

வேதியணுவின் கட்டமைப்பு

“வெவ்வேறு தனிம வேதியணுக்களின் அகக்கட்டமைப்புகளிடையான வேறுபாடுகளே அவற்றின் செறிவான வேதிப்பண்புகளின் பன்மயத்துக்கு காரணமாகின்றன”.

அடைநோக்குகள்

இந்த அலகை படித்தபின் உங்களால் இயலக்கூடியவை

- எதிர்மின்னி, நேர்மின்னி, நொதுமி ஆகியவற்றின் கண்டுபிடிப்பையும் சிறப்பியல்புகளையும் அறிதல்
- தாமிசன், இரதர்போடு, போர் ஆகியோரின் அணுவொப்பருகளை விவரித்தல்
- வேதியணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவின் முக்கியமான பண்புக்கூறுகளை புரிந்து கொள்ளல்
- மின்காந்தக்கதிரியக்கத்தின் இயல்புகளையும் பிளாங்கின் துணுக்கக்கோட்பாட்டையும் புரிந்துகொள்ளல்
- ஒளிமின்விளைவை விளக்கி அணுநிறநிரலின் பண்புக்கூறுகளை விவரித்தல்
- திபிராகினியின் உறவையும் ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையையும் கூறல்
- துணுக்கவெண்களின்வழி ஒரு அணுப்பரிதியத்தை வரையறுத்தல்
- கட்டுமுறைக்கொள்கை, பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கை, உண்டின் மீப்பெருமப்பன்மையம் ஆகியவற்றை கூறல்
- வேதியணுக்களின் எதிர்மின்னியமைவடிவங்களை எழுதல்

அணு என்ற சொல்லை அடிப்படையலகு என்று நாம் பொருள்கொள்ளலாம். வேதிப் பொருள்களை கட்டுமானிக்கும் அலகுகளை வேதியணுக்கள் என்கிறோம். வேதியியலில் அணு என்ற சொல் வேதியணுவையே குறிக்கிறது. உயிரியலில் திசுக்களின் அடிப்படையலகை உயிரணு என்கிறோம். மரபியலில் மரபணு என்ற கருத்துரு எழுகிறது. ஒரு மரபணு மிகப்பல வேதியணுக்களால் ஆனது. ஒரு உயிரணுவில் மிகப்பல மரபணுக்கள் இருக்கின்றன. எனினும் அணு என்ற சொல் எவ்விதமான அணுவை குறிக்கிறது என்பதை சூழமைவால் நாம் உணரலாம்.

பருப்பொருளின் அணுக்கோட்பாட்டினை முதன் முதலில் இயோவான் தாற்றன் என்ற ஒரு ஆங்கிலேய பள்ளியாசிரியர் உறுதியான

அறிவியலடிப்படையில் 1808இல் முன்வைத்தார். தாற்றனின் அணுக்கோட்பாடு என்று நாம் அழைக்கும் அவரது கோட்பாடு வேதியணுவை பருப்பொருளின் இறுதித்துகளாக கருதுகிறது. அணுக்கோட்பாடு நிறையின் அழியாக்காப்பு விதி, திட்டவட்டக்கூறடக்கவிதி, விழுக்காட்டுக் காரணிவிதி ஆகியவற்றை வெற்றிகரமாக விளக்கியது. இருப்பினும் அது பல்வேறு பரிசோதனைகளின் விளைவுகளை விளக்க தவறியது. சான்றாக, கண்ணாடியையோ எபனைட்டையோ பட்டிலோ பண்முடியிலோ தேய்க்கும்போது அவை மின்மேற்பதை விளக்க இயலவில்லை.

இந்த அலகில் நாம் 19ஆம் நூற்றாண்டின் இறுதியிலும் 20ஆம் நூற்றாண்டின் தொடக்கம்

திலும் அறிவியலர்கள் சோதனைவழி கண்டறிந்த வற்றில் தொடங்குகிறோம். இச்சோதனைகள் அணுக்கள் எதிர்மின்னிகள், நேர்மின்னிகள், நொதுமிகள் ஆகிய அணுவுட்டுக்களால் ஆனவை என்று நிறுவுகின்றன. இக்கருத்து தாற்றனின் கருத்துக்களிலிருந்து மிகவும் வேறுபட்டது.

2.1 அணுவுட்டுக்களின் கண்டுபிடிப்பு

அணுவுட்டுகள் (அணுவின் உள்ளிருக்கும் துகள்) என்பது அணுவின் கூறடக்கமாக அதனுள் உள்ள பலவிதமான துகள்களை குறிக்கும் சொல். வளிமங்களில் செய்த மின்னிறக்கச் சோதனைகள் அணுக்கட்டமைப்பைப்பற்றிய உண்ணோக்கை அளித்தன. மின்மத்துகள் களைப்பற்றிய அடிப்படைவிதியான "ஒத்த மின்மங்கள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன; வேறுபட்ட மின்மங்கள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன" என்பதை மனத்தில் கொண்டு மேற்கூறிய சோதனைகளின் விளைவுகளை உரையாடலாம்.

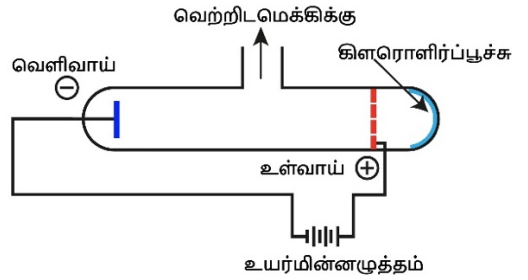
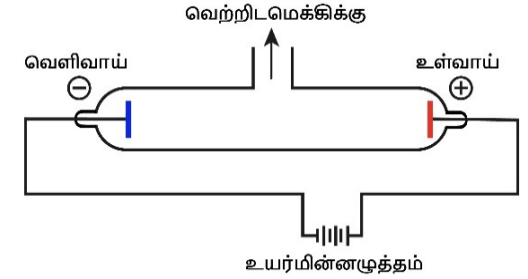
2.1.1 எதிர்மின்னியின் கண்டுபிடிப்பு

மைக்கேல் பாரடே 1830இல் ஒரு மின்பகுளிக்கரைசலினூடாக மின்சாரத்தை செலுத்தும்போது வேதிவினைகள் நடைபெற்று பருப்பொருள் விடுபடுவதும் படிமாதலும் நிகழ்ந்தன எனக்காட்டினார். இவற்றை விளக்க சில விதிகளை உருவாக்கினார். இந்த விதிகளைப்பற்றி நீங்கள் பன்னிரண்டாம் வகுப்பில் படிப்பீர்கள். மேற்கண்ட விளைவுகள் மின்சாரத்துக்கு துகளின் தன்மை இருப்பதை உணர்த்தின.

பகுதியளவில் வெற்றிடமாக்கிய வெளிவாய்க்கதிர்மின்னிறக்கக்குழல்களில் மின்னிறக்கத்தைப்பற்றிய சோதனைகளை 1850களின் நடுவில் பாரடேயும் மற்றவர்களும் மேற்கண்டனர். இத்தகைய குழல்களை படம் 2.1 காட்டுகிறது. உள்வாயின்வழி மின்சாரம் குழலுக்குள் புகுந்து வெளிவாயின்வழி வெளியேறுமாறு மின்சுற்று அமைந்திருப்பதை நோக்குக.

வெளிவாய்க்கதிர்மின்னிறக்கக்குழல் என்பது மின்வாய்கள் எனப்படும் இரண்டு மெல்லிய மாழைத்தகடுகள் வைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடிக்குழல். அதியுயர் மின்னழுத்தங்களிலும் மிகக் குறைந்த காற்றழுத்தங்களிலும் மட்டுமே வளிமங்களினூடாக மின்னிறக்கம் நடைபெறுவதை காணவியலும். கண்ணாடிக்குழல்களை வெற்றிட மாக்குவதன்மூலம் வெவ்வேறு வளிமங்களின் அழுத்தங்களை சரிக்கட்டலாம். போதுமான அதியுயர் மின்னழுத்தம் இரண்டு மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும்போது, எதிர்ம மின்வாயிலிருந்து (வெளிவாயிலிருந்து)

நேர்ம மின்வாய்க்கு (உள்வாய்க்கு) துகள்களின் தாரைவழியாக மின்சாரம் பாயத்தொடங்குகிறது. இவற்றை வெளிவாய்க்கதிர்கள் என்றும் வெளிவாய்க்கதிர்ந்துகள் என்றும் அழைக்கிறோம். வெளிவாயிலிருந்து உள்வாய்க்கு (எதிர்ம) மின்சாரம் பாய்வதை மேலும் உறுதிப்படுத்த, உள்வாயில் துகளைகளிட்டு மின்வாயின் பின்புறம் துத்தநாகக்கந்தகைடு எனும் நின்றொளிர்ப்பொருளை பூசினர். இக்கதிர்கள் உள்வாயை கடந்து துத்தநாகக்கந்தகைட்டுப் பூச்சின்மீது மோதியபின் அங்கு ஒளிப்புள்ளிகளாய் ஒளிர்கின்றன. [படம் 2.1(ஆ)]



படம் 2.1 (மேல்) ஒரு

வெளிவாய்க்கதிர்மின்னிறக்கக்குழல்; (கீழ்) துகளைகளிட்ட உள்வாயுள்ள ஒரு வெளிவாய்க்கதிர்மின்னிறக்கக்குழல்

இச்சோதனைகளின் விளைவுகளை கீழ்க்காணுமாறு சுருங்குவரைக்கலாம்.

1. வெளிவாய்க்கதிர்கள் வெளிவாயில் புறப்பட்டு உள்வாயைநோக்கி நகர்கின்றன.
2. இக்கதிர்கள் கண்களுக்கு புலப்படுவதில்லை. ஆனால் அவற்றின் நடத்தையை சிலவகையான கிளரொளிர்ப்பொருண்மங்களின் உதவியாலோ நின்றொளிர்ப்பொருண்மங்களின் உதவியாலோ கண்டறியவியலும். இப்பொருண்மங்களின்மீது கதிர்கள் பட்டவுடன் அவை ஒளிர்கின்றன. முன்பு தொலைக்காட்சிகளிலும் கணினிக்காட்சியங்களிலும் வெளிவாய்க்கதிர்க்குழல்களை படக்குழல்களாக பயன்பட்டன. இக்கதிர்கள் திரையில் பூசப்பட்ட ஒரு கிளரொளிர்ப்பொருண்மத்தின்மீதோ நின்றொளிர்ப்பொருண்மத்தின்மீதோ உண்டாக்கும் ஒளிர்வால் காட்சிகள் தெரிகின்றன.

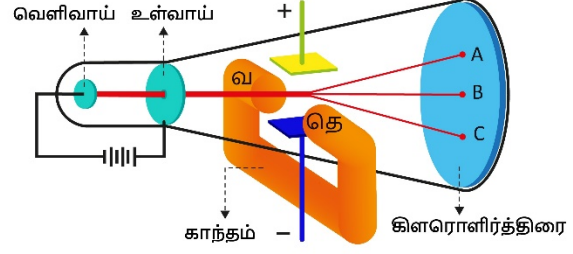
3. மின்புலங்களோ காந்தப்புலங்களோ இல்லாத நிலையில் இக்கதிர்கள் நேர்க்கோட்டில் பயணிக்கின்றன (படம் 2.2).
4. மின்புலங்களிலோ காந்தப்புலங்களிலோ வெளிவாய்க்கதிர்களின் நடத்தை ஒரு எதிர்ம மின்மேற்ற துகளின் நடத்தையைப்போல் உள்ளது. எனவே வெளிவாய்க்கதிர்கள் எதிர்ம மின்மேற்ற துகள்களால் ஆனவை. இத்துகள்களை **எதிர்மின்னிகள்** என்று அழைக்கிறோம்
5. வெளிவாய்க்கதிர்களின் (எதிர்மின்னிகளின்) சிறப்பியல்புகள் மின்வாய்ப்பொருண்மங்களையும், குழல்களிலுள்ள வளிமத்தின் தன்மையையும் சாராதவை. இதிலிருந்து எதிர்மின்னிகள் அனைத்து அணுக்களிலும் அடங்கியுள்ளதாக நாம் முடிவுசெய்யலாம்.

2.1.2 எதிர்மின்னியின் மின்மநிறை விகிதம்

இயோயோத்தாமிசன் என்ற ஆங்கிலேய அறிவியலர் 1897இல் ஒரு வெளிவாய்க்கதிர்க்குழலைப்பயன்படுத்தி அதில் எதிர்மின்னிகள் செல்லும் பாதைக்கு செங்கோணத்தில் தங்களுக்கிடையிலும் செங்கோணமான மின்புலத்தையும் காந்தப்புலத்தையும் செலுத்தி எதிர்மின்னிகளின் மின்மத்துக்கும் (e) நிறைக்குமுள்ள (m_e) விகிதத்தை அளந்தார். (படம் 2.2).

மின்புலம் மட்டுமே பயனாகும்போது, எதிர்மின்னிகள் தங்கள் பாதையிலிருந்து விலகி, வெளிவாய்க்கதிர்க்குழலிலுள்ள A என்னுமிடத்தில் மோதுகின்றன (படம் 2.2). அதைப்போல் காந்தப்புலம் மட்டுமே பயனாகும்போது எதிர்மின்னி வெளிவாய்க்குழலில் C என்னும் இடத்தில் மோதுகிறது. மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவற்றின் திறன்களை கவனமாக சமனாக்கி எதிர்மின்னியை மீண்டும் முதலில் சென்ற பாதைக்கு கொண்டுவர வியலும். இப்போது எதிர்மின்னிகள் திரையில் B என்ற இடத்தில் மோதுகின்றன. மின்காந்தப்புலங்களில் துகள்கள் தம் நேர்கோட்டுப்பாதையிலிருந்து விலகும் அளவு கீழ்க்காண்பவற்றைச் சார்ந்து அமைகிறது என தாமிசன் விவாதித்தார்.

1. துகளின்மீதுள்ள எதிர்ம மின்மம் அதிகரிக்கும்போது அதற்கும் மின்காந்தப்புலங்களுக்குமுள்ள இடைவினை அதிகமாகி விலகல் அதிகமாகிறது.
2. துகளின் நிறை குறையும்போது விலகல் அதிகமாகிறது.
3. மின்வாய்க்கதிர்க்கிடையான மின்னழுத்தமோ காந்தப்புலத்தின் திறனோ அதிகரிக்கும்போது துகள் தனது மூலப்பாதையிலிருந்து விலகுவது அதிகமாகிறது.



படம் 2.2 எதிர்மின்னியின் மின்மத்துக்கும் நிறைக்குமிடையான விகிதத்தை தீர்மானிக்கும் செயற்கருவி.

மின்காந்தப்புலங்களின் பல்வேறு திறன்களில் துகள்கள் விலகும் அளவுகளை முழுச்சரியாக அளப்பதன்மூலம், எதிர்மின்னிகளின் e/m_e மதிப்பை நிலைநாட்ட இயன்றது. தாமிசன் கண்ட மதிப்பு

$$\frac{e}{m_e} = 1.758820 \times 10^{11} C.kg^{-1} \quad (2.1)$$

இங்கு, e எதிர்மின்னியின்மீதுள்ள மின்மத்தின் பருமனளவு (கூலும், C); m_e எதிர்மின்னியின் நிறை (kg). எதிர்மின்னிகளின் மின்மம் எதிர்மமானதால், அதன் மின்மம் $-e$.

2.1.3 எதிர்மின்னியின் மின்மம்

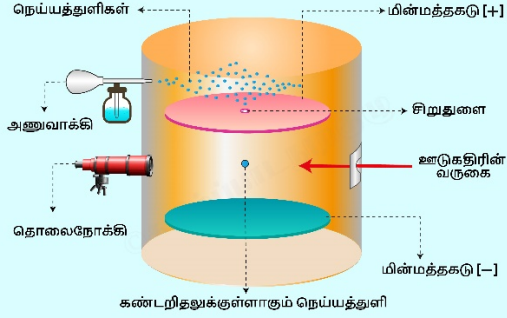
எதிர்மின்னியின் மின்மத்தை தீர்மானிக்க இரா. ஆ. மில்லிக்கன் (1868 – 1953) நெய்யத்துளிப்பரிசோதனை (1906 – 14) என்றழைக்கப்படும் வழிமுறையை கட்டமைத்தார். எதிர்மின்னியின் மீதுள்ள மின்மத்தின் அளவு $-1.6 \times 10^{-19} C$ என கண்டறிந்தார். இக்காலத்தில் எதிர்மின்னி மின்மத்தின் மதிப்பை (e) மேலும் துல்லியமாகக்கண்டு $-1.602176 \times 10^{-19} C$ என்று அறிவியலர் ஏற்றிருக்கின்றனர். மில்லிக்கன் தாமிசனின் e/m_e விகிதத்தின் மதிப்பையும் தான் கண்ட எதிர்மின்னியின் மின்மளவையும் பயன்படுத்தி, அதன் நிறையை (m_e) தீர்மானித்தார்.

$$\begin{aligned} m_e &= \frac{e}{e/m_e} = \frac{1.602176 \times 10^{-19} C}{1.758820 \times 10^{11} C.kg^{-1}} \\ &= 9.1094 \times 10^{-31} kg \\ &= 1.758820 \times 10^{11} C.kg^{-1} \quad (2.2) \end{aligned}$$

மில்லிக்கனின் நெய்யத்துளிமுறை

இம்முறையில் மில்லிக்கன் ஒரு அணுவாக்கியால் உருவாக்கிய நெய்யத்திவலைகளின் பனிப்படலமொன்றை மின்கொண்மியின் மேற்றட்டிலுள்ள துளையின்வழி நுழைய அனுமதித்தார். இத்துகளின் கீழ்நோக்கிய நகர்வினை நுண்ணளவியுள்ள கண்ணருகு வில்லை பொருத்தப்பட்ட ஒரு தொலைநோக்கி

மூலம் பார்த்தார். நெய்யத்திவலைகள் கீழ்விடும் வேகத்தை அளப்பதன்மூலம், மில்லிக்கன் அவற்றின் நிறையை அளக்க விரும்பினார். அதற்காக, ஒரு ஊடுகதிர்க் கற்றையை செலுத்தி கருவியிலுள்ள தனியறையின் காற்றை அவர் அயனியுறச் செய்தார். நெய்யத்திவலைகள் வளிமவயனி களுடன் மோதுவதால் மின்மத்தை பற்றுகின்றன. இவ்வாறு மின்மமேற்ற திவலைகளின்மீதுள்ள மின்மத்தையும் தட்டில் செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தின் திறனையும் முனைமையையும் பொறுத்து, திவலைகளின் கீழ்நோக்கிய நகர்தலை தடுக்கவோ முடுக்க மடையச்செய்யவோ ஒரிடத்தில் நிலைபெறச் செய்யவோ இயலும். நெய்யத்திவலைகளின் நகர்வின்மீது மின்புலத்திறனின் விளைவுகளை கவனமாக அளப்பதன்மூலம் மில்லிக்கன் துளிகளின் மீதுள்ள மின்மத்தின் அளவு எப்பொழுதும் குறிப்பிட்ட மின்மமான e இன் முழுவெண் பெருக்கலாக இருக்கிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தார். அதாவது, $q = ne$; இங்கு q ஒரு மின்மத்தின் அளவு; n முழுவெண், $n = 1,2,3,4, \dots$



படம் 2.3 மின்மத்தை அளப்பதற்கான மில்லிக்கனின் செயற்கருவி. தனியறையில் நெய்யத்துளிகளின்மீது நிறையீர்ப்பு, மின்புலத்தின் மின்னிலைமவிசை, நெய்யத்துளி நகர்வதால் ஏற்படும் இழுமை ஆகிய விசைகள் செயலாற்றுகின்றன.

2.1.4 நேர்மின்னிகளையும் நொதுமிகளையும் கண்டுபிடித்தல்

மாற்றமைத்த வெளிவாய்க்கதிர்க்குழலில் மின்னிறக்கத்தை செயலாக்கியபோது நேர்ம மின்மத்துக்களை சுமந்த கால்வாய்க்கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இத்துக்களின் சிறப்பியல்புகள் கீழ்க்காணுமாறு:

1. வெளிவாய்க்கதிர்களைப்போல் அல்லாமல் நேர்மமின்மத்துக்களின் நிறை வெளி வாய்க்கதிர்க்குழலிலுள்ள வளிமத்தின் தன்மையைப்பொறுத்து இருக்கிறது.
2. துகள்களின் மின்மநிறைவிகிதம் அவை எந்த வளிமத்திலிருந்து தோன்றியனவோ அதைச் சார்ந்தவை.
3. சில நேர்மமின்மத்துக்களுக்கு மின்மத்தின் அடிப்படையலகின் பன்மமதிப்பு இருக்கிறது.
4. மின்புலங்களிலும் காந்தப்புலங்களிலும் இத்துக்களின் நடத்தை எதிர்மின்னிகளின் (வெளிவாய்க்கதிர்களின்) நடத்தைக்கு நேரெதிராக உள்ளது.

மீச்சிறியதும் நிறையில் மீக்குறைந்ததுமான நேர்மின்ம அயனியை ஐதரசன் தந்தது. அதை நாம் **நேர்மின்னி** என்று அழைக்கிறோம். இந்த நேர்மின்னியின் சிறப்பியல்புகளை 1919இல் அறிவியலர்கள் கண்டறிந்தனர். பின்னர், அணுவின் நடுவமின்மத்துக்களும் இருக்க வேண்டிய தேவையை உணர்ந்தனர். 1932இல் சாடுவிக்கு இத்துக்களை கண்டுபிடித்தார்.

ஒரு மெல்லிய பெரிலியத்தகட்டின்மீது ஆல்பாத்துக்களால் தொடர்தாக்கியபோது, தகடு நேர்மின்னியைவிடச்சற்றே பெரிய நடுவமின்துகள் களை உமிழ்ந்தது. இவற்றுக்கு **நொதுமிகள்** என்று அவர் பெயரிட்டார். இந்த அடிப்படைத்துக்களின் முக்கியப்பண்புகளை அட்டவணை 2.1இல் காணலாம்.

அட்டவணை 2.1 அடிப்படைத்துக்களின் பண்புகள்

பெயர்	குறியீடு	மின்மம்/ C (ஒப்பிலா)	ஒப்பும மின்மம்	நிறை/ kg	நிறை/ u	தோராய நிறை/ u
எதிர்மின்னி	e	$-1.602176 \times 10^{-19}$	-1	9.109382×10^{-31}	0.00054	0
நேர்மின்னி	p	$+1.602176 \times 10^{-19}$	+1	$1.6726216 \times 10^{-27}$	1.00727	1
நொதுமி	n	0	0	1.674927×10^{-27}	1.00867	1

2.2 அணுவின் ஒப்புருகள்

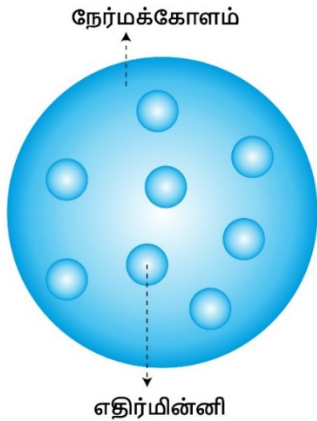
மேல் குறிப்பிடப்பட்ட பரிசோதனைகளின் கண்டறிதல்கள் தாற்றனின் பிரிக்கவியலாத அணுவில் நேர்மமின்மங்களையும் எதிர்மமின்மங்களையும் சுமக்கும் அணுவுட்டுக்கள் இருப்பதை காட்டுகின்றன. அணுவுட்டுக்களின் கண்டுபிடிப்புக்குப்பின் அறிவியலர்களுக்கு இருந்த மாபெரும் சிக்கல்கள்:

- அணுவின் நிலைப்புமையை விளக்குதல்
- தனிமங்களின் இயற்பண்புகளாலும் வேதிப்பண்புகளாலும் அவற்றின் நடத்தைகளை ஒப்பிடல்
- வெவ்வேறு அணுக்களின் சேர்க்கைகளால் பலவிதமான மூலக்கூறுகள் உருவாவதை விளக்குதல்
- அணுக்களால் உட்கவர்வதும் உமிழ்வதுமான மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் சிறப்பியல்புகளின் மூலத்தை புரிந்துகொள்ளுதல்.

ஒரு அணுவின் மின்மமேற்றிய துகள்கள் பரவியிருப்பதை விளக்கும்பொருட்டு அறிவியலர்கள் அணுவின் வெவ்வேறு ஒப்புருக்களை முன்வைத்தனர். இவற்றுள் சில ஒப்புருக்கள் அணுக்களின் நிலைப்புமையை விளக்கவில்லை; எனினும், எல்லாவற்றையும் விளக்கும் ஒப்புருவுக்கு முன்னோடிகளாக விளங்கிய தாமிசனின் ஒப்புருவையும் இரதர்போடின ஒப்புருவையும் கற்பது நம் புரிதலை எளிதாக்கும்.

2.2.1 தாமிசனின் ஒப்புரு

தாமிசன் 1898இல் கோள வடிவமான (ஆரம் தோராயமாக 10^{-10} மீட்டர்) ஒரு அணுவில் நேர்மமின்மங்கள் சீராகப்பரவியுள்ளன என்ற கருத்தை முன்வைத்தார். மீயதிக நிலைப்புமையை தரும் மின்னிலைம வகையில் உள்ள எதிர்மின்னிகள் உட்படிந்துள்ளன. (நேர்மின்னிகள் கண்டுபிடிப்புக்கு முன்பு தாமிசன் இந்த ஒப்புருவை முன்வைத்தார்.)

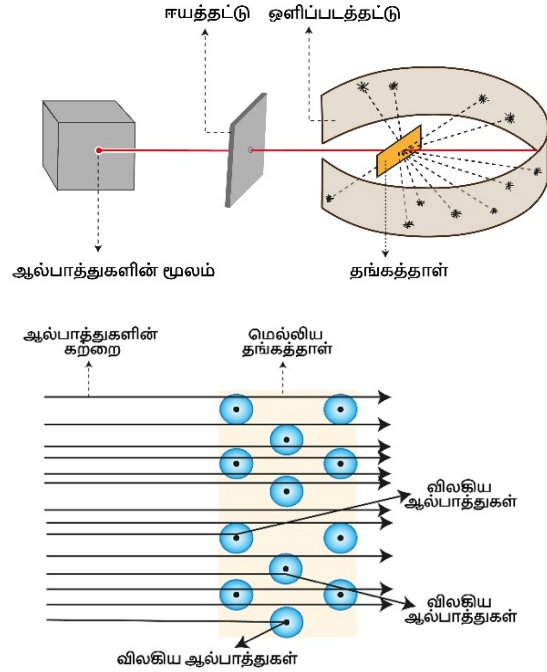


படம் 2.4 தாமிசனின் அணுவொப்புரு

இதை தர்பூசணிப்பழ ஒப்புரு என்றும் சொல்வார்கள். இந்த ஒப்புருவில், நேர்மமின்மங்களை தர்பூசணிப்பழமாகவும், உட்படிந்துள்ள எதிர்மின்னிகளை விதைகளாகவும் மனங்காணலாம். *அணுவின் நிறை அணுமுழுவதிலும் ஒரே சீராக பரவியுள்ளது எனும் எடுகோள் இவ்வொப்புருவின் ஒரு முக்கியமான பண்புக்கூறு.* முழு அணுவின் நடுவமின்மத்தை இவ்வொப்புரு விளக்கிய போதிலும், பின்னர் நடத்திய பரிசோதனைகளின் விளைவுகளுடன் இது ஒத்துப்போகவில்லை. வளிமங்களின் மின்கடத்தலைப்பற்றிய கோட்பாட்டுக்கும் பரிசோதனைகளுக்குமாக இயற்பியலில் நோபல் பரிசை தாமிசன் 1906ஆம் ஆண்டு பெற்றார்.

2.2.2 இரதர்போடின அணுக்கருவொப்புரு

இரதர்போடும் அவரது மாணவர்கள் ஆன்சு கைசரும் எருனசுடு மார்சுடமும் ஒரு தங்க மென்றாளை ஆல்பாத்துகள்களால் தாக்கினர். இரதர்போடின புகழ்வாய்ந்த இந்த ஆல்பாச் சிதறற்பரிசோதனையை படம் 2.5 காட்டுகிறது.



படம் 2.5 இரதர்போடின

சிதறற்பரிசோதனையின் திட்டப்படத்தோற்றம். ஆல்பாத்துகள்களின் ஒரு கற்றையை ஒரு தங்க மென்றாளின்மீது செலுத்தியபோது பெரும்பான்மையானவை விளைவுகளேதுமின்றி தாளை கடந்துசென்றன; ஒரு சில மட்டும் விலகிச்சென்றன. (மேல்) இரதர்போடின சிதறற்பரிசோதனை. (கீழ்) மூலக்கூறுமட்டத்தில் தங்க மென்றாளின் திட்டப்படம்

கதிர்வீச்சுகளின் கண்டுபிடிப்பு

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் பிற்பகுதியில் பல்வேறு புதிய கதிர்களை அறிவியலர்கள் கண்டுபிடித்தனர். எதிர்மின்னிகள் வெளிவாய்க்கதிர்க்குழல்களிலுள்ள ஒரு பொருண்மத்தில் மோதும்போது ஒருவிதமான கதிர்களை தருகின்றன என்றும் இவை வெளிவாய்க்கதிர்க்குழல்களுக்கு வெளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள கிளரொளிப்பொருளில் கிளரொளியை உருவாக்குகின்றன என்றும் 1895ல் வில்லெம் இரான்கன் (1845 – 1923) காட்டினார். இன்று இக்கதிர்களை நாம் ஊடுகதிர்கள் என்று அழைக்கிறோம். இலக்குகள் எனப்பட்ட அடர்மாழையுள்வாயில் எதிர்மின்னிகள் மோதும்போது ஊடுகதிர்கள் குறிப்பிடத்தக்க அளவில் உருவாகின்றன என்பதை அறிவியலர்கள் கவனித்தனர். இக்கதிர்கள் மின்புலங்களிலோ காந்தப்புலங்களிலோ செல்லும்போது, தம் பாதையினின்றும் விலகுவதில்லை. பொருண்மங்களில் மிக அதிகமாக ஊடுருவுவதால் இவற்றை பொருட்களின் உள்ளமைப்பை அறிய பயன்படுத்தினர். மிகக்குறைந்த அலைநீளமுள்ள ($\sim 0.1 \text{ nm}$) இக்கதிர்கள் மின்காந்தத்தன்மையுள்ளவை (பகுதி 2.3.1).

சில தனிமங்கள் தாமாகவே கதிர்வீச்சை உமிழ்கின்றன என்று கண்டறிந்த என்றி பெக்கரல் இத்தோற்றப்பாட்டுக்கு **கதிரியக்கம்** என்று பெயரிட்டார். மேரி கியூரி, பியர் கியூரி, இரதர்போடு, பிரடெரிக்கு சாடி ஆகியோர் இக்களத்தை வளராக்கினர். இவர்கள் ஆல்பா, பீற்றா, காம்பா எனும் மூன்றுவகைக்கதிர்கள் உமிழ்ப்படுவதை கண்டறிந்தனர். உயராற்றலுள்ள ஆல்பாக்கதிர்கள் நேர்ம மின்மத்தின் இரண்டு அலகுகளை சுமப்பதாக இரதர்போடு கண்டார். இவை நான்கு அலகு நிறையுள்ளவை. ஆல்பாத்துக்கள் இரண்டு எதிர்மின்னிகளுடன் சேர்ந்து ஈலிய வளிமத்தை தருவதால், அவை ஈலியத்தின் அணுக்கருவால் ஆனவை. எதிர்ம மின்மமுள்ள பீற்றாக்கதிர்கள் எதிர் மின்னிகளைப் போன்றவை. காம்பாக்கதிர்கள் அதியாற்றலுள்ள மின்னடுவமான கதிர்வீச்சுகள். இவற்றில் துகள்கள் இல்லை. ஊடுருவலைப்பொறுத்தவரை,
ஆல்பாத்துக்கள்
<பீற்றாக்கதிர்கள்
(ஆல்பாத்துகளைப்போல் 100 மடங்கு)
<காம்பாக்கதிர்கள்
(ஆல்பாத்துகளைப்போல் 1000 மடங்கு).

ஒரு கதிரியக்க மூலத்திலிருந்து வெளியேறும் அதியாற்றலுள்ள ஆல்பாத்துக்களின் ஒரு தாரையை தங்க மென்றாளின்மீது மோதுமாறு இரதர்போடு செலுத்தினார். இந்த மென்றாளைச் சுற்றி ஒரு வட்டவடிவ கிளரொளிரும் துத்தநாகக் கந்தகைட்டுத்திரை இருந்தது. ஆல்பாத்துக்கள் திரைமீது மோதும்போதெல்லாம் அவ்விடத்தில் ஒரு சிறிய பளிச்சொளி உருவானது. இரதர்போடின் ஆல்பாத்துகட்சிதறற்பரிசோதனையின் முடிவுகள் முற்றிலும் எதிர்பாராதவை. தாமிசனின் அணுவொப்புருவின்படி, தங்க அணுவின் நிறை அணுமூலுவதிலும் பரவியிருக்க வேண்டும்; ஆல்பாத்துக்கள் சீரான பரவலுள்ள அந்த நிறையின்வழி எளிதாக ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றலுள்ளவை. இதனால், துகள்களின் வேகம் மெதுவாகக்கூறையும் என்றும் செல்லும் பாதை சிறு கோணங்களாலே விலகும் என்றும் இரதர்போடு எதிர்பார்த்தார். ஆனால் அவர் கண்டறிந்தவை:

1. பெரும்பான்மையான ஆல்பாத்துக்கள் தங்கமாழைவழி ஊடுருவி விலகாமல் நேரே சென்றன.
2. சில ஆல்பாத்துக்கள் சிறிய கோணங்களில் விலகிச்சென்றன.
3. மிகச்சில ஆல்பாத்துக்கள் (இருபதாயிரத்தில் ஒன்று) 180 பாகை கோணத்தில் தாம் சென்ற பாதையிலே திரும்பிவந்தன. மேற்கூறிய கண்டறிதல்களின் அடிப்படையில் இரதர்போடு அணுவின் கட்டமைப்பைப் பற்றி கீழ்க்காணும் முடிவுகளை எடுத்தார்:

1. பெருவாரியான ஆல்பாத்துக்கள் மென்றாளின் வழி விலகாமல் செல்வதால் அணுவிலுள்ள பெரும்பான்மையான வெளி வெற்றிடமாக உள்ளது.
2. நேர்மமின்மமுள்ள ஆல்பாத்துக்களுள் பாதைவிலகியவை ஒருசிலவேயெனினும் அவை பெருமளவில் பாதைவிலகின. மிகப்பெரிய அளவிலான விலக்கல்விசையின் காரணமாகவே இது நடைபெறவியலும். எனவே, அணுவின் நேர்ம மின்மங்கள் தாமிசனின் அணுவொப்புருவின்படி பரவலாக விரவியிருக்கவில்லை. மாறாக, அவை ஒரு மிகச்சிறிய பருமனில் செறிந்துள்ளன. இவை நேர்மமின்மமுள்ள ஆல்பாத்துக்களை விலக்குகின்றன.
3. இரதர்போடு தன் கணக்கீடுகளின்படி அணுவின் மொத்தப்பருமனின் ஒப்பீட்டில் அணுக்கருவின் பருமன் புறக்கணிக்கத்தக்கது என்று காட்டினார். அணுவின் ஆரம் தோராயமாக 10^{-10} மீட்டரெனில், அணுக்கருவின் ஆரம் 10^{-15} மீட்டர். ஒரு ஆரஞ்சுப்பழம் அணுவின் அணுக்கருவுக்கு உவமையெனில், அணுவின் ஆரம் தோராயமாக ஐந்து கிலோ மீட்டர் இருக்கும்.

இவற்றிலிருந்து நாம் இரண்டுக்குமான வேறுபாட்டை புரிந்துகொள்ளலாம்.

மேற்கண்ட கண்டறிதல்களின் அடிப்படையிலும் முடிவுகளின் அடிப்படையிலும் அணுவின் அணுக்கருவொப்புருவை இரதர்போடு முன்வைத் தார். இவ்வொப்புருவின்படி,

1. ஒரு அணுவின் மொத்த நிறையும் நேர்ம மின்மங்களும் ஒரு மிகமிகச்சிறிய அளவிலான பகுதியில் செறிந்திருக்கின்றன. இப்பகுதியை **அணுக்கரு** என்கிறோம்;
2. அணுக்கருவை எதிர்மின்னிகள் சூழ்ந்துள்ளன. அவை அதிவேகத்தில் வட்டவடிவமான **சுற்றுப்பாதைகளில்** நகர்ந்து செல்கின்றன. இரதர்போடின் ஒப்புரு நமது கதிரவ அமைப்பை ஒத்துள்ளது. இக்குழுவில், அணுக்கரு கதிரவனைப்போலவும் எதிர்மின்னிகள் கதிரவனைச்சுற்றிவரும் கோள்களைப் போலவும் செயலாற்றுகின்றன;
3. எதிர்மின்னிகளும் அணுக்கருவும் மின்னிலைம ஈர்ப்பின் விசைகளினால் கட்டுண்டிருக்கின்றன.

2.2.3 அணுவெண்ணும் நிறையெண்ணும்

நேர்மின்னிகள் இருப்பதன் காரணமாகவே அணுக்கருவுக்கு நேர்ம மின்மம் உள்ளது. ஏற்கனவே நிலைநாட்டியபடி, ஒரு நேர்மின்னியின் மின்மம், எதிர்மின்னியின் மின்மத்துக்கு சமமாகவும் எதிராகவும் உள்ளது. ஒரு அணுக்கருவிலுள்ள நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை அதன் அணுவெண். சான்றாக, ஒரு ஐதரசவணுக்கருவில் ஒரு நேர்மின்னியும், சோடியத்தின் ஒரு அணுக்கருவில் 11 நேர்மின்னிகளும் உள்ளதால் அவற்றின் அணுவெண்கள் முறையே 1உம் 11உம். அணுமின்னடுவத்தை அடைவதற்காக அதிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும் நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும் (அணுவெண் = Z) சமமாக உள்ளன. சான்றாக, ஒரு ஐதரசவணுவிலும் ஒரு சோடியவணுவிலும் முறையே 1, 11 எதிர்மின்னிகள் உள்ளன.

அணுவெண் (Z)

= ஒரு அணுவின் அணுக்கருவிலுள்ள

நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை

= ஒரு மின்னடுவமான அணுவிலுள்ள

எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை (2.3)

ஒரு அணுக்கருவின் நேர்மமின்மம் நேர்மின்னிகளால் வருகிறது; அதன் நிறைக்கு நேர்மின்னிகளும் நொதுமிகளுமே பங்களிக்கின்றன. ஏற்கனவே உரையளித்த நேர்மின்னிகளையும் நொதுமிகளையும் கூட்டாக **அணுக்கருனிகள்** என்று அழைக்கிறோம்.

ஒரு அணுவிலுள்ள மொத்த அணுக்கருனிகளின் எண்ணிக்கையை அதன் **நிறையெண்** என்கிறோம்.

நிறையெண் (A)

= நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை (Z)

+ நொதுமிகளின் எண்ணிக்கை (n) (2.4)

2.2.4 சமநிறையன்களும் சமவிடத்தான்களும்

எந்தவொரு அணுவின் கூறடக்கத்தையும் A_ZX என்ற குறியீட்டால் குறிக்கலாம்; இங்கு X தனிமத்தின் வழக்கமான குறியீடு; மேன்முன்னொட்டாக அணுநிறையான A ஐயும், கீழ்முன்னொட்டாக அணுவெண்ணான Z ஐயும் குறிக்கிறோம்.

வெவ்வேறு அணுவெண்களும், ஒரே நிறையெண்ணுமுள்ள அணுக்கள் சமநிறையன்கள். சான்றுகள் ${}^{14}_6C$, ${}^{14}_7N$. இதன் மறுபக்கமாக, ஒரே அணுவெண்ணும், வெவ்வேறு அணுநிறையெண்களுமுள்ள அணுக்களை **சமவிடத்தான்கள்** என்கிறோம். வேறுவிதமாகச்சொன்னால், (2.4)ஆம் சமன்பாட்டின்படி, சமவிடத்தான்கள் அணுக்களிலுள்ள நொதுமிகளின் எண்ணிக்கையாலே வேறுபடுகின்றன. சான்றாக, ஐதரசவணுவின் மூன்று சமவிடத்தான்களை இயற்கையில் காண்கிறோம். ஐதரசனின் 99.985% அணுக்களில் ஒரு நேர்மின்னியே உள்ளது. இந்த சமவிடத்தானை **ஒருவியம்**, (1_1H) என்கிறோம். எஞ்சிய நூற்றுவிதத்தில் **இருவியம்** (2_1D , 0.015%) என்பதில் ஒரு நேர்மின்னியும் ஒரு நொதுமியும், **மூவியம்** (3_1T) என்பதில் ஒரு நேர்மின்னியும் இரண்டு நொதுமிகளும் உள்ளன. மூவியம் புவியில் சிற்றளவிலே காணப்படுகிறது. கரிமத்தின் 6 நேர்மின்னிகளுடன் முறையே 6, 7, 8 நொதுமிகளடங்கிய ${}^{12}_6C$, ${}^{13}_6C$, ${}^{14}_6C$ ஆகிய சமவிடத்தான்களும் குளோரினின் 17 நேர்மின்னிகளுடன் முறையே 8, 20 நொதுமிகளடங்கிய ${}^{35}_{17}Cl$, ${}^{37}_{17}Cl$ ஆகிய சமவிடத்தான்களும் பொதுவாகக்கிடைக்கும் வேறு சில சான்றுகள்.

இறுதியாக, சமவிடத்தான்களைப்பற்றிய ஒரு குறிப்பிடத்தக்க உண்மை என்னவெனில், வேதிவினைகளை அவற்றிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையே கட்டுப்படுத்துகிறது என்பது. இந்த எண்ணிக்கையை அணுக்கருவிலுள்ள நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை தீர்மானிக்கிறது. அணுக்கருவிலுள்ள நொதுமிகளின் எண்ணிக்கை ஒரு தனிமத்தின் வேதிப்பண்புகளின்மீது எந்த விளைவுகளையும் ஏற்படுத்துவதில்லை. எனவே, ஒரு தனிமத்தின் எல்லாச்சமவிடத்தான்களும் முற்றொருமையான வேதிநடத்தைகளை காட்டுகின்றன.

சிக்கல் 2.1

$^{80}_{35}\text{Br}$ இலுள்ள நேர்மின்னிகள், நொதுமிகள், எதிர்மின்னிகள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கைகளை கணக்கிடுக.

தீர்வு

$^{80}_{35}\text{Br}$ இல், $Z = 35$; $A = 80$.

அணு மின்னடுவ நிலையில் உள்ளதால், நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = $Z = 35$.

நொதுமிகளின் எண்ணிக்கை = $A - Z = 80 - 35 = 45$ [(2.4)ஆம் சமன்பாடு]

சிக்கல் 2.2

ஒரு வேதியியினத்தின் எதிர்மின்னிகள், நேர்மின்னிகள், நொதுமிகள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கைகள் முறையே 18, 16, 16. இதன் குறியீட்டை எழுதுக.

தீர்வு

அணுவெண் = நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = 16. எனவே இத்தனிமம் கந்தகம் (S). அணுவின் நிறையெண் = நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை + நொதுமிகளின் எண்ணிக்கை = $16 + 16 = 32$. எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = 18. இங்கு நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும், எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இல்லை. எனவே இங்கு மின்னடுவம் இல்லை; இது ஒரு அயனி. நேர்மின்னிகளைவிட (16) எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை (18) அதிகமாவதால் இந்த வேறுபாடு ($18 - 16 = 2$) அயனியின் மின்மமாகிறது. எனவே, இது இரு மின்மங்களுள்ள ஒரு எதிர்ம அயனி. அதனால், வேதியியினத்தின் குறியீடு, $^{32}_{16}\text{S}^{2-}$.

குறிப்பு:

- A_ZX என்ற குறியீட்டை பயன்படுத்தும்முன் கருத்திலுள்ள வேதியினம் ஒரு எதிர்ம அயனியா, ஒரு மின்னடுவ அணுவா, நேர்ம அயனியா எனக்காண்க. அது ஒரு மின்னடுவ அணுவெனில், நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை = அணுவெண் என்ற (2.3)ஆம் சமன்பாடு பொருந்தும்.
- வேதியினம் ஒரு அயனியெனில் நேர் மின்னிகளின் எண்ணிக்கை, எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையைவிட பெரியதா

(நேர்ம அயனி), சிறியதா (எதிர்ம அயனி) என்பதை தீர்மானிக்க.

- மின்னடுவ அணுவாயினும், அயனியாயினும், நொதுமிகளின் எண்ணிக்கையை ($A - Z$) என்று பெறலாம்.

2.2.5 இரதர்போடொப்புருவின் குறைபாடுகள்

இரதர்போடின் ஒப்புரு ஒரு சிற்றளவமான கதிர்வ அமைப்பைப்போன்றது என்று மேலே கண்டோம். இதில் அணுக்கரு அதிநிறையுள்ள கதிர்வனைப் போலவும் எதிர்மின்னிகள் நிறை குறைந்த கோள்களைப்போலவும் செயலாற்றுகின்றன. கதிர்வவமைப்பில் தொன்மைய எந்திரவியலை பயன்படுத்தும்போது, கோள்கள் கதிர்வனைச்சுற்றி நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளில் வலம்வருகின்றன என்று அது காட்டுகிறது. கோள்களுக்கிடையான நிறையீர்ப்பின் விசையை கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தருகிறது.

$$\text{நிறையீர்ப்புவிசை} = \left(G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}\right)$$

இங்கு, m_1, m_2 கோள்களின் நிறைகள், r இரண்டு நிறைகளுக்கிடையான தொலைவு, G நிறையீர்ப்புமாறிலி. இக்கோட்பாடு கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளை துல்லியமாக கணக்கிடுகிறது. இந்த கணக்கீட்டுமுடிவுகள் பரிசோதனைகளின் அளவீடுகளுடன் ஒத்துள்ளன.

அணுக்கருவொப்புருவுக்கும் கதிர்வ அமைப்புக்குமுள்ள ஒற்றுமை எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவைச்சுற்றி நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளில் நகர்கின்றன என்பதை முன்வைக்கிறது. மேலும், கூலும்விசையின் கணக்கீடான $k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$, நிறையீர்ப்புவிசையின் கணக்கீட்டை ($G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$) ஒத்துள்ளது. $k \cdot q_1 \cdot q_2 / r^2$ இல், q_1, q_2 மின்மங்கள், r இரண்டு மின்மங்களுக்கிடையான தொலைவு, $k =$ விழுக்காட்டுமாறிலி. மாறாவேகத்தில் ஒரு சுற்றுப்பாதையில் நகர்ந்தபோதிலும், ஒரு பொருள் திசைமாறுவதால் முடுக்கமடைகிறது. எனவே இரதர்போடின் அணுக்கருவொப்புருவில் கோள்களின் சுற்றுப்பாதைபோன்ற பாதையில் நகரும் எதிர்மின்னிகள் முடுக்கமடைகின்றன. மேக்குவல்லின் மின்காந்தக்கோட்பாட்டின்படி, மின்மமேற்ற துகள்கள் முடுக்கமடையும்போது மின்காந்தக்கதிர்வீச்சை உமிழ்கின்றன. (மின்மங்களில்லாததால் கோள்களுக்கு இந்த பண்பு இல்லை.) எனவே சுற்றுப்பாதையில் பயணிக்கும் ஒரு எதிர்மின்னி கதிர்வீச்சை உமிழவேண்டும். இதற்குத்தேவையான ஆற்றல் எதிர்மின்னியின் நகர்விலிருந்து கிடைக்கிறது. இதனால் சுற்றுப்பாதை தொடர்ந்து சுருங்குவதால், ஒரு எதிர்மின்னி 10^{-8} நொடி

நேரத்தில் அணுக்கருவுக்குள்ளே சுழன்று விழுந்துவிடவேண்டும். இதனால் எதிர்மின்னி அழிந்து அணு நிலையற்றதாகிவிடும். ஆனால் உண்மையில் இது நிகழவில்லை. எனவே இரதர்போடின் ஒப்புருவால் எதிர்மின்னியின் தொடர்நகர்வை தொன்மவெந்திரவியலின் அடிப்படையில் விளக்க இயலவில்லை. எதிர்மின்னியின் நகர்வை தொன்மவெந்திரவியலின் அடிப்படையிலும் மின்காந்தக்கோட்பாட்டின் அடிப்படையிலும் விளக்கவேண்டுமெனில், சுற்றுப்பாதையில் நகர்ந்து செல்லும்போது நிலையற்று அழிந்து விடும் எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவை சுற்றாமல் கிடப்புநிலையில் உள்ளதாக கொள்ளலாமே என்று நீங்கள் கேட்கலாம். எதிர்மின்னிகள் கிடப்புநிலையிலிருந்தால், அணுக்கருவிடமிருந்து அடர்வான நேர்ம மின்மத்துக்கும் எதிர்மின்னிகளின் எதிர்ம மின்மத்துக்குமிடையான மின்னிலைம ஈர்ப்புவிசை எதிர்மின்னிகளை அணுக்கருவை நோக்கி இழுத்து இந்த ஒப்புருவை தாமிசனின் ஒப்புருவின் சிறுவடிவமாக ஆக்கிவிடும்.

இரதர்போடொப்புரு அணுக்கருவைச்சுற்றி எதிர்மின்னிகளின் பரவலைப்பற்றியும் அவற்றின் ஆற்றல்களைப்பற்றியும் எதுவும் சொல்லாதது அதன் மிகப்பெரிய மற்றொரு குறைபாடு.

2.3 போரின் அணுவொப்புருவை நோக்கிய வளராக்கங்கள்

வரலாற்றுநோக்கில், பருப்பொருள்களுடன் கதிர்வீச்சுக்களின் இடைவினைகளைப்பற்றிய ஆய்ந்தறிதல்களே அணுக்களின் கட்டமைப்பையும் மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பையும்பற்றிய மிக அதிகமான தகவல்களை தந்தன. நீலசு போர் இந்த முடிவுகளைப்பயன்படுத்தி இரதர்போடின் ஒப்புருவை மேம்படுத்தினார். இரண்டு வளராக்கங்கள் போரணுவொப்புரு உருவாவதில் முக்கியப்பங்கை வகித்தன. அவை:

1. மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் இருமப்பண்பு; அதாவது, கதிர்வீச்சுகளுக்கு அலைப்பண்பும் துகட்பண்பும் இருப்பது.
2. அணுநிறநிரல்பற்றிய பரிசோதனைமுடிவுகள். மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் இருமையைப்பற்றி நாம் முதலில் உரையளிப்போம். அணுவின் நிறநிரல்கள் பற்றிய முடிவுகளை 2.4ஆம் பகுதியில் உரையளிப்போம்.

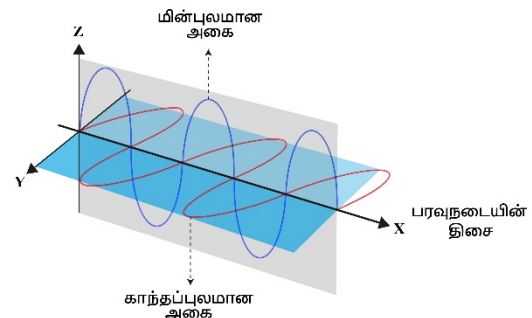
2.3.1 மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் அலைத்தன்மை

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் நடுவில், சூடாக்கிய பொருள்கள் கதிர்வீச்சுகளை வெளியிடுவதையும் உட்கவர்வதையும் இயற்பியலர்கள் முனைப்புடன் ஆய்ந்தறிந்தனர். இவற்றை வெப்பக்கதிர்வீச்சுகள் என்றனர். இக்கதிர்வீச்சுகள்

எதனால் ஆனவை என்று அவர்கள் கண்டுபிடிக்க முனைந்தனர். இந்த வெப்பக்கதிர்வீச்சுகள் பல்வேறு அலைநீளங்களுள்ள (அதிர்வெண்களுள்ள) மின்காந்த அலைகள் என்பதை நாம் இப்போது நன்கறிகிறோம். ஆனால் இந்த அறிவின் அடிப்படையான பல புதுக்காலக்கருத்துகளை பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் யாரும் அறிந்திருக்கவில்லை. வெப்பக்கதிர்வீச்சின் விதிகளைப்பற்றிய முதல் ஆய்ந்தறிதல் 1850இல் நிகழ்ந்தது. 1870இன் முற்பகுதியில் மின்காந்த அலைகளைப்பற்றியும் மின்மத்துக்களை முடுக்குவதன்மூலம் அவ்வாறான மின்காந்த அலைகள் உமிழப்படுவதுமான கோட்பாட்டை இயேமசு கிளார்க்கு மேக்குவல் வளராக்கினார். பின்னர் ஐனசுரிக்கு எரிசு இக்கோட்பாட்டை பரிசோதனைவழி உறுதிப்படுத்தினார். மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுக்களைப்பற்றிய சில உண்மைகளை நாம் இங்கு பயிலலாம்.

மின்மத்துக்களிடையான இடைவினையைப்பற்றியும், பருமளவமட்டத்தில் மின்காந்தப்புலங்களின் நடத்தையைப்பற்றியும் ஒரு விரிவான விளக்கத்தை முதன்முதலில் 1870இல் இயேமசு மேக்குவல் தந்தார். முடுக்கத்துடன் நகரும் ஒரு மின்மமேற்ற துகள் திசைமாதும் மின்காந்தப்புலங்களை உண்டாக்கி அனுப்புகின்றன என்று மொழிவுரைத்தார். இவை **மின்காந்த அலைகளாக** அதாவது **மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுகளாக** அனுப்பப்படுகின்றன.

கதிர்வீச்சு என்பது ஒளியே என்பதை அறிவியலர்கள் முற்காலத்திலே அறிந்திருந்தனர். அதன் தன்மையைப்பற்றிய நம்புகமும் மிகத்தொன்மையான காலத்தைச்சேர்ந்தது. நியூட்டனின் காலத்தில் ஒளி தனித்துக்களளால் ஆனது எனக்கருதினர். ஒளியின் அலைத்தன்மையை பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டிலே நிலைநாட்டினர். ஒளியலைகள் மின்றன்மையுடனும் காந்தத்தன்மையுடனும் தொடர்புடையனவென்று முதன்முதலில் மேக்குவல் வெளிப்படுத்தினார் (படம் 2.6).



படம் 2.6 ஒரு மின்காந்த அலையின் மின்புலமும் காந்தப்புலமுமான அலைகள்.

இவ்விரு அகைகளுக்கும் ஒரே அலைநீளமும் அதிர்வெண்ணும் வேகமும் வீச்சகலமும் இருப்பினும் அவை ஒன்றுக்கொன்று செங்கோணமான இரண்டு தளங்களில் அதிர்கின்றன.

மின்காந்த அலைகளின் நகர்வு இயற்கையில் சிக்கலானது எனினும், நாம் இங்கு ஒரு சில எளிமையான பண்புகளை கருதுவோம்.

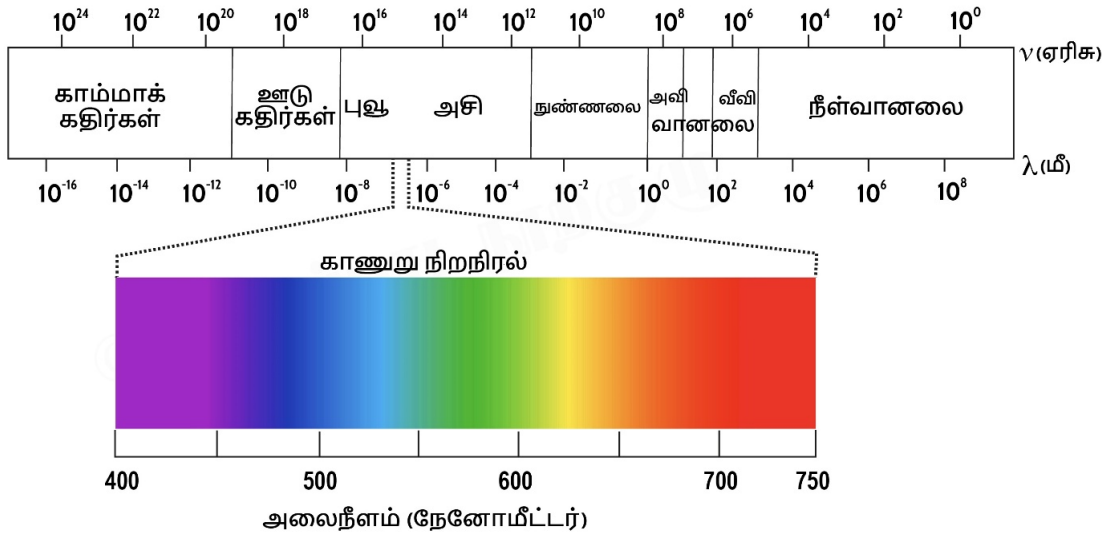
1. அலைவுறும் மின்மத்துக்கள் உண்டாக்கும் மின்புல அலைவும் காந்தப்புல அலைவும் ஒன்றுக்கொன்று செங்கோணமாகவும் அலையின் பரவுநடைத்திசைக்கும் (அலை செல்லும் திசை) செங்கோணத்திலும் உள்ளன. மின்காந்த அலையின் எளிமைப் படுத்திய காட்சியை படம் 2.6 காட்டுகிறது.
2. ஒலியலைகளைப்போலவோ நீரில் உருவாகும் அலைகளைப்போலவோ அல்லாமல், மின்காந்த அலைகள் நகர்வதற்கு ஊடகம் எதுவும் தேவையில்லை; வெற்றிடத்திலும் இவை நகர்வியலும்.
3. ஒன்றுக்கொன்று அலைநீளம் (அலைவெண்) மாறுபடும் பலவிதமான மின்காந்த அலைகள் உள்ளன என இப்போது நிலைநாட்டியுள்ளனர். இவற்றை ஒரு **மின்காந்தநிறநிரலாக** அடுக்கலாம் (படம் 2.7). வட்டாரங்களை வெவ்வேறு பெயர்களால் அடையாளமிட்டு

குறிக்கிறோம். அகற்பரப்பிலுக்கு பயன்படும் 10^6 எரிசு அளவான வானலை வட்டாரம்; வானலை துய்யறிதலும் வீச்சளத்தலும் (வாதுவீ) என்பதில் பயன்படும் 10^{10} எரிசு அளவான நுண்ணலை வட்டாரம்; சூடாக்கப்பயன்படும் 10^{13} எரிசு அளவான அகச்சிவப்பு வட்டாரம்; கதிரவக்கதிர்வீச்சின் ஒரு அகையான 10^{16} எரிசு அளவான புறலுதா வட்டாரம் ஆகியவை சில சான்றுகள். 10^{15} எரிசு அளவிலுள்ள சிறிய பகுதியை **காணுறுவொளி** என அழைக்கிறோம். இப்பாகத்தை மட்டும் நமது விழிகள் பார்க்கவியலும். (துய்யறியவியலும்). காணுறாக்கதிர்வீச்சை துய்யறிய தனித்துவமான செங்கருவிகள் தேவை.

4. மின்காந்தக்கதிர்வீச்சைக்குறிக்க வெவ்வேறு அலகுகளை பயன்படுத்துகிறோம்.

கதிர்வீச்சின் பண்புகளான அலைவெண்ணாலும் (ν) அலைநீளத்தாலும் (λ) அதன் சிறப்பியல்புகளை அறிகிறோம். சில நூல்களில் அலைவெண்ணை அதிர்வெண் என்றும் எழுதியிருப்பார்கள்.

அலைவெண்ணுக்கான அவ அலகை ஐனுரிக்கு எரிசின் பெயரால் எரிசு (Hz, s^{-1}) என்று வழங்குகிறோம். இது ஒரு நொடியில் ஒரு புள்ளியைக்கடக்கும் அலைகளின் எண்ணிக்கை.



படம் 2.7 (மேல்) மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் நிறநிரல் (கீழ்) முழு நிறநிரலின் ஒரு சிறிய பகுதியே காணுறு வட்டாரம்.

அலைநீளத்துக்கு நீளத்தின் அலகுகள் இருக்கவேண்டும். நீளத்தின் அவ அலகு மீட்டர் (m) என்பதை நீங்கள் அறிவீர்கள். மின்காந்தக்கதிர்வீச்சில் வெவ்வேறுவிதமான மிகக்குறைந்த அலைநீளமான அலைகள் இருப்பதால் சிறிய அலகுகளை பயன்படுத்துகிறோம். வெவ்வேறு மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுகள் அலைநீளத்தாலும்

அலைவெண்ணாலும் வேறுபடுகின்றன. இவற்றை படம் 2.7 காட்டுகிறது. அலைநீளம் எதுவாயினும் வெற்றிடத்தில் அனைத்து விதமான மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுகளும் ஒரே வேகத்தில் பயணிக்கின்றன. அதாவது, $3.0 \times 10^8 m s^{-1}$ (மிகத்துல்லியமாக, $2.997925 \times 10^8 m s^{-1}$). இதனை **ஒளியின் வேகம்**

என்றழைத்து c என்று குறிக்கிறோம். அலைவெண்ணும் (ν) அலைநீளமும் (λ) ஒளியின் வேகமும் (c) (2.5)ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ளவாறு தொடர்பானவை.

$$c = \nu\lambda \quad (2.5)$$

வழக்கிலிருக்கும் மற்றொரு அளவு, குறிப்பாக, நிறநிரலியலில் பயன்படுவது அலையெண் ($\bar{\nu}$). இதை ஒரு அலகு நீளத்திலுள்ள அலைநீளங்களின் எண்ணிக்கை என வரையறுக்கப்படுகிறது. இதன் அவ அலகு, அலைநீள அலகின் புரட்டு (m^{-1}). ஆயினும், பொதுவாகப் பயன்படும் அலகு cm^{-1} (இது அவ அல்லாத அலகு). அலைவெண்ணுக்கும் அலையெண்ணுக்குமுள்ள வேறுபாட்டை புரிந்து கொள்க. அலையெண் ஒரு மீட்டரில் எத்தனை அலைகள் உள்ளன என்பதையும் அலைவெண் ஒரு நொடியில் எத்தனை அலைவுகள் ஏற்படுகின்றன என்பதையும் குறிக்கின்றன.

சிக்கல் 2.3

அகில இந்திய வானொலியின் விவித பாரதி நிலையம் $1,368 \text{ kHz}$ அலைவரிசையில் (அலைவெண்) ஒலிபரப்புகிறது. அதன் அனுப்பி உமிழும் மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் அலைநீளத்தை கணக்கீடுக. இது மின்காந்த நிறநிரலின் எந்தப்பகுதியைச் சேர்ந்தது?

தீர்வு

$$\text{அலை நீளம்} = \lambda = c/\nu$$

இங்கு $c =$ வெற்றிடத்தில் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் வேகம்; $\nu =$ அலைவெண். இந்த மதிப்புகளை சமன்பாட்டில் மாற்றிடும்போது குறிப்பிட்ட வானலையின் அலைநீளம் கிடைக்கிறது.

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1368 \text{ kHz}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1368 \times 10^3 \text{ s}^{-1}} = 219.3 \text{ m}$$

இந்த அலைநீளம் வானலைப்பட்டையில் உள்ளது.

சிக்கல் 2.4

காணுறுநிறநிரலின் அலைநீளவீச்சளவு ஊதாக்கதிரிலிருந்து (400 nm) சிவப்புக் கதிர்வரை (750 nm) நீள்கிறது. இந்த அலைநீளங்களை அலைவெண்களில் (ν) தருக. $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

தீர்வு

(2.5)ஆம் சமன்பாட்டின்படி, ஊதாநிற ஒளியின் அலைவெண்:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} = 7.50 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

சிவப்புநிற ஒளியின் அதிர்வெண்:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{750 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.00 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

காணுறுநிறநிரலின் வீச்சளவு

$$4.0 \times 10^{14} \text{ Hz இலிருந்து} \quad 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz வரையான அலைவெண்பட்டை.}$$

சிக்கல் 2.5

5800 \AA அலைநீளமுள்ள மஞ்சணிற் கதிர்வீச்சின் (அ) அலையெண் (ஆ) அலைவெண் ஆகியவற்றை கணக்கீடுக.

தீர்வு

(அ) அலையெண்

$$\lambda = 5800 \text{ \AA} = 5800 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5800 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}} = 1.724 \times 10^6 \text{ m}^{-1} = 1.724 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$$

(ஆ) அலைவெண்:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{5800 \times 10^{-10} \text{ m}} = 5.172 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

2.3.2 மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின்

துகட்டன்மை: பிளாங்கின்

துணுக்கக்கோட்பாடு

மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுக்கு துகள்களின் தன்மை (துகட்டன்மை) இருப்பதை இப்போது காண்போம். விளிம்புவளைவு¹, குறுக்கீடு² ஆகிய சோதனைவழிய தோற்றப்பாடுகளை மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் அலைத்தன்மை விளக்குகிறது. இருப்பினும், கீழ்க்காணும் சில ஆய்ந்தறிதல் களை தொன்மையியற்பியல் என்று அழைக்கப்படும் 19ஆம் நூற்றண்டின் இயற்பியலின் மின்காந்தக்கோட்பாட்டினாலும் விளக்கவியல் வில்லை.

1. சூடான பொருள்கள் உமிழும் கதிர்வீச்சின் தன்மை (கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சு),

¹ அலைகள் ஒரு தடங்கலைச்சுற்றி வளைந்து செல்வது.

² ஒரே அலைவெண்ணிலோ வெவ்வேறு அலைவெண்ணிலோவுள்ள இரண்டு அலைகள் சேர்ந்து வெளியின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் இரண்டு அலைகளின் கூட்டலோ கழித்தலோவான பரவலுள்ள ஒரு அலையை உண்டாக்குவது.

2. கதிர்வீச்சு மாழைகளின் பரப்பில் படும்போது எதிர்மின்னிகளை வெளித்தள்ளுதல் (ஒளிமின்விளைவு),
3. திண்மப்பொருள்களின் வெப்பக்கொண்மம் வெப்பநிலையைப்பொறுத்து மாறுபடுதல்,
4. அணுக்களின், முக்கியமாக ஐதரசவணுவின், வரிநிறநிரல்கள்.

மேற்கூறிய தோற்றப்பாடுகள் குறிப்பிட்டுக் காட்டுவது என்னவென்றால், ஒரு அமைப்பு கிடைக்கக்கூடிய அனைத்து ஆற்றலையும் எடுத்துக்கொள்ளாமல் குறிப்பிட்ட உதிரியளவுகளில் மட்டுமே ஆற்றலை எடுக்கவியலும். அதைப்போல், உமிழ்தலின்போது ஆற்றலின் குறிப்பிட்ட உதிரியளவுகளே தோன்றின. கரும்பொருட்கதிர்வீச்சு எனும் தோற்றப்பாட்டுக் கான ஒரு திடமான விளக்கத்தை மாக்கசு பிளாங்கு 1900இல் கொடுத்தார். இந்தத்தோற்றப்பாட்டினை புரிந்துகொள்வோம்.

வெப்பமூட்டிய பொருள்கள் அலைநீளங்களின் ஒரு அகலமான வீச்சளவில் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளை உமிழ்கின்றன. அதிக வெப்பநிலைகளில் அதிக நூற்றுவிதமான கதிர்வீச்சு காணுறு வட்டாரத்தில் உள்ளது. வெப்பநிலை உயரும்போது குறைந்த அலைநீளமுள்ள நீலக் கதிர்கள் அதிக நூற்றுவிதத்தில் உருவாகின்றன. சான்றாக, சூடாக்கப்பட்ட ஒரு இரும்புக்கம்பி முதலில் மந்தச்சிவப்புநிறமாகவும் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்போது உரப்புச்சிவப்பாகவும் மாறுகிறது. தொடர்ந்து சூடாக்கினால், கதிர்வீச்சு வெண்மையாகவும் பின்னர் நீல நிறமாகவும் மாறுகின்றது. அதாவது, சிவப்புநிறக்கதிர்வீச்சுகளும் நீலநிறக்கதிர்வீச்சுகளும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் மீயுரப்பை அடைகின்றன. எனவே ஒரு சூடான பொருள் வெளியிடும் வெவ்வேறு அலைநீளக்கதிர்வீச்சுகளின் உரப்பு பொருளின் வெப்பநிலையைப்பொறுத்தது. 1850ஆம் ஆண்டின் பிற்பகுதியில் வெவ்வேறு பொருண்மங்களாலான பொருள்கள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வைக்கப்படும்போது வெவ்வேறு கதிர்வீச்சுகளை உமிழ்கின்றன என அறிவியலர்கள் அறிந்திருந்தனர். மேலும், ஒரு பொருளின் பரப்பின்மீது மின்காந்தக்கதிர்களை விழச்செய்யும் போது அதன் ஒரு பகுதி எதிரொளிக்கிறது; மற்றொரு பகுதி உட்கவரப்படுகிறது; எஞ்சிய பகுதி ஊடுருவுகிறது. பொதுவாக, பெரும்பான்மையான பொருள்கள் கதிர்வீச்சுகளை அதிகமாக உட்கவராதவை. எல்லா அலைநீளமுள்ள கதிர்வீச்சுகளையும் ஒரேசீராக உட்கவரவும் உமிழவும் செய்கின்ற ஒரு நல்லியல்புப்பொருளை கரும்பொருள் என்றும் அது உமிழும் கதிர்வீச்சுகளை கரும்பொருட்கதிர்வீச்சுகள் என்றும் அழைக்கிறோம். கச்சிதமான கரும்பொருள் நடைமுறையில் இல்லையெனினும், கருப்புக்கரிமம் தோராயமாக ஒரு கரும்பொருளின் தன்மை

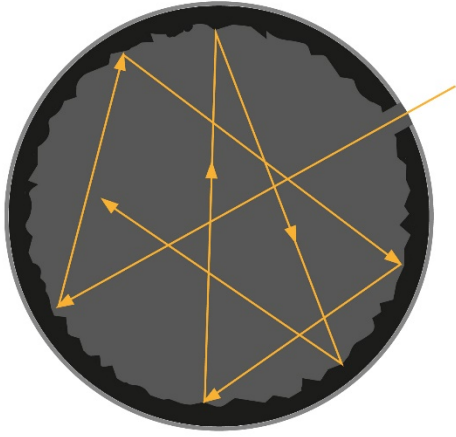
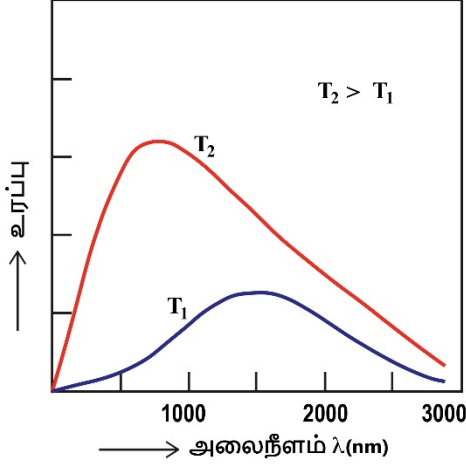
உள்ளது. இந்த பொருளில் ஒரு நுண்ணிய துளையில் மட்டும் திறந்த குழியை தோராயமாக கரும்பொருளாக கொள்ளலாம். இத்துளையில் நுழைந்த எந்தவொரு கதிரும் குழியின் சுவர்களால் மீண்டும் மீண்டும் எதிரொளிக்கப்பட்டு இறுதியில் உட்புறச்சுவர்களால் உட்கவரப்படுகின்றது. கரும்பொருள் கதிர்வீச்சாற்றலின் ஒரு கச்சிதக்கதிர்வீச்சாகவும் செயலாற்றுகிறது. ஒரு கரும்பொருள் தன் குழிடத்துடன் வெப்பச்சமநிலையில் உள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு அலகுப்பரப்பில் தான் குழிடத்திலிருந்து உட்கவரும் அதேயளவு ஆற்றலை அப்பரப்பிலிருந்து உமிழவும் செய்கிறது. கரும்பொருள் வெளியிடும் கதிர்வீச்சின் அளவும் (உரப்பும்) அதிலுள்ள நிறநிர்பரவலும் அதன் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தே இருக்கின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் அலைநீளம் அதிகரிக்கும் போது கதிர்வீச்சின் உரப்பு முதலில் உயர்ந்து, பின் ஒரு மீப்பெரும மதிப்பையடைந்து, இறுதியில் படம் 2.8இல் காட்டியுள்ளதுபோல் குறைகிறது. மேலும் வெப்பநிலை உயரும்போது, வளைவரையின் உச்சி குறைவான அலைநீளத்தை நோக்கி நகர்கிறது. கதிர்வீச்சின் உரப்பை அலைநீளத்தின் சார்பாக முன்னறிய பல முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. இருப்பினும் மேற்கூறப்பட்ட சோதனையின் முடிவுகளை ஒளியின் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் மனநிறைவாக விளக்க இயலவில்லை.

கரும்பொருளின் சுவர்களிலுள்ள அணுக்களின் அலைவுகளினால் கதிர்வீச்சுகளின் உமிழ்தலும் உட்கவர்தலும் நடைபெறுகின்றன என்ற எடுகோளின் அடிப்படையில் மாக்கசு பிளாங்கு ஒரு மனநிறைவான விளக்கத்தை வந்தடைந்தார். அலைவிக்ரூடன் இடைவினையாற்றுவதால் மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் அலைவெண் மாறுகிறது. கதிர்வீச்சு ஆற்றலின் உதிரியான துண்டுகளாக பிரிந்துள்ளது என்ற எடுகோளுடன், அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் ஆற்றலை தொடர்ச்சியாக உட்கவரவோ உமிழவோ செய்யாமல் உதிரியளவுகளிலே செய்கின்றன என பிளாங்கு முன்மொழிந்தார். மின்காந்தக்கதிர்வீச்சாக வெளியிடப்படுவதோ உட்கவரப்படுவதோவான ஆற்றலின் மிகச்சிறிய அளவுக்கு **துணுக்கம்** என்று பெயரிட்டார். ஒரு துணுக்கத்தின் ஆற்றல் அதன் அலைவெண்ணின் நேர்விழுக்காட்டிலுள்ளது. கீழ்க்காணும் (2.6)ஆம் சமன்பாட்டின்மூலம் அந்த உறவை அவர் தந்தார்.

$$E = hv \quad (2.6)$$

இங்கு h எனும் விழுக்காட்டுமாறிலியை பிளாங்கின் மாறிலி என்று அழைக்கிறோம். அதன் மதிப்பு $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$. இக்கோட்பாட்டின்மூலம் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் அலைநீளத்தைச்சார்ந்து (அலைவெண்ணைச்

சார்ந்து) ஒரு கரும்பொருளிலிருந்து வெளியாகும் கதிர்வீச்சின் உரப்பு மாறுவதை பிளாங்கினால் விளக்க இயன்றது.



படம் 2.8 (மேல்) அலைநீளத்துக்கும் அடர்வுக்குமிடையான தொடர்பு. (கீழ்) கரும்பொருள்

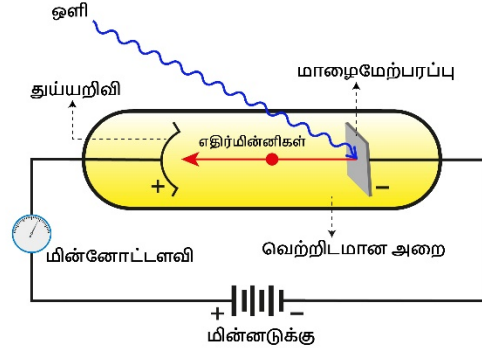
துணுக்கமிடலை ஒரு படிக்கட்டின் மீது நாம் நிற்பதற்கு ஒப்பிடலாம். ஒரு படிக்கட்டில் எந்த ஒரு படியிலும் ஒருவர் நிற்கலாம். ஆனால், இரண்டு படிகளுக்கிடையில் நிற்கும் வாய்ப்பு இல்லை. அதைப்போல், (2.6)ஆம் சமன்பாட்டின் படி, E என்று குறித்த ஆற்றலின் மதிப்பு கீழ்க்காண்பவற்றுள் ஒன்றாயிருக்கலாம். ஆனால் அவற்றுக்கு இடைப்பட்ட மதிப்புகள் இருக்கவியலாது.

$$E = 0, hv, 2hv, 3hv, rhv, \dots$$

மாக்கசு பிளாங்கு (1858 – 1947)

மாக்கசு பிளாங்கு செருமனியைச் சேர்ந்த ஒரு இயற்பியலர். தனது முனைவரப்பட்டதை மியூனிச்சுப்பல்கலைக்கழகத்திலிருந்து கோட்

பாட்டியற்பியலில் 1879இல் பெற்றார். பின்னர் 1888இல் பெருலின்பல்கலைக்கழகத்தில் கோட்பாட்டியற்பியற்பயிலகத்தின் இயக்குநராக நியமனம்பெற்றார். இயற்பியலில் 1918ஆம் ஆண்டு தனது துணுக்கவியற் கோட்பாட்டுக்காக நோபல்பரிசினை பெற்றார். ஆற்றலியக்கத் திலும் இயற்பியலின் மற்ற பகுதிகளிலும் குறிப்பிடத்தக்கவாறு பங்களித்திருக்கிறார்.



படம் 2.9 ஒளிமின்விளைவை

ஆய்ந்தறிவதற்கான வினைக்கருவி. குறிப்பிட்ட அலைவெண்ணுள்ள ஒளி ஒரு வெற்றிடத்திலுள்ள தூய மாழைப்பரப்பில் விழுகிறது. அம்மாழையிலிருந்து வெளியேறும் எதிர்மின்னிகளை ஒரு துய்யறிவி எண்ணிப்பார்த்து அவற்றின் இயக்கவாற்றலை காண்கிறது.

ஒளிமின்விளைவு

ஏரிசு 1887இல் ஒரு ஆர்வமான பரிசோதனையை மேற்கொண்டார். பொட்டாசியம், உருபிட்யம், சீசியம் போன்ற ஒரு மாழையை ஒரு ஒளிக்கற்றையில் படம் 2.9இலுள்ளதுபோல் காட்டினால், அதிலிருந்து எதிர்மின்னிகள் தள்ளப்பட்டு வெளிவருகின்றன. இத்தோற்றப்பாட்டை ஒளிமின்விளைவு என்கிறோம். இப்பரிசோதனையில் கண்டறிந்த முடிவுகள்:

1. ஒளிக்கற்றை ஒரு மாழைப்பரப்பின்மீது மோதும்போது பரப்பிலிருந்து எதிர்மின்னிகள் தள்ளப்பட்டு வெளிவருகின்றன. ஒளிக்கற்றையின் மோதலுக்கும் எதிர்மின்னிகள் பரப்பிலிருந்து வெளிவருவதற்குமிடையான நேரத்தில் பிந்தல் இல்லை.
2. வெளிவரும் எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை ஒளியின் ஒளிர்மையின் (உரப்பின்) விழுக்காட்டில் உள்ளது.
3. ஒவ்வொரு மாழையும் ஒரு குறிப்பிட்ட மீச்சிறும அலைவெண்ணுக்குக்கீழ் ஒளிமின் விளைவை தருவதில்லை. இந்த அலைவெண்ணை நுழைமலைவெண் என்று அழைத்து ν_0 என்று குறிக்கிறோம். தனிமத்

தின் அலைவெண் (ν) நுழைமலை வெண்ணைவிட அதிகமாக உள்ள போது ($\nu > \nu_0$), வெளிவரும் எதிர்மின்னிகளுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட இயக்கவாற்றல் உள்ளது. அலைவெண் உயர எதிர்மின்னிகளின் இயக்க வாற்றல்களும் உயர்கின்றன.

தொன்மைய இயற்பியலின் அடிப்படையில் மேல் கூறப்பட்ட விளைவுகளை விளக்க இயலவில்லை. ஏனெனில் அதன்படி, ஒரு ஒளிக்கற்றையின் ஒளிர்மத்தைப்பொறுத்தே அதன் ஆற்றல் உள்ளது. அதாவது வெளிவரும் எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும் அவற்றின் இயக்கவாற்றலும் ஒளியின் ஒளிர்மத்தைப் பொறுத்திருக்கவேண்டும். ஆனால் கண்டறிந்தது என்னவென்றால், வெளிவரும் எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கை ஒளிர்மத்தைப்பொறுத்திருப்பினும் அவற்றின் இயக்கவாற்றல் ஒளிர்மத்தை சார்ந்திருக்கவில்லை. சான்றாக, சிவப்பு [$\nu = 4.3$ இலிருந்து 4.6 வரை $\times 10^{14}$ Hz] ஒளியை எவ்வளவு அதிகமான ஒளிர்மத்திலும் (உரப்பிலும்) மணிக்கணக்காக பொட்டாசிய மாழையின்மேல் வீசினாலும் ஒளியெதிர்மின்னிகள் வெளிவருவதில்லை. ஆனால், மஞ்சள் ஒளி [$\nu = 5.1$ இலிருந்து 5.2 வரை $\times 10^{14}$ Hz] மிகக் குறைந்த ஒளிர்மத்தில் பொட்டாசிய மாழையின் மேல் படும்போது ஒளிமின்விளைவு ஏற்படுகிறது. பொட்டாசியத்தின் நுழைமலைவெண் (ν_0), 5.0×10^{14} Hz. இது சிவப்பு ஒளியைவிட அதிக ஆற்றலுள்ளது.

மின்காந்தக்கதிர்வீச்சுக்கான பிளாங்கின் துணுக்கவியற்கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் ஒளிமின்விளைவை 1905இல் ஆல்பட்டு ஜன்சுடைன் விளக்கினார்.

ஆல்பட்டு ஜன்சுடைன் (1879-1955)

செருமனியில் பிறந்த அமெரிக்க இயற்பியலரான ஆல்பட்டு ஜன்சுடைனை உலகறிந்த இரு மாபெரும் இயற்பியலாளர்களுள் ஒருவராக மதிக்கின்றனர்; மற்றவர் ஐசக்கு நியூட்டன். தனித்துவ ஒப்பளவுமை, பிரௌனிய அசைவு, ஒளிமின்விளைவு (1905) ஆகியவற்றைப்பற்றிய மூன்று ஆராய்ச்சிக்கட்டுரைகளை அவர் வெளியிட்டார். பெருலினில் ஒரு சுவீடனியக்காப்புரிமையலுவலகத்தில் செய்து உதவியாளராக பணிபுரிந்தபோது வெளியிட்ட இக்கட்டுரைகள் இயற்பியலின் வளர்ச்சியில் மிக அதிகளவில் தாக்கத்தை ஏற்படுத்தின. ஒளிமின்விளைவில் அவரது ஆராய்ச்சிக்காக 1921ஆம் ஆண்டில் இயற்பியலுக்கான நோபற்பரிசை ஆல்பட்டு ஜன்சுடைன் பெற்றார்.

மாழைப்பரப்பின்மீது ஒரு ஒளிக்கற்றையை ஒளிர்ச்செய்வதை ஒளியங்கள் எனப்படும்

துகள்களின் கற்றையை செலுத்துவதாகவும் நாம் கருதலாம். ஒரு மாழையணுவின்மீது ஒரு ஒளியம் மோதும்போது அது தன் ஆற்றலை உடனடியாக எதிர்மின்னிக்கு மாற்றுவதால் எதிர்மின்னியின் வெளியேற்றம் எந்தவொரு நேரப்பிந்தலுமின்றி நிகழ்கிறது. ஒளியத்தின் ஆற்றல் அதிகரிக்கும்போது எதிர்மின்னிக்கு மாற்றப்படும் ஆற்றலின் அளவும் அதிகரிக்கிறது. எனவே வெளியேறும் எதிர்மின்னியின் இயக்க வாற்றலும் அதிகரிக்கிறது. வேறுவிதமாகச் சொன்னால், வெளியேறும் எதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றல் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணின் விழுக்காட்டில் இருக்கிறது. மோதும் ஒளியத்தின் ஆற்றல் $E = h\nu$ என்பதாலும் எதிர்மின்னியை வெளியேற்றத் தேவைப்படும் மீச்சிறும ஆற்றல் $h\nu_0$ என்பதாலும், $(h\nu - h\nu_0)$ என்ற ஆற்றல்வேறுபாடு எதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றலாக மாறுகிறது. $h\nu_0$ ஐ வேலைச்சார்பன் (W_0) என்றும் அழைக்கிறோம் (அட்டவணை 2.2). ஆற்றலின் அழியாக்காப்பு விதிப்படி, வெளியேறிய எதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றலை கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தருகிறது.

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (2.7)$$

இங்கு, m_e எதிர்மின்னியின் நிறை, $h\nu_0 = W_0$ வேலைச்சார்பன்; ν வெளியேறும் எதிர்மின்னியின் வேகம்.

இறுதியாக, அதிக ஒளிர்மமான ஒளிக் கற்றையில் அதிக எண்ணிக்கையான ஒளியங்கள் உள்ளன; இதனால் வெளியேறும் எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகிறது.

அட்டவணை 2.2 சில மாழைகளுக்கான வேலைச்சார்பன்களின் (W_0) மதிப்புகள்

மாழை	Li	Na	K	Mg	Cu	Ag
W_0/eV	2.42	2.3	2.25	3.7	4.8	4.3

மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் இருமை

ஒளியின் துகட்டன்மை அறிவியலர்களுக்கு ஒரு இக்கட்டை உண்டாகியது. ஒரு வகையில், இது கரும்பொருட்கதிர்வீச்சையும் ஒளிமின் விளைவையும் மனநிறைவுதரும் வகையில் விளக்கியது; ஆனால் வேறொரு வகையில், ஒளியின் விளிம்புவளைவையும் குறுக்கீட்டையும் விளக்கும் ஒளியின் அலைநடத்தையுடன் துகட்டன்மை ஒத்துப்போகவில்லை. எனவே இந்த இக்கட்டை தீர்க்க இருக்கும் ஒரே வழி ஒளிக்கு துகள்போன்ற பண்பும் அலைபோன்ற பண்பும் உள்ளது எனக்கருதுவது; அதாவது, ஒளிக்கு இருமப்பண்பு உள்ளது. பரிசோதனையைப் பொறுத்து ஒளி அலைபோலவோ ஒரு துகளின் தாரைபோலவோ நடந்துகொள்கிறது. கதிர்வீச்சு

ஒரு பொருளுடன் இடைவினையாற்றும்போது துகளின் தன்மைகளை காட்டுகிறது; மாறாக, பரவுநடக்கும்போது (பரவிச்செல்லும்போது) விளிம்பு வளைவு, குறுக்கீடு போன்ற அலைப்பண்புகளை காட்டுகிறது. இந்த கருத்துரு அறிவியலர்கள் பொருளைப்பற்றியும் கதிர்வீச்சைப்பற்றியும் அதுவரை கொண்டிருந்த எண்ணங்களிலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்டதால், அது ஏற்கப்படுவதற்கு வெகுகாலம் ஆனது. எதிர்மின்னிகள்போன்ற சில நுண்டுகள்களும் இந்த அலைத்துகளிருமப்பண்பை காட்டுகின்றன. இதைப்பற்றி நீங்கள் பின்னர் காண்பீர்கள்.

சிக்கல் 2.6

$5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ அலைவெண்ணுள்ள ஒரு மோல் ஒளியங்களின் ஆற்றலை கணக்கிடுக.

தீர்வு

ஒரு ஒளியத்தின் ஆற்றல், $E = hv$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$v = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \quad [\text{கொடுக்கப்பட்டது}]$$

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})(5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}) \\ = 3.313 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ஒரு மோல் ஒளியங்களின் ஆற்றல் = ஒரு ஒளியத்தின் ஆற்றல் \times ஒரு மோலிலுள்ள ஒளியங்களின் எண்ணிக்கை.

$$= (3.313 \times 10^{-19} \text{ J}) \times (6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ = 199.51 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

சிக்கல் 2.7

நூறு வாட்டு திறனுள்ள ஒரு குழல் 400 nm அலைநீளமுள்ள ஒரு ஒற்றைநிற ஒளியை உமிழ்கிறது. குழல் ஒரு நொடியில் உமிழும் ஒளியங்களின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.

தீர்வு

$$\text{குழலின் திறன்} = 100 \text{ வாட்டு} = 100 \text{ J.s}^{-1}$$

$$\text{ஒரு ஒளியத்தின் ஆற்றல் } E = hv = hc/\lambda$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ = 4.969 \times 10^{-19} \text{ J}$$

வெளியிடப்படும் ஒளியங்களின் எண்ணிக்கை

$$= \frac{100 \text{ J.s}^{-1}}{4.969 \times 10^{-19} \text{ J}} = 2.012 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

சிக்கல் 2.6

300 nm அலைநீளமுள்ள ஒரு மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு சோடியுமாதையின் பரப்பில்

விழும்போது $1.68 \times 10^5 \text{ J.mol}^{-1}$ இயக்க வாற்றலுள்ள எதிர்மின்னிகளை சோடியும் உமிழ்கிறது. சோடியத்திலிருந்து ஒரு எதிர்மின்னியை நீக்கத்தேவையான மீச்சிறும் ஆற்றல் என்ன? எதிர்மின்னியை வெளியேற்றும் ஒளியின் மீப்பெரிய அலைநீளம் என்ன?

தீர்வு

300 nm அலைநீளமுள்ள ஒரு ஒளியத்தின் ஆற்றல்

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \\ = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{300 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ = 6.626 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ஒரு மோல் ஒளியங்களின் ஆற்றல்

$$= 6.626 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6.022 \times 10^{23} \\ = 3.99 \times 10^5 \text{ J.mol}^{-1}$$

சோடியத்திலிருந்து ஒரு மோல் எதிர்மின்னிகளை வெளியேற்ற தேவையான ஆற்றல்

$$= (3.99 - 1.68) \times 10^5 \text{ J.mol}^{-1} \\ = 2.31 \times 10^5 \text{ J.mol}^{-1}$$

எனவே ஒரு எதிர்மின்னியை வெளியேற்றத் தேவையான மீச்சிறும் ஆற்றல்

$$E = \frac{2.31 \times 10^5 \text{ J.mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 3.84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ = 517 \text{ nm}$$

இதற்குரிய அலை நீளம் = 517 nm . இது பச்சையொளியின் அலைநீளம்.

சிக்கல் 2.7

ஒரு மாழையின் நுழைமலைவெண் (v_0) $7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$. அலைவெண் $1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ உள்ள ஒரு கதிர்வீச்சு இந்த மாழையை தாக்கும்போது வெளிவரும் எதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றலை கணக்கிடுக.

தீர்வு

ஐன்சுடைனின் சமன்பாட்டின்படி,

$$\text{இயக்கவாற்றல்} = hv - hv_0 = \frac{1}{2} m_e v^2$$

இங்கு, m_e = எதிர்மின்னியின் நிறை.

$$h(v - v_0)$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} (1.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} - 7.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times (3.0 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})$$

$$= 1.988 \times 10^{-19} J$$

2.3.3 எதிர்மின்னியின் துணுக்கமிட்ட ஆற்றன்மட்டங்களுக்கான அத்தாட்சி: அணுநிறநிரல்

நிறநிரல்

ஒளியின் வேகம் அது கடந்து செல்லும் ஊடகத்தின் தன்மையைப்பொறுத்தது. எனவே ஒரு ஊடகத்திலிருந்து மற்றொரு ஊடகத்துக்கு கடந்துசெல்லும்போது, ஒளிக்கற்றை தான் செல்லும் தொடக்கப்பாதையிலிருந்து விலகிச்செல்கிறது. வெண்ணொளியின் ஒரு கதிர் பட்டகத்தினூடாக செல்லும்போது, குறைந்த அலைநீளமுள்ள அலை நீண்ட அலைநீளமுள்ள அலையைவிட அதிகமாக வளைகிறது. இயல்பான வெண்ணொளியில் காணுமாறு அலையின் அனைத்து அலைகளும் இருப்பதால், ஒரு வெண்கதிர் தொடர்ச்சியான பல்வேறு நிறப்பட்டைகளாக பிரிகிறது. இதன் பெயர் **நிறநிரல்**. எல்லாவற்றையும்விட நீண்ட அலைநீளமுள்ள சிவப்பொளி மிகக்குறைந்த அளவுக்கு விலகுகிறது; மீக்குறைந்த அலைநீளமுள்ள ஊதாவொளி அதிகமாக விலகுகிறது.

தொடர்ச்சிநிறநிரல்

வெண்ணொளியின் நிறநிரல்வீச்சு ஊதா நிறத்திலிருந்து ($7.50 \times 10^{14} Hz$) சிவப்புநிறம் வரையானது ($4 \times 10^{14} Hz$). இத்தகு நிறநிரலை ஒரு **தொடர்ச்சியான நிறநிரல்** என்கிறோம். ஊதா நீலத்துடனும், நீலம் பச்சையுடனும், என்றவாறு ஒரு நிறம் அதற்கடுத்த நிறத்தோடு ஒன்றிணைவதால் இது ஒரு தொடர்ச்சியான நிறநிரல் ஆகிறது. வானவில் தோன்றும்போது இதுபோன்ற ஒரு நிறநிரல் உருவாகிறது. மின்காந்தக்கதிர்வீச்சின் ஒரு சிறு பகுதியே காணுமும் ஒளி என்பதை நினைவில் கொள்க. (படம் 2.7). பொருள்களுடன் மின்காந்தக்கதிர் வீச்சு இடைவினையாற்றும்போது அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் ஆற்றலை உட்கவர்ந்து கிளர்ச்சியடைகின்றன. அதிக ஆற்றலுள்ள இந்த நிலைகள் நிலைப்பற்றவை ஆதலால், நிலைப்பான ஆற்றல்குறைந்த மட்டங்களுக்கு திரும்பும் அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் மின்காந்தநிறநிரலின் பல்வேறு வட்டாரங்களில் கதிர்வீச்சுகளை உமிழ்கின்றன.

உமிழ்வுநிறநிரல்

ஆற்றலை உட்கவர்ந்த ஒரு பொருள் உமிழும் கதிர்வீச்சின் நிறநிரலை ஒரு **உமிழ்வுநிறநிரல்** என்கிறோம். கதிர்வீச்சினை உட்கவர்ந்த அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் அயனிகளும் **கிளர்ச்சியடைந்ததாக** கூறுகிறோம். ஒரு உமிழ்வுநிறநிரலை உண்டாக்க, வெப்பத்தாலோ உமிழ்வுக்குத்தகுந்த அலைநீள

முள்ள (அலைவெண் ணுள்ள) கதிர்வீச்சாலோ பொருளுக்கு ஆற்றலை வழங்கி, உட்கவர்ந்த ஆற்றலை அது வெளியிடும்போது பதிவுசெய்கிறோம்.

உட்கவர்வுநிறநிரல்

கதிர்வீச்சின் தொடர்வத்தை ஒரு மாதிரிக் கூறின் வழி செலுத்தும்போது, மாதிரிக்கூறு சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களில் ஆற்றலை உட்கவர்கிறது. உட்கவரப்பட்ட அலைநீளங்கள் வெளிவரும் எஞ்சிய கதிர்வீச்சுத்தொடர்வத்தில் இருட்கோடுகளாக தோன்றுகின்றன. இப்பதிவே உட்கவர்வுநிறநிரல்.

ஒரு மாதிரிக்கூறின் உட்கவர்வுநிறநிரலும் உமிழ்வுநிறநிரலும் ஒன்றுக்கொன்று ஒளிப்பட எதிர்மங்களைப்போன்றவை.

நிறநிரலியல்

உமிழ்வுநிறநிரல்களையும் உட்கவர்வுநிறநிரல்களையும்பற்றிய இயலை **நிறநிரலியல்** என்கிறோம். காணுமாறு ஒளியில் சிவப்புக்கும் ஊதாவுக்கும் இடையிலான எல்லா அலைநீளங்களும் இருப்பதால் காணுமாறு ஒளியின் நிறநிரல் தொடர்ச்சியானது. இந்த தொடர்வத்தை பொருளின்மீது செலுத்தும்போது பொருள் குறிப்பிட்ட சில நிறப்பகுதிகளை மட்டும் உட்கவர்கிறது. வெளிவரும் எஞ்சிய கதிர்வீச்சில் பொருள் உட்கவர்ந்த அலைநீளத்துக்கு நிகரான அலைநீளங்கள் இல்லாததால் ஒளிர்வான தொடர்ச்சியான நிறநிரலில் கறுப்புக்கோடுகள் தோன்றுகின்றன.

வரிநிறநிரல்கள்

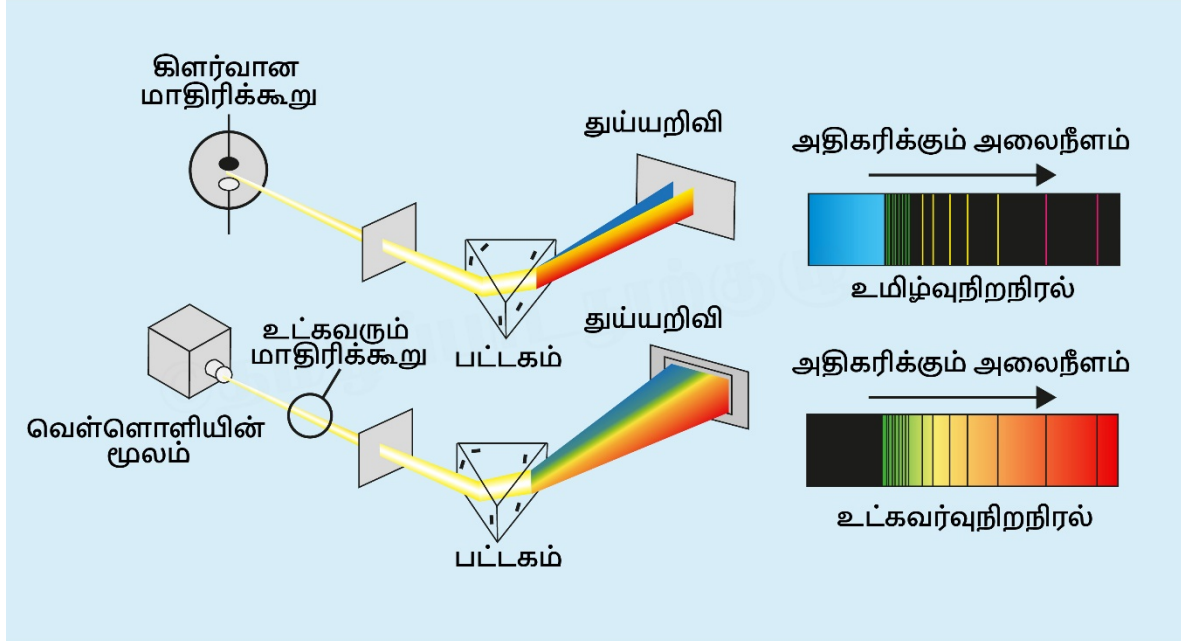
ஒரு பொருளின் உட்கவர்வுநிறநிரலும் உமிழ்வுநிறநிரலும் ஒன்றுக்கொன்று ஒளிப்பட எதிர்மங்கள்போன்றவை. பொருள்கள் குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களில் மட்டும் ஒளியை உமிழ்கின்றன. உமிழ்வுநிறநிறப்பதிவில் இந்த அலைநீளங்கள் ஒளிர்கோடுகளாகவும் இடைப்பட்ட வெளிகள் கருப்பாகவும் தோன்றுகின்றன. இவ்வாறான நிறநிரல்களை **வரிநிறநிரல்கள்** என்றோ அணுநிறநிரல்கள் என்றோ அழைக்கிறோம். உமிழப்பட்ட கதிர்வீச்சை அதன் நிறநிரலில் தோன்றும் கோடுகளால் (வரிகளால்) அடையாளங் காண்கிறோம். (படம் 2.10).

அணுக்கட்டமைப்பின் ஆய்ந்தறிதலில் வரியுமிழ்வுநிறநிரல்கள் மிகமுக்கியமான பங்கை ஆற்றுகின்றன. ஒவ்வொரு தனிமத்துக்கும் ஒரு ஒருத்துவமான வரிநிறநிரல் உள்ளது. விரல் வரிகளைப்பயன்படுத்தி மக்களை அடையாளங்காண்பதைப்போல், அணுநிறநிரலின் வரிகளை வேதியியல்பகுப்பாய்வில் பயன்படுத்தி அணுக்களை அடையாளங் காணலாம். அடையாளம் தெரியாத ஒரு அணுவின் நிறநிரலிலுள்ள கோடுகளை தெரிந்த அணுக்களின் நிறநிறக்கோடுகளுடன் பொருத்திப்பார்த்து தெரியாத அணுவை விரைவாக

அடையாளங்காணலாம். தனிமங்களை அடையாளங்காண வரிநிறநிரல்களை பயன்படுத்திய ஆராய்சியர்களுள் செருமானிய வேதியியலரான இராபட்டு புன்சன் ஒரு முன்னோடி.

உருபிடியம் (*Rb*), சீசியம் (*Cs*), தாலியம் (*Tl*), காண்டியம் (*Sc*), முதலிய தனிமங்கள் அவற்றின்

தாதுக்களை நிறநிரலிய முறைகளால் அலசியபோது கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. கதிரவனில் ஈலியம் (*He*) இருப்பதையும் இம்முறையிலே கண்டறிந்தனர்.



படம் 2.10 (இடம்) அணுவமிழ்வு: கிளர்ச்சியடைந்த ஐதரசனின் (வேறு தனிமத்தின்) அணுக்கள் உமிழ்ந்த ஒளி ஒரு பட்டகத்தின் வழியாக ஊடுருவும்போது, அவை உதிரியான சில அலைநீளங்களாக பிரிகின்றன. இவ்வாறான ஒரு உமிழ்வுநிறநிரலை (பிரிக்கப்பட்ட அலைநீளங்களின் ஒளிப்படப்பதிவை) வரிநிறநிரல் என அழைக்கிறோம். குறிப்பிடத்தக்க அளவுள்ள எந்தவொரு பொருளிலும் மிகப்பெரிய எண்ணிக்கையான அணுக்கள் உள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு அணு ஏதேனும் ஒரு கிளர்ச்சிநிலையில் மட்டுமே இருக்கவியலும். எனினும், அனைத்து அணுக்களும் தத்தமது வெவ்வேறு கிளர்ச்சிநிலைகளிலிருந்து குறைந்த ஆற்றலுள்ள நிலைகளுக்கு கீழிறங்கும்போது ஒரு நிறநிரல் உருவாகிறது. (வலம்) அணுவட்கவர்வு: கிளர்ச்சியடையாத ஐதரசவணுக்களினூடாக ஒரு வெண்ணொளியை செலுத்தி, பின்னர் ஒரு கீற்றுத்துளையின்வழியும் பட்டகத்தின்வழியும் செலுத்தும்போது வெளியேறும் ஒளியில் (அ)வில் உமிழப்பட்ட அதே அலைநீளங்களின் உரப்பு குறைகிறது. இவ்வாறு பதிந்த உட்கவர்வுநிறநிரல் உமிழ்வுநிறநிரலின் ஒளிப்படவெதிர்மம்.

ஐதரசனின் வரிநிறநிரல்

வளிம ஐதரசனின்வழி ஒரு மின்னிறக்கத்தை செலுத்தும்போது ஐதரசனின் மூலக்கூறுகள் பிரிகையுறுகின்றன. மேலும் மிகையான மின்னாற்றலால் கிளர்ச்சியுற்று உதிரி அதிர்வெண்களுள்ள மின்காந்தக்கதிர்வீச்சை உமிழ்கின்றன. ஐதரசனின் நிறநிரலிலுள்ள அநேக வரித்தொடர்களை அவற்றின் கண்டுபிடிப்பாளர்களின் பெயர்களால் அழைக்கிறோம். பாமர் 1885இல் நிறநிரலின் வரிகளை அலையெண்களால் குறிப்பிட்டபோது ஐதரசனின் காணுறு நிறநிரல் கீழ்க்காணும் வாய்ப்பாட்டுக்கு உட்படுவதாக பரிசோதனைக் கண்டறிதல்களால் காட்டினார்.

$$\bar{\nu} = 109\,677 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{cm}^{-1} \quad (2.8)$$

இங்கு, n ஒரு முழுவெண்; $n = 3, 4, 5, 6, 7, \dots$

மேற்காணும் வாய்ப்பாடுகள் தரும் கோட்டுத்தொடர்களை பாமரின் தொடர் என்கிறோம். இக்கோட்டுத்தொடர்கள் மட்டுமே ஐதரசநிறநிரலின் காணுறுவட்டாரத்தில் தோன்றுகின்றன. சுவீடனைச்சேர்ந்த நிறநிரலியலரான இயோகானசு இரிடுபெர்கு ஐதரசனின் நிறநிரலின் எல்லாக்கோட்டுத்தொடர்களையும் கீழ்க்காணும் பொதுச்சமன்பாடு (சமன்பாடு 2.9) விவரிப்பதாக கண்டார்.

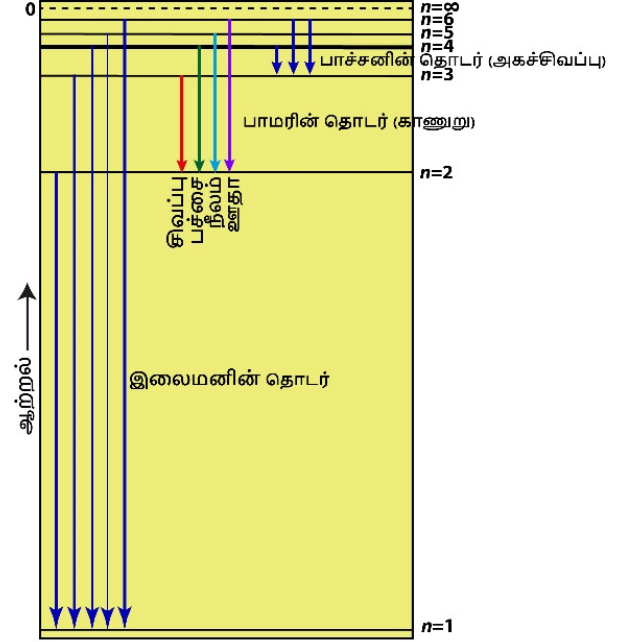
$$\bar{\nu} = 109\,677 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{cm}^{-1} \quad (2.9)$$

இங்கு $n_1 = 1, 2, 3, \dots$; $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3, \dots$

(2.9)ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள $109,677 \text{ cm}^{-1}$ எனும் மதிப்பை ஐதரசனின் இரிடுபெர்சு மாறிலி என அழைக்கிறோம். $n_1 = 1, 2, 3, 4, 5$ என்ற மதிப்புக்குரிய முதல் ஐந்து கோட்டுத் தொடர்களை முறையே இலைமன், பாமர், பாச்சன், பிராக்கெட்டு, பண்டு தொடர்கள் என்று அழைக்கிறோம். ஐதரசனின் நிறநிரலில் காணப்படும் இந்த நிலைமாற்றத் தொடர்களை அட்டவணை 2.3 காட்டுகிறது. படம் 2.11 மேற்கண்ட தொடர்களில் இலைமன், பாமர், பாச்சன் ஆகிய தொடர்களுக்கான நிலைமாற்றங்களை காட்டுகிறது. மற்ற எல்லாத்தனிமங்களையும்விட ஐதரசவணுவுக்கு மீயெளிய வரிநிற நிரல் உள்ளது. ஐதரசனைவிட கனமான அணுக்களின் வரிநிறநிரல்கள் அதிக உட்சிக்கலானவை.

அட்டவணை 2.3 ஐதரசவணுவின் நிறநிரற்கோடுகள்

தொடர்கள்	n_1	n_2	நிறநிரலின் வட்டாரம்
இலைமன்	1	2, 3, 4, 5 ...	புறவூதா
பாமர்	2	3, 4, 5, 6 ...	காணுறு
பாச்சன்	3	4, 5, 6, 7 ...	அகச்சிவப்பு
பிராகெட்டு	4	5, 6, 7, 8 ...	அகச்சிவப்பு
பண்டு	5	6, 7, 8, 9 ...	அகச்சிவப்பு



படம் 2.11 ஐதரசவணுவில் எதிர்மின்னியின் நிலைமாற்றங்கள்: (படம் இலைமன், பாமர், பாச்சன் ஆகிய நிலைமாற்றத்தொடர்களை காட்டுகிறது).

ஆயினும் எல்லா வரிநிறநிரல்களுக்கும் பொதுவான சில பண்புகூறுகள் உள்ளன.

1. ஒரு தனிமத்தின் வரிநிறநிரல் ஒருத்துவமானது.
2. ஒவ்வொரு தனிமத்தின் வரிநிறநிரலிலும் ஒரு ஒழுங்குமை உள்ளது.

இப்போது சில கேள்விகள் எழுகின்றன. இவ்வொற்றுமைகளுக்கான காரணங்கள் யாவை? அணுக்களின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்புக்கும் இதற்கும் தொடர்புண்டா? இந்தக் கேள்விகளுக்கான விடைகள் இந்த தனிமங்களின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்பை புரிந்து கொள்ளத்தேவையான முக்கியத்தகவல்களை தருகின்றன என்று நாம் பின்னர் காண்போம்.

2.4 ஐதரசவணுவுக்கான போரின் ஒப்புரு

நீல்சு போர் (1913) முதன்முதலில் ஐதரசவணுவின் கட்டமைப்பைப்பற்றியும் அதன் நிறநிரலின் பொதுவான பண்புகூறுகளைப்பற்றியும் அளவியமாக விளக்கினார். பிளாங்கின் துணுக்கமிட்ட ஆற்றல் என்ற கருத்துருவை பயன்படுத்தினார். இக்கோட்பாடு இக்காலத்துணுக்கவியல் அன்று எனினும், அணுக்கட்டமைப்பிலும் நிறநிரல்களிலுமுள்ள பல கருத்துக்களை காரணத்துவமாக்க இதனை பயன்படுத்தலாம். போரின் ஐதரசவணுவுக்கான

ஒப்புரு கீழ்க்காணும் உரைகோள்களின் அடிப்படையிலானது.

1. ஐதரசவணுவிலுள்ள எதிர்மின்னி அணுக்கருவைச் சுற்றி குறிப்பிட்ட ஆற்றலும் ஆரமும் உள்ள ஒரு வட்டப்பாதையில் சுற்றலாம். அணுக்கருவைச் சுற்றி மையமொன்றிய இவற்றை **சுற்றுப்பாதைகள்**, கிடப்புநிலைகள், ஆற்றலின் அனுமதித்த நிலை (ஆற்றலிலை)கள் என்ற பெயர்களாலும் அழைக்கிறோம்..
2. ஒரு சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எதிர்மின்னி யாற்றல் நேரத்தைப்பொருத்து மாறுவதில்லை. ஆயினும் ஒரு எதிர்மின்னி தேவையான ஆற்றலை உட்கவர்ந்து ஆற்றல் குறைந்த கீழ்மட்டக்கிடப்பு நிலையிலிருந்து ஆற்றன்மிகுந்த உயர்மட்ட நிலைக்கு நிலைமாறலாம். மிகையான ஆற்றலை வெளியிட்டு உயர்மட்டக்கிடப்பு நிலையிலிருந்து தாழ்மட்டக்கிடப்புநிலைக்கு திரும்பலாம் (சமன்பாடு 2.16). இந்த ஆற்றலின் மாற்றம் ஒரு தொடர்ச்சியான அளவில் நிகழ்வதில்லை.

கோணவுந்தம்

ஒரு பொருளின் நிறையையும் (m), நேரியத்திசைவேகத்தையும் (v) பெருக்கி அதன் நேரியவுந்தத்தை பெறுவதைப்போல, அதன் கோணநிறையையும் கோணத்திசைவேகத்தையும் பெருக்கி அதன் கோணவுந்தத்தை பெறுகிறோம். ஒரு எதிர்மின்னியின் நிறை, m_e எனவும், அது அணுக்கருவைச் சுற்றி r ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில் சுற்றுவதாகவும் கொண்டால், அதன் கோணவுந்தம் $= I \times \omega$; இங்கு, I கோணநிறை, ω கோணத்திசைவேகம். மேலும்,

$$I = m_e \times r^2; \quad \omega = v/r.$$

இங்கு, v நேரியத்திசைவேகம்.

$$\text{கோணவுந்தம்} = (m_e \times r^2) (v/r) = m_e vr$$

3. ΔE எனும் ஆற்றல்வேறுபாடுள்ள இரண்டு கிடப்புநிலைகளுக்கிடையில் நிலைமாற்றம் நிகழும்போது அணு உட்கவர்வதோ உமிழ்வதோவான கதிர்வீச்சின் அலைவெண்ணை (ν), கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தருகிறது.

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (2.10)$$

இங்கு, E_1 கீழ்மட்டக்கிடப்புநிலையின் ஆற்றல், E_2 மேன்மட்டக்கிடப்புநிலையின் ஆற்றல், h பிளாங்கின் மாறிலி; ν கதிர்வீச்சின் அலைவெண். இக்கோவை பொதுவாக போரின் அலைவெண்விதி எனப்படுகிறது.

4. ஒரு எதிர்மின்னியின் கோணவுந்தம் துணுக்க மானது. ஒரு குறிப்பிட்ட கிடப்புநிலையில், அதை கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் விவரிக்கலாம்.

$$m_e vr = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.11)$$

இங்கு, m_e = எதிர்மின்னியின் நிறை, v அதன் நேரியத்திசைவேகம், r எதிர்மின்னி நகரும் வட்டப்பாதையின் ஆரம்; n இயலெண்.

இவ்வாறு, கோணவுந்தத்தின் அளவு $\left(\frac{h}{2\pi}\right)$ இன் முழுவெண்பெருக்கலாகவுள்ள சுற்றுப்பாதைகளில் மட்டுமே ஒரு எதிர்மின்னி நகரவியலும். இதுவே கோணவுந்தம் துணுக்கமானது என்பதன் பொருள். எதிர்மின்னி கோணவுந்தத்தின் ஒரு துணுக்கமதிப்பிலிருந்து மற்றொரு மதிப்புக்கு நிலைமாறும்போது கதிர்வீச்சோ உட்கவர்வோ ஏற்படுகிறது. எனவே, மேக்குவலின் மின்காந்தக் கோட்பாடு இதற்குப்பொருந்தாது; சில குறிப்பிட்ட சுற்றுப்பாதைகள் மட்டுமே இருக்கின்றன.

போர் பயன்படுத்திய கிடப்புநிலைகளின் ஆற்றல்களை வருவிக்கும் மிகச்சிக்கலான விவரங்களை நீங்கள் மேல்வகுப்புகளில் படிப்பீர்கள். எனினும், ஐதரசவணுவக்கான போரின் கோட்பாட்டின் படி,

(i) எதிர்மின்னிக்கான கிடப்புநிலைகளை $n = 1, 2, 3, \dots$ என்று எண்ணுகிறோம். இந்த முழுவெண்களை (2.6.2ஆம் பகுதி) முதன்மைத் துணுக்கவெண்கள் என அழைக்கிறோம்.

(ii) கிடப்புநிலைகளின் ஆரங்களை

$$r_n = n^2 a_0 \quad (2.12)$$

என்ற சமன்பாடு தருகிறது. இங்கு, $a_0 = 52.9 \text{ pm}$. இதுவே முதல் கிடப்புநிலையான ($n = 1$) போரின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம். பொதுவாக, ஐதரசவணுவிலுள்ள எதிர்மின்னி இச்சுற்றுப்பாதையிலே காணப்படுகிறது. n இன் மதிப்பு உயர, r இன் மதிப்பும் அதிகரிக்கிறது. அதாவது, எதிர்மின்னி அணுக்கருவிலிருந்து அதிகத்தொலைவில் இருக்கிறது.

(iii) எதிர்மின்னியின் மிக முக்கியமான பண்பு அதன் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் (E_n). அதன் மதிப்பை சமன்பாடு 2.13 தருகிறது.

$$E_n = R_H \left(\frac{1}{n^2} \right), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.13)$$

இங்கு, $R_H = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$. இது இரிடுபெர்கு மாறிலி. மீச்சிறும் ஆற்றலுள்ள நிலையை ($n = 1$) தரைநிலை என்று அழைக்கிறோம். (2.13) ஆம் சமன்பாடு இதன் ஆற்றலை தருகிறது.

$$E_1 = (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \cdot \left(\frac{1}{1^2} \right) = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

இரண்டாவது கிடப்புநிலையின் ($n = 2$) ஆற்றல்

$$E_2 = -2.18 \times 10^{-18} J \left(\frac{1}{2^2} \right) = -0.545 \times 10^{-18} J$$

படம் 2.11 ஐதரசவணுவின் பல்வேறு கிடப்புநிலைகளின் ஆற்றல்களை (பல்வேறு ஆற்றன்மட்டங்களை) வரைவிளக்குகிறது. இக்குறிப்பீட்டை ஒரு ஆற்றன்மட்டப்படவரைவு என்கிறோம்.

எதிர்மின்னி அணுக்கருவின் கட்டுப்பாட்டிலிருந்து விடுபட்ட நிலையிலிருக்கும்போது, அதன் ஆற்றல் சுழியம். இச்சூழலில் எதிர்மின்னி இருக்கும் கிடப்புநிலையின் முதன்மைத் துணுக்கவெண் முடிவிலி ($n = \infty$). இந்நிலையில் ஐதரசவணு நேர்மின்னியாகிறது. எதிர்மின்னி அணுக்கருவால் கவரப்பட்டு முதன்மைத் துணுக்கவெண் n உள்ள சுற்றுப்பாதைக்கு வரும்போது ஆற்றல் வெளியிடப்பட்டு மதிப்பு குறைகிறது. (2.13)ஆம் சமன்பாட்டில் எதிர்மக்குறி உள்ளதன் காரணம் இதுவே. இது ($n = \infty$; $E_n = 0$) என்ற நிலையைவிட மற்ற நிலைகள் நிலைப்புள்ளவை என்று காட்டுகிறது.

நீல்சு போர் (1885-1962)

தென்மார்க்கைச்சேர்ந்த இயற்பியலரான நீல்சு போர் தனது முனைவர்ப்பட்டத்தை கோபன்கேகன் பல்கலைக்கழகத்திலிருந்து 1911இல் பெற்றார். பின்னர் தாமிசனூடனும், எர்னசு இரதர்போடுடனும் இங்கிலாந்தில் ஒரு வருடம் செலவழித்தார். 1913இல் கோபன்கேகனுக்கு திரும்பிய அவர் தனது வாழ்க்கையின் மீதிக்காலத்தை அங்கே கழித்தார். கோட்பாட்டியலுக்கான இயற்பிய நிறுவனத்தின் இயக்குனராக உயர்ந்தார். முதலாம் உலகப்போருக்குப்பின் அணுவாற்றலின் அமைதிப்பயன்பாட்டுக்காக முனைப்புடன் உழைத்தார். "அமைதிக்காக அணுக்கள்" என்ற விருதினை 1957இல் இவரே முதலில் பெற்றார். இயற்பியலுக்கான நோபற்பரிசை 1922ஆம் ஆண்டில் பெற்றார்.

iv) ஐதரசனில் இருப்பதுபோன்று ஒரே எதிர்மின்னியுள்ள அயனிகளிலும் போரின் கோட்பாடு பயனாகிறது. சான்றாக, He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} போன்ற அயனிகளிலுள்ள (இவை ஐதரசன் போன்ற வேதியியினங்கள்) கிடப்புநிலைகளின் ஆற்றல்களை கீழ்க்காணும் கோவை தருகிறது.

$$E_n = -2.18 \times 10^{-18} \left(\frac{Z^2}{n^2} \right) J \quad (2.14)$$

ஆரங்களை (r_n) தரும் கோவை

$$r_n = \frac{52.9(n^2)}{Z} pm \quad (2.15)$$

இங்கு, $Z =$ அணுவெண்; அதன் மதிப்பு He^+ , Li^{2+} அயனிகளுக்கு முறையே 2உம் 3உம்.

இச்சமன்பாடுகளின்படி, Z உயரும்போது ஆரத்தின் மதிப்பு குறைந்து, ஆற்றல் அதிக எதிர்மமாகிறது. இதற்கு அணுக்கருவின் எதிர்மின்னி இறுகப்பிணைவுறுகிறது என்று பொருள்.

v) சுற்றுப்பாதைகளில் நகரும் எதிர்மின்னிகளின் திசைவேகங்களையும் கணக்கிடலாம். இதற்கான துல்லியமான சமன்பாட்டினை இங்கு தராவிடினும், பண்பியமாக, அணுக்கருவின் நேர்ம மின்மம் அதிகரிக்கும்போது திசைவேகத்தின் பருமனளவும் அதிகரிக்கிறது. முதன்மைத் துணுக்கவெண் அதிகரிக்கும்போது இவ்வேகம் குறைகிறது.

ஐதரசவணுவின் எதிர்மின்னியாற்றல் (E_n) எதிர்மமாயிருப்பதன் பொருள்

ஒரு ஐதரசவணுவிலுள்ள எல்லா சாத்தியமான சுற்றுப்பாதைகளிலும், எதிர்மின்னியாற்றலுக்கு எதிர்மக்குறி உள்ளது. (சமன்பாடு 2.13). இந்த எதிர்மக்குறி சொல்வது என்ன? ஓய்விலிருக்கும் (நகராமல் நிலையாயிருக்கும்) கட்டுறாத எதிர்மின்னியின் ஆற்றலைவிட அணுவிலுள்ள எதிர்மின்னியின் ஆற்றல் குறைவு என்று இது சொல்கிறது. கட்டற்ற ஓய்வுநிலையெதிர்மின்னி அணுக்கருவிலிருந்து முடிவிலித் தொலைவில் உள்ளது. அதன் ஆற்றல் சுழியம். கணிதமுறையில் இதை $n = \infty$ என்று குறிக்கிறோம். எதிர்மின்னி அணுக்கருவின் அருகில் வரும்போது (n குறைவதால்) E_n இன் மட்டுமதிப்பு அதிகமாகி மேலும் எதிர்மமாகிறது. $n = 1$ எனும் போரின் சுற்றுப்பாதைக்கு மீப்பெரும எதிர்ம ஆற்றன்மதிப்பு கிடைக்கிறது. அதாவது மிகக்குறைந்த ஆற்றலுள்ள இது மீப்பெரும நிலைப்பானது. இதை தரைநிலை என்கிறோம்.

2.4.1 ஐதரசனின் வரிநிறநிரலுக்கான விளக்கம்

ஐதரசவணுவைப்பொறுத்தமட்டில், 2.3.3ஆம் பகுதியில் குறிப்பிட்டபடி, ஐதரசனின் வரிநிற நிரலை போரின் ஒப்புருவைப்பயன்படுத்தி அளவியமாக விளக்கலாம். எடுகோள் 2இன் படி, சிறிய துணுக்கவெண்ணுள்ள சுற்றுப்பாதையிலிருந்து பெரிய துணுக்கவெண்ணுள்ள பாதைக்கு நிலைமாறும்போது கதிர்வீச்சை ஐதரசன் உட்கொள்கிறது. இதன் மறுபக்கமாக, எதிர்மின்னி உயராற்றலுள்ள சுற்றுப்பாதையிலிருந்து குறைவாற்றலுள்ள சுற்றுப்பாதைக்கு நிலைமாறும்போது கதிர்வீச்சாற்றலை உமிழ்கிறது. இரண்டு சுற்றுப் பாதைகளுக்கிடையான ஆற்றலிடைவெளியை

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (2.16)$$

என்ற சமன்பாடு தருகிறது. சமன்பாடுகள் (2.13)ஐயும் (2.16)ஐயும் சேர்த்து,

$$\Delta E = \left(-\frac{R_H}{n_f^2}\right) - \left(-\frac{R_H}{n_i^2}\right)$$

என்பதை பெறுகிறோம்; இங்கு, n_i , n_f ஆகியவை முறையே தொடக்கச்சுற்றுப்பாதைகளையும் இறுதிச்சுற்றுப்பாதைகளையும் குறிக்கின்றன.

$$\begin{aligned} \Delta E &= R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \\ &= 2.18 \times 10^{-18} J \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \end{aligned} \quad (2.17)$$

அலைவெண்ணின்வழியான (ν) சமன்பாடு

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\Delta E}{h} = \frac{R_H}{h} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \\ &= \frac{2.18 \times 10^{-18} J}{6.626 \times 10^{-34} J s} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$= 3.29 \times 10^{15} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) Hz \quad (2.19)$$

அலையெண்ணின்வழியான ($\bar{\nu}$) சமன்பாடு

$$\begin{aligned} \bar{\nu} &= \frac{\nu}{c} = \frac{R_H}{hc} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \quad (2.20) \\ &= \frac{(3.29 \times 10^{15} s^{-1})}{3 \times 10^8 m s^{-1}} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = \\ &= 1.09677 \times 10^7 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

உட்கவர்வுநிறநிரலியலில், $n_f > n_i$; அடைப்பிலுள்ள உருபு நேர்மமானது; எனவே ஆற்றல் உட்கவர்ப்படுகிறது. உமிழ்வுநிறநிரலியலில், $n_i > n_f$; எனவே ΔE இன் குறி எதிர்மம்; ஆற்றல் உமிழப்படுகிறது.

(2.13)ஆம் சமன்பாடு இரிடுபெர்கு பயன்படுத்திய (2.9)ஆம் சமன்பாட்டை ஒத்திருக்கிறது. (2.9)ஆம் சமன்பாட்டை அப்போது கிடைத்த சோதனைவழித்தரவுகளிலிருந்து வருவித்தனர். ஐதரசனின் உமிழ்வுவிலும் உட்கவர்விலும் ஒவ்வொரு வரியும் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைமாற்றத்துடன் தொடர்பானது. மிக அதிகமான ஐதரசவணுக்களுள் தொகுதியில் பல்வேறு நிலைமாற்றங்களுக்கான சாத்தியக்கூறுகள் உள்ளதால் பல நிறநிரற் கோடுகள் உண்டாகின்றன. நிறநிரற்கோட்டின் உரப்பு உமிழ்வுக்கோ உட்கவர்வுக்கோ உட்படும் ஒரே அலைநீளமுள்ள (ஒரே அலைவெண்ணுள்ள) ஒளியங்களின் எண்ணிக்கையைப்பொறுத்தது.

சிக்கல் 2.10

ஒரு ஐதரசவணுவின் $n = 5$ நிலையிலிருந்து $n = 2$ நிலைக்கு நிலைமாற்றம் நிகழும்போது, உமிழப்படும் ஒளியத்தின் அலைவெண் என்ன?

தீர்வு

$$n_i = 5; n_f = 2.$$

(2.17)ஆம் சமன்பாட்டின்படி,

$$\begin{aligned} \Delta E &= R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \\ \Delta E &= 2.18 \times 10^{-18} J \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2}\right) \\ &= -4.58 \times 10^{-19} J \end{aligned}$$

இது ஒரு உமிழ்வு (ஆற்றல் எதிர்மக்குறி).

ஒளியத்தின் அலைவெண்ணை கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தருகிறது:

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\Delta E}{h} = \frac{4.58 \times 10^{-19} J}{6.626 \times 10^{-34} J s} \\ &= 6.91 \times 10^{14} Hz \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^8 m s^{-1}}{6.91 \times 10^{14} Hz} \\ &= 434 nm; (1 Hz = 1 s^{-1}) \end{aligned}$$

இந்த நிலைமாற்றம் காணுறுவட்டாரத்திலுள்ள பாமரின் தொடரில் ஒரு வரியை தருகிறது.

சிக்கல் 2.8

He^+ அயனியின் முதல் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றலை கணக்கிடுக. சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் என்ன?

தீர்வு

$$E_n = \frac{(-2.18 \times 10^{-18} J) Z^2}{n^2}$$

ஈலியவயனிக்கு, $n = 1$; $Z = 2$ என்பதால்

$$E_1 = (-2.18 \times 10^{-18} J) \cdot (2^2) = -8.72 \times 10^{-18} J$$

(2.15)ஆம் சமன்பாடு முதல் சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்தைத் தருகிறது.

$$r_n = \frac{52.9 n^2}{Z} pm$$

He^+ அயனிக்கு, $n = 1$; $Z = 2$

$$r_1 = \frac{(0.0529 nm) \cdot 1^2}{2} = 0.02645 nm$$

2.4.2 போரொப்புருவின் குறைபாடுகள்

ஐதரசனிலும் ஐதரசன்போன்ற அயனிகளிலும் (He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} அயனிகள்போன்ற ஒற்றையெதிர் மின்னியுள்ளவை) நிலைப்பை

யும் வரிநிறநிரல்களையும் காரணவழியாக விளக்கியதால், போரின் அணுவொப்புரு இரதர்போடின் அணுக்கரு வொப்புருவைவிட மேம்பட்டது என்பதில் ஐயமில்லை. எனினும், போரின் ஒப்புரு கீழ்க்காணும் உண்மைகளை காரணங்களுடன் விளக்கவில்லை.

1. நிறநிரலியலின் உயர்பகுதிறனான நுட்பங்களால் பெற்ற ஐதரசநிறநிரலில் ஒவ்வொரு வரியும் அருகருகே நெருக்கமாக காணப்படும் இரண்டு வரிகளால் ஆனது என்பது தெரியவருகிறது. இந்த நுணுக்கமான விவரங்களை போரொப்புரு விளக்கவில்லை. ஐதரசனல்லாத மற்ற அணுக்களின் (சான்றாக, இரண்டு எதிர்மின்னிகளுள்ள ஈலியத்தின்) நிறநிரல்களையும் இவ்வொப்புருவால் விளக்க இயலவில்லை. மேலும், ஒரு காந்தப்புலத்தில் நிறநிறற்கோடுகளின் பன்மைப்பிரிதலையும் (ஈமானின் விளைவு) விளக்கவியலவில்லை.

2. அணுக்கள் ஒன்றுசேர்ந்து மூலக்கூறுகளை உருவாக்கும் இயன்மையையும் இவ்வொப்புரு விளக்கவில்லை. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், மேற்கூறிய கருத்துக்களை கணக்கிட்டுக்கும்போது சிக்கலான அணுக்களின் குறிப்பிடத்தக்க பண்புகூறுகளை விளக்க வேறொரு மேம்பட்ட கோட்பாடு தேவையாகிறது

2.5 அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவை நோக்கி

போரின் ஒப்புருவிலுள்ள குறைபாடுகளின் காரணமாக, அணுக்களுக்கான பொதுவானதும் அதிகப்பொருத்தமானதுமான ஒப்புருவை வளராக்க அறிவியலர்கள் முயற்சிகளை மேற்கொண்டனர். இத்தகு ஒப்புருவை முன்வைக்க இரண்டு முக்கிய வளராக்கங்கள் பெருமளவில் பங்காற்றின. அவை:

1. பொருள்களின் இருமநடத்தை
2. ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக் கொள்கை

2.5.1 பொருள்களின் இருமநடத்தை

பிரான்சுநாட்டின் இயற்பியலரான தி பிராகிளி 1924இல் எந்தவொரு பொருளும் கதிர்வீச்சைப் போலவே துகள், அலை ஆகிய இரண்டு பண்புகளுமுள்ள இருமை நடத்தையை காட்டுகின்றன என்று முன்மொழிந்தார். அதாவது, ஒரு ஒளியத்துக்கு அலைநீளமும் உந்தமும் இருப்பதுபோல் எதிர்மின்னிகளுக்கும் உந்தமும் அலைநீளமும் இருக்கவேண்டும். இதிலிருந்து தி பிராகிளி ஒரு பொருண்மத்தின் அலைநீளத்துக்கும் (λ) உந்தத்துக்குமான (p) ஒரு சமன்பாட்டை தந்தார்.

அச்சமன்பாடு

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (2.22)$$

என்பது. இங்கு, m துகளின் நிறையையும் v அதன் திசைவேகத்தையும் p அதன் உந்தத்தையும், h பிராகிளின் மாறிலியையும் குறிக்கின்றன.

அலைகளின் சிறப்புப்பண்பான விளிம்புவளைவு எனும் தோற்றப்பாட்டினை ஒரு எதிர்மின்னியின் கற்றையும் காட்டுமென தி பிராகிளி முன்மொழிந்தார். இதனை அறிவியலர்கள் பரிசோதனைவழி நிச்சயித்தனர். ஒரு இயல்பான நுண்ணோக்கி எவ்வாறு ஒளியின் அலைத் தன்மையை பயன்படுத்துகிறதோ அதைப்போல் எதிர்மின்னியின் அலைத் தன்மையை பயன்படுத்தும் ஒரு எதிர்மின்னி நுண்ணோக்கியை வடிவமைத்தார். 15 இருமடியாயிரம் மடங்கு உருப்பெருக்கத்தை தரும் ஒரு எதிர்மின்னிநுண்ணோக்கி புதுக்கால அடிப்படை ஆராய்ச்சியில் அதிமுக்கியமான கருவி. தி பிராகிளியின் கூற்றுப்படி, நகரும் ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் அலைப்பண்பு உள்ளது. இவற்றின் நிறைகள் அதிகமானால் அலைநீளங்கள் மிகச்சிறியவை. எனவே இவற்றை துய்யறியவியலாது. ஆனால் மிகச்சிறிய நிறையுள்ள எதிர்மின்னிகளிலும் அணுவுட்டுகளிலும் பரிசோதனைகளால் அலைநீளங்களை துய்யறியலாம். கீழ்க்காணும் சிக்கல்களின் விடைகள்மூலம் மேற்கூறிய கருத்துகளை நாம் விளக்கலாம்.

இலூயி தி பிராகிளி (1892-1987)

பிரான்சுநாட்டின் இயற்பியலரான இலூயி தி பிராகிளி 1910களின் தொடக்கத்தில் தனது இளநிலைப்பட்டப்படிப்பில் வரலாற்றை படித்தார். முதலாம் உலகப்போரில் அவருக்கு வானலைமூலம் தொலைத்தொடர்புகொள்ளும் கடமை தரப்பட்டது. இதன் விளைவாக அவரது ஆர்வம் அறிவியலின்பால் திரும்பியது. தனது முனைவரப்பட்டத்தை பாரிசுப்பல் கலைக்கழகத்திலிருந்து 1924இல் பெற்றார். பாரிசுப்பல்கலைக்கழகத்தில் கோட்பாட்டியற்பியற்றுறையில் பேராசிரியராக சேர்ந்து 1932 முதல் தனது ஓய்வுக்காலமான 1962வரை பணியாற்றினார். 1929இல் இயற்பியலுக்கான நோபல் பரிசை பெற்றார்.

சிக்கல் 2.12

0.1 kg நிறையுள்ள ஒரு பந்து 10 m.s^{-1} வேகத்தில் நகர்கிறது. அதன் அலைநீளம் என்ன?

தீர்வு

தி பிராகிளியின் சமன்பாட்டின்படி,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{(0.1 \text{ kg})(10 \text{ m.s}^{-1})} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m}$$

ஏனெனில் $J = \text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}$

சிக்கல் 2.9

$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ நிறையுள்ள ஒரு எதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றல் $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$. அதன் அலைநீளத்தை கணக்கிடுக.

தீர்வு

இயக்கவாற்றல் = இ = $\frac{1}{2}mv^2$ என்பதால்,

$$v = \left(\frac{2\text{இ}}{m}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \times 3.0 \times 10^{-25} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}\right)^{\frac{1}{2}} = 812 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(812 \text{ m s}^{-1})} = 8967 \times 10^{-10} \text{ m} = 896.7 \text{ nm}$$

சிக்கல் 2.10

3.6 \AA அலைநீளமுள்ள ஒரு ஒளியத்தின் நிறையை கணக்கிடுக.

தீர்வு

$$\lambda = 3.6 \text{ \AA} = 3.6 \times 10^{-10} \text{ m}$$

ஒளியத்தின் திசைவேகம் = ஒளியின் வேகம்

$$m = \frac{h}{\lambda v} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{(3.6 \times 10^{-10} \text{ m})(3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})} = 6.135 \times 10^{-35} \text{ kg}$$

2.5.2 ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கை

பொருளுக்குக் கதிர்வீச்சுக்கும் இரும நடத்தை இருப்பதன் பின்விளைவான நிச்சயமின்மைக்கொள்கையை வெருனர் ஐசன்பெர்கு என்ற ஒரு செர்மானிய இயற்பியலர் 1927இல் கூறினார். ஒரு எதிர்மின்னியின் முழுச்சரியான இடத்தையும் அதன் முழுச்சரியான உந்தத்தையும் (அதாவது திசைவேகத்தையும்) ஒரே நேரத்தில் தீர்மானிக்கவியலாது.

கணிதவழியில், இதனை

$$\Delta x \times \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi} \text{ (ஒரு மாறிலி)} \quad (2.23)$$

என்ற ஒரு சமன்பாடாக தரலாம். அதாவது,

$$\Delta x \times \Delta(mv_x) \geq \frac{h}{4\pi}; \quad \Delta x \times \Delta v_x \geq \frac{h}{4\pi m}$$

இங்கு Δx துகளின் இடத்தை அளப்பதிலுள்ள நிச்சயமின்மையையும் Δp_x துகளின் உந்தத்தை அளப்பதிலுள்ள நிச்சயமின்மையையும் குறிக்கின்றன. ஒரு எதிர்மின்னி இருக்குமிடம் மிகச்சரியாக தெரிந்தால் (மிகச்சிறிய Δx), அதன் திசைவேகத்திலுள்ள நிச்சயமின்மை (Δv_x) மிக அதிகமாக இருக்கும். எதிர்மின்னியின் திசைவேகம் (Δv_x) துல்லியமாகத்தெரிந்தால், அதன் இடநிலையில் நிச்சயமின்மை (Δx) மிக அதிகமாகும். எனவே, எதிர்மின்னியின் இடநிலையையும் திசைவேகத்தையும்பற்றிய சில இயற்பிய அளவீடுகளை மேற்கொண்டால், அதன் முடிவுகள் எப்போதும் ஒரு பஞ்சனைய தெளிவற்ற சித்திரத்தை தருகின்றன.

வெருனர் ஐசன்பெர்கு (1901-1976)

ஐசன்பெர்கு மியூனிச்சுப்பல்கலைக் கழகத்தில் 1923இல் முனைவரப்பட்டத்தை பெற்றார். பிறகு அவர் காட்டிசனில் மாக்கு பானுடன் ஓராண்டாகவும் கோப்பனேகனில் நீல்சு போருடன் மூன்றாண்டுகளாகவும் பணியாற்றினார். இலைப்புசிக்குப்பல்கலைக் கழகத்தில் 1927 இலிருந்து 1941வரை இயற்பியற்பேராசிரியராக பணியாற்றினார். இரண்டாம் உலகப்போரின் போது இடாய்ச்சு லாந்தின் அணுகுண்டுக்கான ஆராய்ச்சிக்கு பெறுப்பேற்றார். போருக்குப்பின் அவர் காட்டிசனிலுள்ள மாக்கசு பிளாங்கு இயற்பியப்பயிலகத்தில் இயக்குநராக அமர்ந்தார். இவர் ஒரு வெற்றிகரமான மலையேறுபவராகவும் விளங்கினார். ஐசன்பெர்கு 1932ஆம் ஆண்டில் இயற்பியலுக்கான நோபல்பரிசை பெற்றார்.

ஒரு சான்றால் நாம் நிச்சயமின்மைக் கொள்கையை இங்கு புரிந்துகொள்ளலாம். ஒரு காகிதத்தாளின் தடிமனை குறியீடுகளற்ற ஒரு அளவுகுச்சியால் அளந்தால், அது சரியற்ற அளவுகளை தரும். இவற்றில் சரியளவு வேண்டுமெனில், நாம் அளவுக்குறிகளிட்ட ஒரு செங்கருவியை பயன்படுத்தவேண்டும். இதன் அளவுகள் காகிதத்தின் தடிமனைவிட சிறியதாயிருக்க வேண்டும். இதே உவமையால் ஒரு எதிர்மின்னியின் இடத்தை தீர்மானிக்க, நாம் அதன் பருமானங்களைவிட சிறிய அலகுக் குறியிட்ட அளவீட்டுக்குச்சியை பயன்படுத்த வேண்டும். எதிர்மின்னி புள்ளிமின்மமாக கருதுமளவுக்கு மிகக்குறைந்த பருமானமுள்ளது. ஒரு எதிர்மின்னியைக்காண அதனை ஒளியாலோ ஒரு மின்காந்தக்கதிராலோ ஒளியூட்டலாம். நாம் பயன்படுத்தும் ஒளியின் அலைநீளம் எதிர்மின்னியின் பருமானங்களைவிட சிறியதாயிருக்கவேண்டும். ஒளிமம் எதிர்மின்னியின் மீது மோதும்போது அதன் உந்தமான $p = \frac{h}{\lambda}$ எதிரிமின்னியின் ஆற்றலை

மாற்றிவிடும். எனவே இம்முறையில் நாம் எதிர்மின்னியின் இடத்தை துல்லியமாக காணலாம். ஆனால் அதன் திசைவேகத்தைப்பற்றி மோதலுக்குப்பின் நமக்கு துல்லியமாகத் தெரியாது.

நிச்சயமின்மைக்கொள்கையின் முக்கியத்துவம்

ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையின் ஒரு முக்கியமான உள்ளூரையாக, **எதிர்மின்னிகளோ மற்ற துகள்களோ குறிப்பிட்ட சுற்றுப்பாதைகளிலோ வேறு வீசுபாதைகளிலோ இருப்பதை அது நிராகரிக்கிறது.** ஒரு பொருளின் வீசுபாதையை அதன் இடமும் பல்வேறு முடுக்கங்களில் திசைவேகங்களும் நிச்சயிக்கின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அப்பொருள் எங்கு இருக்கிறது, அந்நேரத்தில் அதன்மேல் செயலாற்றும் விசைகள் யாவை என்ற தரவுகளிலிருந்து அப்பொருள் சிறிது நேரம் கழித்து எங்கிருக்கும் எனக்கூறவியலும். இவ்வாறு, ஒரு பொருளின் இடமும் அதன் திசைவேகமும் வீசுபாதையை தீர்மானிக்கின்றன. எதிர்மின்னிபோன்ற ஒரு அணுவுட்டுகளின் இடத்தையும் திசைவேகத்தையும் ஒருபோதும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் துல்லியமாக தீர்மானிக்கவியலாது. எனவே ஒரு எதிர்மின்னியின் வீசுபாதை என்ற பேச்சுக்கே இடமில்லை.

ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையின் தாக்கம் நுண்ணிய பொருள்களின் நகர்வில் மட்டுமே முக்கியமானது. பருமளவப்பொருள்களில் அதன் தாக்கம் இல்லை. கீழ்க்காணும் எடுத்துக் காட்டிலிருந்து இந்த உண்மையை உணரலாம்.

ஒரு மில்லிகிராம் (10^{-6} kg) நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது நிச்சயமின்மைக்கொள்கையை பயன்படுத்தினால்,

$$\Delta v \times \Delta x = \frac{h}{4\pi m} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{4 \times 3.1416 \times 10^{-6} \text{ kg}} = 0.5272 \times 10^{-28} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

இங்கு v திசைவேகம், x இருப்பிடத்தை குறிக்கும் தொலைவு, m நிறை. இந்த நிச்சயமின்மை பொருளற்ற வகையில் மிகச்சிறியது. எனவே, **மில்லிகிராம் அளவான பொருள்களில் நிச்சயமின்மைகள் எந்த பின்விளைவுகளையும் ஏற்படுத்தவில்லை** என்பதில் நாம் உறுதியாயிருக்கலாம்.

எதிர்மின்னிபோன்ற ஒரு நுண்ணளவப் பொருளில், $\Delta v \times \Delta x$ இன் மதிப்பு மிகப்பெரிதாயிருக்கலாம். எனவே இங்கு நிச்சயமின்மைக்கொள்கை உண்மையான விளைவுகளை தரும்.

சான்றாக ஒரு எதிர்மின்னியின் நிறை $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ என்பதால்,

$$\begin{aligned} \Delta v \times \Delta x &= \frac{h}{4\pi m} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{4 \times 3.1416 \times (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})} \\ &= 0.5788 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

நாம் எதிர்மின்னியின் இடத்தை துல்லியமாக (10^{-8} m க்குக்குறைவான நிச்சயமின்மையுடன்) காண விழைந்தால், அதன் திசைவேகத்திலுள்ள நிச்சயமின்மை

$$\frac{10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{10^{-8} \text{ m}} = 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

என்றவாறு மிக அதிகமாகும். இவ்வளவு அதிகமான நிச்சயமின்மையால் போரின் கிடப்புச்சுற்றுப் பாதைகளில் எதிர்மின்னியை காண்பது இயலாததாகிவிடுகிறது.

எனவே எதிர்மின்னிகளின் இடத்தையும் உந்தத்தையும் துல்லியமாகக்காணும் எண்ணத்தை கைவிட்டு எதிர்மின்னி ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் குறிப்பிட்ட உந்தத்துடன் காணப்படுவதன் நிகழ்தகவு என்னவென்று நாம் கேட்கலாம். இதுவே நாம் காணவிருக்கும் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவில் நிகழ்கிறது.

சிக்கல் 2.15

ஒரு நுண்ணோக்கியில் ஒளியங்களால் ஒரு எதிர்மின்னி இருக்குமிடத்தை 0.1 \AA துல்லியத்தில் காண விழைகிறோம். அதன் திசைவேகத்தை அளப்பதிலுள்ள நிச்சயமின்மை என்ன?

தீர்வு

$$\Delta v \times \Delta x = \frac{h}{4\pi m}$$

$$\text{அதாவது } \Delta v = \frac{h}{4\pi} \Delta x m =$$

$$6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{4 \times 3.1416 \times (0.1 \times 10^{-10} \text{ m}) \times (9.11 \times 10^{-31})} = 5.79 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

சிக்கல் 2.16

ஒரு குழிப்பந்தின் நிறை 40 g . அதன் வேகம் $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. வேகத்தை நாம் 2% துல்லியத்தில் அளக்கவியன்றால், அதன் இடத்திலுள்ள நிச்சயமின்மையை கணக்கிடுக.

தீர்வு

வேகத்திலுள்ள நிச்சயமின்மை

$$\begin{aligned} \Delta v &= v \times 2\% = \left(\frac{2}{100}\right) \times 45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

$J = kg.m^2.s^{-2} = 1000 g.m^2.s^{-2}$
என்பதால்,

$$\Delta x = \frac{h}{4\pi m \Delta v}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} J.s}{4 \times 3.14 \times 40 g \times 0.9 m.s^{-1}}$$

$$= 1.46 \times 10^{-33} m$$

இது அணுக்களின் விட்டத்தைப்போல் $\sim 10^{18}$ மடங்கு சிறிது. எனவே குழிப்பந்துபோன்ற பருமளவப்பொருள்களின் துல்லியமான அளவீடுகளில் நிச்சயமின்மைக்கொள்கை பொருளுள்ள தாக்கத்தை ஏற்படுத்தவில்லை.

போரொப்புருவின் தோல்விக்கான காரணங்கள்

போரொப்புருவின் தோல்விக்கான காரணங்களை இப்போது புரிந்துகொள்ளலாம். போரணுவொப்புருவில் ஒரு எதிர்மின்னி மின்மமேற்ற துகள் என்றும் அது நன்கு வரையறுத்த வட்டப்பாதைகளில் அணுக்கருவைச்சுற்றி நகர்கிறது என்றும் கருதுகிறோம். இவ்வொப்புருவில் அதன் அலைப்பண்பை பொருட்படுத்துவதில்லை. மேலும் சுற்றுப்பாதையை தெளிவாக வரையறுக்கப்பட்ட பாதையாக கருதினால், அதனை முழுமையாக வரையறுக்க எதிர்மின்னியின் இடமும் திசைவேகமும் ஒரே நேரத்தில் முழுச்சரியாக தெரியவேண்டும். ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையின்படி இது இயலாதது. ஐதரசனின் போரொப்புரு பொருளின் இருமத் தன்மையை புறக்கணிப்பதுடன் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையுடனும் முரண்படுகிறது. இந்த இயல்பான குறைபாடுகளால் போரொப்புருவை மற்ற அணுக்களுக்கு நீட்டவியலாது. உண்மையில், அணுவின் கட்டமைப்புக்கான ஒரு உண்ணோக்கு தேவைப்பட்டது. அது அலைத்துகளான இருமப்பண்பையும் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையையும் கடைப்பிடிக்க வேண்டும். துணுக்கவெந்திரவியலின் கண்டுபிடிப்புக்குப் பின்னர் இது நிகழ்ந்தது.

எர்வின் சுரோடிங்கர் (1887-1961)

ஆசுத்திரிய இயற்பியலரான எர்வின் சுரோடிங்கர் வியன்னாப்பல்கலைக்கழகத்திலிருந்த 1910இல் கோட்பாட்டு இயற்பியலில் முனைவர்ப்பட்டத்தை பெற்றார். மாக்கசு பிளாங்கு கோரியபடி அவருக்குப்பின் பெருலின் பல்கலைக்கழகத்தில் சுரோடிங்கர் 1927இல் பதவியேற்றார். இட்டுலரின் கொள்கைகளுக்கு எதிர்ப்பாக 1933இல் பெருலினிருந்து வெளியேறி 1936இல் ஆசுத்திரியாவுக்கு திரும்பினார். செருமனி ஆசுத்திரியாவை முற்றுகையிட்டபின் சுரோடிங்கரின் பேராசிரியர்நிலை வலுக்கட

டாயமாக பறிக்கப்பட்டது. பிறகு அவர் அயர்லாந்திலுள்ள தபுலினுக்கு சென்று அங்கு பதினேழு ஆண்டுகளாக இருந்தார். சுரோடிங்கர் 1933இல் இயற்பியலுக்கான நோபல்பரிசை பால் தைராக்குடன் சேர்ந்து பெற்றார்.

2.6 அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புரு

நியூட்டனின் அசைவுவிதிகளின் அடிப்படையிலான தொன்மையெந்திரவியல் கீழ்நோக்கி விழுகின்ற கல், கதிரவனைச்சுற்றும் கோள்கள் போன்ற பருமளவப்பொருள்களின் அசைவுகளை வெற்றிகரமாக விவரிக்கிறது. சென்ற பகுதியில் காட்டியபடி இவற்றுக்கு அடிப்படையில் ஒரு துகள்போன்ற நடத்தை உள்ளது. ஆயினும் நுண்பொருள்களான எதிர்மின்னிகள், அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் முதலியவற்றில் பயன்படுத்தும்போது இது தோல்வியடைகிறது. இதன் முக்கிய காரணம் தொன்ம எந்திரவியல் அணுத்துகள்கள் போன்ற பொருள்களின் இருமைநடத்தையையும் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையையும் புறக்கணிப்பதே. பொருள்களின் இருமைநடத்தையை கணக்கிடுவதற்கும் அறிவியற்கிளையை துணுக்கவெந்திரவியல் என அழைக்கிறோம்.

ஒரு கோட்பாட்டறிவியலான துணுக்கவெந்திரவியல் கண்டறிதகு துகட்டன்மையும் அலைத்தன்மையும் உள்ள நுண்ணளவப்பொருள்களின் அசைவுகளை ஆய்ந்தறிகிறது. இச்சிறுபொருள்கள் பின்பற்றுகிற விதிகளை அது குறிப்பிடுகிறது. துணுக்கவெந்திரவியலை பருமளவப்பொருள்களில் பயனாக்கும்போது (இவற்றிற்கு அலைப்பண்புகள் முக்கியமற்றவை) அதன் முடிவுகள் தொன்மவெந்திரவியலின் முடிவுகளைப்போன்றே உள்ளன.

துணுக்கவெந்திரவியலை ஒருவரையொருவர் சாராமல், 1926 இல் வெருனர் ஐசன்பெர்கும் எர்வின் சுரோடிங்கரும் வளராக்கினர். இங்கு நாம் அலையசைவுபற்றிய கருத்துகளின் அடிப்படையில் துணுக்கவெந்திரவியலை உரையாடுவோம். துணுக்கவெந்திரவியலின் அடிப்படைச்சமன்பாட்டை சுரோடிங்கர் வளராக்கினார். அது அவருக்கு 1933இல் இயற்பியலுக்கான நோபற்பரிசை வென்று தந்தது. தி பிராகிளி முன்மொழிந்த பொருள்களின் அலைத்துகளிருமையை உள்ளடக்கிய இச்சமன்பாடு மிகச்சிக்கலானது. அதை தீர்ப்பதற்கு உயர்நிலைக்கணிதம் தேவைப்படுகிறது. பல்வேறு அமைப்புகளுக்கான (பொருள்களுக்கான) இதன் தீர்வுகளை நீங்கள் மேல் வகுப்புகளில் கற்பீர்கள்.

நேரத்தைப்பொறுத்து ஆற்றல் மாறாத அணு, மூலக்கூறு போன்ற ஒரு அமைப்பின் சுரோடிங்கர் சமன்பாட்டை

$$\mathcal{H}\Psi = E\Psi$$

என்று எழுதலாம். இங்கு \mathcal{H} ஆமிற்றம் எனும் கணிதச்செயலி; Ψ நிலைச்சார்பன். (சில நூல்களில் நிலைச்சார்பனை அலைச்சார்பன் என்றும் எழுதியிருக்கலாம்) அமைப்பின் மொத்த ஆற்றலுக்கான கோவையிலிருந்து \mathcal{H} ஐ உருவாக்கும் செய்முறைக்குறிப்பை சுரோடிங்கர் தந்திருக்கிறார். மொத்தவாற்றல் எதிர்மின்னிகளின் இயக்கவாற்றல், அணுக்கருக்களின் இயக்கவாற்றல், எதிர்மின்னிகளுக்கும் அணுக்கருவுக்குமிடையான ஈர்ப்பின் இயன்மவாற்றல், எதிர்மின்னிகளுக்கிடையான விலக்கலின் இயன்மவாற்றல், அணுக்கருக்களிடையான விலக்கலின் இயன்மவாற்றல் ஆகியவற்றை கணக்கிலெடுத்துக்கொள்கிறது. இச்சமன்பாட்டின் தீர்வு E ஐயும் Ψ ஐயும் தருகின்றது.

ஐதரசவணுவும் சுரோடிங்கரின் சமன்பாடும்

ஐதரசவணுவக்கான சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டை தீர்க்கும்போது, அதன் தீர்வு எதிர்மின்னி இருப்பதற்கு சாத்தியமான எல்லா ஆற்றல்களையும் அவற்றுக்கு நிகரான நிலைச்சார்பன்களையும் (Ψ) தருகின்றது. துணுக்கமிட்ட ஆற்றன்மட்டங்களின் சிறப்பியல்புகளையும் அவற்றுக்கு நிகரான நிலைச்சார்பன்களின் சிறப்பியல்புகளையும் மூன்று துணுக்கவெண்களின் தொகுப்பு தருகின்றது. அவை முதன்மைத்துணுக்கவெண் (n), அடிச்சாய்வுத் துணுக்கவெண் (l), காந்தத்துணுக்கவெண் (m_l) ஆகியவை. இவ்வெண்கள் சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டுக்கான தீர்வின் இயல்பான பின்விளைவுகளாக கிடைக்கின்றன.

ஒரு எதிர்மின்னி ஏதேனும் ஒரு ஆற்றலையில் இருக்கும்போது அதைப்பற்றிய எல்லாத்தகவல்களும் அந்நிலைக்கு நிகரான நிலைச்சார்பனில் (Ψ) அடங்கியுள்ளது. ஒரு கணிதச்சார்பனான இந்நிலைச்சார்பனின் மதிப்பு அந்த எதிர்மின்னியின் ஒருங்களவுகளைப்பொறுத்தே உள்ளது. இந்த நிலைச்சார்பனுக்கு நடைமுறையில் தனியாக பொருளில்லை. ஐதரசனுகோ ஐதரசன்போன்ற வேதியியினங்களுக்கோவான இத்தகு நிலைச்சார்பன்களை அணுப்பரிதியங்கள் என அழைக்கிறோம். ஒரு எதிர்மின்னி மட்டுமே உள்ள வேதியியினங்களை ஒற்றையெதிர்மின்னியமைப்புகள் என்கிறோம். ஒரு அணுவுக்குள் எந்தவொரு புள்ளியிலும் ஒரு எதிர்மின்னியை காண்பதற்கான நிகழ்தகவு அப்புள்ளியிலுள்ள $|\Psi|^2$ இன் விழுக்காட்டிலுள்ளது. ஐதரசனுக்கான துணுக்கவெந்திரவிய முடிவுகளிலிருந்து அதன் அணுநிறநிரலின் எல்லாக்கூறுகளையும் வெற்றிகரமாக முன்னறி

கிறோம். போரின் ஒப்புருவால் விளக்கவியலாத சில தோற்றப்பாடுகளும் இவற்றில் அடக்கம்.

சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டை பலவெதிர்மின்னியணுக்களில் பயனாக்கும்போது அது ஒரு சிக்கலைத்தருகிறது. அதாவது இவ்வகையான அணுக்களின் சுரோடிங்கர்சமன்பாட்டை முழுச்சரியாக தீர்க்க இயலவில்லை. தோராய வழிமுறைகளை பயன்படுத்தி இச்சிக்கலிலிருந்து நாம் மீளலாம். புதுக்கால கணினிகளின் உதவியுடன் மேற்கொள்ளும் இக்கணக்கீடுகள் ஐதரசன் அல்லாத மற்ற அணுக்களின் பரிதியங்கள் மேலே விவரித்த ஐதரசவணுவின் பரிதியங்களைவிட பெருமளவில் வேறுபடவில்லை என்று காட்டுகின்றன. ஆயினும் இரண்டுக்குமிடையான முதன்மையான வேறுபாடு அணுக்கருவிலுள்ள அதிகப்படியான நேர்மமின்மத்தால் விளைகிறது. இதன் விளைவாக, எல்லா பரிதியங்களும் ஓரளவுக்கு சுருங்குகின்றன. மேலும் ஐதரசனின் பரிதியங்களுக்கும் அதுபோன்ற வேதியியினங்களின் பரிதியங்களுக்கும் மாறாக (அதாவது ஆற்றல்கள் முதன்மைத்துணுக்க வெண்களை மட்டுமே சார்ந்திராமல்), பலவெதிர்மின்னிப் பரிதியங்களின் ஆற்றல்கள் n, l (முதன்மை, அடிச்சாய்வு) ஆகிய துணுக்க வெண்களை சார்ந்துள்ளன.

அணுப்பரிதியத்தை நாம் சுருக்கமாக அபம் என்ற சொல்லாலும் குறிப்பிடுகிறோம்.

அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவின் முக்கியப்பண்புகூறுகள்

அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புரு என்பது அணுக்கட்டமைப்பின் ஒரு சித்திரம். இது சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டை அணுக்களுக்காக பயனாக்கும்போது வெளிப்படுகிறது. அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவின் முக்கியப்பண்புகூறுகள்:

1. எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவின் அருகில் தளையுறும்போது அணுக்களிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் ஆற்றல்கள் துணுக்கமானவை. (அதாவது ஆற்றல்களுக்கு குறிப்பிட்ட சில மதிப்புகளே உள்ளன).
2. எதிர்மின்னியின் சாத்தியமான ஆற்றன்மட்டங்களின் துணுக்கத்தன்மை எதிர்மின்னியின் அலைபோன்ற நடத்தையின் நேரடிவிளைவு. இவை சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டை நிறைவேற்றும் தீர்வுகள்.
3. ஒரு அணுவிலுள்ள எதிர்மின்னியின் முழுச்சரியான இடத்தையும் முழுச்சரியான திசைவேகத்தையும் ஒரே நேரத்தில் தீர்மானிக்கவியலாது (ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கை). எனவே, ஓரணுவிலுள்ள

எதிர்மின்னியின் பாதையை முழுச்சரியாக தீர்மானிக்கவோ தெரிந்து கொள்வதோ இயலாது. அதனால் அணுவில் பல்வேறு இடங்களில் எதிர்மின்னியைக் காண்பதற்கான நிகழ்தகவைப்பற்றி மட்டும் பேசுகிறோம்.

4. ஓரணுவில் எதிர்மின்னிக்கான நிலைச்சார்பனை (Ψ) அதன் அணுப்பரிதியம் என்கிறோம். எதிர்மின்னியை ஒரு நிலைச்சார்பன் விவரிக்கும்போது அந்த எதிர்மின்னி அந்தப்பரிதியத்தில் இருப்பதாக நாம் கூறுகிறோம். ஒரு எதிர்மின்னிக்கு இதுபோன்ற பல நிலைச்சார்பன்கள் சாத்தியமாவதால் ஒரு அணுவில் பல பரிதியங்கள் உள்ளன. இத்தகைய “ஒற்றையெதிர்மின்னிப்பரிதிய நிலைச்சார்பன்கள்” (பரிதியங்கள்) அணுவின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்பின் அடித்தளமாகின்றன. ஒவ்வொரு பரிதியத்திலும் எதிர்மின்னிக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் உள்ளது. ஒரு பரிதியத்தில் இரண்டுக்கு மேற்பட்ட எதிர்மின்னிகள் இருக்கவியலாது. பலவெதிர்மின்னியணுவில் ஆற்றலின் ஏறுவரிசையில் எதிர்மின்னிகள் பல்வேறு பரிதியங்களில் நிரம்புகின்றன. அணுவிலுள்ள ஒவ்வொரு எதிர்மின்னிக்கும் அது இருக்கும் பரிதியத்தின் சிறப்பியல்புகளுள்ள ஒரு பரிதிய நிலைச்சார்பன் உள்ளது. ஓரணுவிலுள்ள எதிர்மின்னியின் எல்லாத்தகவல்களும் அதன் பரிதிய நிலைச்சார்பனில் (Ψ) அடங்கியுள்ளன. துணுக்கவெந்திரவியலின் செய்துட்பங்கள் இத்தகவல்களை பரிதிய நிலைச்சார்பனிலிருந்து எடுத்துத்தருகின்றன.

5. அணுவுக்குள் ஏதேனுமோர் புள்ளியில் ஒரு எதிர்மின்னியைக்காண்பதற்கான நிகழ்தகவு அப்புள்ளியிலுள்ள பரிதிய நிலைச்சார்பனின் ஒப்பிலா மதிப்பின் வர்க்கத்தின் ($|\Psi|^2$) விழுக்காட்டில் உள்ளது. ($|\Psi|^2$)ஐ நிகழ்தகவின் அடர்வு என்று அழைக்கிறோம். இதன் மதிப்பு எப்போதும் நேர்மக்குறியுள்ளது. அணுவிலுள்ள பல்வேறு புள்ளிகளின் ($|\Psi|^2$)மதிப்புகளிலிருந்து, அணுக்கருவைச்சுற்றி எதிர்மின்னி அதிக நிகழ்தகவுடன் காணப்படும் வட்டாரத்தை நாம் முன்னறியவியலும்.

2.6.1 பரிதியங்களும் துணுக்கவெண்களும்

ஓரணுவில் மிகப்பெரிய எண்ணிக்கையான பரிதியங்கள் சாத்தியம். பண்பியமாக இவற்றை அவற்றின் அளவு, வடிவம், திசையமைவு ஆகியவற்றால் வேறுபடுத்தலாம். சிறிய பரிதியமெனில் எதிர்மின்னியை அணுக்கருவி னருகில் காண அதிக வாய்ப்புண்டு. வடிவமும் திசையமைவும் எதிர்மின்னியை சில

திசைகளில் காண்பதற்கு மற்ற திசைகளைவிட நிகழ்தகவு அதிகமாக இருப்பதை காட்டுகின்றன. துணுக்கவெண்களால் அணுப்பரிதியங்களை துல்லியமாக வேறுபடுத்துகிறோம். ஒவ்வொரு பரிதியத்தையும் மூன்று துணுக்கவெண்களால் (n, l, m_l) குறியிடுகிறோம்.

முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணான n நேர்ம முழுவெண்மதிப்புள்ளது. $n = 1, 2, 3, \dots$ இது ஒரு பரிதியத்தின் அளவையும் பெரும்பாலும் அதன் ஆற்றலையும் தீர்மானிக்கிறது. ஐதரசனிலும் ஐதரசன்போன்ற வேதியியினங்களிலும் அளவும் ஆற்றலும் n இன் மதிப்பை மட்டுமே சார்ந்துள்ளன.

ஒரு முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணுக்கு நிகரான பரிதியங்களின் கணத்தை ஒரு கூடு என்கிறோம். ஒரு கூட்டின் n மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகலுள்ள பரிதியங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கிறது. அந்த எண்ணிக்கையை n^2 தருகிறது. ஒவ்வொரு n மதிப்பும் அணுவின் ஒரு தனிச்சூட்டினை தருகிறது. அவற்றை கீழ்க் காணுமாறு எழுத்துக்களாலும் குறியிடுகிறோம்.

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

$$\text{கூடு} = K, L, M, N, \dots$$

கூடுகளின் n மதிப்பு அதிகரிக்கும்போது பரிதியங்களின் அளவும் அதிகரிக்கிறது. அதாவது, அணுக்கருவிலிருந்து அதிக தொலைவில் எதிர்மின்னியை காணும் வாய்ப்பு அதிகம். எதிர்மின்னியின் எதிர்ம மின்மத்தினால் அதை அணுக்கருவின் ஈர்ப்பிலிருந்து அதிக தொலைவுக்கு (உயர் n பரிதியத்துக்கு) இடமாற்றும்போது புதிய பரிதியத்தின் ஆற்றல் அதிகமாகிறது.

அடிச்சாய்வுத்துணுக்கவெண் (l) ஒரு பரிதியத்தின் முப்பருமான வடிவத்தை வரையறுக்கிறது. இதனை **பரிதியக்கோண வந்தம்** என்றும் **துணைத்துணுக்கவெண்** என்றும் அழைப்பதுண்டு. ஒரு குறிப்பிட்ட n மதிப்புக்கு $0, 1, 2, n-1$ ஆகிய n எண்ணிக்கையான l மதிப்புகள் உள்ளன. அதாவது, n இன் ஒவ்வொரு மதிப்புக்கும் l பெறும் மதிப்புகள் $0, 1, 2, \dots, n-1$ (மொத்தம் n மதிப்புகள்). சான்றாக, $n = 1$ எனில், l க்கு 0 எனும் ஒரு மதிப்பு மட்டுமே உள்ளது. n இன் மதிப்பு 2 எனில் 0, 1 எனும் இரண்டு மதிப்புகள் l க்கு சாத்தியம். $n = 3$ எனில், $l = 0, 1, 2$ (மூன்று மதிப்புகள்).

ஒவ்வொரு கூட்டிலும் ஒன்றோ ஒன்றுக்கு மேற்பட்டதோவான **துணைக்கூடுகள்** உள்ளன. ஒரு கூட்டின் முதன்மைத்துணுக்கவெண் n எனில், அதில் n துணைக்கூடுகள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு துணைக்கூடும் ஒரு அடிச்சாய்வுத் துணுக்கவெண்ணுக்கு (l) நிகராகிறது.

சான்றாக, $n = 1$ என்ற முதற்கூட்டில் ஒரேயொரு துணைக்கூடு மட்டுமே உள்ளது (நிகரான l மதிப்பு 0). இரண்டாம் கூட்டில் ($n = 2$) இரண்டு ($l = 0, 1$) துணைக்கூடுகளும் மூன்றாம் கூட்டில் ($n = 3$)மூன்று ($l = 0, 1, 2$) துணைக்கூடுகளும் உள்ளன. வெவ்வேறு துணைக்கூடுகளுக்கிரிய l மதிப்புகளை கீழ்க் காணுமாறு எழுத்துகளாலும் குறிக்கிறோம்.

l இன் மதிப்பு: 0 1 2 3 4 5 ...
துணைக்கூட்டின் குறிப்பீடு: $s p d f g h...$

குறிப்பிட்ட ஒரு n மதிப்புக்கான l இன் அனுமதிக்கப்பட்ட மதிப்புகளை அட்டவணை 2.4 காட்டுகிறது.

அட்டவணை 2.4 துணைக்கூடுகளின் குறிப்பீடுகள்

n	l	துணைக்கூடுகளின் குறிப்பீடுகள்
1	0	1s
2	0	2s
	1	2p
3	0	3s
	1	3p
	2	3d
4	0	4s
	1	4p
	2	4d
	3	4f

காந்தத்துணுக்கவெண் (m_l) என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட நோக்கீட்டு ஒருங்களவச்சகளைப் பொறுத்து ஒரு பரிதியத்தின் திசையமைவை தருகிறது. ஒரு துணைக்கூட்டின் அடிச்சாய்வுத் துணுக்கவெண்ணின் மதிப்பு l எனில், அதில் $(2l + 1)$ பரிதியங்கள் உள்ளன. ஒரு துணைக்கூட்டின் பரிதியங்களை கீழ்க்கண்ட m_l மதிப்புகளால் வேறுபடுத்துகிறோம்.

$$m_l = -l, -(l - 1), -(l - 2), \dots, -2, -1, 0, l, 2, \dots$$

$$(l - 2), (l - 1), l$$

இவ்வாறாக, l இன் மதிப்பு சுழியமெனில், அதற்கான m_l களின் எண்ணிக்கை $= (2l + 1) = 1$ என்பதால், சுழியம் என்ற ஒரே m_l மதிப்பு உள்ளது. எனவே, ஒவ்வொரு கூட்டிலும் ஒரே ஒரு s பரிதியம் மட்டும் உள்ளது; அதன் m_l மதிப்பு சுழியம். அடுத்து, $l = 1$ என்றுள்ள p துணைக்கூட்டுக்கு $2l + 1 = 3$ என்பதால், $m_l = -1, 0, +1$ ஆகிய மூன்று திசையமைவுகளில் மூன்று p பரிதியங்கள் உள்ளன. இதைப்போலவே, $l = 2$ என்ற துணைக்கூட்டில்

$m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ ஆகிய திசையமைவுகள் ஐந்து d பரிதியங்களை குறிக்கின்றன. இங்கு, l இன் மதிப்பை n இலிருந்தும் m_l இன் மதிப்பை l இலிருந்தும் வருவிக்கிறோம் என்பதை நாம் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

l இன் மதிப்பு	0	1	2	3	4	5
துணைக்கூடுகளின் குறிப்பீடு	s	p	d	f	g	h
பரிதியங்களின் எண்ணிக்கை	1	3	5	7	9	11

எனவே, ஒரு அணுவில் ஒவ்வொரு பரிதியத்தையும் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்புகளுள்ள (n, l, m_l) தொகுப்பால் இனங்காணலாம். சான்றாக, $n = 2, l = 1, m_l = 0$ எனும் துணுக்கவெண்கள் விவரிப்பது இரண்டாம் கூட்டிலுள்ள p துணைக்கூட்டின் சுழியத்திசையமைவுள்ள பரிதியம். மேற்காணும் அட்டவணை துணைக்கூடுகளுக்கும் அவற்றிலுள்ள பரிதியங்களின் எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள தொடர்பை தருகிறது.

எதிர்மின்னியின் தற்சுழல் (m_s): ஒரு அணுப்பரிதியத்தின் குறியங்களான மூன்று துணுக்கவெண்களைப்பயன்படுத்தி அதன் ஆற்றல், வடிவம், திசையமைவு ஆகியவற்றை நாம் வரையறுக்கலாம். ஆனால் இந்த மூன்று துணுக்கவெண்களும் பலவெதிர்மின்னியணுக்களின் வரிநிறநிரல்களை விளக்க போதவில்லை; ஏனெனில், சில வரிகள் உண்மையில் இருமங்களாகவும் (மிக நெருக்கமாகவுள்ள இரண்டு கோடுகள்), மும்மங்களாகவும் (மூன்று கோடுகள் அருகருகே), இன்ன பிறவாகவும் உள்ளன. எனவே, இவ்வணுக்களில் மேல் குறிப்பிடப்பட்ட மூன்று துணுக்கவெண்கள் முன்னுரைப்பதைவிட அதிகமான ஆற்றன் மட்டங்கள் இருப்பதை தெரிகிறது.

1925இல் சார்சு இயூலன்பெக்கும் சாமுவேல் காடுசுமித்தும் எதிர்மின்னிக்கு **தற்சுழற்றுணுக்கவெண் (m_s)** என்ற நான்காம் துணுக்கவெண் இருப்பதை முன்மொழிந்தனர். ஒரு எதிர்மின்னி தன் அச்சைப்பற்றி தன்னைத் தானே சுழல்வது கதிரவனைச்சுற்றி வரும் புவிக்கு அதன் அச்சைப்பற்றிய ஒரு தற்சுழல் இருப்பதைப்போன்றது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், ஒரு எதிர்மின்னிக்கு மின்மமும் நிறையும் மட்டுமன்றி இயற்கையிலே தற்சுழற்கோணவுந்தத்துக்கான துணுக்கவெண்ணும் உள்ளது. எதிர்மின்னியின் தற்சுழல் என்பது திசையப்பண்புள்ள ஒரு கோணவுந்தம். இதற்கு, தேர்ந்தெடுத்த அச்சைப்பொறுத்து இரண்டு திசையமைவுகள் உள்ளன. இவ்விரு திசையமைவுகளையும் $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ ஆகிய மதிப்புகளுள்ள m_s என்ற துணுக்கவெண்ணால் வேறுபடுத்தலாம். இவற்றை எதிர்மின்னியின்

இரண்டு தற்சுழ்நிலைகள் என்று அழைக்கிறோம். இவையிரண்டையும், \uparrow (மேல்), \downarrow (கீழ்) என குறியிடுகிறோம். $+1/2$ மதிப்புள்ள ஒரு எதிர்மின்னியும், $-1/2$ மதிப்புள்ள மற்றொரு

எதிர்மின்னியும் எதிரெதிர் தற்சுழல்களுள்ளவை என்கிறோம். ஒரு பரிதியத்தில் இரண்டு எதிர்மின்னிகளுக்கு மேல் இருக்கவியலாது. மேலும், இவ்விரு எதிர்மின்னிகளுக்கும் எதிரெதிர் தற்சுழல்கள் இருக்கவேண்டும்.

சுற்றுப்பாதையும் பரிதியமும் அவற்றின் முக்கியத்துவமும்

சுற்றுப்பாதையும் பரிதியமும் ஒரே பொருளுள்ளவை அல்ல. போரின் முன்மொழிவுப்படி, சுற்றுப்பாதை (வீசுபாதை) என்பது எதிர்மின்னி நகர்வதற்காக அணுக்கருவைச்சுற்றியுள்ள ஒரு வட்டவடிவப்பாதை. ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையின்படி, இப்பாதையை துல்லியமாக விவரித்தல் இயலாது. எனவே, போரின் சுற்றுப்பாதைகளுக்கு உண்மையான பொருள் இல்லை. அவை இருப்பதை நாம் பரிசோதனைவழி நிறுவவியலாது. ஆனால் அணுப்பரிதியம் என்பது ஒரு அணுவிலுள்ள ஒற்றையெதிர்மின்னியின் நிலைச்சார்பனை குறிக்கும் ஒரு துணுக்கவெந்திரவியக்கருத்துரு. எதிர்மின்னியின் ஒருங்களவுகளை சார்ந்திருக்கும் இந்த சார்பனின் சிறப்பியல்புகளை மூன்று துணுக்கவெண்களால் (n, l, m_l) குறிக்கிறோம். நிலைச்சார்பனுக்கு (Ψ) தனியாக இயற்பியல்பொருளேதும் இல்லை. ஆனால் இதன் வர்க்கத்துக்கு $(|\Psi|^2)$ ஒரு இயற்பியல்பொருளுள்ளது. அணுவின் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் $|\Psi|^2$ இன் மதிப்பு அப்புள்ளியில் எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவின் அடர்வை தருகிறது. நிகழ்தகவின் அடர்வு $|\Psi|^2$ என்பது பருமனலகு எனப்படும் ஒரு அலகுப்பருமனிலுள்ள நிகழ்தகவின் மதிப்பை குறிக்கிறது. நிகழ்தகவடர்வை $(|\Psi|^2)$ அலகுப்பருமனால் பெருக்கி, எதிர்மின்னியை அந்த அலகுப்பருமனில் காண்பதற்கான நிகழ்தகவை பெறுகிறோம். $|\Psi|^2$ இன் மதிப்பு எதிர்மின்னியின் ஒருங்களவுகளை சார்ந்திருப்பதால் அது வெளியில் வட்டாரத்துக்கு வட்டாரம் மாறுபடுகிறது. ஒரு பருமனில் எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவை கணக்கிட, அந்தப்பருமனிலுள்ள ஒவ்வொரு பருமனலகிலும் நிலைச்சார்பை மாறிலியாகக்கொண்டு நிகழ்தகவடர்வை பருமனலகால் பெருக்கி, பிறகு அந்த பெருக்குத்தொகையை எல்லாப்பருமனலகுகளுக்கும் கூட்டுகிறோம். இப்படியாக, பரிதியத்தில் ஒரெதிர்மின்னியின் நிகழ்தகவடர்வை கணக்கிடவியலும்.

சுருக்கவுரையாக, நான்கு துணுக்கவெண்களும் கீழ்க்காணும் தகவல்களை தருகின்றன:

1. n , ஒரு கூட்டை வரையறுத்து அதிலுள்ள பரிதியங்களின் அளவையும் பெருமளவுக்கு அவற்றின் ஆற்றலையும் தீர்மானிக்கிறது.
2. n எனும் முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணுள்ள கூட்டில், n எண்ணிக்கையான துணைக்கூடுகள் உள்ளன. l துணைக்கூட்டை அடையாளங்காட்டி அதன் வடிவத்தை தீர்மானிக்கிறது (2.6.2ஆம் பகுதியை காண்க). ஒரு துணைக்கூட்டில் $(2l + 1)$ எண்ணிக்கையில் ஒரேவிதமான பரிதியங்கள் உள்ளன. அதாவது, ஒரு s ($l = 0$), மூன்று p ($l = 1$), ஐந்து d ($l = 2$) பரிதியங்கள் உள்ளன. ஒரு பலவெதிர்மின்னியணுவில் l பரிதியத்தின் ஆற்றலையும் ஓரளவுக்கு தீர்மானிக்கிறது.
3. ஒரு பரிதியத்தின் திசையமைவை m_l குறிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட l மதிப்புக்கு $(2l + 1)$ எண்ணிக்கையான m_l மதிப்புகள் உள்ளன. இது ஒவ்வொரு துணைக்கூட்டிலுமுள்ள பரிதியங்களின் எண்ணிக்கைக்கு சமம். இதனால் பரிதியங்கள் திசையமைக்கூடிய சாத்தியமான வழிகளின் எண்ணிக்கையே பரிதியங்களின் எண்ணிக்கை என்று அறிகிறோம்.

4. m_s எதிர்மின்னியின் தற்சுழலின் திசையமைவை குறிக்கிறது.

சிக்கல் 2.11

முதன்மைத்துணுக்கவெண் $n = 3$ உடன் தொடர்பான பரிதியங்களின் எண்ணிக்கை என்ன?

தீர்வு

$n = 3$ என்ற கூட்டுக்கு l இன் மதிப்புகள் = 0, 1, 2.

எனவே $3s, 3p, 3d$ எனும் மூன்று துணைக்கூடுகள் உள்ளன.

ஒவ்வொரு l மதிப்புக்கும், $2l + 1$ எண்ணிக்கையான பரிதியங்கள் உள்ளன.

$l = 0; m_s = 0$; ஒரு பரிதியம்.

$l = 1; m_s = -1, 0, +1$; 3 பரிதியங்கள்.

$l = 2; m_s = -2, -1, 0, +1, +2$; ஐந்து பரிதியங்கள்.

எனவே, மொத்தப்பரிதியங்களின் எண்ணிக்கை = $1 + 3 + 5 = 9$;

இதே விடையை மற்றொரு சமன்பாட்டின் மூலமும் பெறலாம். ஒரு முதன்மைக்

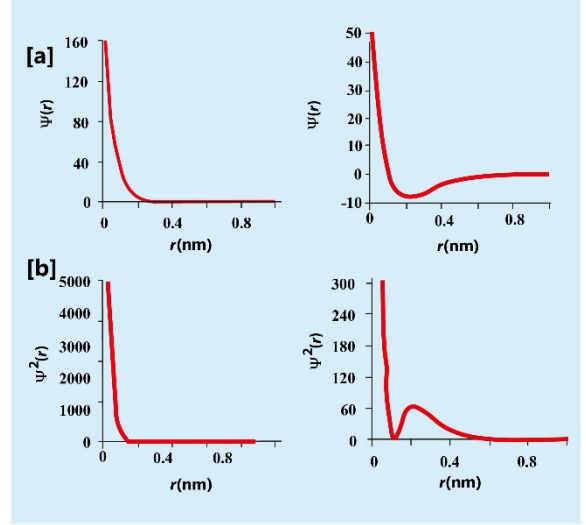
கூட்டிலுள்ள எண்ணிக்கை = n^2 . $n^2 = 3 \times 3 = 9$.	மொத்தப்பரிதியங்களின்
சிக்கல் 2.12	
கீழ்க்காணும் பரிதியங்களை குறியீடுகளால் விவரிக்க. (அ) $n = 2, l = 1$ (ஆ) $n = 4, l = 0$ (இ) $n = 5, l = 3$ (ஈ) $n = 3, l = 2$.	துணுக்கவெண்களுள்ள $s, p, d, f \dots$ எனும்
தீர்வு	
	$n \quad l \quad$ பரிதியம்
அ)	2 1 $2p$
ஆ)	4 0 $4s$
இ)	5 3 $5f$
ஈ)	3 2 $3d$

2.6.2 அணுப்பரிதியங்களின் வடிவங்கள்

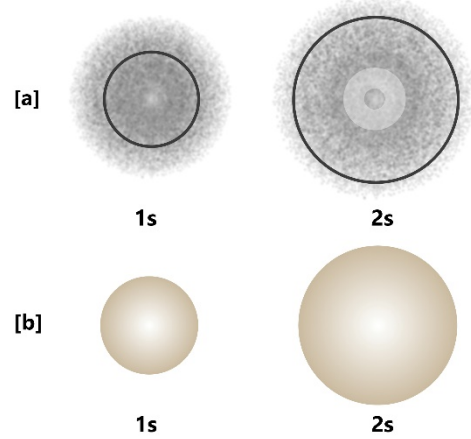
ஓரணுவில், ஒரு எதிர்மின்னிப்பரிதியத்தின் நிலைச்சார்பனுக்கு (Ψ) பொருளில்லை. அது வெறுமனே எதிர்மின்னியின் ஒருங்களவுகளின் ஒரு கணிதச்சார்பன். அணுக்கருவிலிருந்து உள்ள தொலைவைப்பொறுத்து நிலைச்சார்பன் $\Psi(r)$ மாறுவதன் வரைகோடுகள் வெவ்வேறு பரிதியங்களிடையில் மாறுபடுகின்றன. இத்தகு வரைகோடுகளை $1s$ ($n = 1, l = 0$), $2s$ ($n = 2, l = 0$) ஆகிய பரிதியங்களுக்கு படம் 2.12(a) தருகிறது.

செருமானிய இயற்பியலரான மாக்கு பானின் கூற்றுப்படி, ஒரு புள்ளியிலுள்ள நிலைச்சார்பனின் வர்க்கம் ($|\Psi|^2$) அவ்விடத்திலுள்ள எதிர்மின்னியைக் காண்பதற்கான நிகழ்தகவடர்வை தருகிறது. $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான $|\Psi|^2$ இன் r ஐப்பொறுத்த மாற்றத்தை படம் 2.12(b) தருகிறது. இங்கும் $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான வரைகோடுகள் வேறுபடுவதை நீங்கள் கவனிக்கலாம். $1s$ பரிதியத்தின் நிகழ்தகவடர்வு அணுக்கருவில் மீப்பெருமளவில் உள்ளது. பின்னர், அது அணுக்கருவிலிருந்து தொலைவுக்கு செல்லச் செல்ல கூராகக்குறைகிறது. $2s$ பரிதியத்திற்கோ r அதிகரிக்கும்போது முதலில் கூராகக்குறைந்து சுழிய மதிப்படைந்து பின் அதிகரிக்கத்தொடங்குகிறது. ஒரு சிறிய மீப்பெருமத்தை (உச்சியை) அடைந்தபின் மீண்டும் குறைந்து சுழியத்தை நோக்கி நகர்கிறது. இந்த நிகழ்தகவடர்வின் சார்பன் குறைந்து சுழியமாகுமிடத்தை கணுப்பரப்புக்கள் என்றோ வெறுமனே கணுக்கள் என்றோ அழைக்கிறோம். பொதுவாக, n s பரிதியத்துக்கு ($n - 1$) கணுக்கள் இருப்பதாக

காண்கிறோம். அதாவது, முதன்மைத்துணுக்க வெண் அதிகரிக்கும்போது கணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது; $2s$ பரிதியத்துக்கு ஒரு கணு, $3s$ பரிதியத்துக்கு இரண்டு கணுக்கள், என்றவாறு உள்ளன.



படம் 2.12 (a) பரிதிய நிலைச்சார்பன்களின் $|\Psi(r)|$ வரைகோடுகள் (b) அணுக்கருவிலிருந்து எதிர்மின்னியிருக்கும் தொலைவான r ஐப்பொறுத்து $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான நிகழ்தகவடர்வின் ($|\Psi(r)|^2$) மாற்றத்தைத்தரும் வரைகோடுகள்.



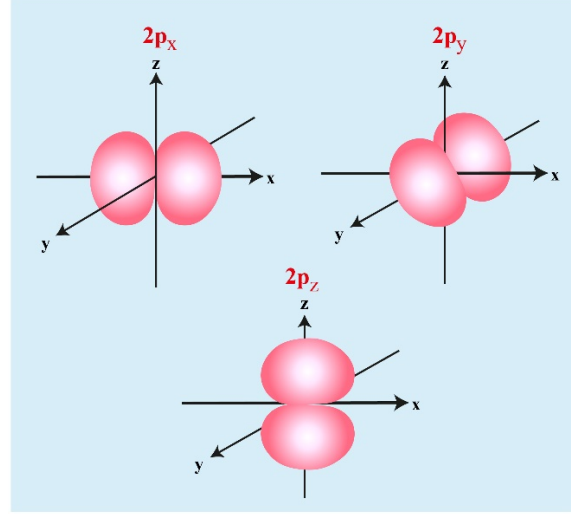
படம் 2.13 (அ) $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான நிகழ்தகவடர்வின் வரைகோடுகள் (ஆ) $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான வரப்பெற்றப்பட்டவரைவுகள்.

நிகழ்தகவடர்வு தொலைவையும் திசையமைவையும் சார்ந்து மாறுவதை மின்ம முகிற்படவரைவுகளாக நாம் மனங்காணலாம். [படம் 2.13 (a)]. இப்படவரைவுகளில், ஒரு

வட்டாரத்திலுள்ள புள்ளிகளின் அடர்வு அவ்வட்டாரத்திலுள்ள எதிர்மின்னியின் நிகழ்தகவடர்வை குறிக்கிறது.

வரப்புப்பரப்புப்படவரைவுகள் பரிதியங்களின் வடிவங்களை நன்கு குறிப்பிடுகின்றன. இந்த குறிப்பீட்டில், ஒரு பரிதியத்துக்கான வரப்புப்பரப்பு (உருவரைப்பரப்பு) வெளியில் வரைகிறோம். இப்பரப்பின்மேல் நிகழ்தகவடர்வின் ($|\psi|^2$) மதிப்பு மாறிலி. கோட்பாட்டளவில், இதைப்போன்ற பல வரப்புப்பரப்புகள் சாத்தியமெனினும், ஒரு பரிதியத்தில் எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவு ஒரு குறிப்பிட்ட பெருமளவில் (90% என்க) இருக்கும் வட்டாரத்தைக்காட்டும் பரப்பு³ வரைகிறோம். இது பரிதியத்தின் வடிவத்தை நன்கு காட்டுகிறது. $1s, 2s$ பரிதியங்களுக்கான வரப்புப்பரப்புப்படவரைவுகளை படம் 2.13(ஆ) இல் காணலாம். இங்கு ஒரு கேள்வி எழலாம். எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவு நூறு நூற்றுவிதமுள்ள வட்டாரங்களை ஏன் வரப்புப்பரப்புப்படவரைவாக வரைவதில்லை என்று கேட்கலாம். அணுக்கருவிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவடர்வுக்கு ($|\psi|^2$) எப்போதும், எவ்வளவு சிறியதாயினும், ஒரு சுழியமிலாமதிப்பு இருக்கிறது. எனவே 100% நிகழ்தகவை நாம் விரும்பினால் எல்லா வெளியும் வரப்புக்குள் வந்துவிடும். அதனால் அவ்வாறான ஒரு வரப்பு வரைவது பொருளற்றது. ஒரு s பரிதியத்தின் வரப்புப்பரப்புப்படவரைவு தருவது அணுக்கரு மையமாக உள்ள ஒரு கோளம். இருபருமானத்தில் இந்தக்கோளம் ஒரு வட்டமாக காட்சியளிக்கிறது. இது எதிர்மின்னியைக்காணும் நிகழ்தகவு சுமார் 90 நூற்றுவிதம் உள்ள வட்டாரத்தை உள்ளடக்கியது.

இவ்வாறாக, $1s, 2s$ பரிதியங்கள் கோள வடிவானவை எனக்காண்கிறோம். உண்மையில், எல்லா s பரிதியங்களும் கோளச்சமச்சீரானவை. அதாவது, எதிர்மின்னியை காண்பதற்கான நிகழ்தகவு ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் அனைத்துத்திசைகளிலும் சமமாக உள்ளது. பரிதியங்களின் முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணான n அதிகரிக்கும்போது, பரிதியங்களின் அளவும் அதிகரிக்கிறது. அதாவது $4s > 3s > 2s > 1s$. இதனால், எதிர்மின்னி அணுக்கருவிலிருந்து மென்மேலும் அதிக தொலைவில் இடம்பெறுகிறது.



படம் 2.14 $2p$ பரிதியங்களின் ($l = 1$) வரப்புப்பரப்புப்படவரைவுகள்

மூன்று $2p$ பரிதியங்களின் ($l = 1$) வரப்புப்பரப்புப்படவரைவுகளை படம் 2.14 காட்டுகிறது. இப்படவரைவுகளில், அணுக்கரு மூலப்புள்ளியில் உள்ளது. s பரிதியங்கள் போலன்றி, இப்படவரைவுகள் கோளவடிவத்தில் இல்லை. மாறாக, ஒவ்வொரு p பரிதியத்திலும் **மடல்கள்** எனப்படும் இரண்டு திசைகள் உள்ளன. இவ்விரு மடல்களும் அணுக்கருவழியாக செல்லும் ஒரு சமதளப்பரப்பின் இரண்டு பக்கங்களிலும் உள்ளன. நிகழ்தகவடர்வுச்சார்பனின் மதிப்பு இச்சமதளப் பரப்பில் சுழியம். இரண்டு மடல்களும் இப்பரப்பில் ஒன்றையொன்று தொடுகின்றன. இம்மூன்று பரிதியங்களுக்கும் அளவு, வடிவம், ஆற்றல் ஆகிய பண்புகள் சமம். ஆயினும், மடல்களின் திசையமைவுகள் வேறுபடுகின்றன.

மூன்று $2p$ பரிதியங்களும் x, y, z அச்சங்களின்மீது கிடத்தப்பட்டுதாக நாம் கொள்ளலாம் என்பதால் அவற்றை முறையே, $2p_x, 2p_y, 2p_z$ என்று குறிக்கிறோம். பரிதியங்களின் $-1, 0, +1$ ஆகிய மூன்று m_l மதிப்புகளுக்கும் மூன்று x, y, z திசைகளுக்கும் தொடர்பில்லை என்பதை நாம் புரிந்துகொள்ள வேண்டும். மூன்று சாத்தியமான m_l மதிப்புகள் உள்ளதால் அவற்றின் அச்சுகள் ஒன்றுக்கொன்று செங்கோணமானவை என்று அறிவது போதுமானது. s பரிதியங்களைப்போலவே, p பரிதியங்களிலும் முதன்மைத்துணுக்கவெண் உயரும் போது அளவும் ஆற்றலும் அதிகரிக்கின்றன. எனவே, வெவ்வேறு p பரிதியங்களின் அளவின்

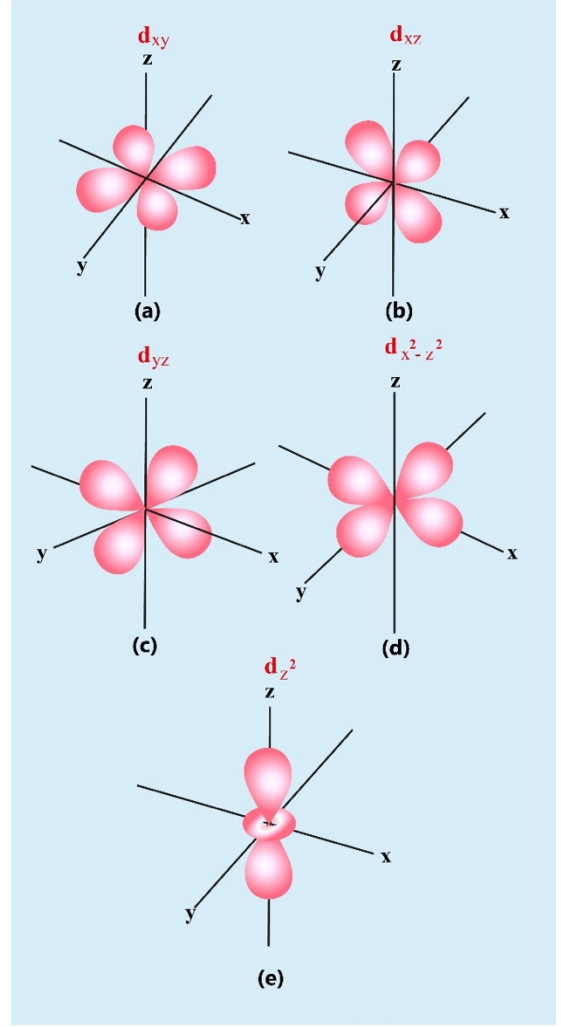
³ நிகழ்தகவடர்வான $|\psi|^2$ ஒரு பரப்பில் மாறிலியாயிருந்தால் $|\psi|$ உம் அந்த பரப்பில் மாறிலியே. இதனால் $|\psi|^2, |\psi|$ ஆகியவற்றின் வரப்புப்பரப்புகள் முற்றொருமையானவை (அதாவது, இரண்டும் ஒன்றே).

முறைமையும் ஆற்றலின் முறைமையும், $4p > 3p > 2p$ என்றிருக்கின்றன. மேலும், தொலைவு அணுக்கருவில் சுழியத்தில் தொடங்கி முடிவிலி வரை அதிகரிக்கும்போது, s பரிதியங்கள் போலவே, p பரிதியங்களின் நிகழ்தகவடர்வுச் சார்பன்களும் கணுக்களில் சுழியத்தின்வழி செல்கின்றன. ஒவ்வொரு பரிதியத்திலும் $(n - 2)$ கணுக்கள் உள்ளன. அதாவது $3p, 4p, \dots$ ஆகியவற்றில் கணுக்களின் எண்ணிக்கை முறையே, $1, 2, \dots$

l இன் மதிப்பு இரண்டு எனில் அது d பரிதியம்; இதற்கான n இன் சாத்தியமான மிகச்சிறிய மதிப்பு மூன்று. l இன் மதிப்பு $(n - 1)$ க்கு மிகாதன்றோ! $l = 2$ க்கு, ஐந்து m_l மதிப்புகள் உள்ளன. சாத்தியமான மதிப்புகள் $-2, -1, 0, +1, +2$. எனவே, ஐந்து d பரிதியங்கள் உள்ளன. d பரிதியங்களின் வரப்புப் பரப்புப்படவரைவை படம் 2.15இல் காணலாம்.

மேற்கூறிய ஐந்து d பரிதியங்களையும் $d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, d_{x^2 - y^2}, d_{z^2}$ என பெயர்க்குறிக்கிறோம். இவற்றுள் முதல் நான்கு d பரிதியங்களின் வடிவங்கள் ஒன்றைப்போலவே மற்றொன்றும் உள்ளது. $m_l = 0$ க்கு நிகரான d_{z^2} பரிதியத்தின் வடிவம் மற்றவற்றிலிருந்து வேறுபடுகிறது. ஆனால், ஐந்து $3d$ பரிதியங்களும் ஒரே ஆற்றலுள்ளவை. n இன் மதிப்பு 3ஐ விட அதிகமுள்ள d பரிதியங்களும் $(4d, 5d, \dots)$, $3d$ பரிதியங்களின் வடிவத்தையொத்துள்ளன. ஆனால், அவை அளவிலும் ஆற்றலிலும் வேறுபடுகின்றன.

ஆரக்கணுக்களைத்தவிர np, nd பரிதியங்களின் நிகழ்தகவடர்வுச்சார்பன் சுழியமாகும் வேறு பரப்புகளும் இருக்கின்றன. இவை மூலப்புள்ளிவழி செல்லும் தளங்கள். சான்றாக, p_z பரிதியத்தில் xy தளம் ஒரு கணுபரப்பு. d_{xy} பரிதியத்துக்கு மூலப்புள்ளிவழி செல்லும் இரண்டு கணுபரப்புகள் உள்ளன. z அச்சை உள்ளடக்கிய அவை xy தளத்தை இருசமவெட்டு கின்றன. இவற்றை கோணக்கணுக்கள் என்று அழைக்கிறோம். ஒரு பரிதியத்தில் அதன் l மதிப்புக்கு சமமான கோணக்கணுக்கள் உள்ளன. அதாவது, p பரிதியத்துக்கு ஒரு கணுவும், d பரிதியத்துக்கு இரண்டு கோணக்கணுக்களும் இருக்கின்றன. ஆகவே, ஒரு பரிதியத்தில் l கோணக்கணுக்களும் $(n - l - 1)$ ஆரக்கணுக்களும் மொத்தம் $(n - 1)$ கணுக்கள் இருக்கின்றன.



படம் 2.15 $3d$ பரிதியங்களின் வரப்புப்பரப்புப்படவரைவுகள்

2.6.3 பரிதியங்களின் ஆற்றல்கள்

ஒரு ஐதரசவணுவிலுள்ள எதிர்மின்னியின் ஆற்றலை அதன் முதன்மைத்துணுக்கவெண் மட்டுமே தீர்மானிக்கிறது. பரிதியங்களின் ஆற்றல் கீழ்க்காணுமாறு அதிகரிக்கிறது:

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f \quad (2.24)$$

(ஒற்றையெதிர்மின்னி)

இதையே படம் 2.16 வரைவிளக்குகிறது.

$2s, 2p$ பரிதியங்களின் வடிவங்கள் வேறுபடினும் அவற்றின் ஆற்றல்கள் சமம். ஒரே ஆற்றலுள்ள பரிதியங்களை உலைந்தோடுபரிதியங்கள் என அழைக்கிறோம். ஐதரசனின் $1s$ பரிதியம் மீப்பெரும் நிலைப்பானது என்பதால் இதை **தரைநிலையென** அழைக்கிறோம். இப் பரிதியத்தில் தங்கியுள்ள ஒரு எதிர்மின்னி அணுக்கருவுடன் இறுக தளையுண்டிருக்கிறது.

அதிக ஆற்றலுள்ள $2s, 2p$ போன்ற உயர் பரிதியங்களை **கிளர்ச்சிநிலைகள்** என்கிறோம்.

ஐதரசவணுவில் ஒரு பரிதியத்தின் ஆற்றல் முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணை (கூடு) மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. ஆனால், பலவெதிர்மின்னியணுக்களில் ஒரு பரிதியத்தின் ஆற்றல் முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணையும் அடிச்சாய்வுத்துணுக்கவெண்ணையும் (துணைக்கூடு) சார்ந்தது; அதாவது, n என்ற ஒரு முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணுக்கு s, p, d, f, \dots போன்ற பரிதியங்களின் ஆற்றல்கள் வேறுபடுகின்றன. அத்துணுக்கவெண்ணுக்கான (n) பரிதியங்களின் ஆற்றல் முறைமை

$$s < p < d < f \dots$$

என்றவாறு உள்ளது. ஆனால், உயராற்றல்மட்டங்களில் எல்லா ($n + 1$) பரிதியங்களும் எல்லா n பரிதியங்களைவிட அதிக ஆற்றலுடையவை அல்ல. சான்றாக,

$$4s < 3d; \quad 6s < 5d; \quad 4f < 6p$$

போன்ற விதிவிலக்குகளை நாம் காணலாம். துணைக்கூடுகளின் வேறுபட்ட ஆற்றல்களுக்கான முதன்மைக்காரணம் பலவெதிர்மின்னியணுக்களில் எதிர்மின்னிகள் ஒன்றையொன்று விலக்குவது; ஒரே எதிர்மின்னியுள்ள ஐதரசன் போன்ற அமைப்புகளில் இந்த விலக்கல்கள் இல்லை. ஐதரசவணுவில் எதிர்மின்மேற்ற எதிர்மின்னிக்கும் நேர்மின்மேற்ற அணுக்கருவுக்குமாக ஒரே ஒரு மின்னிடையினையே உள்ளது. பலவெதிர்மின்னியணுக்களில், அணுக்கருவுக்கும் எதிர்மின்னிகளுக்குமிடையான ஈர்ப்பு மட்டுமன்றி, ஒவ்வொரு எதிர்மின்னிக்கும் மற்ற எதிர்மின்னிகளுக்கும் இடையேயுள்ள விலக்கல் உருபுகளும் உள்ளன. இப்படியாக, ஒரு பலவெதிர்மின்னியணுவில் ஒரு எதிர்மின்னியின் நிலைப்புக்கான காரணம் ஈர்ப்பு விசைகள் விலக்கல் விசைகளை விட அதிகமாயிருப்பதே. பொதுவாக, கீழ்க்கூட்டிலிருக்கும் எதிர்மின்னிகளுக்கும், வெளிக்கூட்டிலிருக்கும் எதிர்மின்னிகளுக்கும், வெளிக்கூட்டிலிருக்கும் எதிர்மின்னிகளுக்குமிடையான விலக்கலிடையினை முக்கியமானது. ஆனால் அணுக்கருவிலுள்ள நேர்மின்மம் (Ze) அதிகரிக்கும்போது ஒரு எதிர்மின்னியீது அதன் ஈர்ப்பிடையினை அதிகரிக்கிறது. உட்கூடுகளில் எதிர்மின்னிகள் இருப்பதால், வெளிக்கூட்டிலிருக்கும் எதிர்மின்னி அணுக்கருவின் முழு நேர்மின்மத்தையும் (Ze) உணர்வதில்லை உட்கூட்டின் எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவின் நேர்மின்மத்தை பகுதியளவு திரையிட்டு மறைப்பதால் மேற்கண்ட விளைவு குறைகிறது. **உட்கூட்டெதிர்மின்னிகள் வெளிக்கூட்டெதிர்மின்னிகளை அணுக்கருவி லிருந்து கவசமிட்டு மறைக்கின்றன.** எனவே, வெளிக்கூட்டெதிர்மின்னிகள் உணரும் எஞ்சிய நேர்மின்மத்தை விளைவுறு அணுக்கருமின்மம்

($Z_{eff} \cdot e$) என்கிறோம். வெளிக்கூட்டெதிர்மின்னிகளை இக்கவசமிடல் அணுக்கருவிலிருந்து மறைத்தபோதிலும், அணுக்கருவின் நேர்மின்மம் அதிகரிக்கும்போது வெளிக்கூட்டெதிர்மின்னிகள் உணரும் ஈர்ப்புவிசை அதிகரிக்கவே செய்கிறது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், அணுக்கருவுக்கும் எதிர்மின்னிக்குமிடையான இடைவினையாற்றல் (பரிதியவாற்றல்) அணுவெண் அதிகரிக்கும்போது குறைகிறது (அதாவது அதிக எதிர்மமாகிறது).

விலக்கலிடையினையும் ஈர்ப்பிடையினையும் எதிர்மின்னி இருக்கும் பரிதியத்தின் கூட்டையும், வடிவத்தையும் சார்ந்தவை. சான்றாக, கோளவடிவ s பரிதியத்திலுள்ள எதிர்மின்னிகள் வெளியெதிர்மின்னிகளை கவசமிடுவது p பரிதிய எதிர்மின்னிகள் கவசமிடுவதைவிட அதிகவிளைவுள்ளது. p பரிதிய எதிர்மின்னிகள் வெளியெதிர்மின்னிகளை கவசமிடுவது d பரிதியவெதிர்மின்னிகள் கவசமிடுவதைவிட அதிகவிளைவுள்ளது. s, p, d ஆகிய பரிதியங்களனைத்தும் ஒரே கூட்டிலிருந்தாலும் இவ்வேறுபாடுகளை காண்கிறோம். மேலும், ஒரு கூட்டுக்குள்ளே கோளவடிவ s பரிதியவெதிர்மின்னி p பரிதிய எதிர்மின்னியைவிட அதிக நேரத்துக்கு அணுக்கருவினருகில் இருக்கிறது. அதைப்போல், p பரிதியவெதிர்மின்னி d பரிதியவெதிர்மின்னியைவிட அதிக நேரத்துக்கு அணுக்கருவினருகில் இருக்கிறது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், ஒரு குறிப்பிட்ட முதன்மைத்துணுக்கவெண்ணுள்ள கூட்டில், எதிர்மின்னி உணரும் Z_{eff} இன் மதிப்பு சாய்கோணத்துணுக்கவெண் (l) அதிகரிக்கும் போது குறைகிறது. அதாவது, **அணுக்கரு s எதிர்மின்னியை p எதிர்மின்னியைவிட அதிக இறுக்கமாகவும் p எதிர்மின்னியை d எதிர்மின்னியைவிட அதிக இறுக்கமாகவும் தளளக்கின்றது.** s ஆற்றல் p ஆற்றலைவிட குறைவு (அதிக எதிர்மமானது); p ஆற்றல் d ஆற்றலைவிட குறைவு; இவ்வாறே பிறவும். வெவ்வேறு பரிதியங்களிலுள்ள எதிர்மின்னிகள் வெவ்வேறு அளவுக்கு அணுக்கருவிலிருந்து கவசமிடப்படுவதால், ஒரே கூட்டுக்குள் (n சமம்) இருந்தாலும், எதிர்மின்னிகளின் ஆற்றலிலைகள் பிரிதலுக்கு இது காரணமாகிறது. அதாவது, ஒரு பரிதியத்திலுள்ள எதிர்மின்னியாற்றல் n, l ஆகிய இரண்டு துணுக்கவெண்களையும் சார்ந்தது. கணிதப்படி n, l ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மாறும் எதிர்மின்னியாற்றலுக்கான சார்பன் மிகச்சிக்கலானபோதும், ஒரு எளிய விதிப்படி, ஒரு பரிதியத்தின் ($n + l$) இன் மதிப்பு குறைய அதன் ஆற்றல் குறைகிறது; இரண்டு பரிதியங்களுக்கு ஒரே ($n + l$)

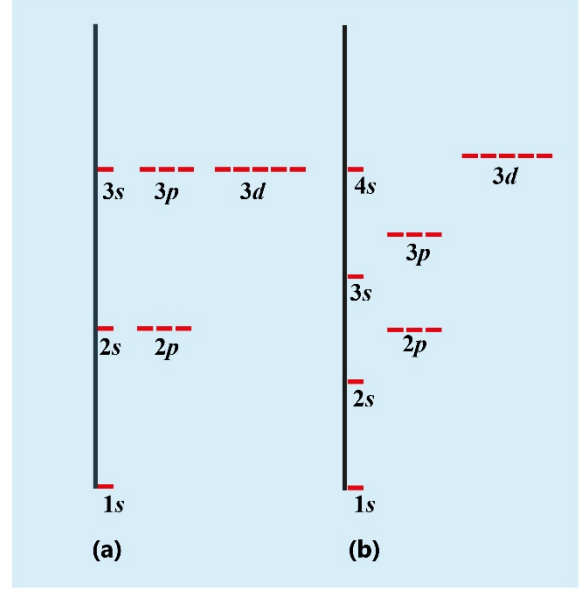
மதிப்பு இருக்கும்போது, குறைந்த n மதிப்புள்ள பரிதியத்துக்கு குறைவான ஆற்றல் இருக்கிறது. அட்டவணை 2.5 இவ்விதியை எடுத்துக்காட்டுகிறது.

அட்டவணை 2.5 ($n + l$) விதியின் அடிப்படையில் ஆற்றலின் ஏறுமுறைமையில் பரிதியங்கள் அடுக்கமைதல்

பரிதியங்கள்	n	l	$(n + l)$	
1s	1	0	1 + 0 = 1	
2s	2	0	2 + 0 = 2	$2p (n = 2)$
2p	2	1	2 + 1 = 3	$< 3s (n = 3)$
3s	3	0	3 + 0 = 3	
3p	3	1	3 + 1 = 4	$3p (n = 3)$
4s	4	0	4 + 0 = 4	$< 4s (n = 4)$
3d	3	2	3 + 2 = 5	
4p	4	1	4 + 1 = 5	$3d (n = 3)$
				$< 4p (n = 4)$

ஆற்றன்மட்டங்களை படம் 2.16 படவரைவாக காட்டுகிறது. பலவெதிர்மின்னியணுக்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட கூட்டின் துணைக்கூடுகள் வெவ்வேறு ஆற்றல்களுள்ளவை; எனினும் ஐதரசவணுவில் இவை சமவாற்றலுள்ளவை. இறுதியாக, ஒரே துணைக்கூட்டிலுள்ள பரிதியங்களின் ஆற்றல்கள் அணுவெண் அதிகரிக்கும்போது குறைகின்றன (Z_{eff}). சான்றாக, ஐதரசனின் 2s பரிதியவாற்றல் இலித்தியத்தின் 2s பரிதியவாற்றலைவிட அதிகம்; இலித்தியத்தின் 2s பரிதியவாற்றல் சோடியத்தினதை விட அதிகம்; இவ்வாறே பிறவும். அதாவது,

$$E_{2s} (\text{ஐதரசன்}) > E_{2s} (Li, \text{இலித்தியம்}) > E_{2s} (\text{சோடியம்}) > E_{2s} (\text{பொட்டாசியம்}).$$



படம் 2.16 சில எதிர்மின்னிக்கூடுகளின் ஆற்றன்மட்டப்படவரைவுகள். (a) ஐதரசவணு (b) பலவெதிர்மின்னியணுக்கள். ஐதரசவணுவில் ஒரே n மதிப்புள்ள பரிதியங்கள் எல்லா சாய்கோணத்துணுக்கவெண்களுக்கும் ஒரே ஆற்றலுள்ளவை. பலவெதிர்மின்னியணுக்களில் ஒரே n மதிப்புள்ள பரிதியங்கள், வெவ்வேறு சாய்கோணத்துணுக்கவெண்களுக்கு வெவ்வேறு ஆற்றலுள்ளவை.

2.6.4 அணுவில் பரிதியங்களை நிரப்பதல்

பல்வேறு அணுக்களின் பரிதியங்களை எதிர்மின்னிகளால் நிரப்பதல் கட்டுமுறைக் கொள்கையின்படி நடைபெறுகிறது. இக் கொள்கை பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கை, உண்டின் மீப்பெருமப்பன்மய விதி, பரிதியங்களின் ஒப்பும வாற்றல்கள் ஆகியவற்றின் அடிப்படையிலானது.

கட்டுமானக்கொள்கை

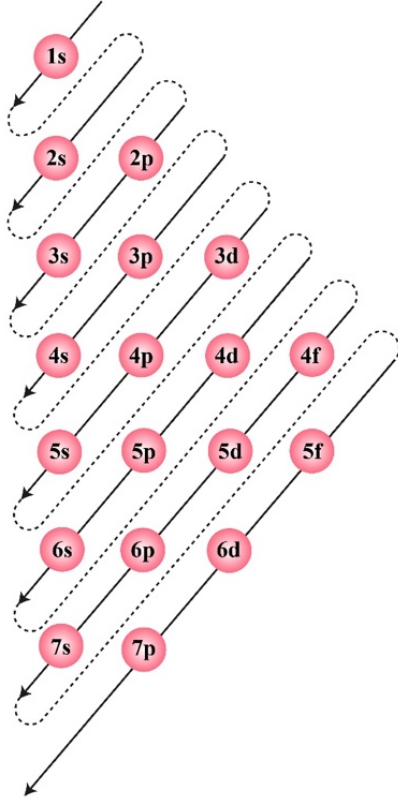
பரிதியங்களைக்கட்டுதல் என்பதற்கு பரிதியங்களை எதிர்மின்னிகளால் நிரப்பதல் என்று பொருள். இக்கொள்கை அணுக்களின் தரைநிலையில் ஆற்றல்களின் ஏறுவரிசையில் பரிதியங்களில் எதிர்மின்னிகள் நிரம்புகின்றன என்று கூறுகிறது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், எதிர்மின்னிகள் கிடைக்கின்ற பரிதியங்களில் மீச்சிறிய ஆற்றலுள்ள ஒன்றை நிரப்புகின்றன. அது முழுவதும் நிரம்பிய பின்னர், உயராற்றலுள்ள பரிதியங்களில் துழைகின்றன. ஒரு பரிதியத்தின் ஆற்றல்மீது அதன் விளைவுறு அணுக்கருமின்மம் விளைவுசெலுத்துகிறது என்பதையும் அது வெவ்வேறு பரிதியங்களின்மீது வெவ்வேறு

அளவுக்கு விளைவுசெலுத்துகிறது என்பதையும் நீங்கள் மேல் கற்றீர்கள். எனவே, எல்லா அணுக்களுக்கும் முழுச்சரியாகும்வகையிலான அனைத்துவமான ஆற்றன்முறைமை என்பது இல்லை.

இருப்பினும் கீழ் தரப்பட்டுள்ள ஆற்றல்களின் வரிசை மிக மிக உதவியாயிருக்கும்:

$$1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 4f, 5d, 6p, 7s, \dots$$

இவ்வரிசையை எளிதில் நினைவில் வைத்துக் கொள்ளும் ஒரு முறையை படம் 2.17 தருகிறது.



படம் 2.17 பரிதியங்களை நிரப்பும் முறைமை

வலது மேற்புறத்திலிருந்து தொடங்கி இடது கீழ்ப்புறம்வரை செல்லும் அம்புக்குறிகளின் திசைகள் பரிதியங்களை நிரப்பும் முறைமையை தருகின்றன. மீவெளியப் பிணைவு எதிர்மின்னி களைப்பொறுத்த மட்டில், எல்லா அணுக்களுக்கும் இம்முறைமை மிகச்சரியாக உள்ளது. சான்றாக, பொட்டாசியத்தின் பிணைவு எதிர்மின்னி $3d$, $4s$ ஆகிய பரிதியங்களுக்கிடையில் ஒன்றை தேர்வுசெய்யும்போது மேற்கூறிய வரிசையின் முன்னறிதலைப்பின்பற்றி $2s$ பரிதியத்தில் இருக்கிறது. இம்முறைமையை ஆற்றன்மட்டங்களை நிரப்புவதற்கான ஒரு கரட்டுவழியாக கருதவேண்டும். பலநேரங்களில் பரிதியங்கள் ஆற்றலில் அதிகமாக வேறுபடுவதில்லை.

அணுக்கட்டமைப்பில் ஏற்படும் சிறிய மாற்றம் எதிர்மின்னிகளை நிரப்பும் வரிசையில் மாற்றத்தை கொண்டுவரலாம். இவ்வாறு, மேல் குறிப்பிட்ட முறைமைத்தொடர் ஓரணுவின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்பின் கட்டுமானத்தில் பயனுள்ள ஒரு வழிகாட்டியாக உள்ளது; ஆயினும், இதில் விதிவிலக்குகள் இருக்கலாம் என்பதை நாம் நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.

பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கை

ஆசுத்திரியாவின் அறிவியலர் உல்புகேங்கு பாலி (1926) தந்த தவிர்ப்புக்கொள்கை பரிதியங்களில் எதிர்மின்னிகள் நிரப்புவதை கட்டுப்படுத்துகிறது. இக்கொள்கையின்படி, ஓரணுவிலுள்ள எந்த இரண்டு எதிர்மின்னிகளுக்கும் நான்கு துணுக்கவெண்களும் சமமாயிருக்கவியலாது. பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கையை இப்படியும் கூறலாம்: ஒரு பரிதியத்தில் இரண்டு எதிர்மின்னிகள் மட்டுமே இருக்கவியலும். இவையிரண்டுக்கும் எதிரெதிர் தற்சுழல்கள் ($+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$) இருக்கவேண்டும். அதாவது, n, l, m_s ஆகிய மூன்று துணுக்கவெண்களும் சமமாயுள்ள இரண்டு எதிர்மின்னிகளின் தற்சுழற்றுணுக்கவெண்கள் எதிரெதிராக இருக்க வேண்டும் ($s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$). எந்தவொரு துணைக்கூட்டிலும் இருக்கக்கூடிய மொத்த எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிட பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கையின் கட்டுப்பாடுகள் உதவுகின்றன. சான்றாக, $1s$ துணைக்கூட்டில் ஒரேயொரு பரிதியமும், மீப்பெருமமாக இரண்டு எதிர்மின்னிகளும் உள்ளன; p, d ஆகிய துணைக்கூடுகளில் முறையே 3, 5 பரிதியங்களும் மீப்பெருமமாக முறையே 6, 10 எதிர்மின்னிகளும் உள்ளன. சுருக்கமாக முதன்மைத்துணுக்க வெண்ணின் மதிப்பு n ஆகவுள்ள ஒரு கூட்டில் எதிர்மின்னிகளின் மீப்பெரும எண்ணிக்கை $2n^2$.

உண்டின் மீப்பெருமப்பன்மய விதி

ஒரே துணைக்கூட்டின் பரிதியங்கள் ஒரே ஆற்றலுள்ளவை. இதனால் இவற்றை நாம் உலைந்தோடுபரிதியங்கள் என்கிறோம். இவ்வாறான பரிதியங்களை (p, d, f) எதிர்மின்னிகளால் நிரப்பும் விதத்தை உண்டின் விதி தருகிறது. ஒரே துணைக்கூட்டிலுள்ள பரிதியங்களில் எதிர்மின்னிகள் சோடியாகும் முன்னர், ஒவ்வொரு பரிதித்திலும் குறைந்தது ஒரு எதிர்மின்னியாவது இருக்கவேண்டும் என்கிறது இந்த விதி. அதாவது, துணைக்கூட்டிலுள்ள எல்லாப்பரிதியங்களிலும் ஒற்றையெதிர்மின்னியை வைத்தபின்பே நாம் இரண்டாம் எதிர்மின்னியை வைக்கத்தொடங்கலாம். மூன்று p , ஐந்து d , ஏழு f பரிதியங்கள் உள்ளதால், இவற்றில் முறையே, நானாகாவது, ஆறாவது, எட்டாவது எதிர்மின்னி நுழையும்

முதன்மைத்துணுக்கவெண் எதிர்மின்னிக்கூட்டில் ணுள்ள சேர்க்கப்படும் எதிர்மின்னி களை **பிணைவும எதிர்மின்னிகள்** எனவும் அழைக்கிறோம். சான்றாக, நியானி லுள்ள எல்லா எதிர்மின்னிகளும் உள்வ எதிர்மின்னிகள்; பிணைவும எதிர்மின்னிகள் இல்லை.. சோடியம்முதல் (*Na*) ஆர்கான்வரையான (*Ar*) அணுக்களில் நியானைப்போன்ற அமைவடிவமுள்ள ஒரு உள்வமும் அதற்குமேல் சேர்க்கப்படும் பல பிணைவும எதிர்மின்னிகளும் உள்ளன. பொட்டாசியத்திலும் (*K*) கால்சியத்திலும் (*Ca*) 4sபரிதியம் 3dபரிதியத்தைவிட குறைந்த ஆற்றலுள்ளதால், முறையே 1,2 எதிர்மின்னிகள் அதில் தங்குகின்றன.

காண்டியம்முதல் (*Sc*) ஒரு புதிய பாங்கை அணுக்கள் பின்பற்றுகின்றன. 4pபரிதியத்தை விட, 3dக்கு குறைவான ஆற்றலுள்ளதால், 3d முதலில் நிரம்புகிறது. இதன் விளைவாக, அடுத்த பத்து தனிமங்களான காண்டியம் (*Sc*), தைட்டேனியம் (*Ti*), வனேடியம் (*V*) குரோமியம் (*Cr*), மாங்கனீசு (*Mn*), இரும்பு (*Fe*), கோபாற்று (*Co*), செம்பு (*Cu*), துத்தநாகம் (*Zn*) ஆகியவற்றில் 3d பரிதியங்களுக்கு எதிர்மின்னிகள் படிப்படியாக செல்கின்றன. குரோமியத்திலும் (*Cr*) செம்பிலும் (*Cu*) நாம் காணும் எதிர்மின்னியமைவடிவங்கள் புதிராகவுள்ளன.

எதிர்பார்ப்பது:

${}_{24}Cr: [Ar]^{18} 4s^2 3d^4$ ${}_{29}Cu: [Ar]^{18} 4s^2 3d^9$
ஆனால் காண்பது
 ${}_{24}Cr: [Ar]^{18} 4s^1 3d^5$ ${}_{29}Cu: [Ar]^{18} 4s^1 3d^{10}$
பாதிமாகவும் முழுவதுமாகவும் நிரம்பிய பரிதியங்கள் அதிகப்படியான நிலைப்பை (குறைந்த ஆற்றலை) அடைகின்றன என்பதே இதன் காரணம். இப்படியாக, அரைமடங்கோ முழுவதுமோ நிரம்பிய $p^3, p^5, d^5, d^{10}, f^7, f^{14}, \dots$ ஆகியவை அதிகப்படியான நிலைப்புள்ளவை. எனவே, குரோமியம், செம்பு முதலியவற்றுக்கு முறையே $3d^5, 3d^{10}$ எனும் அமைவடிவங்கள் உள்ளன (2.6.6ஆம் பகுதி). (கவனம்: விதிவிலக்குகள் உள்ளன).

3dபரிதியங்கள் நிரம்பியவுடன், 4p பரிதியங்கள் காலியத்தில் (*Ga*) தொடங்கி கிரிப்பானில் (*Kr*) முழுவதும் நிரம்புகின்றன. அடுத்து வரும் 18 தனிமங்களான உருபிடியம் முதல் (*Rb*) செனான்வரை (*Xe*) 5s, 4d, 5p ஆகிய பரிதியங்கள் நிரம்பும் பாங்கு மேலே 4s, 3d, 4p ஆகியவற்றுக்காக உரையளித்தது போன்றதே. பின்னர், 6sபரிதியத்தின் முறை வருகிறது. சீசியத்திலும் (*Cs*), பேரியத்திலும் (*Ba*) 6sபரிதியங்களில் முறையே 1, 2 எதிர்மின்னிகள்

உள்ளன. பின்னர், இலாந்தனம்முதல் (*La*) பாதரசம்வரையில் (*Hg*) எதிர்மின்னிகள் 4f, 5dபரிதியங்களை நிரப்புகின்றன. இதன்பின் 6p, 7sபரிதியங்களும், இறுதியாக 5fபரிதியமும் நிரம்புவது நடைபெறுகிறது. உரையித்திற்குப் பின்னுள்ள தனிமங்கள் குறைந்த நேரமே வாழ்வன. அவற்றை செயற்கையாக தயாரிக்கிறோம். தெரிந்த தனிமங்களின் (நிறநிரலியலால் தீர்மானிக்கப்பட்ட) எதிர்மின்னியமைவடிவங்களை அட்டவணை 2.6இல் பட்டியலிடுகிறோம்.

எதிர்மின்னியமைவடிவங்களை தெரிந்து கொள்வதால் என்ன பயன் என ஒருவர் கேட்கலாம். வேதிப்பொருள்களின் நடத்தையை புரிந்து கொள்ளவும் விளக்கவும் புதுக்கால வேதியியல் அணுகும் முறை முற்றிலும் எதிர்மின்னியமைவடிவங்களையே சார்ந்துள்ளது. சான்றாக, இரண்டோ மேற்பட்டதோவான அணுக்கள் ஒன்றிணைந்து ஏன் மூலக்கூறுகளை உருவாக்குகின்றன; ஏன் ஒரு சில தனிமங்கள் மாழைகளாகவும் மற்றவை அன்மாழைகளாகவும் உள்ளன; ஈலியம், ஆர்கான் போன்ற தனிமங்கள் ஏன் வினையாவதில்லை; ஆனால் உப்பாக்கிகள் வேதிவினையமிக்கவையாய் உள்ளன; இன்ன பிற கேள்விகள் எதிர்மின்னியமைவடிவங்களில் எளிய விளக்கங்களை பெறுகின்றன. தாற்றனின் அணுவொப்புருவில் இவற்றுக்கான விடைகள் ஏதுமில்லை. எனவே புதுக்கால வேதியியலறிவின் பல்வேறு முகமங்களில் உண்ணாக்கம் பெற எதிர்மின்னியின் கட்டமைப்பை விரிவாக புரிந்துகொள்வது அவசியம்.

2.6.6 முழுவதுமாகவோ சரிபாதிமாகவோ நிரம்பிய துணைக்கூடுகளின் நிலைப்புமை

ஓரணுவின் தரைநிலையெதிர்மின்னியமைவடிவம் எப்போதும் மிகக்குறைந்த மொத்த எதிர்மின்னியாற்றலுள்ள நிலைக்கு நிகரானது. பெரும்பான்மையான அணுக்களின் எதிர்மின்னியமைவடிவங்கள் 2.6.5ஆம் பகுதியில் தரப்பட்ட அடிப்படை விதிகளை பின்பற்றுகின்றன. இருப்பினும் செம்பு, குரோமியம் போன்ற சில தனிமங்களில் 4s, 3d ஆகியவற்றின் ஆற்றல்கள் சிறிதே வேறுபடுகின்றன. இவற்றில் அதிக ஆற்றலுள்ள துணைக்கூடு முழுவதுமாகவோ சரிபாதிமாகவோ நிரம்பும் சாத்தியக்கூறு இருந்தால் ஒரு எதிர்மின்னி ஒரு குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட 4sதுணைக்கூட்டிலிருந்து அதிக ஆற்றலுள்ள 3dதுணைக்கூட்டுக்கு மாற்றம்பெறுகிறது. இவ்விரண்டு மாழைகளின் எதிர்மின்னியமைவடிவங்கள் $3d^4 4s^2$, $3d^9 4s^2$ அல்லாமல் முறையே, $3d^5 4s^1$, $3d^{10} 4s^1$. இத்தகு எதிர்மின்னியமைவடிவங்கள் அதிக நிலைப்பாக இருப்பதை கண்டுள்ளனர்.

முழுவதுமோ பாதியோ நிரம்பிய துணைக்கூடுகளின்
நிலைப்புமைக்கான காரணங்கள்

கீழ்க்காணும் காரணங்களால் முழுவதுமோ சரிபாதியோ நிரம்பிய துணைக்கூடுகள் நிலைப்பானவை.

1. எதிர்மின்னிகளின் சமச்சீர்மையான பரவல்

சமச்சீர்மை நிலைப்புமைக்கு காரண மாவதை நன்கறிவோம். முழுவதுமோ சரிபாதியோ நிரம்பிய துணைக்கூடுகளில் எதிர்மின்னிகள் சமச்சீராக பரவியிருக்கின்றன. எனவே அவை அதிக நிலைப்பானவை. ஒரே துணைக்கூட்டிலுள்ள (இங்கு 3d) எதிர்மின்னிகளில் ஒரே ஆற்றலும் மாறுபட்ட வெளிப்பரவலும் உள்ளன. இதன் விளைவாக, அவை ஒன்றையொன்று கவசமிடும் திறன் ஒப்பளவில் சிறியது. எனவே எதிர்மின்னிகளை அணுக்கரு அதிக வலுவுடன் ஈர்க்கிறது; எதிர்மின்னிகள் அணுகருவருகில் வரும்போது ஆற்றல் குறைகிறது.

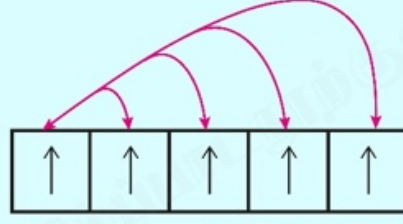
2. இடைமாற்றாற்றல்

ஒரு துணைக்கூட்டின் உலைந்தோடுபரிதியங்களில் ஒரே தற்சுழலுள்ள இரண்டோ மேற்பட்டதோவான எதிர்மின்னிகள் இருக்கும் போதெல்லாம் நிலைப்பாக்கவிளைவு எழுகிறது. இவ்வெதிர்மின்னிகள் தங்கள் இடநிலைகளை இடைமாற்றுவதால் குறையும் ஆற்றலை இடைமாற்றாற்றல் என்கிறோம். இவ்வகையான இடைமாற்றங்களின் எண்ணிக்கை துணைக்கூடு முழுவதுமோ பாதியோ நிரம்பியுள்ளபோது மீப்பெருமளவில் உள்ளது (படம் 2.18). இதன் விளைவாக இடைமாற்றாற்றலும் மீப்பெரும மாவதால் நிலைப்புமையும் அதிகரிக்கின்றது.

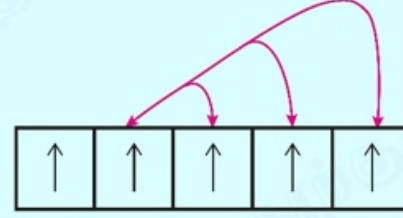
சம ஆற்றலுள்ள பரிதியங்களில் நுழையும்போது எதிர்மின்னிகள் இயன்றவரை இணையான தற்சுழல்களில் உள்ளன என்று கூறும் உண்டின் விதினடிப்படையில் இந்த இடைமாற்றாற்றல் இருப்பதை நீங்கள் கவனித்திருக்கலாம்.

வேறுவிதமாகச்சொன்னால், முழுமையாகவோ பாதியோ நிரம்பிய துணைக்கூடுகளின் நிலைப்புமைக்கான காரணங்கள் (அ) ஒப்பும அளவில் குறைந்த கவசமிடல் (ஆ) குறைவான கூலும் ஆற்றல் (இ) மிகப்பெரிய இடைமாற்றாற்றல்.

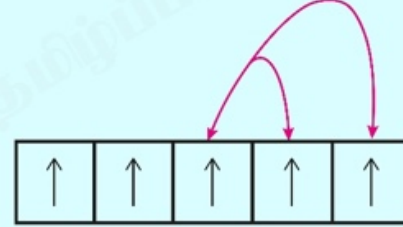
இடைமாற்றாற்றலைப்பற்றிய விரிவான விளக்கங்களை நீங்கள் உயர்வகுப்பு களில் படிப்பீர்கள்.



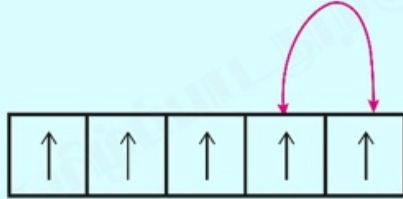
முதல் எதிர்மின்னியின் 4 இடைமாற்றங்கள்



2ஆம் எதிர்மின்னியின் 3 இடைமாற்றங்கள்



3ஆம் எதிர்மின்னியின் 2 இடைமாற்றங்கள்



4ஆம் எதிர்மின்னியின் 1 இடைமாற்றம்

படம் 2.18 ஒரு d^5 அமைவடிவத்தில் சாத்தியமான இடைமாற்றங்கள்

அட்டவணை 2.6 தனிமங்களின் எதிர்மின்னியமைவடிவங்கள்

தனிமமும் அணுவெண்ணும்	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
<i>H</i> 1	1						
<i>He</i> 2	2						
<i>Li</i> 3	2	1					
<i>Be</i> 4	2	2					
<i>B</i> 5	2	2 1					
<i>C</i> 6	2	2 2					
<i>N</i> 7	2	2 3					
<i>O</i> 8	2	2 4					
<i>F</i> 9	2	2 5					
<i>Ne</i> 10	2	2 6					
<i>Na</i> 11	2	2 6	1 2				
<i>Mg</i> 12	2	2 6	2 1				
<i>Al</i> 13	2	2 6	2 2				
<i>Si</i> 14	2	2 6	2 3				
<i>P</i> 15	2	2 6	2 4				
<i>S</i> 16	2	2 6	2 5				
<i>Cl</i> 17	2	2 6	2 6				
<i>Ar</i> 18	2	2 6					
தனிமமும் அணுவெண்ணும்	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
<i>K</i> 19	2	2 6	2 6	1			
<i>Ca</i> 20	2	2 6	2 6	2			
<i>Sc</i> 21	2	2 6	2 6 1	2			
<i>Ti</i> 22	2	2 6	2 6 2	2			
<i>V</i> 23	2	2 6	2 6 3	2			
<i>Cr</i> * 24	2	2 6	2 6 5	1			
<i>Mn</i> 25	2	2 6	2 6 6	2			
<i>Fe</i> 26	2	2 6	2 6 6	2			
<i>Co</i> 27	2	2 6	2 6 7	2			
<i>Ni</i> 28	2	2 6	2 6 8	2			
<i>Cu</i> * 29	2	2 6	2 6 10	1			
<i>Zn</i> 30	2	2 6	2 6 10	2			
<i>Ga</i> 31	2	2 6	2 6 10	2 1			
<i>Ge</i> 32	2	2 6	2 6 10	2 2			
<i>As</i> 33	2	2 6	2 6 10	2 3			
<i>Se</i> 34	2	2 6	2 6 10	2 4			
<i>Br</i> 35	2	2 6	2 6 10	2 5	1		
<i>Kr</i> 36	2	2 6	2 6 10	2 6	2		
<i>Rb</i> 37	2	2 6	2 6 10	2 6	2		
<i>Sr</i> 38	2	2 6	2 6 10	2 6	2		
<i>Y</i> 39	2	2 6	2 6 10	2 6 1	1		
<i>Zr</i> 40	2	2 6	2 6 10	2 6 2	1		

<i>Nb</i> * 41	2	2 6	2 6 10	2 6 4	2		
<i>M</i> * 42	2	2 6	2 6 10	2 6 5	1		
<i>Tc</i> 43	2	2 6	2 6 10	2 6 5	1		
<i>Ru</i> * 44	2	2 6	2 6 10	2 6 7			
<i>Rh</i> * 45	2	2 6	2 6 10	2 6 8	1		
<i>Pd</i> * 46	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2		
<i>Ag</i> * 47	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 1		
<i>Cd</i> 48	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 2		
<i>In</i> 49	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 3		
<i>Sn</i> 50	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 4		
<i>Sb</i> 51	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 5		
<i>Te</i> 52	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6		
<i>I</i> 53	2	2 6	2 6 10	2 6 10			
<i>Xe</i> 54	2	2 6	2 6 10	2 6 10			
தனிமமும் அணுவெண்ணும்	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
<i>Cs</i> 55	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	1	
<i>Ba</i> 56	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	2	
<i>La</i> * 57	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6 1	2	
<i>Ce</i> * 58	2	2 6	2 6 10	2 6 10 2	2 6	2	
<i>Pr</i> 59	2	2 6	2 6 10	2 6 10 3	2 6	2	
<i>Nd</i> 60	2	2 6	2 6 10	2 6 10 4	2 6	2	
<i>Pm</i> 61	2	2 6	2 6 10	2 6 10 5	2 6	2	
<i>Sm</i> 62	2	2 6	2 6 10	2 6 10 6	2 6	2	
<i>Eu</i> 63	2	2 6	2 6 10	2 6 10 7	2 6	2	
<i>Gd</i> * 64	2	2 6	2 6 10	2 6 10 7	2 6 1	2	
<i>Tb</i> 65	2	2 6	2 6 10	2 6 10 9	2 6	2	
<i>Dy</i> 66	2	2 6	2 6 10	2 6 10 10	2 6	2	
<i>Ho</i> 67	2	2 6	2 6 10	2 6 10 11	2 6	2	
<i>Er</i> 68	2	2 6	2 6 10	2 6 10 12	2 6	2	
<i>Tm</i> 69	2	2 6	2 6 10	2 6 10 13	2 6	2	
<i>Yb</i> 70	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6	2	
<i>Lu</i> 71	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 1	2	
<i>Hf</i> 72	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 2	2	
<i>Ta</i> 73	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 3	2	
<i>W</i> 74	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 4	2	
<i>Re</i> 75	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 5	2	
<i>Os</i> 76	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 6	2	
<i>Ir</i> 77	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 7	2	
<i>Pt</i> * 78	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	1	
<i>Au</i> * 79	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	1	
<i>Hg</i> 80	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2	
<i>Tl</i> 81	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 1	
<i>Pb</i> 82	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 2	

<i>Bi</i> 83	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 3	
<i>Po</i> 84	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 4	
<i>At</i> 85	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 5	
<i>Rn</i> 86	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	
தனிமமும் அணுவெண்ணும்	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
<i>Fr</i> 87	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	1
<i>Ra</i> 88	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	2
<i>Ac</i> 89	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2
<i>Th</i> 90	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 2	2
<i>Pa</i> 91	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 2	2 6 1	2
<i>U</i> 92	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 3	2 6 1	2
<i>Np</i> 93	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 4	2 6 1	2
<i>Pu</i> 94	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 6	2 6	2
<i>Am</i> 95	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6	2
<i>Cm</i> 96	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6 1	2
<i>Bk</i> 97	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 8	2 6 1	2
<i>Cf</i> 98	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 10	2 6	2
<i>Es</i> 99	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 11	2 6	2
<i>Fm</i> 100	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 12	2 6	2
<i>Md</i> 101	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 13	2 6	2
<i>No</i> 102	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6	2
<i>Lr</i> 103	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 1	2
<i>Rf</i> 104	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 2	2
<i>Db</i> 105	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 3	2
<i>Sg</i> 106	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 4	2
<i>Bh</i> 107	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 5	2
<i>Hs</i> 108	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 6	2
<i>Mt</i> 109	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 7	2
<i>Ds</i> 110	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 8	2
<i>Rg</i> ** 111	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 10	1
தனிமமும் அணுவெண்ணும்	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s

*விதிவிலக்கான எதிர்மின்னியமைவடிவங்களுள்ள தனிமங்கள்

**அணுவெண் 111க்கு மேலான மதிப்புகளுள்ள தனிமங்களை அறிவியலர்கள்

அறிவித்துள்ளனர். அவற்றை இன்னும் முழுமையாக ஆய்ந்தறியவில்லை.

சுருக்கவுரை

அணுக்கள் தனிமங்களின் கட்டுமானக்கற்கள். இவை தனிமத்தின் வேதிவினையாற்றும் மீச்சிறிய பகுதிகள். இயோவான் தாற்றன் (1808) முதன்முதலில் முன்மொழிந்த அணுக்கோட்பாடு அணுவை பொருளின் பிரிக்கவியலாத இறுதித்துகளாக கருதியது. பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், அணுக்களை பிரிக்கவியலுமென்றும் அவற்றில் மூன்று அடிப்படைத்துகள்களான **எதிர்மின்னிகள், நேர்மின்னிகள், நொதுமிகள்** ஆகியவை அடங்கியுள்ளன என்றும் அறிவியலர்கள் பரிசோதனைவழி கண்டனர். அணுவட்டுக்களின் கண்டுபிடிப்புகளின் விளைவாக அவர்கள் அணுவின் கட்டமைப்பை விளக்குவதற்கென பல்வேறு அணுவொப்புருக்களை முன்வைத்தனர்.

1898 இல் தாமிசன் முன்மொழிந்த அணுவொப்புருவிற்படி ஒரேசீராகப்பரவியுள்ள கோளவடிவ நேர்மின்மத்தினூடாக எதிர்மின்னிகள் புதைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்வொப்புருவில் அணுவின் நிறை அணுமுழுவதிலும் ஒரேசீராக பரவியுள்ளது என்ற கருத்து தவறு என்பதை இரதர்போடின புகழ்மிக்க ஆல்பாத்துகட்சிதறப்பரிசோதனை 1909ல் நிலைநாட்டியது. இரதர்போடு தனது முடிவில் அணுவின் நடுவில் நேர்ம மின்மமேற்ற ஒரு மிகச்சிறிய **அணுக்கரு** உள்ளதென்றும், எதிர்மின்னிகள் அதைசுற்றியுள்ள **வட்டச்சுற்றுப்பாதைகளில்** சுற்றி வருகின்றனவென்றும் முன்வைத்தார். நமது கதிர்வக்கும்பத்தையொத்த **இரதர்போடின ஒப்புரு** தாமிசனின் ஒப்புருவைவிட மேம்பட்டது என்பதில் ஐயமில்லை. ஆனால், அதனால் அணுவின் நிலைப்புமையை விளக்கவியலவில்லை. அதாவது, ஏன் எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவில் விழவில்லை என்பதற்கான காரணங்களை தரவில்லை. மேலும், அணுவின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்பைப்பற்றி அது ஒன்றும் சொல்லவில்லை. அதாவது, அணுக்கருவைச்சுற்றி எதிர்மின்னிகளின் ஒப்பும ஆற்றல்களைப்பற்றியோ பரவல்களைப்பற்றியோ பேசவில்லை. இரதர்போடொப்புருவிலுள்ள குறைபாடுகளை 1913இல் நீல்சு **போரின் ஐதரசன்** ஒப்புரு நீக்கியது. எதிர்மின்னிகள் அணுக்கருவைச்சுற்றி வட்டப்பாதைகளில் சுற்றிவருகின்றன என்றும், ஒரு சில குறிப்பிட்ட சுற்றுப்பாதைகள் மட்டுமே இருக்கவியலுமென்றும், ஒவ்வொரு சுற்றுப்பாதைக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் உண்டென்றும் கூறினார். போர் பல்வேறு சுற்றுப்பாதைகளிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் ஆற்றல்களை கணக்கிட்டார். ஒவ்வொரு சுற்றுப்பாதைக்குமான ஆரத்தை முன்னறிந்தார். ஐதரசவணுவின் நிறநிரல்களை மனநிறைவாக விளக்கிய போரின் ஒப்புருவால் பலவெதிர்மின்னியணுக்களின் நிறநிரல்களை விளக்கவியலவில்லை. விரைவில் அறிவியலர்கள் இதற்கான காரணத்தை கண்டுபிடித்தனர்.

மின்மமேற்ற துகள்களான எதிர்மின்னிகள் நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட சுற்றுப்பாதைகளில் அணுக்கருவை சுற்றிவருவதாக போர் கூறினார். இவ்வொப்புருவில் எதிர்மின்னிகளின் அலைத்தன்மை புறக்கணிக்கப்பட்டது. ஒரு சுற்றுப்பாதையை தெளிவாக வரையறுக்க எதிர்மின்னியின் மிகத்துல்லியமான இடமும் அதன் மிகத்துல்லியமான திசைவேகமும் ஒரேநேரத்தில் தெரியவேண்டும். இது சாத்தியமற்றது என்று ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கை உரைக்கிறது. போரின் ஐதரசவணுவின் ஒப்புரு எதிர்மின்னியின் இருமைத்தன்மையை புறக்கணித்து, **ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையுடனும்** முரண்படுகிறது.

எர்வின் சுரோடிங்கர் 1926இல் வெளியில் எதிர்மின்னிகளின் பரவலையும் அணுக்களில் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றன்மட்டங்களையும் விவரிப்பதற்கென இப்போது சுரோடிங்கரின் சமன்பாடு என்றழைக்கப்படும் ஒரு சமன்பாட்டை முன்மொழிந்தார். இச்சமன்பாடு தி பிராகிளியின் **அலைத்துகளிருமைப்பண்பை** உள்ளடக்கியும் ஐசன்பெர்கின் நிச்சயமின்மைக்கொள்கையுடன் இயைந்தும் உள்ளது. ஒரு ஐதரசவணுவிலுள்ள எதிர்மின்னிக்கான சுரோடிங்கர்ச்சமன்பாட்டின் தீர்வு எதிர்மின்னி இருப்பதற்கு சாத்தியமான ஆற்றனிலைகளையும் அதற்கு நிகரான நிலைச்சார்பன்களையும் (Ψ) தருகிறது. (Ψ ஒரு கணிதச்சார்பன்) இந்த ஆற்றனிலைகள் துணுக்கமானவை. இவற்றுக்கு நிகரான நிலைச்சார்பன்களின் சிறப்பியல்புகளை மூன்று துணுக்கவெண்கள் தருகின்றன. அவை முதன்மைத்துணுக்கவெண் (n), சாய்கோணத்துணுக்கவெண் (l), காந்தத்துணுக்கவெண் (m_l) ஆகியவை. இத்துணுக்கவெண்கள் சுரோடிங்கரின் சமன்பாட்டின் தீர்வில் இயல்பான பின்விளைவுகளாக எழுகின்றன. இம்மூன்று துணுக்கவெண்களின் மதிப்புகளுக்கான கட்டுறுத்தங்களையும் அந்த தீர்விலிருந்தே பெறுகிறோம். ஐதரசவணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புரு ஐதரசவணுவின் நிறநிரலிலுள்ள எல்லாப்பண்புகூறுகளையும் வெற்றிகரமாக முன்னறிகின்றது. இதில் போரின் ஒப்புரு விளக்கவியலாத சில தோற்றப்பாடுகளும் அடக்கம்.

அணுவின் துணுக்கவெந்திரவிய ஒப்புருவிற்படி, பல எதிர்மின்னிகள் அடங்கிய அணுவில் எதிர்மின்னிகளின் பரவல் **கூடுகளாக** பிரிகின்றது. இக்கூடுகளில் ஒன்றோ மேற்பட்டதோவான **துணைக்கூடுகள்** உள்ளன. துணைக்கூடுகளில் எதிர்மின்னிகளுக்கான ஒன்றோ மேற்பட்டதோவான **பரிதியங்கள்** உள்ளன. ஐதரசனிலும் ஐதரசன்போன்ற அமைப்புகளிலும் (He^+, Li^{2+} , இன்ன பிற), ஒரே கூட்டிலுள்ள அனைத்து பரிதியங்களும் ஒரே ஆற்றலுள்ளவை. ஆனால், ஒரு பலவெதிர்மின்னியணுவின் பரிதியங்களின் ஆற்றல்கள் n, l ஆகிய இரு துணுக்கவெண்களையும் சார்ந்துள்ளன. ($n + l$) இன் மதிப்பு

குறைந்தால் ஆற்றல் குறைவாயிருக்கிறது. இரு பரிதிவங்களின் $(n + l)$ மதிப்புகள் சமமாக இருந்தால், குறைந்த n மதிப்புள்ள பரிதித்துக்கு குறைந்த ஆற்றல் உள்ளது. இதுபோன்ற பல பரிதிவங்கள் ஓரணுவில் இருக்கவியலும்.

எதிர்மின்னிகள் பரிதிவங்களில் நிரம்புவது ஆற்றலின் ஏறுவரிசையில் நிகழ்கிறது. **பாலியின் தவிர்ப்புக்கொள்கை**ப்படி, ஓரணுவில் எந்த இரு எதிர்மின்னிகளுக்கும் நான்கு துணுக்கவெண்களும் சமமாக இருக்கவியலாது. **உண்டின் மீப்பெருமப்பன்மையம்** ஒரே துணைக்கூட்டிலுள்ள பரிதிவங்களுள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு எதிர்மின்னியைப்பெறும்வரை சோடியாதல் நடைபெறாது என்கிறது. இதுவே அணுக்களின் எதிர்மின்னிக்கட்டமைப்பின் அடிப்படை.

பயிற்சிகள்

- 2.1. a. ஒரு கிராம் நிறையைத்தரும் மொத்த எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை காண்க.
b. ஒரு மோல் எதிர்மின்னிகளின் நிறையையும் மின்மத்தையும் கணக்கிடுக.
- 2.2. a. ஒரு மோல் மீத்தேனிலுள்ள மொத்த எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.
b. (அ) 7 mg அளவான ^{14}C இலுள்ள மொத்த நொதுமிகளின் எண்ணிக்கையை காண்க. (ஆ) அதிலுள்ள மொத்த நொதுமிகளின் நிறையை காண்க (ஒரு நொதுமியின் நிறை $1.675 \times 10^{-27}\text{ kg}$).
c. செந்தரவெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் 34 mg அம்மோனியாவிலுள்ள மொத்த நேர்மின்னிகளின் (அ) எண்ணிக்கையையும் (ஆ) நிறையையும் காண்க. அழுத்தத்தையும் வெப்பநிலையையும் மாற்றினால் விடை மாறுமா?
- 2.3. கீழ்க்காணும் அணுக்கருக்களில் எத்தனை நொதுமிகளும் நேர்மின்னிகளும் உள்ளன? $^{13}_6\text{C}$, $^{16}_8\text{O}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$, $^{56}_{26}\text{Fe}$, $^{88}_{38}\text{Sr}$
- 2.4. கீழ்க்குறிப்பிட்ட அணுவெண்ணும் (Z) அணுநிறையும் (A) உள்ள அணுக்களின் முழுக்குறியீடுகளை எழுதுக.
a. $Z = 17$; $A = 35$
b. $Z = 92$; $A = 233$
c. $Z = 4$; $A = 9$
- 2.5. ஒரு சோடியவிளக்கிலிருந்து உமிழப்படும் மஞ்சளொளியின் அலைநீளம் 580 nm (λ). இதன் அலைவெண்ணையும் (ν) அலையெண்ணையும் ($\bar{\nu}$) காண்க.
- 2.6. கீழ்க்கண்ட ஒவ்வொரு ஒளியத்தின் ஆற்றலையும் காண்க.
a. $3 \times 10^{15}\text{ Hz}$ அலைவெண்ணுள்ள ஒளிக்கு நிகரானது.
b. 0.50 \AA அலைநீளமுள்ளது.
- 2.7. $2.0 \times 10^{-10}\text{ s}$ அலைநேரமுள்ள ஒளியலையின் அலைநீளம், அலைவெண், அலையெண் ஆகியவற்றை காண்க.
- 2.8. 1 J ஆற்றலைத்தரும் 4000 pm அலைநீளமான ஒளியிலுள்ள ஒளியங்களின் எண்ணிக்கை என்ன?
- 2.9. $4 \times 10^{-7}\text{ m}$ அலைநீளமுள்ள ஒளியம் 2.13 eV வேலைச்சார்பனுள்ள ஒரு மாழைப்பரப்பின்மேல் மோதுகிறது. கீழ்க்காண்பவற்றை காண்க.
a. ஒளியத்தின் ஆற்றல் (eV)
b. உமிழ்தலின் இயக்கவாற்றல்
c. ஒளியெதிர்மின்னியின் திசைவேகம் ($1\text{ eV} = 1.6020 \times 10^{-19}\text{ J}$).
- 2.10. ஒரு 242 nm அலைநீளமுள்ள மின்காந்தக்கதிர்வீச்சு சோடியவணுவை அயனியாக்கத்தேவையான மீக்குறைந்த ஆற்றலுள்ளது. சோடியத்தின் அயனியாதலாற்றலை kJ.mol^{-1} என்ற அலகில் காண்க.
- 2.11. ஒரு 25 வாட்டு குழல் வெளியிடும் ஒற்றைநிற மஞ்சளொளியின் அலைநீளம் $0.57\text{ }\mu\text{m}$. அதன் உமிழ்வீதத்தை நொடிக்கு துணுக்கங்களில் கணக்கிடுக.

- 2.12. ஒரு மாழைப்பரப்பில் 6800 \AA அலைநீளமுள்ள கதிர்வீச்சு விழும்போது, எதிர்மின்னிகள் சுழியத்திசைவேகத்தில் உமிழப்படுகின்றன. மாழையின் நுழைமலைவெண்ணையும் (ν_0) வேலைச்சார்பனையும் (ω_0) கணக்கிடுக.
- 2.13. ஒரு ஐதரசவணுவிலுள்ள எதிர்மின்னி $n = 4$ என்ற உயராற்றன்மட்டத்திலிருந்து $n = 2$ என்னும் கீழ்மட்ட நிலைக்கு நிலைமாற்றமடையும்போது உமிழப்படும் ஒளியின் அலைநீளம் என்ன?
- 2.14. ஒரு ஐதரசவணுவில் எதிர்மின்னி $n = 5$ என்ற சுற்றுப்பாதையில் தங்கியிருந்தால் அவ்வணுவை H^+ அயனியாக்குவதற்குத்தேவையான ஆற்றல் என்ன? விடையை ஐதரசவணுவின் அயனியாதலகவெப்பத்துடன் ($n = 1$ சுற்றுப்பாதையிலிருந்து ஒரு எதிர்மின்னியை நீக்கத்தேவையான ஆற்றல்) ஒப்பிடுக.
- 2.15. ஒரு ஐதரசவணுவில் $n = 6$ ஆற்றன்மட்டத்திலுள்ள கிளர்ச்சியுற்ற ஒரு எதிர்மின்னி தரைநிலைக்குத்திரும்பும்போது கிடைக்கும் உமிழ்வுநிறநீர் கோடுகளின் மீப்பெரும எண்ணிக்கை என்ன?
- 2.16. ஐதரசவணுவின் முதல் சுற்றுப்பாதையுடன் தொடர்புள்ள ஆற்றல் $-2.18 \times 10^{-18} \text{ J. atom}^{-1}$
- ஐந்தாவது சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் என்ன?
 - ஐந்தாவது சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்தை கணக்கிடுக.
- 2.17. ஐதரசவணுவின் பாமர்த்தொடரில் மீப்பெரும அலைநீளமுள்ள நிலைமாற்றத்துக்கான அலையெண் என்ன?
- 2.18. ஐதரசவணுவின் எதிர்மின்னியை முதல் போர்ச்சுற்றுப்பாதையிலிருந்து ஐந்தாம் சுற்றுப்பாதைக்கு மாற்றலாக்கத்தேவையான ஆற்றல் (J) என்ன? அங்கிருந்து மீண்டும் தரைநிலைக்குத்திரும்பும்போது எதிர்மின்னி உமிழும் ஒளியின் அலைநீளம் என்ன? தரைநிலை எதிர்மின்னியின் ஆற்றல் -2.18×10^{-11} எர்கு.
- 2.19. ஐதரசவணுவில் எதிர்மின்னியாற்றலை $E_n = -2.18 \times 10^{-18}/n^2 \text{ J}$ என்ற சமன்பாடு தருகிறது. $n = 2$ என்னும் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து முழுவதுமாக எதிர்மின்னியை வெளியேற்றத்தேவையான ஆற்றல் என்ன? இந்நிலைமாற்றத்தை உருவாக்கத்தேவையான ஒளியின் மீப்பெரும அலைநீளம் (cm இல்) என்ன?
- 2.20. $2.05 \times 10^7 \text{ m. s}^{-1}$ என்ற திசைவேகத்துடன் நகரும் ஒரு எதிர்மின்னியின் அலை நீளத்தை கணக்கிடுக.
- 2.21. ஒரு எதிர்மின்னியின் நிறை $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$. அதன் இயக்கவாற்றல் $3.0 \times 10^{-25} \text{ J}$ எனில், அதன் அலைநீளத்தை கணக்கிடுக.
- 2.22. பின்வரும் வேதியியினங்களில் ஒரே எண்ணிக்கையான எதிர்மின்னிகளுள்ளவை யாவை? $Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, S^{-2}, Ar$.
- 2.23.
- கீழ்க்காணும் அயனிகளின் எதிர்மின்னியமைவடிவங்களை எழுதுக. (i) H^- (ii) Na^+ (iii) O^{-2} (iv) F^-
 - மீவெளிய எதிர்மின்னிகள் கீழ்க்காணுமாறு குறிப்பிடப்படும் தனிமங்களின் அணுவெண்கள் யாவை? (i) $3s^1$ (ii) $2p^3$ (iii) $3p^5$
 - பின்வரும் அமைவடிவங்கள் குறிப்பிடும் அணுக்கள் யாவை? (i) $[He]2s^1$ (ii) $[Ne]3s^23p^3$ (iii) $[Ar]4s^23d^1$
- 2.24. g பரிதியங்கள் இருப்பதை அனுமதிக்கும் மிகச்சிறிய n மதிப்பு என்ன?
- 2.25. ஒரு எதிர்மின்னி $3d$ பரிதியத்தில் உள்ளது. எதிர்மின்னி இருக்கக்கூடிய n, l, m_l மதிப்புகளை தருக.

- 2.26. ஒரு தனிமத்தின் அணுவில் 29 எதிர்மின்னிகளும், 35 நொதுமிகளும் உள்ளன. (i) இதன் நேர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை தருக (ii) தனிமத்தின் எதிர்மின்னியமைவடிவத்தை தருக.
- 2.27. H_2^+ , H_2 , O_2^+ ஆகிய வேதியியினங்களிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை தருக.
- 2.28.
- ஒரு அணுப்பரிதியத்தின் n மதிப்பு 3 எனில், l , m_l ஆகியவற்றின் சாத்தியமான மதிப்புகள் என்னென்ன?
 - $3d$ பரிதியவெதிர்மின்னிகளின் m_l , l இன் மதிப்புகளை பட்டியலிடு.
 - பின்வரும் பரிதியங்களில் சாத்தியமானவை எவை? $1p, 2s, 2p, 3f$.
- 2.29. கீழ்க்கண்ட துணுக்கவெண்களுள்ள பரிதியங்களை s , p , d ஆகிய குறியீடுகளால் எழுதுக.
- $n = 1, l = 0$
 - $n = 3, l = 1$
 - $n = 4, l = 2$
 - $n = 4, l = 3$
- 2.30. கீழ்க்காணும் துணுக்கவெண்களின் தொகுப்புகளில் எவையெவை சாத்தியமற்றவை என காரணங்களுடன் விளக்குக.
- $n = 0, l = 0, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
 - $n = 1, l = 0, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
 - $n = 1, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
 - $n = 2, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$
 - $n = 3, l = 3, m_l = -3, m_s = +\frac{1}{2}$
 - $n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
- 2.31. ஒரு அணுவில் எத்தனை எதிர்மின்னிகளுக்கு கீழ்க்காணும் துணுக்கவெண்கள் இருக்கலாம்?
- $n = 4, m_s = -\frac{1}{2}$
 - $n = 3, l = 0$
- 2.32. ஐதரசவணுவிலுள்ள போர்ப்பரிதியத்தின் சுற்றளவு அதில் சுற்றிவரும் எதிர்மின்னியுடன் தொடர்பான திபிராகிளியின் அலைநீளத்தின் முழுவெண்பெருக்கலானது என்று காட்டுக.
- 2.33. He^+ அயனியின் நிறநிரலில் $n = 4$ இலிருந்து $n = 2$ க்குரிய பாமர் நிலைமாற்றத்துக்குச்சமமான அலைநீளமுள்ள ஐதரசநிறநிரலின் நிலைமாற்றம் எது?
- 2.34. பின்வரும் நிகழ்முறைக்குத்தேவைப்படும் ஆற்றலை கணக்கிடுக.
 $He^+(வ) \rightarrow He^{2+}(வ) + e^-$.
 ஐதரசவணுவின் தரைநிலையில் அயனியாதலாற்றலின் மதிப்பு $2.18 \times 10^{-18} J.atom^{-1}$.
- 2.35. ஒரு கரிமவணுவின் விட்டம் $0.15 nm$ எனில், $20 cm$ நீளமுள்ள ஒரு கோட்டில் நீளவாக்கில் அடுத்தடுத்து வைக்கக்கூடிய கரிமவணுக்களின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.
- 2.36. 2×10^8 கரிமவணுக்களை அடுத்தடுத்து அடுக்கும்போது கிடைக்கும் நீளம் $2.4 cm$ எனில், ஒரு கரிமவணுவின் ஆரம் என்ன?

- 2.37. ஒரு துத்தநாகவணுவின் விட்டம் 2.6 \AA . கீழ்க்காண்பவற்றை கணக்கிடுக. (i) துத்தநாகவணுவின் ஆரம் pm இல் (ii) 1.6 cm நீளத்திலுள்ள துத்தநாகவணுக்களின் எண்ணிக்கை (நீளவாக்கில் துத்தநாகவணுக்கள் அடுத்தடுத்து அடுக்கி வைக்கப்பட்டிருந்தால்).
- 2.38. ஒரு துகள் $2.5 \times 10^{-16} \text{ C}$ அளவுள்ள நிலைமமின்மத்தை சுமக்கிறது. அதிலுள்ள எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.
- 2.39. மில்லிக்களின் பரிசோதனையில் ஒரு நெய்யத்துளியின்மீதுள்ள நிலைமமின்மத்தை ஊடுகதிர்களால் பெறுகிறோம். இதன் மதிப்பு $-1.282 \times 10^{-18} \text{ C}$ எனில், அதில் அடங்கியுள்ள எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.
- 2.40. இரதர்போடுபரிசோதனையில் பொதுவாக ஆல்பாத்துகள்களால் தொடர்தாக்க தங்கம், பிளாட்டினம் போன்ற கனவணுக்களை பயன்படுத்துகிறோம். அலுமினியம் போன்ற கனங்குறைந்த அணுக்களின் மென்றானை பயன்படுத்தினால் மேற்கூறிய சோதனையின் விளைவுகளில் ஏற்படும் மாற்றம் என்ன?
- 2.41. ${}^{79}_{35}\text{Br}$, ${}^{81}_{35}\text{Br}$ என்று எழுதும் குறியீடுகள் சரியானவை. ஆனால் ${}^{35}_{79}\text{Br}$, ${}^{35}_{35}\text{Br}$ என்ற குறியீடுகளை நாம் ஏற்பதில்லை. சுருக்கமாக விடையளிக்க.
- 2.42. 81 நிறையெண்ணுள்ள ஒரு தனிமத்தில் நேர்மின்னிகளை விட 31.7 நூற்று வீதம் அதிக நொதுமிகள் உள்ள அணுவின் குறியீட்டை தருக.
- 2.43. 37 நிறையெண்ணுள்ள ஒரு அயனியில் ஓரலகு எதிர்மின்மம் உள்ளது. இவ்வயனியில் எதிர்மின்னிகளைவிட 11.1 நூற்று வீதம் அதிக நொதுமிகள் இருந்தால், அயனியின் குறியீட்டை கண்டுபிடிக்க.
- 2.44. 56 நிறையெண்ணுள்ள ஒரு அயனியில் 3 அலகு நேர் மின்மமும் எதிர்மின்னிகளைவிட 30.4 நூற்று வீதம் அதிகமான நொதுமிகளும் உள்ளன. இவ்வயனியை குறியிடுக.
- 2.45. கீழுள்ள பலவிதமான கதிர்வீச்சுக்களை அவற்றின் அலைவெண்ணின் ஏறுவரிசையில் அடுக்குக: (i) நுண்ணலைக்கணப்பி (ii) போக்குவரவு விளக்கின் மஞ்சள் ஒளி (iii) வானலையின் கதிர்வீச்சு (iv) விண்வெளிக்கதிர்கள் (v) ஊடுகதிர்கள்.
- 2.46. நைற்றசச்சீரொளி உருவாக்கும் கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் 337.1 nm . உமிழப்படும் ஒளியங்களின் எண்ணிக்கை நொடிக்கு 5.6×10^{24} எனில், இந்தச்சீரொளியின் திறனை கணக்கிடுக.
- 2.47. காட்சிப்பலகைகளில் பொதுவாக நியானை பயன்படுத்துகிறோம். அது 616 nm அளவில் வலுவாக உமிழ்ந்தால், (i) உமிழ்தலின் அலைவெண் (ii) கதிர்வீச்சு 30 நொடிகளில் பயணிக்கும் தொலைவு (iii) ஒரு துணுக்கத்தின் ஆற்றல் (iv) 2 J ஆற்றலை அது உருவாக்கினால் அதிலுள்ள துணுக்கங்களில் எண்ணிக்கை ஆகியவற்றை கணக்கிடுக.
- 2.48. வானியற்கண்டறிதல்களில் வெகு தொலைவிலுள்ள உடுக்களிலிருந்து (நட்சத்திரங்களிலிருந்து) பெறும் ஒளி பொதுவாக வலிமைகுறைந்தவை. ஒரு 600 nm கதிர்வீச்சின் மொத்த ஆற்றல் $3.5 \times 10^{-18} \text{ J}$ என்று துய்யறிவி பெற்றால், துய்யறிவி பெற்ற ஒளியங்களின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக.
- 2.49. கிளர்ச்சியடைந்த நிலைகளில் மூலக்கூறுகளின் ஆயுட்காலங்களை நேனோநொடியளவான துடிப்புக்கதிர்வீச்சினால் அளக்கலாம். கதிர்வீச்சின் நிகழ்நேரம் 2 ns என்றும் ஒளியங்களின் எண்ணிக்கை 2.5×10^{15} என்றும் இருந்தால், மூலத்தின் ஆற்றலை கணக்கிடுக.
- 2.50. ஒரு நிலைமாற்றத்தின் உட்கவர்வுநிறநிரலை 589 nm , 589.6 nm ஆகிய அலைநீளங்களில் இருமமாக காண்கிறோம். ஒவ்வொரு நிலைமாற்றத்தின் அலைவெண்ணையும் இரண்டு கிளர்ச்சிநிலைகளுக்கிடையான ஆற்றல்வேறுபாட்டையும் கணக்கிடுக.

2.51. சீசியவண்ணுவின் வேலைச்சார்பன் 1.9 eV . நுழைம அலைநீளத்தையும் நுழைம அலைவெண்ணையும் கணக்கிடுக. சீசியவண்ணுவை 500 nm அலைநீளமுள்ள கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தினால் வெளியேற்றப்படும் ஒளியெதிர்மின்னியின் இயக்கவாற்றலையும் திசைவேகத்தையும் கணக்கிடுக.

2.52. சோடியமாழையை வெவ்வேறு அலைநீளங்களுள்ள கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்தும்போது கீழ்க்காணும் விளைவுகளை கண்டறிகிறோம். (i) நுழைம அலைநீளத்தையும் (ii) பிளாங்கின் மாறிலியையும் கணக்கிடுக.

$\lambda(\text{nm})$	500	450	400
$\nu \times 10^{-5} (\text{m s}^{-1})$	2.55	4.35	5.35

2.53. 256.7 nm உள்ள கதிர்வீச்சை பயன்படுத்தும் ஒளிமின்விளைவில் வெள்ளிமாழை ஒளியெதிர்மின்னியை வெளித்தள்ளுவதை 0.35 V ஐ பயன்படுத்தி நிறுத்தவியலும். வெள்ளிமாழையின் வேலைச்சார்பனை கணக்கிடுக.

2.54. ஓரணுவை 150 pm அலைநீளமுள்ள ஒளியம் தாக்கியடிக்கும்போது உட்சுற்றுப்பாதையில் கட்டுண்ட எதிர்மின்னிகள் $1.5 \times 10^7 \text{ m. s}^{-1}$ திசைவேகத்துடன் வெளியேறுகின்றன. அணுக்கருவுடன் அவை பிணைக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றலை கணக்கிடுக.

2.55. பாச்சனின் தொடரில் உமிழ்வுநிலைமாற்றங்கள் n_1 எனும் சுற்றுப்பாதையில் தொடங்கி $n_2 = 3$ எனும் சுற்றுப்பாதையில் முடிகின்றன. அவற்றை $\nu = 3.29 \times 10^{15} (\text{Hz})(1/3^2 - 1/n_1^2)$ என்று குறிப்பிடுகிறோம். நிலைமாற்றத்தை 1285 nm இல் கண்டறிந்தால் நிறநிரலின் வட்டாரத்தையும் n_1 இன் மதிப்பையும் காண்க.

2.56. 1.3225 nm ஆரமுள்ள சுற்றுப்பாதையில் தொடங்கி 211.6 pm இல் முடியும் உமிழ்வுநிலைமாற்றத்துக்கான அலைநீளத்தை கணக்கிடுக. இதனுடன் தொடர்பான தொடரின் பெயரையும் வட்டாரத்தையும் கூறுக.

2.57. உயிரியமூலக்கூறுகள் போன்ற பொருண்மங்களின் அதிவருப்பெருக்கிய படங்களைக்காண, தி பிராகிளி முன்மொழிந்ததும் பொருள்களின் இருமநடத்தையின் அடிப்படையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதுமான எதிர்மின்னி நுண்ணோக்கி பயன்படுகிறது. இந்நுண்ணோக்கியில் எதிர்மின்னியின் திசைவேகம் $1.6 \times 10^6 \text{ m. s}^{-1}$ எனில், எதிர்மின்னியுடன் தொடர்புள்ள தி பிராகிளியின் அலைநீளத்தை கணக்கிடுக.

2.58. எதிர்மின்னிநுண்ணோக்கியைப்போலவே நொதுமிநுண்ணோக்கியும் மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பை தீர்மானிக்க பயன்படுகிறது. பயன்படும் அலைநீளம் 800 pm எனில், நொதுமியுடன் தொடர்புள்ள சிறப்பியல்பான திசைவேகத்தை கணக்கிடுக.

2.59. போரின் முதல் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எதிர்மின்னியின் திசைவேகம் $2.19 \times 10^6 \text{ m. s}^{-1}$ எனில், அதனுடன் தொடர்புள்ள திபிராகிளியின் அலைநீளத்தை கணக்கிடுக.

2.60. 1000 V மின்னழுத்தவேறுபாட்டில் நகரும் ஒரு நேர்மின்னியின் திசைவேகம் $4.37 \times 10^5 \text{ m. s}^{-1}$. இதே திசைவேகத்தில் நகரும் ஒரு மட்டைப்பந்தின் நிறை 0.1 kg எனில் அதனுடன் தொடர்புள்ள அலைநீளத்தை கணக்கிடுக.

2.61. எதிர்மின்னியின் இடத்தை $\pm 0.002 \text{ nm}$ சரியளவுக்குள் அளக்கும்போது எதிர்மின்னியின் உந்தத்திலுள்ள நிச்சயமின்மையை கணக்கிடுக. எதிர்மின்னியின் உந்தம் $(\frac{h}{4\pi}) \times 0.05 \text{ nm}$ என்று கொண்டால், இம்மதிப்பைக்காண்பதில் ஏதேனும் சிக்கல் உள்ளதா?

2.62. ஆறு எதிர்மின்னிகளின் துணுக்கவெண்களை கீழே தருகிறோம். அவற்றை ஆற்றலின் ஏறுவரிசையில் அடுக்குக. இவற்றில் ஏதேனும் சமமான ஆற்றல் மதிப்புகள் இருந்தால் பட்டியலிடுக.

a. $n = 4, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$

- b. $n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = +\frac{1}{2}$
 c. $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$
 d. $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$
 e. $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +\frac{1}{2}$
 f. $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$

- 2.63. புரோமினணுவில் 35 எதிர்மின்னிகள் உள்ளன. $2p, 3p, 4p$ ஆகிய பரிதியங்களில் முறையே 6, 6, 5 எதிர்மின்னிகள் இருந்தால், இவற்றில் எந்த எதிர்மின்னி மீச்சிறிய விளைவுறு அணுக்கருமின்மத்தை உணரும்?
- 2.64. கீழ்க்காணும் பரிதிய இணைகளில் அணுக்கருவிலிருந்து எது அதிக விளைவுறு அணுக்கருமின்மத்தை உணரும்?
 (i) $2s, 3s$ (ii) $4d, 4f$ (iii) $3d, 3p$.
- 2.65. அலுமினியவணுக்களிலும் சிலிகானணுக்களிலும் சோடியுறா எதிர்மின்னிகள் $3p$ பரிதியத்தில் உள்ளன. இவற்றில் எந்த எதிர்மின்னிகள் அதிக விளைவுறு அணுக்கருமின்மத்தை உணர்வன?
- 2.66. பின்வரும் அணுக்களிலுள்ள சோடியுறா எதிர்மின்னிகளின் எண்ணிக்கையை குறிப்பிடுக. (i) P (ii) Si (iii) Cr (iv) Fe (v) Kr .
- 2.67. (i) $n = 4$ உடன் தொடர்புள்ள துணைக்கூடுகள் எத்தனை? (ii) $n = 4$ உடன் தொடர்புள்ள m_s மதிப்பு $-\frac{1}{2}$ உள்ள எதிர்மின்னிகள் எத்தனை உள்ளன?