சிறு குறிப்புகள்

// FULL BOOK //

த.பா.நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—379

# அணு இயற்பியல்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்
**கா. வே. சுப்பிரமணியன்,**
இயற்பியல் விரிவுரையாளர்,
ஏ. வி. சி. கல்லூரி,
மாயூரம்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—November, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 379

© Tamil Nadu Text Book Society

# ATOMIC PHYSICS

K. V. SUBRAMANIAN

**Price Rs. 6-25**

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.'

*Printed by*

Solden & Co. (Printers),
762/63, Triplicane High Road,
Madras-5.

# அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி-உள்ளாட்சித்துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பன்னிரண்டாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள 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 கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெரு முயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

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

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'அணு இயற்பியல்' என்ற இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 379ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 414 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந்நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை ; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

**இரா. நெடுஞ்செழியன்**

# பொருளடக்கம்

பக்கம்

1. தோற்றுவாய் 1

2. எலெக்ட்ரான் ... 5

வாயுக்களில் மின்னிறக்கம் — எதிர்மின் கதிர்களும் அவற்றின் பண்புகளும்—எதிர் மின்கதிர்த் துகளின் மின்னூட்ட நிறைத் தகவு காணல்—தாம்சன் முறை – எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் காணல்—மில்லிக்கன் முறை —எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத் தகவு காணல் — டன்னிங்டன் முறை.

3. நேர் மின் கதிர்கள் ... 26

நேர்மின் கதிர்கள் (கால்வாய்க் கதிர்கள்) —பண்புகள் — தோற்றம்—மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காணல்—ஜே. ஜே. தாம்சன் கண்ட பரவளைய முறை—ஆஸ்டன் அமைத்த நிறைமாலை வரைவி — பெயின் பிரிட்ஜ் அமைத்த நிறைமாலை வரைவி — ஆஸ்டன் — பெயின்பிரிட்ஜ் நிறைமாலை வரைவிகளின் ஏற்றத்தாழ்வுகள் — ஐசோடோப்புகளும் அவற்றின் பண்புகளும்—ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகள் — ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகள்— ஐசோடோப்புகளைப் பிரித்தல்—ஐசோடோப்புகளில் முழு எண் விதி —நிறை குறை — பொதிவுப் பின்னம் — பிணைப் பாற்றல் — ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு.

4. எலெக்ட்ரான் கொள்கை ... 58

உலோகங்களில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் — எலெக்ட்ரான் வாயு மாதிரி— கடத்தும் எலெக்ட்ரான்கள் — மின் கடத்தல் — மின் கடத்தலும் வெப்பக் கடத்தலும் —வீட்மன் ஃபிரான்ஸ் விதி —

பக்கம்

வெப்ப மின்விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும்—பெல்டியர் விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும்—தாம்சன் விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும்.

5. ஒளிமின் விளைவு ... 72

ஒளிமின் விளைவு—ஹால்வாக்ஸ் சோதனை—ஐன்ஸ்டைன் ஒளிமின் விளைவுச் சமன்பாடு—மில்லிக்கன் சோதனை—ஒளிமின் விளைவு விதிகள்—ஒளிமின்கலம்—உள் ஒளிமின் விளைவு—ஒளியால் கடத்தும் மின் கலங்கள்—திருத்தி மின்கலங்கள்—ஒளிமின் கலங்களின் பயன்கள்—பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள்—ஒளிமின் பெருக்கி.

6. அணுவின் கட்டமைப்பு ... 86

முன்னுரை—தாம்சன் அணுமாதிரி—ரூதர்ஃபோர்ட் α துகள் சிதறல்—ரூதர்ஃபோர்ட் செய்த α துகள் சிதறல்—ரூதர்ஃபோர்ட் அணுமாதிரி—ரூதர்ஃபோர்ட் தந்த பெருங்கோணச் சிதறல் பற்றிய விளக்கம்—அணுக்கரு—அணுமாதிரி—குறைகள்—போர் அணுமாதிரி—தனிச்சலுகைச் சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் அளவுகளை வரையறுத்தல்—சுற்றுப்பாதைகளின் ஆரமும் ஆற்றலும்—எலெக்ட்ரான்களின் தாவல்—நிறமாலைகளின் தோற்றம்—ஹைட்ரஜன் நிறமாலை—அணுவின் சுற்றுப்பாதைப் படம்—ஆற்றல் மட்டப் படம்—சாமெர்ஃபெல்ட் அணுமாதிரி—முதன்மைக் குவான்டம் எண்—திசைக் கோணக் குவான்டம் எண்—மொத்தக் குவான்டம் எண்—எலெக்ட்ரானின் நீள் வட்டப்பாதைகள்—வெக்டர் அணுமாதிரி—இடம் வரையறுத்தல்—சுழற்சி எலெக்ட்ரான்கள்—பலவிதமான குவான்டம் எண்கள்—மொத்தக் குவான்டம் எண்—சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண்—சுழற்சிக் குவான்டம் எண்—மொத்தத் திசைக்கோணக் குவான்டம் எண்—காந்தச் சுற்றுப் பாதைக் குவான்

பக்கம்

டம் எண்—காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்—காந்த மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண்—இணைப்பு முறைகள் — L-S இணைப்பு — j-j இணைப்பு — பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கை— அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு —தனிம அட்டவணை—எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம்—சுற்றுப்பாதை காந்தத் திருப்புதிறன் — போர் மேக்னடான்— ஸ்டெர்ன்-கெர்லாக் சோதனை—ஸ்டெர்ன் -கெர்லாக் சோதனையின் முடிவுகளும் பலன்களும்.

7. **சில பெயர்களும் குறியீடுகளும்** ... 156

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு—பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு — நிறமாலை ஆற்றல்மட்டங்களைக் குறிக்கும் குறியீடுகள் — நுண்ணமைப்பு வரிகளின் தோற்றம்.

8. **சீமன் விளைவு** ... 161

இயல்பு சீமன் விளைவுக்கு லொரென்ட்ஸ் கூறிய கொள்கை விளக்கம் — சீமன் பெயர்ச்சியைக் கணித்தல் — குறைந்த வலிமையுடைய காந்தப்புலத்திலுள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் வெக்டர் மாதிரி—எலெக்ட்ரான் சுழற்சி சுற்றுப் பாதை வினையாக்கம் - புறகாந்தப் புலம் ஒன்றில் அணு நிலைகொள்ளுதல்— அச்சுச் சுழற்சி—முரணிய சீமன் விளைவு — லாண்டே காரணி—புற அச்சுச்சுழற்சி — காந்த வினையாக்க ஆற்றல்—சீமன் மட்டங்கள்—சோடியத்தின் $D_1$ மற்றும் $D_2$ வரிகளில் ஏற்படும் முரணிய சீமன் விளைவை ஆய்தல்—பாஷென்-பாக் விளைவு — வன்புல குவான்டம் எண்.

9. **எக்ஸ்-கதிர்கள்** ... 189

எக்ஸ்-கதிர்களைத் தோற்றுவித்தல் — வாயுக்குழாய்—கூலிட்ஜ் குழாய்—பீட்

பக்கம்

டாட்ரான்—எக்ஸ்-கதிர் நிலையங்கள்—எக்ஸ்-கதிர்களின் பண்புகள்—எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனியாக்கத்திறன் — அயனிக் கலம்—எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்படல் —நிறை உட்கவர் எண்—லாவேயின் சோதனை—படிகக் கீற்றணியும் பிராக் விதியும்—பிராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி — படிக இடைவெளியைக் கணக்கிடல்—எக்ஸ்-கதிர்களின் விலகலும் பிராக் சமன்பாட்டிற்கு ஒரு திருத்தமும்—எக்ஸ்-கதிர் தொடர் நிறமாலையும் சிறப்பியல் நிறமாலையும் — எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளின் தோற்றமும் டானே-ஹன்ட் விதியும்—மோஸ்லி விதி—காம்ப்டன் விளைவு - ஓரியல் சிதறல்—ஓரியலற்ற சிதறல்—காம்ப்டன் அலைநீளம்—காம்ப்டன் விளைவுக்கான சோதனை—எக்ஸ்-கதிர்களின் பயன்கள் — அறிவியல்துறைப் பயன்கள்—தொழில்துறைப் பயன்கள் — மருத்துவத்துறைப் பயன்கள்.

10. **படிகவியல்** ... 232

சீரமைவு—சீரமைவு அச்சு—சீரமைவுத் தளம் — சீரமைவு மையம் — கூட்டுச் சீரமைவு உறுப்பு—படிகங்களின் புறச் சீரமைவு—புள்ளித் தொகுப்பு—படிகத்தில் அகச் சீரமைவு—இட அணிக்கோவை —படிக செல்களின் ஏழுவித அமைப்புகள் —படிகவியல் அச்சுகள்—அச்சுசார் விகிதம் —மில்லர் சுட்டு எண்கள்—மூன்றுவித கன சதுர அணிக்கோவைகள்—சோடியம் குளோரைடு படிகம்—சிங்க் சல்ஃபைடு படிகம்—வைரப் படிகம்.

**வினாக்களும் பயிற்சிக் கணக்குகளும்** ... 258

**சில முக்கியமான இயற்பியல் மாறிலிகளின் மதிப்புகள்** .. 263

**BIBLIOGRAPHY** ... 264

**கலைச்சொற்கள்** ... 265

# 1. தோற்றுவாய்

உடல் மற்றும் உயிர் என்ற இரண்டின் கலவையே மனிதன் என்பர். ஆனால் உடலில் உயிரின் இயல்பும், உயிரில் உடலின் இயல்பும் காணப்படுவதால் உடல் வேறு, உயிர் வேறு அன்று. எனவே, மனிதன் இரு இயல்புகள் கொண்டவன் அல்லன்; இரட்டை இயல்பு கொண்டவன் என்பர் தத்துவஞானிகள். இந்த உண்மை இயற்கைக்கும் பொருந்தி வருகிறது.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் அறிவியல் மேதைகள் அவர்களுக்குக் கிடைத்த குறிப்புகளைக் கொண்டு அப்போது இருந்த கருவிகளின் உதவியால் ஆராய்ந்து இயற்கை ஒன்றோடொன்று தொடர்பற்ற பொருள் (matter), கதிர் வீச்சு (radiation) என்ற இரு வேறு இயல்புகளைக் கொண்டது என்ற முடிவுக்கு வந்தனர். பொருள், துகள் இயல்பு உடையது என்றும் அதற்கு நிறை (mass) நிலைமம் (inertia) என்ற அடிப்படைப் பண்புகள் உண்டென்றும் கூறி, **பொருளின் நிறை அழிவின்மை விதி** (conservation of mass) என்ற ஒன்றையும் வகுத்தனர். அதுபோலவே கதிர்வீச்சு என்பது பொருள் துகள்களில் எற்படுகின்ற துடிப்புகளின் விளைவு என்று கூறி, ஆற்றல் பற்றி **ஆற்றல் அழிவின்மை விதி** (conservation of energy) என்ற விதியை நிறுவினர்.

இன்றைய அறிவியல் மேதைகள் பொருள், கதிர் வீச்சு (ஆற்றல்) என்பன வெவ்வேறு இயல்புகளைக் கொண்டன என்ற பாகுபாடு உண்மைக்குப் புறம்பானது என்று காட்டி விட்டார்கள். நுண்ணிய கருவிகளைக் கொண்டு, பொருளுக்கு ஆற்றலின் இயல்பாகிய **அலைப் பண்பு** இருப்பதையும், ஆற்றலுக்குப் பொருளின் இயல்பாகிய **துகட் பண்பு** (corpuscular nature) இருப்பதையும் காட்டி, பொருள், ஆற்றல் என்ற இரண்டுமே **இரட்டைப் பண்பு**

(துகட் பண்பும், அலைப் பண்பும்) கொண்டன என நிலை நாட்டினர்.

பின்னர் ஐன்ஸ்டைன் என்பார் பொருளுக்கும், ஆற்றலுக்கு மிடையே உள்ள தொடர்பினை விளக்கி ஆற்றல் பொருளாகவும் பொருள் ஆற்றலாகவும் மாறும் என்று கூறிப் புகழ்பெற்ற நிறை, ஆற்றல் சமன்பாட்டினை (Mass energy equation) நிறுவினார். இது அறிவியல் உலகில் பெரும் புரட்சியைத் தோற்றுவித்தது.

இருபதாம் நூற்றாண்டில் இயற்பியல் மேற்கூறியது போன்ற புதுமைக் கருத்துகளைக் கண்ட காரணத்தால் புதுமை இயற்பியல் என்றும், அதற்கு முந்திய நூற்றாண்டுகளின் இயற்பியல் தொன்மை இயற்பியல் என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

அன்றைய அறிவியல் மேதைகள் இன்றைய மேதைகளைவிட, ஆற்றலில், உழைப்பில், ஆர்வத்தில் குறைந்தவர்களா ? இல்லை ! இல்லை ! பின் ஏன் அவர்கள் இயற்கையின் இரட்டை இயல்பைக் காணத் தவறினர் ? அவர்கள் பொருளை அதன் பொதி நிலையில் (macroscopic state) கண்டனர். எனவே, இரட்டை இயல்பு புலனாகவில்லை. இன்றைய அறிஞர்கள் பொருளை அணு நிலையில் (atomic state) காணும் வாய்ப்பும் வசதியும் பெற்றிருந்த காரணத்தால் அதன் இரட்டை இயல்பினைத் தெளிவாகக் கண்டனர். இதிலிருந்து புதுமை இயற்பியலின் அடிப்படை அது பொருளை அதன் அணு நிலையில் பார்ப்பதில் தொடங்குகிறது என அறியலாம். எனவே, இதை அணு இயற்பியல் என வழங்குவது தான் பொருத்தம்.

அணுவின் கதை விந்தையானது. 1803-ஆம் ஆண்டில் டால்டன் (Dalton) என்ற மேதை, பொருள் அணுத்தன்மை கொண்டது என்றார். பின்னர் ப்ரௌட் (Prout) என்பார் பல்வேறு விதமான அணுக்களும் எளிய ஹைட்ரஜன் அணுக்களால் உருவானவை என்ற கருத்தைக் கூறினார். மெண்டலீஃப் (Mendeleeff) என்பவர் தனிம அட்டவணை (periodic table of elements) கண்டு பிடித்து தனிமங்களை அவற்றின் நிறைகளின் அடிப்படையில் ஏறு வரிசையில் அமைத்தால், குறிப்பிட்ட இடைவெளிக்குப் பின்னர் அவற்றின் பண்புகள் மீண்டு வருவதைக் காட்டினார். இது பண்புகள் மீண்டு வருவதற்குக் காரணமான ஒன்று அணுவின் அமைப்பில் இருக்க வேண்டும் என்று உணர்த்தியது. குறைந்த அழுத்தமுடைய வாயுக்குழாய்களின் வழியே மின்னிறக்கம் (discharge) செய்து J. J. தாம்சன் என்பார் எலெக்ட்ரான்

(electron) என்ற துகளைக் கண்டு பிடித்தார். எல்லாப் பொருள் களிலிருந்தும் இத்துகள் வருவது தெரிந்தது. எனவே, இது ஓர் அடிப்படைத் துகள் என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. மேலும், மின்னூட்டம் என்பது எதிர் மின்னூட்டமுடைய இத்துகளின் ஓட்டமே என்ற உண்மை தெளிவாயிற்று. எலெக்ட்ரான் ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையில் $\frac{1}{1840}$ பங்கு நிறையும் ஓர் எதிர் மின்னூட்டமும் கொண்டது எனக் கணக்கிடப்பட்டது. எலெக்ட் ரான்கள் எல்லா வகையான அணுக்களின் கட்டமைப்பிலும் பங்கு கொள்ளும் ஓர் அடிப்படைத் துகள் என்றும் இவை சுமந்து செல்லும் மின்னூட்டம் இயற்கையில் காணப்படும் மின்னூட்டங்களுக்குள் குறைந்த மின்னூட்டம் என்றும் மற்ற மின்னூட்டங்களெல்லாம் இம்மின்னூட்டத்தின் முழு எண் மடங்குகளே என்றும் கூறினர்.

இதைத் தொடர்ந்து கதிரியக்கம் (radioactivity) என்ற கதிர் வீச்சு கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. கதிரியக்க ஆராய்ச்சிகளில் ஈடுபட்ட ரூதர்ஃபோர்ட் என்பார் அணு அதன் மையத்தில் "நியூக்ளியஸ்" எனப்படும் அணுக்கருவைக் கொண்டிருக்கிறது என்றும் அந்த அணுக்கருவைச் சுற்றி அவ்வணுவுக்குரிய எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றி வந்து கொண்டிருக்கின்றன என்றும் கூறி அணுவுக்கு ஓர் உருவம் தந்தார்.

அணுக்கருக்கள் எல்லாமே சில அடிப்படைத் துகளின் கட்டமைப்புக் காரணமாக உண்டானவைகளே எனக் கூறினர். பொன்னும் இரும்பும் ஒரே வகையான துகள்களால் உருவாவது தான் என்றால் வியப்பாக இருக்கிறதல்லவா ? ஆனால், இதுதான் உண்மை. பின்னர் இரும்பிலிருந்து பொன்னை வேறுபடுத்துவது எது ? அவற்றின் அணுக்கரு பொன் அணுக்கருவின் கட்டமைப்பி லிருந்து இரும்பு அணுக்கருவின் கட்டமைப்பு வேறுபடுகிறது. கட்டமைப்புத்தான் வேறுபட்டிருக்கிறதே ஒழிய, கட்டுவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் துகள்கள் ஒரே வகையானவைதான்.

சில அணுக்கருக்கள் அவற்றின் மிகுந்த எடை காரணமாக நிலையற்ற தன்மை பெற்று, தாமே சிதைந்து ஆல்பா, பீட்டாத் துகள்களை வீசுகின்றன. இது கதிரியக்கம் (radioactivity) எனப் படுகிறது.

கருமைப் பொருள்கள் (Black body) வீசுகின்ற வெப்பக் கதிர் கள் பற்றி கருமைப் பொருள் கதிர் வீச்சு (Black body radiation) என்ற புதிய கொள்கையை பிளாங்க் (Planck) என்பார் மவெளி

யிட்டார். குவான்டம் கொள்கை (quantum theory) என வழங்கப் படுகிறது. இக்கொள்கையின்படி மின்சார்ந்த அலைகள், வரையறுக் கப்பட்ட, சிறு குவான்டங்களாகப் பரவுகின்றன. வரையறுக்கப் பட்ட சிறிய அளவு ஆற்றல் குவான்டம் எனப்படுகிறது. இதிலிருந்து மின்காந்தக் கதிர் வீச்சு என்பது நாம் நினைத்துக் கொண்டிருந்தது போல, தொடர்ந்து பரவி, கொஞ்சங் கொஞ்ச மாக அழிந்து மறையும் அலை அமைப்பு அன்று என்றும், மாறாத ஆற்றலைச் சுமந்து கொண்டு ஒளியின் திசை வேகத்துடன் பாய்ந்து செல்லும் துகள்களின் கூட்டமே என்றும் உணர்கிறோம்.

புதுமை இயற்பியலின் தொடக்கம் எலெக்ட்ரானின் பிறப்பி லிருந்து தொடங்குகிறது. எனவே, வாயுக்களில் மின்னிறக்கம் என்ற தலைப்பிலிருந்து தொடங்குவதே முறை.

---

# 2. எலெக்ட்ரான்

## வாயுக்களில் மின்னிறக்கம்
## (Discharge of electricity through gases)

வாயுக்கள் தம் இயல்பு நிலையில் மின்சாரத்தைக் கடத்துவது இல்லை என நாம் கேள்விப்பட்டிருக்கிறோம். ஆனால், C.T.R. வில்சன் என்பார் மின்னூட்டப்பட்ட பொன்னிலை மின்னூட்டங் காட்டி (gold leaf electroscope) ஒன்றிலிருந்து, மின்கசிவைத் தடுப்பதற்கு ஏற்ற எல்லா முன்னெச்சரிக்கைகளை மேற்கொண்ட போதும் மந்தமான மின்னிறக்கம் ஏற்படுவதைக் கண்டார். இம்மின்னிறக்கம் மின்னூட்டங்காட்டிப் பெட்டியிலுள்ள காற்றின் வழியாகவே நடைபெற்றிருக்கவேண்டும். இக்கடத்தல் அளவில் சிறியதாக இருப்பினும், அப்பெட்டியிலுள்ள காற்றின் அளவைப் பொறுத்து மாறுவது தெரிந்தது.

இயல்பாக மின்கடத்தாப் பொருளாக இருக்கின்ற ஒரு வாயுவை எவ்வாறு மின்கடத்ததும் பொருளாக மாற்றுவது? வாயுவை புற ஊதாக்கதிர்கள் (ultra violet rays) அல்லது எக்ஸ்-கதிர்கள் (x-rays) கொண்டு அயனியாக்கம் (ionisation) செய்தோ அல்லது வாயுவில் மின்பொறி (electric spark) ஒன்றை உண்டாக்கியோ அதை மின் கடத்தும் பொருளாக மாற்றலாம். இவ்வாறு தொடங்கப்பட்ட கடத்தல் நிலை தொடர்ந்து நடை பெறாது சிறிது நேரத்தில் நின்று போகிறது. வாயு மூலக் கூறுகள் தொடர்ந்து அயனியாக்க நிலையில் வைக்கப்பட்டால் கடத்தலும் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. மின்கடத்தல் செய்யும் வாயுவை, மிக அதிக மின்னழுத்த வேறுபாடு (potential difference) கொண்ட இரு தகடுகளின் இடைச்சந்து வழியே செலுத்திப் பின், அவற்றின் கடத்து திறனை ஆராய்ந்தபோது அது கடத்துதிறனை இழந் திருந்தது, இதிலிருந்து மின்கடத்தல் செய்வதற்கு வாயுவில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் இடம் பெற வேண்டும் என அறி

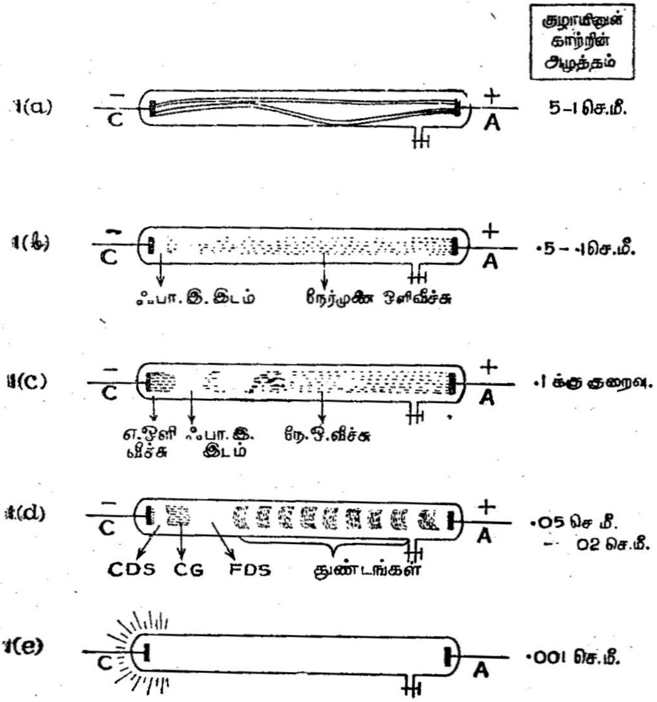
கிறோம். ஒரு வாயு அயனியாக்கம் செய்யப்படும்போது அதில் மின்னூட்டம் பெற்றத் துகள்கள் உண்டாகின்றன, ஆனால் வாயு மின்னூட்டப்படுவது இல்லை ! ஏனெனில், அதில் சம எண்ணிக்கை யுடைய நேர் மின்னூட்டங்களும், எதிர் மின்னூட்டங்களும் தோன்றுகின்றன. மின்னூட்டத்தைச் சுமந்து செல்லும் துகள்களை அயனிகள் (ions) என்று வழங்குகிறோம். அயனிகளை உண்டாக்கும் நிகழ்ச்சி அயனியாக்கம் எனப்படுகிறது. இதிலிருந்து ஒரு வாயு அயனியாக்கப்பட்டால் அது மின் கடத்தும் பொருளாக மாறுகிறது என உணர்கிறோம்.

## (1) குறைந்த அழுத்தத்தில் வாயுக்களின் வழியே மின்னிறக்கம்

ஒரு வளி மண்டல அழுத்தத்தில் தூண்டுசுருள் (Induction Coil) ஒன்றின் துணைச் சுருளின் (Secondary Coil) இரு முனைகளுக்கு மிடையே 30,000 வோல்ட் அளவுடைய மின்னழுத்தம் நிலவும் போது வெடிப்பது போன்ற ஒலியுடன் மின்பொறி ஒன்று தாவிச் செல்வதைக் காணலாம். இது **தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கம்** (disruptive discharge) எனப்படுகிறது. இது எவ்வாறு நிகழ்கிறது? துணைச் சுருளின் முனைகளுக்கு இடையே நிலவும் செறிவு மிக்க மின் புலம் காற்று மூலக் கூறுகளைப் பிய்த்து அயனியாக்கம் செய்கிறது. இவ்வயனிகள் முன் முனைகளை நோக்கி விரையும்போது, மேலும் சில மூலக் கூறுகளுடன் மோதி அவற்றையும் அயனிகளாக்குகின்றன. இவ்வாறு மின் கடத்தாப் பொருளான காற்று அயனியாக்கஞ் செய்யப்பட்டுப் பின் அதன் வழியே தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கம் நடைபெறுகிறது. கெய்ஸ்லர் (Geissler) என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி கண்ணாடிக் குழாயினுள் காற்றை அடைத்து மின் னிறக்கம் செய்வதில் ஈடுபட்டார். குழாயினுள் நிலவும் காற்றின் அழுத்தத்தைக் குறைத்துக் கொண்டே சென்று சீரான மின் னிறக்கம் (Steady discharge) நடைபெறச் செய்வதில் வெற்றி கண்டார்.

ஏறக்குறைய ஒரு மீட்டர் நீளமும் நான்கு சென்டி மீட்டர் விட்டமும் கொண்ட கண்ணாடிக் குழாய் மின்னிறக்கம் செய்வதற்கு ஏற்றது. அதன் இரு முனைகளிலும் அலுமினிய வட்டுகள் (discs) பொருத்தப்பட்ட மின்முனைகளிருக்கின்றன. குழாயின் பக்க வாட்டில் வாயு நீக்கஞ் செய்வதற்கு ஏற்ற அடைப்பானோடு கூடிய குழாய் ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மின்முனைகள், தூண்டு சுருளின் துணைச் சுருள் முனைகளுடன் இணைக்கப்படுகின்றன. வாயு நீக்கம் செய்யும் பம்பின் உதவியால் குழாயினுள்ள வாயுவின்

அழுத்தம் சிறிது சிறிதாகக் குறைக்கப்படுகிறது. மெக்ளவுடு அழுத்தமானி (Mcleod gauge)யின் உதவியால் அழுத்தம் அளவிடப் படுகிறது.




C.D.S: குருக்ஸின் இருண்ட இடம்
C.G: எதிர்முனை ஒளிவீச்சு
F.D.S: ஃபாரடே இருண்ட இடம்

படம் 1

குழாயிலுள்ள காற்றின் அழுத்தம் 5-1 செ. மீ. பாதசர அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கையில் 'பட்பட்' என்ற வெடிச் சப்தத்துடன் மின் முனைகளுக்கு இடையே மின்னல் வடிவத்துடன் ஒளிக் கீற்றுகள் பாய்ந்து செல்லக் காணலாம் (படம் 1a). இது தான் தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கம் எனப்பட்டது.

படம் 1 (b, c) அழுத்தம் ·5 செ.மீ.—·1 செ.மீ. ஆகக் குறையும் போது ஒளிக் கீற்று அகன்று வெளிர் ஊதா நிறங்கொண்ட ஒளி வீச்சாக (glow) மாறுகிறது, இது நேர் முனை ஒளி வீச்சு (positive glow) எனப்படுகிறது. அழுத்தம் குறையக் குறைய அது நேர்முனையிலிருந்து எதிர்முனை நோக்கி வளர்கிறது. அழுத்தம் ஒரு மி. மீட்டராகும் போது நேர்முனை ஒளிவீச்சு எதிர்முனைக்குச் சிறிது தூரத்தில் திடுமென நின்று விடுகிறது. எதிர் முனைக்கும், நேர்முனை ஒளி வீச்சுக்குமிடையே ஓர் இருண்ட இடம் காணப்படுகிறது, இது ஃபாரடேயின் இருண்ட இடம் (Faraday's dark space) எனப்படும், நேர்முனை ஒளி வீச்சின் நிறம் குழாயினுள் அடைப்பட்டிருக்கும் வாயுக்கு ஏற்ப மாறும். எதிர் முனையில் மிகச் சிறிய ஒளி வீச்சு தோன்றும் இது எதிர்முனை ஒளி வீச்சு (Cathode glow) ஆகும்.

அழுத்தம் மேலும் குறைக்கப்பட்டு 0·05 சென்டி மீட்டராகும் போது நேர்முனை ஒளிவீச்சு பல துண்டுகளாகக் காட்சி அளிக்கிறது. எதிர்முனை வீச்சு நேர்முனையை நோக்கிச் சிறிது நகர்கிறது. இப்போது எதிர்முனைக்கும் எதிர்முனை ஒளிவீச்சுக்குமிடையே ஓர் இருண்ட இடம் தோன்றுகிறது. இது குருக்ஸின் இருண்ட இடம் (Crooke's dark space) எனப்படுகிறது. படம் 1 (d)

அழுத்தம் 0·05 சென்டி மீட்டரைவிடக் குறையும் போது நேர்முனை ஒளிவீச்சுத் துண்டங்களின் முனைகள் வளைவுற்று எதிர் முனைப் பக்கம் குவிந்த முகங்களுடன் (convex faces) தெரிகின்றன. ஃபாரடேயின் இருண்ட இடம் நேர்முனை நோக்கி வளர்கிறது. குருக்ஸின் இருண்ட இடமும் அகன்று நேர்முனை நோக்கி நகர்ந்து காணப்படுகிறது.

அழுத்தம் 0·01 சென்டி மீட்டராகும் போது நேர்முனை ஒளி வீச்சு மறைந்து, எதிர்முனை ஒளிவீச்சு நேர்முனை நோக்கி நகர்கிறது.

படம் 1 (e) அழுத்தம் 0·001 செ. மீ. ஆகும் போது எதிர்முனை வீச்சும் மறைந்து போய்விடுகிறது. இப்போது குழாய் முழுதும் குருக்ஸின் வெற்றிடம் பரவி விடுகிறது. கண்ணுக்குப் புலனாகும் மின்னிறக்கம் காணப்படுவது இல்லை. எதிர் மின் முனைக்கு எதிர்ப் பக்கத்திலுள்ள கண்ணாடிக் குழாயின் சுவர் ஒளி சிந்துகிறது. அவ்வொளியின் நிறம் குழாய் செய்யப்பட்டிருக்கும் கண்ணாடியைப் பொறுத்து மாறுகிறது. சோடாக் கண்ணாடி என்றால் மஞ்சள் கலந்த பசுமை நிறத்தோடும், காரீயக் கண்ணாடி (Lead glass) என்றால் இளநீலநிறத்தோடும் காணப்படும். இந்நிகழ்ச்சி

"ஒளிர்தல்" காரணமாக ஏற்படுகிறது. எதிர்முனையிலிருந்து வரும் 'ஏதோ ஒன்று' இவ்வொளிர்தலுக்குக் காரணமாக இருக்க வேண்டும் அந்த ஏதோ ஒன்று எது? என்ற கேள்வியும், அதற்குக் கிடைத்த பதிலும், அது தந்த விளைவுகளுமே இன்றைய புதுமை இயற்பியலாக விரிந்து வளர்ந்தது.

குழாயின் சுவரில் ஒளிர்தல் (fluorescence) ஏற்படுவதற்குக் காரணமான அந்த ஏதோ ஒன்று, கணக்கிலடங்காத எண்ணிக்கையுள்ள, மிகச் சிறிய, எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களைக் கொண்டிருந்தது. இதனை எதிர் மின் கதிர்கள் (Cathode rays) என அழைத்தனர்.

## எதிர்மின் கதிர்களும் அவற்றின் பண்புகளும்

(1) நேர்முனை எங்கு அமைந்திருந்தாலும் எதிர் மின்கதிர்கள், எதிர்மின் முனையின் பரப்பிலிருந்து, அப்பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகவே வெளி வருகின்றன. ஒரு குழி தள (Concave) எதிர்மின் முனையைப் பயன்படுத்தினால் இக்கதிர்கள் அக்குழிதளத்தின் வளைவு மையத்தில் (centre of curvature) குவியும்.

(2) எதிர்மின் கதிர்கள் பருப்பொருள்களுடன் மோதினால் வெப்பம் உண்டாகிறது. குழிதள எதிர்மின் முனையின் வளைவு மையத்தில் ஒரு மெல்லிய பிளாட்டினத் துண்டை வைத்தால் அது சூடாகிப் பழுப்பதைக் காணலாம்.

(3) எதிர்மின் கதிர்கள் நேர்கோட்டில் விரைந்து செல்கின்றன. இவற்றின் பாதையில் வைக்கப்பட்ட திண் பொருளின் நிழல் குழாயின் சுவற்றில் தோன்றும். ஆகவே, நிழல் தரும் இக்கதிர்கள் நேர்கோட்டில் செல்கின்றன என உணர்கிறோம்.

(4) எதிர்மின் கதிர்களின் திசைவேகம் $2.2 \times 10^9$ செ. மீ. முதல் $3.3 \times 10^9$ செ. மீ. வரை பல திறப்பட்டதாக இருக்கிறது.

(5) எதிர்மின் கதிர்கள் விசையியல் விளைவுகளை உண்டாக்குகின்றன. இக்கதிர்களின் பாதையில் உருளுவதற்கேற்றவாறு வைக்கப்பட்ட துடுப்புச் சக்கரம் (paddled wheel) இக்கதிர்களால் உருட்டிச் செல்லப்படுவதைக் காணலாம். இந்நிகழ்ச்சியிலிருந்து இக்கதிர்களில் உள்ள துகள்கள் தமக்கென ஒரு நிறையைக் கொண்டிருக்கின்றன என அறிகிறோம்.

(6) இக்கதிர்கள் மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலம் இவற்றின் வழியே செல்லும் போது திசைமாற்றம் அடைகின்றன. ஓர்

எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட துகள்கள், மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலத்தில் அடைகின்ற திசைமாற்றத்தை இக்கதிர் அடைந்தால், இக்கதிர்களில் உள்ள துகள்கள் எதிர் மின்னூட்டம் கொண்டிருக்கின்றன என்ற உண்மை வெளியாயிற்று.

(7) இக்கதிர்களை வாயுக்களின் வழியே செலுத்தினால் அவ் வாயுக்களில் **அயனியாக்கம்** ஏற்படுகிறது. மேலும் தக்க இலக்கு களின் மீது, தேவையான முடுக்கத்துடன் இக்கதிர்களை மோதச் செய்தால் எக்ஸ்–கதிர்கள் உண்டாகின்றன.

(8) இக்கதிர்கள் பல வகையான படிகங்கள் மற்றும் உப்புகள் ஆகியவற்றின் மீது பட்டு ஒளிர்தல் உண்டாகின்றன.

(9) இக்கதிர்கள் **ஒளிப் படத் தகட்டில்** (photographic plates) ஒளி ரசாயன மாற்றங்களை விளைவிக்கின்றன.

(10) இக்கதிர்கள் அலுமினியம் போன்ற உலோகங்களினால் செய்த மெல்லிய தகடுகளின் வழியே ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றல் கொண்டவை.

J. J. தாம்சன் என்னும் மேதை எதிர்மின் கதிர்களின் பண்பு கள் குறித்து ஆராய்ந்து, இக்கதிர்த்துகள் $4.77 \times 10^{-10}$ நிலை மின்னியல் அலகு (C.S.U) கொண்ட எதிர் மின்னூட்டமும் $9.1 \times 10^{-28}$ நிறையும் உடையது எனக் கூறினார். இதன் நிறை ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையில் $\frac{1}{1836}$ பங்காகும். இத்துகள் **எலெக்ட்ரான்** (electron) என வழங்கப்பட்டது.

மின்னிறக்கக்குழாயில் பயன்படுத்தப்படும் வாயு எதுவாக இருப்பினும் எதிர் மின்கதிர்கள் என வழங்கப்படும் எலெக்ட்ரான் கற்றை தோன்றுகிறது. குழாயில் எந்த உலோகத்தினாலான முனைகளைப் பயன்படுத்திய போதும் கிடைத்த எலெக்ட்ரான் கற்றையின் பண்புகளில் மாற்றம் ஏதும் காணப்படவில்லை. இதிலிருந்து எலெக்ட்ரான் என்ற இச்சிறிய துகள் பொருள்களின் கட்டமைப்பில் முக்கிய அங்கம் வகிக்கும் ஓர் அடிப்படைத் துகளாக இருக்கவேண்டும் என்று புலப்பட்டது.

## எதிர்மின் கதிர்த்துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு (Specific charge) காணல்

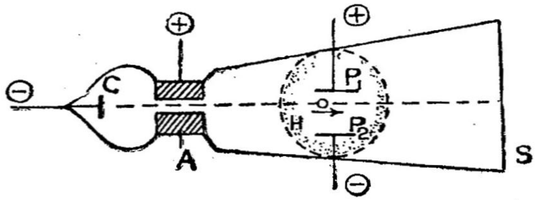
**மின்னூட்ட நிறைத்தகவு :**

**ஒரு துகளின் மின்னூட்டத்திற்கும் அதன் நிறைக்கும் உள்ள விகிதம் அத்துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு எனப்படும்.**

எதிர்மின் துகளின் மின்னூட்டம் ' $e$ ' என்றும் அதன் நிறை $m$ என்றும் கொண்டால், எதிர்மின் துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு $= \frac{e}{m}$ ஆகும்.

### தாம்சன் முறை

எதிர்மின் கதிர்த்துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காண்பதற்குத் தாம்சன் பயன்படுத்திய மின்னிறக்கக் குழாயின் அமைப்பு, படம் 2-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. குழாயின் ஒரு




படம் 2

நுனியில் $C$ என்ற எதிர்மின்முனையும், அதனருகே, குழாயின் குறுகிய கழுத்துப்பகுதியில், மெல்லிய நீண்ட துளைகொண்ட உருளை வடிவ நேர்மின்முனை $A$-யும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. $A$-க்கு அப்பால் மின்னிறக்கக்குழாய் நீண்டு விரிந்து செல்கிறது. குழாயின் தட்டையான மறு நுனியில் $S$ என்ற ஒளிர்திரை (fluorescent screen) அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எதிர்மின் கதிர்க் கற்றை செல்லும் பாதைக்கு மேலும் கீழுமாக இரு உலோகத் தகடுகள் ($P_1$ $P_2$) வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றுக்குத்தகுந்த மின்னழுத்தம் தந்து அவற்றுக்கிடையே மின்புலம் நிலவச் செய்யலாம். மின்புலம் அமைந்துள்ள அதே இடத்தில் மின்புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தாகக் காந்தப்புலம் (புள்ளி வட்டமாகக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது) ஒன்று ($H$) நிலவச்செய்வதற்குத் தேவையான மின்காந்த அமைப்புகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் இவ்வமைப்புகள் படத்தில் காட்டப்படவில்லை)

எதிர்மின் கதிர்கள் ஏற்படுவதற்குத் தகுந்த அழுத்தம் குழாயினுள் நிலவும்போது எதிர்மின் கதிர்கள் தோன்றுகின்றன. மின்முனைகளுக்கிடையே மிக அதிக மின்னழுத்தம் (30,000 வோல்ட் அளவு) தரப்படுகிறது. எதிர்மின்கதிர்கள் C-லிருந்து $A$ ஐ நோக்கி விரைகின்றன. C-க்கும் $A$-க்கும் இடையே உள்ள இடைவெளியில் கதிர்த்துகள்கள் பெரிதும் முடுக்கமுறுகின்றன. எனவே, $A$-ல் உள்ள துளையில் விழுகின்ற கதிர்கள் அவை பெற்ற மிக அதிகமான வேகம் காரணமாக, $A$ ஐக் கடந்து மெல்லிய கற்றையாக வெளியேறுகின்றன. இக்கற்றை நேர்கோட்டில் சென்று ஒளிர் திரையில் மோதி '$O$' என்ற புள்ளியில் பொலிவு மிக்க ஒரு புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கிறது.

இந்நிலையில் மின்புலத்தை நிலவச் செய்வதால் அப்பொலிவுப் புள்ளி நேர்மின்னழுத்தம் பெற்ற $P_1$ என்ற தகடு நோக்கி எழும்பிச் செல்வதைக் காணலாம். படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படும் காந்தப்புலத்தை நிலவச் செய்தால், மின்புலத்தின் ஆட்சியினால் மேலே எழும்பிய அப்புள்ளி கீழே இறங்கி வரக் காணலாம். காந்தப்புலத்தின் செறிவினைத் தக்கவாறு சீர்செய்து மின்புலம் ஒளிப்புள்ளிக்குத்தந்த இடப்பெயர்ச்சியை ஈடுசெய்து, புள்ளியை மீண்டும் '$O$'-க்கே கொண்டு வரலாம்.

$P_1$ $P_2$ என்ற தகடுகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்புலத்தின் செறிவு '$X$' என்றும் காந்தப்புலத்தின் செறிவு '$H$' என்றும் துகளின் மின்னூட்டம் '$e$' என்றும் நிறை '$m$' என்றும் துகளின் திசைவேகம் '$v$' என்றும் கொள்வோம்.

மின்புலம் துகளின் மீது செயற்படுத்தும் விசை $= Xe$

காந்தப்புலம் ,, ,, ,, $= Hev$

மின்புலம் தருகின்ற இடப்பெயர்ச்சியைக் காந்தப்புலம் தருகின்ற இடப்பெயர்ச்சி ஈடுசெய்து புள்ளியை மீண்டும் '$O$'-க்குக் கொண்டு வருவதால் இவ்விசைகள் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகவும், எதிராகவும் இருத்தல்வேண்டும். எனவே

$$Xe = Hev$$

$$\frac{X}{H} = v \qquad \text{—(1)}$$

இவ்வாறு துகளின் திசைவேகமாகிய $v$ கணக்கிடப்படுகிறது.

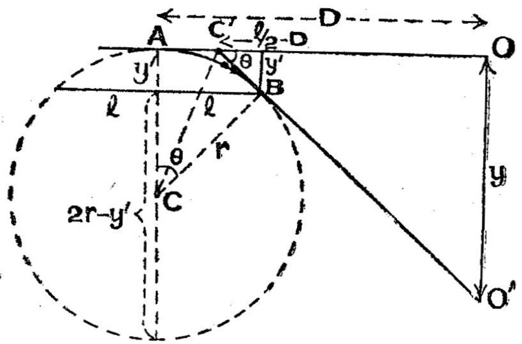
தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு வோல்ட்களிலும், தூரம் சென்டிமீட்டர்களிலும் அளவிடப்பட்டால்

$$X = \frac{\text{வோல்ட்களில் மி.அ. வேறுபாடு} \times 10^8}{\text{தூரம். செமீ.ல்.}}$$

காந்தப்புலம் வரிச்சுருள் (Solenoid) உதவியால் உண்டாக்கப் படுகிறது. வரிச்சுருளில் ஒரு சென்டிமீட்டருக்கு $n$ சுற்றுகள் வீதம் கம்பி சுற்றப்பட்டு, $i$ ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்ச்சப்பட்டால்

$H = \frac{4\pi ni}{10}$ ஓர்ஸ்டட்கள் (Oersteds) ஆகும்,

துகளின் மின்னோட்ட நிறைத்தகவு காண்பதற்கு மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலம் இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றை மட்டும் செயற் படச்செய்து, துகளுக்கு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியை அளவிட்டு அறியவேண்டும். காந்தப்புலத்தின் ஆட்சியினால் ஒளிப்புள்ளி, திரையில் $y$ என்ற இடப்பெயர்ச்சி அடைவதாகக் கொள்வோம். $H$ என்ற காந்தப்புலம் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள் நோக்கிச் செயற்படுவதாகக் கொள்வோம். எதிர்மின்முனையிலிருந்து, எதிர் மின்னூட்டங்கொண்ட துகள்கள் சாரி சாரியாகத் தொடர்ந்து செல்வது மரபு மின்னோட்டம் (conventional current) ஒன்று திரையிலிருந்து எதிர் மின்முனையை நோக்கிச் செல்வதற்குச் சமமல்லவா? எனவே ஃபிளமிங் கூறிய இடக்கை விதிப்படி எதிர் மின் கதிர்க்கற்றை செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி விலக்கப்படுகிறது. (படம் 3) எந்த ஒரு துகளை எடுத்துக்கொண்டாலும் அதன் மீது




படம் 3

காந்தப்புலம் தருகின்ற விசை $Hev$ ஆகும். இவ்விசை துகளின் பாதைக்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படுகிறது. காந்தப்புலத்தினுள் செல்லும் துகளின் பாதை படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் ஒரு வட்டத்தின் வில்லாக (Arc)-$AB$-அமையும் வட்டப்பாதையில் செல்லும் ஒரு துகளின்மீது அதன் போக்கிற்கு எப்போதும் செங்குத்

தாகச் செயற்படும் விசை **மைய நாடுவிசை** (centripetal force) என்றும் அதன் மதிப்பு $\frac{mv^2}{r}$ என்றும் **விசையியலில்** (mechanics) கண்டிருக்கிறோம். இங்கு $m$ என்பது வட்டபாதையில் செல்லும் துகளின் நிறையையும், $r$ என்பது அப்பாதையின் ஆரத்தையும் குறிக்கின்றன. எனவே,

துகளின் மீது காந்தப்புலம் தருகின்ற விசை = துகளின்மீது செயற்படும் மைய நாடு விசை

$$Hev = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rH} \qquad \text{ஆனால்} \; v = \frac{X}{H}$$

$$\text{ஆகவே} = \frac{X}{Hr \cdot H}$$

$$= \frac{X}{rH^2} \qquad (2)$$

துகள் செல்லும் பாதையின் வளைவு ஆரமாகிய $r$ ஐ அறிந்தால் $\frac{e}{m}$ ஐக் கணக்கிட்டு விடலாம் எனத் தெரிகிறது. $A$ என்ற புள்ளிக்கும் திரைக்குமிடையே உள்ள தூரம் $D$ என்றும் காந்தப் புலத்தினால் துகளின் பாதையில் ஏற்படும் விலக்கக் கோணம் $\theta$ என்றும் கொள்வோம். காந்தப்புலத்தை விட்டுத் துகள் வெளி வந்தவுடன் தொடர்ந்து வட்டப் பாதையில் செல்ல முடியாமல் அவ்விடத்தில் ($B$-ல்) வரையப்படும் **தொடுகோட்டின்** (tangent) வழியே நேராகச் சென்று திரையில் O′ என்ற இடத்தில் மோதி அங்கு ஒளிப்புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கும் $OO' = y$.

படத்தில்

$$l^2 = y'\,(2r - y')$$
$$= 2ry' - y'^2$$
$$= 2ry'$$
$$\therefore \; y' = \frac{l^2}{2r}$$

மீண்டும் $\triangle CAC' \equiv \triangle CBC' \quad \therefore \; AC' = BC'$

$B$யும் $D$யும் ஒன்றுக்கொன்று அருகில் இருப்பதால் $BC' = DC'$ என்று கூறலாம். ஆகவே $C'$ என்பது $AD$யின் மையம். எனவே $C'D = \frac{1}{2}l$ படத்தில் $\triangle OO'C'$ம் $\triangle DBC'$ல் வடிவொத்தவை எனவே

$$\frac{y'}{\frac{1}{2}l} = \frac{y}{D}$$

$$y = \frac{y'D}{\frac{1}{2}l} = \frac{2y'D}{l}$$

$$= \frac{2l^2D}{2rl}$$

$$= \frac{lD}{r}$$

ஆகவே $r = \dfrac{lD}{y}$ (3)

மேற்கண்ட $r$-ன் மதிப்பினைச் சமன்பாடு (2)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{e}{m} = \frac{X}{H^2} \cdot \frac{y}{lD}$$ ஆகும்.

துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு மின்காந்த அலகுகள்/கிராம் என்ற முறையில் கணக்கிடப்படுகிறது.

## மின்புலத்தைப் பயன்படுத்தி இடப்பெயர்ச்சியை அளவிடும் முறை

படம் 4-ல் $P_1$ மற்றும் $P_2$ என்ற தகடுகளின் நீளம் $l$ செ. மீ. என்றும் அவற்றிற்கு இடையே நிலவும் மின்புலத்தின் செறிவு $X$ என்றும் கொள்வோம். துகள் மின்புலத்தின் வழியே செல்லும் போது அதன் போக்கிற்குச் செங்குத்தான திசையில் படம் 2-ல் படத்தின் தளத்திற்கு இணையாக $P_2$-லிருந்து $P_1$-ஐ நோக்கி $Xe$ என்ற விசை துகளின் மீது செயற்பட்டு, அதை மேல் நோக்கித் தள்ளுகிறது,

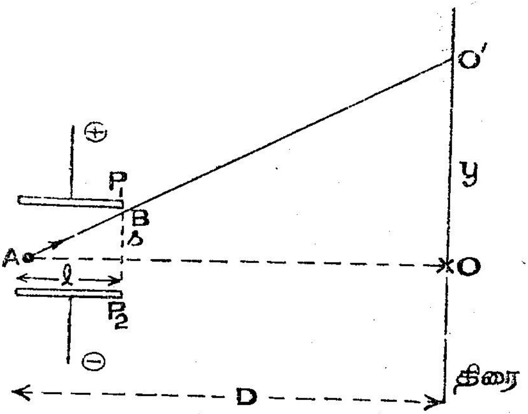
துகள் பெறும் முடுக்கம் $= \dfrac{Xe}{m}$ $[\because F = ma]$

துகள் மின்புலத்தில் இருக்கும் காலம்

$$= \frac{\text{மின் புலத்தின் நீளம்}}{\text{துகளின் வேகம்}}$$

$$t = \frac{l}{v} \text{ வினாடிகள்.}$$

மின்புலத்தை விட்டுச் செல்லும் அந்தக் கணத்தில் துகள் செங்குத்துத் திசையில் பெற்ற இடப்பெயர்ச்சி $s$ என்றால்




படம் 4

$s = ut + \frac{1}{2} at^2$ என்ற வாய்ப்பாட்டின்படி $u = o$, $a = \frac{Xe}{m}$

$t = \frac{l}{v}$ என்ற மதிப்புகளை பதிலீடு செய்ய

$$s = \frac{1}{2} \frac{Xe}{m} \left( \frac{l}{v} \right)^2 \qquad \text{—I}$$

படத்தில் (4-ல்)

$$\frac{s}{y} = \frac{l}{D} \quad \text{எனவே } s = \frac{ly}{D}$$

இதனைச் சமன்பாடு I-ல் பதிலீடு செய்ய

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

$$\frac{e}{m} = \frac{2v^2 y}{XlD} \qquad \text{ஆனால் } v = \frac{X}{H}$$

$$= \frac{2X^2 y}{XH^2 lD}$$

$$= \frac{2Xy}{H^2 lD}$$

மின்புலமாகிய $X$ மின்காந்த அலகுகளிலும் காந்தப் புலமாகிய $H$ ஓர்ஸ்டட்களிலும் கூறப்பட்டிருந்தால் $\frac{e}{m}$ என்பது

கிராமிற்கு இத்தனை மின்காந்த அலகுகள் என்று எழுதப்படும். தாம்சன் கண்ட மின்னூட்ட நிறைத்தகவு கிராமிற்கு $10^7$ மின் காந்த அலகுகள் என்னும் அளவுடையதாக இருந்தது. பின்னர் வந்த விஞ்ஞானிகள் துல்லியமான முறைகளில் கண்ட $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்பு $1 \cdot 76 \times 10^7$ மி. கா. அ/கி ஆகும்.

எதிர்மின் கதிர்களை உண்டாக்கப் பயன்பட்ட வாயு எதுவாக இருப்பினும், மின்முனைகள் எந்த உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட தாக இருப்பினும், எதிர்மின் கதிர்த்துகளின் $\frac{e}{m}$ மதிப்பு மாறு மலிருந்ததைக் கண்ட தாம்சன், எதிர் மின்துகள்கள் எல்லாம் முற்றிலும் ஒத்திருப்பன என்று கூறினார். மேலும் செய்யப்பட்ட ஆய்வுகள் இத்துகள்கள் எல்லாத் தனிமங்களிலும் காணப்படும் பொதுவான ஒரு கூறாக இருக்கவேண்டும் எனக் காட்டின. ஜான் ஸ்டோன் (John Stone) என்பார் இத்துகளுக்கு எலெக்ட்ரான் என்று பெயரிட்டார்.

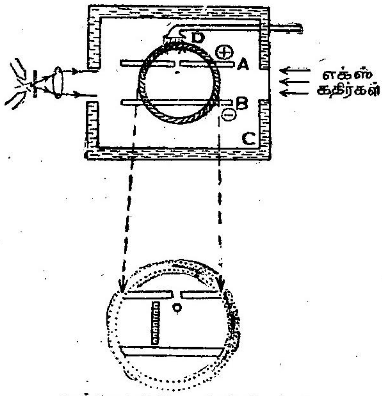
## எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் காணல் மில்லிக்கன் முறை (Millikan's method)

எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு, அதன் மின்னூட் டத்திற்கும் நிறைக்கும் உள்ள விகிதமேயாகும். எனவே, அதைக் கொண்டு எலெக்ட்ரானின் உண்மையான மின்னூட்டத்தின் அளவினையோ, நிறையின் மதிப்பினையோ அறிந்துகொள்ள இயலாது.

எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை அளவிடுவதற்குப் பயன் படுத்தப்பட்ட பல்வேறு முறைகளுள் அமெரிக்க விஞ்ஞானியாகிய *R.A.* மில்லிக்கன் என்பவர் கண்ட முறை சிறப்பானது; எளியது. இது மில்லிக்கன் எண்ணெய்த் துளிமுறை (oil drop method) என்றும் வழங்கப்படுகிறது.

(படம் 5) மில்லிக்கன் ஆய்கருவியில் *A,B* என்ற ஒளியளவில் சமதளமான (optically plane) இரு உலோகத்தட்டுகள் உள்ளன. தட்டுகள் ஒன்றுக்கொன்று முற்றிலும் இணையாகவும், இடையே 4.5 செ.மீ. இடைவெளியுடனும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. *A* என்ற தகட்டின் நடுப்பகுதியில் சில துளைகள் இருக்கின்றன. இவ்விரு தட்டுகளும் *C* என்ற உலோகப்பெட்டி ஒன்றுக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவ்வுலோகப் பெட்டி மாறு வெப்ப நிலைத்தொட்டி (Constant temperature bath) ஒன்றுக்குள்

வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. *D* என்பது ஒரு தெளிப்பான் (atomiser) இதன் உதவியால், எளிதில் ஆவியாகாத ஓர் எண்ணெய் நுண்ணிய




நுண்ணோக்கியில் துளியின் தோற்றம்

படம் 5

திவலைகளாக *A* என்ற தட்டிலுள்ள துளைகளுக்கு மேலே தெளிக்கப் படுகிறது. *A* என்ற தட்டு நேர் மின்னழுத்த நிலையிலும், *B* என்ற தட்டு எதிர் மின்னழுத்த நிலையிலும் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தட்டுகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு 20,000 வோல்ட் அளவில் இருக்கும். தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள காற்று *X*-கதிர்கள் அல்லது புற ஊதாக் கதிர்கள் (ultra violet rays) கொண்டு அயனியாக்கம் செய்யப்படுகிறது.

*A*-யின் மீது தெளிக்கப்பட்ட திவலைகளில் சில, *A*-யில் உள்ள துளைகள் வழியாக கீழே இறங்கு தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள இடத்தை அடைகின்றன. அங்குள்ள அயனிகளில் சில அந்தத் திவலைகளுடன் ஒட்டிக்கொள்ள, திவலைகள் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன. ஆற்றல் மிக்க ஒளிமூலங்களின் உதவியால் தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள வெளி ஒளியூட்டப்படுகிறது. இடைவெளியிலுள்ள திவலைகள் நுண்ணோக்கியின் வழியே நோக்கப்படுகின்றன. இந்த நுண்ணோக்கியில் குறுக்கிழைகள் பொருத்தப்பட்டிருக்குமிடத்தில் ஒளிபுகு பொருளால் செய்யப்பட்ட அளவுகோல் ஒன்று வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. ஒளியூட்டப்பட்ட அச்சிறு திவலைகள் அளவு கோலைப் பின்னணியாகக் கொண்டு சிறு விண்மீன்களைப் போலத் தோன்றுகின்றன.

**திவலையின் ஆரம் காணல்**

எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற திவலை ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். இத்திவலை மின்புலத்தின் ஆட்சியினால், நேர்மின்னழுத்தம் உள்ள *A* என்ற தகட்டை நோக்கி மேலே எழும்பும். ஆனால், அதன் எடை அதனைக் கீழ்நோக்கி அமிழ்த்தும். மின்புலத்தின் செறிவினைத் தக்கவாறு சீர்செய்து திவலை சமநிலை பெறுமாறு செய்யலாம். அப்போது

$$Xe = mg \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு $m$ என்பது திவலையின் நிறையாகும். திவலையின் ஆரம் '$a$' என்றும் எண்ணெயின் அடர்த்தி $\rho$ என்றும் கொண்டால்

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3\rho \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே } Xe = \frac{4}{3}\pi a^3\rho g \qquad \text{—(1)}$$

இந்நிலையில் மின்புலத்தை முற்றிலும் நீக்கிவிட்டு, அதே திவலை புவியீர்ப்பு விசையின் ஆட்சியில் கீழிறங்குமாறு செய்தால் அத்திவலை அப்போதிருக்கும் ஊடகத்தின் **பாகுநிலைச் செயல்** (viscous action) காரணமாக சீரான திசைவேகத்துடன் கீழிறங்கக் காணலாம். நுண்ணோக்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் அளவுகோலின் உதவியால் அத்திவலையின் திசைவேகமாகிய $v$ ஐ அளவிடலாம். ஊடகத்தின் பாகுநிலை எண் (Coeff. of viscosity) $\eta$ என்றால் ஸ்டோக் வாய்பாட்டின்படி (Stoke's formula)

$$mg = 6\pi\eta av \text{ ஆகும்.}$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3\rho g = 6\pi\eta av$$

$$a^2 = \frac{6\pi\eta v}{4/3\pi\rho g}$$

$$= \frac{9\eta v}{2\rho g}$$

$$a = \left(\frac{9\eta v}{2\rho g}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{—(2)}$$

மேற்கண்ட $a$''-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$Xe = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{9\eta v}{2\rho g}\right)^{3/2}\rho g$$

$$e = \frac{\frac{4}{3}\pi \left( \frac{9\eta v}{2\rho g} \right)^{3/2} \rho g}{X}$$ நிலை மின் அலகுகள்

மில்லிக்கன் திவலை கீழிறங்கும் வேகத்தினை முதலில் அது புவி ஈர்ப்பின் ஆட்சியில் மட்டும் இருக்கும் போதும், பின்னர் புவி ஈர்ப்பு மற்றும் மின்புலம் இவற்றின் கூட்டாட்சியிலிருக்கும் போதும் கணக்கிட்டார், புவிஈர்ப்பின் கீழ் ஒரு திவலையின் வேகம் '$v$' என்றும், கூட்டாட்சியின் கீழ் அதே திவலையின் வேகம் ஒரு சமயத்தில் $v_1$ என்றும் இன்னொரு சமயத்தில் $v_2$ என்றும் கொள்வோம். [$v_1$ என்ற வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் திவலை வழியில் இன்னும் சில அயனிகளைப் பிடிக்க நேர்ந்தால் அதன் மீது செயற்படும் மின்புலவிசை மாற அதன் திசைவேகம் மாறும் என அறிக] அதன் வேகம் $v_1$ ஆக இருக்கையில் திவலையின் மின்னூட்டம் $en_1$ என்றும், $v_2$ ஆகஇருக்கையில் $en_2$ என்றும் கொள்வோம். திவலையுடன் $n_1$ அயனிகள் ஒட்டிக் கொள்வதால் மின்னூட்டம் $en_1$ ஆகவும், $n_2$ அயனிகள் ஒட்டிக் கொள்வதால் $en_2$ ஆகவும் ஆகிறது.

புவி ஈர்ப்பு ஆட்சியில்

$$mg \propto v \qquad —(3)$$

கூட்டாட்சியில்

$$Xen_1 - mg \propto v_1 \qquad —(4)$$

$$Xen_2 - mg \propto v_2 \qquad —(5)$$

இச்சமன்பாடுகளில் (4) ஐ (3) ஆல் வகுக்க.

$$\frac{Xen_1 - mg}{mg} = \frac{v_1}{v}$$

$$\frac{Xen_1}{mg} = \frac{v_1 + v}{v}$$

$$en_1 = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_1 + v}{v}\right) \qquad —(6)$$

இவ்வாறே $en_2 = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_2 + v}{v}\right)$ —(7)

சமன்பாடுகள் (6) மற்றும் (7) இவற்றிலிருந்து

$$en_1 - en_2 = \frac{mg}{X}\left(\frac{v_1 - v_2}{v}\right)$$

மில்லிக்கன் பல்வேறு திவலைகளைக் கொண்டு ஆய்வுகள் நடத்திக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட $(en_1 - en_2)$ மதிப்புகளுக்குள்ளே, சிறும மதிப்பினை (minimum) எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டமாக கொண்டார். இவ்வாறு மில்லிக்கன் கண்ட $e$ ன் மதிப்பு $1.59 \times 10^{-20}$ மின் காந்த அலகுகள் அல்லது $4.803 \times 10^{-10}$ நிலைமின் அலகுகள் ஆகும்.

குறிப்பு: திவலை காற்றில் மிதப்பதால் அதன் எடையில் ஆர்க்கிமிடீசின் தத்துவப்படி ஏற்படும் எடைக் குறைவைக் கணக்கிட்டு, அதன் தோற்ற எடையைத்தான் $mg$ என எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். காற்றின் அடர்த்தி $\sigma$ என்றால்

திவலையின் எடை $= \frac{4}{3} \pi a^3 (\rho - \sigma) g$ ஆகும

மில்லிக்கன் தமது ஆய்வினை 1909-ல் தொடங்கி, ஆய்வின் முடிவினை 1916-ல் வெளியிட்டார். ஆயிரக்கணக்கான திவலைகளை நோக்கி ஆராய்ந்த அவர், எந்த ஒரு திவலையும் எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை விடக் குறைவான ஒரு மின்னூட்டத்தைப் பெறவில்லை என அறிந்தார். திவலைகள் பெற்ற மின்னூட்டம் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் முழுஎண் மடங்குகளாகவே இருக்கக் கண்டார். இவற்றைக் கண்ணுற்ற மில்லிக்கன் பருப்பொருளுக்கு அணுத்தன்மை காணப்படுகிறது போலவே மின்சாரத்திலும் (ஆற்றலிலும்) அணுத்தன்மை இருக்கிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தார்.

## எலெக்ட்ரானின் நிறை (Mass of electron)

மில்லிக்கன் கண்ட எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டமாகிய '$e$' ன் மதிப்பு, தாம்சன் கண்ட எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத் தகவாகிய $\frac{e}{m}$ -ன் மதிப்பு ஆகியவற்றிலிருந்து எலெக்ட்ரானின் நிறையாகிய '$m$' ஐக் காணலாம். எலெக்ட்ரானின் நிறையை நேரடியாகக் கண்டறிவதற்கான முறை ஏதும் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை.

$e = 4.803 \times 10^{-10}$ நி.மி. அலகுகள்

$= 1.601 \times 10^{-20}$ மி.கா. அலகுகள்

$\frac{e}{m} = 1.759 \times 10^{7}$ மி.கா. அ/கிராம்

$$\frac{e}{\frac{e}{m}} = m = \frac{1.601 \times 10^{-20}}{1.759 \times 10^{7}}$$

$= 9.103 \times 10^{-28}$ கிராம்

எலெக்ட்ரானின் நிறையை ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையுடன் ஒப்பிடல் :—

ஒரு கிராம் அணு ஹைட்ரஜன் 1·008 கிராம் ஒரு கிராம் அணுவில் $6{\cdot}03\times10^{23}$ அணுக்கள் இருக்கின்றன (இது அவகாட்ரோ எண் ஆகும்)

$$\text{எனவே, ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை} = \frac{1{\cdot}008}{6{\cdot}03\times10^{23}}$$

$$= 1{\cdot}671\times10^{-24} \text{ கிராம்.}$$

$$\frac{\text{எலெக்ட்ரானின் நிறை}}{\text{ஹைட்ரஜன் அணு நிறை}} = \frac{9{\cdot}103\times10^{-28}}{1{\cdot}671\times10^{-24}}$$

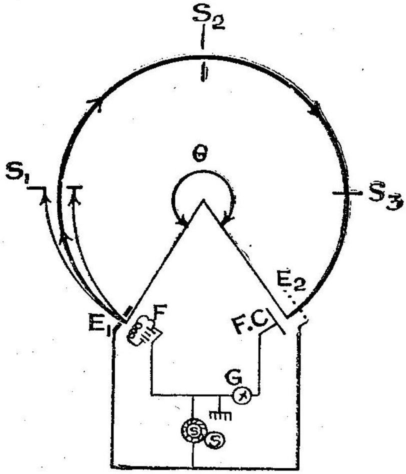
$$= \frac{1}{1836}$$

அதாவது எலெக்ட்ரான், ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையில் $\frac{1}{1836}$ பங்குதான் நிறையுடையது.

## எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காணல் டன்னிங்டன் முறை (Dunnington's method)

இது மிகத்துல்லியமான ஒருமுறை, படம் 6-ல் இம்முறையின் அடிப்படை விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. $F$ என்ற சூடேற்றப்பட்ட இழை வெப்ப அயனி வெளியீடு முறையில் எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடுகிறது. மிக அதிக அதிர்வு எண் கொண்ட மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கக்கூடிய வால்வு அலைவு இயற்றி (valve oscillator) அமைப்பு தருகின்ற மின்னழுத்தத்தால் எலெக்ட்ரான்கள் முடுக்கப் படுகின்றன. இவ்வாறு முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள், வெகுவாக வாயு நீக்கஞ்செய்யப்பட்ட அறை ஒன்றினுள் $S_1$ $S_2$..என்ற பல பிளப்புகளால் (slits) நிர்ணயிக்கப்படும் வட்டப்பாதை வழியாகச் செலுத்தப்படுகின்றன. படத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படும் சீரான காந்தப்புலம் $H$-ன் உதவியால் எலெக்ட்ரான்கள் வட்டப்பாதையில் செலுத்தப்படுகின்றன. இதனால் குறிப்பிட்ட திசைவேகங்கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே, நிர்ணயிக்கப்பட்ட அந்த வட்டப்பாதையின் வழியே சென்று பாதையின் மறுகோடியில் உள்ள மின்முனையை அடைய இயலும். வட்ட விற்பாதை அதன் மையத்தில் தாங்கும் கோணம் $\theta$ என்போம். வட்டப்பாதையின் ஆரம் '$r$' இழைக்கு அருகிலுள்ள $E_1$ என்ற மின்முனையிலிருந்து கிளம்பிய எலெக்ட்ரான்கள் பாதை

யின் மறுமுனையிலுள்ள $E_2$ என்ற மின்முனையிலுள்ள துளையைக் கடந்து $E_2$-க்கு பின்னால் வைக்கப்பட்டிருக்கும் $C$ என்ற ஃபாரடே உருளையில் விழுகின்றன. ஃபாரடே உருளையுடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கும் கால்வனுமீட்டர் எலெக்ட்ரானின் வருகையைக் காட்டுகிறது.




படம் 6

$E_1, E_2$ என்ற இரு மின்முனைகளுமே ஒரே உயர் அலைவியற்றித் தோற்றுவாயுடன் $(S)$ இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் $E_2$-ன் மின்னழுத்தம், $E_1$-ன் மின்னழுத்தம் மாறுகின்ற அதே அலைவுடன் மாறுதலடைகிறது. வட்டப்பாதையின் இறுதியிலுள்ள $E_2$ என்ற முனையை எலெக்ட்ரான்கள் அடையும்போது $E_2$-ன் மின்னழுத்தமும் அதன் கட்டமும் (phase) எலெக்ட்ரான்களின் வேகத்தை எதிர்த்து அவை ஃபாரடே உருளையை $(F{\cdot}C)$ அடையமுடியாமல் செய்வதாகக் கொள்வோம். இப்போது ஃபாரடே உருளையுடன் இணைக்கப்பட்ட கால்வனுமீட்டரில் விலக்கம் ஏதும் இருக்காது. நடைமுறையில் அலைவு இயற்றியின் அலைவு எண்ணை நிலையாகச் செய்துவிட்டு, காந்தப்புலத்தின் செறிவை மட்டும் படிப்படியாக மாற்றிக் கொண்டே செல்வார்கள், காந்தப்புலத்தின் வெவ்வேறு செறிவுகளுக்குரிய கால்வனுமீட்டர் விலக்கங்களைக் குறித்துக்கொண்டு, புலச்செறிவுக்கும், கால்வனுமீட்டரின் விலக்கத்திற்குமிடையில் வரைபடம் ஒன்று வரைவார்கள். அவ்வரைபடத்தில் விலக்கத்

திற்குரிய தெளிவான சிறுமதிப்பு கிடைக்கும். அச்சிறும மதிப்பிற்குரிய புலச்செறிவின் மதிப்பினை வரைபடத்திலிருந்து அறிந்து, அம்மதிப்புடைய காந்தப்புலத்தைச் செயற்படுத்தினால் நாம் விரும்பிய விளைவு ஏற்படும்.

இத்தகைய காந்தப்புலத்தின் செறிவு $H$ என்றும், அப்போது வட்டப்பாதையில் சென்று $E_2$ ஐ அடைந்தும் ஃபாரடே உருளையில் விழாது தடுக்கப்படுகின்ற எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் $v$ என்றும் கொள்வோம். வட்டப்பாதையில் செல்லும் ஓர் எலெக்ட்ரான் மீது காந்தப்புலம் தருகின்ற விசை $Hev$ ஆகும். எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதையில் செல்வதற்குத் தேவையான

மைய நாடு விசை $= \frac{mv^2}{r}$ ஆகும்.

எனவே $Hev = \frac{mv^2}{r}$

அல்லது $v = \frac{Her}{m}$ —(1)

எலெக்ட்ரான் $E_1$ ஐ விட்டுக் கிளம்புகின்ற நேரத்தில் $E_2$ நேர் மின்னழுத்த நிலையில் இருக்கிறது. எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதை வழியே சென்று $E_2$ ஐ அடைவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமும், நேர்மின்னழுத்த நிலையிலிருந்த $E_2$ எதிர்மின்னழுத்த நிலைக்கு வருவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமும் சமமாக இருப்பதால் தான் எலெக்ட்ரான் $E_2$ ஐ அடையும்போது $E_2$ ஆல் எதிர்க்கப்பட்டு உருளையை அடைய முடியாமல் போய்விடுகிறது.

அலைவு இயற்றியின் அலைவு நேரம் $T$ வினாடி என்றால், (+ஆக இருந்த முனை—ஆக மாறி, மீண்டும்+ஆக மாறுவதற்கு இடையில் செல்லும் காலம் $T$ வினாடிகள்) $E_2$ என்ற முனை + மின்னழுத்த நிலையிலிருந்து—மின்னழுத்தநிலைக்கு வர எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் $\frac{T}{2}$ வினாடிகள்.

வட்டவிற் பாதையின் நீளம் $= r\theta$

வட்டப்பாதையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் வேகம் $= v$

ஆகவே அதற்கு ஆகும் காலம் $= \frac{r\theta}{v}$ வினாடிகள்

இவ்விரு காலங்களும் சமமாக இருப்பதால்தான் கால்வனு மீட்டரில் விலக்கம் ஏற்படுவதில்லை எனக்கண்டோம் ஆகவே

$$\frac{T}{2} = \frac{r\theta}{v}$$

அல்லது $v = \frac{2r\theta}{T}$

அலைவு இயற்றியின் அலைவு எண் $f$ என்றால்

$T = \frac{1}{f}$ ஆகும்.

எனவே $v = 2r\theta \cdot f$ —(2)

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$\frac{Her}{m} = 2r\theta f$$

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{2\theta f}{H}$$

இச்சமன்பாட்டிலுள்ள $\theta$, $f$, $H$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைத் துல்லியமாக அளவிடக் கூடுமாகையால் இம்முறையில் பெறுகின்ற, எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு துல்லியமான ஒன்று என அறியலாம். அலைவு இயற்றியின் அலைவு எண் மாறாமலிருக்க குவார்ட்ஸ் படிகக் கட்டுப்பாடு (quartz crystal control) பயன் படுகிறது. இம்முறையில் பெற்ற $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்பு $1.7598 \times 10^7$ மி.கா. அலகுகள்/கிராம் ஆகும்.

# 3. நேர்மின் கதிர்கள்
## (Positive Rays)

துளையிடப்பட்ட எதிர்முனைத்தகடு பொருத்தப்பட்ட மின்னிறக்கக் குழாயில் 1 மி. மீ. வாயு அழுத்தத்தில் மின்னிறக்க ஆய்வுகள் நடத்தியபோது, கோல்ட்ஸ்டீன் (Goldstein) என்ற ஜெர்மானிய இயற்பியல் மேதை, எதிர்முனைக்குப் பின்னால் பொலிவுமிக்க ஒளிப்பாதைகள் சிலவற்றைக் கண்டார். அவை எதிர்மின் கதிர்கள் செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில், எதிர்முனைத் தகட்டிலுள்ள துளைகள் வழியே புகுந்து செல்லுகின்ற புதுவகைக் கதிர்க்கற்றைகளாகத் தோன்றின, அவற்றை அவர் கால்வாய்க்கதிர்கள் (Canal rays) எனப் பெயரிட்டார். எதிர் முனைத்தகட்டிலுள்ள வாய்கள்—அதாவது துளைகள்—வழியே வெளிவந்ததால் அவை கால்வாய்க் கதிர்கள் எனப்பட்டன. (படம் 7)

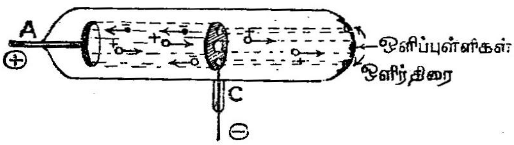
### கால்வாய்க் கதிர்களின் பண்புகள்

1. கால்வாய்க் கதிர்கள் நேர்கோட்டில் செல்லுகின்றன.
2. இக்கதிர்கள் ஒளிர்திரையில் பட்டுச் சுடரொளி எழுப்பு கின்றன.
3. இக்கதிர்கள் ஒளிப்படத் தகடுகளைப் பாதிக்கின்றன.
4. குழாயிலுள்ள வாயுக்களைத் தாக்கி அவற்றை வண்ண ஒளி உமிழச் செய்கின்றன. இவை உமிழச் செய்யும் ஒளியின் நிறம் எதிர் மின்கதிர்கள் உமிழச் செய்யும் ஒளியின் நிறத்திலிருந்து மாறுபடுகிறது.
5. இக்கதிர்கள் திண்பொருள்களின் மீது பட்டால், எதிர்மின் கதிர்களைப் போன்று எக்ஸ்—கதிர்கள் உண்டாவது இல்லை.

6. இக்கதிர்கள் மின்புலம், காந்தப்புலம் இவற்றால் விலக்கமடைகின்றன. இவை பெறும் விலக்கத்தின் போக்கிலிருந்து இக்கதிர்கள் நேர்மின்னூட்டமுடைய துகள்களைக் கொண்டிருக்கின்றன எனத்தெரிகிறது. எனவே, இக்கதிர்கள் நேர்மின்கதிர்கள் (Pcsitive rays) என்று வழங்கப்படுகின்றன.

## நேர்மின்கதிர்கள் எவ்வாறு உண்டாகின்றன ?

மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள வாயு அயனியாக்கம் செய்யப்படுவதால் மின்னிறக்கம் நடைபெறுகிறது எனக் கண்டோம்; அயனியாக்கம் நடைபெறும்போது மின்னூட்டமற்ற நிலையிலுள்ள அணு அல்லது மூலக்கூறிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் பிய்த்து எடுக்கப்படுகிறது. எனவே, மிகுந்துள்ள அணு அல்லது மூலக்கூறு நேர்மின்னூட்டமுடைய ஓர் அயனியாகிவிடுகிறது. இந்த நேர்மின் அயனியின் மின்னூட்ட அளவு எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட அளவிற்குச் சமமாகவும் ஆனால் எதிர்க்குறி (+குறி) யும்




படம் 7

பெற்றிருக்கும். எலெக்ட்ரான்கள் எடை மிகுந்த நேர்மின் அயனிகளைவிட அதிகமான வேகத்தைப் பெறுகின்றன. கனமான, எளிதில் நகர முடியாத நேர்மின் அயனிகள் மின்புலத்தின் செறிவிற்கும், தங்கள் நிறைக்கும் ஏற்ப ஓரளவு வேகம் பெற்று எதிர் முனைத் தகட்டை அடைந்து அதிலுள்ள துளைகள் வழியே வெளியேறிக் கால்வாய்க் கதிர்களாகத் தோற்றமளிக்கின்றன. நேர்மின் கதிர்களைத் தோற்றுவிப்பதற்கு மின்னிறக்கக் குழாயில் குறைந்த வாயு அழுத்தமும், மிக்கச் செறிவுடைய காந்தப்புலமும், துளையிட்ட எதிர்மின் முனைத் தட்டும் தேவை.

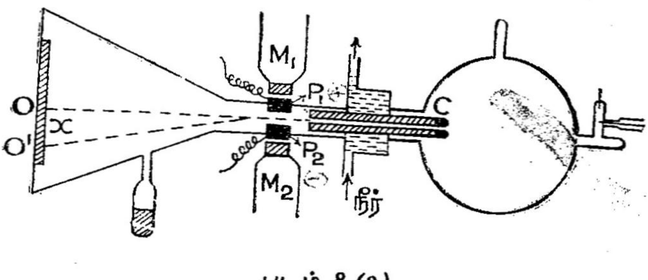
## நேர்மின் கதிர்த்துகளின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காணல்

எதிர்மின் கதிர்களில் காணப்படும் துகள்கள் எல்லாம் எலெக்ட்ரான்களேயாகும். ஆனால், வாயு அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் எலெக்ட்ரான்களை இழந்து மின்னூட்டமுற்று

நேர்மின் கதிர்த்துகளாக மாறுகின்றன. ஆகவே, நேர்மின் கதிர்த் துகள்களில் ஒரே அளவு மின்னூட்டமும் வேறுபட்ட நிறையும், ஒரே அளவு நிறையும் வேறுபட்ட மின்னூட்டமும் உடைய துகள்கள் இருக்கக்கூடும். எனவே நேர்மின் துகள்களின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காண்பது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காண்பதைவிடச் சிறிது சிக்கல் வாய்ந்தது என உணரலாம்.

## J. J. தாம்சன் கண்ட பரவளைய முறை
## (J. J. Thomson's Parabola method)

இம்முறை அடிப்படையில் எலெக்ட்ரான்களின் $\frac{e}{m}$ மதிப்புக் காண்பதற்கு, தாம்சன் பயன்படுத்திய முறை போன்றதேயாகும். நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட அயனிகளின் கற்றை ஒன்றை ஒரே சமயத்தில், சீரான செறிவு கொண்ட ஒன்றுக்கொன்று இணையாய் அமைந்த மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் இவற்றின் வழியே செலுத்தி, இதனால் ஏற்படும் விளைவுகளை ஒளிப்படத்தகட்டில் பதிவு செய்து அப்பதிவுகளைக் கொண்டு அயனிகளின் $\frac{e}{m}$ மதிப்புக் காண்பதே இம்முறையாகும்.




படம் 8 (a)

தாம்சனின் ஆய்கருவி படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கும் அமைப்பினைக் கொண்டது, இம்முறையில் பயன்படுத்தப்படும் மின்னிறக்கக் குழாய், வெகுவாக வாயு நீக்கம் செய்யப்பட்டு ஆய்வுக்கான வாயு சிறிதளவு மட்டும் உள்ளடக்கிக் கொண்டிருக்கிறது. இதில் பயன்படுத்தப்படும் எதிர்மின்வாயாகிய C என்பது ஓர் உலோக உருளையாகும். அவ்வுருளை அதன் அச்சின் போக்கில் மெல்லிய 0·01 மி. மீட்டர் முதல் 0·1 மி. மீ. வரை விட்டமுடைய சிறிய சீரான துளையுடையது. இதனால் மெல்லிய நேர்மின் கதிர்க்

கற்றை ஒன்று கிடைக்கிறது. இக்கதிர்க்கற்றை மின்புலத்தைத் தருகின்ற $P_1$ $P_2$ என்ற இணைத்தகடுகளுக்கு இடையே செலுத்தப் படுகிறது. மின்புலமுள்ள அதே இடத்தில் மின்புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாக, காந்தப்புலம் ஒன்றைத் தருவதற்கேற்ற மின் காந்தம் ஒன்று ($M_2$ $M$) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மின்னிறக்கக் குழாயின் மறு முனையில் ஒளிர்திரை ஒன்று அமைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்புலம், காந்தப் புலம் ஆகியவை செயல்படாத போது நேர்மின் கற்றை ஒளிர்திரையில் '$O$' என்ற இடத்தில் பட்டு அங்கு ஒளிப் புள்ளி ஒன்றைத் தோற்றுவிக்கும். ஒளிர் திரைக்குப் பதிலாக அவ்விடத்தில் ஒளிப்படத்தகடு ஒன்றை வைத்தால் ஒளிப்படத் தகட்டில் அப்புள்ளியின் படம் விழும்.

நேர்மின் கதிர்க்கற்றையில் உள்ள ஏதோ ஓர் அயனியை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் மின்னூட்டம் $e$ என்றும் நிறை $M$ என்றும் கொள்வோம். அந்த அயனி $v$ என்ற திசைவேகத்துடன் செல்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். எந்த ஒரு புலமும் இல்லாத போது அயனிக்கற்றை நேரே சென்று ஒளிப்படத்தகட்டில் விழுகின்ற $O$ என்ற புள்ளிக்கு விலக்க முறுப் புள்ளி (undeflected spot) என்று பெயர்.

$X$ என்ற செறிவு கொண்ட மின்புலம் மட்டும் செயல்படும் போது அயனிக்கற்றை $P_2$ என்ற எதிர் மின்னழுத்தத் தகட்டை நோக்கி விலக்கப்படுவதால் கற்றை $O$ என்ற விலக்கமுறுப் புள்ளி யிலிருந்து $x$ தூரத்திலமைந்த வேறொரு புள்ளியில் படும் $x$ என்னும் தூரத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

மின்புலத்தினுள் அயனி செல்லும் பாதையின் நீளம் $l$ என்றும், அது மின்புலத்தைக் கடந்து செல்வதற்கு ஆகும் காலம் $t$ என்றும் கொள்வோம். அயனியின் வேகம் $v$ ஆகையால் $t=\frac{l}{v}$ ஆகும். இந்த $t$ என்ற காலத்தில் அயனி தன் நேர்பாதையிலிருந்து விலகி, மின்புலத்தின் திசையில் பெற்ற இடப்பெயர்ச்சி $s$ என்றால் $s=ut+\frac{1}{2}at^2$ என்ற பொது வாய்ப்பாட்டில் $u=o$, $a=\frac{Xe}{M}$, $t=\frac{l}{v}$ என பதிலீடு செய்ய

$$s=\frac{1}{2}\cdot\frac{Xe}{M}\cdot\left(\frac{l}{v}\right)^2 \text{ என்றாகும்.}$$

புலத்தை விட்டு நீங்கும் போது அது பெற்ற இடப்பெயர்ச்சி $s$ ஆகும். ஆனால், புலத்தை விட்டு நீங்கிய பின்னர் அயனி அதன் புதிய திசையில் நேரே சென்று ஒளிப்படத்தகட்டில் விலக்கமுறாப் புள்ளியிலிருந்து $x$ தூரத்தில் உள்ள புள்ளியில் மோதுகிறது. எனவே $x$ என்பது $s$-க்கு நேர்விகிதத் தொடர்புடையதாக இருக்கும்.

$$x \propto s$$

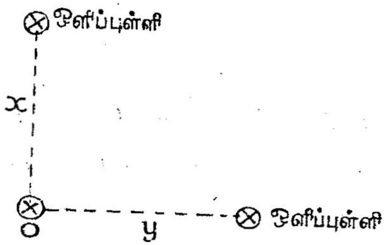
$$x = ks$$

$$= k.\tfrac{1}{2}\ \frac{xe}{M}\ \frac{l^2}{v^2}$$

$$= k_1\ \frac{xe}{Mv^2} \qquad \text{—(1)}$$

[இங்கு $\frac{kl^2}{2} = k_1$ என்ற மாறிலியைக் குறிக்கிறது. மேலும் $k$ என்ற மாறிலி, $l$ என்ற பாதையின் நீளம், ஒளிப்படத் தகட்டிற்கும் மின்புலத்தின் ஆரம்பப்புள்ளிக்குமிடையே உள்ள தூரம் இவற்றைக்கொண்டு கணக்கிடப்படுகிறது ]

மின்புலத்திற்குப் பதிலாக $H$ என்ற செறிவினையுடைய காந்தப் புலத்தை மட்டும் செயற்படச் செய்வோம். காந்தப்புலம் மின்புலம் செயற்பட்ட அதேதிசையில், ஆனால் அயனியின் தொடக்கப் பாதைக்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படுகிறது என்பதை நினைவில் வைப்போம். 'ஃப்ளமிங்'கின் இடக்கை விதிப்படி அயனி அதன் தொடக்கப்பாதை மற்றும் காந்தப்புலத்தின் திசை இவை இரண்டிற்குமே செங்குத்தாக அமைந்த திசையில் விலக்கப்படும் என்பதை உணரலாம். இதன் காரணமாக, அயனி ஒளிப்படத் தகட்டில் விலக்கமுறாப் புள்ளியிலிருந்து '$y$' தூரத்தில் விழும்.




படம் 8 (b)

$x$ மற்றும் $y$ என்னும் இடப்பெயர்ச்சிகள் படத்தில் காட்டிய வாறு ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசைகளில் அமைந்திருக்கும்.

காந்தப்புலத்தில் அயனி செல்லும் பாதையின் நீளம் $l'$ என்றும் அயனி புலத்தைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் $t'$ என்றும் கொண்டால் $t' = \frac{l'}{v}$. காந்தப்புலத்தினல் அயனி பெற்ற இடப்பெயர்ச்சி $s'$ என்போம்.

$s' = ut' + \frac{1}{2}at'^2$ என்னும் வாய்ப்பாட்டில் $u = o$, $a = \frac{Hev}{M}$ மற்றும் $t' = \frac{l'}{v}$ என பதிலீடு செய்ய

$$s' = \frac{1}{2} \cdot \frac{Hev}{M} \cdot \left(\frac{l'}{v}\right)^2$$ என ஆகும்.

காந்தப்புலத்தை விட்டு நீங்கியவுடன் அயனி அதன் புதிய திசையில் நேர்கோட்டில் சென்று ஒளிப்படத்தகட்டில் விலக்கமுறுப் புள்ளியிலிருந்து $y$ தூரத்தில் விழுகிறது.

எனவே $y \propto s'$

$$y = k's'$$

$$= k' \cdot \tfrac{1}{2} \cdot \frac{Hev}{M} \cdot \frac{l'^2}{v^2}$$

$$y = k_2 \cdot \frac{He}{Mv} \qquad \text{—(2)}$$

இங்கு $k_2 = \frac{k'l'^2}{2}$ ஐக் குறிக்கிறது.

விலக்கமுறுப்புள்ளியை ஆயத்தொடக்கமாகக் (origin) கொண்டால், மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவை அயனிகளின் மீது ஒரே சமயத்தில் செயல்படும்போது உண்டாகும் விளைவு இடப்பெயர்ச்சியின் ஆயத்தொலைவுகள் (co-ordinates) $(x,y)$ எனக் கூறலாம்.

சமன்பாடுகள் (1), (2) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$\frac{y}{x} = \frac{K_2He}{Mv} \cdot \frac{Mv^2}{k_1Xe}$$

$$= \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{H}{X} \cdot v \qquad \text{—(3)}$$

$$\frac{y^2}{x} = \frac{K_2^2.H^2e^2}{M^2v^2} \cdot \frac{Mv^2}{K_1Xe}$$

$$= \frac{K_2^2}{K_1} \cdot \frac{H^2}{X} \frac{e}{M} \qquad —(4)$$

என்னுமிரு சமன்பாடுகளைப் பெறலாம். சமன்பாடு (4) லிருந்து குறிப்பிட்ட $\frac{e}{M}$ மதிப்பினைக்கொண்ட அயனிகளுக்கு $\frac{y^2}{x}$ = மாறிலி என அறிகிறோம். அதாவது

$y^2 = px$ என்ற சமன்பாடு கிடைக்கிறது. இது பரவளையத்திற்கான (Parabola) பொது சமன்பாடாகும்.

மேலும் சமன்பாடு (3)-லிருந்து $\frac{y}{x}$-ன் மதிப்பு $v$ ன் மதிப்பினைப் பொறுத்து அமையுமென்பதையும், ஆகவே அயனியின் திசைவேகம் மாறினால் அது ஒளிப்படத்தகட்டில் விழும் இடமும் மாறும் என்றும் அறிகிறோம். $v$ அதிகமாகும்போது அது மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலத்தை விரைவில் கடந்து சென்று விடுமாகையினால்—அதாவது அயனிப்புலங்களின் ஆட்சிக்கு உட்படும் காலம் குறைந்துவிடுவதால், அயனிபெறும் இடப்பெயர்ச்சியும் குறைந்து விடும். அதிக வேகமுடைய அயனிகள் விலக்க முறுப்புள்ளிக்கு அருகிலேயும், குறைந்த வேகமுடைய அயனிகள் விலக்க முறுப்புள்ளியிலிருந்து தொலைவிலேயும் விழும் என்பதை அறிக.

**எனவே, ஒரே $\frac{E}{M}$ மதிப்பும் ஆனால் வெவ்வேறு திசை வேகங்களும் கொண்ட பல்வேறு அயனிகள் ஒளிப்படத்தகட்டில் பதிக்கின்ற புள்ளிகளின் நியமப்பாதை (locus) ஒரு பரவளையமாக உருவங் கொள்ளும்.**

இவ்வாறு ஒளிப்படத்தகட்டில் பதிவாகும் பரவளையச் சுவட்டின் ஆயத் தொலைவுகளை அளந்து, அவற்றையும் தெரிந்த மதிப்புகளாகிய $w, H, X, K_1$ மற்றும் $K_2$ ஆகியவற்றையும் சமன்பாடு (4)-ல் பதிலீடு செய்து நேர்மின் அயனிகளின் $\frac{e}{M}$ மதிப்பினைப் பெறலாம்.

$$\frac{e}{M} = \frac{y^2}{x} \cdot \frac{K_1}{K_2^2} \cdot \frac{X}{H^2}$$

நேர்மின் கதிர்க்கற்றையில் உள்ள அயனிகள் ஒரு தன்மையன அல்ல எனக்கண்டோம். ஒரே அளவுடைய மின்னூட்டமும் ஆனல் வெவ்வேறு நிறையும், ஒரே அளவுடைய நிறையும் ஆனல் வேறுபட்ட மின்னூட்டமும் கொண்ட அயனிகள் இருக்கக்கூடும். இவை தனித்தனியாக பரவளையச் சுவடுகளைத் (traces) தோற்று விக்கின்றன. சுவடுகளைக் கூர்ந்து நோக்கக்கூடிய கண்கள் இச்சுவடு களில் மாறுபட்ட நிறையினல் உண்டானவை எவை எவை எனவும் அறிவது எளிது.

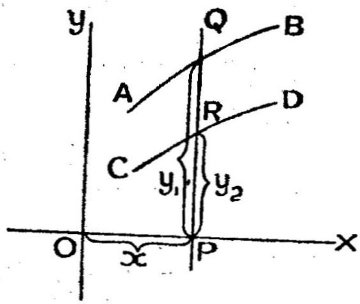
ஆய்வுக்கு எடுத்துக்கொண்ட வாயுவுடன் தெரிந்த வாயு ஒன்றையும் நிரப்பி இச்சோதனையைச் செய்தால், தெரியாத வாயு தருகின்ற பரவளையச்சுவடுகளோடு தெரிந்த வாயு தருகின்ற ஒரு சுவடும் இருக்கும். அச்சுவட்டினை இனங்கண்டு கொண்டு அத்துடன் மற்ற பரவளையங்களை ஒப்பிட்டு நோக்கித் தெரியாத அயனிகளின் நிறையினைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

### பரவளையச் சுவடுகளை ஆய்தல்

ஒரு வாயுவின் பரவளையச் சுவடுகளைப் பதிவு செய்யும்போது சிறிதளவு ஹைட்ரஜனையும் மின்னிறக்கக்குழாயினுள் செலுத்தி யிருந்தால் ஹைட்ரஜன் வாயு ஒளிப்படத்தகட்டில் தனக்குரிய பரவளையம் ஒன்றைப் பதித்துவிடுகிறது. இவ்வாறு கிடைத்த ஹைட்ரஜன் பரவளையத்தினையே மூல அளவாகக்கொண்டு ஆய்வுக் காக மின்னிறக்கக் குழாயினுள் அடைக்கப்பட்ட வாயுவின் அயனி களின் நிறையைப் பின்வருமாறு கணக்கிட்டறியலாம்.

8 (*c*) படத்தில் $AB$ என்ற சுவடு $M_1$ என்னும் நிறைகொண்ட ஹைட்ரஜன் அயனியின் பரவளையம் என்றும், $CD$ என்பது நமக்குத் தெரியாத $M_2$ என்னும் நிறையும் ஆனல், ஹைட்ரஜன் அளவே மின்னூட்டமுங்கொண்ட ஆய்வுக்கான அயனிகள் தரும் சுவடு என்றும் கொள்வோம். தனிமங்களுள் ஹைட்ரஜன் மிகவும் இலேசானது. எனவே, எந்த வாயு அயனியின் நிறையும் ஹைட்ரஜன் அயனியின் நிறையைவிட அதிகமாகவே இருக்கும். மேலும், கனமான அயனிகள் காந்தப்புலத்தினல் குறைந்த இடப்பெயர்ச்சியும், இலேசான அயனிகள் அதிக இடப்பெயர்ச்சியும் பெறுமாகையால், கனமான அயனிகள் தரும் சுவடு ஹைட்ரஜன் அயனிகள் தரும் சுவட்டிற்கு உள்ளடங்கியே இருக்கும்.

$P$, $OX$-க்கு வரையப்பட்ட $PQ$ என்ற குத்துக்கோடு $AB$, $CD$ என்ற சுவடுகளை முறையே $Q$, $R$ என்ற இடங்களில் வெட்டு கிறது. $OP=x$, $PQ=y_1$ $PR=y_2$ எனக்கொள்வோம்.




படம் 8 (c)

$Q$ என்பது $AB$ என்ற ஹைட்ரஜன் பரவளையத்திலிருப்பதால்

$$\frac{e}{M_1} = \frac{y_1^2}{x} \cdot \frac{K_1}{K_2^2} \cdot \frac{X}{H^2}$$ என்றும்

$R$ என்பது $CD$ என்ற ஆய்வுக்கான வாயுவின் பரவளையத்திலிருப்பதால்

$$\frac{e}{M_2} = \frac{y_2^2}{x} \cdot \frac{K_1}{K_2^2} \cdot \frac{X}{H^2}$$ என்றும்

எழுதலாம். எனவே,

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{y_1^2}{y_2^2}$$

$$= \frac{PQ^2}{PR^2}$$ ஆகும்,

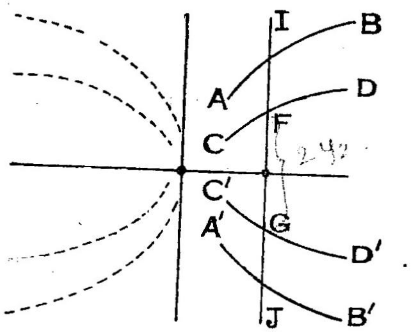
ஆய்வுக்கான வாயு அயனியின் நிறை

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{PQ^2}{PR^2}$$

ஆனல் $PQ$ மற்றும் $PR$ ஆகியவற்றை அளவிடுவது அவ்வளவு எளிதன்று. ஏனெனில், அங்கு ஒளிப்படத்தகட்டில் $X$ அச்சோ, $y$ அச்சோ குறிக்கப்பட்டிருக்காது. ஆயத்தொடக்கமாகிய $O$ என்பதும் ஒரு புள்ளியாகத் தோற்றமளிக்காமல் பல புள்ளிகள் சேர்ந்த சிறு திட்டாகக் காட்சியளிக்கும். இவ்விடர்ப்பாடுகள் பின்வருமாறு நீக்கப்படுகின்றன.

பரவளையங்களைப்பதிவு செய்வதற்காகும் நேரத்தின் முதற் பாதியில், காந்தப்புலம் ஒரு திசையில் செயல்படுமாறும், பிற்பாதி

யில் காந்தப்புலம் ஒரு திசையில் செயல்படுமாறும், பிற்பாதியில் முன்பு செயல்பட்ட திசைக்கு எதிர் திசையில் செயல்படுமாறும் செய்தால், 8 (*d*) படத்தில் காட்டியவாறு, *AB*, *CD* என்ற சுவடு களின் ஆடிப்பிம்பச்சுவடுகளைப் (**mirror image traces**) பெறலாம். *A'B' C'D'* என்பன *AB*, *CD* ஆகியவற்றின் ஆடிப்பிம்பச்சுவடு




படம் 8 (*d*)

களாகும். சுவடுகளும் அவற்றின் பிம்பச்சுவடுகளும் *x* அச்சு, *y* அச்சு ஆகியவற்றிற்குச் சமச்சீரமைவு (symmetrical) கொண்டன வாக இருக்குமாதலால் *x* அச்சு, *y* அச்சு ஆகியவற்றை வரைவது எளிது. ஆனல் இது அவசியமில்லை. ஏனெனில்

படம் 8(*d*)ல் $FG = 2y_2$ எனவும் $IJ = 2y_1$ எனவும் அறியலாம்.

$$\text{எனவே} \quad \frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{2y_1}{2y_2}\right)^2$$

$$= \left(\frac{IJ}{FG}\right)^2 \quad \text{ஆகும்.}$$

இவ்வாறு எந்த ஒரு நேர்மின் அயனியின் நிறையையும் ஹைட்ரஜன் அயனியின் நிறையின் அடிப்படையில் கூறலாம்.

### மின்னூட்டம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்டால்...?

மேலே குறிப்பிட்ட முறையில் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டமும் ஆய்வுக்கான வாயு அயனியின் மின்னூட்டமும் சமம் என வைத்துக்கொண்டிருந்தோம்—அதாவது அயனியாக் கத்தின் போது ஓர் எலெக்ட்ரானை இழந்து அதன் காரணமாக ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற அயனியைப்பற்றிக் கூறினோம்.

அயனியாக்கத்தின் போது ஆய்வுக்கான வாயு மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை இழக்க நேரிட்டால் பல்மடங்கு அயனியாக்கப்பட்ட (multiply ionsed) நேர்மின் அயனிகள் கிடைக்கும். இவற்றின் மின்னூட்டம் $2e$, $3e$ என்னும் அளவுடையதாக இருக்குமாகையால் இவை பெறும் இடப்பெயர்ச்சியும், அதனால் பெறப்படுகின்ற பரவளையமும் மாறுபடும். எடுத்துக்காட்டாக இருமடங்கு மின்னூட்டங் கொண்ட அயனி ஒன்றை எடுத்துக்கொண்டால் அதன் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு $\frac{2e}{M}$ ஆகும். இதனை $\frac{e}{M/2}$ என்றும் எழுதலாம் அல்லவா? இதிலிருந்து $2e$ மின்னூட்டமும் $M$ நிறையும் கொண்ட அயனியும் $e$ மின்னூட்டமும் $M/2$ நிறையும் கொண்ட அயனியும் ஒரே அளவுடைய இடப்பெயர்ச்சியை பெறும் என்றும், எனவே அவை தருகின்ற பரவளையச்சுவடுகள் ஒளிப்படத்தகட்டில் ஒரே இடத்தில் அமையுமென்றும் அறியலாம். ஆக்ஸிஜன் வாயுவைக் கொண்டு ஆய்வுகள் நடத்தியபோது அதில் ஒருமடங்கு அயனி யாக்கம் செய்யப்பட்ட அயனிகளும் இருமடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட அயனிகளும் இருந்தன. ஒளிப்படத்தில் ஒரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட அயனிகள் தந்த செறிவுமிக்க பரவளையச் சுவட்டுடன் ஆக்சிஜன் அணுவின் நிறையில் பாதியளவு நிறையுடைய அயனிக்கு உரிய இடத்தில் மங்கலான பரவளையச் சுவடு ஒன்றும் காணப்பட்டது. இது இருமடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட சிறிய எண்ணிக்கையுடைய அயனிகள் தந்த சுவடாகும்,

## தாம்சன் சோதனையின் விளைவுகள்

1. மின்னிறக்கக் குழாயில் அடைப்பட்ட வாயுவின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் எலெக்ட்ரானை இழப்பதன் மூலம் நேர் மின்னூட்டம் பெற்று நேர்மின் கதிர்த்துகள்கள் எனப்பெயர் பெறுகின்றன.

2. நியான் வாயுவை அடைத்து நடத்திய சோதனையில், ஒளிப்படத்தகட்டில் நியானின் அணுஎடையாகிய 20·2-க்கு உரிய இடத்தில், ஒரேஒரு பரவளையச் சுவடு காணப்படுவதற்குப்பதிலாக 20,22 என்ற நிறைகளுக்குரிய இடங்களில் இரு பரவளையச் சுவடுகள் காணப்பட்டன. நியான் 20-க்கு உரிய சுவடு செறிவு மிக்க தாகவும், நியான் 22-க்கு உரிய சுவடு மங்கலாகவும் இருந்தன. இதிலிருந்து நியான் 20 அதிக அளவில் இருக்கிறது என ஊகித்து அறியலாம். மேலும் இரசாயான முறைகளினால் பிரிக்க முடியாததும், ஒரே மாதிரியான இரசாயனப் பண்புகளைக்

கொண்டதுமான இருவேறு உருவங்களை நியான் கொண்டிருக்கிறது என அறிகிறோம். ஒரே ரசாயனப் பண்பைக்கொண்ட எடையினால் மட்டும் மாறுபடுகின்ற தனிம உருவங்களை ஐசோடோப்புகள் (Isotopes) என்கிறோம். ஒரு தனிமத்தின் இரசாயனப் பண்புகள் அதன் அணு எண்ணால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் எல்லாம் ஒரே அணு எண்ணைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஆனால், ஒரே மாதிரியான இரசாயனப் பண்புகளைக்கொண்ட இந்த அணுக்கள் எல்லாம் ஒரே அளவுடைய நிறையைக் கொண்டிருக்க வேண்டுமென்ற அவசியம் இல்லை. ஆகவே, அவற்றின் நிறை எண்கள் மாறுபடலாம். இவ்வாறு அணு எண்ணால் ஒத்தும், அணு நிறையால் மாறுபட்டும் காணப்படுகின்ற தனிம அணுக்களை ஐசோடோப்புகள் என்று அழைக்கிறோம். Isotope என்ற சொல் Iso = same, topas = place எனப் பொருள்படும் கிரேக்கச் சொற்களிலிருந்து பிறந்ததாகும். இவையெல்லாம் தனிம அட்டவணையில் ஒரே இடத்தில் காணப்படுகின்றன எனப் பொருள்படும்படி Isotopes என்று வழங்கப்படுகின்றன.

## தாம்சன் முறையின் குறைபாடுகள்

ஐசோடோப்புகளின் நிறைகளைத் துல்லியமாக அறிவதற்கோ, அரிய ஐசோடோப்புகளின் சுவடுகளைப் பெறுவதற்கோ தாம்சன் முறை ஏற்றதன்று. உண்மையில் நியானுக்கு மூன்று ஐசோடோப்புகள் உண்டு. $Ne^{21}$ என்பது மிகக்குறைந்த அளவில் (0.6%) காணப்படுவதால் அதன் சுவடு தாம்சன் முறையில் கிடைப்பது இல்லை. தாம்சன் முறையில் கிடைக்கும் பரவளையச்சுவடுகள் நுண்மையானவையாக இல்லாத காரணத்தால் தூரங்களை அளவிட்டு நிறையைக் கணக்கிடுவதில் தொல்லைகள் ஏற்படுகின்றன.

தாம்சன் முறையில் காணப்பட்ட குறைகளை நீக்க முனைந்த விஞ்ஞானிகள் நிறைமாலை வரைவிகள் (Mass Spectrographs) என்னும் கருவிகளைக் கண்டுபிடித்தனர். இதனால் பல மணிகளாக இருந்த பதிவுநேரம் சில நிமிடங்களாயிற்று. ஒரே மின்னூட்ட நிறைத்தகவும் (Specific charge) ஆனால் வெவ்வேறு திசைவேகங்களும் கொண்ட அயனிகள் ஒரு பரவளையக்கோட்டினை தருவதற்குப் பதில் ஒரு கூரிய புள்ளியைத்தான் தந்தன. இக்கருவிகளின் பிரிதிறன் (Resolving power) மிக அதிகமாக இருந்ததால் நிறையினால் சிறிது மாற்றமுடைய அயனிகளையும் இனங்காண முடிந்தது.

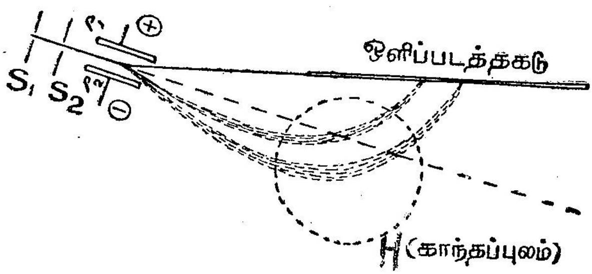
## ஆஸ்டன் அமைத்த நிறைமாலை வரைவி (Aston's Mass Spectrograph)

### இம்முறையின் அடிப்படை உண்மை

தாம்சன் முறையில் காந்தப்புலமும், மின்புலமும், ஒரே திசையில் ஒரே இடத்தில், ஒரே சமயத்தில் செயற்படுத்தப்பட்டன. ஆனால், ஆஸ்டன் முறையில் முதலில் மின்புலமும் அதற்குச் சிறிது தூரம்தள்ளி காந்தப்புலமும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசைகளில் ஆனால் ஏக காலத்தில் செயற்படுகின்றன. இதனால் மின்புலம் அயனிகளை அவற்றின் வேகத்திற்கு ஏற்பப் பல கூறுகளாகப் பிரிக்கவும் அவ்வாறு பிரிக்கப்பட்ட கூறுகளைக் காந்தப்புலம் ஒளிப்படத் தகட்டில் குவிக்கவும் முடிகிறது. ஒரே $e/M$ மதிப்புடைய எல்லா அயனிகளையும் ஒரு பரவலையத்தில் பரவச்செய்வதை விட ஒரு புள்ளியில் குவியச்செய்து ஒளிப்படம் எடுக்கும்போது, சுவட்டின் செறிவு அதிகமாக இருப்பதுடன் ஒளிப்படப் பதிவிற்கான காலமும் மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது. இம்முறையில் வெவ்வேறு திசைவேகமுடைய அயனிகள், தனிக்கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு, தனித்தனியே குவிக்கப்படுவதால் இம்முறையினை திசைவேகக் குவிய முறை (Velocity focussing method) என அழைப்பார்கள்.

படம் 9(a) ஆஸ்டன் நிறைமாலை வரைவியின் அமைப்பினைக் காட்டுகிறது. நேர்மின் கதிர்க்கற்றை ஒன்று $S_1S_2$ என்ற இரு மெல்லிய செவ்வகப் பிரிவுகளின் வழியே செலுத்தப்பட்டு மெல்லிய நேர்மின் கதிர்க்கற்றையாக வெளி வருகிறது. இக்கற்றை எதிரெதிரான மின்னூட்டங்களைப் பெற்று, மின்புலம் ஒன்றை நிலவச்செய்யும் $P_1P_2$ என்ற இணையான உலோகத்தகடுகளுக்கு இடையே செலுத்தப்படுகிறது. இங்குக் கற்றையிலுள்ள அயனிகள் அவற்றின் திசைவேக அளவிற்கு ஏற்ப விலக்கமுறுகின்றன. ஒரே $e/m$ மதிப்பும், ஆனால், வெவ்வேறு திசைவேகங்களையும் கொண்ட அயனிகள் ஒரு விரிக்கற்றைக் கூறாக பிரிகிறது. இவ்வாறே வெவ்வேறு $e/m$ மதிப்புகொண்டே அயனிகளும் வெவ்வேறு கூறுகளாகப் பிரிகின்றன. படம் 9(a)-ல் இருவகையான துகள்களைக் (அயனிகளை) கொண்ட கற்றை எவ்வாறு மின்புலத்தில் இருவேறு விறிகற்றைக் கூறுகளாகப் பிரிந்து பின்பு காந்தப்புலத்தினால் அவ்விரிகற்றை குவிக்கப்படுவது காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு கூறினுள்ளும் பலவேறு திசைவேகங்களை கொண்ட துகள்கள் வெவ்வேறு பாதைகளில் செல்கின்றன.

மின்புலத்தினுல் கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்ட நேர்மின் கதிர்க் கற்றை காந்தப்புலத்தினுள் நுழைகிறது. காந்தப்புலத்தின் போக்கு படத்தின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக, அதாவது, கற்றையின் போக்கு மற்றும் மின்புலத்தின் போக்கு இவை இரண்டிற்குமே செங்குத்தாக அமைந்துள்ளது. இதனுல், மின்புலம் கற்றையை எத்திசையில் விலக்கமுறச் செய்ததோ அதற்கு எதிரான திசையில் கற்றையை விலக்கமுறச் செய்யப்படுகிறது. விரிகற்றைகளாக் காந்தப்புலத்தினுள் நுழைந்த கூறுகள் குவிகற்றைகளாக வெளி யேறி, கணக்கிடப்பட்ட தூரத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள நீண்ட ஒளிப்படத்தகட்டின் மீது வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குவிகின்றன. (படம் 9(a))

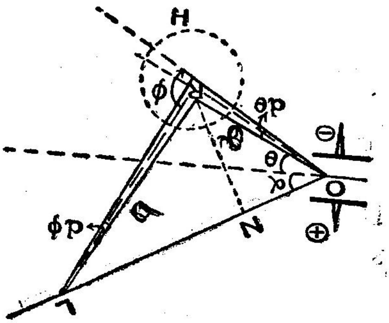



படம் 9 (a)

பதிவு செய்யப்பட்ட ஒளிப்படத்தகட்டை உருத்துலக்கிப் பார்த்தால் அதில் ஒளியியல் நிறமாலைப்படத்தில் காணப்படுவது போல கூரிய வரிகள் காணப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு வரியும் ஒவ்வொரு $e/m$ மதிப்புடைய அயனிகளால் உண்டாக்கப்பட்டது என அறிகிறோம். இவ்வாறு ஒளிப்படத்தகட்டில் பெற்ற வரிகளின் அமைப்பு **நிறைமாலை (Mass Spectrogram)** என்றும் இதனைத் தருகின்ற கருவி **நிறைமாலை வரைவி** (Mass Spectrograph) என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.)

விரிகற்றையாகக் காந்தப்புலத்தினுள் நுழையும் கூறுகள் குவிகற்றையாக வெளியே வந்து ஒளிப்படத்தகட்டின் மீது வெவ் வேறு புள்ளிகளில் குவியுமாறு செய்யப்படுகின்றன என்று கூறினேம். இதை எவ்வாறு அடைவது எனக்காண்போம். (குறிப்பிட்ட $e/m$ மதிப்பும், வெவ்வேறு திசைவேகங்களும் கொண்ட ஒரு கூறினை எடுத்துக்கொள்ளுவோம். இதிலுள்ள அயனிகள் திசைவேக மாறு பாட்டின் காரணமாகத் தனித்தனி பாதைகளில் வெவ்வேறு கோணங்களில் விலக்கமுறுகின்றன. கற்றையிலுள்ள அயனிகள்

பெற்ற விலக்கத்தின் குறைந்த மதிப்பு $\theta_1$ என்றும், அதிக விலக்கம் $\theta_2$ என்றும், இவ்விரு விலக்கங்களின் சராசரி $\frac{\theta_1+\theta_2}{2} = \theta$ என்றும் இவ்விரு விலக்கங்களின் வேறுபாடு $\theta_2 - \theta_1 = d\theta$ என்றும் கொண்டால் கற்றை பெற்ற விலக்கம் $\theta$ என்றும், கற்றையின் **பிரிகைக் கோணம் (angle of dispersion)** $d\theta$ என்றும் கூறுவர். இவ்வாறே கற்றை காந்தப்புலத்தில் பெறும் குறைந்த விலக்கம் $\phi_1$ என்றும் அதிகவிலக்கம் $\phi_2$ என்றும் கொண்டால் கற்றை காந்தப்புலத்தில் பெற்ற சராசரி விலக்கம் $\phi$ என்றும் அதன் **பிரிகை எதிர்கோணம் (Counter dispersion)** $d\phi$ என்றும் கூறலாம். (படம் 9b)




படம் 9 (b)

மின்புலத்தினுல் அயனிகள் பெறும் நீள இடப்பெயர்ச்சி $s$ என்றும், மின்புலத்தில் அயனிகள் செல்லும் பாதையின் நீளம் $l$ என்றும் கொண்டால்

$$s = \frac{1}{2} \frac{Xe}{M} \cdot \frac{l^2}{v^2} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனுல் $\theta = \frac{s}{l}$ ஆகும். எனவே

$$\theta = \frac{1}{2} \frac{Xe}{M} \cdot \frac{l}{v^2} \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறே $s'$ என்பது காந்தப்புலத்தினுல் அயனி பெறுகின்ற நீள இடப்பெயர்ச்சி என்றும் $l'$ என்பது காந்தப்புலத்தில் அயனிகளின் பாதை நீளம் என்றும் கொண்டால் $s' = \frac{1}{2} \frac{Hev}{M} \frac{l'^2}{v^2}$

ஆனுல் $\phi = \frac{s'}{l'}$ ஆகும்.

எனவே $\phi = \frac{1}{2} \frac{He}{Mv} . l'$ ஆகும்.

இவற்றை $\theta = C. \frac{e}{Mv^2}$ என்றும் —(1)

$\phi = D. \frac{e}{Mv}$ என்றும் —(2)

சுருக்கமாக எழுதிக்கொள்வோம். $C$ என்பது $\frac{Xl}{2}$ ஐயும்

$D$ என்பது $\frac{Hl'}{2}$ ஐயும் குறிக்கின்றன.

சமன்பாடு [(1)ஐ பகுப்பு செய்ய (**differentiating**)

$$d\theta = -2C. \frac{e}{Mv^3} . dv$$

$$= -2 \cdot \theta \frac{dv}{v} \quad \because \quad \theta = C. \frac{e}{Mv^2}$$

$$\therefore \frac{d\theta}{\theta} = -2 \cdot \frac{dv}{v}$$ ஆகும். —(3)

சமன்பாடு (2) ஐ பகுப்பு செய்ய

$$d\phi = -D. \frac{e}{Mv^2} . dv$$

$$= -\phi. \frac{dv}{v}$$

$$\frac{d\phi}{\phi} = -\frac{dv}{v}$$ என்றும் ஆகும். —(4)

சமன்பாடுகள் (3) மற்றும் (4) இவற்றிலிருந்து

$$\frac{d\theta}{\theta} = 2 \frac{d\phi}{\phi}$$ —(5)

என்பது கிடைக்கிறது. மின்புலத்தினுள் நுழைந்தவுடனேயே கற்றை விரிவடையத் தொடங்கிவிடும் என்றாலும், எளிமை கருதி, கற்றை மின்புலத்தின் மையத்தில் (*O*ல்) விரிவடையத் தொடங்குமென வைத்துக்கொள்வோம். அதுபோலவே, காந்தப்புலத்தின் தொடக்கத்திலேயே கற்றை ஒருங்கத் தொடங்கிவிடுமென்றாலும் அதன் மையப்புள்ளியாகிய *R* என்ற புள்ளியில் ஒருங்கத் தொடங்குவதாகவும், புலங்களின் ஆற்றல் அத்தனையும் இப்புள்ளிகளி

லேயே (O மற்றும் R) செறிந்து கிடப்பதாகவும் கொள்வோம். ஒளிப் படத்தகட்டில் கற்றை குவியும் புள்ளி $L$ என்போம்.

$OR=a$ என்றும் $RL=b$ என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். $O$ல் விரியத்தொடங்கி, $d\theta$ என்ற பிரிகை கோணத்துடன், $a$ தூரம் சென்று, காந்தப்புலத்தில் நுழையும்போது விரிகற்றையின் அகலம் $a \cdot d\theta$ ஆகும். இதற்கு மேலும், தொடர்ந்து அதே திசையில் சென்றால் விரிகற்றையின் அகலம் $(a+b)\, d\theta$ ஆகும் அல்லவா! இந்த விரிவினைத்தான், $R$ல் செயற்படும் காந்தப்புலம், படத்தில் தெளிவாகக் காட்டியிருப்பதுபோல ஒருங்கச்செய்து, $R$-லிருந்து $b$ தூரத்திலுள்ள $L$ என்ற புள்ளியில் ஒருங்கச்செய்கிறது. அதாவது, காந்தப்புலம் $(a+b)\, d\theta$ என்ற விரிவினை, $b\,(d\phi)$ என்பதால் ஈடுசெய்து விடுகிறது. எனவே, மின்புலத்தின் விரிவினை, காந்தப்புலம் ஒருங்கச்செய்ய வேண்டுமானால், $(a+b)\, d\theta = b . d\phi$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

அதாவது $$\frac{a+b}{b} = \frac{d\phi}{d\theta}$$
$$= \frac{\phi}{2\theta}$$
$$\frac{b}{a} = \frac{2\theta}{\phi-2\theta} \qquad \text{—(6)}$$

**ஒளிப்படத் தகடு வைக்கப்படவேண்டிய இடமும், அதன் கோண நிலையும் :—**

ஒளிப்படத்தகட்டின் தளம், படுகதிர் கற்றையின் திசையிலிருந்து $\alpha$ என்ற கோணத்தில் சாய்திருக்க வேண்டுமெனக்கொள்வோம். படத்தில் (9 $b$). $RN = a\, Sin\, (\theta+\alpha)$ ஆகும். இதையே $b\, Sin\, [\phi-(\theta+\alpha)]$ என்றும் எழுதலாம். கோணங்கள் சிறியவையாக இருப்பின்

$a\, Sin\, (\theta+\alpha) = a\,(\theta+\alpha)$ என்றும்

$b\, Sin\, [\phi-(\theta+\alpha)] = b\,[\phi-(\theta+\alpha)]$ என்றும் எழுதலாம்.

எனவே $RN = a\,(\theta+\alpha) = b\,[\phi-(\theta+\alpha)]$ —(7)

சமன்பாடுகள் (6) மற்றும் (7) ஆகியவற்றை ஒப்பிட

$$a\, 2\theta = a\,(\theta+\alpha)$$
$$2\theta = \theta+\alpha$$
$$\theta = \alpha$$

இவ்வாறே $b\,(\phi-2\theta) = b\,[\phi-(\theta+\alpha)]$

என்பதிலிருந்தும் $\theta=\alpha$ என அறியலாம்.

எனவே, காந்தப்புலத்தால் குவிக்கப்படும் கற்றைகள் ஒளிப்படத் தகட்டில் விழவேண்டுமென்றால் அதன் தளமும், மின்புலத்தால் விலக்கமுற்ற கற்றையும், கற்றையின் ஆரம்பதிசையிலிருந்து சம அளவில் எதிரெதிர் பக்கங்களில் சாய்ந்திருக்கவேண்டும். அதாவது கற்றை மின்புலத்தால் பெற்ற விலக்கம் $\theta$ எனில், விலக்கமுற்ற கற்றைக்கும் ஒளிப்படத்தகட்டின் தளத்திற்குமிடையே உள்ள கோணம் $2\theta$ ஆகும். காந்தப்புலத்தின் மையப்புள்ளியாகிய $R$ லிருந்து ஒளிப்படத்தகட்டின் தளத்திற்கு வரையப்படும் குத்துக் கோட்டின் பாதம் (foot) $N$ ஆகும். இதனை ஒப்புக்கேற்ற **அடிப் படை புள்ளி** (Fiducial point) என்பர். இந்த அடிப்படைப் புள்ளியிலிருந்து துகள்கள் ஒளிப்படத்தகட்டில் குவியும் புள்ளிக்கு உள்ள தூரம், அங்கு குவியும் துகள்களின் $\frac{m}{e}$ மதிப்பை பொறுத் திருக்கும். தெரிந்த $\frac{m}{e}$ மதிப்புடைய வாயு ஒன்று கலந்த வாயுக்கவின் கலவையைக்கொண்டு பெறப்பட்ட ஒளிப்படப்பதிவில் தெரிந்த அயனிக்குரிய வரியினை அறிந்து அதன் தூரத்தைக் கணக்கிட்டு, அதிலிருந்து தெரியாத மற்ற அயனிகளின் $\frac{m}{e}$ மதிப்பினை அறிய லாம். எடுத்துக்காட்டாக குளோரின் என்னும் இரசாயனத் தனி மத்தின் அணு எடை 35.46 ஆகும். இதனுடைய ஐசோடோப்புகளை யும் அவற்றின் ஒப்புமைச் செழிப்பினையும் நாம் அறிய விரும்பு வதாகக் கொள்வோம். ஆக்சிஜன் தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகள் நமக்குத் தெரியும் எனக்கொள்வோம். அது $O^+$, $O^{++}$ மற்றும் $O_2^+$ என்ற மூன்று வகை அயனிகளைத் தருகிறது அவற்றின் $\frac{m}{e}$ மதிப்பு முறையே 16,8 மற்றும் 32 ஆகும். இவ்வயனிகள் ஒவ்வொன்றும் ஒளிப்படத்தகட்டில் தங்களுக்குரிய இடத்தில் விரிவுகளைப் பதிவு செய்கின்றன. இவ்வாறே குளோரின் அயனிகளும் அவற்றிற்கு உரிய இடங்களில் வரிகளைத் தோற்றுவிக்கும். அடிப்படைப் புள்ளி யிலிருந்து 16: 8: 32 என்ற விகிதத்திலுள்ள தூரங்களில் அமைந்த வரிகள் $O^+$, $O^{++}$ மற்றும் $O_2^+$ என்ற அயனிகளுக்குரிய வரிகள் என்றும் மற்ற வரிகள் குளோரினுக்குரிய வரிகள் என்றும் அறிந்து கொள்ளலாம். இரசாயன குளோரினின் அணு எடை 35.46 என்றாலும் அந்த எடைக்குரிய இடத்தில் வரியேதும் இருப்பதில்லை. ஆனால் 35,37 என்னும் $\frac{m}{e}$ மதிப்புகளுக்குரிய இடங்களில் இருவரிகள் காணப்படுகின்றன. இவ்வரிகளின் செறிவு முறையே 76%, 24% ஆக இருக்கின்றன. இதிலிருந்து நாம் காணுகின்ற குளோரின் 35,

37 என்னும் நிறைகளைக்கொண்ட இரு ஐசோடோப்புகளின் கலவை என்றும், அக்கலவையில் அவை முறையே 76 : 24 என்ற விகிதத்தில் கலந்திருக்கின்றன என்றும், இரசாயன முறையில் நாம் காணும் அணுஎடை இக்கலவையின் சராசரி அணு எடை தான் என்பதையும் அறியலாம்.

$$\frac{35 \times 76 + 37 \times 24}{100} = 35{\cdot}48$$

குறிப்பு:—இவ்விரு வரிகளோடு $m/e$ ன் மதிப்பு 17·5, 18·5 ஆக இருக்கக்கூடிய இடங்களில் இருவரிகள் காணப்படும் என்றாலும் அவை இருமடங்கு அயனியாக்கம்பெற்ற, 35, 37 என்ற நிறைகளைக் கொண்ட குளோரின் ஐசோடோப்புகள் தருகின்ற வரிகளே என அறியலாம்.

1919-ல் ஒன்றும் 1927-ல் ஒன்றுமாக இரு நிறைமாலை வரைவிகளை ஆஸ்டன் அமைத்தார். முதல் நிறைமாலை வரைவியைக் கொண்டு ஏறக்குறைய 30 தனிமங்களை ஆராய்ந்தார். அவற்றுள் முழு எண் அணு எடை கொண்டிராத அத்தனை தனிமங்களுக்கும் ஐசோடோப்புகளிருப்பதைக் கண்டார். இவ்வாறு கண்ட ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் முழு எண்களாகவே இருக்கவேண்டுமென முடிவுசெய்தார், இது முழு எண் விதி (whole number rules) எனப்படும். நடைமுறையில் ஆக்சிஜன் 16 நீங்கலாக மற்ற எதுவுவே முழுஎண்ணாக இருப்பதில்லை. ஆனால், இவை எல்லாமே முழு எண்களுக்கு மிக அருகில் இருக்கின்றன என்பது தொடர்ந்து செய்த ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் வெளிவந்தது.

மிகத்துல்லியமான, 100,000-த்தில் ஒருபங்கிற்குச் சுத்தமாக அளவிடக்கூடிய நிறைமாலை வரைவியின் மூலம் ஆய்வுகள் நடத்திய போது முந்திய முறையில் 35 மற்றும் 37 என்ற நிறைகளை உடையதாகக் கருதப்பட்ட குளோரின் ஐசோடோப்புகள், 34·983 மற்றும் 36·98 என்னும் நிறைகளைக் கொண்டிருக்கின்றன எனக் கண்டறியப்பட்டது. அதாவது இவற்றின் நிறைகள் முழு எண்கள் அல்ல முழு எண்களுக்கு அருகில் இருக்கின்றன எனத் தெரிந்தது. இவ்வாறே 20, 22 நிறைகளைக்கொண்ட நியான் ஐசோடோப்புகள் 19·9967, 21·9947 ஆக இருப்பதையும் அறிந்தனர். ஐசோடோப்புகள் முழு எண்களிலிருந்து ஏன் சிறிய அளவில் வேறுபடுகின்றன என்பதை நிறைக்குறை (mass defect) அல்லது பிணைப்பு ஆற்றல் (binding energy) என்னும் தலைப்புகளில் காணலாம்.

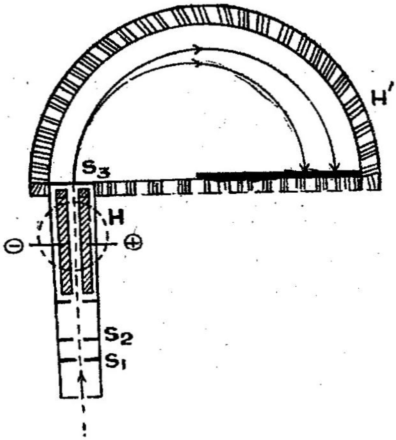
## பெயின்பிரிட்ஜ் அமைத்த நிறைமாலை வரைவி (Bainbridge's Mass Spectrograph)

பெயின்பிரிட்ஜ் 1933-ல் திசைவேகப் பொறுக்கு முறை அல்லது திசைவேக வடிகட்டி முறை (**Velocity selector method or Velocity filter method**) என்னும் முறையின் மூலம் அதிக வேறுபடுத்திக் காட்டும்திறனும், ஆஸ்டன் முறை மூலம் பெற முடியாத சமச்சீரமைவு பெற்ற பிம்பங்களையும் பெற்ருர்.

நேர்மின் கற்றை ஒன்று $S_1$, $S_2$ என்ற இரு பிளவுகளின் வழியே செலுத்தப்பட்டு மெல்லிய நேர்மின்கதிர்க் கற்றை பெறப்படுகிறது. இக்கற்றை திசைவேக வடிகட்டி என வழங்கப்படும் பகுதிவழியாகச் செலுத்தப்படுகிறது. இங்கு அமைக்கப்பட்டிருக்கும் காந்தப்புலம், மின்புலம் இவற்றின் தன்மைகளினல் குறிப்பிட்ட திசைவேக முடைய துகள்கள்மட்டும் $S_3$ என்ற மூன்ருவது பிளவின்வழியே ஆய்வு அறைக்குள் செல்ல, மற்றவை ஒதுக்கப்பட்டுவிடுகின்றன. திசைவேக வடிகட்டியில் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாகச் செயல் படுமாறு காந்தப்புலமும் மின்புலமும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவை இரண்டுமே கதிரின்பாதைக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கின்றன. காந்தப்புலத்தினல் துகளின் மேல் உண்டாகும் $Hev$ என்ற விசையும் மின்புலத்தினல் உண்டாகும் $Xe$ என்ற விசையும் எந்தெந்தத்துகள்களுக்குச் சமமாக இருக்கின்றனவோ அந்தத் துகள்கள் மட்டுமே நேர்பாதையில் சென்று $S_3$ என்ற பிளவினை அடைய இயலும். மற்ற துகள்களின் மீது காந்தப்புலத்தின் விசையோ அல்லது மின்புலத்தின் விசையோ ஒன்றை மற்ருென்று மிஞ்சிவிடுவதால் துகள் நேர்பாதையிலிருந்து ஒதுக்கப்பட்டு விடுகிறது. எனவே, அத்தகைய துகள்கள் $S_3$ என்ற பிளவை அடைய முடிவதில்லை. (படம் 10)

$$Hev = Xe \quad \text{அல்லது} \quad v = \frac{X}{H}$$

ஆகும். அதாவது எந்தத்துகள்களின் திசைவேகம் $\frac{X}{H}$-க்குச் சமமாக இருக்கின்றதோ அவை மட்டும் $S_3$ ஐ அடைந்து ஆய்வில் பங்குகொள்ளுமென அறியலாம். மூன்ருவது பிளவாகிய $S_3$-க்கு அப்பால் அரைவட்ட வடிவில் அமைந்த, பெரிதும் வாயு நீக்கஞ் செய்யப்பட்ட, ஆய்வு அறை அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. $S_3$ன் வழியாக ஒரே அளவு திசைவேகத்துடன் இவ்வறையில் நுழையும் நேர்மின் அயனிகளின் மீது சீரான $H'$ என்னும் செறிவுடைய காந்தப்புலம் படத்தின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகச் செயற்




படம் 10

படுகின்றது. இதனால் அயனிகளின் மீது, இடக்கை விதிப்படி $H'ev$ என்னும் விசை உண்டாக, அவை வட்டப்பாதையில் செல்லுகின்றன. எனவே

$H'ev = \frac{Mv^2}{r}$ ஆகும். இங்கு $M$ என்பது அயனியின் நிறையையும் $r$ என்பது அவ்வயனி செல்லும் அரைவட்டப் பாதையின் ஆரத்தையும் குறிக்கின்றன.

மேலும் $\frac{e}{M} = \frac{v}{H'r} = \frac{X}{H.H'r}$ என அறிகிறோம். $X$, $H$, $H'$ ஆகியவை மாறிலிகள் ஆகும். எனவே,

$\frac{e}{M} \propto \frac{1}{r}$ ஆகும்.

அரைவட்டப் பாதைகளின் முடிவில் படத்தின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகவும், வட்டங்களின் விட்டத்துடன் பொருந்துமாறும் ஒளிப்படத்தகடு ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. தங்கள் $\frac{e}{M}$ மதிப்பிற்கு ஏற்ப வெவ்வேறு வட்டப்பாதைகளில் செல்லும் அயனிகள் ஒளிப்படத்தகட்டில் வெவ்வேறு இடங்களில் சுவடுகளைத் தருகின்றன. $\frac{M}{e} \propto r$ ஆகையால் அயனிகள் சுமந்து செல்லும் மின்னூட்டத்தின் அளவுகள் சமமாக இருப்பின் $M \propto r$ ஆகும், எனவே $S_3$ லிருந்து பிம்பங்களுக்கு உள்ள தூரம் $(2r)$ அப்பிம்பங்களை

தரும் அயனிகளின் நிறைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். $M_1$, $M_2$ என்பன அயனிகளின் நிறையென்றும் அவைதரும் வட்டப்பாதைகளின் ஆரங்கள் $r_1$, $r_2$ என்றும் கொண்டால்,

$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_1}{r_2}$ ஆகும். இதில் $M_1$, $r_1$, $r_2$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் தெரிந்தால் $M_2$-ன் மதிப்பினை அறியலாம்.

இம்முறையின் நுட்பத்தன்மை காந்தப்புலத்தின் செறிவினையும் அரைவட்ட அறையின் பரப்பினையும் (காந்தப்புலம் அப்பரப்பு முழுதும் பரவியிருக்கவேண்டும்) பொருத்திருக்கும். 15000 காஸ் காந்தச் செறிவும், 40 செமீ விட்டமுடைய ஆய்வு அறையையும் பயன்படுத்திய பெயின்பிரிட்ஜ், ஆஸ்டனைவிட அதிக வேறுபடுத்திக்காட்டும் திறனைப் பெற்ருர். இம்முறையில் நிறை அளவுகோல் ஒருபடிச் சார்புடையதாக (linear) இருந்தது பெருஞ்சிறப்பாகும்.

## ஆஸ்டன், பெயின்பிரிட்ஜ் நிறைமாலை வரைவிகளின் ஏற்றத்தாழ்வுகள்

1. ஆஸ்டன் கருவியில் பெற்ற ஒளிப்படத்தின் நிறை அளவுகோல் ஒருபடிச்சார்புடையது அல்ல.

பெயின்பிரிட்ஜ் கருவியில் ஒளிப்படத்தின் நிறையளவுகோல் ஒருபடிச் சார்புடையதாக இருந்தது. இதனுல் 10,000க்கு ஒரு பங்கிற்குத் திருத்தமாக நிறையைக் கணக்கிட முடிந்தது.

2. ஆஸ்டன் முறையில் பெறப்பட்ட சுவடுகள் சமச்சீரமைவு (symmetry) உடையவை அல்ல. பெயின்பிரிட்ஜ் முறையில் பெற்ற சுவடுகள் சமச்சீரமைவுடையன. எனவே துல்லியமான அளவுக்குப் பெருந்துணை புரிந்தன.

3. ஆஸ்டன் சுவடுகள் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு (relative abundance)—இதுபற்றிய விளக்கம் பிறிதோர் இடத்தில் தரப்பட்டிருக்கிறது—பற்றி அறிய ஏற்றதாக இருந்தன. ஆனுல் பெயின்பிரிட்ஜ் திசைவேக வடிகட்டியைப் பயன்படுத்திப் பெற்ற சுவடுகள் ஒப்புமைச் செழிப்பினைக் கணக்கிட ஏற்றதாக இல்லை. இலேசான ஐசோடோப்புக்கு ஏற்ற திசைவேகம், கனமான ஆனுல் எண்ணிக்கையில் அதிகமான ஐசோடோப்புக்கு ஏற்றதாக அமையவில்லை என்று வைத்துக்கொள்வோம். அதிக எண்ணிக்கையுடைய கனமான ஐசோடோப்பு அயனிகள் அதிக அளவில்

ஒதுக்கப்பட்டு விடுவதால் அவைதரும் சுவடு செறிவு மிக்கதாக இராது. ஆகவே, சுவடுகளின் செறிவினைக் கொண்டு ஒப்புமைச் செழிப்பை அறிய இம்முறை ஏற்றது அன்று.

ஆஸ்டன், பெயின்பிரிட்ஜ் ஆகியோரின் கருவிகள் வெவ்வேறு அடிப்படைகளில் இயங்குகின்றன, எனவே, ஒன்றின்மூலம் கண்ட முடிவுகளை மற்றதைக்கொண்டு சரிபார்க்கலாம் என்ற அளவில் இருகருவிகளுமே சமமான சிறப்புக் கொண்டவைகளே என்ற முடிவுக்குத்தான் வர இயலும்.

நீர் (Nier) மற்றும் பெயின்பிரிட்ஜ், ஜோர்டான் (Bainbridge and Jordon) முறைகள் நூலில் விவரிக்கப்படவில்லை. என்றாலும், இவற்றுள் பெயின்பிரிட்ஜ் மற்றும் ஜோர்டன் இருவரும் கூட்டாக அமைத்த இரட்டைக் குவியமுறை நிறைமாலை வரைவி எல்லாவற்றையும்விடப் பலவகையிலும் சிறந்தது என்பதை நாம் தெரிந்து வைத்துக்கொள்வது அவசியம்.

## ஐசோடோப்புகளும் அவற்றின் பண்புகளும் (Isotopes and their uses)

நிறைமாலை வரைவிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதன் காரணமாகத் தனிமங்களுக்கு ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்ற உண்மை வெளிப்பட்டது. ஐசோடோப்புகள் என்றால் என்ன? அவற்றின் அமைப்பு மற்றும் பண்புகள் யாவை என்பதுபற்றி இங்குக் காண்போம்.

அணுக்கள் எல்லாமே எலெக்ட்ரான்கள், புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் என்று சொல்லப்படும் அணுத்துகள்களால் உருவாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான் என்பது எல்லா வகையான அணுக்களிலும் காணப்படுகின்ற ஒரு துகளாகும். இதன் நிறை ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையில் $\frac{1}{1836}$ மடங்காகும் என்றும் அது $1{\cdot}602 \times 10^{-19}$கூலம் அளவுடைய எதிர்மின்னூட்டத்தைச் சுமக்கிறது என்றும் கண்டோம். தனிமங்களுக்குள்ளே மிகவும் இலேசான ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான்தான் உண்டு என்பதைத் தாம்சன் கண்டார். ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள அந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரானையும் நீக்கிவிட மிகுந்து நிற்கும் நேர் மின்னூட்டமுடைய பகுதியை புரோட்டான் (Proton) என வழங்கினர். புரோட்டான் என்பதும் எல்லாவகை அணுக்களிலும் காணப்படும் ஒரு துகளாகும். இது சுமக்கும் மின்னூட்டம் நேர்

மின்னூட்டமாகும். ஆனால், இதன் அளவு எலெக்ட்ரான் சுமக்கும் மின்னூட்டத்தின் அளவேயாகும். எலெக்ட்ரானின் நிறை மிக மிகக்குறைவு ஆகையால் புரோட்டானின் நிறை எலெக்ட்ரான் நீக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையாகும் என்று கொள்வதற்குப் பதிலாக, ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையும் புரோட்டானின் நிறையும் ஒன்றே எனக்கொள்வதில் தவறு இல்லை. பின்னர் 1932 ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரான் (Neutron) என்ற மூன்றுவது அணுத்துகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது ஹைட்ரஜன் அணுவைத் தவிர மற்றெல்லாவகை அணுக்களிலும் காணப்படும் ஒரு துகளாகும். இதன் நிறை, புரோட்டானின் நிறைக்குச் சமமாகும். ஆனால், இது எந்த வகையான மின்னூட்டத்தையும் சுமப்பதில்லை. அதாவது இது மின்னூட்டமற்ற ஒரு துகளாகும்.

## அணுவின் அமைப்பு

அணுக்கருவில் நேர்மின்னூட்டமுடைய புரோட்டான்களும், மின்னூட்டமற்ற நியூட்ரான்களும் இருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான்களின் நிறை கணக்கிடமுடியாத அளவு சிறியது. ஆகையால் அணுக்கருவின் நிறையினையே அணுவின் நிறையாகக் கொள்வர். இயல்பு நிலையிலுள்ள ஓர் அணுவில் அதன் அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும், அணுக்கருவைச் சுற்றிச் சுழன்று கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கும். இயல்பு நிலையில் உள்ள அணுவின் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அல்லது எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அவ்வணுவின் **அணு எண்** (atomic number) எனப்படுகிறது. இது '$Z$' என்னும் எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம். அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் இவற்றின் **கூட்டுத்தொகை** அவ்வணுவின் **நிறை எண்** (Mass number) எனப்படும். இது $A$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக $X$ என்ற தனிமத்தின் அணு எண் $Z$ என்றும் நிறை எண் $A$ என்றும் கொண்டால் அத்தனிமத்தை $X_Z^A$ எனக் குறிப்பது வழக்கம்.

மொத்தத்தில் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளையும் சேர்த்துக் கொண்டால் நிலையான ஐசோடோப்புகள் 280-க்கும் மேலே உள்ளன. இவற்றுடன் செயற்கைச்சிதைவு மூலம் உண்டாகக் கூடிய 300-க்கு மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகளும் உள்ளன. வெவ்வேறு தனிமங்கள் வெவ்வேறு எண்ணிக்கை கொண்ட ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. பொதுவாக ஒற்றைப்படை அணு எண்

கொண்ட தனிமங்கள், இரண்டிற்குட்பட்ட ஐசோடோப்புகளையும், இரட்டைப்படை அணு எண் கொண்ட தனிமங்கள் இரண்டிற்கு மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன.

எடுத்துக்காட்டாக:

3 என்ற ஒற்றைப்படை அணு எண் கொண்ட லிதியம் (*Li*) $L_3^6$ மற்றும் $L_3^7$ என்ற இரு ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருக்கிறது. இவ்வாறே நைட்ரஜன் $N_7^{14}$ மற்றும் $N_7^{15}$ என்ற ஐசோடோப்புகளையும் குளோரின் $cl_{17}^{34}$, $cl_{17}^{37}$ என்ற ஐசோடோப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன.

இரட்டைப்படை அணு எண் கொண்ட ஹீலியம், பெரீலியம், ஆக்சிஜன் ஆகியவற்றை எடுத்துக்கொள்வோம்.

**ஹீலியம்** $He_2^3$, $He_2^4$, $He_2^6$ என்ற மூன்று ஐசோடோப்புகளையும்,

**பெரீலியம்** $Be^7{}_4$, $Be^8{}_4$, $Be^9{}_4$, மற்றும் $Be^{10}{}_4$ என்ற நான்கு ஐசோடோப்புகளையும்,

**ஆக்சிஜன்** $O_8^{14}$, $O_8^{15}$, $O_8^{16}$, $O_8^{17}$, $O_8^{18}$, மற்றும் $O_8^{19}$ என்ற ஆறு ஐசோடோப்புகளையும் பெற்றிருக்கக் காணலாம்.

ஒரு தனிமத்திற்குப் பல ஐசோடோப்புகள் இருப்பின் அவற்றின் நிறைகள் ஒரு வரையறைக்குட்பட்டு ஏறுவதும் இறங்குவதுமாக இருக்கக் காணலாம். எடுத்துக்காட்டாக, ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் 14, 15, 16, 17, 18, 19 என்று ஒவ்வொன்றாக ஏறியிருப்பதையும் துத்தநாகத்தின் ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் 64, 66, 68, 70 என் இரண்டிரண்டாக ஏறியிருப்பதையும் காணலாம்.

ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகளை உற்றுநோக்கினுல் அவற்றின் அணு எண்கள் சமமாக இருப்பதையும் நிறை எண்கள் வேறுபடுவதையும் காணலாம். இதிலிருந்து ஐசோடோப்புகளின் வேறுபாடு என்பது அவ்வணுக்களின் அணுக்கருவில் காணப்படும் வேறுபாடுகளால் உண்டாவது என அறியலாம்.

ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகளில் அணு எண்கள் சமமாக இருப்பதால் அவற்றின் அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கவேண்டும். பின்னர் நிறை எண் வேறுபாட்டிற்குக் காரணமாக அமைவது எது? நிறை எண்ணில் பங்கு பெறுவது புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களுமே ஆகும்.

இதில் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை சமம் என்று கூறுகிறோம். பின் ஐசோடோப்புகளின் நிறை எண் வேறுபாட்டிற்குக் காரணமாய் அமைவது அணுக்கருவிலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையே ஆகும் அல்லவா ? எடுத்துக்காட்டாக, ஹீலியத்திற்கான 3 ஐசோடோப்புகளை எடுத்துக்கொள்வோம். $He^3_2$ என்பதன் அணு எண் 2 எனவே இதில் 2 எலெக்ட்ரான்களும் 2 புரோட்டான்களும் இருக்கவேண்டும். இதன் நிறை எண் 3 இதில் 2 புரோட்டான்கள் 2 நிறையைத் தந்துவிடுகின்றன. எனவே மீதியுள்ள 1 நிறையைத் தருவதற்கு 1 நியூட்ரான் இருக்கவேண்டும்.

இவ்வாறே $He_2^4$ என்பதில் எலெக்ட்ரான்கள் 2, புரோட்டான்கள் 2, நியூட்ரான்கள் 2 என்றும்,

$He_2^6$ என்பதில் எலெக்ட்ரான்கள் 2 புரோட்டான்கள் 2 நியூட்ரான்கள் 4 என்றும் அறியலாம். இதிலிருந்து ஹிலீயம் ஐசோடோப்புகளின் அமைப்புக்குக் காரணமாக அமைவது அவற்றின் அணுக்கருவிலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் ஏற்படும் வித்தியாசமே என உணரலாம்.

308483

ஒரு தனிமத்தின் ஓர் ஐசோடோப்பின் நிறை இன்னொரு தனிமத்தின் ஓர் ஐசோடோப்பின் நிறைக்குச் சமமாக இருப்பதும் உண்டு. இத்தகைய இரு வேறு தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளின் இரசாயனப் பண்புகள் வேறுபட்டிருக்கும் என்பதைச் சொல்லித் தெரிந்து கொள்ளவேண்டியது இல்லை. ஒரே நிறை எண்ணும் வேறுபட்ட அணு எண்ணும் (வேறுபட்ட இரசாயனப் பண்பும்) கொண்ட இரு வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள் **ஐசோபார்கள் (Isobars)** என்று வழங்கப்படுகின்றன. (இச்சொல் சம அழுத்தமுடையன அதாவது சம நிறையுடையன என்ற பொருளில் வழங்கப்படுகிறது). எடுத்துக்காட்டாக ஆர்கான் மற்றும் கால்சியம் ஆகியவற்றுக்கு நிறை எண் 40 உடைய ஐசோடோப்புகள் உண்டு : $A_{18}^{40}$, $Ca_{20}^{40}$ என்ற இவ்விரு அணுக்களும் ஐசோபார்கள் எனப்படும்.

## சில ஐசோடோப்புகள்

### 1. ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகள் :—

அணுக்களின் நிறையினைத் துல்லியமாக அளவிடுவதற்கான முறைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவுடன் நிறையை அளவிடுவதற்குப் புதிய ஒரு நிறை அலகு தேவைப்பட்டது. அப்போது ஆக்சிஜனின் பல ஐசோடோப்புகளில் $O_8^{16}$ மட்டுமே கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்தது.

எனவே மின்னூட்டமற்ற $O_8^{16}$ அணுவின் நிறையில் 16-ல் ஒரு பங்கு நிறையினை நிறை அலகாகக் கொண்டனர். இதற்கு முன்பு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையை 1 எனக்கொண்டு அணுக்களின் நிறையினைக் கணக்கிட்டு வந்தனர் என அறிவோம். ஆக்சிஜன் நிறை அலகினைக் கொண்டு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையினைக் கணக்கிட்டபோது அதன் நிறை 1·00778 ஆக இருந்தது. இம்மதிப்பு இரசாயன முறையில் துல்லியமாக அளவிட்ட ஹைட்ரஜன் அணு எடையாகிய 1·00777 என்பதுடன் பெரிதும் ஒத்திருப்பதை அறிந்து வியந்தனர். எனவே $O_8^{16}$ஐ நிறை அலகினை வரையறுப்பதற்குத் தேர்ந்தெடுத்தது முற்றிலும் சரியே என்ற முடிவுக்கு வந்தனர். ஆனால், வெகு விரைவில் மூலக்கூறு நிறமாலை ஆய்வுகளின் காரணமாக $O_8^{17}$ மற்றும் $O_8^{18}$ என்ற வேறு இரு ஐசோடோப்புகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. ஆனால், அவ்விரு ஐசோடோப்புகளும் இயற்கையில் மிகக் குறைந்த அளவில் காணப்பட்டன. $O_8^{16}$, $O_8^{17}$, $O_8^{18}$ என்ற அவ்வைசோடோப்புகள் 3000 : 1 : 5 என்ற விகிதத்தில் காணப்பட்டன. இவ்வாறு ஐசோடோப்புகள் காணப்படும் (செழித்திருக்கும்) விகிதம் ஐசோடோப்புகளின் **ஒப்புமைச் செழிப்பு** (Relative-abundance) எனப்படும். இவ்வாறு $O^{17}$ மற்றும் $O^{18}$ என்ற ஐசோடோப்புகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவுடன் $O^{16}$ஐ நிறை அலகிற்கான அணுவாகத் தேர்ந்தெடுத்தது தவறோ என்ற எண்ணம் தோன்றலாயிற்று. என்றாலும் இன்று வரை ஆக்சிஜனை விடச் சிறந்த ஒன்று கிடைக்காத காரணத்தால் $O^{16}$ஐ அடிப்படையாகக் கொண்ட நிறை அலகினைப் பயன்படுத்தி வருகிறோம்.

### ii. ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகள் :—

பேராசிரியர் யூரி என்பார் அணு நிறமாலை ஆய்வுகளின் போது ஹைட்ரஜனின் கனமான ஐசோடோப்பு ஒன்றைக் கண்டார். இதற்கு அவர்கள் டியூடிரியம் (Deuterium) எனப் பெயரிட்டார். பின்னர் இவ்வகை ஐசோடோப்பினைத் தயாரிப்பதில் வெற்றியும் கண்டார். சாதாரண நீரில் மிக அதிக மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தி, சிறிதளவு நீர் மட்டுமே எஞ்சியிருக்குமாறு மின்னாற் பகுப்பு செய்தால் சாதாரண நீரிலிருந்து வேறுபட்ட பண்புகளை உடைய நீர் கிடைத்தது. இதனைக் 'கனநீர்' (Heavy Water) என வழங்கினர். இது 3·8° செண்டிகிரேட் உறை நிலையும், 101·4° செண்டிகிரேட் கொதிநிலையும் கிராமிற்கு 796 கலோரி ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பமும் கொண்டிருந்தது இக்கனநீரில் டியூடிரியம் எனப்படும் $H_1^2$ அல்லது $D_1$ நிறையக் காணப்படுகிறது. இது கரிமக்கூட்டுப் பொருள்களின் (Organic Compounds) ஆய்வில் குறிப்புக்காட்டி (indicator) யாக பயன்

படுத்தப்படுகிறது, செயற்கைத் தனிம மாற்றத்தில் இலக்காகவும், வீச்சுப்பொருளாகவும், அணு உலைகளில் ஆற்றல் மிக்கத் தணிப்பானுகவும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

## ஐசோடோப்புகளைப் பிரித்தல் :—

ஐசோடோப்புகளின் இரசாயனப் பண்புகள் ஒன்ருக இருப்பதால் இரசாயன முறைகளின் மூலம் அவற்றைப் பிரித்தல் இயலாது. எனவே, பௌதிக முறைகளின் மூலமே அவற்றைப் பிரித்தல் இயலும். நிறைமாலை வரைவி முறையும், மின்ஞற் பகுப்பு முறையும், விரவிப்பரவல் முறையும் பொதுவாகப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. ஆனுல், நிறைய பிரிக்கப்பட்ட ஐசோடோப்பு களைப் பெறக்கூடிய முறைகளில் கிடைத்த பொருள்களின் தூய்மை குறைவாகவும், தூய்மையான ஐசோடோப்புகளைப் பெறக்கூடிய முறைகளிஞல் கிடைக்கும் பொருள்களின் அளவு மிகவும் குறைவாகவும் காணப்பட்டன.

## ஐசோடோப்புகளில் முழு எண் விதி (Whole number rule in Isotopes)

ஒரு தனிமம் வெவ்வேறு நிறை கொண்ட அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது என்பதோடு அவ்வணு நிறைகள் ஏறக்குறைய முழு எண்களாகவே இருக்கின்றன என்பது இன்று உறுதியாகிவிட்ட ஓர் உண்மையாகும். ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் ஏறக்குறைய முழு எண்ணுக இருக்கிறதே தவிர முற்றிலும் முழு எண்ணுக இல்லை என்ற உண்மையும் புரிந்து விட்டது. ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் முழு எண் விதியிலிருந்து சிறிதளவு மாறுபடுவதற்குக் காரணம் என்ன ?

| | | |
|---|---|---|
| ஹைட்ரஜன் நிறை | 1-க்குப் பதிலாக | 1.00788 |
| ஹீலியத்தின் நிறை | 4-க்குப் பதிலாக | 4.00408 |
| லிதியம் நிறை | 6-க்குப் பதிலாக | 6.01614 |
| குளோரின் நிறை | 35-க்குப் பதிலாக | 34.9807 |
| பாதரசம் நிறை | 200-க்குப் பதிலாக | 200.016 |

என்பது போன்ற நிறைகளைத் தருவதை நிறைமாலை வரைவிகளைக் கொண்டு அறிகிருேம். இங்குக் காட்டப்பட்டிருக்கும் குறிப்பு களிலிருந்து இலேசான ஐசோடோப்புகளும் மிகக்கனமான ஐசோடோப்புகளும் அவற்றின் தோராய முழு எண்ணைக் காட்டிலும் சற்றுக் கூடுதலான நிறையையும், நடுத்தரமான ஐசோடோப்புகள் அவற்றிற்குரிய தோராய முழு எண்ணைவிடச்

சற்று குறைவான நிறைகளையும் பெற்றிருக்கின்றன என அறியலாம்.

**ஓர் ஐசோடோப்பின் நிறையின் தோராய முழு எண்ணுக்கும் (நிறை எண்) கணக்கிடப்பட்ட நிறைக்குமிடையே உள்ள வேறுபாடு நிறைக் குறை (Mass defect)** எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக ஓர் ஐசோடோப்பின் தோராய முழு எண் • அதாவது நிறை எண் $A$ என்றும், நிறைமாலை வரைவியின் மூலம் கணக்கிட்ட நிறை $M$ என்றும் கொண்டால் $M-A=\Delta$ என்பது அதன் நிறைக் குறையாகும். இது + அல்லது − ஆக இருக்கலாம்.

ஓர் ஐசோடோப்பின் நிறைக்குறைக்கும் அதன் நிறை எண்ணுக்குமுள்ள விகிதம் அதன் பொதிவு பின்னம் (packing fraction) எனப்படும்

பொதிவு பின்னம் $p=\dfrac{\Delta}{A}$ ஆகும். இது மிகச் சிறிய பின்னமாகையால் இதனை 10,000-க்கு இவ்வளவு எனக் கூறுவது வழக்கம்.

எடுத்துக்காட்டாக, ஹைட்ரஜனின் நிறை எண் $A=1$ கணக்கிடப்பட்ட அணு நிறை $M=1{\cdot}0081$

எனவே, $\Delta=1{\cdot}0081-1{\cdot}0000$
$=+.0081$

எனவே, ஹைட்ரஜனின் பொதிவு பின்னம் $p=\dfrac{+{\cdot}0081}{1.000}\times 10000$
$=\underline{\underline{+81}}$

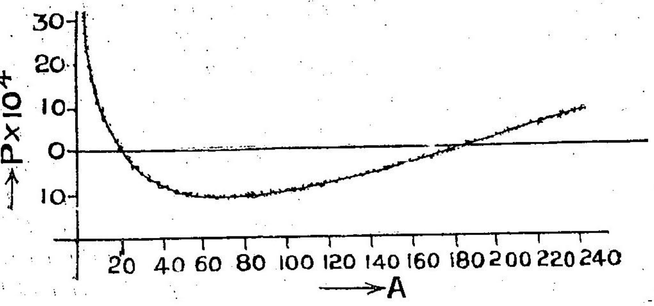
சோடியத்திற்கு $M=22{\cdot}9964$ ஆகும்.
$A=23$

எனவே, $\Delta=M-A$
$=22{\cdot}9964-23.$
$=-0{\cdot}0036$

பொதிவு பின்னம் $p=\dfrac{-0{\cdot}0036}{23}\times 10{,}000$
$=\underline{\underline{-1{\cdot}57}}$ ஆகும்.

பொதிவு பின்னமாகிய $p$ மற்றும் நிறை எண்ணாகிய $A$ இவற்றிற்கிடையே வரையப்பட்ட வரைபடம் படத்தில்

காட்டியவாறு இருக்கும். படத்திலிருப்பது (படம் 11) நிறை எண் 20 வரை (அதாவது நியான் வரை) பொதிவு பின்னம் + ஆகவும், 20-க்கு மேல் 200 வரை — ஆகவும் பிறகு 200-க்கு மேல் மீண்டும் + ஆகவும் இருப்பதைக் காணலாம், ஆக்சிஜனை நிறை அலகுக்கு எடுத்துக் கொண்டதால் அதன் நிறைக்குறையும், பொதிவு பின்னமும் சுழியாகும்.




படம் 11

அணுக்கருவின் நிறை என்பது அதில் அடங்கியுள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் இவற்றின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டுமல்லவா? ஆனல், நடைமுறையில் அணுக்கருவின் நிறை அதிலுள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் கூட்டு நிறையைவிடச் சிறிது குறைவாகவே இருக்கிறது. இது எவ்வாறு ஏற்படுகிறது? புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றைக் கொண்டு அணுக்கருவை கட்டுவதற்குச் சிறிது ஆற்றல் தேவைப்படுமல்லவா? அதற்குத் தேவையான ஆற்றல் செலவிடப்பட்டுவிட்டதால் ஐன்ஸ்டைன் கூறிய நிறை ஆற்றல் சமனக் கொள்கை (Principle of equivalance of mass and energy) யின்படி அவ்வாற்றலுக்குரிய நிறை மறைந்துவிட்டது. இவ்வாறு செலவிடப்பட்ட ஆற்றல் **கட்டாற்றல்** (binding energy) அல்லது பிணைப்பாற்றல் என வழங்கப்படுகிறது. இவ்வாறு மறையும் நிறை எவ்வளவுக்கு எவ்வளவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அவ்வளவிற்குப் பிணைப்பாற்றல் அதிகமாக இருக்கும் என்பதையும் அறியலாம். ஆகவே, அத்தகைய அணுக்கள் அதிக நிலைத்தன்மை கொண்டிருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டாக ஹீலியம் அணுவை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் அணு எண் 2, நிறை எண் 4 அதாவது அதன்

அணுக்கருவில் 2 புரோட்டான்களும், 2 நியூட்ரான்களும் இருக்கின்றன. ஒரு புரோட்டானின் நிறை ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையாகிய 1.0081-க்குச் சமம். ஒரு நியூட்ரானின் நிறை 1.0089 ஆகும். எனவே, ஹீலியம் அணுக்கருவின் நிறை $(2\times 1.0081+2\times 1.0089)=4.034$ ஆக இருக்கவேண்டும். ஆனால், நடைமுறையில் ஹீலியம் அணுவின் நிறை 4.0039 ஆகும். எனவே, இரண்டு புரோட்டான்களையும் இரண்டு நியூட்ரான்களையும் பிணைத்து ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவை உண்டாக்கும்போது $4.034-4.0039=.0301$ அளவுடைய நிறை குறைந்துவிடுகிறது, இந்நிறை 28 மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (Million electron volt) ஆற்றலுக்குச் சமம். [ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு உள்ளாகும்போது பெறுகின்ற வேகம் காரணமாக அடைகின்ற ஆற்றலின் அளவு ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (electron volt *ev*) எனப்படும். மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் என்பது *Mev* எனக் குறிக்கப்படும்] இவ்வளவு மதிப்புடைய பிணைப்பாற்றலைக் (binding energy) கொண்டு ஹீலியம் அணுக்கருத் துகள்கள் கட்டப்பட்டிருக்கின்றன. எனவே, ஹீலியம் அணுக்கருவின் துகள்களைப் பிரித்துத் தனித்தனியாக ஆக்க வேண்டுமென்றால் நாம் 28 *Mev* ஆற்றல் செலவழிக்க வேண்டும் என உணர்கிறோம். எனவே, அணுவின் பிணைப்பாற்றலின் அளவினைக் கொண்டுதான் அதன் நிலைத் தன்மையை அறிய இயலும் என உணர்கிறோம்.

## ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு

1. தனிம அட்டவணையில் தனிமங்களை வரிசைப்படுத்திய முறையில் சில முரண்பாடுகள் காணப்படுகின்றன. அம்முரண்பாடுகளைக் களைவதற்கு ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு பயன்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக 39.94 என்ற அணு எடையைக் கொண்ட ஆர்கான் முன்னும் 39.1 என்ற அணு எடையைக் கொண்ட பொட்டாசியம் பின்னும் வருகின்றன. அணு எடைகளின் ஏறு வரிசையில் அமைக்கப்பட்ட தனிம அட்டவணையில் இம்முரண்பாடு வரக் காரணம் என்ன ?

ஆர்கான் 40 மற்றும் 39 என்ற நிறைகளையுடைய இரு ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. அவற்றின் ஒப்புமைச் செழிப்பு முறையே 99.4% மற்றும் 0.6% என்பதை நிறைமாலை ஆய்வுகள் காட்டுகின்றன. ஆனால், பொட்டாசியம் 39 மற்றும் 41 என்ற நிறையுடைய ஐசோடோப்புகளை 94.6% மற்றும் 5.4% என்ற விகிதத்தில் பெற்றிருக்கிறது. அதாவது கனமான ஐசோடோப் குறைவாக இருக்கிறது. இவ்வாறின்றி, கனமான ஐசோடோப்புகள்

இவ்விரு தனிமங்களிலும் ஒரே விகிதத்தில் இருந்திருந்தால் பொட்டாசியம் தனக்குரிய இடத்திற்குத் தானுகவே வந்துவிடும். எனவே, இரசாயனப் பண்பு, மற்றும் அணு எடையின் ஏறு வரிசை இவற்றின் அடிப்படையில் அமைக்கப்பட்ட தனிம அட்டவணையில் முரண்பாடு காணப்படும் சில இடங்களில் இரசாயனப் பண்புக்கு மட்டும் முதலிடம் தந்து தனிமங்களை அவற்றிற்குரிய இடங்களில் மாற்றி அமைத்தார்கள் என அறியலாம்.

2. ஒற்றைப் படை அணு எண் கொண்ட ஐசோடோப்புகளை விட, இரட்டைப் படை அணு எண் கொண்ட ஐசோடோப்புகளின் செழிப்பு விகிதம் அதிகமாக இருக்கிறது. அதுபோலவே நான்கின் மடங்குகளாய் அமைந்த நிறை எண் உடைய ஐசோடோப்புகளின் செழிப்பு விகிதமும் மிக அதிகமாக இருக்கிறது. எடுத்துக் காட்டாக $O^{16}$, $Mg^{24}$, $Ca^{40}$, $Fe^{56}$ என்ற ஐசோடோப்புகள் 90%க்கு மேல் காணப்படுகின்றன. உலகில் உள்ள ஐசோடோப்புகளில் 7-ல் 4 பங்கு இரட்டைப் படை நிறை எண்ணும் இரட்டைப் படை அணு எண்ணும் கொண்டவை.

3. தனிமங்களை அடையும் முறை எதுவாக இருப்பினும் அதில் காணப்படும் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு மாறுமலே இருக்கிறது. ஒரு தனிமம் பூமியிலிருந்து பெறப்பட்டாலும் விண் வீழ் கற்களைப் (meteoriles) போல பூமிக்கு அப்பாலிருந்து பெற்றுலும் அதன் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு மாறுமலே இருக்கிறது என்பது விந்தையல்லவா !

# 4. எலெக்ட்ரான் கொள்கை

## உலோகங்களில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (Free electrons in metals)

எலெக்ட்ரான் ஓர் அடிப்படைத் துகள் என்று ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டவுடன், எலெக்ட்ரான் கொள்கை (Theory of electron) என்னும் புதிய கருத்து உருவாகியது. இதன் அடிப் படையில் ஒளிவிலகல், நிறப்பிரிகை, போன்ற நிகழ்ச்சிகளையும் வெப்பக் கடத்தல், மின் கடத்தல் ஆகியவற்றையும், சீபெக் விளைவு என்ற வெப்ப மின் விளைவு போன்ற இன்ன பிற நிகழ்ச்சிகளையும் விளக்கத் தொடங்கி அதில் வெற்றியும் கண்டனர்.

திண் பொருள் நிலையில், அனேக உலோகத் தனிமங்கள் படிக அமைப்புடனே காணப்படுகின்றன. அணுக்கள், ஓர் இட அணிக் கோவையில் (space lattice) ஒழுங்குற அமையும்போது வடிவியல் அமைப்புடன் கூடிய படிகம் உண்டாகிறது. அணுக்களினுள்ளே அணுக்கருவும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள சுற்றுப் பாதைகளில் எலெக்ட் ரான்களும் அமைந்துள்ளன என அறிவோம். வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் அமைந்துள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கு **சேர்திறன் எலெக்ட் ரான்கள்** (Valance electrons) என்று பெயர். எடுத்துக்காட்டாக சோடியம் அணுவின் அணு எண் 11, எனவே அதன் அணுக் கருவைச் சூழ்ந்து மொத்தம் 11 எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. அவற்றுள் 2 எலெக்ட்ரான்கள் $K$ சுற்றுப் பாதையை நிரப்புகின்றன, 8 எலெக்ட்ரான்கள் $L$-சுற்றுப்பாதையை நிரப்புகின்றன. மீதியுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளிச்சுற்றுப் பாதையாகிய $M$-ல் இருக்கிறது. இந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரான் சோடியத்தின் சேர் திறன் எலெக்ட்ரான் எனப்படும். இத்தகைய சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவுடன் இலேசாகக் கட்டப்பட்டிருக் கின்றன. அணுக்கருவும் அதற்கு அருகிலுள்ள உட்சுற்றுப் பாதை அமைப்புகளும், புறப்புலத்தினால் எளிதில் பாதிக்கப்படுவதில்லை.

ஆனல், வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் உள்ள சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் புறப் புலத்தினுல் மிக எளிதில் பாதிக்கப்பட்டு, அணுவை விட்டு நீக்கப்படுகிறது. இதனுல் அணு நேர்மின் அயனியாகிவிடுகிறது எனவே, ஒரு படிகத்தில் வடிவமைப்புடன் கூடிய அணிக் கோவையில் ஒழுங்காக அமைந்துள்ள நேர்மின் அயனிகளும் அவற்றைச் சூழ்ந்து கட்டற்ற நிலேயில் (free) பல எலெக்ட்ரான் களும் இருக்கின்றன எனக்கொள்ளலாம் அல்லவா ? இந்தக் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் குறிப்பிட்ட எந்த ஓர் அணுவுக்கும் உரியவை அல்ல. இத்தகைய கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின் அயனிகளுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளிகளில் தன்னிச்சையாக இங்குமங்கும் போய்க் கொண்டிருக்கின்றன. உலோகத்தைப் பொறுத்து ஓர் அணுவுக்கு ஒன்று முதல் மூன்று கட்டற்ற எலெக்ட் ரான்கள் வரை இருக்கும். ஒரு கன சென்டி மீட்டர் உலோகத்தில் $10^{22}-10^{23}$ அணுக்கள் வரை இருக்கின்றன எனக் கணக்கிடப் பட்டிருக்கிறது. எனவே, ஓர் உலோகத்தண்டில் மிக அதிக எண்ணிக்கையுடைய கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் இருக்குமென அறியலாம். உலோகத்தின் இத்தகைய அமைப்புக்கு **எலெக்ட்ரான் வாயு மாதிரி** (electron gas model) என்று பெயர். ஒரு வாயுவில் வாயு மூலக்கூறுகள் இங்குமங்கும் தன்னிச்சையாக வெவ்வேறு திசைகளில், வெவ்வேறு திசைவேகங்களுடன் ஓடிக்கொண்டும் ஒன்றோடொன்று கொள்கலத்தின் சுவரின் மீது முட்டிக் கொண்டும் மோதிக்கொண்டும் இருப்பது போலவே, கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் உலோகத் தண்டிலுள்ள நேர்மின் அயனிகளுக்கு (அணுக்களுக்கு) இடையே உள்ள வெளியில் இங்குமங்கும் வெவ்வேறு திசைவேகங்களுடன் ஓடிக்கொண்டும், அணுக்களுடன் மோதிக் கொண்டும் திரிந்து கொண்டிருக்கின்றன. வாயுக்கள் பற்றிய இயக்கக் கொள்கையினே, சில நிபந்தனேகளுடன் கட்டற்ற எலெக்ட் ரான்களின் இயக்கத்திற்குப் பயன்படுத்தலாம். இவற்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் இதே வெப்பநிலேயிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமம் எனக் கொள்ளலாம்.

உலோகத்தண்டின் இரு முனேகளுக்கும் இடையில் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தரப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது உண்டாகும் மின்புலத்தின் விசைக் கோடுகளின் வழியே கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் நகரத் தொடங்குகின்றன. இப்போது இவைகள் **கடத்தும் எலெக்ட்ரான்கள்** (conduction electrons) என்ற பெயரைப் பெறுகின்றன. இத்தகைய எலெக்ட்ரான்கள் உலோகத் தண்டினுள் இருக்கும் அயனிகளுக்குள் புதையுண்டு போய்விடுவது இல்லே. சில நேரங்களில் ஓடும் எலெக்ட்ரான்கள் இந்த

அயனிகள் பிடித்துக் கொள்வதுண்டு என்றாலும், பிடிப்பட்ட எலெக்ட்ரானுக்குப் பதில், புதிய ஒரு கட்டற்ற எலெக்ட்ரான் அந்த ஓட்டத்தைத் தொடரும். ஆகவே, ஓர் அலகு பருமனில் காணப்படும் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை எந்த நேரத்திலும் ஒரே அளவாக இருக்கும். இவ்வாறு விசைக்கோடுகளின் வழியே நடைபெறும் எலெக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்தைத்தான் மின்னோட்டம் என்கிறோம்.

இப்போது கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களில் இருவித இயக்கங்கள் காணப்படுகின்றன.

(1) அதற்கு இயல்பாகவே உள்ள தன்னிச்சையான ஒழுங்கற்ற இயக்கம்.

(2) மின்புலத்தால் உண்டாகும் விசைக்கோடுகளின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் நடைபெறுகின்ற ஒழுங்கான இயக்கம்.

இவ்விரு இயக்கங்களும் சேர, எலெக்ட்ரான்கள் விசைக்கோடுகளின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் **இழுத்துச் செல்லப்படும் இயக்கம்** (drift motion) ஒன்றுக்கு உள்ளாகின்றன.

## மின் கடத்தல் (Conduction of electricity)

ட்ரூட் (Drude) என்பவர் 1900-ஆம் ஆண்டில் எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் உலோகங்களில் நடைபெறும் மின் கடத்தலை விளக்கினார்.

எலெக்ட்ரான்களுக்கு இயல்பாகவே உள்ள தறிகெட்ட **திசை வேகங்களின் இருமடிச் சராசரியின் மூலம்** (root mean square velocity) $v$ என்று கொள்வோம். எலெக்ட்ரானின் நிறை $m$ என்றும் **போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி** $k$ (Boltzmann's constant) என்றும், உலோகத்தின் தற்போதைய வெப்பநிலை $T°A$ என்றும் கொண்டால் வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கைப்படி

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{2} kT \text{ ஆகும்.} \qquad —(1)$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

உலோகத்தண்டின் முனைகளுக்கிடையில் தரப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு காரணமாக உண்டாகும் மின்புலத்தின்

செறிவு $X$ என்றும் இப்புலத்தினுல் எலெக்டரான் பெறுகின்ற இழுப்புத் திசைவேகம் $v_1$ என்றும் கொள்வோம். இந்த இழுப்புத் திசைவேகம் (drift velocity) எலெக்ட்ரானின் இயல்பு திசை வேகமாகிய $v$-யுடன் ஒப்பிடும்போது மிக மிகச் சிறியது. அறையின் வெப்பநிலையில் $v$-ன் மதிப்பு $10^7$ செ.மீ./வினடி எனக் கணக்கிடப் பட்டிருக்கிறது.

எலெக்ட்ரானின் மீது மின்புலம் தருகின்ற விசை $= Xe$ ஆகும். இவ்விசை தரும் முடுக்கம் $= \frac{Xe}{m}$ ஆகும் என அறிவோம். இந்த முடுக்கம் எலெக்ட்ரான் மீது தொடர்ந்து செயற்பட முடியுமா என்ருல்...... இல்லை. தொடர்ந்து செயல்பட முடிவதில்லை. இத்தகைய முடுக்கத்தைப் பெற்ற எலெக்ட்ரான் சிறிது தூரம் செல்வதற்குள் வழியிலுள்ள ஒரு நேர்மின் அயனியின் (அணு) மீது மோதிக் கொள்ள நேரிடுகிறது. அயனி, எலெக்ட்ரானை விடப் பல மடங்கு கனமானது ஆகையால் மோதலுக்குப்பின், எலெக்ட்ரான் பெற்ற திசைவேகம் சுழியாகிப் போகிறது. அசையாநிலை யிலிருந்து மீண்டும் முடுக்கப்பட்டு அடுத்த மோதல் நிகழும் வரை எலெக்ட்ரான் நகரத் தொடங்குகிறது. அடுத்த மோதல் காரண மாக அதன் திசைவேகம் மீண்டும் சுழியாகிவிடுகிறது. இவ்வாறு இழுப்புத் திசைவேகம், வெட்டி வெட்டிச் செல்லும் ஓர் இயக்கமா கிறது. $v$ என்ற இயல்பு திசைவேகம் இத்தகைய நிலைக்கு உள்ளாவதில்லை.

அடுத்தடுத்த இரு மோதல்களுக்கு இடையே எலெக்ட்ரான் நகரும் தூரத்திற்குத் **தடையற்ற பாதை** (free path) என்று பெயர். இத்தூரம் எலெக்ட்ரானுக்கு எலெக்ட்ரான் வேறுபடுகிறது. இத்தூரங்களின் சராசரிக்கு **சராசரி தடையற்ற பாதை** (Mean free path) என்று பெயர். இதனை $\lambda$ என்ற எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம். இத்தூரத்தைக் கடக்க ஓர் எலெக்ட்ரான் எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் $t$-வினடிகள் என்போம். இதன் மதிப்பு மிகச் சிறியதாகிய இழுப்பு வேகத்தால் தீர்மானிக்கப்படுவதன்று. அதை விடப் பல மடங்கு பெரியதாகிய $v$ என்ற இயல்பு திசைவேகத் திலேயே தீர்மானிக்கப்படுகிறது

ஆகவே, $t = \frac{\lambda}{v}$ ஆகும்.

$$= \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{3kT}{m}}} \qquad \text{—(2)}$$

இந்த $t$ விஞடிகளில் எலெக்ட்ரான் பெறுகின்ற இழுப்புத் திசை வேகம் $v$ என்ருல்

$$v = O + \frac{Xe}{m}.t \text{ ஆகும்.}$$ 
{ எலெக்ட்ரானின் துவக்கதிசை வேகம் $u = o$

ஒவ்வொரு மோதலுக்குப் பிறகும் இந்த இழுப்புத் திசைவேகம் சுழியாகிவிடுவதால், எலெக்ட்ரான் பெறுகின்ற சராசரி இழுப்புத் திசைவேகமாகிய

$$v_1 = \frac{O+v}{2}$$

$$= \frac{v}{2} = \frac{Xet}{2m}$$

சமன்பாடு (2)-லிருந்து $t$-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$v_1 = \frac{Xe}{2m} \cdot \frac{\lambda}{v}$$

$$= \frac{Xe\lambda}{2m\sqrt{\frac{3kT}{m}}}$$

$$= \frac{Xe\lambda}{\sqrt{12kTm}} \qquad \text{—(3)}$$

கடத்தியின் ஓர் அலகு குறுக்குப் பரப்பின் வழியே ஒரு விஞடியில் பாயும் மின்சாரத்தின் அளவு மின்னோட்ட அடர்த்தி (current density) எனப்படும். இதனை $i$ என்ற எழுத்தால் குறிப்போம். ஓர் அலகுப் பருமனில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை '$n$' என்ருல்

$$i = nv_1e \text{ ஆகும்.}$$

இதில் சமன்பாடு 3-லிருந்து பெற்ற $v_1$-ன் மதிப்பினை பதிலீடு செய்ய

$$i = n\frac{Xe\lambda}{\sqrt{12kTm}}.e$$

$$= \frac{nXe^2\lambda}{\sqrt{12kTm}} \qquad \text{—(4)}$$

ஓர் உலோகத்தின் மின் கடத்தல் எண் $\sigma$ என்று குறிக்கப்படுகிறது.

$$\sigma = \frac{\text{மின்னோட்டச் செறிவு}}{\text{மின்புலத்தின் செறிவு}}$$

$$= \frac{i}{X}$$

$$= \frac{nXe^2\lambda}{\sqrt{12kTm}.X}$$

$$\sigma = \frac{ne^2\lambda}{\sqrt{12kTm}} \qquad -(5)$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து ஓர் உலோகத்தின் மின்கடத்தல் எண் என்பது, புலச் செறிவுவைப் பொறுத்தது அன்று என்பதும் அது ஒரு கன செ. மீ. உலோகத்தில் காணப்படும் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களைப் [அதாவது $n$-ன் மதிப்பை] பொறுத்தது எனவும் அறிகிறோம். $\lambda$ என்பது உலோகத்தின் படிக அமைப்பில் இரு உலோக அணுக்களுக்கு இடையே உள்ள தூரத்தைக் குறிக்கிறது வெப்பநிலை மாற்றத்தால் $\lambda$-ன் மதிப்பு அதிக மாறுதலுக்கு உள்ளாவதில்லை என்று கொண்டால் $\sigma \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$ என்று கூறலாம் எனத் தோன்றுகிறது. இது நடைமுறை உண்மைக்கு முரண்பட்ட ஒரு முடிவாகும்.

## மின்கடத்தலும், வெப்பக்கடத்தலும்

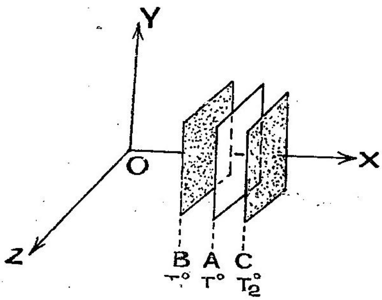
மின்கடத்தலுக்கும், வெப்பக்கடத்தலுக்கும் இடையே நெருங்கிய தொடர்பு உண்டு. 1853-ஆம் ஆண்டிலேயே **வீட்மன் மற்றும் ஃபிரன்ஸ்** (Wiedmann and Franz) என்னும் அறிஞர்கள் இந்தத் தொடர்பினைக் கண்டறிந்தனர்.

**எல்லா வெப்பநிலைகளிலும், எல்லா உலோகங்களுக்கும், அவற்றின் வெப்பக்கடத்தல் எண்ணுக்கும், மின்கடத்தல் எண்ணுக்கும் உள்ள விகிதம் மாறாதிருக்கும்** என்று கூறினர்.

பின்னர் வந்த **லொரென்ட்ஸ்** (Lorentz) என்பார் **ஓர் உலோகத்தின் வெப்பக்கடத்தல் எண்ணுக்கும், அதன் மின்கடத்தல் எண்ணுக்கும் உள்ள விகிதம் அவ்வுலோகத்தின் சார்பற்ற வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும்** என்று கூறினர். இது **வீட்மன் — ஃபிரன்ஸ் விதி** எனப்பெயர் பெற்றது.

வாயு மூலக்கூறுகள் பற்றிய இயக்கக்கொள்கையில் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்த $OX$, $OY$, $OZ$ என்ற மூன்று அச்சுகளை எடுத்துக் கொள்வதைப் போல, உலோகத்தண்டினுள், மூன்று அச்சுகளைக் கற்பனை செய்து கொள்வோம். எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கங்களை இந்த அச்சுகளுக்கு இணையாய் அமைந்த கூறுகளாகப் பகுப்போம். எந்த ஒரு கணத்திலும் ஏதேனும் ஓர் அச்சுக்கு இணையாக ஒரு திசையில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும், அத்திசைக்கு எதிர்திசையில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சமம் எனக் கொள்ளலாம். எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தை $X$ அச்சுக்கு இணையாக, எதிர் எதிர்த் திசைகளில் அமைந்த இரு தொகுப்புகள், $Y$ அச்சுக்கு இணையாக எதிர் எதிர்த் திசைகளில் அமைந்த இரு தொகுப்புகள், $Z$ அச்சுக்கு இணையாக, எதிர் எதிர்த் திசைகளில் அமைந்த இரு தொகுப்புகள் என மொத்தம் ஆறு தொகுப்புகளின் விளைவாகக் கருதலாம்.

இத்தொகுப்புகள் ஒவ்வொன்றிலும் $\frac{n}{6}$ எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. இவை அவற்றின் இருமடிச் சராசரி மூலத் திசைவேகமாகிய $v$ என்ற திசைவேகத்துடன், இந்த மூன்று அச்சுகளில் ஏதேனும் ஒன்றுக்கு இணையாய் அமைந்த ஒரு திசையில் சென்று கொண்டிருக்கின்றன.




படம் 12

உலோகத்தினுள் ஓர் அலகு பரப்புடைய (படம் 12) $A$ என்ற தளம் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். இத்தளம் $X$ அச்சுக்குச் செங்குத்தாக அமைந்துள்ளது என்போம். இந்தத் தளத்தைக் கடந்து இரு திசைகளிலும் விநாடிக்கு $\frac{nv}{6}$ எலெக்ட்ரான்கள் வீதம் செல்கின்றன. மற்ற இரு அச்சுகளுக்கும் இணையாய் நகருகின்ற எலெக்ட்ரான்கள் நாம் எடுத்துக்கொண்ட $A$ என்னும் தளத்தின் பரப்பிற்கு இணையாகவே நகருகின்றன.

$A$ என்ற தளத்திற்கு முன்னும் பின்னும் $\lambda$ என்னும் தூரத்தில் அமைந்துள்ள $B$, $C$ என்ற இரு அலகு பரப்புத்தளங்களை எடுத்துக் கொள்வோம். $B$ என்பது $T_1{}^\circ A$ என்ற உயர்ந்த வெப்பநிலையிலும் $C$ என்ற தளம் $T_2{}^\circ A$ என்ற குறைந்த வெப்பநிலையிலும், $A$ என்ற தளம் இடைபட்ட $T^\circ A$ வெப்பநிலையிலும் இருக்கின்றன என்போம்.

$A$ என்ற தளத்தைக் கடந்து எதிர் எதிர்த் திசைகளில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $\frac{nv}{6}$ எனக் கூறினோம். எனவே, இத்தளத்தின் ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்திற்குக் கடத்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை சுழியாகும். இருப்பினும் $B$ என்ற தளம் உயர் வெப்பநிலையிலும் $C$ என்ற தளம் குறைந்த வெப்ப நிலையிலும் இருப்பதால் ஏற்படும் விளைவினை ஆராய வேண்டும். $B$ என்ற தளத்திலிருந்து $A$ஐ நோக்கி வருகின்ற ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் சுமந்து வருகின்ற சராசரி வெப்ப ஆற்றலின் அளவு $\frac{3kT_1}{2}$ ஆகும். ஆனால், $C$ என்ற தளத்திலிருந்து $A$ஐ நோக்கி வருகின்ற ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் சுமந்து வருகின்ற வெப்ப ஆற்றலின் அளவு $\frac{3kT_2}{2}$ ஆகும். எனவே, எலெக்ட்ரான்களின் $X$ அச்சுக்கு இணையாய் அமைந்த இயக்கத்தின் விளைவாக $A$ என்ற தளத்தின் வழியாக ஒரு வினாடியில் கடத்தப்படும் வெப்ப ஆற்றலின் அளவு

$$Q = \frac{nv}{6}\left(\frac{3kT_1}{2} - \frac{3kT_2}{2}\right)$$

$$= \frac{3nvk}{12}\left(T_1 - T_2\right)$$

வெப்பக்கடத்தலுக்கான வாய் பாட்டின்படி

$$Q = K\frac{(T_1-T_2)}{2\lambda}, \quad \left[\begin{array}{l}\text{பரப்பு} = 1 \text{ ச.செ.மீ} \\ \text{காலம்} = 1 \text{ வினாடி என அறிக.}\end{array}\right]$$

இங்கு $K$ என்பது அவ்வுலோகத்தின் **வெப்பக்கடத்தல் எண்** (coefficient of thermal conductivity) இவை இரண்டையும் ஒப்பிட

$$\frac{3nvk}{12} = \frac{K}{2\lambda}$$

அல்லது $K = \frac{knv\lambda}{2}$ (6)

சமன்பாடுகள் (5) மற்றும் (6) இவற்றிலிருந்து

$$\frac{K}{\sigma} = \frac{knv\lambda}{2} \div \frac{ne^2\lambda}{2mv}$$

$$= \frac{knv\lambda}{2} \quad \frac{2mv}{ne^2\lambda}$$

$$= \frac{kmv^2}{e^2}$$

ஆனால் $\frac{1}{2}\ mv^2 = \frac{3}{2}\ kT$ என அறிவோம்.

எனவே $mv^2 = 3kT$ என பதிலீடு செய்க.

$$\frac{K}{\sigma} = \frac{k.\ 3kT}{e^2}$$

$$= \frac{3k^2}{e^2}\ T \left[\frac{3k^2}{e^2} \text{ என்பது மாறிலி}\right] \quad (7)$$

ஆகையால்

$$\therefore \quad \frac{K}{\sigma} \propto T$$

இதிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் எந்த உலோகமாக இருப்பினும் அதன் வெப்பக்கடத்தல் எண்ணுக்கும் மின் கடத்தல் எண்ணுக்கும் உள்ள விகிதம் மாறுமலிருக்கும் என்ற வீட்மன் - ஃபிரன்ஸ் விதியின் உண்மையை அறிகிறோம். மேலும் $\frac{K}{\sigma} \propto T$ என்பதிலிருந்து லொரென்ட்ஸ் கூறிய கூற்றும் உண்மையே என்பதும் விளங்குகிறது.

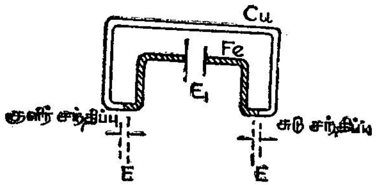
பெரும்பாலான, கலப்பற்ற தூய்மையான உலோகங்களுக்கு உரிய $\frac{K}{\sigma}$ மதிப்பு $6{\cdot}7 \times 10^{10}$க்கும் $7{\cdot}5 \times 10^{10}$க்கும் இடையே அமைந்திருக்கும் சமன்பாடு (7)ஐப் பயன்படுத்தி $\frac{K}{\sigma}$ மதிப்பினைக் கணக்கிடும் போது $k = 1{\cdot}38 \times 10^{-16}$ எர்க்/டிகிரிC என்றும் $e = 1{\cdot}601 \times 10^{20}$ மி.கா.அ. என்றும் பதிலீடு செய்யவேண்டும். அறையின் வெப்பநிலை 27°C என்றால் $T = 273 + 27 = 300°$A

$$\therefore \frac{K}{\sigma} = \frac{3(1.38\times 10^{-16})^2\times 300}{(1.601\times 10^{-20})^2}$$

$$= 6.7\times 10^{10}$$

## வெப்ப மின் விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும் (Thermo electric effect and Electron Theory)

செம்பு மற்றும் இரும்பு போன்ற இரு வேறு உலோகத்தண்டுகள் அல்லது கம்பிகளைக் கொண்டு ஒரு சுற்று அமைத்து அதில் ஒரு கால்வனுமீட்டரையும் இணைப்போம் கம்பிகள் ஒன்றை ஒன்று சந்திக்குமிடம் **சந்திப்பு** (junction) எனப்படும்.




இவ்வமைப்பிலுள்ள இரு சந்திப்புகளுள் ஏதாவது ஒன்றைக் குளிர்நிலையில் வைத்துவிட்டு மற்றதைச் சூடாக்குவோம். இரும்புக் கம்பியிலிருந்து செப்புக்கம்பிக்குக் **குளிர்சந்திப்பு** (cold junction) வழியாக மின்னோட்டம் பாய்வதை கால்வனுமீட்டர் காட்டும். 1926-ல் சீபெக் என்பவரால் இவ்விளைவு கண்டுபிடிக்கப்பட்டதால் இது **சீபெக் விளைவு** (Seebeck effect) என வழங்கப்படுகிறது. வெப்பத்தினால் மின்விளைவு உண்டாவதால் இது **வெப்பமின் விளைவு** (Thermo electric effect) எனவும் வழங்கப்படுகிறது. இரு சந்திப்புகளும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருந்தால் மின்னோட்டம் ஏற்படுவதில்லை. இம் மின்னோட்டம் எவ்வாறு ஏற்படுகிறது. இவ்வமைப்பில் மின்னோட்டத்தைத் தருவதற்குத் தேவையான **மின்னியக்கு விசை** (electromotive force) ஒன்று தோன்றுவதற்கான சூழ் நிலைகள் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். மேலும் தோன்றுகின்ற மின்னியக்கு விசையின் அளவு, சந்திப்புகளுக்கு இடையே உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு விகிதத்திலிருக்கிறது. ஆனால் இந்த மின்னியக்கு விசையின் அளவு, மிகமிகக் குறைவானது. இதனை வோல்ட்மீட்டர் கொண்டு அளவிடமுடியாது. மின்னழுத்தமானி (Potentiometer) கொண்டுதான் அளவிடவேண்டும். சுடு சந்திப்பு (hot junction) தொடர்ந்து சூடாக்கப்பட்டால் குறிப்பிட்ட ஒரு வெப்பநிலையில் மின்னியக்கு விசையின் அளவு ஒரு பெரும எல்லையை

அடைகிறது. மீண்டும் தொடர்ந்து சூடாக்க முற்பட்டால் மின்னியக்கு விசையின் அளவு குறையத் தொடங்கி மற்றொரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் சுழியாகி விடுவதைக் காணலாம். மேலும் தொடர்ந்து சூடாக்கினால் மின்னோட்டத்தின் திசைமாறி எதிர்த் திசையில் அதிகரிக்கத் தொடங்குவதைக் காணலாம். இவ்விளைவுகளுக்கான காரணத்தை எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஆராய்வோம்.

எலெக்ட்ரான் கொள்கையின்படி உலோகத்திற்கு எலெக்ட்ரான் வாயு மாதிரி ஒன்றைக் கண்டோம். குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் வாயு மூலக்கூறுகளுக்கு இருப்பதைப் போலவே ஒவ்வொரு உலோகத்திற்கும் ஓர் அழுத்தம் உண்டு. இதனை எலெக்ட்ரான் வாயு அழுத்தம் என்று கூறலாம். எனவே, ஒரே வெப்பநிலையில் உள்ள இருவேறு உலோகங்களில் காணப்படும் எலெக்ட்ரான் வாயு அழுத்தம், வெவ்வேறு அளவுடையதாக இருக்கும். இவ்விரு உலோகங்களும் ஒன்றை ஒன்று சந்திக்கும் போது அதிக எலெக்ட்ரான் வாயு அழுத்தம் உடைய உலோகத்திலிருந்து குறைந்த எலெக்ரான் வாயு அழுத்தமுடைய உலோகத்திற்கு எலெக்ட்ரான்கள் செல்ல முற்படுகின்றன. இதனால் அவ்விரு உலோகங்களுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றுகிறது. இம்மின்னழுத்த வேறுபாடு அச்சந்திப்பிலுள்ள உலோகங்களின் தன்மையையும், அவற்றின் வெப்பநிலையையும் பொருத்திருக்கிறது.

இரு சந்திப்புகளும் ஒரே வெப்பநிலைபில் இருந்தால் ஒரு சந்திப்பில் உண்டாகும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் அளவும், மற்றச் சந்திப்பில் உண்டாகும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் அளவும் சமமாகவும், ஆனால் எதிர்எதிர்த் திசையிலும் இருப்பதால் விளைவு மின்னழுத்த வேறுபாடு சுழியாகி விடுகிறது.

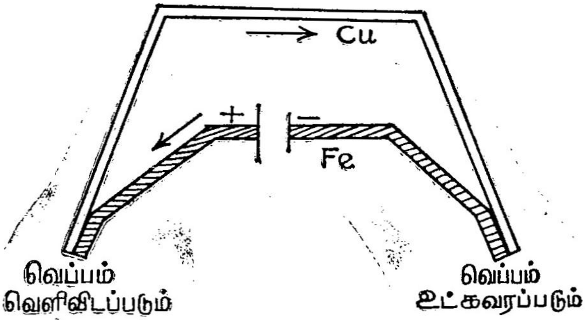
இரு சந்திப்புகளும் இருவேறு வெப்பநிலைகளில் இருக்கையில், சுடு சந்திப்பில் உண்டாகும் மின்னழுத்த வேறுபாடு அளவில் அதிகமாகவும், குளிர் சந்திப்பில் உண்டாகும் மின்னழுத்த வேறுபாடு அளவில் குறைவாகவும் இருக்கும். இப்போதும் அவற்றின் திசைகள் எதிர் எதிராகவே இருக்கும். இப்போது சுற்றில் ஒரு விளைவு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றும்.

## பெல்டியர் விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும் (Peltier effect and Electron Theory)

பெல்டியர் என்ற அறிஞர் 1834-ஆம் ஆண்டில் சீபெக் விளைவின் மறுதலை விளைவு ஒன்றைக் கண்டார். இருவேறு

உலோகங்களின் சந்திப்பு வழியே மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சினால் அந்தச் சந்திப்பில் வெப்ப வெளியீடு அல்லது வெப்ப உட்கவர்தல் நடைபெறும், அச்சந்திப்பில் வெப்பம் தோன்றுமா அல்லது மறையுமா என்பது மின்னோட்டம் பாயும் திசையைப் பொறுத்தது. இந்த விளைவு பெல்ட்டியர் விளைவு எனப்படும்.

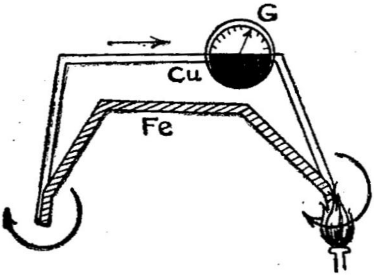
சீபெக் விளைவில் சுடு சந்திப்பில், மின்னோட்டம் செம்பிலிருந்து இரும்புக்கும், குளிர் சந்திப்பில் இரும்பிலிருந்து செம்புக்கும் செல்லும் எனக் கூறினோம். இப்போது இரும்பு-செம்பு, வெப்ப இரட்டை (Thermocouple) சுற்றில் ஒரு மின்கலம் இணைக்கப் பட்டு ஒரு மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இப்போது மின்னோட்டம் செல்லும் திசையில், சீபெக் மின்னோட்டமும் பாய்வதற்கு எந்தச் சந்திப்பு சூடுபடுத்தப்பட வேண்டுமோ அந்தச் சந்திப்பில் வெப்பம் உட்கவரப்படுவதையும் மற்றச் சந்திப்பில் வெப்பம் வெளியிடப்படுவதையும் காணலாம்




படம் 14

(படம் 14) இவ்விளைவுகள் ஏற்படும் விதத்தினை எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஆராய்வோம்.

இரு வேறு உலோகங்களும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருக்கும் போது அவற்றுக்கு உரிய எலெக்ட்ரான் வாயு அழுத்தம் வேறு படுவதால் அவற்றின் சந்திப்பில் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றுகிறது எனக் கூறினோம். ஒரு வெப்ப இரட்டையின் இரு சந்திப்புகளும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருந்தால் அந்தச் சந்திப்பு களில் தோன்றும் மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் அளவில் சமமாகவும் எதிர் எதிர்த் திசைகளிலும் இருக்குமென்றும் கூறினோம். எனவே, இதனைச் சம மின்னழுத்த வேறுபாடு கொண்ட இரு மின்கலங்களை ($E_{1}$, $E$) எதிர் எதிராக இணைப்பதற்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம்




படம் 15

(படம் 15) இப்போது சுற்றில் $E_1$ என்ற மின்கலத்தை இணைத்துச் சுடு சந்திப்பின் வழியே செம்பிலிருந்து இரும்புக்கு மின்னோட்டம் பாயும்படி செய்கிறோம். ஆகவே, மின்கலம் தரும் மின்னோட்டம் குளிர் சந்திப்பில் இரும்பிலிருந்து செம்புக்குச் செல்லும். இப்போது சுற்றில் மூன்று மின்னியக்கு விசைகள் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

(1) $E_1$ என்ற மின்கலம் தரும் மின்னியக்கு விசை (வலஞ்சுழியாக)

(2) சுடு சந்திப்பில் மின்கலந்தரும் மின்னியக்கு விசைக்குத் துணையாக அதே திசையில் மின்னியக்கு விசையைத் தரும் $E$ என்ற மின்னியக்கு விசை (வலஞ்சுழியாக)

(3) குளிர் சந்திப்பில், மின்கலந்தரும் மின்னியக்கு விசைக்கு எதிராக மின்னியக்கு விசையைத் தரும் $E$ என்ற மின்னியக்கு விசை (இடஞ்சுழியாக)

இச்சுற்றின் வழியாக மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும்போது. துணை செய்யும் மின்னியக்கு விசை தருகின்ற சுடு சந்திப்பிலிருந்து ஆற்றல் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு எதிர்க்கும் மின்னியக்கு விசை தருகின்ற குளிர் சந்திப்பில் ஆற்றல் செலவிடப்படுகிறது. ஆகவே, சுடு சந்திப்பு வெப்பத்தை இழுக்கிறது ; குளிர் சந்திப்பு வெப்பத்தை அடைகிறது.

## தாம்சன் விளைவும் எலெக்ட்ரான் கொள்கையும் (Thomson effect and Electron Theory)

மின்னோட்டத்தின் திசையைப் பொறுத்து ஒரு வெப்ப இரட்டையான சந்திப்புகளில் வெப்ப ஏற்போ அல்லது வெப்ப

வெளியீடோ நடைபெறும் என்று பெல்டியர் கூறினர். ஆனல் தாம்சன் என்பார் வெப்ப இரட்டையின் வழியே மின்னேட்டம் பாயும்போது சந்திப்புகளில் மட்டுமல்லாது அவ்வமைப்பிலுள்ள உலோகத் தண்டு அல்லது கம்பிகளிலும் வெப்பஏற்பும், வெப்ப வெளியீடும் நிகழ்கின்றன என்று காட்டினர். இது **தாம்சன் விளைவு** எனப்படும்.

வெப்ப இரட்டையில் பயன்படுத்தப்படும் உலோகத் தண்டின் இரு முனைகளும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருப்பதால் அவற்ருல் வெப்ப ஏற்பு அல்லது வெளியீடு நிகழ்கிறது. அதாவது சீராகச் சூடு செய்யப்படாத கடத்தியின் வழியாக மின்னேட்டம் பாயும்போது அக்கடத்தி வெப்பத்தை ஏற்கவோ இழக்கவோ செய்கிறது. இதனை எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் பின்வருமாறு விளக்கலாம்.

தாம்சன் விளைவும், பெல்டியர் விளைவும் ஏற்படுவதற்கான அடிப்படைக் காரணம் ஒன்றே, ஒரே உலோகத்தின் பல்வேறு இடங்களில் காணப்படும் வெப்பநிலை வேறுபாட்டால் எலெக்ட்ரான்களின் செறிவு (எலெக்ட்ரான் வாயு அழுத்தம்) இடத்திற்கு இடம் வேறுபடுகிறது. இதனல் அவ்வுலோகத்திலுள்ள இரு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றுகிறது, இது தாம்சன் மின்னியக்கு விசை. இக்கடத்தி வழியாக மின்னேட்டம் பாயும் போது தாம்சன் மின்னியக்கு விசை இம்மின்னேட்டத்திற்கு உதவுமாறு அமைந்தால் அக்கடத்தியில் வெப்பம் மறைகிறது, எதிர்க்குமாறு அமைந்தால் வெப்பம் தோன்றுகிறது.

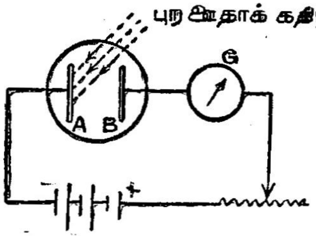
# 5. ஒளிமின் விளைவு
## (Photo electric effect)

எக்ஸ்-கதிர்கள், புற ஊதாக் கதிர்கள், கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிக் கதிர்கள் போன்ற கதிர்வீச்சுகள் படும்போது சில உலோகங்கள் எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி **ஒளிமின் விளைவு** (Photo electric effect) எனப்படும். 1873-ஆம் ஆண்டு W. ஸ்மித் என்ற தந்தி அலுவலர் இந்நிகழ்ச்சியினை முதன் முதலாகக் கண்டறிந்தார். அட்லான்டிக் கடலுக்குக் குறுக்கே செல்லும், கடலடித் தந்திக் கம்பிகளின் மின் தடையை அளவிடும் பணியில் ஈடுபட்டிருந்த ஸ்மித், தாம் பயன்படுத்திய கருவியிலிருந்த செலீனியம் மின்தடையின்மீது ஒளிபட்ட போது மின் சுற்றின் மின்னோட்டம் குறிப்பிடத் தக்க அளவு மாறுபடுவதைக் கண்டார். பின்னர் 1887-ல் **ஹெர்ட்ஸ்** என்பார் தூண்டுசுருளின் பொறி இடைவெளியில் (Spark gap), புற ஊதாக் கதிர்கள் விழுந்தபோது எளிதில் பொறிகள் பாய்ந்து செல்லக் கண்டார். பின்னர் **ஹால்வாக்ஸ்**, எல்ஸ்டர் மற்றும் **கெய்ட்டல்** ஆகியோர் இந்நிகழ்ச்சி பற்றி ஆராய்ந்து இவ்விளைவுப்பற்றிய உண்மைகளை வெளியிட்டனர். இவர்களைத் தொடர்ந்து, **தாம்சன், ரிச்சர்ட்சன், லெனார்ட், காம்ப்டன்** போன்றோர் இந்நிகழ்ச்சியில் வெளிவிடப்படும் எதிர்மின் அயனியின் இயல்பு—ஒளி **மின்னோட்டத்திற்கும்** (photo electric current) ஒளியின் செறிவிற்கும் உள்ள தொடர்பு, வெளியிடப்படும் துகளின் வேகம் மற்றும் ஆற்றல் இவற்றிற்கும், படு ஒளியின் அலை நீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு போன்றவற்றைத் தெளிவாகக் கண்டனர். விஞ்ஞான மேதை ஐன்ஸ்டைன் ஒளிமின் விளைவு பற்றிய சமன்பாடு ஒன்றைக் கூறி அதன் மூலம் குவான்டம் கொள்கையினை நிலைநாட்டினார்.

### ஹால்வாக்ஸ் சோதனை

வாயு நீக்கம் செய்யப்பட்ட குவார்ட்ஸ் குமிழ் ஒன்றுக்குள் *A*, *B* என்ற இரு துத்த நாகத் தகடுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்

கின்றன. குமிழுக்கு வெளியே படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அத்தகடு கள், மின்கல அடுக்கு, கால்வனுமீட்டர் ஆகியவற்றுடன் தொடர் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. *A* என்ற தகடு எதிர் முனை யுடனும் *B* என்ற தகடு நேர்முனையுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக் கின்றன. (படம் 16)




படம் 16

*A* என்ற தகட்டின் மீது புற ஊதாக் கதிர்களை விழச் செய்தால் கால்வனுமீட்டர் முள் அசைவதைப் பார்க்கலாம். இதிலிருந்து சுற்றில் மின்னோட்டம் பாய்வதை ஊகிக்கலாம். ஆனால் *B* என்ற (நேர்முனை) தகட்டின் மீது புற ஊதாக் கதிர்கள் படும்போது அத்தகைய மின்னோட்டம் உண்டாவது இல்லை. இதிலிருந்து **எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற தகட்டின் மீது ஒளி விழும்போது அது தன் மின்னூட்டத்தை இழக்கிறது என்றும் ஆனால் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற தகடு அவ்வாறு மின்னூட்டத்தை இழப்பது இல்லை** என்றும் அறியலாம். மேலும் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற தகடு ஒளியின் தூண்டுதலால் இழப்பது எதிர்மின் அயனிகளே என்றும் அறிகிறோம். இவ்விளைவு ஒளியின் ஆட்சியின் கீழ் விளைவதால் இதனை (photo = ஒளி) **ஒளி மின் விளைவு** எனப் பெயரிட்டனர். இந்நிகழ்ச்சியில் வெளிவரும் எதிர் மின் அயனிகள் **ஒளி எலெக்ட்ரான்கள்** (photo electrons) என்றும், உண்டாகும் மின்னோட்டம் **ஒளி மின்னோட்டம்** (photo electric current) என்றும் வழங்கப்படு கின்றன.

துத்தநாகம் (zinc), மெக்னீசியம், லிதியம், சோடியம், பொட்டாசியம், ருபீடியம் போன்றவை புற ஊதாக் கதிர் களினாலும், சோடியம், பொட்டாசியம், ருபீடியம் போன்றவை சாதாரண ஒளியாலும் தூண்டப்பட்டு இவ்விளைவினைத் தரவல்லன இவ்விளைவில் உண்டாகும் எலெக்ட்ரான்களின் அளவும், பண்பு களும், தூண்டுகின்ற கதிர் வீச்சுடன் தூண்டப்படுகின்ற பொருள் களையும் பொறுத்திருக்கின்றன.

## ஐன்ஸ்டைன் கூறிய ஒளிமின் விளைவுச் சமன்பாடு (Einstein's photo electric equation)

ஒளிமின் விளைவினை, மின்காந்த அலைக்கொள்கையின் வழி விளக்க முடியாமற் போகவே, ஐன்ஸ்டைன், பிளாங்க் என்பார் கூறிய குவான்டக் கொள்கையின் அடிப்படையில், ஒளிமின் விளைவினை விளக்க முற்பட்டு அதில் வெற்றியும் கண்டார்.

குவான்டக் கொள்கையின்படி கதிர்வீச்சு என்பது $h\nu$ என்ற வரையறுக்கப்பட்ட அளவுடைய ஆற்றலைக் கொண்ட சிறிய முடிச்சுகளின் (packets) பொழிவு ஆகும். இந்த ஆற்றல் முடிச்சுகளுக்கு **குவான்டங்கள்** (quanta) என்று பெயர். இந்தக் குவான்டங்களை **ஃபோட்டான்கள்** (photons) என வழங்குவர். $h\nu$ என்பதில் $h$ என்பது பிளாங்க் மாறிலி (Planck's constant) யையும், $\nu$ என்பது கதிர் வீச்சின் அதிர்வு எண்ணையும் குறிக்கின்றன.

உமிழ் பொருளின் அணு ஒன்றுக்கும் ஃபோட்டான் ஒன்றுக்கும் இடையே நடைபெறும் மோதலில், அணு ஃபோட்டானை உட்கவர்ந்து விடுகிறது. இவ்வாறு உட்கவரப்பட்ட ஆற்றல் ஒளி எலெக்ட்ரானை வெளிவரச் செய்வதற்கும், அதற்கு ஆற்றலைக் கொடுப்பதற்கும் செலவழிக்கப்படுகிறது. அணுவிலிருந்து ஒளி எலெக்ட்ரானை பிரித்தெடுத்து வெளிவரச் செய்வதற்கு செலவிடப்படும் ஆற்றலின் அளவிற்கு **ஒளிமின் வேலை** (photo electric work) என்று பெயர். அதன் அளவு $w_0$ என்போம். ஒளி எலெக்ட்ரான் $v$ என்ற வேகத்துடன் வெளிவருவதாகக் கொண்டால் அதன் இயக்க ஆற்றல் $=\frac{1}{2}mv^2$ ஆகும். இங்கு $m$ என்பது ஒளி எலெக்ட்ரானின் நிறையாகும்.

ஃபோட்டான் ஆற்றல் = { ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் + ஒளிமின் வேலை

$$h\nu=\frac{1}{2}mv^2+w_0 \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2}mv^2=h\nu-w_0$$

இச்சமன்பாட்டிற்கு ஐன்ஸ்டைனின் ஒளிமின் விளைவுச் சமன்பாடு என்று பெயர். ஒளிமின் வேலையின் அளவு பொருளுக்குப் பொருள் வேறுபடுகிறது. இச்சமன்பாட்டில் $v=0$ எனப் பதிலீடு செய்வதாக வைத்துக்கொள்வோம்.

அப்போது $o = h\nu - w_0$ அல்லது $h\nu = w_0$ ஆகும். அதாவது ஃபோட்டானின் ஆற்றல் ஒளியின் வேலைக்குச் சமமாகும். இப்போது ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் தோற்றுவிக்கப்படுமே தவிர வெளிவர இயலாது. $h\nu$-ன் மதிப்பு $w_0$-விடக் குறைவாக இருந்தால் அணுவிலிருந்து ஒளி எலெக்ட்ரான்களைப் பிரித்தெடுப்பதும் இயலாது. ஆகவே ஒளி எலெக்ட்ரான்களைத் தோற்றுவிப்பதற்கு அப்பொருளின் தன்மைக்கு ஏற்பக் குறிப்பிட்ட அளவுடைய ஆற்றல் கொண்ட ஃபோட்டான் தேவை. ஃபோட்டானின் ஆற்றலாகிய $h\nu$-ல் $h$-என்பது மாறிலியாகையால் $\nu$-ன் மதிப்பு குறிப்பிட்ட ஒரு மதிப்புக்குக் குறைவாக இருக்க இயலாது. ஒளி எலெக்ட்ரானைத் தோற்றுவிப்பதற்கு ஏற்ற, $\nu$-ன் சிறும மதிப்பிற்கு **பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் (Threshold frequency)** என்று பெயர். அது $\nu_0$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. ஆகவே $w_0 = h\nu_0$ ஆகும். ஒவ்வோர் **உமிழ் பொருளுக்கும் (emitter)** ஒரு பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் உண்டு.

எனவே, ஐன்ஸ்டைன் சமன்பாட்டில் பயன் தொடக்க அதிர்வு எண்ணாகிய $\nu_0$-ஐப் பயன்படுத்தினால்

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0$$

$$= h(\nu - \nu_0) \text{ என எழுதலாம்.}$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து பின்வரும் உண்மைகளை அறியலாம்.

(1) $h\nu_0$ என்பது ஓர் உமிழ்பொருளைப் பொறுத்தவரை ஒரு மாறிலி ஆகையால், ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல், பொருளின் மீது விழுகின்ற ஒளியின் அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

(2) ஒளியின் அதிர்வு எண்ணை மாற்றாமல் ஒளியின் செறிவினை மாற்றுவதால் ஒளி எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மாறுவது இல்லை. அதாவது ஒளியின் செறிவிற்கும் ஒளி எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்திற்கும் சம்பந்தமில்லை. ஒளியின் செறிவினை அதிகரிக்கும் போது வெளிவிடு பொருளின் மீது விழுகின்ற ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகும். இதனால் ஃபோட்டான்-அணு மோதல்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க ஒவ்வொரு மோதலுக்கும் ஓர் ஒளி எலெக்ட்ரான் உண்டாவதால் அதிக ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் உண்டாகும். இதனால் ஒளி மின்னோட்டத்தின் வலிமை (Strength) அதிகமாகுமே தவிர ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகமோ அதன் காரணமாக இயக்க ஆற்றலோ அதிகரிக்க வழியில்லை.

(3) வெளிவிடு பொருளின் தன்மைக்கு ஏற்ப ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் ஒரு பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் உண்டு.

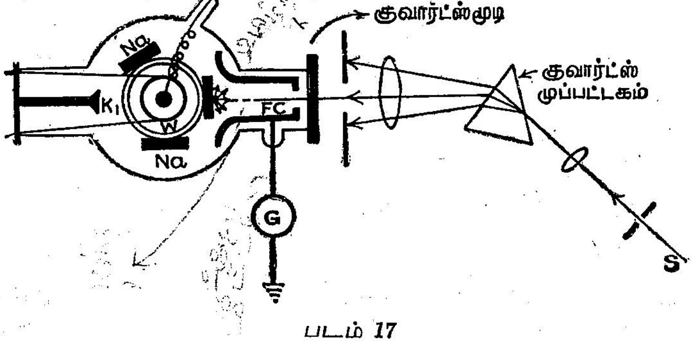
## ஒளிமின் விளைவு சமன்பாட்டைச் செய்முறையால் மெய்ப்பித்தல்

ஒளிமின் விளைவு பற்றி ஐன்ஸ்டைன் கூறிய சமன்பாட்டை மெய்ப்பிக்க முனைந்த O. W. ரிச்சர்ட்சன், K. T. காம்ப்டன் ஆகியோர் ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் அவற்றை விடுவிக்கின்ற ஒளியின் அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதைக் கண்டதோடு அவ்விகித மாறிலி பிளாங்க் மாறிலியாகிய $h$-க்குச் சமமாக இருப்பதையும் அறிந்தனர்.

இவர்களைத் தொடர்ந்து மில்லிக்கன் என்பார் விரிவான பல ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் ஐன்ஸ்டைன் சமன்பாட்டினை ஐயத்திற்கு இடமின்றி மெய்பித்துக் காட்டினார். ஐன்ஸ்டைன் சமன்பாட்டில் வருகின்ற $\frac{1}{2}mv^2$, $v$, $w_0$ ஆகியவற்றைத் துல்லியமாக அளவிட்டு அவற்றைக் கொண்டு கணக்கிட்ட $h$-ன் மதிப்பு, வேறு பல முறைகளில் கணக்கிடப்பட்ட $h$-ன் மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்து வருகிறது எனக் காட்டியதன் மூலம், மறைமுகமாக ஐன்ஸ்டைன் சமன்பாடு சரியே என நிலைநாட்டினார்.

## மில்லிக்கன் சோதனை

மில்லிக்கன் பயன்படுத்திய கருவியின் படம் 17-ல் காட்டியவாறு அமைந்திருந்தது. கார வகை உலோகங்கள் (Alkali metals) கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிபட்டாலும் ஒளிமின் விளைவு தர வல்லவை. எனவே, மில்லிக்கன் சோடியம், பொட்டாசியம் போன்ற காரவகை உலோகங்களைப் பயன்படுத்தினார். வெள்ளை




படம் 17

நிற ஒளிக்கற்றையை நிறப்பிரிகை (dispersion) செய்து வெவ்வேறு அதிர்வு எண் கொண்ட பல ஒளிக் கதிர்களைப் பெற்று அவற்றைப் பயன்படுத்தினர்.

முற்றிலும் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட குமிழ் ஒன்றின் மையத்தில் எளிதில் சுழற்றத் தக்க நிலையில் சக்கரம் ($W$) ஒன்று வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. சக்கரத்தின் விளிம்பில் $Na$, $K$, அல்லது $Li$ ஆகிய உலோகங்களால் செய்யப்பட்ட சிறு உருளைகள் பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. இந்த உருளைகளின் மேற்பரப்பைச் சுரண்டிப் புதுக்குவதற்கு ஏற்ற கத்தி முனை ($K_1$) ஒன்று இருக்கிறது. உலோக உருளைகளின் முகங்களைக் கத்தி விளிம்பை நோக்கியோ, ஒளிக் கதிர்கள் வரும் பாதையை நோக்கியோ திருப்ப இயலும். ஒளி மின் விளைவினால் உண்டாகும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களை ஏற்பதற்கு, செப்புக்கம்பி வலையால் செய்யப்பட்ட, ஒளிஉணர்வு இல்லாத ஃபாரடே உருளை (Faraday's cylinder) F. C. ஒன்று வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. இது எலெக்ட்ரோமீட்டர் (electrometer) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஏதாவது மின்னூட்டம் ஃபாரடே உருளையை அடைந்தால் எலெக்ட்ரோமீட்டரில் உள்ள முள் அசையும்.

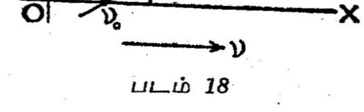
உமிழ்தளத்தை விட்டு வெளிவரும் ஒளி எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் $\frac{1}{2}mv^2 = hv - w_0$ எனக் கூறினோம். இவ்வாற்றலை அளவிடு வதற்கு மில்லிக்கன் பின்வரும் முறையைக் கையாண்டார். விசையோடு வெளிவரும் எலெக்ட்ரானை எதிர்த்து நிறுத்தி அது ஃபாரடே உருளையை அடையாமற் செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றலைக் கணக்கிட்டு, அதன் மூலம் எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றலைக் கணித்தார். உமிழ்தளத்திற்கும் ஃபாரடே உருளைக்கு மிடையே $V$ என்ற மின்னழுத்த வேறுபாடு நிலவச் செய்து ஃபாரடே உருளையை எதிர்முனையுடன் இணைத்தால் வெளிவரும் எலெக்ட்ரானின் மீது $eV$ என்ற எதிர்ப்பு ஆற்றல் செயற்படும் அல்லவா? இதனால் எலெக்ட்ரான் வெளிவரும் வேகம் குறையும். மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் மதிப்பினைத் தக்கவாறு மாற்றி $e.V = \frac{1}{2}mv^2$ ஆகும்படி செய்தால் ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் உமிழ் தளத்திலேயே தங்கிவிடும் அல்லவா? இவ்வாறு ஒளி எலெக்ட் ரான்கள் ஃபாரடே உருளையை அடையாது தடுக்கப்படுவதால், அத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கால்வனுமீட்டரில் ($G$) அசைவு ஏற்படாது. இவ்வாறு வெளிவிடுதளத்திலிருந்து ஒளியால் விடுவிக்கப்பட்டு, $v$ என்னும் திசைவேகத்துடன் ஃபாரடே உருளையை நோக்கி வருகின்ற எலெக்ட்ரான்களை, வெளிவிடு தளத்திற்கும் ஃபாரடே உருளைக்குமிடையே நிலவிய $V$-என்ற

மின்னழுத்தம் தடுத்து நிறுத்திவிட்டது. இத்தகைய மின்னழுத்தத்திற்கு **தடுப்பு மின்னழுத்தம்** (Stopping potential) என்று பெயர்.

$$eV=\tfrac{1}{2}mv^2$$
$$=h\nu-w_0$$
$$V=\left(\frac{h}{e}\right)\nu-\frac{w_0}{e}\text{ ஆகும்.}$$

இச்சமன்பாடு $y=\mu x+c$ என்ற அமைப்பில் இருப்பதால், இது ஒரு நேர்கோட்டினைக் குறிக்கும் என அறியலாம். இதில் $\mu=\frac{h}{e}$, $c=\frac{w_0}{e}$ ஆகும்.

வெவ்வேறு நிற ஒளிக்கதிர்களைப் (அதாவது வெவ்வேறு அதிர்வு எண் கொண்ட ஒளியை) பயன்படுத்தி, அவற்றிற்கு உரிய தடுப்பு மின்னழுத்தங்களை மில்லிக்கன் கணக்கிட்டார். பின்னர் $V$ என்ற தடுப்பு மின்னழுத்தத்திற்கும் $\nu$ என்ற அதிர்வு எண்ணுக்குமிடையே ஒரு வரைபடம் வரைந்தார். அது படத்தில் காட்டியவாறு இருந்தது. $V$ என்பதை $Y$ அச்சிலும், $\nu$ என்பதை $X$ அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு, வரையப்பட்ட அப்படத்தில் வரைபட நேர்கோடு $X$ அச்சை $A$ என்ற இடத்தில் வெட்டுவதைக் காணலாம். (படம் 18) அப்புள்ளிக்குரிய தடுப்பு மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு




படம் 18

சுழியாகும். அதாவது அப்புள்ளிக்குரிய $\nu$-ன் மதிப்புப் பயன்படுத்தப்பட்ட வெளிவிடு பொருளின் பயன் தொடக்க அதிர்வு எண்ணாகிய $\nu_0$-ஐத் தரும்.

இவ்வாறு பெற்ற நேர் கோட்டின் சரிவு (Slope) $\mu=\tan\theta=\frac{h}{e}$ ஆகும். இச்சரிவின் மதிப்பிலிருந்து $h$-ஐக் கணக்கிடலாம்.

$$h=e\tan\theta.$$

தடுப்பு மின்னழுத்தமாகிய $V$ வோல்ட்களிலும், மின்னூட்டம் $e$ கூலம்களிலும், எலெக்ட்ரானின் நிறை கிலோகிராம்களிலும் அளவிடப்பட்டால் $h$-ன் மதிப்பு $6{\cdot}6238 \times 10^{-34}$ ஜூல் வினாடி ஆகும். இம்மதிப்புப் பிற முறைகளின் மூலம் கணக்கிடப்பட்ட $h$-ன் மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தது. இவ்வாறு ஐன்ஸ்டைனின் ஒளிமின் சமன்பாட்டுடன், குவான்டம் கொள்கையின் சிறப்பும் நிலை நாட்டப்பட்டது.

## ஒளிமின் விளைவு விதிகள்
## (Laws of photo electric effect)

மேற்கூறிய விளக்கங்களிலிருந்தும், சோதனைகளிலிருந்தும் ஒளிமின் விளைவு என்னும் நிகழ்ச்சி பின்வரும் விதிகளுக்கு உட்பட்டு நடைபெறக் காணலாம்.

(1) ஒளி மின்னோட்டத்தின் வலிமை (Strength) அதை உண்டாக்கும் ஒளியின் செறிவுக்கு (intensity) ஏற்ப மாறுபடுகிறது. பொலிவுள்ள ஒளி அதிக மின்னோட்டத்தையும், மங்கலான ஒளி குறைந்த மின்னோட்டத்தையும் தருகின்றது. மின்னோட்டத்தைத் தொடரச் செய்வதற்கு நேர்முனைக்கும் எதிர்முனைக்கும் இடையே பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்து ஒளி மின்னோட்டம் தெவிட்டு நிலையை (Saturation) அடையும்.

(2) ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் மற்றும் அதனால் உண்டாகும் இயக்க ஆற்றல் ஆகியவை படுவொளியின் செறிவினைப் பொறுத்தவை அல்ல. படுவொளியின் அதிர்வு எண் மாறாத வரை செறிவினை மட்டும் மாற்றுவதால் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகத்திலும் சரி இயக்க ஆற்றலிலும் சரி எவ்வித மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லை.

(3) ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் படுவொளியின் அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். அல்லது ஒளி எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் இருமடி (square) அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். $v^2 \alpha \nu$.

(4) ஒளிமின் விளைவினைத் தூண்டுவதற்கென்று ஒரு சிறும அதிர்வு எண் உண்டு. அதைவிட குறைந்த அதிர்வு கொண்ட ஒளியால் ஒளிமின் விளைவினைத் தோற்றுவிக்க இயலாது. இவ்வாறு ஒளி மின் விளைவினைத் தூண்டுவதற்குரிய சிறும அதிர்வு எண் பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் (Threshold frequency) எனப்படும். இந்த

அதிர்வு எண் பொருளுக்குப் பொருள் வேறுபடும். பயன் தொடக்க அதிர்வு எண்ணுக்குக் குறைந்த அதிர்வு எண் கொண்ட ஓர் ஒளி எவ்வளவு செறிவுமிக்கதாக இருந்தாலும் ஒளிமின் விளைவு உண்டாகாது.

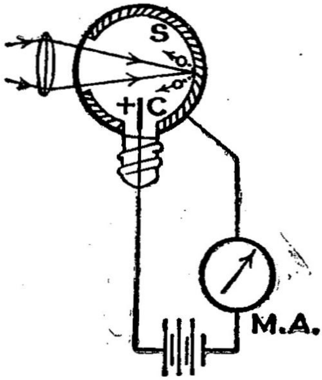
(5) ஒளிமின் நிகழ்ச்சி ஓர் உடனடி நிகழ்ச்சியாகும். அதாவது வெளிவிடு பொருளின் மீது ஒளிபட்டவுடனேயே ஒளி மின்னோட்டம் தொடங்கிவிடுகிறது. ஒளிபடுவதற்கும் ஒளி மின்னோட்டம் ஏற்படுவதற்கும் இடையே ஏற்படும் கால தாமதம் $3 \times 10^{-9}$ விநாடிக்கும் குறைவாகவே இருக்குமெனக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள்.

## ஒளிமின் கலம் (Photo electric cell)

காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட சிறு கண்ணாடிக் குமிழின் உட்புறத்தில், ஒரு சிறுபகுதி போக மீதிப் பகுதி முழுவதிலும் சோடியம் போன்ற கார வகை உலோகம் ஒன்று படியச் செய்யப் பட்டிருக்கிறது. இத்தகைய மின்கலம் புலனாகும் ஒளியால் செயல் படவல்லது. புற ஊதாக் கதிர்களினால் செயல்பட வேண்டு மென்றால், கண்ணாடிக் குமிழுக்குப் பதில் குவார்ட்ஸ் குமிழ் பயன் படுத்தப்படவேண்டும். காற்றிலுள்ள ஆக்சிஜன் காரவகை உலோகங்களுடன் விரைந்து வேதியியல் மாற்றத்தை உண்டாக்கி. ஒளி உணர்வு அற்ற ஆக்சைடு பரப்பினைத் தோற்றுவித்துவிடும் ஆகையால், குமிழினுள் சிறிதும் காற்று இல்லாதபடி நன்கு நீக்கி விட வேண்டும். உலோகம் படியச் செய்யப்படாத சிறு பகுதிக்கு **வாயில் (window)** எனப்படும். இதன் வழியேதான் ஒளி குமிழினுள் புகுகிறது. ஒளி எலெக்ட்ரான்களை ஈர்த்து ஏற்பதற்காக நேர் மின்னழுத்தங் கொண்ட ஏற்புவாய் (collector) ஒன்று பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. ஒளி உணர்வுடைய உலோகப் பரப்பு மின்கலம் ஒன்றின் எதிர்மின் முனையுடனும், ஏற்புவாய் நேர்மின் முனை யுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

(படம் 19) ஒளிமின் கலத்தின் வாயில் வழியே புகும் ஒளிக் கதிர், ஒளி உணர்வுப் பரப்பின் ($S$) மீது விழ ஒளிமின் விளைவு உண்டாகி, ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் வெளி வருகின்றன. இவை நேர் மின்னழுத்தங் கொண்ட ஏற்பு வாயினால் ($C$) ஈர்த்து இழுக்கப் பட்டு வெளிச்சுற்றில் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. இம்மின்னோட்டம் அம்மீட்டரால் அளவிடப்படுகிறது. ஒளியின் செறிவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க வெளியிடப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. இதன் காரணமாக வெளிச்

சுற்றில் பாயும் ஒளி மின்னோட்டத்தின் வலிமையும் அதிகரிக்கிறது. ஒளிப்படுவதைத் தடுத்துவிட்டால் உடனடியாக மின்னோட்டமும்




படம் 19

நின்றுவிடுவதைக் காணலாம். ஏறியிறங்கும் செறிவினைக் கொண்ட ஒளி, ஒளி மின்கலத்தின் ஒளி உணர்வுப் பரப்பின் மீது விழுந்தால் வெளிச் சுற்றில் பாயும் ஒளி மின்னோட்டமும் அதே வீதத்தில் ஏறி இறங்கக் காணலாம். இவ்வாறு ஒளிச்செறிவின் ஏறி இறங்கும் பண்புக்கு ஏற்ப ஏறி இறங்கும் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்க ஒளி மின்கலம் உதவுகிறது. இதைப் பயன்படுத்திப் பேசும் படங்களில் ஒளிப்பதிவும், மீட்டொலித்தலும் நடைபெறுகிறது. திருடர்களைக் காட்டும் அறிவிப்பு மணி, தொழிற்சாலைகளிலும், நூலகங்களிலும் பயன்படுத்தப்படும் தானியங்கி எண்ணிகள் (automatic counters) போன்ற பல்வேறு அமைப்புகளிலும் ஒளிமின்கலங்கள் அதிக அளவில் பயன்பட்டுவருகின்றன.

**குறிப்பு :—உள் ஒளிமின் விளைவு** (Inner photo electric effect) மேலே கண்ட ஒளிமின் விளைவு வெளிவிளைவு அல்லது பரப்பு விளைவு எனப்படும். அதாவது வெளி விளைவில் வெளிவிடு பொருளின் மேற்பரப்பில் உள்ள அணுக்கள் மட்டுமே பங்கு கொண்டு ஒளி எலெக்ட்ரான்களைத் தருகின்றன. படுகதிர் வெளிவிடு பொருளினுள்ளே ஊடுருவிச் சென்றால் **உள் ஒளிமின் விளைவு** உண்டாகும். அப்போது பொருளின் உள்ளே இருக்கும் அணுக்களிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் விடுவிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு **மின் கடத்தாப் பொருள்** (dielectric) அல்லது **குறை கடத்தி** (Semi conductors) ஒன்றுக்குள் எலெக்ட்ரான்கள் விடுவிக்கப்பட்டால் அவற்றின் **மின் கடவாப் பொருள் மாறிலி** (Specific inductive

capacity) அல்லது கடத்துதிறன் (conductivity) மாறுவதைக் காணலாம். இதனை **ஒளிமின் கடத்துதிறன்** (photo electric conductivity) எனக் கூறுவர். இவ்விளைவில் எலெக்ட்ரான்கள் வெளி வருவதில்லை என்பதை மறத்தலாகாது. செலீனியம். குவார்ட்ஸ். ஃப்ளுரைட், பாரஃபின் போன்ற பொருள்களில் **உள் ஒளிமின் விளைவு** காணப்படுகிறது.

## ஒளியால் கடத்தும் மின்கலங்கள் (Photo conduction cells)

இவை உள் ஒளிமின் விளைவினுல் செயற்படுகின்றன. உள் ஒளிமின் விளைவு பொருள்களின் மின்தடையில் மாற்றம் உண்டாக்குகிறது. இம்மின்கலங்களிலிருந்து பெறும் மின்னேட்டம் **பின்வரு மின்னேட்டமாகும்** (Secondary current). எவ்வாறெனில், இம்மின்கலங்களில் பயன்படுத்தப்படும் செலீனியம் போன்ற **குறை கடத்திகள்** (Semi-conductors) அவற்றினுள் அமைந்திருக்கும் ஓர் எல்லையில் எலெக்ட்ரான்களைக் குவித்துப் **பின் மின்னியக்கு விசை** (back e. m. f.) ஒன்றைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதனுல் **முன் வரு ஒளி மின்னேட்டம்** (primary photo electric current) தடுத்து நிறுத்தப்படுகிறது. ஆனுல், அந்த எல்லையில் எலெக்ட்ரான்கள் அதிகம் குவிதலால் அவ்விடத்தின் மின்தடை மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது. இதனுல் மிக அதிகமான **பின்வரு ஒளி மின்னேட்டம்** (Secondary photo electric current) உண்டாகிறது. இத்தகைய மின்கலங்கள் இயங்குவதற்கு ஏறக்குறைய 100 வோல்ட் அளவுடைய வெளி மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒன்றைச் செயற்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது. இது போன்ற **நிலை ஒளியால் திருத்தி மின்கலங்கள்** (photo-rectifier cells) எனப்படும் மின்கலங்களிலும் உண்டாகின்றன.

## திருத்தி மின்கலங்கள் (Rectifier cells)

உலோகத்தகடு ஒன்றின் மீது **குறைக்கடத்தி ஏடு** (Semi-conducting layer) ஒன்று படியுமாறு செய்யப்படுகிறது. குறைக் கடத்தி ஏட்டின்மீது மெல்லிய குறையொளி புகு (Semi-transparent) உலோகப்படலம் ஒன்று உண்டாக்கப்படுகிறது. இப்படலம் குறைக்கடத்தியுடன் மின் தொடர்பு உண்டாக்குவதுடன் குறைக்கடத்தியின் மீது படும்படிச் செய்யவும் உதவுகிறது. குறைக்கடத்தியின் மீது ஒளி விழுந்தவுடன் எலெக்ட்ரான்கள் விடுவிக்கப்பட்டுக் குறைக்கடத்தியினுள் ஒளிவிழும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் நகருகின்றன. உலோகப்படலத்திற்கும், உலோகத் தகட்டிற்குமிடையே ஒரு கால்வனுமீட்டரை இணைத்து மின்னேட்டத்தை அளவிடலாம். இம்மின்னேட்டம் ஒளியின்

செறிவுக்கு நேர் விகிதத் தொடர்பு உடையது அன்று. இத்தகைய அமைப்பைக் கொண்டு இருதிசை மின்னோட்டத்தை ஒரு திசை மின்னோட்டமாக மாற்றலாம். எனவே, இந்த அமைப்பு **திருத்தி மின்கலம்** (rectifier cell) என வழங்கப்படுகிறது.

## ஒளிமின்கலங்களின் பயன்கள்

ஊதுலைகளின் (furnace) வெப்பநிலைகளைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கான அமைப்புகள், கலோரி அளவியல், ஒளி அளவியல் ஆகிய துறைகளிலும், திருடர்கள் மற்றும் தீ அறிவிப்பு மணிகளிலும், தெரு விளக்குகளுக்கான தானியங்கி அமைப்புகளிலும், தானியங்கி எண்ணிகளிலும் இதுபோன்ற பல்வேறு வழிகளிலும் ஒளிமின் கலங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

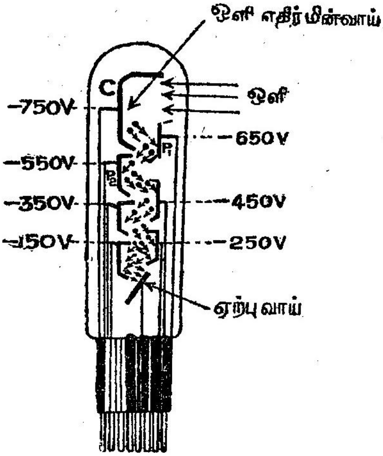
## பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள் (Secondary electrons)

ஓர் உலோகத்தகட்டின் மேற்பரப்பில் எலெக்ட்ரான்கள் மோதும்போது அவை அப்பரப்பில் உள்ள அணுக்களின் மீது மோதி அவற்றிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுகின்றன. இவ்வாறு வெளியேறும் எலெக்ட்ரான்களை **பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள்** (Secondary electrons) என்கிறோம், இவ்விளைவு **பின்வரு வெளிவிடல்** (Secondary emission) எனப்படும். மோதும் எலெக்ட்ரான்கள், முதன்மை எலெக்ட்ரான்கள் (Primary electrons) என்று வழங்கப்படுகின்றன. முதன்மை எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவற்றால் வெளியேற்றப்படும் பின்வரு எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரித்துக்கொண்டே சென்று குறிப்பிட்ட ஒரு பெரும நிலையை (maximum) அடையும். ஏறக்குறைய எல்லா உலோகங்களுக்கும் இப்பெரும எண் இரண்டு ஆகும். சில காரவகை உலோகங்களுக்கு இப்பெரும எண் எட்டு அல்லது பத்தாக இருப்பதுண்டு. பொதுவாகக் குறைந்த **வேலை சார்பலன்** (work function) உடைய பரப்பிலிருந்து நிறையப் பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேறுகின்றன.

## ஒளிமின் பெருக்கி (Photo multiplier)

மிக மங்கலான ஒளியை அதாவது குறைந்த செறிவுடைய ஒளியைக்கண்டு அளவிட்டு அறிவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் ஒளிமின்கலங்களில் **பின்வரு எலெக்ட்ரான் வெளிவிடுமுறை** பயன் படுத்தப்பட்டுள்ளது. இத்தகைய குழாய்களுக்கு ஒளிமின்பெருக்கிக்

குழாய்கள் என்று பெயர். அதன் அமைப்பு படத்தில் (படம் 20) காட்டப்பட்டிருக்கிறது. C என்பது ஒளி-எதிர்மின்வாய் (Photo




(படம் 20)

Cathode) அளவிடவேண்டிய ஒளி இதன்மீது விழுகிறது, ஒளியின் செறிவிற்கு ஏற்ற எண்ணிக்கையுடைய ஒளி எலெக்ட்ரான்களை C வெளியிடுகிறது. இவை C-க்கு எதிரே 100 வோல்ட் உயர் மின்னழுத்த நிலையில் அமைந்துள்ள $P_1$ என்ற தகட்டால் ஈர்க்கப் படுகின்றன. இவ்வாறு $P_1$ஐ நோக்கி ஈர்க்கப்பட்ட முதன்மை எலெக்ட்ரான்கள் அதன்மீது மோதிப் பின்வரு எலெக்ட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. $P_1$-லிருந்து வெளிவரும் அதிக எண்ணிக்கை யுடைய பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள் $P_1$ ஐவிட 100 வோல்ட் உயர் மின்னழுத்த நிலையிலுள்ள $P_2$ என்ற தகட்டால் ஈர்க்கப்பட்டு அதன்மீது மோதி இன்னும் அதிகமான பின்வரு எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்குகின்றன. தொடர்ந்து வைக்கப்பட்டிருக்கும் பல தகடுகளிலும் இந்நிகழ்ச்சி நடைபெற நடைபெற, மிகமிக அதிக எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்கள் உண்டாக்கப்பட்டு இறுதியாக வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஏற்பு வாயை அடைகின்றன. ஏற்பு வாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கால்வனுமீட்டர் அல்லது எலெக்ட்ராமீட்டர் இதனை அளவிடுகிறது.

ஒவ்வொரு மோதலின் போதும் ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் $x$ பின்வரும் எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்குவதாகக் கொண்டால் $n$ தகடுகளில் மோதல் தொடர்ந்து நடைபெறும்போது $x^n$

எலெக்ட்ரான்கள் இறுதியாக ஏற்புவாயை அடையுமென அறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக, ஒவ்வொரு மோதலின்போதும் ஒரு முதன்மை எலெக்ட்ரான் 8 பின்வரு எலெக்ட்ரான்களைத் தோற்றுவிப்பதாகவும், இவ்வாறு 5 தகடுகளில் மோதல் தொடர்ந்து நடப்பதாகவும் கொண்டால் ஒரு முதன்மை எலெக்ட்ரானில் தொடங்கி ஏற்பு வாயில் $8^5$ அதாவது 32768 எலெக்ட்ரான்களைப் பெறலாம்.

---

# 6. அணுவின் கட்டமைப்பு
## (Structure of Atom)

### முன்னுரை

தனிமமாக இருப்பினும் அல்லது கூட்டுப்பொருளாக இருப்பினும், அடிப்படையில் சிறுசிறு உருண்டைகளால், ஆக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்ற கருத்து மிகப் பழங்காலமாகவே இருந்து வந்த ஒன்றாகும். இச்சிறு உருண்டைகளைப் பொருளின் இறுதிக் கூறுகள் என்று எண்ணிய மக்கள் உடைக்க முடியாதது என்று பொருள்படும் கிரேக்கச் சொல்லால் இதனை அணு (Atom) என்று வழங்கினர். பொருளின் அணுத்தன்மையைப் புதுமை இயற்பியலும் ஒப்புக்கொள்கிறது என்றாலும் அணு உடைக்கமுடியாதது என்ற கருத்து பொய்யாய்ப் பழங்கதையாய் மறைந்துவிட்டது.

பொருள்களை அமுக்கி அவற்றின் பருமனை மாற்ற இயலும் என்ற உண்மையும், விரவிப்பரவல் (diffusion), சவ்வூடுபரவல் (osmosis) ப்ரௌனியன் இயக்கம் (Brownian motion) போன்ற நிகழ்ச்சிகளும் படிகங்களின் ஒழுங்கான வடிவியல் அமைப்புகளும், வேதியியல் கூட்டுப்பொருள்பற்றிய விதிகளும், தனிமங்களுக்கிடையே காணப்படும் அலைவு நிலைப்பண்புகளும், இன்ன பிறவும் பொருள்களின் அணுநிலைத் தன்மைக்குச் சான்று பகர்வனவாக இருக்கின்றன.

அணுவின் உள்ளமைப்பினைத்தான் நாம் அணுவின் **கட்டமைப்பு** (Structure) என்று கூறுகிறோம். இதனை இருபகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) அணுக்கரு (atomic nucleus) என்று வழங்கப்படும், நேர் மின்னூட்டமுடைய மையப்பகுதி (2) அந்த மையப்பகுதியைச் சுற்றி வெவ்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் அமைந்துள்ள எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட புறப்பகுதி. அணுக்கருவின் அளவு $10^{-17}$கி.மீ என்ற அளவில் உள்ளது. ஓர்

அணுவின் தனித்தன்மையைக் கட்டிக்காப்பது அதன் அணுக் கருவே ஆகும். அணுவின் எடைமுழுதும் அணுக்கருவிலேயே அடங்கி உள்ளதாகக் கொள்ளலாம். அணுக்கருவைச் சூழ்ந்துள்ள எலெக்ட்ரான்கள் தங்களுக்கென்று உள்ள சுற்றுப்பாதைகளில் ஒழுங்காக ஒரு கதியில் இடைவிடாது இயங்கிக்கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு தனிமத்தின் வேதியியல் பண்புகளை வரையறுப்பதில் அதன் எலெக்ட்ரான்கள் பெரும் பங்கு வகிக்கின்றன. இயல்பு நிலையில் அணு மின்னூட்டமற்றதாக இருக்கும். இதிலிருந்து அணுவில் உள்ள நேர்மின்னூட்டத்தின் அளவும் எதிர்மின்னூட்டத்தின் அளவும் சமமாக இருக்கவேண்டும் எனத்தெரிகிறது. அணுக் கருவைச் சூழ்ந்துள்ள எலெக்ட்ரான்களை நீக்கினால் அணு நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற அயனியாகும் என முன்பொரு இடத்தில் குறிப்பிட்டோம். இவ்வாறு புற எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாவற்றையும் நீக்கிவிட்டாலும் கூட இறுதியாக மிஞ்சி நிற்கும் அணுக்கருவில் அணுவின் தனித்தன்மை மாறாது காணப்படும். ஆனால் அணுக்கருவில் ஏதேனும் மாற்றம் செய்தால் அணு தன் தனித்தன்மையை இழந்து வேறு ஓர் அணுவாகப் போய் விடும். இவ்வாறு அணுக்கருவில் ஏற்படும் மாற்றங்களினால் ஓர் அணு வேறோர் அணுவாக மாறுகின்ற நிகழ்ச்சியைத்தான் **தனிம மாற்றம்** (Transmutation) அல்லது **தனிமச்சிதைவு** (disintegration) என்கிறோம்.

அணுவின் கட்டமைப்பு என்ற இத்தலைப்பில் முதலில் அணுக் கருவைச் சூழ்ந்துள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட புறப்பகுதியின் அமைப்பினையும், பின்னர் அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பினையும் விளக்குவதே நமது நோக்கமாகும். விஞ்ஞானிகள் அவர்களுக்குக் கிடைத்த செய்முறைக் குறிப்புகள், சிறப்பாக நிறமாலை ஆய்வுக்குறிப்புகள் இவற்றின் அடிப்படையில் அணுவின் அமைப்பு பற்றிய கருத்துகளைக் கூறினார்கள். அவர்கள் கூறிய கருத்துகளுக்கு **அணு மாதிரிகள்** (atom models) என்று பெயர்.

## i. தாம்சன் கூறிய அணுமாதிரி (Thomson's atom model)

1897-ல் J. J. தாம்சன் எலெக்ட்ரானைக் கண்டுபிடித்து, அதன் நிறை மற்றும் மின்னூட்டம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடப்பட்ட பிறகு தான் புதுமை இயற்பியலின் உதயம் தொடங்கிற்று என்று கூறலாம். அணுவே பொருளின் இறுதிக்கூறு என்ற கருத்து மாறி அணுவினுள்ளே எலெக்ட்ரான்கள் என்ற துணைக்கூறுகள் உண்டு, அவை எதிர்மின்னூட்டம் கொண்டவை, அணு மின்னூட்டமற்ற

நிலையில் இருப்பதால் அதனுள் எதிர்மின்னூட்டத்தின் அளவுக்குச் சமமான நேர்மின்னூட்டமும் இருக்கவேண்டும் என்பது போன்ற கருத்துகள் தோன்றலாயின. இவற்றின் அடிப்படையில் தாம்சன் அணுவின் கட்டமைப்பு பற்றிய முதல் கருத்தினை வெளியிட்டார். இது தாம்சன் அணு மாதிரி எனப்படும்.

அவர் விளக்கமுற்பட்ட கருத்துகள் இரண்டு ; (1) அணுவின் உள்ளே இருக்கும் மொத்த எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை (2) அணுவில் உள்ள நேர்மின்னூட்டத்துடன் எலெக்ட்ரான்கள் தொடர்புகொண்டிருந்த பாங்கு ஆகியவையாகும்.

பொருள் வழியே X கதிர்க்கற்றை ஒன்று சென்றால் X கதிர்ச் சிதறல் ஏற்படும். பொருளின் சிதறல் எண் (Scattering coefficient) $\sigma$ என்றால்

$\sigma = \frac{8\pi e^2 n}{3m^2c^4}$ ஆகும். இங்கு $e$, $m$ என்பன முறையே எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் நிறை ஆகியவற்றையும், $n$ என்பது ஓர் அலகு பருமனில் (unit-volume) காணப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், $c$ என்பது ஒளியின் வேகத்தையும் குறிக்கின்றன. சோதனையின் மூலம் $\sigma$-ன் மதிப்பினை அறியலாம். அதிலிருந்து $h$-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். ஓர் அலகு பருமன் பொருளில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை தெரிந்தால் ஒவ்வோர் அணுவுக்குமுரிய எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அறியலாம். ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஒன்றாக இருக்கும் எலெக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை அணுஎடை அதிகரிக்க அதிகரிக்க எண்ணிக்கையில் வளர்ந்துகொண்டே சென்று புரேனியத்தில் 92 ஆகக் காணப்படுவதை அறியலாம்.

அணுவின் நிலைத்தன்மைக்குக் காரணம் காட்ட விரும்பிய தாம்சன் அணுவிற்குப் பின்வரும் உருவத்தைத் தந்தார். அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அணுவின் அளவுடைய கோளம் ஒன்றில் சீராகப் பரவியிருக்கிறது என்றும் எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின்னூட்டமுடைய அக்கோளத்தின் உள்ளே அமைந்திருக்கின்றன என்றும் கூறினார். எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையே ஏற்படும் எதிர்ப்பு விசைகளும், எலெக்ட்ரான்களுக்கும் நேர்மின்னூட்டமுடைய கோளத்திற்குமிடையே உண்டாகும் ஈர்ப்பு விசைகளும் ஒன்றை ஒன்று ஈடு செய்துகொள்வதற்கு ஏற்ற ஒரு நிலையில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்துள்ளன என்று கூறி ஏறக்குறைய 32 எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அமைப்பு வரை உருவமும் தந்தார்.

எடுத்துக்காட்டாக ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுவில் எலெக்ட்ரான், நேர்மின்னூட்டங்கொண்ட கோளத்தின் மையத்தில் அமைந்திருக்கும் என்று கூறினர். இரு எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்ட ஹீலியம் அணுவில் நேர்மின்னூட்டமுடைய கோளத்தின் மையத்திற்கு இருபக்கத்திலும் பக்கத்திற்கு ஒன்ருக கோளத்தின் ஆரத்தில் பாதித்தூரத்தில் அமைந்துள்ளன என்ருர். இவ்வாறே மூன்று எலெக்ட்ரான்களை லிதியத்தில் கோளத்தினுள் அதன் மையத்திற்குச் சமச்சீரமைவுடைய ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் மூன்று முனைகளிலும் மூலைக்கு ஒன்ருக எலெக்ட்ரான்கள் இருக்குமென்றும் அம்முக்கோணத்தின் பக்கம் கோளத்தின் ஆரத்திற்குச் சமமாக இருக்கும் என்றும் விளக்கினர். இதுபோன்றே பல அணுக்களுக்கும் உரிய மாதிரியை அவர் வெளியிட்டுள்ளார்.

நிறமாலை பற்றிய முடிவுகளுக்கு விளக்கம் தர முனைந்த தாம்சன், மின்னூட்டமுடைய எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றின் சமநிலைப்புள்ளிகளை மையமாகக் கொண்டு அலைவுறும்போது மின்காந்தக் கொள்கையின்படி ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக வெளியிடுகின்றன என்ருர். அக்கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண் எலெக்ட்ரானின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாகும். இதன் அடிப்படையில் ஹைட்ரஜன் அணு 1400$A^{\circ}$ அளவுடைய ஒரு நிறமாலை வரியைத் தரும் எனக் கணக்கிட்டார். இந்த அளவு செய்முறையின் மூலம் கண்ட ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளுக்குள் ஒரு வரியின் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகவும் இருந்தது. ஆனால் அதிர்வும் எலெக்ட்ரானல் கதிர்வீச்சு உண்டாகிறது என்றும் அவ்வாறு உண்டாகும் கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண் எலெக்ட்ரானின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமம் என்றும் கொண்டால் ஹைட்ரஜன் ஒரேஒரு நிறமாலை வரியைத்தான் தர இயலும். நடைமுறையில் ஹைட்ரஜன் பல நிறமாலைத் தொகுதிகளையும் ஒவ்வொரு தொகுதியிலும் பல வரிகளையும் கொண்டிருக்கிறது என அறிகிறேம். ஆகவே தாம்சன் அணு மாதிரியில் எங்கோ பிழை இருக்கவேண்டும்.

ரூதர்ஃபோர்ட் (Rutherford) என்பார் கதிரியக்கப் பொருள்களில் (Radioactive substance) இருந்து பெற்ற $\alpha$ துகள்களைச் சிதறச்செய்து, அதிலிருந்து அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுஅளவுகொண்ட கோளத்தில் சீராகப் பரவிக் கிடக்கிறது என்று தாம்சன் கூறிய கருத்துத் தவறு என்றும் அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின் மையத்திலுள்ள ஒரு சிறுபகுதியில் பொதிந்து இருக்கவேண்டும். என்று கண்டார். அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் பொதிந்துள்ள அப்பகுதியை அவர் அணுக்கரு (Nucleus) என்று வழங்கினர்.

## ரூதர்ஃபோர்ட் செய்த $\alpha$ துகள் சிதறல்

1905 ஆம் ஆண்டில் ரூதர்ஃபோர்டும் அவருடைய உதவியாளர்களாகிய கெய்கர், மார்ஸ்டன் ஆகியோரும், அலுமினியத்தகடு ஒன்றின் வழியாக $\alpha$ கதிர்க்கற்றை ஒன்றைச் செலுத்தி அது பல்வேறு கோணங்களில் சிதறல் அடைவதைக்கண்டார்கள். பல ஆல்ஃபாத்துகள்கள் நேராகச்சென்றன என்றாலும், பெருங்கோணச் சிதறலுற்ற ஆல்ஃபாத்துகள்களும் இருந்தன. கூலம் விதிக்கு ஏற்ப $\alpha$ துகளுக்கும் அணுவின் கருவுக்குமிடையே உண்டாகும் எதிர்ப்பு விசையின் காரணமாகவே இத்தகைய பெருங்கோணச் சிதறல் நிகழமுடியும் என ரூதர்ஃபோர்ட் கருதினார். எலெக்ட்ரான்களின் நிறை மிகமிகக் குறைவு ஆதலால், $\alpha$ துகள்கள் அணுவின் வழியே செல்லும்போது அது எலெக்ட்ரான்களால் எவ்வகையிலும் பாதிக்கப்படுவதில்லை. பெருங்கோணச்சிதறல் அடைந்த $\alpha$ துகள்கள் 8000-க்கு ஒன்றுதான் என்றாலும் தாம்சன் அணுவின் அடிப்படையில் இதற்கு விளக்கமளிக்க இயலாது. $\alpha$ துகள் பெருங்கோணத்தில் விலக்கமடைய வேண்டுமென்றால் அதன்மீது அணு பெரிய அளவுடைய எதிர்ப்பு விசையைத் தந்திருக்கவேண்டும். இத்தகைய விசையை அணுக்கோளத்தின் மீது பரவியிருக்கும் நேர்மின்னூட்டம் தர இயலாது.

$\alpha$ துகள் சிதறலின்போது $\phi$ என்னும் கோணத்தில் சிதறலுறும் $\alpha$ துகள்களின் எண்ணிக்கை $N\phi$ என்றும், சிதறச்செய் பொருளின் மீது விழுகின்ற $\alpha$ துகள்களின் எண்ணிக்கை $N_0$ என்றும் $\phi_m$ என்பது அதிக நிகழ்திறன் (probalility) கொண்ட சிதறல் கோணம் என்றும் கொண்டால்

$N\phi = Ne^{-\left(\frac{\phi}{\phi_m}\right)^2}$ ஆகும் எனக் கணக்கிட்டனர். இதிலிருந்து பெருங்கோணச் சிதறலுக்கான வாய்ப்பு மிகக் குறைவு என விளக்கினர். எவ்வாறெனில் $\phi$ன் மதிப்பு 30° என்றாலே நிகழ்திறனின் அளவு $10^{-13}$ என்ற அளவுக்குக் குறைந்துவிடுகிறது. இவ்வாறு பெருங்கோணச் சிதறலுக்கு விளக்கந்தர முடியாத தாம்சன் அணு கைவிடப்பட்டது.

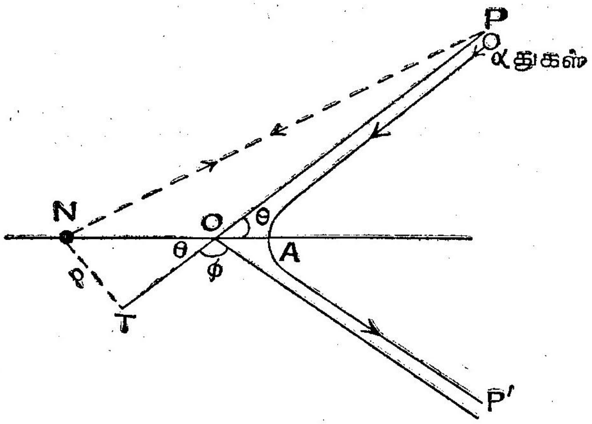
## ii ரூதர்ஃபோர்ட் அணுமாதிரி (Rutherfords Atom model)

பெருங்கோணச் சிதறலை விளக்குவதற்கு ஏற்ற ஓர் அணு மாதிரியை ரூதர்ஃபோர்ட் உருவாக்கினார். அவருடைய கருத்துப்படி அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின்

மையத்தில் பொதிந்திருக்கவேண்டும். அணுவின் எடை முழுதுமே அந்த மையத்தில்தான் இருக்கவேண்டும். $\alpha$ துகள் அணுவின் மையத்தை நோக்கிச் செல்லச்செல்ல அவற்றிடையே ஏற்படும் எதிர்ப்புவிசை அதிகரிக்க அதனால் பெருங்கோணச் சிதறல் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றிக்குறிப்பிட்ட ஒருவகையில் அமைந்திருக்கின்றன என ரூதர்ஃபோர்ட் கருதினார். குறிப்பிட்ட ஒரு கோணத்தில் சிதறலடையும் $\alpha$ துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கண்டுபிடிப்பதற்கேற்ற ஒரு வாய்பாட்டைக் கூறி அதன்வழி தன்னுடைய அணுக்கரு அணுமாதிரியை நிலைநாட்ட முயன்றார்.

## ரூதர்ஃபோர்ட் தந்த பெருங்கோணச்சிதறல் பற்றிய விளக்கம்

$\alpha$ துகளுக்கும் அணுவின் கருவுக்கும் இடையே நடைபெறும் மீட்சி மோதலின் (elastic Collusion) விளைவாகவே சிதறல் நடைபெறுகிறது. இவ்விளக்கத்தில் மோதலில் பங்குபெறும் $\alpha$ துகள், அணுக்கரு ஆகியவற்றின் அளவுகளைக் கணக்கிற்கொள்ளாது




(படம் 21)

அவற்றை வெறும் புள்ளிகளாகவே மனத்திற்கொள்ளவேண்டும். அணுக்கரு மிகவும் கனமானது என்றும் ஆகவே, $\alpha$ துகளுடன் ஏற்படும் மோதலில் அது இடப்பெயர்ச்சி அடைவது இல்லை என்றும் வைத்துக் கொள்கிறோம்.

*N* என்ற இடத்தில் நிலையாக இருக்கின்ற அணுக்கருவை நோக்கி $\alpha$ துகள் ஒன்று *PO* என்ற திசையில் சென்று கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அணுக்கரு, $\alpha$ துகள் இரண்டுமே நே

மின்னூட்டமுடையன ஆதலால், அவற்றுக்கு இடையே எதிர்ப்பு விசை தோன்றுகிறது. $\alpha$ துகள் அணுக்கருவை நெருங்க நெருங்க இருமடி எதிர் விகித விதியின்படி இந்த எதிர்ப்பு விசை அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். இதனால் $\alpha$ துகளின் பாதை $PAP'$ என்ற அதிபரவளையமாகிறது. (hyperbola) இந்த அதிபரவளையத்தின் குவியங்களுள் $N$-ம் ஒன்று. $PO$ மற்றும் $P'O$ என்பன அதிபரவளையத்தின் வரம்பிலாத் தொடுகோடுகள் (asymptotes) ஆகும். $N$-லிருந்து $PO$-க்கு உள்ள செங்குத்துத்தூரம் $NT=p$ என்போம். $\alpha$ துகளின் நிறை $M$ என்றும், மின்னூட்டம் $2e$ என்றும், தொடக்கத் திசைவேகம் $v_o$ என்றும் கொள்வோம். $\alpha$ துகளைச் சிதறச் செய்யும் தனிமத்தின் அணுஎண் $Z$ என்றால் அதன் மின்னூட்டம் $Ze$ ஆகும். $\alpha$ துகளின் சிதறல்கோணம் படத்தில் $\phi$ என்று காட்டப் பட்டுள்ளது. (படம் 21)

$\alpha$ துகள் $PO$ என்ற திசையில் செல்லாது $PN$ என்ற திசையில் செல்லுமானால் $p=0$ ஆகும். $\alpha$ துகள், அணுக்கரு இவற்றிற்கு இடையே ஏற்படும் எதிர்ப்பு விசையினால் $\alpha$ துகள் ஒருகண நேரம் நிறுத்தப்பட்டு வந்த வழியே திருப்பி அனுப்பப்பட்டு விடுமல்லவா? அவ்வாறு $\alpha$ துகள் நிறுத்தப்படும் இடம் $N$-லிருந்து $b$ என்னும் தூரத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த நிகழ்ச்சியில் $\phi=180°$ ஆகும். $\alpha$ துகள் அணுக்கருவை நெருங்கி வரக்கூடிய $b$ என்ற தூரம் நெருங்குக்கூடியதூரம் (distance of closest approach) எனப்படுகிறது. $b$-ன் மதிப்பினைப் பின்வருமாறு பெறலாம்.

$\alpha$ துகள் $b$ என்ற தூரத்தில் கணநேரம் நிறுத்தப்படுவதால், தொடக்கத்தில் அது பெற்றிருந்த இயக்க ஆற்றல் அத்தனையும் அந்த இடத்தில் நிலையாற்றலாக மாற்றப்பட்டுவிடும். ஆகவே,

$$\tfrac{1}{2}Mv_o^2=\frac{2e.Ze}{b}\quad\left[\text{மின்னழுத்தம்}=\frac{\text{மின்னூட்டம்}}{\text{தூரம்}}\right]$$

$$=\frac{2Ze^2}{b}$$

$$\text{ஆகவே, } b=\frac{4Ze^2}{Mv_o^2} \qquad (1)$$

நடைமுறையில் $\alpha$ துகள்கள் எல்லாவற்றையுமே, அணுக் கருவைநோக்கி நேராகச் செலுத்த இயலாது. ஆகவே, எல்லா $\alpha$ துகள்களுக்கும், $p=0$ ஆக இருக்கமுடியாது. ஆகவே, $\alpha$ துகள்கள் $180°$ கோணத்தில் சிதறல் அடையாமல் $180°$க்குக் குறை

வான ஒரு கோணத்தில் சிதறலடைவதோடு அவற்றின் பாதை அதிபரவளையமாக மாறும்.

இப்பாதையில் செல்லும் $\alpha$ துகள் அதிபரவளையத்தின் உச்சியாகிய $A$ஐ அடையும்போது அதன் வேகம் $v$ என்போம்.

ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி:-

$$\tfrac{1}{2}Mv_o^2 = \tfrac{1}{2}Mv^2 + \frac{2Ze^2}{NA} \qquad (2)$$

இதில் $\frac{2Ze^2}{NA}$ என்பது துகள் $A$ என்ற இடத்தில் இருக்கும்போது பெற்றுள்ள நிலையாற்றலின் அளவாகும்.

உந்தம் அழிவின்மை விதியின்படி (Law of Conservation of momentum)

$\alpha$ துகளின் கோண உந்தம் (angular momentum) மாறாது அதாவது,

$$Mv_o.p = Mv.\ NA \quad \text{அல்லது}$$

$$v_o p = v.\ NA \qquad (3)$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து $2Ze^2 = \frac{bMv_o^2}{2}$ என்பதை சமன்பாடு (2)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$\tfrac{1}{2}Mv_o^2 = \tfrac{1}{2}Mv^2 + \frac{bMv_o^2}{2NA} \quad \text{என்றாகும்.}$$

இதிலிருந்து

$$v^2 = v_o^2 \left[1 - \frac{b}{NA}\right]$$

$$\frac{v^2}{v_o^2} = 1 - \frac{b}{NA} \quad \text{என அறியலாம்.}$$

சமன்பாடு (3)-லிருந்து

$$p^2 = \frac{v^2}{v_o^2} \cdot NA^2$$

$$= NA^2\left(1 - \frac{b}{NA}\right) \quad \because \frac{v^2}{v_o^2} = 1 - \frac{b}{NA}$$

$$p^2 = NA\,(NA - b)$$

அதிபரவளையத்தின் வேற்று மைய நிலை (eccentricity) $Sec\ \theta$ ஆகையால், இங்கு $\theta = \frac{\pi-\phi}{2}$ ஆகும் என்பதைப் படத்திலிருந்து அறிக.

$$\varepsilon = \frac{1}{\cos\theta} \quad NO = \varepsilon.OA,\ OA = \frac{NO}{\varepsilon}$$

$$NA = NO + OA$$
$$= NO\left(1+\frac{1}{\varepsilon}\right)$$
$$= NO\ (1+\cos\theta),\ NO = p\ \mathrm{cosec}\theta.$$
$$= p\ \mathrm{cosec}\ \theta\ (1+\cos\theta)$$
$$= p\cot\frac{\theta}{2}$$

$NA$-ன் மேற்கூறிய மதிப்பினை $p^2$-க்கான சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$p^2 = p\cot\frac{\theta}{2}\left(p\cot\frac{\theta}{2} - b\right)$$

$$p = p\cot^2\frac{\theta}{2} - b\cot\frac{\theta}{2}$$

$$1 = \cot^2\frac{\theta}{2} - \frac{b}{p}\cot\theta/2$$

$$\frac{b}{p}\cot\frac{\theta}{2} = \left(\cot\frac{2\theta}{2} - 1\right)$$

$$b = p.\frac{\left(\cot\frac{^2\theta}{2} - 1\right)}{\cot\theta/2}$$

$$= 2p\cot\theta$$

$$= 2p\cot\left(\frac{\pi-\phi}{2}\right) \quad \because \theta = \frac{\pi-\phi}{2}$$

$$= 2p\tan\frac{\phi}{2}$$

அல்லது $\tan\frac{\phi}{2} = \frac{b}{2p}$ (4)

சமன்பாடு (1)-லிருந்து $b$-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$\tan\frac{\phi}{2} = \frac{4Ze^2}{Mv_0{}^2 2p}$$

$$= \frac{2Ze^2}{Mv_0{}^2 p} \qquad (5)$$

இச்சமன்பாட்டில் $Z, M$ மற்றும் $v_0$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டு $p$-ன் மதிப்பினைக் குறைத்துக் கொண்டே சுழி வரம்புவரை சென்றால் $\phi$-ன் மதிப்பு $0^\circ$-லிருந்து $180^\circ$ வரை அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும் என அறியலாம். அதாவது $\alpha$ கள் அணுக்கருவுக்குத் தொலைவிலுள்ள பாதை வழியாகச் சென்றால் சிதறல் கோணம் மிகக் குறைவாக இருக்குமென்பதையும், $\alpha$ துகள் அணுக்கருவுக்கு அருகே உள்ள பாதை வழியே சென்றால் பெருங்கோணச் சிதறல் உண்டாகும் என்பதையும் உணரலாம்.

இப்போது $\alpha$ துகள் $\phi$ என்ற கோணத்தில் சிதறுவதற்கான நிகழ்திறனைக் (probability) காண்போம்.

$\alpha$ துகள் கற்றை மெல்லிய சிதறச்செய் தகட்டின் மீது செங்குத்தாக விழுவதாகவும் அத்தகட்டின் ஓரலகுப்பருமனில் $n$ அணுக்கள் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். தகட்டின் தடிப்பு '$t$' என்றும் இதன் வழியே செல்வதனால் துகள்களின் வேகத்தில் மாறுதல் ஏற்படுத்தாத அளவுக்குத் தகடு மெல்லியது என்றும் கொள்வோம். தகட்டின் ஒருசதுரச் சென்டிமீட்டர்ப் பரப்பின் மீது விழுகின்ற $\alpha$ துகள்களின் எண்ணிக்கை $x_0$ என்றும் அவற்றுள் $x$ ஆல்ஃபாத் துகள்கள் $\phi$-என்னும் கோணத்தில் சிதறல் அடைந்து, ஒளிர் திரையின் ஓர் அலகுப்பரப்பில் விழுகின்ற துகள்களின் எண்ணிக்கை $x$ என்றும் கொள்வோம்.

இயக்கக் கொள்கையின் அடிப்படையில் $p$ என்னும் தூரத்திற்குள் வரக்கூடிய ஆல்ஃபாத்துகளின் எண்ணிக்கை $\pi p^2 x_0 nt$ ஆகும். இதிலிருந்து $p, p+dp$ ஆகிய தூரங்களுக்குள் வரும் ஆல்ஃபாத்துகள்களின் எண்ணிக்கை

$$= d(\pi p^2 x_0 nt)$$
$$= 2\pi p\, x_0\, nt.dp.$$

மோதலுக்குப்பின் இத்துகள்கள் எல்லாம் $\phi$, $\phi + d\phi$ என்னும் கோணங்களுக்கிடையே சிதறலுறும். எனவே $\phi$ மற்றும் $\phi + d\phi$ என்னும் கோணங்களுக்கிடையே சிதறலடையும் ஆல்ஃபாத்துகள்களின் எண்ணிக்கை $= 2\pi p x_0\, tn\, dp.$ (6)

ஆனால், $p = \frac{b}{2} \cot \frac{\phi}{2}$ எனக் கண்டோம். எனவே,

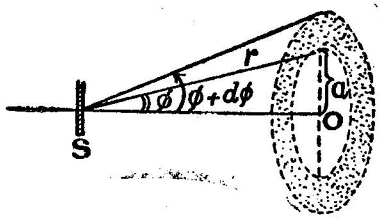
$$dp = -\frac{b}{4} \operatorname{cosec} \frac{2\phi}{2} d\phi.$$

இம்மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 6-ல் பதிலீடுசெய்ய $\phi$-மற்றும் $\phi+d\phi$-என்ற கோணங்களுக்கிடையே சிதறலடையும் ஆல்ஃபாத்துகள்களின் எண்ணிக்கை

$$= -2\pi x_0 tn \frac{b}{2} \cot\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \frac{b}{4} cosec^2\left(\frac{\phi}{2}\right) d\phi$$

$$= -\frac{1}{4} \pi x_0 tn\, b^2 \cot\left(\frac{\phi}{2}\right) cosec^2\left(\frac{\phi}{2}\right) d\phi$$

இத்துகள் சிதறச்செய் பொருளிலிருந்து $r$ சென்டிமீட்டர்த் தூரத்திலுள்ள ஒளிர்திரையில் விழுவதாகக்கொண்டால் (படம் 22) துகள்கள் விழுகின்ற இடத்தின் பரப்பு $= 2\pi r Sin\, \phi d\phi$. ச.செ.மீ.




(படம் 22)

ஆகவே, ஒருசதுரச் சென்டிமீட்டர்ப் பரப்புடைய திரையின் மீது விழுகின்ற ஆல்ஃபாத்துகள்களின் எண்ணிக்கையாகிய

$$x = \frac{\frac{1}{4}\pi x_0\, tn\, b^2 \cot\left(\frac{\phi}{2}\right) cosec^2\left(\frac{\phi}{2}\right) d\phi}{2\pi r\, Sin\phi\, r d\phi}$$

$$= \frac{x_0\, tn\, b^2 \cot\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot cosec^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}{8 r^2 2 Sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

$$= \frac{x_0\, tn\, b^2}{16 r^2} cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

ஆய்வுக்கான சோதனையில் சிதறலுறும் ஆல்ஃபாத்துகள்கள், ஒளிர்திரை ஒன்றின்மீது பட்டுச் சுடரொளி தருகின்றன. இதைக் கொண்டு $\phi$-என்னும் கோணத்தில் சிதறலுற்றுத் திரையில் பட்டுச் சுடரொளி தருகின்ற ஆல்ஃபாத்துகள்களின் எண்ணிக்கையை அதாவது $x$ ஐ நேரடியாக எண்ணி அறியலாம்.

இது $\frac{x_o tnb^2}{16r^2} cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$ க்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும்

$$b^2 = \frac{16Z^2e^4}{M^2v_o^4} \text{ ஆகையால்,}$$

$$x = \frac{x_o tn}{16r^2} \cdot \frac{16Z^2e^4}{M^2v_o^4} \cdot cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$= \frac{x_o tn \; Z^2e^4}{r^2M^2v_o^4} \cdot cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து ஒளிர் திரையின் ஓர் அலகு பரப்பில் விழுந்து சுடரொளி தரும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் எண்ணிக்கை,

(1) $Cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$, சிதறச்செய் தகட்டின் தடிப்பாகிய $t$, அணு எண் $Z$-ன் இருமடி, ஆகியவற்றிற்கு நேர் விகிதத்திலும்

(2) $\alpha$ துகளின் தொடக்கத் திசைவேகமாகிய $v_o$-ன் நான்காவது மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்குமென அறியலாம்.

கைகர், மார்ஸ்டன், சாட்விக் ஆகியோர் வெவ்வேறு பொருள்களின், வெவ்வேறு தடிப்புடைய தகடுகளைக் கொண்டு செய்த ஆய்வுகளிலிருந்து ரூதர்ஃபோர்ட் கூறியவாறு $\alpha$ துகளின் சிதறல் $Cosec^4\left(\frac{\phi}{2}\right)$, $t$, $Z^2$ ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்திலும், $v_o^4$-ன் மதிப்புக்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருப்பது தெரியவந்தது. இச் சோதனைகள் ரூதர்ஃபோர்டின் அணு மாதிரிக்கு உறுதுணையாக நின்றன. என்றாலும், இவ்வணு மாதிரி பிழையற்றது அன்று, மேற்கூறிய சோதனைகள் அணுவின் மையத்தில் அணுக்கரு என ஒன்று இருக்கிறது, பெருங்கோணச் சிதறலுக்கு இது காரணமாக இருக்கிறது என்பதைக் காட்டுவதற்கு மட்டுமே பயன்பட்டன. அணுக்கருவைச் சுற்றி அமைந்துள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு அமைந்திருக்கின்றன. அவ்வமைப்பினால் அணுவின் கட்டமைப்பு எவ்வாறு நிலை குலையாமல் கட்டிக் காக்கப்படுகிறது என்பது போன்ற விவரங்கள் கூறப்படவில்லை.

அணுக்கருவுக்கு வெளியே எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பின், நிலைமின் விசையால் மட்டும் எலெக்ட்ரான்களுக்கும், அணுக்கருவுக்குமிடையே சமநிலை நிலவிட இயலாது. எடுத்துக்காட்டாக ஹீலியம் அணுவில் 2 எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. அணுக்கருவின்

மின்னூட்டம் $+2e$ ஆகும். எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவுக்கு இரு பக்கத்திலும், பக்கத்திற்கு ஒன்ருக $r$ தூரத்தில் இருப்பதாகக் கொண்டால் அவை ஒவ்வொன்றும் $\frac{2e \cdot e}{r^2}$ என்ற விசையுடன் அணுக் கருவால் ஈர்க்கப்படுமல்லவா ? ஆனுல், எலெக்ட்ரான்களுக்கு இடையே உள்ள எதிர்ப்பு விசையின் அளவு $\frac{e \cdot e}{(2r)^2} = \frac{e^2}{4r^2}$ ஆகும். அதாவது ஈர்ப்பு விசை எதிர்ப்பு விசையைப் போல் 8 மடங்கு பெரியது. எனவே, எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவால் இழுக்கப் பட்டு அதனுள் சென்றுவிடக் கூடுமல்லவா ! பின்னர் அணுவின் கட்டமைப்பு என்னவாகும் ? இச்சிக்கலைத் தவிர்க்க, 'எலெக்ட்ரான் கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன என்றும் அவை சுற்றி வருவதால் ஏற்படும் மையம் விட்டோடும் விசை (centrifugal force) எலெக்ட்ரான்களின் எதிர்ப்பு விசையில் ஏற்பட்ட குறைவினை நிவர்த்தி செய்து அணுவின் கட்டமைப்பினைக் காப்பாற்றுகிறது' என்றும் ரூதர்ஃபோர்ட் விளக்க முனைந்தார். இக்கருத்து இன்னொரு சிக்கலை உண்டாக்கிவிட்டது. எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன என்று கொண்டால், மின் காந்தக் கொள்கையின்படி இவை தொடர்ந்து ஆற்றலை வீசிக் கொண்டிருக்கவேண்டும். இவ்வாறு வீசப்படும் ஆற்றல் அணு விலிருந்துதான் வரவேண்டும். இதனுல் அணு கொஞ்சங் கொஞ்ச மாக ஆற்றலை இழக்கநேரிடும். இதன் காரணமாக எலெக்ட்ரான்கள் உட்சுழிவுப்பாதை (Spiral in paths) வழியாக அணுக்கருவை நோக்கிச் சென்று இறுதியில் அணுக்கருவை அடைய நேரிடும். மேலும், உட்சுழிவுப்பாதை வழியே எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவை நெருங்க நெருங்க அதன் அலைவு நேரம் குறைந்து கொண்டே செல்லும். ஆகவே, அது வெளியிடும் மின்காந்த அலையின் அதிர்வு எண் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். இத்தகைய ஓர் இயல்புடைய கதிர் வீச்சு கற்பனைக்கும் அப்பாற்பட்டது.

இந்தச் சிக்கல் காரணமாகப் பின்வரும் ஐயங்கள் எழுந்தன. அணுக்கருவைச் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட ரூதர்ஃபோர்ட் அணு அமைப்பு பிழையுடையதா? அல்லது வட்டப் பாதையில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான் கதிர் வீச்சை வெளியிடும் என்ற மின்காந்தக் கொள்கை இதைப் பொறுத்தமட்டில் பொய்த்துப் போய்விட்டதா ? 1913-ஆம் ஆண்டு மேற்கூறிய ஐயங்களைப் போக்கிய நீல் போர் என்ற மேதை புதிய ஓர் அணு மாதிரியைத் தந்தார். இது **போர் அணு மாதிரி (Bohr's atom model)** எனப் பெயர் பெற்றது.

## போர் அணு மாதிரி

அணுவைப் பொறுத்த வரை மின்காந்தக் கொள்கை பொய்த்து விடுகிறது எனத் துணிந்து கூறிய போர் குவான்டக் கொள்கையின் அடிப்படையில், சுழலும் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பைக் கூறி, நிறமாலே வரிகள் தோன்றுவதற்கான காரணங்களேயும் தெளிவாக விளக்கினர். நிறமாலே வரிகளோடல்லாது அவற்றில் காணும் நுண்ணமைப்பு (fine structure) பற்றியும் நிறைவு தரத் தக்க ஒரு விளக்கம் கண்டார். தன் அணு மாதிரிக்கு போர் பின்வரும் இரு அடிக்கோள்களை (postulates) அடிப்படையாகக் கொண்டார்.

(1) எலெக்ட்ரான்கள், அணுக்கருவைச் சுற்றி அமைந்துள்ள "தனிச் சலுகை" பெற்ற சுற்றுப் பாதைகளில் சுற்றி வருகின்றன. இவ்வீதிகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்கள் தொன்மை இயற்பியலின் மின்காந்த அலேக் கொள்கைக்கு ஏற்ப ஆற்றலே வீசுவது இல்லே. இந்தக் காரணத்தினுல்தான் இந்தப் பாதைகள் தனிச் சலுகைப் பெற்ற பாதைகள் என வழங்கப்படுகின்றன. இந்தச் சுற்றுப் பாதைகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் வரையறுக்கப்பட்ட அளவுடைய ஆற்றல் உண்டு. ஆகவே, இவற்றை குவான்டப் பாதைகள் (quantum orbits) என்றும் கூறுவதுண்டு. மேலும், இப்பாதைகளில் சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான்கள் விசையியல் மற்றும் நிலே மின்னியல் விதிகளுக்கு உள்ளடங்கியே நடக்கின்றன. இந்த அடிக்கோளின்படி சுற்றி வரும் எலெக்ட்ரான் ஆற்றலே இழப்பது இல்லே என்று கூறப்பட்டுவிட்டதால் அது தன்னுடைய பாதையில் விசையியல் மற்றும் நிலே மின்னியல் விதிகளுக்குக் கட்டுப்பட்டுத் தொடர்ந்து சுற்றி வந்து கொண்டே இருக்கும். உட் சுழிவுப் பாதை வழியே சென்று அணுக்கருவை அடைந்து அணுவின் கட்டமைப்பைக் குலேத்து விடும் செயலுக்கு இடமில்லே.

(2) போரின் இரண்டாவது அடிக்கோள் நிறமாலே வரிகளின் பிறப்புப் பற்றியது. ஏதாவது ஒரு காரணத்தினுல் அதிக ஆற்றலுடைய ஒரு சுற்றுப்பாதையிலிருந்து குறைந்த ஆற்றலுடைய ஒரு சுற்றுப்பாதைக்கு எலெக்ட்ரான் தாவ நேரிட்டால் அது ஆற்றலேக் கதிர் வீச்சாக வெளியிடுகிறது. அவ்வாறு எலெக்ட்ரான் வெளியிடும் ஆற்றலின் அளவு தாவல் சம்பந்தப்பட்ட இரு சுற்றுப் பாதைகளுக்குமென வரையறுக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல்களின் வித்தியாசத்திற்கு சமமாகும்.

மேற்கூறிய இரு அடிக்கோள்களேயும் அடைப்படையாகக் கொண்டு அணுமாதிரியை விளக்கமுற்பட்ட நீல் போர்

ஹைட்ரஜன் அணுவை எடுத்துக்கொண்டு தம் கருத்துக்களைக் கூறினர். எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன? அவை சுற்றி வருவதற்கென அமைந்த தனிச்சலுகைப் பாதைகளின் ஆற்றல் என்ன? அத்தகையச் சுற்றுப் பாதைகளுள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு எலெக்ட்ரான் தாவும்போது அணு பெறுகின்ற அல்லது இழக்கின்ற ஆற்றலின் அளவு என்ன? என்பது போன்ற கேள்விகளுக்கு விடையளிக்க முயன்று அதில் வெற்றியும் பெற்றார்.

**தனிச்சலுகைச் சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் அளவுகளை வரையறுத்தல் :**

சீரிசை இயக்க அலைவு இயற்றி (Simple harmonic oscillator) ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். $t$-என்னும் எந்த ஒரு கணத்திலும் அதன் இடப் பெயர்ச்சி (displacement) ஆகிய $x$ என்பது

$x = A \sin \omega t$ என்னும் சமன்பாட்டால் பெறப்படும் என அறிவோம். இங்கு $A$ என்பது சீரிசை இயக்கத்தின் வீச்சையும் (amplitude) $\omega$ என்பது கோணத்திசைவேகத்தையும் (angular velocity) குறிக்கின்றன. $\nu$ என்பது அலைவு இயற்றியின் அதிர்வு எண் (frequency) என்றால் $\omega = 2\pi\nu$ ஆகுமல்லவா. எனவே,

$$x = A \sin 2\pi\nu t \qquad \text{—(1)}$$

நேர்கோட்டுச் சீரிசை இயக்கத்தின் வயப்பட்ட பொருளின் நிறை $m$ என்றால், எடுத்துக்கொண்ட அந்தக் கணத்தில் அதன் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}m\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ ஆகும். அப்பொருள் பெற்றுள்ள மொத்த ஆற்றல், அது சமநிலைப்புள்ளியைக் கடக்கும்போது முற்றிலும் இயக்க ஆற்றலாகவும், பெரும இடப்பெயர்ச்சி அடையும்போது (அதாவது வீச்சின் இறுதியில்) முற்றிலும் நிலையாற்றலாகவும் இருக்குமென அறிவோம். ஆகவே சீரிசை இயக்க வயப்பட்ட துகள் ஒன்று பெற்றிருக்கும் மொத்த ஆற்றலின் அளவை அறிய, அது தன் பாதையிலுள்ள சமநிலைப் புள்ளியில் இருக்கையில் பெற்றிருக்கிற இயக்க ஆற்றலை அளவிட்டால் போதுமல்லவா?

$$x = A \sin 2\pi\nu t$$

$$\frac{dx}{dt} = 2\pi\nu \cdot A \cos 2\pi\nu t$$

இதிலிருந்து $Cos\ 2\pi vt$ என்பது ஒன்று ஆகும்போது $\frac{dx}{dt}$-ன் மதிப்பு பெரும அளவினை எட்டும். அதாவது துகளின் ஆற்றல் பெரும அளவினை அடையும். அதாவது அப்போது துகளுக்குள்ள இயக்க ஆற்றலின் அளவு அதன் மொத்த ஆற்றலுக்குச் சமமாகும் என அறியலாம்.

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\text{பெருமம்}} = 2\pi v A. \text{ ஆகும்}$$

$$\text{பெரும இயக்க ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2_{\text{பெருமம்}}$$

$$= \tfrac{1}{2} m\,(2\pi vA)^2$$

அதாவது துகளின் மொத்த ஆற்றல்

$$= 2\pi^2 v^2 A^2 m \text{ ஆகும்.}$$

குவான்டம் கொள்கையின்படி எந்த ஓர் ஆற்றலும் $hv$-என்பதன் முழு எண் மடங்குகளாகவே இருக்க இயலும். $n$ என்பது ஒரு முழு எண் என்றால்

$$2\pi^2 v^2 A^2 m = nhv$$

அல்லது $\underline{nh = 2\pi^2 A^2 vm}$ —(2)

இந்நிலையில் துகளின் உந்தம் $P_x$ எனக் கொண்டால்

$$P_x = m.\frac{dx}{dt} \text{ ஆகும்.}$$

$$\boxed{= m.\ 2\pi vA} \quad Cos\ 2\pi vt$$

$$= B\ Cos\ 2\pi vt$$

$$\frac{P_x}{B} = Cos\ 2\pi vt$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து

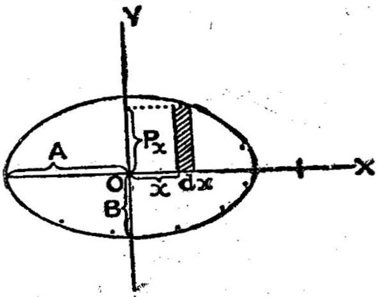
$$\frac{x}{A} = Sin\ 2\pi vt$$

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{B}\right)^2 = Sin^2 2\pi vt + Cos^2 2\pi vt$$

$$= 1$$

இது நீள் வட்டத்தைக் (ellipse) குறிக்கும் சமன்பாடு ஆகும். எனவே, $P_x$ மற்றும் $x$ என்ற இரு மாறிகளுக்கு இடையே உள்ள

தொடர்பினைக் காட்டும் வரைபடம் நீள்வட்டமாக அமையும் என்பதையும், $A$ என்பது நீள்வட்டத்தின் **அரைப் பேரச்சு (Semi major axis)** ஆகும் என்பதையும் $B$ என்பது **அரைச் சிற்றச்சு (Semi minor axis)** ஆகும் என்பதையும் அறியலாம்.




படம் 23

(படம் 23) படத்தில் நீள்வட்டத்தின் அரைப் பேரச்சில் ஆயத் தொடக்கத்தில் (origin) இருந்து $x$ தூரத்தில் உள்ள $dx$ அகல முடைய ஒரு சிறு பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம். $x$-க்கு உரிய $y$ ஆயத் தொலைவு (ordinate) $P_x$ என்போம். நாம் எடுத்துக் கொண்ட சிறு பகுதியின் பரப்பு$=P_x \cdot dx$ ஆகும். நீள்வட்டத்தின் முழுப்பரப்பினையும் காண $P_x \cdot dx$ ஐ சுற்றுத் தொகுப்பு (circuit integral) செய்ய வேண்டும். இது $\oint$ என்ற அடையாளத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\text{நீள்வட்டத்தின் பரப்பு} = \oint P_x \cdot dx$$

$$= \pi \cdot A \cdot B.$$

$$= \pi A 2\pi v A m$$

$$= 2\pi^2 A^2 vm$$

ஆனால் சமன்பாடு (2)-ல் $2\pi^2 A^2 vm = nh$ எனக் கண்டோம். எனவே

ஒரை வட்டப்பரப்பு$=nh$ ஆகும்.

**இதிலிருந்து நேர்கோட்டுச்சீரிசை இயக்க அலைவு இயற்றியின் சுற்றுத் தொகுப்பு $h$ என்ற பிளாங்க் மாறிலியின் முழுஎண் மடங்கிற்குச் சமமாகும் என அறிகிறோம்.**

அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும்எலெக்ட்ரானின் ஒரு சீரிசை இயக்க அலைவு இயற்றியை ஒத்திருக்கும். எனவே, மேற்கூறிய முடிவு எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்திற்குப் பொருந்தும். $P_x$ என்ற நேர் கோட்டு உந்தத்திற்குப் பதிலாக $P\phi$ என்ற கோண உந்தத்தையும் (angular momentum) $dx$ என்ற நீளச்சிறுபகுதிக்குப் பதிலாக $d\phi$ என்ற கோணச் சிறுபகுதியையும் எடுத்துக்கொண்டால் போதும்.

இப்போது $\oint P\phi \cdot d\phi = nh$ ஆகும் —(3)

ஒரு துகளின் கோண உந்தம் என்பது $I\omega$ ஆகும். இங்கு $I$ என்பது அத்துகளின் நிலைமத்திருப்புதிறனையும் (momentofinertia), $\omega$ என்பது அதன் கோணத் திசைவேகத்தையும் குறிக்கின்றன. எலெக்ட்ரான், அணுக்கருவைச் சுற்றி, சீரான வேகத்தில் குறிப்பிட்ட பாதையில் இயங்கி வருவதால் அதன் $\omega$ மாறாது. எனவே அதன் கோண உந்தமாகிய $P\phi$யும் மாறாது. எனவே,

$$\oint P\phi \cdot d\phi = \int_0^{2\pi} d\phi = P\phi \cdot 2\pi$$

ஆகவே, $P\phi \cdot 2\pi = nh$ ஆகும். அல்லது

$$P\phi = \frac{n \cdot h}{2\pi} \text{ என்றாகும்.}$$

இதிலிருந்து வட்டப்பாதையில் சுழன்று வரும் எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம் $\frac{h}{2\pi}$ என்ற மாறிலியின் முழு எண் மடங்குகளாக மட்டுமே இருக்க இயலும் என அறிகிறோம். $\frac{h}{2\pi}$ ஐ $\hbar$ என்று குறிப்பதும் உண்டு. இதே உண்மையைப் பின்வருமாறும் கூறலாம். [எந்தப்பாதைகளில் எலெக்ட்ரானின் கோணத்திசைவேகம் $\frac{h}{\pi}$ன் முழுஎண் மடங்குகளாக இருக்கின்றனவோ அந்தச் சுற்றுப்பாதைகளைத் தான் தனிச்சலுகைச் சுற்றுப்பாதைகள் அல்லது நிலைச்சுற்றுப் பாதைகள் (Stationary orbits) என்று கூறலாம்.]

**ஹைட்ரஜன் அணுவின் தனிச்சலுகைச் சுற்றுப்பாதைகளின் ஆரம், அதிர்வுஎண் மற்றும் ஆற்றல் இவற்றைக் கணக்கிடல்:—**

$M, E$ என்பன முறையே அணுக்கருவின் நிறை, மின்னூட்டம் ஆகியவற்றைக் குறிப்பதாகவும், $m, e, v$ என்பன முறையே எலெக்ட்

ரானின் நிறை, மின்னூட்டம், திசைவேகம், ஆகியவற்றைக் குறிப்பதாகவும் கொள்வோம். பொதுவாக ஒரு தனிமம் என்று எடுத்துக்கொண்டு அதன் அணு எண் $Z$ என்றால் $E = Ze$ ஆகும். ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்தவரையில் $Z = 1$ ஆகையால், $E = 1.e = e$ ஆகும். எலெக்ட்ரான் '$a$' என்ற ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில் அணுக்கருவை மையமாக வைத்துச் சுற்றி வருவதாகக் கொள்வோம்.

எலெக்ட்ரானுக்கும் அணுக்கருவுக்குமிடையே உண்டாகும் நிலைமின்னியல் ஈர்ப்பு $= \frac{E \cdot e}{a^2}$ ஆகும். எலெக்ட்ரான் $v$ என்ற திசைவேகத்துடன் சுற்றிவருவதால் அதற்கு ஏற்படும் மையம் விட்டோடும் விசை $= \frac{mv^2}{a}$ ஆகும். அணுவின் கட்டமைப்புக் குலையாது இருக்கவேண்டுமென்றால், எலெக்ட்ரானை அணுக்கருவை நோக்கி இழுக்கின்ற *நிலைமின்னியல் ஈர்ப்பு விசையாகிய $k \frac{E \cdot e}{a_2}$ நியூட்டனும், எலெக்ட்ரானை அணுக்கருவை விட்டு விலக்கித் தள்ளுகிற மையம் விட்டோடும் விசையாகிய $\frac{mv^2}{a}$ நியூட்டனும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

$$\text{ஆகவே } k.\frac{Ee}{a^2} = \frac{mv^2}{a}$$

$$\text{அல்லது } v^2 = \frac{kEe}{am} \qquad \text{—(1)}$$

---

*. **அடிக்குறிப்பு:—**

கூலம் விதி.

1. $q_1, q_2$ என்ற இரு மின்னூட்டங்கள் $r$ மீட்டர் தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருந்தால் கூலம் விதியின்படி அவற்றிற்கு இடையே உள்ள விசை (நியூட்டன்களில்) மின்னூட்டங்களின் (கூலம்களில்) பெருக்குத்தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலும், அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருக்கவேண்டும்.

$$F \alpha \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ இங்கு $k$ என்பது ஒரு விகித மாறிலி. இதன் மதிப்பு $8.9878 \times 10^9$ ஆகும். இதைத் தோராயமாக $9 \times 10^9$ என்று கூறலாம்.

தனிச்சலுகை விதிக்கான குவான்டம் நிபந்தனைப்படி $P\phi = n\frac{h}{2\pi}$ ஆகும். $P\phi = I\omega$ ஆகையால்

$$I\omega = n\frac{h}{2\pi} \quad \text{ஆகும்.}$$

$m$ என்ற நிறையுடைய துகள் '$a$' என்ற தூரத்தில் உள்ள அச்சை மையமாகக் கொண்டு சுழன்றால் அதன் நிலைமத் திருப்பு திறன் (moment of inertia) $I = ma^2$ ஆகும் என அறிவோம்.

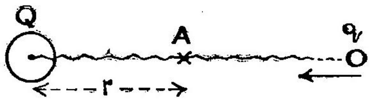
ஆகவே $I\omega = ma^2\omega$

$$= ma^2\frac{v}{a} \quad ∴ \quad \omega = \frac{v}{a}$$

(i) **நிலை மின்னியல் மின்னழுத்தம்** (electrostatic potential)

ஒரு மின்புலத்திலுள்ள புள்ளியில் உள்ள நிலை மின்னியல் மின்னழுத்தம் என்பது ஓர் அலகு நேர் மின்னூட்டத்தை வரம்பிலாத் தொலைதூரத்திலிருந்து அப்புள்ளிக்கு, மின்னியல் விசைக்கு எதிராகக் கொண்டு வருவதற்குச் செலவிடப்படும் வேலையின் அளவாகும்.

$$E_p = F \times r$$
$$= \frac{kQ}{r^2} \cdot r$$
$$= \frac{kQ}{r}$$




படம் 12

$q$ என்ற மின்னூட்டம் கொண்டுவரப்பட்டால் அதன்மீது செய்யப்படும் வேலை

$$= \frac{k.Q.q.}{r}$$

இங்கும் $k$ என்பது விகித மாறிலியாகிய $9 \times 10^9$ ஆகும்,

$$= mav$$

எனவே, $mav = n\frac{h}{2\pi}$

$$∴ \quad v = \frac{nh}{2\pi ma} \qquad \text{—(2)}$$

சமன்பாடு (1) ஐச் சமன்பாடு (2) ஆல் வகுக்க

$$\frac{v^2}{v} = \frac{Eek}{am} \cdot \frac{2\pi ma}{nh}$$

$$v = \frac{2\pi Eek}{nh} \qquad —(3)$$

சமன்பாடு (2)-லிருந்து

$$a = \frac{nh}{2\pi mv}$$ என அறியலாம்.

இதில் சமன்பாடு (3)-லிருந்து பெற்ற $v$-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$a = \frac{nh}{2\pi m} \cdot \frac{nh}{2\pi Eek}$$

$$= \frac{n^2h^2}{4\pi^2 Ee.m.k} \qquad —(4)$$

இது எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்திற்கான வாய்பாடாகும். இதிலிருந்து சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $n^2$-ன் மதிப்பிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்குமென அறிகிறோம்.

முதல் பாதையின் ஆரம்

$$a_1 = \frac{1^2h^2}{4\pi^2 E.e.mk}$$ ஆகும்.

இரண்டாவது பாதையின் ஆரம்

$$a_2 = \frac{2^2h^2}{4\pi^2 E\,e.mk}$$ ஆகும்.

இவ்வாறே அடுத்தடுத்துள்ள பாதைகளின் ஆரங்கள் $1^2:2^2:3^2$— என்ற விகிதத்தில் இருக்கின்றன. இதில் வருகின்ற 1,2,3,—போன்ற முழு எண்களுக்கு அந்த அந்தச் சுற்றுப்பாதைகளின் **குவாண்டம் எண்கள்** (quantum numbers) என்று பெயர். முதல் பாதையின் குவாண்டம் எண் ஒன்று. இரண்டாவது பாதையின் குவாண்டம் எண் இரண்டு. இப்படியே ஒவ்வொரு பாதைக்கும் குவாண்டம் எண் தரப்படுகிறது.

ஹைட்ரஜன் அணுவை எடுத்துக்கொண்டு போர் அதன் முதல் சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்தைக் கணக்கிட்டார். அந்த ஆரம் '**போர் ஆரம்**' (Bohr's radius) என்றே வழங்கப்படுகிறது.
ஹைட்ரஜன் அணுவில் $E = e$ ஆகும்

$$a = \frac{n^2h^2}{4\pi^2.m.E{\cdot}ek}$$ என்ற சமன்பாட்டில்

$n=1,\ h=6{\cdot}6238\times10^{-34}$ ஜூல் விநாடி,

$m=9{\cdot}1072\times10^{-31}$ கி.கி. $E=e=1{\cdot}6019\times10^{-19}$ கூலம் என்னும் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய.

$K=8.9878\times10^{-9}$ நியூட்டன் மீட்டர்$^2$/கூலம்$^2$

$a={\cdot}53\times10^{-10}$ மீட்டர் என அறியலாம்.

**இதுவே போர் ஆரம் எனப்படுகிறது.**

### (ii) எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை அதிர்வு எண் :— (Orbital frequency)

$$f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{v}{2\pi a}$$

$$=\frac{2\pi Eek}{nh}\cdot\frac{1}{2\pi a}$$

$$=\frac{kEe}{nha}$$

$$=\frac{Eek}{nh}\cdot\frac{4\pi^2{\cdot}m{\cdot}E{\cdot}ek}{n^2h^2}$$

$$=\frac{4\pi^2m\,E^2e^2k^2}{n^3h^3} \qquad \text{—(5)}$$

ஓர் எலெக்ட்ரான் அதன் சுற்றுப்பாதையில் அணுக்கருவைச் சுற்றிச் சுற்றி விநாடிக்கு எத்தனை முறை வருகிறதோ அதுவே அதன் சுற்றுப்பாதை அதிர்வு எண் (Orbital frequency) எனப்படுகிறது.

### (iii) சுற்றுப்பாதை ஆற்றல் (Orbital Energy)

ஒரு சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வந்து கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான் பெற்றுள்ள இயக்கஆற்றல் மற்றும் நிலையாற்றல் இவை இரண்டின் கூட்டுத்தொகையே அதன் சுற்றுப்பாதை ஆற்றல் எனப்படும்.

எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}m \cdot \frac{Eek}{am} \qquad \because \quad v^2 = \frac{Eek}{am}$$

$$= \frac{Eek}{2a}$$

எலெக்ட்ரான் $E$ என்ற மின்னூட்டமுடைய அணுக்கருவி லிருந்து $a$ என்னும் தூரத்திலிருப்பதால் அதன் நிலையாற்றல் $-\frac{Eek}{a}$ ஆகும்.

மொத்த ஆற்றல் = இயக்க ஆற்றல் + நிலையாற்றல்

$$= \frac{Eek}{2a} + \left(-\frac{Eek}{a}\right)$$

$$= \frac{Eek}{2a} \text{ ஆகும்.}$$

சமன்பாடு (4)-லிருந்து $a$-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய $n$ என்ற குவான்டம் எண் கொண்ட சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றலாகிய $W_n$ என்பதைப் பெறலாம்.

$$W_n = -\frac{Eek}{2} \cdot \frac{4\pi^2 m \cdot E \cdot ek}{n^2 h^2}$$

$$= -\frac{2\pi^2 m \cdot E^2 e^2 k^2}{n^2 h^2} \qquad \text{—(6)}$$

$n$ ஆவது சுற்றுப்பாதையில் உள்ள எலெக்ட்ரான் பெற்றுள்ள ஆற்றலின் அளவைக் குறிக்கிறது. எனவே, இது $n$ சுற்றுப் பாதையின் ஆற்றல் எனப்படுகிறது.

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து $n$-மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க சுற்றுப் பாதை ஆற்றலின் எண் மதிப்பு(numerical value) குறையும். ஆகவே சுற்றுப் பாதை ஆற்றலின் எண் மதிப்பு சுற்றுப்பாதை குவான்டம் எண்ணாகிய $n$-ன் இருமடி மதிப்பிற்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும். இச்சமன்பாட்டில் வருகிற எதிர்க்குறி (— குறி) மிகமிக முக்கிய மான ஒன்று. குவான்டம் எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்கச் சுற்றுப் பாதை ஆற்றலின் மதிப்புக் குறைந்து கொண்டே சென்றாலும் அச் சுற்றுப்பாதைகளின் உண்மையான ஆற்றல் அதிகரித்துக் கொண்டு

தான் செல்கிறது என்பதை எதிர்க்குறி காட்டுகிறது. அதாவது அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள சுற்றுப்பாதையைவிட, தொலேவில் உள்ள சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் அதிகமாயிருக்கும். எடுத்துக் காட்டாக, ஹைட்ரஜன் அணுவின் முதற் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல்

$$W_1 = \frac{-2\pi^2 me^2e^2k^2}{1^2h^2}$$

$$= \frac{2\pi^2 9.1072\times10^{-31}\times(1.6019\times10^{-19})^4.(9\times10^9)^2}{1^2\times(6.6238\times10^{-34})^2}$$

$$= -2.184\times10^{-18} \text{ ஜூல்கள்}$$

இதே போன்று சுற்றுப் பாதையின் ஆற்றலுக்கான சமன்பாட்டில் $n=2$ எனப் பதிலீடு செய்ய, இரண்டாவது சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றலாகிய $W_2$ கிடைக்கும்.

$$W_2 = \frac{-2\pi^2 9.1072\times10^{-31}.(1.6019\times10^{-19})^4\times(9\times10^9)^2}{2^2\,(6.6238\times10^{-34})^2}$$

$$= \frac{-2.184\times10^{-18}}{2^2} \text{ ஜூல்கள்}$$

$$= -0.546\times10^{-18} \text{ ஜூல்கள்}$$

இதே போன்று $n=3$ எனப் பதிலீடு செய்ய

$$W_3 = \frac{-2.184\times10^{-18}}{3^2}$$

$$= 0.2426\times10^{-18} \text{ ஜூல்கள்.}$$

இதே போன்று எந்த சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றலேயும் கணக்கிட்டு அறியலாம். இங்கு $-2.184\times10^{-18}$ என்பது எண் அளவில் $-0.546\times10^{-18}$, $-0.2426\times10^{-18}$ என்பவற்றைக் காட்டிலும் பெரியதாக இருப்பினும் உண்மையில் மற்றவற்றைக் காட்டிலும் குறைந்த ஆற்றலேத்தான் குறிப்பிடுகிறது என்பதை எதிர்க்குறி காண்பிக்கிறது. எதிர்க்குறி மற்ருென்றையும் குறிப்பிடுவதைக் காணலாம். எலெக்ட்ரான் எப்போதும் அணுக்கருவால் ஈர்க்கப்பட்ட நிலேயிலேயே இருக்கிறது. எனவே ஓர் எலெக்ட்ரானே அதன் அணுக்கருவின் ஆட்சியிலிருந்து பிரித்து, வெளிக்கொணர வேண்டுமென்ருல் ஆற்றலேச் செலவிட்டாகவேண்டும். ஆகவே,

அணுக்கருவுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும் எலெக்ட்ரானைப் பிரித்து எடுக்கச் செலவிடப்படும் ஆற்றலை பிணைப்பாற்றல் (binding energy) என்று வழங்கலாம். ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்தவரையில் அதன் $n$ ஆவது சுற்றுப்பாதையில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானின் பிணைப் பாற்றலின் அளவு $+\frac{2{\cdot}184\times10^{-18}}{n^2}$ ஜூல்கள் ஆகும். இதிலிருந்து வெளிச் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பிரித்து எடுப்பதற்குக் குறைந்த அளவுடைய ஆற்றலும் உட்சுற்றுப்பாதை யிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பிரித்து எடுக்க மிக அதிக அளவுடைய ஆற்றலும் தேவை என அறியலாம். சுற்றுப்பாதை ஆற்றலை எலெக்ட்ரான் வோல்ட் என்னும் ஆற்றல் அலகிலும் கூறலாம். [ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்தத்தின் கீழ், முடுக்கந்தரப்படும் எலெக்ட்ரான் பெறுகின்ற ஆற்றலின் அளவிற்கு ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (electron volt) என்று பெயர்.] இதன்படி $1{\cdot}6\times10^{-19}$ ஜூல் என்பது ஓர் எலெக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். இது $eV$ என்ற எழுத்துகளால் குறிப் பிடப்படுகிறது.

## எலெக்ட்ரான்களின் தாவல்

ஓர் எலெக்ட்ரான் $E_1$ என்ற ஆற்றலுடைய ஒரு சுற்றுப் பாதையிலிருந்து $E_2$ என்ற ஆற்றலுடைய உட்சுற்றுப்பாதை ஒன்றுக்குத் தாவும்போது போர் கூறிய அடிக்கோளின்படி அது வெளிவிடும் ஆற்றல் $E_1-E_2=h\nu$ ஆகும். இங்கு $\nu$ என்பது வெளி விடப்படும் கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண் ஆகும். எலெக்ட்ரான் முதலில் இருந்த சுற்றுப்பாதையின் குவான்டம் எண் $n_1$ என்றும் பின் தாவிய சுற்றுப்பாதையின் குவான்டம் எண் $n_2$ என்றும் கொண்டால்

$$E_1=\frac{-2\pi^2mE^2e^2k^2}{n_1{}^2h^2} \quad \text{மற்றும்}$$

$$E_2=\frac{-2\pi^2m\,E^2e^2k^2}{n_2{}^2h^2}$$

எனவே, $h\nu=E_1-E_2$

$$=\frac{-2\pi^2mE^2e^2k^2}{h^2}\left[\frac{1}{n_1{}^2}-\frac{1}{n_2{}^2}\right]$$

$$=\frac{+2\pi^2mE^2e^2k^2}{h^2}\left[\frac{1}{n_2{}^2}-\frac{1}{n_1{}^2}\right]$$

$$\nu=\frac{2\pi^2mE^2e^2k^2}{h^3}\left[\frac{1}{n_2{}^2}-\frac{1}{n_1{}^2}\right]$$

ஒளியின் திசைவேகம் $C$ என்றால்

$$C = \nu \lambda \text{ ஆகும் எனவே } \nu = \frac{C}{\lambda}$$

$$\therefore \quad \frac{C}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2 k^2}{h^3} \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2 k^2}{Ch^3} \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

அலை நீளத்தின் தலைப்பு மாற்றப் பின்னத்திற்கு (reciprocal) **அலை எண்** (wave number) என்று பெயர். இது $\bar{\nu}$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. ஆகவே,

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2 k^2}{Ch^3} \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

அணுக்கருவின் மின்னூட்டமாகிய $E$ என்பதை $Ze$ என எழுதலாம். இங்கு $Z$ என்பது அணு எண் ஆகும்.

$$\text{எனவே } \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 m\, Z^2 e^2 . e^2 . k^2}{Ch^3} \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

$$= \frac{2\pi^2 m . e^4 k^2}{Ch^3} . Z^2 \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right]$$

$$\bar{\nu} = R . Z^2 \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right] \text{ இதில்}$$

$R$ என்பது $\frac{2\pi m e^4 k^2}{Ch^3}$ ஐக்குறிக்கின்ற ஒரு மாறிலி ஆகும். இதனை **ரிட்பர்க் மாறிலி** (Rydberg's Constant) எனக் கூறுவர்.

## ஹைட்ரஜன் நிறமாலை (Hydrogen Spectra)

ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் $+1$ ஆகும். ஏனெனில் அதன் அணுஎண் $Z = 1$ ஆகும். எனவே ஹைட்ரஜன் அணுவில் எலெக்ட்ரான் தாவல் நிகழும்போது உண்டாகும் கதிர்வீச்சின் அலை எண்களைப் பொதுவாக

$$\bar{\nu} = R.\ 1. \left[ \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right] \text{ என்னும்}$$

வாய்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

1885-ஆம் ஆண்டில் *J.J.* பாமர் (Balmer) என்ற பள்ளி ஆசிரியர் ஒருவர் ஹைட்ரஜன் தரும் நிறமாலை வரிகளின் அலைவு எண்ணை

$\bar{\nu} = 109678\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$ என்ற வாய்பாட்டால் குறிப்பிட்டு $n$-ன் மதிப்பு 2-க்கு அதிகமான ஒரு முழு எண்ணாக இருக்க வேண்டும் என்று காட்டினார். இவ்வாய்பாடு சோதனைகளின் முடிவுக்கு ஏற்ப உண்டாக்கப்பட்ட ஒன்று. ஆகவே இதனை அனுபவ வாய்பாடு (empirical formula) என்பர்.

போர் கொள்கைப்படி.

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4k^2}{Ch^3}.\ Z^2\left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right]$$

எனக் கண்டோம். இதில் $Z=1$ எனக் கொண்டு $m, e, c, h, k$ ஆகியவற்றிற்கு உரிய மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய

$$\bar{\nu} = 10960000\left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right]$$

என்றாகும். $n_2 = 2$, $n_1 = n$ எனப் பதிலீடு செய்ய

$$\bar{\nu} = 10960000\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

என்ற அனுபவ வாய்பாடு கிடைக்கும். பாமர் *C. G. S* முறையில் சென்டி மீட்டருக்கு இத்தனை அலைகள் எனக் கணக்கிட்டதால் 109678 என வந்தது. மேலே நாம் மீட்டருக்கு இத்தனை அலைகள் என *M K S* முறையில் கணக்கிட்டிருக்கிறோம். ஆகவே 10960000 என வருகிறது என அறியவும்.

பாமரின் அனுபவ வாய்ப்பாட்டிற்கும், போர் கூறிய புதிய அணு மாதிரியின் அடிப்படையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட வாய்ப்பாட்டிற்கும் இடையே காணப்பட்ட வியக்கத்தக்க ஒற்றுமை போர் அணு மாதிரிக்குப் பெரு வெற்றி தருவதாக அமைந்தது.

மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் $n_2 = 2$ என்றும் $n_1 = 3, 4, 5\ldots\ldots\ldots$ என்றும் பதிலீடு செய்ய பாமர் தொடரில் உள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண்களைப் பெறலாம்.

இதே போன்று இச்சமன்பாட்டில் $n_2=3$ என்றும் $n_1=4, 5, 6 \cdots$ என்றும் பதிலீடு செய்ய பாஷன் தொடரில் (Paschen's Series) உள்ள நிறமாலை வரிகளின் அலை எண்களையும் பெறலாம். பாமர் தொடர், பாஷன் தொடர் ஆகியவை முறையே 1885, 1908ஆம் ஆண்டுகளில் கண்டறியப்பட்டன. இவற்றிற்கான வாய்பாட்டினை 1913ஆம் ஆண்டில் கூறப்பட்ட போர் கொள்கை விளக்கியதிலும், கண்டறிந்ததிலும் பெரிய சிறப்பு இல்லை, ஆனால் பின்னால் கண்டு பிடிக்கப்படப் போகிற ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரித் தொடர்களின் அலை எண்களை முன் கூட்டியே கணித்த பெருமை போர் கொள்கைக்குப் பெருஞ்சிறப்புத் தருவதாகும்.

போர் கூறிய, கதிர் வீச்சின் அலை எண்ணுக்கு உரிய

$$\bar{v}=R.\left(\frac{1}{n_2^2}-\frac{1}{n_1^2}\right)$$ என்ற வாய்பாட்டில் $n_2=1$

என்றும் $n_1=2, 3, 4 \ldots\ldots$ என்றும் பதிலீடு செய்ய 1915ஆம் ஆண்டு லைமன் (Lymann) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட, புற ஊதாப் பகுதியில் அமைந்த **லைமன் தொடரின்** அலை எண்களும், $n_2=4$ எனவும் $n_1=5, 6, 7 \ldots\ldots$ எனவும் பதிலீடு செய்ய 1922ஆம் ஆண்டில் F. S. பிராக்கெட் (F. S. Brackett) என்பார் அகச் சிவப்புப் பகுதியில் கண்டுபிடித்த **பிராக்கெட் தொடரின்** (Brackett Series) அலை எண்களும் கிடைத்தன. $n_2=6$ என்றும் $n_1=7, 8, 9 \cdots\cdots$ என்றும் பதிலீடு செய்ய 1953ஆம் ஆண்டு ஹம்ப்ரி (Humprey) என்பார் கண்டுபிடித்த தொடரின் அலை எண்களும் கிடைத்தன என்றால் போர் அணு மாதிரியின் பெருமை விளங்கும்.

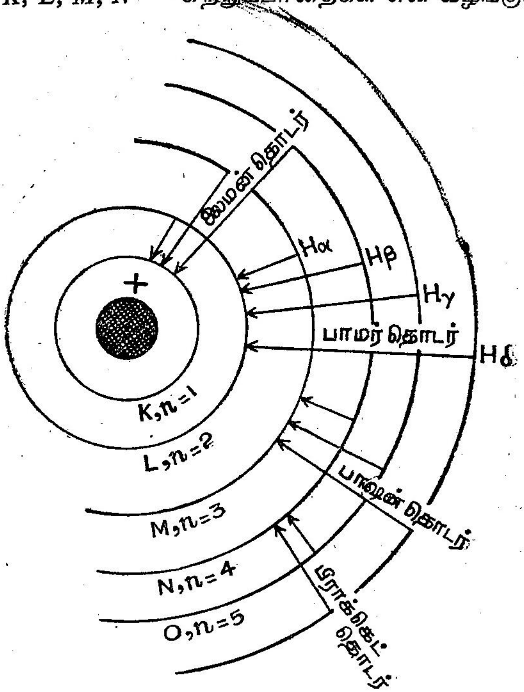
### ஹைட்ரஜன் - நிறமாலைத் தொடர்கள் தோன்றும் விதத்தை விளக்கும் படங்கள்

நிறமாலைத் தொடர்கள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன என்பதை இருவிதமான படங்களைக் கொண்டு விளக்கலாம். அவையாவன (1) அணுவின் சுற்றுப்பாதை படம். (2) அணுவின் ஆற்றல் மட்டப் படம்.

## அணுவின் சுற்றுப்பாதைப் படம் (Orbit diagram)

படம் 25, போரின் கொள்கைப்படி அமைந்த சுற்றுப்பாதைகளையும், அத்தகைய சுற்றுப்பாதைகளுள் ஏதேனும் ஒன்றுக்கு, அதற்கு வெளியிலுள்ள சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் தாவும்போது, எவ்வாறு வெவ்வேறு தொடர்கள் தோன்றுகின்றன என்பதை விளக்குகிறது. $n=1, 2, 3, 4 \ldots\ldots$

என்னும் குவான்டம் எண்களைக் கொண்ட சுற்றுப்பாதைகளை முறையே *K, L, M, N*......சுற்றுப்பாதைகள் என வழங்குவர்.




படம் 25

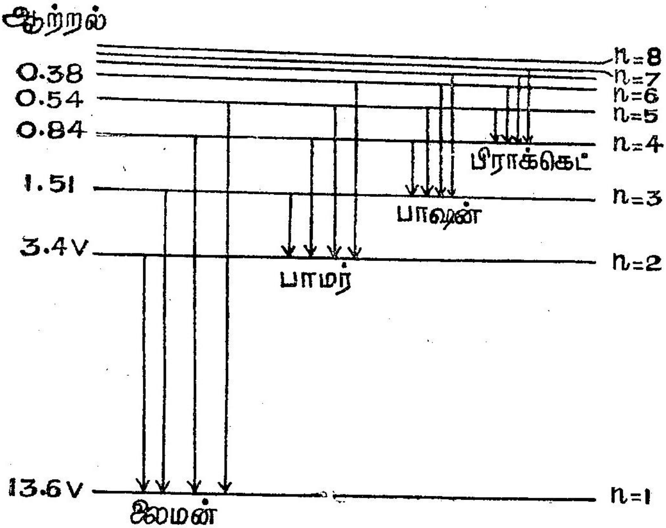
படத்தில் $n=1$ ஆக உடைய முதல் சுற்றுப்பாதைக்கு, அதற்கு வெளியிலுள்ள சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் தாவ நேரிட்டால் லைமன் தொடர் உண்டாகிறது.

$n=2$ ஆக உடைய இரண்டாவது சுற்றுப்பாதைக்கு, அதற்கு வெளியிலுள்ள சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான் தாவ நேரிடும்போது பாமர் தொடரிலுள்ள $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ .....வரிகள் தோன்றுகின்றன.

இதேபோன்று மூன்றுவது சுற்றுப்பாதைக்கு அதற்கு அப்பாலுள்ள சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் தாவிடும் போது பாஷன் தொடரும், நான்காவது சுற்றுப்பாதைக்கு அதற்கு அப்பாலுள்ள சுற்றுப்பாதைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் தாவும்போது பிராக்கெட் தொடரும் இதுபோன்றே மற்ற மற்றத்

தொடர்களும் உண்டாகின்றன என்பதைப் படம் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

## ஆற்றல் மட்டப் படம் (Energy Level diagram)




படம் 26

இப்படம் (26) அணுவின் பல்வேறு வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளைக் காட்டுகிறது. இந்நிலைகளுள், உயர் ஆற்றல் மட்ட நிலையிலிருந்து கீழ் ஆற்றல் மட்ட நிலைக்கு அணுச் செல்லும் போது நிறமாலை வரி தோன்றுகிறது. படத்திலுள்ள கிடைமட்டக் கோடுகள் வெவ்வேறு ஆற்றல் நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. ஓர் ஆற்றல் நிலையுடன், மற்றோர் ஆற்றல் நிலையை இணைக்கின்ற குத்துக் கோடுகள், ஆற்றல் மாற்றம் நடைபெறும் வகையைக் குறிக்கின்றன. படத்தில் வெவ்வேறு நிலைகளுக்குரிய குவான்டம் எண்களும், எலெக்ட்ரான் வோல்ட்களில் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் ஆற்றல் அளவுகளும் தரப்பட்டிருக்கின்றன. 2, 3, 4......என்னும் குவான்டம் எண்களைக் கொண்ட உயர் ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து 1 என்ற குவான்டம் எண் கொண்ட தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்கு அணு மாறும் போது அது லைமன் தொடர் வரிகளை வெளியிடுகிறது. இதே போன்று பாமர், பாஷன், பிராக்கெட், ப்ஃபண்ட் ஆகிய தொடர்களும் தோன்றுகின்றன.

படத்திலிருந்து, ஒவ்வொரு தொடரும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டத்தில் முடிவடையக் காண்கிறோம். இயல்பு நிலையில் உள்ள ஹைட்ரஜன் அணுவின் எலெக்ட்ரான் முதற் சுற்றுப்பாதையில் குறைந்த ஆற்றலுடன் சுற்றி வந்து கொண்டிருக்கும். மின்னிறக்கக் குழாயில், ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒன்றோடொன்று மோதும் போது அல்லது வேறு ஏதாவது ஒரு வழியில் **கிளர்ச்சியூட்டப் படுகிறது.** (Excited) இதனால் முதல் சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிக் கொண்டிருந்த எலெக்ட்ரான், அணு பெற்ற ஆற்றலின் அளவிற்கு ஏற்ப ஏதாவது ஒரு மேல் சுற்றுப்பாதைக்குச் செல்கிறது. இவ்வாறு சென்ற எலெக்ட்ரான், சிறிது நேரங்கழித்துக் குறைந்த ஆற்றலுடைய ஏதாவது ஓர் உட்பாதைக்கு வர நேரிடும்போது சம்பந்தப்பட்ட இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்குமுள்ள வேறுபாட்டுக்கு ஏற்ப $E=h\nu$ என்னும் வாய்பாட்டிற்கு இணங்கி $\nu$ என்னும் அதிர்வு எண் உடைய நிறமாலை வரியைத் தோற்றுவிக்கிறது. குறிப்பிட்ட ஒரு தாவல் காரணமாகக் குறிப்பிட்ட ஒரு வரிதான் தோன்ற இயலும். அப்படியென்றால் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் ஒரே சமயத்தில் பல தொடர்களும், ஒவ்வொரு தொடரிலும் பல வரிகளும் எப்படித் தோன்றுகின்றன? மின்னிறக்கக் குழாயில் உள்ள எண்ணற்ற ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் எல்லாம் ஒரே அளவு கிளர்ச்சியூட்டப்படுவது இல்லை என்பதையும் வெவ்வேறு அளவுடைய ஆற்றல் மாற்றங்கள் நடைபெறக்கூடும் என்பதையும் அறியலாம். மேலும், ஒரே வகையான ஆற்றல் மாற்றத்திற்கு உள்ளாகும் பல அணுக்கள் ஒவ்வொரு வகைக்கும் இருக்கக்கூடும். ஆகவேதான் எல்லா வரிகளும் தொடர்ந்து காணப்படுகின்றன என்பதை ஊகித்து அறிவது எளிது.

## சாமெர்ஃபெல்ட் அணுமாதிரி (Sommerfeld Atom model)

மிகு பிரிதிறன் கொண்ட கருவிகளைக் கொண்டு, ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளைக் கூர்ந்து நோக்கியபோது அவ்வரிகள் ஒவ்வொன்றும் ஒற்றைவரிகள் அன்று என்பதும், அவை ஒவ்வொன்றிலும் நுண்ணிய சில வரிகள் அடங்கியுள்ளன என்பதும் தெரியவந்தது. எடுத்துக்காட்டாக, **பாமர் தொடரிலுள்ள** வரிகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் மூன்று உட்கூறு வரிகளும், **பாஷன் தொடரிலுள்ள** ஒவ்வொரு வரிக்கும் ஐந்து உட்கூறு வரிகளும் காணப்பட்டன. இவ்வரிகள் நெருங்கியிருப்பதால்தான் குறைந்த பிரிதிறன் கொண்ட கருவிகளின் மூலம் இவற்றைக் காணமுடிவது இல்லை. ஒரு நிறமாலை வரியின் உட்கூறுகளை **நுண்ணமைப்பு வரிகள்** (fine structure lines) என்று வழங்குவர். போரின் கொள்கைப்படி உட்கூறு வரிகளுக்கு விளக்கம் அளிப்பது

எப்படி? ஒவ்வொரு குவான்டம் எண்ணுக்கும், ஒரு சுற்றுப்பாதை தான் உண்டு என்றால் செய்முறையின் மூலம், கண்கூடாகக் கண்ட நுண்ணமைப்பு வரிகளுக்கு விளக்கந்தர முடியாது. ஆகவே, ஒவ்வொரு குவான்டம் எண்ணுக்கும், ஆற்றலால் சிறிய அளவில் வேறுபடும் பல சுற்றுப்பாதைகள் இருக்கக்கூடும் என்ற எண்ணம் தோன்றலாயிற்று.

இக்கருத்தின் அடிப்படையில் 1915ஆம் ஆண்டில், போர் அணு மாதிரியைச் சாமெர்ஃபெல்ட் மாற்றி அமைத்தார். இவர் பின் வரும் புதிய கருத்துகளைப் புகுத்தினர். (1) அணுக்கருவை அடுத்துள்ள முதல் சுற்றுப்பாதை வட்டப்பாதை என்றும். ஆகவே அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதையில் சீரானவேகத்துடன் சுற்றி வருகின்றது என்றும், ஆனல் அதை அடுத்துள்ள பாதைகளில் எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதையிலோ, நீள்வட்டப்பாதையிலோ சுற்றி வரலாம் என்றும் கொண்டார். அதாவது போர் கருத்துப்படி இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு உரியபாதை ஒரே ஒரு வட்டப்பாதையாகும். ஆனல் சாமெர்ஃபெல்ட் கருத்துப்படி இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு உரிய பாதைகள் இரண்டு. அவற்றுள் ஒன்று வட்டமாகவும் மற்றது நீள்வட்டமாகவும் இருக்கும். இவ்வாறே மூன்ருவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு உரியபாதைகள் மூன்று. அவற்றுள் ஒன்று வட்டப்பாதை, மற்ற இரண்டும் நீள் வட்டப்பாதைகளாகும். இவ்வாறே ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டத்திற்கும் ஒன்று வட்டப்பாதையாகவும், மற்றவை நீள்வட்டப்பாதைகளாகவும் இருக்கின்றன. ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு உரியபாதைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை அந்தஆற்றல் மட்டத்தின் முதன்மைக் குவான்டம் எண் (Principal quantum number) என்று வழங்கப்படும் $n$-க்குச் சமமாகும். (2) பாதையில் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் ஒளியின் வேகத்தைவிடக் குறைவுதான் என்ருலுங்கூட அவ்வேகத்தின் காரணமாகச் சார்புக் கொள்கையின்படி எலெக்ட்ரானின் நிறையில் ஏற்படும் மாற்றத்தை விட்டுவிடுவதற்கில்லை. வட்டப்பாதையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் நிறை, அதன் வேகம் காரணமாக அதிகரிக்கும் என்ருலும் அது வட்டப்பாதையில் சீரான வேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருப்பதால் அதன் புதிய எடை பாதையின் எல்லா இடங்களிலும் ஒரே அளவுடையதாகத்தான் இருக்கும். ஆனல் நீள்வட்டப்பாதையில் இயங்கும் எலெக்ட்ரான், அந்த நீள்வட்டப்பாதையின் குவியங்களுள் ஒன்றில் அமைந்துள்ள அணுக்கருவுக்கு அருகில் வரும்போது அதிகவேகத்துடனும் தொலைவில் இருக்கையில் குறைந்த வேகத்துடனும் இயங்கும். அதாவது எலெக்ட்ரான் நீள்வட்டப்பாதையில் சீரற்ற வேகத்துடன் இயங்கு

கிறது. எனவே, வேகங்காரணமாக மாற்றமடைகின்ற அதன் நிறையும் இடத்திற்கு இடம் வேறுபடுகிறது. அணுக்கருவுக்கு அருகில் வரும்போது நீள்வட்டப்பாதையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் நிறை அதிகமாகவும், தொலைவில் இருக்கையில் குறைவாகவும் இருக்குமென அறியலாம். இவ்வாறு அணுவின் கட்டமைப்பில் குவான்டம் கொள்கையுடன், சார்புக் கொள்கையும் புகுந்தது. இவ்வாறு, எலெக்ட்ரானின் நிறையில் ஏற்படும் மாற்றத்தையும், ஆற்றல் மட்டங்களுக்குள் பல துணை ஆற்றல் மட்டங்கள் (Sub-energy levels) இருப்பதையும், அந்தத் துணை ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒன்றுக்கொன்று நெருங்கியுள்ளன என்றும் கூறிய "சாமெர்ஃபெல்ட் **சார்புநிலை அணுமாதிரி**" (Sommerfelds relativistic atom model) என்ற பெயரும் உண்டு.

சாமெர்ஃபெல்ட் கொள்கையின்படி போர் குறிப்பிட்ட குவான்டம் எண் $n$ என்பது $n_r$ மற்றும் $n_\phi$ என்ற இருவேறு குவான்டம் எண்களின் கூட்டுத்தொகையாகும். இவற்றில் $n_r$ என்பது ஆரவழி குவான்டம் எண் (radial quantum number) என்றும், $n_\phi$ என்பது **திசைக்கோணக் குவான்டம்** எண் (angular quantum number) என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

$$n = n_r + n_\phi \text{ ஆகும்}$$

நீள்வட்டப்பாதையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானுக்கு இரு **உரிமைப்படிகள்** (degree of freedom) உண்டு. அணுக்கருவிலிருந்து அந்த எலெக்ட்ரானுக்குள்ள தூரமாகிய $r$, மற்றும் அதன் **திசைக் கோணமாகிய** (azimuthal angle) $\phi$ ஆகியவையே அவ்விரு உரிமைப் படிகளாகும். ஒவ்வொரு உரிமைப்படியையும், தனித்தனியே குவான்டம் நிபந்தனை மூலம் வரையறுக்கவேண்டும். மிகப் பொதுவான வரையறுத்தலுக்கு உரிய சமன்பாடு.

$\int Pdq = nh$ என்பதாகும். இதில் $P$ என்பது உந்தத்தையும், $q$ என்பது அவ்வுந்தத்திற்கு உரிய ஆய நிலையையும் குறிக்கின்றன. இதன்படி போர் கூறிய வட்டச் சுற்றுப்பாதைக்கு

$$\int^{2\pi a} mv\,dx = nh \text{ ஆகும்.}$$

$mv\,a = \frac{nh}{2\pi}$ ஆகும். [இதைத்தான் முன்பு $P_\phi = \frac{nh}{2\pi}$ என்று குறிப்பிட்டிருந்தோம்.]

நீள்வட்டப்பாதைக்கு, ஒவ்வொரு **மாறியும்** (variable) $\int Pdq = nh$ என்ற சமன்பாட்டிற்கு உட்பட்டு வரவேண்டும். அதாவது

$$\int P_\phi d\phi = n_\phi h$$

$$\int P_r dr = n_r h$$

இங்கு $P_\phi$ என்பது எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தத்தையும் (angular momentum) $P_r$ என்பது ஆரவழி உந்தத்தையும் (radial momentum) குறிப்பிடுகின்றன என்பது ஊகிக்கக்கூடியதே.

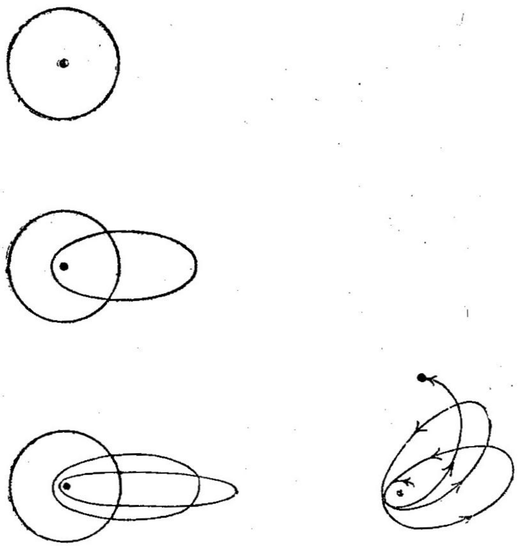
இவ்வாறு போர் அணுமாதிரியில் கூறப்பட்டிருந்த $n$ என்ற ஒரு குவான்டம் எண் சாமெர்ஃபெல்ட் அணுமாதிரியில் $n_r$, $n_\phi$ என்ற இரு குவான்டம் எண்களின் கூட்டுத்தொகை ஆயிற்று.

ஒரு முழுச் சுற்றுக்குத் தொகுப்பதன் மூலம்

$1-\varepsilon^2 = \frac{n_\phi^2}{(n_\phi + n_r)^2} = \frac{b^2}{a^2}$ எனக் காட்டலாம். இதில் $\varepsilon$ ஓரை வட்டத்தின் வேற்றுமைய எண்ணையும் (eccentricity) $a$, $b$ என்பன முறையே ஓரைவட்டத்தின் அரைப்பேரச்சு, அரைச் சிற்றச்சு ஆகிய வற்றையும் குறிக்கின்றன. $n_\phi$, $n_r$ என்பன இரண்டுமே முழு எண்களாகும் $n = n_\phi + n_r$ என்பதில் $n = 1, 2, 3$.........என்ற வாறிருக்கும். $n$ என்பது எலெக்ட்ரானின் **மொத்தக் குவான்டம் எண்** (Total quantum number) என்று வழங்கப்படுகிறது. மேற்கூறிய சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{a}{b}$ என்பது இரு முழு எண்களின் விகிதமாக இருக்கக்கூடிய சுற்றுப்பாதைகள் மட்டுமே எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்திற்கு **அனுமதிக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகள்** (permitted orbits) என்பதும் தெரிகிறது.

சார்பு கொள்கையின் காரணமாக மாறுபடுகின்ற நிறையுடன் அணுக்கருவைச் சுற்றிவருகின்ற எலெக்ட்ரானின் பாதை முடிவுற்ற நீள்வட்டமாக இருக்க இயலாது என்பதை சாமெர்ஃபெல்ட்

உணர்ந்தார். எலெக்ட்ரானின் பாதை சிக்கல் மிக்க ஆனால் அழகிய பூவிழை வரையாக (Rosette = ரோஜாப்பூவின் இதழ்கள்



படம் : 27 (a), 27 (b)

அமைந்திருப்பது போன்ற தோற்றம்) இருக்கும். இதனைக் கொஞ்சங் கொஞ்சமாக இடம் பெயர்ந்து கொண்டே வட்டமாகச் செல்லும் ஒரு நீள்வட்டம் எனக் கூறலாம். (படம் 27*b*) அதாவது எலெக்ட்ரான் நீள்வட்டப்பாதையில் சுழன்று கொண்டிருக்கும் போதே, அந்நீள்வட்டத்தின் பேரச்சு அணுக்கருவை மையமாகக் கொண்டு நீள்வட்டத்தளத்தில் மெதுவாகச் சுற்றும்.)

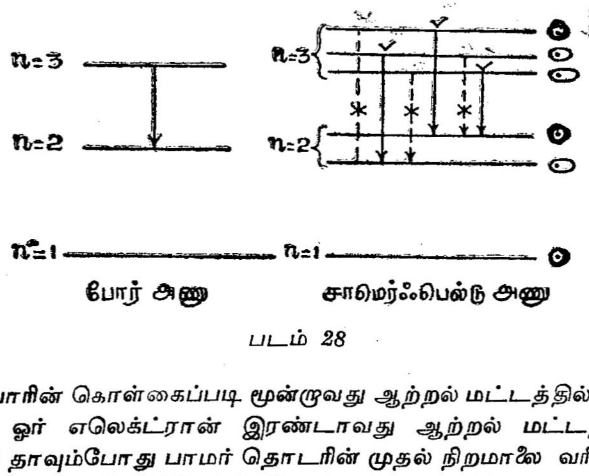
$$1-\varepsilon^2 = \frac{n_\phi^2}{(n_\phi+n_r)^2}$$ என்னும் சமன்பாட்டில் $n_\phi = n$ என்றால்

$1-\varepsilon^2 = 1$ ஆகும். அதாவது $\varepsilon = 0$. வேற்றுமைய எண் $= 0$ ஆகும். எலெக்ட்ரான் பாதை மாறாத மையத்தைக் கொண்டிருக்கும். எலெக்ட்ரான் வட்டப்பாதையில் செல்லும். ஆகவே ஓர் எலெக்ட்ரானின் திசைக்கோணக் குவான்டம் எண் ($n_\phi$) அதன் மொத்தக் குவான்டம் எண்ணுக்குச் ($n$) சமமானால் எலெக்ட்ரானின் பாதை வட்டமாக இருக்கும். எந்த நிலையிலும் $n_\phi$ என்பது சுழியாக முடியாது. ஏனெனில் $n_\phi = 0$ என்றால் எலெக்ட்ரானின்

பாதை நேர்கோடாகிவிடும். $n = n_\phi + n_r$ என்பதில் குறிப்பிட்ட $n$ என்ற ஒரு மொத்தக்குவான்டம் எண்ணுக்கு ஏற்ப $n_\phi$ என்பது வெவ்வேறு அளவுடைய, $n$-எண்ணிக்கையுடைய மதிப்புகளைப் பெறலாம். ஆகவே, $n$ வகையான நீள்வட்டங்கள் இருக்கக்கூடும். இவற்றுள் $n = n_\phi$ என்ற நிலையில் உள்ள நீள்வட்டம் வட்டமாக இருக்கும். மற்ற நீள்வட்டங்களுக்கு $n_\phi$-ன் மதிப்புக் குறையக் குறைய வேற்றுமைய எண் அதிகரித்துக்கொண்டே செல்வதால் படத்தில் (படம் 27*a*) காட்டியுள்ள அமைப்பைப் பெறுகின்றன.

படம் 28-ல் போர் மற்றும் சாமெர்ஃபெல்ட் கொள்கைகளுக்கு ஏற்ப வரையப்பட்ட, ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஆற்றல் மட்டப் படங்கள் தரப்பட்டிருக்கின்றன.

**பாமர் தொடரில் முதல்வரி தோன்றல்:**




படம் 28

போரின் கொள்கைப்படி மூன்றாவது ஆற்றல் மட்டத்தில் ($n = 3$) உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு ($n = 2$) தாவும்போது பாமர் தொடரின் முதல் நிறமாலை வரிதோன்றும். ஆனால் சாமெர்ஃபெல்ட் கொள்கைப்படி மூன்றாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு மூன்று துணை மட்டங்களும் இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு இரண்டு துணை ஆற்றல் மட்டங்களும் உண்டு. எனவே, மேலே உள்ள மூன்று துணை மட்டங்களில் ஏதாவது ஒன்றிலிருந்து கீழே உள்ள இருதுணை ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏதேனும் ஒன்றுக்குப் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் **ஆறுவழிகளில்** எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெறஇடமுண்டு. ஆகவே சாமெர்ஃபெல்ட் கொள்கைப் படி பாமர் தொடரின் முதல் வரியில் ஆறு நுண்ணமைப்பு வரிகள் இருக்கவேண்டும். மிகு பிரிதிறன் (high resolving power

கொண்ட நிறமாலை காட்டிகள் (Spectroscope) நுண்ணமைப்பு வரிகளைக் காட்டின என்ருலும் அவ்வரிகளின் எண்ணிக்கை ஆறுக்குக் குறைவாகவே இருந்தன. இந்தக் குறை ஏன் ஏற்படுகிறது என்பதற்கு சாமெர்ஃபெல்ட் பின்வரும் காரணத்தைக் கூறினர்.

மூன்ருவது ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்திற்கு ஆறு வழிகளில் எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெற இடமுண்டு என்ருலும் மூன்று வழிகளில் மட்டுமே எலெக்ட்ரான் தாவல் நிகழக்கூடும். ஆகவே, மூன்று நுண்ணமைப்பு வரிகள் மட்டுமே தோன்றுகின்றன என்று கூறினர். மற்ற மூன்று தாவல்களும் **தடுக்கப்பட்ட தாவல்களும்** (forbidden jumps) எனப்படும். படம் 28-ல் தடுக்கப்பட்ட தாவல்கள் புள்ளிக் கோடிட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. எந்தத்தாவல் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது எந்தத்தாவல் தடுக்கப்படுகிறது என்பதைக் கூறும் விதிக்குத் தேர்வு விதி (Selection rule) என்று பெயர். இதுபற்றிப் பின்னர் விளக்கப்படும். திசைக்கோணக் குவான்டம் எண் வேறுபாடு **$\Delta n_\phi = \pm 1$ ஆக உள்ள இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கு இடையே மட்டுமே எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெறும்** என்னும் தேர்வு விதியினைச் சாமெர்ஃபெல்ட் உண்டாக்கினர். அதன்படி $H\alpha$ வரி என வழங்கப்படும் பாமர் தொடரின் முதல் வரிக்கு மூன்று நுண்ணமைப்பு வரிகளே இருக்க இயலும். ஆனல், நடைமுறையில் 5வரிகள் காணப்பட்டன. எனவே, சாமெர்ஃபெல்ட் அணுமாதிரியைக் கொண்டு நுண்ணமைப்பு வரிகளை விளக்குவதில் பெருவெற்றி காண முடியாது போயிற்று. தேர்வு விதியில் தவறு உண்டா என்ருல் அதுவும் இல்லை. பின் குறை எங்கிருக்கிறது ?

சூரியக்குடும்பத்திலுள்ள கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றிவருவதைப் போலவே எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றிவருகின்றன என்று கருதி அணுவின் கட்டமைப்பை விளக்க முனைந்தவர்கள், அக்கோள்களைப் போலவே எலெக்ட்ரான்களுக்கும் **சுழற்சி** (Spin) இருக்கவேண்டும் என்பதை மறந்துவிட்டார்கள். இதனல்தான் மேலே கண்ட குறை ஏற்பட்டது. எனவே எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி, நிறமாலை ஆய்வுகள் மற்றும் அனுபவமுறைகள் ஆகியவற்ருல் பெற்ற முடிவுகள் இவற்றை அடிப்படையாகக்கொண்டு **வெக்டர் அணு மாதிரி (Vector atom model)** என்ற ஒன்றைக்கூறி இடர்ப்பாடுகள் அத்தனையையும் வென்ருர்கள். இந்த அணுமாதிரியை உருவாக்கிய பெருமை போர் (Bohr), சாமெர்ஃபெல்ட் (Sommerfeld), உலன்பெக் (uhlenbeck), கூட்ஸ்மிட் (Goudsmit) பௌலி (Pauli), ஸ்டெர்ன் (Stern), கெர்லாக் (Gerlack) போன்றவர்களைச் சேரும்.

## வெக்டர் அணுமாதிரி (Vector Atom model)

வெக்டர் அணுமாதிரி இரண்டு புதிய கருத்துகளைப் புகுத்தியுள்ளது. (1) திசை அல்லது இடம் வரையறுத்தல் (2) சுழற்சி எலெக்ட்ரான்கள்.

## இடம் வரையறுத்தல் (Spatial quantisation)

சாமெர்ஃபெல்ட் அணுமாதிரியில் சுற்றுப்பாதைகளின் வடிவ அமைப்பு மற்றும் அளவு ஆகியவற்றைப் பற்றி மட்டுமே கூறப்பட்டிருந்தது. அவர் கூறிய கருத்துப்படி அந்தச் சுற்றுப்பாதைக்கு அளவு மட்டுமே உண்டு. ஆனால் குவான்டம் கொள்கைப்படி சுற்றுப்பாதைகள் எல்லா நிலைகளிலும் இருத்தல் இயலாது. அவற்றுக்கு என வரையறுக்கப்பட்ட திசைகள் இருக்கவேண்டும். அதாவது சுற்றுப்பாதை என்பது அளவுடன் திசைப்பண்பு கொண்ட வெக்டர் அளவாகவே இருக்கமுடியும். எப்படிச் சுற்றுப்பாதைகளில் சில சலுகைப்பாதைகள் இருக்கின்றனவோ, அதேபோல அச்சுற்றுப் பாதைகள் இருப்பதற்கெனச் சில சலுகை பெற்ற திசைகளும்இருக்க வேண்டும். ஒரு சுற்றுப்பாதைக்கு உரிய திசையை, ஒரு புறப்புல விசையின் உதவியால் அறியலாம். ஆனால், அப்புறப்புலத்தின் விசையளவு சுற்றுப்பாதைகளுக்கு இடையூறு செய்யாத அளவுக்குச் சிறியதாக—சுழியளவை நோக்கிச் செல்வதாக—இருக்கவேண்டும். செயற்படுத்தும் புறப்புலத்தின் திசையின் மீது சுற்றுப்பாதையின் வீழ்ச்சியை (projection) வரையவேண்டும். இவ்வாறு வரையப்பட்ட வீழ்ச்சிகளும் வரையறுக்கப்பட்டவையாக இருக்க வேண்டும். புலத்திசையிலிருந்து வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதை எவ்வளவு சாய்ந்துள்ளது என்பதை அளவிடலாம்.

## சுழற்சி எலெக்ட்ரான்கள் (Spinning electrons)

நுண்ணமைப்பு வரிகள், சீமன் விளைவு போன்ற பல நிகழ்ச்சிகளை விளக்க முற்பட்ட உலன்பெக் மற்றும் கூட்ஸ்மிட் ஆகியவர்கள் சுழற்சி எலெக்ட்ரான்கள் பற்றிய கருத்தினை வெளியிட்டார்கள். பூமி தனக்கென அமைந்த ஓர் அச்சில் தன்னைத்தானே சுற்றிக் கொண்டு, அதே சமயத்தில் சூரியனையும் சுற்றிக்கொண்டிருப்பதைப் போல, எலெக்ட்ரானும் தனக்கென அமைந்த ஓர் அச்சில் தன்னைத்தானே சுற்றிக் கொண்டிருப்பதுடன், குறிப்பிட்ட ஒரு சுற்றுப்பாதையில் அணுக்கருவையும் சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் இயக்கத்தைத்தான் சுழற்சி (Spin) என்கிறோம். எனவே, எலெக்ட்ரானுக்கு சுற்றுப்பாதை இயக்கம் காரணமாக ஒரு கோண உந்தமும், சுழற்சி இயக்கம் காரணமாக மற்றொரு கோண உந்தமும்

ஆக இரு கோண உந்தங்கள் உண்டு. எலெக்ட்ரானின் மொத்தக் கோண உந்தம் என்பது இவ்விருகோண உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகையே ஆகும். எனவே குவான்டம் கொள்கைப்படி சுற்றுப் பாதை இயக்கத்தை வரையறுத்தது போலவே சுழற்சி இயக்கத்தையும் வரையறை செய்து அதற்கெனச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண் (Spin quantum number) என்ற ஒரு குவான்டம் எண் தரவேண்டும். எனவே எலெக்ட்ரானுக்கு சுற்றுப்பாதை குவான்டம் எண், சுழற்சிக் குவான்டம் எண் என இருவகையான குவான்டம் எண்கள் உண்டு. மேலும் இவ்விரு வகையான இயக்கங்களும் அளவுடன் திசையாலும் வரையறுக்கப்படவேண்டும். அதாவது, எலெக்ட்ரானின் இருவகை இயக்கங்களும் வெக்டர் வகையைச் சேர்ந்த இயக்கங்களாகக் கொள்ளவேண்டும்.

ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற பொருளின் இயக்கத்தினால் அதற்கு ஒரு காந்தத் திருப்புதிறன் உண்டாகும் என அறிவோம். ஆகவே இருவிதமான இயக்கங்கள்கொண்ட எலெக்ட்ரானுக்கு இருவகையான காந்தத் திருப்புதிறன்களும் இருக்கவேண்டும். ஆகவே, ஓர் அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறன் என்பது அவ்வணுவின் எலெக்ட்ரான்களுக்குள்ள இருவிதக் காந்தத் திருப்புதிறன்களின் விளைவு திருப்புதிறனே ஆகும். மேற்கூறிய திருப்புதிறன்களும் வெக்டர் அளவுகளே ஆகும்.

## பலவிதமான குவான்டம் எண்கள்

வெக்டர் அணுமாதிரியில், சுற்றுப்பாதை, சுழற்சி, சுற்றுப் பாதை காந்தத்திருப்புதிறன், சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறன் போன்ற உறுப்புக்கள் இருக்கின்றன. ஒவ்வோர் உறுப்புக்கும் ஒரு குவான்டம் எண் உண்டு. மேலே கண்ட உறுப்புகளைக் குறிக்கும் வெக்டர்களின் நீளங்களின் எண் மதிப்புகளைத்தான் அவ்வுறுப்புகளின் குவான்டம் எண்கள் என்று கூறுகிறோம்.

### (i) மொத்தக் குவான்டம் எண் [Total Quantum Number ($n$)]

இது $n$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இது 1,2,3,...என்ற முழுஎண் மதிப்புகளை மட்டுமே கொண்டிருக்கமுடியும். சுழி மதிப்பைப்பெற முடியாது.

## (ii) சுற்றுப்பாதை குவான்டம் எண் [Orbital quantum number ($l$)

இது $l$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இது 0 மற்றும் ($n-1$) ஆகியவற்றிற்கு இடைப்பட்ட எந்த முழுஎண் மதிப்பையும் பெறலாம். அதாவது $n=5$ என்றால் $l$-ன் மதிப்பு 0,1,2,3,4 ஆகிய வற்றுள் ஏதாவது ஒன்றாக இருக்கும். இது சாமெர்ஃபெல்ட் மாதிரியில் பார்த்த திசைக்கோண குவான்டம் எண்ணாகிய $n_\phi$ போன்றது. ஓர் எலெக்ட்ரானின் **சுற்றுப்பாதை கோண உந்தம்** (orbital angular momentum) ஆகிய $P_l$ என்பது $l.\frac{h}{2\pi}$ (அல்லது $l\hbar$) ஆகும். ஓர் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் $l=0$ என்றால் அதனை $s$ எலெக்ட்ரான் என்றும் $l=1$ என்றால் அதனை $p$ எலெக்ட்ரான் என்றும் $l=2$ என்றால் அதனை $d$ எலெக்ட்ரான் என்றும் வழங்குவது மரபு. இதுபோன்றே மற்ற மற்ற எலெக்ட்ரான் களுக்கும் பெயர்கள் உண்டு.

## (iii) சுழற்சிக் குவான்டம் எண் [Spin quantum number ($s$)]

இது எப்போதும் $\frac{1}{2}$ ஆகும். இது வரையறுத்தல் பற்றிய முழு எண் மடங்கு விதிக்கு முரணாக இருந்தாலும் $s$-க்கு $\frac{1}{2}$ எண் மதிப்புத் தந்து பெற்ற முடிவுகள், சோதனைகளின் மூலம் பெற்ற முடிவுகளுடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தன. எனவே, முழு எண் மடங்கு விதியிலிருந்து இது விலக்குப் பெறுகிறது. எலெக்ட்ரானின் சுழற்சிக் கோண உந்தம் $P_s$ என்பதால் குறிக்கப்படுகிறது $P_s=s\frac{h}{2\pi}$ (அல்லது $P_s=s\hbar$) ஆகும்.

## (iv) மொத்தத் திசைக்கோணக் குவான்டம் எண் [Total angular quantum number ($j$)]

இது $j$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. ஓர் எலெக்ட் ரானின் சுற்றுப்பாதை இயக்கம் மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் இவற்றினால் உண்டாகும் கோண உந்தங்களுக்கு ஒரு விளைவு உந்தம் உண்டல்லவா? அந்த விளைவு உந்தத்தைக் குறிக்கின்ற வெக்டரின் நீளத்தைத்தான் நாம் **மொத்தக் கோணக் குவாண்டம் எண்** என்கிறோம். $l$ என்பது சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தத்தின் வெக்டர் நீளத்தையும், $s$ என்பது சுழற்சிக் கோண உந்தத்தின் வெக்டர் நீளத்தையும் குறிப்பதால், இவ்விரு வெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகையாகிய (vector sum) $l+s$ என்பது $j$-க்குச்

சமமாகும். அதாவது $j=l+s$ ஆகும். எனவே $j$ என்பது $\frac{1}{2}$ எண்களைக் கொண்டதாகவே இருக்க இயலும்.

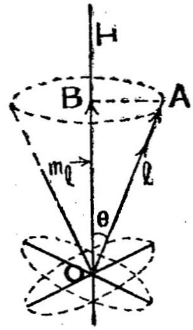
$s$ என்பது $l$ என்ற வெக்டருக்கு இணையாக இருப்பின் $j=l+\frac{1}{2}$ என்றும், $s$ என்பது $l$ வெக்டருக்கு எதிரிணையாக (anti parallel) இருப்பின் $j=l-\frac{1}{2}$ என்றும் கொள்வது வழக்கம். எலெக்ட்ரானின் மொத்தக் கோண உந்தத்தை $P_j$ என்ற எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம். ஆகவே $P_j=j\frac{h}{2\pi}$ (அல்லது $P_j=j\hbar$) ஆகும் என அறியலாம்.

மேலே குறிப்பிட்டிருக்கும் குவான்டம் எண்கள் இயல்பு நிலையில் உள்ள ஓர் அணுவில் காணப்படும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு உரிய குவான்டம் எண்களாகும். ஆனால், அணு காந்தப்புலம் போன்ற ஒரு புறப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டால் மேற்கூறிய குவான்டம் எண்களோடு மேலும் மூன்று குவான்டம் எண்களை அதன் எலெக்ட்ரான்கள் பெறுகின்றன. அப்புதிய குவான்டம் எண்களை (1) காந்தச் சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் $m_l$ (2) காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண் $m_s$ மற்றும் (3) காந்த மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண் $m_j$ என்று கூறுகிறோம்.

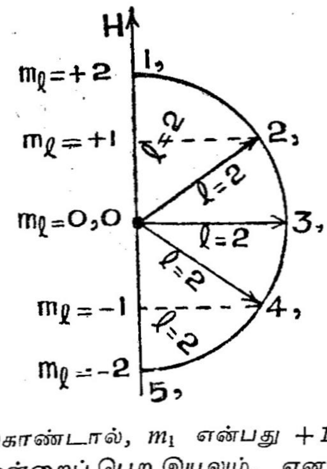
## (v) காந்தச் சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் [Magnetic orbital quantum number ($m_l$)]

காந்தப்புலத்தின் திசையின் மீது வரையப்படும், சுற்றுப்பாதை வெக்டரின் வீழ்ச்சியின் எண்மதிப்புத்தான் காந்தச் சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் ($m_l$) என்கிறோம். இது படம் 29*a*-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதன் மதிப்பு முழு எண்ணாகும். இது $-l$ மற்றும் $+l$ ஆகிய இரு எண்களுக்கும் இடைப்பட்ட $(2l+1)$ மதிப்புகளில் ஏதாவது ஒன்றைப் பெறும். இடம் வரையறுத்தல் என்ற கொள்கையின்படி புலத்தின் திசையின்மீது வரையப்படும் $l$-ன் வீழ்ச்சியும் வரையறுக்கப்பட்டதாகவே இருக்கும். ஆகவே $l$ **என்பது புலத்தின் திசையிலிருந்து எந்தக் கோணத்தில் சாய்ந்திருந்தால்** $m_l$**-ன் மதிப்பு** முழு **எண்ணாக இருக்க முடியுமோ அத்தகைய கோணத்தில் மட்டுமே** $l$ **சாய்ந்திருக்க முடியும்.** எடுத்துக்காட்டாக, $H$ என்னும் புலத்தின் திசையிலிருந்து $\theta$ என்னும் கோணத்தில் $l$ சாய்ந்திருப்பதாக வைத்துக்கொண்டால், $l$-ன் வீழ்ச்சியாகிய $m_l=l\cos\theta$ ஆகும். $m_l$ என்பது முழு எண்ணாக இருக்க வேண்டுமாதலால் $\cos\theta$-ன் மதிப்பு ஒரு போதும் 1ஐக் காட்டிலும் அதிகமாக இருக்கமுடியாது. ஆகவே $m_l$-ன் மதிப்புகள்

$+l$-லிருந்து $-l$-வரை உள்ள முழு எண்களாக மட்டுமே இருக்க இயலும். அதாவது $+l, (l-1), (l-2), \ldots\ldots 1, 0, -1, -2, \ldots\ldots -l$ என்ற எண்களுக்குள் ஏதாவது ஒன்ருக இருக்க முடியும். மேலும்




படம் 29 *a*




படம் 29 *b*

$l=1$ என்று கொண்டால், $m_l$ என்பது $+1, 0, -1$ என்ற மூன்று மதிப்புகளுள் ஒன்றைப் பெற இயலும். எனவே மேற்கூறிய மூன்று $m_l$ மதிப்புகளைப் பெறுவதற்கு ஏற்ற கோணத்தில் மட்டுமே $l$ வெக்டர் சாய்ந்திருக்க இயலும். அதாவது $l$ வெக்டரின் போக்கு இந்த மூன்று நிலைகளுக்குள் ஏதாவது ஒன்ருக மட்டுமே இருக்க இயலும். இவ்வாறே $l=2$ என்ருல், $m_l$ என்பது $+2, +1, 0, -1, -2$ என்ற ஐந்து மதிப்புகளுள் ஏதாவது ஒன்றைத்தான் பெற முடியும். எனவே $l$ வெக்டர் மேற்கூறிய $m_l$ மதிப்புகளைத் தருவதற்கு ஏற்ற ஐந்து கோண நிலைகளுக்குள் ஏதாவது ஒரு

கோண நிலையில் $l$ வெக்டர் சாய்ந்து இருக்கலாம். இத்தகைய நிலைகளைப் படம் 29b காட்டுகிறது.* (இதைப்பற்றி விரிவாக சீமன்விளைவுக்கான விளக்கத்தில் கூறப்பட்டிருப்பதைப் பார்க்கவும்.)

## (vi) காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண் [Magnetic Spin quantum number ($m_s$)]

காந்தப் புலத்தின் திசையின்மீது வரையப்படும் $s$ வெக்டரின் வீழ்ச்சிக்கு உரிய எண் மதிப்பிற்குத்தான் **காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்** என்று பெயர். இது $m_s$ என்பதால் குறிக்கப்படுகிறது. சுழற்சி வெக்டர் $2s+1$ எண்ணிக்கையுடைய நிலைகளைத்தான் கொண்டிருக்கமுடியும். ஆகவே, காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்ணாகிய $m_s$-ம் $-s$ முதல் $+s$ வரையுள்ள $2s+1$ மதிப்புகளைத் தான் பெற இயலும். அதாவது $m_s$ என்பது $+\frac{1}{2}$ மற்றும் $-\frac{1}{2}$ என்ற இரு மதிப்புகளை மட்டுமே பெற இயலும். $m_s$ என்பது சுழி மதிப்பைப் பெற இயலாது.

## (vii) காந்த மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண் [Magnetic total angular momentum quantum number ($m_j$)]

மொத்தக் கோண உந்த வெக்டராகிய $j$-க்கு காந்தப் புலத்தின் திசையின் மீது வரையப்படும் வீழ்ச்சியின் எண் மதிப்புத் தான் **காந்த மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண்** எனப்படுகிறது. இது $m_j$ என்னும் எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. $j=l\pm\frac{1}{2}$ எனக் கண்டோம். எனவே $m_j$-ன் மதிப்பு அரை எண்களைக் கொண்டதாகவே இருக்கும். $j$ வெக்டரின் அனுமதிக்கப்பட்ட நிலைகளின் எண்ணிக்கை $(2j+1)$ ஆகும். ஆகவே $m_j$ என்பது சுழி நீங்கலாக $+j$ மற்றும் $-j$ இவற்றிற்கு இடையே உள்ள $(2j+1)$ மதிப்புகளை பெற்றிருக்கும்.

எலெக்ட்ரானின் நிலைகளைக் குறிக்க $l, s, j$ மற்றும், $s, p, d, f$ போன்ற சிறிய எழுத்துகளையும், அணுவின் நிலையைக் குறிக்க, $L, S, J$, மற்றும் $S, P, D, F$ போன்ற பெரிய எழுத்துகளையும் பயன்படுத்துவது மரபு ஆகும். சிலர் $L, S, J$ என்பதற்குப் பதிலாக $l^*, s^*, j^*$ என்றும் குறிப்பது உண்டு.

## இணைப்பு முறைகள் (Coupling Schemes)

எலெக்ட்ரான்களின் பல்வேறு வெக்டர்களையும் இணைத்து அணுவைக் குறிக்கும் வெக்டர்களை அடையலாம். இணைப்புகளில் இருவகை உண்டு (1) $L$ - $S$ இணைப்பு (2) $J$ - $J$ இணைப்பு.

## (i) L - S இணைப்பு (L - S coupling)

இது அடிக்கடி நிகழும் ஒரு வகை இணைப்பு ஆகும். எனவே இதனை இயல்பு இணைப்பு என்றும் கூறுவர். இம்முறையில் எலெக்ட்ரான்களின் சுழற்சி வெக்டர்களை எல்லாம் கூட்டி விளைவு $S$-வெக்டரையும், அதைப் போலவே சுற்றுப்பாதை வெக்டர்களை எல்லாம் கூட்டி விளைவு $L$-வெக்டரையும் அடையலாம். எடுத்துக் காட்டாக, $l_1, l_2, l_3$...... என்பன எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுப்பாதை வெக்டர்களையும் $s_1, s_2, s_3$...... என்பன சுழற்சி வெக்டர்களையும் குறிக்கின்றன எனக் கொள்வோம்

$$\underbrace{[l_1+l_2+l_3+\ldots\ldots]}_{L} + \underbrace{[s_1+s_2+s_3 \ldots]}_{S} = J$$

$$L + S = J \text{ ஆகும்.}$$

எலெக்ட்ரான்களின் வெக்டர்கள் வலிமைமிக்கதாக இருக்கும்போது மட்டுமே இத்தகைய $L$ - $S$ இணைப்பு நடைபெறக்கூடும். இவ்விணைப்பு நடைபெறும் போது பின்வரும் உண்மைகளை நினைவில் வைக்கவேண்டும்.

(1) $L$, $S$, $J$ என்ற மூன்று வெக்டர்களுமே வரையறுக்கப் பட்டவை ஆகும்.

(2) $L$ என்பது ஒரு முழு எண் ஆகும். அது 0, 1, 2,...... போன்ற ஒரு மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும்.

(3) $S$ என்பது ஒரு முழு எண்ணாகவோ அல்லது அரை எண்ணாகவோ இருக்கும். ஏனெனில் இதன் மதிப்பு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் அவற்றின் சுழற்சி வெக்டர்களின் திசை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. எடுத்துக் காட்டாக, 3 எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணு ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின் சுழற்சி வெக்டர்கள் $s_1$, $s_2$, $s_3$ என்போம். இவற்றின் திசைகள் இணையாக இருப்பின்

$$S = s_1 + s_2 + s_3$$
$$= \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2} = 3/2 \text{ ஆகும்.}$$

இரு எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு திசையிலும் மற்றது எதிரிணையாகவும் இருப்பின் $S = s_1 + s_2 - s_3 = \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{2}$ ஆகும். ஆகவே மூன்று எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுவின் $S$ என்பது 3/2 ஆகவோ, $\tfrac{1}{2}$ ஆகவோ இருக்கும். இவ்வாறே 4 எலெக்ட்ரான் அணுவின் $S$-மதிப்பு 2 அல்லது 1 அல்லது 0 ஆக இருக்குமென்பதை அறியலாம்.

(4) $J$ என்பது $L$-மற்றும் $S$ ஆகிய வெக்டர்களின் கூட்டுத் தொகையாகும். எனவே $S$ என்பது முழுஎண் என்றால் $J$-ம் முழு எண்ணாக இருக்கும். $S$ என்பது அரை எண் என்றால் (1/2, 3/2, 5/2, 7/2..... போன்ற மதிப்புகளை உடையது என்றால்) $J$-ம் அரை எண் ஆகும். இதனைச் சுருக்கமாக ஒற்றைப்படை எலெக்ட்ரான் களைக் கொண்ட அணுவின் $J$ மதிப்பு அரை எண்களாகவும், இரட்டைப்படை எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுவின் $J$ மதிப்பு முழு எண்ணாகவும் இருக்கும் என்று கூறலாம். $J$ என்பது ஓர் அணுவின் மொத்தக் கோண உந்தத்தைக் குறிக்கும் வெக்டர் ஆகையால், அது எப்போதும் நேர்க்குறி (+) தான் பெறும். ஒரு போதும் எதிர்க்குறி (−) பெற இயலாது. $L$ என்பது $S$-ஐவிடப் பெரியதாகவோ அல்லது $S$-க்குச் சமமாகவோ இருந்தால் $J$ பெறக் கூடிய மதிப்புகளின் எண்ணிக்கை $(2S+1)$ ஆகும். $L$ என்பது $S$-ஐவிட சிறியது என்றால் $J$ பெறக்கூடிய மதிப்புகளின் எண்ணிக்கை $(2L+1)$ ஆகும்.

## (ii) j - j இணைப்பு (j - j Coupling)

சில நேரங்களில் வெவ்வேறு எலெக்ட்ரான்களின் $s$ வெக்டர்கள் மற்றும் $l$ வெக்டர்கள் இவற்றிற்கு இடையே நிகழும் வினையாக்கத்தை (interaction) விட, ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் உரிய $s$ வெக்டருக்கும் $l$ வெக்டருக்குமிடையே நிகழும் வினையாக்கம் வலிவுமிக்கதாக இருப்பதுண்டு. அப்போது ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் உரிய $j$ மதிப்புகளைக் கண்டுபிடித்து அவ்வாறு கண்ட $j$ வெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகையை அணுவின் $J$ வெக்டராகக் கொள்வது உண்டு. அதாவது ஓர் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை வெக்டர் $l_1$ என்றும் சுழற்சி வெக்டர் $s_1$ என்றும் கொண்டால் அவற்றிடையே நிகழும் வினையாக்கம் வலிவுடையதாக இருப்பின் $l_1+s_1=j_1$ எனக் கொள்ளலாம். இவ்வாறு ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் கணக்கிட்டால்

$$(l_1+s_1) + (l_2+s_2) + (l_3+s_3) + \ldots\ldots$$
$$= (j_1 + j_2 + j_3 + \ldots\ldots$$
$$= J$$

## பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கை (Pauli's exclusion Principle)

இது ஓர் அனுபவ விதி (empirical law) ஆகும். இதன்படி எந்த அணுவிலும் எல்லாவகையிலும் ஒத்த குவாண்டம் எண்களைக் கொண்ட இரு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்க இயலாது. ஓர் அணுவிலுள்ள

இருவேறு எலெக்ட்ரான்களுக்கு $n$, $l$, $m_1$ என்ற குவான்டம் எண்கள் சமமாக இருந்தால் அவற்றில் ஒன்றுக்கு $m_s = \frac{1}{2}$ ஆகவும் மற்றதற்கு $m_s = -\frac{1}{2}$ ஆகவும் இருக்கும். அவ்வாறின்றி. இரு எலெக்ட்ரான்கள் முற்றிலும் ஒத்த குவாண்டம் எண்களைக் கொண்டிருந்தால், அந்த இரு எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்று அணுவின் கட்டமைப்பிலிருந்து விலக்கப்பட்டுவிடும் அல்லது தவிர்க்கப்பட்டுவிடும். எனவேதான் இக்கொள்கைக்குத் **தவிர்த்தல் கொள்கை** (exclusion principle) என்று பெயர்.

எலெக்ட்ரானுடன் இணைந்துள்ள பல குவான்டம் எண்களுள் நான்கு தெரிந்தால்தான் அதன் நிலையை அறுதியிட்டுக் கூற இயலும். வலிய காந்தப்புலத்திலுள்ள அணுவானால் $n, l, m_1$ மற்றும் $m_s$ என்ற குவான்டம் எண்களும், சாதாரண நிலையிலுள்ள அணுவானால், $n, l, j$ மற்றும் $m_j$ ஆகிய குவான்டம் எண்களும் தேவைப்படுகின்றன.

## அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு (Electronic structure in atoms)

பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கையின் அடிப்படையில் அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பைக் காண்பது எளிது. தனிமங்களின் அட்டவணையில் மிக லேசான ஹைட்ரஜன் அணுவில் தொடங்கி தொடர்ந்து மேலே செல்லச்செல்ல எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை சீராக அதிகரித்துக்கொண்டே செல்கிறது என அறிவோம். அணுக்கருவைச்சுற்றி அந்த எலெக்ட்ரான்கள் ஒழுங்கின்றித் தாறுமாருகக் கிடக்கின்றனவா ? ஓர் ஒழுங்குக்குக் கட்டுப்பட்டு அமைந்திருக்கின்றனவா ? என எண்ணுவது இயல்பே. எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை ஆய்வுகளிலிருந்து அந்த எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச்சுற்றி பல கூடுகளில் (Shells) அமைந்திருக்கின்றன என அறிகிறோம். குறிப்பிட்ட **மொத்தக் குவான்டம் எண்** ($n$) கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் ஒரே கூட்டிற்குள் இருக்கின்றன. மொத்தக் குவான்டம் எண் $n = 1$ ஆகக்கொண்ட எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் முதற்கூடாகிய $K$ கூட்டில் இருக்கின்றன $n = 2$ ஆகக்கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் இரண்டாவது கூடாகிய $L$-கூட்டிலும், $n = 3$ ஆக உடைய எலெக்ட்ரான்கள் $M$-கூட்டிலும் இதுபோன்ற மற்றக் கூடுகளாகிய $N, O, P, Q$-விலும் இருக்கின்றன. இங்கு சுற்றுப்பாதைகளுக்கும் கூடுகளுக்குமிடையில் உள்ள வேறுபாட்டை உணர்ந்துகொள்வது நல்லது ஒரே $n$ மதிப்பைக் கொண்ட பல சுற்றுப்பாதைகள் இருக்கலாம். இத்தகைய குறிப்பிட்ட ஒரு $n$ மதிப்பைக் கொண்ட பல சுற்றுப்பாதைகளைத் தன்னுள் அடக்கிய ஒன்றுதான் கூடு (Shell) எனப்படுகிறது.

ஓர் அணுவின், அணு எண் Z-என்ருல் அதன் அணுக்கருவில் Z-நேர்மின்னூட்டமும் அதைச்சுற்றி Z எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன என்று பொருள். வெளிப்பாதை எலெக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்டு, பின்னர் நிகழும் எலெக்ட்ரான்களின் தாவல் காரணமாக **ஒளி நிறமாலை நிகழ்ச்சியும்** (optical spectra), அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள உள்பாதை எலெக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியூட்டப்படும்போது எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை நிகழ்ச்சிகளும் நடைபெறுகின்றன. தனிம அட்டவணையில் அருகருகே உள்ள இருதனிமங்களின் ஒளிநிறமாலைகள் ஒன்றுக்கொன்று பெரிதும் வேறுபட்டுக் காணப்படுகின்றன. ஆனல், அடுத்தடுத்துள்ள தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளுக்கு இடையே நிறைய ஒற்றுமை காணப்படுகிறது. இதுபற்றி எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் என்ற தலைப்பின்கீழ்க் காணலாம். எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வரிகளின் இடம் நகர்ந்து காணப்படுகின்றதே தவிர அவற்றின் பண்புகள் ஒத்திருக்கின்றன. எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையின் K தொடர்வரிகளை உண்டாக்க ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கும் குறிப்பிட்ட அளவுடைய ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. தனிமத்தின் அணுஎண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, தேவைப்படுகின்ற ஆற்றலின் அளவும் அதிகமாகிக் கொண்டே செல்கிறது. இந்நிகழ்ச்சியிலிருந்து அணுக்கருவைச்சுற்றியுள்ள கூடுகளில் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன என்பதும் அக்கூடுகளுள் அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள கூடு K கூடு என்பதும் தெரிய வரும். அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கும் அணுக்கருவுக்கும் இடையே உள்ள ஈர்ப்புவிசையின் அளவு மிகவும் அதிகம், எனவே அவை அணுக்கருவுடன் நன்கு கட்டப்பட்டுள்ளன. அவற்றை நீக்க வேண்டுமானல் மிக அதிகமான ஆற்றல் தேவைப்படும். அதை அடுத்துள்ள L-கூட்டிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கும் அணுக்கருவுக்கும் இடையே K கூட்டில் எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பதால் L கூட்டு எலெக்ட்ரான்கள் K கூட்டு எலெக்ட்ரான்களைப் போல அவ்வளவு இறுக்கமாகக் கட்டுண்டு இருக்க இயலாது இவ்வாறு அணுக்கருவை விட்டு விலகிச் செல்ல செல்ல அணுக்கருவுக்கும் வெளிக்கூட்டிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்குமிடையே உள்ள கட்டுவிசை குறைந்துகொண்டே செல்லும், மிகு ஆற்றலுடைய ஓர் எலெக்ட்ரானை அணுவின்மீது மோதச்செய்து அதன் K கூட்டிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றிவிட்டால் K கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள ஒரு கூட்டிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் K கூட்டிற்குத் தாவும் அப்போது எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையின் K வரிகளுள் ஒன்று தோன்றும் பல தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளை ஆய்ந்த மோஸ்லி (Mosley) என்பார் தனிமங்களின் பண்புகளுக்கும் அவற்றின் அணு எண்களுக்குமிடையே தொடர்பு இருக்கிறது எனக் கூறினர்.

இயல்பு நிலையில் தனிமத்தின் அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதன் அணுஎண்ணாகிய *Z*-க்குச் சமம். தனிமங்களை அவற்றின் அணுஎண்ணின் ஏறு வரிசையில் அமைத்து அட்டவணையிட்டால் அவற்றின் பண்புகளில் அலைவுத்தன்மை (periodicity) இருப்பதைக் காணலாம் எனக் கண்டார். இதுபற்றி மேலே படிக்குமுன் தனிம அட்டவணை ஒன்றைப் பக்கத்தில் வைத்துக் கொள்ளவும்.

தனிமங்களுள் மிகவும் இலேசானது ஹைட்ரஜன். அதன் அணு எண் $Z=1$ ஆகும். இதை அடுத்துள்ளது ஹீலியம். அதற்கு அணு எண் $Z=2$ ஆகும். ஹைட்ரஜனுடன் ஒப்பிடக் கூடிய வேறு தனிமம் அட்டவணையில் இல்லை. ஹீலியத்திற்கு இரசாயனப் பண்புகள் இல்லை. இவை இரண்டும் முதல் **அலைவு இடைவெளியின்** (First Period) இரு கோடிகளிலும் இடம் பெற்றிருக்கின்றன.

இரண்டாவது **அலைவு இடைவெளியில்** (Second Period) எட்டுத் தனிமங்கள் இருக்கின்றன. அவை *Li*, *Be*, *B*, *C*, *N*, *O*, *F* மற்றும் *Ne* என்பனவாகும். இவற்றின் இரசாயனப் பண்புகள் உலோகத்தன்மையிலிருந்து சிறிது சிறிதாக அலோகத்தன்மை அடைகின்றன. அதேபோன்று **மூன்றாவது அலைவு இடைவெளியில்** (Third Period) எட்டுத் தனிமங்கள் இருக்கின்றன. அவை *Na*, *Mg*, *Al*, *Si*, *P*, *S*, *Cl* மற்றும் *Ar* என்பனவாகும். இங்கும் இரசாயனப் பண்புகள் உலோகத்தன்மையில் தொடங்கி அலோகத்தன்மை அடைவதைக் காண்கிறோம்.

**நான்காவது அலைவு இடைவெளியில்** (Fourth Period) பதினெட்டுத் தனிமங்களிருக்கின்றன. அவை *K*-ல் தொடங்கி *Kr*-ல் முடிகின்றன. இதில் இரு உட்பிரிவுகள் இருக்கின்றன. *K* முதல் *Ni* வரையிலுள்ள பத்துத் தனிமங்களைக் கொண்டது முதல் உட் பிரிவு ஆகும். மற்றவை இரண்டாவது உட்பிரிவு ஆகும். இப்பிரிவுகளிலுள்ள தனிமங்கள் இரண்டு மற்றும் மூன்றாவது அலைவு இடைவெளியிலுள்ள தனிமங்களைப் போலவே இருக்கின்றன. முதல் உட்பிரிவில் *Fe*, *Co*, *Ni* ஆகியவை எல்லையைத் தாண்டிச் செல்வதையும், இவற்றை ஒத்த தனிமங்கள் முந்திய அலைவு இடைவெளியில் இல்லாததையும் காண்க, இரண்டாவது உட்பிரிவில் *Cu* முதல் *Kr* வரையிலான எட்டுத் தனிமங்களிருக்கின்றன. இவற்றின் பண்புகள் II மற்றும் III அலைவு இடைவெளிகளின் பண்புகளையே பெற்றிருக்கின்றன.

134

# தனிம அட்டவ

| லைவு டை வளி | தொ. 1 | தொ. 2 | தொ. 3 | தொ. 4 | தொ. 5 | தொ. 6 | தொ. 7 | தொ. 8 | தொ. 0 | எலெக்ட்ரான் கூடுகள் |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 1 *H* 1.008 | | | | | | | | 2 *He* 4.003 | *K* |
| I | 3 *Li* 6.94 | 4 *Be* 9.02 | 5 *B* 10.82 | 6 *C* 12.01 | 7 *N* 14.008 | 8 *O* 16 | 9 *F* 19 | | 10 *Ne* 20.183 | *K, L* |
| III | 11 *Na* 22.997 | 12 *Mg* 24.32 | 13 *Al* 26.97 | 14 *Si* 28.06 | 15 *P* 30. 8 | 16 *S* 32.07 | 17 *Cl* 35.46 | | 18 *A* 39.944 | *K, L, M* |
| IV | 19 *K* 39.1 29 *Cu* 63.54 | 20 *Ca* 40.08 30 *Zn* 65.38 | 21 *Sc* 45.10 31 *Ga* 69.72 | 22 *Ti* 47.90 32 *Ge* 72.60 | 23 V 50.95 33 *As* 74.91 | 24 *Cr* 52.01 34 *Se* 78.96 | 25 *Mn* 54.93 35 *Br* 79.92 | 26 Fe 55.84 27 Co 58.94 28 Ni 58.68 | 36 *Kr* 83.7 | *K,L,M,N* |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | 37<br>*Rb*<br>85.48<br>47<br>*Ag*<br>107.88 | 38<br>*Sr*<br>87.63<br>48<br>*Cd*<br>112.41 | 39<br>*Y*<br>88.92<br>49<br>*In*<br>114.8 | 40<br>*Zr*<br>91.22<br>50<br>*Sn*<br>118.7 | 41<br>*Cb*<br>92.91<br>51<br>*Sb*<br>121.77 | 42<br>*Mo*<br>95.95<br>52<br>*Te*<br>127.61 | 43<br>*Tc*<br>99<br>53<br>I<br>126.92 | 44 45 46<br>Ru Rh Pd<br>101.7 102.9 106.7 | 54<br>*Xe*<br>131.3 | *K,L,M,N,O* |
| VI | 55<br>*Cs*<br>132.91<br>79<br>*Au*<br>197.2 | 56<br>*Ba*<br>137.37<br>80<br>*Hg*<br>200.61 | 57-71*<br>புவி அரிய<br>தனிமங்கள்<br>81<br>*Tl*<br>204.4 | 72<br>*Hf*<br>178.6<br>82<br>*Pb*<br>207.21 | 73<br>*Ta*<br>180.88<br>83<br>*Bi*<br>209 | 74<br>*W*<br>183.92<br>84<br>*Po*<br>210 | 75<br>*Re*<br>186.31<br>85<br>*At*<br>211 | 76 77 78<br>Os Ir Pt<br>190.2 193.1 195.2 | 86<br>*Rn*<br>222 | K,L,M,N,O,P |
| VII | 87<br>*Fr*<br>223 | 88<br>*Ra*<br>226.95 | 89-103<br>ஆக்டினேட்<br>தொடர்<br>** | | | | | | | K,L,M,N,O,P,Q |

* புவி அரிய தனிமங்கள்

** ஆக்டினேட் தொடர்

புவி அரிய தனிமங்கள்

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 57<br>*La*<br>138.9 | 58<br>*Ce*<br>140.1 | 59<br>*Pr*<br>140.9 | 60<br>*Nd*<br>144.3 | 61<br>*Pm*<br>147.0 | 62<br>*Sm*<br>150.4 | 63<br>*Eu*<br>152.0 | 64<br>*Gd*<br>156.9 | 65<br>*Tb*<br>159.2 | 66<br>*Dy*<br>162.5 | 67<br>*Ho*<br>164.0 |
| | 68<br>*Er*<br>167.2 | 69<br>*Tm*<br>169.4 | 70<br>*Yb*<br>173.04 | 71<br>*Lu*<br>174.11 | | | | | | | |

ஆக்டினைட் தொடர்

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 89<br>*Ac*<br>227 | 90<br>*Th*<br>232.12 | 91<br>*Pa*<br>231.1 | 92<br>*U*<br>238.07 | 93<br>*Np*<br>287 | 94<br>*Pu*<br>242 | 95<br>*Am*<br>243 | 96<br>*Cm*<br>245 | 97<br>*Bk*<br>249 | 98<br>*Cf*<br>249 | 99<br>*E*<br>254 |
| | 100<br>*Fm*<br>255 | 101<br>*Mv*<br>256 | | | | | | | | | |

**ஐந்தாவது அலைவு இடைவெளி** (Fifth Period) நான்காவது அலைவு இடைவெளியைப் போலவே இரு உட்பிரிவுகளைக் கொண்டிருக்கிறது. முதல் உட்பிரிவில் *Rb* முதல் *Pd* வரையிலான பத்துத் தனிமங்களும், இரண்டாவது உட்பிரிவில் *Ag* முதல் *Xe* வரையிலான எட்டுத் தனிமங்களும் இருக்கின்றன.

**ஆருவது அலைவு இடைவெளியில்** (Sixth Period) *Cs* முதல் *Rn* வரையிலான முப்பத்திரண்டு தனிமங்கள் உள்ளன. இவற்றில் பூமியில் காணக்கிடைக்காத தனிமங்களாகிய **புவி அரிய தனிமங்கள்** (rare earths) எனப்படும் 15 தனிமங்களும் அடங்கியுள்ளன. இந்த 15 தனிமங்களும் ஒரே பண்பு கொண்டவை; ஆதலால் இவை அத்தனையும் ஒரே கட்டத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மீதியுள்ள தனிமங்கள் *Fr*-ல் தொடங்கி *Ra*, *Ac*, *Th*······ என்று மேலே செல்லுகின்ற எல்லாம் சேர்ந்து எட்டாவது அலைவு இடைவெளியில் (Eighth Period) இடம் பெறுகின்றன. எட்டாவது இடைவெளி இன்னும் முற்றுப் பெறவில்லை.

அட்டவணையை மேலிருந்து கீழாக நோக்கினுல் தெரியும் ஒவ்வொரு செங்குத்து வரியும் ஒரு **பிரிவு** (Group) என்று வழங்கப் படுகிறது. ஒரு பிரிவில் அடங்கியுள்ள தனிமங்கள் ஏறக்குறைய ஒன்று போல இருக்கின்றன. சுழிப்பிரிவு (Zero group) என்பது *He*, *Ne*, *Kr*, *Xe* மற்றும் *Rn* என்ற வாயுக்களை உள்ளடக்கிய பிரிவு ஆகும். இந்த வாயுக்கள் எல்லாம் மந்த வாயுக்கள் (Inert gases) என வழங்கப்படுகின்றன. ஏனெனில், இவை இரசாயன மாற்றங்களுக்கு உள்ளாவதில்லை ஆகவே, இவற்றிற்கு இரசாயனப் பண்புகளில்லை.

முதல் பிரிவில் உள்ள *Li*, *Na*, *K* போன்ற தனிமங்கள் **காரவகை உலோகங்கள்** (Alkali metals) என்று வழங்கப்படுகின்றன. இவற்றின் பண்புகள் ஒரே மாதிரியிருக்கும்.

இதேபோன்று ஏழாவது பிரிவிலுள்ள *F*, *Cl*, *Br*, *I* ஆகிய உப்பீனித் தனிமங்கள் (Halogens) குறிப்பிடத்தக்க ஒத்த பண்புகளைப் பெற்றிருப்பதை அறியலாம்.

மேலே குறிப்பிட்டது போலத் தனிமங்களைப் பல அலைவு இடைவெளிகளிலும், பல பிரிவுகளிலும் அட்டவணையிட்டு அவற்றின் அணுஎண் ஏறுவரிசைப்படி அமைத்தபோது குறிப்பிட்ட இடைவெளிக்குப் பின்னர்த் தனிமங்களின் பண்புகள் மீண்டு வருவது காணப்பட்டது. *H*, *He* ஆகிய இரு தனிமங்

களுக்குப் பிறகு ஒவ்வொன்றிலும் எட்டுத் தனிமங்களைக் கொண்ட இரு சிறிய இடைவெளியும், பின்னர் ஒவ்வொன்றிலும் பதினெட்டுத் தனிமங்களைக் கொண்ட இரு பெரிய இடைவெளிகளும் அதை யடுத்து 32 தனிமங்களைக் கொண்ட முற்றுப்பெறாத ஓர் இடை வெளியும் இருப்பதைக் கண்டோம். இவ்வாறு 8, 8, 18, 18, 32 என்ற தனிம இடைவெளிக்குப் பிறகு இரசாயன பண்புகள் அலைவுத்தன்மை கொண்டதாக இருப்பதற்குக் காரணம் என்ன? தனிமங்களை அவற்றின் அணுஎண்ணின் ஏறுவரிசையில் அமைத்த போது தான் இத்தகைய அலைவுத்தன்மை ஏற்பட்டது. ஆகவே இந்த அலைவுத் தன்மைக்கும், அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள எலெக்ட் ரான்களின் அமைப்பிற்கும் ஏதோ ஒரு தொடர்பு இருக்கவேண்டும் என்று தோன்றியது.

எலெக்ட்ரான் அமைப்புத் தெரிந்த ஒரு தனிமத்தை எடுத்துக் கொண்டு பின்னர் அதன் அணுக்கருவுக்கு ஓர் அலகு நேர்மின்னூட் டமும் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள கூட்டிற்கு ஓர் எலெக்ட்ரானும் தருவதாக வைத்துக்கொள்வோம். இப்போது நுழைத்த எலெக்ட் ரான் எந்த இடத்தை அடையும் என்பதை ஆராய வேண்டும். இவ்வாறே ஒரு நேர்மின்னூட்டம் ஓர் எலெக்ட்ரான் என்று அடுக்கிக் கொண்டே சென்று ஒவ்வொரு சேர்க்கைக்கும் பிறகு எலெக்ட்ரானின் இடத்தை நிர்ணயித்துவிட்டால், எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் உரிய எலெக்ட்ரான் அமைப்புப் பெறலாம்.

நாம் ஹைட்ரஜன் அணுவிலிருந்து தொடங்குவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இதன் அணு எண் $Z=1$ ஆகவே அதன் அணுக் கருவில் ஒரு நேர்மின்னூட்டமும் அதற்கு வெளியே ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரானும் உண்டு. அந்த ஓர் எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள $K$ கூட்டில்தான் இருக்க இயலும். இந்த எலெக்ட்ரானின் மொத்தக் குவான்டம் எண் [இதனை முதன்மைக் குவான்டம் எண் - (principal quantum number) என்றும் கூறுவர்] $n=1$ ஆகும். இதற்கு $l=n-1=\ 1-1=0$ ஆகும். $m_s=\pm\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே இந்த எலெக்ட்ரானின் குவான்டம் எண்கள்: $n=1, l=0,\ m_s=\frac{1}{2}$ என்போம்.

இந்நிலையில் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவில் ஓர் அலகு + மின்னூட் டத்தையும் வெளிக்கூட்டில் ஓர் எலெக்ட்ரானையும் நுழைப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தப் புதிய எலெக்ட்ரான் $K$ கூட்டில் இருக்க முடியுமா எனப் பார்ப்போம். $K$கூட்டில் இந்த எலெக்ட்ரான் இருந் தால் அதற்கும் $n=1,\ l=0$ ஆகும். ஆனால் இந்த எலெக்ட்ரான் $m_s$ன் மற்றொரு மதிப்பாகிய $-\frac{1}{2}$ என்பதைக்கொண்டு கூட்டில் இருக்க

லாம். எனவே ஹைட்ரஜனை அடுத்துள்ள ஹீலியம் அணுவின் $K$ கூட்டிலுள்ள இரு எலெக்ட்ரான்கள் $n=1$, $l=0$, $m_s=+\frac{1}{2}$ மற்றும் $n=1$. $l=0$, $m_s=-\frac{1}{2}$ என்ற குவான்டம் எண்களைக்கொண்டிருக்கும்.

ஹீலியம் அணுவுக்கு, ஓர் அலகு + மின்னூட்டமும் ஓர் எலெக்ட்ரானும் தருவோம். இப்புதிய எலெக்ட்ரான் $K$ கூட்டில் இருக்க இயலுமா எனப்பார்ப்போம். அங்கு முன்னமே உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் குவான்டம் எண்கள் பின்வருமாறு

முதல் எலெக்ட்ரான்: $n=1$, $l=0$, $m_s=+\frac{1}{2}$

இரண்டாம் எலெக்ட்ரான்: $n=1$, $l=0$ $m_s=-\frac{1}{2}$

மூன்றுவது எலெக்ட்ரானும் $K$ கூட்டிற்குச் சென்றால் அதன் குவான்டம் எண்கள் மேலே குறிப்பிட்ட இருவகைகளுக்குள் ஏதேனும் ஒன்றாக மட்டுமே இருக்க இயலும். இது பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கைக்கு முரணாகும். எனவே மூன்றுவதாக நாம் நுழைத்த எலெக்ட்ரான் $K$ கூட்டில் இடம்பெற முடியாது. அது $K$ கூட்டை அடுத்த $L$-கூட்டிற்குத்தான் செல்லவேண்டும். அந்த $L$-கூட்டில் அதிகபட்சம் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியும் எனப்பார்ப்போம். $L$-கூட்டின் $n$ மதிப்பு 2 ஆகும். ஆகவே $l=n-1=2-1=1$ ஆகும். ஆகவே $l$ன் மதிப்பு 0 அல்லது 1 ஆக இருக்கலாம். $l=0$ என்பதற்கு $K$ கூட்டில் இருந்ததைப்போல இரு எலெக்ட்ரான்களும், ($n=2$, $l=0$, $m_s=-\frac{1}{2}$ என்ற குவான்டம் எண்களைக்கொண்ட இரு எலெக்ட்ரான்கள்) $l=1$ என்பதற்கு $m_l$ என்ற காந்தச் சுற்றுப்பாதை குவான்டம் எண்ணாகிய $m_l$ என்பது $-1, 0, +1$ என்ற மூன்று மதிப்புகளைப் பெற இயலும். ஆதலால் பின்வரும் குவான்டம் எண்களைக் கொண்ட மேலும் ஆறு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம். அத்தகைய ஆறு எலெக்ட்ரான்களின் குவான்டம் எண் :- ஆறுக்கும் $n=2$ தான்.

i) $l=1$, $m_l=-1$, $m_s=+\frac{1}{2}$
ii) $l=1$, $m_l=-1$ $m_s=-\frac{1}{2}$
iii) $l=1$, $m_l=0$ $m_s=+\frac{1}{2}$
iv) $l=1$, $m_l=0$ $m_s=-\frac{1}{2}$
v) $l=1$, $m_l=+1$ $m_s=+\frac{1}{2}$
vi) $l=1$, $m_l=+1$ $m_s=-\frac{1}{2}$

ஆக $L$ கூட்டில் $l=0$ ஆக உடைய இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும், $l=1$ ஆக உடைய ஆறு எலெக்ட்ரான்களும், ஆக மொத்தத்தில் எட்டு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியும். ஒன்பதாவதாக ஓர் எலெக்ட்ரான் வர நேரிட்டால் அதன் குவான்டம் எண்கள் மேற்கூறிய எட்டு

வகைகளில் ஏதாவது ஒன்றுடன் முற்றிலும் ஒத்ததாகத்தான் இருக்கமுடியும். ஆகவே பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கைப்படி அது $L$ கூட்டில் இருக்க இயலாது. அடுத்த கூடாகிய $M$ கூட்டிற்குச் செல்லும். மேலும் $L$ கூடு இருதுணைக் கூடுகளாகப் பிரிந்து இருக்கிறது என்பதும் ஒரு துணைக்கூட்டில் $l=0$ ஆக உடைய இரு எலெக்ட்ரான்களும், மற்றத் துணைக்கூட்டில் (Sub shell) $l=1$ ஆகஉடைய ஆறு எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன என அறியலாம். அணுஎண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க $L$ கூடு கொஞ்சங் கொஞ்சமாக நிரம்பிக்கொண்டே வரும். $He$ அணுவிலிருந்து தொடங்கினுல் அது $Li$, $Be$, $B$, $C$, $N$, $O$, $F$ என்று மாறிக்கொண்டே வந்து இறுதியாக $Ne$ வரும்போது அணுவின் $L$ கூடு நிரம்பி விடுகிறது. ஆகவே, இதுவரை $K$ கூட்டில் 2, $L$ கூட்டில் 8 ஆக 10 எலெக்ட்ரான்கள் சேர்ந்துவிட்டன. இதற்குமேலே 11 வது எலெக்ட்ரானை நுழைத்தால் அது $L$ கூட்டில் இடமில்லாததால் அதை அடுத்துள்ள $M$ கூட்டிற்குச் செல்லவேண்டியதாகிவிடும்.

$M$ கூட்டில் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியும் எனப் பார்ப்போம். $M$ கூட்டின் $n$ மதிப்பு 3 ஆகும். ஆகவே $l$-க்கு $l=0$, $l=1$, $l=2$ என்ற மூன்று மதிப்புகள் உண்டு. $m_l$ என்பது $+2$ முதல் $-2$ வரையுள்ள எல்லா முழுஎண் மதிப்புகளையும் பெற இயலும்.

i) $l=0$ $m_l=0$ $m_s=\pm\frac{1}{2}$ எனக்கொண்ட இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள்.

ii) $l=1$ $m_l=-1, 0, +1$, $m_s=\pm\frac{1}{2}$ எனக்கொண்ட ஆறு எலெக்ட்ரான்கள்

iii) $l=2$, $m_l=2, 1, 0, -1, -2$, $m_s=\pm\frac{1}{2}$ எனக்கொண்ட பத்து எலெக்ட்ரான்கள் ஆக $2+6+10=18$ எலெக்ட்ரான்கள் $M$ கூட்டில் இருக்கமுடியும். இந்த $M$ கூடு மூன்று துணைக்கூடுகளைக் கொண்டிருக்கும்.

$l=0$ ஆக உடைய முதல்துணைக்கூட்டில் 2 எலெக்ட்ரான்கள்.

$l=1$ ,, இரண்டாவது ,, 6 ,,

$l=2$ ,, மூன்ருவது ,, 10 ,,

ஆகமொத்தம் 18 எலெக்ட்ரான்கள் வந்தவுடன் $M$ கூடு நிரம்பி விடும்.

இவ்வாறே மற்ற மற்றக்கூடுகள் ஏற்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த எண்ணிக்கையையும் ஒவ்வொரு கூட்டிலும் உள்ள துணைக்கூடுகளின் எண்ணிக்கையையும் அத்துணைக் கூடுகளில் அடங்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் கணக்கிடலாம். ஆனால் ஒரு கூடு நிரம்பிய பின்னர்தான் எலெக்ட்ரான் அடுத்தக்கூட்டிற்குச் செல்லவேண்டும் என்ற நியதி இல்லை என்பதையும் மனத்திற் கொள்ளவேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டு : (அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைப்பு).

| தனிமம் | Z | K கூடு (2) | L கூடு (8) துணைக்கூடுகள் (1) | (2) | M கூடு (18) துணைக்கூடுகள் (1) | (2) | (3) | N கூடு (32) (1) | (2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *H* | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — |
| *He* | 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| *Li* | 3 | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| *C* | 6 | 2 | 2 | 2 | — | — | — | — | — |
| *F* | 9 | 2 | 2 | 5 | — | — | — | — | — |
| *Ne* | 10 | 2 | 2 | 6 | — | — | — | — | — |
| *Cu* | 29 | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 1 | — |

அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள கூடுகளில் வெளிக்கூட்டில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பைப் பொறுத்தே அந்த அணுவின் இரசாயனப் பண்புகள் அமைந்திருக்கும் வெளிக்கூட்டில் ஒரே மாதிரி எலெக்ட்ரான் அமைப்புக்கொண்ட அணுக்கள் எல்லாம் ஒரேவிதமான இரசாயனப் பண்புகள் உடையனவாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, மந்த வாயுக்கள் என வழங்கப்படும்,

*Ne,A.Kr,Xe,Rn* ஆகியவற்றின் வெளிக்கூடுகள் 8 எலெக்ட்ரான் களைப்பெற்று நிரம்பிய நிலையில் இருக்கின்றன. ஆகவே, இந்த அணுக்கள் எல்லாம் ஒரேவிதப் பண்பைக் கொண்டிருக்கின்றன. அதைப்போலவே **காரவகைத் தனிமங்கள்** (Alkali elements) எனப் படும் *Li,Na,* மற்றும் *K* ஆகியவற்றில் முடிவுற்ற கூடுகளில் அடுத்துள்ள கூட்டில் ஒரேஒரு எலெக்ட்ரான் இருப்பதைக் காண லாம். எனவே அவையெல்லாம் ஒரேவிதமான பண்புகளைக் கொண்டுள்ளன. உப்பீனித்தனிமங்கள் என வழங்கப்படும், *F,Cl,Br,I* ஆகியவற்றின் வெளிக்கூடுகள் நிரம்புவதற்கு ஒரேஒரு எலெக்ட்ரான் தேவைப்படும் நிலையிலிருக்கின்றன. அதாவது அவற்றின் வெளிக்கூடுகளில் ஒரேஒரு இடம் காலியாக இருக்கிறது, எனவே இவை எல்லாம் ஒரேவிதமான இரசாயனப் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன.

**நினைவில் கொள்ள வேண்டியவை:—**

1) *n* என்ற முதன்மைக் குவான்டம் எண்ணுல் குறிக்கப்படும் ஒரு நிலைக்கு, திசைக்கோணக் குவான்டம் எண்ணுகிய *l* ஆல் வரை யறுக்கப்படும் *n* துணை நிலைகள் உண்டு. அவை $l=0$ முதல் $l=n-1$ ஈராகவுடைய முழுஎண் மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கும்.

2) $l=0,1,2,3,4$ என்ற நிலைகள் நிறமாலை இயலில் *s,p,d,f,g* நிலைகள் என்று வழங்கப்படுகின்றன.

3) குறிப்பிட்ட *l* மதிப்பிற்கு உரிய $m_l$-ன் மதிப்புகளின் எண்ணிக்கை $2l+1$ ஆகும். அவை $+l,\ (l-1)\ldots+1,0.-1,\cdots-l$ என்ற மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும்.

4) சுழற்சிக் காந்த குவான்டம் எண்ணுகிய $m_s$ என்பது மற்ற மூன்று குவான்டம் எண்களால் தீர்மானிக்கப்படுகின்ற நிலைகளைத் தன்னுடைய $+\frac{1}{2}$ மற்றும் $\frac{1}{2}$ என்ற மதிப்புகளின் காரணமாக இரண்டு மடங்காக்கிவிடுகிறது.

இதனைப் பின்வரும் அட்டவணை காட்டுகிறது.

## எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம்
## (Angular momentum of electron)

அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான் தன்னைத்தானே சுற்றிக் கொண்டு அதே சமயத்தில் அணுக்கருவையும் சுற்றிவருகிறது எனக் கண்டோம். ஆகவே எலெக்ட்ரான், அதன் சுற்றுப்பாதை வழியே இயங்குவதால் ஏற்படுகின்ற ஒரு கோண உந்தமும்,

அட்டவணை.

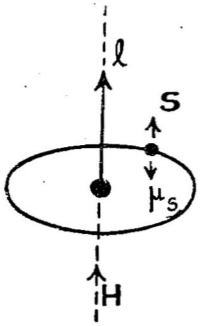
| $n$ | $l$ | $m_1$ | $m_s$ | துணைக்கூட்டிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் | நிறமாலைப் பெயர் |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 2 | 1$s$ |
| 2 | 0 | 0 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 2 | 2$s$ |
| | 1 | −1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 6 | 2$p$ |
| | 1 | 0 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| | 1 | +1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| 3 | O | 0 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 2 | 3$s$ |
| | 1 | −1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 6 | 3$p$ |
| | 1 | 0 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| | 1 | +1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| | 2 | −2 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 10 | 3$d$ |
| | | −1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| | | 0 | $+\frac{1}{2}. -\frac{1}{2}$ | | |
| | | +1 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |
| | | +2 | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | | |

அதன் தற்சுழற்சியால் ஏற்படுகின்ற ஒருகோண உந்தமும் ஆக இரு கோண உந்தங்களைக் கொண்டிருக்கிறது. ஆகவே, எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம் என்பது மேற்கூறிய இருவகைக் கோண உந்தங்களின் விளைவே ஆகும்.

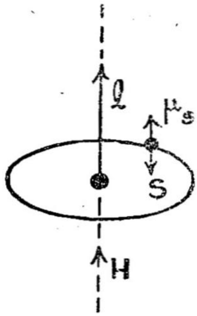
போர் அணுவைப்பற்றிக் கூறியபோது கோண உத்தம் $\frac{h}{2\pi}$-ன் முழு மடங்குகளாக உள்ள சுற்றுப்பாதைகளில் மட்டுமே எலெக்ட்ரான் சுற்றிவர முடியும் என்று கூறினோம். முதன்மைக் குவாண்டம் எண் **n** ஐப் பயன்படுத்தி

$P\phi = n.\frac{h}{2\pi}$ எனக் கூறி சுற்றுப்பாதைக்கான குவாண்டம் நிபந்தனையைத் தெரிவித்தோம். எலெக்ட்ரான்கள் வட்டப் பாதையில் மட்டுமின்றி நீள்வட்டப்பாதையிலும் சுற்றிவருகின்றன என்ற கருத்து ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டவுடன் எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதைகளுக்கான கோண உந்தம்

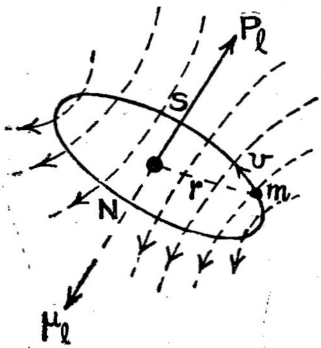
$P_l = l. \frac{h}{2\pi}$ எனக் கூறப்பட்டது. இங்கு $l$ என்பது சுற்றுப் பாதைக் குவான்டம் எண் (orbital quantum number) என்றும் அது $0$ முதல் $(n-1)$ வரையிலுள்ள ஏதாவது ஒரு முழு எண் மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் என்றும் கூறினேம். $P_l$ என்ற கோண உந்தம் பொதுவாக விசையியல் திருப்புத்திறன் (Mechanical moment)



j=l+s
படம்-31(b)



j=l-s
படம்-31(c)



படம்-31(a)

என்றே வழங்கப்படுகிறது. $\frac{h}{2\pi}$ என்பதை $\hbar$ என்று குறிப்பிடுவது உண்டு. ஆகவே புதிய குறியீடுகளின்படி

$$P_l = l\,\hbar \text{ ஆகும்}$$

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ ஜூல் விநாடி ஆகும்.

ஒரு $s$ எலெக்ட்ரானின் விசையியல் திருப்புதிறன் $= 0$ ஆகும்.

ஒரு எலெக்ட்ரானின் விசையியல் திருப்புதிறன் = 1ħ = $1.054 \times 10^{-34}$ ஜுல் விஞடி.

ஒரு *d* எலெக்ட்ரானின் விசையியல் திருப்புதிறன் = 2 ħ = $2 \times 1.054 \times 10^{-34}$ ஜுல் விஞடி. இவ்வாறே *[f,g,h,i,j]* எலெக்ட்ரான்களின் விசையியல் திருப்புதிறனைக் கணக்கிடலாம்.

## சுற்றுப்பாதை காந்தத் திருப்புதிறன் (orbital magnetic moment)

எலெக்ட்ரான் எதிர்மின்னூட்டம் கொண்டது என அறிவோம். அது அணுவைச் சுற்றி ஒரு பாதை வழியே வருவதானது வட்டமாக வளைக்கப்பட்ட ஒரு கம்பி வழியாக மின்னேட்டம் செல்வதைப் போன்றது அல்லவா? ஆகவே அப்பாதையின் மையத்தில் ஒரு காந்தப்புலம் உண்டாகும். **இடக்கை விதி** (left hand rule) யின்படி, காந்தப்புலத்தின் திசை, படம் *31*-ல் காட்டியுள்ள திசையில் இருக்கும். இவ்வாறு உண்டாகும் காந்தப்புலம் ஒரு சிறிய கட்டைக் காந்தத்தால் உண்டாகும் காந்தப்புலத்தைப் போன்றதே ஆகும். எனவே இதனைக் **காந்த இருமுனை திருப்புதிறன்** (Magnetic dipole moment) எனக் கூறுவர்.

**திருப்புதிறன் காணல் :—**

எலெக்ட்ரான் அதன் சுற்றுப்பாதை வழியே சுற்றி வருவது வளைந்த கம்பி வழியே *i* என்ற மின்னேட்டம் ஓடுவதற்குச் சமம் என்போம்.

$i = \frac{e}{T}$ ஆகும். இங்கு *T* என்பது எலெக்ட்ரான் அதன் பாதையில் சுற்றி வருவதற்கான அலைவு நேரத்தைக் குறிக்கிறது. **ஆம்பியர் தேற்றத்தின்படி** (Ampere's Theorem) இம்மின்னேட்டம் $\mu_e$ என்ற ஒரு காந்தத் திருப்புதிறனைத் தரும் என்ருல்

$$\mu_e = i\,A \quad \text{—(i) ஆகும்}$$

இங்கு **A** என்பது அந்தச் சுற்றுப்பாதையால் சூழப்பட்டுள்ள இடத்தின் பரப்பு ஆகும். எலெக்ட்ரான் அதன் பாதை வழியே

சுற்றிவரும்போது அதன் பரப்பு திசைவேகம் (areal velocity) = $\frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt}$ *

$$A = \int_0^T \tfrac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{Xd} dt \quad \text{ஆகும்.}$$

ஆனால் கோண உந்தம் $m\ r.^2 \frac{d\theta}{dt}$ என அறிவோம்.

ஆகவே $P_1 = m\ r^2 \frac{d\theta}{dt}$

எனவே $\frac{1}{2}\ r^2 \frac{d\theta}{dt}\ dt$ என்பதை $\frac{1}{2}\ \frac{P_1}{m}\ dt$ என எழுதலாம்.

$$\therefore A = \int_0^T \frac{P_1}{2m}\, dt.$$

$\frac{P_1 . T}{2\ m}$ ஆகும்.

இதனைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்ய

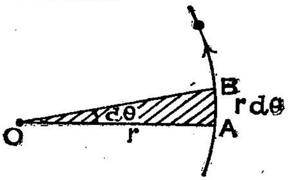
$$\mu_\theta = \frac{P_1\ T}{2\ m}$$

$$= \frac{e}{T} \cdot \frac{P_1}{2m} \cdot T$$

$$= P_1 . \frac{e}{2m} \text{ என்றாகும்}$$

---

*




படம் 32

*OA* என்னும் ஆரவெக்டர் *dt* என்ற வினாடியில் *OB* என்ற நிலைக்குச் சென்று *O* என்ற மையத்தில் dθ என்ற கோணத்தை உண்டாக்கினால்

$$\triangle OAB = \tfrac{1}{2}\, r.\, r.\ \theta$$

பரப்புத் திசைவேகம் $= \frac{\triangle OAB}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt}$

குவான்டம் கொள்கைப்படி $P_l = l\hbar$ ஆகும்

எனவே $\mu_e = \frac{l\hbar.e}{2m}$

இச்சமன்பாட்டில் $l$ நீங்கலாக மற்றவை எல்லாமே மாறிலிகள் ஆகும். $l = 1$ என்றால்

$$\mu_e = 1\frac{\hbar e}{2m} = \text{மாறிலி ஆகும்}$$

இதனை அலகாகக்கொண்டு சுற்றுப்பாதைகளின் காந்தத் திருப்பு திறனை அளவிடலாம். $\frac{\hbar e}{2m}$ அளவுடைய காந்தத் திருப்புதிறனுக்கு **போர்மேக்னடான்** (Bohrmagneton) என்று பெயர். இதனை $\mu_B$ என்ற குறியீட்டால் குறிப்பது வழக்கம்

$$\mu_B = \frac{\hbar e}{2m}$$

இச்சமன்பாட்டில் $\hbar, e, m$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளையும் ($MKS$ முறையில்) பதிலீடுசெய்ய

$\mu_B = 9.273 \times 10^{-24}$ ஆம்பியர் சதுரமீட்டர் என ஆகும்.

$s$ எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதைக்கு $l = 0$ ஆகும்

ஆகையால் அதன் காந்தத் திருப்பு திறன் $= 0$ ஆகும்

$p$ எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப் பாதைக்கு $l = 1$ ஆகும்

ஆகையால் அதன் காந்தத் திருப்புதிறன் $= 1.\hbar\frac{e}{2m}$

$= 1.\mu_B$

= ஒரு போர்மேக்னடான்

$d$ சுற்றுப்பாதையின் காந்தத் திருப்புதிறன் = 2 போர்மேக்னடான்

$f$ ,, ,, = 3 போர் மேக்னடான்

இவ்வாறே மற்ற சுற்றுப்பாதைகளுக்கும் உரிய எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்களையும் போர் மேக்னடான் அளவுகளாகக் கூறலாம்.

இதுவரையில் எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுப்பாதை இயக்கம் காரணமாக உண்டாகும் காந்தத் திருப்புதிறனைக் கண்டோம்.

எதிர்மின்னூட்டமுடைய எலெக்ட்ரான் தனக்கென அமைந்த ஓர் அச்சில் தன்னைத்தானே சுற்றிக் கொள்ளுகிறதல்லவா. இந்தச் சுழற்சி இயக்கத்தினுலும் ஒரு காந்தப்புலம் உண்டாகிறது. படம் [31.b,c] அதன் அமைப்பு படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு இருக்கும். இதனைச் **சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறன்** (Spin magnetic moment) என்று கூறுவர். $\mu_s$ என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படுகிறது.

$P_s$ என்பது எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி திசைக்கோண உந்தம் (Spin angular momentum) என்ருல் குவான்டம் நிபந்தனைப்படி

$P_s = s\hbar$ ஆகும். இதில் $s$ என்பது சுழற்சிக் குவான்டம் எண் ஆகும். அதன் மதிப்பு $\frac{1}{2}$ ஆகும்.

$$\frac{\mu_s}{p_s} = 2.\frac{e}{2m}$$ ஆகும். இதில் $P_s$ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு

செய்ய

$$\mu_s = \hbar\frac{e}{2m}$$ ஆகும்.

$= 1$ போர் மேக்னடான் ஆகும்.

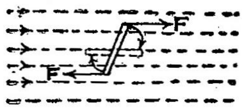
இதிலிருந்து **ஓர் எலெக்ட்ரான் அதன் சுழற்சி இயக்கத்தால் பெறுகின்ற காந்தத் திருப்புதிறன் ஒரு போர் மேக்னடான் ஆகும்** என அறிகிறோம்.

## ஸ்டெர்ன் - கெர்லாக் சோதனை (Stern - Gerlach experiment)

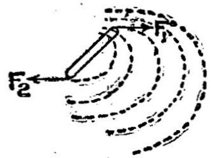
ஓர் அணுவை மிகச்சிறிய காந்தம் எனக்கொள்ளலாம் என்றும் அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுப்பாதையியக்கம் மற்றும் சுழற்சிஇயக்கம் இவற்றின் காரணமாக அதற்குக் காந்தத் திருப்பு திறன் ஏற்படுகிறது எனவும் கண்டோம். ஆகவே, அணு ஒரு காந்தப் புலத்தில் விடப்பட்டால், புறக்காந்தப்புலம் அணுகாந்தத்தின் மீது செயற்பட்டு விளைவுகளை உண்டாக்கும் என்பதை எளிதில் உணரலாம். இவ்விளைவின் இயல்பு காந்தப்புலத்தின் தன்மைக்கு ஏற்ப நடைபெறும். அணு காந்தம், ஒருபடித்தான புறப்புலத்தில் (homogeneous field) விடப்பட்டால் அதன் மீது ஒரு காந்த **விசையிரட்டை** (Couple) மட்டுமே உண்டாகும். இதனல் அணு காந்தத்தின் அச்சு புறப்புலத்தின் போக்கில் திருப்பப்படும் இதனைப் படம் (*33a*) காட்டுகிறது.

அவ்வாறின்றிப் **பலபடித்தான** (heterogenous) காந்தப்புலமாக இருப்பின் அணுகாந்தத்தின் இரு முனைகளிலும் வெவ்வேறு

அளவுடைய விசைகள் எதிர் எதிர்த்திசைகளில் செயற்படும். படம் 33 (*b*). இதனால் அணு காந்தம் புலத்தின் போக்கில் திருப்பி




ஒருபடித்தான காந்தப்புலத்தில்
படம்-33(a)




பலபடித்தான புலம்
படம்-33(b)

விடப்படுவதுடன் கூட, அவ்விசைகளின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமான விளைவுவிசை செயல்படுகின்ற காரணத்தினால் அணுவுக்கு இடப் பெயர்ச்சியும் ஏற்படுகிறது.

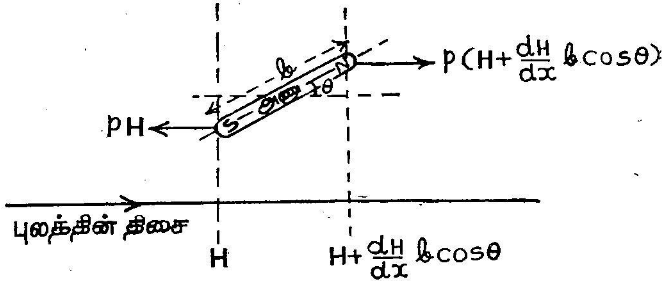
ஆகவே ஒருபடித்தான காந்தப்புலத்தில், அதன் போக்கிற்குச் செங்குத்தான திசையில் ஓர் அணு சென்றால், அணுகாந்தத்தின் அச்சு புலத்தின் திசையில் திருப்பப்படும். ஆனால், அணு அதன் பழைய பாதையில் தொடர்ந்து சென்று புலத்தைக் கடக்கும்.

ஆனால், பலபடித்தான ஒரு காந்தப்புலத்தில் புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தான ஒரு திசையில் ஓர் அணு சென்றால் அணுவின் காந்த அச்சுபுலத்தின் போக்கில் திருப்பப்படுவதுடன் அணுவின் மீது விளைவுவிசை ஒன்று செயற்படுகின்ற காரணத்தினால் அது தன் நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து விலக்கமடையவும் செய்யும் என அறிகிறோம்.

பலபடித்தான காந்தப்புலம் ஒன்றின் குறுக்கே செல்லும் அணுவின் பாதையில் ஏற்படும் விலக்கத்தின் அளவைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். படம் (*33c*)

*X* அச்சின் திசையில் காந்தப்புலம் அதிகரித்துக்கொண்டே செல்வதாகக் கொள்வோம். அணுகாந்தத்தின் முனைவலிமை

என்றும் அதன் வடிவியல் நீளம் $b$ என்றும் காந்தத் திருப்புதிறன் $M$ என்றும் கொள்வோம். புலத்தின்சரிவு (gradient) $\frac{dH}{dX}$ என்பது $X$ அச்சின் திசையில் வளர்வதாகக் கொள்வோம். அணு, புறப்




படம் 33 c

புலத்தின் திசையிலிருந்து θ என்னும் கோணத்தில் சாய்ந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். அணுகாந்தத்தின் தென்முனை இருக்குமிடத்தில் புலத்தின்வலிமை $H$ என்றால், வடமுனை $b\ cos\theta$ என்னும் தூரம் தள்ளியுள்ள இடத்திலிருப்பதால் அது இருக்குமிடத்தில் புலத்தின் வலிமை $HX\ bcos\theta. \frac{dH}{dX}$ ஆகும். எனவே தென்முனையில் $pH$ என்ற விசையும், வடமுனையில் $p \left(H+\frac{dH}{dX}\ bcos\theta\right)$ செயற்படும். இது அணுவின்மீது $pH$ என்ற விசையளவுடைய ஒரு விசையிரட்டையும், $p.\frac{dH}{dX}\ b.cos\theta$ என்னும் அளவுடைய புலத்தின் திசையிற் செல்லும் விசை ஒன்றும் ஒரே நேரத்தில் செயற்படுவதற்குச் சமம் என்று கூறலாம். எனவே $pH{\cdot}bSin\theta$ என்ற திருப்புதிறன் கொண்ட விசையிரட்டையால் அணுவின் காந்த அச்சு சுழற்றப்பட்டுப் புலத்தின் போக்கில் வைக்கப்படுகிறது. அதேசமயத்தில் $p.\frac{dH}{dX}.\ bcos\theta$ என்ற அளவுடைய விசை அணுவை அதன் நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து விலக்கமடையச் செய்கிறது.

இடப்பெயர்ச்சி தருகின்ற விசையை $F$ என்று கொண்டால்

$$F = p.\frac{dH}{Xd}.bcos\theta$$

ஆனல், $p \cdot b = M$ ஆகும்

எனவே, $F = M \cos\theta \dfrac{dH}{dX}$

அணுபுலத்தின் குறுக்கே $v$ என்ற திசைவேகத்துடன் செல்வதாகவும் அது கடக்கவேண்டிய புலப்பாதையின் நீளம் $l$ என்றும் அதைக் கடக்க அணு எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் '$t$' விஞடிகள் என்றும் கொண்டால் $t = \dfrac{l}{v}$ ஆகும். இவ்விசையின் காரணமாகப் புலத்தின் போக்கில் அணுபெறுகின்ற முடுக்கம் '$a$' என்ருல், $F = ma$ என்ற வாய்பாட்டின்படி $a = \dfrac{F}{m}$ இங்கு $m$ என்பது அணுவின் நிறையைக் குறிக்கிறது. அணுவுக்குப் புலத்தின் போக்கில் தொடக்கத் திசை வேகம் இல்லை ஆதலால் $u = 0$ ஆகும். எனவே $S = ut + \frac{1}{2} at^2$ என்ற இயக்கச் சமன்பாட்டின்படி, புலத்தின் போக்கில் அணுபெற்ற இடப்பெயர்ச்சி

$$S = O + \frac{1}{2} \frac{F}{m} \cdot t^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{M\cos\theta}{m} \cdot \frac{dH}{dX} \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

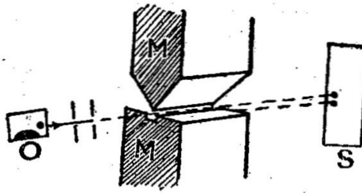
$M\cos\theta$ என்பது புலத்தின் திசையில் கணக்கிடப்பட்ட அணுகாந்த திருப்புதிறன் கூறு ஆகும். இதனை $\mu$ என்ற எழுத்தால் குறிப்பிட்டால்

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu}{m} \cdot \frac{dH}{dX} \cdot \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து, $S$, $m$, $\dfrac{dH}{dX}$, $l, v$ ஆகியவற்றை அறிந்தால் $\mu$ ஐக் கணக்கிடலாம் என அறிகிறோம். மேலும், $S$-ன் மதிப்பு $\dfrac{dH}{dX}$-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதையும் காணலாம். அதாவது காந்தப்புலம் எவ்வளவிற்கெவ்வளவு ஒருபடித்தான தன்மை அற்றதாக இருக்கிறதோ அவ்வளவிற்கு அவ்வளவு $S$-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும்.

அணு மிக மிகச் சிறியது என்றும் அது $10^{-8}$ செ.மீ என்னுமளவு சிறியதாக இருக்கும் என்றும் அறிவோம். அதன் இரு முனைகளுக்கு மிடையே காந்தப்புலம் வேறுபட வேண்டுமென்ருல், காந்தப்புலம்

மிகுந்த பலபடித்தான தன்மை பெற்றிருக்கவேண்டும். ஸ்டெர்ன் மற்றும் கெர்லாக் என்ற மேதைகள் கத்திவிளிம்பு வடிவமுடைய ஒரு முனைத்துண்டு (Knife edge shaped pole piece) மற்றும் தட்டையான முகமும் அதில் ஒரு பள்ளமும் கொண்ட முனைத்துண்டு ஒன்று




படம் 34

[படம் 34] ஆகியவற்றைக் கொண்டு அத்தகைய ஒரு காந்தப் புலத்தைப் பெற்றனர்.

ஆய்வுக்கான பொருள் மின்அடுப்பு ஒன்றில் சூடாக்கப்பட்டு ஆவியாகிறது. இதனால் ஆவியின் வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப அதன் திசைவேகமும் வேறுபடுகிறது. இவ்வாறு உண்டாக்கப்பட்ட அணுக்கதிர் மெல்லிய பிளவுகள் (Slits) வழியாகச் செலுத்தப் பட்டுச் செம்மையான அணுக்கற்றை ஒன்று பெறப்படுகிறது. இக்கற்றை மேலே கூறியவாறு அமைந்த காந்த முனைத்துண்டுகளுக்கு இடையே நிலவுகின்ற, பலபடித்தான காந்தப்புலத்தின் குறுக்கே செல்கிறது. புலத்தின் போக்கு கற்றையின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்திருக்கும். பின்னர் கற்றை ஓர் ஒளிப்படத்தகட்டின் மீது விழுகிறது இவ்வமைப்பு முழுவதும் முற்றிலும் வாயு நீக்கஞ் செய்யப்பட்ட ஓர் அறையினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது, அணுக் கற்றையில் உள்ள அணுக்களின் திசைவேகம் மின் அடுப்பின் வெப்ப நிலையிலிருந்து கணக்கிடப்படுவதால் வெப்பநிலையை அளவிடும் முறையும், வெப்பநிலையை மாறாமல் வைத்திருப்பதற்கான அமைப்பும் செம்மையாக இருக்கவேண்டும்.

வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கையின்படி

$v=\sqrt{\frac{3RT}{m}}$ ஆகும். இதில் $K$ என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலியையும், $T$ என்பது வாயுவின் சார்பற்ற வெப்பநிலையையும், $m$ என்பது அணுவின் நிறையையும் குறிக்கின்றன. ஆய்வு அறை முற்றிலும் வாயுநீக்கம் செய்யப்படாது போனால், எஞ்சிய வாயு மூலக் கூறுகளுக்கும் ஆய்வுக்கான அணுக்களுக்கும் இடையே நிகழும் மோதல்களால் சோதனை பாழாகிப்போகும். எனவே,

முற்றிலும் வாயு நீக்கஞ்செய்வது அவசியம். மேலும் $\frac{dH}{dX}$- மதிப்பினைக் கணக்கிடுவது மிகவும் சிக்கல் நிறைந்தது. காந்த முனைத் துண்டுகளுக்கு இடையே கத்திவிளிம்பு முனைக்கு இணையாக ஒரு பிஸ்மத் (Birmuth) கம்பியை வைத்து அதன்மீது செயற்படும் எதிர்ப்பு விசையை அளந்து அதிலிருந்து $\frac{dH}{dX}$ கணக்கிடப்படுகிறது.

விலக்கத்தின் அளவினைக் காண்பதற்குப் பலமுறைகள் கையாளப்பட்டன. மெய்ஸ்னர், ஷெஃபர்ஸ் (Meissner and Scheffers) ஆகியவர்கள் பின்வரும் முறையைக் கையாண்டனர். இம்முறை காரவகை உலோகங்களுக்கே ஏற்றது, காந்தப்புலத்தினுல் விலக்கமுற்ற அணுக்கற்றை சூடாக்கப்பட்ட டங்ஸ்டன் இழையின் மீது விழும்படி செய்யப்பட்டது. சூடான இழை மீது விழுந்த கார உலோக அணுக்கள் சில எலெக்ட்ரான்களை இழந்து நேர்மின் அயனிகளாயின. இதனுல் உண்டாகும் அயனியாக்க மின்னோட்டம் அளவிடப்பட்டது. எந்த இடத்தில் அயனியாக்க மின்னோட்டம் அதிகமாக இருக்கிறதோ அந்த இடமே விலக்கமுற்றகற்றை மோதிய இடமாகும். இதிலிருந்து காந்தப்புலம் தந்த விலக்கத்தின் அளவினைக் கணக்கிட்டனர். ஹைட்ரஜன் அணுக்கற்றையைப் பயன் படுத்திச்செய்த சோதனையில் மாலுபடீனம் டிரை ஆக்சைடு பூசப் பட்ட தகடு பயன்படுத்தப்பட்டது. அதன் மேல் விழும் ஹைட்ரஜன் அணு ஆக்சிஜனை நீக்கி அத்தகட்டில் சுவடு ஒன்றைத் தருகிறது. காந்தப்புலம் இல்லாதபோது ஒரு சுவடும், காந்தப்புலம் செயற்படும்போது இரு சுவடுகளும் கிடைக்கின்றன. இச்சுவடுகளிலிருந்து விளக்கத்தை அளவிடலாம். இதிலிருந்து அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறன் கணக்கிடப்படுகிறது. ஆய்வுகள் மூலம் ஹைட்ரஜன் அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறன் ஒரு போர்மேக்னுடானுக்குச் சமம் எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

இம்முறையில் வெள்ளி அணு நன்கு ஆராயப்பட்டுவிட்டது. ஒரு கருவி சரியாக இயங்குகிறதா இல்லையா என்று பார்ப்பதற்கு வெள்ளி அணுக்கதிர் சோதனை செய்து பார்க்கப்படுகிறது என்றுல் வெள்ளி அணுக்கதிர் சோதனையில் கிடைத்த வெற்றியை மதிப்பிடலாம். வெள்ளி அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனும் ஒரு போர் மேக்னுடான் என்றே கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

தொன்மைக் கொள்கையின்படி காந்தப்புலத்தில் செல்லும் அணுக்களின் திருப்புதிறன்கள் புலத்தின் திசையை வைத்துப் பார்க்க, எல்லாத் திசைகளிலும் அமைந்திருக்கக்கூடும். ஆகவே,

அணுக்கற்றை புலத்தின் வழியே செலுத்தப்பட்டால் அதன் அகலம் அதிகரித்துப் படத்தில் அகன்ற பட்டை ஒன்றைத் தருதல் வேண்டும்.

ஆனால், குவான்டம் கொள்கைப்படி திசையும் வரையறுக்கப்படுவதால் சில குறிப்பிட்ட திசைகளில் மட்டுமே அணுவின் திருப்பு திறன் இருக்க இயலும். ஆகவே, கற்றை சில குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுடைய கற்றைகளாகப் பிரிந்து படத்தில் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுடைய சுவடுகளைத் தரவேண்டும்.

லிதியம் அணுக்கற்றையைக் கொண்டு சோதனை செய்தபோது அது இருகற்றைகளாகப் பிரிந்து இரு சுவடுகளைத்தந்தது. அணுவின் மொத்தக்கோண உந்தக் குவான்டம் எண் $J$ என்றால் அது $(2J+1)$ நிலைகளில் அமைந்திருக்கமுடியும், ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் தரை நிலையில் (ground state) உள்ள அணுவை எடுத்துக்கொள்வோம். அதற்கு $L=O$, $S=\frac{1}{2}$ ஆகும். ஆகவே, $J=O+\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே, அந்த அணு $(2J+1)$ அதாவது $(2\times\frac{1}{2}+1)=2$ நிலைகளில் மட்டுமே இருக்கமுடியும். எனவே தகட்டில் இரண்டு சுவடுகள் மட்டுமே கிடைக்கும். $Cu, H, Li, Na$ மற்றும் $K$ போன்றவை இரு சுவடுகளையே தந்தன.

பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் தரைநிலையில் $L=O$ என்றாலுங் கூட $S$-ன் மதிப்பு $\frac{1}{2}$-ன் முழுஎண் மடங்குகளாக அதாவது $0, 1/2, 1, 3/2, 2...$ என்று இருக்குமாதலால் $J=O+S=S$ ஆகும். இங்கு $(2J+1)$-ன் மதிப்பு 2ஐ விட அதிகமாகும். அதாவது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட எண்ணிக்கையுடைய சுவடுகள் கிடைக்கும்.

## ஸ்டெர்ன் - கெர்லாக் சோதனையின் பலன்கள்

1) அணுவின் எலெக்ட்ரான்களுக்குச் சுழற்சி உண்டென்பது நிலைநாட்டப்பட்டது.

2) போர் மேக்னடான் என்பது காந்தத் திருப்புதிறனுக்கான அடிப்படை அலகு என்பது நிறுவப்பட்டது.

(3) வெக்டர் அணுமாதிரிக்குச் செய்முறைச் சான்றாக இச்சோதனை அமைந்தது.

(4) குவான்டம் கொள்கையின் இடம் வரையறுத்தல் என்ற கருத்து இச்சோதனையால் மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. தொன்மைக் கொள்கையின்படி அணுகாந்தம் $0^\circ$ முதல் $180^\circ$ வரையிலான எந்தக் கோணத்திலும் நிலை கொள்ளலாம். ஆகவே, பலபடித்தான

காந்தப்புலத்தின் அணுக்கதிர் செலுத்தப்பட்ட பின்னர் ஒளிப்படத் தகட்டில் அது தொடர்ந்த கலங்கல் பட்டை ஒன்றைத் தரவேண்டும் ஆனால், இடம் வரையறுத்தல் கொள்கையின்படி அணு (2J+1) நிலைகளைத்தான் கொள்ள இயலும் ஆகவே, படத்தில் (2J+1) எண்ணிக்கையுள்ள தனித்தனி சுவடுகள் தோன்ற வேண்டும். அனுமதிக்கப்பட்ட நிலைகள் எத்தனையோ அத்தனைச் சுவடுகள் தான் தோன்றமுடியும். இந்த உண்மையை ஸ்டெர்ன் கெர்லாக் சோதனை மெய்ப்பித்தது.

(5) பாரா, டையா காந்த இயல்புகள் பற்றிய தொன்மைக் கொள்கையை வெபர் (weber) என்பார் பின்வருமாறு கூறினார். பாரா காந்தப் பொருள்கள் (Para magnetic substances) நிலையான மூலக்கூறு திருப்புதிறன் (Molecular moment) கொண்டவை. டையா காந்தப் பொருள்களுக்கு அத்தகைய திருப்புதிறன் கிடையாது. இந்த உண்மையையும் ஸ்டெர்ன்-கெர்லாக் சோதனை நிலை நாட்டியது.

(6) காந்தத்தின் குவான்ட இயல்பு, அணுவில் காந்தம் தோன்றும் உண்மை இவற்றையும் எடுத்துக்காட்டியது.

# 7. சில பெயர்களும் குறியீடுகளும்

நிறமாலையியலைப் பொறுத்து வெக்டர் அணுமாதிரியின் அடிப்படையில் அணுக்களை இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (Single electron system), (2) பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (Many electron system)

## (I) ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு

இவ்வகை அணுக்களில் ஒரே ஒரு சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் (Valance electron) அல்லது ஒளியியல் எலெக்ட்ரான் (Optical electron) மட்டுமே இருக்கும். இவை உண்மையில் பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருந்த போதிலும் ஓர் எலெக்ட்ரானைத் தவிர மற்றவையெல்லாம் முடிவுற்ற கூடுகளில் அடைப்பட்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்களாகும். ஆகவே, இவை அணுவின் மொத்தக்கோண உந்தத்தைக் கொடுப்பதில் பங்கேற்பது இல்லை. எனவே அடைபட்டிராத இந்த ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் மட்டுமே அணுவின் நிறமாலையியற் பண்புகளைத் தீர்மானிக்கிறது. ஹைட்ரஜன் மற்றும் அதையொத்த காரவகைத் தனிமங்களின் அணுக்கள் ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பைச் சேர்ந்தவை.

## (II) பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு

இவ்வகை அணுக்களில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது ஒளியியல் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. அதாவது இத்தகைய அணுக்களில் முடிவுற்ற கூடுகளில் அடைப்பட்டிராதப் பல எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. ஆகவே, அணுவின் மொத்தக்கோண உந்தத்தைத் தருவதில் இவை பங்கு கொள்கின்றன. ஆகவே, அணுவின் நிறமாலையியற் பண்புகளை தீர்மானிக்கும் பணியும் இவற்றிற்கு உண்டு. எடுத்துக்காட்டாக புவிக்காரத் தனிமங்கள் (Alkali earths) இரட்டை எலெக்ட்ரான்

அமைப்பையும் அலுமினியம், ஸ்காணடியம் போன்றவை மூன்று எலெக்ட்ரான் அமைப்பையும் கொண்டிருக்கின்றன.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் அணுவின் நிலையை அந்த ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் தீர்மானித்து விடுவதால் அந்த எலெக்ட்ரானின் நிலையைக் குறிக்கின்ற $l, s, j$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளே முழு அணுவின் நிலையைக் குறிக்கின்ற $L, S, J$ மதிப்பு களாகி விடுகின்றன. அதாவது ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் $s=S$, $l=L$, $j=J$ ஆகும். ஓர் அணுவில் $J$ பெறக் கூடிய மதிப்புகளின் எண்ணிக்கைக்குப் பெருகு எண் (multiplicity factor) என்று பெயர். $L$ என்பது $S$ஐ விடப் பெரியதாக இருப்பின் பெருகு எண் $2S+1$ ஆகும். பெருகு எண் $(r)$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$L > S$ஆக இருக்கையில் $r=2S+1$

$L < S$ஆக இருக்கையில் $r=2L+1$

$L=O$ஆக இருக்கையில் $J$ ஒரே ஒரு மதிப்புத்தான் பெற இயலும் அதாவது $J=S$ ஆகிவிடும். இதுபற்றி முன்னரே விளக்கி யுள்ளோம்.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் $r=2S+1=(2\times\frac{1}{2}+1)=2$ ஆகும். எனவே ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்புடைய அணு தரை நிலையைத் தவிர மற்ற எல்லா நிலைகளிலும் இரட்டை ஆற்றல் நிலை கொண்டிருக்கும். தரை நிலை என்பது $L=O$ ஆக உடைய ஆற்றல் நிலையாகும். $J$-ன் மதிப்புகள் $L+\frac{1}{2}$ மற்றும் $L-\frac{1}{2}$ ஆகும். $L=O$ என்றால் $J=+\frac{1}{2}$ மற்றும் $-\frac{1}{2}$ என்ற மதிப்புகளைப் பெறுதல் வேண்டும். ஓர் அணுவின் விளைவு கோண உந்தம் என்பது எப்போதும் நேர்க்குறி $(+)$கொண்டிருக்குமாதலால் $J=-\frac{1}{2}$ ஆக இருக்கமுடியாது. ஆகவே $J=+\frac{1}{2}$ என்ற ஒரே ஒரு நிலை மட்டும்தான் இருக்க முடியும். அதாவது தரைநிலைக்கு ஒரே ஒரு $J$ மதிப்புத்தான் உண்டு.

$L=1$ என்றால் $J=1+\frac{1}{2}=3/2$ மற்றும் $J=1-\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே இரட்டை வரிகள் தோன்றும். இவ்வாறே $L$-ன் மற்ற மதிப்புகளுக்கெல்லாம் இரட்டை வரிகளே தோன்றும்.

பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அடைபடா எலெக்ட்ரான்களிருப்பதால் அணுவை வரையறுக்கும் $L, S, J$ ஆகிய வற்றின் மதிப்புகள் "அடைபடா எலெக்ட்ரான்களின் $l, s, j$ ஆகிய வற்றின் விளைவுகளாக இருக்கும். எனவே இவ்வமைப்பிலுள்ள

அணுவின் $S$ வெக்டர் எப்போதும் $\frac{1}{2}$ஆக இருக்க வேண்டியது இல்லை அதன் மதிப்பு $O, \frac{1}{2}, 1, 3/2$ $2$...... என்றவாறு எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் அவை இணையாக இருக்கின்றனவா, அல்லது முரண் இணையாக (anti parallel) இருக்கின்றனவா என்பதைப் பொறுத்து அமையும். அதே போன்று ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் இருந்ததைப்போல பெருகு எண் எப்போதுமே 2 ஆக இருக்காது. $S=O$ ஆக இருக்கையில் பெருகு எண் $r=1$ஆகவும் $S=\frac{1}{2}$ஆக இருக்கையில் $=2$ஆகவும், $S=1$என்றால் $r=3$ஆகவும் இப்படியே $2S+1=r$ என்ற வாய்ப்பாட்டிற்கு ஏற்பப் பல்வேறு மதிப்புகளைப் பெறும். ஆகவே, கொடுக்கப்பட்ட $L$-மதிப்பைப் பொறுத்து $J$ ஒன்று, இரண்டு மூன்று மதிப்புகளைப் பெறும். எனவே **பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு அணுவின் ஒவ்வோர் ஆற்றல் நிலையும் ஒற்றை நிலையாகவோ, பல நிலைகளாகவோ, இருக்கக்கூடும்,** ஆனால் இவ்வமைப்பிலும் தரை நிலைக்கு ஒரே ஒரு ஆற்றல் மட்டம் மட்டுமே இருக்கமுடியும்.

ஏனெனில் $S=O, \frac{1}{2}, 1, 3/2 \ldots$ என்று வரும்போது $S>L$ என்றாகும் எனவே இங்கு $r=(2L+1)$ ஆகும். தரைநிலையில் $L=O$ ஆகையால் $r=O+1=1$ ஆகும். அதாவது $J$ ஒரே ஒரு மதிப்பைத் தான் பெறமுடியும்.

## (III) நிறமாலை ஆற்றல் மட்டங்களைக் குறிக்கும் குறியீடுகள் (Notations of Spectral terms)

ஓர் அணுவின் $L$ வெக்டர் $O$ என்றால் அந்த அணுவின் நிலையை $S$என்றும், $L=1$ என்றால் $P$ என்றும், $L=2$ என்றால் $D$ என்றும், $L=3$ என்றால் $F$ என்றும், $L=4$ என்றால் $G$ என்றும் குறிக்கின்றோம். அணுவின் நிலையை $S,P,D,F,G$ என்ற பெரிய எழுத்துகளால் குறிக்கின்றோம். இந்த எழுத்துகளுக்குப் பின் ஒட்டாக (Suffix) $J$-ன் மதிப்பும், முன் ஒட்டாக (Prefix) பெருகு எண்ணும் ($r$) எழுதுவது மரபு.

எடுத்துக்காட்டாக, ஓர் அணுவின் நிலையை வரையறுக்கும் வெக்டர்களாகிய $L=1$ஆகவும் $S=\frac{1}{2}$ ஆகவும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இங்கு $X>S$ ஆகவே பெருகு எண் $r=2S+1=2$ ஆகும். மேலும் $J=L\pm S$, $L+S=3/2$, $L-S=\frac{1}{2}$ எனவே $J$ இருமதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. எனவே இந்த அணுவின் நிலையை ${}^2P_{1/2}$ மற்றும் ${}^2P_{3/2}$ என்ற குறியீடுகளால் குறிப்பிடுகிறோம்.

${}^4D_{5/2}$ என்ற அணுநிலையைக் குறிக்கும் குறியீட்டை எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் பெருகு எண் 4, $J$-ன் மதிப்பு $5/2$ எனவே இது $L=2$ என்ற நிலையைச் சேர்ந்தது. $r=2S+1$ என்ற வாய்பாட்டின்

படி $4=2S+1$ ஆக இருக்கவேண்டும். அல்லது $S=3/2$ ஆகிறது. ஆகவே $J$-க்கு உரிய 4 மதிப்புகளாவன : $J=L+S=2+3/2=+7/2$ என்பதிலிருந்து தொடங்கி $+\frac{1}{2}$ வரையில் ஓர் அலகு இடைவெளி கொண்டதாகவுள்ள 7/2, 5/2, 3/2, 1/2 என்ற 4 மதிப்புகளை பெற்றிருக்கும். இந்த நான்கு நிலைகளுள் ஒன்றைத்தான் $^4D_{5/2}$ என்பது குறிக்கிறது மற்ற மூன்று நிலைகளாவன : $^4D_{7/2}$, $^4D_{3/2}$, $^4D_{1/2}$

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் தரைநிலை நீங்கலாக மற்றவை எல்லாம் இரட்டை நிலைகள் என்று குறிப்பிட்டோம். அதிலுள்ள பல்வேறு எலெக்ட்ரான் நிலைகளைப் (அதாவது இங்கு அணு நிலைகளை) பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

| $^2S_{1/2}$ | $^2P_{1/2}$ $^2P_{3/2}$ | $^2D_{3/2}$ $^2D_{5/2}$ | $^2F_{5/2}$ $^2F_{7/2}$ |
|---|---|---|---|
| தரை | $P$ நிலை $L=1$ | $D$ நிலை $L=2$ | $F$ நிலை $L=3$ |
| $L=O$ | $S=\frac{1}{2}$ | $S=\frac{1}{2}$ | $S=\frac{1}{2}$ |
| $S=\frac{1}{2}$ | $J=\frac{1}{2}, 3/2$ | $J=3/2, 5/2$ | $J=5/2, 7/2$ |
| $J=\frac{1}{2}$ | | | |

இங்கு $^2S_{1/2}$ தரைநிலையைக் குறிக்கிறது. இதில் 2 என்பது பெருகு எண்ணைக் குறிப்பிடுகிறது. ஆனால் இங்கு இரு நிலைகள் இல்லை என்றாலும் எல்லா நிலைகளுக்கும் பெருகு எண் தரப்படுகிறது.

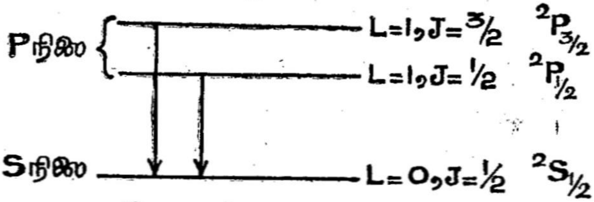
## (iv) நுண்ணமைப்பு வரிகளின் தோற்றம்
## (Appearance of Fine Structure lines)

மேற்கூறிய ஆற்றல் நிலைகள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்குத் தேர்வு விதிகட்கு உட்பட்டு நடைபெறுகின்ற எலெக்ட்ரான் தாவல்கள் காரணமாக நுண்ணமைப்பு வரிகள் தோன்றுகின்றன. ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு அணுக்களில் தரைநிலை தவிர மற்றெல்லா ஆற்றல் நிலைகளும் இரட்டை நிலைகள் என்று குறிப்பிட்டோம், எனவே இவ்விரட்டை நிலைகளுக்கு இடையே தேர்வு விதிக்கு உட்பட்டுத் தாவல்கள் நடைபெறும்போது நுண்ணமைப்பு வரிகள் தோன்றுகின்றன. பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் தரைநிலை நீங்கலாக மற்றெல்லா ஆற்றல் நிலைகளும் அவற்றின் பெருகு எண்ணுக்குச் சமமான துணை ஆற்றல் நிலைகளைக் கொண்டவை ஆதலால் இவ்வகை அணுக்களின் நுண்ணமைப்பு வரிகள் சிக்கல் மிகுந்தவையாக இருக்கும் எனத் தோன்றக்கூடும். பல எலெக்ட்ரான்கள் இருந்தாலும் முடிவுற்ற கூடுகளில் இருக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் செயலில்லாதவை என்ற உண்மையும் தேர்வு

விதிகளும், பௌலியின் நீக்கல் கொள்கையின்படி பெருகு எண்ணுக்கு ஏற்படும் வரம்பும் (limit) இச்சிக்கலை வெகுவாகக் குறைத்துவிடுகின்றன.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் நுண்ணமைப்பு வரிகள் தோன்றுவதற்கு எடுத்துக்காட்டாக சோடியம் D வரியை எடுத்துக் கொண்டு விளக்கலாம். (மற்றவை ஒளியியலில் விளக்கப் பட்டிருக்கக் காணலாம்).

**சோடியம் D வரி (D line of Sodium)**




சோடியம் D வரிகளின் நுண்மைப்பு

படம் 35

இங்குத் தரைநிலைக்கு $L=O$, $J=\frac{1}{2}$, $r=2$ ஆகும். இந்நிலை1 $^2S_{1/2}$ எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. அதற்கு அடுத்த உயர்நிலை $L=$ ஆகவுடைய $P$ நிலையாகும். அது $^2S_{1/2}$ $^2P_{1/2}$ என்ற இரு ஆற்றல் நிலைகளைக் கொண்டது. ஏனெனில் அதற்கு $L=1$, $S=\frac{1}{2}$ ஆகவே $J={}_{3/2}$, ${}_{1/2}$ என்னும் இருமதிப்புகளைப் பெறக்கூடும் எனவே அணுவின் $P$ நிலையிலுள்ள இரு ஆற்றல் மட்டங்களாகிய $2P_{3/2}$ $^2P_{1/2}$ ஆகியவற்றிலிருந்து $^2P_{3/2}\rightarrow{}^2S_{1/2}$ மற்றும் $^2P_{1/2}\rightarrow{}^2S_{1/2}$ என்ற தாவல்கள் நடைபெறலாம். இதற்கான தேர்வு விதிகளாவன. $\triangle L=\pm 1$, மற்றும் $\triangle J=O$ அல்லது $\pm 1$ என்பவையாகும். $O\rightarrow O$ தாவல் நடைபெற இயலாது. படம் 35ல் காட்டியுள்ளபடி $2P_{1/2}\rightarrow{}^2S_{1/2}$ தாவலினுல் 5896 A° உடைய $D_1$ என்ற நுண்ணமைப்பு வரியும் $^2P_{3/2}\rightarrow{}^2S_{1/2}$ என்ற தாவலினுல் 5890 $A^\circ$ உடைய $D_2$ என்ற நுண்ணமைப்பு வரியும் தோன்றுகின்றன.

# 8. சீமன் விளைவு
## (Zeeman effect)

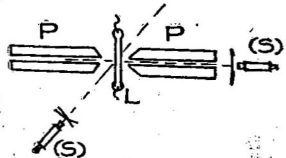
இது ஒரு காந்த ஒளியியல் விளைவு ஆகும். இந்நிகழ்ச்சியில் ஒரு நிறமாலை வரி காந்தப்புலத்தினுல் பல கூறுகளாகப் பிரிக்கப் படுவதைக் காண்கிருேம். இதனைச் **சீமன்** (Zeeman) என்ற பேராசிரியர் முதலில் கண்டறிந்தார். எனவே இந்நிகழ்ச்சி **சீமன் விளைவு** (Zeeman effect) என வழங்கப்படுகிறது.

நிறமாலை வரிகளைத் தருகின்ற ஒளித்தோற்றுவாய் (Source) ஒன்று வலிமை மிக்க காந்தப்புலம் ஒன்றில் வைக்கப்பட்டால், அவ்வொளியின் நிறமாலையில் உள்ள ஒவ்வொரு வரியும் பல கூறுகளாகப் பிரிகின்றன. இவ்வாறு தோன்றிய புதிய வரிகள் 'தாய் வரிக்கு' இருபக்கத்திலும் சமச்சீரமையுடன் (Symmetrical) காணப்படுகின்றன.

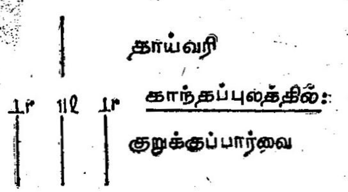
இந்நிகழ்ச்சியை ஆய்வுச்சாலையில் பின்வரும் அமைப்பின் மூலம் காணலாம். இதற்குக் கூம்பு வடிவ முனைத்துண்டுகளைக் கொண்ட, வலிமைமிக்க காந்தப்புலத்தைத் தரவல்ல மின்காந்தம் ஒன்று தேவை. அம்முனைத்துண்டுகளில் படத்தில் 36ல் காட்டியவாறு நீளவாக்கில் அதாவது புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாகத் துளைகள் போடப்பட்டிருக்கின்றன. இத்துளையின் வழியாகப் புலத்தின் மையத்தில் வைக்கப்படும் ஒளித்தோற்றுவாயைக் காண இயலும். நிறமாலை வரிகளைத் தருகின்ற ஓர் ஒளித்தோற்றுவாய் காந்தமுனைத் துண்டுகளுக்கு இடையே வைக்கப்படுகிறது. மிக்க பிரிதிறன் கொண்ட லும்மர் கெர்கி தகட்டுடன் கூடிய **மாரு விலக்க நிறமாலைமானி** (S) (Constant deviation Spectrometer) யைக் கொண்டு ஒளித்தோற்றுவாயை (*L*) நோக்கினுல் ஒவ்வொரு வரியும் பல கூறுகளாகப் பிரிந்திருப்பதைக் காணலாம்.

நிறமாலை வரியினைப் புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாய் அமைந்த திசையில் அதாவது காந்தமுனைத் துண்டுகளில் உள்ள

துளைகளின் வழியே நோக்கினால், ஒவ்வொரு வரியும் இரண்டாகப் பிரிந்து காணப்படுகிறது. (36c) தாய்வரி காணப்படுவது இல்லை. புதிய வரிகளில் ஒன்றின் அலைநீளம் தாய்வரியின் அலைநீளத்தைவிடச் சிறிது குறைவாகவும், மற்றதன் அலைநீளம் தாய்வரியின் அலைநீளத்தை விடச் சிறிது அதிகமாகவும் இருக்கும். நாம் பார்த்துக்கொண்டிருக்கும்போதே காந்தப்புலம் நீக்கப்பட்டால் இருவரிகளும் ஒன்றுகூடி மீண்டும் தாய்வரி அதன் பழைய இடத்திலேயே தோன்றக் காணலாம். புதிய வரிகள் இரண்டும் தாய்வரியின் இரு பக்கங்களிலும் ஒரே அளவில் தள்ளியிருக்கின்றன. தாய்வரியின் அலைநீளத்திற்கும் புதியவரியின் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு ($d\lambda$) என்று குறிக்கப்படுகிறது. இது **சீமன் பெயர்ச்சி** (Zeeman Shift) என்று வழங்கப்படுகிறது. புதிய வரிகள் எதிரெதிர் திசைகளில் **வட்டத்தளவிளைவுற்றுக்** (circularly polarised) காணப்படுகின்றன. தாய்வரி, புதியவரிகள், அவற்றின் தளவிளைவுத்தன்மைகள், சீமன் பெயர்ச்சி ஆகியவற்றைப்படம் (36c) காட்டுகிறது. தாய்வரியின் பழைய இடம் புள்ளிக் கோட்டால் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.




படம்-36(a)




படம்-36(b)

படம்-36(c)

மேற்கூறிய நிகழ்ச்சியினைக் காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்குச் செங்குத்தாக அமைந்த திசையில் நோக்கினால் ஒவ்வொரு வரியும்

மூன்று வரிகளாகத் தோன்றும். அவற்றுள் மையத்தில் உள்ளது தாய்வரியின் அலை நீளத்தையும், தாய்வரிக்கு இருபக்கத்திலும் பக்கத்திற்கு ஒன்றாகக் காணப்படும் வரிகள் மேலே குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சியில் காணப்பட்ட இருவரிகளின் அலை நீளங்களையே கொண்டிருப்பதையும் காணலாம். (படம் 36b) ஆனால், இதில் காணப்படும் மூன்று வரிகளும் **சமதளவிளைவுற்றுக்** (plane polarised) காணப்படுகின்றன. மையவரியின் **அதிர்வுதளம்** (plane of vibration) காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாகவும்,பக்கவரிகளின் அதிர்வு தளம் காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்கு செங்குத்தாகவும் அமைந்திருக்கின்றன. படம் 36 bல் தெளிவாகக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.

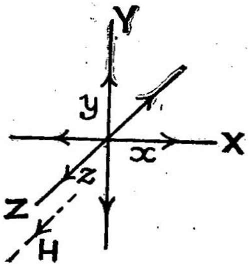
மேலே விவரிக்கப்பட்ட நிகழ்ச்சிகள் காந்தப்புலம் மிக்க வலிமையுடையதாக இருந்தால் மட்டுமே நடைபெறமுடியும் இதற்கு **இயல்பு சீமன் விளைவு** (Normal Zeeman effect) என்று பெயர். அவ்வாறு இன்றிக் காந்தப்புலம் வலிமையற்றதாக இருப்பின் ஒவ்வொரு நிறமாலை வரியும், பல கூறுகளாகப் பிரிவதைக் காணலாம் இதனை விளக்குவது சிக்கல் மிகுந்த ஒன்றாகும். இதனை **முரணிய சீமன் விளைவு** (anomalous Zeeman effect) எனக் கூறுவர். லொரென்ட்ஸ் கொள்கையின் அடிப்படையில் இயல்பு சீமன் விளைவுக்கான காரணத்தைக்கூறி விளக்குவது எளிது. ஆனால், முரணிய சீமன் விளைவுக்கான விளக்கம் தர இயலாது. இதனைவிளக்க அணுவில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு, எலெக்ட்ரானின் இயக்கங்கள் இவை பற்றிய உண்மைகள் தெரியவேண்டும். அவ்வுண்மைகளின் அடிப்படையில் மட்டுமே முரணிய சீமன் விளைவினை விளக்க இயலும்.

## இயல்பு சீமன் விளைவுக்கு லொரென்ட்ஸ் கூறிய கொள்கை விளக்கம் (Lorentz Theory on Normal Zeeman effect)

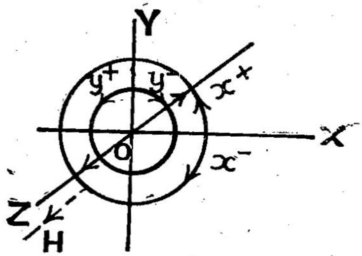
எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் இயல்பு சீமன் விளைவுக்கான காரணங்களைக் கூறி விளக்குவதில் லொரென்ட்ஸ் வெற்றிப்பெற்றார்.

மின்னூட்டங்களின் அலைவு இயக்கத்தினால் மின்காந்த அலைகள் உண்டாகின்றன. ஒளி என்பது ஒரு மின்காந்த நிகழ்ச்சியாகும். மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள வாயு அணுக்களின் எலெக்ட்ரான்கள், அணுக்களின் மையங்களை வைத்து அதிர்வுறுகின்றன. இதனால் அந்த அதிர்வினையே, அதிர்வு எண்ணாகக் கொண்ட ஒளி

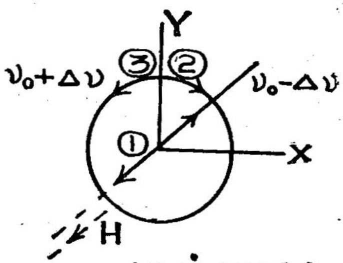
பிறக்கிறது. எனவே குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண் கொண்ட ஒளி தோன்றுவதற்குக் காரணமான எலெக்ட்ரானின் இயக்கம் (அதிர்வு) ஒத்திசைவு இயக்கமாக (Simple harmonic motion) இருத்தல் வேண்டும்.



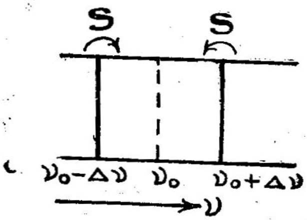

படம்-37(a)



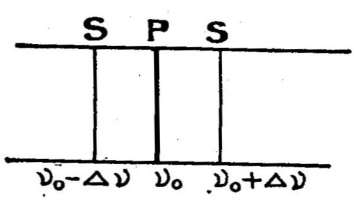

படம்-37(b)




படம்-37(c)




படம்-37(d)




படம்-37(e)

ஒரு சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். (படம் 37*a*) அதை ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாய் அமைந்த மூன்று அச்சுகளில் அமைந்த மூன்று கூறுகளாகப் பகுக்கலாம். இந்த மூன்று கூறுகளையும் *X*, *Y*, *Z* என்னும் அச்சுகள்

வழியே நடைபெறும் மூன்று சீரிசை இயக்கங்களாகக் கருதலாம். படம் · · · · காந்தப்புலம் $Z$ அச்சின் திசையில் செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். இதனால் $x$, $y$ இயக்கங்கள் மாறுதலுக்குள்ளாகும் என்பதையும், $z$ இயக்கம் பாதிக்கப்படாது என்பதையும் உணரலாம். காந்தப்புலத்திற்குக் குறுக்காக இயங்கும் $x$ மற்றும் $y$ இயக்கங்கள் 'ரோசெட்டி' எனப்படும் ரோஜா இதழ் அடுக்கு முறையில் சுழன்று வருகின்ற இயக்கங்களாக மாறும். இந்த இயக்கம் சிக்கல் மிகுந்த ஓர் இயக்கமாகும்.

$y$ கூறுல் குறிக்கப்படும் சீரிசை இயக்கத்தை ஒன்றுக்கொன்று சமமான ஆனல் எதிர்எதிர்த் திசைகளில் அமைந்த இரு வட்ட இயக்கங்களின் விளைவாகக் கொள்ளலாம். அவ்விரு வட்ட இயக்கங்களையும் $y^+$, $y^-$ என்று குறிப்பிடுவோம். இவ்வாறே $x$ கூறையும் $x^+$, $x^-$ என்ற இரு வட்ட இயக்கங்களின் விளைவு என்று கொள்ளலாம் (படம் 37$b$).

புலத்தைச் செயற்படுத்தியவுடன் இடஞ்சுழியான $x^+$, $y^+$ கூறுகள் முடுக்க முறுகின்றன. வலஞ்சுழியான $x^-$, $y^-$ கூறுகள் அதே அளவு எதிர் முடுக்க முறுகின்றன. இப்போது $x^+$ $y^+$ இயக்கங்களையும் $x^-$, $y^-$ இயக்கங்களையும் தொகுக்க படம் 37$c$-ல் காட்டியபடி எதிர்எதிர்த் திசையிலமைந்த இரு விளைவு இயக்கங்கள் கிடைக்கின்றன. இவ்வாறு காந்தப்புலத்திலுள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரானின் இயக்கம் பின்வரும் மூன்று இயக்கங்களாகப் பிரிக்கப்படுகிறது.

(1) காந்தப்புலத்தின் திசையிலமைந்த ($Z$ அச்சின் திசையில்) திர்வு எண் மாற்றமடையாத ($\nu_o$) ஒரு நேர்கோட்டு இயக்கம் (1 (படம் 37$c$).

(2) காந்தப்புலத்திற்குச் செங்குத்தாய் உள்ள $XY$ தளத்தில் அமைந்த வலஞ்சுழி வட்ட இயக்கம் ஒன்று (2) இக்கூற்றின் அதிர்வு எண் $\nu_o - \triangle\nu$ ஆக இருக்கும் (படம் 37 $c$).

(3) காந்தப்புலத்திற்குச் செங்குத்தாய் அமைந்த $XY$ தளத்தில் உள்ள இடஞ்சுழி வட்ட இயக்கம் (3) இது $\nu_o + \triangle\nu$ என்ற அதிர்வு எண் கொண்டிருக்கும் (படம் 37$c$).

இவ்வாறே எல்லா எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கங்களையும் நோக்கினல், எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் மூன்றிலொரு பாகம்

மாருத அதிர்வு எண்ணுடன் $Z$ அச்சு வழியே இயங்குவதாகவும், மற்ருெரு மூன்றிலொரு பாகம் $XY$ தளத்தில், $\nu_{\circ}+\triangle\nu$ என்னும் அதிர்வு எண்ணுடன் இடஞ்சுழி வட்ட இயக்கம் செய்வது போலவும், இன்ஞெரு மூன்றிலொரு பாகம் $\nu_{\circ}-\triangle\nu$ என்ற அதிர்வு எண்ணுடன் $XY$ தளத்தில் வலஞ்சுழி வட்ட இயக்கம் செய்வது போலவும் காணப்படும்.

அதிர்வு எண் மாருத $Z$ இயக்கத்திஞல் தாய்வரியும், $\nu_{\circ}+\triangle\nu$ என்ற அதிகரித்த அதிர்வு எண்ணுடன் கூடிய இடஞ்சுழி வட்ட இயக்கம் செய்யும் எலெக்ட்ரான்களிஞல் குறைந்த அலை நீளத்துடன், தாய்வரிக்கு இடது பக்கத்தில் தோன்றும் புதிய வரியும், $\nu_{\circ}-\triangle\nu$ என்ற குறைந்த அதிர்வெண்ணுடன் வலஞ்சுழி வட்டஇயக்கம் செய்யும் எலெக்ட்ரான்களால் அதிக அலை நீளத்துடன் தாய்வரியின் வலப்பக்கத்தில் காணப்படும் புதிய வரியும் தோன்றுகின்றன.

புலத்தின் திசையில் நோக்கும்போது வட்டஇயக்கங்கள் மட்டுமே தோற்றமளிக்கின்றன. மேலும் அவை வட்டத்தள விளைவுற்றிருக்கின்றன. ஒளி குறுக்கதிர்வு அலையியல்பு உடையது ஆதலால் புலத்தின் போக்கிலுள்ள நேர்கோட்டு இயக்கங்கள், புலத்தின் திசையில் நோக்கும்போது தெரியாது போய்விடுகிறது. **(37$d$)**

புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் நோக்கும்போது நேர்கோட்டு இயக்கங்களும் ($Z$ திசையில் அமைந்தவை) வட்ட இயக்கங்களும் சமதள விளைவுற்ற ஒளியாகக் காணப்படுகின்றன. எனவே புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தாக ஒரு நிறமாலை வரியை நோக்கிஞல் அது சமதள விளைவுள்ள மூன்று கூறுகளாகத் தோற்ற மளிக்கிறது. தாய் வரியின் அதிர்வு எண்ணிலிருந்து மாற்றமுருத மையவரி, அதற்கு இரு பக்கத்திலும் சம தூரத்திலமைந்துள்ள இரு பக்க வரிகள் ஆகிய மூன்று வரிகளைக் கொண்ட அமைப்பு **இயல்பு மூவரி** (Normal triplet) எனப்படுகிறது. புலத்தின் திசைக்கு இணையாக அதிர்வுறும் வரிகளை $P$ வரிகள் ($P$ என்பது parallel என்பதைக் குறிக்கிறது) செங்குத்தாக அதிர்வுறும் வரிகளை $S$ வரிகள் (Senkretcht என்பதற்கு $S$) என்றும் குறிப்பது மரபு. **(37 $e$)**

## சீமன் பெயர்ச்சியைக் கணித்தல்

$m$ என்ற நிறையும் $e$ என்ற மின்னூட்டமும் கொண்ட எலெக்ட்ரான் $\nu$ என்ற வேகத்துடன் தன்னுடைய வட்டப்

பாதையில் அலைவுறுவதாகக் கொள்வோம். இதற்குத் தேவையான மைய நாடு விசை (centripetal force) $F$ என்றால் $F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$ ஆகும். இங்கு $\omega$ என்பது வட்ட இயக்கத்தின் கோணத் திசைவேகத்தையும், $r$ என்பது வட்டப்பாதையின் ஆரத்தையும் குறிக்கின்றன. $H$ என்ற காந்தப்புலம் வட்டப்பாதைக்குச் செங்குத்தான திசையில் வாசகரை நோக்கி செயல்படுவதாகக் கொள்வோம் இதனால் எலெக்ட்ரானின் மீது $Hev$ என்ற புதியதொரு விசை செயல்படத் தொடங்கும்.

## வட்ட வலஞ்சுழி இயக்கத்தில்

இயல்பாக உள்ள மையநாடுவிசை $= mr\omega^2$

புலத்தினால் வலஞ்சுழிக் கூறின்மீது உண்டாகும் மையநாடுவிசை $\Big\} = -Hev$

ஆகவே புதிய விளைவு மைய நாடு விசை $\Big\} = mr\omega^2 - Hev$

இதனால் உண்டாகும் புதிய கோணத் திசைவேகம் $(\omega + d\omega)$ என்றால்

$$mr\omega^2 - Hev = mr\,(\omega + d\omega)^2$$

$$mr\omega^2 - Her\omega = mr\,(\omega + d\omega)^2$$

$$+Her\omega = mr\omega^2 - mr\,(\omega + d\omega)^2$$

$$= mr\omega^2 - mr\omega^2 - 2\,mr\omega d\omega - mr(d\omega)^2$$

$(d\omega)^2$ மிகச்சிறியது ஆகையால் அதுவருகின்ற எண்ணைவிட்டு விடலாம்.

$$\text{ஆகவே } Her\omega = -2mr\omega d\omega$$

$$\text{அல்லது } d\omega = -\frac{Her\omega}{2mr\omega}$$

$$= -\frac{He}{2m}$$

இதிலிருந்து வலஞ்சுழிக்கூறில் ஏற்படும் கோணத் திசைவேக மாற்றம் எதிர்க்குறி பெற்றிருப்பதால் அதன் கோணத் திசைவேகம் குறைகிறது என அறிகிறோம். கோணத் திசைவேகம் குறைந்தால் அலைவுநேரம் அதிகமாகும். அலைவுநேரம் அதிகமானால் அதிர்வு எண் குறையும். ஆகவேதான் வலஞ்சுழிக்கூறின் அதிர்வு எண் $\nu_\circ - \Delta\nu$ என்றாகியது.

**வட்ட இடஞ்சுழிக்கூறில் புலத்தினுல் ஏற்படும் மாற்றம்.**

இயல்பு மையநாடுவிசை $= mr\omega^2$

புலம்தரும் மையநாடுவிசை $= Hev$

ஆகவே எலெக்ட்ரான் மீது செயற்படும் புதிய மைய நாடுவிசை $\Big\} = mr\omega^2 + Hev$

இதனுல் உண்டாகும் புதிய கோணத் திசைவேகம் $(\omega + d\omega)$ என்ருல்

$$mr\omega^2 + Hev = mr(\omega + d\omega)^2$$

$$mr\omega^2 + Her\omega = mr[\omega^2 + 2\omega \cdot d\omega + (d\omega)^2]$$

$(d\omega)^2$ ஐ விட்டுவிட

$$= mr\omega^2 + 2\,mr\omega d\omega$$

$$2mr\omega d\omega = Her\omega$$

$$d\omega = \frac{He}{2m} \text{ என்ருகும்.}$$

இதிலிருந்து வலஞ்சுழிக்கூறின் கோணத் திசைவேகம் $\frac{He}{2m}$ அளவு அதிகரிக்கிறது என்றும் இதனுல் அலைவுநேரம் குறைய அதிர்வு எண் $v_0 + \triangle v_0$ என்று அதிகரிக்கிறது என்றும் அறியலாம்.

வலஞ்சுழிக்கூறின் கோணத் திசைவேகத்தில் ஏற்படும் குறைவும் இடஞ்சுழிக்கூறின் கோணத் திசைவேகத்தில் ஏற்படும் அதிகரிப்பும் சமமாக இருப்பதை அறியலாம். ஆகவே வலஞ்சுழிக்கூறின் அதிர்வு எண் எந்த அளவுக்குக் குறைகிறதோ அதே அளவுக்கு இடஞ்சுழிக்கூறின் அதிர்வு எண் அதிகரிக்கிறது. எனவேதான் புதியவரிகள் தாய்வரியின் பக்கத்திற்கு ஒன்ருகச் சமதூரத்தில் கிடைக்கின்றன.

வலஞ்சுழிக் கூறில்

$$\text{திசைவேக மாற்றம்} = -\frac{He}{2m}.$$

ஆகவே அதிர்வு எண் மாற்றம்

$$\triangle v = \frac{d\omega}{2\pi}$$

$$= -\frac{He}{4\pi m}$$

$$C = \nu\lambda$$

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

$$\Delta\nu = (-C\lambda^{-2})d\lambda$$

$$-\frac{He}{4\pi m} = -\frac{C}{\lambda^2} \cdot d\lambda.$$

$d\lambda = \dfrac{He\lambda^2}{4\pi mC}$ ஆகும். இதைத்தான் சீமன் பெயர்ச்சி என்பர். இதேபோன்று இடஞ்சுழிக்கூறை எடுத்துக்கொண்டு அதன் சீமன் பெயர்ச்சி $= -\dfrac{He\lambda^2}{4\pi mC}$ எனக்காட்டலாம். எனவேதான் பக்கவரிகள் இரண்டும் தாய்வரியிலிருந்து சம அளவில் தள்ளியிருக்கின்றன.

குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் சீமன் விளைவினை அறிய முற்படுமுன் பின்வரும் சில கருத்துகளைப்பற்றி அறிந்து கொள்ளுவது அவசியம்.

## (i) குறைந்த வலிமையுடைய காந்தப்புலத்திலுள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் வெக்டர் மாதிரி (Vector model of one electron system in weak field)

முரணிய சீமன் விளைவு கண்டுபிடிக்கப்பட்டவுடன் அதை விளக்குவதற்காக அணுவைப் பற்றிய லாண்டே வெக்டர் மாதிரி (Lande Vector model) தோன்றியது. அதையொட்டி லாண்டே 'g' துணைக்கூறு (Lande 'g' factor) என்ற ஒன்றும் கணக்கிடப் பட்டது. இப்புதிய அணுமாதிரி சீமன்வரி அமைப்புகளுக்குச் சரியான காரணம் கூறிவிளக்க பெரிதும் உதவியது.

வலிமை குறைந்த காந்தப்புலத்தில்—ஹைட்ரஜன், லிதியம் போன்ற தனிமங்களைத் தவிர மற்றவைகட்கு 20,000 அல்லது 30,000 ஓர்ஸ்டட் காந்தப்புலம் கூடக் குறைந்த வலிமையுடைய காந்தப்புலம் என்றே கருதப்படுகிறது—ஒவ்வொரு நிறமாலை வரியும் பலகூறுகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. அவ்வாறு பிரிந்ததால் கிடைக்கும் கூறுகள் சமச்சீரமைவுடன் கூடிய சீமன் வரி அமைப்பினைத் (Zeeman patterns) தருகின்றன. இவ்வாறு கிடைத்த சீமன் வரி அமைப்பின் அகலம், இயல்பு மூவரி அமைப்பின் அகலத்தைவிட அதிக வேறுபாடு உடையதாக இல்லை. இதை எண்ணிப் பார்த்த போது அணுவின் ஆற்றல் நிலைகள் சம இடை வெளியுடைய, வரையறுக்கப்பட்ட பல துணை ஆற்றல் நிலைகளாகப் பிரிக்கப்படுவ

தால் முரணிய சீமன் விளைவு உண்டாகியிருக்கவேண்டும் எனத் தோன்றியது. இவ்வாறு தோன்றிய இரு துணை ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே தேர்வு விதி செறிவு விதிஆகியவற்றிற்கு உட்பட்டு நடைபெறும் மாற்றங்கள் காரணமாகப் புதிய நிறமாலை வரிகள் தோன்றுகின்றன. இத்தகைய புதிய துணை ஆற்றல் மட்டங்களைச் **சீமன் மட்டங்கள்** (Zeeman levels) எனக் கூறுவர்.

## (ii) எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி-சுற்றுப்பாதை வினையாக்கம் (Spin-orbit interaction of electron)

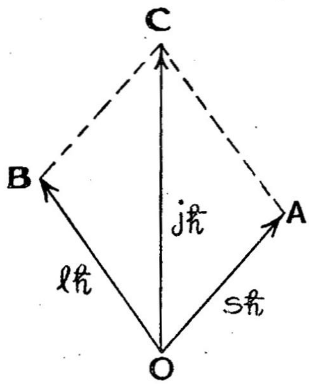
ஹைட்ரஜன் அணு தருகின்ற பாமர் தொடர் மற்றும் காரவகைத் தனிம உலோகங்கள் தருகின்ற நிறமாலைத் தொடர்கள் இவற்றில் காணப்படும் இரட்டை வரிகளின் அமைப்பு இவற்றிலிருந்து இவ்வணுக்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒவ்வொன்றும் இரட்டையாக இருக்கவேண்டும் என்ற கருத்துத் தோன்றியது. ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒவ்வொன்றும் இரண்டாகப் பிரிவதற்குக் காரணம் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தால் உண்டாகும் காந்தத் திருப்புதிறன் மற்றும் எலெக்ட்ரானின் சுழற்சியால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறன் இவற்றிடையே நடைபெறும் **வினையாக்கம்** (interaction) தான் என்று கருதப்பட்டது.

காந்தப்புலத்தில் உள்ள ஒரு சுழற்சி எலெக்ட்ரான் ஒருசிறு காந்தத்தைப் போலவே செயற்படுகிறது. காந்தம் எப்படி ஒரு சுழற்று விசையின் வயப்பட்டுப் புலத்தின் போக்கிற்கு இணையான திசையில் நிலைகொள்ள முயலுமோ அதைப்போல, சுழற்சி எலெக்ட்ரானும் காந்தப்புலத்தின் போக்கிற்கு இணையாக நிலைகொள்ள முயலுகிறது வட்டத்தில் சுற்றிவரும் நிறை ஒன்றின் விசையியல் பண்புகளுக்கு ஏற்ப சுழலுகின்ற பம்பரம் எப்படிப் புவிஈர்ப்புப் புலத்தில் அச்சுச் சுழற்சிக்கு (precession) உள்ளாகிறதோ அதேபோல எலெக்ட்ரானும் காந்தப்புலத்தைச் சுற்றி ஓர் அச்சுச் சுழற்சிக்கு உள்ளாகிறது.

ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு $s\hbar$ அளவுடைய சுழற்சிக் கோண உந்தமும், $l\hbar$ அளவுடைய சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தமும் உண்டு எனக் கண்டோம். ஆகவே ஓர் எலெக்ட்ரானின் மொத்தக் கோண உந்தம் (Total angular momentum) இவ்விரு கோண உந்தங்களுக்கும் உரிய வெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகையாகும். (படம் 38ல்)

$OA$ : சுழற்சிக் கோண உந்த வெக்டர் $s\hbar$

$OB$ : சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்த வெக்டர் $l\hbar$



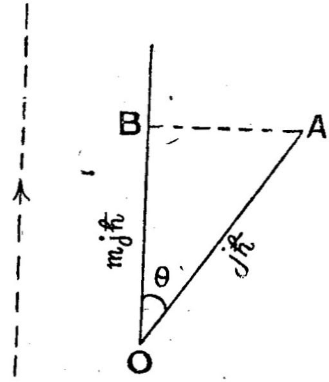

படம் : 38

$OC$ என்பது இவ்விரு வெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகை அதாவது விளைவு வெக்டர் $j\hbar$ ஐக் குறிக்கும். $s\hbar$ மற்றும் $l\hbar$ என்ற இருவெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகை $j\hbar$ ஆகும். $j$ என்பது மொத்த குவான்டம் எண்ணைக் குறிக்கும். குவான்டம் கொள்கையின்படி $s\hbar$, $l\hbar$ என்ற வெக்டர்களின் கூட்டுத்தொகை மதிப்புகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு $\hbar$ ஆக இருக்கவேண்டும். ஆகவே $j\hbar = l\hbar \pm s\hbar$ என்றாகிறது. முன்போர் இடத்தில் $j = l + s$ என்றும் $j = l - s$ என்றும் குறிப்பிட்டிருந்ததை நினைவு கூர்க. இதிலிருந்து $l = O$ ஆக உடைய தரைநிலையைத் தவிர மற்றெல்லா நிலைகளுக்கும் $j$ இருமதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கவேண்டும் என அறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக $j = 2$ ஆகவுடைய $d$ எலெக்ட்ரானை எடுத்துக்கொள்வோம், $j = l + s = 2 + {}^1/_2 = {}^5/_2$ மற்றும் $j = l - s = 2 - {}^1/_2 = {}^3/_2$ ஆகவே $j$-க்கு ${}^5/_2$ மற்றும் ${}^3/_2$ என்ற இருமதிப்புகள் உண்டாகின்றன. அதாவது அணுவின் இயல்பு நிலையில் அதன் $d$ ஆற்றல் மட்டம் $j = {}^5/_2$ மற்றும் ${}^3/_2$ ஆகவுடைய இருதுணை ஆற்றல் மட்டங்களாக இருக்கவேண்டும். சாதாரணமாக $S$ நிலைக்கு இருதுணை நிலைகள் இருப்பது இல்லை. என்றாலும் அணு காந்தப்புலத்தில் இருக்கும்போது அந்த தரை நிலையும் இரண்டாகப் பிரிந்து காணப்படுகிறது.

## iii) புறக்காந்தப்புலம் ஒன்றில் அணு நிலைகொள்ளுதல் (Orientatian of an atom in external field)

ஓர் அணு காந்தப்புலம் ஒன்றில் விடப்பட்டால், குவான்டம் கொள்கைப்படி அதன் எலெக்ட்ரான் குறிப்பிட்ட ஒருதிசையில்

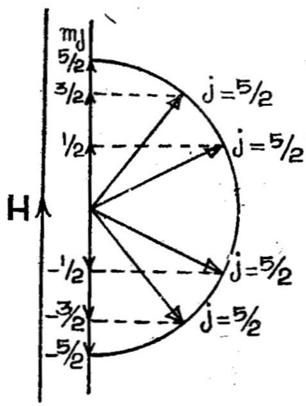
நிலைகொள்ள வேண்டும். படத்தில் (39.a) காந்தப்புலம் புள்ளிக் கோட்டால் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. புலத்தின் வலிமை $H$ என்போம். $OA$ என்ற வெக்டர் மொத்த கோண உந்தமாகிய $j\hbar$ ஐக் குறிக்கிறது. இந்த வெக்டர் புலத்தின் திசையிலிருந்து $\theta°$ சாய்ந்திருக்கிறது. புலத்தின் திசையின் மீது வரையப்படும் $OA$-ன் வீழ்ச்சி (projection) $OB$ ஆகும். இது $\hbar$ ன் அரை எண்




படம் (39.a)

மதிப்புகளை பெறுதல் வேண்டும்.

$$OB = OA\ cos\theta$$
$$= j\hbar\ cos\theta$$




படம் (39.b)

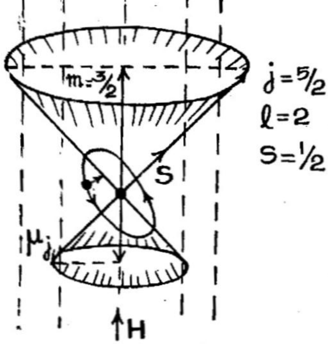
$OB$ என்பதை $m_j\hbar$ என்று குறிப்பிட்டால்

$m_j\hbar = j\hbar \cos\theta$ என ஆகும். இங்கு $m_j$ என்பது எலெக்ட்ரானின் **காந்தக்குவாண்டம் எண்** (Magnetic quantum number) $m_j$-ன் மதிப்புகள் $\pm{}^1/_2, \pm{}^3/_2, \ldots \pm l$ எதிர்குறிகள் $j\hbar$-ன் கூறு காந்தப் புலத்தின் திசைக்கு எதிர்திசையில் இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.

எடுத்துக்காட்டாக $j = {}^5/_2$ என்னும்போது $m_j = \pm{}^5/_2, \pm{}^3/_2, \pm{}^1/_2$ என்ற ஆறு மதிப்புகளைப்பெறும் என்பதையும் அப்போது அணு, காந்தப்புலத்தில் கொள்ளக்கூடிய நிலைகளையும் கீழே உள்ள வெக்டர் படம் $39b$. காட்டுகிறது.

## iv) அச்சுச்சுழற்சி (Precession)

ஓர் அணு காந்தப்புலத்தில் விடப்பட்டால் அது எவ்வாறு அச்சுச்சுழற்சி செய்கிறது என்பதை படம் 40 காட்டுகிறது. அந்த அணுவின் எலெக்ட்ரான் $l = 2$, $s = {}^1/_2$, $j = {}^5/_2$ மற்றும் $m_j = {}^3/_2$ என்ற நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். தன் சுற்றுப்பாதைத் தளத்தில் சுழலுகின்ற எலெக்ட்ரான் அணுவுக்கு ஒரு கோண உந்தத்தையும் ஒரு காந்தத் திருப்புதிறனையும் தருகிறது. இவ்விரு வெக்டர்களும் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதைத் தளத்திற்கு செங்குத்தாய் அமைந்துள்ளன. காந்தப்புலம் அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனின் மீது செயற்பட்டு அதைத்தன் போக்கில் திருப்ப முயலுகிறது. எலெக்ட்ரானின் சுழற்சி இயக்கம் காரணமாக




படம் 40

அதற்கு உண்டாகும் **சுழற்சி நிலைமம்** (Rotational inertia) இம் முயற்சியை எதிர்க்கிறது. இதனால் படம் 32-ல் காட்டியுள்ளது போல ஓர் இயக்கம் ஏற்படுகிறது. இந்த இயக்கம் சுழன்று கொண்டிருக்கும் பம்பரத்தின் மீது புவிஈர்ப்புப்புலம் செயற்பட்டு அதைத் தன்போக்கில் திருப்ப முயலும்போது நடைபெறும் இயக்கத்தைப் போன்றது. இதை **அச்சுச்சுழற்சி** (Precession) என்பர்.

## முரணிய சீமன் விளைவு (Anomalous Zeeman Effect)

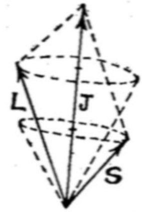
காந்தப்புலத்தில், ஒரு நிறமாலை வரி பல கூறுகளாகப் பிரியும் போது இடம் பெயராத தாய்வரியும், (இதை *P* வரி என்பர்) அதிலிருந்து சம தூரத்தில் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக அமைந்த இரு *S* வரிகளும் கொண்ட அமைப்பு இயல்பு மூவரி எனக் கூறினோம். இது தவிர மற்றெல்லா வரித் தொகுப்புகளும் முரணிய சீமன் விளைவு அமைப்புகள் (anomalous Zeeman Patterns) என வழங்கப்படுகின்றன.

ஓர் ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு வலிமை குறைந்த காந்தப்புலத்திலிருக்கையில் என்ன நிகழும் எனக் காண்போம். சோதனைகளின் மூலம் வலிமை குறைந்த காந்தப்புலத்தில் ஒவ்வொரு நிறமாலை வரியும் பல கூறுகளாகப் பிரிந்து முரணிய சீமன் விளைவைத் தருவதைக் காணலாம். இவ்வரிகள் தோன்றக் காரணம் என்ன என்பதை அறிவதே இப்பகுதியின் நோக்கம்.

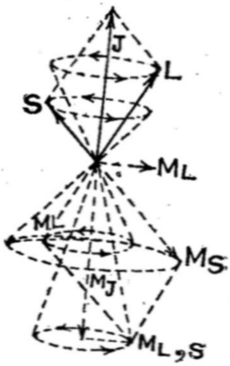
காந்தப்புலத்தில் விடப்பட்டவுடன் அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள் பல துணை ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிரிகின்றன அவ்வாறு பிரிந்த ஆற்றல் மட்டங்களுள் ஏதேனும் இரண்டிற்கு இடையே, தேர்வு விதி, செறிவு விதி இவைகட்கு உட்பட்டு நடைபெறுகின்ற எலெக்ட்ரான் தாவலினால் புதிய வரி ஒன்று தோன்றுகிறது. இப்புதிய ஆற்றல் மட்டங்கள் சீமன் மட்டங்கள் (Zeeman Levels) என வழங்கப்படுகின்றன. இது பொதுவான விளக்கம்.

**அணுவின்** மொத்தக் கோண உந்தம் வெக்டர் *J* என்ற எழுத்தாலும், சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்த வெக்டர் *L* என்ற எழுத்தாலும், சுழற்சிக் கோண உந்த வெக்டர் *S* என்ற எழுத்தாலும் குறிக்கப்படுகின்றன. *J* என்பது *L*, *S* ஆகியவற்றின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகையாகும் இவ்வமைப்பு படம் 41*a*ல் காட்டியவாறு *J*-ன் திசையை அச்சாகக் கொண்டு பம்பரத்தைப் போல அச்சுச் சுழற்சியில் ஈடுபடுகிறது. இந்நிகழ்ச்சி *J* வெக்டரை அச்சாகக் கொண்டு நடைபெறுவதால் *J* மாறுதலடைவது இல்லை.

அணுவின் சுற்றுப்பாதை காந்தத் திருப்புத்திறன் $M_L$ என்றால் நாம் முன்னர்க் கண்டபடி.




படம்-41(a)




படம்-41(b)

$$M_L = L\hbar \frac{e}{2m} \text{ ஆகும் } \quad L\hbar = P_L$$

$$\text{ஆகவே } \frac{M_L}{P_L} = \frac{e}{2m} \qquad \text{—(1)}$$

இவ்வாறே அணுவின் சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறனாகிய $M_S$ . விசையியல் திருப்புதிறனாகிய $P_S$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள விகிதம் $\frac{M_L}{P_S}$ ஐப் போல் இரு மடங்கு இருக்குமென்பதைச் சீமன் விளைவு காட்டுகிறது.

$$\text{எனவே } \frac{M_S}{P_S} = 2.\frac{e}{2m}$$

$$= \frac{e}{m} \qquad \text{—(2)}$$

அணுவின் காந்தத் திருப்புத்திறன் மற்றும் விசையியல் திருப்புதிறன் இவைகளின் அமைப்பை வெக்டர் படம் 41b காட்டுகிறது. $M_{L,S}$ என்பது $M_L$, $M_S$ ஆகியவற்றின் விளைவு (resultant) ஆகும். விளைவு விசையியல் திருப்புதிறன் மாறாது. ஆகையால், $L$, $S$, $M_L$, $M_S$ மற்றும் $M_{L,S}$ ஆகிய வெக்டர்கள் $J$ஐ அச்சாகக் கொண்டு அச்சுச் சுழற்சி செய்கின்றன. இந்த அச்சுச் சுழற்சியின் விளைவாக, $M_{L.S}$-ன் இரு கூறுகளில் ($M_J$, $M_\perp$) $J$-க்கு இணையாக அமைந்த ($M_J$) கூறு மட்டுமே அணுவுக்குக் காந்த திருப்புதிறன் தருகிறது. செங்குத்துக் கூறு $M_\perp$ என்பதன் திசை தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டே இருக்குமாதலால் அது தருகின்ற கால சராசரி (time average) சுழியாகிவிடும். இணைக் கூறு ஆகிய $M_J$ ன் மதிப்பினை பின் வருமாறு கணிக்கலாம்

$$M_L = L\hbar \frac{e}{2m} \qquad —(3)$$

$$M_S = 2S\hbar \frac{e}{2m} \qquad —(4)$$

இவற்றைக் கூறுகளாக்கி $J$-க்கு இணையாய் அமைந்த கூறுகளை எடுத்துக்கொள்வோம். $L$, $J$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள கோணத்தை $(LJ)$ என்றும் $S, J$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள கோணத்தை $(SJ)$ என்றும் குறிப்பது மரபு.

$J$-க்கு இணையாய் அமைந்த $M_L$-ன் கூறு:

$$= L\hbar \frac{e}{2m} \cos(LJ)$$

$J$-க்கு இணையாய் அமைந்த $M_S$-ன் கூறு

$$= 2S\hbar \frac{e}{2m} \cdot \cos(SJ)$$

இவற்றைக் கூட்ட

$$M_j = [L\cos(LJ) + 2S\cos(SJ)]\hbar \frac{e}{2m}$$

$\hbar \frac{e}{2m}$ என்பது போர் மேக்னடான் என்றும் அது $\mu_B$ என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படும் என்றும் அறிவோம். எனவே

$$M_j = [L\cos(LJ) + 2S\cos(SJ)]\mu_B \qquad (5)$$

மேலும்

$$S^2 = L^2 + J^2 - 2LJ\cos(LJ)$$

$$L^2 = S^2 + J^2 - 2SJ\cos(SJ) \text{ ஆகும்.}$$

இவற்றிலிருந்து

$$\cos(LJ) = \frac{L^2 + J^2 - S^2}{2LJ} \text{ என்றும்}$$

$$\cos(SJ) = \frac{S^2 + J^2 - L^2}{2SJ} \text{ என்றும்}$$

அறியலாம். இம்மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (5)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$M_j = \left[ L\left(\frac{L^2+J^2-S^2}{2LJ}\right) + 2S\left(\frac{S^2+J^2-L^2}{2SJ}\right)\right]\mu_B$$

$$= \left[\frac{L^2+J^2-S^2}{2J} + \frac{S^2+J^2-L^2}{J}\right]\mu_B$$

$$= \left[\frac{L^2+J^2-S^2+2S^2+2J^2-2L^2}{2J}\right]\mu_B$$

$$= \left[\frac{3J^2+S^2-L^2}{2J}\right]\mu_B$$

$$= J\left[1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right]\mu_B \qquad (6)$$

இச்சமன்பாடு புறப்புலத்தினால் பாதிக்கப்படாது அணுவின் உள்ளே நடைபெறுவதை விளக்குகிறது. ஆகவே, இது அக அச்சுச் சுழற்சி (inner precession) எனப்படும்

$$\left[1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right] \text{ என்பது ஒரு மாறிலியாகும்.}$$

இது லாண்டே காரணி (Lande's factor) என்று வழங்கப்பட்டு $g$ என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.
எனவே $M_j = J.g.\mu_B$ என்று சமன்பாடு (6) ஐ எழுதலாம். $g$.ன் வாய்பாட்டை $l, j, s$ என்ற குவாண்டம் எண்களைக் கொண்டும் கூறலாம். $S = \sqrt{s(s+1)}$, $J = \sqrt{j(j+1)}$ , $L = \sqrt{l(l+1)}$ ஆகையால்

$$g = \left(1 + \frac{j(j+1)+s(s+1)-l(l+1)}{2j(j+1)}\right)$$

இப்போது அணு $H$ என்ற சீரான ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். அணு காந்தப்புலத்தின் திசையை அச்சாகக் கொண்டு அச்சுச் சுழற்சியிலீடுபடும். இதனைப் புற அச்சுச்

சுழற்சி (outer precession) என்பர் படம் 41c. இந்த அச்சுச்சுழற்சி பின்வரும் குவான்டக் கட்டுப்பாட்டிற்கு அடங்கி நடைபெறுதல் வேண்டும். $H$-ன் மீது வரையப்படும் $J$-ன் வீழ்ச்சி $+j$ முதல்— வரையிலான அரை எண் மதிப்புகளைத்தான் (half integers) கொள்ளலாம். இத்தகைய அச்சுச் சுழற்சியால் அணுவின் ஆற்றலில் ஏற்படும் சிறிய மாற்றம் வரையறுக்கப்பட்ட பல சீமன் மட்டங்களை உண்டாக்குகிறது. இத்தகைய ஆற்றல் மட்டங்களின் எண்ணிக்கையை விசையியல் திருப்புதிறனுகிய $J\hbar$ என்பது தீர்மானிக்கிறது. இந்த ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியின் அளவினை $H$ம் காந்த திருப்புதிறனுகிய $M_{L,S}$-ம் தீர்மானிக்கின்றன.

## காந்த வினையாக்க ஆற்றல் (Magnetic interaction energy)

$P_j = J\hbar$ என்றும் $M_j = Jg\mu_B$ என்றும் கண்டோம்.

$$\mu_B = \frac{\hbar e}{2m} \quad \text{ஆகையால்}$$

$$M_j = Jg\frac{\hbar e}{2m} \quad P_j = J\hbar \quad \text{ஆகையால்}$$

$$= g.P_j.\ \frac{e}{2m} \quad \text{ஆகும்}$$

எனவே $$\frac{M_j}{P_j} = g\frac{e}{2m} \quad \text{ஆகும்.}$$

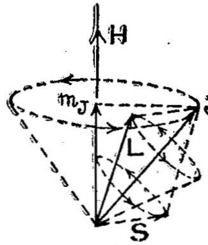
எலெக்ட்ரானின் முரணிய சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறன் காரணமாக $S$ வெக்டர் $L$ வெக்டரைப்போல் இருமடங்கு வேகத்துடன் $H$ ஐச்சுற்றி அச்சுச் சுழற்சி செய்கிறது. புலம் மிகுந்த வலிமையற்றதாக இருக்கையில் $L$ மற்றும் $S$ ஆகியவற்றின் இணைப்பு $J$ மாறுதிருப்பதற்குத் தேவையான ஒரு வலிமை கொண்டதாக இருக்கும். விளைவு வெக்டராகிய $J$, $L$ மற்றும் $S$ என்னும் வெக்டர்களின் கோணத் திசைவேகங்களுக்கு இடைப்பட்ட ஒரு கோணத் திசைவேகத்துடன் அச்சுச்சுழற்சி செய்கிறது. இக்கோணத் திசைவேகம், லார்மர் அச்சுச்சுழற்சி கோணத் திசைவேகத்தைப் (Larma's precessional angular velocity) போல் $g$ மடங்குகளிருக்கும்.

$$\text{அதாவது } \omega = Hg\frac{e}{2m} \quad \because \quad \omega_L = \frac{He}{2m}$$

$J\hbar$ என்னும் விளைவு விசையியல் திருப்புதிறனுக்கு $H$ என்ற சுழற்சி அச்சின் மீது உள்ள கூறு $J\hbar\cos(JH)$ ஆகும். $\Delta\omega$ என்பது அச்சுச் சுழற்சியினால் உண்டாகும் ஆற்றலின் அளவு என்றால் $\Delta\omega$ என்பது $J\hbar\cos(JH)$ ஐ போல் $\omega_L$ மடங்கு இருக்கும்.

$$\Delta\omega = \omega \cdot J\hbar\cos(JH)$$

$$= Hg.\frac{e}{2m} J\hbar\cos(JH)$$




படம் 41c

$$= H \boxed{gJ.\frac{e\hbar}{2m}} \cos JH$$

$$d\omega = H.M_j\cos(JH)$$

இடம் வரையறுத்தல் கொள்கையின்படி $J$ வெக்டர், காந்தப் புலத்தின் திசையின் மீது தன் வீழ்ச்சியாகிய (projection) $m_j$ என்பது $(2J+1)$ மதிப்புகளைப் பெறுவதற்கு ஏற்ற ஒரு நிலையில் அமைந்திருக்கவேண்டும். மேற்கூறிய $(2J+1)$ நிலைகளின் ஆற்றல் வேறுபாடு $d\omega$ ஆகும்.

படம் 41c லிருந்து $\cos(JH) = \frac{m_j}{J}$ ஆகும். எனவே

$d\omega = M_j \cdot H \cdot \frac{m_j}{J}$ இதில் சமன்பாடு (6)-லிருந்து பெற்ற $M_j$ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

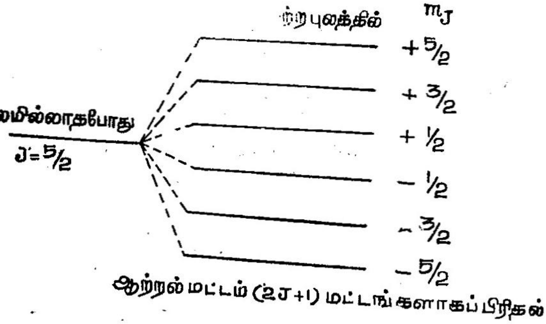
$$d\omega = J\left[1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right]\mu_B \cdot H \cdot \frac{m_j}{J}$$

$$= \left[1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right] \cdot \frac{\hbar e}{2m} \cdot H m_j$$

$$= \left[1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right] \cdot \frac{h}{2\pi} \frac{e}{2m} \cdot H.m_j$$

$$= g.h\nu_L \cdot m_j \qquad (7)$$

இதில் $\nu_L = \frac{eH}{4\pi m}$ என்ற லார்மர் அதிர்வு எண்ணைக் குறிக்கிறது. $m_j$ என்பது $(2J+1)$ எண்ணிக்கையுடைய மதிப்புகளை பெற வேண்டும். ஆகவே ஓர் ஆற்றல் மட்டம் $(2J+1)$ எண்ணிக்கையுடைய துணை ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிரியவேண்டும். (படம் 41d)




படம் 41d

மேலும், இந்த ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே $h\nu_L g$ அளவுடைய இடைவெளியிருக்கும். இதில் '$g$' என்ற லாண்டே காரணி இடம் பெறுவதால்தான் இயல்பு சீமன் விளைவிலிருந்து முரணிய 'சீமன் விளைவு வேறுபட்டு நிற்கிறது.

மேலும் $g = \left[1 + \frac{J^2 + S^2 - L^2}{2J^2}\right]$ என்னும் வாய்ப்பாட்டிலிருந்து $g$-ன் மதிப்பு, $J, S, L$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைச் சார்ந்திருக்கிறது என உணர்கிறோம். இவற்றின் மதிப்புகள் மாறும்போது $g$-ன் மதிப்பும் மாறும். இதனால்தான் முரணிய சீமன் விளைவு உண்டாகிறது.

எலெக்ட்ரானுக்குச் சுழற்சி (Spin) இல்லை என்று கொண்டால் $S = O$ ஆகும். அப்போது

$$g = \left[1 + \frac{J^2 + O^2 - L^2}{2J^2}\right] \quad \text{ஆகும் } J = L + O = L$$

எனவே,
$$g = \left[1 + \frac{L^2 - L^2}{2L^2}\right].$$
$$= 1$$

இப்போது ஆற்றல் மட்ட இடைவெளியாகிய $h\nu_L g$ என்பது $h\nu_L$ என்றாகும். இது இயல்பு சீமன் விளைவில் காணும் இடை

வெளிக்குச் சமமாகும். ஆகவே எலெக்ட்ரானின் சுழற்சியும், லாண்டே காரணியும் இல்லாமல் முரணிய சீமன் விளைவுக்கு விளக்கம் தர இயலாது என அறிகிறோம்.

முரணிய சீமன் விளைவுபற்றிய கொள்கையைப் பின்வரும் ஏதாவது ஒரு முறையில் சோதித்து அறியலாம்.

(1) சோடியம் D வரிகள் போன்ற சில வரிகளில் ஏற்படும் முரணிய சீமன் விளைவினை ஆராய்வது.

(2) $g$ பற்றிய வாய்பாட்டினைச் செய்முறை மூலம் சோதித்துச் சரிபார்ப்பது.

மேலே குறிப்பிட்டது போல $S=0$ ஆகும்போது $J$, $L$ ஆவதால்

$g = 1$ ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டாக, இரு சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட $Zn$ சாதாரணமாக ஒற்றைவரி அமைப்புகளையும், (Singlets), மூவரி (triplets) அமைப்புகளையும் தருகிறது. $Zn$-ன் ஒற்றைவரி அமைப்பு எவ்வளவு குறைந்த வலிமையுடைய காந்தப் புலத்திலும் இயல்பு சீமன் விளைவு மட்டுமே தருகிறது. இந்நிலையில் இதன் $g=1$ ஆக இருப்பதுதான் இதற்கான காரணமாகும்.

$^1S_0$, $^3P_0$ என்ற நிலைகளை எடுத்துக்கொண்டால் இவற்றிற்கு $J=O$, ஆகையால் $m_j=O$ ஆகும். ஆகவே $dE=0$ இதிலிருந்து ஆற்றல் மட்டங்கள் பிரியாது என அறிகிறோம். இவற்றிற்கு $g=\%$ ஆகும். அதாவது தீர்மானிக்க இயலாது.

## சோடியத்தின் $D_1$ மற்றும் $D_2$ வரிகளில் ஏற்படும் முரணிய சீமன் விளைவை ஆய்தல்

சோடியம் ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்புக் கொண்டது. எனவே, அதன் முதன்மைத் தொடரில் (Principal Series) உள்ள $D$ வரி புறப்புலம் இல்லாத போதே இருகூறுகளாக (5896A° 5890A°) பிரிந்து காணப்படுகிறது. இப்பிரிவு அணுவின் உள்ளே நடைபெறும் அக அச்சுச் சுழற்சி காரணமாக ஏற்படுகிறது. $D_1$ வரி $P_{1/2} \rightarrow S_{1/2}$ தாவலினாலும் $D_2$ வரி $P_{3/2}$ $S_{1/2}$ தாவலினாலும் ஏற்படுகின்றன. $D_1$ மற்றும் $D_2$ வரிகள் தோன்றுவதற்குக் காரணமான ஆற்றல் மட்டங்கள் மூன்று. அவையாவன: $P_{3/2}$, $P_{1/2}$, $S_{1/2}$ என்பன.

முரணிய சீமன் விளைவுக் கொள்கையின்படி இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒவ்வொன்றும் பல துணை மட்டங்களாகப் பிரிகின்றன. புலம் இல்லாதபோது அம்மட்டங்களுக்கிருக்கும் ஆற்றலின் அளவிற்கும், $H$ என்ற புறப்புலம் செயற்படும்போது அம்மட்டங் களுக்கு உண்டாகும். ஆற்றலின் அளவுக்கும் உள்ள வேறுபாட்டை $d\,\omega = \frac{e\,h}{4\pi m}.\ H.\ g.\ m_j$ என்ற சமன்பாடு தருகிறது. இச்சமன்பாட்டில் $\frac{eh}{4\pi m}$ என்பது போர் மேக்னடஞகிய $\mu_B$ என அறியலாம். ஆகவே

$$d\,\omega = \mu_B\, H\, g\, m_j$$

$\mu_B\ H$ என்பது இயல்பு சீமன் விளைவில் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டைக் குறிக்கிறது. இது லொரென்ட்ஸ் அலகு (Lorentz unit) என்று வழங்கப்படுகிறது. எனவே $d\,\omega = g.\ m_j$ லொரென்ட்ஸ் அலகுகள் இங்கு $g.\ m_j$ என்பது **பிரிவினைக் கூறு** (Splitting factor) என்று வழங்கப்படுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியில் பங்குகொள்கின்ற $g$ மற்றும் $m_j$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை அறிந்து அதன் வழியே அவற்றின் பிரிவினைக் கூறை அறியலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக, $P_{3/2}$ என்ற ஆற்றல் மட்டத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். இதற்கு $L = 1$, $S = 1/2$ ஆகும் ஆகவே $J = 3/2$ ஆகும்.

$$g = \left[ 1 + \frac{J^2 + S^2 - L^2}{2J^2} \right]$$

பழைய குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் அமைந்த வாய்பாடு ஆகும். புதிய அலை விசையியல் (wave mechanics) கொள்கையின்படி $g$-ன் மதிப்பைப் பெறுவதற்கு $L^2$ என்பதை $l\,(l+1)$ என்றும் $J^2 = j\ (j+1)$, $S^2 = s\ (s+1)$ என்றும் பதிலீடு செய்யவேண்டும்.

$$g = \left[ 1 + \frac{j(j+1)}{2j(j+1)} + \frac{s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \right]$$

$$= \left[ 1 + \tfrac{1}{2} + \frac{s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \right]$$

$$= 1 + \tfrac{1}{2} + \frac{\tfrac{1}{2}(3/2) - 1(2)}{2.\,3/2\,(5/2)}$$

$$= 3/2 - 1/6$$

$$g = 4/3$$ ஆகும்.

$m_j$ என்பது $(2J+1)$ மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும் என்பதும் அம்மதிப்புகளுக்கு இடையே உள்ள வித்தியாசம் ஒன்ருகும், என்றும் அறிவோம். அதாவது $m_j$-ன் மதிப்பு $+{}^3/_2, +{}^1/_2, -{}^1/_2, -{}^3/_2$ என்ற நான்கு அளவுகளைப் பெற்றிருக்கும்.

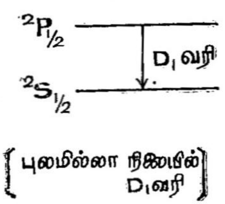
ஆகவே பிரிவினைக் கூறுகிய $gm_j$-என்பது

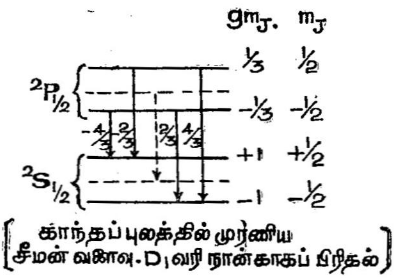
$4/3 \times 3/2, \quad 4/3 \times 1/2, \quad 4/3 \times (-1/2), \quad 4/3(-3/2)$

அதாவது $2, \ 2/3, -2/3$ மற்றும் $+2$ லொரென்ட்ஸ் அலகுடைய நான்கு மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும். இவ்வாறே $P_{1/2}$, $S_1/_2$ என்ற நிலைகளுக்குரிய $g$ மற்றும் $gm_j$ ஆகியவற்றைக் கணிக்கலாம்.

$D_1$ வரி $P_{1/2} \rightarrow S_{1/2}$ தாவலினுல் ஏற்படுகிறது. காந்தப்புலத்தில் இந்நிலைகள் ஒவ்வொன்றும் பலதுணை நிலைகளாகப் பிரிந்துவிட்டன. $P_1/_2$-என்னும் நிலை $gm_j = +1/3, -1/3$ ஆக உடைய இரு துணை நிலைகளாகப் பிரியும். இவ்வாறே $S_1/_2$ என்ற நிலையும் $gm_j = +1, -1$ ஆக உடைய இரு நிலைகளாகும்.

$\triangle m_j = 0$ அல்லது $\pm 1$ ஆக இருக்கவேண்டும் என்ற தேர்வு விதியின்படி இந்தத் துணை நிலைகளுக்கு இடையே நான்குவிதமான தாவல்கள் நடைபெற இயலும். இதைப் படம் 42 காட்டுகிறது.




படம் : 42

படத்தில் $D_1$ வரி காந்தப்புலத்தில் நான்கு கூறுகளாகப் பிரிவதும், இவ்வரிகள் தாய்வரியிலிருந்து (புள்ளிக் கோட்டால் தாய்வரி காட்டப்பட்டிருக்கிறது) சமச்சீரமைவுடன் அமைந்திருப்பதும் தெரிகிறது. தாய்வரியிலிருந்து அவற்றின் தூரங்கள் முறையே $-\frac{4}{3}, -\frac{2}{3}, +\frac{2}{3}, +\frac{4}{3}$ லொரென்ட்ஸ் அலகுகள்

## அட்டவணை

இரட்டை வரிகளுக்கான லாண்டே காரணியாகிய g-ம், பிரிவினைக் கூறுகிய $gm_j$-ம் தரப்பட்டிருக்கின்றன.

| $l$ | நிலை | $g$ | $m_j$ | $gm_j$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | $^2S_{\frac{1}{2}}$ | 2 | $\pm\frac{1}{2}$ | $\pm 1$ |
| 1 | $^2P_{\frac{1}{2}}$ | 2/3 | $\pm\frac{1}{2}$ | $\pm 1/3$ |
| 1 | $^2P_{3/2}$ | 4/3 | $\pm 3/2$<br>$\pm\frac{1}{2}$ | $\pm 2$<br>$\pm 2/3$ |
| 2<br>2 | $^2D_{3/2}$<br>$^2D_{5/2}$ | 4/5<br>6/5 | $\pm 3/2, \pm\frac{1}{2}$<br>$\pm\frac{1}{2}, \pm 3/2, \pm 5/2$ | $\pm 6/5, \pm 2/5$<br>$\pm 3/5, \pm 9/5$ $\pm 15/5$ |
| 3 | $^2F_{5/2}$<br>$^3F_{7/2}$ | 6/7<br>8/7 | $\pm\frac{1}{2}, \pm 3/2, \pm 5/2$<br>$\pm\frac{1}{2}, \pm 3/2$ $\pm 5/2, \pm 7/2$ | $\pm 3/7, \pm 9/7,$ $\pm 15/7$<br>$\pm 4/7, \pm 12/7$ $\pm 20/7, \pm 28/7$ |

ஆகும். தாய்வரிக்கு பக்கத்திலிருக்கும் வரிகள் $\Delta m_j = 0$ என்ற தேர்வு விதிக்கு உட்பட்டு நடைபெறுகின்றன. இவ்வரிகளை π கூறுகள் என்பர். இவை புலத்தின் திசைக்கு இணையாகத் தளவிளைவுற்று (polarised) இருக்கின்றன. எனவே, புலத்திற்குக் குறுக்காகக் காணும்போது மட்டுமே இவைத் தெரிகின்றன. மற்ற இரு கூறுகளுக்கும் $\Delta m_j = \pm 1$ ஆக இருப்பதைக் காணலாம். இவற்றை

$\sigma$ கூறுகள் என்பர். இவை புலத்தின் திசைக்குச் **செங்குத்தான திசையில் சமதள விளைவுற்றிருக்கின்றன.** இதனால் குறுக்காக நோக்கும் போது தெரிகின்றன. நெடுக்காக நோக்கும் போது வட்டத் தள விளைவுற்றிருப்பதால் அந்த நிலையிலும் காணப்படுகின்றன.

தள விளைவு விதிகளைப் பின்வருமாறு கூறலாம்.

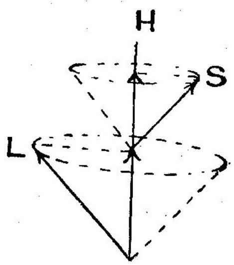
| | |
|---|---|
| புலத்திற்குச் செங்குத்தாகப் பார்க்கையில் | $\Delta m_j = \pm 1$ சமதளவிளைவு $\perp r\ H$, $\sigma$ கூறு<br>$\Delta m_j\ 0$ சமதளவிளைவு $\Pi \frac{l}{-} H$, $\pi$ கூறு |
| புலத்திற்கு இணையாகப் பார்க்கையில் | $\Delta m_j = \pm 1$ வட்டத் தள விளைவு $\sigma$ கூறு<br>$\Delta m_j = 0$ தெரியாது. $\pi$ கூறு |

இவ்வாறே $^2P_{3/2}$ மட்டத்திலிருந்து $^2S_{1/2}$ மட்டத்திற்கு எலெக்ட்ரான் தாவும் போது $D_2$ வரி உண்டாகிறது. காந்தப்புலத்தில் $^2P_{3/2}$ மட்டம் நான்கு துணை மட்டங்களாகவும், $^2S_{1/2}$ மட்டம் இரண்டு துணை மட்டங்களாகவும் பிரிகின்றன. இவற்றிற்கு இடையே எட்டு 'விதமான தாவல்களுக்கு இடமிருப்பினும், $\Delta m_j = 0$, $\Delta m_j = \pm 1$ என்ற தேர்வு விதியின் காரணமாக 6 விதத் தாவல்கள் மட்டுமே நடைபெறுகின்றன. ஆகவே $D_2$ வரி 6 கூறுகளாகப் பிரிகின்றது. இதற்கான ஆற்றல் மட்டப்படம் வரைவதும், அவ்வரிகளின் இடத்தை நிர்ணயிக்கின்ற செயலும் படிப்போர்க்குப் பயிற்சியாக விடப்பட்டிருக்கின்றன. கொடுக்கப் பட்டிருக்கும் அட்டவணையைப் பயன்படுத்தி $gm_j$, $m_j$ மதிப்புகளை அறியலாம்.

## பாஷென் - பாக் விளைவு (Pashen-Back effect)

குறிப்பிட்ட நிறமாலை வரித் தொகுப்பின் சீமன் வரி அமைப்பு, வலிவற்ற காந்தப்புலத்தில் எவ்வாறு இருந்தபோதிலும், வலிமை மிக்க காந்தப்புலத்தில், அது மூவ்வரி (triplet) அமைப்பாகவே காணப்படும் என்பதைப் பாஷென் மற்றும் பாக் என்பவர்கள் கண்டறிந்தனர். இந்நிகழ்ச்சி பாஷென் - பாக் விளைவு எனப்படும். வலிவற்ற காந்தப்புலத்திலுள்ள அணு புலத்தின் திசையில் எவ்வாறு முழுமையாக வரையறுக்கப்படுகிறது என்பதை முரணிய சீமன் விளைவு என்ற தலைப்பின்கீழ்க் கண்டோம். காந்தப்புலம் சிறிது சிறிதாக வலுவாக்கப்பட்டால் $J$, $H$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள வினையாக்க ஆற்றல் (interaction energy)

அதிகரித்துக் கொண்டே சென்று $L$, $S$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள இணைப்பை உடைத்துவிடுகிறது. இதனால் $J$ஐச் சுற்றிச் சீராக நடைபெற்ற அச்சுச் சுழற்சி, சீரற்றதாக மாறிவிடுகிறது. இப்போது காந்தத் திருப்புதிறனின் செங்குத்துக் கூறுகிய $M_{\perp}$ என்பதைக் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டியதாகிவிடுகிறது. அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனாகிய $M$ஐ அதன் இணைக் கூறுகிய $M_J$க்குச் சமமாகக் கொள்ள இயலாது. இந்நிலையில் காந்தப் புலத்தின் வலிமை மேலும் அதிகரிக்கப்பட்டால் $L$, $S$ வெக்டர்களுக்கு இடையே உள்ள பிணைப்பு விட்டுப்போகிறது. ஆகவே, அவை தனித்தனியே, புலத்தின் திசையை அச்சாகக் கொண்டு அச்சுச் சுழற்சி செய்கின்றன. (படம் 43)




படம் 43

(பாஷென் - பாக் விளைவு காட்டும் வெக்டர் படம்)

இப்போது ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றம் இரு நிகழ்ச்சிகளின் அடிப்படையில் ஏற்படுகிறது, (1) $H$ஐ அச்சாகக் கொண்டு நடைபெறும் $L$-ன் அச்சுச் சுழற்சி, மற்றும் (2) $H$ஐ அச்சாகக் கொண்டு நடைபெறும் அச்சுச் சுழற்சி.

$d\omega$ என்பது மொத்த ஆற்றல் மாற்றத்தையும் $(d\omega)_L$ என்பது $L$-ன் அச்சுச் சுழற்சியாலும் $(d\omega)_s$ என்பது $S$-ன் அச்சுச் சுழற்சியாலும் ஏற்படும் மாற்றங்கள் என்றும் கொள்வோம்.

$$d\omega = (d\omega)_L + (d\omega)_s$$

$$= M_L \, H \cos (LH) + M_s \, H \cos (SH)$$

$$= \frac{e \hbar H}{2m} \left( m_L + 2m_s \right)$$

இங்கு $(m_L+2m_s)$ என்பது **வன்புல குவான்டம் எண்** (Strong-field quantum number) என வழங்கப்படுகிறது. $m_L$ என்பது முழு எண் பதிப்புகளை மட்டுமே கொள்ள முடியும். $m_s$ என்பது முழு எண் மதிப்புகளையோ அரை எண் மதிப்புகளையோ கொள்ளலாம். ஆகவே $m_L+2m_s$ என்பது முழுஎண் மதிப்புகளையே கொண்டிருக்கும் என அறியலாம்.

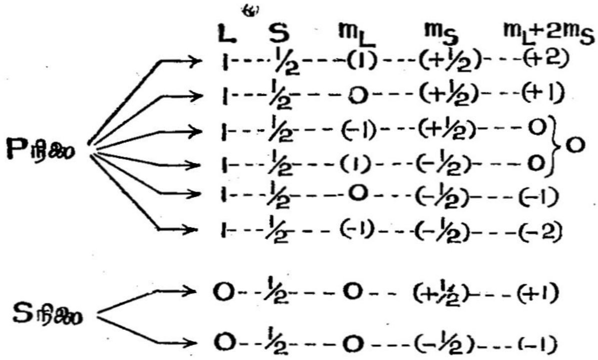
தாவலின் போது $S$ என்பது மாறுது. ஆகவே, அதிலிருந்து கிடைக்கும் $m_s$-ம் மாற இடமில்லை. ஆகவே $(m_L+2m_s)$ என்ற குவான்டம் எண்ணின் மதிப்பு $m_L$-ன் மாற்றத்தினுல் ஏற்படுவதே ஆகும். தேர்வு விதியின்படி $\Delta m_L$ என்பது $O$ அல்லது $\pm 1$ ஆகவே இருக்கமுடியும். ஆகவே, வலிய காந்தப்புலத்தில் ஒரு நிறமாலை வரி மூன்று கூறுகளாக மட்டுமே பிரியமுடியும். அவ்வரிகளுக்கு இடையே உள்ள ஆற்றல் மட்ட வேறுபாடு $\frac{e\hbar}{2m}H$ ஆகும். இது இயல்பு சீமன் விளைவில் கண்ட ஆற்றல் இடைவெளிக்குச் சமமாக இருப்பதை அறியலாம்.

லிதியத்தின் முதன்மைத் தொடர் வரிகளை எடுத்துக்கொண்டு இதனை விளக்குவோம். இதில் உள்ள நுண்வரி அமைப்பு சோடியத் திலுள்ளது போலவே இரட்டைவரி அமைப்பு ஆகும். இந்த வரிகள் $P_{3/2}\rightarrow S_{1/2}$, $P_{1/2}\rightarrow S_{1/2}$ என்ற மாற்றங்களினுல் ஏற்படுபவை.

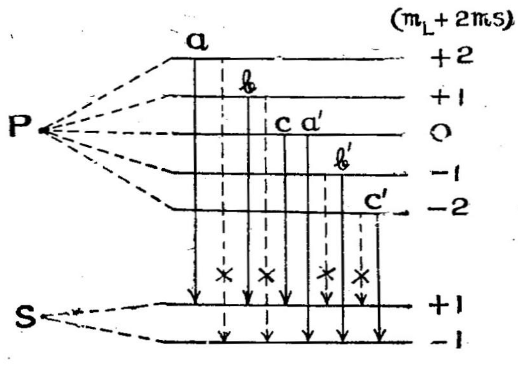
புலமற்ற இடத்தில் அணுவின் $P$ நிலையில் அதன் $J$ மதிப்பு $L\pm S$ ஆகும். $L=1$ ஆகையால் $J={}^3/_2$ அல்லது ${}^1/_2$ ஆகும். வலிமை மிக்க காந்தப்புலத்தில் $L, S$ ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள இணைப்பு உடைந்துவிடுவதால் $P_{3/2}$, $P_{1/2}$ என்ற துணை நிலைகளுக்கு இடமில்லாமற் போய்விடுகிறது. இந்நிலையில் வன்புல குவான்டம் எண் இடம் பெறுவதால் அடியிற் காட்டியுள்ளவாறு $P$நிலை ஐந்து துணை நிலைகளாகவும், $S$ நிலை இரண்டு துணை நிலைகளாகவும் பிரிகின்றன.

$P$ நிலையிலுள்ள ஐந்து துணை மட்டங்களிலிருந்து $S$ நிலையின் இரு துணை மட்டங்களுக்குப் பத்துவிதங்களில் தாவல் ஏற்பட இடமுண்டு என்ருலும் $\Delta\ (m_L+2m_s)=O$ அல்லது $\pm 1$ ஆக இருத்தல் வேண்டும் என்ற தேர்வு விதியின்படி நான்கு தாவல்கள் மறுக்கப்பட்டுவிடுகின்றன. மீதியுள்ள ஆறுவரிகள் ஒன்றேடொன்று ஒன்றிவிடுகின்ற மூன்று ஜோடிகளாகி விடுகின்றன. எனவே, மூன்று வரிகள் மட்டுமே காணப்படுகின்றன. இவ்வாறு இருவரிகள் ஒன்றி ஒன்ருகத் தோன்றுவதற்குக் காரணம் அவற்றின் வன்புலக் குவான்டம் எண் சமமாக இருப்பதுதான். இம்மாற்றங்களையும்

மறுக்கப்பட்ட வரிகளையும் பின்வரும் ஆற்றல் மட்டப்படம் விளக்குகிறது. (படம் 44)




படம் 43a

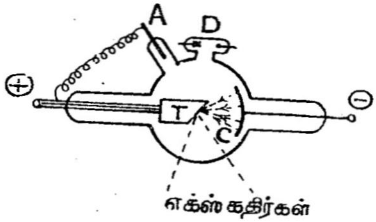



படம்: 44

மறுக்கப்பட்ட வரிகள் புள்ளிக்கோட்டால் குறிக்கப்பட்டுத் தப்புக்குறி (×) போடப்பட்டிருக்கின்றன. $(a,a')$, $(b,b')$, $(c,c')$ ஜோடிகளுக்கு $\Delta(m_L+2m_s)$ என்பது சமமாக இருப்பதால் அந்த ஜோடிகள் ஒன்றுகின்றன. இவ்வரிகளுக்கு இடையிலுள்ள இடைவெளி இயல்பு சீமன் விளைவு வரிகளின் இடைவெளிக்குச் சமமாக இருக்கும் முரணிய சீமன் விளைவு இயல்பு சீமன் விளைவாக மாறுகின்ற கட்டத்தில் பாஷென்-பாக் விளைவு என்று பெயர் பெறுகிறது.

## 9. எக்ஸ்-கதிர்கள் (X-Rays)

புதுமைப் பௌதிகத்தின் புகழ்மிக்க வரலாற்றில் எக்ஸ்-கதிர்களின் தற்செயலான கண்டுபிடிப்பு ஒரு முக்கியமான நிகழ்ச்சியாகும். 1895-ஆம் ஆண்டில் ரென்ட்கன் (Rontgen) என்ற ஜெர்மானிய மேதை குரூக்ஸ் குழாயில் மின்னிறக்க ஆய்வுகள் நடத்திக் கொண்டிருந்தபோது அருகிலிருந்த பேரியம் பிளாட்டினோ சையனைட் படிகங்கள் மிகப் பொலிவுடன் ஒளிரக் கண்டார். மின்னிறக்கக் குழாயைத் தடித்த கறுப்புக் காகிதத்தால் மூடிய பின்னரும், மிகத் தொலைவில் வைக்கப்பட்டிருந்த பேரியம் பிளாட்டினோ சையனைட்திரை ஒளிரக் கண்டார். மின்னிறக்கக் குழாய் செயற்படுவது நின்றவுடன், திரையில் ஒளிர்தலும் நின்றுவிட்டது. இதிலிருந்து மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து கண்ணுக்குப் புலனாகாத, மிகுந்த ஊடுருவுதிறன் கொண்ட, இதுவரை அறிந்திராத ஒருவகைப் புதிய கதிர்கள் மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து வெளி வந்திருக்க வேண்டும் என எண்ணினார். இப்புதிய கதிர்களின் இயல்பு தெரியாத காரணத்தினால் **எக்ஸ்-கதிர்கள்** (X-Rays) என்று பெயரிட்டார். இக்கதிர்களை **ரென்ட்கன் கதிர்கள்** (Rontgen Rays) என வழங்குவது உண்டு. தொடர்ந்து செய்த சோதனைகளிலிருந்து மின்னிறக்கக் குழாயில் உண்டாகும் எதிர்மின் கதிர்கள் குழாயின் கண்ணாடிச் சுவரில் மோதுகின்ற இடத்திலிருந்து இக்கதிர்கள் தோன்றுகின்றன என அறிந்தார்.




(படம் 45)

### எக்ஸ்-கதிர்களைத் தோற்றுவித்தல்

ரென்ட்கன் எக்ஸ்-கதிர்களைக் கண்டுபிடித்த சிறிது நாட்களுக்குள்ளாகவே விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் திடீரென தடுத்து நிறுத்தப்பட்டால் எக்ஸ்-கதிர்கள் தோன்றுகின்றன என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. இந்த உண்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டு எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய்கள் உருவாக்கப்பட்டன. இவற்றுள்

**வாயுக்குழாய்** (gas tube), **கூலிட்ஜ் குழாய்** (Coolidge tube), மற்றும் அண்மைக்காலத்தில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட **பீட்டாட்ரான்** (**Betatron**) ஆகியவை முக்கியமான சில எக்ஸ்-கதிர் தோற்றுவாய்களாகும்,

## வாயுக்குழாய் (Gas tube)

இது அமைப்பில் எதிர்மின்கதிர்களைத் தருவதற்கு ஏற்ற ஒரு மின்னிறக்கக் குழாய் போன்றதே ஆகும். பெருமளவு வாயு நீக்கஞ் செய்யப்பட்ட கண்ணாடிக் குமிழினுள் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் (படம் 45) அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்ட குழிந்த *C* என்னும் எதிர்மின்முனையும், அதற்கு எதிரே டங்ஸ்டன் அல்லது மாலுபெடீனம் போன்ற கெட்டியான உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட இலக்கு (target) ஒன்றும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இலக்கின் முகம், குழிந்த எதிர்மின்முனையின் வளைவு மையத்தில் (centre of curvature) இருக்குமாறும், குழாயின் அச்சிலிருந்து 45° சாய்ந்திருக்குமாறும் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. *A* என்ற நேர் முனை பக்கக்குழாய் ஒன்றில் வைக்கப்பட்டு, குழாய்க்கு வெளிப் பக்கமாக இலக்குடன் மின்னிணைப்புத் தரப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் சீரான மின்னிறக்கம் ஏற்படுகிறது. மின்முனைகளுக்கிடையே ஏறக்குறைய 30,000 வோல்ட் அளவுடைய மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. குழாயினுள் ·001 மி·மீ அழுத்தம் நிலவுகிறது.

குழிந்த அலுமினிய எதிர்மின்முனையிலிருந்து அதன் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள், மின்முனைகளுக்கு இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு காரணமாக பெருமுடுக்கமுற்று விரைந்து சென்று எதிர்முனையின் வளைவு மையத்தில் குவிகின்றன. அங்கு வைக்கப்பட்டிருக்கும் இலக்கின் மீது மோதுகின்ற இந்த எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கினால் தடுத்து நிறுத்தப்படுகின்றன. இதனால் *T* என்ற இலக்கிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிவருகின்றன.

இக்குழாய் தொடர்ந்து நீண்டநேரம் வேலை செய்ய நேரிடும் போது குழாயினுள் எஞ்சியிருக்கும் வாயுவின் அழுத்தம் குறைந்து விடுகிறது. எனவே, கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் நடைபெற முடியாமற் போய்விடுகிறது. மின்னிறக்கம் நடைபெற்றால்தான் எதிர்மின் கதிர்கள் உண்டாகும். அவை இலக்கில் மோதினால்தான் எக்ஸ்-கதிர்கள் தோன்றமுடியும். ஆகவே, எக்ஸ்-கதிர்கள் உண்டாக்குவதை நிறுத்திவிடுகிறது. மீண்டும் மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்தி எக்ஸ்-கதிர்களைத்

தோற்றுவிப்பதற்குப் பின்வரும் இருமுறைகளில் ஏதாவது ஒன்றைச் செய்யலாம். குறைந்த அழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் நடைபெறுவதற்குத் தேவையான உயர்ந்த மின்னழுத்தத்தைத் தரலாம் அல்லது இதே மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் ஏற்படுவதற்கு ஏற்றவாறு குழாயினுள் வாயு அழுத்தத்தை மீண்டும் ·001 மி.மீ அளவுக்கு உயர்த்தலாம்.

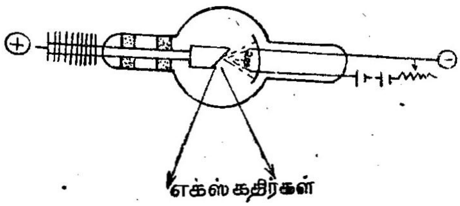
உயர்ந்த மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்து மீண்டும் மின்னிறக்கம் நடைபெறச் செய்தால் தோன்றுகின்ற எக்ஸ்-கதிர்களின் ஊடுருவு திறன் அதிகமாகிவிடும். அதிக ஊடுருவு திறன் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்களை **கடின எக்ஸ் கதிர்கள்** (hard X Rays) என்கிறோம்.

வாயு அழுத்தத்தை மீண்டும் ·001 மி. மீ என்ற அளவுக்குக் கொண்டு வந்து பழைய மின்னழுத்தத்திலேயே மின்னிறக்கம் நடைபெறச் செய்வதற்குப் பின்வரும் முறை கையாளப்படுகிறது. குழாயின் மேல் பக்கத்தில் *(D)* இரு சிறிய மின்முனைகள் இருப்பதைக் கவனியுங்கள். இவை வாயுவை விழுங்கி வைத்திருக்கும் மின் முனைகளாகும். அவை சூடாகும்போது விழுங்கி வைத்திருக்கும் வாயுவை உமிழ்ந்து விடுகின்றன. குழாய் செயற்படுவது நின்றவுடன், மேற்கூறிய சிறிய மின்முனைகளுக்கிடையே மின்னிறக்கம் நடைபெறச்செய்தால் அவை சூடாகி வாயுவை வெளியிடுகின்றன. இவ்வாறு வெளிவிடப்பட்ட வாயு குழாயினுள் நிலவும் வாயு அழுத்தத்தை அதிகரிப்பதால் மீண்டும் மின்னிறக்கம் நடைபெற எக்ஸ்-கதிர்கள் தோன்ற ஆரம்பிக்கின்றன. கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தில் எக்ஸ்-கதிர்க்குழாய் செயற்படுவது நின்றுபோனால் குழாய் கடினமாகிவிட்டது (hard) என்றும், வாயு அழுத்தம் அதிகரித்தவுடன் அது மீண்டும் செயற்படத் தொடங்கும்போது குழாய் மிருதுவாகிவிட்டது (Soft) என்றும் கூறுகிறோம்.

வாயுக்குழாயிலிருந்து வெளிவருகின்ற எக்ஸ்கதிர்களின் அளவு, இலக்கில் மோதுகின்ற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், ஊடுருவுதிறன், மின்னிறக்கம் செய்கின்ற மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பினையும் பொறுத்து இருக்கின்றன. எக்ஸ்-கதிரின் அளவும், ஊடுருவுதிறனும் சீராக இருக்கவேண்டுமென்றால் வாயுக்குழாயினுள் நிலவும் வாயு அழுத்தம் மாறாமல் சீராக இருக்கவேண்டும். இது முடியாத செயல். எனவே, வாயுக்குழாய் தரும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அளவையும், ஊடுருவு திறனையும் கட்டுப்படுத்த இயலாது.

## கூலிட்ஜ் குழாய் (Coolidge Tube)

டாக்டர் கூலிட்ஜ் என்பார் இக்குழாயினை 1915 ஆம் ஆண்டு உருவாக்கினார். இதில் வெப்ப அயனி வெளியீட்டு முறையில் எலெக்ட்ரான்கள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இம்முறையில் தோன்றும் எலெக்டரான்களின் எண்ணிக்கை அவற்றை உமிழும் இழையின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது ஆதலின் அதன் வெப்ப நிலையைத் தக்கவாறு மாற்றி தேவையான எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்கிக் கொள்ளலாம். ஆகவே, எக்ஸ்-கதிர்களின் அளவு எளிதில் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. குழாயினுள் நிலவும் வாயு அழுத்தம் முடிந்த அளவுக்குக் குறைக்கப்பட்டுவிடுகிறது. இங்கு மின்னிறக்கம் காரணமாக எலெக்ட்ரான் கதிர்கள் உண்டாவது இல்லை ஆதலால் வாயுவின் அழுத்தம் பற்றிய பிரச்சினையே இங்கு இல்லை. கடின எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்க விரும்பினால் மின்னழுத் தத்தின் அளவை அதிகரித்தால் போதும். மிருது எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்க மின்னழுத்தத்தைக் குறைத்தால் போதும், இவ்வாறு கூலிட்ஜ் குழாயில் மிக எளிய முறையில் எக்ஸ்-கதிர்களின் அளவும், ஊடுருவுதிறனும் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன.




படம் 46

கூலிட்ஜ் குழாய் (படம் 46) கோளவடிவமான மையப்பகுதி யையும், பக்கத்திற்கு ஒன்றாய் அமைந்த இரு ஓரச்சுக் குழாய்களையும் கொண்டிருக்கிறது. ஒரு குழாய்க்குள் மின்னோட்டத்தினால் சூடாக்கப்படும் **தோரியடங்ஸ்டன் இழை** (Thoriated tongston filament) ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இழை குழிந்த உலோகக்கிண்ணம் ஒன்றுக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் இழையிலிருந்து வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள், கிண்ணத்தின் வளைவு மையத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் இலக்கின்மீது குவிகின்றன. மற்றக் குழாயினுள் ஒரு தடித்த செப்புத்தண்டும் அதன் முனையில் கெட்டியான டங்ஸ்டன் இலக்கும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இலக்கின் முகம் முன்பு கூறியது போலவே 45° சாய்த்து வெட்டப் பட்டுக் கிண்ணத்தின் வளைவு மையத்தில் அமைந்திருக்கிறது.

குழாய்க்கு வெளியே நீட்டிக்கொண்டிருக்கும் செப்புத்தண்டில் பல உலோகத்தகடுகள் பொருத்தப்பட்டுக் கருப்பு நிறம் பூசப்பட்டு இருக்கின்றன. இவை வால் செதில்கள் (fins) எனப்படுகின்றன. மின்முனைகளுக்கு இடையே 50 000 முதல் 2,00,000 வோல்ட் வரையிலான மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது.

தோரியடங்ஸ்டன் இழை வழியாகத் தகுந்த மின்னேட்டத்தைச் செலுத்தி தேவையான அளவுடைய எலெக்ட்ரான்கள் உண்டாக்கப் படுகின்றன. இவை இலக்கு நோக்கி முடுக்கப்பட்டு, விரைந்து சென்று அதன் மீது மோதுகின்றன. இலக்கு அவைகளைத் தடுத்து நிறுத்துவதால் எக்ஸ்-கதிர்கள் உண்டாகின்றன.

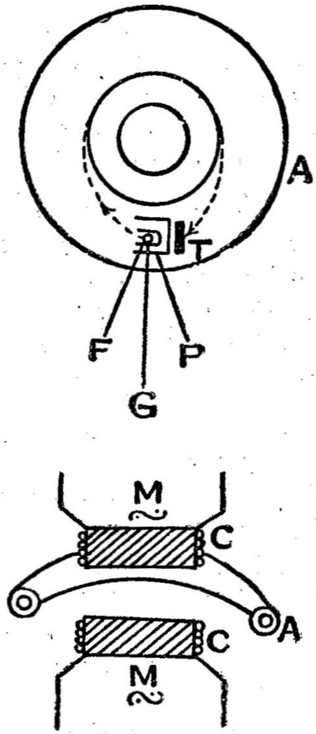
டங்ஸ்டன் இழையில் பாயும் மின்னேட்டத்தை அதிகரித்து அதன் வெப்பநிலையை உயர்த்தினல் அது உமிழும் எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும். அதிக எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கின்மீது மோதுவதால் அதிகச்செறிவுடைய எக்ஸ்-கதிர்கள் கிடைக்கும். இழையில் பாயும் மின்னேட்டத்தைக் குறைத்தால் வெப்ப நிலை குறைந்து உமிழப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் குறைவதால் வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவும் குறையும். நேர்மின்முனை மற்றும் எதிர்மின்முனை ஆகியவற்றிற்கு இடையிலுள்ள மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்போது ஊடுருவுதிறன் மிகுந்த எக்ஸ்-கதிர்களும், குறையும்போது குறைந்த ஊடுருவுதிறன் கொண்ட எக்ஸ் கதிர்களும் தோன்றுகின்றன.

## பீட்டாட்ரான் (Betatron)

மேற்கூறிய இருமுறைகளிலும் மின்முனைகளுக்கு இடையிலுள்ள உயர்ந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு காரணமாக எலெக்ட்ரான்கள் முடுக்கமுற்று ஆற்றலை அதிகரித்துக் கொள்ளுகின்றன. ஆனல், இப்புதிய முறையில் துகள் முடுக்கிகளுள் (particle accelerators) ஒன்றான சைக்ளோட்ரான் அமைப்பில் உள்ளது போல் ஒத்திசைவு முடுக்கம் (Resonance acceleration) என்ற முறையின் அடிப்படையில் எலெக்ட்ரான்களுக்கு முடுக்கம் தரப்படுகிறது.

(படம் 47) இதில் வட்டவடிவுடைய ஒரு வெற்றிடக்குழாய் இருக்கிறது, அது ஆற்றல் மிகுந்த மின்காந்த முனைத்துண்டுகளுக் கிடையே வைக்கப்பட்டிருக்கிறது இம்மின்காந்தம் மிக உயர்ந்த மின்னழுத்தமும், தக்கவாறு சீர்செய்யப்பட்ட அதிர்வு எண்ணும் கொண்ட இருதிசை மின்னேட்டத்தால் (A·C) இயக்கப்படுகிறது. வெற்றிடக்குழாயினுள் அமைக்கப்பட்டிருக்கும் *F* என்ற இழை

வெப்ப அயனி வெளியீட்டு முறையில் எலெக்ட்ரான்களை உண்டாக்குகிறது. இவ்வாறு உண்டான எலெக்ட்ரான்கள் G என்ற கம்பிவலை அமைப்பால் (Grid) குவிக்கப்படுகின்றன. கம்பிவலையைச் சுற்றி ஒரு காப்புத்தகடு (Shield) அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. [P]




படம் 47

காப்புத்தகட்டிற்கும் இழைக்குமிடையே உயர்ந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு நிலவச்செய்தால், எலெக்ட்ரான்கள் மிக விரைவாக வெற்றிடக் குழாயினுள் செலுத்தப்படும். மின்காந்தம் இருதிசை மின்னோட்டத்தால் இயக்கப்படுவதால் அதுவும் இருதிசையியல்பு கொண்டிருக்கும். எனவே, அப்புலத்தில் இயங்கும் எலெக்ட்ரான்கள் பின்வரும் இரு விளைவுகளுக்கு உள்ளாகின்றன. எலெக்ட்ரான் இயங்கும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் இயங்கும் காந்தப்புலம் எலெக்ட்ரானின் மீது ஓர் ஆரவழி விசையைக்

(radial force) கொடுத்து அதை வட்டப்பாதையில் இயங்கச் செய்கிறது. மாறிக்கொண்டேயிருக்கும் காந்தப்பாயத்திஞல் (magnetic flux) எலெக்ட்ரான் பாதைக்குத் தொடுகோட்டுத் திசையில் ஒரு மின்னியக்கு விசை உண்டாகி எலெக்ட்ரான்களுக்கு சிறிது கூடுதல் ஆற்றலைத் தருகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் மாருத ஆரமுடைய நிலையான வட்டப்பாதையில் சுற்றிவருவதற்கு ஏற்றபடி முனைத்துண்டுகளுக்கு நடுவே உள்ள இடைவெளியில் காந்தப்புலம் மாறிக் கொண்டிருக்கவேண்டும். காந்தப்புலத்தின் மதிப்பு சுழிமதிப்பிலிருந்து பெரும மதிப்பினை எட்டுவதற்குள்—அதாவது இருதிசை மின்னேட்டத்தின் கால் சுழற்சிக்குள்—எலெக்ட்ரான் அதன் பாதையில் பல நூருயிரம் முறைகள் சுற்றி வரும். ஒவ்வொரு சுற்றின் முடிவிலும் அதன் ஆற்றல் அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். இருதிசை மின்னேட்டத்தின் கால் சுழற்சி முடியும்போது அதாவது காந்தப்புலத்தின் செறிவு பெரும அளவை அடைந்தவுடன் நிலையான வட்டப்பாதைக்கு மேலும் கீழுமாய் அமைந்துள்ள இரு கம்பிச்சுருள்களின் வழியே மின்தேக்கி ஒன்றை மின்னிறக்கம் செய்தால் காந்தப்புலத்தின் அமைப்பு குலைந்துவிடும். இதஞல் வட்டப்பாதையில் சென்று கொண்டிருந்த எலெக்ட்ரான் விடுபட்டு $P$ என்ற காப்புத்தகட்டின் பின்பக்கத்தில் ($T$) மோதும். இத்தகட்டின் பின்பக்கம் இலக்காகச் செயற்பட்டு ஆற்றல் மிக்க எக்ஸ்-கதிர்களைத் தோற்றுவிக்கும். இத்தகைய பீட்டாட்ரான்கள் பொதுவாக 2*Mev* முதல் 100*Mev* வரையிலான ஆற்றலைத் தரவல்லன. இவைத் தரக்கூடிய அதிகஅளவு 500*Mev* ஆகும் இவ்வாறு உண்டாகும் எக்ஸ்-கதிர்கள் $\gamma$ (Gama) கதிர்களின் அளவுடைய ஆற்றலும் ஊடுருவுதிறனும் பெற்றிருக்கும்.

இதுவரையில் பொதுவாக எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்கும் முறைகளைக் கண்டோம். பொதுவாக, கூலிட்ஜ் குழாய்தான் அதிக அளவில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதை அமைப்பதும் கையாளுவதும் எளிது. இக்குழாயில் எலெக்ட்ரான்களை முடுக்குவதற்கான உயர்மின்னழுத்தம் தூண்டுசுருளின் துணைச்சுருளிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இம்மின்னழுத்தம் இருதிசை மின்னழுத்தமாக இருக்குமென அறிவோம். இதைத்தக்க திருத்திகளைக் (rectifiers) கொண்டு ஒருதிசை மின்னழுத்தமாக மாற்றி பின்னர் எக்ஸ்-கதிர்க்குழாயில் பயன்படுத்திஞல் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய்களின் ஆயுள் அதிகரிக்கும்.

## எக்ஸ்-கதிர் நிலையங்கள் (X Ray installations)

எக்ஸ்-கதிர் நிலையங்களில் சீரான ஒருதிசை மின்னழுத்தம் பெறுவதற்கு வால்வ் திருத்திகளை (Valve rectifiers) பயன்படுத்துகிறார்கள். இவைகளைக் கீனட்ரான் Kenotrons) என்கிறார்கள். கீனட்ரான்களுடன் மின் நிலைமங்களையும் (inductance மின் தேக்கிகளையும் (Condenser ) இணைத்துச் சீரான திருத்தப்பட்ட ஒருதிசை மின்னழுத்தத்தைப் பெறலாம். எக்ஸ் கதிர்களின் ஊடுருவுதிறன் காரணமாக அவை நம் உடலின் மீது பட்டால் தீய விளைவுகளைத் தருகின்றன. உடலின் உறுப்புகளை அழிக்கவும், தீய்த்து எரிக்கவும் வல்லது ஆதலால் இக்கதிர்களில் இருந்து உடலைப் பாதுகாப்பதற்குரிய நடவடிக்கைகள் அவசியம். காரீயத்தின் வழியே இக்கதிர்கள் ஊடுருவிச் செல்வது இல்லை ஆதலால் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய்கள் காரீயப் பெட்டிகளுக்குள்ளே வைக்கப்பட்டுள்ளன. பெட்டியிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிவருவதற்கான சிறிய ஒருவாயில் மட்டும் இருக்கும்.

## எக்ஸ்-கதிர்களின் பண்புகள்

(i) எக்ஸ்-கதிர்கள் குறைந்த அலைநீளமுடைய மின்காந்த அலைகளாகும். இவை ஒளியைப் போலவே செயல்படுகின்றன. இவை கண்ணுக்குப் புலனாகவில்லை என்பதும், குறைந்த அலை நீளமுடையவை என்பதும் ஒளியைவிடப் பலமடங்கு ஊடுருவுதிறன் கொண்டவை என்பதும்தான் வித்தியாசம். இவற்றின் அலை நீளங்கள் $10^{-7}$ மீட்டர் முதல் $10^{-13.5}$ மீட்டர் வரையுள்ளன.

(ii) இக்கதிர்கள் பொருளின் வழியே செல்லும் போது அதனால் உட்கவரப்பட்டுச் செறிவு குறைகின்றன பொருளின் அணு நிறை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அதனால் உட்கவரப்படும் எக்ஸ்-கதிரின் அளவும் அதிகமாகிறது.

(iii) எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைநீளம் குறையக் குறைய அவற்றின் ஊடுருவுதிறன் அதிகரிக்கிறது.

(iv) இக்கதிர்கள் ஒரு வாயு வழியே சென்றால் அவ்வாயு அயனியாக்கம் செய்யப்படுகிறது

(v) சிலவகைப் படிகங்கள் மற்றும் இரசாயனக் கூட்டுப் பொருள்களின் மீது எக்ஸ்-கதிர்கள் பட்டால் ஒளிர்தல் (fluorescence) மற்றும் நின்றொளிர்தல் (phosphorescence) போன்ற நிகழ்ச்சிகள் உண்டாகின்றன.

(vi) இக்கதிர்களுக்கு மின்னூட்டம் இல்லை. ஆகவே இவை மின்புலம் அல்லது காந்தப்புலத்தில் எவ்வித விலக்கமும் அடைவதில்லை.

(vii) இவை ஒளிப்படத் தகடுகளைப் பாதித்துப் பிம்பங்களை உண்டாக்குகின்றன.

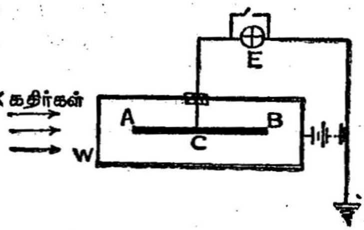
மேற்கூறிய பண்புகளில், ஊடுருவல், ஒளிப்படத்தகடுகளைப் பாதித்தல், ஒளிர்தல் முதலியவை மருத்துவத்துறையில் உடலுறுப்புகளின் உள்ளமைப்புகளைக் கண்டறியவும், எலும்பு முறிவு குடல் முறுக்கம் உள் உறுப்புகளில் ஏற்படும் புண்கள் ஆகியவற்றின் இடத்தைக் கண்டறிவதற்கும் பயன்படுகின்றன என அறிவோம். ஊடுருவுதிறன் அறிவியல் துறை ஆய்வுகளுக்குப் பெரிதும் பயன்படுகின்றது.

## எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனியாக்கத் திறன்

எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனியாக்கத் திறனைக் கொண்டுதான் அவற்றின் செறிவு கணக்கிடப்படுகிறது. இக்கதிர்களின் அயனியாக்கப்பண்பு இவற்றின் நேரடிப்பண்பு அன்று. இவை வாயுவின் வழியே செல்லும் போது அவ்வாயு மூலக்கூறுகளுடன் செயற்பட்டுப் பின்வரு துகள் கதிர் வீச்சு (Secondary Corpuscular radiation) ஒன்றை உண்டாக்குகின்றன. இதிலுள்ள ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் வாயு மூலக்கூறுகள் மற்றும் அணுக்களுடன் மோதி அவற்றை அயனிகளாக்குகின்றன தக்க மின்புலம் ஒன்றை நிலவச் செய்தால் இந்த அயனிகள் நகரத் தொடங்கி மின் சுற்றில் ஒரு மின்னோட்டத்தைத் தரும். இம்மின்னோட்டம் அயனி மின்னோட்டம் என்று வழங்கப்படுகிறது. இந்த அயனி மின்னோட்டம் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஆகவே, அயனி மின்னோட்டத்தை அளவிடுவதன் மூலம் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினை அளவிடலாம் என அறிகிறோம். இம்மின்னோட்டம் மிகமிகக் குறைந்த அளவுடையது. அயனியாக்கம் தெவிட்டுநிலை (Saturation) அடைந்த பின்னர் கூட, அயனியாக்க மின்னோட்டம் $10^{-13}$ ஆம்பியர் என்ற அளவானதாகத்தான் இருக்கும். இத்தகைய மிகக்குறைந்த மின்னோட்டத்தை அளப்பதற்கு அயனிக்கலம் (Ionisation chamber) என்னும் அமைப்புடன் கால்வட்ட எலெக்ட்ராமீட்டர் (quadrant electrometer) பயன்படுத்தப் படுகிறது.

## அயனிக்கலம் (Ionisation chamber)

இது இருபக்கமும் மூடப்பட்ட, ஓர் உலோகக் குழாய் (C) ஆகும். அதன் அச்சில் ஓர் உலோகத்தண்டு (AB) வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. உலோகத்தண்டு உலோகக்குழாயைத் தொடாமல் மின்காப்பு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. உலோகக்குழாயின் ஒருமுனை மெல்லிய அலுமினியத்தகட்டால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இது அயனியாக்க அறையின் சாளரம் (W) (window) எனப்படும். இதன்




படம் 48

வழியாகத்தான் எக்ஸ்-கதிர்கள் அயனிக் கலத்தினுள் நுழை கின்றன. உலோகத்தண்டு படத்தில் காட்டியபடி கால்வட்ட எலெக்ட்ராமீட்டருடன் (E) இணைக்கப்பட்டிருக்கும். தண்டுக்கும் குழாய்க்கும் இடையே நூற்றுக்கணக்கான வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு தரப்படுகிறது. உலோகக்குழாயினுள் எளிதில் அயனியாக்கம் செய்யப்படத்தக்க ஒரு வாயு அடைக்கப் பட்டிருக்கும். பொதுவாக கார்பன் டை ஆக்சைடு, ஈதர் ஆவி போன்றவை மிருது எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும், மீதைல் ப்ரோமைடு (Methyl Bromide) கடின எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும் ஏற்றவையாகும்.

எக்ஸ்-கதிர்கள் அயனிக்கலத்தின் அலுமினியச் சாளரத்தின் வழியே உள்ளே நுழைந்து அங்குள்ள வாயுவை அயனியாக்கம் செய்கிறது. இதனால் அங்குள்ள வாயு கடத்துத்திறன் பெறுகிறது. உலோகத்தண்டுக்கும், உலோகக் குழாய்க்கும் இடையில் நிலவும் மின்புலத்தின் காரணமாகத் தண்டு மின்னூட்டம் பெறுகிறது. தண்டு மின்னூட்டம் பெறப் பெற அதனுடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கும் கால்வட்டக் கால்வனுமீட்டர் விலக்கம் காட்டுகிறது. குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் எலெக்ட்ராமீட்டரில் ஏற்படும் விலக்கத்தின் அளவை அளவிட்டு அதிலிருந்து விலக்க வீதத்தைக் (rate of deflection) கணக்கிடலாம். இவ்விகிதம் கலத்தில் நுழைந்த எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். எலெக்ட்ரா மீட்டரின் நுட்பத்திறன் வோல்ட்டுக்கு5000 பிரிவுகள் என்ற அளவில்

இருக்கும். ஆகவே, இவ்வமைப்பில் $10^{-13}$ ஆம்பியர் என்ற அளவுடைய அயனி மின்னோட்டம் ஏற்படும்போது காலவனு மீட்டரில் வினாடிக்கு 4.5 பிரிவுகள் என்னும் வீதத்தில் விலக்கம் ஏற்படும்.

## எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்படல் (Absorption of X rays)

எக்ஸ்-கதிர்கள் தடித்த காரீயத்தகடுகளின் வழியே ஊடுருவிச் செல்ல இயலாது. எனவே, ஆய்வுக்கான எக்ஸ்-கதிர்க்குழாய்கள் எப்போதும் ஒரு காரீயப்பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். காரீயப் பெட்டியிலுள்ள சிறுதுளை வழியாக வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிர்கள் குறுகிய பிளப்புகளின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு மெல்லிய ஒரு கற்றையாக்கப்படுகின்றன. இக்கற்றை அயனிக் கலத்தினுள் செலுத்தப்படுகிறது. இதனால் உண்டாகும் அயனி மின்னோட்டம், தெவிட்டு நிலை மின்னோட்டமாக இருப்பதற்கு ஏற்ற ஒரு மின்னழுத்தம் அயனிக்கலத்தில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இப்போது எலெக்ட்ராமீட்டரில் உண்டாகும் விலக்க வீதம் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவைத் தருகிறது. இந்நிலையில் அயனிக்கலத்தின் சாளரத்திற்கு முன்னால் குறிப்பிட்ட தடிப்புக்கொண்ட அலுமினியத் தகடு ஒன்று வைக்கப்படுகிறது. இத்தகடு தன்மேல் விழுகின்ற எக்ஸ்-கதிர்களில் ஒரு பகுதியை உட்கவர்ந்து விடுவதால் அயனிக் கலத்தினை அடையும் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவு குறையும். இதனால் எலெக்ட்ராமீட்டர் காட்டும் விலக்க வீதம் குறையும்.

உட்கவர் பொருளாகிய அலுமினியத்தகட்டின் மீது படுகின்ற எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றையின் செறிவு $I_0$ என்றும் தகட்டில் $x$ என்னும் தூரம் அது ஊடுருவிச் சென்றபின் அதன் செறிவு $I$ என்றும் கொள்வோம். கற்றை மேலும் $dx$ தூரம் செல்லும்போது அதன் செறிவு $dI$ என்னுமளவு குறைவதாகக் கொண்டால்

$-\frac{dI}{dx}$ என்பது தூரத்தையொட்டி எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவு குறைவதைக் குறிக்குமல்லவா? இவ்விகிதம் படுகதிர்க்கற்றையின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் எனத்தெரியவருகிறது. ஆகவே

$-\frac{dI}{dx} \propto I$ அல்லது $-\frac{dI}{dx} = \mu I$ என்று எழுதலாம். இங்கு $\mu$ என்பது உட்கவர் பொருளுக்கு உரிய மாறிலி ஆகும். இது அப்பொருளின் **உட்கவர் எண்** (absorption coefficient) எனப்படுகிறது.

$\frac{dI}{I} = -\mu.dx$ ஆகும். இதனைத் தொகுத்தால்

$\log_e I = -\mu x + c$ என்றாகும்.

$c$ என்னும் தொகுப்பு மாறிலியைப் பின்வருமாறு கணிக்கலாம்.

$x = o$ என்றால் $I = I_o$ ஆகும். எனவே

$$\log_e I_o = \mu(o) + c$$

$$= o + c$$

ஆகவே $c = \log_e I_o$

எனவே $\log_e I = -\mu x + \log I_o$

$$\log I - \log I_o = -\mu x$$

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

$$\therefore \frac{I}{I_o} = e^{-\mu x}$$

$$I = I_o e^{-\mu x}$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து $x$-ன் மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க $I$-ன் மதிப்பு முதலில் விரைவாகவும் பின்னர் மெதுவாகவும் குறையும் என அறியலாம். $x$-ன் மதிப்பு ஈறிலி (infinity) யாகும் போதுதான் $I$-ன் மதிப்பு சுழியாகும். இது எக்ஸ்பொனன்ஷியல் விதி (exponential law) எனப்படும்.

கற்றையின் தொடக்கச்செறிவின் அளவில் பாதியாகச் செறிவினைக் குறைப்பதற்குத் தேவையான தகட்டின் தடிப்பினைக் கணக்கிட்டு அதன்மூலம் பொருளின் உட்கவர் எண்ணைக் ($\mu$) கணக்கிடலாம்.

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

$$\mu x = \log_e 2$$

$\mu = \frac{\log_e 2}{x}$ ஆகும். இதில் $x$ என்பது எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றையின் தொடக்கச் செறிவினைப் பாதியாகக் குறைப்பதற்குத் தேவையான உட்கவர் பொருளின் தடிப்பு ஆகும். எனவே, $x$-ன் மதிப்பினை அறிந்துவிட்டால் உட்கவர் எண்ணாகிய $\mu$ஐ எளிதில் கணக்கிட்டு விடலாம்.

## நிறை உட்கவர் எண் (Mass absorption coefficient)

ஒரு பொருளின் உட்கவர் எண்ணுக்கும் அதன் அடர்த்திக்கும் உள்ள விகிதம் அப்பொருளின் நிறை உட்கவர் எண் எனப்படும். ஒரு பொருளின் உட்கவர் எண் $\mu$ என்றும், அதன் அடர்த்தி $\rho$ என்றும் கொண்டால், அப்பொருளின் நிறை உட்கவர் எண் $= \frac{\mu}{\rho}$ ஆகும். உட்கவர் பொருள் ஒன்றின் நிறை $m$ என்றும் பரப்பு $s$ என்றும் அடர்த்தி $\rho$ என்றும் கொண்டால் அதன் தடிப்பு $x = \frac{m}{\rho s}$ ஆகுமல்லவா ! எனவே

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$ என்பதை

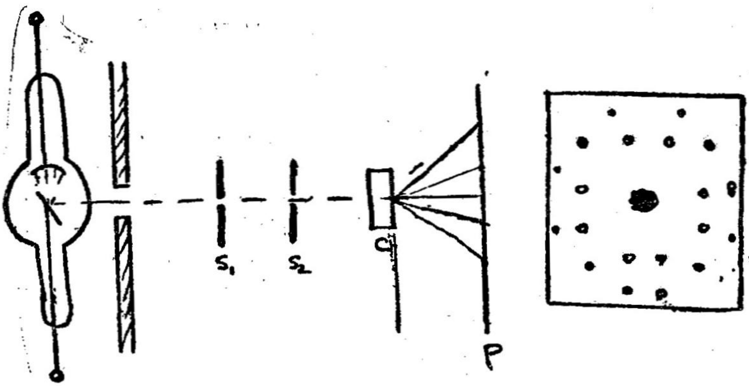
$$I = I_0 e^{\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{m}{s}}$$ என எழுதலாம் அல்லவா. இங்கு $\frac{\mu}{\rho}$ என்பது நிறை உட்கவர் திறனையும், $\frac{m}{s}$ என்பது ஓர் அலகு பரப்பிற்கு உரிய நிறையையும் குறிக்கின்றன.

ஒரு படித்தான எக்ஸ்-கதிர்களைக்கொண்டு நடத்திய ஆய்வுகளிலிருந்து ஒரு தனிமத்தின் நிறை உட்கவர் எண் மதிப்பு அத்தனிமத்தின் அணு எடையுடன் விரைந்து அதிகரிக்கும் என்று தெரிகிறது. எடுத்துக்காட்டாக 27 என்ற அணு எடை உடைய அலுமினியத்தைவிட 207 என்னும் அணு எடை கொண்ட காரீயத்தின் நிறை உட்கவர் எண் மிகமிக அதிகம் ஆகவேதான் காரீயம் போன்ற கனமான தனிமங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் அதிக அளவில் உட்கவரப்படுகின்றன.

மேற்கூறியவாறு உட்கவரப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் பின்வரு கதிர்களை (Secondary rays) உண்டாக்குகின்றன. உட்கவரப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களில் ஒரு பகுதி சிதறிய கதிர்களாகும். இவை இயல்பில் படுகதிர்களைப் போன்றவையே ஆகும். மற்றொரு பகுதி துகள் கதிர்களாக வெளிவருகின்றன. இக்கதிர்களில் ஒளிமின் விளைவினால் தோன்றிய மிக்க வேகமுடைய ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் காணப்படுகின்றன. மூன்றாவது பகுதி சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களாக (characteristic X Rays) வெளிவருகின்றன. இச்சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவர் பொருளின் தனித்தன்மையைக் காட்டும் கதிர்களாகும். இக்கதிர்களின் இயல்பிற்கும் படுகதிர்களின் இயல்பிற்கும் தொடர்பு இராது. ஆனால், முதல் இரண்டு நிகழ்ச்சிகளாகிய சிதறல், துகட்கதிர் வீச்சு ஆகியவற்றின் இயல்பு

கள் படுகதிர்க்கற்றையின் இயல்பினைப் பொறுத்தே அமைகின்றன.

எக்ஸ்-கதிர்களின் இயல்புபற்றி இருவித கருத்துகள் நிலவி வந்த காலம் உண்டு. ஒரு சாரார் எக்ஸ்-கதிர்கள் மிக விரைந்து செல்லும் நுண்ணிய துகள்களைக் கொண்டவை என்று கூறினர். மற்றொரு சாரார் இவை மிக அதிக அதிர்வு எண்ணுடைய மின் காந்த அலைகளே எனக் கூறினர். வான் லாவே (Van Laue) மெல்லிய படிகங்களைக் கொண்டு இக்கதிர்களில் விளிம்பு விளைவு (Diffraction) உண்டாவதைக்காட்டி, எக்ஸ்-கதிர்களும் ஒளியைப் போன்று மின்காந்த அலைகளே என நிலை நாட்டினர். இச்சோதனை அறிவியல் துறையில் பலமுன்னேற்றங்களுக்குக் காரணமாய் அமைந்தது.




படம் 49

## லாவேயின் சோதனை (Laue's experiment)

எக்ஸ்-கதிர்கள் ஒளி அலைகளைப் போன்றவை என்றால் அவை விளிம்பு விலகல் (diffraction) உண்டாக்கவேண்டும். ஆனால் ஒளியியல் கீற்றணி (optical grating) கொண்டு எக்ஸ்-கதிர்களில் விளிம்பு விலகல் ஏற்படுத்த இயலவில்லை. இது லாவேயைச் சிந்திக்க வைத்தது. எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளம் பயன்படுத்திய கீற்றணி மூலத்தை (grating element) விடச் சிறியதாக இருந்திருப்பின் விளிம்பு விலகல் ஏற்படாமல் போயிருக்கக்கூடும் என நினைத்த லாவே மிகச் சிறிய கீற்றணிமூலம்பற்றிச் சிந்தித்தார். படிகங்களில்

அணுக்கள் ஒழுங்குற அமைந்திருப்பதையும், அந்த அணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் மிகக் குறைவாக இருப்பதையும் எண்ணிப் பார்த்த லாவே, படிகத்துண்டு ஒன்றைக் கீற்றணியாகப் பயன்படுத்தி எக்ஸ்-கதிர்களில் விளிம்பு விலகல் உண்டாக்க முயன்று அதில் வெற்றியும் கண்டார்.

காரீயப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து சிறிய திறப்பு வழியாக வெளிவரும் கதிர்கள், $S_1$ $S_2$ என்ற காரீயத்தகடுகளில் உள்ள துளைகளால் செம்மையான, குறுகிய கற்றையாக்கப்படுகிறது. (படம் 49) இக்கற்றை பிறகு சிங் சல்பைடு ($Zns$) படிகத் துண்டு ஒன்றின் மேல்படுகிறது. படிகத் துண்டிற்குப்பின்னுல் ஒளிப்படத் தகடு ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பல மணி நேரப் பதிவிற்குப்பின் ஒளிப்படத்தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்தபோது ஒழுங்காக, குறிப்பிட்ட உருவத்தோடு அமைந்த புள்ளிகளைக்கொண்ட அமைப்புக் காணப்பட்டது. இது லாவே புள்ளிகள் (Laue's Spots) என்று வழங்கப்படுகின்றன. $Zns$ படிகத்தைப் பயன்படுத்திய போது கிடைத்த லாவே புள்ளிகளின் அமைப்புப் படம் 40-ல் காட்டியுள்ளதைப்போல் இருந்தது. இதிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர்கள் படிகத்தில் விளிம்பு விலகல் நிகழ்ச்சிக்கு உள்ளாகின்றன என அறிகிறோம்.

இதைத் தொடர்ந்து 1930-ல் லார்சுன் (Larsson) என்பார் $6 \times 10^{-6}$ செ.மீ. அகலங்கொண்ட மெல்லிய பிளப்பு வழியாக எக்ஸ்-கதிர்களைச் செலுத்தி விளிம்பு விலகல் உண்டாக்கினுர். மெல்லிய நிக்கல் ஏடு (layer) படிந்த கண்ணுடித் தளத்தின் மீது எக்ஸ்-கதிர்களைப் படச்செய்து கண்ணுடி-நிக்கல், கண்ணுடி-காற்று ஆகிய பிரிக்குந் தளங்களில் எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களுக்கு இடையே குறுக்கிட்டு விளைவு (interference) உண்டாக்கப்பட்டது. பார்க்லா (Barkla) என்பவர் எக்ஸ்-கதிர்களின் தளவிளைவு (polarisation) நிகழ்ச்சியினைக் காட்டினுர். இவ்வாறு தொடர்ந்து செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக எக்ஸ்-கதிர்கள் மின்காந்த அலைக்குடும்பத்தின் ஒரு பகுதியே என்பது நிலைநாட்டப்பட்டது.

## படிகக் கீற்றணியும் பிராக் விதியும் (Crystal Grating & Bragg's law)

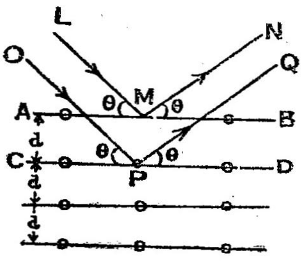
ஒளியியல் கீற்றணியை இருபரிமாணக் கீற்றணி என்றும் படிகக் கீற்றணியை முப்பரிமாணக் கீற்றணி என்றும் கூறுவர். முப்பரிமாணக் கீற்றணிக் கொள்கை சிக்கல் மிகுந்த ஒன்ருகத்தான்

இருக்கும் என எண்ணுவது இயல்பே. ஆனால், ப்ராக் என்ற மேதை படிகத்தில் ஏற்படும் விளிம்பு விலகலைத் தம் கூர்மையான அறிவின் திறத்தால் மிக எளிய ஒன்றாகச் செய்துவிட்டார்.

படிகத்தின் அணுக்கள் ஒழுங்காகப் பல்வேறு தளங்களில் அமைந்திருக்கின்றன. இவ்வமைப்பில் ஒரே தளத்தில் பல அணுக்கள் அமைந்திருக்கின்றன. ஒவ்வொரு திசையிலும் குறிப்பிட்ட இடைவெளியுடன் காணப்படும் பல தளங்கள் காணப்படுகின்றன. ஒருபடிகத்தின் மீது விழும் எக்ஸ்-கதிர்கள் அதிலுள்ள பல தளங்களில் எதிரொளிக்கப்படுவதால் விளிம்பு விலகல் நடைபெறுகிறது என ப்ராக் கூறினார்.

ஒரு படிகத்தில் எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றை ஒன்றுபட்டால், படிகத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு அணுவும் தன்மேல் விழும் எக்ஸ்-கதிரைச் சிதறச் செய்து பின்வரு சிற்றலைகளை (Secondary wavelets) வெளி விடுகின்றன. இச்சிற்றலைகளின் உறை, ஹைகன் (Huygens) என்பாரின் கொள்கைப்படி எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றையின் அலை முகப்பைத் தரும். எக்ஸ்-கதிர்கள் அதிக ஊடுருவுதிறன் கொண் டவை ஆதலால், எதிரொளிக்கப்படும் பகுதி மிகவும் குறைவாகவே இருக்கும். ஆகவேதான் லாவே புள்ளிகளை ஒளிப்பதிவு செய்வதற் கான காலம் பல மணி நேரங்களாக இருக்கிறது.

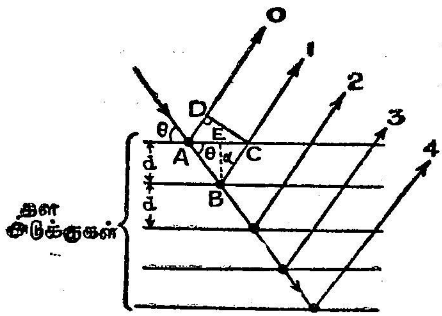
ஒரு படிகத்தைத் தட்டி உடைத்தால் அல்லது விசையியல் அழுத்தங்கொடுத்து உடைத்தால் அது குறிப்பிட்ட சில தளங்களில்,




படம். 50

மிக எளிதாகப் பிளவுறும். அத்தகைய தளங்களில் அதிக எண்ணிக்கையுடைய அணுக்கள் இருக்கும். அத்தகைய தளங்களுக்குப் பிளவுறு தளங்கள் (cleavage planes) என்று பெயர்

குறிப்பிட்ட ஒரு தளத்தில் அதற்கு இணையாக பல அடுக்குகள் (layers) இருக்கும். இவற்றில் எக்ஸ்-கதிர்கள் எதிரொளிக்கப் படுவதற்கான நிபந்தனைகளைப் பார்ப்போம். 50ஆம் படத்தில் *AB*, *CD*. *EF*...என்பன குறிப்பிட்ட ஒருதளத்தின் பல ஏடுகளைக் குறிக்கின்றன. ஒற்றை நிற எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றை (monochromatic X ray beam) ஒன்று இத்தளத்தின் மீது θ° சாய்கோணத்தில் (glancing angle) படுவதாகக் கொள்வோம். படுகதிரின் திசைக்கும் படிகத்தின் தளத்திற்குமிடையில் உள்ள கோணத்தைத்தான் சாய் கோணம் என்கிறோம். இக்கற்றை இத்தேதளத்தில் அமைந்த பல அடுக்குகளிலும் பகுதி எதிரொளிப்புக்கு உள்ளாகிறது. *LM* என்ற கதிர் *AB* என்ற அடுக்கில் உள்ள *M* என்ற அணுவால் சிதறப்பட்டு *MN* என்ற கதிராக எதிரொளிக்கப்படுவதையும், *OP* என்ற கதிர் *AB*ஐ அடுத்துள்ள *CD* என்ற அடுக்கில் உள்ள *P* என்ற அணுவால் சிதறப்பட்டு *MN*-க்கு இணையான திசையில் *PQ* என்ற கதிராக எதிரொளிக்கப்படுவதையும் காண்க. இவ்வாறு எதிரொளிக் கப்படும் கதிர்கள் ஒத்த கட்ட நிலையில் (phase) இருப்பின் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிச் செறிவுமிக்க ஓர் எதிரொளிப்புக் கற்றையாக வெளிவருகின்றன. படிக அடுக்குகளுக்கு இடையிலுள்ள தூரம்




படம். 51

மிகமிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால், எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கி அமைந்து ஒளிப்படத்தகட்டில் ஒரு புள்ளிப் பிம்பத்தைத்தான் தரும் இவ்வாறே வேறு ஒரு தளத்தில் அமைந்த அடுக்குகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒத்த கட்டநிலையால் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக்கொள்ளும் மற்றொரு கற்றை வேறு ஒரு புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு வெவ்வேறு தள அடுக்குகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு வெவ்வேறு திசைகளில் எதிரொளிக்கப்படும் கற்றைகள் ஒழுங்காய் அமைந்த பல புள்ளிகள் கொண்ட அமைப்பைத் தருகிறது.

எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்வதற்கான சூழ்நிலைகளை ஆராய்வோம். படம் 51-லிருந்து அடுத்தடுத்துள்ள எதிரொளிப்புக் கதிர்களுக்கிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு (path difference) சம அளவுடையதாக இருப்பதை அறியலாம். இப்பாதை வேறுபாடு பயன்படுத்திய எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையின் அலைநீள முழுஎண் மடங்குகளாக இருந்தால், எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள்ளும்.

குறிப்பிட்ட ஒரு தளத்தில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு அடுக்குகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் $d$ என்போம் படம் 42-ல் முதல் இரு எதிரொளிப்புக் கதிர்களுக்கிடையே காணப்படும்

பாதை வேறுபாடு $\delta = AB + BC - AD$ ஆகும்.

$$= 2AB - AD, \quad [\because AB = BC]$$

$$\delta = 2 \cdot \frac{d}{\sin\theta} - AC \cos\theta.$$

ஆனால் $AC = AE + EC = 2AE = 2\ AB \cos\theta$. எனவே

$$\delta = 2 \cdot \frac{d}{\sin\theta} - (2AB \cos\theta)\cos\theta.$$

$$= 2 \cdot \frac{d}{\sin\theta} - 2 \cdot \frac{d}{\sin\theta} \cdot \cos^2\theta$$

$$= 2 \frac{d}{\sin\theta} \left[1 - \cos^2\theta\right]$$

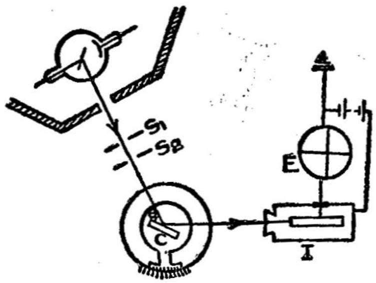
$$= 2 \frac{d}{\sin\theta} \cdot \sin^2\theta$$

$$= 2d \sin\theta$$

இப்பாதை வேறுபாடு அலைநீளத்தின் முழுஎண் மடங்கிற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். அதாவது $2d \sin\theta = n\lambda$ இங்கு $n$ என்பது ஒரு முழுஎண் ஆகும் இச்சமன்பாட்டிற்கு ப்ராக் விதி (Bragg's law) அல்லது ப்ராக் சமன்பாடு (Bragg's equation) என்று பெயர். இச்சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைநீளத்தை அளவிடுவதற்கேற்ற ஒரு நிறமாலைமானியை (Spectrometer) ப்ராக்கும் அவருடைய மகனும் அமைத்தார்கள். இது ப்ராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி எனப்படும்.

# ப்ராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி
# (Bragg's X ray Spectrometer)

**படம் 52:** காரீயப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் எக்ஸ்-கதிர்க்குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்-கதிர்கள் தடிப்பான காரீயத் தகட்டில் அமைந்த பிளப்புகள் வழியே செலுத்தப்பட்டுச் செம்மையான கதிர்க்கற்றையாக்கப்படுகின்றன. செங்குத்து அச்சு ஒன்றில் சுழலக்கூடிய வட்டமான மேசை ஒன்றின் மீது படிகம் (*c*) வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. கற்றை படிகத்தின் மீது பட்டு எதிரொளிப்புற்று அயனிக்கலத்தின் சாளரத்தின் வழியே உள்ளே நுழைகிறது. அயனிக்




படம் 52

கலத்தில் சல்ஃபர் டை ஆக்சைடு அல்லது மீதைல் ப்ரோமைடு வாயு அடைக்கப்பட்டிருக்கும். நுழைகின்ற எக்ஸ்-கதிரின் செறிவுக்கு ஏற்ப அயனியாக்கம் நடைபெறும். அயனிக்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் கால்வனுமீட்டரின் விலக்க வீதம் அயனிக் கத்துக்கு ஏற்ப இருக்கும். எனவே கால்வனுமீட்டரின் விலக்க வீதம் எக்ஸ்-கதிரின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இந்த அயனிக்கலம் ஒளியியல் நிறமாலைமானியிலுள்ள தொலை நோக்கியைப் போன்றது. இது படிகமேசையின் மைய அச்சில் சுழலக்கூடிய புயம் ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது மேசையின் திருப்பத்தையும், அயனிக்கலத்தின் திருப்பத்தையும் அளவிடுவதற்குத் தேவையான வட்ட அளவு கோல்களும் அதற்கேற்ற வர்னியர்களும் தனித்தனியே அமைந்திருக்கின்றன. இப்போதுள்ள ப்ராக் நிறமாலைமானிகளில் படிக மேசையை $\theta$ என்ற கோணத்தில் திருப்பினால் அயனிக்கலத்தைச் சுமக்கும் புயம் தானுகவே $2\theta$ என்ற கோணத்தில் திரும்புமாறு பற்சக்கர அமைப்புகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன.

படுகற்றை படிக முகத்தில் $\theta$ என்னும் சாய்கோணத்தில் விழுவதாகக் கொண்டால் எதிரொளிப்புக்கற்றை படுகற்றையின் திசையிலிருந்து $2\theta$ என்ற கோணத்தில் திரும்பியிருக்கும். எதிரொளிப்புக் கற்றையை ஏற்கும் அயனிக்கலப்புயம் அத்திசையில் அமையும்படி வைக்கப்படவேண்டும்.

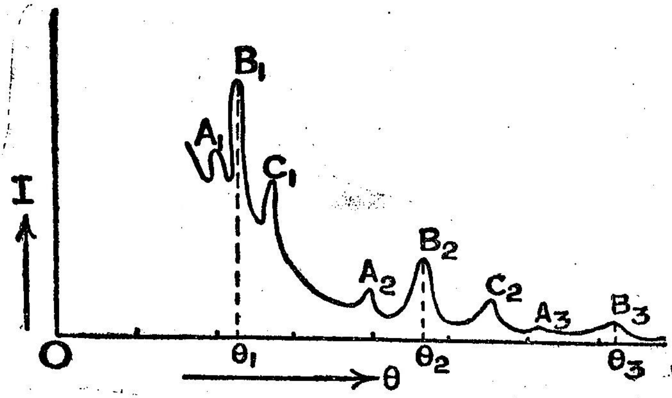
ஒற்றை நிற எக்ஸ்-கதிர்களை (அலைநீளம் $\lambda$)யும், படிக இடைவெளி $d$ உடைய தளத்தையும் அதன் அடுக்குகளையும் பயன்படுத்துவதாகக் கொள்வோம் ப்ராக் சமன்பாடு சரியென்றால் $n=1,2,3...$ என்னும் மதிப்புகளைப் பெறும்போது அவற்றிற்குரிய $\theta_1$, $\theta_2$, $\theta_3 \cdots$ கோணங்களில் செறிவுமிக்க எதிரொளிப்புக்கதிர் ஏற்படவேண்டும்.

$$2d \sin \theta_1 = 1\lambda \qquad (\because n=1)$$
$$2d \sin \theta_2 = 2\lambda \qquad (\because n=2)$$
$$2d \sin \theta_3 = 3\lambda \qquad (\because n \;\, 3)$$

இதிலிருந்து $\sin\theta_1 ; \sin\theta_2 ; \sin\theta_3 := 1 : 2 : 3$ என்றாகிறது.

குறிப்பிட்ட படிக முகத்தில் எக்ஸ்-கதிர்பட்டு எதிரொளிக்கப்படும்போது ஒவ்வொரு எதிரொளிப்புக் கதிருக்கும் உரிய சாய் கோண மதிப்பினை அளவிட்டு மேற்கூறிய விகிதச்சமன்பாடு ஒத்துவருகிறதென்று காட்டி ப்ராக் விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

படுகதிர் படிக முகத்தில் சுழிக்கோணத்தில் விழுமிடத்திலிருந்துத் தொடங்கிப் படிக மேசையைச் சிறிது சிறிதாகச் சுழற்றிக்கொண்டே வரவேண்டும் அதே சமயத்தில் அயனிக்கலம்




படம் 53.

பொருத்தப்பட்ட புயம் தானுகவே இருமடங்கு சுழலும். இதனுல் படிகத்தின் எல்லா நிலைகளிலும் அது எதிரொளிக்கும் எக்ஸ்-கதிர் அயனிக்கலத்தினுள் நுழையும். சாய்கோணத்தின் அளவை படிக மேசையுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் வர்னியரைக் கொண்டு அளக்கலாம். இவ்வாறு படிக மேசையைச் சுழற்றி $\theta$ ஐ அதிகரித்துக்கொண்டே வரும்போது முதல் முதலாக அயனியாக்க மின்னேட்டம் பெரும எல்லையை அடைவதை கால்வனுமீட்டர் விலக்கம் காட்டும். இப்போது உள்ள சாய்கோணமான $\theta_1$ தொடர்ந்து படிக மேசையைச் சுழற்றிக்கொண்டே வந்தால் சாய் கோணம் $\theta_2$ ஆகும்போது மீண்டும் அயனியாக்க மின்னேட்டம் திடீரென அதிகரிக்கக் காணலாம். பல எதிரொளிப்புக் கதிர்களின் இடத்தையும் அவற்றிற்கான சாய்கோண மதிப்புகளையும் காணலாம்

வெவ்வேறு சாய்கோணங்களுக்கும் அவற்றிற்கு உரிய அயனியாக்க மின்னேட்டத்திற்குமிடையில் வரையப்பட்ட வரை படம் (படம் 53) பல முகட்டு உச்சிகளைக் (Peaks) கொண்டிருக்கும். இம்முகட்டு உச்சிகள் அயனியாக்க மின்னேட்டத்தின் பெரும மதிப்புகளையும் அவற்றிற்கு உரிய $\theta$ மதிப்புக்கள் சாய் கோணங்களையும் தருகின்றன.

$B_1, B_2, B_3 \cdots$ என்பன முதல், இரண்டாவது, மூன்ருவது வரிசை களைக் குறிக்கின்றன. படத்தில் வரிசைஎண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க செறிவு குறைகிறது என்பதை உச்சிகளின் உயரம் குறைந்து கொண்டே செல்வதிலிருந்து அறியலாம்.

படிக இடைவெளியாகிய $d$-ன் மதிப்புத் தெரிந்தால் $2d \sin\theta = n\lambda$ என்ற வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி $\lambda$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

## படிக இடைவெளியைக் கணக்கிடல்

எடுத்துக்காட்டாக $NaCl$ படிகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். படிகவியல் அமைப்புப்படி இது கன சதுர வகையைச் சேர்ந்தது. ($NaCl$ படிக அமைப்பு படிகவியல் என்ற தலைப்பில் விவரிக்கப்பட்டிருக்கிறது.) இப்படிகத்தின் **கன சதுர அணிக்கோவையில்** (cubic lattice) பல மூல கன சதுரங்கள் உள்ளன. மூலகன சதுரம் என்பது மிகச்சிறிய கனசதுரமாகும். இதில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருய் அமைந்த மூலைகளில் சோடியம் அயனிகளும் குளோரின் அயனிகளும் இருக்கின்றன. $d$ என்பது மூலகன சதுரத்தின் பக்க அளவு என்ருல்

அதன்பருமன் $d^3$ ஆகும். ஒரு மூல கன சதுரத்தின் நிறை $d^3\rho$ கும். இங்கு $\rho$ என்பது படிகத்தின் அடர்த்தியைக் குறிக்கிறது. $M$ என்பது Nacl படிகத்தின் மூலக்கூறு எடை என்றும் $N$ என்பது அவாகாட்ரோ எண் (Avogadro's number) என்றும் கொண்டால் $M$ கிராம் நிறையுடைய படிகத்தில் $2N$ அயனிகள் இருக்கவேண்டும். (ஒருகிராம் மூலக்கூறு பொருளில் $N$ மூலக்கூறுகள் இருக்கும் ஒவ்வொரு மூலக்கூறிலும் ஒரு சோடியம் அயனியும் ஒரு குளோரின் அயனியும் இருக்கும். ஆகவே ஒரு கிராம் மூலக்கூறு படிகத்தில் $N$ சோடியம் அயனிகளும் $N$ குளோரின் அயனிகளும் இருக்கும். ஆக மொத்தம் அயனிகள் $N+N=2N$ அயனிகளாகும்)

ஒவ்வோர் அயனியின் நிறை $= \frac{M}{2N}$ ஆகும்.

ஒவ்வொரு மூல கன சதுரத்திலும் ஒரு சோடியம் அயனி அல்லது ஒரு குளோரின் அயனி மட்டுமே இருக்குமாதலால் ஒரு மூல கன சதுரத்தின் நிறை $\frac{M}{2N}$ ஆகும்.

ஆகவே, $d^3\rho = \frac{M}{2N}$

$$d = \left(\frac{M}{2N\rho}\right)^{1/3}$$

Nacl படிகத்திற்கு

$$M = 23 + 35.5 = 58.5$$

$$N = 6.06 \times 10^{23}$$

$$\rho = 2.17$$

ஆகவே $d = \left[\frac{58.5}{2 \times 6.06 \times 10^{23} \times 2.17}\right]^{1/3}$

$= 2.81 \times 10^{-8}$ செமீ.

$= 2.81 \times 10^{-10}$ மீட்டர்

Nacl படிகத்தைப் பயன்படுத்திச் செய்த ஆய்வுகளில் படத்தில் காட்டியுள்ள $A_1$, $A_2$, $A_3$ என்ற உச்சிகளுக்கு உரிய சாய்கோண மதிப்புகள் $\theta_1 = 11°48'$, $\theta_2 = 23°30'$, $\theta_3 = 36°$ இருந்தன. ப்ராக் விதியின்படி

$$\sin 11°48' : \sin 23°30' : \sin 36°$$

$$= 0.204 : 0.4 : 0.63$$

$$= 1 : 2 : 3$$

அலைநீளம் $\lambda$ ஐக் கணக்கிட முதல்வரிசையில் $sin\ \theta_1 = \frac{1 \cdot \lambda}{2d}$

$$\lambda = 2d\ sin\theta_1$$
$$= 2 \times 2{\cdot}81 \times 10^{-8} \times sin\ 11°48'$$
$$= 2 \times 2{\cdot}81 \times 10^{-8} \times 0{\cdot}204$$
$$= 1.51 \times 10^{-8} \text{செமீ}\cdot$$
$$= 1{\cdot}51A°$$

**இம்முறையின் குறைகளும் திருத்தங்களும்**

**திருத்தங்கள் :**

i) படிகத்தின் வெப்பநிலைக்கு ஏற்பப் படிக இடைவெளி மாறுமாகையால் அதற்குரிய திருத்தங்கள் செய்யப்படவேண்டும். பொதுவாக அட்டவணையில் தரப்படும் படிக இடைவெளிகள் 18°C-ல் கணக்கிடப்பட்டவையாகும்.

ii) படிகத்தின் மீது படுகின்ற கற்றை விலகல் (refraction) அடைவது இல்லை என்று கொண்டு ப்ராக் சமன்பாடு செய்யப்பட்டுள்ளது. உண்மையில் ஓரளவு விலகல் (refraction) ஏற்படவே செய்கிறது. ஆகவே அதற்கான திருத்தமும் தரவேண்டியுள்ளது.

**நிறமாலைமானியின் குறைகள்**

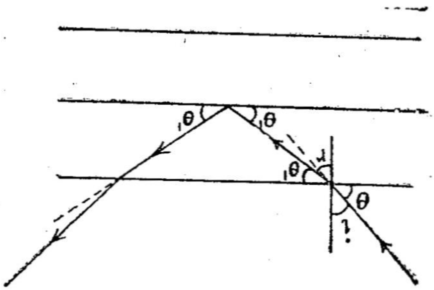
i) இதன் பிரிதிறன் மிகவும் குறைவு. பிரிதிறனை அதிகரிக்க, பிளப்புகளின் அகலத்தைக் குறைக்கவேண்டும். இதனால் அயனிக் கலத்தினுள் நுழையும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அளவு மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது. இதனால் அளவிடுவதே மிகவும் கஷ்டமாகிவிடுகிறது.

ii) ஓர் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைப் படம் வரைய நூற்றுக் கணக்கான சாய்கோணங்களையும் அவற்றிற்கு உரிய அயனியாக்க மின்னோட்டங்களையும் அளவிட வேண்டியிருக்கிறது. எனவே இது ஒரு சலிப்பூட்டும் முறையாகும்.

இக்குறைகளை நீக்கி எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானியை செம்மைப்படுத்தும் முயற்சியில் மாரிஸ்-டி-ப்ராய், சீபான் (Siegbahn) போன்றவர்களும் வேறு சிலரும் ஈடுபட்டு வெற்றி பெற்றனர். படிகத்தை ஒரு கோண எல்லைக்குள் இங்குமங்கும் அசைப்பதற்கு ஏற்ற ஒரு கடிகாரவிசை அமைப்பை (a clock work mechanism) படிக மேசையுடன் இணைத்தனர். அயனிக்கலத்திற்குப் பதிலாக அவ்விடத்தில் ஓர் ஒளிப்படப் பெட்டியை வைத்தனர்.

தொடர்ந்து படிகம் இங்குமங்கும் குறிப்பிட்ட கோண எல்லைக்குள் அசைக்கப்படும்போது குறிப்பிட்ட அலைநீளங்கொண்ட

படிகற்றையை எதிரொளிப்பதற்குரிய கோணத்தில் படிகம் வரும்போது கற்றை எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒளிப்படத்தகட்டில் ஒரு சுவட்டை (trace) உண்டாக்கும். தொடர்ந்து படிகம் இங்குமங்கும் அசைய அசைய மீண்டும் மீண்டும் அதே இடத்தில் எதிரொளிப்புக் கற்றை விழுவதால் சுவடு செறிவு மிக்கதாக ஆகிறது. இவ்வாறே ஒவ்வொரு சுவடும் பெறப்படுகிறது. இச்சுவடுகளை ஆய்ந்து தேவையான தகவல்களைப் பெறலாம். இம்முறையில் சலிப்படையச் செய்யும் நீண்டநேர உழைப்பு இல்லை அயனிக்கலம், கால்வட்டக் கால்வனுமீட்டர் ஆகியவற்றைக் கையாளும் சிரமங்களும் இல்லை.




படம் 54

## எக்ஸ்-கதிர்களின் விலகலும் ப்ராக் சமன்பாட்டிற்கு ஒரு திருத்தமும்

குறிப்பிட்ட அலை நீளமுள்ள கற்றையைக்கொண்டு வெவ்வேறு வரிசைகளில் $2d\ sin\theta = n\lambda$ என்ற ப்ராக் சமன்பாட்டைக் கொண்டு கணக்கிட்ட $\lambda$-ன் மதிப்புகள் ஒரே அளவுடையதாக இல்லை. இந்த உண்மையை ஸ்டென் ஸ்ட்ராம் (Sten Storm) என்பவர் கண்டறிந்தார். எக்ஸ்-கதிர்கள் படிகத்தினுள் நுழையும்போதும் பின்னர் வெளிவரும் போதும் விலகலடைகின்றன என்றும் அந்த விலகலைக் கணக்கிடாததால்தான் மேலே கண்டகுறை ஏற்பட்டது என்றும் அவர் கருதினர். ஆகவே ப்ராக் சமன்பாட்டில் கீழே விவரித்துள்ள திருத்தம் செய்யவேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டது. (படம் 54) ஒருதளத்தின் மேல்அடுக்கில் $\theta$ என்னும் சாய்கோணத்தில் படுகின்ற எக்ஸ்-கதிர் விலகலுற்று அதை அடுத்துள்ள இரண்டாவது அடுக்கில் $\theta'$ என்னும் புதியதொரு சாய்கோணத்தில் படுகிறது. மேல் அடுக்கில் நிகழும் விலகலில் விலகுகதிர் லம்பத்தை விட்டு விலகிச் செல்வதால் $\theta'$ என்பது $\theta$ ஐவிடக் குறைவாக இருக்கும். இரண்டாவது அடுக்கில் நிகழும் எதிரொளிப்பிற்கு ப்ராக் விதிப்படி $2d\ sin\theta' = n\lambda'$ ஆகும். இங்குப் படிகத்தின் உள்ளே எக்ஸ்-கதிரின்

அலைநீளத்தைக் குறிக்கிறது. படிகத்தின் விலகல் எண் (refractive index) ஒன்றைவிடச் சிறிது குறைவாக இருப்பதால் விலகுகதிர் லம்பத்தை விட்டு விலகிச் செல்வதும், $\theta' < \theta$ ஆக இருப்பதும் $\lambda' > \lambda$ ஆக இருப்பதும் நடைபெறுகின்றன.

படிகத்தின் விலகல் எண் $\mu$ என்றால்

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$= \frac{\cos\theta}{\cos\theta'} < 1 \qquad \because i = 90-\theta, \quad r = 90-\theta'$$

நடைமுறையில் இந்த விலகல் எண் ஒன்றைவிடக் குறிப்பிடத்தக்க அளவு வேறுபடுவது இல்லை.

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \mu \text{ ஆகவே } \lambda' = \frac{\lambda}{\mu}$$

எனவே $n\lambda' = 2d \sin\theta'$ என்பதை

$$n\frac{\lambda}{\mu} = 2d\,(1-\cos^2\theta')^{1/2} \text{ என எழுதலாம்.}$$

$$\therefore n\lambda = 2d\mu\,(1-\cos^2\theta')^{1/2}$$

$$= 2d\mu\left(1-\frac{\cos^2\theta}{\mu^2}\right)^{1/2}$$

$$= 2d\mu\left(\frac{\mu^2-\cos^2\theta}{\mu^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\,(\mu^2-\cos^2\theta)^{1/2}$$

$$= 2d\,[\mu^2-(1-\sin^2\theta)]^{1/2}$$

$$= 2d\left(\sin^2\theta\,\frac{(\mu^2-1+\sin^2\theta)}{\sin^2\theta}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left(1-\frac{1-\mu^2}{\sin^2\theta}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left(1-\frac{1-\mu^2}{2\sin^2\theta}\right)$$

$$= 2d\sin\theta\left(1-\frac{(1+\mu)(1-\mu)}{2\sin^2\theta}\right)$$

$$= 2d\sin\theta\left(1-\frac{2(1-\mu)}{2\sin^2\theta}\right)$$

$\mu$ என்பது ஏறக்குறைய 1-க்குச் சமம் ஆகையால் $1+\mu = 2$ என்று பதிலீடு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. ஆகவே

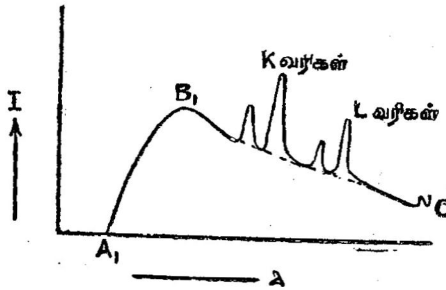
$$n\lambda = 2d\ sin\theta\left(1-\frac{\delta}{sin^2\theta}\right)$$

$2d\ sin\ \theta = n\lambda$ என்ற முதல் அடுக்கில் உண்டாகும் எதிரொளிப்பிற்கான சமன்பாட்டிலிருந்து

$sin^2\theta = \frac{n^2\lambda^2}{4d^2}$ என்றாகும். இதை மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$n\lambda = 2d\ sin\theta\left(1-\frac{4d^2\delta}{n^2\lambda^2}\right)$$

இதுதான் திருத்தப்பட்ட பிராக் சமன்பாடு ஆகும். இதில் $\frac{4d^2\delta}{n^2\lambda^2}$ என்பது திருத்தம் ஆகும். $n$ மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க திருத்தத்தின் அளவு குறையும் என அறியலாம். எனவே தொடக்கத்திலுள்ள சில வரிசைகளுக்குத்தான் திருத்தத்தைப் பயன்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.




படம் 54a

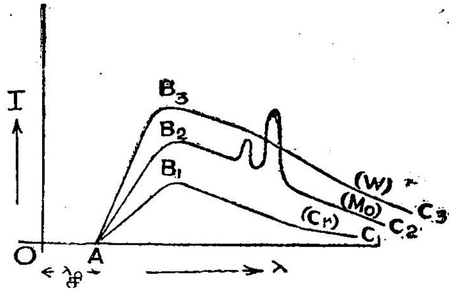
## எக்ஸ்-கதிர் தொடர் நிறமாலையும்-சிறப்பியல் நிறமாலையும் (Continuous and characteristic X ray spectra)

ஓர் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து பல்வேறு அலைநீளங்களைக் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிவருகின்றன. அவற்றோடு அக்குழாயில் இலக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கும் தனிமத்திற்கே உரிய சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களைக் கொண்ட கதிர்களும் வருகின்றன. இவற்றின் செறிவு மற்றைய அலைநீளங்களைக் காட்டிலும் மிகவும் அதிகமாக இருக்கிறது.

எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்களின் அலைநீளங்களுக்கும் செறிவுக்குமாக வரையப்பட்ட வரைபடம், **படம்** 54*a*-ல்

காட்டிய வடிவத்தில் இருக்கும். இது தொடர் நிறமாலை மற்றும் சிறப்பியல் நிறமாலை இவை இரண்டின் கூட்டுப் படமாகும். படத்தில் $A_1$, $B_1$, $C_1$ என்பது எக்ஸ்-கதிர் தொடர் நிறமாலையாகும். அதில் $B_1 C_1$ என்ற பகுதியில் சில இடங்களில் விரைந்து எழும்பி நிற்கும் மூகட்டு உச்சிகள் சிறப்பியல்பு வரி நிறமாலையாகும்.

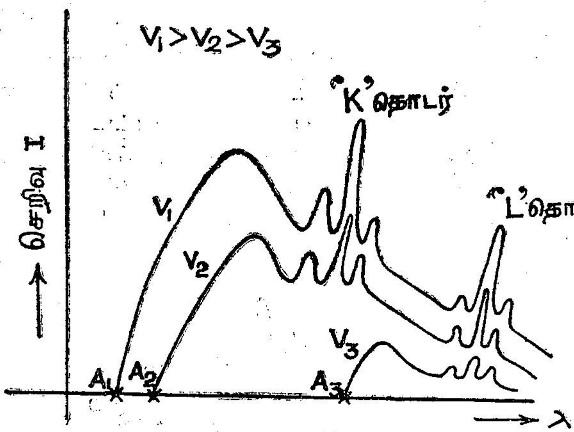
வரைபடம் ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தில் ($A_1$ல்) தொடங்குகிறது. அலைநீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கச் செறிவு விரைந்து ஏறத்தொடங்கி ஓரிடத்தில் ($B_1$ல்) பெருமச் செறிவு அடைவதையும் பின்னர் மேலும் அலைநீளம் அதிகரிக்கும்போது செறிவு மெதுவாகக் குறைந்து கொண்டே போவதையும் காணலாம். இப்போது எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் பயன்படுத்தப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு $V_1$ என்றால் இதைக்கொண்டு உண்டாக்கக்கூடிய அலை




படம் 55

நீளங்களிலேயே மிகக்குறைந்த அலைநீளம் $A_1$ என்ற புள்ளியால் குறிக்கப்படும் அலைநீளமாகும். ஒவ்வொரு மின்னழுத்தவேறுபாட்டிற்கும் அது உண்டாக்கக்கூடிய சிறும அலைநீளம் ஒன்று உண்டு. இலக்கு எதுவாயினும் மின்னழுத்தவேறுபாடு மாறாத வரை அக்குழாயில் உண்டாகும் சிறும அலைநீளம் மாறாது. வெவ்வேறு இலக்குகளைக்கொண்டு, குறிப்பிட்ட ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கீழ் எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்கச்செய்து அவற்றின் அலைநீள-செறிவு வரைபடங்களை (wave length intensity graphs) வரைந்தால் அது படம் 55-ல் காட்டியுள்ளது போல் இருக்கும். படத்தில் டங்ஸ்டன் (*W*), மாலுபெடீனம் (*Mo*), குரோமியம் (*Cr*) ஆகிய இலக்குகளைக் கொண்டு பெற்ற எக்ஸ்-கதிர்களுக்கான அலைநீள-செறிவு வரைபடம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. குறிப்பிட்ட இந்த இலக்குகளைக் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்க்குழாய்கள் ஒரே அளவுடைய மின்னழுத்த வேறுபாட்டால் இயக்கப்பட்டவையாகும். படம் பின்வரும் உண்மைகளைக் காட்டுகிறது. (1) மூன்று

வரைபடங்களும் $A$ என்ற ஒரேபுள்ளியில் ஆரம்பிக்கின்றன. ஆகவே, இம்மூன்று குழாய்களிலும் தோன்றுகின்ற சிறும அலை நீளத்தின் மதிப்பு ஒரே அளவுடையது. (2) $A\,B_1\,C_1$ என்பது குரோமியத்துக்குரிய வரைபடத்தையும், $AB_2C_2$ என்பது மாலுபெடீனத்திற்குரிய வரைபடத்தையும் $AB_3C_3$ என்பது டங்ஸ்டனுக்குரிய வரைபடத்தையும் குறிக்கின்றன. இவற்றில் $B_1$, $B_2$, $B_3$ என்பன அவ்வரைபடங்களில் பெருமச் செறிவுப் பகுதியைக் குறிக்கின்றன.

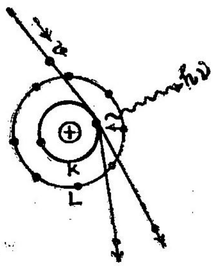



படம்.

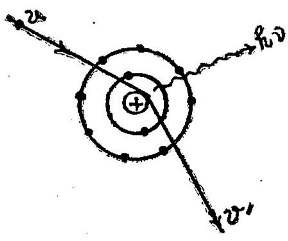
இவை ஒன்றின் மேலொன்றாக அமைந்திருக்கின்றன. ஆகவே பெருமச்செறிவு அலைநீளம், சிறும அலைநீளத்துடன் ஏதோ ஒரு தொடர்பு கொண்டிருக்கவேண்டும் எனத்தெரிகிறது. சிறும அலைநீளத்தின் மதிப்பினைப்போல் $1\frac{1}{2}$ — 2 மடங்கு உடைய அலைநீளப் பகுதியில் மேற்கூறிய பெருமச் செறிவு இருப்பதைக் காணலாம்.

3) டங்ஸ்டன் மற்றும் குரோமியம் ஆகியவற்றிற்கான வரைபடங்களில் முகட்டு உச்சிகள் காணப்படாததையும், மாலுபெடீனத்திற்கான வரைபடத்தில் இரு உச்சிகள் ($K$ வரிகள்) காணப்படுவதையும் பார்க்கிறோம். இதிலிருந்து இப்போது தரப்பட்டிருக்கும் மின்னழுத்தம், டங்ஸ்டன் மற்றும் குரோமியம் ஆகிய இலக்குகளின் $K$ வரி அலைநீளத்தைவிட நீளமான சிறும அலைநீளத்தைத் தருகிறது. ஆகவேதான் அவற்றின் $K$ வரிகள் உண்டாக இடமில்லாமல் போய்விட்டது. ஆனால் மாலுபெடீனம் இலக்கின் $K$ வரிகளின் அலைநீளங்கள், இப்போதுள்ள சிறும அலைநீளத்தை விடப் ($A$ஐ விட) பெரியவை. ஆகவேதான் அவைமட்டும் காணப் படுகின்றன.

குறிப்பிட்ட இலக்கை உடைய எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் வெவ்வேறு அளவுடைய மின்னழுத்த வேறுபாட்டினைச் செயற்படுத்தி பெறப்பட்ட அலைநீள—செறிவு வரைபடம் படல் 56ல் காட்டியுள்ளது போல் இருக்கும். பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு அதிகரிக்க, எக்ஸ்-கதிர்க்குழாய் வெளியிடுகின்ற சிறும அலைநீளத்தின் மதிப்புக் குறைந்துகொண்டே போவதைக் காண்கிறோம். $V_1 > V_2 > V_3$ என்றால் $A_1 < A_2 < A_3$ ஆக இருப்பதைக் காண்கிறோம். இலக்குமாறாது இருப்பதால் இலக்கின் சிறப்பியல் வரிகளைக் குறிக்கின்ற முகட்டு உச்சிகளின் இடம் மாறாமல் இருப்பதையும் ஆனால் மின்னழுத்த வேறுபாடு குறையக் குறைய அவற்றின் செறிவு குறைவதையும் பார்க்கிறோம். மேலும்




படம் -57(a)




படம் -57(b)

மின்னழுத்த வேறுபாடு மிகமிகக் குறைந்துவிடும்போது எக்ஸ்-கதிர்க்குழாய் உண்டாக்குகின்ற சிறும அலைநீளம், இலக்கின் சிறப்பியல் வரிகளின் அலைநீளத்தைவிட நீளமாகப் போய்விடுவதால் சிறப்பியல் வரிகள் உண்டாக இடமில்லாமல் போய்விட்டதையும் காண்கிறோம்.

## எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளின் தோற்றமும் டயனே-ஹன்ட் விதியும் (Duane-Hunt law)

எதிர்மின்கதிர்கள் இலக்கைத் தாக்கும்போது இலக்கிலிருந்து தொடர் எக்ஸ்-கதிர்களும் சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களும் தோன்றுகின்றன. எதிர்மின் கதிரில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் போதிய ஆற்றல் பெற்றிருப்பின், அவை இலக்கின் அணுவினுள்ளே புகுந்து அதன் $K$ கூட்டில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றும். இப்போது $K$ கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள $L$ அல்லது $M,N\cdots$போன்ற ஒரு கூட்டிலிருந்து $K$ கூட்டின் காலியான இடத்திற்கு எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெறுகிறது. இப்போது $h\nu$ அளவு ஆற்றலுடைய ஃபோட்டான் வெளிவருகிறது (படம் 57$a$) $W_1-W_2$ என்பது தாவல் நடைபெறும் இரு கூடுகளுக்கிடையே உள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு என்றால் $W_1-W_2=h\nu$ ஆகும். இத்தகைய தாவல்களினால் இலக்கின் **சிறப்பியல் $K$ வரிகள்** (characteristic K lines) தோன்றுகின்றன. இதே போன்று $L$ கூட்டு எலெக்ட்ரான் ஒன்று (எதிர்மின்கதிரின் எலெக்ட்ரான் நேரடியாகத் தாக்குவதாலோ அல்லது $K$ கூட்டில் ஏற்பட்ட காலியிடத்தை நிரப்புவதற்கு $L$ கூட்டு எலெக்ட்ரான் தாவுவதாலோ) நீக்கப்பட்டால் $L$-கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள $M,N\ldots$ போன்ற கூடுகளிலிருந்து $L$-கூட்டின் காலியான இடத்திற்கு எலெக்ட்ரான் தாவல் நடைபெறும். இதனால் இலக்கின் **சிறப்பியல் $L$-வரிகள்** தோன்றுகின்றன.

எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கின் அணுவிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் எதையும் வெளியேற்றாமல், அணுவுக்குள் புகுந்து செல்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். அணுக்கருவின் ஆற்றல்மிக்க ஈர்ப்பு விசையினால் எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரான் எதிர்முடுக்கமுற்று பாதைவிலக்கம் அடைகின்றன (படம் 57$b$). இவ்வாறு எதிர்முடுக்கமுறும் எலெக்ட்ரான் ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக (radiation) வெளியிடும் என அறிவோம். எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரான் ஒன்று அணுவினுள் நுழையும்போது $v$ என்ற வேகத்தையும், அணுவிலிருந்து வெளியேறும்போது $v'$ என்ற வேகத்தையும் பெற்றிருப்பதாகவும், அணுவிலிருந்து வெளிவரும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $h\nu$ என்றும் கொண்டால் ஆற்றல் அழிவின்மை விதிப்படி.

$$\tfrac{1}{2}mv^2=\tfrac{1}{2}mv'^2+h\nu$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2-\tfrac{1}{2}mv'^2=h\nu$$

இதிலிருந்து $v,v'$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளுக்கு ஏற்ப வெவ்வேறு அதிர்வுஎண் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்வீச்சுகள் வெளிவரும்

என அறிகிறோம். எலெக்ட்ரான் அணுவால் தடுத்து நிறுத்தப்பட்டு விட்டால் அப்போது $v' = 0$ ஆகும்

எனவே $\frac{1}{2}\ mv^2 = h\nu$ (பெருமம்) ஆகும், இந்நிலையில் வெளி வருகின்ற எக்ஸ்-கதிரின் அதிர்வுஎண் பெரும மதிப்புடையதாக இருக்கும் அல்லது இந்நிலையில் வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிரின் அலைநீளம் சிறும மதிப்புடையதாக இருக்கும்.

எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரான் பெற்றிருக்கும் இயக்க ஆற்றலின் அளவு, குழாயை இயக்கும் மின்னழுத்த வேறுபாடாகிய $V$ஐப் பொறுத்தது. எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றலாகிய $\frac{1}{2}\ mv'^2 = Ve$ ஆகும். எனவே எதிர்மின்கதிர் எலெக்ட்ரான் அணுவால் நிறுத்தப்படும் போது வெளிவரும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் பெரும அளவுடையதாக இருக்கும் அதாவது

$$\frac{1}{2}\ mv^2 = Ve = h\nu_{\text{பெருமம்}}$$

$c = \nu\lambda$ ஆகையால்

$$= h\frac{c}{\lambda_{\text{சிறுமம்}}}$$

இங்கு $c$ என்பது ஒளியின் திசைவேகத்தைக் குறிக்கிறது.

$$Ve = \frac{hc}{\lambda_{\text{சிறுமம்}}}$$

என்றச் சமன்பாட்டிற்கு டானே-ஹன்ட் விதி (Duane-Hunt law) என்று பெயர். இச்சமன்பாட்டில் $h, e, c$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய

$$\lambda_{\text{சிறுமம்}} = \frac{12345}{V} A^\circ$$

என்றாகும்.

இங்கு $V$ என்பது வோல்ட்டுகளில் கூறப்படவேண்டும்.

குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்தின் கீழ் இயங்கும் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைநீளங்களுக்கும் அவற்றின் செறிவுகளுக்குமாக வரையப்படும் அலைநீள-செறிவு வரைபடத்தின் உதவியால் அந்த மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு உரிய சிறும அலைநீளத்தை ($\lambda$ சிறுமம்) அறியலாம். அதைக் கொண்டு பிளாங்க் மாறிலியாகிய $h$ ஐக் கணிக்கலாம்

$$Ve = \frac{h\,c}{\lambda_{\text{சிறுமம்}}}$$

$$\therefore\ h = \frac{Ve.\ \lambda_{\text{சிறுமம்}}}{c}$$

இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட $h$-ன் மதிப்பு, வேறுமுறைகளின் மூலம் கண்டறியப்பட்ட $h$-ன் மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தது. எனவே டானே-ஹன்ட் விதி குவான்டம் கொள்கையை மெய்ப்பிக்க உதவுகிறது என உணரலாம்.

குறிப்பு :—

ஒரு தனிமத்தை இலக்காகக் கொண்டுதான் அதன் சிறப்பியல் வரிகளைப் பெற வேண்டுமென்பது இல்லை. சிறப்பியல் வரிகளின் அதிர்வு எண்ணைவிட அதிக அதிர்வு எண் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்களை, அத்தனிமத்தின் மீது படச் செய்தாலும் அத்தனிமம் தன் சிறப்பியல் வரிகளை வெளிவிடும். இது ஒளியியலில் நடைபெறுகின்ற ஒளிர்தல் நிகழ்ச்சியைப் போன்றது. எனவே இம்முறையில் உண்டாக்கப்படும் எக்ஸ்-கதிர்களை **ஒளிர் எக்ஸ்-கதிர்கள்** (fluorescent X-Rays) என அழைக்கிறார்கள்.

ஒரு தனிமத்தை, விரைந்து செல்லும் $\alpha$ துகள், புரோட்டான் அல்லது எலெக்ட்ரான் இவற்றைக் கொண்டு தாக்கும் போது சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிவருகின்றன. அவ்வாறின்றிப் பல தனிமங்களைக் கொண்ட ஒரு கலப்பு உலோகத்தை இலக்காக வைத்து, எதிர்மின்கதிர்களைக் கொண்டு தாக்கச் செய்தால், அக்கலவையில் உள்ள ஒவ்வொரு தனிமமும் தத்தம் சிறப்பியல் வரிகளை வெளிவிடக் காணலாம்.

## மோஸ்லி விதி (Moseley's law)

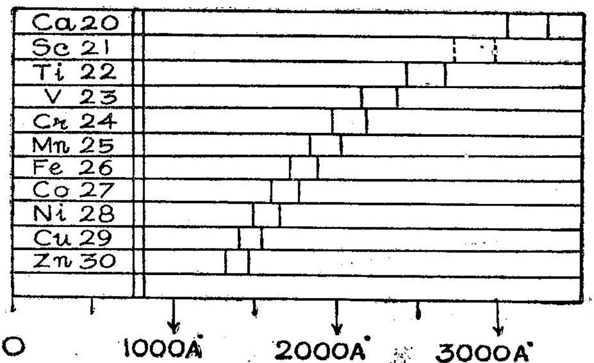
மோஸ்லி என்ற ஆங்கில நாட்டு இயற்பியல் மேதை, எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வரிகளைப் படமெடுத்து ஆய்வுகள் நடத்தி ஒரு தனிமத்தின் சிறப்பியல் வரிகளுக்கும் அதன் அணு எண்ணுக்கும் (Z) உள்ள தொடர்பினைக் கண்டார்.

**சிறப்பியல் வரி ஒன்றின்** ($K_\alpha$ அல்லது $K_\beta$ வரி போன்ற ஒன்றின்) **அதிர்வு எண்ணின் இருமடி மூலம் அவ்வரியைத் தருகின்ற தனிமத்தின் அணு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்** என்பதுதான் மோஸ்லே கூறிய விதி.

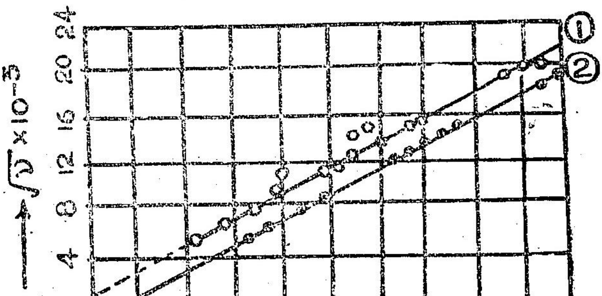
குறிப்பிட்ட ஒரு வரியின் அதிர்வு எண் $v$ என்றும் அதைத் தருகின்ற தனிமத்தின் அணு எண் Z என்றும் கொண்டால்

$\sqrt{v} = a\ (z-b)$ ஆகும் என்பதுதான் மோஸ்லே கண்ட உண்மையாகும். இதில் $a, b$ என்பன அவ்வரிக்கு உரிய மாறிலிகள் ஆகும். இவ்விதி $K$ வரிகளுக்கு மட்டுமல்லாமல் $L$ வரிகள், $M$ வரிகள் ஆகியவற்றிற்கும் பொருந்தி வருகின்ற ஒன்றாகும்.

படம் 58-a ல் பல தனிமங்களுக்குரிய *K* வரிகளும், அத்தனிமங்களுக்குரிய அணு எண்களும் தரப்பட்டிருக்கின்றன. எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் *K* வரிகளின் அமைப்பு ஒன்று போல் காணப்பட்டாலும் அணு எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க *K* வரிகள் குறைந்த அலை நீளப் பக்கமாக இடம்பெயர்த்திருப்பதைக் காணலாம். *Al* முதல் *Au* வரையிலுள்ள பல தனிமங்களை மாஸ்லே ஆய்ந்தார்.




படம் (58.a)




படம்-58(b)

தனிமங்களின் அணு எடைக்கும் அவை தருகின்ற சிறப்பியல் வரிகளின் அதிர்வு எண்ணுக்குமிடையில் ஒரு வரைபடமும் படம் 58b-ல் (1) பின்னர் தனிமங்களின் அணு எண்ணுக்கும் அவை தருகின்ற சிறப்பியல் வரிகளின் அதிர்வு எண்ணுக்குமிடையில் ஒரு வரைபடமும் படம் 58b (2) வரைந்தார். முதல் வரைபடத்தில்

(1) புள்ளிகள் தோராயமாக நேர்கோட்டிலமைந்திருப்பதையும், இரண்டாவது வரைபடத்தில் (2) புள்ளிகள் சரியான நேர் கோட்டில் அமைந்திருப்பதையும் கண்டார். இதைக் கண்ட அவர் ஒரு தனிமத்தின் இரசாயனப் பண்புகளையும், இயற்பியல் பண்பு களையும் தீர்மானிப்பதில், அதன் அணு எடையைவிட அணு எண்ணே சிறப்பான இடம் வகிக்கிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தார். பல்வேறு தனிமங்களின் அணு எண்களுக்கும், அவை தருகின்ற சிறப்பியல் வரிகளில் ஒன்றின் ($K_\alpha$, $K_\beta$ போன்ற ஒன்று) அதிர்வு எண்களுக்குமாக வரையப்பட்ட நேர்கோட்டு வரைபடம் தனிமங்கள் அமைந்திருக்கவேண்டிய முறையான வரிசையை ஐயத்திற்கு இடமின்றிக் காட்டிவிட்டது. மோஸ்லேயின் ஆய்வுக்கு முன்னர் கோபால்ட், நிக்கல் ஆகிய இரு தனிமங்களும், தனிம அட்டவணையில் அவற்றின் எடையின் அடிப்படையில், *Ni* (58·71), *Co* (58.94) என்ற வரிசையில் அமைக்கப்பட்டிருந்தன. மோஸ்லே வரைபடம் அவை கோபால்ட், நிக்கல் என்ற வரிசைப்படி தான் அமைந்திருக்கவேண்டும் என்பதை ஐயத்திற்கு இடமின்றி அறிவித்தார். ஒளியியல் நிறமாலை ஆய்வுகள் மேற்கூறிய முடிவுகள் முற்றிலும் சரியே எனக் காட்டின. எனவே, தனிமங் களின் பண்புகள் அவற்றின் அணு எண்களுடன் அலைவுச் சார்பு (periodic function) உடையன என்றும் அணு எடையுடன் அலைவுச் சார்புடையன என்று கூறுவது சரியன்று என்றும் அறிகிறோம். இது போலவே தனிம அட்டவணையில் காணப்பட்ட வேறு சில முரண் பாடுகளையும் நீக்கி மோஸ்லே கண்ட உண்மைகள் தனிம அட்ட வணையைச் செம்மைப்படுத்தின.

குறிப்பு: ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகள் வெவ்வேறு நிறையுடையன என்றாலும் அவை தருகின்ற சிறப்பியல் வரிகள் முற்றிலும் ஒத்திருக்கின்றன. ஆனால் ஐசோபார்கள் (isobars) எனப்படுகின்ற நிறையொத்த தனிமங்களின் சிறப்பியல் வரிகள் வேறுபட்டிருக்கக் காணலாம். மேலும் ஓர் உலோகக் கலவையின் (பித்தளை, வெண்கலம் போன்றவை) சிறப்பியல் வரிகள் என்பன அக்கலவையில் உள்ள பல்வேறு தனிமங்களின் சிறப்பியல் வரிகளின் கூட்டு அமைப்பேயாகும்.

மோஸ்லேயின் ஆய்வுகளினால் இன்னொரு பயனும் உண்டு. அவர் வரைந்த வரைபடத்தில் காணப்பட்ட இடைவெளிகள் (gaps) அவ்விடங்கள் ஏதோ சில தனிமங்களுக்கு உரியவை என உணர்த்தின. அதன் அடிப்படையில் ஆய்வுகளை மேற்கொண்ட போது பல புதிய தனிமங்களைக் கண்டறிய முடிந்தது. ஹாஃபினியம்

(Hafniun: Hf) 72, இலினியம் (Illinium—Promethium: Pm) 61, ரெனியம் (Rhenium: Re) 75, போன்ற பல தனிமங்கள் இம்முறையில்தான் கண்டறியப்பட்டன.

**புவியரியதனிமங்கள்** (rare earths) எனப்படும் தனிமங்களின் அணு எண்களைக் கண்டறிய மோஸ்லே படம் உதவியது. எனவே தனிம அட்டவணையில் அவற்றிற்கு உரிய இடத்தை தீர்மானிக்க உதவியது.

## காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect)

ஏ. எச். காம்ப்டன் என்ற அமெரிக்க நாட்டு விஞ்ஞானி 1923ஆம் ஆண்டில் எக்ஸ்-கதிர்களின் சிதறல் பற்றிய ஆய்வுகளில் ஈடுபட்டிருந்தபோது இப்புதிய விளைவினைக் கண்டார்.

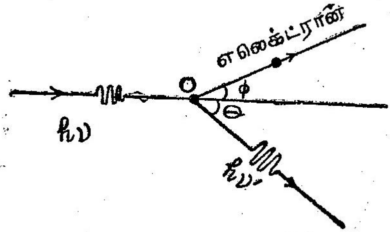
மாலுபெடீனம் (*Mo*) இலக்கிலிருந்து பெற்ற *K* வரியின் ஒற்றை நிற எக்ஸ்-கதிர்களை (Monochromatic X-rays) கிராஃபைட் கட்டி ஒன்றைக் கொண்டு சிதறச் செய்தார். படுகதிரின் திசையிலிருந்து $\phi$ என்ற கோணத்தில் சிதறிச் செல்லும் எக்ஸ்-கதிர்களை ஆராய்ந்த காம்ப்டன் அதில் மாலுபெடீனத்தின் $K_\alpha$ வரிக்கு உரிய அலைநீளத்துடன் அதைவிடச் சிறிது அதிக அலைநீளமுடைய புதிய கதிர்களும் இருக்கக் கண்டார். இதிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர்கள் சிதறலடையும் போது உண்டாகும் **பின்வரு கதிர் வீச்சில்** (Secondary radiation) இரு உறுப்புகள் காணப்படுகின்றன என்றும், அவற்றுள் ஒன்று படுகற்றையின் அலைநீளத்தையே கொண்டிருக்குமென்றும், மற்றது முதற் கற்றையின் அலைநீளத்தைவிடச் சிறிது அதிக அலைநீளமுடையதாக இருக்குமென்றும் அறிகிறோம். படுகற்றையின் அலைநீளத்தையே கொண்ட உறுப்பு **மாற்றப்படாத சிதறல் கதிர்கள்** (unmodified scattered rays) ஆகும். இத்தகைய சிதறல் **ஒரியல் சிதறல்** (coherent scattering) எனப்படும். படுகற்றையின் அலைநீளத்தைவிட அதிக அலைநீளமுடைய மற்றைய உறுப்பு **மாற்றப்பட்ட சிதறல் கதிர்கள்** (modified scattered rays) ஆகும். இவ்வகைச் சிதறல் **ஒரியலற்ற சிதறல்** (incoherent scattering) எனப்படுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியை அலைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்க இயலாது போயிற்று. எனவே குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் தெளிவான ஒரு விளக்கத்தைக் காம்ப்டன் கூறினார்.

குவான்டம் கொள்கையின்படி ஆற்றல் வரையறுக்கப்பட்ட பல முடிச்சுகளாக (packets) இருக்கின்றது. இம்முடிச்சுகளைக் **குவான்டங்கள்** (quanta) என்கிறோம். ஒவ்வொரு குவான்டத்தின்

ஆற்றல் அளவும் $h\nu$ ஆகும். இதில் $h$ என்பது பிளாங்க் மாறிலியை யும் $\nu$ என்பது கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண்ணையும் குறிக்கின்றன. ஒளி குவான்டங்களைப் ஃபோட்டான்கள் (photons) என்று வழங்குகிறோம். எக்ஸ்-கதிர்க் குவான்டங்களையும், காம்ப்டன் ஃபோட்டான்கள் என்றே வழங்கினார். ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் ஐன்ஸ்டைனின் சார்புநிலைக் கொள்கையின்படி $E = mc^2$ ஆகும். எனவே ஒரு ஃபோட்டானின் நிறை $= \frac{h\nu}{c^2}$ என்றும் அதன் உந்தம் = நிறை $\times$ திசை வேகம் $= \frac{h\nu}{c^2} \cdot c = \frac{h\nu}{c}$ என்றும் அறியலாம்.

சிதறல் நிகழ்ச்சியினை ஓர் எக்ஸ்-கதிர் ஃபோட்டானுக்கும் அணுவின் எலெக்ட்ரான் ஒன்றுக்குமிடையே நடைபெறும் மீட்சி மோதலாக (elastic collision) காம்ப்டன் கருதினார். இந்த அடிப் படையில் ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் இவைபற்றிய அழிவின்மை விதி களைப் பயன்படுத்தி அலைநீள மாற்றத்திற்கான சமன்பாட்டைக் கண்டுபிடித்தார்.

O என்ற இடத்தில் பொருளின் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான் (free electron) ஒன்று அசையா நிலையில் இருக்கிறது. அதன்மீது எக்ஸ்-கதிர் ஃபோட்டான் ஒன்று மோதுகிறது. மோதலுக்குப் பிறகு




படம் 59

அவை படம் 59ல் காட்டியுள்ள திசைகளில் செல்வதாகக் கொள் வோம். மோதலின் விளைவாக எலெக்ட்ரான் $v$ என்ற திசைவேகத் துடன் ஃபோட்டானின் படுதிசையிலிருந்து $\phi$ டிகிரி சாய்ந்துள்ள ஒரு திசையில் செல்வதாகவும், ஃபோட்டான் குறைக்கப்பட்ட $h\nu'$ என்ற ஆற்றலுடன் தன்னுடைய பழைய திசையிலிருந்து $\theta$ டிகிரி சாய்ந்துள்ள ஒரு திசையில் செல்வதாகவும் கொள்வோம்.

சார்புக் கொள்கையின்படி எலெக்ட்ரானின் அசையா நிலை நிறை (rest mass) $m_o$ ஆகும். ஆகவே அதன் ஆற்றலின்

அளவு $m_0c^2$ ஆகும். அது அசையாது இருப்பதால் அதன் உந்தம் சுழி (zero) ஆகும். மோதலுக்குப்பின் எலெக்ட்ரான் $v$ என்னும் திசைவேகம் பெறுகிறது. அப்போது சார்புநிலைக் கொள்கையின்படி அதன் நிறை $m$ என்பது $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ஆகும். ஆகவே மீட்சியுற்ற எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்

$$mc^2 = \frac{m_0c^2}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}$$

மீட்சியுற்ற எலெக்ட்ரான் உந்தம்

$$mv = \frac{m_0v}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \quad \text{ஆகும்.}$$

ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி

$$\overbrace{\underbrace{h\nu}_{\text{ஃபோட்டான் ஆற்றல்}} + \underbrace{m_0c^2}_{\text{எலெக்ட்ரான் ஆற்றல்}}}^{\text{மோதலுக்கு முன்}} = \overbrace{\underbrace{h\nu'}_{\text{ஃபோட்டான் ஆற்றல்}} + \underbrace{mc^2}_{\text{எலெக்ட்ரான் ஆற்றல்}}}^{\text{மோதலுக்குப் பின்}}$$

இவ்வாறே மோதலுக்கு முன்னும் பின்னும் உள்ள உந்தங்களின் கூட்டுத்தொகை மாறாமலிருக்கும் ஆதலால்

$$\overbrace{\underbrace{\frac{h\nu}{c}}_{\text{ஃபோட்டான் உந்தம்}} + \underbrace{o}_{\text{எலெக்ட்ரான் உந்தம்}}}^{\text{மோதலுக்கு முன்}} = \overbrace{\underbrace{\frac{h\nu'\cos\theta}{c}}_{\text{ஃபோட்டான் உந்தம்}} + \underbrace{mv\cos\phi}_{\text{எலெக்ட்ரான் உந்தம்}}}^{\text{மோதலுக்குப் பின்}}$$

இது சமன்பாடு (2) ஆகும்.

குறிப்பு: — உந்தங்கள் ஃபோட்டானின் படுதிசைக்கு இணையாகவும், குத்தாகவும் பகுக்கப்பட்டுப் பின்னர் சமப்படுத்தப்பட வேண்டும். இங்கு ஃபோட்டானின் திசையிலமைந்த கூறுகள் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டிருக்கின்றன.

ஃபோட்டானின் படுதிசைக்குக் குத்தாக அமைந்த உந்தக் கூறுகளை நோக்க

$$\underbrace{\overbrace{0}^{\text{மோதலுக்கு முன்}}}_{\text{இரண்டும்}} = \overbrace{\underbrace{\frac{hv' \sin\theta}{c}}_{\text{ஃபோட்டான் உந்தம்}} - \underbrace{mv \sin\phi}_{\text{எலெக்ட்ரான் உந்தம்}}}^{\text{மோதலுக்குப் பின்}} \qquad \text{—(3)}$$

அதிர்வு எண்ணில் ஏற்படும் மாறுதலை அளவிடச் சமன்பாடுகள் (2) மற்றும் (3) ஆகியவற்றை எடுத்துக்கொண்டு அவற்றிலிருந்து $\phi$ ஐ நீக்குதல் வேண்டும்.

சமன்பாடு (2)ஐ

$mv\,c\ \cos\phi = h(v - v'\ \cos\theta)$ என்றும்

சமன்பாடு (3) ஐ

$mv\,c\ \sin\phi = hv'\sin\theta$ என்றும் எழுதலாம்.

இச்சமன்பாடுகளை இருமடியாக்கிக் கூட்ட

$$m^2v^2c^2\cos^2\phi = h^2(v - v'\cos\theta)^2$$
$$m^2v^2c^2\sin^2\phi = h^2(v'\sin\theta)^2$$

$$m^2v^2c^2(\sin^2\phi + \cos^2\phi) = h^2[v^2 - 2vv'\cos\theta + v'^2\cos^2\theta + v'^2\sin^2\theta]$$

$$mv^{22}c^2 = h^2[v^2 - 2vv'\cos\theta + v'^2] \qquad (4)$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து

$mc^2 = h(v - v') + m_oc^2$ ஆகும்.

இதை இருமடியாக்க

$$m^2c^4 = h^2(v - v')^2 + 2h(v - v')m_oc^2 + m_o^2c^4$$
$$= h^2(v^2 - 2vv' + v'^2) + 2h(v - v')m_oc^2 + m_o'c^4 \qquad (5)$$

சமன்பாடு (5)-லிருந்து சமன்பாடு (4)ஐக்கழிக்க

$$m^2c^2\ [c^2 - v^2] = -2h^2vv'(1 - \cos\theta) + 2h(v - v')m_oc^2 + m_o^2c^4 \qquad (6)$$

ஆனால் $m^2c^2(c^2 - v^2) = \dfrac{m_o^2c^2(c^2 - v^2)}{\left(1 - \dfrac{v^2}{c^2}\right)}$

$$= \frac{m_o^2c^2(c^2 - v^2)c^2}{(c^2 - v^2)}$$

$$= m_o^2c^4$$

ஆகவே சமன்பாடு (6)ஐ

$$m_o^2c^4 = 2h^2\nu\nu'\ (1-\cos\theta) + 2h(\nu-\nu')\ m_oc^2 + m_o^2c^4$$

என எழுதி மீண்டும் சுருக்க

$$2h^2\nu\nu'(1-\cos\theta) = 2h(\nu-\nu')m_oc^2$$ ஆகும்.

$$\because \frac{\nu-\nu'}{\nu\nu'} = \frac{h}{m_oc^2}\ (1-\cos\theta)$$

$$\frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu} = \frac{h}{m_oc^2}\ (1-\cos\theta)$$

$$c\left(\frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu}\right) = \frac{h}{m_oc}\ [1-\cos\theta]$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_oc}(1-\cos\theta)$$

$$= \frac{2h}{m_oc} \cdot \sin^2\theta/2$$

$$\therefore \lambda' = \lambda + \frac{2h}{m_oc}\sin^2\theta/2$$

இதிலிருந்து சிறிய ஃபோட்டானின் அலைநீளம் ($\lambda'$), படு ஃபோட்டானின் அலைநீளத்தை விட அதிகமானது என்றும் அலைநீள வேறுபாடு $d\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_oc}\sin^2\theta/2$ என்றும் அறிகிறோம்.

அலைநீள வேறுபாட்டிற்கான $\frac{2h}{m_oc}.\sin^2\theta/2$ என்ற வாய்பாட்டில் படுகதிரின் அலைநீளமாகிய $\lambda$-வோ அல்லது சிதறச் செய்பொருள்களின் தன்மைகளோ (சிதறல் எண் போன்றவையோ) வராததால் சிதறல் ஏற்படும் அலைநீள மாறுபாடு படுகதிரின் தன்மைகளையோ, சிதறச்செய் பொருளின் தன்மைகளையோ பொறுத்தது அல்ல என்பதையும் சிதறல் கோணமாகிய $\theta$-வை மட்டுமே பொறுத்திருக்கிறது என்பதையும் அறியலாம்.

1) $\theta = 0^\circ$ ஆக இருந்தால் $\lambda' = \lambda$ ஆக இருக்கும்.

2) $\theta = 90^\circ$ ஆக இருந்தால் $\sin^2\frac{\theta}{2} = \sin^2 45 = \frac{1}{2}$ ஆகும்.

எனவே $d\lambda = \frac{2h}{m_oc} \times \frac{1}{2}$

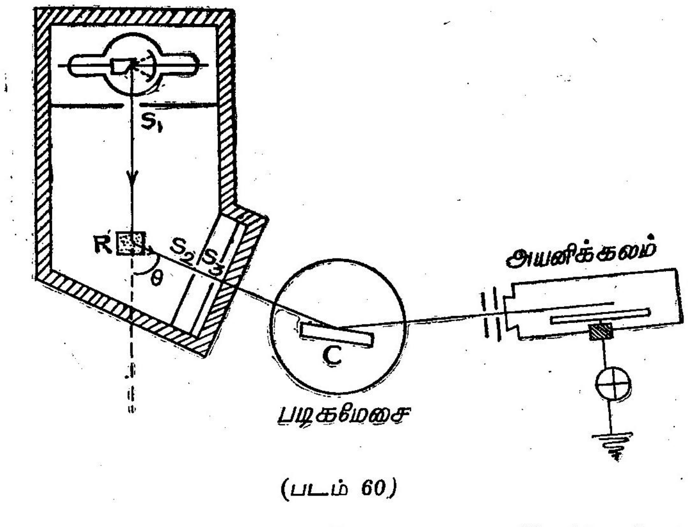
$= \frac{h}{m_oc}$ ஆகும்.

இது ஒரு மாறிலி ஆகும். இதற்குக் காம்ப்டன் அலைநீளம் (Compton wave length) என்று பெயர். $h, m_0$ மற்றும் $c$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய காம்ப்டன் அலைநீளம் $= 0.0242 A^\circ$ ஆகும்

3) $\theta = 180^\circ$ என்றால் $d\lambda = \frac{2h}{m_0 c}$ ஆகும்

ஆகவே $\lambda' = \lambda + \frac{2h}{m_0 c}$

இதிலிருந்து சிதறல் கோணத்தின் மதிப்பு $0^\circ$ல் இருந்து $180^\circ$க்கு அதிகரித்துச் செல்லச் செல்லச் சிதறிய ஃபோட்டானின் அலைநீளம் $\lambda$ல் இருந்து $\lambda + \frac{2h}{m_0 c}$க்கு அதிகரித்துச் செல்லும் என அறிகிறோம்.




(படம் 60)

எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாமே கட்டற்ற நிலையில் இருப்பது இல்லை. சில எலெக்ட்ரான்கள் கட்டுண்ட நிலையிலும் சில கட்டற்ற நிலையிலும் இருக்கின்றன. படு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் அணுவிலிருந்து எலெக்ட்ரானை விடுவிக்கப் போதுமானதாக இல்லை என்றால் மோதல் அணுவுக்கும் ஃபோட்டானுக்கும் இடையில்தான் நடைபெறும். அப்போது $d\lambda = \frac{2h}{m_0 c}$ என்னும் சமன்பாட்டில் $m_0$ என்பது அணுவின் எடையைக் குறிப்பதாக ஆகிவிடும். அப்போது $d\lambda$-ன் மதிப்பு அளவிடமுடியாத அளவுக்குக் குறைந்து

விடும். அதாவது சிதறிய கதிர்வீச்சின் அலைநீளத்திற்கும் படுகதிரின் அலைநீளத்திற்கும் வேறுபாடு இராது. அதாவது சிதறல் ஓரியல் சிதறலாகிவிடும். இத்தகைய மோதல்களின் காரணமாகவே மாற்றப்படாத வரிகள் தோன்றுகின்றன.

## காம்ப்டன் விளைவுக்கான சோதனை

படம்: 60: காரீயப் பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் எக்ஸ் கதிர்க்குழாயின் மாலுபெடீனம் இலக்கிலிருந்து அதிக ஊடுருவு திறன்கொண்ட, ஒற்றை நிறக்கடின எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளி வருகின்றன. இவை $S_1$ என்ற மெல்லிய பிளப்புக்கொண்ட ஈயத்திரையால் செம்மையான, மெல்லிய கற்றையாக்கப் படுகின்றன. இக்கற்றை $R$ என்ற கிராஃபைட் கட்டியின் மீது பட்டு $\theta$ என்ற கோணத்தில் சிதறலடைகிறது. சிதலுற்ற கற்றை $S_2, S_3$ என்ற பல பிளப்புகளால் ஒருவரிப்படுத்தப்பட்டு, ப்ராக் நிறமாலைமானியின் படிகமேசையின் மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கும் $C$ என்ற படிகத்துண்டின் மீது விழுகிறது. படிகத்தில் விலக்கமுற்ற கற்றை அயனிக்கலம் அல்லது ஒளிப்படப் பெட்டியை அடைகிறது. ஒளிப்படப் பெட்டி பொருத்தப்பட்டால், நேர்கற்றையையும் சிதறிய கற்றையையும் ஒரே தகட்டில் படம் எடுக்கவேண்டும்.

எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய், கிராஃபைட் கட்டி இவற்றின் இடத்தைத் தக்கவாறு மாற்றி $\theta$-ன் மதிப்பினை மாற்றலாம். $S_2, S_3$ போன்ற பிளப்புகளின் இடத்தையோ, படிகத்தின் இடத்தையோ மாற்றாது எக்ஸ்-கதிர்குழாயின் இடத்தை மட்டும் மாற்றிப் படுகற்றை நேராகப் படிகத்தின் மீது விழுமாறு செய்து படுகற்றையின் நிறமாலையைப் பெறலாம்.

படுகதிரின் அலைநீளமும், சிதறிய கதிரின் அலைநீளமும் ஒரே அளவாக இருந்தால், படுகதிரைக்கொண்டு எடுத்த நிறமாலையும், சிதறிய கதிரைக்கொண்டு எடுத்த நிறமாலையும் ஒரே அமைப்புடைய தாக இருக்கும். ஆனால், காம்ப்டன் செய்த சோதனையில் சிதறிய கதிரின் நிறமாலையில் $K_\alpha$ வரியுடன் அதிக அலைநீளப் பக்கத்தில் $K_\alpha'$ என்ற ஒரு புதிய வரியும் காணப்பட்டது. $\theta = 90°$ ஆக இருக்கையில் $K_\alpha$ வரியின் அலைநீளம் $0.708 A°$ ஆகவும் $K_\alpha'$ வரியின் அலைநீளம் $0.730 A°$ ஆகவும் இருந்தது. இவ்விரு வரிகளுக்குமுள்ள அலைநீள வேறுபாடு $0.730 - 0.708 = 0.022$ A° ஆகும். இது கொள்கை வழி (Theoritical) கணக்கிட்ட $0.024 A°$ என்பதோடு வியக்கத்தக்க அளவுக்கு ஒத்திருந்தது. மேலும் சிதறல் கோணம் மாறாது இருக்கும்வரையில், படுகற்றை $K_\alpha$ வரியாக இருந்தாலும்,

$K_\beta$ வரியாக இருந்தாலும், $d\lambda$-ன் மதிப்பு 0.022 A° ஆகவே இருப்பதைக் காட்டினார். இதிலிருந்து $d\lambda$-ன் மதிப்பு படுகற்றையின் அலைநீளத்தைச் சார்ந்தது அன்று என்பது தெளிவாயிற்று. குறைந்த அணு எண் கொண்ட லிதியத்தைக் கொண்டு சிதறல் உண்டாக்கி, சிதறிய கதிர் முழுதும் புதிய அலைநீளங்கள் கொண்டிருப்பதைக் காட்டி இலேசான தனிமங்களில் ஓரியலற்ற சிதறல் ஏற்படுவதையும், வெள்ளி போன்ற அணுஎண் அதிகமுடைய தனிமத்தைக் கொண்டு சிதறல் உண்டாக்கி சிதறிய கதிரில் மாற்றப்படாத அலைநீளம் இருப்பதைக்காட்டி கனமான தனிமங்களில் ஓரியல் சிதறல் ஏற்படுவதையும் மெய்பித்தார்.

இவ்வாறு காம்ப்டன் விளைவும் அதை மெய்ப்பிக்கும் சோதனைகளும் குவான்டம் கொள்கைக்கு அசைக்கமுடியாத சான்றாக விளங்குகின்றன.

## எக்ஸ்-கதிர்களின் பயன்கள்

எக்ஸ்-கதிர்கள் பல்வேறு செயல்களுக்குப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன என்றாலும் அவற்றைப் பெரும்படியாக மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

1) அறிவியல்துறைப் பயன்கள்.
2) தொழில்துறைப் பயன்கள்.
3) மருத்துவத்துறைப் பயன்கள்.

### 1. அறிவியல்துறைப் பயன்கள்

படிகங்களின் அமைப்பு, அணுக்களின் அமைப்பு, அவற்றின் பண்புகள், திண்பொருள்களில் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் அமைந்துள்ள விதம், இவைபற்றிய ஆய்வுகளுக்கு எக்ஸ்-கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. இதுபற்றி விளக்கமாகப் பின்னர் படிகவியல் என்ற தலைப்பில் காணலாம்.

### 2. தொழில்துறைப் பயன்கள்

பாதுகாப்புத் துறையில் பயன்படுத்தப்படும் டாங்கிகள், ஆகாய விமானங்கள், மற்றும் பீரங்கிகள் போன்றவற்றின் பகுதிகளில் ஏற்படக்கூடிய விரிசல்கள், துளைகள், வார்ப்பின்போது ஏற்படக்கூடிய காற்றுக் குமிழ்கள், உருக்கி ஒட்டல் (welding) முறைகளில் ஏற்படக்கூடிய குறைகள் போன்றவற்றைக் கண்டறியவும், வெடிகுண்டுகள் மற்றும் துப்பாக்கிக் குண்டுகள்

ஆகியவை, வெடி பொருள்களால் நன்கு நிரப்பப்பட்டுள்ளதா எனப் பார்த்து வாங்குவதற்கும், வார்ப்பு ஆலைகளில் செய்யப்படும் பெரிய பொறிப் பகுதிகள் (Machine parts) உள்ளே கெட்டியாக இருக்கின்றனவா என அறிந்துகொள்வதற்கும், சுங்கச்சாவடிகளில் மூட்டைகளுக்குள்ளும் பெட்டிகளுக்குள்ளும் மறைத்து வைக்கப் பட்டிருக்கும் பொருள்களைக் கண்டுபிடிப்பதற்கும் இதுபோன்ற பலவகையான காரியங்களுக்கும் எக்ஸ்-கதிர்கள் பயன்படுகின்றன.

## 3. மருத்துவத்துறைப் பயன்கள்

எக்ஸ்-கதிர்கள் உடலில் உள்ள சதைப் பகுதியில் எளிதாக ஊடுருவிப் பாய்கின்றன. ஆனல் எலும்புப் பகுதியில் பெரிதும் உட்கவரப்படுகின்றன. எனவே எக்ஸ்-கதிரைக் கொண்டு எடுக்கப்படும் உடலுறுப்புகளின் ஒளிப்படத்தில் எலும்புப்பகுதிகள் சதைப்பகுதிகளிலிருந்து வேறுபட்டுத் தெரியும். பொதுவாக அதிக அணு எண் உடைய தனிமங்களைக் கொண்ட பகுதிகள் வேருகவும், குறைந்த அணு எண் உடைய தனிமங்களைக் கொண்ட பகுதிகள் வேருகவும் தெரியும். எலும்பில் கால்சியம், பாஸ்ஃபரஸ் போன்ற கனமான தனிமங்களும், சதைப்பகுதிகளில் ஹைட்ரஜன், ஆக்சிஜன், கார்பன் போன்ற இலேசான தனிமங்களும் இருக்கின்றன. எலும்புப்பகுதியின் சராசரி அணு எண் 20. சதைப்பகுதியின் சராசரி அணு எண் 7. ஆகவேதான் எலும்பின்படம் செறிவு மிக்கதாகவும் சதையின்படம் செறிவு குறைவாகவும் காணப்படுகின்றன. இதனல் எலும்பில் ஏற்படும் முறிவுகளின் இடத்தையும், இயல்பையும் அறிய முடிகிறது. இவ்வாறே உடலில் பாய்ந்த துப்பாக்கிக் குண்டுகளின் இடங்களையும், குழந்தைகள் விழுங்கிவிடக்கூடிய கோலிக்குண்டுகள், ஊசிகள் போன்றவற்றின் இருப்பிடத்தையும் எக்ஸ்-கதிர்ப் படங் களின் மூலம் அறிந்து தகுந்த முறைகளின் மூலம் நீக்க இயலும். நோயாளியின் குடற்பகுதி அல்லது இரைப்பைப் பகுதி போன்ற வற்றைப் படம் எடுப்பதற்கு முன்பு நோயாளிக்கு அணு எண் அதிகமுடைய பேரியம் (அ. எண். 53) அல்லது பிஸ்மத் (அ. எண். 83) உப்புகள் கலந்த பால் கொடுக்கப்படுகிறது, உள்ளே சென்ற இந்த உப்புகள் குடல் மற்றும் இரைப்பையின் பகுதிகளில் படிகிறது. இவ்வாறு அவை படிவதற்குச் சிறிதுநேரம் ஆகும். பிறகு அப்பகுதிகளை எக்ஸ்-கதிர்ப் படம் எடுத்தால், மற்றப்பகுதி களிலிருந்து தேவையான அப்பகுதிகள் அங்குப் படிந்துள்ள கனமான தனிமங்கள் (பேரியம் அல்லது பிஸ்மத்) காரணமாகத் தெளிவாகக் காணப்படுகின்றன. சதைப்பகுதியைப் படம் எடுக்கவேண்டுமானல் அப்பகுதியில் மீதையில் அயோடைடு (Methyl iodide) ஊசிமூலம் செலுத்தப்பட்டுப் பின்னர் அப்பகுதி படம் எடுக்கப்படுகிறது

இவ்வாறு வியாதிகளையும், உள்ளுறுப்பில் ஏற்படும் குறைகளையும் கண்டறிய எக்ஸ்-கதிர்ப் படங்கள் உதவுகின்றன. நோய்களை அறிவதற்கு மட்டுமல்லாது அவற்றைக் குணப்படுத்துவதற்கும் எக்ஸ்-கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. சில தோல் வியாதிகளைப் போக்குவதற்கும், பயங்கரமான புற்றுநோய் வளர்ச்சிகளை அழிப்பதற்கும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அழிக்கும் பண்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது.

---

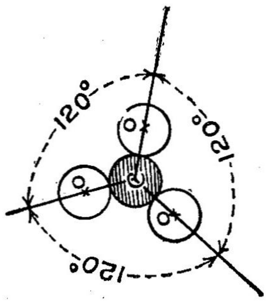
# 10. படிகவியல்
## (Crystallography)

குறிப்பிட்ட ஓர் ஒழுங்கு முறையில் அமைந்திருக்கும் அணுக்களை தன்னகத்தே கொண்ட ஓர் அடிப்படை அலகு, முப்பரிமாண இடத்தில் அடுக்கப்படுவதனால் படிகம் உருவாகிறது.

### சீரமைவு (Symmetry)

**சீரமைவு அச்சு** (Axis of symmetry)

கால்சியம் கார்பனேட் ($CaCo_3$) எனப் பெயர் பெற்ற கால்சைட் படிகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் உள்ள $Co_3$ன் மையத்தில் ஒரு கார்பன் அணுவும், அதைச் சுற்றிச் சம இடைவெளி கொடுத்து மூன்று ஆக்சிஜன் அணுக்களும் அமைந்திருக்கின்றன.




படம் 61

C அணுவின் மையம் வழியாக, புத்தகத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக ஓர் அச்சு செல்வதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இந்தக் கற்பனை அச்சை வைத்து இத்தொகுப்பு ($Co_3$) புத்தகத்தின் தளத்தில் சுழற்றப்படுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். 120° சுழற்றியவுடன், சுழற்றப்படுவதற்கு முன்பு ஆக்சிஜன் அணுக்கள் எந்த

நிலையில் இருந்தனவோ அதே நிலையிலிருந்து சிறிதும் வேறுபடுத்திக் காணமுடியாத ஒருநிலையில் மீண்டும் இருப்பதைக் காணலாம். தொடர்ந்து சுழற்றும்போது அடுத்த 120°-க்குப் பிறகு ஒரு முறையும் அதை அடுத்து 120°-க்குப் பிறகு மீண்டும் ஒரு முறையும் ஆக ஒரு முழுச்சுற்றில் மொத்தம் மூன்றுமுறை இவ்வாறு அதன் தொடக்க நிலையிலிருந்து சிறிதும் வேறுபடுத்திக் காணமுடியாத நிலைக்கு வரும். இப்போது நம் கற்பனை அச்சு **மும்முறை சமச்சீரமைவு அச்சு** (Three-fold symmetry axis) அல்லது சுருக்கமாக மும்முறை அச்சு (Three-fold axis) என்று வழங்கப்படுகிறது. இவ்வுண்மையைப் பொதுவாகக் கூறுவதென்றால் ஒருபொருள் $n$ முறை சமச்சீரமைவு அச்சு உடையது என்றால் அப்பொருள் அந்த அச்சை வைத்து $\frac{360°}{n}$ சுழற்றப்பட்டால் அதனுடைய தொடக்க நிலையிலிருந்து சிறிதும் வேறுபடுத்திக் காணமுடியாத ஒரு நிலைக்கு அது மீண்டும் வரவேண்டும்.

## சீரமைவுத்தளம் (Symmetry plane)

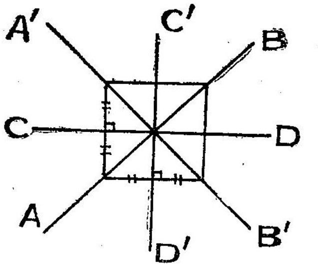
சதுரவடிவமான ஒரு பலகையை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் மையம் வழியாக ஒரு செங்குத்து அச்சு செல்வதாகக் கற்பனை செய்து கொள்வோம். இப்போது பலகை 90° திருப்பப் பட்டால் முந்திய நிலையிலிருந்து சிறிதும் வேறுபடாத ஒரு நிலைக்கு அது வருமல்லவா? எனவே, இந்த அச்சு **நான்கு முறை சமச்சீரமைவு அச்சு** (Four-fold axis of symmetry) எனப்படும்.

இந்தப்பலகை மூலைவிட்டங்கள் அல்லது நடுக்கோடுகள் வழியாக வெட்டப்பட்டு இருசமபாகங்களாகப்பட்ட பின்னர் வெட்டுமுகத்தில் செங்குத்தான ஓர் ஆடி வைக்கப் படுவதாகக் கற்பனை செய்து கொள்வோம்.

இந்நிலையில் பலகையின் இடப்பாதியும் வலப்பாதியும் ஒரே அமைப்புடன் தெரியுமல்லவா? இவ்வாறு ஒரு பொருளின் ஒரு பாதி ஆடியில் தெரியும் பிம்பத்தைப் போல மறுபாதிக்குச் சமமாக இருக்கும்போது ஆடியிருப்பதாகக் கற்பனை செய்யும் தளத்தைச் **செங்குத்து ஆடிதளம்** (Vertical mirror plane) என்றோ **சமச்சீரமைவுத் தளம்** (symmetry plane) என்றோ கூறுவர்.

படத்தின் (62ல்) தளத்திற்குச் செங்குத்தாக $AB$, $A'B'$, $CD$, $C'D'$ ஆகிய கோடுகளின் வழியாக அமைந்த தளங்களை இச்சதுரத்தின் சமச்சீரமைவுத் தளங்கள் என்பர். ஆகவே சதுரப்

பலகை நான்குமுறை சமச்சீரமைவு அச்சு ஒன்றனையும், சமச்சீரமைவுத் தளங்கள் நான்கினையும் கொண்டிருக்கிறது.

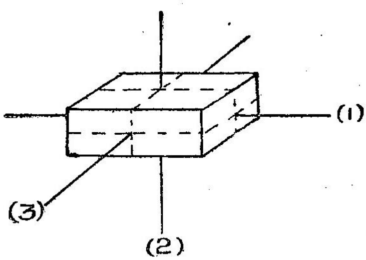



படம் 62

இதிலிருந்து சதுரப்பலகை என்ற பொருள் சமச்சீரமைவு அச்சு மற்றும் சீரமைவுத் தளங்கள் என்ற இருவகையான சீரமைவு உறுப்புகளைக் (symmetry elements) கொண்டிருக்கிறது என அறியலாம்.

## சீரமைவு மையம் (centre of symmetry)

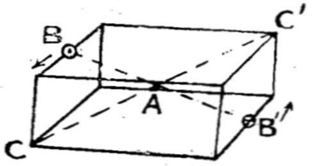
[படம்: 63a] செங்கல் போன்ற செவ்வகப் பட்டக உருவம் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் மையம் வழியே பக்கங்களுக்கு செங்குத்தாக அமைந்த படத்தில் காட்டப்பட்டிருப்பது போன்ற நான்குமுறை சமச்சீரமைவு அச்சுக்கள் மூன்று இருப்பதையும் அவ்வாறே மூன்று சமச்சீரமைவு தளங்கள் இருப்பதையும் அறியலாம்.




படம் 63a

மேற்கூறிய சமச்சீரமைவு அச்சு, சமச்சீரமைவு தளம் என்ற இரு உறுப்புகளுடன் இப்பொருளுக்குச் சமச்சீரமைவு மையம் என்ற மூன்றாவது உறுப்பும் உண்டு. இச்சமச்சீரமைவு மையத்திலிருந்து ஏதோ ஒரு தூரத்தில் இருக்கின்ற எந்த ஒருபுள்ளிக்கும் சமமான

அமைப்புடைய மற்றொருபுள்ளி முதல் புள்ளியின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில், அதேதூரத்தில் அமைந்திருக்கும்.




படம்: 63*b*

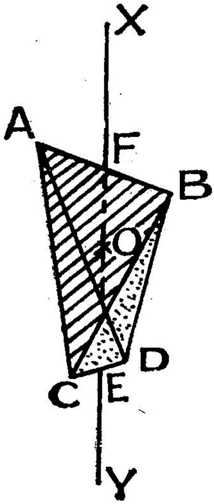
படம் 63*b* செங்கல்லின் மையத்தில் உள்ள *A* என்ற புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். கல்லின் ஏதாவது ஒரு பகுதியில் உள்ள *B* என்ற புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். *A* ஐப் பொறுத்தவரை தூரத்தாலும், கோண அமைப்பாலும் ஒத்த இன்னொரு புள்ளி *B'* ஆகும். இவ்வாறே *A* என்ற மையத்திலிருந்து செங்கல்லின் ஏதாவது ஒரு மூலைக்கு (*C*) ஒரு கோடு வரைவோம். இக்கோட்டைப் பின்னேக்கி நீட்டினல் அது செங்கல்லின் இன்னொரு மூலையாகிய *C'* அடையும். இவ்வுண்மை செங்கல்லின் விளிம்புகளில், முகங்களில், அல்லது ஏதாவது ஓர் இடத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் பொருந்திவரும். இன்னும் விளக்கமாகக் கூறினல் *A*ஐ ஆயத் தொடக்கமாகக் கொண்ட, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாய் அமைந்த அச்சுகளைப் பொறுத்து ஒருபுள்ளியின் ஆயத் தொலைவுகளை $x_1\ y_1\ z_1$ என்று கூறினல் அதே கல்லில் $\bar{x}_1\ \bar{y}_1\ \bar{z}_1$ என்ற ஆயத் தொலைவுகளைக் கொண்ட மற்றொருபுள்ளி நிச்சயமாக இருக்கும். நாம் முன்னர்க் குறிப்பிட்ட சதுரப்பலகையிலோ அல்லது $Co_3$ அமைப்பிலோ அத்தகைய மையம் இல்லை என்பதை அறிக.

## கூட்டுச் சீரமைவு உறுப்பு
## (Combination of symmetry elements)

நான்கு சமமான இருசமபக்க முக்கோண முகங்களைக்கொண்ட உருவத்தை ஸ்ஃபெனய்ட் (Sphenoid) என்கிறோம்.

[படம் 64*a*] *ABC*, *CDB*, *ABD*, *CDA* ஆகியவை அத்தகைய நான்கு இருசமபக்க முக்கோண முகங்கள். இது *AB* மற்றும் *CD* என்ற இரு குட்டையான விளிம்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. இக்குட்டையான விளிம்புகளின் மையங்கள் வழியே *XY* என்ற கற்பனை அச்சை வைத்து 180° சுழற்றினல் இது மீண்டும் பழையநிலை போன்ற ஒரு நிலைக்குவரும் என அறியலாம். ஆகவே இது இருமுறை சமச்சீரமைவு

அச்சு உடையது. $E, F$ என்பன முறையே $CD, AB$ என்ற விளிம்புகளின் மையங்கள் என்றால் $ABE$ என்ற தளமும் அதற்குச் செங்குத்




படம். 64$a$

தாய் அமைந்த $CDF$ என்ற தளமும் இதற்குச் சீரமைவுத்தளங்களாகும். இத்தளங்கள் $XY$ அச்சில் ஒன்றை ஒன்று வெட்டிக் கொள்ளும் என ஊகிக்கலாம்.

ஸ்ஃபெனாய்டை 90° திருப்பிப் பின்பு அதன் மையத்தை ($o$) நிலையாக வைத்துக்கொண்டு தலை கீழாகத் திருப்பினால் அதுதன் முந்திய நிலைக்கே வருமல்லவா. இப்படிச் சுழற்றித் தலைகீழாகச் செய்வது ஒருவகை சமச்சீரமைவுச் செய்கை (Symmetry operation) ஆகும். இதைக் குறிக்கின்ற சீரமைவு உறுப்பை சுழற்சி தலை கீழ்த்திருப்ப அச்சு (rotary inversion axis) என்றோ அல்லது சுருக்கமாக தலைகீழ் திருப்ப அச்சு (inversion axis) என்றோ குறிப்பிடுவர். இது நான்கு முறை சுழற்சி தலைகீழ் மாற்ற அச்சாகும்.

படிகங்களின் புறவடிவில் காணப்படும் சீரமைவினைப் புறச் சீரமைவு (external symmetry) என்றும், படிகத்தின் உள்ளே, அதன் அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளின் அமைப்பில் காணப்படும் சீரமைவினை அகச்சீரமைவு (internal symmetry) என்றும் கூறுவர். படிகங்களின் புறச்சீரமைவுப் பண்புகள் அதன்

1) *n* முறைச் சமச்சீரமைவு அச்சுகள்,

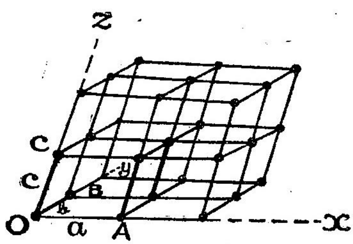
2) சமச்சீரமைவு தளங்கள் மற்றும்

3) சமச்சீரமைவு மையம் ஆகிய சீரமைவு உறுப்புகளைக் கொண்டு விளக்கப்படுகின்றன.

## புள்ளித் தொகுப்பு (Point group)

நாம் முன்னர்க் குறிப்பிட்ட $Co_3$ அமைப்பு, சதுரப்பலகை, செங்கல், ஸ்ஃபெனுய்ட் போன்ற எடுத்துக்காட்டுகளில் நாம் செய்யும் சீரமைவுச் செய்கைகளின் போது ஒரேஒரு புள்ளி மட்டும் நகராமல் இருக்கக் காண்கிறோம். அப்புள்ளியிலிருந்து பொருளின் வெவ்வேறு புள்ளிகளுக்கு உள்ள தூரம் மாறுமலிருப்பதையும் காண்கிறோம். ஒரு புள்ளியை வைத்து நடைபெறுகின்ற சமச்சீரமைவுச் செய்கைகளின் தொகுப்புக்குப் புள்ளித்தொகுப்பு என்று பெயர்.

ஒருபுள்ளி வழியாகச் செல்லும் பல்வேறு சமச்சீரமைவு உறுப்புகளின் நிகழ்ச்சி பற்றிய வடிவியல் ஆய்வுகளின் அடிப்படையில் ஜே. எக்ஃப். சி. ஹெஸ்ஸல் என்பவர் முப்பத்திரண்டு வகையான பல்வேறு படிகச்சீரமைவு வகைகள் அல்லது புள்ளித் தொகுப்புகள் இருக்கின்றன என்று கூறினர். வெளியில் (space) உள்ள ஒரு புள்ளியை வைத்துப் படிகவியல் சீரமைவு உறுப்புகள் அமைந்திருக்கக்கூடிய பல்வேறு வகைகளைப் பற்றி இந்தப் புள்ளித்தொகுப்புகள் வரையறுத்துக் கூறுகின்றன. இந்த முப்பத்திரண்டு புள்ளித் தொகுப்புகளும் ஏழு அமைப்புகளுக்குள் (systems) அடங்கி விடுகின்றன.




படம். 65

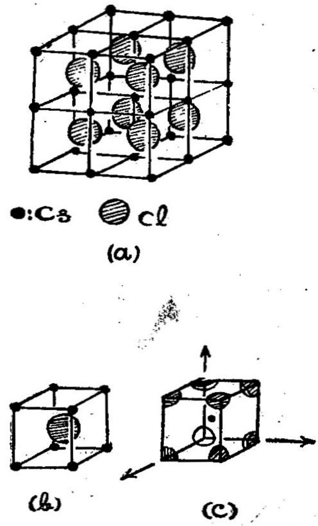
## படிகத்தில் அகச்சீரமைவு (internal symmetry in crystals)

படிகத்தின் அணுக்கள், ஒழுங்காக, ஒரேமாதிரி அமைப்பு மீண்டும் மீண்டும் வருகின்ற முறையில் முப்பரிமாண இடத்தில் அமைந்திருக்கின்றன. மீண்டும் மீண்டும் வருகின்ற அந்த அடிப்படை அமைப்புக்கு அந்தப் படிகத்தின் **கட்டலகு** (Structural unit) என்று பெயர். இது ஓர் அணுவாகவோ அல்லது மூலக்கூறுகவோ அல்லது மூலக்கூறுகளின் தொகுப்பாகவோ இருக்கும். ஒரு கட்டலகில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்ளுவோம். ஒவ்வொரு கட்டலகிலும் இப்புள்ளியை முற்றிலும் ஒத்த ஒருபுள்ளி இருக்கும். இப்படியே எல்லாக் கட்டலகுகளிலும் உள்ள புள்ளிகளை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். இப்புள்ளிகளின் வழியாக மூன்று திசைகளிலும் இணைகோடுகள் போட்டால் இக்கோடுகளால் உருவாக்கப்படும் முப்பரிமாண அமைப்புக்கு **இட அணிக்கோவை** (space lattice) என்று பெயர். இட அணிக்கோவையில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும், அதைப்போல உள்ள மற்றொரு புள்ளியின் சூழ்நிலையையே பெற்றிருக்கக் காணலாம், இந்தப் புள்ளிகளை அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் (lattice points) என்று கூறுவர். ஓரணுத் தனிமத்தின் (monoatomic element) படிகத்தில் ஒரேஒரு விதமான இட அணிக்கோவைதான் காணப்படும். கூட்டுப் பொருளின் இட அணிக்கோவை அப்பொருளை உண்டாக்கும் தனிமங்களுக்கு உரிய அணிக்கோவைகளின் கூட்டால் ஏற்படுவதாகும்.

படம் 65ல் உள்ள புள்ளிகளை இட அணிக்கோவைக்கான ஓர் எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம். இதிலுள்ள புள்ளிகள்தான் இட அணிக்கோவையை உருவாக்குகின்றன. அப்புள்ளிகளை இணைக்கும் கோடுகள் முக்கியமல்ல. நம் சௌகரியத்துக்காகவே அக்கோடுகள் வரையப்பட்டிருக்கின்றன என்பதை நினைவில் வைக்க வேண்டும். $OX, OY, OZ$ என்ற திசைகளை அச்சுகளாகக் கொண்டால் அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் எப்படித் திரும்பத் திரும்ப வருகின்றன என்பதைக் காணலாம். $OA, OB, OC$ என்ற விளிம்புகளை உடைய படிகச் சிறுபகுதிக்கு **அலகு செல்** (unit cell) என்று பெயர். இது **இணைமுகப்பட்டகமாகும்** (parallelopiped)

(66*a*) படத்தில் சீசியம் குளோரைடு (CsCl) படிகத்தில் அணுக்கள் அமைந்துள்ள விதம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. சீசியம் அணுக்கள் கரும்புள்ளிகளாகக் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சீசியம் அணுக்களின் நிலைகளை இணைக்கின்ற கோடுகள் படிகத்தைப் பல கன சதுரங்களாகப் பிரிக்கின்றன. அத்தகைய சிறிய கனசதுரம் ஒன்று தனியாக 66bல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இந்தச்சிறிய கன

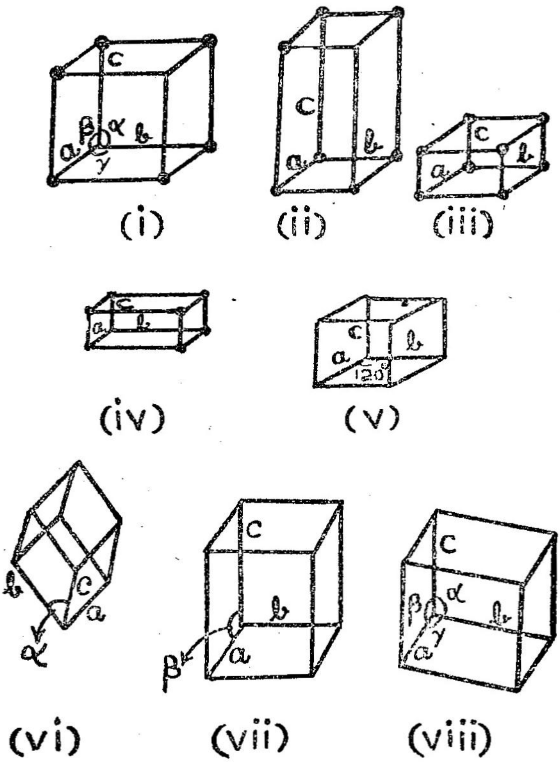
சதுரங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் மையத்தில் பெரிய வட்டமாகக் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் குளோரின் அணு அமைந்திருக்கிறது இதே படத்தில் குளோரின் அணுக்களை ஒன்றோடொன்று இணைத்துப் படம் வரையப்பட்டிருந்தால் ஒவ்வொரு சீசியம் அணுவையும்




படம் 66

மையத்தில் கொண்ட கன சதுரம் கிடைத்திருக்கும். ஆனால் இதில் மையத்தில் ஒரு சீசியம் அணுவும் கனசதுர மூலை ஒவ்வொன்றிலும் (படம் 66*c*) குளோரின் அணுவின் எட்டில் ஒரு பாகமும் இருக்கும். [8 கன சதுர செல்கள் ஒரு குளோரின் அணுவைப் பிரித்துக் கொள்கின்றன.] ஆகவே ஒரு செல்லில் ஒரு சீசியம் அணுவும் ஒரு குளோரின் அணுவும் (CsCl) என்ற வாய்பாட்டிற்கு ஏற்ப அமைந்திருக்கும். இந்த செல் அமைப்பும் மீண்டும் மீண்டும் அடுக்கப்படும்போது சீசியம் குளோரைடு படிகம் உருவாகிறது. படம் 66*c*-ல் காட்டியுள்ள அலகு செல் ஏதாவது ஓர் அம்புக் குறியின் திசையில் அந்தச் சிறிய கன சதுரத்தின் பக்கத்திற்குச் சமமான தூரம் நகர்த்தப்பட்டால் அந்தச் செல் அதை அடுத்துள்ள, அதைப் போலவே உள்ள இன்னொரு செல்லின் இடத்தை அடையுமல்லவா! இதைப் பெயர்ச்சி சீரமைவு (translational symmetry) என்பர்.

மேலே குறிப்பிட்ட அலகு செல்களை கட்டடம் கட்டுவதற்கான செங்கற்களாகக் கருதலாம். இடத்தை வெளியின்றி அடைப்பதற்கேற்ற ஓர் உருவத்தை இந்தச் செல்கள் பெற்றிருக்க வேண்டும் அப்படிப் பார்க்கும்போது இந்தச் செல்களின் உருவங்கள் சதுரப் பட்டகமாகவோ, செவ்வகப் பட்டகமாகவோ, சாய்வு சதுரப் பட்டகமாகவோ இருந்தாலும் இடம் அடைபட்டு விடும் என அறியலாம். அதாவது ஒரு சாய்வு சதுரப் பட்டகத்தை அதன் ஏதாவது ஒரு விளிம்பிற்கு இணையாக அந்த விளிம்பின் நீளத்திற்குச் சமமான தூரம் நகர்த்திச் சென்றால் அது சரியாக அதற்கு அடுத்துள்ள செல்லின் இடத்தை அடையும். ஆகவே இந்தச் செல்கள் X, Y, Z என்ற மூன்று அச்சுகளின் திசையில் (இவை இணையாக இருக்கக்கூடாது. மூன்றும் ஒரு




படம் 67

புள்ளியில் வெட்டுவனவாக இருக்கவேண்டும்.) எந்த மதிப்புகளை வேண்டுமானாலும் பெற்றிருக்கலாம் எனத் தெரிகிறது. மேலே கண்ட செல்களின் எதிர் எதிர் முகங்கள் இணையானவை. எனவே இவைகளைப் பொதுவாக இணைமுகப்பட்டகம் (parallelopiped) என்று கூறலாம். இந்தச் செல்கள் முக்கோணப் பட்டக வடிவம் கொள்ள முடியுமா? முடியாது. ஏனெனில் அப்போது இவற்றை ஏதாவது ஒரு விளிம்பிற்கு இணையாக நகர்த்தும்போது இடம் அடைபடாது. இதுபோலவே ஐந்துமுகப் பட்டகங்களும் ஆறுமுகப் பட்டகங்களும் பெயர்ச்சிமூலம் இடம் அடைக்க உதவாது. ஆகவே அவைகளும் அலகு செல்களாகப் பயன்படமாட்டா. ஆகவே இணைமுகப் பட்டக வடிவங்களே அலகு செல்களாகப் பயன்படக் கூடியவை. இவற்றின் வடிவங்களை முறைப்படுத்தினால் இவை ஏழு வித அமைப்புகளைக் கொண்டிருக்கக் காணலாம். அவ்வமைப்புகள் படம் 67-ல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இணைமுகப் பட்டகங்களின் பக்கங்களை $a$, $b$, $c$ என்றும் அவற்றிற்கு எதிரே உள்ள கோணங்களை $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ என்றும் குறிப்போம்.

படம் 67 (i) கனசதுரச் செல் $a=b=c$

$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(5)

(ii) & (iii) டெட்ரா கோனல் செல் $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

படம் (ii) ல் $c>a$ & $b$

(iii) ல் $c<a$ & $b$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(7)

(iv) ஆர்தோராம்பிக் செல் $a\neq b\neq c$

$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(3)

(v) ஹெக்சாகோனல் செல் $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$ & $\gamma=120^\circ$

புள்ளித் தொகுப்புகள் (7)

(vi) ராம்போஹெட்ரல் செல் $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(5)

(vii) மோனோகிளினிக் செல் $a\neq b\neq c$

$\alpha=\gamma=90^\circ$

$\beta>90^\circ$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(3)

(viii) டிரைகிளினிக் செல் $a\neq b\neq c$

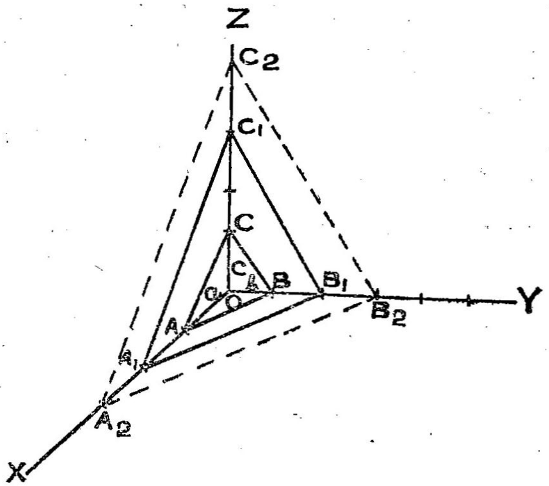
$\alpha\neq\beta\neq\gamma$

புள்ளித் தொகுப்புகளின் எண்ணிக்கை(2)

## படிகவியல் அச்சுகள் (Crystallographic axes)

ஒரு படிகத்தின் வடிவியல் அமைப்பை அதன் படிகவியல் அச்சுகளைக் கொண்டு விளக்கலாம். பொதுவாக ஒரு படிகத்திற்கு மூன்று படிகவியல் அச்சுகளிருக்கும். சிலவற்றிற்கு நான்கும் உண்டு. படிகத்தின் சிறப்பியல்புகளைக் காட்டுவதற்கு ஏற்றபடி ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கின்ற மூன்று அல்லது நான்கு கோடுகளைத்தான் அதன் படிகவியல் அச்சுகள் என்று கூறுகிறோம். எடுத்துக்காட்டாக படிகவியல் அச்சுகள் சமச்சீரமைவு அச்சுகளுடன் ஒன்றியோ, அவற்றிற்கு இணையாகவோ இருக்கலாம். முதன்மை முகங்களின் (principal faces) விளிம்புகளுக்கு இணையாகவோ ஒன்றியோ இருக்கலாம் அல்லது சமச்சீரமைவுத் தளங்களுக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கலாம். கூடியவரையில் படிகவியல் அச்சுகள் ஒன்றுக்கு ஒன்று செங்குத்தாக இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்வது நல்லது. ஆனால், பெரும்பாலான படிகங்களில் இந்த அச்சுகள் வெவ்வேறு கோணங்களிலேயே சாய்ந்து இருக்கின்றன.

ஒரு படிகத்தின் மூன்று படிகவியல் அச்சுகளையும் வெட்டுகின்ற ஒரு தளத்தை படித்தரத் தளம் (standard plane) என்பர்.




படம் 68

படம் 68-ல் $OX$, $OY$, $OZ$ என்பன படிகவியல் அச்சுகளைக் குறிக்கின்றன. $ABC$ என்ற தளம் இந்த அச்சுகளை $A$,$B$,$C$ என்ற இடங்களில் வெட்டுகிறது. அதன் வெட்டுத்துண்டங்கள் $OA$, $OB$,

*OC* என்பன ஆகும். இந்த வெட்டுத்துண்டங்கள் (intercepts) *a, b, c* என்று குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த வெட்டுத்துண்டங்களின் விகிதங்கள் மாருமலிருக்கும் இவ்விகிதங்களை **அச்சுசார் விகிதங்கள்** (axial ratios) என்பர். இந்த அச்சு விகிதங்களைக் கூறும்போது *b*ஐ ஒன்ருக்கி மற்றவற்றை அதன் அடிப்படையில் கூறுவது மரபு. எடுத்துக்காட்டாக பொட்டாசியம் சல்ஃபேட் படிகத்தின் அச்சுசார் விகிதம் 0·5727 : 1 : 0·7418 என்று குறிப்பிடப்படும். படம் 68ல் காட்டியுள்ள அச்சுகளின் திசைகளையும் அவற்றிற்கு இடையே உள்ள கோணங்களையும் கூட மரபுப்படியே அமைக்கிருர்கள். $YOZ=\alpha$, $XOZ=\beta$, $XOY=\gamma$ என்றுதான் குறிப்பர் இக்கோணங்கள் $90^\circ$ ஆக இல்லாதபோதுதான் அவற்றின் உண்மையான மதிப்புகளைப் படத்தில் குறிப்பார்கள். $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ என்ற கோணங்களுக்கும், அச்சு சார் விகிதங்களுக்கும் பொதுவான பெயர் **படிகக் கூறுகள்** (elements of crystal) என்பதாகும்.

## மில்லர் சுட்டு எண்கள் (Miller indices)

மேலே குறிப்பிட்ட படத்திலுள்ள அச்சுகளை வெட்டுகின்ற வேறு ஏதாவது ஒரு முகத்தின் வெட்டுத்துண்டங்களை அளவிட்டால் அவை *pa, mb, nc,* என்ற அளவுப்படி இருக்கக் காணலாம். *l, m, n* என்பன 1, 2, 3 போன்ற சிறிய முழு எண்களாகும். (ஏதோ சில நேரங்களில் இதைவிடப் பெரிய மதிப்பும் பெறுவதும் உண்டு) எடுத்துக்காட்டாக *A, B, C* என்ற ஒரு முகத்தை எடுத்துக்கொண்டால் அதற்கு $p=2$, $m=2$, $n=3$ ஆக இருப்பதைப் படத்திலிருந்து அறியலாம்.

குறிப்பிட்ட ஒரு படிகத் தளத்தை அதன் படிகவியல் அச்சுகளையும் அதன் அச்சு சார் விகிதங்களையும் கொண்டு குறிப்பிடலாம். அச்சு சார் விகிதங்களிடையே காணப்படும் தொடர்பினையும் அந்தத் தளம் படிகவியல் அச்சுகளில் உண்டாக்கும் வெட்டுத் துண்டங்களின் அளவுகளையும் பயன்படுத்தி அத்தளத்தைக் குறிக்கின்ற ஒரு முறையை *W.H.* மில்லர் என்பவர் கண்டார். ஒரு தளத்தை *h, k, l* என்ற மூன்று முழு எண்களைக்கொண்டு குறிப்பிடலாம் என்பது அவர் கண்ட உண்மையாகும். இந்த முழு எண்கள் குறிப்பிட்ட அந்தத் தளத்தின் வெட்டுத்துண்டங்களுக்கும், அப்படிகத்தின் படித்தரத் தளத்தின் வெட்டுத்துண்டங்களுக்கும் உள்ள விகிதத்தைக் குறிக்கின்றன. படம் 68-ல் உள்ள $A_1 B_1 C_1$ என்ற தளத்திற்கு உள்ள மில்லர் சுட்டு எண்களைக் காண்போம்: இத்தளத்திற்கு உரிய மில்லர் சுட்டு எண்கள் (Miller indices) *h, k, l* என்போம். மில்லர் கூறிய வரையறைப்படி

$$h=\frac{OA}{OA_1}=\frac{a}{OA_1} \therefore OA_1=\frac{a}{h}$$ ஆகும்.

இவ்வாறே $k=\frac{OB}{OB_1}=\frac{b}{OB_1} \therefore OB_1=\frac{b}{k}$

$$l=\frac{OC}{OC_1}=\frac{c}{OC_1} \therefore OC_1=\frac{c}{l}$$

குறிப்பிட்ட முகத்தின் வெட்டுத்துண்ட விகிதங்கள்

$OA_1 : OB_1 : OC_1=\frac{a}{h} : \frac{b}{k} ; \frac{c}{l}$ இந்தத் தளம் $h\,k\,l$ முகம் எனப்படும். படத்தில் $OA_1=2a$, $OB_1=2b$, $OC_1=3c$ ஆகையால்

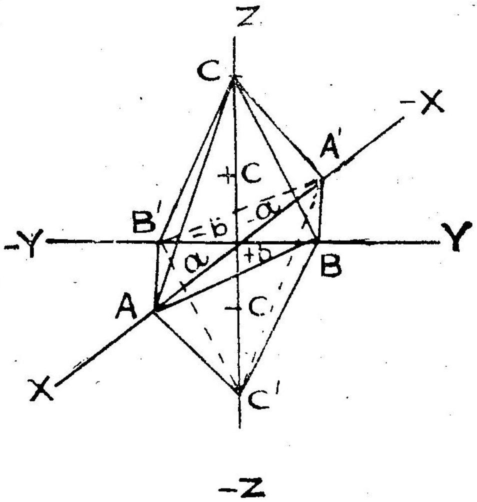
$$\frac{OA}{OA_1} : \frac{OB}{OB_1} : \frac{OC}{OC_1}=\frac{a}{\frac{a}{h}} : \frac{b}{\frac{b}{k}} : \frac{c}{\frac{c}{l}}$$

$$\frac{a}{2a} : \frac{b}{2b} : \frac{c}{3c} = h : k : l$$

$$1/2 : 1/2 : 1/3 := h : k : l$$

$$3 ; 3 : 2 = h : k : l$$

எனவே இந்தத் தளம் 332 தளம் என்று கூறப்படுகிறது. இதை மூன்று மூன்று இரண்டு தளம் என்று படிக்கவேண்டும்.




படம் 69

படித்தரத் தளமாகிய $ABC$ தளத்தின் மில்லர் சுட்டு எண்கள் 111 ஆகும் என்பதை அறியலாம். ஒரு தளத்தின் வெட்டுத்துண்டத்தின் மதிப்பு எதிர்க்குறி உடையது என்றால் எடுத்துக்காட்டாக ஒரு தளத்தின் வெட்டுத்துண்டங்கள் $a, -b, c$ என்றால் அதன் மில்லர் சுட்டு எண்கள் $1\bar{1}1$ என்று குறிக்கப்படுவது மரபு.

படம் 69ல் $ABC$ என்ற தளத்தின் மில்லர் சுட்டு எண்கள் 111 என்றால்

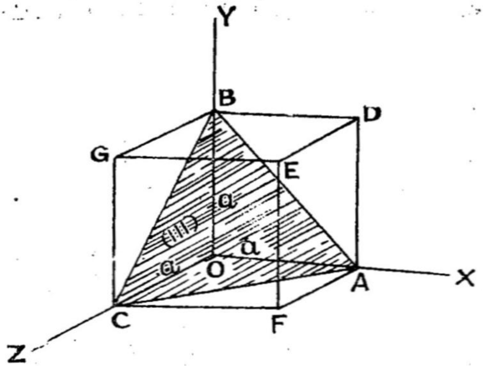
| | | | |
|---|---|---|---|
| $A'BC$ | என்ற தளம் | $\bar{1}11$ | தளம் என்றும் |
| $A'B'C$ | தளம் | $\bar{1}\bar{1}1$ | தளம் என்றும் |
| $AB'C$ | தளம் | $1\bar{1}1$ | தளம் என்றும் |
| $ABC'$ | தளம் | $11\bar{1}$ | தளம் என்றும் |
| $AB'C'$ | தளம் | $1\bar{1}\bar{1}$ | தளம் என்றும் |
| $A'BC'$ | தளம் | $\bar{1}1\bar{1}$ | தளம் என்றும் |
| $A'B'C'$ | தளம் | $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ | தளம் என்றும் |

வழங்கப்படவேண்டும் என்பதை அறியலாம். மேற்கூறிய முகங்கள் எல்லாம் ஒரு அச்சு சார் விகிதத்தைப் $(a : b : c)$ பெற்றிருப்பதால் ஒரு அமைப்பைச் (111) ["form"] சேர்ந்த முகங்கள் என்று வழங்கப்படுகின்றன.

$A_1\, B_1\, C_1$ என்ற தளத்தின் சுட்டு எண்கள் படம் 69ல் 332 என்று கூறினோம் அல்லவா. இந்தச் சுட்டு எண்கள் $A_1\, B_1\, C_1$ தளத்தை மட்டுமல்லாமல் அத்தளத்திற்கு இணையாய் அமைந்த எல்லாத் தளங்களையுமே குறிப்பன ஆகும். $A_2B_2C_2$ என்பது $A_1B_1C_1$ என்பதற்கு இணையான தளம் என்று கொள்வோம். $A_1\, B_1$ என்பது $A_2\, B_2$-க்கு இணையாக இருக்குமாதலால் $\frac{OA_1}{OA_2} = \frac{OB_1}{OB_2}$ அல்லது $OA_1 : OB_1 = OA_2 : OB_2$. இதுபோலவே $B_1C_1$ என்பது $B_2\, C_2$-க்கு இணையாதலால் $OB_1 : OC_1 = OB_2 : OC_2$ ஆகவே $OA_1 : OB_1 : OC_1 = OA_2 : OB_2 : OC_2$ ஆகும். $A_2B_2C_2$-ன் வெட்டுத்துண்டங்கள் $A_1B_1C_1$-ன் வெட்டுத் துண்டங்களின் விகிதத்திலேயே இருப்பதால் இதற்கும் அதே மில்லர் எண்கள்தான் வரும் என அறியலாம்.

இவ்வுண்மைகளைக் கன சதுர அமைப்புடைய படிகத்தை எடுத்துக் கொண்டு அதன் பல்வேறு தளங்களின் மில்லர் எண்களைக் கண்டறிவதன்மூலம் விளக்கலாம். இதில் கன சதுரத்தின் விளிம்புகளுக்கு இணையான $OX, OY, OZ$ என்ற ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாய் அமைந்த கோடுகளையே படிகவியல் அச்சுகளாகக் கொள்ளலாம். படம் 70-ல்உள்ள $ABC$ என்ற தளத்தின் அச்சு சார் விகிதம் $a : a : a$ ஆகும். வெட்டுத்துண்டங்களின் விகிதம் $a : a : a$ ஆகும்.

எனவே சுட்டு எண்கள் $\frac{a}{a} : \frac{a}{a} : \frac{a}{a} = 1 : 1 : 1$ ஆகும். எனவே அந்த தளம் 111 தளம் ஆகும். *ADEF* என்பது ஒரு முகப்பு தளம் (face plane) அதன் வெட்டுத்துண்டங்களின் விகிதம் $1 : \infty : \infty$



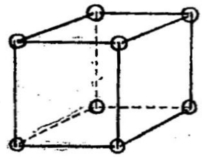

படம் 70

ஆகும். ஏனெனில், இத்தளம் *Y* மற்றும் *Z* அச்சுகளை வெட்ட இயலாது. படித்தரத்தளத்தின் அச்சு சார் விகிதம் ஆகவே அதன் மில்லர் சுட்டு எண்கள் $\frac{1}{1} \frac{1}{\infty} \frac{1}{\infty}$ அதாவது 100 ஆகும். ஆகவே *ADEF* என்ற தளத்திற்கு இணையான எல்லாத் தளங்களுமே 100 என்ற சுட்டு எண்களால் குறிக்கப்படுகின்றன. *ADGC* என்ற தளம் 101 தளமாகும். இது எப்படி என்ற விளக்கம் கற்பவர் சிந்தனைக்கு விடப்பட்டிருக்கிறது.

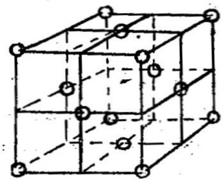
## NaC*l* படிகம்

சாதாரண மேசை உப்புத்தான் NaC*l* என்ற இரசாயனப் பெயர் பெறுகிறது. இதன் படிக அமைப்பு எப்படிப்பட்டது? அதன் துணைக்கூறுகளாகிய Na மற்றும் C*l* அணுக்கள் எப்படி எங்கே அமைந்திருக்கின்றன? என்பதைப் பார்ப்போம். படிகவியல் ஆய்வுகளிலிருந்து சோடியம் குளோரைடு (NaC*l*) கன சதுரவகையில் மூன்றுவித அணிக்கோவை மாதிரிகள் உள்ளன. (*a*) எளிய கனசதுர அணிக்கோவை (simple cubic lattice) இதில் படிக அலகின் துணைக்கூறுகள் கனசதுரத்தின் மூலைக்கு ஒன்று வீதம் அமைந்திருக்கின்றன. (*b*) முகமையங் கொண்ட அணிக்கோவை (face centred cubic lattice) இவ்வமைப்பில் படிகத்தின் துணைக்கூறுகள் கன சதுரத்தின் மூலைகளில் மூலைக்கு ஒன்றாக இருப்பதுடன் ஒவ்வொரு

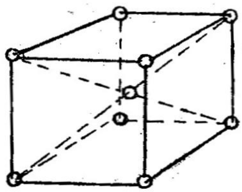
முகத்தின் மையத்திலும், மையத்திற்கு ஒன்றாக அமைந்திருக்கின்றன. (*c*) உடல் மையங்கொண்ட கனசதுர அணிக்கோவை (Body centred cubic lattice) இதில் கனசதுரத்தின் மூலைகளில் மூலைக்கு ஒன்று வீதமும், கனசதுரத்தின் மையத்தில் ஒன்றுமாகப் படிகத் துணைக்கூறுகள் அமைந்திருக்கின்றன. மேற்கூறிய மூன்றுவித கன சதுர அணிக்கோவைகளும் படம் 71-ல் காட்டப்பட்டிருக்



(a) எளிய கன சதுர அணிக் கோவை



(b) முக மைய கன சதுர அணிக்கோவை



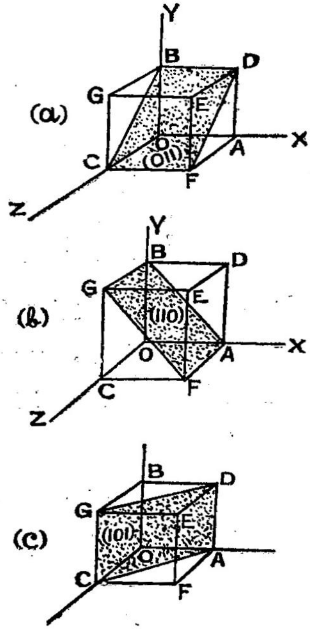
(c) உடல் மைய கன சதுர அணிக்கோவை

படம் 71

கின்றன. இப்படிகங்களில் (1) கனசதுரத்தின் முகங்களுக்கு இணையான (100), (010), (001) என்ற சுட்டு எண்களால் குறிக்கப்படுகின்ற தளங்களும் (2) முகங்களின் மூலைவிட்டங்களுக்குச் செங்குத்தாக (படம் 72) அமைந்துள்ள *ABGF* (110), *BDFC* (011), *ADGC* (101) தளங்களும் இத்தளங்களுக்கு இணையான தளங்களும், (3) கனசதுரத்தின் மூலைவிட்டத்திற்கு (படம் 70) செங்குத்தாய்

அமைந்துள்ள *ABC* (*111*) போன்ற தளங்களும் பிளவுறு தளங்கள் (cleavage planes) எனப்படுகின்றன.

ஒரு கனசதுர அணிக்கோவை அமைப்பில் உள்ள (*100*) தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $d_{100}$ என்றும் (*110*) தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம் $d_{110}$ என்றும் (*111*) தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $d_{111}$ என்றும் குறிக்கப்படுகின்றன.




படம் 72

எளிய கனசதுர அணிக்கோவையில்

$$d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$$ ஆகும்.

முக மையங் கொண்ட கனசதுர அணிக்கோவையில்

$$d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\sqrt{3}}$$ ஆகும்.

உடல் மையங் கொண்ட கனசதுர அணிக்கோவையில்

$$d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{2}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$$ ஆகும்.

சோதனைகளின் மூலம் ஒரு படிகத்தின் $d_{100} : d_{110} : d_{111}$ என்ற விகிதத்தின் மதிப்பை அறியக்கூடுமானால், அப்படிகம் மேற்கூறிய மூன்றுவகை அமைப்புகளுள் எதுவாக இருக்கக்கூடும் என்பதை அறியலாம். ஒரு சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் (100), (110), (111) தளங்களை எதிரொளிக்கும் தளங்களாகக்கொண்டு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானியின் உதவியால் நிறமாலையைப் பெறவேண்டும். பயன்படுத்தும் எக்ஸ்-கதிர் ஒருநிற எக்ஸ்-கதிராக இருக்கவேண்டும் முதல்வரிசை நிறமாலை கிடைக்கும்போது (100), (110), (111) தளங்களில் எக்ஸ்-கதிர் எதிரொளிக்கப்படுவதற்கான சாய் கோணங்களின் மதிப்புகள் முறையே $\theta_1$, $\theta_2$ $\theta_3$ என்றால் $\lambda = 2\ d_{100}\ \text{Sin}\theta_1 = 2\ d_{110}\text{Sin}\theta_2 = 2d_{111}\text{Sin}\theta_3$ ஆகுமென அறியலாம்.

ஆகவே

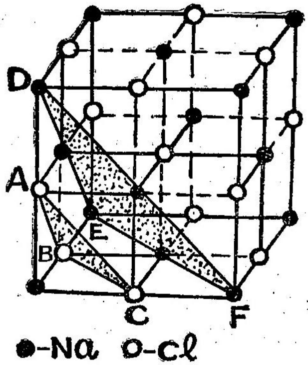
$$d_{100} = \frac{\lambda}{2\ \text{Sin}\ \theta_1},\ d_{110} = \frac{\lambda}{2\ \text{Sin}\ \theta_2},\ d_{111} = \frac{\lambda}{2\ \text{Sin}\ \theta_3}$$ அல்லது

$$d_{100} : d_{110} : d_{111} = \frac{1}{\text{Sin}\ \theta_1} : \frac{1}{\text{Sin}\ \theta_2} : \frac{1}{\text{Sin}\ \theta_3}$$. Nacl படிகத்தைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து மேற்கூறிய விகிதம் $1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\sqrt{3}}$ ஆக இருப்பது தெரிந்தது. எனவே NaC*l* படிகம் முக மையங் கொண்ட கனசதுர அணிக்கோவை வகையைச் சேர்ந்தது என அறிகிறோம்.

இந்தக் கனசதுர அணிக்கோவையில் Na மற்றும் C*l* அயனிகளின் இடங்கள் யாவை என்பது அடுத்த பிரச்சினையாகும். NaC*l* படிகத்தின் (100) மற்றும் (110) தளங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் எதிரொளிக்கப்பட்டு பெற்ற நிறமாலையில் வரிசை (order) அதாவது n மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க முகட்டு உச்சிகளின் (peaks) செறிவு படிப்படியாக குறைந்துகொண்டே சென்றது. ஆனால் NaC*l* படிகத்தின் (111) தளங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் எதிரொளிக்கப்பட்டபோது இரண்டாவது நான்காவது வரிசைகள் இயல்பான செறிவுடனும் ஒன்றாவது மூன்றாவது வரிசைகள் மிகக் குறைந்த செறிவுடனும் காணப்பட்டன. இதற்கு விளக்கம் கூறுகின்ற முறையில் NaC*l* படிகத்தின் அமைப்பு படம் 73ல் காட்டப்பட்டிருப்பதுபோல இருக்கவேண்டும் ; என்று தோன்றியது. ஒரே வகையான அணுக்களைக் கொண்டிருக்கும் இரு தளங்களுக்கு மத்தியில் வேறு வகையான அணுக்களைக்கொண்ட ஒரு தளம் இருக்க நேர்ந்தால்தான் செறிவு இப்படி மாறிமாறிக் குறைந்தும் அதிகமாகியும் காணப்படும்.

படம் 73-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் அமைப்பில் எட்டு மூலக்கன சதுரங்கள் இருக்கின்றன. இச்சிறு கனசதுரங்களின் மூலைகளில் மூலைக்கு ஒன்று வீதம், குளோரின் துணைக்கூறுகளும் சோடியம் துணைக்கூறுகளும் ஒன்றுவிட்டு மற்றொன்றாக அமைந்துள்ளன. ● குறி Na அயனிகளையும் ○ குறி Cl அயனிகளையும் குறிக்கின்றன. இத்தகைய படிக அமைப்பு சோதனையில் கண்ட உண்மைகளுக்கு ஏற்ப அமைந்திருப்பதோடு NaCl படிகம் முக மையங் கொண்ட கனசதுர வடிவுடையது என்பதையும் நிலைநாட்டுகிறது.

படத்தைக் கூர்ந்து நோக்கினால் (100), மற்றும் (110) ஆகிய தளங்களில் Na மற்றும் Cl அயனிகள் இரண்டுமே இருப்பதையும் ஆனால் (111) தளங்களில் Na மற்றும் Cl என்ற இருவகை அயனிகளுள் ஏதேனும் ஒருவகை அயனிகள் மட்டுமே இருப்பதைக் காணலாம். படம் 73-ல் ABC என்ற தளத்தில் குளோரின்




படம் 73

அயனிகள் (○) மட்டுமே காணப்படுவதையும் அதை அடுத்துள்ள DEF என்ற தளத்தில் சோடியம் அயனிகள் (●) மட்டுமே காணப்படுவதையும், அதை அடுத்த தளத்தில் மீண்டும் குளோரின் அயனிகள் மட்டுமே காணப்படுவதையும் பார்க்கிறோம். அதாவது NaCl படிகத்தின் (111) தளங்களில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்று Na அயனிகளையும் குளோரின் அயனிகளையும் கொண்டிருக்கின்றன. இத்தகைய இணை தளங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் எதிரொளிக்கப் படுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். முதல்தளம் (ABC) முற்றிலும் குளோரின் அயனிகளையே கொண்டிருக்கிறது. எதிரொளிக்கப்படும் எக்ஸ்-கதிரின் செறிவு அதனை எதிரொளிக்கும் அணுவின் அணு எண்ணுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். அணு எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான்களின் (extra-Nuclear electrons)—

அதாவது சிதறச்செய் புள்ளிகளின்—எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கும். ஆகவே, எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர் செறிவுமிக்கதாக இருக்கும். ஆகவே, அணு எண் 17 ஆகவுடைய குளோரின்களேயே கொண்டிருக்கும் முதல்தளத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் அதிகச் செறிவு கொண்டிருக்கும். ஆனுல் அதை அடுத்துள்ள. சோடியம் அணுக்களை மட்டுமே கொண்டிருக்கின்ற (*DEF*) தளத்தில் எதிரொளிக்கப்படும்போது சோடியம் அணுவின் அணு எண் 11 ஆகையால் குறைவான சிதறச்செய்புள்ளிகளே இருப்பதால் குறைந்த செறிவுள்ள எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் தான் கிடைக்கும்.

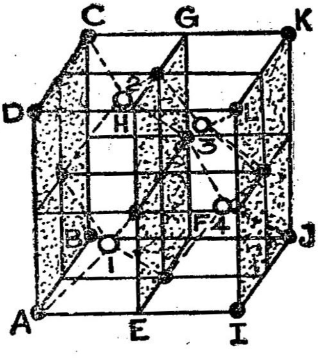
மேலும் நிறமாலேயின் முதல் வரிசையில், படிகக்கட்டியின் மேலே உள்ள முதல் குளோரின் தளத்தில் எதிரொளிக்கப்படும் கதிருக்கும் அடுத்த குளோரின் தளத்தால் எதிரொளிக்கப்படும் கதிருக்கும் இடையே உள்ள கட்ட வேறுபாடு (phase difference) $\pi$ ஆகும். அதாவது பாதை வேறுபாடு $\lambda$ ஆகும். எனவே இக்கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டும் முறையில் குறுக்கிடுகின்றன. இவ்விரு குளோரின் தளங்களுக்கும் இடையே உள்ள சோடியம் தளத்தால் எதிரொளிக்கப்படும் கற்றை இருபக்கமும் உள்ள குளோரின் தளங்களால் எதிரொளிக்கப்படும் கற்றைகளுடன் $\pi$ என்ற கட்ட வேறுபாடு கொண்டிருக்கும். அதாவது பாதை வேறுபாடு $\lambda/2$ ஆகும். எனவே இவை அழிக்கும் வகையில் குறுக்கிடுகின்றன. ஆனுல், குறுக்கிடும் கதிர்களின் செறிவுகள் சமமாக இல்லாத காரணத்தால் இத்தகைய குறுக்கீட்டின் அழிக்கும் செயல் முற்றுப்பெறுவதில்லே. ஆகவே, முதல்வரிசை நிறமாலே மிகக்குறைந்த செறிவுடன் காணப்படுகிறது.

இரண்டாவது வரிசை நிறமாலேயில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு குளோரின் தளங்களில் எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களுக்கு இடையே நிகழும் குறுக்கீட்டின்போது ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2\lambda$ ஆகும். ஆகவே குளோரின் தளம் மற்றும் சோடியம் தளம் இவற்ருல் எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களுக்கு இடையே நிகழும் குறுக்கீட்டின் பாதை வேறுபாடு $\lambda$ ஆகும். இந்த இருவகைக் குறுக்கீடுகளும் வலுவூட்டும் குறுக்கீடுகள் ஆகும். இதனுல் இரண்டாவது வரிசை நிறமாலேயின் செறிவு மிகமிக அதிகமாக இருக்கிறது. இவ்வாறே மூன்ருவது வரிசை நிறமாலே செறிவு குறைந்தும் நான்காவது வரிசை நிறமாலே செறிவு மிகுந்தும் காணப்படும் என்று உணரலாம்.

*NaCl* படிகத்தில் துணேக் கூறுகள் *Na* அயனிகளாகவும். *Cl* அயனிகளாகவும் இருப்பதாகக் கூறினேம். அவை *NaCl* மூலக் கூறுகளாகவோ, *Na* அணு அல்லது *Cl* அணுவாக இருக்கக்கூடாதா

என்ற ஐயம் எழுவது இயல்பே. $NaCl$ மூலக்கூறுகள் முகமையங் கொண்ட கனசதுர அமைப்பின் மூலைகளிலும், முகமையங்களிலும் அமைந்திருந்தால் நிறமாலை வரிசைகளின் செறிவுகள் மாறிமாறிக் குறைந்தும் மிகுந்தும் காண்பதற்கு இடமில்லை. ஆகவே படிகத்தின் துணைக்கூறுகள் $NaCl$ மூலக்கூறுகளாக இருக்கமுடியாது.

$Na$ அணுக்களும் $Cl$ அணுக்களும் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றாக அமைந்திருக்கக்கூடும் அப்போதும் நிறமாலை வரிசைகளின் செறிவுகள் குறைந்தும் மிகுந்தும் வருவதற்கான வாய்ப்பு உண்டு. ஆனால், இவ்வாறு கூடிக் குறையும் செறிவுகளின் அளவினை ஒப்பிடும்போது உண்மை விளங்கிவிடும். $Na$ அணுவின் அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான்கள் 11, $Cl$ அணுவின் அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான்கள் 17 ஆகவே ஒற்றைப்படை நிறமாலை வரிசைகளின் (1,3,5...வரிசைகள்) செறிவுக்கு $(17-11)$ நேர்விகிதத்திலும் இரட்டைப்படை நிறமாலை வரிசைகளின் (2, 4, 6...வரிசைகள்) செறிவுக்கு $(17+11)$ நேர்விகிதத்திலும் இருக்க வேண்டும். அதாவது செறிவுவிகிதம் 6:28 ஆக இருக்கவேண்டும். படிகத்தின் துணைக்கூறுகள் $Na^+$ அயனியாகவும் $Cl^-$,அயனியாகவும் இருந்தால் $Na^+$ அயனியில் அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $11-1=10$ ஆகும் $Cl^-$ அயனியில் அணுக்கரு புற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $17+1=18$ ஆகும். எனவே ஒற்றைப்படை நிறமாலை வரிசைகளின் செறிவு $18-10=8$க்கு நேர்விகிதத்திலும், இரட்டைப்படை நிறமாலை வரிசைகளின் செறிவு $10+18=28$க்கு நேர்விகிதத்திலும் இருக்கும். அதாவது செறிவு விகிதம் 8:28 என இருக்கும். துல்லியமான அளவு முறைகளின் மூலம் செறிவு




●-Zn O-S

படம் 74

விகிதம் 8:28 ஆக இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆகவே NaCl படிகத்தின் துணைக்கூறுகள் அயனி நிலையில் தான் இருக்கின்றன. அதாவது திண்பொருள் நிலையில்கூட NaCl படிகம் அயனியாக்கப்பட்ட நிலையில்தான் இருக்கிறது என்ற உண்மை வெளிப்படுகிறது.

## சிங் சல்ஃபைடு படிகம் (ZnS)

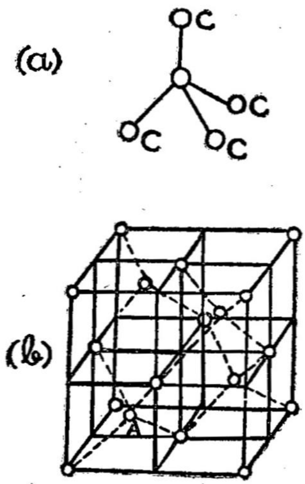
இதுவும் ஓர் எளிய வகைப் படிகமே ஆகும். இது கன சதுரப் படிகவகையைச் சேர்ந்தது. இப்படிகத்தைக் கொண்டு பெற்ற முதல்வரிசை எதிரொளிப்புகளிலிருந்து இது முகமையங் கொண்ட கன சதுரமாக இருக்கவேண்டுமென்பது தெரிந்தது. (100) தளங்களில் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்களின் செறிவு பொதுவாகவே குறைந்து காணப்பட்டது. அதிலும் ஒற்றைப்படை வரிசை எதிரொளிப்புகள் மிகவும் குறைந்த செறிவு கொண்டிருந்தன சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் (111) தளங்களில் ஏற்பட்ட எதிரொளிப்புக்கதிர்களின் செறிவினைப்போலவே சிங் சல்ஃபைடு படிகத்தின் 100 தளங்களில் ஏற்பட்ட எதிரொளிப்புக்கதிர்களின் செறிவு மாறிமாறிக் குறைந்தும் மிகுந்தும் காணப்பட்டது. இதிலிருந்து ZnS படிகத்தின் (100) தளங்கள் ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருக முழுதும் ஒரே வகை அணுக்களைக் கொண்டிருக்கவேண்டும் என்று தோன்றியது.

மேற்கூறிய பண்புகளைக் கொண்ட படிகத்தின் அமைப்பு படம் 74-ல் காட்டியுள்ளது போல் இருக்கவேண்டும். Zn அணுக்களும் S அணுக்களும் முகமையங் கொண்ட கனசதுர அணிக் கோவையில் படத்தில் காட்டியவாறு அமைந்திருக்கின்றன.

இப்படிகத்தில் கனசதுர மூலைகள் ஒவ்வொன்றிலும், பக்கங்களின் மையங்களிலும் Zn அணுக்கள் இருப்பதைக் காண்கிறோம். ஆனால் S அணுக்கள் பெரிய கன சதுரத்தில் அடங்கியுள்ள 8 சிறிய கன சதுரங்களில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருய் உள்ளவற்றின் மையத்தில் மட்டுமே இருப்பதைக் காணலாம். ஒவ்வொரு S அணுவைச் சுற்றிலும் நான்கு Zn அணுக்கள் இருப்பதையும், அவை சிறிய கன சதுரங்களின் பக்கங்களின் எதிரெதிர் மூலைகளில் இருப்பதையும் காணலாம். படத்தில் (100) தளங்களில் (ABCD-க்கு இணையாய் உள்ள தளங்களில்) ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருக முழுதும் Zn அணுக்களும் அல்லது S அணுக்களும் இருக்கக் காண்கிறோம். எடுத்துக்காட்டாக ஒன்று விட்டு ஒன்ருய் உள்ள ABCD, EFGH, IJKL என்ற (100) தளங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் ஐந்து Zn அணுக்கள் மட்டுமே இருக்கின்றன. ABCD தளத்திற்கும் EFGH தளத்திற்கும் மையத்தில் உள்ள

தளத்தில் (இதுவும் 100 தளமே) 1,2 என்று குறிக்கப்பட்ட இரு $S$ அணுக்கள் மட்டுமே இருப்பதைக் காணலாம். இவ்வாறே $EFGH$, $IJKL$ தளங்களுக்குமையத்தில் உள்ள தளத்தில் 3,4 என்று குறிக்கப்பட்ட $S$ அணுக்கள் மட்டுமே இருக்கின்றன. $Zn$ தளங்களில் அணுச்செறிவு அதிகம் என்பதையும், $S$ தளங்களில் அணுச்செறிவு குறைவு என்பதையும் காண்கின்ற நாம் (100) தளங்களில் எதிரொளிப்புகளின் செறிவு மாறிமாறிக் குறைந்தும் மிகுந்தும் காணப்படுவதற்கான காரணத்தை ஊகித்து அறியலாம். 100 தளங்களில் அடுத்தடுத்த இரு $Zn$ தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரமும், அடுத்தடுத்த இரு $S$ தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரமும் சமமாக இருக்கும். இதேபோன்று (111) தளங்களிலும் ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருக முற்றிலும் $Zn$ அணுக்கள் மட்டுமோ அல்லது $S$ அணுக்கள் மட்டுமோதான் இருக்கும் என்பதைப் படத்தைக் கூர்ந்து நோக்கி அறியலாம். ஆனல் இப்போது அடுத்தடுத்துள்ள இரு $Zn$ தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $d$ என்ருல் (111) தளத்தில் அடுத்தடுத்துள்ள $S$ தளங்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $\frac{d}{4}$ தான் இருக்கும்.

இதுவரையில் $NaCl$, $ZnS$ என்ற இரு இரசாயன கூட்டுப் பொருள்களை எடுத்துக்கொண்டு அவற்றின் படிக அமைப்பை ஆராய்ந்தோம். இயல்பு வெப்பநிலையில் உள்ள திண்பொருள்




படம் 75

தனிமங்களும், குறைந்த வெப்பநிலையில் வைக்கப்பட்டுள்ள திரவநிலைத் தனிமங்களும் கூடப் படிக நிலையில்தான் இருக்கின்றன என்ற உண்மை ஆராய்ச்சிகளில் இருந்து வெளிப்பட்டது. அலோகத் தனிமங்களில் (nonmetals) உள்ள அணுக்கள் ஒவ்வொன்றும் அதை அடுத்துள்ள ஒன்று அல்லது அதற்கு அதிகமான அணுக்களுடன் சகப்பிணைப்பு (Covalent bond) உடையதாக இருக்கும் அத்தனி மத்தின் படிக அணிக்கோவையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவைச் சூழ்ந்திருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையை அந்த அணுவின் இணைப்பு எண் (Coordination number) என்பர். தனிம அட்ட வணையில் 4,5 6 மற்றும் 7 ஆவது தொகுதிகளில் (Group) உள்ள அலோகத்தனிமங்களின் இணைப்பு எண் $=8-n$ ஆகும். இங்கு $n$ என்பது அத்தனிமத்தின் தொகுதி எண் ஆகும். கார்பன் 4 ஆவது தொகுதியில் இருக்கிறது. எனவே அதன் இணைப்பு எண் $8-4=4$ ஆகும். ஆகவே கார்பன் தனிமத்தின் படிக அணிக் கோவையில் உள்ள ஒவ்வோர் அணுவையும் நான்கு அணுக்கள் சூழ்ந்துகொண்டிருக்கும். கார்பன், நிலக்கரி, கிராஃபைட், வைரம் போன்ற பல்வேறு உருவங்களில் காணப்படுகிறது.

## வைரப்படிகம் (Diamond crystal)

இது கனசதுர அமைப்புடைய படிகம் ஆகும். இதன் இட அணிக்கோவை $ZnS$ படிகத்தின் இட அணிக்கோவையைப் போன்றே இருக்கும். $ZnS$ படிகத்திற்கும் வைரப்படிகத்திற்கும் ஒரே ஒரு வேறுபாடுதான் உண்டு. அதில் $Zn$ மற்றும் $S$ என்ற இருவகை அணுக்கள் இருக்கின்றன. வைரத்தில் எல்லாமே கார்பன் அணுக்களாகும். வைரத்தின் அணிக்கோவை படம் 75 a-ல் காட்டியுள்ள அமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. படம் 75 b-ல் கனசதுரத்தின் மூலைகளில் மூலைக்கு ஒன்று வீதமும், பக்கங்களின் மையத்திற்கு ஒன்று வீதமும் கார்பன் அணுக்கள் அமைந்திருப் பதைக் காண்கிறோம். மேலும் பெரிய கனசதுரத்தின் 8 சிறிய கனசதுரங்கள் அடங்கியிருப்பதைக் காண்கிறோம். (படத்தில் ஒரே ஒரு சிறு கனசதுரம் மட்டும் எடுப்பாகக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. மற்றவற்றை மனத்தில் கற்பனை செய்து கொள்க) இச்சிறு கனசதுரங்களில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றின் மையத்தில் ஒரு கார்பன் அணு (படத்தில் $A$ என்ற அணு) இது நான்கு கார்பன் அணுக்களால் சூழப்பட்டிருப்பதைக் காண்க. அடுத்தடுத்துள்ள இரு கார்பன் அணுக்களுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $1{\cdot}54 A^{\circ}$ எனக் கணக்கிடப் பட்டிருக்கிறது. வைரப்படிகத்தில் நான்கு கார்பன் அணுக்கள்

ஒன்றோடொன்று மிக நெருக்கமாக அமைந்திருப்பதால் இதனை ஒரு பெரிய கார்பன் மூலக்கூறு என்று கூறலாம். இத்தகைய அமைப்பைப் **பெருமூலக் கூறு** (macro molecule) என்பர். படிக அணுக்களுக்கிடையே காணப்படும் இரசாயனப் பிணைப்புகளின் வலிவு எல்லாத் திசைகளிலும் சீராகப் பரவியிருக்கும் அதன் தன்மை இவை காரணமாக வைரம் உறுதிமிக்கதாகக் காணப்படுகிறது.

# வினாக்களும் பயிற்சிக் கணக்குகளும்

(1) எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் கண்டுபிடிக்கத் தாம்சன் பயன்படுத்திய முறையை கருவியின் படத்துடன் விளக்குக.

(2) வாயுக்குழாயின் வழியே மின்னிறக்கம் நடைபெற்றுக் கொண்டிருக்கும்போது தொடர்ந்து வாயுவின் அழுத்தத்தைத் குறைத்துக்கொண்டே சென்றால் நடைபெறும் பல்வேறு நிகழ்ச்சிகளைத் தக்க படங்களுடன் கூறுக.

(3) மின்னூட்ட நிறைத்தகவு என்றால் என்ன ? எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காண, தாம்சன் பயன்படுத்திய கருவியின் அமைப்பை வரைந்து விளக்குக.

(4) மில்லிக்கன் 'எண்ணெய்த்துளி' முறைச் சோதனையைப் படத்துடன் விளக்குக. அவர் பெற்ற முடிவுகள் என்ன ?

(5) டன்னிங்டன் முறையின் அடிப்படையைக் கூறி அம்முறைப்படி எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு காண்பதை விளக்குக.

(6) ஒன்றிலிருந்து ஒன்று 5 செ மீ. இடைவெளியில் அமைந்துள்ள 20 செ.மீ. நீளமுடைய இரு உலோகத்தகடுகளுக்கு இடையே 40 வோல்ட் மின்கல அடுக்கு ஒன்று இணைக்கப்படுகிறது. தகடுகளின் போக்கிற்கு இணையான திசையில் விநாடிக்கு $2.5 \times 10^9$ செ.மீ. திசைவேகத்துடன் எலெக்ட்ரான்கள் மேற்கூறிய மின்புலத்தில் நுழைந்தால் அவை பெறும் விலக்கத்தைக் கண்டறிக.

(7) சதுரமீட்டருக்கு $2.4 \times 10^{-3}$ வெப்பர்கள் அளவுடைய காந்தத்தூண்டல் (induction) உள்ள புலத்தில் நுழை

எலெக்ட்ரான் 10 செ.மீ. ஆரமுடைய ஒரு பாதையில் சுற்றி வந்தால் அதன் திசைவேகம் என்ன ?

(8) $B = 6 \times 10^{-4}$ வெப்பர்கள்/சதுரமீட்டர் கொண்ட காந்தப் புலத்தில் $2.11 \times 10^{7}$ மீ/வினாடி திசைவேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரானின் பாதையின் ஆரம் என்ன ?

(9) $2 \times 10^{7}$ மீ/வினாடி வேகத்துடன் காந்தப்புலத்தின் விசைக் கோடுகளுக்குச் செங்குத்தான தளத்தில் 30 சென்டி மீட்டர் ஆரமுடைய பாதையில் எலெக்ட்ரான் ஒன்று செல்லவேண்டுமென்றால் காந்தப்புலத்தின் தூண்டல் என்ன ?

---

(1) கால்வாய்க் கதிர்கள் என்றால் என்ன? அவை எவ்வாறு தோன்றுகின்றன ? அவற்றின் பண்புகளைக் கூறுக.

(2) ஆஸ்டனின் நிறைமாலைவரைவியின் அமைப்பைக் காட்டும் படத்துடன் அவர் ஒரு நேர்மின் அயனியின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவைக் கணக்கிட்ட முறையினை விளக்குக.

(3) பெயின்பிரிட்ஜ் முறையின் அடிப்படை என்ன ? ஆஸ்டன் முறைக்கும் இம்முறைக்கும் உள்ள வேறுபாடுகளையும் ஏற்ற தாழ்வுகளையும் ஆராய்க.

(4) ஐசோடோப்புகள் என்றால் என்ன ? 'ஒப்புமைச் செழிப்பு' என்ற சொல்லை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குக.

(5) ஓர் அணுவின் (1) அணு எண் (2) நிறை எண் (3) அணு எடை ஆகியவற்றை விளக்குக. ஐசோடோப்புகள் உண்டாவதற்கான காரணங்களைக் கூறி அவற்றைப் பிரித்தெடுக்கும் முறைகளைக் காண்க.

(6) தங்கத்தின் அணு எடை 196.967. ஒரு கிராம் தங்கத்தில் எத்தனை அணுக்கள் இருக்கும் ? (விடை $3.05 \times 20^{21}$ அணுக்கள்)

(7) சிலிக்கான் மற்றும் ஆக்சிஜன் ஆகியவற்றின் அணு எடைகள் முறையே 28.086, 15·9994 என்றால் ஒரு சிலிக்கான் டை ஆக்சைடு ($SiO_2$) மூலக்கூறின் எடையைக் கிராம்களில் கூறு. (விடை $9{\cdot}96 \times 10^{-23}$)

---

(1) எலெக்ட்ரான் வாயுமாதிரி என்றால் என்ன ? இதன் அடிப்படையில் மின்னோட்ட அடர்த்தி (current density) மற்றும் மின்கடத்துத்திறன் ஆகியவற்றுக்கான சமன்பாடுகளைக் காண்க. வீட்மன்—ஃபிரன்ஸ் விதியைப் பெறுக.

(2) வெப்பமின் விளைவு, பெல்டியர் விளைவு, சீபெக் விளைவு ஆகியவற்றை எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஆய்க.

---

(1) ஒளிமின் விளைவு என்றால் என்ன? அதுபற்றிய விதிகளைக் கூறு. இவற்றை மெய்ப்பிக்கத் தேவையான சோதனையைப் படத்துடன் விவரி.

(2) ஐன்ஸ்டைன் கூறிய ஒளிமின் விளைவுச் சமன்பாட்டைக் கூறி அது குவான்டம் கொள்கைக்கு எவ்வாறு துணை நிற்கிறது என விளக்குக.

(3) பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் என்றால் என்ன? அதைக் கண்டுபிடிக்க என்ன செய்யவேண்டும்?

(4) $3 \times 10^{-7}$ செ.மீ. அலைநீளமுடைய புற ஊதாக்கதிர் ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலை ஜூல்களில் கணக்கிடுக.

(விடை : $6.62 \times 10^{-19}$ ஜூல்)

(5) வெள்ளியின் பயன் தொடக்க அதிர்வு எண் என்பது 3500A° கொண்டதாக இருந்தால், 2500A° அலைநீளம் உடைய புற ஊதாக்கதிர் அதன் மீது படும்போது (a) வெளியிடப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரானின் பெரும இயக்க ஆற்றலின் அளவு (b) ஒளிமின் வேலையின் அளவு (c) ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் பெருமத் திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

(6) 6000A° அலைநீளமுடைய ஒளி ஓர் உலோக தளத்தின் மீது விழும்போது $4.0 \times 10^5$ செ.மீ/விஞடி திசைவேகமுடைய ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் வெளியிடப்பட்டால் ஒளியின் விளைவுப் பயன் தொடக்க அதிர்வு எண்ணின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக. (விடை 7690A°)

(7) ஒளியின் கலங்கள், ஒளிபெருக்கி இவைபற்றிக் குறிப்பு வரைக.

---

(1) அணுவின் கட்டமைப்பு பற்றிய கருத்துகளை தொகுத்து உரைக்கவும்.

(2) போர் அணுமாதிரியை விளக்குக. அனுமதிக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளுக்கான ஆரம், ஆற்றல், அதிர்வுஎண் ஆகியவற்றைக் காண்க.

முதல் சுற்றுப்பாதையில் செல்லும். ஹைட்ரஜன் அணு எலெக்ட்ரானின் வேகம் என்ன?

$h = 6.62 \times 10^{-27}$ எர்க்-விஞடி. $m = 9.11 \times 10^{-28}$ கிராம்
$e = 4.804 \times 10^{10}$ esu)

(3) வெக்டர் மாதிரியைவிளக்குக. அதனுடன் தொடர்புடைய குவான்டம் எண்களை விவரி. *Na* அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பை விளக்கிக் கூறுக.

(4) ஆற்றல் மட்டப்படங்கள் என்ருல் என்ன? பௌலியின் தவிர்த்தல் கொள்கையை விளக்குக.

(5) ஸ்டெர்ன் கெர்லாக் சோதனையை விளக்குக. அதன் முடிவுகளும் பயன்களும் யாது?

---

(1) எக்ஸ்-கதிர்கள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன? டானே-ஹன்ட் விதியைக் கூறு.

தொடர் நிறமாலை, சிறப்பியல் நிறமாலை பற்றி விளக்குக.

(2) மோஸ்லி விதியைக் கூறு. அணுவின் கட்டமைப்பைப் பொறுத்தவரை அவ்விதியின் சிறப்பு என்ன?

(3) பிராக் விதியைக் கூறி அதை மெய்ப்பிக்கும் சோதனையை விளக்குக

(4) லாவே புள்ளிகள் பற்றிய சோதனையின் முக்கியத்துவம் என்ன?

பிராக் நிறமாலைமானியை விளக்கிக் கூறுக.

---

(1) படிகவியல் சமச்சீரமைவு கூறுகளைக் கூறி விளக்குக.

(2) $NaCl$ படிகத்தின் கட்டமைப்பை விளக்குக.

(3) புள்ளித் தொகுப்பு, இட அணிக்கோவை ஆகியவற்றை விளக்குக.

(4) $ZnS$ படிகம், வைரப்படிகம் இவற்றின் படிக அமைப்பு பற்றிக் கூறி விளக்குக.

## சில முக்கியமான இயற்பியல் மாறிலிகளின் மதிப்புகள் (Physical constants)

| | |
|---|---|
| பிளாங்க் மாறிலி | :— $h = 6{\cdot}6238 \times 10^{-34}$ ஜுல்/செகண்டு |
| எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டம் | :— $e = 1{\cdot}6019 \times 10^{-19}$ கூலம் |
| ,, | :— $e = 4{\cdot}8022 \times 10^{-10}$ நிலை மின்னியல் அலகுகள் |
| எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு ($e/m$) | :— $1{\cdot}7598 \times 10^{11}$ கூலம்/கி.கி. |
| புரோட்டானின் மின்னூட்ட நிறைத்தகவு ($e/M_p$) | :— $9{\cdot}5795 \times 10^{7}$ கூலம்/கி.கி. |
| எலெக்ட்ரான் நிறை ($m$) | :— $9{\cdot}1072 \times 10^{-31}$ கி.கி. |
| புரோட்டான் நிறை ($M_p$) | :— $1{\cdot}66 \times 10^{27}$ கி.கி. |
| புரோட்டான் நிறைக்கும் எலெக்ட்ரான் நிறைக்கும் உள்ள விகிதம் | :— $M_p/m = 1836{\cdot}1$ |
| வெயின் இடப்பெயர்ச்சி விதி மாறிலி | :— $C = 0.28976$ செ. டிகிரி |
| ஒளியின் வேகம் | :— $c = 299790$ கி.மீ/விநாடி |

———

இந்நூலில் வரும் கருத்துகள் பற்றி மேலும் விவரங்களும் விளக்கங்களும் பெறுவதற்குப் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் பற்றிய குறிப்புகள்.

## (BIBLIOGRAPHY)


1. Introduction to Atomic Spectra By H. E. White. McGraw Hill Book Company, London.

2. Text book of Physical Chemistry By S. Glasstone, D.Sc., Ph.D., Macmillan, London.

3. Dictionary of Physics By H. J. Gray, Longmans, London.

4. Introduction to Atomic & Nuclear Physics By H. E. White, Ph. D., D.Sc., DVan Nostrand Co, Delhi.

5. Atomic Physics By J. B. Rajam, D.Sc., S. Chand & Co., Delhi.

6. Modern Physics By J. B. Rajam, D.Sc., S. Chand & Co., Delhi.

7. X-Rays in Theory & Experiment By H. Compton, Ph.D., and S, K, Allison, Ph.D., DVan Nostrand Coy., Delhi.

8. Fundamentals of Magnetism and Electricity By D. N. Vasudeva, S. Chand & Co.

9. Atomic Physics, Vol. I & II By J. Yarwood, M.Sc., First P., University Tutorial Press, London.

10. Crystals & Light By Elizabeth A. Wood, Van Nostrand Co.

11. An Approach to Modern Physics By E. N. dac. Andrade, The English Language Society & G. Bell & Sons., Ltd.

12. Atomic Physics By MaxBorn The E. L. B. S. & G. Bell & Sons, London.

13 Introduction to Atomic Physics By S. Tolansky, Ph.D., D.Sc., F.R.S., & Sir Lawrance Bragg, F.R.S., Longmans, London.

14. Atomic Physics By S. Venkataraman, Athmaram & Sons., Delhi.

# கலைச்சொற்கள்

## A

| | |
|---|---|
| Absorption | — உட்கவர்தல் |
| Absorption coefficient | — உட்கவர் எண் |
| Accelerators | — முடுக்கிகள் |
| Alkali earths | — புவிகாரத் தனிமங்கள் |
| Ampere theorem | — ஆம்பியர் தேற்றம் |
| Amplitude | — வீச்சு |
| Angular momentum | — திசைக்கோண உந்தம் |
| Angular quantum number | — திசைக்கோண குவான்டம் எண் |
| Angular velocity | — கோணத் திசைவேகம் |
| Anti clockwise | — இடஞ்சுழியான |
| Anti parallel | — எதிர் இணையான |
| Anomalous | — முரணிய |
| Areal velocity | — பரப்புத் திசைவேகம் |
| Asymptotes | — வரம்பிலாத் தொடுகோடுகள் |
| Atom | — அணு |
| Atomic state | — அணு நிலை |
| Atomic number | — அணு எண் |
| Atomiser | — தெளிப்பான் |
| Avogadros number | — அவொகாட்ரோ எண் |
| Axis | — அச்சு |
| Axial ratios | — அச்சு சார் விகிதம் |
| Azimuthal angle | — திசைக்கோணம் |

## B

| | |
|---|---|
| Balmer series | — பாமர் தொடர் |
| Betatron | — பீட்டாடிரான் |

Black body — கருமைப் பொருள்
Black body radiation — கருமைப் பொருள் கதிர்வீச்சு
Binding energy — பிணைப்பாற்றல்
Body centred cubic lattice — உடல் மையங்கொண்ட கனச் சதுர அணிக்கோவை
Bragg's X-ray spectrometer — பிராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி
Brackett series — பிராக்கெட் தொடர்

## C

Cathode rays — எதிர்மின் கதிர்கள்
Canal rays — கால்வாய்க் கதிர்கள்
Carbon — கார்பன்
Centre of curvature — வளைவு மையம்
Centre of symmetry — சமச்சீரமைவு மையம்
Centripetal force — மைய நாடு விசை
Characteristic spectrum — சிறப்பியல் நிறமாலை
Characteristic X-rays — சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்கள்
Centrifugal force — மையம் விட்டோடும் விசை
Cleavage plane — பிளவுறு தளம்
Clockwise — வலஞ்சுழியான
Coherent scattering — ஓரியல் சிதறல்
Circuit integral — சுற்றுத் தொகுப்பு
Compton wavelength — காம்ப்டன் அலைநீளம்
Combination of symmetry elements — சமச்சீரமைவு உறுப்புகளின் கூட்டு
Conductivity — கடத்துதிறன்
Condensers — மின் தேக்கிகள்
Constant deviation — மாறா விலக்கம்
Conduction electron — கடத்தும் எலெக்ட்ரான்
Continous spectrum — தொடர் நிறமாலை
Coefficient of thermal conductivity — வெப்பக் கடத்தல் எண்
Co-ordinates — ஆயத் தொலைவுகள்
Co-ordination number — இணைப்பு எண்
Covalent — சகப்பிணைப்பு
Couple — விசையிரட்டை
Coupling schemes — இணைப்பு முறைகள்
Cold junction — குளிர் சந்திப்பு
Counter dispersion angle — பிரிகை எதிர்கோணம்

Constant temperature bath — மாறு வெப்பநிலைத் தொட்டி
Conservation of mass — நிறை அழிவின்மை விதி
Conservation of energy — ஆற்றல் அழிவின்மை விதி
Conventional current — மரபு மின்னோட்டம்
Corpuscular nature — துகள் பண்பு
Crystallographic axes — படிகவியல் அச்சுகள்

## D

Dark space — இருண்ட இடம்
Degrees of freedom — உரிமைப் படிகள்
Diffraction — விளிம்பு விலகல்
Displacement — இடப்பெயர்ச்சி
Dielectric — மின்கடவாப் பொருள்
Diffusion — விரவிப் பரவல்
Differentiating — பகுப்பு செய்ய
Discharge — மின்னிறக்கம்
Disruptive discharge — தகர்த்தெறியும் மின்னிறக்கம்
Discs — வட்டுகள்
Distance of closest approach — நெருங்கக்கூடிய தூரம்
Disintegration — தனிமச் சிதைவு
Drift motion — இழுப்பு இயக்கம்

## E

Eccentricity — வேற்று மைய நிலை
Electron — எலெக்ட்ரான்
Electric spark — மின்பொறி
Electron theory — எலெக்ட்ரான் கொள்கை
Electrostatic potential — நிலை மின்னியல் மின்னழுத்தம்
Elastic collision — மீட்சி மோதல்
Electron volt — எலெக்ட்ரான் வோல்ட்
Ellipse — நீள் வட்டம்
Emission — வெளிவிடல்
Emitter — வெளிவிடு பொருள்
Empirical formula — அனுபவ வாய்பாடு
Excited — கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட
External symmetry — புறச்சமச் சீரமைவு
External field — புறப்புலம்
Exclusion principle — தவிர்த்தல் கொள்கை
Energy level diagram — ஆற்றல் மட்டப்படம்

## F

Face plane — முகப்புத் தளம்
Faraday's cylinder — ஃபாரடே உருளை
Fiducial point — அடிப்படைப் புள்ளி
Filament — மின்னிழை
Fine structure — நுண்ணமைப்பு
Fins — வால் செதில்கள்
Fluorescent — ஒளிர்
Fluorescence — ஒளிர்தல்
Fluorescent screen — ஒளிர்திரை
Fluorescent X-rays — ஒளிர் எக்ஸ்-கதிர்கள்
Foot — பாதம்
Forbidden jumps — தடுக்கப்பட்ட தாவல்கள்
Free — கட்டற்ற
Free electron — கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்
Free path — தடையற்ற பாதை
Frequency — அதிர்வு எண்
Furnace — ஊதுலை

## G

Gas model — வாயு மாதிரி
Gas tube — வாயுக் குழாய்
Glancing angle — சாய் கோணம்
Glow — ஒளி வீச்சு
Gold leaf electroscope — தங்க இலை மின்னூட்டங் காட்டி
Graphite — கிராஃபைட்
Grating — கீற்றணி
Grating element — கீற்றணி மூலம்

## H

Half integers — அரை எண்கள்
Hard X-rays — கடின எக்ஸ்-கதிர்கள்
Heat conduction — வெப்பக் கடத்தல்
Hetrogeneous — பலபடித்தான
Homogeneous — ஒருபடித்தான
Hyperbola — அதிபரவளையம்

# I

Indicator — குறிப்புக் காட்டி
Induction coil — தூண்டு சுருள்
Inductance — மின் நிலைமம்
Inner precession — அக அச்சுச் சுழற்சி
Inner photo electric effect — உள் ஒளிமின் விளைவு
Installation — நிலையம்
Intercepts — வெட்டுத்துண்டங்கள்
Internal symmetry — அகச் சீரமைவு
Interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
Intensity — செறிவு
Interaction — வினையாக்கம்
Ion — அயனி
Ionisation — அயனியாக்கம்
Ionisation chamber — அயனிக்கலம்
Isobars — ஐசோபார்கள்
Isotopes — ஐசோடோப்புகள்

# K

K-lines — K-வரிகள்

# L

Laue spots — லாவே புள்ளிகள்
Layer — ஏடு, அடுக்கு
Lande's g factor — லாண்டே g கூறு (காரணி)
Law of conservation of energy — ஆற்றல் அழிவின்மை விதி
Law of conservation of mass — நிறை அழிவின்மை விதி
Law of conservation of momentum — உந்தம் அழிவின்மை விதி
Left hand rule — இடக்கை விதி
Limit — வரம்பு
Linear — நேர்விகிதத் தொடர்பு
Lorentz unit — லொரென்ட்ஸ் அலகு
Lymann series — லைமன் தொடர்

# M

Machine parts — பொறிப் பகுதிகள்
Macroscopic — பொதி நிலையில்

| | |
|---|---|
| Magnetic dipole | — காந்த இருமுனை |
| Magnetic flux | — காந்தப் பாயம் |
| Magnetic interaction | — காந்த வினையாக்கம் |
| Magnetic quantum number | — காந்தக் குவாண்டம் எண் |
| Magnetic spin quantum number | — காந்தச் சுழற்சிக் குவாண்டம் எண் |
| Magnetic total quantum number | — காந்த மொத்தக் குவாண்டம் எண் |
| Mass absorption coefft., | — நிறை உட்கவர்தல் எண் |
| Mass defect | — நிறைக் குறை |
| Mass spectrograph | — நிறைமாலை வரைவி |
| Matter | — பருப்பொருள் |
| McLeod gauge | — மெக்ளவுடு அழுத்தமானி |
| Mean free path | — சராசரி தடையற்ற பாதை |
| Mechanics | — விசையியல் |
| Mechanical moment | — விசையியல் திருப்புதிறன் |
| Miller indices | — மில்லர் சுட்டு எண்கள் |
| Mirror image traces | — ஆடிப்படிமச் சுவடுகள் |
| Modified rays | — மாற்றப்பட்ட கதிர்கள் |
| Molecular moment | — மூலக்கூறு திருப்புதிறன் |
| Momentum | — உந்தம் |

## N

| | |
|---|---|
| Normal triplet | — இயல்பு மூவரி |
| Normal Zeeman effect | — இயல்பு சீமன் விளைவு |
| Nucleus | — அணுக்கரு |

## O

| | |
|---|---|
| Orbit | — சுற்றுப்பாதை |
| Orbital quantum number | — சுற்றுப்பாதை குவாண்டம் எண் |

## P

| | |
|---|---|
| Packets | — முடிச்சுகள் |
| Packing fraction | — பொதிவுப் பின்னம் |
| Paddled wheel | — துடுப்புச் சக்கரம் |
| Parallelopiped | — இணைமுகப் பட்டகம் |
| Paschens series | — பாஷன் தொடர் |
| Path difference | — பாதை வேறுபாடு |

Peltier effect — பெல்ட்டியர் விளைவு
Period (Table) — அலைவு இடைவெளி
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Permitted orbits — அனுமதிக்கப்பட்ட சுற்றுப் பாதைகள்
Phase — கட்டம்
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Phosphorescence — நின்று ஒளிர்தல்
Photo cathode — ஒளி எதிர்மின்வாய்
Photo electric effect — ஒளி மின் விளைவு
Photo electron — ஒளி எலெக்ட்ரான்
Photo electric current — ஒளி மின்னோட்டம்
Photo multiplier — ஒளிபெருக்கி
Photo sensitive — ஒளி உணர்வுள்ள
Plane of vibration — அதிர்வுறு தளம்
o i ; roup — புள்ளித் தொகுப்பு
Polarisation — தளவிளைவு
Positive — நேர்க்குறி, நேர்
Postulate — அடிக்கோள்
Positive rays — நேர்மின் கதிர்கள்
Potentiometer — மின்னழுத்தமானி
Potential difference — மின்னழுத்த வேறுபாடு
Precession — அச்சுச் சுழற்சி
Principal focus — முதன்மைக் குவியம்
Primary — முன்வரு, முதன்மை
Primary coil — முதன்மைச் சுருள்
Principal quantum number — முதன்மைக் குவான்டம் எண்
Probability — நிகழ்திறன்
Projection — வீழ்ச்சி
Proton — புரோட்டான்

## Q

Quadrant electrometer — கால்வட்ட எலெக்ட்ராமீட்டர்
Quanta — குவான்டங்கள்
Quantum orbits — ஆற்றல் சுற்றுப்பாதைகள்
Quantum theory — குவான்டம் கொள்கை

## R

Radioactivity — கதிரியக்கம்
Radiation — கதிர்வீச்சு
Radial force — ஆரவழி விசை
Radial momentum — ஆரவழி உந்தம்
Rare earths — புவி அரிய தனிமங்கள்
Rectifier cell — திருத்தி மின்கலம்
Refraction — விலகல்
Relative abundance — ஒப்புமைச் செழிப்பு
Relative theory — சார்புநிலைக் கொள்கை
Relativistic atom model — சார்பியல் அணுமாதிரி
Resolving power — பிரிதிறன்
Resonance accelerator — ஒத்ததிர்வு முடுக்கி
Rest mass — அசையாநிலை நிறை
Resultant — விளைவு, தொகுபயன்
Root mean square — சராசரி இருமடி மூலம்
Rosette — ரோஜா இதழ் அடுக்கு முறை

## S

Saturation — தெவிட்டு நிலை
Secondary — பின்வரு, துணை
Secondary corpuscular radiation — பின்வரு துகட் கதிர்வீச்சு
Secondary radiation — பின்வரு கதிர்வீச்சு
Secondary wavelets — பின்வரு சிற்றலைகள்
Seebeck effect — சீபெக் விளைவு
Semi conductors — குறை கடத்திகள்
Semi major axis — அரைப் பேரச்சு
Semi minor axis — அரைச் சிற்றச்சு
Semi transparent — குறை ஒளிபுகு
Simple cubic lattice — எளிய கனசதுர அணிக்கோவை
Single electron system — ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு
Singlet — ஒற்றை வரி
Slits — பிளப்புகள்
Slope — சரிவு
Spatial quantisation — இடம் வரையறுத்தல்
Sphenoid — ஸ்பெனொய்ட்

Spin — சுழற்சி
Spin magnetic moment — சுழற்சி காந்தத் திருப்புதிறன்
Splitting fraction — பிரிவினைக் கூறு
Stationary orbits — நிலை சுற்றுப்பாதைகள்
Stopping potential — நிறுத்தும் மின்னழுத்தம்
Structure — கட்டமைப்பு
Strong field quantum number — வன்புலக் குவான்டம் எண்
Source — தோற்றுவாய்
Soft X-rays — மிருது எக்ஸ்-கதிர்கள்
Sub-shell — துணைக்கூடு
Suffix — பின்னொட்டு
Symmetry — சமச்சீரமைவு
Symmetry elements — சமச்சீரமைவுக் கூறுகள்
Symmetry plane — சமச்சீரமைவுத் தளம்

## T

Target — இலக்கு
Tangent — தொடுகோடு
Thermo electric effect — வெப்பமின் விளைவு
Thomson effect — தாம்சன் விளைவு
Thoriated Tungstan — தோரிய டங்ஸ்டன்
Threshold frequency — பயன் தொடக்க அதிர்வு எண்
Three fold axis of symmetry — மும்முறை சமச்சீரமைவு அச்சு
Total qnantum number — மொத்த குவான்டம் எண்
Trace — சுவடுகள்
Translational symmetry — பெயர்ச்சி சமச்சீரமைவு
Triplets — மூவரி அமைப்புகள்
Two fold axis of symmetry — இருமுறை சமச்சீரமைவு அச்சு

## U

Unit — அலகு
Unit cell — அலகு செல்
Ultra violet rays — புற ஊதாக் கதிர்கள்

## V

Valance electron — சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்கள்
Velocity — திசைவேகம்

| | | |
|---|---|---|
| Velocity filter | — | திசைவேக வடிகட்டி |
| Velocity selector | — | திசைவேக பொறுக்கு அமைப்பு |
| Valve oscillator | — | வால்வு அலைவு இயற்றி |

## W

| | | |
|---|---|---|
| Wave length-intensity graph | — | அலைநீள-செறிவு வரைபடம் |
| Wave mechanics | — | அலை விசையியல் |
| Wave number | — | அலை எண் |
| Welding | — | உருக்கி ஒட்டல் |
| Window | — | சாரளம் |
| Work function | — | வேலை சார்பலன் |

## X

| | | |
|---|---|---|
| X rays | — | எக்ஸ் கதிர்கள் |
| X ray Spectrometer | — | எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி |
| X ray installation | — | எக்ஸ்-கதிர் நிலையம் |

## Z

| | | |
|---|---|---|
| Zero | — | சுழி |
| Zeeman effect | — | சீமன் விளைவு |
| Zeeman levels | — | சீமன் மட்டங்கள் |
| Zeeman patterns | — | சீமன் வரியமைப்புகள் |