த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—354

புதுமைக் காந்தவியல்

ஆசிரியர்

டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், எம்.ஏ.,எம்.எஸ்ஸி.,பி.எச்.டி.,

இயற்பியல் விரிவுரையாளர்,

அண்ணாமலைப் பல்கலைக்கழகம்,

அண்ணாமலை நகர்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—October, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 354

© Tamil Nadu Text Book Society

MODERN MAGNETISM

Dr. V. SHANMUGASUNDARAM

Price Rs. 4 - 40

'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
ELANGOVAN PRINTERS,
23, Muthu Mudali Street,
Royapettah, Madras-14.

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 கற்றுவந்தனர். 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 நடைபெற்றுவருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் 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 தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'புதுமைக் காந்தவியல்' என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் **354**ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை **389** நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

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

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

1. சில அடிப்படை வரையறைகள் ... 1

1.1. தொடக்கவுரை; 1.2. கூலும் விதி; 1.3. காந்தப்புலம்; 1.4. காந்த இருமுனைவு; 1.5. காந்தத் திருப்புதிறன்; 1·6. காந்த விசைக்கோடுகள்; 1.7. காந்தப்பாயம்; 1.8. காந்தச்செறிவு; 1.9. காஸ் விதி; 1.10. காந்த உட்புகு திறன்; 1.11. காந்தத் தூண்டல்; 1.12. காந்த ஏற்புத்திறன்; 1.13. டையா, பாரா, ஃபெரோக் காந்தவியல்கள்; 1.14. ஆன்டி ஃபெரோக் காந்தவியல்; 1.15. டையா, பாரா, ஃபெரோக் காந்தங்களின் வேற்றுமைகள்; 1.16. காந்த அழுத்தம்.

2. காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும் முறைகளும் அளவிடும் முறைகளும் ... 13

2.1. தொடக்கவுரை; 2.2. காந்தத் தயக்கக் கண்ணி; 2.3. தயக்கக் கண்ணியின் பட விளக்கம்; 2.4. *B-H* கண்ணியின் பயன்கள்; 2.5. மின்காந்தம்; 2.6. காந்தக் கலவை உலோகங்கள்; 2.7. நிலைக்காந்தம்; 2·8. காந்தச் சுற்று; 2.9. மின்காந்தம் அமைக்கும் முறை; 2.10. செறிவு நிறைந்த காந்தப் புலத்தை அளக்கும் முறைகள்; 2.11. பிஸ்மத் சுருள் முறை; 2.12. பாயமானி; 2.13. பாயமானியின் கணக்கிடு முறை.

3. காந்த ஏற்புத்திறன்களை அளவிடும் முறைகள் ... 38

3.1. தொடக்கவுரை; 3.2. காந்தப்புலத்தி லிருக்கும் பொருளின்மீது செயல்படும் விசை; 3.3. சீர்காந்தப்புல முறை; 3.4. காய் தராசு

பக்கம்

3.5. அளவிடும் முறை; 3.6. காந்த ஏற்புத் திறன்களைக் கணக்கிடும் முறை; 3.7. அளவீடு செய்தல்; 3.8. குவிங்கே முறை; 3.9. சீரிலாப் புல முறை—(a) ஃபாரடே முறை, (b) க்யூரி முறை; 3.10. கணக்கிடும் முறை; 3.11. ஃபெரோக் காந்த வேறுபாட்டிற்கான திருத்தம்; 3.12. வாயுக்களுக்கான ஒரு திருத்தப்பட்ட க்யூரி தராசு; 3.13. இராங்கின் முறை; 3.14. தூண்டு காந்த முறை.

4. அணு அமைப்பு ... 65

4.1. தொடக்கவுரை; 4.2. போர் அணு அமைப்பு முறை; 4·3. ஸாமர்ஃபீல்டு அணு அமைப்பு; 4.4. எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி; 4·5. குவான்டம் எண்கள்; 4.6. ரஸ்ஸல் - ஸாண்டர்ஸ் பிணைப்பு; 4.7. பாலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவம்; 4.8. அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு முறை; 4.9. போர் மாக்னெட்டான்; 4.10. லாண்டேயின் 'g' உறுப்பு; 4·11. சீமன் விளைவு; 4.12. ஸ்டென்-கிர்லாக் சோதனை; 4.13. சோதனை அமைப்பு.

5. டையாக் காந்தவியல் ... 88

5.1. தொடக்கவுரை; 5.2. டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான சமன்பாடு; 5.3. லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டிற்கான ஆதாரங்கள்; 5.4. குவான்டம் கொள்கைப்படி டையாக் காந்தத்திற்கான விளக்கம்; 5.5. அயனிகளின் டையாக் காந்தவியல்; 5.6. பல அணு மூலக்கூறுகளின் டையாக் காந்தப் பண்புகள்; 5.7. மூலக்கூறுக் கலவைகள்; 5.8. டையாக் காந்த ஏற்புத் திறனும் வெப்ப நிலையும்.

6. பாராக் காந்தவியல் ... 106

6.1. தொடக்கவுரை; 6.2. லாஞ்சுவின் பாராக் காந்தக் கொள்கை; 6.3. க்யூரி-வெயிஸ்

பக்கம்

விதி; 6.4. மாக்னெட்டான் அலகுகள்; 6.5. குவான்டம் கொள்கை அடிப்படையில் பாராக் காந்தவியல்; 6·6. அலையியக்க அடிப்படையில் பாராக் காந்தச் சமன்பாடு; 6.7. ஆற்றல் நிலைப் பிரிவின் காந்த விளைவுகள்; 6.8. வென்வெலக் சமன்பாடும் சோதனை முடிவுகளும்; 6.9. அருமண் தொகுதி அயனிகள்; 6.10. இரும்புத் தொகுதி அயனிகள்; 6.11. ஆக்ஸிஜனின் பாராக் காந்த ஏற்புத்திறன்; 6.12. தனித்தியங்கு எலெக்ட்ரானின் காந்தப் பண்புகள்.

7. ஃபெரோக் காந்தவியல் ... 132

7.1. வெயிஸ் ஃபெரோக் காந்தக் கொள்கை; 7.2. குவான்டம் அடிப்படையில் மூலக்கூறுகள் புலக்கொள்கை; 7·3. மூலக்கூறு புல எண் 'n'; 7.4. வெயிஸ் மாக்னெட்டான்; 7.5. வெயிஸ் கொள்கையின் குறைபாடுகள்; 7.6. ஹைஸன்பர்கின் ஃபெரோக் காந்தக் கொள்கை; 7.7. ஹைசன்பர்க் கொள்கை அடிப்படையில் σ/σ_0-ன் மதிப்பு.

8. படிகக் காந்தவியல் ... 151

8.1. தொடக்கவுரை; 8.2. ராபி முறை; 8.3. கிருஷ்ணன் அலைவு முறை; 8.4. மாறு நிலை முறுக்கு முறை; 8.5. படிகக் காந்தவியல் அளவுகளின் பயன்கள்; 8.6. தனிம ஒற்றைப் படிகம்.

9. சுழலியக்கக் காந்த விளைவு ... 163

9.1. தொடக்கவுரை; 9.2. சுழலியக்கக் காந்த வீதம்; 9.3. சோதனை முடிவுகள்; 9.4. அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியும் காந்தத் திருப்பு திறனும்; 9.5. அணுக்கற்றைகளில் அணுக்கரு காந்த ஒத்திசைவு.

பிற்சேர்க்கை ... 173

REFERENCES ... 177

1. சில அடிப்படை வரையறைகள்

1.1. தொடக்கவுரை

நீண்ட காலமாகக் காந்தத்தன்மை, இரும்பு, நிக்கல் போன்ற ஒரு சில பொருள்களுக்கே உரியதாக எண்ணப்பட்டு வந்தது. இந்த எண்ணத்தை 1845ஆம் ஆண்டில் ஃபொரடே என்ற விஞ்ஞானி தம்முடைய ஆராய்ச்சியின்மூலம் மாற்றிக் காந்தத்தன்மை பெரும் பான்மையாக எல்லாப் பொருள்களையும் பாதிக்கும் என்று காண்பித்தார். இதன்பின் வீபர் (Weber) என்ற விஞ்ஞானி 'மூலக் கூறுகளின் மின்னோட்ட' அடிப்படையில் பொருள்களின் காந்தத் தன்மையை விளக்கினார். ஆனால், அவரால் இந்தக் காந்தத் தன்மையின் அளவினை வரையறுத்துக் கூற இயலவில்லை. பின்னர், லாஞ்சுவின் (Langevin) என்பவர் எலக்ட்ரான் கொள்கையைக் கொண்டு பொருள்களின் காந்தத் தன்மையினை அளவிட்டார். இத்தகைய பொருள்களின் காந்தத் தன்மைக்கான விளக்கத்தையும் அளவினையும் அறிந்துகொள்ளுவதற்குமுன் காந்தவியலுக்கான சில அடிப்படை வரையறைகளைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

1.2. கூலும் விதி (Coulomb's Law)

m_1 மற்றும் m_2 முனைவலிமையுடைய இரு புள்ளிக் காந்த முனைகள் r செ.மீ. இடைவெளியில் வைக்கப்பட்டிருந்தால் அவற்றினிடையே ஏற்படும் விசை அவ்விரு முனைவலிமைகளின் பெருக்கற்பலனுக்கு நேர் வீதத்திலும், இடையேயுள்ள தொலைவின் இருமடி (square) எதிர் வீதத்திலுமிருக்கும்.

இதனை,

$$\text{விசை } (F) \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$= K \frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad [1.1]$$

இதில் K ஒரு மாறிலி.

இயற்பியல் மரபுபடி காந்தமுனை வலிமையின் அலகை 'K' மாறிலி ஒன்றாகுமாறு தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, கீழ்க் கண்டவாறு ஓர் அலகு முனைவலிமை வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. எந்த இரு ஒரே வலிமையுடைய முனைகள் ஒரு செ.மீ. இடைவெளியில் வெற்றிடத்தில் (அல்லது காற்றில்) வைக்கப்பட்டால் ஒரு டைன் விசையில் இழுக்கும் அல்லது ஒதுக்குமோ அந்த முனைகள் ஓரலகு முனைகளாகும்.

m_1, m_2 முனைவலிமையுடைய இரு காந்த முனைகள் r செ.மீ. இடைவெளியில் வைக்கப்பட்டால் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள விசை $F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும்.

1.3. காந்தப்புலம் (Magnetic field)

காந்தத் தன்மையுடைய ஒரு பொருளினைச் சுற்றியுள்ளதும், காந்தத்தின் ஆற்றல் உணரப்படுவதுமான பகுதி காந்தப்புலம் எனப்படும். ஓர் ஓரலகு வடமுனையைக் காந்தப்புலத்தின் ஒரு புள்ளியில் வைத்தால் அந்த முனையின்மேல் செயல்படும் விசை அந்தப் புள்ளியில் காந்தப்புலத்தின் வலிமையாகும். மேலும், அந்தப் புள்ளியின் முனையின்மேல் செயல்படும் விசையின் திசையே காந்தப்புலத்தின் திசையாகும். ஒரு காந்தப்புலத்திற்கு அளவும் திசையும் உண்டு. எனவே இது ஒரு வெக்டர் (vector) அளவு. காந்தப் புல வலிமை ஓர்ஸ்டெட் (oerstead) அல்லது காஸ் (gauss) என்ற அலகால் அளக்கப்படும்.

1.4. காந்த இருமுனைவு (Magnetic Dipole)

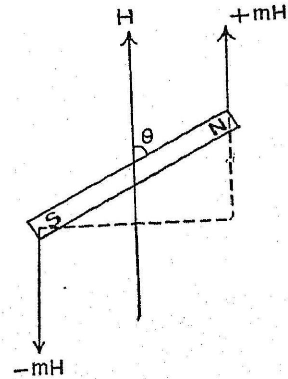
இது ஒரு பேரளவு அல்லது நுண்ணிய அளவிலான காந்த அமைப்பு. இதில் காந்தத்தின் இரு சமமானதும் எதிரானதுமான வட, தென் முனைகள் மிகச் சிறு தொலைவில் பிரிக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்ளப்படும். ஒரு காந்த இரு முனைவு, அதன்மேல் செயல்படும் காந்தப் புலத்தின் திசைக்கு இணையாகத் தன்னை இருத்திக்கொள்ளும்.

1.5. காந்தத் திருப்புதிறன் (Magnetic Moment)

ஒரு காந்தம் கிடைமட்டத்தளத்தில் தன்னிச்சையாகத் திரும்பும் நிலையில் தொங்கவிடப்பட்டால், அதன் வடமுனை வட திசையை நோக்கியும், தென்முனை தென்திசையை நோக்கியுமிருக்குமாறு தன்னை இருத்திக்கொள்ளும். எனவே, காந்தம் ஒரு காந்தப்புலத்தில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்படுகின்றது.

இந்தக் காந்தப்புலம் புவிக்காந்தப் புலத்தின் இடைச் செறிவாகும் (Horizontal Intensity).

m அலகுமுனை வலிமையுடைய ஒரு காந்தம், அதன் காந்த அச்சு H இடைச்செறிவுள்ள புலத்தின் திசைக்கு θ° சாய்வாக வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். காந்தத்தின் இரு முனைகளிலும் mH டைன் விசை படத்தில் (படம் 1.1.) காட்டியுள்ள திசையில் செயல்படும். இவ்விரு விசைகளும் சமமான, எதிரான இணைவிசைகள். எனவே, இவை ஓர் இரட்டை (couple). அந்த இரட்டையின் திருப்பு திறன்,



படம் 1.1.

$$= \text{விசை} \times \text{அவற்றிடையேயுள்ள தொலைவு}$$
$$= mH \times SA$$
$$= mH \cdot NS \sin\theta$$
$$= m \cdot l \cdot H \cdot \sin\theta \qquad [1.2]$$

l, காந்தத்தின் இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு காந்த நீளம். காந்தம் தன் அச்சு கிடைச்செறிவு திசையிலிருக்குமாறு நிலைபெறும்பொழுது $\theta^\circ = 0$ என்றாகும். எனவே, இரட்டையின் திருப்புதிறன் சுழியாகும். காந்தம் அந்த நிலையிலேயே நிலைபெறும். மாறாக, காந்தம் தன் அச்சு கிடைச்செறிவு திசைக்கு 90° இருக்குமாறு அமைந்தால் $\sin 90^\circ = 1$ ஆகும். திருப்புதிறன் பெருமமாக mlH ஆக இருக்கும். இதனை MH என்று குறிக்கலாம். இதில் $M = ml$ ஆகும். M என்பது காந்தத் திருப்புதிறன் எனப்படும். இது ஓர் ஓர்ஸ்டெடுக்கு இவ்வளவு எர்குகள் என்ற அலகில் (ergs per oerstead) அளக்கப்படும்.

1.6. காந்த விசைக்கோடுகள் (Magnetic lines of force)

தன்னிச்சையாக நகரும் தன்மைகொண்ட ஓர் ஓரலகு வட முனையை ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் அது செல்லும் பாதை ஓரலகு விசைக்கோடுகளெனப்படும். அந்தப் புலத்தில் எந்தவொரு புள்ளியிலும் விசைக்கோடுகளின் திசை காந்தப்புலத் திசையைக் குறிக்கும். மேலும், காந்தப்புலத்தில் ஒரு சதுர செ. மீட்டருக்கு எத்தனை ஓரலகு விசைக்கோடுகள் உள்ளனவோ, அந்த எண்,

எண்ணளவில் அந்தக் காந்தப்புலத்தின் புல வலிமையைக் குறிக்கும்.

1.7. காந்தப் பாயம் (Magnetic Flux)

ஒரு காந்த வடமுனைப் பக்கத்திலிருந்து வெளிவரும் விசைக் கோடுகள் அதன் மொத்தக் காந்தப் பாயம் (Magnetic flux) எனப்படும். ஒரு சதுர செ. மீட்டரில் வெளிவரும் விசைக்கோடுகள் பாயச்செறிவு (flux density) ஆகும். காந்தப் பாயத்தின் அலகு மாக்ஸ்வெல் (maxwell) ஆகும்.

1.8. காந்தச்செறிவு (Intensity of Magnetisation)

காந்தமாக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் முனைவலிமை 'm' ஆகவும், காந்தமாக்கல் திசைக்கு நேர்குத்தான குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு 'a' ச.செ. மீட்டராகவும் இருப்பின் காந்தமாக்கப்பட்ட பொருளின் காந்தச்செறிவு $I = \frac{m}{A}$.

அல்லது,

$$I = \frac{m \times l}{A \times l} \qquad (1.3.)$$

$$= \frac{\text{காந்தத் திருப்புதிறன்}}{\text{காந்தமாக்கப்பட்ட பொருளின் பருமன்}}$$

எனவே, காந்தமாக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் காந்தச் செறிவை ஓரலகு பருமனில் தூண்டப்பட்ட காந்தத் திருப்புதிறன் என்று கொள்ளலாம்.

1.9. காஸ் விதி (Gauss's Law)

ஓர் அலகு காந்தப்புலச் செறிவு என்பதை ஒவ்வொரு சதுர செ.மீட்டருக்கும் ஓர் ஓரலகு விசைக்கோடு கடப்பதாகக் கொள்ள லாம். ஒரு செ.மீட்டர் ஆரமுள்ள கோளத்தின் மையத்தில் ஓர் ஓரலகு காந்தமுனை இருப்பதாகக் கொள்வோம். கோளத்தின் பரப்பில் புலச்செறிவு ஓரலகாகும்; அல்லது ஒவ்வொரு சதுர செ.மீட்டர் பரப்பு வழியாகவும் ஓர் ஓரலகு காந்த விசைக்கோடு கடப்பதாகக் கொள்ளலாம். கோளத்தின் பரப்பு 4π ச.செ. மீட்டராகும். எனவே, கோளப் பரப்பிலிருந்து 4π ஓரலகு விசைக் கோடுகள் வெளிவருவதாகக் கொள்ளலாம்; அல்லது ஓர் ஓரலகு காந்த முனையிலிருந்து 4π ஓரலகு காந்த விசைக்கோடுகள் வெளி வருவதாகக் கருதப்படும். பொதுவாக, ஒரு மூடப்பட்ட பரப்பிலேற்

படும் காந்தப்பாயம் அப் பரப்பினுள் அடங்கப்பட்ட முனை வலிமையைப்போல் 4π மடங்காகும். எனவே 'm' முனை வலிமையை உள்ளடக்கிய ஒரு பரப்பினின்று $4\pi m$ மாக்ஸ்வெல்கள் வெளிவரும். இது காஸ் விதி (Gauss's Law) எனப்படும்.

1.10. காந்த உட்புகு திறன் (Magnetic Permeability)

கூலும் விதியைக் கூறும்பொழுது இரு முனைகளுக்கு இடையே உள்ள விசை $F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$ என்று கண்டோம். இந்தச் சமன்பாடு முனைகள் வெற்றிடத்திலிருக்கும் பொழுது மட்டுமே பொருந்தும். முனைகள் ஓர் ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டால் முனைகளுக்கிடையில் ஏற்படும் விசையினை

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \qquad (1.4.)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். 'μ' என்பது முனைகள் வைக்கப்பட்டுள்ள ஊடகத்தின் காந்த உட்புகு திறனைக் (Magnetic permeability) குறிக்கும். 'μ'-ன் மதிப்பு வெற்றிடத்தில் ஒன்றாகும். காற்றில் ஏறத்தாழ ஒன்றுக்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். μ உட்புகு திறன் கொண்ட ஊடகத்தில் 'm' முனை வலிமை கொண்ட ஒரு காந்த முனையால் r செ.மீட்டர் தொலைவில் ஏற்படும் காந்தப் புலத்தின் செறிவு,

$$H = \frac{m}{\mu r^2}$$

அல்லது,

$$\mu H = \frac{m}{r^2} \qquad (1.5.)$$

வெற்றிடமாக இருந்தால் காந்தப்புலச்செறிவு $H = \frac{m}{r^2}$ என்றாகும்.

1.11. காந்தத் தூண்டல் (Magnetic Induction)

காந்தமாக்கப்படாத காந்தப் பொருளாலான ஒரு சட்டத்தை ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் அச் சட்டம் காந்தத் தன்மை யடைகிறது. காந்த விசைக்கோடுகளுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் சட்டத்தில் 'a' ச.செ.மீட்டர் பரப்பளவைக் கவனத்தில் கொள்வோம். காந்தப்புலத்தின் வலிமை H ஆனால் 'a' ச.செ. மீட்டர் பரப்பின் வழிச்செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகள் aH ஆகும். காந்தத் தூண்டலால் அப் பரப்பில் 'm' முனை வலிமை அடைந்தால் காஸ் விதிப்படி அந்தப் பரப்பின் வழி கடக்கும்

காந்தவிசைக் கோடுகள் $4\pi m$ ஆகும். எனவே, 'a' ச.செ.மீட்டர் பரப்பின் வழிச்செல்லும் மொத்தக் காந்த விசைக்கோடுகள்

$$= Ha + 4\pi m$$

ஒரு ச.செ.மீட்டர் பரப்பில் செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகள்

$$= \frac{Ha}{a} + \frac{4\pi m}{a}$$

$$= H + 4\pi I \quad \left[\because \frac{m}{a} = I \right]$$

இது காந்தத் தூண்டல் B என்று கூறப்படும்.

$$B = H + 4\pi I \qquad (1.6.)$$

காந்தப் பொருள் சட்டத்திற்குப் பதில் அந்த இடம் வெற்றிடமாக இருந்தால் B-ன் மதிப்பு H ஆகும்.

$$\text{அல்லது,} \quad B = H \qquad (1.6a.)$$

காந்தப் பொருள் சட்டத்தின் காந்த உட்புகுதிறன் μ ஆனால்

$B = \mu H$ ஆகும். (1.7.)

1.12. காந்த ஏற்புத்திறன் (Magnetic Susceptibility)

ஒரு பொருளைக் காந்தப்புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அதில் தூண்டப்படும் காந்தச்செறிவு I அதனைத் தூண்டும் காந்தப் புலத்திற்கு (H) நேர்வீதத்திலிருக்கும்.

இதனை,

$$I \propto H$$

அல்லது,

$$I = KH \qquad (1.8.)$$

என்று குறிக்கலாம். இதில் K ஒரு மாறிலியாகும். இதன் மதிப்புப் பொருளைப் பொறுத்து மாறுபடும். இது காந்த ஏற்புத்திறன் (magnetic susceptibility)என்று கூறப்படும். இது ஓரலகு பருமப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறனாகும் (susceptibility per unit volume). இது எந்த அளவிற்குப் பொருள் காந்தத் தன்மையை ஏற்கும் என்பதைக் குறிக்கும். திசையொப்புப் பண்பியலான (isotropic) பொருள்களுக்குக் காந்த ஏற்புத்திறன் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே மதிப்புடையதாக இருக்கும். ஆனால் திசை யொவ்வாப் பண்பியல் படிகங்களில் (Anisotropic crystal) காந்த ஏற்புத்திறன்கள் படிகத்தின் மூன்று காந்த அச்சுத் திசைகளிலும் வெவ்வேறு மதிப்புடையதாக இருக்கும்

காந்த ஏற்புத்திறனுக்கும் காந்த உட்புகுதிறனுக்குமுள்ள தொடர்பினைக் கீழ்க்கண்டவாறு இணைக்கலாம். முன் பகுதியில் (1.11.) $B = H + 4\pi I$ என்றும் $B = \mu H$ என்றும் இரு சமன்பாடுகளைக் கண்டோம். எனவே,

$$B = \mu H = H + 4\pi I$$

அல்லது,

$$\mu = 1 + 4\pi \frac{I}{H}$$

ஆனால்,

$$\frac{I}{H} = K$$

எனவே,

$$\mu = 1 + 4\pi K \text{ என்றாகும்.} \qquad (1.9.)$$

அல்லது,

$$K = \frac{\mu - 1}{4\pi} \text{ என்றாகும்.}$$

K, காந்தச்செறிவு I மற்றும் காந்தப்புலம் H இவற்றின் தகவு ஆதலால், I, H இவை ஒரே அலகால் அளக்கப்படும்பொழுது K-ன் மதிப்பு வெறும் எண்ணால் மட்டுமே குறிக்கப்பட வேண்டுமென்றாகின்றது. எனினும், வழக்கில் காந்த ஏற்புத்திறன் செ.மீ-கி.செ. அலகில் (C.G.S. unit) குறிப்பிடப்படுகின்றது. ஒரு பொருளின் பரும காந்த ஏற்புத்திறன் K ஆனால், பொருளின் அடர்த்தி 'P' ஆனால், ஒரு க.செ.மீ பொருள் அல்லது P கிராம் பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறன் K ஆகும். எனவே, ஒரு கிராம் பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறன் K/P என்றாகும். இது நிறை காந்த ஏற்புத்திறன் (Mass susceptibility) அல்லது நிறையலகு காந்த ஏற்புத்திறன் (Specific susceptibility) என்று கூறப்படும். இது χ என்ற எழுத்தின் மூலம் குறிக்கப்படும்; அல்லது $\chi = K/P$ என்றாகும்.

ஒரு கிராம் அணுவின் (gram atom) காந்த ஏற்புத்திறன் அணுக்காந்த ஏற்புத்திறன் (atomic susceptibility) என்றும், ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் (gram molecule) காந்த ஏற்புத்திறன் மூலக்கூறு காந்த ஏற்புத்திறன் (Molecular susceptibility or Molar susceptibility) என்றும் கூறப்படும். இது முறையே χ_A, χ_M என்ற எழுத்துகளால் குறிக்கப்படும்.

இதில்,

$$\chi_A = \chi_x \text{ அணு எடை} \qquad (1.10.)$$

$$\chi_M = \chi_x \text{ மூலக்கூறு எடை} \qquad (1.11.)$$

உதாரணமாக, பாதரசத்தின் பருமக் காந்த ஏற்புத்திறன் $K = -2{\cdot}285 \times 10^{-6}$; அடர்த்தி 13·6 கிராம்/க.செ.மீ; அதன் அணு எடை $= 200{\cdot}b$ ஆகும். எனவே, நிறையலகு காந்த ஏற்புத் திறன் $\chi = K/P = \frac{-2{\cdot}285 \times 10^{-6}}{13{\cdot}^{6}}$

$= -0{\cdot}168 \times 10^{-6}$ செ.மீ-கி-செ அலகுகள்.

அணுக்காந்த ஏற்புத்திறன் $= -0{\cdot}168 \times 10^{-6} \times 200{\cdot}6$

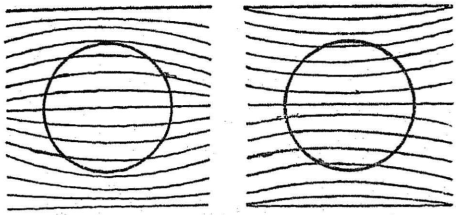
$= 33{\cdot}7 \times 10^{-6}$ செ-கி-செ அலகுகள்

1.13. டையா, பாரா, ஃபெரோக் காந்தவியல்கள் (Dia, Para and Ferro magnetisms)

பொருள்கள் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும்பொழுது, அப் பொருள்கள் காந்தப்புலத்தில் ஏற்கும் தன்மைக்கு ஏற்பப் பொருள்களை டையாக் காந்தம் (Dia-magnetic), பாராக் காந்தம் (Para-magnetic), ஃபெரோக் காந்தம் (Ferro-magnetic) என்று மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

ஒரு பொருளைக் காந்தப்புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அந்தக் காந்தப்புலம் அப் பொருளில் தூண்டும் காந்தச்செறிவு, அதே காந்தப்புலம் வெற்றிடத்தில் தூண்டும் காந்தச்செறிவைவிடக் குறைவாக இருப்பின், அப் பொருள் டையாக் காந்தமெனப்படும். டையாக் காந்தப் பொருள் காந்தப்புலத்திலிருக்கும்பொழுது பொருளின் ஊடே செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகள் பொருளுக்கு வெளியில் செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகளைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இத்தகைய பொருள்களுக்கும் காந்தப்புலத்திற்கு மிடையில் ஓர் எதிர்த்துத் தள்ளும் விசை செயல்படும். எனவே, இத்தகைய பொருள்களின் காந்த ஏற்புத்திறன் எதிர்க் குறியால் (—)குறிக்கப்பெறும். ஒரு சீரிலாக் காந்தப்புலத்தில் (non-uniform magnetic field) இத்தகைய பொருள்கள் காந்தப்புலத்தின் குறைந்த செறிவுடைய பகுதிக்குத் தள்ளப்படும். டையாக் காந்தத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன் வெப்பநிலை மாறுபாட்டாலும், காந்தப்புலச் செறிவு மாறுபாட்டாலும் மாறுபடாது.

ஒரு பொருளைக் காந்தப்புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அந்தக் காந்தப்புலம் அப் பொருளின்மீது தூண்டும் காந்தச்செறிவு, அதே



டையா காந்தம் பாரா காந்தம்

படம் *1.2.*

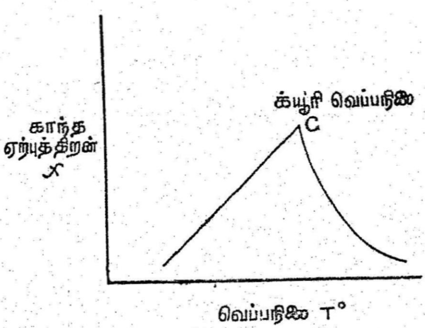
காந்தப்புலம் வெற்றிடத்தில் தூண்டும் காந்தச்செறிவைவிடக் கூடுதலாக இருப்பின் அப் பொருள் பாராக் காந்தமெனப்படும். பாராக் காந்தப் பொருள்கள் காந்தப்புலத்திலிருக்கும்பொழுது பொருளின் ஊடே செல்லும் காந்தவிசைக் கோடுகள் பொருளுக்கு வெளியில் செல்லும் காந்த விசைக்கோடுகளைவிடக் கூடுதலாக இருக்கும். இத்தகைய பொருள்களுக்கும் காந்தப்புலத்திற்கு மிடையில் இழுப்புவிசை செயல்படும். எனவே, பாராக் காந்த ஏற்புத்திறன் நேர்க்குறி (+) மூலம் குறிக்கப்படும். ஒரு சீரிலாக் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் பாராக் காந்தப் பொருள்கள் காந்தப்புலத்தின் செறிவு நிறைந்த பகுதிக்குத் தள்ளப்படும். எல்லாப் பாராக் காந்தப் பொருள்களும் அதன் அடிப்படையில் டையாக் காந்தத் தன்மை உடையதாக இருக்கும். இத்தகைய டையாக் காந்தத் தன்மை எல்லாப் பொருள்களுக்குமுண்டு. எனினும், பாராக் காந்தப் பொருள்களில் பாராக் காந்தத் தன்மையின் அளவு டையாக் காந்தத் தன்மையின் அளவைவிடப் பல மடங்கு கூடுதலாக இருப்பதால் இத்தகைய பொருள்களின் டையாக் காந்தத் தன்மை மறைக்கப்படுகின்றது. இதனைப் பின்னர் விரிவாகக் காண்போம். பாராக் காந்தப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத்திறன், செயல்படும் காந்தப்புல மாறுபாட்டால் மாறு படாது. ஆனால், காந்த ஏற்புத்திறன் பொருள்களின் வெப்ப நிலைக்கு எதிர்வீதத்தில் வேறுபடும்.

ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களுக்கும் காந்தப் புலத்திற்கு மிடையில் ஈர்ப்பு விசை ஏற்படும். ஆனால், இத்தகைய ஈர்ப்பு விசை பாராக் காந்தப் பொருளில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு விசையைவிடப் பலப்பல மடங்கு அதிகமானதாக இருக்கும். இத்தகைய பொருள்கள் மிகக் குறைந்த செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில்கூட

மிக அதிகக் காந்தத் தன்மையை அடைகிறது. ஃபெரோக் காந்தப் பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறன் பொருளின்மேல் செயல்படும் காந்தப்புலத்திற்கு ஏற்ப மாறும். மேலும், செயல்படும் காந்தப் புலம் நீக்கப்பட்ட பின்பும் பொருள்கள் காந்தத் தன்மையுடையதாக இருக்கும். இத்தகைய பொருள்கள் தன்னுள் வட, தென் முனைகளைத் தோற்றுவித்துக் கொள்ளும். ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்கள் சூடாக்கப்படும்பொழுது கொஞ்சம் கொஞ்சமாகத் தம்முடைய காந்தத் தன்மையை இழக்கின்றன. ஃப்ரோக் காந்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு (critical temperature) மேல் தன்னுடைய தனிப்பண்புகளை இழந்து பாராக் காந்தப் பொருளாகச் செயல்படுகின்றது. இந்த மாறுநிலை வெப்ப நிலைக்கு க்யூரி வெப்பநிலை (Curie temperature) என்று பெயர்.

1.14. ஆன்டி ஃபெரோக் காந்தவியல் (Antiferro magnetism)

டைட்டானிய செஸ்க்யூ ஆக்சைடு (titanium sesquioxide) போன்ற சில பொருள்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை வரை தூண்டப்பட்ட காந்தத் தன்மை வெப்பநிலை உயரும்பொழுது



படம் 1.3. ஆன்டி ஃபெரோக் காந்தப் புள்ளி

அதிகரிக்கின்றது. இதற்குப் பின் அந்தப் பொருள் ஒரு பாராக் காந்தப் பொருளைப் போல இயங்குகின்றது. இந்தக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு ஆன்டி ஃபெரோ க்யூரி வெப்பநிலை (Antiferro magnetic curie temperature) என்று பெயர். பொருள்களின் இந்தப் பண்பு ஆன்டி ஃபெரோக் காந்தவியலெனப்படும்.

அட்டவணை 1.1.

1.15. டையா-பாரா-ஃபெரோக் காந்தங்களின் வேற்றுமைகள்

	டையாக் காந்தம்	பாராக் காந்தம்	ஃபெரோக் காந்தம்
வெளிக் காந்தப் புலத்தால் பொருளின் மீது ஏற்படும் விளைவு	மிகக் குறைந்த தள்ளு விசை $I < H$	குறைந்த இழுப்பு விசை $I > H$	மிக அதிகமான இழுப்பு விசை $I >> H$
உதாரணங்கள்	வெள்ளி, பாதரசம். ஆல்கஹால், ஹைட்ரஜன் பொதுவாக எல்லாப் பொருள்களிலும் காணப்படுவது	பிளாட்டினம், ஆக்ஸிஜன் NO_2	இரும்பு, கோபால்ட், நிக்கல் மற்றும் சில வகையான உலோகக் கலவைகள் (alloy).
தோன்றுவதற்கான காரணம்	எலக்ட்ரான்கள் சுற்றுப் பாதைகளில் சுற்றுவதால்	சோடியில்லாத எலக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சியின் திருப்புதிறனல்	டொமைன்களால் (domains)
காந்த ஏற்புத் திறனின் அளவு X, 20°C வெப்பநிலையில்	− எதிர்க் குறி காந்த ஏற்புத்திறன் குறைவானதாக இருக்கும் தோராயமாக -1×10^{-6}	+ நேர்க் குறி காந்த ஏற்புத்திறன் குறைவானதாக இருக்கும் தோராயமாக 100×10^{-6}	+ நேர்க் குறி காந்த ஏற்புத்திறன் மிக அதிகமானதாக இருக்கும் தோராயமாக 1×10^{2}.
வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் காந்த ஏற்புத்திறனில் ஏற்படும் மாறுதல்கள்	காந்த ஏற்புத்திறன் மாறுபடாது	$X \propto \frac{1}{T}$ (க்யூரி விதி) அல்லது $X \propto \frac{1}{(T+\theta)}$ (க்யூரி-வெயிஸ் விதி)	காந்த ஏற்புத்திறன் சிக்கலான முறையில் வெப்பநிலை மாறுபாட்டோடு இணைந்தது.
காந்தப் புல மாறுபாட்டால் காந்த ஏற்புத்திறனில் ஏற்படும் மாறுதல்கள்	காந்த ஏற்புத்திறன் மாறுபடாது	காந்த ஏற்புத்திறன் மாறுபடாது	காந்த ஏற்புத்திறன் எவ்வாறு வேறுபடுகின்றது என்பதைத் தயக்கக் கண்ணி விளக்குகின்றது.

1.16. காந்த அழுத்தம் (Magnetic Potential)

காந்தப்புலத்தை எளிதான முறையில் காந்த அழுத்த அடிப்படையில் விளக்கலாம். காந்த அழுத்தமென்பது காந்தப்புலத்துடன் இணைந்த ஓர் இயற்பியல் அளவீடாகும்.

'm' அலகு, வலிமையுடைய ஒரு காந்தமுனைக் காற்று ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த முனையைச் சுற்றிக் காந்தப்புலம் ஏற்படும். இப் புலத்தின் வலிமை முனையிலிருந்து விலகிச் செல்லச்செல்லக் குறைந்து முடிவிலாத் தொலைவில் சுழியாகும். இப்பொழுது முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து காந்தப்புலத்தின் ஒரு புள்ளிக்கு ஓரலகு வடதுருவத்தை எடுத்து வரக் காந்த விலக்கு விசைக்கு எதிராகச் செயல்படவேண்டும். இவ்வாறு ஓரலகு வடமுனையை எண்ணிலாத் தொலைவிலிருந்து அப் புள்ளிக்கு எடுத்துவரச் செய்யப்படும் வேலை அப் புள்ளியின் காந்த அழுத்தமெனப்படும்.

2. காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும் முறைகளும் அளவிடும் முறைகளும்

2.1. தொடக்கவுரை

சீரியல்புடைய காந்தப்புலத்தை ஒரு வரிச்சுருள் (solenoid) மூலம் தோற்றுவிக்கலாம். ஆனுல், 1000 ஓர்ஸ்டெட் செறிவுக்கு மேற்பட்ட காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்கு வரிச்சுருள் முறை பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை. காம்பல், கூல்டன் (1) இருவரும் தங்களுடைய சீமன் விளைவுச் (Zeeman effect) சோதனையில் வரிச்சுருள் முறையில் காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவித்தார்கள். இந்த வரிச்சுருளின் நீளம் 80 செ.மீ. இதில் நூலினுல் காப்புச் செய்யப்பட்ட செப்புக்கம்பி 18 அடுக்குகள் சுற்றப்பட்டிருந்தன. அடுத்தடுத்த இரு அடுக்குகளுக்கிடையில் தக்க பாதுகாப்புடன் தண்ணீர் அல்லது எண்ணெயைப் பாயச் செய்வதன்மூலம், ஏற்படும் வெப்பம் குறைக்கப்பட்டது. இந்த வரிச்சுருளின் வழியாக 270 வோல்ட் மின்அழுத்தத்தில் 200 ஆம்பியர்கள் மின்ஓட்டம் ஏற்படுத்துவதன்மூலம் வரிச்சுருளின் அச்சில் 7300 ஓர்ஸ்டெட் சீரியல்புள்ளகாந்தப்புலம் தோற்றுவிக்கப்பட்டது.

ஆயிரம் ஓர்ஸ்டெட் செறிவுக்கும் மேலுள்ள காந்தப்புலம் ஏற்படுத்துவதற்குப் பொதுவாக ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்கள் நிலைக்காந்தமாகவோ (permanent magnet) அல்லது மின்காந்தமாகவோ (electro magnet) பயன்படுத்தப்படும். இத்தகைய காந்த அமைப்பு முறைகளைக் காண்பதற்குமுன் முதலில் இந்தக் காந்தப் பொருள்களின் தனிக் காந்தப் பண்புகளை அறிந்து கொள்ளவேண்டும்.

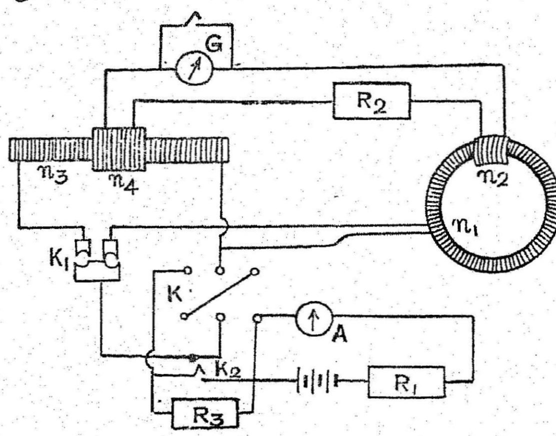
2.2. காந்தத் தயக்கக் கண்ணி (Magnetic Hysterisis loop)

சென்ற அத்தியாயத்தில் (1.11) ஒரு பொருளில் ஏற்படும் காந்தத் தூண்டலின் அளவிற்கும் அதனைத் தூண்டும் காந்தப் புலத்திற்குமுள்ள தொடர்பினை [சமன்பாடு எண் 1.6.]

$B = H + 4\pi I$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்று கண்டோம்.

பொருளில் காந்தத்தைத் தூண்டும் காந்தப்புலத்தைச் சீராக அதிகரிக்கச்செய்து அவ்வப்பொழுது பொருளில் ஏற்படும் காந்தத் தூண்டலின் அளவைக் கணக்கிட்டு அவற்றின் அளவுகளை ஒரு வரைபடத்தின் மூலம் குறிக்கலாம். இவ்வாறு கிடைக்கும் வரை படத்திற்கு $B - H$ கண்ணி அல்லது தயக்கக்கண்ணி (Hysterisis loop) என்று பெயர்.

வளைய வடிவாலான ஃபெரோக் காந்தப் பொருளின்மேல் செப்புக் கம்பி நெருக்கமாக ஒரு செ.மீட்டருக்கு n_1 சுற்றுகள் வீதம் சுற்றப்படவேண்டும் (படம் 2 1.) இதற்குக் காந்தமாக்கும் சுருள் என்று பெயர். இந்தச் சுருளை ஒரு மின்கலத் தொடர், மின் தடை மாற்றி, மின்னோட்டத் திசைமாற்றி (Commutator), அம் மீட்டர் (Ammeter) இவற்றுடன் தொடர்சுற்றில் இணைக்க வேண்டும். இந்தச் சுற்றின்மேல் குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள (n_2) சுற்றுகளைத் துணைச் சுற்ருகச் (secondary circuit) சுற்ற வேண்டும். இந்தக் கம்பிச் சுற்றினை ஓர் அலைவுகாட்டும் கல்வனோ மீட்டருடன் (Ballastic galvanometer) தொடர்முறையில் இணைக்க வேண்டும். இந்தத் தொடரில் ஒரு செ. மீட்டருக்கு n_3 சுற்றுகள் கொண்ட ஒரு நேர் வரிச் சுருளின்மேல் சுற்றப்பட்டுள்ள (n_4) சுற்றுகள் உள்ள துணைச்சுற்றையும் இணைக்கவேண்டும். நேர் வரிச் சுருளின் முதன்மைச் சுற்று (primary coil) மின்கல அடுக்குத் தொடர், மின்தடை மாற்றி, திசைமாற்றி இவற்றுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது.



படம் 2.1.

வளையச் சுருளின் வழி i_1 ஆம்பியர் மின்னேட்டம் ஏற்படுத்தினால் ஏற்படும் காந்தப்புலம்

$$H = \frac{4\pi n_1 i_1}{10} \text{ ஆகும்.} \qquad (2.1)$$

வளையத்தின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு 'a' ஆனால் n_2 துணைக் கம்பிச் சுருள்வழி தூண்டப்படும் காந்தப் பாயம் (magnetic flux)

$$N_1 = Bn_2a \text{ ஆகும்.} \qquad (2.2)$$

இதில் 'B' காந்தத்தூண்டல் அல்லது தூண்டப்படும் காந்தப் பாய அடர்த்தி (magnetic flux density) ஆகும். இந்தத் துணைச் சுற்று இணைப்பின் மொத்த மின்தடை 'R' எனக் கொண்டால் ஏற்படும் மின்னூட்டம்

$$q = \frac{Bn_2a}{R} \text{ ஆகும்.} \qquad (2.3)$$

இந்த மின்னூட்டம் அலைவுகாட்டி கல்வனோமீட்டரில் θ_1 வீசல் (throw) ஏற்படுத்தினால்,

$$q = \frac{Bn_2a}{R} = K\theta_1 \qquad (2.4)$$

என்றாகும். இதில் K கல்வனோமீட்டரின் மாறிலி. கல்வனோமீட்டரின் மாறிலி (K)ஐக் கணக்கிடுவதற்கு நேர்வரிச் சுருள் பயன்படுத்தப்படும். நேர்வரிச் சுருள் வழியாக i_2 ஆம்பியர் மின்னேட்டம் ஏற்படுத்தினால் வரிச் சுருளினுள் தூண்டப்படும் காந்தப்புலம் $\frac{4\pi n_3 i_2}{10}$ ஆகும். இதனால், அதன் துணைச் சுருள் (n_4)

சுற்றில் ஏற்படும் காந்தப் பாயம்

$$N_2 = \frac{4\pi n_3 i_2}{10} \times n_4 \times A \qquad (2.5)$$

இதில் A வரிச் சுருளின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு. இந்தக் காந்தப் பாயம் துணைச்சுற்றில் தோற்றுவிக்கும் மின்னூட்டத்தால் கல்வனோமீட்டரில் θ_2 வீசல் ஏற்பட்டால், இதனை

$$\frac{4\pi n_3 i_2 n_4 A}{10R} = K\theta_2 \qquad (2.6)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதிலிருந்து K-ன் மதிப்பை

$$K = \frac{4\pi n_3 n_4 A i_2}{10R\theta_2} \qquad (2.7)$$

என்று காணலாம். K-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 2.4-ல் பொருத்தினல்,

$$\frac{Bn_2a}{R} = \frac{4\pi n_3n_4\ A\ i_2}{10R\ \theta_2}\ \theta_1 \text{ ஆகும்.}$$

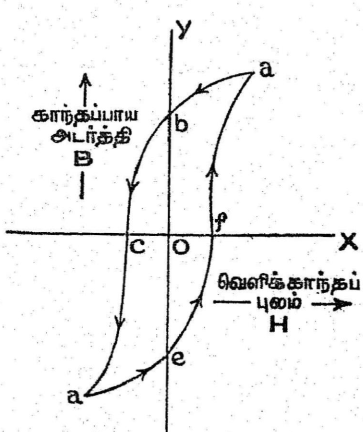
அல்லது,

$$B = \left[\frac{4\pi n_3 n_4\ A}{10\ a\ n_2\ \theta_2}\right]\ \theta_1 \qquad (2.8)$$

இந்தக் காந்தப் பாய அடர்த்தியைத் தூண்டும் காந்தப் புலத்தின் மதிப்பு

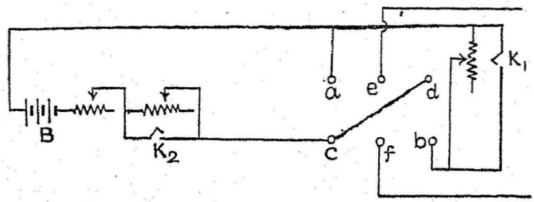
$$H = \frac{4\pi n_1\ i_1}{10} \qquad (2.1)$$

இந்த முறையில் முதன்மை வளையச் சுற்றின் வழிச் செல்லும் மின்னேட்டத்தை மாற்றித் தூண்டும் காந்தப் புலத்தை மாற்றலாம். ஒவ்வொரு காந்தப்புலத்திற்கும் ஏற்ப அதனுல் ஏற்படும் காந்தப்பாய அடர்த்தி மாறுபடும். எனவே, காந்தமாக்கும் காந்தப் புலத்தையும் (H) அதனுலேற்படும் காந்தப்பாய அடர்த்தியையும் (B) முறையே சமன்பாடுகள் 2.1 மற்றும் 2·8 மூலம் கணக்கிடலாம். H-ன் மதிப்பையும் அதற்கான B-ன் மதிப்பையும் கணக்கிட்டு ஒரு வரைபடத்தில் முறையே X அச்சிலும், Y அச்சிலும் ஒரு முழுக் காந்தச் சுற்றுக்குக் குறித்தால் கிடைக்கும் படம் (படம் 2.2) $B - H$ வரைபடம் அல்லது காந்தத் தயக்கக்கண்ணி ஆகும்.

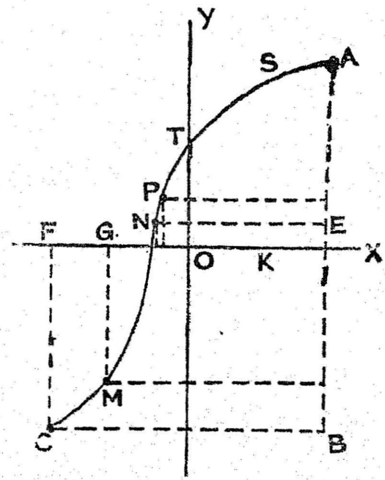


படம் 2.2. B. H. வரைபடம்

காந்தமாகுதலின் முழுச் சுற்றையும் காணும் முறையினைக் கீழே காண்போம்.



படம் 2.3.



படம் 2.4.

இதற்குப் படம் 2.3-ல் கண்ட திசைமாற்றியிலுள்ள ab, cd என்ற இரு குறுக்குக் கடத்திகளுள் ஒன்றினை ab-ஐ நீக்கி அந்த முனைகளை ஒரு மின் தடை மாற்றியின் மூலம் இணைக்க வேண்டும். படம் 2.3. இந்த மின் தடை மாற்றிக்கு இணையாகக் குறுக்குத் தொடர்பு கொள்ளும் விதத்தில் K_1 என்ற ஒரு தட்டுச் சாவியை இணைக்க வேண்டும்.

தொடக்கத்தில் தட்டுச் சாவியை மூடிவிட்டுத் திசை மாற்றியின் e, d மற்றும் f, b இவற்றை இணைக்கும் தள்ளு கம்பியை a, c-க்கு மாற்றவேண்டும். இப்பொழுது மின்சுற்றில் மின்னோட்டத்தில் திசை திருப்பம் ஏற்படுத்தும். எனவே, காந்த மாக்கும் புலம் OE-லிருந்து OF-க்குத் திருப்பப்படுகின்றது.

(படம் 2.4.) இந்தத் திருப்பம் கல்வனே மீட்டரில் ஒரு வீசலைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த வீசல், ஏற்படும் காந்தப் பாயத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும். இந்த வீசலை A-லிருந்து கீழ்நோக்கிக் கணக்கிட்டு F-க்கு நேராகக் குறிக்கவேண்டும். இது புள்ளி c. இப்பொழுது மின்தட்டுச் சாவியைத் திறந்து மின்தடையை மாற்றியமைத்து மின்னேட்டத்தின் அளவைக் குறைத்துக் காந்தப்புலம் G-ல் குறிக்கப்படும்படி வைத்துக்கொள்வோம். இப்பொழுது தள்ளு கம்பியை d, b-லிருக்குமாறு வைத்துக்கொண்டு a, c-க்குத் தள்ள வேண்டும். அதாவது காந்தமாக்கும்புலம் E-லிருந்து G-க்குத் திருப்பப்படுகின்றது. இப்பொழுது வீசலை A-லிருந்து கீழாக G-க்கு நேர் கீழே (M என்ற புள்ளி) குறிக்க வேண்டும். இவ்வாறே, தள்ளு கம்பி a, c-லிருக்கும்பொழுது மின்னேட்டத்தின் அளவினைக் கொஞ்ச கொஞ்சமாகக் குறைத்து N, O, P போன்ற புள்ளிகளைப் பெறலாம். தள்ளு கம்பியை d, b-ல் இருக்குமாறு செய்து முதன்மைச் சுற்றிலுள்ள தட்டுச் சாவியைத் திறந்து மின்னேட்டத்தை நிறுத்தினுல் காந்தப்புலம் E-லிருந்து D-க்குக் குறைக்கப்படும். இப்பொழுது கிடைக்கும் வீசலை A-க்குக் கீழே O-க்கு நேராகக் குறித்தால் T என்ற புள்ளி கிடைக்கும். இதன் பின் தள்ளு கம்பியை நிலையாக b, d-ல் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். முதன்மைச் சுற்றில் இரு மின்தடை மாற்றிகளுள் ஒன்றில் குறுக்குத் தொடர்பு கொண்டுள்ள தட்டுச் சாவினைத் $[K_2]$ திறந்து மின்னேட்டத்தைக் குறைத்துக் காந்தப்புலம் K-க்கு ஏற்ப வைத்துக்கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது இந்தத் தட்டுச் சாவியை $[K_2]$ மூடினுல் ஏற்படும் மின்னேட்டம் காந்தப்புலம் E-ஐக் குறிக்கும். இப்பொழுது K_2-ஐத் திறந்தால் ஏற்படுகின்ற வீசலை A-க்குக் கீழே K-க்கு நேரே (T) குறிக்க வேண்டும். இதே போல் மற்றப் புள்ளிகளையும் குறித்து இணைத்தால் $ASTPMC$ பகுதி கிடைக்கும். சீரியல்பு முறையில் இதற்கு இணையாக மறு பகுதியை வரைந்து கொள்ளலாம். அல்லது இதே புள்ளிகளை, படத்தைத் தலைகீழாக வைத்துக்கொண்டு வரைந்தால் தயக்கக் கண்ணியின் முழுச்சுற்றும் கிடைக்கும். தயக்கக் கண்ணியின் முழுச்சுற்றும் படம் 2.2-ல் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும்.

படம் 2.2-ல் $abcdea$ பகுதிக்குள் அடங்கியிருக்கும் பரப்பினைக் கொண்டு, ஓர் அலகு பருமனுள்ள பொருளை ஒரு முழுச்சுற்றுக் காந்தமாக்க ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடலாம். சமன்பாடு $B = H + 4\pi I$ ஐப் பகுத்தால்

$$dB = dH + 4\pi dI \qquad (2.9.)$$

இரு பக்கத்தையும் H-ஆல் பெருக்கினுல்

$$HdB = HdH + 4\pi\, HdI$$

ஒரு முழுக் காந்தச் சுற்றுக்குத் தொகுத்தால்,

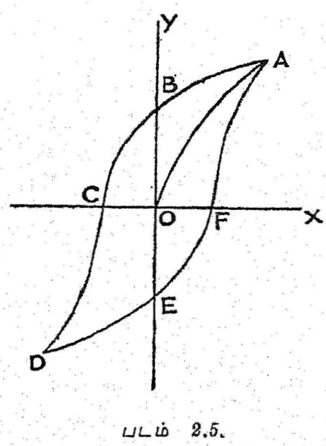
$$\oint HdB = \oint HdH + 4\pi \oint HdI \qquad (2.10.)$$

சமன்பாடு 2.10-ல் $\oint HdH = O$ ஆகும். ஏனெனில், H-க்கும் H-க்குமிடையில் வரையப்படும் வரைபடம் ஒரு நேர்கோடாகும். $\oint HdB$-ன் மதிப்பு B-H வரை படத்தில் கண்ணியின் பரப்பாகும்.

$\oint HdI$ ஓரலகு பருமனுள்ள பொருளை ஒரு முழுச்சுற்றுக் காந்த மேற்றுவதாலேற்படும் ஆற்றலிழப்பாகும். எனவே, B-H கண்ணியின் பரப்பு ஓரலகு பருமனுள்ள பொருள் ஒரு முழுச்சுற்றுக் காந்தமேற்றுவதால் இழக்குமாற்றலைப் போல் 4π மடங்காகும்.

2.3. தயக்கக் கண்ணியின் படவிளக்கம்

காந்தமாக்கும் புலத்தைப் பெருமத்திற்கு அதிகரித்தால் வரை படத்தின் OA பகுதி கிடைக்கின்றது. A-ல் பொருள் தெவிட்டிய



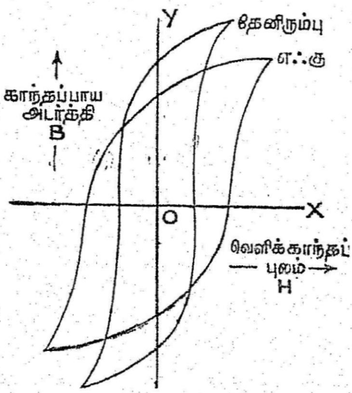
படம் 2.5.

நிலையை அடைகின்றது. H-ஐக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறைத்து O-க்குக் கொண்டுவந்தால் அல்லது காந்தமாக்கும் புலம் சுழியாகும் பொழுது AB பகுதி பெறப்படுகின்றது. B குறையும் வேகம் H குறையும் வேகத்தைவிடக் குறைவு. H அதிகமாகும்பொழுது B அதிகரிக்கும் வேகத்தைவிடக் குறைவு. மேலும், H சுழியானாலும் B சுழியாவதில்லை. ஆனால், OB அளவு காந்தத்தன்மையுடைய

தாக இருக்கின்றது. இது மீதக் காந்தத்தன்மை (Residual Magnetism) அல்லது தேக்குதிறன் (Retentivity) எனப்படும். காந்தப்புலத் திசையைத் திருப்பிப் பெருமத்திற்கு அதிகரித்தால் வரை படத்தின் *BCE* பகுதி பெறப்படும். காந்தப்புலம் *OC* ஆக இருந்தால் மீதக்காந்தம் முழுவதும் நீக்கப்படுகின்றது. *OC* காந்த நீக்குவிசை (Goercive force) அல்லது பொருளின் காந்த நீக்கு திறன் எனப்படும். காந்தமாக்கும் புலத்தைக் குறைத்துச் சுழி யாக்கினல் வரை படத்தின் *DE* பகுதி பெறப்படும் புலத்தைத் திசை திருப்பிப் பெருமத்திற்கு அதிகரித்தால் *EFA* பகுதி கிடைக்கப் பெறும். பொருளின் காந்தப் பாயம் எப்பொழுதும் காந்தப்புலத் திற்குப் பின் தங்குவதால் இது காந்தத் தயக்கம் (Magnetic Hysterisis) என்று வழங்கப்படும்.

2.4. B. H. கண்ணியின் பயன்கள் :

காந்தப் பொருள்களின் *B-H* கண்ணியின் அமைப்பிலிருந்து அப் பொருள்களின் காந்தப் பண்புகளை அறியலாம். படம் 2.6-ல் தேனிரும்பு (Soft Iron), எஃகு (Steel), இவற்றுக்கான *B-H*



படம் 2.6.

கண்ணிகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தப் படத்திலிருந்து கீழ்க்காணும் உண்மைகளைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

1. ஒரு குறிப்பிட்ட காந்தமாக்கும் புலத்திற்குத் தேனிரும்பில் ஏற்படும் காந்தப்பாய அடர்த்தி எஃகில் ஏற்படும் காந்தப்பாய அடர்த்தியைவிட அதிகம்.

2. காந்தமாக்கும் புலனைப் பெருமத்திலிருந்து சுழியாக்கும் பொழுது மீந்த காந்தத்தன்மை எஃகைவிடத் தேனிரும்பில் அதிகம்.

3. எஃகைவிடத் தேனிரும்பிற்குக் காந்தநீக்கு விசை மிகக் குறைவாகத் தேவைப்படும்.

4 தயக்கக் கண்ணியால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு எஃகை விடத் தேனிரும்பில் குறைவு.

மேலே கூறிய முடிவுகளைக்கொண்டு, மின்காந்த, நிலைக்காந்த அமைப்புக்கான காந்தப் பொருள்களைத் தேர்ந்தெடுக்கலாம்.

2.5. மின்காந்தம் Electro magnet) :

மின் காந்தத்தின் உள்ளகத்திற்கு (Core) ஏற்ற காந்தப் பொருள்கள் கீழ்க்கண்ட பண்புகளைக் கொண்டிருக்கவேண்டும்.

1. அதிகக் காந்தப்பாய அடர்த்தி உடையதாக இருக்க வேண்டும்.

2. குறைந்த நீக்குவிசை யுடையதாக இருக்கவேண்டும்.

3. குறைந்த காந்தமாக்கும் புலத்திற்கும் நிறைந்த காந்த ஏற்புத் திறனுடையதாக இருக்கவேண்டும்.

4. ஒரு சுற்றுக்காந்த மாக்கலில் ஏற்படும் தயக்கக் கண்ணியினால் குறைந்த ஆற்றலிழப்புடையதாக இருக்கவேண்டும்.

மேலே கூறிய பண்புகளனைத்தும் எஃகைவிடத் தேனிரும்பு பெற்றிருப்பதால் மின் காந்தத்திற்குத் தேனிரும்பு சிறந்ததாகக் கொள்ளப்படும்.

2.6. காந்தக் கலவை உலோகங்கள் (Magnetic alloys);

தனி இரும்பு மின் காந்த அமைப்பிற்கு ஏற்றதென்று நீண்ட காலமாக அறிந்திருந்தாலும் இரும்புடன் 50 சதவீதம் கடைக் கோபால்ட் (Commercial Cobalt) சேர்ந்த கலவை உலோகம் (Alloy) சிறந்தது என்பதனை வீஸ் (Weiss) என்பவர் விளக்கினார். இரும்பில் 20,000 காந்தப்பாய அடர்த்தி ஏற்பட்டால், இந்தக் கலவை உலோகத்தில் 23,000 காந்தப் பாய அடர்த்தி ஏற்படும் என்று காண்பித்தார். ஆனால் இந்த உலோகம் எளிதில் முறியக் கூடியதாக இருந்ததால் இதனைப் பயன்படுத்துவது சற்றுக் கடினமாக இருந்தது. இதனுடன் 2 சதவீதம் வெனடியம் (Vanadium) சேர்ப்பதன்மூலம் பயன்படுத்துவது எளிதாயிற்று. இந்தப் புதிய சேர்க்கையால் மேலும் காந்தப் பண்புகளில் எந்த மாற்றமுமில்லாமல், அந்த உலோகத்தின் மின்தடை மூன்று மடங்கு அதிகமாயிற்று. 38 சதம் கோபால்டும் 62 சதம் இரும்பும் சேர்ந்த

D. C I. கூட்டு உலோகம் காந்தமுனைப் பகுதிகளுக்கு மிகவும் சிறந்தது. 24,000 காந்தப்பாய அடர்த்தியைத் தரும்.

2.7. நிலைக்காந்தம் (Permanent Magnet) :

நிலைக்காந்த அமைப்பிற்கான பொருள்கள் கீழ்க்காணும் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கவேண்டும்.

1. அதிகமான மிச்சக் காந்தம்.

2. அதிகக் காந்த விசை.

3. இயந்திர அதிர்ச்சி, வெப்பநிலை மாறுபாடு, காந்தப் புல மாறுபாடு இவற்றால் மாறுபடாத தன்மை.

நிலைக்காந்த அமைப்பு காந்தச் சுற்றால் ஏற்படும் ஆற்ற லிழப்பால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. மேலே குறிப்பிட்ட தேவைகள் தேனிரும்பைவிட எஃகில் அதிகமாகக் கிடைப்பதால் நிலைக்காந்த அமைப்பிற்கு எஃகே பயன்படுத்தப்படும்.

பொதுவாக, எல்லா நிலைக்காந்தத்தில் பயன்படும் எஃகும் மற்றப் பொருள்கள் சேர்க்கப்பட்ட கார்பன் எஃகாகும். 6 முதல் 8 சதவீதம் டங்ஸ்டனும் (Tungsten), 0.7 முதல் 0.9 சதவீதம் கார்பனும் (Carbon), மீதிப் பகுதி இரும்புங்கொண்ட டங்ஸ்டன் எஃகு, இரும்பின் நீள அகல வீதம் 15 ஆக இருக்கையில், காந்த நீக்கு விசை 60 முதல் 80 ஓர்ஸ்டட் ஆகும். ஹொண்டா கண்டு பிடித்த காந்த எஃகு 0.7 முதல் 1 சதம் கார்பனும், 6 முதல் 8 சதம் டங்ஸ்டனும், 1 முதல் 4 சதம் குரோமியமும் (Chromium), 15 முதல் 36 சதம் கோபால்டும் மீதி இரும்பும் கொண்டது. இதன் காந்த நீக்கு விசை 200 முதல் 250 ஓர்ஸ்டெட்கள் ஆகும். குறைந்த நீள அகல வீதத்தில் இது முன் கூறிய டங்ஸ்டன் எஃகைவிட $2\frac{1}{2}$ மடங்கு காந்தப்பாய அடர்த்தியுடையது.

கோர்ஸ்டர் (Korster) 1931-ல் கோபால்ட், மாலிபிடினம் (Molybedenum) இரும்பு இவற்றாலான கலவை உலோகத்தை உண்டாக்கினர். மிக அதிகமான நீள அகல வீதங்களுக்கு இந்தக் கலவை உலோகம் 100 முதல் 350 ஓர்ஸ்டெட்கள் காந்த நீக்கு விசையும், 1200 முதல் 6700 காஸ் வரை மிச்சக் காந்தப் பாய அடர்த்தியுமுடையது. அதே சமயத்தில் மிஷிமா (Mishima) என்பவர் 30 சதம் நிக்கலும் (Nickel) 12 சதம் அலுமினியமும் (Aluminium) 20 சதத்திற்கும் குறைவாகக் கோபால்டும் மீதி இரும்புங்கொண்ட *M. K.* இரும்பைக் கண்டுபிடித்தார். இது மிக அதிகமான நீள அகல வீதத்தில் 200 முதல் 700 ஓர்ஸ்டெட்கள் காந்தநீக்கு விசையும் 11,000 முதல் 7500 மிச்சக் காந்தப் பாயமும் உடையது. ஆனல், இதன் பொதுப் பண்புகள் இதனை அதிகப் பயனற்றதாகச் செய்துள்ளது.

ஹொண்டா, மாசுமூடோ, ஷிரிகாரவா (2) இவர்களால் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட *K. S.* காந்தக் கலவை உலோகம் 15 முதல் 36 சதம் கோபால்டும், 10 முதல் 25 சதம் நிக்கலும், 8 முதல் 25 சதம் டிட்டேனியமும் (Titanium), மீதிப் பகுதி இரும்பும் கொண்டது. இதனை 660°*C* வெப்பநிலைக்கு உயர்த்திச் சீராகக் குளிரவைத்து உலோகக் கலவையாக்கும்பொழுது மிக அதிகமான நீள அகல வீதங்களுக்கு 800 முதல் 900 காந்தநீக்கு விசையும், 7500 வரை மிச்சக் காந்தப் பாயச் செறிவுமுடையதாக இருக்கும். இந்த உலோகம் சிறப்பாகக் குட்டையான காந்த அமைப்பிற்கு ஏற்றது. ஜெல்லிங்காஸ் (Jellinghaus) [3] 50 சதம் கோபால்டும், பிளாட்டினமும் கொண்ட கலவை உலோகத்தைக் கண்டுபிடித்தார். இதன் காந்த நீக்கு விசை 2650 ஒர்ஸ்டெட்கள், மிச்சக் காந்தப்பாய அடர்த்தி 4530 காஸ்கள்.

சில முக்கியமான கலவை உலோகங்களின் கலவைப் பொருள்களுக்கான வீதங்களும், கலவை உலோகத்தின் பண்புகளும் [4] கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 2.1.

கலப்பு உலோகங்களும் அவற்றின் காந்தத் தன்மையும் :

கலவைப் பொருள்	கலப்புச் சத வீதம்					*Br* காஸ்கள்	*Hc* ஒர்ஸ்டெட்டுகள்
	Al	*Ni*	*Co*	*Cu*	*Fe*		
அல்நி (Alni)	13	24	—	3.5	59.5	6,200	480
அல்நிகோ (Alnico)	10	18	12	6	54.0	8,000	500
அல்நிகோ V (Alnico V)	8	14	24	3	51.0	12,000	525
அல்நிகோ II (Alnico II)	8	11	24	6	51.0	12,400	570

Br — மிச்சக் காந்தப் பாய அடர்த்தி
Hc — காந்த நீக்கு விசை.

2.8. காந்தச் சுற்று (Magnetic circuit) :

மின் காந்தத்தில் காந்தமாக்கும் புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும் மின்னோட்டத்தினை எவ்வாறு கணக்கிடுவது என்பதனைக் காண்போம். ஒரு கம்பிச் சுருளில் N சுற்றுகள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். C ஆம்பியர் மின்னோட்டம் சுருளின் வழி செலுத்தப் பட்டால் சுருளின் அச்சில் ஏற்படும் காந்தப்புலம் $\frac{4\pi NC}{10}$ ஆகும். இப்பொழுது ஓரலகு காந்தமுனையைப் பாதையைச் சுற்றி எடுத்துச் சென்றால் செய்யப்படும் வேலை $= \frac{4\pi NC}{10}$ எர்க்குகள். காந்தப்புலத்தின் செறிவு H ஆனால் ஓரலகு காந்தமுனையைக் காந்தப் புலத்தில் ஒரு சிறு தொலைவு dl எடுத்துச்செல்லுவதால் செய்யப்படும் வேலை Hdl ஆகும். காந்தப்புல முழுமைக்கும் எடுத்துச் செல்லச் செய்யப் படும் கூடுதல் வேலையினை $\int Hdl$ என்று கூறிக் கொள்ளலாம். இவ்வாறு செய்யப்படும் வேலை அல்லது $\int Hdl$ என்பதைக் காந்த இயக்கு விசை (Magneto motive force) என்று வழங்கப்படும்.

எனவே,

$$\int Hdl = \frac{4\pi NC}{10} \qquad (2.11)$$

காந்த இயக்கு விசை கில்பர்ட்ஸ் (Gilberts) என்ற அலகால் குறிக்கப்படும்.

சமன்பாடு 1.7 -ன்படி $B = \mu H$ ஆகும். அல்லது $H = B/\mu$.

எனவே,

$$Hdl = \frac{B}{\mu} dl$$

$$= \frac{B\,a}{\mu a/dl}$$

$$= \frac{d\phi}{\mu a/dl} \qquad (2.12)$$

இதில் $d\phi$, a அளவு சிறு பரப்பில் ஏற்படும் காந்தப் பாயம். ஏனெனில் B காந்தப்பாய அடர்த்தியாகும். சமன்பாடு 2.12-ஐ

$$d\phi = \frac{H\,dl}{dl/\mu a}$$

$$= \frac{H\,dl}{dz} \qquad (2.13)$$

இதில் $dz = \frac{dl}{\mu a}$ ஆகும். இதனைக் காந்தத்தடை அல்லது காந்தத் தயக்கம் (Magnetic Reluctance) என்று கூறப்படும். இதனை மின் சுற்றிலுண்டாகும் மின் தடையைக் குறிக்கும் $R = Sl/A$ என்ற சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிடலாம். $1/z$ என்பது காந்தக் கடத்து திறன் ஆகும்.

சமன்பாடு 2.13-லிருந்து 'a' பரப்பிலேற்படும் காந்தப் பாயம்

$$d\phi = \frac{Hdl}{dz}$$

சுற்று முழுவதிலும் ஏற்படும் காந்தப் பாயம்

$$\phi = \int d\theta = \frac{\int H\,dl}{\int dz} \qquad \left(2.14\,(a)\right)$$

ஆனல் $\int H\,dl$ என்பது காந்த இயக்கு விசையாகும். எனவே

$$\phi = \frac{\text{காந்த இயக்கு விசை}}{Z} \qquad \left(2.14\,(b)\right)$$

இதனை ஓர் எடுத்துக்காட்டு மூலம் விளக்கலாம்.

R அலகு ஆரமுள்ள ஓர் இரும்பு நங்கூர வளையத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். வளையப் பொருளின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு 'a' எனக் கொள்வோம். இந்த வளையத்தில் 'g' அலகு தடிமனுள்ள ஓர் இடைவெளி வெட்டி எடுத்துக்கொள்வதாகக் கொள்வோம். இதனுடைய காந்தத் தடை

$$Z = \frac{2\pi R - g}{\mu \pi r^2} + \frac{g}{\pi r^2} \qquad (2.15.)$$

என்ருகும். ஏனெனில் காற்றின் காந்த உட்புகுதிறன்/இரும்பின் காந்த உட்புகுதிறன் 'μ' என்று கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இடைவெளிக்கிடையே காந்தப்பாயம் ஏற்படத் தேவையான காந்த இயக்குவிசை

$$= \phi\left[\frac{2\pi R - g}{\mu \pi r^2} + \frac{g}{\pi r^2}\right] \qquad (2.16.)$$

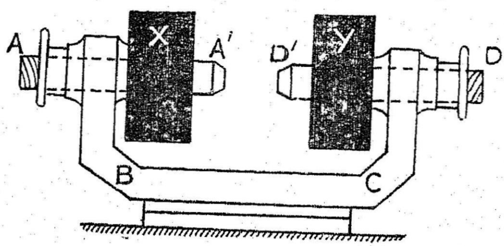
என்ருகும். இதில் இரு கருத்துகள் நினைவில் கொள்ள வேண்டியவையாக இருக்கின்றன.

1. μ-ன் மதிப்பு, காந்த இயக்கு விசையைப் பொறுத்தது.

2. μ-ன் மதிப்புக் கூடுதலாக இருந்தால் $g/\pi r^2$-ன் மதிப்பு $\frac{2\pi R - g}{\mu \pi r^2}$ -ன் மதிப்பைவிட மிக அதிகமானதாக இருக்கும். இதனல் பெரும் பகுதிக் காந்தத் தடை, காற்று வெளிப் பகுதியில் உள்ளது என்பது அறியப்படும்.

2.9. மின்காந்தம் அமைக்குமுறை (Electromagnet Design)

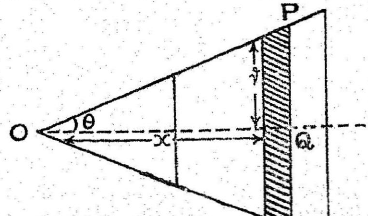
சாதாரண ஆய்வுக் கூடங்களுக்கான மின்காந்தங்களின் அமைப்பு படம் 2.7-ல் காட்டியவாறு இருக்கும்.



படம் 2.7. மின்காந்தத்தின் அமைப்பு

Bc என்ற இணைப்புச் சட்டம் கார்பன் எஃகு இரும்பால் வார்க்கப்பட்டது. முனைப் பகுதிகள், உள்ளகம் (Core) அல்லது *AA'* மற்றும் *DD'* என்ற பக்கப் பகுதிகள் முதலியனவும் தேனிரும் பால் ஆனவை. தனி அமைப்புக் கொண்ட முனைப் பகுதிகள் உள்ளத்துடன் இரும்புக் கம்பிகளால் *A'*,*D'* பகுதிகளில் அணைக்கப் பட்டுள்ளது. முனைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவினை *A*, *D* பகுதிகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ள கைப்பிடியினைத் திருகுவதன் மூலம் மாற்றி அமைத்துக் கொள்ளலாம். முனைப் பகுதிகள் பொதுவாக 120° கோணமுள்ள கூம்பு வடிவில் வெட்டப்பட்டு இருக்கும்.

படம் 2.8-ல் காட்டியவாறு 2θ உச்சிக் கோணமுள்ள ஒரு



படம் 2.8.

கூம்பினைக் கருத்தில் கொள்வோம். மேலும் அது I_0 அளவு சீரான காந்தச் செறிவினையுடையதாகக் கொள்வோம். கூம்பில் v மற்றும் $v + dv$ ஆரங்களையுடைய குறுக்கு வெட்டுப் பகுதிகளுக் கிடையிலுள்ள சாய்வுப் பகுதியிலேற்படும் காந்த வலிமை $M = 2\pi\ vdv\ I_0$ ஆகும்.

இந்தக் காந்த வலிமை O-ல் ஏற்படுத்தும் காந்தப்புலத்தின் செறிவு OP திசையில் $\frac{M}{OP^2}$ ஆகும்.

அச்சுக்கு இணையான திசையில், காந்தப்புலத்தின் செறிவு

$$= \frac{M}{OP^2}\ cos\ \theta$$

$$= \frac{M}{OP^2} \cdot \frac{OQ}{OP}$$

$OQ = x$ என்றும் $PQ = v$ என்றும் கொண்டால் இந்த விசை

$$f = \frac{Mx}{(v^2+x^2)^{3/2}} \text{ ஆகும்.} \qquad (2.18.)$$

f பெருமமாக இருக்க வேண்டுமானல் $\frac{df}{dx}$ O என்ருக வேண்டும்.

எனவே,

$$\frac{df}{dx} = \frac{d}{dx}\left[\frac{Mx}{v^2+x^2)^{3/2}}\right] = O$$

$$= \frac{M}{(v^2+x^2)^{3/2}} - \frac{3\ Mx^2}{(r^2+x^2)^{5/2}} = O$$

அல்லது,

$$v^2 + x^2 = 3x^2$$

அல்லது,

$$2x^2 - v^2 = O$$

அல்லது,

$$x = v/\sqrt{2} \text{ ஆகும்.} \qquad (2.19.)$$

அல்லது,

$$tan\ \theta = \frac{v}{x} = \sqrt{2}$$

அல்லது,

$$\theta = 54^\circ\ 44' \text{ ஆகும்.} \qquad (2.20.)$$

எனவே, காந்தப்புலத்தின் செறிவு பெருமமாக இருக்க வேண்டுமானுல் முனைப் பகுதியின் உச்சிக்கோணம் 54° 44′ என்றிருக்க வேண்டும். ஆனுல், செயல் முறையில் θ-வின் மதிப்புச் சற்று அதிகமாக 60° ஆகத் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றது.

M-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 2.17-லிருந்து சமன்பாடு 2.18-ல் பொருத்திஞல் O என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் காந்தப்புலம்

$$f = 2\pi\ I_0\ sin^2\theta\ cos\theta\ \frac{dr}{r} \qquad (2.21.)$$

என்ருகும். எனவே, வெளிப்புறம் 'a' ஆரமும் அடிப்பக்கம் 'b' ஆரமிருக்குமாறு வெட்டப்பட்ட கூம்பிஞல் O-ல் ஏற்படும் காந்தப்புலம்

$$F = 2\pi\ I_0\ sin^2\theta\ cos\theta \int_a^b \frac{dr}{r}$$

மின்காந்தத்தில் இதேபோல் இரு முனைப் பகுதிகள் இருப்பதை நினைவில் கொண்டால் O-ஏற்படும் காந்தப்புலம் $2F$ என்ருகும். எனவே, O-வில் ஏற்படும் காந்தப்புலம்

$$= 4\pi\ I_0\ sin^2\theta\ cos\theta \int_a^b \frac{dr}{r} \qquad (2.22.)$$

கூம்பின் உச்சிக்கோணம் 60°-ம், $I_0 = 1900$ மதிப்பும் கொண்டு கோபால்ட் ஸ்டீலால் செய்யப்பட்ட முனைப் பகுதிகள், முனைப் பகுதிகளுக்கிடையில் தோற்றுவிக்கும் காந்தப்புலம்

$$= 4\pi\ (1900)\ 3/8\ 2{\cdot}303\ log_{10}\ b/a$$

$$= 2{\cdot}07 \times 10^4\ log\ b/a \text{ என்ருகும்.}$$

θ-வின் மதிப்பு 60°-க்கு மேல் அதிகரித்தால் முனைகளுக்கிடைவெளியில் ஏற்படும் காத்தப்புலச்செறிவு குறைகின்றது. 60°-க்கு மிகவும் குறைவாக இருந்தால் காந்தப்புலம் முனைப் பகுதிகளுக்கருகில் அதிகச் செறிவுடையதாகிக் காந்தமுனைப் பகுதிகள் தெவிட்டுநிலை (Saturation) அடைந்துவிடும்.

இரு முனைப் பகுதிகளுக்கிடையிலுள்ள காந்தப்புலம் சீராக இருக்க வேண்டுவதற்கான நிபந்தனையைச் சமன்பாடு 2.18-லிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு பெறலாம்.

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = O$$

$$f = \frac{Mx}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$\frac{df}{dx} = \frac{M}{(r^2 + x^2)^{3/2}} - \frac{3\ Mx^2}{(r^2 + x^2)^{5/2}}$$

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = \frac{-\ 9\ Mx}{(r^2 + x^2)^{5/2}} + \frac{15\ Mx^3}{(r^2 + x^2)^{7/2}} = O$$

அல்லது,

$$\frac{15\ Mx^3}{(r^2 + x^2)^{7/2}} = \frac{9\ Mx}{(r^2 + x^2)^{5/2}}$$

அல்லது,

$$5x^2 = 3r^2 + 3x^2$$

அல்லது,

$x = \sqrt{3/2}\ r$ என்றாகும். (2.23.)

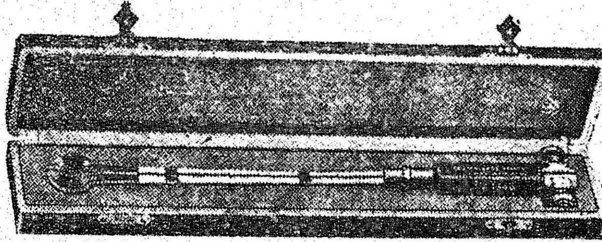
அல்லது,

$tan\theta = \sqrt{3/2}$. அல்லது $\theta = 39^\circ\ 14'$ ஆகும்.

இந்தக் கோணம் கொண்ட, கோபால்ட் ஸ்டீலாலான முனைப் பகுதிகள் இடைவெளியில் ஏற்படுத்தும் காந்தப்புலம்

$= 1{\cdot}17 \times 10^4\ log_{10}\ b/a$ ஆகும். (2.24.)

படம் 2.7-ல் x, y என்ற இரு கம்பிச் சுருளின் வழியாக 220 வோல்ட் மின் அழுத்தத்தில் 10 முதல் 20 ஆம்பியர்கள் பாயச் செய்து காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம். இத்தகைய மின்காந்தம் ஒன்றினைப் படம் 2.9-ல் காணலாம்.

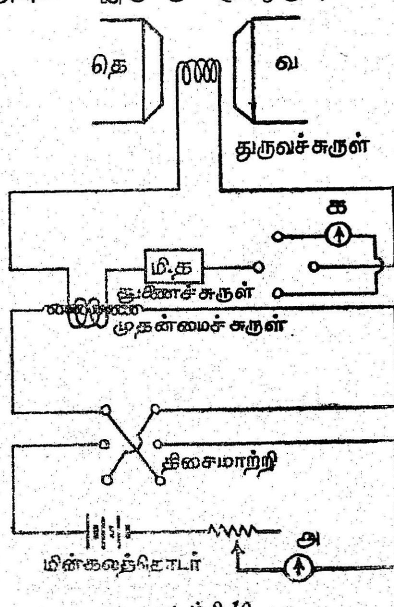


படம் 2.9.

பொதுவாக மின்காந்தங்களில் கம்பிச் சுருள்கள் பருத்தி நூலினால் காப்புச் செய்யப்பட்டிருக்கும். சில மின்காந்தங்களில் இந்தக் கம்பிச் சுருள்களுக்கிடையில் தக்க அமைப்பின் மூலம் எண்ணெய் அல்லது தண்ணீரைச் சுற்றிவரச் செய்வதன்மூலம், மின்னோட்டத்தினால் ஏற்படும் வெப்பத்தைத் தணிக்க வழி செய்யப் பட்டிருக்கும்.

2.10. செறிவுநிறைந்த காந்தப்புலத்தை அளக்கும் முறைகள் : (Measurement of Strong Magnetic fields)

ஆய்வுக் கூடங்களில், மின்காந்த முனைகளுக்கிடையே உள்ள காந்தப்புலத்தை அளவிடுவதற்குப் பொதுவாக ஒரு துருவு சுருளையும் (Search coil) அலைவுகாட்டிக் கால்வனோமீட்டரும் பயன்படுத்தப்படும். இந்த முறையில் ஒரு பரிமாற்று மின் தூண்டல் சுருளின் (Mutual Induction coil) முதன்மைச் சுருளை (Primary coil), ஒரு மின்கலத் தொடர், மின் தடை மாற்றி, திசைமாற்றி இவற்றுடன் தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கவேண்டும். தூண்டல் சுருளின் துணைச் சுருள் (Secondary coil), துருவு சுருள், ஒரு தடைப் பெட்டி (Resistance box) முறையில் இணைக்கவேண்டும். துருவு சுருளை மின்காந்த முனைகளுக்கிடையில், அதன் பரப்பு, காந்தப்புலத் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருக்குமாறு ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்



படம் 2.10.

படவேண்டும். துருவு சுருள் சிறந்த முறையில் காப்புச் செய்யப் பட்ட கம்பியினைக்கொண்டு கடத்தாப் பொருளிலான (Non-conductive) சட்டத்தில் பல சுற்றுகள் சுற்றப்பட்டதாக இருக்கும். இந்தச் சுருளின் பரப்பளவு துல்லியமாகத் தெரிந்திருக்கவேண்டும். துருவு சுருளை மிக விரைவாகக் காந்தப் புலத்திலிருந்து நீக்குவதன் மூலம் காந்தப்புலத்தின் விசைக்கோடுகள் துருவு சுருளை வெட்டச் செய்யலாம்; அல்லது துருவு சுருளினை நிலையாக இருக்கச் செய்து காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிப்பதன்மூல்மும் காந்த விசைக் கோடுகள் துருவு சுருளை வெட்டச்செய்யலாம். இவ்வாறு காந்த விசைக்கோடுகள் துருவு சுருளை வெட்டும்பொழுது ஏற்படும். மின்னூட்டம் கல்வனோமீட்டர் வழிப் பாய்வதால் கல்வனோமீட்டரில் θ_1 அளவு வீசல் ஏற்படும். துருவு சுருளில் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை N ஆகவும், அதன் செயலறு பரப்பு (Effective area) A ஆகவும் இருப்பின்,

$$NAH \propto \theta_1 \text{ ஆகும்.} \qquad (225)$$

இப்பொழுது பரிமாற்றுத் தூண்டல் சுருளின் வழி முதன்மைச் சுருளின் வழியாக ஓர் i ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினால், துணைச்சுற்றில் ஏற்படும் மின்னூட்டத்தால் கல்வனோமீட்டரில் θ_2 வீசல் ஏற்படும். முதன்மைச் சுருளில் 1 செ. மீட்டருக்கு n_1 சுற்றுகளும், துணைச்சுற்றில் n_2 சுற்றுகளுமிருந்தால்

$$\frac{4\pi n_1 n_2\, ia}{10} \propto \theta_2 \qquad (2.26)$$

'a' பரிமாற்றுத் தூண்டல் சுருளின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பாகும்.

சமன்பாடு 2.25-ஐ 2.26-ஆல் வகுத்தால்

$$\frac{10\ NAH}{4\pi n_1 n_2\, ia} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

அல்லது,

$$H = \left[\frac{4\pi n_1 n_2\, a}{10\, NA}\right] \left[\frac{i}{\theta_2}\right] \theta_1 \qquad (2.27)$$

சமன்பாடு 2.27-ன் மூலமாகத் தோற்றுவிக்கப்படும் காந்தப் புலத்தின் செறிவைக் கணக்கிடலாம்.

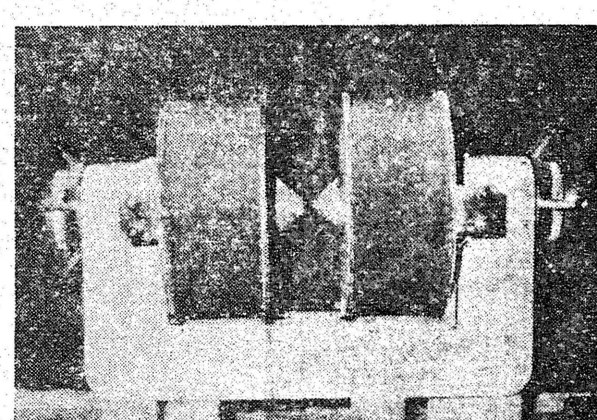
குறிப்பு :—இந்தச் சோதனையில் முக்கியமாகக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டியவை.

(1) துருவு சுருளை, எக்காரணத்தாலும் முதன்மைச் சுற்றில் இணைப்பதோ, அதன் மின்கலத்திலிருந்து மின்னேட்டம் நிகழச் செய்வதோ கூடாது.

(2) துருவு சுருள் வழிக் காந்த விசைக்கோடுகளைப் பாயச் செய்யும்பொழுதும், பரிமாற்றுத் தூண்டல் சுருளின் வழி மின்னேட்டம் ஏற்படுத்தும்பொழுதும், துணைச் சுற்றிலிருக்கும் மின் தடையின் அளவு மாருமலிருக்கவேண்டும்.

2.11. பிஸ்மத் சுருள் முறை (Bismuth Spiral method):

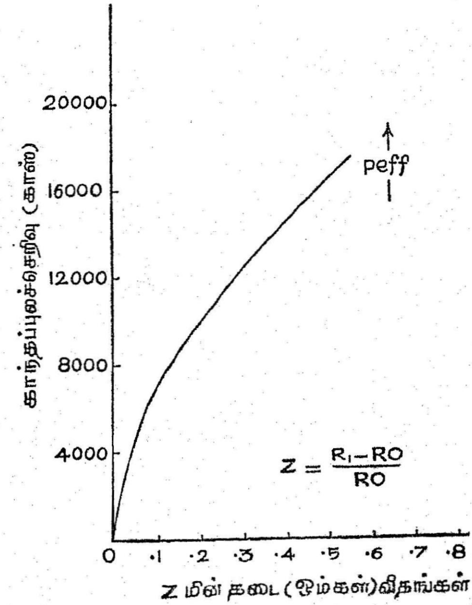
காந்தப்புலத்தை அளவிடுவதற்குத் துருவு சுருளைப் பயன் படுத்த முடியாத நிலையில் பிஸ்மத் சுருளைப் பயன்படுத்திக் காந்தப் புலத்தை அளவிடலாம். ஓர் உலோகத்தைச் செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அதன் மின்தடை அதிகரிக் கின்றது. பிஸ்மத் உலோகத்தில் இந்த அதிகரிப்பு குறிப்பிடக் கூடிய அளவில் இருக்கின்றது. பிஸ்மத் உலோகத்தின் இந்தத் தனித்தன்மையைப் பயன்படுத்திக் காந்தப்புலத்தினை அளக்கும் முறைக்கு பிஸ்மத் சுருள் முறை என்று பெயர். பிஸ்மத் உலோகத் தினைத் தூண்டலற்ற முறையில் (Non-Inductively) ஒரு தட்டைச் சுருளாகச் சுற்றி இரு காப்பான்களுக்கிடையில் (Insulator) பொருத்தப்பட்டு இரு தட்டையான செப்பு இணைப்பானில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். படம் (2.11)



படம் 2.11.

முதலில் காந்தப்புலம் சுழியான இடத்தில் பிஸ்மத் சுருளின் தடையினைக் (Ro) கண்டுபிடித்துக்கொள்ள வேண்டும். பின்னர்த்

தெரிந்த வெவ்வேறு செறிவுடைய (H) காந்தப்புலத்தில் சுருளின் மின்தடையைக் (RH) கண்டுபிடித்து ஓர் அளவீட்டு வரை படம் (Calibration curve) வரைந்துகொள்ள வேண்டும். பின் எந்த



படம் 2.12.

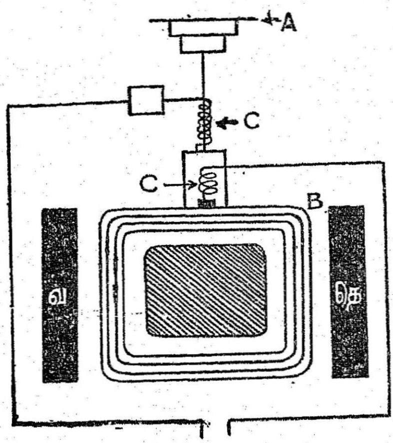
வொரு காந்தப்புலத்தின் செறிவினையும், அப் புலத்தில் சுருளின் மின்தடையைக் கண்டுபிடித்து, அளவீடு வரை படத்திலிருந்து காந்தப்புலத்தின் செறிவை அறியலாம். இதில் சுருளின் பரப்புப் பகுதி காந்தப்புலத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கவேண்டும்.

2.12. பாயமானி (Flux Meter) :

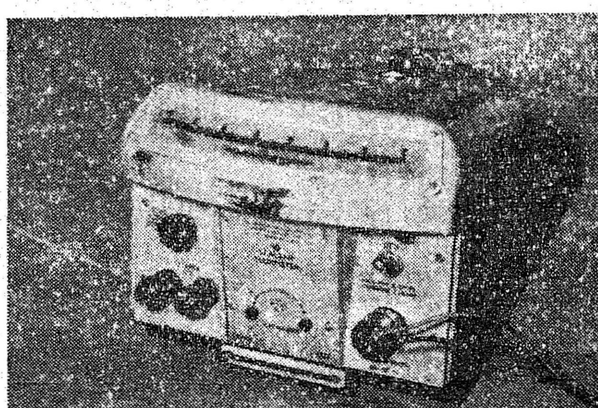
காந்தப்புலச் செறிவினை அளப்பதற்கான மிக முக்கியக் கருவி கிராஸட் பாயமானி (Grassat Flux Meter) ஆகும். இதன் அமைப்பு ஒரு தடையுரு அசைவுச் சுருள் கல்வனோமீட்டரை (Undamped moving coil galvanometer) ஒத்திருக்கும். இதன் அசைவுச்சுருள் முறுக்கில்லாத ஒரு பட்டு நாரினால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இதனால் அசைவுச்சுருள் கட்டுப்பாடின்றி இயங்கும். இதன் அமைப்பு முறை படம் 2.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

D, E என்பன அசைவுச் சுருளின் முனைகளைக் குறிக்கும். அதிர்ச்சியால் ஏற்படும் விளைவினைக் குறைப்பதற்குப் பட்டுநாரின்

மேல் பகுதி A என்ற வில்லில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அசைவுச் சுருள் வெள்ளி மென் தகட்டிலான cc என்ற இரு சுருள் வழியாக DE மூலம் வெளிவருகின்றது. அசைவுச் சுருள் NS என்ற நிலைக் காந்த முனைகளுக்கிடையிலுள்ள காந்தப் புலத்தில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. பாயமானியைக் கொண்டு காந்தப் புலத்தை அளப்பதற்கு இதனுடன் ஒரு துருவு சுருளையும் பயன்படுத்தவேண்டும். துருவு சுருளைப் பாயமானியின் அலைவுச் சுருளில் D, E மூலம் இணைக்க வேண்டும். காந்தப் புலத்தின் காந்த விசைக் கோடுகள் துருவு சுருளினை வெட்டச் செய்தால் பாயமானியின் அலைவு சுருளில் திருப்பம் ஏற்படும். இந்தத் திருப்பம் காந்தப்புலச் செறிவிற்கு நேர் வீதத்திலிருக்கும். இவ்வாறு ஏற்படும் திருப்பத்தைச் சுருளில் ஒட்டப்பட்டுள்ள குவி ஆடியில் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஓர் ஒளிப் புள்ளியை (Spot of light) ஓர் அளவுகோலின் மேல் நகரச் செய்வதன் மூலம் அளக்கலாம். ஆய்வுக் கூடங்களில் பயன்படுத்தப்படும் ஒரு பாயமானிப் படம் 2.14-ல் காட்டப்பட்டு உள்ளது.



படம் 2.13.



படம் 2.14.

2.13. பாயமானியின் கணக்கிடு முறை

துருவு சுருளினல் வெட்டப்படும் காந்தப் பாயம் இணைப்புச் சுற்றில் ஒரு மின் இயக்கு விசையைத் தோற்றுவிக்கும். இதனல் ஒரு மின்ஞேட்டம் ஏற்படும். இந்த மின்ஞேட்டம் நிலைக் காந்தப் புலத்திலுள்ள அலைவுச் சுருளில் செல்வதனல் ஒரு மின்னியக்கு விசை ஏற்படும். இவ்விரு மின் இயக்கு விசைகளின் தொகுபயன் 'e' என்றும், இணைப்புச் சுற்றிலுள்ள மொத்த மின்தடை 'R' என்றும் கொண்டால்

$$\text{ஏற்படும் மின்ஞேட்டம்} = l = e/R$$

அலைவுச் சுருளின் பரப்பு A என்றும், நிலைக்காந்தப்புலம் H என்றும் கொண்டால் அலைவுச் சுருளில் செயல்படும் சுழல் இரட்டை

$$= iAH \text{ ஆகும்.}$$

அலைவுச் சுருளின் நிலையைத் திருப்புதிறன் I என்றும், கோணத் திசைவேகம் ω என்றும் கொண்டால்,

$$iAH = I\frac{d\omega}{dt} \text{ என்ருகும்.}$$

அல்லது,

$$iAH = \frac{e}{R}\,AH = I\frac{d\omega}{dt} \qquad (2.28.)$$

துருவுச் சுருள் வெட்டும் N, மின் காந்தப்புலத்தில் காந்தப் பாயமானல், இதனலேற்படும் மின் இயக்கு விசை

$$= \frac{dN}{dt} \text{ ஆகும்.}$$

நிலைக் காந்தப்புலத்தில் அலைச் சுருளின் திருப்பத்தால் ஏற்படும் மின் இயக்கு விசை

$$= AH\,\omega$$

$$= AH\frac{d\theta}{dt}$$

எனவே, தொகுபயன் மின் இயக்கு விசை

$$e = \left(\frac{dN}{dt} - AH\frac{d\theta}{dt}\right)$$

e-ன் இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு 2.28-ல் பொருத்தினுல்

$$\frac{AH}{R}\left(\frac{dN}{dt} - AH\frac{d\theta}{dt}\right) = I\frac{d\omega}{dt}$$

t விஞடியில் திருப்பம் நிகழ்வதாகக் கொண்டால்

இதனை

$$\frac{AH}{R}\int_o^t\left(\frac{dN}{dt} - AH\frac{d\theta}{dt}\right)dt = \int_o^t I\frac{d\omega}{dt}dt \quad (2.29.)$$

மாற்றத்திற்குப்பின் சுருள் நிலையாய் இருப்பதால் சமன்பாடு 2.29-ல்

$$\int_o^t Id\omega = O \qquad \left[\begin{array}{l} t = O;\ \omega = O \\ t = t;\ \omega = O \end{array}\right]$$

எனவே சமன்பாடு 2.29.

$$\int_o^t\left(\frac{dN}{dt} - AH\frac{d\theta}{dt}\right)dt = O$$

அல்லது,

$$N - AH\,\theta = O$$

அல்லது,

$$N = AH\,\theta$$

ஒரு குறிப்பிட்ட பாயமானியில் A, H இவை மாரு; அல்லது $AH = c$. மாறிலி. எனவே,

$$N = C\theta \qquad (2.30.)$$

இதில் N, துருவுச் சுருள் வெட்டும் காந்தப் பாயமாகும். துருவுச் சுருளின் செயலுறு பரப்பு 'a' என்றும், அது 'n' சுற்றுகள் கொண்டுமிருந்தால் H செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் ஏற்படுத்தும் காந்தப்பாயம் $N = naH$ ஆகும். எனவே, $H = N/na$. இதனைச் சமன்பாடு 2.30-ல் பொருத்தினுல் காந்தப்புலச் செறிவு

$$H = \frac{N}{na} = \frac{c}{na}\,\theta \qquad (2.31.)$$

பொதுவாகப் பாயமானிகள் ஒரு பிரிவுக்கு இவ்வளவு காந்தப்பாயக் கோடுகள் அல்லது மாக்ஸ்வெல்கள் என்று அளவீடு செய்யப் பட்டிருக்கும். பாயமானியின் ஒளிப்புள்ளி அளவு சட்டத்திலேற் படுத்தும் விலக்கத்திலிருந்து காந்தப்பாயக் கோடுகளை (N) கணக்கிடலாம். துருவுச் சுருளின் பரப்பினையும், சுற்றுகளையும் கொண்டு காந்தப்புலச் செறிவினைக் கணக்கிடலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக ஒரு பாயமானியில் 1 பிரிவுக்கு 15000 மாக்ஸ்வெல்கள் என்றிருப்பதாகக் கொண்டால், பாயமானியுடன் பயன்படுத்தும் துருவுச் சுருளின் பரப்பு 25 ச.செ.மீட்டரும் 34 சுற்றுகளும் கொண்டிருந்தால், ஒரு பிரிவு விலக்கமுண்டாகும் காந்தப்புலச் செறிவு

$$= \frac{15,000}{34 \times 25}$$

$$= 17{\cdot}65$$ விசைக்கோடுகளாகும்.

இந்தப் பாயமானியில் நிலைக்காந்தங்களுக்கிடையிலுள்ள பகுதி மிகவும் குறைவாக இருப்பதால் பயன்படுத்தும்பொழுது பாயமானி சரியாகக் கிடைமட்டத்தில் வைக்கப்படவேண்டும்.

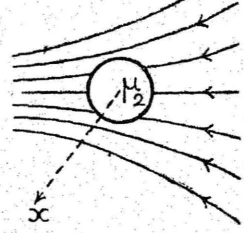
3. காந்த ஏற்புத்திறன்களை அளவிடும் முறைகள்

3.1. தொடக்கவுரை

திசையொப்புப் பண்பியலான பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளப்பதற்கான சோதனை முறைகளையும் அவ்வளவைகளுக்கான கருவிகளின் அமைப்புப்பற்றியும் இந்த அத்தியாயத்தில் காண்போம். நீர்ம, வாயுப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் அப் பொருள்களின்மேல் செயல்படும் காந்தப்புலத்தின் திசைக்கு ஏற்ப மாறுபடாது. ஆனல் படிகப் பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் காந்தப்புலத் திசையைப் பொறுத்து மாறும். எனவே, இந்தப் பகுதியில் திண்மப் பொருள்களைப் பொறுத்தமட்டில் செம்மையாகத் தூள் செய்யப்பட்டு, மைக்ரோ படிக மற்ற பொருள்களாக மட்டுமே கவனத்தில் கொள்ளப்படும்.

3.2. காந்தப்புலத்திலிருக்கும் பொருளின்மீது செயல்படும் விசை

μ_2 உட்புகுதிறனும், v பருமனும் கொண்ட ஒரு பொருள் ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.



படம் 3.1.

அம்புக் குறியிட்ட தொடர் கோடுகள் காந்த விசைக்கோடுகளையும், புள்ளிக்கோடு பொருள் நகரக்கூடிய திசையையும் குறிப்பாகக்

கொள்வோம். பொருளைச் சுற்றியுள்ள ஊடகம் வெற்றிடமானால் பொருளின் நிலைஆற்றல்

$$= -\frac{(\mu_2 - 1)}{8\pi} H^2 v \qquad (3.1.)$$

பொருளைச் சுற்றியுள்ள ஊடகத்தின் உட்புகுதிறன் μ_1 ஆனால் பொருள் இடம் பெயர்க்கும் ஊடகத்தின் நிலைஆற்றல்

$$= -\frac{(\mu_1 - 1)}{8\pi} H^2 v \qquad (3.2.)$$

ஊடகத்தில் பொருள் இடம் பெறுவதால் ஏற்படும் நிலைஆற்றல் மாற்றம்

$$= -\frac{(\mu_2 - \mu_1)}{8\pi} H^2 v \qquad (3.3.)$$

எனவே, x திசையில் பொருளை நகர்த்தும் விசை அல்லது பொருளின்மீது செயல்படும் விசை

$$F_x = -\frac{d}{dx}\left(-\frac{\mu_2 + \mu_1}{8\pi}\right) H^2 v \qquad (3.4.)$$

$$= \frac{\mu_2 - \mu_1}{8\pi} \frac{d}{dx} H^2 v \qquad (3.5.)$$

ஆனால்,

$$\mu_1 = 1 + 4\pi K_1$$

மற்றும்,

$$\mu_2 = 1 + 4\pi K_2$$

K_1, K_2 பொருள் ஊடகம் இவற்றின் பருமகாந்த ஏற்புத் திறன்கள்.

$$\mu_2 - \mu_1 = 4\pi\ (K_2 - K_1)$$

சமன்பாடு 3.5.

$$Fx = \frac{K_2 - K_1}{2} \frac{d}{dx} H^2 v$$

$$= \frac{K_2 - K_1}{2}\left[\frac{dHx^2}{dx} + \frac{dHy^2}{dx} + \frac{dH_B^2}{dx}\right] v \qquad (3.6)$$

Hx, Hy மற்றும் Hz இவை x, y, z அச்சுத் திசைகளில் H-ன் கூறுகள். சமன்பாடு 3.6-ஐப்போல் y மற்றும் z திசைகளில் செயல் படும் விசைகளை, முறையே

$$Fy = \frac{K_2 - K_1}{2}\left[\frac{dHy^2}{dy} + \frac{dH_B^2}{dy} + \frac{dHx^2}{dy}\right]v \quad (3.7)$$

$$Fz = \frac{K_2 - K_1}{2}\left[\frac{dHz^2}{dz} + \frac{dHx^2}{dz} + \frac{dHy^2}{dz}\right]v \quad (3.8)$$

என்று எழுதலாம். இந்தச் சமன்பாடுகளை வருவிக்கையில் காந்தப் புலத்திலிருக்கும் பொருள் காந்தப்புலத்தில் அதிகச் சிதறல் ஏற்படுத்தவில்லை என்று கொள்ளப்படுகின்றது. சமன்பாடு 6,7,8 இவற்றிலிருந்து, பொருள் காந்தப்புலம் அதிகரிக்கும் அல்லது குறையும் திசைகளில் நகரும் என்பது தெரிகின்றது. மேலும், இவ்வாறு நகரும் திசை $(K_2 - K_1)$-க்கு ஏற்ப அமையும். $(K_2 - K_1)$ நேர்க்குறியுடையதாக இருந்தால் பொருள் H அதிகரிக்கும் திசையில் நகரும். எனவே, பொருள் பாராக் காந்தத்தன்மை யுடையது என்று கொள்ளலாம். மாறாக $(K_2 - K_1)$ எதிர்க்குறி யுடையதாக இருப்பின் H குறையும் திசையில் நகரும் பொருள் டையாக் காந்தத் தன்மையுடைய காந்தமாகச் செயல்படுவதாகக் கொள்ளப்படும்.

சமன்பாடு 3.6-ல் $\frac{dHx}{dx}$, $\frac{dHy}{dx}$ மற்றும் $\frac{dHy}{dx}$ இவற்றில் ஏதா வது இரு உறுப்புகள் சுழியானால் விசையினை அளப்பதற்கான அமைப்பு எளிதாகும். இந்த முறையைப் பின்பற்றித்தான் காந்த ஏற்புத் திறன்கள் அளக்கப்படுகின்றன.

முன் பகுதியில் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் ஒரு பொருளின் மீது ஒரு விசை செயல்படுவதைக் கண்டோம். இந்த விசையின் அளவைக் கணக்கிட்டுப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளக்கலாம். காந்த ஏற்புத்திறனை அளப்பதற்கான முறைகளைப் பொதுவாக இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

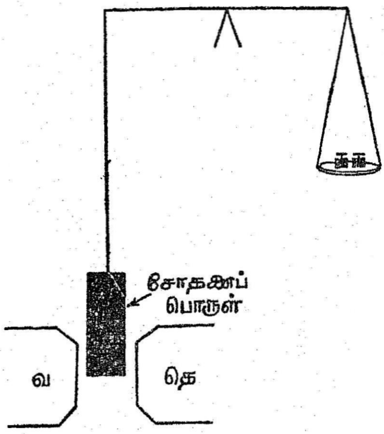
(1) *சீர்காந்தப் புல முறை*

(2) *சீரிலாக் காந்தப் புல முறை.*

3.3. சீர்காந்தப் புலமுறை (Uniform field method) :

சீர்காந்தப் புல முறையை முதலில் ஃபிரஞ்சு விஞ்ஞானி காய் [5] (Guoy) என்பவர் பயன்படுத்திக் காந்த ஏற்புத் திறன்களை

அளந்தார். காந்த ஏற்புத் திறன் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய பொருள் ஒரு நீண்ட உருளை உருவில் ஒரு மின்காந்தத்தின் இரு



படம் 3.2.

முனைகளுக்கிடையிலுள்ள காந்தப்புலத்தில் தொங்க விடப்பட்டுள்ளது (படம் 3.2). உருளை நுட்ப உணர்வு மிகுந்த தராசின் (Sensitive balance) ஒரு கையிலிருந்து தொங்க விடப்பட வேண்டும். உருளையின் ஒரு முனை செறிவு நிறைந்த காந்தப் புலத்தின் நடுவிலும், மறுமுனை காந்தப்புலம் மறைந்துவிடும் இடத்திலும் இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். உருளையின் அச்சு காந்தப் புலத் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருக்கவேண்டும். இப்பொழுது காந்தப் புலத்திலிருக்கும் பொருளில் dx நீளமும், dv பருமனும் கொண்ட ஒரு பகுதியின்மீது செயல்படும் விசையைச் சமன்பாடு 3.6-ன்படி,

$$Fx = \frac{K_2 - K_1}{2}\left[\frac{d}{dx}Hx^2 + \frac{dHy^2}{dx} + \frac{dHz^2}{dx}\right] dv \quad (3.6)$$

என்று எழுதலாம். இதில் Hx, Hy காந்தப்புலத்தின் x, z அச்சுக் கூறுகள். எனவே $\frac{dHx^2}{dx}$ மற்றும் $\frac{dHz^2}{dx}$. இவை மிகமிகக் குறைந்த மதிப்புடையவை. இவற்றை நீக்கிச் சமன்பாடு 3.6.

$$Fx = \frac{K_2 - K_1}{2} \; \frac{dHy^2}{dx} \; dv$$ என்றாகும்.

உருளையின் குறுக்குப் பரப்பளவு A ஆனால்,

$$Fx = \frac{K_2 - K_1}{2} \frac{dHy^2}{dx} Adx \tag{3.9}$$

உருளை முழுவதிலும் செயல்படும் விசை

$$\int Fdx = \frac{K_2 - K_1}{2} A \int_{Hy = Ho}^{Hy = H} \frac{d}{dx} Hy^2 \, dx$$

$$= \frac{K_2 - K_1}{2} A \left[H^2 - Ho^2\right] \tag{3.10}$$

பொதுவாக முனைகளுக்கிடையில் காந்தப்புலம் 10,000 ஓர்ஸ்டட்கள் இருக்கும். ஆனால் Ho-ன் மதிப்பு 100 ஓர்ஸ்டட்களுக்கும் குறைவாக இருக்கும். எனவே, சமன்பாடு 3.10-ல் Ho^2 நீக்கி

$$F = \frac{K_2 - K_1}{2} AH^2 \tag{3.11}$$

என்று எழுதலாம். தராசில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் உருளையின் எடையைக் காந்தப்புலம் ஏற்படாத நிலையிலும் காந்தப்புலமிருக்கும் நிலையிலும் கண்டுபிடித்தால் இரு எடைகளுக்குமுள்ள வேறுபாடு m கிராம். ஆனால், விசை mg டைன்கள் ஆகும். ஆகையால் உருளையின்மீது செயல்படும் காந்தவிசை

$$\frac{K_2 - K_1}{2} AH^2 = mg \tag{3.12}$$

ஆகும்.

தூள் செய்யப்பட்ட திண்மப் பொருள்கள், நீர்மப் பொருள்கள், கரைசல்கள் இவற்றின் டையா, பாராக் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளவிடுவதற்குக் காய் முறை மிகச் சிறந்தது. இதனை ஃப்ரோக் காந்தப் பொருள்களுக்குப் பயன்படுத்த முடியாது.

3.4. காய் தராசு (Guoy Balance) :

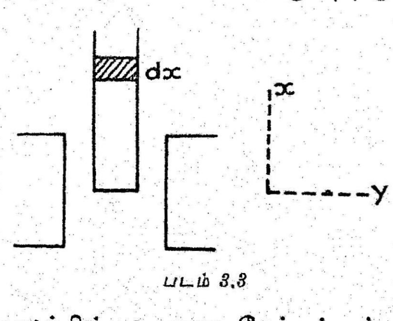
காய் தராசிற்கு 5000 முதல் 15,000 ஓர்ஸ்டட்கள் காந்தப்புலம் ஏற்படுத்தக்கூடிய மின்காந்தத்தைப் பயன்படுத்துவது மிகச் சிறந்தது. இந்த மின்காந்தத்திற்கான மின்னோட்டத்தை ஒரு $d.c$ மின் உற்பத்தி இயந்திரத்திலிருந்து பெறலாம். ஆனால், இந்த மின்னோட்டம் மாறுபடாமல் ஒரே அளவில் நிகழவேண்டும்.

இவ்வாறு மின்னோட்டத்தில் வேறுபாடு நிகழாமல் ஒரே அளவில் நிலைபெறச் செய்வதற்குப் பல மின் சுற்று முறைகள் உள்ளன (6). இத்தகைய மின்சுற்று அமைப்புகள் மின்னோட்டத்தில் நிகழும் 10^4-ல் 1 பங்கு மாறுதல்களையும் சரிசெய்யக்கூடியவை. இத்தகைய மின்சுற்றுகளைப் பயன்படுத்திச் சீரான மின்னோட்டம் ஏற்படுத்தலாம். மின்காந்தத்தின் முனைகள் 3 செ. மீ. விட்டமும், காந்தப் புலத் தேவைக்கு ஏற்ப முனை இடைவெளியும் கொண்டிருக்க வேண்டும். உதாரணமாக, 1.2 செ. மீ. முனை இடைவெளியுள்ள மின்காந்தத்தின் காந்தப்புல அளவுகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 3.1.

மின்னோட்டம் ஆம்பியர்கள்	காந்தப்புலம் ஓர்ஸ்டெட்கள்
3	10,750
4	12,190
5	13,210
6	14,100

காந்தப்புலத்திலிருந்து நேர்குத்துத் திசையில், முனைகளுக்கு மேலும் கீழும் காந்தப்புலம் விரைவில் குறைந்துவிட வேண்டும்.

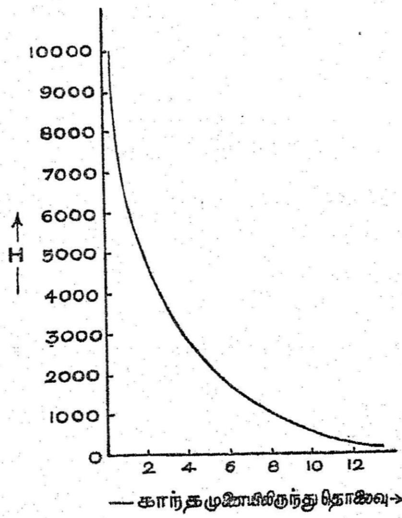


படம் 3.3

இந்தக் காந்தப்புலத்தின் அளவை நேர்குத்துத் திசையில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் அளந்து அவற்றை வரைபடம் மூலம் (படம் 3.4) காட்டப்பட்டுள்ளது. காந்தப்புலம் முனை மையத்திலிருந்து

10 செ. மீ. தொலைவில் ஏறத்தாழச் சுழியாவது என்பது தெளி வாகின்றது.

காய் தராசிற்குத் துல்லியமாக அளக்கக்கூடிய ஒரு பகுப் பாய்வுத் தராசினைப் (Analytical Balance) பயன்படுத்தலாம்.



படம் 3.4.

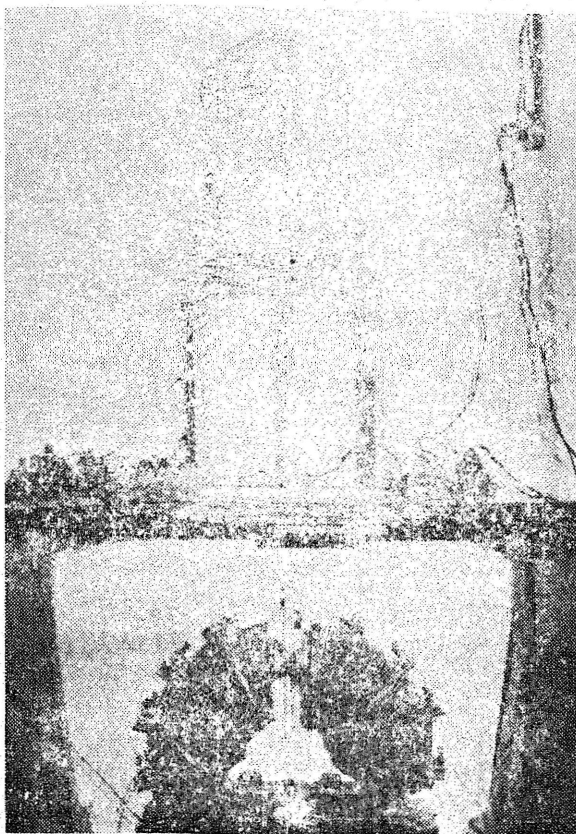
நுண்ணளவுக்கு மைக்ரோ அல்லது செமி. மைக்ரோ தராசுகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும். இப்பொழுது காய் தராசிற்கான தராசு களையே பல விஞ்ஞான விற்பனை நிலையங்கள் விற்பனை செய் கின்றன.

சோதனைக்குரிய பொருள்கள் ஒரு கண்ணாடிக் குழாயில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும். சீரான உள்விட்டம் கொண்ட இந்தக் குழாயின் உள் விட்டம் 0.8 செ. மீ. இதன் ஒரு முனை மூடப்பட் டிருக்கும். மறு முனை இறுக்கமாகப் பிடிக்கும் ஒரு கண்ணாடி மூடி யால் மூடப்பட்டிருக்கும். இந்தக் கண்ணாடிக் குழாய் காய் குழாய் (Guoy tube) எனப்படும்.

இந்தக் காய் குழாய் ஓர் ஒற்றைத்தட்டு செமி மைக்ரோத் தராசின் (Single pan Semi micro balance) தட்டின் அடிப்பாக மையத்திலிருந்து தொங்க விடப்பட்டிருக்கும். காந்தப்புலம் தராசைப் பாதிக்காமலிருக்கும்பொருட்டுத் தராசை மின்காந்தத்தி

லிருந்து தேவையான அளவு உயர்த்தி வைக்கப்பட்டுள்ளது. (படம் 3.5.)

காய் குழாய் அதன் மையம் இரு காந்த முனைகளுக்கிடையில் எளிதில் நகருமாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. குழாய்க்கும் காந்த



படம் 3,5.

முனைகளுக்குமுள்ள இடைவெளி இரு புறத்திலும் சமமாக இருக்க வேண்டும். குழாயின் இரு முனைகளிலும் செயல்படும் காந்த விசை எதிர் எதிர்த் திசைகளிலிருக்கும். இந்த இரு விசைகளும் சமமாக இருக்குமாறு குழாயைத் தொங்கவிட்டு அந்நிலையில் காந்தப்புல மையத்திலிருக்கும் குழாய்ப் பகுதியில் ஓர் அடையாளம் செய்து கொள்ளவேண்டும். இந்த நிலையில் குழாய் மட்டும் தொங்க

விட்டால் அதன் காந்த விசை சுழியாகும். இந்த அடையாளம் எப்பொழுதும் காந்தப்புல மையத்திலிருக்குமாறு குழாயைத் தொங்கவிட்டால் சோதனையின்பொழுது பொருள்களைத் தன்னுள் கொள்ளும் சோதனைக் குழாயின் காய் விசை (Guoy force) சமன் செய்யப்பட்டுவிடும். சோதனையின்பொழுது காந்த ஏற்புத் திறன் காணவேண்டிய பொருளை இக் குழாயில் அடையாளக் கோடு வரை நிரப்பித் தொங்கவிடப்பட வேண்டும்.

காய் முறைக் கொள்கைப்படி சோதனைப் பொருள் சமச் சீருடைய உருளை வடிவிலிருக்கவேண்டும். நீர்மப் பொருள்களைப் பொறுத்தமட்டில் நீர்மத்தினைக் காய் குழாயில் கொள்வதன்மூலம் இந்த நிபந்தனையை நிறைவு செய்யலாம். ஆனால் திண்மப் பொருள்களில் அவற்றைத் தூள்செய்து குழாயில் அடைப்பதன் மூலம் ஓரளவிற்குத்தான் நிபந்தனை நிறைவுபெறும்.

ஆனால், மிகவும் மென்மையாகத் தூள் செய்வதன்மூலம் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனில் நிறைந்த பொருளை அடைக்கக்கூடும். ஆனால் அடைப்பதற்கான திருத்தத்தைக் கணக்கிட்டுச் சேர்த்துக் கொள்வதன்மூலம் இதனால் ஏற்படும் தவற்றைப் பெரும்பகுதி குறைத்து விடலாம்.

இந்த முறையில் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறனைச் சமன்பாடு 3.11-ன் மூலம்

$$F=\frac{1}{2}\left(K_2-K_1\right) AH^2 \text{ என்றாகும்.}$$

F காய் விசை. பொருள் நிரம்பிய காய் குழாயைக் காய் தராசில் தொங்கவிட்டுக் காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்காமல் எடையைக் காண வேண்டும். பின், மின்காந்தத்தின் வழி குறிப்பிட்ட மின்னோட்டம் பாயச் செய்து, காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவித்து, அக் காந்தப்புலத்தில் குழாய் இருக்கும்பொழுது எடையைக் காண வேண்டும். இவ்விரு எடைகளுக்குமுள்ள வேறுபாடு காய்விசை F ஆகும். காய் சோதனைக் குழாயின் குறுக்களவு A, காந்தப்புலத்தின் செறிவு H இவற்றை நேரடியாக அளந்தும் காற்றின் காந்த ஏற்புத் திறன் K_1 அளவைக் கொண்டும் பொருளின் பருமக் காந்த ஏற்புத் திறனை K_2 சார்பிலாத முறையில் கணக்கிடலாம்.

ஆனால், பொதுவாகப் பொருள்களின். காந்த ஏற்புத் திறன்களை, ஒரு குறிப்பிட்ட படித்தரப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறனுடன் ஒப்பிட்டுக் கணக்கிடுவது வழக்கிலிருந்து வருகின்றது. சுத்தமான பென்ஸீன் (Pure benzene), காய்ச்சி வடித்த நீர் (Distilled water) இவற்றைப் படித்தரப் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தலாம்.

3.5. அளவிடும் முறை (Method of measurement)

முதலில் படித்தர நீர்மத்தைச் சோதனைக் குழாயின் அடையாளம் வரை நிரப்பிக் காய் தராசில் தொங்கவிட வேண்டும். அதன் எடையைக் காந்தப்புலமில்லாத நிலையில் துல்லியமாகக் கணக்கிட வேண்டும். பின்னர், ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னோட்டத்தை மின்காந்தத்தின் வழிப் பாயச்செய்து, காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவித்துக் குழாயின் எடையைக் காணவேண்டும். பின்னர், மின்காந்தத்தின் வழிப் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவுகளை மாற்றி (உதாரணமாக 4, 6 மற்றும் 8 ஆம்பியர்கள்) ஒவ்வொரு மின்னோட்டம் தோற்றுவிக்கும் மின் புலத்திலும் ஏற்படும் எடை மாற்றத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். இந்த எடை மாற்றங்கள் படித்தர நீர்மத்தின் அந்தந்தக் காந்தப்புலத்திற்கான காந்த விசைகளாகும். பின்னர், குழாயிலிருந்து படித்தர நீர்மத்தை நீக்கிக் குழாயைச் சுத்தம் செய்து காய வைத்தபின், காந்த ஏற்புத் திறன் காண வேண்டிய சோதனைப் பொருளை அடையாளம் வரை நிரப்பி, முன்போல் அதே மின்னோட்டங்களுக்கான காந்த விசைகளைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும்.

சோதனைக் குழாயில் நீர்மங்களை நிரப்பும்பொழுது நீர்மத்தில் காற்றுக் குமிழிகள் இல்லாமல் பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். படித்தர நீர்மத்திற்கும் சோதனைப் பொருளுக்கும் இந்த விசைகளைக் கணக்கிடும்பொழுது மின்னோட்டங்கள் துல்லியமாக ஒரே அளவு உடையதாக இருக்க வேண்டும். காந்த விசைகளைக் கணக்கிடு வதற்கு மின் காந்தத்தின் வழி அதிகநேரம் மின்னோட்டம் பாயச் செய்யக் கூடாது.

3.6. காந்த ஏற்புத்திறன்களைக் கணக்கிடும் முறை (Method of Calculation of Magnetic susceptibility)

படித்தர நீர்மத்தின் காய் விசை $m_V g = w_V$

சோதனை நீர்மத்தின் காய் விசை $= w_S$

படித்தரப் பொருளின் பருமக் காந்த ஏற்புத்திறன் $= K_V$

சோதனைப் பொருளின் பருமக் காந்த ஏற்புத்திறன் $= K_S$

படித்தரப் பொருளின் அடர்த்தி $= d_V$

சோதனைப் பொருளின் அடர்த்தி $= d_S$

சோதனைக் குழாயைச் சுற்றியுள்ள காற்று ஊடகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன் K_a என்று கொண்டால் சமன்பாடு 3.12-ன்படி

படித்தர, சோதனைப் பொருள்களின் காந்த விசைச் சமன்பாடுகளை முறையே,

$$\omega r = \tfrac{1}{2} AH^2 (Kr - \mathrm{K\ air})$$
$$\omega s = \tfrac{1}{2} AH^2 (Ks - \mathrm{K\ air})$$

என்று எழுதலாம். இதிலிருந்து

$$\frac{\omega s}{\omega r} = \frac{Ks - \mathrm{K\ air}}{Kr - \mathrm{K\ air}} \qquad (313.)$$

ஆனால் $Xs\ ds = Ks$ மற்றும் $Xr\ dr = Kr$; Xs, Xr சோதனை படித்தரப் பொருள்களின் நிறை காந்த ஏற்புத் திறன்களாகும்.

சமன்பாடு **3.13**-ஐ,

$$\frac{\omega s}{\omega r} = \frac{Xs\ ds - \mathrm{K\ air}}{Xr\ dr - \mathrm{K\ air}}$$

என்று எழுதலாம்.

அல்லது,

$$Xs = \left[\frac{Xr\ dr - \mathrm{K\ air}}{\omega r}\right]\frac{\omega s}{ds} + \frac{\mathrm{K\ air}}{ds} \qquad (3.14)$$

என்றாகும். Ka-ன் மதிப்பு இயல்பான வெப்ப நிலையில் (*N. T. P.*) 0.029×10^{-6} *C. G. S.* அலகுகள்.

ஒரு குறிப்பிட்ட சோதனைக் குழாயில் ஒரு குறிப்பிட்ட படித்தர நீர்மம் பயன்படுத்தும்பொழுது $\left[\frac{Xr\ dr - Ka}{\omega r}\right.$ என்பது ஒரு மாறிலியாகும். இது சோதனைக் குழாய் மாறிலி எனப்படும்.

$$Xs = \left[\frac{\text{சோதனைக்குழாய்}}{\text{மாறிலி}}\right]\frac{\omega s}{ds} + \frac{0.029 \times 10^{-6}}{ds} \qquad (3.15)$$

ஒரு குழாயின் மாறிலியைக் கண்டு பிடித்துக்கொண்டால், சோதனைப் பொருள்களின் காய் விசையைக் கண்டு சோதனைப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை எளிதில் கணக்கிடலாம்.

திண்மப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளக்கும் பொழுது அவற்றை நுண்ணிய தூளாக்கிச் சோதனைக் குழாயில் அடைக்கவேண்டுமென்று கூறினோம். இவ்வாறு குழாயில் அடைக்கும்பொழுது அத் துகள்களுக்கிடையிலிருக்கும் காற்றுக்கான ஒரு திருத்தத்தைச் சேர்க்கவேண்டும்.

சோதனைக் குழாயில் பொருள் அடைக்கப்படும் பருமன் = V.

சோதனைக் குழாயில் அடையாளம் வரை நிரப்பப்படும் படித்தர நீர்மத்தின் எடை $\}$ = ωr ஆனால்,

$$V = \frac{\omega r}{dr}$$

சோதனைக் குழாயில் நிரப்பப்படும் சோதனைத் தூளின் எடை ωs ஆனால், சோதனைத் தூள் குழாயில் நிரப்பப்படும்பொழுது காற்று அடைத்துக்கொண்டிருக்கும் பருமன்

$$= \left[V - \frac{Ws}{ds}\right]$$

அல்லது 1 க. செ. மீ. அளவிலுள்ள காற்றினளவு

$$= \left[1 - \frac{Ws}{ds.\ V}\right]$$

$$= \left[1 - \frac{Ws}{ds}\ \frac{dr}{Wr}\right]$$

இந்தக் காற்றின் அளவைக் கருத்தில்கொண்டு ∴பிரெஞ்சு, ஹாரிசன் (7) (French and Harrison) திண்மப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறனுக்குப் பின்வரும் சமன்பாட்டினைக் கண்டுள்ளார்கள்.

அதன்படி,

$$Xs = \left(\frac{xr\ dr - 0.029 \times 10^{-6}}{\omega r}\right) \frac{\omega s}{ds}\ \ \frac{Wr}{dr} + \frac{0.029 \times 10^{-6}}{ds} \qquad (3.16)$$

$$= \left[\frac{\text{சோதனைக் குழாய்}}{\text{மாறிலி}}\right] \frac{Ws}{ds} \cdot \frac{Wr}{dr} + \frac{0.029 \times 10^{-6}}{ds}$$

3.7. அளவீடு செய்தல் (Calibration):

காய்ச்சி வடித்த நீரை காய் முறையில் அளவீடு செய்வதற்குப் படித்தர நீர்மமாகப் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றது. இந்த நீரில் அதிகமாகக் காற்றுக் கரைந்திருப்பதால் பயன்படுத்துவதற்கு முன் நீரை நன்றாகக் கொதிக்கச் செய்து

கரைந்துள்ள காற்றை வெளியேற்ற வேண்டும். நீரின் காந்த ஏற்புத்திறன் $20°c$ வெப்ப நிலையில் $-0{\cdot}720 \times 10^{-6}$ $C.G.S.$ அலகுகள் என்று கொள்ளப்படும். ஆனால், ஆங்க்ஸ் [8] நீரைப் படித்தர நீர்மமாகப் பயன்படுத்துவதிலுள்ள குறைபாடுகளை எடுத்துக்காட்டி பென்சீனை (Benzene) அளவீடு செய்வதற்கான படித்தர நீர்மமாகப் பயன்படுத்த வேண்டுமென்று வெளியிட்டார். பென்சீனின் காந்த ஏற்புத்திறன் $25°c$ வெப்ப நிலையில் $-0{\cdot}702 \times 10^{-6}$ $C.G.S.$ அலகுகள். ஆனால் பென்ஸீனும் அதில் கரைந்திருக்கும் வாயுக்களுக்கு ஏற்ப அதன் காந்த ஏற்புத் திறன்கள் மாறுவதால் அளவீடு செய்வதற்கான ஏற்புடைய நீர்மமாகாது. எனவே, பெரும்பாலான ஆய்வாளர்கள் நிக்கல் குளோரைடு கரைசலை அளவீடு செய்வதற்குப் படித்தரக் கரைசலாகப் பயன்படுத்துகின்றனர்கள். நிக்கல் குளோரைடின் மோலார் காந்த ஏற்புத்திறன் $20°c$ வெப்பநிலையில் $4433 \pm 12 \times 10^{-6}$ $C{\cdot}G.S.$ அலகுகள். $20°c$ வெப்ப நிலையில் நீரில், நிக்கல் குளோரைடு கரைசலின் நிறை காந்த ஏற்புத்திறனை

$$X = [\, 34{\cdot}21\, p - 0{\cdot}720\, (1 - p) \,] \times 10^{-6} \qquad (3.17.)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் p, $Nicl_2$-ன் எடை பின்னம். இந்தக் கரைசல், அதில் கரைந்திருக்கும் நிக்கல் குளோரைடின் நிறை 30 சதவீதத்துக்கு அருகில் இருக்கையில் அதன் காந்த ஏற்புத்திறன் கரைசலின் செறிவால் மாறுபடுவதில்லை.

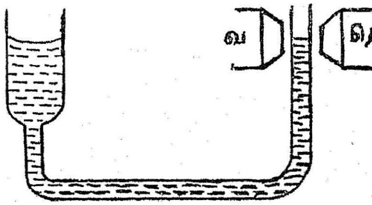
எனவே, எந்தவொரு பொருளும் படித்தரப் பொருளாகப் பயன்படுத்த முழுத்தகுதி கொண்டிருக்கவில்லை. பழக்கத்தில் ஆய்வாளர்கள் அவரவர்கள் தேவைக்கேற்பப் படித்தர நீர்மங்களைத் தேர்ந்தெடுக்கின்றனர்கள்.

3.8. குவிங்கே முறை (The Quincke method)

இந்த முறை கொள்கையளவில் காய் முறையை ஒத்தது. இதில் பொருளின் மீது செயல்படும் காந்த விசையை நிலைநீர்ம அழுத்த முறையில் அளக்கப்படுகின்றது. இந்த முறை நீர்மங்கள் மற்றும் கரைசல்களுக்கு மட்டுமே ஏற்புடையது. இதன் அமைப்பு முறை படம் 3.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இதில் சோதனைப் பொருள், காந்தப்புலத்தில் ஒரு குறுகிய குழாயில் வைக்கப்படுகின்றது. காந்தப்புலம் செயல்படா நிலையிலும், செயல்படும் நிலையிலும், குறுகிய குழாயில் உள்ள நீர்மப் பிறைத்தளத்தில் ஏற்படும் உயர மாறுபாட்டைக்

(h') ஒரு காத்ட்ரா மீட்டரின் மூலம் அளக்கப்படுகின்றது. நீர்மத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன் K என்றும் நீர்மத்தின் மேலுள்ள



படம் 3.6. குவிக்கே முறை

வாயுவின் காந்த ஏற்புத்திறன் K_0 என்றும் கொண்டால் H ஓர்ஸ்டெட் காந்தப்புலம் செயல்படுகையில் ஏற்படும் காந்தவிசை

$$= \frac{1}{2}(K - K_0)\,AH^2 \qquad (3.18.)$$

இதில்,

A-குழாயின் குறுக்களவு,

P மற்றும் P_0 இவை முறையே நீர்மத்தின் மேலுள்ள வாயுவின் அடர்த்திகளைக் குறித்தால் காந்த விசையைச் சமன் செய்யும் நிலை நீர்ம விசை

308486

$$= h(P - P_0)\,gA \qquad (3.19.)$$

சமன்பாடுகள் 3.18. மற்றும் 3.19. இவைற்றை ஒப்பிட்டால்

$$K - K_0 = \frac{2h(P - P_0)g}{H^2}$$

538
SHA;5

$$K = \frac{2gh(P - P_0)}{H^2} + K_0$$

$$X = \frac{2gh}{H^2} + \frac{X_0 P_0}{P} \qquad (3.20.)$$

X_0 நீர்மத்தின் மேலிருக்கும் வாயுவின் காந்த ஏற்புத்திறன். X_0-ம் P_0-ம் மிகக் குறைந்த மதிப்புடையவை. இவற்றை நீக்கிச் சமன்பாடு 3.20-ஐ

$$X = \frac{2gh}{H^2} \qquad (3.21.)$$

என்று எழுதலாம்.

காய் முறையைப் போல் இதிலும் ஒரு படித்தர நீர்மத்தைப் பயன்படுத்தினால் H-ன் மதிப்பை அளக்காமலேயே காந்த ஏற்புத்

திறன்களை அளவிடலாம். X_s மற்றும் X_r இவற்றை முறையே சோதனைப் பொருள் மற்றும் படித்தரப் பொருள் இவற்றின் நிறை காந்த ஏற்புத்திறன்களென்றும் h_s மற்றும் h_r இவற்றை அவற்றிற்கான பிறைதள உயர்வுகளென்றும் கொண்டால்

$$X_s = \frac{2\, h_s g}{H^2}$$

$$X_r = \frac{2 h_r g}{H^2}$$

எனவே,

$$X_s - \frac{h_s}{h_r}\, X_r \qquad (3.22.)$$

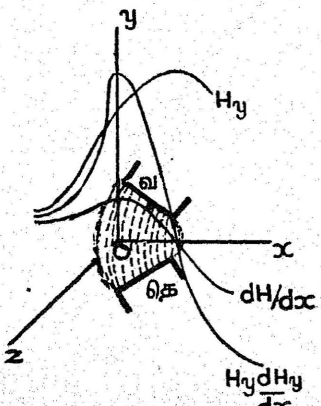
இந்த முறைக்கு காந்தப்புல அளவு 25,000 ஓர்ஸ்டெட்கள் வரை இருப்பது நலம்.

3.9. சீரிலாப் புல முறை (Non-uniform field method)

(a) ஃபாரடே முறை (Faraday method)

ஃபாரடே முறை சீரிலாப் புலத்தில் ஒரு பொருளின் மேல் செயல்படும் விசையைக் கொண்டு கணக்கிடப்படுவதாகும். ஒரு மின்காந்தத்தின் முனைகளை ஒன்றுக்கொன்று ஒரு கோணத்தில் சாய்வாக அமைப்பதன் மூலம் (படம் 3.7.) சீரிலாக் காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம்.

வளைவு கோடுகள் காந்த விசைக்கோடுகளைக் குறிக்கும். இத்தகைய காந்தப்புலத்தில் O-என்ற புள்ளியில் வைக்கப்படும்



படம் 3.7.

ஒரு பொருளின்மீது செயல்படும் விசை X-அச்சுத் திசையிலிருக்கும்.

சமன்பாடு 3.6-ன்படி

$$Fx = \frac{K_2 - K_1}{2}\, dv \left(\frac{dHx^2}{dx} + \frac{dHy^2}{dx} + \frac{dHz^2}{dx}\right)$$

ஆனல்,

$$\frac{dHx}{dx} = \frac{dHy}{dx} = 0$$

$$Fx = (K_2 - K_1)\, dv\, Hy\, \frac{dHy}{dx} \qquad (2.23)$$

பொருளை ஒரு குறுக்குத் தராசின் ஒரு கையிலிருந்து சீரிலாக் காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிட்டிருந்தால் அதன்மீது செயல்படும் விசை பொருளுக்கு ஓர் இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்தும். முறுக்கு முகட்டைப் பயன்படுத்திப் பொருளைத் திருப்பவும். காந்தப்புலத்திற்குள் முன்னுலிருந்த நிலைக்குக் கொண்டு வரலாம். முறுக்கு முகட்டில் ஏற்படும் முறுக்கினைக்கொண்டு பொருளின்மீது செயல்படும் விசையினைக் கணக்கிடலாம்.

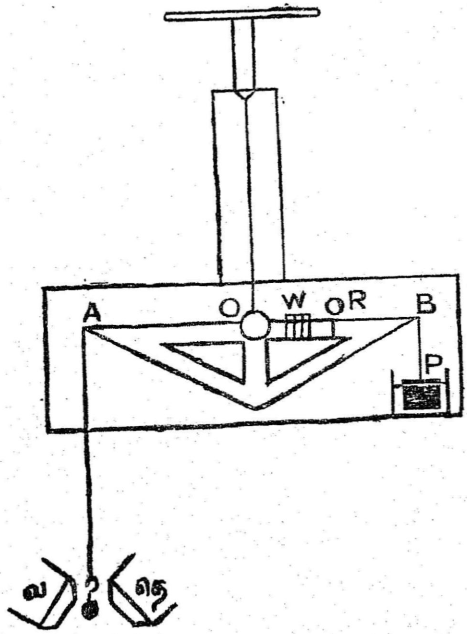
ஃபாரடே முறையில் டையா, பாரா, ஃப்ரோக் காந்தங்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளவிடலாம். ஆனல், இந்த முறையில் தூள்களும், நீர்மங்களும் மிகச் சிறு பொதியுறையுள் அடைக்கப்பட வேண்டும்.

(b) க்யூரி முறை (Curie method):

இந்த முறையிலும் சீரிலாக் காந்தப்புலத்திலும் ஒரு பொருளின் மீது செயல்படு விசையை முறுக்குத் தராசு முறையில் கணக்கிடப் படுகின்றது. படம் 3.8. க்யூரித் தராசின் (Curie balance) அமைப்பைக் காட்டுகின்றது. அலுமினியத்தாலான AB என்ற ஒரு சிறு மெல்லிய தகடு சுமார் 50 செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு மெல்லிய செப்புக் கம்பியின்மூலம் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கம்பியின் மறு முனை ஒரு முறுக்கு முகட்டுடன் உருக்கிணைப்புச் (Soldered) செய்யப் பட்டுள்ளது. இந்த முறுக்கு முகட்டின்மூலம் மிகவும் நுண்ணிய திருப்பங்களை AB-ன் நிலையில் ஏற்படுத்தலாம்.

காந்த ஏற்புத் திறன் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய சோதனைப் பொருளை ஒரு சிறு கண்ணுடிப் பொதியுறையுள் (Capsule) நிரப்பி A-லிருந்து முறுக்கில்லாத பட்டுக்கயிற்றுல் தொங்க விடப்பட்டுள்ளது.

W என்ற எடையையும் R என்ற ஏறி (Rider)-யையும் கொண்டு AB கிடைமட்டத்திலிருந்து செய்யப்படவேண்டும். P என்ற ஓர்

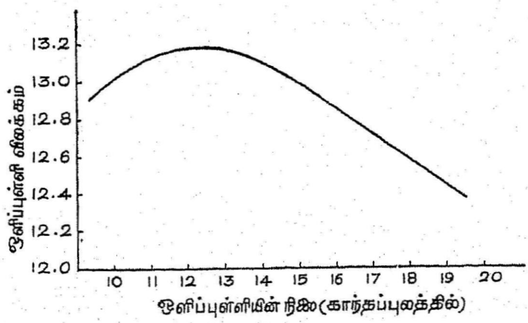


படம் 3.8.

உலோகத்தட்டு AB-ல் B முனையில் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. P-ன் ஒரு பகுதி பாகுநிலை மிகுந்த ஒருவிதப் பம்பு எண்ணெயில் மூழ்க வைக்கப்பட்டுள்ளது. பொருளின்மீது விசை செயல்பட்டவுடன் AB அதிக அலைவுக்குள்ளாகாமல் விரைவில் ஒரு நிலைக்கு வருவதற்கு இந்த அமைப்புப் பயன்படுகின்றது. எண்ணெயில் மூழ்கும் அளவு அலைவிற்கு மாறுநிலைத் தடை (Critical damping) ஏற்படுத்துமாறு இருக்கவேண்டும். AB-ல் ஏற்படும் முறுக்கு அலைவினை ஓர் ஒளிப்புள்ளி அளவுகோல் (Lamp and Scale) முறையில் அளக்கலாம்.

சோதனைப் பொதியுறை ஒன்றுக்கொன்று சாய்வாக வைக்கப்பட்டுள்ள மின்காந்தத்தின் இரு முனைகளுக்கிடையிலிருக்குமாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. முறுக்கு முகட்டைத் திருகுவதன்மூலம் சோதனைப் பொதியுறையைக் காந்தப்புலத்தில் x அச்சுத் திசையில் நகர்த்த முடியும். காந்தப்புலத்தில் பொதியுறையின் நிலையை ஒளிப்புள்ளி அளவுகோலில் ஏற்படும் ஒளிப் புள்ளியைக்கொண்டு

கூறலாம். முறுக்கு முகட்டைத் திருப்புவதன்மூலம் சோதனைப் பொருளை இரு காந்த முனைகளுக்கிடையில் X-அச்சுத் திசையில் நகரும்படி செய்யலாம். அதற்கீடாக ஒளிப்புள்ளி அளவுகோலில் நகரும். இந்த முறையில் சோதனைப் பொருளைக் காந்த முனைகளுக் கிடையில் X-அச்சுத் திசையில் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக நகர்த்தி ஒவ்வொரு இடத்திலும் காந்தப்புலத்தை ஏற்படுத்திப் பொருள் மீது செயல்படும் விசையை ஒளிப்புள்ளியின் விலக்கத்திலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம். காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது அளவு கோலில் ஒளிப்புள்ளியின் நிலைக்கும், காந்தப்புல மாற்ற நிலையில் ஒளிப்புள்ளியின் ஓய்வு நிலைக்குமுள்ள வேறுபாடு (Difference) ஒளிப்புள்ளி விலக்கமாகும். இந்த விலக்கம் பொருளின்மேல் செயல் படும் காந்த விசைக்கு ஏற்ப அமையும். காந்தப்புலம் செயல்படும் பொழுது ஒளிப்புள்ளியின் நிலைக்கும், காந்தப்புலமற்றவுடன் ஏற்படும் விலக்கத்திற்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் (படம் 3.9) பெரும விலக்க நிலையைக் (Maximum position) கண்டுபிடிக்கலாம்.



படம் 3.9.

விலக்கம் ஒரு பகுதியில் பெருமமாக இருக்கும். சோதனைப் பொருள் காந்தப்புலத்தில் இந்தப் புள்ளியில் பெரும விசைக்கு உட்படு கின்றது என்று பொருள். இப் பெரும நிலையில் சோதனைப் பொருளை Z அச்சுத் திசையில் (செங்குத்துத் திசை) நகர்த்தி எந்த இடத்தில் விலக்கம் பெருமமாக உள்ளதோ அந்த இடத்தில் க்யூரி விசை பெருமமாக இருப்பதாகக் கொள்ளப்படும். மேலும், ஒளிப்புள்ளி நிலைக்கும் விலக்கத்திற்கும் வரையப்பட்ட வரைபடத்தில் ஒரு புள்ளிக்குப் பதில் ஒரு பகுதி பெருமம் காட்டுகின்றது. சோதனை யின்பொழுது க்யூரி விசையைக் காண்பதற்குச் சோதனைப் பொதி யுறையைக் காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது இந் நிலைக்குக் கொண்டுவந்து விசை ஏற்படுத்தும் விலக்கத்தைக் காண வேண்டும்.

இந்த முறையிலும் படித்தரப் பொருளைக்கொண்டு அளவீடு செய்யப்பட்டுக் காந்த ஏற்புத் திறன்கள் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. பென்சீன் படித்தரப் பொருளாகப் பயன்படுகின்றது. சோதனைப் பொருளையும், பென்சீனையும் முன்பு கூறியதுபோல் சிறு சிறு கண்ணாடிப் பொதியுறைகளில் அடைத்து அவற்றின் க்யூரி வரிசை களைக் கண்ட பின்பு, இந்தப் பொதியுறைகளின் காம்புகளை உடைத்து அவற்றிலிருக்கும் பொருள்களை அகற்றிய பின் காம்பு களை இணைந்து வெறும் பொதியுறைக்கான க்யூரி விசைகளைக் காணவேண்டும். இப் பொதியுறைகளின் நிறையைப் பொரு ளுடனும், பொருள் அகற்றிய நிலையுடனும் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். இவ் வளவுகளிலிருந்து பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களைப் பின்வரும் முறையில் கணக்கிடலாம்.

3.10. கணக்கிடும் முறை :

காந்தப்புலத்திலிருக்கும் dv பருமனுள்ள பொருளின்மீது செயல்படும் க்யூரி விசை

$$fx = (K_2 - K_1)\ Hy\ \frac{d}{dx}\ Hy\ dv \qquad (3.24)$$

சோதனைப் பொருள் இப்பொழுது கொள்கலம் கண்ணாடியாலானது. அதனுள் சோதனைப் பொருள் உள்ளது.

$K_2 = Ks + Kg$ ஆகும்.

$K_1 = Ka$ ஆகும்.

Ks, Kg மற்றும் Ka இவை முறையே சோதனைப் பொருள், கண்ணாடி, காற்று இவற்றின் காந்த ஏற்புத் திறன்களாகும். மேலும் dvs, dvg, dva இவை, பொருள், கண்ணாடி, காற்று இவற் றின் பருமன்களானல் சமன்பாடு 23-ன்படி முழுப் பருமன்மீதும் செயல்படும் விசை

$$F_1 = \int fx = \int Kg\ Hy\frac{dHy}{dx}\ dvg + \int Ks\ Hy\frac{dHy}{dx}\ dvs$$
$$- \int Ka\ Hy\ \frac{dHy}{dx}\ dva \qquad (3.25)$$

இந்த விசையால் θ_1 விலக்கம் ஏற்பட்டால், முறுக்குக் கம்பி யின் சுழல் இரட்டை (Couple per unit twist) C ஆனல் முறுக்குக் கம்பியில் உண்டாகும் எதிர்ப்பு விசை

$$= C\theta_1 \text{ ஆகும்.}$$

எனவே,

$$C\theta_1 = \int Kg\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dvg + \int Ks\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dvs - \int Ka\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dva \qquad (3.26)$$

பொருளை வெளியேற்றியபின் வெறும் பொதியுறைக்கான விலக்கம் θ_2 ஆனால்

$$C\theta_2 = \int Kg\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dv_g - \int Ka\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dv_g \quad (3.27.)$$

பொருள் வெளியேற்றப்பட்ட பின் பொதியுறை உள்ளும் காற்றிருக்கின்றது.

பொருளுக்கு மட்டுமான விசை

$$C(\theta_1 - \theta_2) - \int Ks\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dvs - \int Ka\,Hy\frac{dHy}{dx}\,(dva - dvg)$$

பொருளுக்கு மட்டுமான விலக்கம் $\theta_1 - \theta_2 = ds$ என்று கொண்டால்

$$Cds = \int Ks\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dvs - \int Ka\,Hy\frac{dHy}{dx}\,(dva - dvg) \qquad (3.28.)$$

இதே போல பென்சீனைப் படித்தர நீர்மமாகப் பயன்படுத்தினால் பென்சீனுக்கான விலக்கம் d_B என்று கொண்டால் பென்சீன் க்யூரி விசைச் சமன்பாட்டை

$$Cd_B = \int K_B\,Hy\frac{dHy}{dx}\,dv_B - \int Ka\,Hy\frac{dHy}{dx}\,(dva - dvg) \qquad (3.29.)$$

எனவே

$$\frac{ds}{d_B} = \frac{\int Ks\,dvs - \int Ka\,(dva - dvg)}{\int K_B\,dv_B - \int Ka\,(dva - dvg)}$$

$$= \frac{Ks\,vs - Ka\,v_1}{K_B\,v_B - Ka\,v_1'} \qquad (3.30.)$$

இதில் v_S, v_B, v_1 and v_1' என்பன முறையே சோதனைப் பொருள், பென்சீன், பொதியுறையின் உட்பகுதி, பென்சீன் பொதியுறையின் உட்பகுதி இவற்றின் பருமன்களாகும்.

பொதியுறை முழுவதும் சோதனைப் பொருளும், பென்சீனும் நிரப்பப்பட்டிருந்தால் v_1, $v_1{}^1$ இவை முறையே v_S மற்றும் v_B ஆகும்.

மேலும்,

$$\frac{K_S}{P_S} = X_S \text{ மற்றும் } vs\ P_S = ms$$

எனவே, சமன்பாடு 3.30.

$$\frac{d_S}{d_B} = \frac{X_S m_S - Kav_S}{X_B m_B - K_a v_B} \qquad (3.31.)$$

பொதியுறையுள் அடங்கியிருக்கும் சோதனைப் பொருள் படித்தரப் பொருள் இவற்றின் நிறைகளை முறையே m_S, m_B கண்டு, அவற்றின் அடர்த்திகளைக் கொண்டும், v_S மற்றும் v_B இவற்றைக் கணக்கிடலாம். மேலும், பாராக் காந்தக் காற்றின் ஏற்புத்திறன் இயல்பு வெப்ப நிலையில் $Ka = 0{\cdot}029 \times 10^{-6}$ ஆகும். மேலும் $\frac{Ka}{T^2}$ ஒரு மாறிலியாகும். இதிலிருந்து Ka-ன் மதிப்பை அறை வெப்ப நிலையில் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

சமன்பாடு 3.31-ல் X_B-ன் மதிப்பை $0{\cdot}702 \times 10^{-6}$ $C.G.S$ என்று கொண்டு X_S-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

311. ஃபுரோக் காந்த வேறுபாட்டுக்கான திருத்தம் (Correction for ferromagnetic Impurity)

சோதனைப் பொருள்களில் கலந்திருக்கும் மிகமிகச் சிறு அளவிலான ஃப்ரோக் காந்தப் பொருள்கள்கூட டையா, பாராக் காந்தச் சோதனைப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்களை மிகவும் மாற்றிவிடும். இத்தகைய வேற்றுப் பொருள்களைச் சோதனைப் பொருளிலிருந்து துல்லியமாகப் பிரிப்பது சிறிது கடினம். எனவே, சோதனைப் பொருள்களில் கலந்திருக்கும் ஃப்ரோ வேற்றுப் பொருளுக்காக ஒரு திருத்தத்தைச் சேர்க்கலாம்.

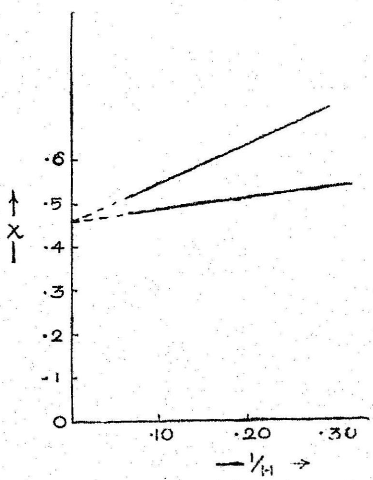
Xp மற்றும் Xi இவை தூய, தூய்மையற்ற பொருள்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்களானால், இவற்றிடையில் உள்ள தொடர்பினை ஹொண்டா தன்னுடைய சோதனைகளின் மூலம்

$$Xi = Xp + \frac{\sigma_M}{H} \qquad (3.32.)$$

என்று கண்டார். இதில் σm ஃப்ரோக்காந்த வேற்றுப் பொருளின் காந்தமாக்கல் செறிவாகும். H பொருளின் மீது செயல்படும்

காந்தப்புலச் செறிவு மாறினால் Xi-ன் மதிப்பும் மாறினால் சோதனைப் பொருள் ஃப்ரோக் காந்த வேற்றுப் பொருள் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். Xi-ன் மதிப்பு H-ன் மாறுபாட்டினால் வேறுபடாவிடில் சோதனைப் பொருள் ஃப்ரோக் காந்த வேற்றுப் பொருள் கொண்டிருக்கவில்லை என்று கொள்ள வேண்டும். Xi-ன் மதிப்பு காந்தப்புலச் செறிவுடன் வேறுபட்டால் பொருளின் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட காந்த ஏற்புத்திறன்களின் மதிப்பை $\frac{1}{H}$-ன் மதிப்பிற்கு எதிராக ஒரு வரை படத்தில் காட்டியது போல் குறிக்க வேண்டும்.

$\frac{1}{H}$-ன் மதிப்புச் சுழி நிலையில் Xi-ன் மதிப்புத் தூய சோதனைப் பொருளின் மதிப்பினைக் (Xp) கொடுக்கும். பொதுவாக, ஃப்ரோக்



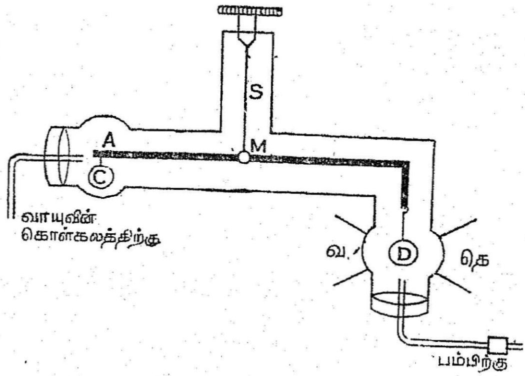
படம் 3.10.

காந்த வேற்றுப் பொருள்கள் தனிமங்களில்தான் கலந்திருக்கும். எனவே, தனிமங்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்களை அளக்கும் பொழுது இந்தத் திருத்தம் இன்றியமையாதது.

3.12. வாயுக்களுக்கான ஒரு திருத்தப்பட்ட க்யூரித் தராசு (Modified curie balance for gases)

வாயுக்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்களைக் கணக்கிடுவதற்கு வைத்ததினால் [9] க்யூரித் தராசைச் சில திருத்தங்களுடன் பயன்

படுத்தினர். இதன் அமைப்பு முறையையே படம் 3.11. விளக்குகின்றது.



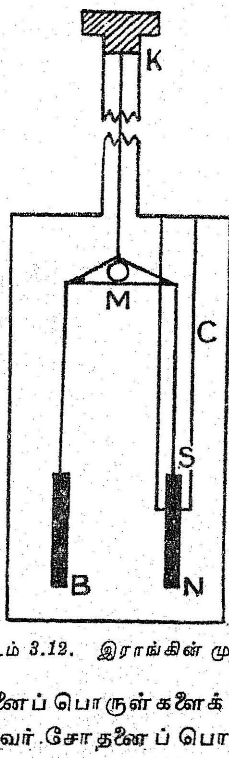
படம் 3.11 வைத்தியநாதனின் தராசு அமைப்பு

குறைந்த எடையுள்ள அலுமினியத்திலான AB என்ற ஒரு சட்டம், ஒரு முறுக்குநாரினுல் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. AB-ன் ஒரு பக்கத்திலிருந்து D என்ற ஒரு மூடப்பட்ட கண்ணுடி பல்பு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இந்த பல்பு குறைந்த டையாக் காந்தத் தன்மையுடைய கண்ணுடியாலானது. பல்பின் இந்த டையாக் காந்தத் தன்மையையும் அதனுள் அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் பாராக் காந்தத் தன்மையும் ஒன்றுக்கொன்று கூடிய விரைவில் சமன் செய்துகொள்ளும் வகையில் காற்று நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இந்த பல்பு ஒரு மின்காந்தத்தின் இரு காந்த முனைகளுக்கிடையிலேற்படும் சீரிலாக் காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. D பல்பின் எடையைச் சமன்செய்ய AB சட்டத்தின் மறு முனையில் C என்ற ஒரு பல்பு இணைக்கப்பட்டு AB கிடைமட்டத்திலிருக்குமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தராசு அமைப்பு தக்கபடி அமைக்கப்பட்ட ஓர் அறையினுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தராசு அறையின் அமைப்பு தராசு அதனுள் எளிதில் இயங்கும் முறையிலிருக்க வேண்டும். இந்த அறை, வாயுக்களை அறையினுள் செல்லுவதற்கும், அவற்றின் அழுத்தங்களை மாற்றுவதற்குமான ஓர் அமைப்புடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. தராசின் இயக்கத்தை M என்ற குழிஆடியில் எதிரொளிக்கும் ஒளிப்புள்ளியை ஓர் அளவுகோலில் நகரச் செய்வதன்மூலம் அளக்கலாம். காற்றை வெளியேற்றும் பம்பின்மூலம் அறையிலுள்ள காற்றை வெளியேற்றலாம். மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்திக் காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவித்தால் பல்பு D சரியாகச் சமன் செய்யப்படாமலிருந்தால் காந்தப் புலத்தில் செறிவான பகுதியை அல்லது செறிவற்ற பகுதியை

நோக்கித் தள்ளப்படும். முறுக்கு முகட்டைத் திருப்பி AB, அறையின் அச்சுடன் இணையச் செய்யவேண்டும். இப்பொழுது அறையினுள் ஒரு டையாக்காந்த வாயுவை அடைத்தால், பல்பு D அதிகப் பாராக் காந்தவியல் கொண்டதுபோல் ஆகி, செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்திற்குத் தள்ளப்படும். பல்பு D-ன் இந்த இயக்கம் காந்தப்புலத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் கிடைத்தளத்திலேற்படுமாறு அமைக்கவேண்டும். இவ்வாறு பல்பின்மீது செயல்படும் விசை முறுக்குநாரில் ஒரு முறுக்கு இரட்டையைத் தோற்றுவிக்கும். இதனுல் ஏற்படும் திருப்பங்களை அளந்த ஒப்பு அளவு முறையில் வாயுக்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை அளக்கலாம்.

3.13. இராங்கின் முறை (Rankine Method):

இராங்கின் (10) மிகக் குறைந்த காந்தத் தன்மையுடைய பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு எளிதானதும் சிறந்த உணர்வுடையதுமான ஒரு முறையைக் கண்டுபிடித்தார். மற்ற முறைகளைப்போல் காந்தத்தை நிலையாக



படம் 3.12. இராங்கின் முறை

இருக்கச்செய்து சோதனைப் பொருள்களைக் காந்தப்புலத்தில் நகரச் செய்வதற்குப் பதில் இவர் சோதனைப் பொருளை நிலைபெறச்செய்து

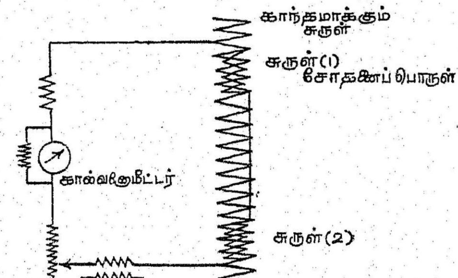
காந்தத்தை நகரும்படி செய்தார். இந்தத் தராசின் அமைப்பினைப் படம் 3.12 காட்டுகின்றது.

இந்த அமைப்பில் ஒரு முறுக்கு முகட்டிலிருந்து ஒரு முறுக்கு நாரினால் கிடை மட்டத்தில் ஒரு குறுக்குச் சட்டம் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சட்டத்தின் ஒரு முனையிலிருந்து NS என்ற ஒரு கோபால்ட் நிக்கல் காந்தக்கட்டை செங்குத்தாகத் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. சட்டத்தை இடைமட்டத்திலிருந்த சட்டத்தின் மறு முனையில் காந்தக்கட்டைக்குச் சம எடையிலுள்ள B என்ற ஒரு செப்புக்கட்டை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. சோதனைப் பொருளடங்கிய உருளையைக் காந்தக்கட்டைக் கிணையாக அருகில் கொண்டுவந்தால், காந்தக்கட்டைக்கும், காந்தப்பொருள் கொண்ட உருளைக்குமிடையில் இழுப்பு விசை அல்லது தள்ளு விசை ஏற்படும். எனவே, காந்தக்கட்டை நகரும். இதன் காரணமாகத் தொங்குநாரில் ஏற்படும் முறுக்கினை அளப்பதன்மூலம், பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறன்களை ஒப்பு அளவீட்டு முறையில் கணக்கிடலாம்.

3.14. தூண்டு காந்த முறை (Induction method):

ஒரு வரிச் சுருளில் சோதனைப் பொருளை நுழைப்பதன்மூலமும் அதனுடைய மின் நிலைமத்தில் (Inductance) ஏற்படும் மாறுதல்களை அளப்பதன்மூலமும் சோதனைப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணக்கிடலாம். இந்தக் கொள்கை அடிப்படையில் அமைக்கப்படுவது தூண்டு காந்த முறைகள். மற்ற காய், க்யூரி முறைகளைப் போல இதற்குப் பெரிய, விலையுயர்ந்த மின்காந்தம் தேவையில்லை. மேலும் இந்த முறை அளவிடுவதிலும் அம் முறைகளைப்போல் தொல்லை தரும் அமைப்புகளைக் கொண்டிருக்கவில்லை.

பழக்கத்திலிருக்கும் பல முறைகளில் எளிதான ஒருமுறை கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் அமைப்பு முறை படம் 3.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 3.13. தூண்டு காந்த முறை

ஒரு நீண்ட காந்தமாக்கும் சுருளின்மூலம் 75 முதல் 200 காஸ் வரையிலான காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம். இந்தச் சுருள் தன்னுள் ஒன்றுக்கொன்று எதிராகச் சுற்றப்பட்ட 1,2 என்ற இரு துணைச் சுற்றுகளைக் கொண்டிருக்கின்றது. சோதனைப் பொருளை 1-லிருந்து 2-க்கு விரைவாக மாற்றிவைப்பதன்மூலம் சுருள்களின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் மாறும். இதனை இணைத்திருக்கும் மின் சுற்றிலேற்படும் மின்னோட்டத்தைக் கால்வனாமீட்டரின் மூலம் அளந்து அறியலாம். கால்வனாமீட்டரில் ஏற்படும் விலக்கம் சோதனைப் பொருளின் பரும காந்த ஏற்புத் திறனுக்கு ஏற்ப நேர் வீதத்திலமையும்.

இந்த முறையில் சோதனைப் பொருள் அதிக அளவில் தேவைப் படும். இந்த முறையில் 400 காஸ் காந்தப்புலத்திற்குள் தெவிட்டிய நிலையடையும். ஃப்ரோக் காந்தப் பொருள்களின் காந்தப் பொருள் களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களையே கண்டுபிடிக்கலாம் என்பது வெளிப்படை.

இதுவரை பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களைக் கண்டு பிடிப்பதற்கான சில முறைகள் கூறப்பட்டன. இவற்றைத் தவிர இன்னும் பல முறைகளை விஞ்ஞான வெளியீடுகளிலும், காந்த வியல் புத்தகங்களிலும் காணலாம்.

மேலே கூறிய முறைகளை, அவற்றிற்குத் தேவைப்படும் காந்தப்புலம் எத்தகைய பொருள்களுக்குப் பயன்படுத்தலாம் என்பதும் அவற்றிலிருந்து பெறப்படும் நுண்ணியம் முதலிய வற்றை ஒப்பிட்டும் அட்டவணை 3.2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 3.2.

முறை	காந்தப் புலத்தின் பொதுப் பண்பும், அவற்றின் வலிமையும்	முறைக்கு ஒத்த காந்தப் பொருள்கள்	காந்தப் பொருள்களின் இயற்பியல் நிலை	காந்தப் பொருள்களின் அமைப்பு	நுண்ணியம்	வெப்பநிலை அமைப்பு
காய் (Gouy)	சீரான காந்தப்புலம். மின் காந்தங்களைக் கொண்டு தேவையான அளவிற்கு 3000 முதல் 15,000 ஓர்ஸ்டெட் வரை இம் முறைக்குத் தேவையான காந்தப் புலத்தைப் பெறலாம்.	டையா, பாராக் காந்தப்பொருள்கள்	தூளாக்கப்பட்ட திண்மப் பொருள், தூய நீர்மங்கள், கரைசல்கள்	திண்மப் பொருள் 0·5 கிராம், நீர்மப் பொருள் 5மி.லி.	± 1% ஒப்படர்த்தியைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட்டால். நுண்ணியம் ±1% துகள்களைச் சாற்றுக்குமிழ்கள் இல்லாது அடைக்க வேண்டும்.	வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கான அமைப்பை எளிதில் அமைத்துக் கொள்ள இயலும்.
க்விங்கே (Quincke)	காய் முறைக்குத் தேவையான அளவு	காய் முறைக்குத் தேவையான	நீர்மங்கள், கரைசல்கள்	5 மி.லி.	± 0·1%	பொருள்களின் கொதிநிலை உருகுநிலை முதலியவற்றைப் பொருத்து வெப்பநிலை மாறுபாட்டை உண்டாக்கிக் கொள்ளலாம்.
இரான்கின் Rankine	குறைந்த புல வலிமையே போதுமானது 15—100 ஓர்ஸ்டெட்	காய் முறைக்குத் தேவையான	நீர்மங்கள், கரைசல்கள்	2 மி.லி.	± 0·1%	க்விங்கே முறைபோல
ஃபாரடே முறை Faraday	சீரிலாக் காந்தப் புலம். காய் முறைக்குத் தேவையான அளவு காந்தப் புலம் வேண்டும்.	டையா, பாரா, ஃப்ரோக் காந்தப்பொருள்கள்	தூளாக்கப்பட்ட திண்மப் பொருள்கள், பொதியுறைகளில் அடைக்கப்பட்ட நீர்மப் பொருள்கள்	சில மி. கிராம்களே போதுமானது.	± 0·1%	வெப்பநிலை மாறுபாட்டை எளிதில் அமைத்து, அதிக அளவுள்ள வெப்பநிலைகளையும் பெற முடியும்
தூண்டு காந்தமுறை	பொதுவாகக் காந்தப் புலமே தேவையில்லை. ஃப்ரோக் காந்தப் பொருள்களுக்குத் தேவைப்படும்.	டையா, பாரா, ஃப்ரோக் காந்தப்பொருள்கள்	திண்மப் பொருள்கள், நீர்மப் பொருள்கள்	திண்மப் பொருள் 0·5 கி. நீர்மப் பொருள் 5 மி.லி.	± 0·1%	வெப்பநிலை மாறுபாட்டில் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறனை இம்முறையில் காண இயலாது.

4. அணு அமைப்பு

4.1. தொடக்கவுரை :

பொருள்களின் காந்தத் தன்மையை அப் பொருள்களைத் தோற்றுவிக்கும் அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளின் காந்தத் தன்மையின்மூலம் அறிந்துகொள்ளலாம். எனவே, பொருள்களின் காந்தப் பண்புகளைப்பற்றி அறிவதற்கு அப் பொருள்களின் அடிப் படைத் துகள்களைப்பற்றி அறிந்துகொள்ளவேண்டும். ஆகையால், அணுக்களின் உள் அமைப்புகளைப்பற்றிப் பொதுவாக இயற் பியல் மொழியிலும் சிறப்பாக நிறமாலையியல் பெயரீட்டு முறை யிலும் தெளிவாக அறிந்துகொள்வது அவசியமாகின்றது. இத்தகைய பெயரீட்டு முறைகள் அணுவின் உள்ளமைப்புப்பற்றி வரும் பகுதிகளில் சுருக்கமாகக் கூறப்பட்டுள்ளன.

4.2. போர் அணு அமைப்பு முறை (Bohr atom model)

ஹைட்ரஜன் அணு அல்லது அதனை ஒத்த அமைப்புகளின் வரி நிறமாலையின் தோற்றத்தை விளக்குவதற்கு 'போர்' என்ற விஞ்ஞானி ஓர் அணு அமைபபு முறையை வெளியிட்டார். அதன் படி அணு தன் மையத்தில் நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட அணுக் கருவையும் அதனைச் சுற்றி வட்டப் பாதைகளில் இயங்கும் எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருப்பதாகக் கருதப்படும். இதற்காக அவர் மூன்று கோட்பாடுகளை வெளியிட்டார். அதன்படி (1) இந்தச் சுற்றுப் பாதையிலுல் உண்டாகும் கோண உந்தம் $h/2\pi$-ன் மடங்குகளாக இருக்கவேண்டும். இதில் h = பிளங்ஸ் மாறிலி யாகும். இதன் மதிப்பு 6.610×10^{-27} எர்க்/செக. இதனுல் சுற்றுப் பாதையின் ஆரங்கள் சில தனித்தனி அளவுகளுக்குக் கட்டுப் படுத்தப்படுகின்றது. (2) எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு சுற்றுப்பாதையில் நகரும் வரையில் மின்காந்தக் கதிர் வீசலை வெளியிட முடியாது. (3) எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு நிலையான பாதையிலிருந்து அணுக் கருவின் அருகிலிருக்கும் மற்றொரு பாதைக்குத் தாண்டும்பொழுது

எலெக்ட்ரான், ν அதிர்வெண் உடைய ஒன்றை, நிறக் கதிர் வீசலை $h\nu$ அளவு வெளியிடுகின்றது.

முதல் கோட்பாட்டின்படி, சுற்றுப்பாதையுடன் தொடர்புடைய கோண உந்தம்

$$P\phi = \frac{nh}{2\pi} \text{ (}n = \text{ முழு எண்)} \quad (4.1)$$

ஆனால் 'm' எலெக்ட்ரான் நிறையும் ω கோணத் திசை வேகமும் a_n, n எண்ணுடைய சுற்றுப் பாதையின் ஆரமுமானல்

$$P\phi = ma_n^2\omega$$

$$\text{அல்லது } \frac{nh}{2\pi} = ma_n^2\omega \quad (4.2)$$

Z அணுவின் அணு எண்ணுல் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் Ze ஆகும். எலெக்ட்ரான் சுற்றுப் பாதையிலிருப்பதற்கான நிபந்தனையை

$$\frac{Ze^2}{a_n^2} = \frac{ma_n^2\,\omega^2}{a_n} \quad (4.3)$$

என்று எழுதலாம்.

$$Ze^2 = \frac{ma_n^4\,\omega^2}{a_n}$$

$$= \frac{m^2a_n^4\,\omega^2}{a_n\,m}$$

$$\text{அல்லது } a_n = \frac{m^2a_n^4\,\omega^2}{Ze^2\,m} \quad (4.4)$$

ஆனல் சமன்பாடு 4.1-ன்படி,

$$ma_n^2\,\omega = \frac{nh}{2\pi}$$

சமன்பாடு (4.4).

$$a_n = \frac{n^2\,h^2}{4\pi^2\,Ze^2m} \quad (4{\cdot}5)$$

என்றாகும்.

எலெக்ட்ரானின் நிலைஆற்றல் $= -\frac{Ze^2}{a_n}$.

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

$= \frac{1}{2} ma_n^2 \omega^2$

ஆனல், $\frac{Ze^2}{a_n^2} = ma_n \omega^2$

அல்லது,

$$\frac{Ze^2}{2a_n} = \frac{1}{2} ma_n^2 \omega^2$$

எலெக்ட்ரானின் கூடுதல் ஆற்றல்

= நிலைஆற்றல் + இயக்க ஆற்றல்

$$= -\frac{Ze^2}{a_n} + \frac{Ze^2}{2a_n}$$

$$W_n = -\frac{Ze^2}{2a_n} \qquad (4.6)$$

சமன்பாடு 5ஐயும் 6ஐயும் இணைத்து

$$W_n = -\frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{n^2 h^2} \qquad (4.7)$$

$n = 1$ ஆனல், இந்த ஆற்றல் சிறுமமாக இருக்கும். இது இயல்பு நிலை அல்லது அடிப்படை நிலை என்று வழங்கப்படும்.

போரின் மூன்ருவது கோட்பாட்டின்படி எலெக்ட்ரான் ஒரு நிலையான சுற்றுப் பாதையிலிருந்து (n_2) மற்ருென்றுக்குத் (n_1) தாண்டும்பொழுது, ஒற்றைநிறக் கதிர் வீசல் வெளிப்படுகின்றது. இந்தக் கதிர் வீசலின் அதிர்வெண்

$$\nu = \frac{2\pi^2 mz^2 e^4}{h^3}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] \qquad (4.8)$$

ஹைடிரஜன் அணுவிற்கு n_1-க்கு 1, 2, 3 மற்றும் 4 என்ற மதிப்புகளையும் n_2-விற்கு n_1-ஐவிடப் பெரிய முழு எண் மதிப்புகளையும் கொடுத்தால் சமன்பாடு (4.8) லைமன், பார்மர், பேஷன் மற்றும் ப்ராக்கட் வரிசைகளைக் குறிக்கும்.

4.3. ஸாமர் பீல்டு அணு அமைப்பு

சமன்பாடு (4·8) முழுமை அடைந்ததாகக் கொள்ளப்பட மாட்டாது. இதில் அணுக்கரு நிலையாக இருப்பதாகக் கொள்ளப் பட்டது. ஆனால் உண்மை இவ்வாறில்லை. மேலும், வட்டப் பாதை அமைப்பு முறை உண்மையான நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையே ஆகும். எலக்ட்ரான்கள் நீள் வட்டப் பாதையில்தான் இயங்கு கின்றன. இதனைக் கருத்தில்கொண்டு ஸாமர் ஃபீல்டு (Sommer field) என்பவர் போர் கொள்கையில் சில மாற்றங்களைச் செய்தார். எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தத்தையும், ஆர உந்தத்தையும் தனித்தனியாக குவான்டம் அளவீடு செய்தார். அதன்படி

$$\oint P_Q \, d_Q = Kh$$
$$\oint P_r \, d_r = n_r h$$

என்றும் ஆகும். இதன் காரணமாக சமன்பாடு (4.7) உள்ள 'n' $(K+n_r)$ என்றாகும். அதாவது நீள் வட்டப்பாதையின் ஆற்றல் அதற்கு இணையான வட்டப்பாதையின் ஆற்றலுக்குச் சமமாகும். எனினும், குவான்டம் எண் 'n' கொண்ட ஒரு வட்டப்பாதை a_0 ஆரம் கொண்ட ஒரு வட்டப்பாதையாகவும் மற்றும் (n-1) நீள் வட்டப் பாதைகளாகவும் பிரிக்கப்படுகின்றது. மேலும், எலெக்ட் ரான்கள் வேகமாக நகரும்பொழுது அதன் நிறையை $m_0/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் m_0 என்பது இயங்காத நிலையில் அல்லது குறைந்த வேகத்தில் இயங்கும் எலெக்ட்ரானின் நிறையாகும். ஸாமர்ஃபீல்டு இதனைச் சேர்த்து எலெக்ட்ரான் பாதைகளின் ஆற்றலைக்கணக்கிட்டார். அதன்படி 'n' எண்ணுடைய பாதையின் ஆற்றல் W_n ஒன்றுக்கொன்று சிறிதளவு வேறுபாடுகள் கொண்ட 'n' ஆற்றல் நிலைகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. இதனை

$$W_n = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^2}\left[\frac{1}{n^2} + \frac{4\pi^2 z^2 e^4}{c^2 h^2}\left(\frac{n}{k} - \frac{3}{4}\right)\frac{1}{n^4}\right] \quad (4.9)$$

$$= -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^2}\left[\frac{1}{n^2} + z^2 \alpha^2 \left(\frac{n}{k} - \frac{3}{4}\right)\frac{1}{n^4}\right] \quad (4.10)$$

என்று எழுதலாம்.*1 இதில் α என்பது துணைவரி அமைப்பு மாறிலி (Fine structure constant) எனப்படும்.

'n' குவான்டம் எண்ணுடைய எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் W_n 'n' ஆற்றல் நிலைகளில் பரிபட்டு இருக்கக்கூடுமாதலால் n_2

*1 இந்தச் சமன்பாட்டை வருவிக்கும் முறையை எந்தவொரு நிறமாலை யியல் புத்தக "திலும் காணலாம்.

குவான்டம் நிலையிலிருந்து n_1 குவான்டம் நிலைக்கு ஓர் எலெக்ட்ரான் மாறும்பொழுது n_1 n_2 வெவ்வேறான ஆற்றல்நிலை மாற்றங்கள் ஏற்படக்கூடும் என்று தோன்றலாம். அதாவது போர் முறையில் $n_2 \rightarrow n_1$ நிலை மாற்றத்தால் ஏற்படும் ஒரு நிற வரிக்குப் பதில் சிறிது சிறிது மாறுபடும் n_2 n_1 வரிகள் ஏற்படவேண்டும். ஆனால், இவற்றில் பெரும்பாலான வரிகள் நிறமாலையில் காணப்படுவதில்லை. எனவே, இந்த நிலைமாற்றங்கள் ஏற்படுவதற்கான விதியை (Selection Rule) $\triangle K = \pm 1$ என்று கொள்ளப்பட்டது.

இதனைக் கோண உந்தம் $h/2\pi$ அளவு மாறுபடும் ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையில் மட்டுமே எலெக்ட்ரான்கள் நிலைமாற முடியும் என்று கூறலாம்.

4.4. எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி

இதுவரை அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான் அதன் சுற்றுப் பாதை இயக்கத்தின் காரணமாகக் கோண உந்தம் மட்டுமே கொண்டிருப்பதாகக் கருதப்பட்டது. ஆனால், எலக்ட்ரான்கள் இதனுடன் தற்சுழற்சியும் கொண்டிருப்பதாக நிரூபிக்கப்பட்டது. எனவே, எலக்ட்ரான்கள் உட்கோண வேகம் $\frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$-ம் இதன் காரணமாக காந்தத் திருப்புத்திறன் $\frac{h}{2\pi}\frac{e}{2m_{oc}}$-ம் கொண்டு இருப்பதாகச் சோதனைகள் நிரூபித்துள்ளன.

4.5. குவான்டம் எண்கள்

நிறமாலை வரிகளின் தோற்றத்தை விளக்குவதற்கு அணுவில் உள்ள ஒவ்வொரு எலக்ட்ரானுக்கும் நான்கு குவான்டம் எண்கள் குறிப்பிடமுடியும்.

(1) முதன்மைக் குவான்டம் எண் (Principal quantum number) இது 1, 2. 3, 4, என்ற முழு எண் மதிப்புகளைக் கொள்ளும். இது சுற்றுப் பாதையின் அளவையும் அதன் நிலையையும் குறிக்கும்.

2. l-சுற்றுப் பாதை கோண உந்த குவான்டம் எண் (Orbital) angular momentum quantum number). இது சுற்றுப் பாதை இயக்கத்தின் கோண உந்தத்தின் அளவாகும். இது குவான்டம் அலகான $h/2\pi$ அலகில் கணக்கிடப்படும். l, o, 1, 2, 3........ $(n-1)$ என்ற ஏதாவது ஒரு முழு எண் மதிப்புகளை ஏற்கும். $l = o$, 1, 2, 3, 4 எண் கொண்ட எலக்ட்ரான்களை s, p, d, f, g எலக்ட்ரான்கள் என்று குறிப்பிடுவது வழக்கு.

3. s-தற்சுழற்சி உந்தம் குவான்டம் எண் (Spin momentum quantum number) இதனையும் $h/2\pi$ குவான்டம் அலகால் அளக்கப் படும். எலக்ட்ரான்கள் வீதிச்சுற்று, கோண உந்தத்துடன் $\left(\frac{lh}{2\pi}\right)$, $\frac{sh}{2\pi}$ தற்சுழற்சி உந்தமும் பெற்றிருக்கும். ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானுக்கும் $s = \frac{1}{2}$ ஆகும்.

4. J-கூடுதல் கோண உந்தம் (Total angular momentum) இது l, s இவற்றின் வெக்டர் கூடுதலாகும். ஓர் எலெக்ட்ரானின் $l = l_1$, $s = \frac{1}{2}$ ஆனல் $j = \pm\frac{1}{2}$ ஆகும். $h/2\pi$ அலகால் அளக்கப்படும்.

மேலே குறிப்பிட்ட நான்கு குவான்டம் எண்களும் காந்தப்புல மற்ற நிலையில் ஒளியை வெளிவிடும் எலெக்ட்ரான்களின் தன்மையை விளக்குவதற்குப் போதுமானதாக இருப்பினும் செறிவு நிறைந்த காந்தப் புலத்தில் இவ் எலெக்ட்ரான்களின் தன்மையை விளக்குவதற்கு மேலும் இரு குவான்டம் எண்கள் தேவையாகும். செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்தில் l, s இவற்றின் பிணைப்புகள் விடுபட்டுக் காந்தப்புல திசையில் ஒவ்வொரு கூறும் தனித்தனியாக அளவீடு செய்யப்படும். எனவே, காந்தப்புலத் திசையில் s-ன் கூறு தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் m_s (Spin magnetic quantum number) எனப்படும். இது, தற்சுழற்சி அச்சு காந்தப்புலத் திசைக்கு இணையாக இருப்பதற்கு ஏற்ப $\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$ என்ற மதிப்பினைப் பெறும். இது போலக் காந்தப்புலத் திசையில் l-ன் கூறு சுற்றுப் பாதைக் காந்தக் குவான்டம் எண் (m_l) (Orbital magnetic quantum number) எனப்படும். இது முழு எண்களான $l, l-1, \ldots 0 -(l-1), -l$ என்ற மதிப்புகளை மட்டும் ஏற்கும்.

ஒரு செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்தில் ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் கீழ்வரும் ஐந்து குவான்டம் எண்களினல் குறிக்கப்படும்.

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

$$l = o, 1, 2 \ldots\ldots\ldots (n-1)$$

$$s = \frac{1}{2}$$

$$m_l = l, -l+1 \ldots\ldots o \ldots\ldots (l-1), l$$

$$m_s = -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$$

4.6. ரஸ்ஸல்—ஸாண்டர்ஸ் பிணைப்பு (Russell-Saunders)

ஒவ்வோர் அணுவிலும் பல எலெக்ட்ரான்கள் வெவ்வேறு ஆற்றல் நிலைகளைக் கொண்டிருப்பதால் இவ்வெலக்ட்ரான்களின்

சுற்றுப் பாதை உந்தங்களையும் தற்சுழற்சி உந்தங்களையும் பிணைத்து அணுவின் தொகுபயன் தற்சுழற்சி உந்தத்தையும் விளக்க ரஸ்ஸல் ஸாண்டர்ஸ் என்பவர்கள் ஒரு பிணைப்பு முறையினை வெளியிட்டார்கள். இது $L-S$ பிணைப்பு அல்லது ரஸ்ஸல்-ஸாண்டர்ஸ் பிணைப்பு எனப்படும். இந்த முறையில் பல l வெக்டர்களையும் தொகுத்துத் தொகுபயன் L வெக்டர் காணவேண்டும். இதே போல் பல s வெக்டர்களைத் தனியாகத் தொகுத்துத் தொகுபயன் S வெக்டர் காணவேண்டும். பின்னர், L ஐயும் S ஐயும் தொகுத்துத் தொகுபயன் J வெக்டர் காணவேண்டும். இந்த J வெக்டர் அணுவிலுள்ள எல்லா எலெக்ட்ரான்களின் கூடுதல் கோண உந்தத்தைக் குறிக்கும்.

இவ்வாறு தொகுபயன் J வெக்டரைக் கணக்கிடும்பொழுது சில கருத்துகளைக் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரானின் எண்ணிக்கையையும் l, s வெக்டர்களின் திசையையும் பொறுத்து L வெக்டர் o. 1, 2, 3 என்ற மதிப்புகளை மட்டுமே கொள்ளும். இதேபோல் S வெக்டர் o, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, 2...... என்ற மதிப்புகளை மட்டுமே ஏற்கும். எனவே, தொகுபயன் J வெக்டர் S முழு எண்ணுனால் o, 1, 2, 3......என்ற மதிப்புகளையும், S அரை முழு எண்ணுனால் $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$......என்ற மதிப்புகளையும் ஏற்க முடியும்.

உதாரணமாக, ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்ட அணு, இயல்பு நிலையில் $L = o$, $S = \frac{1}{2}$ கொண்டிருக்கும். $L = O$, $S = \frac{1}{2}$

எனவே,

$$J = \pm\frac{1}{2}$$

$l = o$ என்ற இயல்பு நிலையில் ஓர் எலெக்ட்ரானையும் $l = 1$ என்ற எழுச்சி நிலையில் (Excited state) ஓர் எலெக்ட்ரானையும் கொண்ட ஓர் அணுவின் J வெக்ட்டரைக் கீழ்க்கண்டபடி கணக்கிடலாம்.

$$l = o \text{ மற்றும் } 1 \quad \text{எனவே } L = 1$$

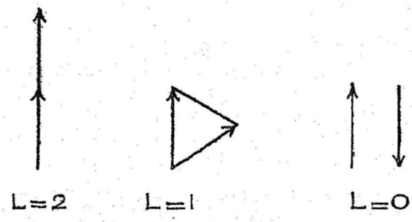
$$S = o \text{ அல்லது } 1$$

(இரு எலெக்ட்ரான்களும் இணையான தற்சுழற்சிகளைக் கொண்டிருந்தால் $S = 1$, எதிரிணையாக இருந்தால் O)

எனவே,

$$J = o, 1, 2\ldots\ldots \text{ஆகும்}$$

அணுவின் இரு எலெக்ட்ரான்களும் $l = 1$ ஆக இருந்தால் தொகுபயன் $L = o$, 1, 2 ஆகும். (படம் 4.1.)



படம் 4.1.

இதுபோல L வெக்ட்டரையும் S வெக்ட்டரையும் இணைக்கும் பொழுது $L \geq S$ ஆக இருந்தால் J, $(2S + 1)$ மதிப்புகளையும் $L < S$ ஆக இருந்தால் J, $(2L+1)$ மதிப்புகளையும் ஏற்கும். ஓர் அணுவின் ஆற்றல் நிலை J-க்கு ஏற்ப $(2S+1)$ அல்லது $(2J+1)$ ஆற்றல் நிலைகளின் பெருமப் பிரிவினைகளைக் (Maximum multiplicity) கொடுக்கும். இது அந்த அணு வெளியிடும் நிறமாலை வரிகளைக் குறிக்கும். இந்த ஆற்றல் நிலைப்பிரிவில் புறத்திலுள்ள இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையிலுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு பிரிநிலை அகலம் (Multiplicity width) எனப்படும்.

4.7. பாலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவம் (Pauli's exclusion principle)

நிறமாலையியலில் அடிப்படை முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒரு தத்துவத்தைப் பாலி வெளியிட்டார். அதனைப் பின் வருமாறு கூறலாம். "ஒரு செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்திலிருக்கும் ஓர் அணு அதன் எலெக்ட்ரான்களுள் ஒரு குறிப்பிட்ட குவான்டம் வரிசை எண்களைக் (n, e, ms, me) கொண்ட ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்க முடியாது. அல்லது எல்லாக் குவான்டம் எண்களும் காத்திருக்கும்படியான இரு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்க முடியாது. உதாரணமாகக் குரோமியம் அணுவில் ஒரே ஓர் எலெக்ட்ரான்தான் n, e, me, ms இவற்றை முறையே 2, 1, 1-$\frac{1}{2}$ என்று கொண்டிருக்கமுடியும். இதற்கு நேரடி நிருபணம் இல்லை. இருப்பினும், எந்தவொரு சோதனையும் இதுவரை இந்தக் கொள்கை பொய்யானது என்று நிருபிக்கவில்லை. $n = 1$ மற்றும் $n = 2$ குவான்டம் எண்களைக்கொண்ட எலெக்ட்ரான்களின் மற்றக் குவான்டம் எண்கள் கீழ் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 4.1.

அணு எண்		n	l	me	ms
1	K	1	0	0	$+\frac{1}{2}$
2		1	0	0	$-\frac{1}{2}$
3	L	2	0	0	$-\frac{1}{2}$
4		2	0	0	$+\frac{1}{2}$
5		2	1	-1	$-\frac{1}{2}$
6	i	2	1	-1	$+\frac{1}{2}$
7		2	1	0	$-\frac{1}{2}$
8		2	1	0	$+\frac{1}{2}$
9		2	1	1	$-\frac{1}{2}$
10		2	1	1	$+\frac{1}{2}$

அட்டவணையிலிருந்து ஒரு முடிவடைந்த கூட்டிற்கு *me* மற்றும் *ms* இவற்றின் தொகுபயன் சுழியாகின்றது. எலெக்ட்ரான்களின் தொகுபயன் உந்தக்கூறு காந்தப்புலத் திசையில் சுழியாகின்றது. இதிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்பட்ட கூட்டிற்குத் தொகு பயன் கோண உந்தம், மற்றும் தொகுபயன் காந்தத் திருப்புதிறன் சுழியாக வேண்டும். இத்தகைய அணுக்கள் டையாக் காந்தத் தன்மையுடையதாக இருக்கும். பொருளின் காந்தப்பண்பு பூர்த்தி யான கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பொறுத்தே அமையுமென்ருகின்றது.

4.8. அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு முறை (The arrangements of electrons in atoms)

அணுவின் பல்வேறு தொகுதிகளுள்ளும் அதன் உள் தொகுதிக ளுள்ளும் எலெக்ட்ரான்களை நிரப்புவதில் இரு விதிகளைக் கடைப் பிடிக்க வேண்டும்.

(1) எலெக்ட்ரான் நிலை அமைப்புகள் பாலிக் கொள்கைக்குக் கட்டுப்பட்டிருக்க வேண்டும்.

(2) அணுவின் ஆற்றல் சிறுமமாக இருக்கும்படி அமைய வேண்டும்.

பாலியின் கொள்கைக்கான நான்கு குவான்டம் எண்களாவன:

$$n = 1, 2, 3$$
$$l = 0, 1, 2...(n-1)$$
$$m_l = -l, -l+1...0, ...l-1, l$$
$$ms = \pm \tfrac{1}{2}$$

மொத்தக் குவான்டம் எண் $n = 1$ ஆனால் l, o என்ற மதிப்பைத்தான் பெறமுடியும். எனவே, $ml = o$ ஆகும். மற்றும் $m_s = \pm \frac{1}{2}$ என்றாகும். எனவே, $n = 1$, $l = o$ என்ற நிலைகளில் ஓர் அணுவில் இரு எலக்ட்ரான்களே இருக்க முடியும். ஒன்று $m_s = +\frac{1}{2}$; மற்றொன்று $m_s = -\frac{1}{2}$ என்றிருக்கும். இந்த இரு எலெக்ட்ரான்களும் k கூட்டை நிரப்புகின்றன.

$n = 2$ ஆனால் $l = o$ அல்லது 1 ஆகும். $l = o$ ஆனால் முன் போல் $ml = o$ $m_s = m_s = \pm \frac{1}{2}$ எனவே, (2, 0) துணைக்கூட்டை இரு எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பும்.

$l = 1$ ஆனால் $m_l = {}^{-1}, 0, 1$ என்றாகும்; m_l மதிப்பிற்கும் $m_s = \pm \frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே, (2, 1) துணைக்கூட்டை ஆறு எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பும். இதனால் $n = 2$ என்ற L கூட்டில் $2+6=8$ எலெக்ட்ரான்களிருக்கும்.

பொதுவாக m_l, $(2\,l+1)$ மதிப்புகளைக்கொண்டது. ஒவ்வொரு m_l மதிப்பும் இரு m_s மதிப்புகளைக்கொண்டிருக்கும் ($-\frac{1}{2}$ மற்றும் $+\frac{1}{2}$). எனவே, $n = n$ என்ற கூட்டில்

$$\sum_{l=o}^{l=n-1} 2(2_L+) = 2n^2$$

பாலியின் கொள்கைப்படி மொத்தக் குவான்டம் எண் 'n' மதிப்புடைய கூட்டில் $2n^2$ எலெக்ட்ரான்கள் கொண்டிருக்கும்.

அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பினை எழுதுவதற்கு ஒரு சுருக்கெழுத்து முறை பயனுடையதாகும். குவான்டம் எண் $n = 1, 2, 3, 4$. இவற்றை K, L, M, N என்ற ஆற்றல் நிலைகளினுல் குறிக்கலாம். $l = o, 1, 2, 3$ நிலைகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை s, p, d, f என்று குறிக்கப்படும். உதாரணமாக $1s^2$ என்பது $n = 1$ ஆகவும் $l = o$ ஆகவும் கொண்ட 2 எலெக்ட்ரான்களைக் குறிக்கும்.

இதுபோல ஆர்கான் அணுவில் அடங்கியுள்ள எலெக்ட்ரான்களை $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$ $3p^6$ என்று எழுதலாம். இது $n=1$ ஆகவும், $l=o$ ஆகவும் கொண்ட இரு K எலெக்ட்ரான்களையும் $n = 2$ ஆகவும், $l = o$ ஆகவும் கொண்ட இரு L எலெக்ட்ரான்களையும் $n = 2$ ஆகவும், $l = 1$ ஆகவும் கொண்ட ஆறு L எலெக்ட்ரான்களையும் $n = 3$ ஆகவும், $l = o$ ஆகவும் கொண்ட இரு M எலெக்ட்ரான்களையும் $n = 3$ ஆகவும், $l = 1$ ஆகவும் கொண்ட ஆறு M எலெக்ட்ரான்களையும் குறிக்கும். பொட்டாஷியம் அணு மேலே கூறிய ஆர்கான் அணு அமைப்புடன் கூடுதலாக ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு N எலெக்ட்ரானை $n = 4$, $l = o$ ஆக $4s^1$ அல்லது $4s$ எலெக்ட்ரான் எனப்படும்.

இவ்வாறு குறிப்பிடும்பொழுது அந்த எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் நிலை அறியப்படுவதில்லை. இதனைக் கீழ்வரும் குறியீட்டு முறையால் குறிக்கப்படும். எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் தொகுபயன் வீதி நிலை உந்தங்கள் 0, 1, 2, 3. இவை முறையே S, P, D, F என்ற எழுத்துகளால் குறிக்கப்படும். ஆற்றல்நிலைப் பிரிவினைக் காட்டும் $(25+1)$-ஐ $[L \geq S$ இருக்கையில்] எழுத்தின் முன்புறத் தலைப் பகுதியிலும், அணுவின் J மதிப்பைக் கீழ்ப் பகுதியிலும் குறிக்கப்படும். உதாரணமாக இயல்பு நிலையிலிருக்கும் ஆர்கான் அணுவிற்கு $L = o$ மற்றும் $S = o$ $(25+1)=1$ எனவே $J = o$. எனவே, இதனை மேலே சொன்ன முறையில் ${}^1So$ என்று எழுதலாம். இதனை ஒன்று So என்று படிக்காமல் ஒற்றை வரி So என்று படிக்கவேண்டும்.

இயல்பு நிலையிலிருக்கும் பொட்டாசியம் அணுவிற்கு $L = o$; $S=\frac{1}{2}$; $2S+1=2$; $J=\frac{1}{2}$ இதனை ${}^2S\frac{1}{2}$ என்று எழுதலாம். பொட்டாசியம் அணுவில் எல்லா எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்புகளையும் எழுத வேண்டுமென்பதில்லை. 4_s அல்லது ${}^2S\frac{1}{2}$ என்று எழுதினால் போதுமானது. ஏனெனில் பூர்த்தி அடைந்த கூட்டினுள் இருக்கும் எலெக்ட்ரான்களினால் L, S மற்றும் J இவற்றுள் பங்குகொள்வதில்லை. ${}^2S\frac{1}{2}$ என்று எழுதுவதினால் பொட்டாசியம் அணு இயல்பு நிலையில் கோண உந்தம் கொண்டிருக்கின்றது என்றும், அதன் காரணமாகக் காந்தத் திருப்புதிறன் பெற்றிருக்கிறதென்றும் பெறப்படுகின்றது. பொட்டாசியம் அணுவின் ஆற்றல்நிலை முழுவதும் ${}^2S\frac{1}{2}$-ன்மூலம் குறிப்பிடப்படுகின்றது.

இந்த முறையில் தனிமங்களின் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு முறைகளும் ஒவ்வோர் அணுவின் இயல்புநிலைகளும் அட்டவணை 4.2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அத் தனிமங்களின் நிறைகாந்த ஏற்புத்திறன்களும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 4.2. தனிமங்களின் இயல்பு நிலையும்

அணு	அணு எண்	K 1s	L 2s	L 2p	M 3s	M 3p	M 3d	N 4s	N 4b	N 4d	N 4f	O 5s	O 5p	O 5d	P 6s	P 6p	P 6d	Q 7s	இயல்பு நிலை	காந்த ஏற்புத் திறன் XX 10^{-6}
H	1	1																	2S ½	—1·97
He	2	2																	1 So	—0·47
Li	3	2	1																2S ½	+0·50
Be	4	2	2																1 So	—1·00
B	5	2	2	1															2P ½	—0·69
C	6	2	2	2															3 Po	—0·49
N	7	2	2	3															4 S 1½	—0·8
O	8	2	2	4															3 P_2	+106·2
F	9	2	2	5															2 P 1½	—
Ne	10	2	2	6															1 S_0	—0·33
Na	11	10 Ne நியான் உள்ளகம்			1														2 S ½	+0·51
Mg	12				2														1 S_0	+0·55
Al	13				2	1													2 P ½	+0·65
Si	14				2	2													3 P_0	+0·13
P	15				2	3													4 S 1½	—0·90
S	16				2	4													3 P_2	—0 49
Cl	17				2	5													2P 1½	—0·57
A	18	2	2	6	2	6													1 S_0	—0·48
K	19	18 A ஆர்கான் உள்ளகம்						1											2 S ½	+0 52
Ca	20							2											1 S_0	+1·10
Sc	21						1	2											2D 1½	—
Ti	22						2	2											3 F_2	+1 25
V	23						3	2											4 F 1½	+1 40
Cr	24						4	1											7 S_3	+3 08
Mn	25						5	2											6 S2½	+11·8
Fe	26						6	2											5 D_4	ஃபெரோ
Co	27						7	2											4 F4½	,,
Ni	28						8	2											3 F_4	,,
Cu	29	2	2	6	2	6	10	1											2 S ½	—0 086
Zn	30	28 Cu^+ அயனியின் உள்ளகம்						2											1 S 10	—0 157
Ga	31							2	1										2 P ½	.. 0·24
Ge	32							2	2										3 Po	—0·12
As	33							2	3										4 S 1½	—0 31
Se	34							2	4										3 P_2	—0·32
Br	35							2	5										2 P 1½	—0 89
Kr	36	2	2	6	2	6	10	2	6										1 So	—0·35
Rb	37	36 Kr கிராப்டன் உள்ளகம்										1							2 S ½	+0·21
Sr	38											2							1 So	—0 20
Y	39									1		2							2 D 1½	+5·3
Zr	40									2		2							3 F_2	—0·45
Cb	41									4		1							6 D ½	+1·5
Mo	42									5		1							7 S_3	+0 04
Ma	43									6		2							—	—
Ru	44									7		1							5 F_5	+0·50
Rh	45									8		1							4 F 4½	+1·11
Pd	46	2	2	6	2	6	10	2	6	10									1 S_0	+5·4

அவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன்களும்

அணு	அணு எண்	K 1s	L 2s	2p	M 3s	3p	3d	N 4s	4p	4d	4f	O 5s	5p	5d	P 6s	6p	6d	Q 7s	இயல்பு நிலை	காந்த ஏற்புத் திறன் $X\times10^{-6}$
Ag	47	46 Pd உள்ளகம்										1							2S ½	—0 20
Cd	48											2							1 S_0	—0 18
In	49											2	1						2 P ½	—0 11
Sn	50											2	2						3 P_0	—0 25
Sb	51											2	3						4 S 1½	—0·87
Te	52											2	4						3 P_2	—0 31
I	53											2	5						2 P 1½	—0·36
Xe	54	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6						1 S_0	—0 34
Cs	55	54 Xe உள்ளகம்													1				2 S ½	—0·22
Ba	56														2				1S_0	+0 9
La	57													1	2				2 D 1½	+1·04
Ce	58										1			1	2				3 H_4	+15·0
Pr	59										2			1	2				—	+25·0
Nd	60										3			1	2				—	+36·0
Il	61										4			1	2				—	—
Sm	62										6				2				7 F_0	
Eu	63										7				2				8 S 3½	+22 0
Gd	64										7			1	2				9 D_2	Ferro
Tb	65										8			1	2				—	—
Dy	66										9			1	2				—	—
Ho	67										10			1	2				—	—
Er	68										11			1	2				—	—
Tu	69										13				2				—	—
Yb	70										14				2					
Lu	71	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	2				2 D 1½	—
Hf	72	68 Lu+++ அயனியின் உள்ளகம்												2	2				3 F_2	—
Ta	73													3	2				4 F 1½	+0·87
W	74													4	2				5 D_0	+0·28
Re	75													5	2				6 S 2½	—
Os	76													6	2				5 D_4	+0·05
Ir	77													9					2 D 2½	+0 15
Pt	78													9	1				3 D_3	+1·10
Au	79	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	1				2 S ½	—0·15
Hg	80	78 Au^+ அயனியின் உள்ளகம்													1 2				1 S_0	—0·168
Tl	81														2	1			2 P ½	—0·24
Pb	82														2	2			3 P_0	—0 12
Bi	83														2	3			4 S 1½	—1 35
Po	84														2	4			3 P_2	—
—	85														2	5			—	—
Rn	86	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	6			1 S_0	—
—	87	86 Rn உள்ளகம்																1	—	—
Ra	88																	2	1 S_0	—
Ac	89																1	2	2 D 1½	—
Th	90																2	2	3 F_2	+0·11
Pa	91																3	2	4 F 1½	+2 60
U	92																4	2	5 D_0	

4.9. போர் மாக்னெட்டான்

நகரும் எலெக்ட்ரானின் காந்தத் திருப்புத்திறனை நகரும் எலெக்ட்ரானுக்குச் சமமான மின்னோட்டத்தையும் சுற்றுப் பாதையின் பரப்பையும் பெருக்குவதனுல் பெறலாம்.

$$= \pi a_n^2 \frac{e}{c} \times \frac{\omega}{2\pi}$$

ஆனுல், சமன்பாடு 4.1-லிருந்து

$$a_n^2 \omega = \frac{nh}{2\pi m} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, காந்தத் திருப்புதிறன் $= \pi \frac{nh}{2\pi m} \cdot \frac{e}{c} \cdot \frac{\omega}{2\pi}$

$$= n \frac{eh}{4\pi\ mc}$$

எனவே, அணு அமைப்பின் காந்தத் திருப்புத்திறன் $\frac{eh}{4\pi mc}$ - ன் மடங்குகளாகும். எனவே, இதனைக் காந்தத் திருப்புதிறனின் அடிப்படை அலகாகக் கொள்ளலாம். இந்த அடிப்படை அலகு 'போர் மாக்னெட்டான்' எனப்படும். இதனை μ_B என்று குறிக்கலாம்.

அல்லது,

$$\frac{\text{காந்தத் திருப்புதிறன்}}{\text{சுற்றுப் பாதை உந்தம்}} = \frac{neh}{4\pi mc} \cdot \frac{2\pi}{nh}$$

$$= \frac{e}{2mc}$$

அல்லது, சுற்றுப் பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரானின் காந்தத் திருப்புதிறன் அதன் கோணத் திருப்புதிறனைப் போல் $\frac{e}{2mc}$ மடங்காகும். அல்லது, $\frac{e}{2mc}$ குவான்டம் அலகுகள்.

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi mc} = 0{\cdot}917 \times 10^{-20} \text{ எர்குகள்/காஸ்} \quad (4.11.)$$

ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கு $\mu = N\mu_B$

$= 5564$ காஸ் $\times$ செ.மீ./மோல்

போர் மாக்னெட்டானைச் சோதனையின் மூலம் மைஸ்னர் மற்றும் ஸ்கீஃபர்ன் (Meissner and Scheffers) இருவரும் கணக்கிட்டார்கள். அவர்கள் சோதனை மூலம் கண்டுபிடித்த போர் மாக்னெட்டானின் மதிப்பு $0{\cdot}921 \times 10^{-20}$ எர்குகள்/காஸ் ஆகும்.

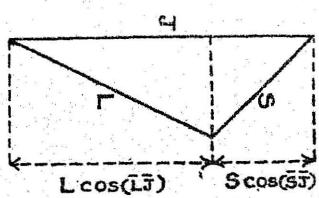
4.10. லாண்டேயின் 'g' உறுப்பு

ஓர் அணுவின் தொகுபயன் காந்தத் திருப்புதிறன் இரு வெக்டார் அளவுகளால் ஆனதாகக் கொள்ளலாம்.

(1) $L\left(\frac{h}{2\pi}\right)\left(\frac{e}{2mc}\right)$ என்ற வீதிநிலைக் காந்தத் திருப்பு திறனின் (Orbital moment) J திசைக்கூறு.

(2) $2S\left(\frac{h}{2\pi}\right)\frac{e}{2mc}$ என்ற தற்சுழற்சிக் காந்த ஏற்புத் திறனின் (Magnetic moment of the spinning electron) J திசைக்கூறு.

இந்த இரு வெக்டர்களின் தொகுபயனை வரைபட முறையில் கணக்கிடலாம்.



படம் 4.2.

L வெக்டரின் J திசைக்கூறு $= L\cos(\overline{L}\ \overline{J})$

S வெக்டரின் J திசைக்கூறு $= S\cos\theta(\overline{S}\ \overline{J})$

அணுத் துகள்களின் காந்தத் திருப்புதிறனுக்கும், கோண உந்தத்திற்கும் உள்ள தகவு 'g' ஆனால், அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனை,

$$g{\cdot}J\left(\frac{h}{2\pi}\right)\frac{e}{2mc} \text{ என்று} \qquad (4.12.)$$

எழுதலாம். எனவே,

$$J\,(g)\left(\frac{h}{2\pi}\right)\frac{e}{2mc}$$

$$= L\cos(\overline{L}\,\overline{J})\,\frac{h}{2\pi}\,\frac{e}{2mc}$$

$$+\,2S\cos(\overline{S}\,\overline{J})\frac{h}{2\pi}\,\frac{e}{2mc}$$

$$= \left\{L\cos(\overline{L}\,\overline{J}) + 2S\cos(\overline{S}\,\overline{J})\right\}\frac{h}{2\pi}\,\frac{c}{2mc}$$

அல்லது,

$$J\,g\,\frac{h}{2\pi}\,\frac{e}{2mc} = \left\{L\cos(\overline{L}\,\overline{J}) + 2S\cos(\overline{S}\,\overline{J})\right\}\frac{h}{2\pi}\,\frac{e}{2mc} \qquad (4.13.)$$

ஆனல், படம் 4.2-லிருந்து

$$L\cos(\overline{L}\,\overline{J}) = \frac{J^2+L^2-S^2}{2J} \qquad [4.14.(a)]$$

$$S\cos(\overline{S}\,\overline{J}) = \frac{J^2+S^2-L^2}{2J} \qquad [4.14.(b)]$$

என்றுமாகும். இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (4.13.)-ல் பொருத்தினல்,

$$J\,\frac{h}{2\pi}\,g\,\frac{e}{2mc} = J\,\frac{h}{2\pi}\left(1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2}\right)\frac{e}{2mc} \qquad (4.15.)$$

என்ருகும். எனவே, 'g'-ன் மதிப்பு

$$g = 1 + \frac{J^2+S^2-L^2}{2J^2} \qquad (4.16.)$$

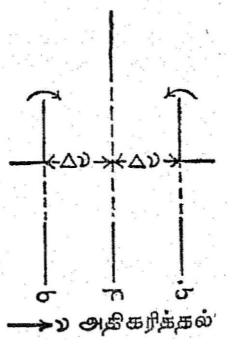
என்ருகின்றது. ஆனல், 'g'-ன் இந்த மதிப்பு சீமன் விளைவினைச் செம்மையாக விளக்கப் பயன்படவில்லை. ஆதலால், லாண்டே அனுபவ முறையில் g-க்குக் கீழ்வரும் மதிப்பினைக் கொடுத்தார்.

$$g = 1 + \frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J\,(J+1)} \qquad (4.17.)$$

இது லாண்டேயின் பிரிக்கும் உறுப்பு, அல்லது 'g' உறுப்பு எனப்படும். இந்த அனுபவ முறையில் அளிக்கப்பட்ட மதிப்பு அலையியக்கக் கொள்கையின்படி அமைந்தது என்று பின்னர் நிரூபிக்கப்பட்டது.

4.11. சீமன் விளைவு (Zeeman effect)

ஓர் ஒற்றை நிற ஒளி மூலத்தைச் செறிவு நிறைந்த காந்தப் புலத்தில் வைத்தால், அந்த ஒளி மூலத்தால் தோன்றும் நிறமாலைவரிக் காந்தப்புலச் செறிவுக்கு ஏற்பவும், ஒளி மூலத்தைக் காணும் திசைக் கேற்பவும் அமையும். உதாரணமாக, ஹீலியம் (Helium) வாயுவினால் தோன்றும் ஒற்றைவரிக் காந்தப் புலத்தில், காந்த விசைக் கோடுகளின் திசையில் காணும் பொழுது இரட்டை வரிகளால் பிரிந்து காணப்படும் (படம் 4.3). இரு வரிகளும் முதலிலிருந்த ஒற்றை வரிக்கு இருபுறங் களிலும் அமைந்திருக்கும். இவ்விரு வரிகளும் மூலவரியிலிருந்து சம அதிர்வெண் இடைவெளியில் அமைந்திருக்கும். இவ்விரு வரிகளும் எதிர் எதிர்த் திசைகளில் வட்டத் தளவளைவு (Circularly polarised) உடையதாக இருக்கும். காந்தப் புலத்தின் காந்தவிசைக் கோடுகளுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் ஒளி மூலத்தை நோக்கினால் மூலவரி மூன்று வரிகளாகப் பிரிந்து காணப்படும். நடுவரி மூலவரியுடன் ஒன்றியும் மற்ற இரு வரிகளும் முன்கண்ட இரட்டை வரிகளுடன் ஒன்றியும் காணப்படும். இந்த மூன்று வரிகளும் சமதளத் தளவிளைவுற்றவை (Plane polarised) மைய வரிக்கு π கூறு என்றும், மற்ற இரு வரிகளுக்கும் σ கூறு என்றும் பெயர். இவ்வாறு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் ஒளி மூலம் அதன் நிறமாலை வரிகளை அடுக்கடுக்காக அமைந்த பல வரிகளாகப் பிரித்துக் காட்டுவதை முதலில் சீமன் என்பவர் கண்டு பிடித்தார். எனவே, இது 'சீமன் விளைவு' எனப்படும். இதற்கான விளக்கத்தை முதலில் லாரண்ட்ஸ் என்பவர் முதுபழம் எலெக்ட்ரான் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்கினார். ஆனால், அவருடைய விளக்கம் சில எளிய அணுக்களுக்கு மட்டுமே பொருத்தமுடையதாக அமைந்தது. ஒளி மூலம் குறைந்த செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் பொழுது முன்பைவிடக் கூடுதலான வரிப் பிரிவுகள் தோன்றும். இதற்கு முரணிய சீமன் விளைவு என்று பெயர். இதனை எலெக்ட்ரான் கொள்கையில் விளக்க இயலவில்லை.



படம் 4.3. சீமன் விளைவு

சீமன் விளைவை விளக்குவதில் பிரிஸ்டன் விதி மிகவும் பயனுடையதாக அமைகின்றது. அதன்படி சீமன் விளைவு, எலெக்ட்ரான்களின் L, S மற்றும் J இவைகளைக் கொண்டே அமைகின்றது. முழு குவான்டம் எண் 'n'-ஐப் பொறுத்ததில்லை.

ஓர் எலெக்ட்ரான் W_2 ஆற்றல் நிலையிலிருந்து W_1 ஆற்றல் நிலைக்கு மாறும்பொழுது ν அலை எண்கள் கொண்ட கதிர் வீசல் ஏற்படும் என்று கண்டோம். அதன்படி

$$\nu = \frac{1}{ch}(W_2 - W_1) \tag{4.18}$$

ஒரு செறிவு குறைந்த காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது I வெக்டர் H திசையில் அச்சுச் சுழற்சி பெறும். இதனால் அதன் ஆற்றல் நிலைகளில் மாற்றம் ஏற்படும். காந்தப்புலத் திசையில் காந்தத் திருப்புதிறன் $M_2 g \mu_B$ ஆகும். காந்தப்புலத்தில் இதனால் ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றம்

$$\triangle W_2 = -M_2 g_2 \mu_B H \quad \text{ஆகும்.} \tag{4·19}$$

இதில் காந்தக் குவான்டம் எண்

$$M_2 = -J, (-J+1) \ldots O\ J-1, J$$

என்ற $(2J+1)$ மதிப்புகளை மட்டுமே ஏற்கும். ஓர் எலெக்ட்ரான் W_2 ஆற்றல் நிலையிலிருந்து W_1 ஆற்றல் நிலைக்கு மாறும்பொழுது காந்த ஆற்றல் மாறுபாடு

$$= \triangle W_2 - \triangle W_1 \quad \text{ஆகும்.}$$

இதனால் ஏற்படும் அதிர்வெண் மாற்றம்.

$$\triangle \nu = \frac{1}{ch}[\triangle W_2 - \triangle W_1 \tag{4·20}$$

$$- [-M_2 g_2 \mu_B H + M_1 g_1\ \mu_B H]\frac{1}{ch}$$

$$= [M_1 g - M_2 g_2]\ \mu_B H/ch$$

$$= [M_1 g_1 - M_2 g_2]\ 4{\cdot}66 \times 10^{-5} H \tag{4·21}$$

சமன்பாடு (4·21)-ஐப் பயன்படுத்திச் சீமன் பெயர்ச்சிகளைச் சரியாகக் கணக்கிட முடியும்.

எலெக்ட்ரானின் ஓர் ஆற்றல் நிலையிலிருந்து வேறொரு ஆற்றல் நிலைக்கு மாறும்பொழுது காந்தக் குவான்டம் எண்ணின் மாற்றம்

$\triangle M = 0$ அல்லது ± 1 என்றிருக்கும் வகையில் நிலைமாற்றங்கள் நிகழ வேண்டும்.

சோடியம் அணுவினுல் ஏற்படும் D_1, மற்றும் D_2 வரிகளின் சீமன் பெயர்ச்சியை மேற்சொன்ன முறையில் கணக்கிடுவோம்.

D_1 வரி, ${}^2p\,3/2 \rightarrow {}^2s\frac{1}{2}$ என்ற ஆற்றல் நிலை மாற்றத்தாலும் D_2 வரி, ${}^2p\frac{1}{2} \rightarrow {}^2s\frac{1}{2}$ என்ற ஆற்றல் நிலை மாற்றத்தாலும் ஏற்படுவதாகும்.

${}^2p\,3/2$ என்ற நிலைக்கு,
$(2s+1) = 2$ அல்லது $s = \frac{1}{2}$, $L = 1$
$J = 3/2$ என்று ஆகும்.

இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (4·17)-ஐப் பயன்படுத்தி g_2 ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

$$g_2 = 1 + \frac{3/2\,(3/2+1) + \frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1) - 1\,(1+1)}{2 \cdot 3/2\,(3/2+1)}$$

$= 4/3$ ஆகும்.

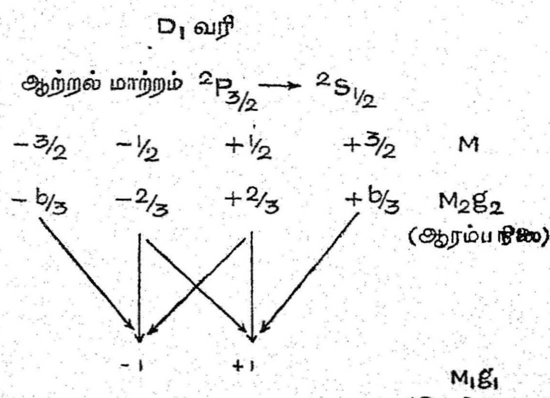
J-ன் மதிப்பு 3/2 ஆனதால் M_2, $-3/2$, $-\frac{1}{2}$, $+\frac{1}{2}$ $+3/2$ என்ற $(2J+1)$ அல்லது நான்கு மதிப்புகளை ஏற்கும். எனவே,

$$M_2 g_2 = -6/3,\ -2/3,\ +2/3,\ +6/3$$

என்ற மதிப்புகளை ஏற்கும்.

இதேபோல் $2s\frac{1}{2}$ நிலை
$M_1 = -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$ என்ற நிலைகளையும்,
$M_1 g_1 = -1, +1$ என்ற நிலைகளையும் ஏற்கும்.

இதனைப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

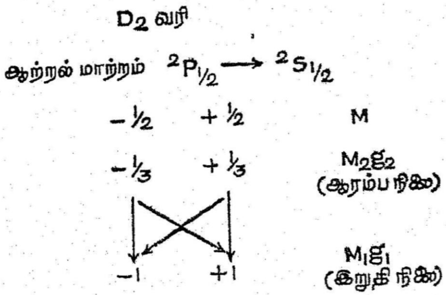


படம் 4.4.

நிலைமாற்றங்கள் ஏற்பட $\triangle M = 0$ அல்லது ± 1 ஆக வேண்டும். $\triangle M = 0$ என்ற மாற்றம் நிகழ்வதை நேர்குத்து அம்புகள் குறிக்கின்றன (படம் 4·4). குவான்டம் கொள்கையின் தளவிளைவு விதிப்படி $\triangle M = 0$ என்ற மாற்றத்தால் ஏற்படும் வரி π கூறுகளாகும். இதன்படி D_1 வரி இரு π கூறுகளைக் காட்டுகின்றது. இவற்றின் சீமன் பெயர்ச்சி

$$= M_1 g_1 N M_2 g_2 = 1/3 \text{ ஆகும்.}$$

$\triangle M = \pm 1$ என்ற மாற்றத்தால் ஏற்படும் வரி σ கூருகும். இதனைச் சாய்ந்த அம்புக்குறிக் கோடுகள் காட்டுகின்றன. இந்த நான்கு σ கூறுகளில் இரண்டு 5/3 பெயர்ச்சியையும் இரண்டு 3/3 பெயர்ச்சியையும் கொண்டிருக்கும். இதுபோல D_2 வரிக்கும் கணக்கிட்டு 2/3 பெயர்ச்சியுடைய இரு π கூறுகளும், 4/3 பெயர்ச்சியுடைய இரு σ கூறுகளும் கொண்டிருக்குமென்று காட்டலாம். (படம் 4·5.)



படம் 4.5.

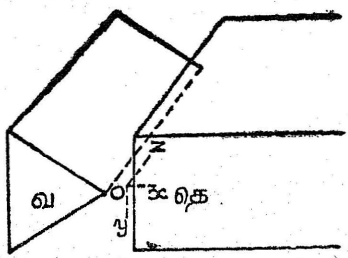
சோதனைகளில் கணக்கிடப்பட்ட சீமன் பெயர்ச்சிகள் மேலே கணக்கிடப்பட்ட பெயர்ச்சிகளின்படி அமைகின்றன.

4·12. ஸ்டென் மற்றும் கிர்லாக் சோதனை (Stern and Gerlah experiment)

குவான்டம் அளவீட்டு முறைப்படி ஓர் அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறன் (M) சில குறிப்பிட்ட தனித்தனி மதிப்புகளையே ஏற்க முடியும் என்று கண்டோம். இதனைச் சோதனை மூலம் ஸ்டென், கிர்லாக் என்ற இருவரும் நிரூபித்துக் காட்டினார்கள்.

ஒரு முனை சமதளமாகவும். மறுமுனை கத்தி முனை வடிவிலுமுள்ள ஒரு மின்காந்தத்தின் காந்தப்புலம் சீரிலாப் புலமாகும்.

மின்னூட்ட மேற்றப்படாத ஒரு காந்தத் துகள் இந்தப் புலத்தில் (படம் 4·6) o என்ற புள்ளியிலிருந்து கத்திமுனைக்கு இணை திசையில் z திசை வேகத்துடன் நகருவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 4.6.

இந்தக் காந்தத் துகள் குவான்டம் அளவீட்டு முறைப்படி தன்னுடைய காந்த அச்சைக் காந்தப் புலத் திசைக்கு ஏற்பச் சில குறிப்பிட்ட திசைகளில் மட்டுமே நிலை நிறுத்திக்கொள்ள முடியும். அல்கலி அணு (Alkali Atom) காந்தப் புலத் திசையிலும், காந்தப்புலத்திற்கு எதிரான திசையிலும் மட்டுமே நிலைபெற முடியும். இந்த அணுவின் காந்தத் திருப்பு திறன் 1 போர் மாக்னெட்டான் ஆகும்.

காந்தப்புலத்தில் இத் துகள்மீது x அச்சுத் திசையில் செயல்படு விசை $\pm \mu_B \frac{dH}{dx}$ ஆகும். $\frac{dH}{dx}$, x அச்சுத் திசையில் காந்தப் புலச் செறிவு மாறுபடும் விதம். இந்த அணுவின் நிறை M ஆனல் விசையினால் அணுவிற்கு ஏற்படும் முடுக்கம்

$$= \pm \frac{M_B}{M} \frac{dH}{dx}$$

அணு, காந்தமுனையின் கத்திமுனைப் பகுதிக்கு இணையான திசையில் v திசைவேகத்துடன் l தொலைவு நகர்ந்தால் இதற்குள் x திசையில் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சி s

$$s = \tfrac{1}{2}\left(\pm \frac{\mu_B}{M} \frac{dH}{dx}\right) \left(\frac{l}{v}\right)^2 \qquad (4.22)$$

இந்த அணு T^o வெப்பநிலையில் உள்ள அப்பொருளின் ஆவியிலிருந்து கிடைக்கப்பெற்றதால், அதன் ஆற்றல்

$\frac{1}{2} Mv^2 = KT$ என்று கொள்ளலாம்.

அல்லது

$$v^2 = \frac{2KT}{M}$$

$$= \frac{2RT}{NM} \qquad (4·23)$$

ν^2-ன் இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு 422-ல் பொருத்தினுல்

$$s = \pm \frac{\mu_B}{M} \frac{dH}{dx} \frac{l^2 NM}{2RT}$$

$$= \pm \tfrac{1}{4} \frac{N\mu_B}{RT} \frac{dH}{dx} l^2 \qquad (4{\cdot}24)$$

அல்கலி அணு ஒரு போர் மாக்னெட்டான் அலகு காந்தத் திருப்புதிறன் கொண்டிருப்பதால் $N\mu_B = 5565$ *C. G. S.* அலகுகள்

$$s = \pm \frac{5565}{4RT} \frac{dH}{dx} l^2$$

எனவே *o* புள்ளியில் காந்தப்புலத்தில் நுழையும் அணுக்கற்றை, காந்தப்புலத்தின் மறு திசையில் வெளிவரும்பொழுது இரு கற்றைகளாகப் பிரிந்து வெளிவர வேண்டும். இவ்விரு கற்றைகளின் இடையிலுள்ள தொலைவு

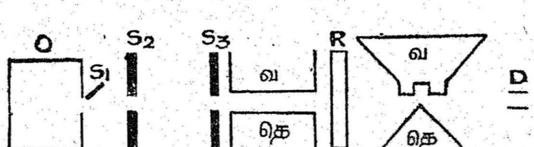
$$2s = 2 \frac{5565}{4RT} \frac{dH}{dx} l^2$$

$T = 600°K$, $l = 10$ செ. மீ. $\frac{dH}{dx}$ 25,000 ஓர்ஸ்டெட்/செ. மீ. என்று கொண்டால் $2s = 1{\cdot}4$ செ. மீ. ஆகும்.

மேலே கூறப்பட்ட இந்தக் கணக்கீட்டு முறையை முதலில் ஸ்டென் (62) என்பவர் வெளியிட்டார். பின்னர், ஸ்டென் கர்லாக் இருவரும் சோதனையின்மூலம் இதனை நிரூபித்தார்கள்.

4.13. சோதனை அமைப்பு

ஸ்டென், கர்லாக் சோதனையின், சோதனைக்குரிய அமைப்பு முறை படம் 4.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 4.7. ஸ்டென், க்ர்லாக் சோதனை அமைப்பு முறை

O என்ற அறையில் உலோகப் பொருள் $T°$ வெப்ப நிலைக்கு உயர்த்தப்பட்டு ஆவியாக்கப்பட்டு, S_1 என்ற சிறு பிளவு வழியாக அணுக் கற்றைகள் வெளிவரச் செய்யப்பட்டுள்ளது. S_2, S_3

பிளவுகள் அணுக்கற்றையை மேலும் ஒழுங்கு செய்கின்றது. தனி அமைப்பு முறையைக் கொண்ட காந்த முனைகளை உடைய காந்தப் புலத்தில் புகச் செய்கின்றது. [காந்த முனைகளின் அமைப்புத் தனியாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. காந்தப்புலத்தில் அணுக் கற்றை பிரிக்கப்பட்டு, இவ்வாறு பிரிக்கப்பட்ட கற்றைகள் கண்ணாடித் தட்டாலான குளிர்ந்த நிலையிலுள்ள R என்ற ஏற்பியில் (Receiver) படிகின்றது. இந்தச் சோதனை ஹைட்ரஜன், செம்பு, தங்கம், சோடியம், மற்றும் பொட்டாசியம் அணுக்களுக்கும் மேற்கொள்ளப் பட்டன. இவற்றின் $J = \frac{1}{2}$ ஆகும். $g = 2$ எனவே இவற்றின் அணுக்கள் காந்தப்புலத்தில் இரு திசைகளில் மட்டுமே நிலைபெற முடியும். இதனை ஸ்டெர்ன், க்ர்லாக் சோதனையில் ஒளிக் கற்றை இரு பிரிவாகப் பிரிந்து நிரூபித்துள்ளது. இது போல $J = O$ ஆன அணுக்களுக்கு அணுக் கற்றைகள் காந்தப்புலத்தில் பிரிவு படுவதில்லை. இந்த முறையில் ஸ்டென் க்ர்லாக் சோதனை அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனுக்கான குவான்டம் அளவீட்டு முறைகளுக்குச் சோதனை மூலமாக ஆக்கம் தந்தது.

5. டையாக் காந்தவியல்

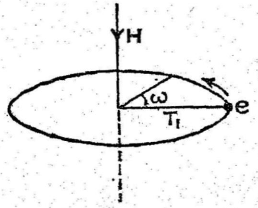
5.1. தொடக்கவுரை

1905-ல் லாஞ்சுவின் (Langevin) [11] டையா, பாராக் காந்த வியலுக்கான தம்முடைய விளக்கங்களை அணுவின் எலெக்ட்ரான் கொள்கை அடிப்படையில் வெளியிட்டார். எலெக்ட்ரான் கொள்கையின்படி அணு அதன் மையத்தில் ஒரு நேர் மின்னூட்ட முள்ள கருவையும் அதனைச் சுற்றி வெவ்வேறு ஆரமுள்ள சுற்றுப் பாதைகளில் வேகமாகச் சுற்றிவரும் எதிர் மின்னூட்டமுள்ள எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டது. அணுவின் காந்தப் பண்புகளை இத்தகைய நகரும் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டு விளக்க முடியும். லாஞ்சுவினுடைய இந்த விளக்கம் எந்தவொரு தற்கோளின் அடிப் படையிலும் அமையாததால் இதனைப் பின்னர்க் குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் மாறுதல் செய்ய முடிந்தது.

5.2. டையாக் காந்தக் ஏற்புத்திறனுக்கான சமன்பாடு (Equation for dia magnetibic susceptibity)

அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு சுற்றுப் பாதையில் நகருவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறு சுற்றுப் பாதையில் நகரும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு தொலைவில் காந்த விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்கும். இதனை ஒரு தொலைவில் மின்னோட்டத்தால் நிகழும் காந்த விளைவுகளுடன் ஒப்பிடலாம்.

படம் 4.1-ல் காட்டியபடி ஓர் எலெக்ட்ரான் அதனுடைய மையக் கருவைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட சுற்றுப் பாதையில் இடஞ்சுழியாக நகருவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 5.1.

முதுபழங் கொள்கைப்படி (Classical Theory) 'e' எதிர் மின்னூட்டத்துடன் r ஆரமுள்ள ஒரு சுற்றுப் பாதையில் நகரும் எலெக்ட்ரான் ஒரு சுற்று மின்னோட்டத்திற்குச் சமம். எலெக்ட்ரானின் கோணத் திசைவேகம் ω ஆனால் ஒரு வினாடியில் $\omega/2\pi$ தடவைகள்

சுற்றும். எனவே, ஒரு விநாடியில் சுற்றுப் பாதையின் குறுக்கு வெட்டு வழி கடந்து செல்லும் மின்சாரத்தின் அளவு

$\frac{e\omega}{2\pi c}$ மின்காந்த அலகுகள் (5.1.)

இந்த எலெக்ட்ரான் சுற்றினால் பாதைத் தளத்திற்கு நேர் குத்துத் திசையில் ஒரு காந்தப்புலம் ஏற்படும். இந்தக் காந்தப் புலத்தின் திசை எலெக்ட்ரான் சுற்றும் திசைக்கு ஏற்ப இருக்கும். எலெக்ட்ரான் இடஞ் சுழியாகச் சுற்றினால் காந்தப்புலம் படத்தில் காட்டிய திசையிலிருக்கும்.

இந்தச் சுற்று மின்னோட்டத்தால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்பு திறன் $(\mu) = \frac{e\omega}{2\pi c}\ \pi r^2$

$$\mu = \frac{e\omega r^2}{2c} \qquad (5.2.)$$

சுற்றுப் பாதை வட்டமாக இல்லாவிடில் மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் ωr^2-க்குப் பதிலாக அதன் சராசரி மதிபபை $\overline{\omega r^2}$ எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

லார்மர் (Larmor) என்பவர் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப் பாதைத் தளத்திற்கு நேர்க்குத்துத் திசையில் ஒரு வெளிக் காந்தப்புலத்தை ஏற்படுத்தினால் எலெக்ட்ரான் இயக்கத்தில் ஏற்படும் விளைவினைக் கண்டு வெளியிட்டார். இது லார்மர் [12] எனப்படும். இந்தத் தோற்றம் ஒரே மின்னூட்ட நிறை வீதமுள்ள துகள்களில் ஒரு சீரான, நிலையான காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது ஏற்படும் பொழுது ஏற்படும் இயக்கத்தினை விளக்குகின்றது. இந்தத் தோற்றத்தின்படி செயல்படும் காந்தப்புலம், பாதையின் அமைப்பையோ, பாதையில் அதன் இயக்கத்தையோ மாற்றுவதில்லை. ஆனால், காந்தவிசைக் கோடுகளின் திசையைச் சுற்றிச் சுற்றுப் பாதையின் அச்சில் ஒரு சுழற்சி வேகத்தைச் (Poecession velocity) சேர்க்கின்றது. ஆகையால், நேர்க்குத்தான H செறிவுடைய வெளிக் காந்தப்புலத்தை ஏற்படுத்துவதால் எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்தில் ஓர் அச்சுச் சுழற்சித் திசைவேகம் ஏற்படுகின்றது.

இந்த சுழற்சிவேகம் $= \nu$

$$= -\frac{eH}{2mc} \text{ ஆகும்.} \qquad (5.3.)$$

இதனுல் சுற்றுப் பாதையுடன் இணைந்துள்ள காந்தத் திருப்பு திறனில் ஏற்படும் மாற்றம் = $\triangle \mu$

$$= \frac{e\overline{r^2}\,(\omega+\nu)}{2c} - \frac{e\overline{r^2}\omega}{2c}$$

$$= \frac{e\,\overline{r^2}\,\nu}{2c}$$

$$= \frac{e^2 H\, r^2}{4mc^2} \qquad (5.4.)$$

சமன்பாடு (5.4)-ல் உள்ள – குறி லார்மர் அச்சு சுழற்சியால் விளேவதாகும். இது காந்தப்புலத்தை அதிகரிப்பதால் மின்னேட்டம் தூண்டப்பட்டு இவ்வாறு தூண்டப்படும் மின்னேட்டம் காந்தப் புலத்திற்கு எதிரான ஒரு காந்தப்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும் என்பதைக் காட்டுகின்றது'. "எனவே, அணுவின் இந்த டையாக் காந்தப் பண்பு எல்லாப் பொருள்களுக்கும் பொதுவானது. அணுக் களுக்கு நிலையான காந்தத் திருப்புதிறனிருப்பினும், இல்லா விடினும் மேலே கூறிய டையாக் காந்தவியல் எல்லாப் பொருள் களிலும் பொதுவாகக் காணப்படும்."

சமன்பாடு (5.4.) ஓர் எலெக்ட்ரான் கொண்டுள்ள அணுவிற்குக் கணக்கிடப்பட்டது. இதனைப் பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்களுக்கும் நீடிக்கலாம். ஒரே e/m மதிப்புடைய அணுக்கள் எத்தனை மின்னூட்டத் துகள்களைக் கோண்டிருந்தாலும் அவற்றிற் கெல்லாம் லார்மார் தோற்றம் ஏற்புடையது. ஆகையால் அந்தத் தோற்றத்தினடிப்படையில் வரையப்பட்ட சமன்பாட்டினைப் பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்களுக்கு நீடிப்பதில் தவறில்லை.

சமன்பாடு (5·4)-ல் $\overline{r}^{2}$-ஐத் தவிர மற்ற உறுப்புக்கள் அணுவி லுள்ள எல்லா எலெக்ட்ரான்களுக்கும் பொதுவானது. r^2-க்குப் பதில் எல்லா எலெக்ட்ரான்களுக்குமான கூடுதல் r^2 அல்லது Σr^2-ஐப் பொருத்தவேண்டும். எனவே, சமன்பாடு 4·4

$$\triangle \mu = \frac{-e^2 H}{4mc^2} \Sigma \overline{r}^{2} \qquad (5{\cdot}5.)$$

என்ருகும். மேலும், கணக்கிடுவதற்கு எளிதாக இருக்கும்பொருட்டு காந்தப்புலம் பாதைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டது. ஆனுல் பாதைத்தளம் எல்லாத் திசைகளிலும் அமையக்கூடுமாதலால் காந்தப்புலத் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசை

யில் அவ்வாறமைந்த பாதைகளுடைய ஆரங்களின் பகுதிகளை (Projection of radius) கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இவ்வாறு கணக்கிடும்பொழுது Σr^2-க்குப் பதில் $2/3 \; \Sigma \overline{r^2}$ என்ற மதிப்பினை ஏற்கவேண்டும். எனவே, சமன்பாடு 5·5

$$\triangle \mu = \frac{-e^2H}{6\,mc^2} \Sigma r^2 \qquad (5.6.)$$

என்றாகும். ஒரு கிராம் அணுவிற்கான காந்தத் திருப்புதிறன்

$$\triangle \mu A = \frac{-Ne^2H}{6mc^2} \Sigma \overline{r^2} \qquad (5{\cdot}7.)$$

என்றாகும். இதில் 'N' என்பது அவகாட்ரோ எண் (Avagadro's number) இதன் மதிப்பு ஒரு கிராம் அணுவிற்கு (Gram-atom) $6{\cdot}06 \times 10^{23}$ அணுக்கள்.

ஓரலகு பருமனில் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறன் காந்த மாக்கலின் செறிவாகும். இதனை

$$I = \frac{P}{A} \triangle\mu A = -\frac{P}{A} \cdot \frac{Ne^2H}{6\,mc^2} \Sigma \overline{r^2} \qquad (5.8)$$

என்று குறிப்பிடலாம். இதில் A பொருளின் அணு எடை, P அதன் அடர்த்தியாகும். ஆனால், பரும காந்த ஏற்புத்திறன் $K = I/H$ ஆகும். எனவே, பொருளின் பரும காந்த ஏற்புத்திறன்

$$K = I/H = -\frac{P}{A} \frac{Ne^2}{6mc^2} \Sigma \overline{r^2} \qquad (5{\cdot}9.)$$

அல்லது நிறை காந்த ஏற்புத்திறன்.

$$\chi = \frac{K}{P} = -\frac{1}{A} \cdot \frac{Ne^2}{6\,mc^2} \Sigma \overline{r^2} \qquad (5.10.)$$

ஒரு கிராம் அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறன் (Atomic ceptibility).

$$\chi A = \frac{K}{P} A$$

$$= -\frac{Ne^2}{6\,mc^2} \Sigma \overline{r^2} \qquad (5.11.)$$

என்றுகும். இதில் N, e, m மற்றும் c இவற்றிற்கான எண் மதிப்புகளைப் பொருத்திக் கணக்கிட்டால்

$$\chi A = -2{\cdot}832\times10^{10}\sum \overline{r^2} \qquad (5.12.)$$

என்றுகும். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து இரண்டு செய்திகள் கவனத்தில் கொள்ளத்தக்கன.

1. டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான அளவு எலெக்ட்ரான் பாதையின் அச்சுச் சுழற்சியால் ஏற்படுகின்றது. இந்த அச்சுச் சுழற்சியில் அணுவின் வெப்பநிலை மாறுபட்டால் எவ்வித மாற்றமும் ஏற்படாது. எனவே பொருளின் டையாக்காந்தவியல் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் மாறுபடாது.''

2. டையாக் காந்தவியல் லார்மார் அச்சுச் சுழற்சியால் ஏற்படுவதால் எல்லாப் பொருள்களும் அடிப்படையில் டையாக் காந்தப் பண்பினைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். நிலையான காந்தப் பண்பினைக் கொண்டுள்ள பொருள்களில் டையாக் காந்தப் பண்பின் குறைந்த அளவு காரணமாக அவை மறைக்கப்பட்டு விடுகின்றன.

5.3. லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டிற்கான ஆதாரங்கள் (The validity of Langevin's equation)

முன் பகுதியில் சொல்லப்பட்ட டையாக்காந்த விளக்கம் முற்றிலும் ஓரணுக்கரு அமைப்போடு கூடிய அணுக்கள் அல்லது அயனி (Ion) களுக்கு மட்டுமே பொருந்தக்கூடியது. இருப்பினும், பல அணுக்கருக்களைக்கொண்ட அமைப்பு முறையின் சிக்கல்களை மனத்தில் கொண்டால் ஒரு தோராயமான சமன்பாடுகூடப் பலனுள்ள செய்திகளைத் தரும் என்பது தெளிவாகும். எனவே, லாஞ்சுவின் விளக்கம் பல கரு அமைப்பு முறைக்கும் நீட்டிக்கப் படலாம்.

லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டின்மூலம் தனிமங்களுக்குக் (Elements) கணக்கிடப்பட்ட காந்த ஏற்புத் திறன்களும், அத்தனிமங்களுக்குச் சோதனையின்மூலம் அளக்கப்பட்ட காந்த ஏற்புத் திறன்களும் ஒன்றுக்கொன்று ஒத்திருந்தன.

காந்த ஏற்புத்திறன் அளவீட்டிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட H, C, N முதலிய தனிமங்களுக்கான $\sqrt{\overline{r^2}}$-ன் மதிப்பும் மற்றைய முறைகளில் இத் தனிமங்களுக்குக் கணக்கிடப்பட்ட $\sqrt{\overline{r^2}}$ மதிப்புக்களும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவுடையதாக இருக்கின்றன.

லாஞ்சுவின் சமன்பாடு சரியானது என்பதை ஜூஸ் (Joos) என்பவர் யாவரும் ஒப்பும் விதத்தில் விளக்கியுள்ளார். உதாரணமாக 18 எலெக்ட்ரான்கள் கொண்ட ஆர்கான் (Argon) அணுவை எடுத்துக்கொள்வோம். இத் தனிமத்தின் எலெக்ட்ரான் நிலை அமைப்பும் K^+, cl^- ஆகிய அயனிகளின் எலெக்ட்ரான் நிலை அமைப்பும் ஒன்றையொன்று ஒத்துள்ளவை. இவற்றினை அணுக்கரு மின்னூட்டத்தின்படி வரிசைப்படுத்தினல், ஏறு வரிசையில் cl^-, A, K^+ என்று எழுதலாம். இந்த அணுக்கரு மின்னூட்டத்தின் ஏறு வரிசையில் அவற்றின் எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதையின் ஆரங்கள் குறைகின்றன. அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தின் Z என்று கொண்டால், ஒரே குவான்டம் எண்களால் (Quantum number) குறிக்கப்படும் பாதையின் ஆரங்களை

$r^2 \propto 1/z^2$ என்று குறிக்கலாம்.

லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டின்படி அணுக்காந்த ஏற்புத்திறன் அவற்றின் r^2-க்கு ஏற்பவிருக்கும். எனவே cl^-, A, K^+ என்ற அயனி அல்லது அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் முறையே இறங்கு வரிசையிலிருக்க வேண்டும். சமன்பாடு (5·12)-ன்படி K^+, cl^- இவற்றிற்கான காந்த ஏற்புத்திறன்களை

$$\chi_{K^+} : \chi_{cl^-} = \overline{v^2}_{K^+} : \overline{v^2}_{cl^-}$$

$$= \frac{1}{Z_k^2} : \frac{1}{Z_{el}^2}$$

$$= \frac{1}{19^2} : \frac{1}{17^2}$$

என்று கணக்கிடலாம். Kcl என்ற மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறன் $-35{\cdot}0 \times 10^{-6}$. இதிலிருந்து K^+, cl^-, இவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன்களை மேலே கண்ட வீதத்தில் கணக்கிட்டால்

K^+ அயனிக்கு $= -15\ 5 \times 10^{-6}$

cl^- அயனிக்கு $= -19{\cdot}5 \times 10^{-6}$

என்றவாறு அந்த அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனைப் பெறலாம். இந்த இரு மதிப்புகளைக்கொண்டு இடைச்செருகல் (Inter polaɪion) முறையில் ஆர்கானின் (A) காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணக்கிட்டால்

A அணுவிற்கு $= -17{\cdot}5 \times 10^{-6}$ என்ருகும்.

இது ஹெக்டர் மற்றும் வில்ஸ் (Hector and Wills) (13) இருவரும் சோதனையின்மூலம் கண்டுபிடித்த மதிப்புடன் ஒன்றியிருந்தது.

5.4. குவான்டம் கொள்கைப்படி டையாக் காந்தத்திற்கான விளக்கம் (Diamagnetism on Quantum Mechanics)

லாஞ்சுவின் சமன்பாடு முற்றிலும் ஓரணுக் கரு அமைப்பிற்கே பொருந்துமென்றும், தோராயமாகவே பல்லணுக் கரு அமைப்பிற்கு நீட்டிக்கலாம் என்றும் முன் பகுதியில் கண்டோம். ஆனால், குவான்டம் கொள்கையினைக்கொண்டு தருக்கரீதியாகவே டையாக் காந்தத்திற்கான காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடலாம். அலையியக்க வியலின் (Wave theory) அடிப்படையில் வேன்வெலக் (Van Vleck) (14) என்பவர் டையா, பிராக் காந்தங்களுக்கான ஒரு பொதுக் கொள்கையினைத் தோற்றுவித்தார். டையாக் காந்த வியலைப் பொறுத்தவரை அக் கொள்கை ஓரணுக் கரு அமைப்பிற்கே பொருந்தும். இந்தக் கொள்கையின்படி டையாக் காந்தப் பொருள்களின் ஒரு கிராம் அணு அல்லது ஒரு கிராம் அயனி இவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன் கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கப் படும்.

$$\chi_A = -\frac{Ne^2}{6\,mc^2}\sum_K \overline{r^2} + \frac{2}{3}N\sum_{n'\neq n}\frac{|\,m_0(n;n')\,|^2}{h\nu\,(n':n)} \quad \ldots\ldots \quad (5.13)$$

இதில்,

N – அவகாட்ரோ எண்

$\overline{r_K^2}$ – K எண்ணுடைய எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை ஆரத்தினுடைய இரு மடியின் சராசரி.

$m_0(n';n)$ – எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் கோணத் திருப்புதிறனுக்கான மாட்ரிக்ஸ் (Matrix) அமைப்பின் குறுக்கு வரியில்லாத அமைப்பு.

$\nu\,(n':n)$ – n', n ஆற்றல் நிலை மாற்றத்தால் நிகழும் அதிர்வெண்.

e – எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.

m – எலெக்ட்ரானின் நிறை.

h – பிளாங் மாறிலி (Plank's constant).

எலெக்ட்ரான்கள் 1_s நிலையிலுள்ள அணு அல்லது மூலக் கூறுகளுக்குச் சமன்பாடு (5·13-ல்) வலப்புறத்தின் இரண்டாம் பகுதி

சுழியாகும். மற்ற நிலையிலுள்ள அணுக்களுக்குப் பாராக் காந்த வியல் மிக அதிகமாக இருப்பதால் இந்தப் பகுதியினைக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டியதில்லை. இது பின் அத்தியாயத்தில் தெளிவாக விளங்கும். எனவே சமன்பாடு 5.13.

$$\chi_A = -\frac{Ne^2}{6\,mc^2}\Sigma\overline{r^2} \qquad (5.11)$$

என்றாகும். இது நாம் முன் கண்ட லாஞ்சுவின் சமன்பாடாகும்.

இதிலிருந்து பல்வேறு குவான்டம் பாதையின் $\overline{r^2}$-ன் மதிப்புகள் தெரிந்தால் அணுவின் x மதிப்பினைச் சுலபமாகக் கணக்கிட்டு விடலாம் என்று தெரிகின்றது. பௌலிங் (Pauling) (15) மற்றும் வேன் வலக் (Van Vleck) (16) இருவரும் தனித்தனியாக குவான்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் r^2-க்கான சமன்பாட்டை வெளியிட்டார்கள். அதன்படி $(z\text{-}s)\ e$ மின்னூட்டமுள்ள கருவின் புலத்தில் n, l குவான்டம் எண்ணுள்ள பாதையில் நகரும் ஓர் எலெக்ட்ரானின் $\overline{r^2}$ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிட்டுக் கூறலாம்.

$$\overline{r^2} = \frac{a_0^{\,2}\,n^2}{(z\text{-}s)^2}\left[\tfrac{5}{2}\,n^2 - \frac{3l\,(l+1)-1}{2}\right] \ldots\ldots \quad (5.14)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் 9_0 என்பது ஹைட்ரஜன் (Hydrogen) அணுவில் எலெக்ட்ரான் வீதிப்பாதையின் ஆரமாகும். s-திரை மாறிலி (Screening constant). ஓர் அணுவின் சுற்றுப்பாதையில் இயங்கும் எலெக்ட்ரானின்மீது செயல்படும் விசையினைக் கணக்கிடும்பொழுது அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தால் ஏற்படும் விசையுடன் அணுவிலுள்ள மற்ற எலெக்ட்ரான்களின் மின்னூட்டத்தால் ஏற்படும் விசையினையும் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். பொதுவாகப் பல சுற்றுப்பாதைகளில் இயங்கும் எலெக்ட்ரான்கள் கவனத்தில் எலெக்ட்ரான்மீது அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தரல் செயல்படும் விசையைக் குறைக்கின்றது; அல்லது மற்ற எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவின் z மின்னூட்டத்தைத் திரைசெய்து கவனத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்மீது செயலுறும் (Effective) மின்னூட்டத்தை $(z\text{-}s)$ ஆகச் செய்கின்றது. எனவே, அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் z ஆக இருந்தால் அந்த எலெக்ட்ரான்மீது செயல்படும் விசை $(z\text{-}s)$ மின்னூட்டத்தால் ஆனதாகக் கொள்ளலாம். இதில் 's' என்பது மற்ற எலெக்ட்ரான்களின் மொத்தத் திரை மாறிலி ஆகும்.

பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கும் அணுக்கள் அல்லது அயனிகள், எலெக்ட்ரான் கூட்டங்களுக்கான s-ன் மதிப்பை மின்

னூட்டப் பங்கீட்டு முறையினைப் பயன்படுத்தி பௌலிங் கணித்தார். பௌலிங் கணக்கிட்ட மந்த வாயுக்களுக்கான (Inert gas) அணுக்காந்த ஏற்புத்திறன்கள் அட்டவணை II-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஹார்ட்ரீயின் (Hartree) (17) புள்ளி விவரங்களைப் பயன்படுத்தி ஸ்டோனர் (Stoner) (18) சிலவற்றுக்கான $\overline{r^2}$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டார். ஹார்ட்ரீ பல அணுக்களுக்கும் அயனிகளுக்கும் அணுக்கருவிலிருந்து அதன் ஆரத்திசையில் மின்னூட்டம் வேறுபடும் விதத்திற்கான சமன்பாட்டைக் கணக்கிட்டு வெளியிட்டார். எனவே, r^2-ன் மதிப்பை

$$\overline{r^2} = \int_0^D r^2 \left(\frac{dz}{dr}\right) dr \Big\backslash \int_0^D \frac{dz}{dr}\, dr \qquad (5.15)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். சமன்பாடு 5·15-ன் விகுதியின் (Denominator) மதிப்பு அந்த அணுவிலுள்ள மொத்த எலெக்ட்ரான்களைக் குறிக்கும். இந்த $\overline{r^2}$-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (5·11)-ல் பொருத்தினுல்

$$\chi_A = -\ 2{\cdot}832 \times 10^{10} \int_0^D r^3 \left(\frac{dz}{dr}\right) dr \qquad (5.16)$$

என்ருகும். சமன்பாடு 4·16-ல் $\int_0^D r^3 \left(\frac{dz}{dr}\right) dr$-ன் மதிப்பினை வரைபட முறையில் கணிக்கலாம். ஹார்ட்ரீயின் r, dz/dr-ன் வரைபடத்திலிருந்து ஸ்டோனர் $r^2 \frac{dz}{dr}$-ன் மதிப்பிற்கும் r-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தார். இந்த வரை படத்தின் பரப்பு $\int_0^D r^2 \left(\frac{dz}{dr}\right) dr$-ன் மதிப்பைக் கொடுக்கும். இந்த முறையில் கணக்கிட்ட மந்த வாயுக்களின் காந்த ஏற்புத்திறனின் மதிப்புக்களும் அட்டவணை 5·2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மேலும் ஸ்லேட்டர் (Slater) (19) ஆங்கஸ் (Angus) (20) முதலியவர்கள் அணுவின் காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணிப்பதற்கு மிகவும் பயனுள்ள கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினை வெளியிட்டார்கள்.

$$\chi_A = -0{\cdot}79 \times 10^{-6} \Sigma \frac{(n')^2(n'+\frac{1}{2})(n'+1)}{(z-s)^2} \quad (5.17)$$

இதில்,

n'-திருந்திய செயலுறு முதன்மைக் குவான்டம் எண் (2.5)-செயலுறு அணுக்கரு மின்னூட்டம். n-ன் பல மதிப்புகளுக்கான ஸ்லேட்டரால் கொடுக்கப்பட்ட திருந்திய செயலுறு n'-ன் மதிப்புகள் அட்டவணை 5.1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 5.1.

திருந்திய செயலுறு முதன்மைக் குவான்டம் எண்கள்

முதன்மைக் குவான்டம் எண் n	1	2	3	4	5	6
திருந்திய முதன்மைக் குவான்டம் எண் n′	1	2	3	3·7	4·0	4·2

ஸ்லேட்டரின் சமன்பாட்டினைக் கொண்டு பிரிண்டிலே (Brindley) பல அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிட்டார்.

அட்டவணை 5.2.

மந்த வாயுக்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்

மந்த வாயு	கணக்கிடப்பட்டது			சோதனையில் கண்டது	
	ஹார்ட்ரீ	பவுலிங்	ஸ்லேட்ட	வில்ஸ் ஹெக்டர்	ஹேவன்
ஹீலியம்	1·90	1·54	1·68	1·88	1·91
நியான்	8·81	5·70	5·7	6·66	7·65
ஆர்கான்	25·30	21·5	18·8	18·13	19·23

4.5. அயனிகளின் டையாக் காந்தவியல் (Dia-magnetisation of ion)

அயனிகளின் டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடுவது அணுக்களின் டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடுவதை ஒத்தது. இதனை நாம் முன்னொரு பகுதியில் கண்டோம். அயனிச் சேர்மத்தின் (Ionic compound) காந்த ஏற்புத்திறனை அச் சேர்மத்திலுள்ள அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனின் கூடுதலால் பெறலாம். இதனை,

$$\chi_M = \chi_{\text{எதிர் அயனி}} + \chi_{\text{நேர் அயனி}} \qquad (5.18)$$

என்று எழுதலாம். எனவே, சேர்மத்தின் காந்த ஏற்புத்திறனைச் சோதனைமூலம் கண்டு அதிலிருந்து அயனிகளின் காந்த ஏற்பத் திறனைக் கணக்கிடலாம். ஹைடிரஜன் அயனி H^+ அந்த அணுவிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானும் அகற்றப்பட்டுவிடுவதால் அதன் தனி நிலையில் காந்த ஏற்புத்திறன் சுழியாகும். ஆகையால், ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன் க்ளோரைடு அயனியின் (Cl^-) காந்த ஏற்புத்திறனைக் கொடுக்கும். இதேபோல் ஹாலஜன் அமிலங்களின் (Halogen acids) நீரிய கரைசலின் (Aqueous solution) காந்த ஏற்புத்திறனைச் சோதனைமூலம் கண்டுபிடித்தால் அந்த மதிப்புகளே அந்த ஹாலஜன் அயனிகளின் காந்த ஏற்புத் திறனாகும். இந்த முறையில் வெவ்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்கள் கண்ட அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறன் கீழே கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 5.3.

ஹாலஜன் அயனிகளின் ஏற்புத்திறன்

அயனி	χ_M ஹாலஜன் அமிலம்			χ அயனி சராசரி
	ரிச்சண்டர் (56)	கிடோ (60)	பெர்குஸன் (61)	
Cl^-	21·9	21.9	23·0	22·3
Br^-	32·5	34·6	31·4	32·8
I^-	50·2	53·5	49·3	49·9

அயனிகளின் காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணக்கிடுவதற்குரிய பல வழிகளை பகால்ட் (21) மையர்ஸ் (22) (Mayers), ஸ்ரீராமன் (23) (Sriraman) முதலியவர்கள் மிக விரிவாகத் தொகுத்தளித்துள்ளார்கள்.

மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறன் χ_M என்று கொண்டால், அந்த மூலக்கூறிலுள்ள நேர். எதிர் மின் அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

χஎதிர்மின் அயனி

$$= \chi_M \frac{\sum r^2 \text{ எதிர்மின் அயனி}}{\sum r^2 \text{ நேர்மின் அயனி} + \sum r^2 \text{ எதிர்மின் அயனி}} \quad (5.19)$$

என்றும்,

χநேர்மின் அயனி

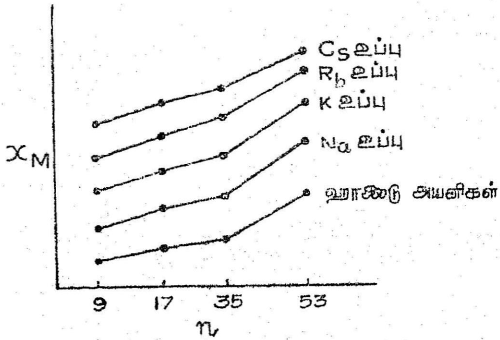
$$= \chi_r \frac{\sum r^2 \text{ நேர்மின் அயனி}}{\sum r^2 \text{ நேர்மின் அயனி} + \sum r^2 \text{ எதிர்மின் அயனி}} \quad (5{\cdot}20)$$

என்றும் குறிக்கலாம்.

பலவகையான உப்புகளில் போலார்க் காந்த ஏற்புத்திறனை அளவிட்டுத் தனிம வரிசை அட்டவணையில் ஒரே தொகுதியிலுள்ள தனிமங்களின் பொதுவான நேர் அயனியுடைய உப்பின் காந்த ஏற்புத்திறன்களை ஒரு வரை படத்தில் குறிப்பதன்மூலம் ஒப்பிடலாம். போலார்க் காந்த ஏற்புத்திறன்களை எதிர் அயனியின் எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கைக்கு எதிராகக் குறித்தால் பல இணை கோடுகள் கிடைக்கப்பெறும். உதாரணமாக, ஆல்கலிஹாலைடுகள் ஒரு தொகுதி இணைகோடுகளைத் தரும். இந்த நேர்கோடுகளை அணு எண் சுழிக்கு நீட்டுவதன்மூலம் நேர் அணியின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடலாம். இந்த முறைக்குப் பல எதிர்ப்புகள் இருந்தாலும் இந்த முறையில் கணக்கிடும் மதிப்பு மற்ற முறைகளின்மூலம் கண்டுபிடிக்கும் மதிப்புடன் ஒத்திருந்தது.

ட்ரூ (24) (Trew) வரை பட முயற்சியில் கார அயனிகளின் (Alkali Ions) காந்த ஏற்புத்திறனைப் பின்வருமாறு கணக்கிட்டார். சோடியம் உப்பின் காந்த ஏற்புத்திறனை நேர் அயனியின் எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கைக்கு எதிராக ஒரு வரை படத்தில் குறிக்க வேண்டும். இதேபோல் K, Rb மற்றும் Cs ஹாலைடுகளுக்கும் வரையவேண்டும். இவற்றின் வரை படங்கள் நேர்கோட்டில் அமையாது. ஆனால், ஒரு ஹாலைடுக்கும் அடுத்த ஹாலைடுக்கும் இடையிலுள்ள பகுதிக்கான வெவ்வேறு கோடுகளும் இணையாக

இருக்கும். அதே வரை படத்தில் ஹாலைடு அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனை எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கைக்கு எதிராகக் குறிக்க வேண்டும். படம் (5.2.)



படம் 5.2.

ஹாலைடு அயனிக் கோட்டிற்கும், சோடியம் உப்பின் கோட்டிற்கும் இணைப் பகுதிகளின் இடையிலுள்ள தொலைவின் சராசரி மதிப்பு Na^+-ன் காந்த ஏற்புத்திறனாகும். இதேபோல் K^+, Rb^+ மற்றும் Cs^+ இவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன்களையும் கணக்கிடலாம். அவற்றின் மதிப்புகள் அட்டவணை 5.4-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 5·4. ஆல்கலி அயனிகளும் அவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன்களும்.

அயனி	χ_M
Na^+	6·8
K^+	14·9
Rb^+	22·5
Cs^+	35·0

அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறன் கூட்டல் முறை மூலம் கிடைப்பதாகக் கொண்டால் LiF-ன் காந்த ஏற்புத்திறனை 16·1-க்

கும் NaF-ன் காந்த ஏற்புத்திறனை 15·6-க்கும் உள்ள வித்தியாசம் 5·5. ஆனால் $Licl$-ன் χ_M மதிப்பிற்கும் $Nacl$-ன் χ_M மதிப்பிற்குமுள்ள வேறுபாடும் 5·5-க்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாக இது பொருந்துகின்றது.

ஒரு சேர்மத்தின் திண்மப் பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறனையும் அதன் கரைசலில் காந்த ஏற்புத்திறனையும் ஒப்பிடும்பொழுது கரைசலில் காந்த ஏற்புத்திறன் சற்று அதிகமாக இருக்கின்றது. பொதுவாக நீரியக் கரைசலில் இந்த மதிப்பு இன்னும் அதிகமாக இருக்கின்றது. இது கரைபொருளில் ஏற்படும் மாறுதலாலன்றிக் கரைப்பானில் ஏற்படும் மாறுதலாலிருக்க முடியும்.

அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிட்டு அவை திருத்தத்திற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு பொருள் பாராக்காந்த ஏற்புத்திறன் கொண்டிருந்தாலும், உள்ளகம் டையாக்காந்தத் தன்மை கொண்டது. பாராக்காந்த ஏற்புத்திறனைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடச் சோதனைமூலம் கண்டுபிடித்த காந்த ஏற்புத்திறனுடன் அந்த அயனியின் மதிப்பையும் சேர்த்துக் கணக்கிடவேண்டும். அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனை செல்வுட் (25) (Selwood) தெளிவாகத் தொகுத்துள்ளார்.

5·6. பல அணு மூலக்கூறுகளின் டையாக் காந்தப் பண்புகள் (Diamagnetism of Polyatomic molecules)

குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் நாம் முன் பகுதியில் கண்ட அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான சமன்பாட்டினை (5·13)ஐ மூலக்கூறுகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். பல அணுக்களைக் கொண்ட மூலக்கூறில் அதன் எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சியால் (Electron Spin) ஏற்படும் திருப்புதிறன்களின் தொகுபயன் சுழியாக இருக்குமேயானால் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத் திறனை

$$\chi_M = -\frac{Ne^2}{6\,mc^2}\Sigma\,\overline{r^2} + \tfrac{2}{3}N \sum_{n^1 \neq n} \frac{(m^0\,1n^1;\,n1^2)}{h\nu\,(n^1;\,n)} \quad (5\cdot13)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்; என்பதனை வேன்வேலக் வெளியிட்டார். இந்தச் சமன்பாடு சமனீட்டுக் குறியின் வலப் புறத்தில் இரு பகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது. முதற் பகுதி லாஞ்சுவின் டையாக் காந்தப் பகுதியினைக் குறிக்கும். இரண்டாம் பகுதி எப்பொழுதும் (+) நேர் குறியுடையது. இது வெப்பநிலை வேறுபாட்டால் மாறுபடாத் பாராக்காந்தப் பகுதியாகும். எனவே, அந்த மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட பொருள், முதற் பகுதியின் மதிப்பு

மிகுந்திருந்தால் டையாக் காந்தமாகவும், இரண்டாம் பகுதியின் மதிப்பு மிகுந்திருந்தால் பாராக்காந்தமாகவும் இருக்கும். இந்தப் பாராக்காந்தம் மூலக்கூறுகளின் தற்சுழற்சியின் தொகுபயன் சுழி யாகாத நிலையில் அல்லது சோடியில்லாத எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சியால் ஏற்படும் பாராக்காந்தமன்று என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். இதனைப் பின்னர் விரிவாகப் பாராக்காந்தப் பகுதியில் காண்போம்.

வேன்வெலக் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறனைச் சமன்பாடு 5·13-ன்மூலம் கணக்கிட்டார். அதன்படி சமன்பாடு 5·13-ன் முதற் பகுதியின் மதிப்பு $-4{\cdot}71 \times 10^{-6}$ என்றும், இரண்டாம் பகுதியின் மதிப்பு $+0{\cdot}51 \times 10^{-6}$ என்றும் கண்டார். எனவே, ஹைடிரஜன் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறன் $[-4{\cdot}71+0.51] \times 10^{-6}$.

$= 4{\cdot}20 \times 10^{-6}$ என்றாகின்றது.

சோதனையின் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜனின் காந்த ஏற்புத்திறன் $-4{\cdot}005 \times 10^{-6}$ ஆகும். இதில் அடங்கியுள்ள பல நிலையற்ற தன்மைகளைக்கொண்டு பார்க்கையில் இரு மதிப்பு களும் சிறந்த முறையில் ஒத்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

சமன்பாடு 5·13ஐக்கொண்டு ஒரு பொருளின் ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடுவது மிகவும் கடினமாகும். ஏனெனில், அலைக்கோவை களின் (Wave function) மதிப்புகள் துல்லியமாகத் தெரிவதில்லை. சமீப காலத்தில் போப்பில் 26) (People) மூலக் கூறுகளின் வீதிக் கொள்கையின்மூலம் டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான சமன் பாட்டை வெளியிட்டார். ஆனால், இந்த முறையில் கணக்கிடப் பட்ட காந்த ஏற்புத்திறனின் மதிப்புகள் சோதனை மூலம் கணக் கிடப்பட்ட மதிப்புகளுடன் வேறுபடுகின்றன. எனவே, அனுபவ முறையில்தான் மூலக்கூறுகளின் காந்த ஏற்புத்திறன்களைக் கணக் கிட வேண்டியுள்ளது. இந்த முறைகளை ஸ்ரீராமன், சண்முக சுந்தரம், சபேசன் (27) இவர்கள் தெளிவாக விளக்கியுள்ளார்கள்.

ஒரு சேர்மத்தின் டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடு வதற்கு அனுபவ முறையில் பழமையானது பாஸ்கல் முறை (28). பாஸ்கல் அனேக சேர்மங்களின் காந்த ஏற்புத்திறன் அளவுகளி லிருந்து, காந்த ஏற்புத்திறனைக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்க லாம் என்று கண்டார்.

$$\chi_M = \Sigma n_A \chi_A + \lambda \qquad (5{\cdot}21)$$

இதில் n_A என்பது χ_A காந்த ஏற்புத்திறனுடைய அணுக்களின் எண்ணிக்கை. λ என்பது அமைப்புத் திருத்தம் (Constitutive

correction). இதன் மதிப்பு அணுக்களுக்கிடையிலுள்ள பிணை (Bond)யினைப் பொறுத்திருக்கும். χ_A என்பது நாம் முன்பு கணக்கிட்ட அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறனன்று. அனேக அளவுகளிலிருந்து அனுபவ வழியில் கண்ட மதிப்பாகும். இந்த முறையைப் பின்பற்றி மிகச் சுலபமாகக் காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு கணக்கிடுவதற்குப் பாஸ்கல் பல அணுக்களுக்கும் கொடுத்த மதிப்புகள் பாஸ்கல் மாறிலிகள் (Pascal's constant) எனப்படும். இந்த மாறிலிகள் பிற்சேர்க்கையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

வேறு முறைகள் இல்லாத நேரத்தில் பாஸ்கலின் இந்த முறை மிகவும் பயனுடையதாக இருந்தது. இந்த பாஸ்கலின் மாறிலிகளுக்குத் திருத்தம் செய்து இங்கோல்டு (Ingold) [29] கொடுத்த மதிப்புகள் மேலும் சிறந்த முறையில் காந்த ஏற்புத் திறனின் மதிப்புகளைக் கணிக்க உதவியது.

பின்னர்ப் பாஸ்கல், பகால்ட் மற்றும் ஹோரா [30] இவர்கள் அணுக்களுக்கும் பிணைகளுக்கும் தங்களுடைய முந்திய மதிப்புகளை மாற்றிப் புதிய மதிப்புகளைத் தந்தார்கள். இதன்மூலம் காந்த ஏற்புத்திறனை, மூலக்கூறு ஒளிவிலகல் எண்ணைப்போல் கூட்டல் விதியைப் பயன்படுத்திக் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்த முறை குறைந்த மாறிலிகளைக் கொண்டிருந்தது. உதாரணமாகப் பழைய முறையில் ஆக்ஸிஜனுக்கு ஆறு மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டிருந்தன. ஆனல், புது முறையில் ஒரே ஒரு மதிப்பு மட்டுந்தான் கொடுக்கப்பட்டிருந்தது. அமைப்புத் திருத்தங்களும் குறைந்து இருந்தன.

மற்றொரு அனுபவ முறையை புரோயசீமா [31] (Broesma), ட்ரு [32] (Trew), ஆங்கஸ் [33] (Angus) இவர்கள் மூவரும் தனித்தனியே வெளியிட்டார்கள். இந்த முறையில் அணு மாறிலிகளுக்குப் பதில் தொகுதிகளின் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் (Group susceptibility) கொடுக்கப்பட்டன. உதாரணமாக $-CH_2$, $-COOH$, $-OCH$, $-OH$ இவற்றிற்கான காந்த ஏற்புத்திறன்களைக் கொண்டு மோலார்க் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடவேண்டும். யங் [34] (Young) என்பவர் முற்றிலும் மாறுனவொரு முறையை வெளியிட்டார். ஆனல் இது பெரும் எதிர்ப்புக்குள்ளாயிற்று.

மேலே குறிப்பிட்ட எல்லா முறைகளும்—போப்பில் முறை தவிர—அனுபவ அடிப்படையில் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான மதிப்புகளைத் தருகின்றனவே தவிர கொள்கை அடிப்படையில் அல்ல. இந்தக் குறையை ஓரளவிற்கு டாப்ஃமான் [35] (Dorfman) என்பவர் தம்முடைய புதுமுறையின் மூலம் நீக்கினர். இவர் பிணை

முனைவாகு திறனையும்(Bond polarisability)-டையாக் காந்த ஏற்புத் திறனையும் இணைத்து ஒரு சமன்பாட்டினைக் கண்டார். K எண்ணிக்கை எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட ஓர் அணுவின் முனைவாகு திறனை கிர்க்உட் (Kirkwood) என்பவர் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் கண்டார்.

$$\propto = \frac{4}{9Ka_0} \left| \sum_{L}^{k} ri^2 \right|^2 \qquad (5.22)$$

இதில் $a_0 = \frac{h^2}{me^2}$, ஹைட்ரஜன் அணுவில் எலெக்ட்ரான் சுற்றுப் பாதையின் ஆரம். $\propto$ = முனைவாகுதிறன்.

சமன்பாடு 5.19-ஐக்கொண்டு ஒரு மூலக்கூறின் டையாக்காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடுவதற்குரிய சமன்பாட்டை டாப்ஃமான் கணித்து வெளியிட்டார். இது இறுதி வடிவில்

$$\chi_M = -3{\cdot}11 \times 10^6 \sqrt{K\propto_0} + \chi_p \qquad (5.23)$$

என்றாகின்றது. இது முழுவதும் கொள்கை அடிப்படையில் அமைந்தது என்று கூற முடியாவிடினும் மற்ற முறைகளைக் காட்டிலும் கொள்கை அடிப்படையுடையது என்று கூறலாம். இதிலுள்ள சிறப்பு இதன்மூலம் அளவிடப்பட்ட காந்த ஏற்புத் திறனை லாஞ்சுவின் டையாக் காந்தப் பகுதியாகவும், வெப்ப நிலையால் மாறுபடாத வேன்வெலக் பாராக் காந்தப் பகுதியாகவும் பிரிக்க முடியும். வேன்வெலக் பாராக் காந்தப் பகுதி அணுக்களுக் கிடையில் அமையும் பிணையினைப் பொறுத்திருப்பதால் இந்தப் பாராக் காந்தப் பகுதியை அளப்பதன்மூலம் மூலக்கூறுகளின் உள்ளமைப்பு முறைகளைப்பற்றி அறியலாம். மேலும் இந்த முறை பொருள்களின் காந்தப் பண்புகளையும் அவற்றின் நிறமாலை அளவீடுகளையும் இணைக்க முடியும் [36, 37, 38]

5.7. மூலக்கூறுக் கலவைகள் (Molecular Mixtures)

ஒரு கலவையின் காந்த ஏற்புத்திறனை வைட்டமினின் கூட்டல் விதி (Wiedmann's additive law) மூலம் கணிக்கலாம்.

இதனை,

$$\chi_{\text{கலவை}} = \left\{ \begin{array}{c} \text{கரைப்பொருளின்} \\ \text{காந்த} \\ \text{ஏற்புத்திறன்} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{அதன் எடை} \\ \text{வீதம்} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{கரைப்பானின்} \\ \text{காந்த} \\ \text{ஏற்புத்திறன்} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{அதன் எடை} \\ \text{வீதம்} \end{array} \right\}$$

$$= \chi_1 w_1 + \chi_2 w_2 + \qquad (5.24)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் X_1, X_2 மற்றும் ω_1, ω_2 இவை முறையே கலவையிலுள்ள பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறனையும் அவற்றின் எடை வீதத்தையும் (Weight fraction) குறிக்கும். அமைப்பு முறையில் மாறுதல் ஏற்படாத கலவைகள் இந்த விதிக்குச் சிறந்த முறையில் உட்படுகின்றன.

பொதுவாகக் கலவைகளில் காந்த ஏற்புத்திறனில் இந்த விதிகளிலிருந்து விலகிச் செல்லுகின்ற (Deviative) அளவினைக் கணக்கிட்டு அவற்றிலிருந்து மூலக்கூறுகளுக்கிடையில் ஏற்படும் அணைவுச் சேர்மங்களைக் (Complex compound) கண்டறியலாம். இவ்வாறு அளக்கப்பட்ட கலவைகளையும் அவற்றின் முடிவுகளையும் ஸ்ரீராமன், சண்முகசுந்தரம் மற்றும் சபேசன் இவர்கள் தொகுத்து வெளியிட்டார்கள் [39].

5.8. டையாக்காந்த ஏற்புத்திறனும் வெப்பநிலையும்

லாஞ்சுவின் பழங். கொள்கையும் வேன்லெக்கின் குவான்டம் கொள்கையும், டையாக் காந்த ஏற்புத்திறன் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் மாறுபடாது என்பதைத் தெளிவாகக் கூறுகின்றது. ஆனால், பெரும்பான்மையான பொருள்களில் காந்த ஏற்புத் திறன்கள் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் சிறிதளவு மாறுபடுகின்றது.

லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டினை வருவிக்கையிலும், வேன்லெக் சமன்பாட்டினை வருவிக்கையிலும் பொருள்களின் இயற்பியல் நிலையைப்பற்றிக் (Physical state) கவனத்தில் கொள்ளவில்லை. எனவே, பொருள்களின் இயற்பியல் நிலை அவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறனைப் பாதிப்பதில்லை என்றாகின்றது. எனினும், ஆக்ஸாலி [40] (Oxely) என்பவர் பொருள்களின் இயற்பியல் நிலை மாறுபடும்பொழுது காந்த ஏற்புத்திறன்களின் அளவுகள் மாறுகின்றன என்று கண்டார். மேலும் மூலக்கூறுகளின் இணக்கம் (Molecular association) உள்ள நீர்மங்களில் வெப்பநிலை உயரும் பொழுது அவற்றின் பிரிகை காரணமாக காந்த ஏற்புத்திறனளவில் சிறிதளவு மாறுதல்கள் நிகழ்கின்றன. எனினும், இந்தப் பிரிவு இன்னும் முழுவதுமாக ஆராயப்படவில்லை. இத்தகைய மாறுதல்களுக்கான விளக்கங்களை அதிக அளவிலான ஆராய்ச்சியின் மூலம் தான் பெறமுடியும்.

6. பாராக் காந்தவியல்

6.1. தொடக்கவுரை :

சென்ற அத்தியாயத்தில் ஒரு பொருளின் அணுவில் அமைந்துள்ள எலெக்ட்ரான்களின் பாதை அமைப்பு, அவற்றின் காந்தத் திருப்புதிறனின் தொகுபயன் அணுவிற்கு வெளியே சுழியாகுமாறு அமைந்தால் அப் பொருள் டையாக் காந்தமாகும் என்று கண்டோம். மாருக, அணுவினுடைய எலெக்ட்ரான் பாதையின் அமைப்பு. சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் அணுவிற்கு வெளியில் காந்தத் திருப்புதிறனுடையதாக இருந்தால் அப் பொருள் பாராக்காந்தப் பண்புகளை உடையதாக இருக்கும்.

6·2. லாஞ்சுவின் பாராக்காந்தக் கொள்கை (Langevin's theory of Para magnetism)

எலெக்ட்ரான் கொள்கையின் அடிப்படையில் பாராக்காந்தவியலுக்கான விளக்கத்தினை லாஞ்சுவின் முதன்முதலில் வெளியிட்டார். அதன்படி ஒரு பாராக்காந்த வாயுவின் ஒவ்வொரு துகளும் 'μ' அலகு நிலையான காந்தத் திருப்புதிறனுடையதாகக் கொள்ளப்படும். இந்த வாயு ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் பொழுது ஒவ்வொரு துகளும் அதன் அச்சு காந்தப்புலத் திசையில் இருக்குமாறு தன்னை அமைத்துக்கொள்ளுகின்றது. சாதாரண வெப்பநிலையில் இந்த வாயுவின் துகள்கள் வெப்பச் சலனத்திற்கு ஆட்படுவதால் எல்லாத் துகள்களும் காந்தப்புலத் திசையில் அமைய இயலாது. எனினும் பெரும்பான்மையான மூலக்கூறுகள் காந்தப்புலத் திசையில் அமைந்துள்ள ஒரு சம நிலையிலிருக்கும். இதனால் பொருள், காந்தப்புலத் திசையில் காந்தத்தன்மை யடைகின்றது. காந்தப்புலம் செயல்படாத நிலையில் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் பல திசைகளிலும் நிலைகொண்டிருக்க முடியும். ஆனால், காந்தப்புலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் நிலை கொள்ளக்கூடிய நிகழ்திறனை மாக்ஸ்வெல்-போல்ட்ஸ்மென் (Maxwell-Boltzman) புள்ளியல் விதியினைக்கொண்டு கணக்கிடலாம்.

'μ' அலகுகாந்தத் திருப்புதிறன் கொண்ட ஒரு மூலக்கூறு காந்தம் H செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் தன் அச்சு, காந்தப்புலத் திசைக்கு α° கோணத்திலிருந்தால் அதன் ஆற்றல்

$$E = -\mu H \cos \alpha \qquad (6{\cdot}1)$$

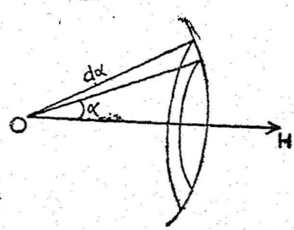
E நிலைஆற்றலுடன் ஓரலகு திண்மக் கோணத்தில் (Unit solid angle) சமநிலை கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை

$$dn \propto e^{-E/kT}$$
$$= K e^{-E/kT}$$

இதில், k ஒரு மாறிலியாகும்.

காந்தப்புலத் திசைக்கு α° கோணம் சாய்வான திசையில் திண்மக்கோணம் $d\alpha$ கொண்ட பகுதிக்குள் தன் அச்சுகளைக் கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை

$$dn = K e^{-E/kT} d\omega \qquad (6.2)$$



படம் 6.1.

α, மற்றும் $\alpha + d\alpha$ ஆகிய அரை உச்சிக் கோணங்களைக் கொண்ட இரு கூம்புப் பகுதிகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் திண்மக்கோணம் $d\omega$ எனவே,

$$d\omega = 2\pi \sin \alpha \, d\alpha \qquad (6.3)$$

சமன்பாடுகள் 6·1; 6·3 இவற்றிலிருந்து E, $d\omega$ இவற்றின் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 6·2-ல் பொருத்தினுல்

$$dn = K e^{\frac{+\mu H \cos \alpha}{kT}} 2\pi \sin \alpha \, d\alpha \qquad (6.4)$$

காந்தப்புலத் திசையில் இந்த dn மூலக்கூறுகளின் காந்தத் திருப்பு திறனின் கூறுகள்

$$= K e^{\frac{\mu H \cos \alpha}{kT}} 2\pi \sin \alpha \, d\alpha \, \mu \cos \alpha \qquad (6.5)$$

$\propto$ மூலக் கூறுகளின் சராசரி காந்தத்திறனாகவும் 'n' மொத்த மூலக் கூறுகளின் எண்ணிக்கையுமானால், செயலுறு காந்தத் திருப்பு திறன், சமன்பாடு (6·5)-லிருந்து,

$$M = n\overline{\mu}$$

$$= \int_{0}^{\pi} K e^{a\cos\propto} \mu\, 2\pi \operatorname{Sin}\propto \cos\propto d\propto \qquad (6.6)$$

இதில், $a = \frac{\mu H}{kT}$ ஆகும்.

மொத்த மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை

$$n = \int_{0}^{\pi} dn$$

சமன்பாடு (6·4)-லிருந்து,

$$n = \int_{0}^{\pi} K e^{a\cos\propto} 2\pi \operatorname{Sin}\propto d\propto \qquad (6.7)$$

சமன்பாடு (6·6) மற்றும் (6.7)ஐ விடுவிக்க $x = \cos\propto$ என்று கொள்வோம். பின் $dx = -\operatorname{Sin}\propto d\propto$ ஆகும். எனவே சமன்பாடு (6·6)

$$n = \int_{+1}^{-1} K e^{ax} [-2\pi]\, dx$$

$$= 2\pi K \int_{-1}^{+1} e^{ax}\, dx$$

$$\frac{2\pi K}{a}\left[e^{a} - e^{-a} \right]$$

$$n = \frac{4\pi k}{a} \operatorname{Sin} h(a) \qquad (6.8)$$

இதுபோல் சமன்பாடு (6.6)ல் $\cos \alpha = x, -\sin \alpha \, d\alpha = dx$ என்று பொருத்தினல்,

$$M = n\,\overline{\mu} = \int_{1}^{-1} K e^{ax}\, 2\pi\,[-dx]\,\mu x$$

$$= 2\pi k \mu \int_{-1}^{+1} e^{ax}\, x dx$$

என்ருகும். அல்லது,

$$n\,\overline{\mu} = 2\pi k \mu \left\{ \left(\frac{xe^{ax}}{a} \right)_{-1}^{+1} - \left(\frac{e a^{x}}{a^2} \right)_{-1}^{+1} \right\}$$

$$= 2\pi k \mu \left\{ \left(\frac{e^{a} + e^{-a}}{a} \right) - \left(\frac{e^{a} - e^{-a}}{a^2} \right) \right\}$$

$$= 2\pi k \mu \left[\frac{2}{a} \cos h(a) - \frac{2}{a^2} \sin h(a) \right] \quad (6{\cdot}9)$$

சமன்பாடு (6·9)ஐ சமன்பாடு (6·8)-ல் வகுத்தால்,

$$\frac{n\,\overline{\mu}}{n} = \frac{2\pi k \mu \left[\frac{2}{a} \cos h(a) - \frac{2}{a^2} \sin h(a) \right]}{\frac{4\pi k}{a} \sin h(a)}$$

$$\overline{\mu} = \mu \left[\cot h(a) - \frac{1}{a} \right] \quad (6.10)$$

$$= \mu\, L(a) \quad (6.11)$$

இதில் $L(a)$ லாஞ்சுவின் கோவை எனப்படும். சமன்பாடு (6·10,-ல் $\cot h(a) - \frac{1}{a}$ என்ற பகுதியை விரித்தெழுதினல்

$$\frac{\overline{\mu}}{\mu} = \frac{a}{3} - \frac{a^3}{45} + \frac{2 r^5}{945} \quad (6.12)$$

என்ருகும். இதில் 'a'-ன் மதிப்பு மிகக் குறைவானதால் a-ன் மும்மடி உறுப்பும் அதற்குமேற்பட்ட உறுப்புகளும் மிகக் குறைந்த மதிப்புகளுடையனவாதலால் அவற்றினைக் காலத்தில் கொள்ள வேண்டியதில்லை.

எனவே, சமன்பாடு (6.12)

$$\frac{\bar{\mu}}{\mu} = \frac{a}{3} = \frac{\mu H}{3kT} \tag{6.13}$$

என்ருகும். அல்லது,

$$\frac{\bar{\mu}}{\mu} = \frac{\mu^2 H}{3kT}$$

அல்லது,

$$N\bar{\mu} = \frac{N\mu^2}{3kT} H \tag{6.14}$$

இதில் N-அவகட்ரோ எண். ஒரு கிராம் மூலக்கூறுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகும். எனவே, வாயுவின் கிராம் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறன்

$$\chi_M = \frac{N\bar{\mu}}{H} = \frac{N\mu^2}{3kT}$$

$$= \frac{N^2\mu^2}{3RT} \quad [\because Nk = R]$$

இதில் R, பொது வாயு மாறிலி. இதனை,

$$\chi_M = \frac{N^2\mu^2}{3RT} \tag{6.15}$$

$$= \frac{\sigma_M^2}{3RT}$$

இதில் $N\mu = \sigma_M =$ { ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் தெவிட்டிய காந்த ஏற்புத்திறனுகும் (Saturated magnetic moment)

$$\chi_M T = \frac{\sigma_M^2}{3R} = c \text{ ஒரு மாறிலி} \tag{6.16}$$

c இது க்யூரி மாறிலி எனப்படும்.

அல்லது,

$$\chi_M = c/T \tag{6.17}$$

சமன்பாடு 6·16-லிருந்து

$$\frac{\sigma_M^2}{3R} = c\text{ ,} \quad \text{அல்லது}$$

$$\sigma_M = \sqrt{3Rc} \tag{6.18}$$

என்ருகும். சமன்பாடு 6·18 σ_0-ஐக் கண்டுபிடிப்பதற்கு உதவும்.

சமன்பாடு 6·17-லிருந்து ஒரு பிராக்காந்தப் பொருளின் மோலார்க்காந்த ஏற்புத்திறன் (Molar susceptibility) பொருளின் சார்பிலா வெப்பநிலைக்கு (Absolute temperature) எதிர் வீதத்தி லிருக்கும் என்று பெறப்படுகின்றது. இந்த உண்மையை லாஞ்சு வின் கணித முறையில் நிரூபிப்பதற்குமுன் க்யூரி தம் சோதனை யின்மூலம் கண்டறிவித்தார். எனவே, இது க்யூரி அல்லது க்யூரி-லாஞ்சுவின் விதி எனப்படும். (Curie or curie-Langerin Law.)

சமன்பாடு 6·16-ஐ வருவிக்கையில் வாயு மூலக்கூறுகள் பாராக் காந்தப் பண்பினை மட்டுமே கொண்டிருப்பதாகக் கொள்ளப் பட்டது. நாம் முன் அத்தியாயத்தில் கூறியபடி எல்லாப் பொருள் களும் அடிப்படையில் டையாக் காந்தப் பண்பினைக் கொண் டுள்ளது. எனவே, துல்லியமாக பாராக்காந்த ஏற்புத் திறனைக் கணக்கிடும்பொழுது, அப்பொருளின் டையாக் காந்தத்திற்கான திருத்தத்தையும் கணக்கில் கொள்ளவேண்டும். மேலே லாஞ்சு வின் சமன்பாட்டை வருவிக்கையில் வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கையின் விதிகள் பயன்படுத்தப்பட்டன. எனவே, மேலே கண்ட சமன்பாடு வாயுக்களுக்கு மட்டும் அல்லது விதிகளை ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடிய பொருள்களுக்கு மட்டும் அல்லது ஒன்றுக்கொன்று குறுக்கிட்டுக் காந்த விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்காத பொருள் களுக்கு மட்டும் ஏற்புடையது என்று கொள்ள வேண்டியுள்ளது. எனினும், பெரும்பாலான பாராக்காந்தப் பொருள்கள் லாஞ்சுவின் விதிப்படி இயங்குகின்றன என்பதைச் சோதனைகள் நிரூபித் துள்ளன. இருந்தபோதிலும், பொதுவாக பாராக்காந்தப் பொருள் களின் காந்த ஏற்புத்திறன் மாறுதல் செய்யப்பட்ட க்யூரி விதியான க்யூரி-வெயிஸ் விதியைப் பின்பற்றுகின்றன.

6·3. க்யூரி-வெயிஸ் விதி (Curie Weiss Law)

வெயிஸ் என்பவர் க்யூரி விதிக்கான சமன்பாட்டில் ஒரு திருத் தத்தை வெளியிட்டார். அவர் திண்மப்பொருளினுள் மூலக்

கூறினுல் ஏற்படும் ஓர் காந்தப்புலம் (Internal magnetic field) செயல்படுவதாகக் கொண்டார். மேலும், இந்த உள் காந்தப்புலம் பொருளிலேற்படும் காந்தச்செறிவிற்கு நேர் வீதத்திலிருப்பதாக வும் கொண்டார்.

Hi உள்காந்தப் புலமாகவும் *I*, தூண்டிய காந்தச்செறிவும் எனக் கொண்டால்

$$Hi \propto I$$

அல்லது $Hi = nI$, n ஒரு மாறிலியாகும். பொருளின்மீது செயற்படும் வெளிக்காந்தப்புலம் *He* ஆனுல் பொருளின்மீது செயற்படும் கூடுதல் காந்தப்புலம்

$$H = He + Hi \qquad (6.19)$$

ஆகும். *H*-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (6·19)-லிருந்து சமன்பாடு 6·14-ல் பொருத்தினுல்

$$N\overline{\mu} = \frac{N\mu^2}{3\,kT}\,[He + Hi]$$

$N\,\mu = \sigma_M$ என்றும் கொண்டால்

$$\frac{\overline{\mu}}{\mu} = \frac{\sigma_M}{3\,RT}\,[He + Hi] \qquad Hi = nI$$

$$= \frac{\sigma_M}{3\,RT}\,[He + nI] \qquad (6.20)$$

பொருளின் அடர்த்தி *P* ஆகவும் அதன் மூலக்கூறு எடை M ஆகவுமிருந்தால்

$$I = \frac{N\overline{\mu}}{M/p} = \frac{\text{மூலக்கூறு காந்தத் திருப்புதிறன்}}{\text{மூலக்கூறுப் பருமன்}}$$

$= P$ இதில் σ = ஒரு கிராம் பொருளின் சராசரி காந்தத் திருப்புதிறன்

எனவே, சமன்பாடு (6.20)

$$\frac{\overline{\mu}}{\mu} = \frac{\sigma_M}{3\,RT}\left[He + \frac{n\sigma P}{\cdot\,\cdot}\right]$$

என்றுகும்.

எனவே, கிராம் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறன்

$$\chi_M = \frac{N\overline{\mu}}{He}$$

$$= \frac{\sigma_M^2}{3RT}\left[\frac{He + nP\ \sigma}{He}\right]$$

$$\chi_M = \frac{\sigma_M^2}{3RT}\left[1 + \frac{nP}{m}\chi_M\right]$$

$$\chi_M T = \frac{\sigma_M^2}{3R} + \frac{\sigma_M^2 nP}{3KM} xm$$

$$\chi_M\left[T - \frac{\sigma_M^3 nP}{3KM}\right] = \frac{\sigma_M^3}{3R}$$

இதில் $\frac{\sigma_M^2 nP}{3KM} = \theta$ என்று கொண்டால்

$$\chi_M[T-\theta] = \frac{\sigma_M^2}{3R} = c \text{ (க்யூரி மாறிலி)} \quad (6.21)$$

அல்லது

$$\chi_M = \frac{c}{T-\theta} \quad (6.22$$

இதில் θ க்யூரி வெப்பநிலை (Curie Temperature) எனப்படும்.

சமன்பாடு (6·22) க்யூரி வெயில் விதி எனப்படும். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து பொருள்களினுள் ஏற்படும் உட்காந்தப் புலத்தின் பயனுக, ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு மேல் காந்த ஏற்புத்திறன் பொருளின் வெப்பநிலைக்கு எதிர்வீதத்தில் வேறுபடுவது என்ருகின்றது. ஃப்ரோக் காந்தப் பொருள்களில், க்யூரி வெப்பநிலை நேர்க்குறியுடையது. அந்த வெப்பநிலையில் ஃப்ரோப் பொருளின் ஃப்ரோக் காந்தப் பண்பு பாராக்காந்தப் பண்பாக மாறுகின்றது. ஆனல், பாராக்காந்தப் பொருள்களுக்கு θ-ன் மதிப்பு மிகக் குறைவாக நேர்க்குறி அல்லது எதிர்க்குறி யுடையதாக இருக்கும்.

6·4. மாக்னட்டான் அலகுகள் (Weiss Magneton)

காந்தத் திருப்புதிறனை அளப்பதற்கு வெயிஸ் ஓர் அலகினை உருவாக்கினர். இந்த அலகு ஒரு வெயிஸ் மாக்னட்டான் ஆகும்.

இந்த அலகு காந்தத் திருப்புதிறனுக்கான அடிப்படை அலகாகக் கொள்ளப்பட்டது. தம்முடைய கணிப்பிலிருந்து வெயிஸ் ஒரு மூலக்கூறுக்கு மாக்னட்டானின் எண்ணிக்கை 1123·5 காஸ் × செ. மீ. மோல் ஆனால் குவான்டம் கொள்கையின் காந்தத் திருப்பு திறனின் அடிப்படை அலகு முன் அத்தியாயத்தில் கண்டபடி போர் மாக்னட்டானாகும் (Bohr magneton). ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் போர் மாக்னட்டானின் மதிப்பு = 5565 காஸ் × செ. மீ./ மோல். இது வெயிஸ் அலகைப்போல ஏறத்தாழ ஐந்து மடங்காகும்.

ஒரு பொருளின் கிராம் மூலக்கூறில் எவ்வளவு வெயிஸ் மாக்னட்டான்கள் இருக்கின்றன என்பதைப் பின்வருமாறு காணலாம்.

$$P\omega = \frac{\sigma_M}{1123 \cdot 5} = \frac{\sqrt{3\,RC}}{1123 \cdot 5}$$

$$= 14 \cdot 06\sqrt{C} \qquad (6 \cdot 23)$$

அல்லது போர் மாக்னட்டான் அலகில்

$$P_B = \frac{\sqrt{3\,RC}}{5565} = 2 \cdot 839\sqrt{C} \qquad (6 \cdot 24)$$

ஆகும். பொதுவாக, வழக்கில் போர் மாக்னட்டான் அலகில் குறிக்கப்படும். இதனை P_{eff} செயல்படு போர் மாக்னட்டானின் எண்ணிக்கை (Effective number of Bohr magneton) என்று கூறப்படும்.

ஒரு பொருளின் மாக்னட்டான் எண்ணிக்கையை அளப்பதற்கு அப்பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறனை மூன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். பொருள் க்யூரி விதிக்குட்பட்டால் $\frac{1}{x}$-க்கும் T-க்கும் வரையப்படும் வரை படத்திலிருந்து c-ன் மதிப்பைக் ($x = c/T$ கணக்கிட்டு, சமன்பாடு (6·23)-ன்படி $P\omega = 14 \cdot 06\sqrt{c}$ என்று வெயிஸ் மாக்னட்டான் அலகிலும் அல்லது சமன்பாடு (6·24)-ன்படி $P_{eff} = 2 \cdot 839\sqrt{c}$ என்று போர் மாக்னட்டான் அலகிலும் கணிக்கலாம்.

6·5. குவான்டம் கொள்கை அடிப்படையில் பாராக்காந்த வியல் (Quantum theory of Paramagnetism)

லாஞ்சுவின்-க்யூரி விதி பெரும்பான்மையான பாராக்காந்தப் பொருள்களுக்குத் தோராயமாகப் பொருந்தினாலும் துல்லியமாகும்

பொழுது விதி அதிகமாகப் பொருந்தாதது வெளியாயிற்று. குவாண்டம் கொள்கை வெளியீட்டிற்குப்பின் வேன்வெலக், அதனடிப்படையில் பாராக்காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான சமன்பாட்டினை வெளியிட்டார்.

நாம் முன்பு லாஞ்சுவின் விதியினை வருவிக்கையில் μ காந்தத் திருப்புதிறனுடைய துகள் காந்தப்புலத் திசைக்கு $\theta°$ கோணம் சாய்ந்திருப்பதாகக்கொண்டு காந்தப்புலத் திசையில் அதன் கூறு $\mu \cos \theta$ என்று கண்டோம். மேலும், பொருள்களின் அணுக்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் நிலைபெறுமென்றும், எனவே மூலக்கூறின் காந்தத் திருப்புதிறனைக் காண்பதற்கான சமன்பாட்டில் (சமன்பாடு 6·10) θ-ன் மதிப்பை θ முதல் π கூடுதல் செய்தோம். ஆனால், குவாண்டம் கொள்கையின் அளவீட்டு முறையின்படி ஓர் அணுக் காந்தம் அல்லது ஒரு மூலக்கூறுக் காந்தம் ஒரு காந்தப்புலத்தில் சில குறிப்பிட்ட தனித்தனியான நிலைகளைத்தான் ஏற்க முடியும்.

ரஸ்ஸல்-சாண்டர்ஸ் பிணைப்பும் (Russell-Saunders Coupling) L, S மற்றும் J குவாண்டம் எண்களுடன் கூடிய ஒரு அணு அமைப்பை, ஒரு குறைந்த செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் J வெக்டர் காந்தப்புலத் திசையைக்கொண்டு மெல்லச் சுழலத் தொடங்கும். காந்தப்புலத் திசையில் இந்தக் காந்தத் திருப்பு திறனின் கூறு $M_J g \mu_B$ ஆகும். இதில்

M_J – காந்தக் குவாண்டம் எண்

g – லண்டே உறுப்பு (Lande 'g' factor)

μ_B = போர் மாக்னட்டான்.

மேலும், குவாண்டம் கொள்கையின் அளவீட்டு முறைப்படி, இதில் $M_J = J, (J-1), (J-2) \ldots\ldots -(J\text{-}1)\text{-}J$ என்று $(2JH)$ மதிப்புகளை மட்டுமே பெற முடியும். M_J திருப்புதிறனுடைய அணுவின் காந்தநிலை ஆற்றல்

$$W = -M_J g \mu_B H$$

மாக்ஸ்வெல்-போல்ட்ஸ்மென் புள்ளியல் விதியினை ஏற்றுக் கொண்டு இந்த நிலையாற்றலுடைய அணு அல்லது அயனிகளின் எண்ணிக்கை

$$= \overline{e}^{\,W/RT}$$

$$= e^{M_J g \mu_B H/RT} \qquad (6.25)$$

N துகள்களைக்கொண்ட ஒரு கிராம் அணுவை H செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறன்

$$M_H = \frac{N \sum_{-J}^{+J} M_J g\mu_B \, e^{M_J g\mu_B H/RT}}{\sum_{-J}^{+J} e^{M_J g\mu_B H/RT}} \qquad (6.26)$$

$$= \frac{Ng\mu_B \sum_{-J}^{+J} M_J \left(1 + \frac{M_J g\mu_B H}{RT}\right)}{\sum_{-J}^{+J} \left(1 + \frac{M_J g\mu_B}{RT}\right)}$$

$$Ng\mu_B \frac{O + \left(\frac{J^2 g\mu_B H}{RT} + \frac{(J-1)^2 g\mu_B H}{RT} + \ldots\ldots\right)}{2J+1}$$

$$= \frac{Ng^2 J(J+1)\,\mu_B^2 H}{3\,RT}$$

$$M_H = g^2 J\,(J+1)\,\frac{N^2\mu_B^2}{3\,RT}\,H$$

$$\frac{M_H}{H} = \chi_M \text{ or } \chi_A = 8^2 J\,(J+1)\,\frac{N^2\mu_B^2}{3\,RT}$$

அல்லது

$$\chi_M = g^2 J\,(J+1)\,\frac{\mu_B^2 N^2}{3\,RT} \qquad (6.27)$$

இதனை $\chi_M = \dfrac{N^2\mu_J^2}{3\,RT}$ (6·28)

என்று எழுதலாம். சமன்பாடு (6·27); (6·28) இவற்றை ஒப்பிட்டு

$$\mu_J^2 = g^2 J\,(J+1)\,\mu_B^2 \qquad (6{\cdot}29)$$

என்று எழுதலாம். இதிலிருந்து மூலக்கூறின் காந்தத் திருப்பு

$$\mu_J = g\sqrt{J\,(J+1)}\;\mu_B \qquad (6{\cdot}30)$$

திறன் அல்லது, $\mu_J = g\sqrt{J\ J+1)}$ போர் மாக்னட்டான் என்று கும். அல்லது, போர் அலகில் செயலுறு மாக்னட்டானின் எண்ணிக்கை $P_{eff} = g\sqrt{J\ (J+1)}$ சமன்பாடு (6·30) அணுவின் பாராக்காந்தப் பண்புகளையும் நிறமாலைப் பண்புகளையும் இணைக்கின்றது.

எளிதான நிலையில் S நிலையிலுள்ள ஓர் அணுவின் வீதி நிலை திருப்புதிறன் $L = o$. எனவே, ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறன் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியால் விளைவதாகும். ஆகையால் $J = L + S = S$, மற்றும் $g = 2$, எனவே சமன்பாடு 6·30-ன்படி

$$\mu_S = 2\sqrt{S\,(S+1)}$$
$$= \sqrt{4\,S(S+1)} \qquad (6.31)$$

அணு $'S$ நிலையிலிருந்தால் இதில் தற்சுழற்சித் திருப்புதிறன் $S = \frac{1}{2}$ ஆகும். இதனைச் சமன்பாடு (6·31)-ல் பொருத்தினால்

$$\mu_S = \sqrt{3} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, காந்த ஏற்புத்திறன் அளவிலிருந்து கணிக்கப்படும் μ_S-ன் மதிப்பும் $\sqrt{3}$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

அருமண் அயனிகளுக்கு (Rare earth Ions) சமன்பாடு (6·31)ஐக் கொண்டு கணக்கிட்ட P_{eff}-ன் மதிப்புகளும், அவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன் அளவுகளிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட P_{eff}-ன் மதிப்புகளும் ஒத்திருந்தன. ஆனால், மற்ற இடைநிலைத் தனிம அயனிகளைப் (Transition group ions) பொறுத்தவரை மேலே கண்ட சமன்பாடு பொருந்தவில்லை. இதனைப் பின்னர் விளக்கமாகக் காண்போம்.

6.6. அலையியக்க அடிப்படையில் பாராக்காந்த சமன்பாடு (Equation for the paramagnetic susceptibility based on new wave mechanics)

அலையியக்கவியல் (Wave Mechanics) வெளியீட்டினை ஏற்று வேன்வெலக் (41) பாராக்காந்தத் தன்மைக்கான, மேலும் ஒரு துல்லியமான சமன்பாட்டைக் கண்டார். அதன்படி கிராம் மூலக்கூறின் காந்த ஏற்புத்திறனை

$$X_M = \frac{N^2\,\overline{\mu^2}}{3\,RT} + N\,\overline{\alpha} \qquad (6.32)$$

என்று குறிக்கலாம். இதில் $\overline{\overline{\mu^2}}$ என்பது காந்த ஏற்புத்திறன். வெக்டரின் குறைந்த அதிர்வெண் பகுதியின் நேர் சராசரியினை ஒவ்வோர் இயல்பு நிலைகளுக்கும் (Normal State) கண்டு, பின்னர் எல்லா இயல்பு நிலைகளுக்குமான சராசரியினைக் குறிக்கும்.

$$N\overline{\alpha} = \frac{2}{3} N \sum_{n' \pm n} \frac{|m^{\circ}(n'; n)|^2}{h\nu (n'; n)} - \frac{Ne^2}{6mc^2} \sum r^2$$

ஆகும். இதில் முதற் பகுதி n', n மாற்றத்தால் ஏற்படும் உயர் அதிர்வெண், வெப்பநிலை மாறுபட்டால் மாறுபடாத பாராக்காந்தப் பகுதி. இரண்டாம் பகுதி உள்ளடங்கிய டையாக்காந்தப் பகுதி. இதுவும் வேன்வெலக்கின் முழுச் சமன்பாட்டையும்

$$X_M = \frac{N^2 \overline{\overline{\mu^2}}}{3KT} + \frac{2}{3} \sum_{n' \pm n} \frac{|m^{\circ}(n;n')|^2}{h\nu(n';n)} - \frac{Ne^2}{6mc^2} \sum r^2 \qquad (6.33)$$

என்று எழுதலாம். இது மூன்று பகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது.

(1) $\frac{N^2 \overline{\overline{\mu^2}}}{3KT}$. நாம் முன்பு கண்ட லாஞ்சுவின் சமன்பாடாகும். வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப மாறும்.

(2) $n'\ n$ மாற்றத்தால் ஏற்படும் உயர் அதிர்வெண் பாராக் காந்தப் பகுதி. வெப்பநிலை மாற்றத்தால் மாருதது.

(3) உள்ளடங்கிய டையாக்காந்தப் பகுதி. வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் மாருதது.

6.7. ஆற்றல்நிலைப் பிரிவின் காந்த விளைவுகள் (The magnetic Significance of Multiplet Widths)

நாம் சமன்பாடு (6·28) ஐ வருவிக்கையில் எல்லா அணுக்களும் ஒரே L, S மற்றும் J நிலைகளைக்கொண்டிருப்பதாகக் கொண்டோம். இது உண்மையாகாமலும்கூட இருக்கலாம். அணுக்களின் எலெக்ட்ரான்களின் வெப்பச் சலனத்தால் ஏற்படும் ஆற்றல் KT-க்கு ஏற்ப இருக்கும். எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்நிலைப் பிரிவுகளின் அளவுகள் (Multiplets intervals) (1) KTஐவிட மிகக் குறைவாக இருக்கலாம் அல்லது (2) KTஐவிட மிக அதிகமாக இருக்கலாம். இதனை, முறையே $h\nu\ (JJ') << KT$ என்றும், $h\nu\ (JJ') >> KT$ என்றும் குறிக்கலாம். இனி, இந்த இரு நிலைகளிலும் பாராக்காந்த ஏற்புத் திறனைக் காண்போம்.

(1) $h\nu << KT$:

ஆற்றல்நிலைப் பிரிவுகள் KTஐவிட மிகக் குறைவாக இருக்கையில் சமன்பாடு (6·33)-ல் உயர் அதிர்வெண் பகுதி சுழியாகும். மேலும் டையாக்காந்தப் பகுதி மிகக் குறைவாக இருந்தால் காந்த ஏற்புத் திறனைச் சமன்பாடு 6·33-ன் முதற் பகுதியால் மட்டும் குறிக்கலாம்.

மேலும் இரு ஆற்றல்நிலைப் பிரிவுகள் குறைந்த இடைவெளியுடையதாகையால் அணுக்கள் வெவ்வேறு ஆற்றல்நிலைகளிலிருப்பதாகக் கொள்ள முடியும். இந்த நிலையில் 'L'-க்கும் 'S'க்குமுள்ள பிணைப்பு, 'L'-க்கும் 'H'-க்கும் அல்லது 'S'-க்கும் 'H'-க்கும் உள்ள பிணைப்பினைவிடக் குறைவாக இருப்பதாகவும் கொள்ளலாம். எனவே, வீதி நிலைத்திருப்பு திறனும், தற்சுழற்சித் திருப்புதிறனும் தனித்தனியாக குவான்டம் அளவீடு செய்யப்படவேண்டும். எனவே, 'கிராம் அணுவின்' காந்தத் திருப்புதிறன்

$$M_H = N\mu_B \left\{ \frac{\sum_{M_L=-L}^{M_L=L} M_L \, e^{\frac{M_L \mu_B H}{RT}}}{\sum_{M_L=-L}^{M^L=L} e^{\frac{M_L \mu_B H}{RT}}} + \frac{\sum_{M_S=-S}^{M_S=S} M_S \, e^{\frac{M_S \mu_B H}{RT}}}{\sum_{M_S=-S}^{M_S=+S} e^{\frac{M_S \mu_B H}{RT}}} \right\}$$

இதனைச் சுருக்கினால்

$$M_H = N\mu_B \left[\tfrac{1}{3} L(L+1) \frac{\mu_B H}{RT} + \tfrac{4}{3} S(S+1) \frac{\mu_B H}{RT} \right]$$

$$= \frac{\mu \mu_B{}^2 H}{8\, RT} \Big[L(L+1) + 4S(S+1) \Big]$$

அல்லது,

$$X_M = \frac{M_H}{H} = \frac{N^2 \mu_B{}^2}{3\, RT} [L(L+1)+4S(S+1)] \quad (6.34)$$

என்றாகும் அல்லது, செயலுறு போர் மாக்னெட்டானின் எண்ணிக்கையில்

$$P_{eff} = [L(L+1)+4S(S+1)] \qquad (6.35)$$

என்றாகும்.

(2) $h\nu >> RT$

ஆற்றல்நிலைப் பிரிவுகள் அதிக இடைவெளி யுடையதாக இருக்கும்பொழுது எல்லா அணுக்களும் குறைந்த ஆற்றல் நிலையிலேதான் இருக்கவேண்டும். KT-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருப்பதால், இதனைக்கொண்டு ஆற்றல்நிலையின் மேல் மட்டத்தை அணுக முடியாது. மேலும், உயர் அதிர்வெண் பகுதியான வெப்ப நிலையால் மாறுபடாத பாராக்காந்தப் பகுதி கழியாகாது. எனவே, காந்த ஏற்புத்திறனை

$$X_M = \frac{N^2 \mu_B^2}{3RT} g^2 J(J+1) + N\alpha \qquad (6.36)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். வேன்வெலக் $N\alpha$-ன் மதிப்பைக் கீழ்வரும் சமன்பாட்டின்மூலம் கண்டுள்ளார்.

$$N\alpha = \frac{N\mu_B^2}{6(2J+1)}\left[\frac{F(J+1)}{h\nu(J+1, J)} - \frac{F(J)}{h\nu(J+1, J)}\right]$$

இதில் $F(J)$-ன் மதிப்பு

$$= \frac{1}{J}\left[(S+L+1)^2 - J^2(J^2 - (S-L)^2 \right] \qquad (6.37)$$

6·8 வேன்வெலக் சமன்பாடும் சோதனை முடிவுகளும் (Van Veleck Expression and Expermental Results)

முன் பகுதியில் வருவித்த பாராக்காந்தச் சமன்பாடுகளைச் சோதனை மூலம் நிரூபிப்பதில் சில தடங்கல்கள் ஏற்படுகின்றன. மேலே கண்ட சமன்பாடு பாராக்காந்தப் பொருள்கள் வாயு நிலையில் அல்லது நீர்த்த கரைசல் நிலையில் இருக்கும்பொழுது மட்டுமே துல்லியமாகப் பொருந்தும். பொருள்களை வாயு நிலையில் கையாளுவதில் பல தடங்கல்கள் ஏற்படுகின்றன. நீர்த்த கரைசலாக இருக்கையில், எந்த வெளி இணைத்திறன் (Valence) எலெக்ட்ரானால் பொருள்கள் பாராக்காந்தத் திறனுடையதாக உள்ளதோ அந்த எலெக்ட்ரானை இழந்து அயனிகளாகி டையாக்காந்தப் பண்புகளுடன் திகழ்கின்றது உதாரணமாக, K மற்றும் cl என்ற இரு தனிமங்களும் சோடி இல்லாத ஒற்றைப்படை வெளி எலெக்ட்ரான்களுடன் பாராக்காந்தத் தன்மையுடையவை. ஆனால் kcl உப்பை நீர்த்த கரைசலாக்கினால் ஓர் எலெக்ட்ரானை இழந்த k^+-ம் ஓர் எலெக்ட்ரானை ஏற்ற cl^--ம் ஆர்கானின் உள்ளக அமைப்பை ஏற்று டையாக்காந்தமாகச் செயல்படுகின்றது.

ஆனால், இடைநிலை வரிசைத் (Transition series) தனிமங்களும் அருமண் (Rare earth) தொகுதித் தனிமங்களும் இதற்கு விலக்கானவை. இந்தத் தனிமங்கள் எல்லாம் வெளி இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்களுடன் பூர்த்தியடையாத உள்கூடுகளைக் (Shell) கொண்டிருக்கின்றன. இரும்புத் தொகுதியில் பூர்த்தியடையாத உள்கூடு 32 ஆகும். அருமண் தனிமங்களுக்கு 4f-ம், பிளாட்டினம் தொகுதிக்கு 5d-யும் பூர்த்தியடையாத கூடுகளாகும். அருமண் உப்புகள் கரைசலில் அயனிகளாகும்பொழுது தன்னுடைய வெளி இணைதிறன் எலெக்ட்ரானை 5d மற்றும் 6s எலெக்ட்ரான்களை இழந்து விடுகின்றது. அருமன் அயனிகளின் பாராக்காந்தப் பண்பு பூர்த்தியடையாத 4f துணைக்கூட்டினால் ஏற்படுவதாகும். அருமண் அயனிகளுக்கான தனிச் சிறப்பு பாராக்காந்தத்தைத் தோற்றுவிக்கும் 4f எலெக்ட்ரான்களுக்கு வெளியே கவசமாக 2.5s எலெக்ட்ரான்களும் 6.5p எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன. மற்ற இடைநிலை வரிசை அயனிகளில் இணைதிறன் எலெக்ட்ரான் அகற்றப்பட்டால் பூர்த்தியடையாத துணைக்கூடு வெளிப்பகுதியில் அமைந்துள்ளன. எனவே, இந்த அயனிகளில் சுற்றியுள்ள கரைப்பானின் மூலக்கூறுகள் அல்லது அயனிகள் குறுக்கீடுதலின் காரணமாக வீதி காந்தத் திருப்புதிறன் முழுவதுமோ பகுதியளவோ பாதிக்கப்பட்டு அப் பொருள்களின் காந்தப் பண்புகளைத் தற்சுழற்சியின் விளைவாக மட்டும் கொண்டு விளக்க வேண்டியுள்ளன.

இத்தகைய பாராக்காந்தப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறனைச் சோதனையின்மூலம் கண்டு அதனுடன் வேன்வெலக் சமன்பாட்டின்மூலம் கணக்கிடப்பட்ட காந்த ஏற்புத் திறனை ஒப்பிட்டுச் சமன்பாடு எந்த அளவு ஏற்புடையது என்பதைக் கண்டறியலாம். காந்த ஏற்புத்திறனைச் செயலுறு போர் மாக்னெட்டான் அலகில் ஒப்பிடுவது சாலச் சிறந்தது. செயலுறு போர் மாக்னெட்டான் அலகில் கணக்கிடுவதற்கு நாம் முன்பு கூறியது போல மூன்று அல்லது அதற்குமேம்பட்ட வெப்பநிலைகளில் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கண்டுபிடித்து இந்த மதிப்பிற்கும் $1/T$-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரையவேண்டும். பொருளின் காந்த ஏற்புத்திறன் க்யூரி விதிப்படி அமைந்தால் புள்ளிகள் ஒரு நேர்கோட்டில் அமையும். அந்தக் கோட்டின் சரிவு c ஆகும்.

$$(X_M)_+ = \frac{C}{T} = P_{eff}^2 \cdot \frac{N^2}{3RT}$$

ஆகும். அல்லது போர் மாக்னெட்டான்

$$P_{eff} = 2{\cdot}839\sqrt{c} \qquad (6.24)$$

அல்லது க்யூரி-வெயிஸ் விதிப்படி அமைந்தால்,

$$P_{eff} = 2{\cdot}839\sqrt{(X_M)_+ (T-\theta)} \qquad (6{\cdot}38)$$

என்றாகும். எனவே சோதனையின்மூலம் கிடைக்கும் P_{eff}-ன் மதிப்பை 6·24) அல்லது (6·38) சமன்பாடுகளைக்கொண்டு கணக்கிட்டு ஒப்பிடலாம்.

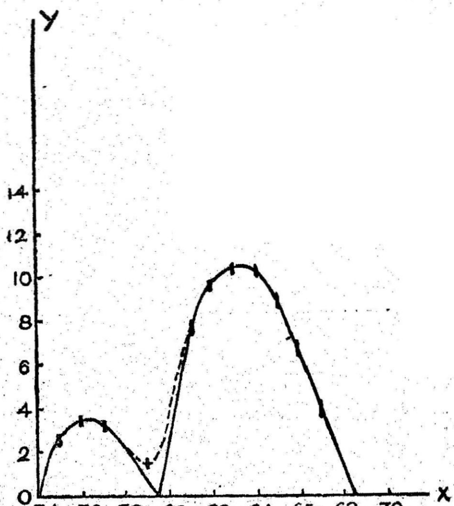
6·9. அருமண் தொகுதி அயனிகள் (Ions of Rare Earth groups)

காந்தவியல்பினைப் பொறுத்தவரை மிகவும் பயனுடைய பொருள்கள் அருமண் உப்புகள். ஆனால், இவற்றினை உண்டாக்குவது அவ்வளவு எளிதல்ல. மேலும் அதிகச் செலவுடையது. சோதனையின்மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட காந்தத் திருப்புதிறன்கள் (Peff அளவில்) அட்டவணை 4·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றுடன் அவ்வயனிகளுக்கான உள்ளமைப்பின் புள்ளி விவரங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

$$\text{Peff} = g\sqrt{J(J+1)} \qquad (6{\cdot}39)$$

என்ற சமன்பாட்டுப்படி கணக்கிட்ட Peff-ன் மதிப்புகளும், ஹண்ட் என்பவர் கணக்கிட்டார், சமன்பாடு 6·35-ன்படி வேன்வெலக் கணக்கிட்ட Peff-ன் மதிப்புகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இந்தச் சோதனை மூலம் கண்ட Peff மதிப்புகளும் $\text{Peff} = g\sqrt{J(J+1)}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புகளும் படம் 6·2-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.



அயனிகளில் எலெக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை

— peff = g√J(J+1)

---peff - வேன்வெலக் சமன்பாட்டின்படி கணக்கிடப்பட்டது

படம் 6·2.

அட்டவணை 6.1. அருமண் தொகுதி அயனிகளின் Peff மதிப்புகள்

எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை	அயனி	இயல்பு நிலை	L	S	J	Peff சோதனை மூலம்	$g\sqrt{J(J+1)}$	Peff வேன்வெலக்
54	La^{++}	$1\ So$	0	0	0	டையா	0	0
55	Ce^{+++} Pr^{++}	$2\ F_{5/2}$	3	$\frac{1}{2}$	5/2	2·50 ; 2·62	2·54	2·56
56	Pr^{+++}	$3\ H_4$	5	1	4	3·61	3·58	3·62
57	Nd^{+++}	$4\ J_{9/2}$	6	3/2	9/2	3·80	3·62	3·68
58	Il^{+++}	$5\ J_4$	6	2	4	—	2·68	2·83
59	Sm^{+++}	$6\ H_{5/2}$	5	5/2	5/2	1·51	0·84	1·55 ; 1·65
60	Eu^{+++} Sm^{++}	$7\ Fo$	3	3	0	3·63	0·00	3·40 , 3·51
61	Gd^{+++} Eu^{++}	$8\ S_{7/2}$	0	7/2	7/2	7·79 ; 7·90	7·94	7·94
62	$T6^{+++}$	$7\ F_6$	3	3	6	9·65	9·70	9·70
63	Dy^{+++}	$6\ H_{15/2}$	5	5/2	$7\frac{1}{2}$	10·50	10·60	10·60
64	Ho^{+++}	$5\ J_8$	6	2	8	10·50	10·60	10·60
65	Er^{+++}	$4\ J_{15/2}$	6	3/2	$7\frac{1}{2}$	9·55	9·60	9·60
66	Tu^{+++}	$3\ H_6$	5	1	6	7·27	7·60	7·60
67	$Y6^{+++}$	$2\ F_{7/2}$	3	$\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	4·45	4·50	4·50
68	Cp^{+++}	$1\ So$	0	0	0	டையா	0·00	0·00

S_m^{+++} மற்றும் E_u^{+++} இவற்றைத் தவிர மற்ற எல்லாப் பொருள்களுக்கும் மதிப்புகளும் பொருந்துகின்றன. அந்த விரு அயனிகளும் ஆற்றல்நிலை (J, J') பிரிவுகள், இடைநிலை கொண்ட தாகக்கொண்டு Peff மதிப்புடன் பொருந்துகின்றன. இவற்றி லிருந்து வேன்வெலக் சமன்பாடு பொருள்களின் பாராக்காந்தப் பண்பினைத் தெளிவாக விளக்குவதாகக் கொள்ளலாம்.

6·10. இரும்புத் தொகுதி அயனிகள் (Ions of Iron group)

சோதனையின்மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இரும்புத் தொகுதி அயனிகளுக்கான காந்த ஏற்புத்திறனின் மதிப்புகள் அட்டவணை 6·2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதில் அணு அமைப்பின் புள்ளி விவரங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

$$\text{Peff} = g\sqrt{J(J+1)}$$

$$\text{Peff} = \sqrt{L(L+1)+4S(S+1)}$$

மற்றும், $\text{Peff} = \sqrt{4S(S+1)}$

ஆகிய மூன்று சமன்பாடுகளைக்கொண்டு கணக்கிட்டு அவற் றினையும் அதே அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

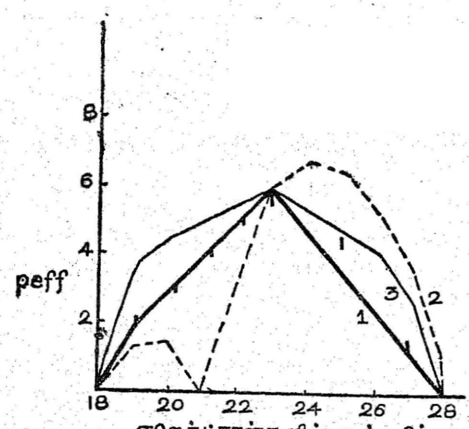
முதலில், $\text{Peff} = g\sqrt{J(J+1)}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி கணக் கிடப்பட்ட அளவும், சோதனையின்மூலம் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட அளவுகளும் பெரிதும் வேறுபடுகின்றன. மேலும், அணுவின்

அட்டவணை 6.2. இரும்புத் தொகுதி அயனிகள் Peff மதிப்புக்கள்

எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை	அயனி	இயல்பு நிலை	L	S	J	Peff சோதனை மூலம்	$g\sqrt{J(J+1)}$	$\sqrt{L(L+1)+4S(S+1)}$	$\sqrt{4S(S+1)}$
18	K^{+} V^{5+}	1 So	0	0	0	டையா	0.00	0.00	0.00
19	Sc^{2+} Ti^{3+} V^{4+}	2 $D_{3/2}$	2	1/2	3 2	1.73	1.55	3.01	1.73
20	Ti^{2+} V^{3+}	3 F_{2}	3	1	2	2.83	1.63	4.49	2.83
21	V^{2+} Cr^{3+} Mn^{4+}	4 $F_{3/2}$	3	3/2	3 2	3.82	0.70	5.21	3.87
22	Cr^{2+} Mn^{3+}	5 Do	2	2	0	4.81	0.00	5.50	4.91
23	Mn^{2+} Fc^{3+}	6 $S_{5/2}$	0	5/2	5 2	5.85	5.93	5.94	5.92
24	Fe^{2+}	5 D_{4}	2	2	4	5.52 – 5.22	6.71	5.50	4.91
25	Co^{2+}	4 $F_{9/2}$	3	3/2	9/2	5.20 – 4.43	6.63	5.21	3.87
26	Ni^{2+}	3 F_{4}	3	1	4	3.23	5.59	4,49	2.83
27	Cu^{2+}	2 $D_{5/2}$	2	1/2	5 2	2.02 – 1.81	3.55	3.01	1.73

தற்சுழற்சி ஆற்றல்நிலை KTஐவிடக் குறைந்ததாகக் கொண்டால் Peff-ன் மதிப்புகள் $\sqrt{L(L+1)+4S(S+1)}$ -க்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். அட்டவணையிலிருந்து இந்த மதிப்புகளும் பொருந்த வில்லை என்று தெரிகின்றது. இந்தத் தொகுதி அயனிகளின் பாராக்காந்தப் பண்பு, நாம் முன்பு கூறியதுபோல், $3d$ எலெக்ட்ரான்களால் ஏற்படுகின்றது. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் அணுவின் வெளிக்கூடுகளில் இருப்பதால் இந்த அயனிகளைச் சுற்றியுள்ள அணுக்களின் குறுக்கீட்டால், எலெக்ட்ரானின் வீதிச் சுற்றுால் ஏற்படும் காந்தத்திறன் முழுவதும் மறைக்கப்படுகின்றது. எனவே, இத்தகைய பொருள்களில் பொருளின் காந்தப்பண்பு முழுவதும் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியால் மட்டும் ஏற்படுவதாகக் கொள்ள வேண்டும். இந்தக் கருத்தில் ஸ்டோனர் [42] காந்தத் திருப்பு திறனுக்கான சமன்பாட்டினை

Peff $= \sqrt{4S(S+1)}$ என்று கொண்டு அவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டார். அட்டவணையிலிருந்து இந்த மதிப்பு மற்ற இரு மதிப்புகளைவிட அதிகமாகப் பொருந்துவது தெளிவாகின்றது. பல அயனிகளில் வீதிச்சுற்றுல் ஏற்படும் காந்த ஏற்புத்திறன் முழுவதும் மறையவில்லை என்றும் தெரிகின்றது.



1 —— peff $=\sqrt{4S(S+1)}$

2 --- peff $= g\sqrt{J(J+1)}$

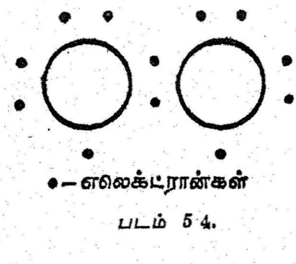
3.— peff $=\sqrt{L(L+1)+4S(S+1)}$

படம் 6.3.

படம் 6·3-ல் இந்த மதிப்புகளைக்கொண்டு ஒரு வரை படம் வரையப்பட்டுள்ளது. பல்வேறு சோதனையாளர்கள் சோதனையின் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மதிப்புகள் அவற்றிற்குள்ளே வேறுபடுகின்றன. எனவே, மேலும் துல்லியமான பல சோதனைகள் மூலம்தான் தெளிவாக்க முடியும் என்பது தெரிகின்றது.

6·11. ஆக்ஸிஜனின் பாராக்காந்த ஏற்புத்திறன் (The Para magnetic Susceptibility of Oxygen)

ஆக்ஸிஜன் நைட்ரிக் ஆக்சைடு இரு வாயுக்களும் பாராக்காந்த ஏற்புத்திறனுடையவை. விதிப்படி ஒற்றைப்படை எலெக்ட்ரான்கள் கொண்ட மூலக்கூறுகள் மட்டுமே பாராக்காந்த ஏற்புத்திறனுடையதாக இருக்கமுடியும். எனவே, இரட்டைப் படை எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள ஆக்ஸிஜன் வியப்பூட்டுவதாகவும் ஆராய்ச்சிக்குரியதாகவும் அமைந்துள்ளது. இதற்கான விளக்கத்தை லீவிஸ் [43] (Lewis) என்பவர் வெளியிட்டார். அதன்படி O_2 மூலக்கூறு இரட்டைப் பிரிவினைக் கொண்டதன்று. இரண்டாவது பிணையினைத் தோற்றுவிக்கவேண்டிய இரு எலெக்ட்ரான்களும் தனித்தனியாக இருக்கின்றன. எனவே, ஒவ்வோர் அணுவும் ஒற்றைப் படை எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ளது. அதன் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு முறையினை



•—எலெக்ட்ரான்கள்

படம் 5·4.

என்று காட்டலாம். ஆக்ஸிஜனின் வேதியல் பண்புகள், அதன் வண்ணம், அதன் திறமையான வினையாற்று முறை இவற்றை லீவிஸ் தம்முடைய கூற்றுக்கு ஆதாரம் காட்டினார் பல வெப்ப நிலைகளில் அதன் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கண்டுபிடித்தால் அது க்யூரி விதிக்கு உட்படுவதில்லை என்று தெரிகின்றது. லீவிஸ் மேலும் ஆக்ஸிஜனுக்கான ஒரு பல படி இணைப்புக் (Polymerisation) கொள்கையை வெளியிட்டார். இதன்படி ஆக்ஸிஜன் வாயு, O_2 மற்றும் O_4 இவற்றாலான கலவையாகும். இதில் பல படியில் இணையாத O_2 பகுதி மட்டுமே க்யூரி விதிக்கு ஏற்ப இயங்கும். எனவே, பொதுவாகக் க்யூரி விதி ஆக்ஸிஜன் வாயுவிற்கு

ஏற்புடையதாயில்லை. ஆக்ஸிஜன் வாயுவிற்கான மிகத் துல்லியமான கணிப்புகள் கீழ் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 6.3.

கிராம். மூலக்கூறு காந்த ஏற்புத்திறன்	கண்டுபிடித்த ஆய்வாளர்கள்
$3{\cdot}45\times10^{-3}$	ப்போயர், பிகார்டு
$3{\cdot}35\times10^{-3}$	க்யூரி
$3{\cdot}31\times10^{-3}$	ஓன்ஸ், ஊஸ்டர்ஹீஸ்
$3{\cdot}33\times10^{-3}$	சோனி
$3{\cdot}48\times10^{-3}$	வில்ஸ், ஹெக்டேர்
$3{\cdot}34\times10^{-3}$	லெஹ்ரர்
$3{\cdot}42\times10^{-3}$	வால்ட்ஜர், கோப்பல்ஸ் வயர்சுமா.

மூலக் கூறுகளுக்கான நிறமாலையில் பெயரிட்டு முறைப்படி ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறின் இயல்பு நிலை 3Σ ஆகும். மூலக்கூறுகளின் Σ நிலை ஆற்றல் நிலைப் பிரிவுகளைக் கொண்டிருப்பதில்லை. எனவே, வேன்வெலக்கின் $hc(J'J, << KT$-க்கான காந்த ஏற்புத்திறன் சமன்பாட்டின்படி

$$X_M = \frac{N^2\mu_B^2}{3\,KT}\left[4S(S+1)+L(L+1)\right]$$

அச்சுச் சீரியவினை (Axial symmetry) இரு அணு மூலக்கூறுகளுக்கு வேன்வெலக் சமன்பாடு

$$X_M = \frac{N^2\mu_B^2}{3\,KT}\left[4S(S+1)+\wedge^2\right]$$

பட்டை நிறமாலைக் கணிப்புப்படி ஆக்ஸிஜனின் மூலக்கூறில் $S=1$ மற்றும் $\wedge^2=o$ ஆகும்.

எனவே,

$$X_M = \frac{8N^2\mu_B^2}{3\,KT} \tag{6.40}$$

அல்லது,

$$\chi_M = \frac{0 \cdot 993}{T} \text{ என்றாகும்.} \qquad (6.41)$$

சமன்பாடு -ன்படி செயலுறு காந்த ஏற்புத்திறன் எண் 2.83. ஆகும். இதிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட கிராம் மூலக்கூறு காந்த ஏற்புத்திறன் $3390 \times^{-6}$ செ.மீ-கி-செ அலகுகள் 1 கி மூ. இந்த மதிப்புச் சோதனைமூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட $3420 \times^{-6}$ அளவுடன் ஒத்திருப்பது தெளிவாகின்றது.

ஆக்ஸிஜனைத் தவிரப் பாராக் காந்த இயல்பினை உடைய மற்ற மூலக்கூறுகள் No, No_2 Clo_2 மற்றும் திரவ ஓசோன் (Ozone) முதலியனவாகும். இவற்றிற்கான விரிவான விளக்கங்களை பட்நாகர், மத்தூர் [44] வெளியிட்டுள்ளார்கள்.

6.12. தனித்தியங்கு எலெக்ட்ரானின் காந்தப் பண்புகள் (Magnetic propertics of Free electrons)

இயல்பான ஓர் உலோகத்தில் அதன் அணுவை டையாக் காந்தத்தினுடைய உள்ளக அயனியாகவும் (Ionic core) உள்ளகத்திற்கு வெளியே தனித்தியங்கக்கூடிய, தனித்தியங்கு எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது கடத்தல் எலெக்ட்ரான்கள் (Conductive electrons) கொண்ட பகுதியாகவும் பிரிக்கலாம். இந்த வகையில் விதிதிருப்புத்திறன் சுழி நிலைக்குக் குறைக்கப்படுவதால் உள்ளகத்தின் டையாக் காந்த ஏற்புத்திறனன்னியில் உலோகத்தின் பண்புகளைக் கடத்தல் எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சியினைக் கொண்டறியலாம்.

உலோகத்தின் ஒரு கிராம் அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறனை

$$\chi_A = (\chi_A)_i + (\chi_A)_e \qquad (6.42)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் $(\chi_A)_i$ உள்ளக அயனியின் காந்த ஏற்புத்திறன் $(\chi_A)_e$ தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரானின் காத்த ஏற்புத்திறனாகும். அயனிகளின் காந்த ஏற்புத்திறனை டையாக் காந்தப் பகுதியில் கூறியுள்ள முறைகளில் கணக்கிடலாம். ஃபெர்மி-டிராக் புள்ளியியல் (Fermi-Dirac stastistics) முறையைப் பின்பற்றிப் பாலி [45] (Pauli), ஃப்ராங்கல் [46] (Frankel) இருவரும் முழுதும் சம ஆற்றல் நிலையிலுள்ள (Completely degenerate state) தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரான்களின் கிராம் அணு காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிட்டார்கள். அதன்படி

$$K_0 = 2 \cdot 209 \times 10^{-14} n^1/_3 \qquad (6.43)$$

ஆகும். இதில் K_0 பரும காந்த ஏற்புத்திறன், n ஒரு பரும அளவி லுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையாகும். இந்த முறையிலுள்ள குறைபாடுகளை நீக்கி பிளாக் [47] (Block) ஒரு கிராம் அணுவிலுள்ள தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரான்களின் காந்த ஏற்புத்திறனை

$$(X_A)e \times 10^6 = 48{\cdot}17 \frac{q}{V_0} \qquad (6{\cdot}44)$$

என்ற சமன்பாட்டின்மூலம் வெளியிட்டார். இதில் q ஓர் அணுவி லுள்ள கடத்தல் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை V_0 முழுதும் சம ஆற்றலுள்ள நிலையில் எலெக்ட்ரான்களில் ஆற்றல் பட்டை யின் அகலம் [வோல்ட் அருகில்] லாண்டு [48] (Landu), காந்தப் புலத்தில் கடத்தல் எலெக்ட்ரான்களின் பாதையில் ஏற்படும் விளைவு டையாக்காந்தப் பண்பினைத் தோற்றுவிக்கும் என்றும் அதன் அளவு பாராக்காந்த அளவில் 1/3 ஆகும் என்றும் நிரூபித் தார். எனவே, $(X_A)e$-ன் மதிப்பு

$$(X_A)e = 32.11 \frac{q}{V_0} \times 10^{-6} \qquad (6{\cdot}45)$$

என்றாகும். தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரானின் லண்டோவின் டையாக்காந்த ஏற்புத்திறனின் மதிப்பு

$$\chi_L = 0{\cdot}623\ n_0^{\ 1/3}\ \rho^{-2/3}\ A^{-1/3}\ 10^{-6} \qquad (6.46)$$

ஆகும். இதில் χ_L நிறை காந்த ஏற்புத்திறன், n_0 ஓர் அணுவில் உள்ள தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை. ρ- அடர்த்தி, A அணு எடை ஆனால் தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரான்கள் தற்சுழற்சியால் தோற்றுவிக்கும் பாராக் காந்தத்தின் அளவு லண்டோ டையாக் காந்தத்தின் அளவைப்போல் மூன்று மடங்காகும். எனவே, தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரான்களினால் ஏற்படும் நிகரப் பாராக் காந்த ஏற்புத்திறன்

$$2\chi_L = 1{\cdot}246\ n_0^{\ 1/3}\ \rho^{-2/3}\ A^{-1/3} \times 10^{-6} \qquad (6.47)$$

சமன்பாடு இவற்றிலிருந்து ஒரு கிராம் அணுவின் காந்த ஏற்புத்திறன்

$$\chi_A = (\chi_A)_i + 2\chi_L \qquad (6.48)$$

என்றாகின்றது.

மேலும், ஸ்டோனர் (49) (Stoner) சாதாரண வெப்ப நிலையில் $\xi so >> KT$ இருக்கையில் ஒரு தனித்தியங்கும் எலெக்ட்ரானின் காந்த ஏற்புத்திறன்களைக் கணக்கிட்டுள்ளார். இதில் ξso அதிகீழ்

வெப்ப நிலையில் (Absolute zero) ஓர் எலெக்ட்ரானின் அதிக அளவு ஆற்றலாகும். V பருமனளவில் N எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கும் பொழுது இந்த ஆற்றலின் மதிப்பு $\frac{w^2}{2m}\left(\frac{3N}{8\pi V}\right)^{2/3}$ ஆகும்.

ஸ்டோனர் கணக்கீட்டுப்படி

$$\chi_D = \frac{3}{2}\frac{\mu_B^2}{\xi_0}\left\{1+\frac{\pi^2}{12}\left(\frac{KT}{\xi_0}\right)^2-\frac{1}{6}\left(\frac{\mu_B H}{\xi_0}\right)^2\cdots\right\} \tag{6.49}$$

$$\chi_D = -\frac{1}{2}\frac{\mu_B^2}{\xi_0}\left\{1-\frac{\pi^2}{1^2}\left(\frac{KT}{\xi_0}\right)^2+\frac{1}{10}\left(\frac{\mu_B H}{\xi_0}\right)\cdots\right\} \tag{6.50}$$

இவ்விரு சமன்பாடுகளிலிருந்து கிடைக்கும் பாராக் காந்தம், சமன்பாடுகளில் T^2 உறுப்பின் மதிப்புக் குறைவானதால் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் மாறக்கூடாது. ஆனால், சக்ஸ்மித் [50] (Sucksmith) ஸ்ரீராமன் [51] (Sriraman) இவர்கள் ஆல்கலி உலோகங்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் வெப்பநிலை உயர்வால் அதிகமாவதாகக் கண்டுபிடிக்கின்றார்கள். இந்த மாற்றம் பருவ விரிவால் ξ_0- மதிப்பால் ஏற்படுவதாகக் கொள்ளலாம் என்று ஸ்டோனர் விளக்கம் தந்தார். இந்த விளக்கம் வெப்பநிலை உயர்வால் பாதரசத்தில் ஏற்படும் காந்த ஏற்புத்திறனின் குறைவிற்கும் பொருத்தமுடையதாக இருக்கின்றது. [52, 53]

7. ஃபெரோக் காந்தவியல்

7.1. வெயிஸ் ஃபெரோக் காந்தக் கொள்கை (Weiss Theory of Ferro magnetism)

ஃபெரோக் காந்தத்தின் தனிச் சிறப்புகளை விளக்குவதற்கும், பாரா-ஃபெரோக் காந்தங்களுக்கிடையிலுள்ள தொடர்புகளைத் தெளிவுபடுத்துவதற்கும், வெயிஸ் தன்னுடைய மூலக்கூறுகளின் காந்தப்புலக் கொள்கையில் மேலும் திருத்தம் செய்து மூலக்கூறு களின் டொமைன் (Domain) என்ற ஒரு புது உத்தியைச் சேர்த்தார். அதன்படி ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களிலும் ஓர் உட் காந்தப்புலம் செயல்படுகின்றது. உட் காந்தப்புலம் தூண்டப் படும் காந்தச் செறிவிற்கு நேர் வீதத்திலிருக்கும்.

$$Hi \propto I$$

அல்லது,

$$Hi = nI$$

அல்லது பொருளின்மேல் செயல்படும் காந்தப்புலம்

$$H = He + Hi$$

$$= He + nI \quad \text{ஆகும்.}$$

இதில், He வெளிக் காந்தப்புலம்

ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களில் உட் காந்தப்புலம் முழுவதும் காந்த மூலமுடையதாக இருந்தால் 'n'-ன் மதிப்பு $\frac{4}{3}\pi$ ஆகும். ஆனால் ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களின் காந்த ஏற்புத் திறன்களின் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருப்பதால் இந்த உட் காந்தப்புலம் எவ்வாறு தோன்றுகின்றது என்பதை விளக்க முடியாத, ஒரு குறுக்கீட்டுச் செயற்படும் காந்தப்புலமாகக் கொள்ள வேண்டியுள்ளது. வெயிஸ் மேலும் பொருளின் மூலக்கூறுக் காந்தங்களை (Molecular magnetic) ஃபெரோக் காந்த

உலோகத்தை அமைத்துக் கொடுக்கும் மைக்ரோப் படிக அளவிலான சிறு சிறு பகுதிகள் 'டொமைன்' என்று வழங்கப்படும். ஒவ்வொரு டொமைன்களுள்ளும் தூண்டப்படும் உட் காந்தப்புலம் காந்தப்பாயச் செறிவுக்கு ஏற்ப அமையும். அல்லது $Hi = nI$ ஆகும். 'n' நேர் குறியுடையதானல், இப் பொருள்களில் வெளிக் காந்தப்புலம் இல்லாதிருப்பினும்கூடத் தூண்டலற்ற காந்தமாக்கம் உண்டாகும், (Spontaneous magnetisation) நிகழ்திறன் ஏற்படுகின்றது.

மேலே கூறப்பட்ட டொமைன்களும் பாராக் காந்நக் கொள்கைப்படி இயங்குவதாகக் கொண்டால் சமன்பாடு (6.10)-ன்படி

$$\frac{\overline{\mu}}{\mu} = \left[Cot\,h\,(a) - \frac{1}{a} \right] \text{ ஆகும்.} \qquad (7.1)$$

அல்லது ஒரு கிராம் பொருளில்,

σ = ஒரு கிராம் பொருளின் திருப்புதிறன், σ_0 = ஒரு கிராம் பொருளின் தெவிட்டிய திருப்புதிறன்

$$\frac{Z\overline{\mu}}{Z\mu} = \frac{\sigma}{\sigma_0} = \quad cot\,h\,(a) - \frac{1}{a} \qquad (7.2)$$

இதில், Z என்பது ஒரு கிராம் பொருளிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை ஆகும். வெளிக் காந்தப்புலம் சுழியானல், $He = o$

$$H = He + Hi$$
$$= O + Hi$$
$$= nI \text{ ஆகும்.}$$

ஆனல்,

$$a = \frac{\mu H}{KT} = \frac{\mu nI}{KT}$$

$$= \frac{N\mu}{KT}\,\frac{n}{T}\,\frac{\sigma\rho}{} \qquad \left[I = \frac{\sigma\rho}{} \right]$$

$$= \frac{\sigma_M^2\; n\rho\; \sigma}{R\; mT\; \sigma_0} \qquad [\therefore = M\sigma_0 = \sigma_M]$$

இதில், M – மூலக்கூறு எடை

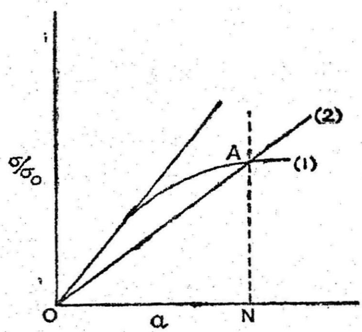
ρ – பொருளின் அடர்த்தி

σ_M = ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் தெவிட்டிய காந்தத் திறன்.

அல்லது,

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{MRT}{\sigma_M^2 \, M\rho} a \qquad (7.3)$$

7.1 மற்றும் 7.3 ஆகிய இரு சமன்பாடுகளிலிருந்தும் தூண்ட காந்தமாக்கலுக்கான நிபந்தனைகளைப் பெறமுடியும். இந்த இரு சமன்பாடுகளையும் ஒரு வரை படத்தில் [படம் 7.1] குறிக்கலாம்.



படம் 7.1.

சமன்பாடு 7·1 லாஞ்சுவின் கோவையாகும். இது (1) மூலம் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. சமன்பாடு 7·3ஐ (2) என்ற நேர்கோடு குறிக்கின்றது. இந்தக் கோடு வரை படத்தின் தோற்றுவாய் வழிச் செல்லுகின்றது. இதன் சரிவு (Slope) $\frac{MRT}{\sigma_m^2 \, \rho}$ ஆகும். எந்த வெப்ப நிலையிலும், இத்தகைய பொருளின் காந்தப் பண்பினை 7·1-ம் 7·3-ம் ஆகிய இவ்விரு சமன்பாடுகளை விடுவிப்பதன்மூலம் பெற முடியும். இந்த இரு சமன்பாடுகளையும் வரைபட முறையில் சுலபமாக விடுவிக்கலாம். இந்த இரு சமன்பாட்டுக்கான வரை படங்கள் ஒன்றை ஒன்று A என்ற புள்ளியிலும், O தோற்றுவாயிலிலும் வெட்டிக்கொள்ளுகின்றன. எனவே, இரு சமன்பாடுகளுக்கும் பொருந்தும் பொதுவான மதிப்புகளை O, A ஆகிய இரு புள்ளிகளும் கொடுக்கும். O-க்கான σ/σ_0-ன் மதிப்பு சுழியாகும் எனவே, இந்த மதிப்புப் பொருந்தாது. மற்றொரு மதிப்பு A புள்ளியின் குத்தாயம் (Ordinate) AN ஆகும். தூண்டலற்ற காந்தமாக்கலின் உறுதிச் சமநிலையாக A-ஐக் கொள்ளலாம். தூண்டலற்ற காந்தநிலை வரை படத்தின் மற்ற எந்தப் புள்ளியும் உறுதிச் சம நிலையிலிருக்காது என்பதனை எளிதாக விளக்கலாம். உதாரணமாக, ஒரு 'டொமைன்' தூண்டலற்ற காந்தமாக்கலின் வரை படத்தில் c புள்ளி குறிப்பிடும் நிலையிலிருப்பதாகக்கொண்டால் இந்தப் புள்ளி லாஞ்சுவின்

சமநிலைக் கோட்டிற்குக் கீழ் இருப்பதால் காந்தமாக்கலின் மதிப்பையும் a-ன் மதிப்பையும் A புள்ளி குறிக்கும் நிலையை அடையும்வரை உயரும். இதேபோல் காந்தமாக்கலின் நிலை லாஞ்சுவின் சம நிலையைவிட உயர்ந்த நிலையிலிருந்தாலும் காந்தமாக்கலின் நிலையைச் சமநிலைக்குக் குறைத்துக்கொள்ளும். டொமைன்களின் தூண்டலற்ற காந்தமாக்கலின் உறுதிச் சமநிலை இரு வரை படங்களிலும் வெட்டிக்கொள்ளும் தோற்றுவாயல்லாத புள்ளியின்மூலம் குறிப்பிடப்படும்.

சமன்பாடு 7·3-ன்படி

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{MRT}{\sigma_m^2 n p} a \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, சரிவு $\frac{MRT}{\sigma_m^2 n p}$ என்றுகின்றது. வரை படத்தில் நேர்கோட்டின் (2 என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது) சரிவு வெப்பநிலை உயர்ந்தால் அதிகரிக்கும். இந்தக் கோட்டின் சரிவு, லாஞ்சுவின் வரை படத்தின் (வரை படம் 7·11) தோற்றுவாய் நிலை சரிவுடன் பொருந்தினாலும் அல்லது அதிகமானாலும் தூண்டலற்ற காந்தமாக்கல் நிகழாது. எனவே, தூண்டலற்ற காந்தமாக்கல் ஏற்பட இந்த நேர்கோடு வரை படத்தின் சரிவு லாஞ்சுவின் வரை படத்தில் தோற்றுவாய் நிலைச்சரிவைவிடக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். நேர்கோட்டின் சரிவு $\frac{RTM}{\sigma_m^2 p_n}$ ஆகும். a-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருக்கையில் லாஞ்சுவின் கோவை $L(a) = a/3$. எனவே, லாஞ்சுவின் வரை படத்திற்குத் தோற்றுவாய் நிலையில் சரிவு 1/3 ஆகும். தூண்டலற்ற காந்தமாக்கலுக்கு

$$\frac{MRT}{\sigma_M^2 Pn} < \frac{1}{3}$$

அல்லது, $T < \frac{\sigma_M^2 Pn}{3\,MR}$

$$\frac{\sigma_M^2 Pn}{3\,MR} = \theta \text{ என்று குறிப்பிட்டால்} \qquad (7.4)$$

$$T < \theta$$

இந்த வெப்பநிலை க்யூரி வெப்பநிலை அல்லது க்யூரி புள்ளி எனப்படும். இந்தப் புள்ளி ஃபெரோக்காந்தப் புள்ளி என்றும் கூறப்படும். கொள்கை அளவில் ஃபெரோக்காந்த க்யூரிப் புள்ளி

யும் ஃபெரோக்காந்த க்யூரிப் புள்ளியும் ஒரே மதிப்புடையதாக இருப்பினும் சோதனைகளின்போது சிறிது வேறுபடுகின்றன.

க்யூரி வெப்பநிலைக்குக் கீழ் வெப்பநிலையில் டொமைன்கள் வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப வெளிக் காந்தப்புலம் செயல்படாத நிலையிலேயே தூண்டலற்ற காந்தங்களாகின்றன. வெப்பநிலை அதிகீழ் மட்டத்தை அடையக் காந்தத்தன்மை தெவிட்டிய நிலையை அடையும். அல்லது a, $\propto$ ஆனால் $\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1$ என்ற புள்ளியில் [படம் 7.(1)ல்] இரு வரை படங்களும் வெட்டிக்கொள்ளும். மேலும் சமன்பாடு (7·4)-ன்படி டொமைனின் காந்தத் திருப்புதிறன் அதிகமானாலும் அல்லது காந்தப்புல எண் 'n' அதிகமானாலும் θ-ன் மதிப்பு அதிகமாகும்.

க்யூரி வெப்பநிலைக்குமேல் தூண்டலற்ற காந்தமாக்கல் நிகழ்வதில்லை. பொருளின் ஃபெரோக்காந்தப் பண்பு மறைந்துவிடுகின்றது. பொருள் பாராக்காந்தமாகச் செயல்படும்.

எனவே, ஒரு பொருள் நிலையான காந்தத் திருப்புதிறன் துகள்களையும் (மூலக்கூறுகளை, அணுக்களை அல்லது அயனிகளை) நேர்குறியுடைய உட்காந்தப்புல (மூலக்கூறுக் காந்தப்புலம்) எண்ணையும் கொண்டிருப்பின் க்யூரி வெப்பநிலைக்குக் கீழ் தூண்டலற்ற காந்தமாக்கப்பட்ட டொமைன்களைக்கொண்ட ஃபெரோக்காந்தப் பண்புகளைக்கொண்டு திகழும். க்யூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் க்யூரி வெயிஸ் விதியின்படி இயங்கும் பாராக்காந்தப் பொருள்களாகத் திகழும்.

ஃபெரோக் காந்தத்திற்கான வெயிஸ் கொள்கைப்படி

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{MRT}{\sigma_M{}^2\, {}_nP}\, a \qquad (7.3)$$

ஆகும். ஆனால் $\frac{\sigma_M{}^2\, nP}{3\, RM} = \theta$ ஆகும். ஆகையால்

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{T}{3\,\theta}\, a \quad \text{ஆகும்.} \qquad (7.5)$$

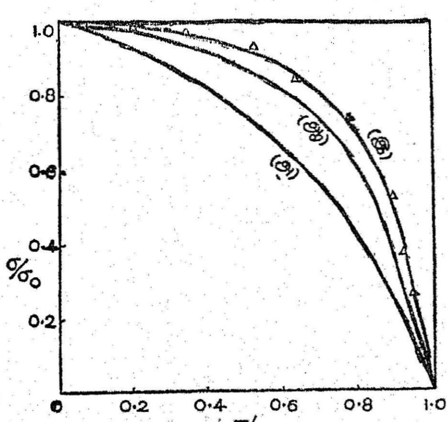
இதனை, $\frac{\sigma}{\sigma_0} = f\left(\frac{T}{\theta}\right)$ (7.6)

என்று எழுதலாம். இதில் $T \rightarrow O$ $\sigma \rightarrow \sigma_0$.

ஆகையால் $T \rightarrow O$, $f\left(\frac{T}{\theta}\right) \rightarrow 1$.

மற்றும் $T \rightarrow \theta$, தூண்டலற்ற காந்தமாக்கல் மறைந்து விடுவதால் $\sigma = O$. $T \rightarrow \theta$. $f\left(\frac{T}{\theta}\right) \rightarrow O$ ஆகும்.

தூண்டலற்ற காந்தமாக்கலின் வரை படமான நேர்கோட்டின் சரிவு $\frac{1}{3}\left(\frac{T}{\theta}\right)$ [சமன்பாடு 7·5]. $\left(\frac{T}{\theta}\right)$ - விற்குப் பல மதிப்புகளைக் கொண்டு, பலவேறு சரிவுகளைக்கொண்ட பல தூண்டலற்ற காந்த மாக்கலுக்கான பல நேர்கோட்டு வரை படங்கள் வரையலாம். இந்தக் கோடுகள் ஒவ்வொன்றும், லாஞ்சுவின் வரை படத்தை வெட்டும் புள்ளிகள் பல்வேறு $\left(\frac{T}{\theta}\right)$ மதிப்புகளுக்கான $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ ஆகும். $\frac{\sigma}{\sigma_0}$-ன் மதிப்புகளையும் $\left(\frac{T}{T_0}\right)$ மதிப்புகளையும் ஒரு வரை படம் மூலம் காட்டலாம். [படம் 7·2].



(அ) லாஞ்சுவின் வரைப்படக்கோடு
(ஆ) குவாண்டம் வரைப்படக்கோடு J=1
(இ) குவாண்டம் வரைப்படக்கோடு J=½

படம் 7.2.

மேலும், இந்த வரை படத்தில் a-ன் மதிப்பு இடம்பெருததால் $\frac{\sigma}{\sigma_0}$-க்கும் $\frac{I}{\theta}$-க்கும் வரையப்பட்டுள்ள இந்த வரை படம் எல்லா ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களுக்கும் பொருந்தக்கூடிய பொது வானதாகும். வெயிஸ் கொள்கையின்படி எந்தவொரு $\left(\frac{T}{\theta}\right)$ நிலையிலும் பொருளின் $\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)$-ன் மதிப்பு எல்லா ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களுக்கும் ஒரே அளவுடையதாக இருக்கும். இவை ஒப்புவமை நிலைகளின் விதிகள் (Law of Corresponding States) எனப்படும்.

படத்திலிருந்து டொமைன்களின் தூண்டலற்ற காந்தத் தன்மை வெப்பநிலை அதிகரிக்க அதிகரிக்கக் குறைகின்றது. $\left(\frac{T}{\theta}\right)$-ன் மதிப்புகளுக்குச் சோதனையின்மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட $\frac{\sigma}{\sigma_0}$-ன் மதிப்புகளும் படத்தில் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

வெயிஸ் கொள்கையின்படி கணக்கிட்டு வரையப்பட்ட படமும் (அ) சோதனையின்மூலம் வரையப்பட்ட படமும் (ஆ) ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தவில்லை என்று தெரிகின்றது.

7·2. குவான்டம் அடிப்படையில் மூலக்கூறுகள் புலக் கொள்கை (Molecular field Theory on Quantum basis)

நாம் முன்பு லாஞ்சுவின் சமன்பாட்டினை வருவிக்கும்பொழுது மூலக்கூறுக் காந்தங்கள் தங்களுடைய அச்சு எல்லாத் திசைகளிலு மிருக்குமாறு இருத்திக்கொள்ளும் என்று கொண்டோம். ஆனால், குவான்டம் கொள்கையின்படி இவை சில குறிப்பிட்ட நிலைகளில் மட்டுமே நிலைபெற முடியும்.

ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களில் உட் காந்தப் புலத்தின் மதிப்பு H ஆனால் $H_i = nP\sigma$ ஆகும். வெளிக்காந்தப்புலம் செயல் படாத நிலையில் மூலக்கூறுகளின் புலம் மட்டும் செயல்படும். சமன் பாடு (7·2)-ஐ வருவித்த முறையைப் பின்பற்றினால், ஒவ்வொரு மூலக்கூறுகளின் அல்லது சிறு பிரிவுகளின் காந்தத் திருப்புதிறன் $Jg\mu_B$ ஆகும். இதில் J கூடுதல் கோணத் திருப்புதிறன். g லாண்டோ உறுப்பு. μ_B-போர் மாக்னட்டான்.

ஒரு கிராமுக்கு Z மூலக்கூறுகள் இருப்பதாகக் கொண்டால், ஒரு கிராமின் தெவிட்டிய காந்தத் திருப்புதிறன்

$$\sigma_0 = z\mu = ZJg\mu_B \qquad (7.7)$$

$$\overline{\mu} = \frac{\sum_{-J}^{+J} Mg\mu_B \, e^{Mg\mu_B Hi/RT}}{\sum_{-J}^{+J} e^{Mg\mu_B Hi/RT}}$$

$MJ\mu_B$ உட்காந்தப் புலத்திசையில் $J\mu_B g$ கூறுகும். குவான்டம் அளவீட்டு முறைப்படி

$J = J, J\text{-}1, J\text{-}2, \ldots\ldots\ldots -J$ என்ற அளவுகள் மட்டுமே ஏற்றுக் கொள்ள முடியும்.

$$Z\mu = \sigma = Z \frac{\sum_{M=-J}^{M=J} Mg\mu_B \, e^{Mg\mu_B Hi/RT}}{\sum_{M=J}^{M=J} e^{Mg\mu_B/Hi\ RT}}$$

அல்லது,

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\frac{1}{Jg\mu_B} \sum_{M=J}^{M=J} Mg\mu_B \, e^{Mg\mu_B Hi/RT}}{\sum_{M=-J}^{M=J} e^{Mg\mu_B Hi\ RT}} \qquad (7.8)$$

இதில், $x = g\mu_B Hi/KT$ எனக் கொண்டால்

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{g\mu_B}{Jg\mu_B} = \sum_{M=-J}^{M=J} Me^{Mx} \Big/ \sum_{M=-J}^{M=J} e^{Mx}$$

$$= \frac{1}{J} \frac{d}{dx} \left\{ \log_e \sum_{M=-J}^{M=J} e^{Mx} \right\}$$

$$= \frac{1}{J}\frac{d}{dx}\left\{\log e \; \frac{e^{Jx}\left(1-e^{-(2J+1)x}\right)}{1-e^{-x}}\right\}$$

$$= \frac{1}{J}\frac{d}{dx}\left\{\log e \; \frac{e^{(J+\frac{1}{2})x} - e^{-(J+\frac{1}{2})x}}{e^{x/2} - e^{x/2}}\right\}$$

$$= \frac{1}{J}\frac{d}{dx}\log e\left\{\frac{\text{Sin}\,h\,(J+\frac{1}{2})x}{\text{Sin}\,h\,\frac{x}{2}}\right\}$$

$$= \frac{1}{J}\cdot J\left[\frac{2J+1}{2J}\cot h\left(\frac{2J+1}{2J}\right)a - \frac{1}{2J}\cot h\left(\frac{1}{2J}\right)a\right]$$

$$= \frac{2J+1}{2J}\cot\left(\frac{2J+1}{2J}\right)a - \frac{1}{2J}\cot h\left(\frac{1}{2J}\right)a \qquad (7.9)$$

ஆனால், $a << 1$ என்ற நிலையில்

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{J+1}{3J}a - \frac{J+1}{3J}\cdot\frac{2J^2+2J+1}{30\,J^2}a \qquad (7.10)$$

என்றாகும். இதிலிருந்து $\frac{\sigma}{\sigma_0}$-க்கும் a-க்குமிடையில் வரையப்படும் வரை படத்திற்குத் தோற்றுவாய் தொடுகோட்டின் சரிவு

$$= \frac{J+1}{3J} \text{ ஆகும்.} \qquad (7.11)$$

தூண்டலற்ற காந்தமாக்கல் நிகழ அல்லது உள் காந்தப்புலம் தோன்ற $T < \theta$ ஆகவேண்டும்.

இதில்,

$$\theta = \frac{J+1}{3J}(Jg\,\mu_B)^2\frac{n\rho Z}{K} \text{ ஆகும்.} \qquad (7.12)$$

ஆனால்,

$$\chi_M (T - \theta) = \frac{J+1}{3J} \frac{(NJg\, \mu_B)^2}{R} \qquad (7.13)$$

சமன்பாடு 7.12-ஐ

$$\theta = \frac{J+1}{3J} (\sigma_0)^2 \ \frac{nP}{K} \frac{N}{M} \qquad Z = \frac{N}{M}$$

$$= \frac{J+1}{3J} \frac{N^2 \sigma_0^2\, nP}{NKM}$$

$$= \frac{J+1}{3J} \frac{(\sigma_M)^2\, nP}{Mk} \qquad (7.14)$$

என்று எழுதலாம். (T/θ) குறைந்தால் தூண்டலற்ற காந்தத் தன்மை அதிகரிக்கும். $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ O-விலிருந்து 1-க்கு அதிகரிக்கும். சமன்பாடு 7.14-லிருந்து θ-வின் மதிப்பைக்கொண்டு சமன்பாடு 7.3-ல் பொருத்தின்

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{J+1}{3J} \left(\frac{T}{\theta} \right)^a \qquad (7.15)$$

என்றாகும். இதனைப் பொதுவாக

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = Fi\,(T/\theta) \text{ என்று குறிக்கலாம்.} \qquad (7.16)$$

காந்த மூலக்கூறுகள் இணையாக அல்லது எதிர் இணையாக அமையும்பொழுது $J = \frac{1}{2}$, $g = 2\ Jg = 1$ ஆகும். சமன்பாடு (7.9)

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \tan h\,(a) = \frac{T}{\theta}\,(a) \qquad (7.17)$$

என்றாகும். $\left[\theta = \frac{nPZ\, \mu_B^2}{K} \right]$

$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \tan\ h\ (a)$ என்ற சமன்பாட்டிற்கான வரைபடத்தை வெவ்வேறு $(T\ \theta$ மதிப்புச் சரிவுள்ள நேர் கோடுகளைக் கொண்டு வெட்டச்செய்து, இவ்வாறு வெட்டிக்கொள்ளும் புள்ளிகளின் σ/σ_0-ன் மதிப்புகளை ஒரு வரைபடத்தில் $(T\ \theta)$ எதிராகக் குறிக்கலாம். (படம் 7.2-ல் இ). இந்த வரைபடம் சோதனை மூலம்

வரைந்த வரைபடத்துடன் முன்னைவிடச் சிறந்த முறையில் பொருந்துகின்றது.

7.3. மூலக்கூறுப் புல எண் 'n' (Molecular field coefficient)

க்யூரி புள்ளிகளினால் ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களின் காந்தத் தன்மையை அளப்பதன்மூலம் மூலக்கூறுகளின் காந்தப் புல எண் 'n'-ன் மதிப்பைக் கணிக்கலாம். இந்த நிலையில் nI-ன் மதிப்பு H_e-ன் மதிப்பைவிட மிக அதிகமாக இருக்காது.

σ-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருக்கையில்

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{a}{3} = \frac{\mu H}{3KT}$$

$$= \frac{\mu\,(He+Hi)}{3\,KT}$$

$$= \frac{\mu\,(He+nI)}{3\,KT}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\sigma_m\,[He+nI]}{3\,RT} \qquad [\because \quad N\mu = \sigma_M]$$

$$\because \quad M\sigma_0 = \sigma_M$$

$$\sigma = \frac{\sigma_M^2\,[He+In]}{3\,MRT}$$

ஆனால்,

$$I = \sigma P$$

$$= \frac{\sigma_M^2\,[He+nI]\,P}{3\,MRT}$$

எனவே,

$$T = \frac{\sigma_M^2\,[He+nI]\,P}{3\,MRT} \qquad (7.18)$$

ஆனால், சமன்பாடு 7.4-ன்படி

$$\theta = \frac{\sigma_M^2\,nP}{3\,KM}$$ ஆகும்.

எனவே,

$$\frac{\theta}{T} = \frac{\sigma_M^2 Pn}{3 RM} \cdot \frac{3 MRI}{\sigma_M^2 [He+nI] P}$$

$$= \frac{nI}{He+nI}$$

அல்லது,

$$\frac{nI}{He} = \frac{\theta}{T-\theta} \qquad (7.19)$$

என்றாகும். இதில் $I/He=K$ காந்த ஏற்புத்திறன். எனவே, க்யூரி புள்ளிக்கருகில் காந்த ஏற்புத்திறனை அளப்பதன்மூலம் மூலக் கூறுப் புல எண் (n)-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். சோதனையின் மூலம் இரும்பு, நிக்கல் கோபால்ட் முறையே 3850, 12700, 6180 என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளன.

7.4. வெயிஸ் மாக்னெட்டான் (Weiss magneton)

காந்தப் பொருள்களின் காந்தச்செறிவைப் பல காந்தப்புல மதிப்புகளிலும், பல வெப்பநிலைகளிலும் சோதனையின்மூலம் கண்டு பிடித்து இம் மதிப்புகளிலிருந்து வரைபட முறையின்மூலம் தெவிட்டிய காந்தச் செறிவினை I_s, $T=O$ $H=\propto$ நிலைகளில் கண்டுபிடிக்கலாம். முதலில் ஒரு குறிப்பிட்ட காந்தப்புலத்தில் பல்வேறு வெப்பநிலைகளில் I-ன் மதிப்பைக் கண்டுபிடித்து $I_{H_1}-T$ வரைபடத்தின்மூலம் $T=O$ நிலையில் I_H-ன் மதிப்பை I_{O, H_1} கணிக்கலாம். இதே போல் பல புல மதிப்புகளுக்கும் I_{O, H_2}, I_{O, H_3}...... கண்டுபிடித்து இம் மதிப்புகளுக்கும் $1/H$-க்கு வரை படம் வரைந்து வரைபடக் கோட்டை $1/H=O$ விலக்கு நீட்டின் கோடு குத்தாய அச்சை (Y-axis) வெட்டும்புள்ளி I_O, $\propto$-ன் மதிப்பைக் கொடுக்கும். இது தெவிட்டிய காந்தச் செறிவாகும். இதிலிருந்து கிராம் மூலக்கூறுகளின் தெவிட்டிய காந்தத் திருப்பு திறனைக் கணக்கிடலாம். இந்த முறையில் வெயிஸ் இரும்பு, நிக்கல் இவற்றுக்கு Fe-ன் $\sigma_M=12,360$: Ni-ன் $\sigma_M=3,370$ என்றும் கண்டார். இதனை,

$$\sigma_M Fe = 11 \times 1123{\cdot}6$$

$$\sigma_M Ni = 3 \times 1123{\cdot}3$$

என்று எழுதலாம். இந்த அளவுகளிலிருந்து வெயிஸ் நிக்கலின் திருப்புதிறன் ஓர் அடிப்படை அலகைப்போல் மூன்று மடங்கும்

இரும்பின் திருப்புதிறன் 11 மடங்கும் இருப்பதென்பது விளங்குகின்றது. எனவே, ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் காந்தத் திருப்புதிறனுக்கான அடிப்படை அலகாக 1123·5 காஸ்.செ.மீ. என்று கொண்டார். இது ஒரு வெயிஸ் மாக்னெட்டான் எனப்படும். ஓர் அணுவிற்கு அல்லது மூலக்கூறுக்கு இதன் மதிப்பு $1{\cdot}85 \times 10^{-2}$ காஸ்.செ.மீ. ஆகும். பொதுவாகக் காந்தத் திருப்புதிறனை வெயிஸ் மாக்னெட்டான் அலகில் குறிப்பிடுவது மரபு. ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் காத்தத் திருப்புதிறன் σ_M ஆனுல் வெயிஸ் மாக்னெட்டான் எண்ணிக்கையில்

$$P = \frac{\sigma M}{1123{\cdot}5} = \frac{\sqrt{3KC}}{1123{\cdot}5}$$

$$= 14{\cdot}07\sqrt{c} \qquad (7.20)$$

ஆனுல், போரின் அணு அமைப்பு விளக்கம் வெளியானதற்குப் பின் வெயிஸ் மாக்னெட்டான் அடிப்படை அலகல்ல என்பதும் போர் மாக்னெட்டான் அடிப்படை அலகு என்பதும் தெளிவாயிற்று. சில ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களுக்கான காந்தத் திருப்பு திறன்கள் போர் மாக்னெட்டானின் எண்ணிக்கையில் அட்டவணை 7·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதனை நிக்கலுக்குக் கணக்கிடும் முறை கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒரு கிராமின் தெவிட்டிய காந்தத் திருப்புதிறன் $a_0 \alpha$ = 57·50

நிக்கலின் அணு எடை = 58·49

அவகட்ரோ எண் = $6{\cdot}025 \times 10^{23}$

போர் மாக்னெட்டானின் மதிப்பு = $9{\cdot}27 \times 10^{-21}$

நிக்கலின் காந்தத் திருப்புதிறன்

$$= \frac{57\ 50 \times 58{\cdot}49}{9{\cdot}27 \times 10^{-21} \times 6\ 02 \times 10^{\cdot 9}}$$

= 0·604 போர் மாக்னெட்டான்கள்

அட்டவணை 7.1.

தனிமம்	μ
Ni	1·61
Fe	2·22
Co	1·71

7·5. வெயிஸ் கொள்கையின் குறைபாடுகள் (Drawbacks in Weiss Theory)

1. வெயிஸ் கொள்கையின்படி மூலக்கூறுக் காந்தப்புல எண் 'n' அல்லது 'nP' ஒரு மாறிலியாகும். இது சோதனை மூலம் நிரூபிக்கப்படவில்லை.

2. 'n'-ன் மதிப்புப் பொதுவாக 10^4 அளவில் உள்ளது. அல்லது மூலக்கூறுப் புலம் காந்தத் தன்மையால் ஏற்படும் காந்தப் புலத்தைப்போல் சில ஆயிரம் மடங்குகள் உள்ளன. இந்தப் புலம் இயற்கையில் நிலையின் இயல்புடையதாக இருக்க வேண்டும். இந்த உட்காந்தப் புலம் எவ்வாறு தோன்றுகின்றது என்பது விளக்கப்படவில்லை.

3. ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்கள் இயல்பான வெப்பநிலை யில் தூண்டலற்ற காந்தத்தன்மை கொண்டிருந்தால், இந்த வெப்பநிலையில் ஓர் இரும்பின் காந்தத்தன்மையை எவ்வாறு நீக்க இயலுகிறது.

இந்த மூன்றுவது குறைபாட்டிற்கு வெயிஸ் கொள்கை ஓரள விற்கு விளக்கம் தருகின்றது. இதன் ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்கள் செறிவு நிறைந்த காந்தத் தன்மையுடன் கூடிய சிறு சிறு டொமைன்களைக் கொண்டுள்ளன. இந்த டொமைன்கள் வெளிக்காந்தப்புலம் இல்லாமலேயே காந்தத்தன்மை கொண் டிருக்கும். 777°c வெப்பநிலைக்குக் கீழே காந்தமாக்கப்படாத ஒரு துண்டு இரும்பு இத்தகைய டொமைன்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. இருப்பினும் அவை வெளிப்படுவதில்லை. காரணம், இத்தகைய ஒவ்வொரு டொமைன்களின் காந்த வெக்டர்களும் தூண்டலற்ற காந்தத்தன்மை மறைகின்ற விதத்தில் அமைந்திருப்பதாகும். குறைந்த வெப்பநிலைகளில் இதன்மேல் செயல்படும் வெளிக் காந்தப்புலம் இந்த டொமைன்களின் திருப்புதிறன்களைக் காந்தத் தன்மை வெளிப்படும் விதத்தில் பொருந்துகிறது.

வெயிஸ் கொள்கை ஃபெரோக்காந்தப் பண்புகளைப் பொது வான முறையில் விளக்கினாலும், சிறு சிறு காந்தத்தன்மையுடைய டொமைன்களின் இயல்புகள் பற்றியும் மூலக்கூறுகளின் உள் காந்தப்புலத்தின் தன்மையும் தோற்றமும் பற்றியும் தெளிவாகத் தரவில்லை. இதற்கான விளக்கங்களைத் தர முதுபழம் கொள்கையும் (Classical Theory), பழம் குவான்டம் கொள்கையும் (Old Quantum theory) போதுமானதாக இல்லை. இந்தப் புதிர்களை ஹைஸன்பர்க் (Heisenberg) அலையியக்கக் கொள்கையின் அடிப்படையில் விடுவித்தார்.

7·6. ஹைஸன்பர்கின் ஃபெரோக் காந்தக் கொள்கை (Heisenberg's theory of Ferro magnetism)

இரு எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையில் ஏற்படும் பரிமாற்றுக் குறுக்கீட்டு விளைவினை, ஒத்த ஒருவிதக் குவான்டம் இயக்கவியல் இயைவினால் ஃபெரோக் காந்தப் பொருளில் உள்காந்தப் புலம் ஏற்படுவதாகக்கொண்டு ஹைசன்பர்க் தம்முடைய ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களின் பண்புகளை விளக்கினார். இந்தக் கொள்கை மிகவும் சிக்கலானதும் நீளமானதும் ஆகும். எனவே, அக்கொள்கை மிகச் சுருங்கிய வடிவில் கீழே தரப்பட்டுள்ளது.

தூண்டலற்ற காந்தப்புல எண் 'n'-ன் அதிக மதிப்பிற்கு ஹைசன்பர்க் விளக்கம் தந்தார். ஹைசன்பர்க் அணுக்களிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களில் ஒருவிதப் பரிமாற்றுக் குறுக்கீட்டு விசைகள் (Interchange interaction forces) அல்லது பரிமாற்று விசைகள் (Exchange forces) செயல்படுவதாகக் கண்டார். இந்த விசைகள் ஃபெரோக் காந்த அணுக்களிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சிகளின் இணையும் தன்மையைப் பொறுத்தன. 'a' அணுவிலுள்ள 1-ஆவது எலெக்ட்ரான் 'b' அணுவிலுள்ள 2-ஆவது எலெக்ட்ரானுடன் இடமாற்றம் ஏற்படுவதற்குரிய நிகழ்திறனுக்கான சமன்பாடு பரிமாற்று இன்டகிரல் (Exchange Integral) எனப்படும். இதனை,

$$\int \psi_b(1)\psi_a(2) \left(\frac{1}{r_{ab}} - \frac{1}{r_{a2}} - \frac{1}{r_{s1}} + \frac{1}{r_{12}}\right)$$
$$\psi_a(1)\psi_b(2)dT_1 dT_2 \qquad (7.21)$$

என்று குறிக்கலாம். இதில் $\psi a(1)$ 1-ஆவது எலெக்ட்ரான் அணு (a)-ல் இருக்கும்பொழுது எலெக்ட்ரானின் பண்புகளுக்கான கோவை.

$\psi_b(2)$ 2-ஆவது எலெக்ட்ரான் b அணுவில் இருக்கையில் எலெக்ட்ரானின் பண்பு

$\psi_b(1)$ 1-ஆவது எலெக்ட்ரான் (b) அணுவில் இருக்கையில் எலெக்ட்ரானின் பண்பினைக் குறிக்கும். $\psi a(2)$ 2-ஆவது எலெக்ட்ரான் a அணுவில் இருக்கையில் எலெக்ட்ரானின் பண்பு

r_{12} – இரு எலெக்ட்ரான்களுக் கிடையிலுள்ள தொலைவு

r_{a2} – a-ன் அணுக் கருவிற்கும் 2-ஆவது எலெக்ட்ரானுக்குமிடையே உள்ள தொலைவு

r_{b1} – b-ன் அணுக் கருவிற்கும் 1-ஆவது எலெக்ட்ரானுக்குமுள்ள தொலைவு

அணுக்கருக்களுக்கும் எலெக்ட்ரான்களுக்குமிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசை $\left(\frac{1}{r_{a2}}+\frac{1}{r_{b1}}\right)$, அணுக்கருக்களுக்கு இடையிலும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு இடையிலும் ஏற்படும் தள்ளு விசை $\left(\frac{1}{r_{ab}}+\frac{1}{r_{12}}\right)$ ஐ விட அதிகமானதால் சமன்பாடு 7.21. பொதுவாக எதிர்க்குறியுடையதாக இருக்கும். ஆனால் உலோகப் படிகங்களில் அருகிலுள்ள இரு அணுக்கருக்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவும் (D) எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி சமனாகாத ஆற்றல் கூட்டின் ஆரமும் சில வீதங்களில் அமையும்பொழுது சமன்பாடு (7.21) நேர் குறியுடையதாக, அருமண் உலோகங்களிலும், இரும்புத் தொகுதி உலோகங்களிலும் இந்த வீதங்கள் அமைந்துள்ளன. சில உலோகங்களுக்கான D/r-ன் மதிப்புகளாக ஸ்லேட்டர் [54] கொடுத்த மதிப்புகள் கீழே அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. [அட்டவணை 7.2]

அட்டவணை 7.2.

	Fe	Co	Ni	Cr	Mn	Gd
D/r	3·26	3·64	2·60	2·60	2·94	3·10

மேலும், அத் தனிமங்கள் ஃபெரோக் காந்தத் தன்மையுடனிருக்க D/r-ன் மதிப்புச் சற்று ஏறத்தாழ 3·0 ஆக இருக்க வேண்டும் என்றும் ஸ்லேட்டர் கண்டார். சமன் செய்யப்படாத எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சிகளைக் கொண்ட அணுக்கள் அதன் D/r பொருந்தாத காரணத்தால், ஃபெரோக் காந்தத் தன்மையைக் காட்டாது. ஆனால், இந்த உலோகங்கள் ஃபெரோக் காந்தமல்லாத மற்றப் பொருள்களுடன் படிகங்கள் அமைந்தால் இந்தப் படிகங்களின் அணு இடைதூரம் ஃபெரோக் காந்தத்திற்கான D/r-ன் மதிப்புக்குப் பொருந்தினால் ஃபெரோக் காந்தப் பொருளாகின்றது. மாங்கனீஸ் உலோகத்தைக் (Mn) கொண்ட $MnAs$ போன்ற சேர்மங்கள் (Compound) இந்த வகையைச் சேர்ந்தன.

7.7. ஹைசன்பர்க் கொள்கை அடிப்படையில் $\frac{\sigma}{\sigma_0}$-ன் மதிப்பு

பரிமாற்று இண்டகரல் நேர் குறியுடையதாக இருக்க எலெக்ட்ரானின் தற் சுழற்சிகள் இணையாக இருக்க வேண்டும். மேலும், அணு இடைத்தூரம் அதிகரித்தால் பரிமாற்று விசை குறையும். எனவே, அடுத்தடுத்த இரு அணுக்களுக்கிடையிலுள்ள விசைகளை மட்டும் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட அணு தன்னைச் சுற்றி Z_1 அணுக்களைக் கொள்வோம். உதாரணமாக ஓர் உருவமைப் படிகத்தில் எட்டு அணுக்களும், பக்கமைப் படிகங்களில் 12 அணுக்களும் இருக்கும். இந்த அணுக்களில் தற் சுழற்சி இணையாக அல்லது எதிர் மைய அணு தன்னுடைய எலெக்ட்ரான்மூலம் மற்ற அணுக்களுடன் x இணைச் சோடிகளையும், Y எதிர் இணைச் சோடிகளையும் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.

இரு அணுக்களின் தற் சுழற்சி இணையாக இருப்பதற்கும், எதிர் இணையாக இருப்பதற்குமான ஆற்றல் வேறுபாடு $2E_0$ எனக் கொள்வோம். ஓர் அணுவை இணை நிலையிலிருந்து எதிர் இணை நிலைக்கு மாற்றினால் இணைச் சோடிகளின் எண்ணிக்கை $(Y - x)$ அதிகமாகும். எதிர்ச் சோடிகளின் மதிப்பு $(x - y)$ அதிகமாகும். இதனால் அதிகரிக்கும் சுற்றலின் அளவு

$$E = 2E_0 (x - y) \qquad (7.22)$$

Z_1 எலெக்ட்ரான்களுள் ஏற்படும் பெருமத் திருப்புத்திறன்

$$= Z_1 \mu_B \qquad (7.23)$$

அமைப்பின் தொகுபயன் திருப்புதிறன் $= \mu_r$ எனக் கொள்வோம்.

$$\frac{\mu_r}{\mu_B} = \frac{\overline{x} - \overline{y}}{Z_1}$$

இது படிக முழுவதையும் கவனத்தில் கொண்டால் $\overline{x}$, $\overline{y}$ இவை x, y—களின் சராசரியாகும். ஆனால், $\frac{\mu_r}{\mu_B} = \frac{\sigma}{\sigma_0}$. எனவே,

$$\frac{\mu_r}{\mu_B} = \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\overline{x} - \overline{y}}{Z_1} \qquad (7.24)$$

போல்ட்ஸ்மன் நிகழ்திறன் விதி ஏற்புடையது என்று கொண்டால் ஓர் அணு இணையாக இருப்பதற்கான நிகழ்திறன்

$$p_{\mathrm{p}} = \left[1 + e^{-E/\mathrm{RT}} \right]^{-1}$$

ஓர் அணு எதிர் இணை அமைப்பதற்கான நிகழ்திறன்

$$p_{\mathrm{a}} = e^{-E/\mathrm{kT}} \left[1 + e^{-E/\mathrm{RT}} \right]^{-1}$$

ஆனால், எல்லா அணுக்களும் ஒரே முறையில் அமைந்தால்

$$\overline{x} = Z_1 \, p_{\mathrm{p}}$$

மற்றும்,

$$\overline{y} = Z_1 \, p_{\mathrm{a}}$$

சமன்பாடு 7.24 படி

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\overline{x} - \overline{y}}{Z_1} = p_{\mathrm{p}} - p_{\mathrm{a}}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \tan h \left(\frac{E}{2RT} \right) \text{ ஆகும்.} \qquad (7.25)$$

ஆனால், சமன்பாடு 7.17-ன்படி வெயிஸ் மூலக்கூறுகள் புல அடிப்படையில், குவான்டம் அளவீட்டு முறைப்படி

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \tan h \,(a) \qquad (7.17)$$

ஆனால் $a = \frac{\mu H}{RT}$, இதில் $H = Hi = nPz\overline{\mu}$

$$\mu = \mu_{\mathrm{B}}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \tan h \, \frac{nPz\overline{\mu}}{RT} \, \mu_{\mathrm{B}}$$

$$= \tan h \, \frac{\sigma u P}{RT} \, \mu_{\mathrm{B}} \qquad (7.26)$$

சமன்பாடு (7·25)-ம் (7·26)-ம் ஒப்பிட்டு

$$\frac{E}{2KT} = \frac{\sigma n P \mu_{\mathrm{B}}}{RT} \qquad (7{\cdot}27)$$

ஆனல், $E = 2E_0 (x-y)$

$$\frac{E}{2KT} = \frac{2E_0 (x-y)}{2KT} = \frac{E_0 Z1}{KT} \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

எனவே, சமன்பாடு (7·27).

$$\frac{E_0 Z_1}{KT} \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{nP\sigma\mu_B}{KT}$$

அல்லது, $nP = \frac{Z_1 E_0}{\sigma_0} \frac{1}{\mu_B}$

அல்லது, $nP\sigma_0 = \frac{Z_1 E_0}{\mu_B}$ (7·28)

சமன்பாடு (7·28) மூலக்கூறுப் புலத்தின் பெரும மதிப்பினைக் குறிக்கும். எனவே, ஹைசன்பர்க் கொள்கை மூலக்கூறுப் புலத்திற் கான விளக்கத்தினைக் கொடுக்கின்றது.

மேலே கூறிய விளக்கத்தின்படி பரிமாற்று இண்டகரல் நேர்க் குறியுடையதாக இருந்தால் படிக அமைப்புகளில் ஃபெரோக்காந்த வியல் அமைவதற்கான காரணங்கள் தெளிவாகின்றன. இருப்பினும் ஃபெரோக் காந்தத்திற்கான முழு விளக்கம் தருவதற்கு ஹைசன்பர்க் கொள்கை மேலும் மாறுதலடைய வேண்டும்.

8. படிகக் காந்தவியல்

(Crystal Magnetism)

8·1. தொடக்கவுரை

திசையொப்புப் பண்பியலான (Isotropic) திண்மப் பொருள் களின் காந்த ஏற்புத்திறனை அளவிடும்பொழுது காந்தமாக்கல் திசை எப்பொழுதும் அப்பொருளின்மேல் செயல்படும் காந்தப் புலத் திசையுடன் ஒன்றும் என்று கொள்ளப்பட்டது. ஆனால், குறைந்த சமச்சீருடைய படிகங்களில் பொதுவாக ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான மூன்று திசைகளில் காந்தமாக்கல் திசை படிகத்தின் மீது செயல்படும் காந்தமாக்கும் புலத்தின் (Magnetising field) திசைக்கு ஏற்ப அமையும். இந்த மூன்று திசைகளும் படிக அச்சு களுடன் (Crystallographic axes) பொருந்த வேண்டுமென்பதில்லை. இந்த மூன்று அச்சுகளின் திசைகளிலுமான காந்த ஏற்புத் திறன்கள் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபடும். இந்தத் திசைகளில் காந்த ஏற்புத் திறன்களுக்கு முதன்மைக் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் (Principal susceptibilies) என்று பெயர் இவவாறு வேறுபடும் காந்த ஏற்புத்திறனைக் காட்டும் படிகங்கள் திசை யொவ்வாக் காந்தப் பண்பியல் படிகங்கள் (Magnetic anisotropic) எனப்படும். இத்தகைய திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பியலான படிகங்களைத் தூள்செய்து இத் தூளின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கண்டுபிடித்தால் இதன் மதிப்புப் படிகத்தின் மூன்று திசைகளின் முதன்மைக் காந்த ஏற்புத் திறன்களின் சராசரிக்குச் சமமாகும்.

ஒரு குறைந்த காந்தத்தன்மையுடைய ஒற்றைப் படிகத்தை (Single crystal) ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் பொதுவாகக் காந்தமாக்கல் திசை செயல்படும் காந்தப்புலத்தின் திசையுடன் இணையாது. இவ்வாறு ஒரு வெற்றிடத்தில் , காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் படிகப் பொருளுக்கான ஆற்றலைக் கீழ்வரும் சமன் பாட்டால் எழுதலாம்,

$$E = -\tfrac{1}{2}\int [K_{11} H_x{}^2 + K_{22} H_y{}^2 + K_{33} H_B{}^2 + 2K_{12} H_x H_y + 2K_{23} H_y H_B + 2K_{31} H_z H_x]\, dv \quad (8\ 1)$$

இதில் K_{11}, K_{22}......முதலியன x, y முதலிய திசைகளில் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத் திறன்கள். இதில் தொகுத்தல் [$\int$] படிகத்தின் முழுப் பருமனுக்கும் கணக்கிடவேண்டும். செயல்படும் காந்தப் புலத் திசை x-அச்சுடன் இணையும் விதத்திலிருந்து ஆயங்களைத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டால் y, z அச்சுத் திசைகளில் காந்தப்புலம் சுழியாகும். அல்லது $H_y = H_B = o$ எனவே சமன்பாடு (8·1) சுருங்கி

$$E = -\tfrac{1}{2}\int K_H\, H^2\, dv \qquad (8.2)$$

என்ருகும். இதில் K_H, –அச்சுத் திசையில் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் குறிக்கும். மேலும் K_H-ன் மதிப்புக் காந்தப் புலத்தின் திசையைப் பொறுத்திருக்கும்.

எந்த அச்சுத் திசையில் காந்தப்புலம் அமைந்தாலும் பொருளின் காந்தநிலை ஆற்றல் (Magnetic potential energy) மாறுபடாது. எனவே, சமன்பாடு (8·1) மற்றும் (8·2)-லிருந்து

$$K_{11}H_x{}^2 + \ldots\ldots + 2K_{12}H_xH_y + \ldots\ldots\ldots = K_xH^2 \qquad (8.3)$$

l_1, m_1, n_1, இவை முறையே x, y, z அச்சுத் திசைகளுக்கான காந்தப்புலம் H-ன் திசைப் படுகைகளினுல் (Direction cosines). காந்தப்புலத் திசையில் கண்டுபிடிக்கப்படும் காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான சமன்பாட்டை

$$k_{11}l_1{}^2 + k_{22}m_1{}^2 + k_{33}n_1{}^2 + 2k_{12}l_1m_1 + 2k_{23}m_1n_1 + 2k_{31}n_1l_1 = k_H \qquad (8.4)$$

என்று எழுதலாம். ஆனல் படிகத்தில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசையிலுள்ள மூன்று முதன்மைக் காந்த அச்சுகள் (Principal magnetic axes) இருப்பதாகச் சோதனைகள் வெளிப்படுத்துகின்றன. இந்த உண்மையைக் கருத்தில் கொண்டால்

$k_{12} = k_{23} = k_{31} = o$ என்ருகும்.

மற்றும்,

$$k_{11} = k_1$$

$$k_{22} = k_2$$

$k_{33} = k_3$ என்றும் கொண்டால்

[இதில் k_1, k_2, k_3 இந்த அச்சுத் திசைகளில் படிகத்தின் முதன்மைக்காந்த ஏற்புத்திறன்கள் (Principal susceptibilities)] k_1, k_2, k_3 இவை படிகத்தின் முதன்மை பருவக்காந்த ஏற்புத் திறன்கள். படிகத் தூளின் பருமக்காந்த ஏற்புத்திறன்

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3} \text{ என்றாகும்.} \tag{8.5}$$

அல்லது நிறைகாந்த ஏற்புத்திறன்

$$\chi = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \chi_3}{3} \tag{8.6}$$

என்றாகும். படிகங்களின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்புகளை அளக்கும் முறைகளைப் பின்வரும் பகுதிகளில் காண்போம்.

8.2. ராபி முறை [55] (Rabi's Method)

ஒரு படிகத்தை அதன் காந்த அச்சுக் காந்தப்புலத் திசையில் அமையுமாறு ஒரு சீரிலாக் காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிட்டால் அதன்மீது செயல்படும் க்யூரி விசை

$$= \frac{\mu_2 - \mu_1}{8\pi} \frac{d}{dx} Hy^2 \, dr$$

$$= \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} Hy \frac{dHy}{dx} \, dr$$

$$= (K_2 - K_1) \, Hy \frac{dHy}{dx} \, dr \quad (\because \quad \mu = 1 + 4\pi K)$$

இதில் K_2, K_1 இவை படிகம், சுற்றியுள்ள ஊடகம் இவற்றின் பருமக் காந்த ஏற்புத்திறன்களாகும். இதில் $K_2 = K_1$ ஆனால் படிகத்தின்மீது செயல்படும் விசை சுழியாகும். இந்தக் கொள்கையின்மீது ராபி முறை அமைந்துள்ளது.

இந்த முறையில், படிகம் செங்குத்தாக ஒரு சீரிலாப் புலத்தில் தொங்கவிடப்படும். படிகத்தைச்சுற்றி ஒரு கரைசல் நிரப்பப் பட்டிருக்கும். இந்தக் கரைசலின் காந்த ஏற்புத்திறன் மாற்றக் கூடியதாக இருக்க வேண்டும். படிகத்தைத் திருப்பி, காந்தப்புலம் ஏற்படுத்தும்பொழுது படிகத்தில் அசைவு இல்லாத நிலையில் நிறுத்த வேண்டும். இப்பொழுது காந்தப்புலத் திசையில் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன், அதனைச் சுற்றியுள்ள கரைசலின் காந்த ஏற்புத்திறனுக்குச் சமம். கரைசலின் காந்த ஏற்புத்திறனைத்

தனியாக காய் முறையில் கண்டுபிடித்துப் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறனை அறியலாம். அதே முறையில் படிகத்தின் மற்ற அச்சுக்கான காந்த ஏற்புத்திறன்களையும் அறியலாம்.

இந்த முறையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அமைப்பில் படிக வெட்டுகள் இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை. காந்தப்புலத்தின் செறிவும் அளவிட வேண்டியதில்லை. ஆனால், படிகத்தின் முதன்மைக் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் குறைந்த அளவில் வேறுபட்டால் இந்த முறையில் துல்லியமாக அளக்க இயலாது.

8.3. கிருஷ்ணன் அலைவு முறை

படிகத்தின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்புத் (Magnetic anisotropy) தன்மையை அளப்பதற்குக் கிருஷ்ணன் [56] மிகவும் நுட்பமான ஒரு முறையை வெளியிட்டார்.

படிகத்தட்டு ஒரு குவார்ட்ஸ் நாரினால் ஒரு சீரான காந்தப் புலத்தில் காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது படிகத்தின் நிலையில் திருப்பம் ஏற்படாதவாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. படிகத்தின் ஒரு காந்த அச்சு நாரின் அக்சுடன் இணையுமாறும் படிகம் இந்த அச்சுக்கு நேர்க்குத்துத் திசையில் ஒரு சிறு தட்டாகவும் வெட்டப் பட்டிருக்க வேண்டும். இப்பொழுது காந்தப்புலம் செயல்படுமாறு செய்தால் – படிகம் திசையொவ்வாப் பண்புடையதாக இருந்தால்— அதன் நிலையில் எந்தத் திருப்பமும் ஏற்படாது. மாறாகப் படிகம் திசையொவ்வாப் பண்பியல் தன்மை கொண்டிருந்தால் அதன் அதிகக் காந்த ஏற்புத்திறன் அச்சு காந்தப்புலத்திற்கு இணையாகும் நிலைக்குத் தன்னைத் திருப்பிக்கொள்ளும். இப்பொழுது படிகம் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் முறுக்கு முகட்டைத் திருப்பிக் காந்தப் புலம் செயல்படும் நிலையிலும், செயல்படாத நிலையிலும் படிகம் ஒரே நிலையில் அமைத்துக்கொள்ளுமாறு செய்யவேண்டும்.

காந்தப்புலம் செயல்படாத நிலையில் படிகத்தை θ° கோணம் திருப்பி அதனை முறுக்கு அலைவு ஏற்படுமாறு செய்தால், அதன் அலைவு நேரம் T_0-ஐ

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{c}} \qquad (8.7)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் I படிகத்தின் நிலைமத் திருப்புதிறன். c தொங்குநாரின் முறுக்கு இரட்டையாகும்.

காந்தப்புலம் செயல்படும் நிலையில் θ° கோணம் திருப்பம் ஏற்படுத்தினால் முறுக்கின் மீட்சி விசையுடன் படிகத்தின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பு மீட்சி விசை ஏற்படுத்தும்.

k_1 மற்றும் k_2 என்பன படிகத்தின் இரு காந்த அச்சுத் திசைகளிலான பருமக்காந்த ஏற்புத்திறன்களானல் காந்தத் திருப்பு திறன் $= VH(k_1 - k_2)$ ஆகும். இதில் V என்பது படிகத்தின் பருமனகும். காந்தப்புலத் திசையிலிருந்து $\theta°$ கோணம் திருப்பத்தால் மீட்சி இரட்டை,

$$= MH \text{ Sin } \theta$$
$$= VH(k_1 - k_2) H \text{ Sin } \theta$$
$$= VH^2 (k_1 - k_2) \text{ Sin } \theta \qquad (8.8)$$

ஓரலகு கோணத்திற்கு ஏற்படும் இரட்டை,

$$C_1 = VH^2 (k_1 - k_2)$$

$$C_1 = VH^2 (x_1 - x_2)P \qquad \frac{K}{P} = x$$

$$C_1 = mH^2 (x_1 - x_2)$$

எனவே, காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது முறுக்கு அலைவு நேரம்

$$T_H = {}^2\pi\sqrt{\frac{I}{c + c_1}}$$

$$T_H^2 = 4\pi^2 \frac{I}{c + (x_1 - x_2)mH^2} \qquad (8.9)$$

ஆனல், $T_0^2 = 4\pi^2 \dfrac{I}{c}$

அல்லது, $c = \dfrac{4\pi^2 I}{T_0^2}$ (8.10)

சமன்பாடு (8·9) மற்றும் (8·10) இவற்றிலிருந்து

$$(X_1 - X_2)\, mH^2 + c = \frac{4\pi^2 I}{T_H^2}$$

$$(X_1 - X_2)\, mH^2 + \frac{4\pi^2 I}{T_0^2} = \frac{4\pi^2 I}{T_H^2}$$

$$(X_1 - X_2)\, mH^2 = 4\pi^2 I \left[\frac{1}{14^2} - \frac{1}{T_0^2}\right]$$

$$(X_1 - X_2) = \triangle X = \frac{4\pi^2 I}{mH^2} \left[\frac{T_0^2 - T_H^2}{T_0^2 - T_H^2}\right]$$

ஆனல், $4\pi^2 = cT_0^2$

எனவே,

$$\triangle X = \frac{c}{mH^2} \quad \frac{T_0^2 - T_H^2}{T_H^3}$$

படிகத்தின் மூலக்கூறு எடை M ஆனல் ஒரு கிராம் மூலக் கூறின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பியல்

$$\triangle X_M = \frac{Me}{mH^2} \quad \frac{T_0^2 - T_H^2}{T_H^2} \qquad (8.11)$$

தொங்கு நாரின் மீட்சி இரட்டையைத் தனியாக ஒரு சோதனை யின்மூலம் கண்டுபிடிக்கலாம்.

எனவே, படிகத்தைக் காந்தப்புலம் செயல்படாத நிலையிலும், செயல்படும் நிலையிலும் அதன் முறுக்கு அலைவு நேரத்தை அளந்து படிக்த்தின் திசை யொவ்வாக் காந்தப் பண்பினைக் கணக்கிடலாம்.

8·4. மாறுநிலை முறுக்கு முறை (Critical Torsion Method)

கிருஷ்ணன் [57] தன்னுடைய முந்திய முறையில் சிறு மாற்றம் செய்து மாறுநிலை முறுக்கு முறையை வெளியிட்டார். முன் முறை யில் செய்ததுபோல் படிகத்தின் அதிகக் காந்த ஏற்புத்திறன் கொண்ட அச்சு, காந்தப்புலத் திசையிலிருக்குமாறு முறுக்கு முகட்டைத் திருப்பி அமைத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

சமன்பாடு [8·8]-ன்படி, படிகத்தை அதன் நிலையிலிருந்து θ அலகு திருப்பினல் மீட்சி இரட்டை

$$c\theta = (k_1 - k_2)\, VH^2 \text{ Sin } \theta$$

மேலும், ஒரு $d\theta$ அலகு திருப்பினல் இதனல் செய்யப்படும் வேலை

$$d\omega = c\theta d\theta \qquad (8.12)$$

θ அலகு திருப்பத்தால் செய்யப்படும் வேலை

$$W = \int dW = \int c\theta d\theta = \tfrac{1}{2}\, c\theta^2$$

$$W = \tfrac{1}{2}\,(k_1 - k_2)\, VH^2 \text{ Sin } \theta$$

θ-வின் மதிப்புச் சிறிதானல்

$$\text{Sin } \theta = \theta$$

$$W = \tfrac{1}{2}\,(k_1 - k_2)\, VH^2 \text{ Sin}^2\, \theta \qquad (8.13)$$

சமன்பாடு (8·12)-ன்படி

$$c\theta = \frac{dW}{d\theta}$$

சமன்பாடு 7·13-லிருந்து

$$dW = \frac{1}{2}(k_1 - k_2)\, VH^2\ 2 \sin\theta \cos\theta\ d\theta$$

$$c\theta = \frac{dW}{d\theta} = \frac{1}{2}(k_1 - k_2)\, VH^2 \sin 2\theta \qquad (8.14)$$

θ அலகு முறுக்கினால் ஏற்படும் மீட்சி இரட்டையைச் சமன்பாடு (8·14)-லும் குறிக்கலாம்.

படிகத்தை முன்போல் ஒரு குவார்ட்ஸ் நாரினால் சீரான காந்தப்புலத்தில் தொங்கவிட வேண்டும். இந்தக் குவார்ட்ஸ் நார் ஒரு முறுக்கு முகட்டுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். படிகம் அதன் அதிகக் காந்த ஏற்புத்திறனச்சு காந்தப்புலத் திசையிலிருக்கையில் தொங்கல் நார் முறுக்கில்லாத நிலையில் அமைக்கப்பட வேண்டும். காந்தப்புலம் செயல்படும்பொழுது முறுக்கு முகட்டைத் திருகி நாரின் முகட்டு முனையை சமன் நிலையிலிருந்து α அலகு கோணம் திருப்பினால் படிகமும் அதே திசையில் திரும்பும், ஆனால் குறைந்த அளவு (θ அலகு) கோணமே திரும்பும். இதனால் முறுக்கு நாரில் ஏற்பட்டிருக்கும் முறுக்கு இரட்டையைக் காந்தப்புலம் படிகம் இவற்றுக்கிடையிலேற்படும் முறுக்கு இரட்டையைச் சமன் செய்கின்றது. இதனைச் சமன்பாட்டின் மூலம்

$$C(\alpha - \theta) = \frac{1}{2}(K_1 - K_2)\, VH^2 \sin 2\theta$$

அல்லது,

$$C(\alpha - \theta) = \frac{1}{2}(\chi_1 - \chi_2)\, mH^2 \sin 2\theta \qquad (8.15)$$

என்று எழுதலாம். படிகம் திரும்பிய கோணம் 45° ($\theta = \pi/4$) ஆனால் காந்தப்புலத்திற்கும் படிகத்திற்குமிடையிலிருக்கும் முறுக்கு இரட்டை பெருமமாகும். இந்த அளவு θc படிகத்தைத் திருப்பும் முறுக்கு முகட்டுக் கோணம் மாறுநிலைக் கோணம் αc எனப்படும்.

இந்நிலையில்,

$$C(\alpha c - \pi/4) = \frac{1}{2}(\chi_1 - \chi_2)\, mH^2 \qquad (8.16)$$

ஆகும். முறுக்கு முகட்டை மேலும் திருப்பி θ ஐ அதிகமாக்கினால் நாரில் செயல்படும் முறுக்கு இரட்டை $C\ (\alpha - \theta)$ அதிகமாகும்.

ஆனல் θ-ன் மதிப்பு π/4ஐ விட அதிகமானல் Sin 2 θ-ன் மதிப்புக் குறைந்து படிகத்திற்கும் காந்தப்புலத்திற்குமிடையிலேற்படும் முறுக்கு இரட்டை குறையும். இரு முறுக்கு இரட்டைகளும் ஒன்றை ஒன்று சமன்செய்யாது. ஆகையால் முறுக்கு முகட்டை ∝c-ஐவிடச் சற்றுக் கூடுதலாகத் திருப்பினலும், நாரின் முறுக்கு பிரிந்து, படிகம் சுற்றத் தொடங்கும்.

மிகச் சிறந்த முறுக்கு நாரையும், எடை நிறைந்ததும், திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பு அதிகமான படிகத்தையும், செறிவு நிறைந்த காந்தப்புலத்தையும் பயன்படுத்திஞல் ∝c 20 அல்லது 30 முழுச்சுற்றுகள் வரையிலிருக்கும். θ-ன் அளவு π/4 ஐத் தாண்டியவுடன் படிகத்தின் சுழற்சி மிகவும் வியக்கத்தக்கதாகவும் இருக்கும்.

சமன்பாடு (8.16)-லிருந்து

$$X_1 - X_2 = \frac{2c\,(\propto c - \pi/4)}{mH^2}$$

M படிகத்தின் மூலக்கூறு எடையானல்

$$\triangle X = (2\propto c - \pi/2)\ \frac{c}{H^2}\ \frac{M}{m} \qquad (8.17)$$

கிருஷ்ணன் முறையில் கணக்கிடப்படும் படிகத்தின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பு, அலைவு தளத்திலுள்ள காந்த அச்சுகளுக்கிடையிலேற்படுவதாகும். படிகத்தின் மூன்ருவது காந்த ஏற்புத்திறனைப் படிகத்தின் நிலையைத் திருப்பி அமைத்துக் கணக்கிடலாம்.

8.5. படிகக் காந்தவியல் அளவுகளின் பயன்கள் (Importance of Magneto crystalline Study)

பொதுவாக டையாக் காந்த மூலக்கூறுகள் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பியல் கொண்டவை. இத்தகைய மூலக்கூறுகளை, படிகங்களில் ஓர் ஒழுங்கு முறையில் அமைத்தால், படிகம் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு அளவுள்ள காந்த ஏற்புத் திறன்களைக் காட்டும். இந்த அளவுகளின் வேறுபாடுகள் படிகத்தின் மிகச் சிறு அமைப்பில் மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று நிலைகொண்டிருக்கும் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கும். மூலக்கூறுகளின் டையாக் காந்தப் பண்பு குறைந்த அளவுடையதானதால் இந்த மூலக்கூறுகளின் ஒன்றுக்கொன்று ஏற்படும் தூண்டல் ஆற்றலைக் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டியதில்லை. எனவே,

படிகத்தின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பியல் தன்மையையும், மற்ற முறைகளின்மூலம் கண்ட, படிகத்தை அமைக்கும் மூலக் கூறுகளின் காந்தத் தன்மையையும் ஒப்பிட்டால் படிகத்தின் மூலக்கூறுகள் நிலைகொண்டிருக்கும் தன்மை பற்றிய விவரங்கள் கிடைக்கக்கூடும். படிகத்தில் மூலக்கூறுகளின் அமைப்புப்பற்றிய இந்தப் பகுப்பாய்வு முறை படிகங்களைப்பற்றிய X-கதிர் ஆய்வு முறைக்கு நிரப்பு முறையாக அமையும். இந்த முறையில் சிறிய படிகங்களில் மூலக்கூறுகள் நிலைகொள்ளும் அமைப்பை எளிதாகவும் X-கதிர் முறையைவிடத் துல்லியமாகவும் காணலாம்.

பாராக் காந்தப் படிகங்களின் காந்தப் பண்புகளின் அளவு பல விதங்களில் முக்கியத்துவம் பெருகிறது. இத்தகைய பொருள் களில் அணுக்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஏற்படுத்தும் பரிமாற்று விளைவுகளைக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். எனவே, படிகத்தின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பு அப் படிகங்களின் சிறு அமைப்புகளின் காந்தப் பண்புகளுக்கு, மட்டும் தொடர்புடையதன்று.

ஜேக்ஸன் என்பவர் படிகங்களின் காந்த ஏற்புத்திறன் களுக்கும் அவற்றின் வெப்பநிலைக்குமுள்ள தொடர்பை, படிகங் களின் முதன்மைக் காந்த ஏற்புத்திறன்களைப் பல வெப்ப நிலைகளில் அளந்து கண்டுபிடித்தார். அவர் சோதனைகளிலிருந்து படிகங்களின் முதன்மைக் காந்த ஏற்புத்திறன்கள் வெயிஸ் சமன் பாட்டிற்கு ஏற்ப

$$\chi i = \frac{C}{T-\theta}$$

இயங்குவதாகக் கண்டார். மேலும் $\chi i = \chi_1$, χ_2 மற்றும் χ_3 ஆகும். இம் மூன்று காந்த ஏற்புத்திறன்களுக்கும் C ஒரே மதிப்புடையது. ஆனல், மூன்று அச்சுத் திசைகளிலும் θ-ன் மதிப்பு வெவ்வேருக உள்ளது. ஆனல், க்யூரி வெப்பநிலை θ அம் மூலக்கூறுகளின் உட்காந்தப்புலத்தைப் பொறுத்தது என்று முன் அத்தியாயத்தில் பார்த்தோம். இதிலிருந்து வெவ்வேறு திசைகளில் வெயிஸ் உட் காந்தப்புலம் மாறுபடுகின்றது என்றும், படிகத்தின் திசை யொவ்வாக் காந்தப் பண்பு இந்த உட் காந்தப்புல வேறுபாட்டால் உண்டாகின்றது என்றுமாகின்றது. இத்தகைய படிகங்களின் காந்தப் பண்புகளை அளப்பதன்மூலம் படிக உள்ளமைப்பிற்கும் வெயிஸ் காந்தப்புலத்திற்குமுள்ள தொடர்பு பற்றிய விவரங்கள் பெறப்படும்.

தனிம ஒற்றைப் படிகங்களின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்பு, தனிமங்களின் எலெக்ட்ரான் கொள்கை காரணமாகச் சமீப காலங்களில், அதிக முக்கியத்துவம் பெற்றுள்ளது. சில ஃபெரோக் காந்த உலோகங்களின் கலவைகள் அதிக அளவில் திரிபு உணர்வுடையதாக இருக்கின்றன. இத்தகைய தொழில் நுட்ப முக்கியத்துவம் வாய்ந்த உண்மைகளுக்கான காரணங்களை அத் தனிமங்களின் திசையொவ்வாக் காந்தப் பண்புகளைக்கொண்டு விளக்கலாம்.

8·6. தனிம ஒற்றைப் படிகம் (Metallic Single crystal)

படிகத்தின் ஒரு காந்த அச்சு k_3 அச்சு z அச்சுக்கு இணையாகக் காந்தப்புலத்திற்கு நேர்குத்தாகவும் இருக்குமாறு H காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் சமன்பாடு (8·4)-ன்படி $n=o$ ஆவதால்

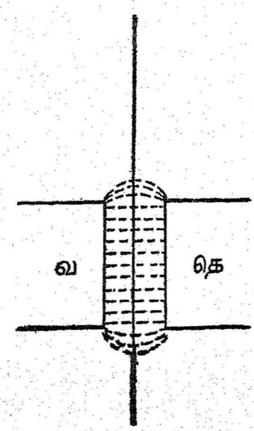
$$k_1 l^2 + k_2 m^2 = k_H \qquad (8\ 18)$$

என்றாகும்.

k_1 காந்த அச்சுக்கும் காந்தப்புலத் திசைக்குமிடையிலுள்ள கோணம் θ ஆனால்

$$k_1 \cos^2\theta + k_2 \operatorname{Sin}^2\theta = k_H \qquad (8.19)$$

பொதுவாகப் படிக உருளைகளில் படிக அச்சு உருளையின் அச்சுடன் இணைவதில்லை. இருப்பினும் இப்பொழுது அத்தகைய இணைதல் ஏற்படுவதாகக் கொள்வோம். படிகத்தை அதன் நீள அச்சு காந்தப்புலத் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருக்குமாறு செய்து, காந்தப்புலத் திசைக்கிணையான திசையில் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத் திறனைக் காய் முறையில் அளக்கலாம்.



படம் 8.1.

சமன்பாடு (8·19)

$$k_H = k_1 \cos^2\theta + k_2 \sin^2\theta$$
$$= k_1 \cos^2\theta + k_2 - k_2 \cos^2\theta$$
$$= k_2 + (k_1 - k_2) \cos^2\theta \qquad (8.20)$$

என்றாகும்.

படிகத்தின் dx நீளமுள்ள ஒரு சிறு பகுதியில் செயல்படும் விசை

$$ak_H \; H \frac{dH}{dx} dx \text{ ஆகும்.} \qquad (8.21)$$

a படிகத்தின் குறுக்கு வெட்டளவு. சமன்பாடு (8·20)-ன்படி k_H-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 8.21-ல் பொருத்தினால் முழுப் படிகத்தின்மீது செயல்படும் விசை

$$Fx = [k_2 + (k_1 - k_2) \cos^2\theta] \frac{a}{2} H^2$$

$$= [x_2 + (x_1 - x_2) \cos^2\theta] \frac{aP}{2} H^2 \qquad (8.22)$$

இதில் p படிகத்தின் அடர்த்தியாகும். சமன்பாடு (8·22)-லிருந்து x_1-ம் x_2-ம் வெவ்வேறாக இருக்கும்பொழுது படிகத்தின் மீது செயல்படும் காய் விசை வெவ்வேறு θ-ன் மதிப்புகளில் வெவ்வேறாக இருக்குமென்றாகின்றது. காய் விசையை வெவ்வேறு கோணங்களில் அளப்பதற்குக் காய் தராசில் நெகிழ்ச்சியான தொங்கலை நீக்கி முறுக்கு முகட்டுடன் கூடிய ஒரு விறைப்புத் தொங்கல் பயன்படுத்தப்படும். முறுக்கு முகட்டுடன் ஓர் அளவீடு செய்யப்பட்ட அலுமினியத் தகடும் இணைக்கப்படும்.

ஃபாக் [58] (Focke) இந்த முறையில் பிஸ்மத் ஒற்றைப் படிகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிட்டார். அவருடைய சோதனையில் பிஸ்மத் படிக உருளையில் படிக முதன்மை அச்சு உருளையின் நீள அச்சுக்கு இணையாக அல்லது நேர்குத்தாக இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருந்தது. இணையாக இருக்கும்பொழுது x_1, x_2-க்களின் மதிப்புச் சமமாவதால் சமன்பாடு 8·22-ன்படி எல்லா θ மதிப்புகளுக்கும் ஒரே காய் விசை பெறப்படும். இந்த மதிப்பின்படி $X_H = X\perp = -1{\cdot}482 \times 10^{-6}$ அல்லது முதன்மை அச்சுக்கு நேர் குத்தான தளத்தில் காந்த ஏற்புத்திறன் $= -1{\cdot}482 \times 10^{-6}$ என்றாகும். ஆனால், முதன்மை அச்சு உருளையின் நீள அச்சுக்கு

நேர்குத்துத் திசையில் அமையும்பொழுது காய் விசை θ மாறும் பொழுது மாறும். முதன்மை அச்சு காந்தப்புலத்திற்கு இணை யாகும்பொழுது இந்த விசை சிறுமமாக இருக்கும். இப்பொழுது $X_{H} = X_{11} = -1{\cdot}053$ என்று கணக்கிட்டார். காந்தப்புலம் முதன்மை அச்சுக்கு நேர்குத்தாக இருக்கையில் காய் விசை பெருமமாகவும் X_{H}-ன் மதிப்பு $X\perp = -1{\cdot}482 \times 10^{-6}$ என்றும் கணக்கிட்டார். எனவே,

$$\frac{X\perp}{X_{11}} = 1{\cdot}425$$

இதனையும் திசை யொவ்வாக் காந்தப்பண்பு என்று கூறப் படும். இந்த அளவுகளிலிருந்து பிஸ்மத்தின் சராசரி காந்த ஏற்புத் திறன்

$$- \tfrac{1}{3}\,[2 \times 1{\cdot}482 + 1{\cdot}053] \times 10^{-6}$$

$$= -\ 1{\cdot}339 \times 10^{-6}$$

என்றாகும்.

9. சுழலியக்கக் காந்த விளைவு
(Gyromagnetic effects)

9·1. தொடக்கவுரை

நாம் முன் பகுதிகளில் கூறியதுபோல எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறனும் அவற்றின் கோண உந்தமும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு கொண்டிருப்பதாலுல், ஒரு திண்மப்பொருளில் எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்களை ஒரு காந்தப் புலத்தைச் செயல்படச் செய்வதன்மூலம் மாறும்படி செய்தால் அந்த எலெக்ட்ரான்களின் கோண உந்தமும் மாறவேண்டும். ஒரு பொருளைக் காந்தமாக்கும்பொழுது அப் பொருளின் எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன் ஒழுங்குபட அமைகிறது. இவ்வாறு எலெக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்களை ஒழுங்குபடுத்தும் பொழுது இதனுடன் தொடர்புள்ள எலெக்ட்ரான்களின் கோண உந்தமும் மாறுதலடையும். ஆனால், பொருளின் மொத்தக் கோண உந்தம் மாருமலிருக்கப் பொருள் முழுதும் எதிர்த்திசையில் கோண உந்தம் கொள்ளும்.

தன்னிச்சையாகத் தொங்கும் ஓர் உருளை வடிவான திண்மப் பொருளின்மேல் காந்தப்புலத்தைச் செயல்படச் செய்தால் காந்தமாக்கல் நிகழும்பொழுது திண்மப் பொருளின் கோண உந்தத்தில் மாறுதல் ஏற்படும். இதனால் அத் திண்மப்பொருள் தொங்கு தானத்தைச் சுற்றித் திரும்பும். இது சுழலியக்கக் காந்த விளைவு எனப்படும். இவ்வாறு சுழலியக்கக் காந்த விளைவு ஏற்பட முடியுமென்பதை முதலில் ரிச்சர்ட்சன் [62] என்பவர் 1908-ல் அறிவித்தார். ஆனால் 1915-ல் இதனைச் சோதனை முறையில் கண்டவர்கள் ஐன்ஸ்டீன், டீஹாஸ் [63] என்பவர்களே ஆவார்கள்.

9·2. சுழலியக்கக் காந்த வீதம்

ஓர் உருளை வடிவான திண்மப்பொருளின் காந்தத் திருப்பு திறனும் கோண உந்தமும் முறையே M, J என்று கொள்வோம்.

பொருளின் காந்தத்தன்மை காந்த ஏற்பிகளின் (Carriers) திருப்பு திறன் μ-ல் ஏற்பட்டதாகக் கொள்ளப்படும். மேலும், அவற்றின் கோண உந்தம் j என்று கொள்வோம். தொடக்கத்தில் உருளை காந்தத் தன்மையற்று அசைவின்றி இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்நிலையில் $M=o$ மற்றும் $J=o$ ஆகும். காந்தமாக்கல் நிகழும் பொழுது காந்த ஏற்பிகள் முழுவதும் அல்லது பெரும்பகுதி ஒழுங்கு படுத்தப்படுகின்றன. உருளையின் அச்சுத் திசையில் காந்த ஏற்பி களின் காந்தத் திருப்புதிறனின் கூறு μ' ஆனால் உருளையின் காந்தத் திருப்புதிறன்

$$M = \Sigma \mu' \tag{9.1}$$

காந்தமாக்கையில் ஏற்பிகளின் கோண உந்த மாற்றங்களின் தொகுபயனை ஈடுசெய்ய உருளை எதிர்த்திசையில் சம அளவு கோணத் திருப்ப மாற்றம் பெறவேண்டும்.

$$\begin{aligned} J &= \Sigma - j' \\ &= -\frac{j}{\mu} M \end{aligned} \tag{9.2}$$

எனவே, காந்தமாக்கல் நிகழ்ச்சி மாறுபடும்பொழுது உருளையில் செயல்படும் சுழல் இரட்டையை

$$c = \frac{dJ}{dt} = \frac{-j}{\mu} \frac{\delta M}{\delta t} \tag{9.3}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். காந்தமாக்கலில் δM, காந்தத் திருப்புதிறன் மாற்றத்தைத் திடீரென்று ஏற்படுத்தினால் உருளை ஒரு திருப்புக்கான தாக்கிற்கு உட்படும். இதனை,

$$\int c dt = -\frac{j}{\mu} \int \frac{dn}{dt}\, dt = -\frac{j}{\mu}\, \delta M \tag{9.4}$$

என்று எழுதலாம். எனவே, ஓர் உருளையின் காந்தத் திருப்பு திறனில் திடீர் மாற்றம் ஏற்படுத்தி இதனால் உருளையில் உண்டாகும் கோணத்தாக்குத் திருப்பத்தை அளந்தால் ஏற்பிகளின் சுழல் இயக்கக் காந்த வீதம் j/μ ஐக் கணக்கிடமுடியும்.

இதனை ஒத்த, ஓரளவிற்கு மறுதலையான விளைவினை உருளையைச் சுழற்றுவதன் மூலம் பெறலாம். உருளையை ஒரு நிலையான கோண வேகத்தில் சுழலச் செய்து உருளையில் ஏற்படும் காந்தத் தன்மையை அளப்பதன்மூலம் சுழலியக்கக் காந்த வீதத்தை அளவிடலாம்.

H செறிவுடைய காந்தப்புலம் உருளையில் தோற்றுவிக்கும் காந்த விளைவினை உருளையைச் சுழற்றுவதன்மூலம் ஏற்படுத்தலாம். காந்தப்புலத்திற்கும் சுழல் கோணத் திசைவேகத்திற்குமுள்ள தொடர்பினை

$$H = \left(\frac{j}{\mu}\right)\omega \tag{9.5}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

e மின்னூட்டமும், m நிறையும் கொண்டு ஒரு சுற்றுப் பாதையில் நகரும் எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தத்திற்கும் அதன் காந்தத் திருப்புதிறனுக்குமுள்ள வீதம்

$\frac{j}{\mu} = \frac{2mc}{e}$ என்று 'அணு அமைப்பு' என்ற பகுதியில் கண்டோம். இதனைச் சமன்பாடு (9.5)-ல் பொருத்தினால்

$$H = \left(\frac{2mc}{e}\right)\omega \tag{9.6}$$

என்றாகும். ஓர் எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்துடன் தற்சுழற்சி இயக்கமும் கொண்டிருக்கின்றது. மேலும், நிறமாலையியலில் சோதனைகள், ஓர் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியின் j/μ-ன் மதிப்பு, வீதிச் சுற்றின் j/μ-ன் மதிப்பில் பாதி அளவுடையதென்பதைக் காட்டுகின்றது. எனவே, பொதுவாக ஓர் எலெக்ட்ரானின் (μ/j)-ன் மதிப்பை

$$\left(\frac{\mu}{j}\right) = g\left(\frac{e}{2mc}\right) \tag{9.7}$$

என்று எழுதுவதென்றும் இதில் 'g' லாண்டே உறுப்பு என்றும் கண்டோம்.

பொதுவாகச் சுழலியக்கக் காந்த வீதங்களை எலெக்ட்ரான்களின் வீதிச் சுற்றினால் ஏற்படும் வீதங்களின் மடங்குகளாகக் கூறுவது மரபு. அதன்படி

$$\left(\frac{j}{\mu}\right) = r\left(\frac{2mc}{e}\right) \tag{9.8}$$

அல்லது,

$$r = \frac{e}{2mc}\left(\frac{j}{\mu}\right) = \frac{1}{g} \tag{9.9}$$

சமன்பாடு (9.9)-லிருந்து சுழலியக்கக் காந்தச் சோதனைகளின் மூலம் 'g' உறுப்பின் மதிப்புகளைக் கணக்கிடலாம்.

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து சுழலியக்கக் காந்த வீதத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு இரு முறைகள் பெறப்படுகின்றன. முதல் முறை சமன்பாடு (9-4)ஐ அடிப்படையாகக் கொண்டது. ஒரு சிறு உருளை வடிவிலான பொருளை நாரின்மூலம் தொங்கவிட்டுத் திடீரென்று காந்தமாக்கினால், உருளை கோண உந்தத்தைத் தாக்கினால் நாரில் முறுக்கினை ஏற்படுத்தித் திரும்பும். ஆனால், இந்த முறையில் ஏற்படும் திருப்பம் ஃபெரோக் காந்தப் பொருளுக்குக்கூட மிகவும் குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால், ஒத்திசைவு (Resonance) முறையில் அதிக விளைவினை ஏற்படுத்தி அளவிடலாம். மற்றொரு முறை சமன்பாடு (9.5)-ன் அடிப்படையில் அமைந்தது. ஓர் உருளையைச் சுழலச் செய்து அதனால் ஏற்படும் காந்தத் தன்மையைக் கொண்டு, இதே அளவு காந்தத் தன்மையை அந்த உருளையிலேற்படுத்தும் காந்தப்புலத்தின் அளவினைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு ஏற்படுத்தும் காந்தப்புலத்தின் அளவினைக் கணக்கிடலாம்.

உருளையின் கோண திசைவேகம் ω, வினாடிக்கு 200π ரேடியன்கள் என்றும் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியால் ஏற்படும் j/μ-ன் மதிப்பினை $2{\cdot}8\times10^6$ என்றும் கொண்டால்

$$H = (j/\mu)\,\omega$$

$$= \frac{200\pi}{2{\cdot}8\times10^6}$$

$$\doteq 2{\cdot}36\times10^{-4} \text{ ஓர்ஸ்டட்கள்}$$

9.3. சோதனை முடிவுகள்

வேன்வெலக்கின் பாராக் காந்தக் கொள்கையின் அடிப்படையில் பாராக் காந்தப் பொருள்களுக்கான சுழல் இயக்கக் காந்த விளைவின் அளவினைக் கணக்கிடலாம். ஆற்றல் நிலை இடைவெளி KT ஐவிட மிக அதிகமாகக் கொண்டுள்ள பாராக் காந்தப் பொருள்களுக்கு

$$\mu/j = g\frac{e}{2mc} \tag{9.10}$$

என்று ஆகும். இதில்,

$$g=1+\frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}$$

ஆகும். வீதிச் சுற்று கோண உந்தத்தைமட்டும் கொண்ட அமைப்பிற்கு g-ன் மதிப்பு 1 ஆகவும் தற்சுழற்சிக் கோண உந்தத்தைமட்டும் கொண்ட அமைப்பிற்கு 2 ஆகவும் இருக்கும்.

ஆற்றல் நிலைப்பிரிவின் இடைவெளி KT ஐவிட மிகக் குறைவாக உள்ள பொருள்களுக்கு

$$\frac{\mu}{j}=\frac{e}{2mc}\left[\frac{4S(S+1)+L(L+1)}{2S(S+1)+L(L+1)}\right] \qquad (9.11)$$

என்றும் ஆற்றல் நிலை இடைவெளி KT-க்கு ஒத்த நிலையில் இருக்கும்பொழுது

$$\frac{\mu}{j}=\frac{e}{2mc}\;\frac{\Sigma[g^2\,J(J+1)+3KT\,\mu_B{}^2\propto]\,(2J+1)e^{-E/RT}}{\Sigma g\,J(J+1)\,(2J+1)\,e^{-E/RT}} \qquad (9.12)$$

என்றும் கணக்கிட்டுக் காட்டலாம்.

$\dfrac{e}{2mc}$-ன் குறைந்த மதிப்பினைக் கவனத்தில் கொண்டால்

சுழலியக்கக் காந்த வீதத்தின் குறைந்த மதிப்பினையும், இத்தகைய குறைந்த மதிப்புகளை அளவிடுவதால் ஏற்படும் சோதனைத் தடங்களையும் நாம் உணரமுடியும். எனினும், சாட்டக் பேட்ஸ் [64], சக்ஸ்மித் பேட்ஸ் [65], பேர்னட் கென்னி [66] முதலியவர்கள் தங்களின் மிகத் திறமையான சோதனைகளின்மூலம் ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களின் சுழல் இயக்கக் காந்த வீதங்களை அளவிட்டுள்ளார்கள்.

பாராக் காந்தப் பொருள்களின் சுழலியக்கக் காந்த வீதத்தைத் தம்முடைய திறமையான சோதனையின்மூலம் சக்ஸ்மித் [67] கண்டு பிடித்தார். இந்தச் சோதனையின் அமைப்பு முறையை பேட்ஸ் தம்முடைய காந்தவியல் புத்தகத்தில் [68] தெளிவாக வெளியிட்டுள்ளார். சக்ஸ்மித்தின் சோதனை முடிவுகள் அட்டவணை (9.1)-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 9.1.

தற்சுழற்சிக் காந்தப் பண்பிற்குரிய சோதனையின் அடிப்படையில் g-யின் மதிப்பு (சக்ஸ்மித்)

சோதனைப் பொருள்	பாராக் காந்தப் பண்புள்ள அயனி	இயல்பு நிலை	g-கொள்கை அளவில்				g-சோதனை முறையில்
			(1)	(2)	(3)	(4)	
இரும்புத் தொகுதி		1	0·40	2·00	1·38	—	1·95
$Cr\ cl_3$	Cr^{+++}	$4\ F_{3/2}$	2·00	2·00	2·00	—	1·98
$Mn\ So_4$	Mn^{++}	$6\ S_{5/2}$	1·50	2·00	1·67	—	1·89
$Mn\ Co_3$	Fe^{++}	$5\ D_4$					
$Fe\ So_4$	Co^{++} }	$4\ F_{9/2}$	1·33	2·00	1·67	—	1·54
$Co\ So_4$	Co^{++} }						
$Co\ Cl_2$							
அருமண் தொகுதி							
$Nd_2\ o_3$	Nd^{++}	$4\ I_{5/2}$	0·73	—	—	0·76	0·78
$Eu_2\ o_3$	Eu^{++}	$7\ F_0$	—	—	—	6·56	$>$ 4·5
$Gd_2\ o_3$	Gd^{++}	$8\ S_{7/2}$	2·00	—	—	2·00	2·12
$Dy_2\ o_3$	Dy^{++}	$6\ H_{15/2}$	1·33	—	—	1·33	1·36

அட்டவணையின் முதற் பகுதியில் சோதனைப் பொருள்களும், 2-ஆம் பகுதியில் அதற்கான பாராக்காந்த அயனிகளும் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. மூன்றும் பகுதியில் அவ்வயனிகளின் இயல்பான ஆற்றல் நிலைகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. நான்காம் பகுதியின் முதற் பிரிவில் (1) லாண்டேயின் g உறுப்பின் மதிப்பும், 2-ஆம் பிரிவில் (2) தற்சுழற்சி விளைவினுல் மட்டும் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பும் 3-ஆம் பிரிவில் (3) ஆற்றல்நிலைப் பிரிவின் அகலம் குறைவிற்கான சமன் பாட்டின்மூலம் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பும் 4-ஆம் பிரிவில் ஆற்றல் நிலைப் பிரிவின் அகலம் KT உடன் ஒப்பிடத் தகுந்த நிலைக்கான சமன்பாட்டின்படி கணக்கிட்ட மதிப்புகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. கடைசிப் பகுதியில் சக்ஸ்மித்தின் சோதனையின்மூலம் கண்ட g-ன் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

சோதனை முடிவுகளிலிருந்து இரும்புத் தொகுதியின் Mn^{++}, மற்றும் cr^{++} அயனிகளில் நாம் முன்பு பாராக்காந்தப் பகுதியில் பார்த்தபடி வீதிச் சுற்றுக்கோண உந்தங்கள் மறைக்கப்பட்டுத் தற் சுழற்சியால் ஏற்படுவதை மட்டும் மீண்டும் உறுதி செய்கின்றன. ஆனுல் Fe^{++}, Co^{++} அயனிகளில் வீதிச் சுற்றுக்கோண உந்தத்தின் விளைவு முழுவதும் மறைக்கப்படவில்லை என்பதும் வெளியாகின் றது. அருமண் தொகுதி அயனிகளில் சமன்பாடு (9·12)ஐக் கொண்டு கணக்கிட்ட 'g'-ன் மதிப்பு சோதனை மதிப்புகளுடன் பொருந்துகின்றது. Eu^{+++} அயனிக்கான சோதனை மதிப்பு சமன் பாடு 9·10-க்கான மதிப்பிற்கு ஏற்ப அமைந்துள்ளது.

ஃபெரோக் காந்தப் பொருளுக்கான ஐன்ஸ்டன் டிஹால் முறையில் ஸ்க்ஸ்மித்-பேட்ஸ் [65], பர்னட் [69] சோதனை முறை யில் கண்ட g-ன் மதிப்பை 2·00 என்று காட்டுகின்றன. இதி லிருந்து இந்தப் பொருள்களின் ஃபெரோக் காந்தப் பண்புகள் முழுவதும் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியால் ஏற்படுவது என்று முடிவு செய்யலாம். எனினும், இந்தச் சோதனை முடிவுகள் 2-லிருந்து 5 சத வீதம் வேறுபடுவதிலிருந்து காந்தப் பண்புகளில் வீதிச் சுற்றின் பங்கும் மிகக் குறைந்த அளவில் இருப்பதாகக் கொள்ள லாம். இதன் சிறு அளவு மதிப்பின் காரணமாக இதனை நாம் கருத்தில் கொள்ள வேண்டியதில்லை. ஃபெரோக் காந்தப் பொருள் களில் அணுவின் காந்தத் திருப்புதிறனை எலெக்ட்ரானின் தற் சுழற்சியால் மட்டும் கொள்ள முடியாவிட்டாலும் உண்மை நிலையை ஒரு தோராயமாகக் காட்டுவதாகக் கொள்ளலாம். ஃபெரோக் காந்தப் பொருள்களில் சுழலியக்கக் காந்த வீதம் க்யூரி வெப்ப நிலைக்குக் கீழே அளவிடப்பட்டிருப்பதால், அவ்வுலோகங்களின் எல்லா வெப்பநிலைகளிலும் இந்த மதிப்புகள் பொருந்தும் என்று கொள்வதற்கில்லை.

9·4. அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியும் காந்தத் திருப்புதிறனும் (Nuclear Spins and Magnetic Moments)

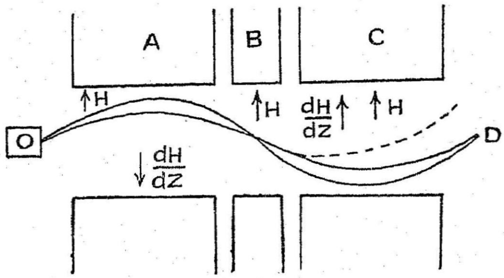
சோதனைகளின்மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சுழலியக்கக் காந்த வீதத்தின் மதிப்புகள் கொள்கை அடிப்படையில் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புகளுடன் பொருந்துவதனால், இவ்வாறு கணக்கிடுவதற்கு மூலமாக அமைந்த அணுவின் உள்ளமைப்புக் கொள்கை சரியானவை என்பது தெளிவாகின்றது. எனவே, இந்த அணு அமைப்பு முறையின்படி அணுக்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்கள் காந்தப்புல வெளியில் சில குறிப்பிட்ட குவான்டம் அளவீட்டு நிலைகளை மட்டுமே ஏற்குமென்பதாகும். இந்தக் கொள்கைக்குச் சோதனைப் பூர்வமாக ஆதாரங்களை நாம் ஸ்டென்—கர்லாக் சோதனையின்மூலம் கண்டோம். உதாரணமாக அணுக்களின் திருப்புதிறன்கள் ± 1 என்ற இரு நிலைகளை மட்டுமே ஏற்குமானால், மேலே சொன்ன சோதனையில் இரு வரிகள் கிடைக்கப்பெறும் அவ்வாறு கிடைக்கப்பட்டதை நாம் கண்டோம். (முதுபழங் கொள்கையின்படி அமையவேண்டுமானல் அணுக்கள் எல்லா நிலைகளையும் ஏற்று வரிகள் கிடைக்கக்கூடாது). ஸ்டென்-கர்லாக் சோதனையில் வரிகள் கிடைக்கப்பெறுவதிலிருந்து குவான்டம் கொள்கையின் ஏற்புடைமை விளங்குகின்றது. மேலும், அச் சோதனையின் வரி அமைப்புகளை நுணுக்கமாக ஆராய்ந்தால் இவ் வரிகளுள் நுண் வரி அமைப்புகள் இருப்பது தெரிய வருகின்றது. இந்த நுண்வரி அமைப்புகள் அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியால் ஏற்படுவதாகும். இந்த அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியுடன் காந்தத் திருப்புதிறன் இணைந்து செயல்படும். அணுக்கருவின் நிறை எலெக்ட்ரான் நிறையைவிட மிக அதிகம். எனவே, தற்சுழற்சியின் கோண உந்தம் கூடுதலாக அதன் காந்தத் திருப்புதிறன் இருப்பினும் மிகவும் குறைவாகவே இருக்கும். அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறன் $1/1840\ \mu_B$ ஆகும். இதனை அணுக்கரு மாக்னெட்டான் (Nuclear Magneton) μ_n என்று குறிக்கப்படும்.

ஓர் அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் மொத்தக் கோண உந்தம் $Jh/2\pi$ அலகுகள் என்று கொண்டால், இந்த அணு காந்தப் புலத்தில் $(2J+1)$ நிலைகளில் நிலைகொள்ள முடியும். இதனுடன் அணுவின் கருவும் I அலகு தற்சுழற்சிக் கோண உந்தம் கொண்டிருந்தால், மேலும் இரு உந்தங்களும் பிணைப்புக் கொண்டிருக்கும் பொழுது காந்தப்புலத்தில் அணு $(2J+1)$ $(2I+1)$ நிலைகளில் நிலைகொள்ள இயலும். எனவே, ஸ்டென், க்ர்லாக் அணுக்கற்றைச் சோதனை மேலும் நுண்வரி அமைப்புகளைக் காட்டுகின்றது. இந்த அணுக்கற்றைச் சோதனையை மேலும் திருத்தம் செய்து ஸ்டென், புரோட்டானின் (Proton) I-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டார். ஆனால்,

பின்னர் ரபி [70] அணுக்கருவின் கோண உந்தத்தையும், காந்தத் திருப்புதிறன்களையும் அளவிடுவதற்கான ஆற்றல் மிகுந்த சோதனை முறைகளைப் பயன்படுத்தினர்.

9·5. அணுக்கற்றைகளில் அணுக்கரு காந்த ஒத்திசைவு (Nuclear Magnetic Resonance in Atomic and Molecular beams).

ரபி தோற்றுவித்த ஆய்கருவியின் அமைப்புப் படம் (9·1)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 9.1.

ஓர் அணு அல்லது மூலக்கூறு கற்றை உலையிலிருந்து O என்ற சிறு பிளவு வழியாக வெளியேறிக் காந்தப்புலத்தில் செல்லும் பாதையைத் தொடர்கோடு குறிக்கின்றது. வெவ்வேறு நிலைகளிலுள்ள அணுக்களின் பாதைகளை வெவ்வேறு கோடுகள் குறிக்கின்றன. முதல், மூன்ருவது காந்தப்புலங்கள் A, C இவற்றின் மூலம் கிடைக்கப் பெறுகின்றன. இவ்விரு காந்தப்புலங்களும் சமமானதாகவும் எதிரான சரிவும் (*Gradient*) கொண்டதாகும். எனவே, முதல் காந்தப்புலம் அணுக்கற்றைகளின் பாதையை வளையச்செய்தால், மூன்ருவது காந்தப்புலம் அணுக்கற்றையை எதிர்த்திசையில் வளையச்செய்து D என்ற புள்ளியில் குவியச் செய்கின்றது. இவ்விரு காந்தப் புலங்களுக்கிடையில் செறிவு நிறைந்த சீரான காந்தப்புலத்தை மின்காந்தம் B தோற்றுவிக்கும். இந்தக் காந்தப்புலம் சீரானதால் அணுக்கற்றைப் பாதையில் எந்தத் திருப்பமும் ஏற்படுவதில்லை. ஆனல், இந்தக் காந்தப்புலத்திலும் அணுவின் எலெக்ட்ரான் அணுக்கரு இவற்றின் கோண உந்தப் பிணைப்புகளைப் பிரிக்கின்றது. இதன் காரணமாக இவ்விரண்டும் காந்தப்புலத் திசையில் தனித்தனியே அச்சுச் சுழற்சி பெறுகின்றது. இந்தக் காந்தப்புலத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் ரேடியோ அதிர்வெண் (Radio frequency) அளவில் அலைவு கொண்ட ஒரு காந்தப்புலம் வரிச்சுருள் அமைப்பின்மூலம் செயல்படச் செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த மாறுநிலை காந்தப்புலத்தின் அதிர்வெண் B காந்தப்புலத்தால் மூலக்கூறுகளில் ஏற்படும்

லார்மர் சுழற்சியின் அதிர்வெண்ணும், மாறுநிலைக் காந்தப்புலத்தின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றுகும்பொழுது ஒத்திசைவு (Resonance) ஏற்படுகின்றது. இந் நிலையில் காந்தப்புலத்திற்கும் காந்தத் திருப்பு திறனுக்குமிடையில் $h\sigma$ ஆற்றல் பரிமாற்றம் ஏற்படுகின்றது. இத்தகைய ஆற்றல் பரிமாற்றம் ஏற்படுவதானுல் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் வேறு ஆற்றல் நிலைகளில் மாறி நிலை கொள்ளும். இவ்வாறு ஆற்றல் நிலைகளில் மாறிய அணுக்கள் மூன்ருவது காந்தப்புலத்தால் D என்ற புள்ளியில் குவிக்கப்படுவதில்லை. இத்தகைய அணுக்கள் வேறு பாதைகளில் நகரத் தொடங்குகின்றன. எனவே, ஒத்திசைவு ஏற்படும்பொழுது D-ல் குவியும் அணுக்கள் குறைந்து செறிவு குறைந்த வரி பெறப்படும். மாறுபடும் காந்தப்புலத்தின் அதிர்வெண்ணை, அணுக்கருவின் உந்த நிலையில் மாற்றம் ஏற்படுத்துமாறு தேர்ந்தெடுத்துக் கொண்டு அணுக்கருவின் கோண உந்தம் I அல்லது காந்தத் திருப்புதிறன் μ இவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறன்

$$\mu = gI\mu_n \tag{9·13}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும். இதில் g அணுக்கருவின் g உறுப்பு, μ_n அணுக்கரு மாக்னெட்டான். ஒத்திசைவு ஏற்படும் பொழுது அதிர்வெண் σ என்று கொண்டால் g-ன் மதிப்பு

$$g = \frac{4\pi Mc\nu}{eH} \tag{9.14}$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும். இதில் M புரோட்டான் நிறை, H ஒத்திசைவு ஏற்படும்பொழுது B காந்தப்புலத்தின் காந்தச் செறிவுமாகும்.

இந்தச் சோதனையை மாற்றி ரேடியோ அதிர்வெண்ணளவில் மாறும் காந்தப்புலத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில் மாறச் செய்து B காந்தப்புலச் செறிவை மாற்றுவதன்மூலம் அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறனைக் காணலாம். பகுப்பானில் (Detector) ஏற்படும் அணுவின் வரியில் குறைந்த செறிவு ஏற்படும் பொழுது ஒத்திசைவு ஏற்படுகின்றது. ஒத்திசைவு ஏற்படும் அதிர்வெண்ணை a, சமன்பாடு 9·14-ல் பொருத்தி g-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். g-ன் மதிப்பையும் நிறமாலை இயல்மூலம் கணக்கிடப்பட்ட அணுக்கருவின் கோண உந்தம் I-ன் மதிப்பையும் சமன்பாடு 9·13-ல் பொருத்தி

$$\mu = gI\mu_n \text{ என்றும்}$$

அல்லது,

$$\text{Peff} = \mu/\mu_n = gI \tag{9·14}$$

என்று அணுக்கரு மாக்னெட்டான் அலகிலும் கணக்கிடலாம்.

பிற்சேர்க்கை

I. இயற்பியலில் சில முக்கிய மாறிலிகள்

ஒளியின் வேகம்	c	2.99776×10^{10} செ.மீ./செக.
எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்	e	4.80294×10^{-10} e.s.u.
எலெக்ட்ரானின் அமைதி நிலை எடை	m	9.1086×10^{-28} கிராம்
விகிதம்	$\frac{e}{m}$	1.7588×10^{7} e.s.u./கிராம்
பிளாங்ஸ் மாறிலி	h	6.6254×10^{-27} எர்க்ஸ். செக.
நுண்வரி அமைப்பு மாறிலி	$\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc}$	7.29729×10^{-3}
போரின் முதல் வீதி நிலை ஆரம்	$a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 e^2 m}$	5.29173×10^{-9} செ. மீ.
போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி	$k = \frac{Ro}{N}$	1.38049×10^{-16} எர்க்ஸ்/$^\circ K$
அவகாட்ரோ எண்	N	6.0247×10^{23} மோல்$^{-1}$
வாயு மாறிலி	R	8.314×10^{7} எர்க்ஸ்/$^\circ c$/மோல்
போர் மாக்னெட்டான்	$\mu_B = \frac{he}{4\pi m}$	0.9273×10^{-20} எர்க்ஸ்/ஒர்ஸ்டெட் 4.95 வெஸ்மாக்னெட்டான்
போர் மாக்னெட்டான்/கிராம் மூலக்கூறு	$N\mu_B$	5564 எர்க்ஸ்/காஸ்/மோல்

இயல்பு நிலையில் (N.T.P.) ஓர் அலகு கன அளவில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $= 2.705 \times 10^{19}$

இயல்பு நிலையில் (N.T.P.) ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் கன அளவு $= 22.414$ லிட்டர்கள்

II, முக்கியமான சில பொருள்களின் நிறை காந்த ஏற்புத் திறன் (20°C வெப்பநிலையில்)

பொருள்	குறியீடு	நிறைகாந்த ஏற்புத்திறன் $\chi \times 10^6$
தண்ணீர்	H_{20}	– 0·720
கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு	Cd_4	– 0·429
அசிடோன்	$C_3 H_{60}$	– 0·581
பென்சீன்	$C_6 H_6$	– 0·712
க்ளோரோபார்ம்	$CH Cl_3$	– 0·488
ஈதைல் ஆல்ஹகால்	$C_2 H_{60}$	– 0·744
தொலீன்	$C_7 H_8$	– 0·729
கார்பன்டை சல்பைடு	Cs_2	– 0·540

III. அணுக்களுக்கும் அணுக்களின் பிணைப்புகளுக்கும் பாஸ்கலின் அமைப்பு மாறிலிகள்

அணு	நிறைகாந்த ஏற்புத்திறன் χ_x 10^6	அணுப் பிணைப்பு	நிறைகாந்த ஏற்புத்திறன் χ_x 10^6
H	2·90	$C=C$	− 5·5
C	6·00	$C=H$	− 8·2
N	5·60	$C=O$	− 6·3
O	4·60	$N=H$	− 4·0
S	15·00	$C\equiv C$	− 0·8
F	6·30	$C\equiv N$	− 0·8
Cl	17·20		
Br	26·50		
I	40·50		

REFERENCES

1. J. S. Chanphell and W. V. Honston, Phys. Rev. **39**, 601 (1932).
2. K. Honda, H. Maswmoto and Y. Shirakawa, Sci. Rep. Tok. Univ., **23**, 365 (1934).
3. W. Jellinghaus, Zeit. tech. Phys., **17**, 33 (1936).
4. K. Hosclitz, Jour. Sci. Inst., **23**, 65 (1946).
5. L. G. Gouy, Compt. Rend., **109**, 935 (1889).
6. J. S. Bell and P. G. Wright, Electronic Engr., **32**, 394 (1960).
7. French and Harrison, J. Chem. Soc., **25**, 38 (1953).
8. W. R. Angus and Hill, Trans. Faraday Soc., **40**, 185 (1943).
9. Vaidyanathan, V. I., Indian Jour. Phys., **1**, 183 (1926).
10. A. O. Rankin, Phys. Soc. Proc., **46**, 391 (1934).
11. Langevin, Ann de Chim et Pys., **5**, 70 (1905).
    Jour. de Phys., 4, 678 (1905).
12. Larmer, Aether and Matter Cambridge University Press, London (1900).
13. A. P. Wills and L. G. Hector, Phys. Rev., **23**, 209 (1924).
14. J. H. Van Vleck, Theory of Electric and Magnetic susceptibilities. Oxford University Press, Oxford (1932).
15. L. Pauling, Proc. Roy. Soc., **A 114**, 181, (1927).
16. J. H. Van Vleck, Proc. Nat. Acad. Sci., **12**, 662 (1926).
17. D. R. Hartree, Proc. Camb. Phill Soc., **24**, 89 (1929).

18. E. C. Stoner, Proc. Camb. Phil. Soc., **1**, 484 (1929).

19. J. C. Slater, Phys. Rev., **36**, 57 (1930).

20. W. R. Angus, Roy, Soc. Proc. A **160**, 424 (1937).

21. A Pacault, Rev. Sci., **84**, 169, (1946).

22. W. R. Mayers, Revs. Modern Phys., **24**, 15 (1952).

23. S. Sriraman, Journ. Annamalai Univ., **25** (1964).

24. V. C. G. Trew, Trans. Faraday Soc., **37**, 482 (1941).

25. Selwood, Magneto Chemistry.

26. J. A. Popel J. Chem. Phys., **37**, 53 (1962).

27. S. Sriraman, V. Shanmugasundaram and R. Sabesan } Jour. Annamalai Univ., **27**, 213 (1969).

28. P. Pascal, Ann. Chim. Phys., **19**, 5 (1910).

29. Ingold, 'Structure and Mechanism in organic Chemistry' Cornell University Press, N. Y., Page 193 (1953).

30. P. Pascal, A. Pacault and J. Hoarau, Compt. Rend., **233**, 1078 (1951).

31. S. Broersma, J. Chem. Phys., **17**, 873 (1949).

32. V. C. G. Trew, Trans. Faraday Soc., **49**, 604 (1953).

33. W. R. Angus et al., Trans. Faraday Soc., **50**, 1311 (1954).

34. T. Y. Yang, J. Chem. Phys., **16**, 865 (1948).

35. Ya Dorfman, 'Diamagnetism and Chemical bond' Edward Arnold Publishers Ltd. (1965).

36. S. Sriraman, Baghavantham's commemoration volume.

37. V. Shanmugasundaram, Ph. D. Thesis, Annamalai University (1966).

38. R. Sabesan, Ph. D. Thesis, Annamalai University (1966).

39. S. Sriraman, V. Shanmugasundaram and R. Sabesan } J. Annamalai University, **27**, 273 (1969).

40. A. Oxley, Phil. Trans. Roy. Soc., **214**, 109 (1914).

41. J. H. Van Vleck, Electric and Magnetic susceptibilities, p. 186 (1932).

42. E. C. Stoner, Phil. Mag., **8**, 250 (1929).

43. G. N. Lewis, Jour. Amer. Chem. Soc., **46**, 2027 (1924).

44. S. S. Bhatnagar and K. N. Mathur } Physical principle and application of magneto chemistry, Macmillon and Co. Ltd., London (1935).

45. Pauli, Zeits, f. Phy., **41**, 81 (1927).

46. Frenkel, ibid., **49**, 31 (1929).

47. Bloch, ibid., **61**, 545 (1929).

48. Landau, Zeits. f. Phys., **64**, 629 (1930).

49. E. C. Stoner, Roy Soc. Proc., A **152**, 672 (1935).

50. W. Sucksmith, Phil. Mag., **2**, 21 (1926).

51. S. Sriraman, Z. Naturforsch., **13a**, 451 (1958).

52. L. F. Bates and J. C. Backer, Phys. Soc. Proc., **50**, 409 (1938).

53. S. Sriraman and V. Shanmugasundaram, Bull. Chem. Soc. Japan, **34**, 1288 (1961).

54. J. C. Slater, Phys. Rev., **36**, 57 (1930).

55. I. I. Rabi, Phys. Rev., **29**, 174 (1927).

56. K. S. Krishnan, B. C. Guha and S. Banerjee, Phil. Trans. Roy. Soc. (Lond.), A **231**, 235 (1933).

57. K. S. Krishnan and S. Banerjee, Phil. Trans. Roy. Soc. (Lond.), **A. 234**, 265 (1935).

58. A. B. Foke, Phys. Rev., **36**, 319 (1930).

59. Richender, Ann. Physik., 3, (1929).

60. Kido, Sci. Rep. Tohoku Univ., p. 149 (1931).

61. J. Farguharson, Phil. Mag., 283 (1931).

62. O. W. Richardson, Phys. Rev. 26, 248, 1908.

63. A. Einstein and W. J. DeHaas, Verhand. Deut. Phys. Ges. 17, 152, 1915.

64. A. P. Chattoch and L. F. Bates, Phil. trans, 223, 257, 1922.

65. W. Sucksmith and L. F. Bates, Proc. Roy. Soc., A 104, 499, 1923.

66. S. J. Barnett and G. S. Kenny, Phys. Rev. 87, 723, 1952.

67. W. Sucksmith, Proc. Roy. Soc., A 133, 170, 1931.

68. L. F. Bates, Modern Magnetism, Cambridge Univ. Press.

69. S. J. Barnett, Proc. Amer. Acad. 75, 109, 1944.

70. I. I. Rabi, Phys. Rev., 55, 526, 1939.