த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—321

மேசர்களும் லேசர்களும்

ஆசிரியர்
ச. சம்பத்து, எம்.ஏ.,
பௌதிக விரிவுரையாளர்,
மண்டலப் பொறியியற் கல்லூரி
திருச்சிராப்பள்ளி.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—May, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 321

© Tamil Nadu Text Book Society

MASERS AND LASERS

G. SAMPATH

Net Price Rs. 12·25
(No discount)

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

Printed by
Thompson & Co Private Ltd. (Minerva Press),
33, Broadway, Madras-1.

அணிந்துரை

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

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினேராண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968 ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.) 1969 ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்களின் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத்திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்றுவருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்து வரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

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

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்ருன '**மேசர்களும் லேசர்களும்**' என்ற இந்நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் **321**ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை **356** நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

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

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
1.	தோற்றுவாய்	...	1
2.	கதிர்வீச்சு	...	5
3.	அம்மோனியா மேசர்	...	36
4.	பராகாந்தப் படிகங்கள்	...	53
5.	மும்மட்ட மேசர்கள்	...	66
6.	இருமட்ட மேசர்கள்	...	102
7.	லேசர்கள்	...	127
8.	திடநிலை லேசர்கள்	...	139
9.	வாயு லேசர்கள்	...	173
10.	குறைகடத்தி லேசர்கள்	...	217
11.	திரவ லேசர்கள்	...	253
12.	வேதியியல் லேசர்கள்	...	264
13.	மேசரின் பயன்கள்	...	274
14.	லேசரின் பயன்கள்	...	292
15.	லேசர்களால் ஏற்படக்கூடிய உடல்நலக்குறைவுகளும் கையாள வேண்டிய முன்னெச்சரிக்கைகளும்	...	354
	படித்தற்குரிய நூல்கள்	...	362
	கலைச்சொற்கள்	...	364
	பொருள் குறிப்பகராதி	...	381

1. தோற்றுவாய்

மிக விரைந்து வளர்ந்துவரும் அறிவியல் துறையில் அண்மைக் காலத்தில் நிகழ்ந்த அற்புதச் சாதனைகளுள் ஒன்றே மேசராகும் (Maser). அதனைத் தொடர்ந்து உருவானது லேசர் (Laser). இவை தம் இயல்பினையும், இவை எவற்றைக் குறிக்கின்றன என்பதனையும் அறிவதற்கு இவற்றின் பெயரை நீட்டிப் பொருளுணர்ந்தால் போதும். மேசர் என்பது 'Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation' என்பதன் சுருக்கப் பெயராகும். இத் தொடரிலுள்ள சொற்களின் முதல் எழுத்துகளைச் (தடித்த எழுத்துகள்) சேர்த்து அமைத்த சொல்லே மேசர் (MASER). 'தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் மைக்ரோ அலைகளைப் பெருக்குதல்' என இது பொருள்படும். அவ்வாறே, 'தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் ஒளியைப் பெருக்குதல்' எனப் பொருள்படும் 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation' என்பதன் சுருங்கிய வடிவமே லேசர் (LASER).

பெயரானது விளக்குவதுபோல உண்மையில் லேசர் ஒளியைப் பெருக்குவதில்லை. மாறாக, இது சில குறிப்பிட்ட சிறப்பியல்புகளையுடைய ஒளியினை இயற்றுகின்றது. எனவே, லேசர் எனும் இப் பெயர் யாருக்கும் மனநிறைவூட்டுவதாக அமையவில்லை. எனவே, சிலர் இதனை ஒளியியல் மேசர் (Optical Maser) என வழங்கத் தலைப்பட்டனர். ஆனால், ஒளியியல் என்பது கண் காணும் ஒளி அலைகளையும் மைக்ரோ அலைகள் என்பன ஒளி அலைகளைவிட நீண்ட அலைநீளமுடைய, கண்ணுக்குப் புலனாகாத அலைகளையும் குறிப்பிடுகின்றன. எனவே, ஒளியியல் மேசர் என லேசரை வழங்குவது அவ்வளவு பொருத்தமானதன்று என்பர் சிலர்.

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
1.	தோற்றுவாய்	...	1
2.	கதிர்வீச்சு	...	5
3.	அம்மோனியா மேசர்	...	36
4.	பராகாந்தப் படிகங்கள்	...	53
5.	மும்மட்ட மேசர்கள்	...	66
6.	இருமட்ட மேசர்கள்	...	102
7.	லேசர்கள்	...	127
8.	திடநிலை லேசர்கள்	...	139
9.	வாயு லேசர்கள்	...	173
10.	குறைகடத்தி லேசர்கள்	...	217
11.	திரவ லேசர்கள்	...	253
12.	வேதியியல் லேசர்கள்	...	264
13.	மேசரின் பயன்கள்	...	274
14.	லேசரின் பயன்கள்	...	292
15.	லேசர்களால் ஏற்படக்கூடிய உடல்நலக்குறைவுகளும் கையாள வேண்டிய முன்னெச்சரிக்கைகளும்	...	354
	படித்தற்குரிய நூல்கள்	...	362
	கலைச்சொற்கள்	...	364
	பொருள் குறிப்பகராதி	...	381

1. தோற்றுவாய்

மிக விரைந்து வளர்ந்துவரும் அறிவியல் துறையில் அண்மைக் காலத்தில் நிகழ்ந்த அற்புதச் சாதனைகளுள் ஒன்றே மேசராகும் (Maser). அதனைத் தொடர்ந்து உருவானது லேசர் (Laser). இவைதம் இயல்பினையும், இவை எவற்றைக் குறிக்கின்றன என்பதனையும் அறிவதற்கு இவற்றின் பெயரை நீட்டிப் பொருளுணர்ந்தால் போதும். மேசர் என்பது 'Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation' என்பதன் சுருக்கப் பெயராகும். இத் தொடரிலுள்ள சொற்களின் முதல் எழுத்துகளைச் (தடித்த எழுத்துகள்) சேர்த்து அமைத்த சொல்லே மேசர் (MASER). 'தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் மைக்ரோ அலைகளைப் பெருக்குதல்' என இது பொருள்படும். அவ்வாறே, 'தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் ஒளியைப் பெருக்குதல்' எனப் பொருள்படும் 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation' என்பதன் சுருங்கிய வடிவமே லேசர் (LASER).

பெயரானது விளக்குவதுபோல உண்மையில் லேசர் ஒளியைப் பெருக்குவதில்லை. மாறாக, இது சில குறிப்பிட்ட சிறப்பியல்புகளையுடைய ஒளியினை இயற்றுகின்றது. எனவே, லேசர் எனும் இப் பெயர் யாருக்கும் மனநிறைவூட்டுவதாக அமையவில்லை. எனவே, சிலர் இதனை ஒளியியல் மேசர் (Optical Maser) என வழங்கத் தலைப்பட்டனர். ஆனால், ஒளியியல் என்பது கண் காணும் ஒளி அலைகளையும் மைக்ரோ அலைகள் என்பன ஒளி அலைகளைவிட நீண்ட அலைநீளமுடைய, கண்ணுக்குப் புலனாகாத அலைகளையும் குறிப்பிடுகின்றன. எனவே, ஒளியியல் மேசர் என லேசரை வழங்குவது அவ்வளவு பொருத்தமானதன்று என்பர் சிலர்.

ஆயின், ஒளியியல் மேசர் எனும் பெயரை விரும்புவோர், 'மேசர் எனும் சொல் தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளியீட்டால் **மைக்ரோ அலைகளைப்** பெருக்குதலைக் குறிக்கவில்லை; மாறாக, தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சால் மூலக்கூறு பெருக்கம் (Molecular Amplification by Stimulated Emission of Radiation) என்பதனையே சுட்டுகின்றது' என்பர். இதற்கும் ஒரு மறுப்புண்டு. 'லேசர்கள் பெருக்குவது மூலக்கூறுகளையா? இல்லையே. மூலக்கூறுகளைப் பெருக்குவதில்லைதான்; ஆனால், மூலக்கூறுகளின் செயலைப் பொறுத்தே அதன் செயல் அமைந்துள்ளது' என்பர் சிலர். இதுவும் சரியானதாகாது. சில லேசர்களும் மேசர்களும் மூலக்கூறுகளின் விளைவுகளைப் பொறுத்துச் செயல்பட்டாலும் அணுக்கள், அயனிகளின் செயலால் செயல்படும் பல லேசர்கள் உள்ளன என்பதனை இந் நூலின்கண் காணத்தான் போகின்றோம்.

அண்மையில் மேசர்களையும் லேசர்களையும் குவான்டம் சாதனங்கள் (quantum devices) எனும் பொதுப்பெயரால் வழங்கத் துவங்கியுள்ளனர் சிலர்.

எது எவ்வாறாயினும் மேசர்கள், லேசர்கள் என்னும் பெயர்கள் இன்று வழக்கில் வலுவுற்றுள்ளன; அனைத்து நாட்டுச் சொற்களாகி விட்டன. எனவே, நாமும் அவற்றை அப் பெயர்களாலேயே வழங்குவோம்.

மேசர்களும் லேசர்களும் அவைதம் பெயர்களே கூறுமாப் போலத் **தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டின்** (stimulated emission) அடிப்படையில் இயங்குவன. தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டின் அடிப்படைத் தத்துவம் இந் நூற்றாண்டின் துவக்கத்திலேயே அறியப்பெற்றிருந்தன எனக் கூறலாம். பருப்பொருளின்மீது (matter) கதிர்வீச்சுகள் (radiations) படுவதால் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளை ஆராயப் புகுந்த மாமேதை ஐன்ஸ்டைன் (Einstein) கி.பி. 1917ஆம் ஆண்டிலேயே குவான்டம் எந்திரவியலின் (quantum mechanics) அடிப்படையிலே இவ் விளைவினை விளக்கியுள்ளார். இவ் விளைவினைத் தனியொரு நிகழ்ச்சியாகக் கண்டறியலாமெனக் கிராமெர்ஸ் (Kramers) என்பார், கி.பி. 1924ஆம் ஆண்டில் கூறினர். ஆயினும், கி.பி. 1928ஆம் ஆண்டில்தான் லேடன்பர்க் (Ladenberg) என்பாரும் அவருடன் பணியாற்றியோரும் இதனை நடைமுறையில் செய்துகாட்டினர்.

இந் நிகழ்ச்சியினைப் பயன்படுத்தி மைக்ரோ அலைகளைப் பெருக்கலாமெனக் கி.பி. 1951ஆம் ஆண்டில்தான் டாக்டர் சி. எச். டவுன்ஸ் (Dr. C. H. Townes) உரைத்தார். கி.பி. 1953ஆம் ஆண்டில் வெபர் (Weber) என்பார் மைக்ரோ அலைப்பெருக்கியாக வாயுக்கற்றைகளைப் பயன்படுத்தலாமெனக் கட்டுரை வாயிலாக வெளியிட்டார். கி.பி. 1954, 1955ஆம் ஆண்டுகளில் பசாவ் (Basov), புரோக்கராவ் (Prokhrov) ஆகிய ரஷிய அறிவியலறிஞர்களும் மேசரை உருவாக்கும் பணியில் ஈடுபட்டிருந்தார்கள்.

இதில் முதல் வெற்றிகண்டவர் டவுன்ஸ் என்பாரே. அவர் கொலம்பியாப் பல்கலைக் கழகத்தில் (Columbia University) இப் பணியில் தொடர்ந்து ஈடுபட்டார். அவருடைய மாணவர்கள் கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zieger) ஆகியோர் அவருடன் உழைத்தனர்; இறுதியில் கி.பி. 1954ஆம் ஆண்டில் வெற்றி கண்டனர்; முதல் மேசர் உருவாயிற்று. இதுவே அம்மோனியா மேசராகும் (ammonia maser). ‘மேசர்’ என்ற பெயரை அளித்தவர் இவரே. இதற்கென நோபல் பரிசை டவுன்ஸ், பசாவ், புரோக்கராவ் ஆகிய மூவரும் பெற்றனர்.

இதனைத் தொடர்ந்து இத் துறையில் பெரும் வளர்ச்சி ஏற்பட்டது. புளோம்பெர்கன் (கி.பி. 1956) மும்மட்ட மேசர் (three level maser) உருவாக்கும் வழியைக் கூறினார். இதனை ஸ்கோவில் (Scovil), ஃபெஹர் (Feher), ஸைடல் (Seidel) ஆகியோர் கி.பி. 1957 - ல் வெற்றிகரமாக உருவாக்கினர். அவர்களைத் தொடர்ந்து வேறு பலரும் இதனை அமைத்துள்ளனர்.

இருமட்ட மேசர்களை அமைக்கும் முயற்சிகளும் நடைபெற்றன. ஹோனிக் (Honig), டவுன்ஸ் ஆகியோர் கி.பி. 1956 - ல் செய்த முயற்சிகள் பலனளிக்கவில்லை. கி.பி. 1958-ல் ஃபெஹரும் (Feher) அவர் குழுவினரும் தூய சிலிக்கான் 28 - ஐக்கொண்டு இருமட்ட மேசரை அமைத்தனர். அதே ஆண்டில் செஸ்டர் (Chester), வாக்னர் (Wagner), காசில் (Castle) ஆகியோர் அதனினும் சிறப்பான இருமட்ட மேசரை உருவாக்கினர்.

முதல் மேசர் உருவான காலத்திலிருந்தே தூண்டப் பெற்ற கதிர் வீச்சுத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி ஒளி அலைகளைப் பெருக்கவும் தோற்றுவிக்கவுமான முயற்சிகள் துவங்கின. முதல் லேசரை உருவாக்கும் முன்னர் இதுபற்றிய ஆராய்ச்சிகள்

பெருமளவில் நடைபெற்றன. இதில் ஷவ்லாவ் (Schawlow), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோரின் பணி குறிப்பிடத்தக்கது.

அவர்கள் வெளியிட்ட கருத்துகளைத் தொடர்ந்து ஆராய்ந்த மைமன் (Maiman) கி.பி. 1960ஆம் ஆண்டில் செயற்கை மாணிக் கத்தைப் (ruby) பயன்படுத்தி முதல் லேசரை உருவாக்கினர். இது தொடர்ச்சியாக ஒளிக்கதிர்களைத் தாராது ; விட்டு விட்டே ஒளித்துடிப்புகளை அளிக்கும்.

ஹீலியம், நியான் ஆகிய வாயுக்களின் கலவையைக்கொண்டு ஒரு லேசரைக் கி.பி. 1961ஆம் ஆண்டில் ஜவான் (Javan) அமைத் தார். இது தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும் தன்மையுடையது.

திண்பொருள்களைக் கொண்டு அமைந்த, இடையீடின்றித் தொடர்ச்சியாக ஒளியலைகளைத் தரக்கூடிய லேசரைக் கி.பி. 1962 - ல் ஜான்சன் (Johnson), பாய்டு (Boyd), நசாவ் (Nassau), சோடன் (Soden) ஆகியோர் உருவாக்கினர்.

குறைகடத்திகளை (semi-conductors) லேசர் பொருளாகப் பயன்படுத்தும் முயற்சிகள் ஏறத்தாழக் கி. பி. 1959 - லேயே தொடங்கின. குறைகடத்திகளில் நிகழும் பலதிறப்பட்ட செயல் களைப் பயன்படுத்தி ஒளியைப் பெருக்குவதற்கான சாத்தியக்கூறு களை ஆராய்ந்து கணக்கிட்டு, பசாவ் (Basov) வெளியிட்டார். இத் துறையில் பி. லாக்ஸ் (B. Lax) என்பவரும் மற்றும் பல ஃபிரெஞ்சு நாட்டு ஆராய்ச்சியாளர்களும் செய்த பணி குறிப்பிடத்தக்கது. இவர்களின் ஆராய்ச்சிகளின் பயனுகக் குறைகடத்தி லேசர்கள் உருவாயின.

முதல் மேசர் கி.பி. 1954 - லும் முதல் லேசர் கி.பி. 1964 - லும் தான் உருவாயின என்றபோதிலும், இவைபற்றிய ஆராய்ச்சிகள் மிகப் பெருமளவில் தொடர்ந்து நடைபெற்றுவருகின்றன. பல திறப்பட்ட அலைவரிசைகளிலும் மேலும் மேலும் வலிவு மிக்க லேசர்கள் அமைக்கப் பெற்றுவருகின்றன. இவற்றின் பயன் களும் பெருகிவருகின்றன.

2. கதிர்வீச்சு

2.1. முன்னுரை

தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு முறையில் மேசர்கள் மைக்ரோ அலைகளைப் பெருக்குகின்றன, லேசர்கள் ஒளி அலைகளை இயற்று கின்றன. எனவே, நாம் மேசர்களையும் லேசர்களையும்பற்றி அறியப் புகுமுன்னர் இத்தகைய கதிர்வீச்சுகள் (radiations) பற்றிய உண்மைகளை அறிந்துகொள்ள வேண்டியவர்களா கின்றோம். இந் நூல் பட்ட வகுப்பு, பட்ட மேற்படிப்பு வகுப்பு மாணவர்களைக் கருத்தில்கொண்டு எழுதப்பெற்றிருப்பது. எனவே, அவர்களுக்குக் கதிர்வீச்சுகளைப்பற்றியும் அவற்றோடு தொடர்புகொண்ட அணு பௌதிகத் துறைபற்றியும் (atomic physics) நன்கு தெரியும். இருப்பினும், பொதுமை கருதியும், முன்னரே அறிந்தோர்க்கும் நினைவூட்டு முகத்தானும் இப் பகுதி எழுதப்பெற்றுள்ளது. இது பெரும்பாலும் பல அடிப்படை உண்மைகளின் தொகுப்பாகத் தரப்பட்டுள்ளதே யன்றி அவற்றை நுணுகி ஆராயும் முயற்சி ஏதும் செய்யப் படவில்லை.

2 2. ஒளிபற்றிய துகள் கொள்கையும் அலைக் கொள்கையும்

கண் காணும் ஒளியில் புறஊதா, புறச்சிவப்புக் கதிர்கள், எக்ஸ் - கதிர்கள், காமாக் கதிர்கள், மைக்ரோ அலைகள் எனப் பல்வேறுவகைக் கதிர்வீச்சுகள் உள்ளன என்பது நாமறிந்ததே. ஆனால், கதிர்வீச்சுகள்பற்றிய தொடக்க கால ஆய்வுகள் கண் காணும் ஒளியைப்பற்றியே பெரும்பாலும் இருந்தன; ஒளி எவ் வாறு பரவுகின்றது, ஒளியின் இயல்பு யாது, இது எவ்வாறு வெளி விடப்படுகின்றது என்பனபற்றிய கருத்துகள் வெளியிடப்பட்டு வந்துள்ளன. நியூட்டன் (Newton) துகள் கொள்கையினை (corpus-cular theory of light) வலியுறுத்தி வந்தார். இக் கொள்கையின்

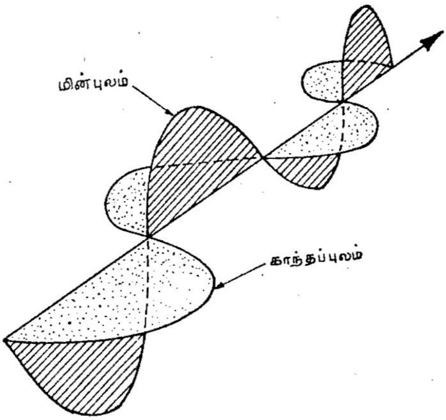
அடிப்படையில் ஒளிபற்றிய எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல், ஒளியின் நேர்க்கோட்டுப் பரவல் போன்ற நிகழ்ச்சிகள் விளக்கப்பெற்றன. ஆனால், இக் கொள்கையினால் ஒளிக் குறுக்கீடு (interference), விளிம்பு விளைவு (diffraction), முனைவாக்கம் (polarization) போன்ற நிகழ்ச்சிகளை விளக்க முடியவில்லை. மேலும், துகள் கொள்கையின் படி ஒளியானது அடர்மிகு ஊடகங்களில் வேகமாகச் செல்ல வேண்டும். இது நடைமுறைச் சோதனைகளுக்கு மாறுபட்டது. எனவே, இக் கொள்கையின் இடத்தை அலைக் கொள்கை (wave theory) மேற்கொண்டது. இக் கொள்கையின் அடிப்படையில் மேற்கண்ட எல்லா நிகழ்ச்சிகளையும் திறம்பட விளக்க முடிந்தது.

ஆனால், ஹைஜன்சினுடைய (Huyghens) இந்த அலைக் கொள்கை ஒரு பெருந்தொல்லைக்குள்ளானது. ஒளியானது அலைகள் வாயிலாகப் பரவவேண்டின் அதற்கு ஓர் ஊடகம் (medium) தேவை. ஆனால், ஒளி வெட்டவெளியிலும் (empty space) பரவக் காண்கின்றோம். இப் பிரச்சினையைத் தீர்ப்பான்வேண்டி ஒளி அலைகள் எங்கும் நிறைந்து அசையாமல் நிற்கும் ஈதர் (ether stationary) எனும் பொருளின் ஊடே பரவுகின்றன என எடுத்துக் கொள்ளப்பெற்றது. இது எங்கும் நிறைந்துள்ளதாலும், இல்லாத இடம் இல்லாததாலும் இதன் ஊடே கோள்களும், உடுக்களும் தடங்கலின்றி இயங்குவதாலும், இது இலேசான பொருள்கள் எல்லாவற்றிலும் இலேசானதாக இருக்கவேண்டும். ஆனால், இதன் ஊடு ஒளி 3×10^8 மீட்டர்/நொடி எனுமளவு உயர்ந்த வேகத்தில் செல்வதால் இதன் மீட்சிக் குணகம் (modulus of elasticity) மிக உயர்ந்த மதிப்புடையதாக இருக்கவேண்டும். மேலும், இதனூடு செல்லும் ஒளி அலைகள் குறுக்கலைகளாகத்தான் (transverse waves) இருக்கவேண்டுமென ஒளியின் முனைவாக்கம்பற்றிய உண்மைகள் வலியுறுத்துவதால், இது மிகுந்த விறைப்புடைய திண்பொருளாக (rigid solid) இருக்கவேண்டும்! எனவே, ஈதர் இத்தகைய முரண் பட்ட, இருக்கமுடியாத பண்புகளையுடைய ஒரு பொருளாக இருக்கவேண்டும்.

2.3. மின் காந்தக் கதிர்வீச்சு

இந்த நிலையில்தான், கி.பி. 1864-ல் மாக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்பார் கதிர்வீச்சுகள் பற்றிய மின்காந்தக் கொள்கையினை (electro magnetic theory) முன்மொழிந்தார். இவரது கொள்கை யின்படி ஒளி முதலாய கதிர்வீச்சுகள் மின்காந்த அலைகள் வடிவில்

வெளியில் பரவுகின்றன. இந்த அலைகளது வடிவம் படம் 2.1 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 2.1. மின்காந்த அலை.
அதிர்வுறும் மின்புலமும் அதற்கு நேர்க்குத்தான அதிர்வுறும் காந்தப்புலமும் காட்டப்பெற்றுள்ளன. இங்குக் காட்டப்பெற்றுள்ள அலை முனைவாக்கம் பெற்றது.

இந்த மின்காந்த அலைகள் அதிர்வுறும் ஒரு மின்புலத்தையும் (electric field), அதன்கூடவே அதற்கு நேர்க்குத்தான ஓர் அதிர்வுறும் காந்தப்புலத்தையும் (magnetic field) உடையன. இரு புலங்களும் இணைபிரியாதன; ஒன்றிலேற்படும் மாற்றங்களை யொட்டியே மற்றதும் மாறும். இந்த இரு புலங்களும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தாக இருப்பதோடன்றி இவ்வலைகள் பரவும் திசைக்கும் நேர்க்குத்தாக இருக்கும். இதிலிருந்து அலைகளின் குறுக்குத் தன்மையை (transverse nature) எளிதில் புரிந்து கொள்ள முடிகின்றது. இங்கு மின், காந்தப்புலங்களின் அதிர்வுகளே அலைபரவுதற்குக் காரணமாக அமைவதால் ஈதர் போன்ற ஓர் ஊடகத்தைக் கற்பனை செய்துகொள்ளவேண்டிய தேவையில்லை.

மின்காந்த அலைக் கொள்கையினைக் கி.பி. 1864ஆம் ஆண்டிலேயே மாக்ஸ்வெல் கணித வாயிலாக எடுத்தியம்பியபோதிலும் அவர் இறந்து எட்டாண்டுகள் கழிந்த பின்னர்த்தான் ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) என்பார் மின், காந்தப்புலங்களில் ஏற்படும் அலைவுகள் மின் காந்த அலைகளாகப் பரவுகின்றன என்பதனை நடைமுறையில்

செய்து காட்டினுர். மேலும் அவர், இவ்வலைகள் ஒளி அலைகளைப் போன்றே எதிரொளித்தல், ஒளி விலகல், முனைவாக்கம் போன்ற நிகழ்ச்சிகளில் பங்கு பெறுகின்றனவெனக் காட்டினுர். இவ்வாறு ஒளியினது மின் காந்தத் தன்மை நிறுவப்பெற்றது.

ஒளிமட்டுமன்றி நாமறிந்த பல்வேறு கதிர்வீச்சுகளும் மின் காந்தக் கதிர்வீச்சுகளே. யாவும் ஒளியின் வேகத்திலேயே பரவுகின்றன. மின் காந்தக் கதிர்வீச்சின் அலைநீளத்தை அல்லது அதிர்வெண்ணையொட்டி அவை வெவ்வேறு பெயர்பெறும். இவை அட்டவணை 2.1 - ல் தரப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 2.1

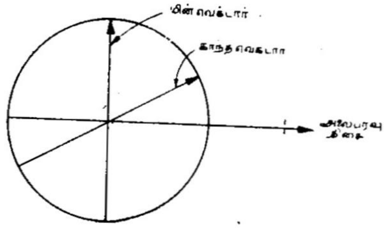
மின்காந்த நிறமாலை

நிறமாலைப் பகுதி	அலை நீளம் (செ.மீ.களில்)
காமாக் கதிர்கள்	10^{-10} - லிருந்து 10^{-8} வரை
எக்ஸ் - கதிர்கள்	10^{-9} - லிருந்து 10^{-5} வரை
புற ஊதா	$1{\cdot}4\times10^{-6}$ - லிருந்து 4×10^{-5} வரை
கண் காணும் ஒளி	4×10^{-5} - லிருந்து 8×10^{-5} வரை
புறச் சிவப்பு	8×10^{-5} - லிருந்து $0{\cdot}04$ வரை
மைக்ரோ அலைகள்	10^{-1} - லிருந்து 10 வரை
ரேடியோ அதிர்வெண் அலைகள்	10^{2} - க்கு மேல்

மின் காந்த அலையின் மின்புலத்தையும், காந்தப்புலத்தையும் இரு வெக்டார்களால் குறிக்கலாம். இந்த மின் வெக்டாரும் (electric vector), காந்த வெக்டாரும் (magnetic vector) ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தாக இருக்கும். அதனோடுகூட இவை இரண்டுமே அலைபரவும் திசைக்கு நேர்க்குத்தான திசைகளில் இருக்கும். இதனைப் படம் 2.2 காட்டுகின்றது.

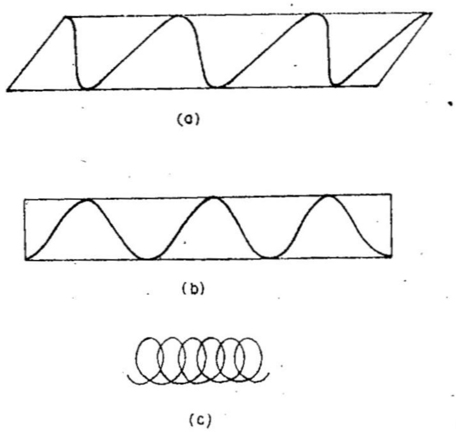
சாதாரண, வழக்கமான ஒளிமூலங்களிலிருந்து வரும் மின் காந்தக் கதிர்வீச்சினது மின், காந்த வெக்டார்கள் அலைபரப்பின் (wave surface) தளத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் பகிர்ந்திருக்கும்.

அவ்வாறன்றி ஒரு மின்காந்த அலையின் மின், காந்த வெக்டார்கள் அலைபரப்புத் தளத்தில் குறிப்பிட்ட திசைகளில் மட்டுமிருந்தால்



படம் 2.2. மின், காந்த வெக்டார்கள் அலைபரவும் திசைக்கு நேர்க்குத்தாக உள்ளதனைக் காட்டும் படம்.

அந்த அலை முனைவாக்கம் பெற்ற அலை (polarized wave) எனப் படும். இத்தகைய முனைவுடைய மின்காந்த அலைகள் சில படம் 2.3 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

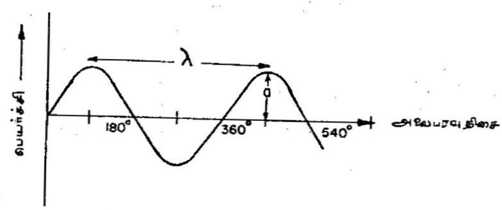


படம் 2.3. (*a*) கிடைத்தளத்தில் தளமுனைவாக்கம் பெற்ற ஒளி.
(*b*) செங்குத்துத்தளத்தில் தளமுனைவாக்கம் பெற்ற ஒளி.
(*c*) வட்டமுனைவாக்கம் பெற்ற ஒளி.

இப் படங்களிலெல்லாம் மின் வெக்டார்களின் முனைகளைச் சேர்க்கும் கோடுகள் மட்டிலும்தாம் காட்டப்பெற்றுள்ளன. இதே போன்று காந்த வெக்டார்களின் முனைகளைச் சேர்க்கும் கோடு களையும் வரைந்து காட்டலாம். ஆனால், மின், காந்த வெக்டார் களின் மதிப்புகள் ஒன்றையொன்று சார்ந்திருப்பதாலும் அவை இரண்டும் எப்போதும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தாக இருப்ப

தாலும் ஏதாவது ஒன்றினைக் குறித்தால் போதும்; மற்றதும் இதே போன்றுதானிருக்கும். ஆனால், வழக்கமாக மின் வெக்டார்தான் எடுத்துக்கொள்ளப்பெறும்.

அலைபரவும் திசைக்கு நேர்க்குத்தான தளத்தில் (perpendicular plane) ஒரேயொரு திசையில் மட்டிலுமே மின்வெக்டார் இருக்குமானால் அந்த அலைகள் தளமுனைவாக்கம் பெற்ற அலைகள் (plane polarized waves) எனப்பெறும். கிடைத்தளத்திலும் (horizontal plane), செங்குத்துத் தளத்திலும் (vertical plane) முனைவாக்கம் பெற்ற அலைகளை முறையே படங்கள் 2.3 (*a*), 2.3 (*b*) ஆகியவை சுட்டுகின்றன. இத்தகைய ஓர் அலையானது அலைநீளம் 'λ,' வீச்சு



படம் 2.4. தளமுனைவாக்கம் பெற்ற மின்காந்த அலை.
a — வீச்சு ; λ — அலைநீளம்.

'a' ஆகியவை படம் 2.4 - ல் குறிக்கப்பெற்றுள்ளன. கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண் v - க்கும் அலைநீளத்திற்குமுள்ள தொடர்பு,

$$v = \frac{c}{\lambda} \qquad \longrightarrow (2.1)$$

ஆகும். இங்கே, c என்பது ஊடகத்தில் ஒளியின் திசை வேகம் (velocity).

அலைபரவும் திசையின் ஊடே பார்க்கும்போது பெயர்ச்சிகள் வட்டமாகவோ அல்லது நீள்வட்டமாகவோ இருந்தால், அவை முறையே வட்ட முனைவாக்கம் பெற்ற அலைகள் (circularly polarized waves) அல்லது நீள்வட்ட முனைவாக்கம் பெற்ற அலைகள் (elliptically polarized waves) எனப்பெறும். வட்ட முனைவாக்கம் பெற்ற அலைகள் படம் 2.3 (*c*) - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

2.4 குவான்டம் கொள்கை

மாக்ஸ்வெலின் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுக் கொள்கையானது எதிரொளிப்பு (reflection), ஒளி விலகல் (refraction), ஒளி பரவுதல் (propagation) போன்ற இன்னபிற நிகழ்ச்சிகளைத் திறம்பட

விளக்கினாலும், பொருள்களால் கதிர்வீச்சு உட்கவரப்படுதல் அல்லது பொருள்கள் கதிர்வீச்சினை வெளிவிடுதல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளை, அதாவது பொருள் கதிர்வீச்சுச் செயலெதிர்ச் செயல்களை (interactions) விளக்கும் ஆற்றலற்றதாகக் காணப்படுகின்றது. இத்தகைய ஒரு தொல்லை முதலில் கரும்பொருள் கதிர்வீச்சினது (black body radiation) நிறமாலையில் ஆற்றல் பகிர்வினை (energy distribution) விளக்கும் கட்டத்தில் ஏற்பட்டது. மின்காந்தக் கொள்கைகொண்டு இதனைக் குறைவற விளக்க முடியவில்லை.

எனவே, கி.பி. 1900ஆம் ஆண்டில் மாக்ஸ் பிளாங்க் (Max Planck) என்பார் புரட்சிகரமான புதியதொரு கொள்கையை உருவாக்கித் தந்தார். அது குவான்டம் கொள்கை (Quantum theory) எனப்படும். அதன்படி பொருள்கள் ஆற்றலைக் கதிர் வீச்சாக வெளிவிடுவதோ அல்லது கதிர்வீச்சிலிருந்து உட்கவர்வதோ ஒரு குறிப்பிட்ட அடிப்படை அளவின் மடங்குகளில்தான் நடைபெறும். இவ்வாறு உட்கவர்தல் அல்லது வெளிவிடுதல் நிகழும் சிறும ஆற்றலின் (minimum energy) அளவு ஒரு குவான்டம் (quantum) எனப்படும். ν அதிர்வெண்ணில் வெளிவிடப்படும் ஒரு குவான்டத்தின் ஆற்றல் மதிப்பு $h\nu$ ஆகும். இங்கே h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Planck's constant). h-ன் மதிப்பு $6{\cdot}62\times10^{-27}$ எர்கு-நொடியாகும்.

பிளாங்க் இக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி, கரும்பொருள் கதிர் வீச்சு நிறமாலையில் ஆற்றல் பகிர்வினை வெற்றிகரமாக விளக்கினார். ஐன்ஸ்டைன் (Einstein) இதனைப் பயன்படுத்திக் கி.பி. 1905ஆம் ஆண்டில் ஒளிமின் விளைவினை (photoelectric effect) விளக்கினார்; கி.பி. 1913-ல் போர் (Bohr) அணுக்களின் கட்டமைப்பை (atomic structure) வரையறுப்பதற்கு இதனைப் பயன்படுத்தினார்.

எந்திரத் துப்பாக்கியிலிருந்து அடுத்தடுத்துத் தொடர்ச்சியாகக் குண்டுகள் வெளிப்படுவதுபோலக் கதிர்வீச்சு ஆற்றலானது குவான்டம் குவான்டமாகப் பரவுகின்றது. ஒவ்வொரு குவான்டமும் ஒரு ஃபோட்டான் (photon) எனப்படும். எனவே, இக் கொள்கையின் அடிப்படையில் பார்த்தால், ' கதிர்வீச்சிற்கு ஒரு துகள் தன்மை (particle nature) உள்ளது; ஆனால், ஃபோட்டானின் ஆற்றல் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்திருப்பதால், அதாவது $E=h\nu$ ஆனதால், ஃபோட்டான்களுக்கு அலைத்

தன்மையும் (wave nature) உண்டு. எனவே, கதிர்வீச்சு அலைத் தன்மை, துகள் தன்மை ஆகிய இரு தன்மைகளையும் பெற்றுள்ளது' என்பது தெரிகின்றது. ஆனால், இரு தன்மைகளும் ஒருங்கே புலப்படா ; அலைத்தன்மை வெளிப்படுமிடத்தில் துகள் தன்மை காணப்படாது ; துகள் தன்மை வெளிப்படும்போது அலைத் தன்மை மறைந்திருக்கும்.

இத்தகைய இருமைப் பண்பினை (dual nature) கதிர் வீச்சிற் களித்தால்தான் காணப்பெறும் எல்லா வகை நிகழ்ச்சிகளையும் விளக்க முடியும். இதனால், இது ஏதோ வசதிக்காகப் புனைந்து கொண்ட கருத்தென எண்ணவேண்டுவதில்லை. கதிர்வீச்சுகள் இவ் வகை இருமைப் பண்பினைப் பெற்றுள்ளதுபோலவே நாம் கண்கூடாகக் காணும் பொருள்களும் (துகள்களும்) அலைத் தன்மை பெற்றுள்ளன. எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு (electron diffraction) நிகழ்ச்சிகள் கண்டறியப்பட்டதைத் தொடர்ந்து கி.பி. 1924ஆம் ஆண்டில் டி பிராலி (De Broglie) என்பார் இயக்கத்தி லிருக்கும் எந்தவொரு துகளையும் ஓர் அலை இயக்கமாகக் கருத லாமென மொழிந்தார். அத்தகைய அலையியக்கத்தின் அலைநீளம் λ-ஐ அத் துகளின் உந்தத்தால் (p) பின்கண்டவாறு குறிக்கலா மெனக் கூறினர்.

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad \longrightarrow (2.2)$$

இதிலிருந்து அலைத் தன்மை, துகள் தன்மை ஆகிய இரண் டினையும் ஒருங்கே பெற்றிருப்பதாகிய இருமைப் பண்பு, பொருள் களுக்கும் கதிர்வீச்சிற்கும் பொதுவென்பது புலனாகின்றது. அவ் வப்போது அளக்கப்பெறும் சூழ்நிலைகளுக் கேற்ப எந்தவொரு தன்மையும் வெளிப்படுகின்றதெனக் கூறலாம். அண்மைக் காலத்திய புதிய குவான்டம் எந்திரவியல் (quantum mechanics) இவற்றை நன்கு விளக்கும். அது இந் நூலின் நோக்கத்திற்கப்பாற் பட்டது.

இனி, இந்தக் கதிர்வீச்சுகள் எவ்வாறு வெளிவிடப்படுகின்றன என்பதனை அறிய முனைவோம். அணுக்கள் (அல்லது அயனிகள் அல்லது மூலக்கூறுகள்) தமக்கு இயல்பான தாழ் ஆற்றல் மட்டங் களில் இருக்கும். இவை புறச் செயலிகளால் கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்றால் உயர் ஆற்றல் மட்டங்களுக்குச் (energy levels) செல்லும். பொருள்கள் சாதாரணமாகத் தம்முடைய ஆற்றலை எவ்வளவு

குறைவாக வைத்துக்கொள்ள முடியுமோ அவ்வளவிற்குக் குறைத்துக்கொள்ள முயலுமென்பது நாமறிந்ததே. எனவே, இந்தக் கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற அணுக்கள் உயர் ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து தாழ் ஆற்றல் மட்டங்களுக்குத் தாவும். இது தன்னிச்சையாக (spontaneously) நிகழலாம் ; அல்லது புறத்தூண்டுதலாலும் (external stimulation) நிகழலாம். இவ்வாறு ஓரணு E_2 என்ற உயர் ஆற்றலுடைய நிலையிலிருந்து E_1 என்ற தாழ் ஆற்றலுடைய நிலைக்குத் தாவும்போது அவ்விரு மட்டங்களுக்குமிடையே யுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு $(E_2 - E_1)$ ஒரு ஃபோட்டானாக (photon) வெளிவரும். இந் நிகழ்ச்சியினைப் பின்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் :

$$E_2 - E_1 = h\nu \qquad \longrightarrow (2.3)$$

இதேபோலத் தாழ்மட்டத்திலுள்ள (E_1) ஓர் அணு $h\nu$ ஆற்றலுடைய ஒரு ஃபோட்டானை உட்கவர்ந்தால் $(h\nu = E_2 - E_1)$ E_2 மட்டத்திற்கு உயரும். அணுக்களையும், அயனிகளையும், மூலக்கூறுகளையும் உயர்மட்டங்களுக்குக் கிளர்ச்சியூட்ட இதுவேயன்றி வேறுபல வழிகளுமுள்ளன. அவற்றை உரியவிடத்தில் காண்போம்.

கதிர்வீச்சுகள் உட்கவரப்படுதலையும் வெளிவிடப்படுதலையும் பற்றித் தெளிவாக அறிந்துகொள்வதற்கு அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்கள்பற்றிய செய்திகளை முதற்கண் அறிந்துகொள்ள வேண்டியவர்களாகின்றோம்.

2.5. அணுவின் ஆற்றல் நிலைகள்

எந்தவோர் அணுவிலும் மையத்திலுள்ள அணுக்கருவைச் (nucleus) சுற்றி எலெக்ட்ரான்கள் (electrons) இயக்கத்திலுள்ளன. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் சில குறிப்பிட்ட ஆற்றல்களையுடைய நிலைகளில்தான் இருக்கமுடியும். இந்த அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகள் நான்கு குவான்டம் எண்களால் (quantum numbers) விவரிக்கப்படும். அவையாவன : (1) முதன்மை குவான்டம் எண் 'n' (principal quantum number). (2) வீதி நிலைக் குவான்டம் எண் 'l' (orbital quantum number). (3) காந்தக் குவான்டம் எண் 'm_l' (magnetic quantum number). (4) காந்த-தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் 'm_s' (magnetic spin quantum number).

முதன்மைக் குவான்டம் எண் (n) ஆனது அணுக்கருவிலிருந்து எலெக்ட்ரான் எவ்வளவு தூரத்திலுள்ளது என்பதன் சராசரி மதிப்பினை உணர்த்தும் ஒன்றெனக் கருதலாம். இது 1, 2, 3, 4...என்ற எந்த முழு எண் மதிப்பினையும் உடைத்தாயிருக்கலாம். இந்த n - ஐக் குறிப்பதற்கு 1, 2, 3, 4...என்ற முழுவெண்களுக்குப் பதிலாக முறையே K, L, M, N......என்ற எழுத்துகளைக் கையாளுவதுமுண்டு.

வீதிநிலைக் குவான்டம் எண் (l) ஆனது எலெக்ட்ரானுடைய வீதிநிலைக் கோண உந்தத்தை (orbital angular momentum) அறியப் பயன்படும் ஒன்றெனக் கருதலாம். ஓர் எலெக்ட்ரானின் வீதி நிலைக் குவான்டம் எண் l ஆனுல், அதன் வீதிநிலைக் கோண உந்தம் $\sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}$ ஆகும். வீதிநிலைக் குவான்டம் எண் 0-லிருந்து ($n-1$) வரையுள்ள எல்லா முழு எண் மதிப்புகளையும் பெறக்கூடும். l - ன் மதிப்பு 0, 1, 2, 3...எனவுள்ள நிலைகளை முறையே s, p, d, f... நிலைகள் எனக் குறிப்பது வழக்கம்.

ஒரு காந்தப் புலத்தில் அணு உள்ளபோது அதன் வீதிநிலைக் கோண உந்தத்தைக் குறிக்கும் வெக்டார் (orbital angular momentum vector) இடக் குவான்டப்படுத்தலுக்கு (space quantization) உள்ளாகும். அது இருக்கக்கூடிய முகப்பு நிலைகளை (orientations) காந்தக் குவான்டம் எண் (m_l) நிர்ணயிக்கின்றது. m_l - ன் மதிப்பு $l, (l-1), (l-2), \ldots 0 \ldots -(l-2), -(l-1), -l$ ஆகிய ($2l+1$) மதிப்புகளில் ஏதேனும் ஒன்ருக இருக்கலாம்.

எலெக்ட்ரான் அதன் அச்சின்மீதே பெற்றுள்ள தற்சுழற்சியினது (spin) கோண உந்தத்தைக் குறிக்கப் பயன்படுவது தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் s. இது $s=\frac{1}{2}$ எனும் ஒரேயொரு மதிப்பினைத்தான் பெற்றிருக்க முடியும். தற்சுழற்சிக் கோண உந்தம் $\sqrt{s(s+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}$ ஆகும். ஒரு காந்தப்புலத்தின் ஆளுகைக்குள்ளாகும்போது தற்சுழற்சிக் கோண உந்தத்தைக் குறிக்கும் வெக்டார் இரண்டே இரண்டு முகப்பு நிலைகளில் (orientations) தான் இருக்கமுடியும். அவையாவன : (1) புலத்தின் திசை, (2) புலத்திற்கு எதிரான திசை. இவற்றிற்கியைந்த (corresponding) குவான்டம் எண் காந்தத் தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் (m_s) எனப்படும். இதன் மதிப்பு $+\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$.

n, l, m_l, m_s ஆகிய நான்கும் என்னென்ன மதிப்புகளை உடைத்தாயிருக்கலாமெனப் பார்த்தோம். இவற்றில் l, m_l ஆகியவற்றின் மதிப்பு n - ஐப் பொறுத்ததாக இருக்க, m_s ஆனது $+\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$ ஆகிய இரு மதிப்புகளை மட்டிலுமே பெறக்கூடுமெனக் கண்டோம். ஓர் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் அந்த நான்கு குவான்டம் எண்களையும் உடைத்தாயிருக்க முடியாது. அவற்றிலும் ஒரு நியதியுண்டு. இதனை வரையறுப்பது பௌலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவமாகும் (Pauli's exclusion principle). இதன்படி ஓர் அணுவிலுள்ள எந்த இரு எலெக்ட்ரான்களுக்கும் நான்கு குவான்டம் எண்களும் ஒன்றாக இருக்க முடியாது.

இந்த அடிப்படையில் ஓரணுவிலுள்ள பல்வேறு எலெக்ட்ரான்களும் எந்தெந்த வீதிநிலைகளில் (orbitals) இருக்குமென்பதனை எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த வகையில் அலுமினியத்தின் எலெக்ட்ரான் கோலத்தை (electron configuration) $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^1$ எனவெழுதலாம். இங்கே, முதலாவது எண் முதன்மைக் குவான்டம் எண்ணையும், s, p என்பன வீதிநிலைக் குவான்டம் எண்களையும், மேல் ஒட்டுக்குறிகள் (superscripts) ஒவ்வோர் அணு வீதிநிலையிலும் (atomic orbital) உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் குறிக்கின்றன. இங்கே நான்கு துணைக் கூடுகள் (sub-shells) நிறைவு பெற்றுள்ளன; ஐந்தாவதாகிய $3p$ துணைக்கூடு நிறைவு பெறவில்லை.

ஓரணுவிலுள்ள பல்வேறு எலெக்ட்ரான்களின் மின், காந்தப் புலங்கள் எவ்வாறு செயலெதிர்ச்செயல்பட்டு (interact) இறுதியான அணுநிலைகளை உண்டுபண்ணுமென்பதனை அறிந்துகொள்வதற்கு ரஸ்ஸல் - ஸாண்டெர்ஸ் இணைப்பு முறை (Russel - Saunders coupling) பயன்படும். அது பின்வருமாறு :

நிறைவு பெறாத ஓர் அணுக்கூட்டிலுள்ள பல்வேறு எலெக்ட்ரான்களின் தனித்தனி வீதிநிலைக்கோண உந்தங்களும் வெக்டார் அடிப்படையில் கூட்டப்பெற்று அவற்றின் தொகுபயன் வீதிநிலைக் கோண உந்தம் 'L' (resultant angular momentum – L) கண்டு பிடிக்கப்படும். நிறைவுபெற்ற கூடுகளுக்கு வெளியே இரண்டு எலெக்ட்ரான்களை ஓரணு பெற்றிருக்குமானால் அவற்றின் L மதிப்புப் பின்கண்டவாறிருக்கும்:

$$L = (l_1+l_2),\ (l_1+l_2-1),\ (l_1+l_2-2)\ldots\ldots\ldots(l_1-l_2) \rightarrow (2{\cdot}4)$$

இங்கே, $l_1 > l_2$. நிறைவுபெற்ற கூடுகளுக்கு வெளியே இரண்டிற்கும் மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களிருக்குமானால், அவற்றின் L மதிப்பைப் பின்கண்டவாறு கணக்கிட வேண்டும் : ஒவ்வொரு கூட்டினுடைய தொகுபயன் உந்தத்தையும், காட்டாக, L_1, L_2 ஆகியவற்றைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர் L_1, L_2 ஆகியவற்றை வெக்டார் (Vector) அடிப்படையில் கூட்டித் தொகுபயனைக் கணக்கிடவேண்டும். அப்போது L - ன் மதிப்பு பின்கண்டவாறிருக்கும்:

$$L = (L_1+L_2),\ (L_1+L_2-1),\ (L_1+L_2-2)\ldots\ldots\ldots(L_1-L_2) \rightarrow (2{\cdot}5)$$

இங்கே, $L_1 \geqslant L_2 \cdot L=0, 1, 2, 3, 4, 5$.......... மதிப்புகளையுடைய நிலைகளை முறையே S, P, D, F, G, H......... என்ற எழுத்துகளால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இங்குத் தரப்பட்டுள்ள S என்பதனைத் தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் S உடன் சேர்த்துக் குழப்பிக் கொள்ளக்கூடாது.

இதேபோல, அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் தொகுபயன் தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண் (resultant spin quantum number) S ஆனால் அது தனித்தனி m_s மதிப்புகளைக் கூட்டிக் கிடைக்கும் எண் மதிப்பாகும். m_s - ன் மதிப்புகள் $+\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$ தான் இருக்கக்கூடுமாதலால், ஓரேயோர் எலெக்ட்ரான் இருந்தால் அதன் S மதிப்பு $\frac{1}{2}$ ஆகும் ; இரண்டு எலெக்ட்ரான்களிருந்தால் இரு தற்சுழற்சிகளும் இணையாக (↑ ↑) இருக்கலாம். (அப்போது $S= +\frac{1}{2}+\frac{1}{2}=1$) அல்லது எதிரிணையாக (anti-parallel) இருக்கலாம் (↑ ↓). (அப்போது $S= +\frac{1}{2}-\frac{1}{2}=0$). மூன்று எலெக்ட்ரான்கள் இருந்தால் S - ன் மதிப்பு $\frac{3}{2}$ அல்லது $\frac{1}{2}$ ஆக இருக்கும் ; தற்சுழற்சிகளின் முகப்பு நிலைகள் ↑ ↑ ↑ இவ்வாறிருந்தால் $S= \frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}=\frac{3}{2}$ அல்லது ↑ ↓ ↑ எனவிருந்தால் $S= \frac{1}{2}-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$.

இப்போது தொகுபயனை வீதிநிலைக் கோண உந்தத்தையும், தற்சுழற்சிக் கோண உந்தத்தையும் வெக்டார் அடிப்படையில் இணைத்தால் பின்கண்ட மதிப்புகள் கிடைக்கும்:

$$J = (L+S),\ (L+S-1),\ (L+S-2)\ldots\ldots\ |L-S| \rightarrow (2{\cdot}6)$$

இத் தொகு பயன் 'J' உள் குவான்டம் எண் (inner quantum number) அல்லது மொத்தக் குவான்டம் எண் (total quantum number) எனப்படும்.

இந்த ரஸ்ஸல் - ஸாண்டெர்ஸ் இணைப்பின் அடிப்படையில் அணுவின் ஆற்றல் நிலைகளைக் குறிக்கும் ஒரு முறையுள்ளது. இந்த முறைப்படி எந்தவோர் அணுவின் ஆற்றல் நிலையையும்,

$$^{2S+1}X_{J}$$

எனக் குறிக்கலாம். இங்கே X என்பது S, P, D, F, G......ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றது. அதாவது, வீதிநிலைக் கோண உந்தம் L - ஐக் குறிக்கின்றது. முன் ஒட்டுக் குறியாக உள்ள 2S+1 என்பது இந்த அணு நிலையானது ஒற்றையா (singlet), இரட்டையா (doublet) அல்லது மும்மையா (triplet) என்பதுபோன்ற பல்வகைப் பாட்டினைக் (multiplicity) குறிக்கின்றது. மொத்தக் குவான்டம் எண் J ஆனது பின் ஒட்டுக்குறியாகவுள்ளது. இதனோடுகூட, தேவைப்பட்டால், கிளர்ச்சியுறு எலெக்ட்ரானின் கோலமும் முதலில் சேர்த்து எழுதப்படும். இந்தக் குறியீட்டு முறைப்படி லிதியத்தின் (lithium) தரை நிலை (ground state) $2s^2S_{\frac{1}{2}}$ என எழுதப்பெறும்; $3s^2S_{\frac{1}{2}}$, $2p^2P_{\frac{3}{2}}$, $2p^2P_{\frac{1}{2}}$ என்பன லிதியத்தின் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகள் சிலவற்றைக் குறிக்கும்.

ரஸ்ஸல் - ஸாண்டெர்ஸ் இணைப்பு முறையேயன்றி *j - j* இணைப்பு (*j - j* coupling) என்றொரு முறையுமுண்டு. ஆனால், இது உள்ள நிலைமைகள் மிகவும் அருமையே. நாம் பார்க்கப்போகுமிடங்களிலெல்லாம் முதல் வகை இணைப்பே, ரஸ்ஸல் - ஸாண்டெர்ஸ் இணைப்பே பயன்படும்.

2.6 மூலக்கூறு ஆற்றல் நிலைகள்

அணுக்கள் சேர்ந்து மூலக்கூறுகள் உண்டாகும்போது நாம் மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல் நிலைகளை அறிய வேண்டியவர்களாகின்றோம். இங்கே ஈரணு மூலக்கூறுகளின் (diatomic molecules) ஆற்றல் நிலைகளைமட்டிலும் காண்போம்.

அணுக்களின் ஆற்றல் நிலைகளைக் குறிக்கப் பயன்படுத்திய குவான்டம் எண்களோடு தொடர்புகொண்ட வேறு புதிய குவான்டம் எண்கள் மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல் நிலைகளைக் குறிக்கப் பயன்படும். காட்டாக, தொகுபயன் வீதிநிலைக் கோண உந்தம் L_1 ஆகவும் தற்சுழற்சிக் கோண உந்தம் S_1 ஆகவும் உள்ள ஓர் அணுவானது இம் மதிப்புகள் L_2, S_2 ஆகவுள்ள பிறிதோரணுவுடன்

சேர்ந்து ஒரு மூலக்கூறு உண்டாவதாகக் கொள்வோம். இந்த மூலக்கூறின் L, S மதிப்புகளைப் பின்கண்டவாறெழுதலாம்:

$$L = (L_1+L_2),\ (L_1+L_2-1),\ (L_1+L_2-2),\ldots\ldots |L_1-L_2| \rightarrow (2\cdot7)$$

$$S = (S_1+S_2),\ (S_1+S_2-1),\ (S_1+S_2-2),\ldots\ldots |S_1-S_2| \rightarrow (2\cdot8)$$

ஈரணு மூலக்கூறின் அணுக்கருக்களிடையேயுள்ள வலுவான மின்புலத்தின் காரணமாகத் தொகுபயன் வீதிநிலைக் கோண உந்த வெக்டாரும், தொகுபயன் தற்சுழற்சிக் கோண உந்த வெக்டாரும் அணுக்கரு இடை அச்சின் (inter nuclear axis) மீது தனித்தனியே அச்சுச் சுழற்சி இயக்கங்களையுடையனவாயிருக்கும். வீதிநிலைக் கோண உந்த வெக்டார் இடக் குவான்டப்படுத்துதலுக்கு (space quantization) உள்ளாகும். அதாவது, அணுக்கரு இடை அச்சின் ஊடேயுள்ள வெக்டார் கூறினது (component) குவான்டம் எண் சுழி மதிப்பினையோ அல்லது முழு எண் மதிப்பினையோதான் பெற்றிருக்க முடியும். இந்தக் குவான்டம் எண் Λ என்ற குறியீட்டால் குறிப்பிடப்படும். இது மொத்தம் (L+1) மதிப்புகளைப் பெறக் கூடும். இம் மதிப்புகளாவன:

$$\Lambda = L,\ (L-1),\ (L-2),\ldots\ldots 2,\ 1,\ 0 \longrightarrow (2\cdot9)$$

இவற்றுள் $\Lambda=0$ தவிர்த்த மற்ற எல்லா நிலைகளும் ஒரே ஆற்றலுடைய இரு நிலைகளையுடையனவாயிருக்கும் (doubly degenerate). ஏனெனில், $\Lambda=+L$ அல்லது $-L$ ஆக இருக்கலாம்.

$\Lambda=0,\ 1,\ 2,\ 3\ldots$ என்ற மதிப்புகளை முறையே Σ, π, $\triangle$, $\phi\ldots$ எனக் குறிப்பது வழக்கம். இந்தக் குறியீட்டோடுகூடப் பல்வகைப் பாடும் (2S+1) முன் ஒட்டுக் குறியாக எழுதப்படும். காட்டாக, $^3\triangle$ என்பது S மதிப்பு 1 ஆகவும் (2S+1=3) $\Lambda=2$ ஆகவும் உள்ளவொரு நிலையைக் குறிக்கும்.

மூலக்கூறுகளின் ஆக்கக்கூறுகளான அணுக்கள் அதிர்வுறும்; அவற்றோடுகூட மூலக்கூறே சுழலவும் கூடும். எனவே, மூலக்கூறுகள் எலெக்ட்ரானிய ஆற்றல்களைப் பெற்றிருப்பதோடுகூட அதிர்வு ஆற்றல்களையும் (vibrational energies), சுழல் ஆற்றல்களையும் (rotational energies) பெற்றிருக்கும். மூலக்கூறு நிறமாலையியலில் (molecular spectroscopy) முதல்படி தோராயமாக மூலக்கூறின்

ஆற்றல் அதன் எலெக்ட்ரானிய, அதிர்வு, சுழல் ஆற்றல்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமென எடுத்துக்கொள்ளப்படும். எனவே, மூலக்கூறின் மொத்த ஆற்றல்,

$$E = E_{\text{எலெக்}} + E_{\text{அதிர்வு}} + E_{\text{சுழல்}} \longrightarrow (2{\cdot}10)$$

அதிர்வு, சுழல் ஆற்றல் நிலைகளும் குவான்டப் படுத்துதலுக் குள்ளானவையாகும்.

ஒரு மூலக்கூறிலுள்ள அணுக்கள் நிலையாக (stationary) இருப்பதேயில்லை; ஓர் ஈரணு மூலக்கூறினை (diatomic molecule) எடுத்துக் கொண்டால் அதன் இரு அணுக்கருக்களும் அவற்றைச் சேர்க்கும் கோட்டின் ஊடே அதிர்வுறும். இந்த அதிர்வு இயக்கம் எளிய சீரிசை இயக்கமாக (simple harmonic motion) இருக்குமானால் அதன் அதிர்வாற்றலைப் (E_v) பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம்:

$$E_v = (v + \tfrac{1}{2})\, h\nu \longrightarrow (2{\cdot}11)$$

இங்கே ν என்பது அதிர்வினது அதிர்வெண்; v என்பது அதிர்வு நிலைக் குவான்டம் எண் (vibrational quantum number). v - ன் மதிப்புச் சுழியாகவோ அல்லது வேறெந்த முழு எண் மதிப்பாகவோ இருக்கக்கூடும். ஆனால், உண்மையில் பார்க்கப் போனால் இந்த அதிர்வுகள் சீரியல்பான இயக்கங்களாக இரா. எனவே, E_v - ன் மதிப்பைப் பின்கண்டவாறு எழுதவேண்டும்:

$$E_v = (v + \tfrac{1}{2})\, h\nu - (v + \tfrac{1}{2})^2\, hx\nu + (v + \tfrac{1}{2})^3 hy\nu \longrightarrow (2{\cdot}12)$$

இங்கே, x, y என்பன மாறிலிகள். இவை சீரிசையின்மை மாறிலிகள் (anharmonicity constants) எனப்பெறும். அணுக்கள் மூவகையான அதிர்வுகளைப் பெறக்கூடும். எனவே, மூன்று அதிர்வு நிலைக் குவான்டம் எண்களுண்டு; அவை அடுத்தடுத்துச் சேர்த்து எழுதப்பெறும்.

மூலக்கூறின் அணுக்கள் எப்போதுமே அதிர்வியக்கத்தைப் பெற்றிருக்குமெனக் கூறினோம்; தனிச்சுழி வெப்பநிலையின் (absolute zero of temperature) அண்மையிலும் இது பொருந்தும். ஆனால், மூலக்கூறின் சுழற்சிகள் இவ் வெப்பநிலைகளில் இராது; வெப்பநிலையை உயர்த்தினால்தான் சுழற்சிகள் உண்டாகும்; வளரும்.

ஒரு மூலக்கூறில் அணுக்கருக்களிடைத் தூரம் (internuclear distance) சுழற்சிகளின்போது மாறுவதில்லை எனக் கொண்டால், அதாவது, மூலக்கூறு ஒரு திண் சுழலி (rigid rotor) எனக் கொண்டால், அதன் சுழலாற்றலைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$E_r = J\,(J+1)\,\frac{h^2}{8\pi^2 I} \qquad \longrightarrow (2{\cdot}13)$$

இங்கே I என்பது சுழலச்சின் (axis of rotation) மீது மூலக் கூறினுடைய நிலைமத் திருப்புதிறன் (moment of inertia); J என்பது சுழல்நிலைக் குவான்டம் எண் (rotational quantum number). J - ன் மதிப்புச் சுழியாகவோ அல்லது வேறெந்த முழு எண் மதிப்பாகவோ இருக்கக்கூடும்.

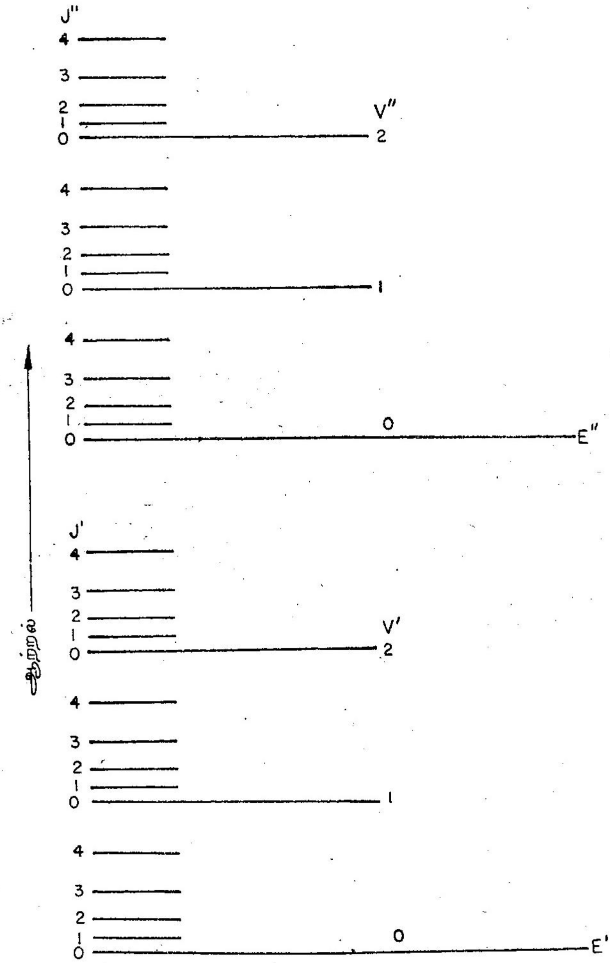
எலெக்ட்ரானிய ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையேயுள்ள வேறுபாடானது அதிர்வு ஆற்றல் நிலைகட்கிடையேயுள்ள வேறுபாட்டினை விட மிகமிக அதிகமாகும். அதேபோல, அதிர்வு நிலைகளுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு, சுழல் நிலைகளுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டினைவிட மிகமிக அதிகமாகும். படம் 2.5 இதனை விளக்கும்.

பல்வேறு எலெக்ட்ரானிய நிலைகளுக்கிடையே ஏற்படும் பெயர்வுகளால் கிடைக்கும் நிறமாலை எலெக்ட்ரானிய நிறமாலை (electronic spectra) எனப்படும். இது கண் காணும் பகுதி, புற ஊதாப் பகுதிகளிலிருக்கும். ஓர் எலெக்ட்ரானிய மட்டத்திற் குள்ளிருக்கும் அதிர்வு நிலைகளுக்கிடையே ஏற்படும் பெயர்வு களால் கிட்டுவது அதிர்வு நிறமாலை (vibrational spectra) எனப் படும். இது அண்மைப் புறச்சிவப்பு (near infrared) பகுதியி லிருக்கும். ஓர் அதிர்வு நிலைக்குள்ளிருக்கும் சுழல் மட்டங்களுக் கிடையே ஏற்படும் பெயர்வுகளால் கிடைப்பது சுழல் நிறமாலை (rotational spectra). இது தொலை புறச்சிவப்புப் (far infrared) பகுதியிலிருக்கும்.

இரண்டு எலெக்ட்ரானிய மட்டங்களுக்கிடையே பெயர்வுகள் ஏற்படும்போது அதிர்வு, சுழல் குவான்டம் எண்களும் மாறுபடும். எனவே, எலெக்ட்ரானிய நிறமாலை என்பது உண்மையில் எலெக்ட்ரானிய - அதிர்வு - சுழல் நிறமாலையே (electronic-vibration-rotation spectrum). இவ்வாறே, அதிர்வு நிறமாலை என்பது உண்மையில் அதிர்வு - சுழல் நிறமாலையே (vibration - rotation spectrum). ஆனால், சுழல் மட்டங்களுக்கிடையே ஏற்படும் பெயர்வுகளால் தொலைப் புறச்சிவப்பில் கிடைப்பது தூய சுழல் நிறமாலை (pure rotational spectrum) ஆகும்.

2.7 தேர்வு விதிகள்

இதுகாறும் அணுக்களிலும், மூலக்கூறுகளிலும் உள்ள ஆற்றல் மட்டங்களைப்பற்றிப் பார்த்தோம். அணுக்கள் அல்லது மூலக்



படம் 2.5 ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் எலெக்ட்ரானிய, அதிர்வு, சுழல் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

கூறுகள் இத்தகைய ஆற்றல் மட்டங்களில் ஒன்றிலிருந்து ஒன் றிற்குப் பெயரலாம். இத்தகைய பெயர்ச்சிகள் கதிர்வீச்சுப் பெயர்

வுகளாக (radiative transfer) இருந்தால் அது சமன்பாடு (2·3) - ன்படி இருக்குமென முன்னரே கூறினோம். ஆற்றல் உட்கவரப்பட்டால் தாழ்மட்டங்களிலிருந்து உயர்மட்டங்களுக் கேகவும், உயர் மட்டங்களிலிருந்து தாழ்மட்டங்களுக்கு வந்தால் ஆற்றல் வெளி விடப்படவும் செய்யும். இவ்வாறு ஓரணு அல்லது மூலக்கூறு வெளிவிடக்கூடிய எல்லா நிறமாலை வரிகளும் (spectral lines) நடைமுறையில் காணப்பெறுவதில்லை. இதிலிருந்து, ஒரு சில பெயர்வுகளே அனுமதிக்கப்பட்டவை (allowed transitions) என்பது தெரிகின்றது. எந்தெந்தப் பெயர்வுகள் அனுமதிக்கப் பட்டவை என்பதனைக் கூறும் விதிகள் தேர்வு விதிகள் (selection rules) எனப்படும்.

இவ் விதிகள்படியுள்ள பெயர்வுகள் மட்டிலும்தான் நடை பெறுமென்று அறுதியிட்டுக் கூறிவிட முடியாது. இவ் விதிகளுக்குப் புறம்பான பெயர்வுகளும் நடைபெறுவதாக—மிகக் குறைந்த செறிவுடைய வரிகளைத் தரும் பெயர்வுகள்—கண்டறியப்பட் டுள்ளது. இத்தகைய பெயர்வுகள் விலக்கப்பட்ட பெயர்வுகள் (forbidden transitions) எனப்பெறும்.

ஓர் அணுவானது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுடன் வலுவான முறையில் செயலெதிர்ச் செயல் (interact) படவேண்டுமானல் அது ஓர் இருமுனைத் திருப்புதிறனைப் (dipole moment) பெற் றிருக்கவேண்டும். ஓர் அணுவினது இந்த மாறக்கூடிய மின் இரு முனை திருப்புதிறன் ஒரு வெக்டார் (vector) அளவாகும். ஓர் அணுவின் மின் இருமுனை திருப்புதிறன் **M** ஆனல், அது ஒரு மின் காந்தக் கதிர்வீச்சுடன் செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது **ME** எனும் செயலெதிர்ச் செயல் ஆற்றலை (interaction energy) உடையதாயிருக்கும். இங்கே **E** என்பது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சின் மின் வெக்டாராகும் (electric vector). அலைச் சமன்பாட்டில் (wave equation) இந்தச் செயலெதிர்ச் செயலாற்றலை நுழைத்து ஒரு குறிப்பிட்ட பெயர்வு நடைபெறுவதற்கான நிகழ்திறத்தைக் கணக்கிடலாம். இந்த அடிப்படையில் தேர்வு விதிகள் உண்டாக் கப் பெற்றுள்ளன. (உண்மையில் தேர்வு விதிகள் - ஸீமன் விளைவி லிருந்து கிடைத்த உண்மைகளைக்கொண்டு நடைமுறை அடிப் படையிலேயே - முதலில் வகுத்துக் கொள்ளப்பெற்றன. பின்னர்த் தான் மேற்கூறிய வகையில் அலை எந்திரவியல் (wave mechanics) அடிப்படையில் அவை சரியேயெனக் காட்டப்பெற்றன). அணு நிறமாலை வரிகளுக்கான தேர்வு விதிகள் பின்கண்டவாறு:

$$\left.\begin{array}{l}\text{(1)}\quad \Delta L = 0, \pm 1 \\ \qquad \Delta J = 0, \pm 1 \\ \qquad (O \rightarrow 0 \text{ தவிர}) \\ \qquad \Delta S = 0\end{array}\right\} \longrightarrow (2{\cdot}14)$$

ஒரேயோர் எலெக்ட்ரானின் நிலைமட்டும் மாறினால் (1) - வது விதி $\Delta L = \pm 1$ என்று அமையும். இத் தேர்வு விதிகளின்படி நடைபெறும் பெயர்வுகள் அனுமதிக்கப்பட்ட பெயர்வுகளாகும்.

அணுநிலைகளில் பெயர்வுகளுக்குத் தேர்வு விதிகளுள்ளது போல மூலக்கூறு மட்டங்களில் ஏற்படக்கூடிய பெயர்வுகளை வரையறுக்கும் தேர்வு விதிகளுமுள்ளன. அவை தனிப்பட்ட தேர்வு விதிகள் (particular selection rules), மொத்தத் தேர்வு விதிகள் (gross selection rules) எனப்பெறும்.

மூலக்கூறுகளின் தனித்தனி குவான்டம் எண்களில் ஏற்படும் மாறுதல்களைப்பற்றிய நிபந்தனைகள் தனிப்பட்ட தேர்வு விதிகளெனப்படும். ஒரு மூலக்கூறு அதிர்வு நிறமாலை அல்லது சுழல் நிறமாலையைக் கொடுக்குமா கொடாதா என்பதனைத் தீர்மானிப்பவை மொத்தத் தேர்வு விதிகள். எல்லா மூலக்கூறுகளுக்கும் எலெக்ட்ரானிய நிறமாலையுள்ளதால் நிறமாலையின் கண் காணும் புறவூதாப் பகுதிகளுக்கு மொத்தத் தேர்வு விதிகள் இல்லை.

அதிர்வு நிறமாலைக்கான மொத்தத் தேர்வு விதி பின் கண்டவாறு:

$$\frac{d\mu}{dq} \neq 0 \qquad \longrightarrow (2{\cdot}15)$$

இங்கே μ என்பது மூலக் கூறினுடைய இருமுனை திருப்பு திறன். q என்பது அணுக்கருக்களின் (nuclei) இயக்கத்தை வரையறுக்கும் ஆயங்கள் (coordinates).

சுழல் நிறமாலைக்கான மொத்தத் தேர்வு விதியாவது :

$$\mu \neq 0 \qquad \longrightarrow (2{\cdot}16)$$

அதாவது, மூலக்கூறு ஓர் இருமுனைத் திருப்புதிறனை (dipole moment) உடைத்தாயிருக்க வேண்டும்.

இராமன் விளைவுக்கான (Raman effect) தேர்வு விதியின்படி அணுக்கருக்களின் அதிர்வு, சுழல் இயக்கங்கள் மூலக்கூறின் முனை வாகுதிறனை (polarizability) மாற்றக்கூடியதாயிருக்க வேண்டும். அதாவது,

$$\frac{d\propto}{dq} \neq 0 \qquad \longrightarrow (2{\cdot}17)$$

2.8. கதிர்வீச்சு உட்கவரப்படுதலும் வெளிவிடப்படுதலும்

இதுகாறும் கண்டவற்றிலிருந்து அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகள் சில குறிப்பிட்ட, நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளிலேதான் இருக்குமென்பது தெரிகின்றது. அவற்றுள் மிகத் தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டம், தரை மட்டம் (ground level) எனப்படும். உயர் ஆற்றல் மட்டங்கள் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகள் (excited states) எனப்படும்.

ஒரு பொருளானது அதன் சூழலுடன் (surroundings) வெப்பச் சமநிலையில் (thermal equilibrium) இருக்கும்போது அதன் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் மாக்ஸ்வெல்—போல்ட்ஸ்மென் பகிர்வின்படி (Maxwell—Boltzmann distribution) அமைந்திருக்கும். இப் பகிர்வின்படி, i எனும் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ளவற்றின் எண்ணிக்கை N_i ஆனால், அதனைப் பின்கண்டவாறெழுதலாம்:

$$N_i = N_0 \, e^{-\left(\frac{E_i - E_0}{kT}\right)} \qquad \longrightarrow (2{\cdot}18)$$

இங்கே N_0 என்பது தரைநிலையில் உள்ள தொகையையும் (population), E_0, E_i என்பன முறையே தரைமட்டம், i மட்டம் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்களையும், T என்பது வெப்பநிலையையும் (டிகிரி கெல்வினில்), k என்பது போல்ட்ஸ்மென் மாறிலியையும் (Boltzmann constant) குறிக்கும்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து, வெப்பச் சமநிலையின்போது எந்தவோர் உயர்மட்டத்திலுமுள்ள அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளின் எண்ணிக்கை தரைமட்டத்திலுள்ளதைவிடக் குறை வாக இருக்குமென்பது தெளிவாகின்றது.

இப்போது, வெப்பச் சமநிலையிலுள்ள ஒரு பொருளின்மீது மின் காந்தக் கதிர்வீச்சுப் படுமானால் முன்னர் விவரித்த ஒத்ததிர்வு

உட்கவர்தல் (resonance absorption) நிபந்தனைக்குட்பட்டிருந்தால் (சமன்பாடு 2·3) ஆற்றல் உட்கவரப்படும்; அதனால் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் கிளர்ச்சி மட்டங்களுக்குச் செல்லும்; பின்னர் அங்கிருந்து இரண்டு விதமான முறைகளில் மீண்டும் தரைமட்டத்திற்கு வரலாம். அவை, தன்னிச்சையான வெளியீடு (spontaneous emission), தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு (stimulated emission) என்பனவாகும்.

புறச் செயலிகளின் (external agents) ஆளுகைக்குட்படாமல் தன்னிச்சையாக உயர்மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் தாழ்மட்டத்திற்கு வருவதும், அவ்வாறு வரும்போது ஒரு ஃபோட்டானை (photon) வெளிவிடுவதும் தன்னிச்சையான வெளியீடு எனப்படும். இது புள்ளியியல் அடிப்படையில் நிகழும் ஒரு நிகழ்ச்சியாகும் (statistical phenomenon). உயர்மட்டத்திலுள்ள அணு அல்லது மூலக்கூறு எவ்வளவு காலம் இருக்குமென்பதனை உறுதியாக அறுதியிட்டுச் சொல்ல முடியாது. சில அணுக்கள் உடனே தாழ்மட்டத்திற்குப் பாயலாம்; சில சற்று நேரம் கழித்து வரலாம். எனவே, உயர்மட்டத்தில் இருக்கும் நேரத்தின் சராசரி மதிப்பு ஒன்றினைக் கணக்கிடலாம். இச் சராசரி நேரம் தன்னிச்சையான வெளியீட்டிற்கான வாழ்நாள் (spontaneous emission life time) எனப்படும்.

கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்களிலிருந்து தன்னிச்சை வெளியீடு எப்போதும் நிகழ்ந்துகொண்டேயிருக்கும். தன்னிச்சை வெளியீட்டின் மூலம் வெளிவரும் ஃபோட்டான்கள் ஓர் ஒழுங்குக்குக் கட்டுப்பட்டு அடக்கியாள முடியாதவை. ஆனால், தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு (stimulated emission) ஒரு தனிச் சிறப்புடையது. பொருளில் ஒரு சில அணுக்கள் உயர் ஆற்றல் நிலையில் இருக்கக் கூடும். தகுந்த ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்ணுடைய (resonance frequency) ஒரு ஃபோட்டான் பொருளினுள் செலுத்தப்பட்டால் தூண்டுதல் ஏற்படுகின்றது. அப்போது உயர் ஆற்றல் நிலையிலுள்ள ஓர் அணு தாழ் ஆற்றல் நிலைக்குத் தாவி, தூண்டிய ஃபோட்டானுடன்கூட அதை ஒத்த ஒரு ஃபோட்டானையும் வெளிவிடுகின்றது. எனவே, நாம் ஒரு ஃபோட்டானை அனுப்ப, இரு ஃபோட்டான்கள் சேர்ந்து மிக ஒழுங்குடன் வெளிவரும். இவ்வாறாகப் பெருக்கம் (amplification) ஏற்படுகின்றது.

இவ்வாறு ஆற்றல் உட்கவரப்படுவதாலும், கதிர்வீச்சு வெளிவிடப்படுவதாலும் E_1, E_2 ஆற்றலுடைய இரு மட்டங்களின்

தொகைகள் (N_1, N_2) எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகின்றன எனக் காண்போம். நாம் மேலே கண்டதுபோல உயர்மட்டத்தின் (E_2) தொகை N_2 ஆனது மூன்று வகைகளால் மாறும். (1) தாழ் மட்டத்திலிருந்து உட்கவர்தலால் தொகை உயரும், (2) தன்னிச்சையான வெளியீடு, (3) தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு ஆகியவற்றால் தொகை குறையும்.

உட்கவர்தலால் N_2 அதிகரிக்கும் வீதமானது, $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{\text{உட்கவர்தல்}}$ தாழ்மட்டத்திலுள்ள தொகைக்கும் (N_1), உட்கவரப்படும் கதிர்வீச்சுப் புலத்தின் செறிவிற்கும் (intensity) நேர் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே,

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{\text{உட்கவர்தல்}} = B_{12}\, U(v)\, N_1 \longrightarrow (2{\cdot}19)$$

இங்கே $U(v)$ என்பது கதிர்வீச்சுப் புலத்தில் dv அதிர்வெண் இடைவெளியிலுள்ள ஆற்றலைக் குறிக்கும். B_{12} என்பது 1 - வது மட்டத்திலிருந்து 2 - வது மட்டத்திற்குச் செல்லும் உட்கவர்தல் நிகழ்வதற்கான நிகழ்திறத்தைக் (probability) குறிக்கும் ஒரு மாறிலியாகும். அதாவது, கதிர்வீச்சுப் புலத்தின் ஓர் அலகு ஆற்றலுக்கு ஒரு நொடியில் உட்கவர்தலின் நிகழ்திறம்.

தன்னிச்சையான வெளியீடு, N_2 - ஐ மட்டிலுமே பொறுத்த ஒன்று. எனவே,

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{\text{தன். வெளி}} = -\, AN_2 \longrightarrow (2{\cdot}20)$$

இங்கே A என்பது தன்னிச்சையான வெளியீட்டிற்கான பெயர்வு நிகழ்திறம்.

தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு N_2 - வையும் கதிர்வீச்சுப் புலத்தையும் பொறுத்தது. எனவே,

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{\text{தூ. வெளி}} = -\, B_{21}\, U(v)\, N_2 \longrightarrow (2{\cdot}21)$$

இங்கே B_{21} என்பது தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நடைபெறுவதற்கான நிகழ்திறம் (ஓர் அலகு ஆற்றலில், ஒரு நொடியில்).

சமன்பாடுகள் (2·19), (2·20), (2·21) ஆகிய மூன்றினையும் கூட்டினால் E_2 மட்டத்தில் ஏற்படும் மொத்தத் தொகை மாற்ற வீதம் கிட்டும். எனவே,

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{\text{மொத்தம்}} = -AN_2 + B_{12}\,U(v)N_1 - B_{21}U(v)N_2 \longrightarrow (2\cdot22)$$

ஆனால், பொருள் வெப்பச் சமநிலையிலிருக்குமானால் E_2 மட்டத்திலுள்ள தொகை மாறாது. அதாவது,

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 \longrightarrow (2\cdot23)$$

எனவே, இந்நிலையில் (வெப்பச் சமநிலையின்போது) கதிர்வீச்சுப்புலம் $U_0(v)$ ஆனால்,

$$B_{12}\,U_0(v)\,N_1 - B_{21}\,U(v)\,N_2 = AN_2$$

அல்லது,

$$U_0(v) = \frac{A\,N_2}{B_{12}\,N_1 - B_{21}\,N_2}$$

அல்லது,

$$\mathbf{U}_0(v) = \frac{A}{B_1\,\frac{N_1}{N_2} - B_{21}} \longrightarrow (2\cdot24)$$

ஆனால், சமன்பாடு (2·18) - ன்படி (உரிய ஒட்டுக் குறிகளைப் பயன்படுத்த)

$$\mathbf{N}_2 = \mathbf{N}_1\,e^{-\left(\frac{E_2 - E_1}{kT}\right)}$$

அல்லது,

$$N_2 = N_1\,e^{-\left(\frac{hv}{kT}\right)} \qquad (E_2 - E_1 = hv \text{ ஆனதால்})$$

அல்லது,

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{hv}{kT}} \longrightarrow (2\cdot25)$$

சமன்பாடு (2·25) - ஐ (2·24) - ல் பயன்படுத்த,

$$U_0(v) = \frac{A}{B_{12}\, e^{hv/kT} - B_{21}}$$

அல்லது,

$$U_0(v) = \frac{\frac{A}{B_{12}}}{e^{\frac{hv}{kT}} - \frac{B_{21}}{B_{12}}} \longrightarrow 2{\cdot}26$$

ஆனல், கரும்பொருள் கதிர்வீச்சுக்கென (black body radiation) பிளாங்க் (Planck) வகுத்த வாய்பாட்டின்படி,

$$U_0(v) = \frac{8\pi hv^3}{C^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} \longrightarrow (2{\cdot}27)$$

சமன்பாடுகள் (2.26), (2.27) ஆகியவற்றை ஒப்பு நோக்க,

$$\frac{B_{21}}{B_{12}} = 1 \longrightarrow (2{\cdot}28)$$

$$\frac{A}{B_{12}} = \frac{8\pi hv^3}{C^3} \longrightarrow (2{\cdot}29)$$

சமன்பாடு (2.28) - லிருந்து $B_{21}=B_{12}$ எனத் தெரிகின்றது. இதனை B எனக் குறிக்கலாம். எனவே, உண்மையில் A, B ஆகிய இரு மாறிலிகள்தாம் உள்ளன. இதனை (2·29) - ல் பயன்படுத்த,

$$\frac{A}{B} = \frac{8\pi hv^3}{C^3} \longrightarrow (2.30)$$

இச் சமன்பாடுகளை முதன்முதல் கி.பி. 1917ஆம் ஆண்டில் ஐன்ஸ்டைன் (Einstein) வருவித்தார். A, B_{12}, B_{21} ஆகியவை ஐன்ஸ்டைன் கெழுக்கள் (Einstein coefficients) எனப்படும்.

$B_{12}=B_{21}=B$ என்பதனைச் சமன்பாடு (2·26) - ல் பயன்படுத்த,

$$U_0(v) = \frac{\frac{A}{B}}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1}$$

அல்லது,

$$\frac{A}{B\,U_0(v)} = e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \qquad \longrightarrow (2.31)$$

இங்கே A என்பது வெப்பச் சமநிலையிலுள்ள ஓரமைப்பில் தன்னிச்சையான வெளியீடு நடைபெறுவதற்கான நிகழ்திறத்தையும், B $U_0(v)$ என்பது தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழ்வதற்கான நிகழ்திறத்தையும் குறிக்கின்றன என்பதனை நினைவில் கொண்டால்,

$$\frac{\text{தன்னிச்சையான வெளியீடு நிகழ்திறம்}}{\text{தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழ்திறம்}} = e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \qquad \longrightarrow (2.32)$$

கண் காணும் நிறமாலைப் பகுதியில் அலைநீளம் மிகக்குறைவு ; எனவே, அதிர்வெண் (v) மிக உயர்ந்த மதிப்புடையது ($v \simeq 0{\cdot}6 \times 10^{15}$ H_2). எனவே, தன்னிச்சையான வெளியீடு நிகழ்வதற்கான வாய்ப்பு, தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழ்வதற்கான வாய்ப்பைவிட அதிகம்.

ஆனால், மைக்ரோ அலைகள் (microwaves) பகுதியில் v மதிப்பு மிகக் குறைவு ($v \simeq 3 \times 10^{10}$ H_2). எனவே,

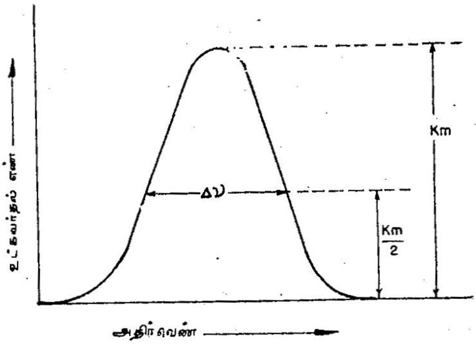
$$\frac{A}{B\,U_0(v)} = \frac{hv}{kT} << 1 \qquad \longrightarrow (2{\cdot}33)$$

இப் பகுதியில் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடுதான் மேலோங்கியிருக்கும். இவ்வுண்மைதான் மேசர் தொடக்கப் பெருக்கிகளின் சிறப்பாக அமைகின்றதென்பதனைப் பின்னர்க் காண்போம்.

2.9. வரி அகலம்

இதுகாறும் பார்த்தவற்றிலிருந்து கதிர்வீச்சு உட்கவரப் படுதலோ அல்லது வெளிவிடப்படுதலோ ஒரு தனி அதிர்வெண்ணில் (பெயர்வு நிகழ்ச்சியில் பங்கு பெறும் இரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கியைந்த அதிர்வெண் $v = \frac{E_2 - E_1}{h}$) ஏற்படவேண்டுமென்பது தெளிவு. ஆனால், நடைமுறையில் இவ்வாறிருப்பதில்லை. மிகக் கூர்மையான நிறமாலைவரிகூட ஒரு குறிப்பிட்ட வரி

அகலத்தை (line width) உடையதாயிருக்கின்றது. எனவே, உட்கவர்தலோ அல்லது வெளிவிடுதலோ ஒரு தனி அதிர்வெண்ணில் நடைபெருமல் ஒரு குறுகிய அதிர்வெண் நெடுக்கத்தில் (frequency range) நடைபெறுகின்றதென்பது தெரிகின்றது. நிறமாலை வரியொன்று படம் 2.6 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் **2.6.** நிறமாலை வரி.

இதில் உட்கவர்தல் எண் (absorption coefficient) அதிர்வெண்ணுக்கேற்ப எவ்வாறு மாறுகின்றதென்பது காட்டப்பெற்றுள்ளது. உட்கவர்தல் எண் அதன் உச்ச மதிப்பிலிருந்து (k_m) பாதி அளவிற்குக் குறையுமிடத்தில் இக் கோட்டினது அகலம் உட்கவர்தல் வரியின் (absorption line) அரை - அகலம் (half - width) எனப்படும். இது படம் 2.6 - ல் $\Delta\nu$ எனக் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

இவ்வாறு நிறமாலை வரி ஒரு குறிப்பிட்ட அகலத்தைப் பெற்றிருப்பதற்கு மூன்று முக்கியக் காரணங்களுள்ளன. அவை யாவன: (1) 'இயல்பான' அகலம் (natural width); (2) டாப்ளர் விளைவு (Doppler effect); (3) அயனிகள், இரு முனைகள் (dipoles) ஆகியவற்ருலேற்படும் மூலக்கூறு உள்புலங்கள் (intermolecular fields) போன்ற புறவிளைவுகள்.

இயல்பான வரி அகலம் உண்டாவதன் காரணத்தைக் குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்கலாம். குவான்டம் கொள்கைப்படி அணு ஆற்றல் நிலைகளும், மூலக்கூறு ஆற்றல் நிலைகளும் தனித்தனியான நிலைகளல்ல (discrete states); அவை ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் அகலத்தை, ΔE பெற்றுள்ளன. எனவே, E_2 மட்டத்திலிருந்து E_1 மட்டத்திற்குப் பெயர்வு நிகழும் போது கிடைக்கும் வரியானது அரை - அகலமுடையதாயிருக்

கின்றது. இது E_1, E_2 ஆகிய இரண்டினது அகலங்களின் கூட்டுத் தொகையைப் ($\triangle E_1 + \triangle E_2$) பொறுத்ததாயிருக்குமென்பது தெளிவு. ஹைஸன்பெர்கின் ஐயப்பாட்டுத் தத்துவப்படி (Heisenberg's principle of uncertainty),

$$\triangle E \cdot \triangle t \simeq \frac{h}{2\pi} \longrightarrow (2{\cdot}34)$$

இங்கே $\triangle E$ என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் நிலையின் வரி அகலம்; $\triangle t$ என்பது அணு அல்லது மூலக்கூறு அல்லது அயனி இந்த நிலையில் இருக்கக்கூடிய சராசரி நேரம் h என்பது பிளாங்க் மாறிலி (Planck's constant). இதிலிருந்து வாழ்நாள் அதிகமானுல் இயல்பான வரி அகலம் குறைவாக இருக்குமென்பது புலனு கின்றது.

டாப்ளர் விளைவு (Doppler effect) நாமறிந்ததே. இதன்படி ஒரு கதிர்வீச்சு மூலம் வெளிவிடும் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண் நோக்காளரை (observer) நோக்குமிடத்து மூலம் பெற்றுள்ள ஒப்பு திசைவேகத்தைப் (relative velocity) பொறுத்திருக்க வேண்டும். மூலமானது நோக்காளரை நோக்கி நகர்ந்தால் காணப்பெறும் அதிர்வெண் அதிகரிக்க வேண்டும்; நோக்காளரை விட்டு விலகிச் சென்ருல் அதிர்வெண் குறையவேண்டும். எந்தெந்த அணுக்கள் நோக்காளரின் திசையில் திசைவேகக் கூறில்லாதனவாக (velocity component) இருக்கின்றனவோ அவை வெளிவிடும் ஒளியின் அதிர்வெண் அந்த நிறமாலையின் இயல்பான அதிர்வெண்ணிற்குச் சமமாக இருக்கும். ஓர் அமைப்பின் நிறை மையம் (centre of mass) நிலையாக இருப்பதாகவும், அவ்வமைப்பி லுள்ள அணுக்கள் மாக்ஸ்வெல்லின் திசைவேகப் பகிர்வின்படி (Maxwellian velocity distribution) இயக்கங்களை உடையனவாக இருப்பதாகவும் கொண்டால் கிடைக்கும் வரியானது இயல்பான அதிர்வெண்ணின் இரு பக்கங்களிலும் சமச்சீரான முறையில் அமைந்த பல அதிர்வெண்களின் நெடுக்கமாக (frequency range) அமையும். டாப்ளர் தத்துவப்படி λ_0 அலைநீளத்தில் கதிர்வீச்சை வெளிவிடும் ஒளிமூலம் v ஒப்பு திசைவேகத்தில் (relative velocity) சென்ருல் நோக்காளர் அளக்கும் அலைநீளம்,

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \right) \longrightarrow 2{\cdot}35$$

என்பது நாமறிந்ததே. இங்கே, c என்பது ஒளியின் திசைவேகம்.

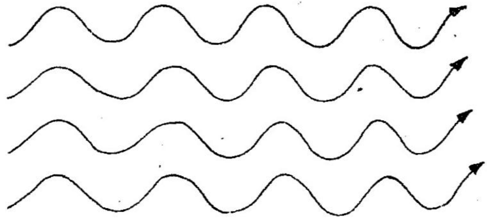
நோக்காளரைவிட்டு மூலம் விலகிச் சென்றால் + குறியும், நோக்காளரை நோக்கி நகர்ந்தால் — குறியும் பயன்படுத்தப்பட வேண்டும். வெப்பநிலை உயர உயர அணுக்களின் திசைவேக நெடுக்கம் (range) உயருமானதால் டாப்ளர் வரி அகல அதிகரிப்பும் (Doppler broadening) அதிகரிக்கும்.

மூன்றாவதான காரணம் பகுதி 4·3-ல் விவரிக்கப் பெற்றுள்ளது.

2.10. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு மூலங்கள்

மின்காந்த நிறமாலையின் மைக்ரோ அலைப் பகுதியில் கிளைஸ்ட்ரான் (klystron) போன்ற மின்காந்த அலையியற்றிகள் (electromagnetic oscillators) அல்லது இயங்குஅலைக் குழாய்கள் (travelling wave tubes) போன்ற பெருக்கிகள் பயன்படுகின்றன. ஆனால், இவற்றை 1 மி.மீ.க்குக் குறைவான அலை நீளமுடைய கதிர் வீச்சுகளைத் தோற்றுவிக்கப் பயன்படுத்த முடியாது. ஏனெனில், இவற்றின் பரிமாணங்கள் இவை இயற்றும் அல்லது பெருக்கும் கதிர்வீச்சின் அலைநீளங்களுக்கு ஒப்பான அளவுகளிலேயே இருக்கும். எனவே, தாழ்ந்த அலை நீளங்களில் இவற்றை அமைப்பது இயலாத ஒன்றாகும். எனவே, கண் காணும் பகுதிகளில் இவை பயன்படாவென்பது திண்ணம். இப் பகுதிகளில் வெண் சுடர் விளக்குகள் (incandescent lamps), கெய்ஸ்லர் குழாய்கள் (Geissler tubes) போன்ற வழக்கமான ஒளிமூலங்களே பயன்படும்.

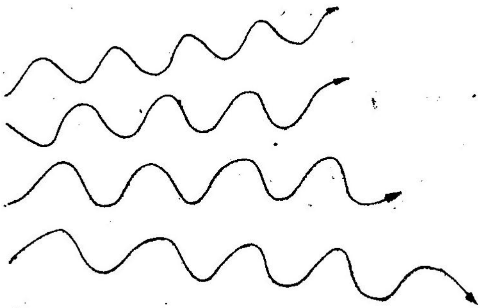
ஆனால், இத்தகு ஒளிமூலங்கள் வெளிவிடும் கதிர் வீச்சுகளுக்கும், மைக்ரோ அலை இயற்றிகள் வெளிவிடும் கதிர் வீச்சுகளுக்கும் சில முக்கியமான வேறுபாடுகளுள்ளன. மைக்ரோ



படம் 2.7. ஓரியல்புடைய, ஒற்றைநிற மின்காந்தக் கதிர் வீச்சு.

அலை இயற்றிகளிலிருந்து வெளிவருபவை குறிப்பிடத்தக்க அளவு ஒற்றை நிறத் தன்மை (mono chromaticity) உடையன ; செறிவு

மிக்கன; ஓரியல் பண்புடையன (coherent). இந்த ஓரியல் பண்புப் படம் 2.7 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. ஆனல், வழக்கமான ஒளி மூலங்கள் பின்கண்ட குறைபாடுகளையுடையன: (1) அவை வெளி விடும் ஒளி இடஞ்சார்ந்த ஓரியல் பண்பற்றது. இது படம் 2·8 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. (2) ஒளிமூலம் செறிவுமிக்கதாக இருந்



படம் 2.8. ஓரியல் பண்பற்ற மின்காந்தக் கதிர் வீச்சு.

தாலும் அதிலிருந்து வரும் ஒளியானது நிறமாலையின் அகன்ற பகுதியில் பகிர்ந்துள்ளது. எனவே, வலிவுமிக்க ஒற்றை நிற ஒளி மூலங்கள் கிடைப்பதில்லை. (3) ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சினைக் குவித்து ஒரு பிம்பத்தையுண்டாக்கிஞல் இப் பிம்பத்தின் ஆற்றல் மட்டம் ஒளிமூலத்தினுடையதைவிட உயர்வாக இருக்க முடியாது.

ஒளிமூலத்திலுள்ள அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று தொடர் பின்றித் தனிப்பட்ட முறைகளிலேயே கதிர் வீச்சுகளை வெளி விடுகின்றன. இதனுல், மூலத்திலிருந்து தனித்தனியான அலைகள் நிறைய வெளிவருகின்றன. இவை ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டு கின்றன (reinforce) அல்லது ஒன்றையொன்று அழிக்கின்றன. இச் செயல்கள் ஓர் ஒழுங்கான முறைமையின்றியே (random) நடைபெறும். இவற்றின் பயனுகக் கிடைக்கும் அலைமுகமானது (wavefront) இடத்துக்கு இடம், நேரத்திற்கு நேரம் மாறும் பண்புடையது. எனவே, இவ்வலைகளை ஓரியல் பண்பற்றவை (incoherent) என்கின்ருேம்.

இதற்கு எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு குட்டையிலே பல சிறு கற்களை வீசும்போது ஏற்படும் அலைகளைக் குறிக்கலாம். ஒவ்வொரு கல்லும் ஓர் அலைத் தொடரை ஏற்படுத்தும்; அவை யாவும்

ஒன்றன்மீதொன்று மேற்பொருந்துவதால் கிடைக்கும் விளைபயன் அலைமுகம் ஓரியல் பண்பற்றது. மாறாக, ஒரேயொரு கல்லைமட்டிலும் போடும்போது ஏற்படும் அலைகள் ஓரியல் பண்புடையன.

வழக்கமான ஒளிமூலங்களிலிருந்து கிடைக்கும் ஒளியானது தாழ்ந்த செறிவுடையதாக (low intensity) இருப்பதற்குரிய காரணம் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி ஆற்றல் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில் செறிந்திராமல் பல்வேறு அதிர்வெண்களிடையேயும் பகிர்ந்துள்ளதே. சில குறிப்பிட்ட நிறமாலை வரிகளில்மட்டிலும் ஒளியை உமிழும் வாயு மின்னிறக்கக் குழாய்களில் (gas discharge tubes) இருந்து கிடைக்கும் ஒளியின் செறிவுகூடச் சிறந்த மின் அலைவியற்றிகள் ஓர் அதிர்வெண்ணில் வெளிவிடும் செறிவின் அருகில்கூட வரமுடிவதில்லை.

எனவே, ஒற்றைநிற, வலுமிக்க, ஓரியல் பண்புடைய ஒளி மூலங்களைத் தோற்றுவிப்பது ஒரு பெரும் பிரச்சினையாகவே இருந்து வந்துள்ளது. மேசர்களும், லேசர்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்னரே இத்தகைய ஒளிமூலங்கள் நமக்குக் கிட்டியுள்ளன.

2.11. மேசர்களும் லேசர்களும்

அணுக்கள் அல்லது அயனிகள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் ஓரமைப்பானது அதன் சூழலுடன் வெப்பச் சமநிலையிலிருக்குமானால், உயர் ஆற்றல் மட்டத்தின் தொகை N_2 ஆனது தாழ் ஆற்றல் மட்டத்தின் தொகை N_1 - ஐ விடக் குறைவாகத்தானிருக்குமெனக் கண்டோம். இந் நிலையில் ஒரு கதிர்வீச்சினை அமைப்பினுள் செலுத்தினால் ஆற்றல் உட்கவரப்படுமெனவும், அதனைத் தொடர்ந்து தன்னிச்சையான வெளியீடு, தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு ஆகியவை நிகழுமெனவும், ஓர் அலகு நேரத்தில் நடைபெறும் உட்கவர்தலும் வெளிவிடுதலும் சமமாக இருக்குமெனவும், எனவே மொத்த விளைவு (உட்கவர்தல் அல்லது வெளிவிடுதல்) எதுவும் இராதெனவும் கண்டோம்.

ஆனால், இத்தகைய வெப்பச் சமநிலையைக் குலைத்து உயர் மட்டத்திலுள்ள தொகை N_2 ஆனது தாழ்மட்டத் தொகையை விட அதிகமாக இருக்கும்படி செய்துவிடுவதாகக் கொள்வோம். இந் நிலையில் ஃபோட்டான்களை உட்செலுத்தினால் உட்கவரப்படுவதனைவிட அதிகமான அளவில், தூண்டப்பெற்ற நிகழ்ச்சியால் ஃபோட்டான்கள் வெளிவிடப்படும். அதாவது, இத்தகைய

அமைப்பு ஒரு பெருக்கியாகச் (amplifier) செயல்படும். இவ்வாறு தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினுல் வெளிவரும் அலைவுகள் ஓரியல் பண்புடையனவாக இருக்கும். மைக்ரோ அலைகள் அதிர்வெண் வரிசையில் இந் நிகழ்ச்சி நடைபெற்ருல் அது மேசர் நிகழ்ச்சி (maser action) எனவும், ஒளியியல் பகுதியில் நடைபெற்ருல் லேசர் நிகழ்ச்சி (laser action) எனவும் வழங்கப்பெறும்.

தூண்டப்பெற்ற நிகழ்ச்சியானது தன்னிச்சையான வெளியீடு, உட்கவர்தல் ஆகியவற்றை அழுத்திவிட்டு மேலோங்கி இருக்க வேண்டுமானுல், அதாவது மேசர் அல்லது லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறவேண்டுமானுல் மேல்மட்டத் தொகை தாழ்மட்டத் தொகையைவிட அதிகமாக இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இவ்வாறு செய்வதற்குத் தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) என்பது பெயர். தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தும் பல்வேறு முறைகள் மேசர்களிலும் லேசர்களிலும் கையாளப் பெறுகின்றன. அவை குறித்துப் பின் வரும் பிரிவுகளில் உரிய இடங்களில் காண்போம்.

3. அம்மோனியா மேசர்

3.1. அம்மோனியா மேசர்

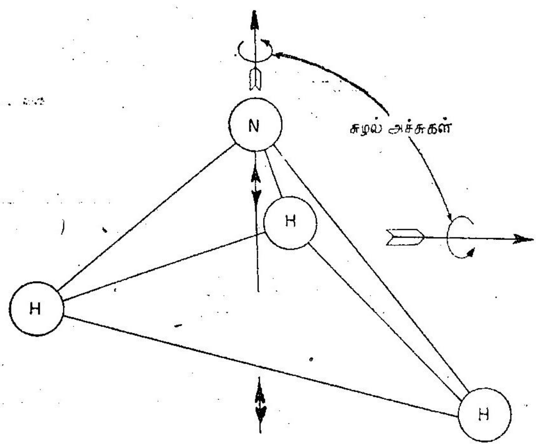
நாம் முன்னரே கண்டதுபோல அம்மோனியா மேசர்தான் (Ammonia maser) முதல் மேசராகும். இதுபற்றி முதலில் சிந்தித்தவர் டவுன்ஸ் (Townes). அவர்தம் கருத்துகளை முதன்முதலாக அவர் சார்பில், டாக்டர் நெதர்காட் (Dr. Nethercot) என்பார் கி.பி. 1951ஆம் ஆண்டு மே மாதத்தில் இல்லினுய்ஸ் பல்கலைக் கழகத்தில் (Illinois University) நடைபெற்ற மில்லிமீட்டர் அலைகள் (Millimetre waves) பற்றிய கருத்தரங்கில் எடுத்துரைத்தார். அதனைத் தொடர்ந்து பேராசிரியர் டவுன்ஸ் அவர்கள் தம்மிரு மாணவர்களாகிய கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zeiger) ஆகியோருடைய ஒத்துழைப்புடன் அம்மோனியா மேசரை உருவாக்கினுர்.

நாம் கடந்த பிரிவில் பார்த்தவண்ணம் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு (Stimulated emission) நிகழ்ச்சியினுல் பெருக்கத்தை அடையவேண்டின் கீழ்க்கண்ட நிபந்தனைகள் நிறைவு பெறவேண்டும். ஏதேனும் ஒரு பொருள் இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களை (energy levels) உடையதாக இருக்கவேண்டும். இவற்றுள் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ளவற்றின் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருத்தல்வேண்டும். அப்போது அவ்விரு மட்டங்களுக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டிற்கு (energy difference) இயைந்த அதிர்வெண்ணுடைய (frequency) ஒரு கதிர்வீச்சு அதன் மீது பட்டால் உயர்மட்டத்திலுள்ளவை தாழ்மட்டத்திற்கு ஏகுமாறு தூண்டப்பெறும் ; தாழ்மட்டத்திற்குப் பாயும். அதனுல் ஆற்றல் அதே அதிர்வெண்ணுடைய கதிர்வீச்சாக வெளிப்படும்.

இவற்றை மனத்தில்கொண்டு இந்நிகழ்ச்சிக்கு ஏற்றதொரு பொருளாக அம்மோனியா வாயுவை (Ammonia gas) டவுன்ஸ் தேர்ந்தெடுத்தார்.

3.2. அம்மோனியாவில் ஆற்றல் மட்டங்கள்

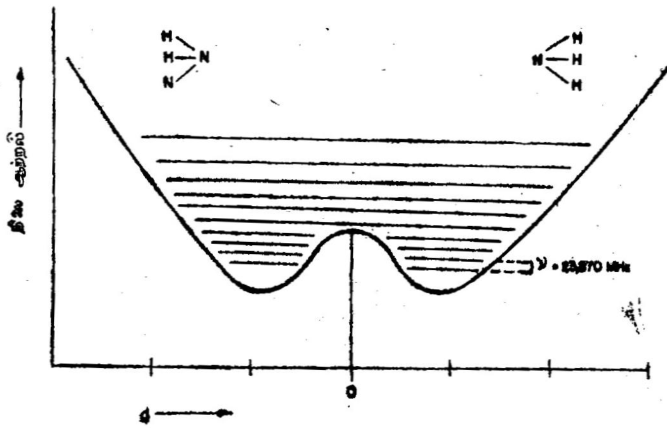
அம்மோனியா மூலக்கூறுகளின் (NH_3) கட்டமைப்பு, படம் 3.1 - ல் காட்டியவாறிருக்கும். மூன்று ஹைடிரஜன் (Hydrogen) அணுக்களும் ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று மூலைகளில் உள்ளன. இவைகள் சுழன்றுகொண்டிருக்கும். இம் மூன்றும் உள்ள தளத்திற்கு (plane) மேலோ அல்லது கீழோ நைட்ரஜன் (Nitrogen)



படம் 3.1. அம்மோனியா மூலக்கூறு.

அணு இருக்கும். நைட்ரஜன் அணுவின் நிலை ஆற்றல் சார்பானது (potential energy function) இத் தளத்தின் இரு புறங்களிலும் ஒவ்வொரு சிறும மதிப்பைப் (minimum value) பெற்றிருக்கும் ; இத் தளத்தில் அதன் மதிப்புப் பெருமமாக (maximum) இருக்கும். (படம் 3.2). இருப்பினும் புழைவிளைவின் (tunnel effect) காரணமாக நைட்ரஜன் அணுவானது இத் தளத்தின் ஒரு புறத்திலிருந்து மறுபுறம் போக இயலும். எனவே, நைட்ரஜன் அணுவானது ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் அமைந்துள்ள தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான (perpendicular) ஓர் அச்சில் (axis) மேலும் கீழுமாக அலைவுறுகின்றது. நைட்ரஜன் அணு அலைவுறும் அதிர்வெண் சுழலும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் கோண உந்தத்தைப் (angular momentum) பொறுத்திருக்கும். அம்மோனியா மூலக்கூறுக்கு

மிகவும் இயல்பான ஆற்றல் நிலையானது 3, 3 நிலையாகும். இந் நிலையில் நைட்ரஜன் அணுக்கள் $\frac{3h}{2\pi}$ அளவு கோண உந்தத்தில் சுழலும் ; நைட்ரஜன் அணுவானது ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான கோட்டில் அலைவுறும். இவ்வாறு



படம் 3.2. நிலை ஆற்றல் கோடு.
d என்பது ஹைட்ரஜன் அணுக்களுள்ள தளத்திலிருந்து நைட்ரஜன் அணுவின் தூரம்.

நைட்ரஜன் அலைவுறும் அதிர்வெண் ஏறத்தாழ 24,000 மெகா ஹெர்ட்சுகள் (Mega Hertz) ஆகவிருக்கும். இவ்வாறு தலை கீழாவதன் விளைவாக அம்மோனியாவின் மிகத் தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டமானது (energy level) இரண்டு ஆற்றல் நிலைகளாக உடை படும். இவ்விரு ஆற்றல் மட்டங்களிலும் ஏறத்தாழச் சமமான அளவில் மூலக்கூறுகள் இருக்கும். இவ்விரண்டு மட்டங்களுக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு,

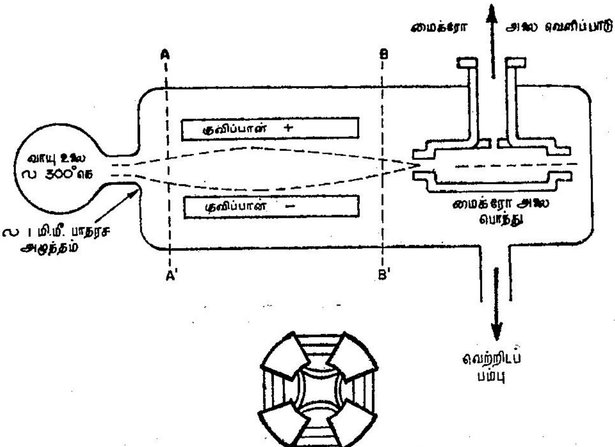
$$h\nu = h\,(23{,}870{\cdot}14 \times 10^{6})\ \text{எர்குகள்.}$$

டவுன்ஸ், தாம் அமைத்த மேசரில் இவ்விரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களையே பயன்படுத்திக் கொண்டார்.

3.3. அம்மோனியா மேசரின் அமைப்பு

அம்மோனியா மேசரின் அமைப்பினைப் படம் 3.3 விவரிக் கின்றது.

எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையிலும் வைக்கத்தக்க ஓர் உலையில் (oven) அம்மோனியா வாயு சூடாக்கப்படுகின்றது. அவ்



படம் 3.3. அம்மோனியா மேசரின் விளக்கப் படம்.

வுலையிலுள்ள ஒரு சிறு தொளை வழியாக அம்மோனியா மூலக்கூறு களின் கற்றை (beam) வெளிவருகின்றது. இந்த நிலையில் அக் கற்றையில் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள மூலக்கூறுகளும் தாழ் மட்டத்திலுள்ள மூலக்கூறுகளும் எண்ணிக்கையில் சம அளவில் இருக்கும். இக் கற்றை ஒரு நிலைமின் பிரிப்பான் (electro static separator) வழியாகச் செல்கின்றது. இது இரு ஆற்றல் மட்டங் களிலுமுள்ள அம்மோனியா மூலக்கூறுகளைத் தனித்தனியே பிரிக்கின்றது. (பிரிக்கும் இந்தச் செயல் பின்னர் விவரிக்கப் பெறும்).

இவற்றுள் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ளவை பிரிப்பானின் அச்சின் ஊடே செல்லும்படியும் தாழ்மட்ட மூலக்கூறுகள் பக்கவாட்டில் வெளியேறும்படியும் பிரிப்பான் அமைக்கப் பெற்றிருக்கும். மேலும் பிரிப்பானுனது ஒரு குவிப்பானுகவும் (focuser) செயல்படும்படி அமைக்கப்பெற்றிருக்கும். இதனால், உயர்மட்ட மூலக் கூறுகள் நன்கு வரையறுக்கப்பெற்ற ஒரு கற்றையாக (well defined beam) வரும். படம் 3.3 - ல் காட்டி யுள்ள AA′ எனும் தளத்தைக் கடக்கும்போது இரு மட்டங் களிலும் ஏறத்தாழச் சம அளவு மூலக்கூறுகளைக் கொண்டிருந்த கற்றை BB′ தளத்தைத் தாண்டி வருகையில் உயர் ஆற்றல் மட்ட

மூலக்கூறுகளைமட்டிலுமே கொண்டுள்ளது. இவ்வாறாகத் தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) நிகழ்கின்றது.

இந்த உயர்மட்ட மூலக்கூறுகள் ஒரு மைக்ரோ அலைபொந்து ஒத்ததிர்வியினுள் (Microwave cavity resonator) நுழைகின்றன. இந்தப் பொந்தின் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்ணானது (resonant frequency) அம்மோனியாவின் அதிர்வு அதிர்வெண்ணாகிய (vibrational frequency) 23870·14 மெகா ஹெர்ட்சுகளுக்கு மிகவும் சரியாக இருக்கும்படி சரிசெய்யப்பெற்றிருக்கும். இப் பொந்தின் பண்புக் காரணி (quality factor) யாகிய Q மிக உயர்வாக இருக்கும். இங்கே தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நடைபெற்று மைக்ரோ அலைகள் தோற்றுவிக்கப்பெறும்.

3.4. அம்மோனியா மேசரில் அலைவுகள் நிகழ்வதற்கான நிபந்தனைகள்

பொந்தில் அலைவுகள் நிகழ்வதனைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். பொந்தினுள் நுழைகின்ற மூலக்கூறுகள் சாதாரணமாக எப்போதும் அங்குள்ள வெப்பக் கதிர்வீச்சினால் (thermal radiation) தூண்டப் பெற்ற வெளியீடு வாயிலாக ஆற்றலை வெளிவிடுவதற்கான ஒரு சிறிய வாய்ப்புண்டு ; அதனோடு தன்னிச்சையான வெளியீடு (spontaneous emission) நிகழவும் அதனினும் சிறிய அளவு வாய்ப்புண்டு. இவை காரணமாக ஓரளவு மைக்ரோ அலைகள் 23870·14 மெகா ஹெர்ட்சுகள் அதிர்வெண்ணில் உண்டாகின்றன. இவை மைக்ரோ அலைப் பொந்தினது சுவர்களில் பட்டு எதிரொளிக்கின்றன (reflect). எதிரொளிக்கப் பெற்ற அலைகள் மற்ற மூலக்கூறுகளில் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழும்படி செய்கின்றன. இவ்வாறு வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சுகள் எதிரொளிக்கப்பெற்று மேலும் மேலும் வெளியீட்டினைத் தூண்டுகின்றன. இவ்வாறாகப் பல்கிப் பெருகித் தொடர்ச்சியாக அலைவுகள் (oscillation) ஏற்படும் நிலை உண்டாகிறது. பொந்திற்குள் போதுமான அளவில் மூலக்கூறுகள் வந்துகொண்டிருந்தால் அலைவுகள் தொடர்ந்து நிகழும் ; பொந்து ஓர் அலைவியற்றியாகத் (oscillator) திகழும்.

அலைவுகள் ஏற்படுவதற்குப் பொந்தின் Q ஆனது உயர்ந்த மதிப்புடையதாயிருக்க வேண்டுவது இன்றியமையாததாகும். ஏனெனில், Q என்பது பொந்தில் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்புக்கு (energy loss) எதிர் விகிதத்திலுள்ள ஓர் எண்ணாகும். எனவே,

Q சிறிதாக இருக்குமானால் பொந்தில் ஆற்றல் இழப்பு அதிகமாக இருக்கும் ; எனவே, அலைவு நிலையை எட்டுவதற்கு முன்னிலும் அதிகமான மூலக்கூறுகள் பொந்திற்குள் வரவேண்டும்.

அலைவுகள் தொடர்ச்சியாக நிகழவேண்டின் பொந்திற்குள் போதுமான அளவு மூலக்கூறுகள் தொடர்ச்சியாக வரவேண்டும் என்பது மேற்கூறியவற்றிலிருந்து தெளிவாகும். ஒவ்வொரு நொடியிலும் பொந்திற்குள் எத்தனை மூலக்கூறுகள் வரவேண்டும் என்பதனை இப்போது காண்போம்.

பொந்திற்குள் ஒவ்வொரு நொடியிலும் N மூலக்கூறுகள் (உயர் மட்டத்திலுள்ளவை) வருவதாகக் கொள்வோம். உயர் மட்டத்திலுள்ள ஒரு மூலக்கூறு தாழ்மட்டத்திற்கு வருவதற்கான பெயர்வு நிகழ்திறம் (transition probability) $|a|^2$ எனக் கொள்வோம். எனவே, N மூலக்கூறுகளில் $N|a|^2$ மூலக்கூறுகள் உயர்மட்டத்திலிருந்து தாழ்மட்டத்திற்குப் பெயர்ந்து ஆற்றலை வெளிப்படுத்தும். v_0 என்பது அம்மோனியாப் பெயர்வு அதிர் வெண் (transition frequency) ஆனால், ஒரு மூலக்கூறு பெயரும் போது hv_0 ஆற்றல் வெளிப்படும். எனவே, ஒரு நொடியில் அம்மோனியாக் கற்றை வெளிவிடும் ஆற்றல், அதாவது கற்றை அளிக்கும் திறன்,

$$P = N\,|a|^2\,hv_0 \qquad \longrightarrow (3{\cdot}1)$$

பொந்தினுள் ஆற்றல் இழக்கப்படுகின்றது. இதனைப் பொந்தினது பண்புக் காரணியின் (quality factor) இலக்கணத்தி லிருந்தே (definition) பெறலாம். பொந்தின் பண்புக் காரணி Q பின்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படும்:

$$Q = \frac{2\pi v_0 W}{P_L} \qquad \longrightarrow (3{\cdot}2)$$

இங்கே W என்பது பொந்தில் தேக்கி வைக்கப்பெற்றுள்ள ஆற்றல்; P_L என்பது பொந்தில் ஒரு நொடியில் இழக்கப்பெறும் ஆற்றல். எனவே,

$$P_L = \frac{2\pi v_0 W}{Q} \qquad \longrightarrow (3{\cdot}3)$$

பொந்தினுள் தொடர்ந்து அலைவுகள் நிகழவேண்டின் அம்மோனியாக் கற்றை அளிக்கும் திறன் பொந்தில் ஏற்படும்

திறன் இழப்பைவிட அதிகமாகவோ அல்லது குறைந்த பட்சம் சமமாகவோ இருக்கவேண்டும். எனவே, இந்தக் குறைந்த அளவு நிபந்தனைப்படி,

$$P = P_L$$

அல்லது,

$$Nh\nu_0 \mid a \mid^2 = \frac{2\pi\nu_0 W}{Q} \longrightarrow (3\cdot4)$$

அல்லது,

$$Nh\nu_0 \mid a \mid^2 = \frac{2\pi\nu_0}{Q}\left(\frac{\mathcal{E}_1^2}{8\pi} V\right)$$

அல்லது,

$$Nh\nu_0 \mid a \mid^2 = \frac{\nu_0 \mathcal{E}_1^2 V}{4Q} \longrightarrow (3\cdot5)$$

இங்கே V என்பது பொந்தினது பருமனையும் (volume), $\mathcal{E}_1$ என்பது பொந்திலுள்ள ரேடியோ அதிர்வெண் புலத்தினது (R. F. field) மின் வெக்டாரின் (electric vector) வீச்சினையும் (amplitude) குறிக்கும்.

எனவே,

$$N = \frac{\mathcal{E}_1^2 V}{4 Qh \mid a \mid^2} \longrightarrow (3\cdot6)$$

அம்மோனியா மூலக்கூறு ஒன்று பொந்தினைக் கடப்பதற்கான நேரம் 't' சிறிதாகவும், பொந்திலுள்ள ரேடியோ அதிர்வெண் புலத்தின் வலு (R. F. field strength) மிகப் பெரிதாகவும் இல்லா விடில் $\mid a \mid^2$ ன் மதிப்பைத் தோராயமாகக் (approximately) கீழ்க் கண்டவாறு குறிக்கலாம்:

$$\mid a \mid^2 = \left(\frac{\pi\mu\mathcal{E}_1 t}{h}\right)^2 \longrightarrow (3\cdot7)$$

இங்கே μ என்பது மின்னிருமுனையின் திருப்புதிறன் (electric dipole moment). இம் மதிப்பைச் சமன்பாடு (3·6) - ல் பதிலிட,

$$N = \frac{hV}{4\pi^2\mu^2t^2Q} \longrightarrow (3\cdot8)$$

பொந்தின் நீளம் L எனவும் அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு (area of cross-section) A எனவும் கொண்டால்,

$$V = A L \longrightarrow (3{\cdot}9)$$

மேலும், மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகம் (average velocity) v ஆனால்,

$$t = \frac{L}{v} \longrightarrow (3{\cdot}10)$$

V, t ஆகியவற்றின் இம் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (3·8) - ல் பயன் படுத்தினால்,

$$N = \frac{hv^2A}{4\pi^2\mu^2LQ} \longrightarrow (3{\cdot}11)$$

சமன்பாடு (3·11) - ஐப் பயன்படுத்தி N - ன் சிறும மதிப்பைக் காணலாம். மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகமானது உலையின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது. இயக்கக் கொள்கையைப் (Kinetic theory) பயன்படுத்தி இதன் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$v^2 = \frac{4\,kT}{m} \longrightarrow (3{\cdot}12)$$

இங்கே m என்பது மூலக்கூறின் நிறை (mass); T என்பது உலையின் வெப்பநிலை டிகிரி கெல்வினில்; k என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (Boltzmann constant). உலையின் வெப்பநிலை 300° கெல்வின் ஆக இருக்குமானால் v - ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 10^5 செ.மீ./நொடி ஆகும். பொந்தின் விட்டம் 0·96 செ.மீ. ஆகவும், நீளம் 12 செ. மீ. ஆகவும் Q ஏறத்தாழ 10^4 ஆகவும் இருக்குமானால், N - ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 10^{13} ஆகும். எனவே, தொடர்ச்சியாக அலைவுகள் நிகழ, மேசர் செயல்பட, பொந்திற்கு ஒவ்வொரு நொடியிலும் குறைந்தது 10^{13} மூலக்கூறுகள் (உயர்மட்டத்தி லுள்ளவை) வந்தவண்ணமிருக்க வேண்டும். அம்மோனியா மூலக் கூறுகளைப் பிரித்தலையும் குவித்தலையும் செய்கின்ற அமைப்புகளைத் தகுந்த வண்ணம் அமைப்பதன் வாயிலாக இந்த அளவினை அடைதல் எளிதே.

3.5. அம்மோனியா மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு

அம்மோனியா மேசரின் வெளிப்பாட்டுத்திறன் (output power) பொந்தினுள் ஒரு நொடியில் வந்து நுழையும் மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தது. அலைவுகள் தொடர்ச்சி யாக ஏற்படவேண்டுமானால் முன்னர்க் கணக்கிட்டபடி ஒரு நொடிக்கு N மூலக்கூறுகள் பொந்திற்குள் வரவேண்டும். இந்தச் சிறும மதிப்பிற்கு மேல் மூலக்கூறுகள் வந்தால் அந்த அதிகப்படி தொகைக்கேற்ப வெளிப்பாட்டுத் திறனும் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். ஆனால், தெவிட்டு நிலையை (saturation) எட்டிய பின்னர்—அதாவது, பொந்தினுள் வரும் எல்லா மூலக் கூறுகளுமே தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டிற்கு ஆளாகும் நிலையை எய்திய பின்னர்—வெளிப்பாட்டுத் திறனானது மெதுவாகவே அதிகரிக்கும். இதனை ஷிமோடா (Shimoda), வாங்க் (Wang), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் கண்டனர்.

மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு பிறிதொன்றினையும் சார்ந் துள்ளது. அலைவழிப்படுத்தி (wave guide) ஒன்றினைப் பொந் துடன் இணைத்தே வெளிப்பாட்டுத்திறனை எடுக்கின்றோம். இந்த இணைப்பின் (coupling) பண்புக் காரணியையும் (quality factor) பொறுத்தே மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு அமையும் என்பது வெளிப்படை. இதனை இப்போது காண்போம்.

அம்மோனியா மூலக்கூறுகள் வெளிப்படுத்தும் திறனில் ஒரு பகுதி பொந்திலேயே இழக்கப்பெறும். எஞ்சியதிலும் ஒரு பகுதி இணைப்பு (coupling) வழியாக வெளிவரும்போது இழக்கப்பெறும். எனவே, மேசரிலிருந்து கிடைக்கும் பயனுடைய திறன் வெளிப் பாடு (useful power output) P_0 எனவும் இணைப்பினது பண்புக் காரணி Q_1 எனவும் கொண்டால்,

$$P_0 = \frac{2\pi v_0 W}{Q_1} \longrightarrow (3.13)$$

இங்கே W என்பது பொந்தில் சேர்த்து வைக்கப்பெற்றுள்ள ஆற்றலாகும். Q_1 - ன் மிக உகந்த மதிப்பானது (optimum value) பொந்தின் சுமையேற்றிய பண்புக்காரணியைப் (loaded Q) போல் ஏறத்தாழ இருமடங்கு இருக்குமெனக் காட்டப் பெற் றுள்ளது.

இந்த மேசரிலிருந்து அடையக்கூடிய வெளிப்பாட்டுத் திறனின் பெரும மதிப்பு,

$$(P_0)_{\text{பெருமம்}} \doteq \frac{1}{2} N h\nu_0 \quad \longrightarrow (3{\cdot}14)$$

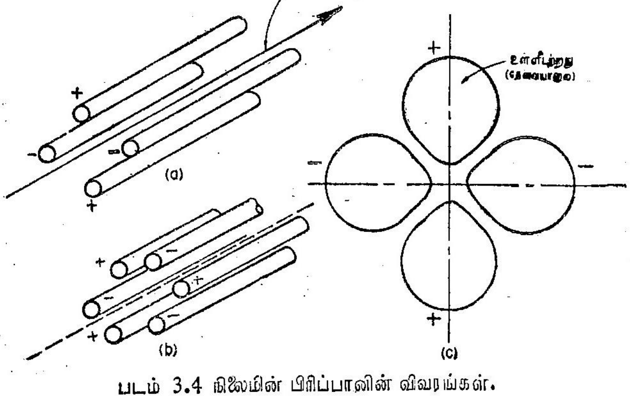
எனும் அளவில் இருக்குமென, கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zeiger), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் கணக்கிட்டுள்ளனர். இதுவும் $|a|^2$ - ன் மதிப்பு ஒன்றுக இருக்கும்போதுதான்; அதாவது, உயர் மட்டத்திலுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளும் தூண்டப்பெற்று ஆற்றலை வெளியிட்டால்தான். இது, இயலாத ஒன்று என்றே கூறலாம். ஏனெனில், ஆற்றலை வெளிவிட்டுத் தாழ்மட்டத்திற்கு வந்த மூலக்கூறுகளுள் சில பொந்தினை விட்டு வெளியேருமல் உள்ளேயே இருக்கலாம். அவை ஆற்றலை உட்கொண்டு உயர் மட்டத்திற்கு வரலாம்.

ஒரு நொடியில் பொந்தினுள் நுழையும் உயர்மட்ட மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை (N) நாம் விரும்புமளவு அதிகரிப்பதில் பிரச்சினைகள் உள்ளன. எனவே, நடைமுறையில் அம்மோனியா மேசரின் திறன் வெளிப்பாடானது 10^{-9} வாட்டுகளுக்கு (watts) அதிகமாக இருப்பதில்லை.

3.6. பிரிப்பானின் அமைப்பு

இரு ஆற்றல் மட்டங்களிலும் உள்ள அம்மோனியா மூலக்கூறுகளைத் தனித்தனியே பிரிப்பதற்கும் உயர்மட்ட மூலக்கூறுகளை ஒரு கற்றையாகக் குவிப்பதற்கும் நிலைமின் பிரிப்பான் (electro static separator) பயன்படுகின்றது எனக் கண்டோம். அவற்றின் அமைப்பு முறையினை ஈண்டுக் காண்போம்.

கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zeiger), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் பயன்படுத்திய அமைப்புகள் படம் 3.4 - ல் காட்டப்



படம் 3.4 நிலைமின் பிரிப்பானின் விவரங்கள்.

பெற்றுள்ளன. முதல் அமைப்பில் [படம் 3.4 (*a*)] உள்ளீடற்ற நான்கு உலோகக் கோல்கள் (metal rods), மூலக்கூறுகளின் கற்றையைச் சுற்றி ஒன்றுக்கொன்று 0.08 அங்குல இடைவெளி விட்டு அமைக்கப் பெற்றுள்ளன. இக் கோல்கள் ஒவ்வொன்றும் 22 அங்குல நீளமுடையன. இக் கோல்களின்மீது 15 கிலோ வோல்ட் (Kilo volt) ஒரு திசை மின்னழுத்தங்கள் (d. c. voltages) படத்தில் காட்டிய வண்ணம் செலுத்தப்பெற்றிருக்கும்.

இரண்டாவது அமைப்பில் [படம் 3.4 (*b*)] ஒவ்வொன்றும் 8 அங்குல நீளமுடைய ஆறு கோல்கள் 0·16 அங்குல இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. இவற்றின்மீது 30 கிலோ வோல்ட் மின்னழுத்தம் உள்ளது.

இரு அமைப்புகளிலும் குவிக்கும் மின்வாய்களின் (focusing electrodes) உட்புறங்கள் படம் 3.4 (*c*) - ல் காட்டிய வண்ணம் அதிபர வளையங்கள் (hyperbola) வடிவில் செய்யப்பெற்றிருக்கும். இம் மின்வாய்களின் உள்ளே நைட்ரஜன் திரவம் நிரப்பப் பெற்றிருக்கும். இனி இவை செயல்படும் முறையினைக் காண்போம்.

அம்மோனியா மூலக்கூறு ஒன்றினை ஒருமின்புலத்தில் (electric field) வைத்தால் அதன் மின்னூட்டப் பகிர்வு (charge distribution) மாறுகின்றது; மூலக்கூறில் ஓர் இருமுனை (dipo!e) தூண்டப் பெறுகின்றது. இந்த இருமுனை மின்புலத்துடன் செயலெதிர்ச் செயல்படுகின்றது (interact). இதனால் அது உயர்மட்ட மூலக் கூறுயிருந்தால் அதன் உள்ளாற்றல் (internal energy) அதிகரிக் கின்றது; தாழ்மட்ட மூலக்கூறுயிருந்தால் அதன் உள்ளாற்றல் குறைகின்றது. எனவே, இத்தகைய மூலக்கூறுகள் ஒருபடித் தானதல்லாத ஒரு மின்புலத்தில் (inhomogeneous electric field) வைக்கப் பெற்றால் தாழ்மட்ட மூலக்கூறுகள் புலத்தின் வலுமிக்க பகுதிகட்கும் உயர்மட்ட மூலக்கூறுகள் புலத்தின் வலுக்குறைந்த பகுதிகட்கும் செல்லும்.

நாம் விவரித்த பிரிப்பான்களின் கோல்களில் படத்தில் காட்டியவண்ணம் மின்னழுத்தம் செலுத்தப்பெற்றிருப்பதால், அங்கே ஒருபடித்தானதல்லாத மின்புலம் உண்டாகியுள்ளது. பிரிப்பானின் அச்சின் ஊடே மூலக்கூறுகள் செல்லும்போது அவை மேற்கண்ட விளைவுகட்கு ஆளாகின்றன. அச்சிலிருந்து கோல்களை நோக்கிச் சென்றால் மின்புலத்தின் வலு அதிகரிக்கின்றது. எனவே, தாழ்மட்ட மூலக்கூறுகள் கோல்களை நோக்கிச் செல்கின்றன.

உயர்மட்ட மூலக்கூறுகள் அச்சின் வழியே செல்கின்றன. கோல்களின் உள்ளே உள்ள நைட்ரஜன் திரவம் (liquid nitrogen) தாழ்மட்ட அம்மோனியா மூலக்கூறுகளை நீக்குவதற்குப் பயன்படுகின்றது. இவ்வாருக உயர்மட்ட மூலக்கூறுகள் மட்டிலுமே அடங்கிய கற்றை கிடைக்கின்றது.

மேலே கூறிய இரு அமைப்புகளிலும் பிந்தியதே சிறந்தது. ஏனெனில், இதில் மின்வாய்களுக்கிடையே உயர்ந்த புலச்சரிவினை (field gradient) அடைய முடிகின்றது. எனவே, பிரித்தல் நிகழ்ச்சி எளிதில் நடைபெறும்.

அண்மைக் காலத்தில் வளையக் குவிப்பான்களும் (ring focusers) திருகு குவிப்பான்களும் (screw focusers) உருவாக்கப் பெற்றுள்ளன. இவை உயர்மட்ட மூலக்கூறுகளுக்கு வில்லைகள் (lens) போன்று செயல்படுகின்றன. இவை, கோல்கள் அமைப்பை விடச் சிறியனவாக உள்ளதும் இவற்றின் பயனுறு திறன்கள் (efficiency) சிறப்பாக இருப்பதும் இவற்றின் மேம்பாடுகளாகும். ஒத்த நிலைகளில் இவற்றை ஒப்பிட்டுப் பார்த்ததில் வளைய, திருகு குவிப்பான்களின் பயனுறு திறன் 90%க்கும் 95%க்கும் இடையே இருக்கவும், ஆறு கோல்கள் அமைப்பினுடைய பயனுறு திறன் 60% ஆகவும், நான்கு கோல்கள் அமைப்பினுடையது 40% ஆகவும் இருக்கக் காணப்பெற்றன.

3.7. பொந்தின் அமைப்பு

மேசர் வெற்றிகரமாகச் செயல்படுவதற்குப் பொந்தின் அமைப்பில் கவனம் செலுத்தவேண்டியது மிகவும் முக்கியமாகும். தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நடைபெறுவதற்கான நிகழ்திறம் (probability) அதிகரிக்கவேண்டின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் பொந்தினுள் நீண்டநேரம் இருக்கவேண்டும். இதற்குப் பொந்தினது குறுக்குவெட்டுப் பரப்பினை (A) நோக்க, அதன் நீளம் (L) அதிகமாக இருக்கவேண்டுமென்பது தெளிவு. இதனைச் சமன்பாடு (3·11) - ல் உள்ள $\frac{QL}{A}$ எனும் காரணியிலிருந்தும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zeiger), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் அமைத்த ஒத்ததிர்வுப் பொந்துகள் செம்பு (copper) அல்லது வெள்ளித் தகட்டினல் மூடப்பெற்ற இன்வார் (invar) உலோகத்தால் செய்யப்பட்டவையாகும். அவற்றின் நீளம் ஏறத்

தாழ 4·5 அங்குலம், உள்விட்டம் 0·6 அங்குலம். அவை TE_{011} பாணியில் (TE_{011} mode) பயன்படுத்தப் பெற்றன. அப் பாணியில் செயல்படுகையில் பொந்தினது சுமையேற்றப்படாத Q மதிப்பு (unloaded Q), அதாவது Q_0 - ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 1200. அம்மோனியாக் கற்றையானது பொந்தின் ஒரு முனையிலுள்ள 0·4 அங்குல விட்டமுடைய ஒரு தொளை வழியாக உள்நுழையும். பொந்தின் மறுமுனையிலுள்ள 0·6 அங்குலத்திற்கும் அதிகமான விட்டமுடையதும் மாற்றிக்கொள்ளத்தக்க நீளத்தை உடையதுமான ஒரு பகுதியின் உதவியால் பொந்தின் ஒத்ததிர்வு அதிர் வெண்ணைச் (resonance frequency) சரி செய்துகொள்ளலாம்.

ஷிமோடா (Shimoda), வாங்க் (Wang), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் அம்மோனியா மேசர்களுக்கான பொந்துகளைப்பற்றி விரிவாக ஆராய்ந்துள்ளனர். அவர்கள் பொந்திற்கு ஒரு தகுதி எண் (Figure of merit) M - ஐ வரையறுத்துக் கூறியுள்ளார்கள்.

$$M = \frac{LQ_0}{A}\left(\frac{8}{\pi^2}\right)^n \longrightarrow (3{\cdot}15)$$

இங்கே Q_0 என்பது பொந்தின் சுமையேற்றப்படாத பண்புக் காரணி; சுழி அச்சுப் பாணிக்கு (zero axial mode) $n=0$; ஒற்றை அச்சுப் பாணிக்கு (unity axial mode) $n=1$.

உருளை வடிவப் பொந்துகளுக்கு M மதிப்பைக் கணக்கிட்டுப் பார்த்ததில் TM_{010} பாணி மிகச் சிறந்ததாகக் காணப்படுகின்றது. இதன் தகுதி எண் (figure of merit) TE_{011} பொந்தினுடையதைப் போல் ஏறத்தாழ மும்மடங்கு. TE_{011} தான் தொடக்கக் காலத்தில் பயன்படுத்தப்பட்டது. TE_{011} பொந்தில் அலைவுகளைத் துவக்குவதற்குத் தேவையான மூலக்கூறுகளின் மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையில் மூன்றில் ஒரு பங்கு TM_{010} பொந்திற்குப் போதுமென ஆய்வுகள் வழியே உறுதி செய்யப்பெற்றுள்ளன. செவ்வகப் பொந்துகளில் (rectangular cavities) TM_{110} வகையே சிறந்தது; இதன் தகுதி எண் உயர்ந்தது.

3.8. அம்மோனியா மேசரின் செயல் திறம்

அம்மோனியா மேசர் ஒரு பெருக்கியாகச் (amplifier) செயல்படுவதைவிட ஒரு மிகக் குறுகிய பட்டை அலைவியற்றியாகச் (narrow band oscillator) சிறப்பாகப் பயன்படும். ஏனெனில், அம்மோனியா மேசர் அலைவியற்றியில் பட்டை அகலம்

(band width) மிகக் குறுகியதாக இருக்கும். ஒத்ததிர்வு வரியினது (resonance line) மூலக்கூறு பட்டை அகலமாகிய (molecular band width) $2\triangle v_B$ - ன் [உச்சச் செறிவின் பாதி அளவில் உள்ள முழு அகலம்] மொத்த மதிப்பே மிகச் சிறியது ; ஏறத்தாழ 4 கிலோ ஹெர்ட்சுகள்தாம். மேலும், மேசர் அலைவியற்றியினது பொந்தில் மீட்டுருவாக்கலினால் (regeneration) வரியினது அகலம் மேற் கொண்டு குறையும். மேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறன் அதிகரித் தால் அகலம் குறைவதும் அதிகரிக்கும். மேசர் அலைவுறும் நிலையில் உச்சச்செறிவின் பாதி அளவில் வரியினது மொத்த அகலமாகிய $2\triangle v$ ஆனது மூலக்கூறு பட்டை அகலமாகிய $\triangle v_B$ உடன் எவ்வாறு தொடர்பு கொண்டுளது என்பதனைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு குறிக்கும்:

$$2\triangle v = \frac{8\pi kT(\triangle v_B)^2}{P_B} \longrightarrow (3\cdot16)$$

இங்கே P_B என்பது அம்மோனியாக் கற்றையிலிருந்து வெளி வரும் திறன்; T என்பது பொந்தின் வெப்பநிலை. நாம் விவரித்த மேசர்களில் ஏறத்தாழ 10^{-10} வாட் திறன் வெளிப்பாடு கிடைக்கும். எனவே, பொந்தானது அறையினது வெப்பநிலையில் (300° கெல்வின்) இருக்குமானால் அலைவியற்றியின் வரி அகலம் ஏறத்தாழ 10^{-2} ஹெர்ட்சுகளாகக் குறையும். வரி அகலம் இவ்வளவு குறைவாக இருப்பதனால் இது ஒரு மிகச் சிறந்த அதிர்வெண் படித்தரமாகப் (frequency standard) பயன்படும். ஓர் அதிர்வெண் படித்தரத்தின் துல்லியத்தைக் (precision) கீழ்க் கண்டவாறு வரையறுக்கப்படும் பண்புக் காரணி (Q) அளிக்கும்.

$$Q = \frac{\text{வெளிப்பாட்டு அதிர்வெண்}}{\text{வரி அகலம்}} \longrightarrow (3\cdot17)$$

இந்த அடிப்படையில் கணக்கிட்டால் அம்மோனியா மேசரின் Q ஆனது ஏறத்தாழ,

$$\frac{24 \times 10^9}{0.5 \times 10^{-12}} \simeq 5 \times 10^{-12}$$

ஆகும்.

எந்த ஓர் அதிர்வெண் படித்தரமும் நிலைப்பாடு (stability) உடையதாக இருக்கவேண்டும். அதாவது, அதன் அதிர்வெண் எப்போதும் மாறாது ஒரே மதிப்பினை உடையதாக இருக்க

வேண்டும். அம்மோனியா மேசரின் அதிர்வெண் நிலைப்பாடு பல்வேறு காரணிகளைப் பொறுத்திருக்கின்றது. இதனை, கோர்டன் (Gordon), ஸீகர் (Zeiger), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் கி.பி. 1957ஆம் ஆண்டிலும், ஷிமோடா (Shimoda), வாங்க் (Wang), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் கி.பி. 1956ஆம் ஆண்டிலும் ஹெல்மர் (Helmer) என்பார் கி.பி. 1957ஆம் ஆண்டிலும் ஆராய்ந்து முடிவுகளை வெளியிட்டுள்ளனர்.

மூலக்கூறுகள் பெயர்வதாலேயே (transition) அலைவுகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. எனவே, அவற்றின் அதிர்வெண் நிலைப் பாட்டுக்கு இதுவே முக்கியக் காரணம். இருப்பினும் இவற்றிற்கும் பொந்திற்கும் உள்ள தொடர்பால் அதிர்வெண் மாறுபாடுகள் ஏற்படலாம். இதனை ஆராய, மூலக்கூறுகளும் பொந்தும் இருவேறு ஒத்ததிர்வுச் சுற்றுகளுக்குச் (resonant circuits) சமமெனவும் அவை இணைக்கப் பெற்றிருக்கின்றன எனவும் கொள்ளலாம். இவ் விரண்டும் ஒரே அதிர்வெண்ணுடையனவாக இசைவிக்கப் பெற வில்லை யென்றால், இவ்விரண்டினது சேர்க்கையின் வெளிப் பாட்டினது அதிர்வெண் மாறுபடும். இதனைக் கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டிலிருந்து பெறலாம்:

$$v_0 = v_B + (v_C - v_B)\ \frac{\Delta v_B}{\Delta v_C} \qquad \longrightarrow (3{\cdot}18)$$

இங்கே, v_0 என்பது வெளிப்பாட்டு அதிர்வெண்ணின் மைய மதிப்பு; v_B, v_C ஆகியவை மூலக்கூறுகளின் அதிர்வெண், பொந்தினது அதிர்வெண் ஆகியவற்றின் மைய மதிப்புகள்; Δv_B Δv_C ஆகியவை முறையே மூலக்கூறுகள், பொந்து ஆகியவற்றின் அரைப் பட்டை அகலம் (half band width).

இதனையே,

$$v_0 = v_B + (v_C - v_B)\ \frac{Q_C}{Q_B} \qquad \longrightarrow (3{\cdot}19)$$

எனவும் எழுதலாம். ஏனெனில், பொந்தினது Q - வாகிய $Q_C = \dfrac{v_C}{\Delta v_C}$; மூலக்கூறுகளின் Q - வாகிய $Q_B = \dfrac{v_B}{\Delta v_B}$. Q_B, Q_C ஆகியவை முறையே ஏறத்தாழ 5×10^6, 5×10^3 என இருக்கு மாதலான்,

$$v_0 = v_B + 10^{-3}\ (v_C - v_B) \qquad \longrightarrow (3{\cdot}20)$$

வெப்பநிலை மாறுதல்களே அதிர்வெண் மாறுதல்களுக்கு ஒரு முக்கியக் காரணமாக அமைகின்றன. வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் பொந்தினது பரிமாணங்கள் (dimensions) மாறுகின்றன. இதனால் பொந்தினது ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண் ν_C மாறுகின்றது; எனவே, ν_0 மாறுகின்றது. எனவே, பொந்தினை இன்வார் (invar) உலோகத்தால் செய்தால் என்னவென்று தோன்றும். இன்வாரின் பெருக்க எண்கள் (expansion coefficients) மிகச் சிறியவை; ஒரு டிகிரி வெப்பநிலை மாறுதலுக்கு இன்வாரின் பரிமாணம் ஒரு மில்லியனில் ஒரு பங்குதான் மாறும். இதனால் ஒரு டிகிரி வெப்பநிலை மாறுபாட்டுக்கு அதிர்வெண்ணனது (ν_C) ஒரு மில்லியனில் ஒரு பங்கு மாறும். இதிலிருந்து கணக்கிட்டால் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி மாறினால் ν_0 ஆனது 24 ஹெர்ட்சுகள் மாறும்; அதாவது 10^9 - ல் ஒரு பங்கு மாறும். எனவே, பொந்தினது வெப்பநிலை மாறாமல் கட்டுப்படுத்துவதே சிறந்தது.

இதைத் தவிர்த்து வேறு காரணங்களாலும் அதிர்வெண் மாறலாம். அம்மோனியாக் கற்றையினது மின்கடத்தாப்பொருள் மாறிலி (dielectric constant) யானது பொந்தில் நுழையும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து மாறும். இதனாலும் பொந்தின் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண் மாறும். எதிர்பாராது காணப்படும் மின்புலம், காந்தப்புலம் (stray electric and magnetic fields) ஆகியவற்றால் ஏற்படும் ஸ்டார்க் விளைவு (Stark effect), ஸீமன் விளைவு (Zeeman effect) ஆகியவற்றாலும் ஒத்ததிர்வு எண் மாறும். ஆனால், இவற்றால் ஏற்படும் அதிர்வெண் மாற்றம் பொந்தினால் ஏற்படும் மாற்றத்தைவிடச் சிறியது. வெள்ளித் தகட்டால் மூடப்பெற்ற இன்வாரினால் பொந்தைச் செய்து அதன் வெப்ப நிலை மாறாமல் பார்த்துக்கொண்டால் 10^{10} - ல் ஒரு பங்கு எனும் அளவில் நிலைப்பாட்டினைப் பெறமுடியும்.

அம்மோனியா மேசரின் பட்டை அகலம் மிகக்குறைவாக (சில ஆயிரம் ஹெர்ட்சுகள்) இருப்பதனால் இது ஒரு சிறந்த அதிர்வெண் படித்தரமாகச் செயல்படுமெனக் கண்டோம். அதே காரணத்தினால் நடைமுறையில் இதனை ஒரு பெருக்கியாகப் பயன்படுத்த முடிவதில்லை. ஏனெனில், செய்தித் தொடர்பு அமைப்புகளில் (communication systems) பெருக்கியின் பட்டை அகலங்கள் இதனினும் மிக அதிகமாக (ஏறத்தாழ ஒரு மெகா ஹெர்ட்சு) இருத்தல்வேண்டும். இருப்பினும், இது ஒரு பெருக்கியாகச்

செயல்படக்கூடிய வாய்ப்புகளும் இல்லாமலில்லை. இது ஒரு தாழ் இரைச்சல் பெருக்கியாகச் (low noise amplifier) செயல்படும். கோர்டன் (Gordon), ஒயிட் (White) ஆகியோர் அம்மோனியா மேசரின் பொந்தினை நைட்ரஜன் திரவத்தின் வெப்பநிலைக்குக் குளிர்வித்து, அந் நிலையில் மேசரின் இரைச்சல் வெப்பநிலை (noise temperature) ஏறத்தாழ 75° கெல்வின் எனக் கண்டனர். இதே அலைவெண்ணில் வேலைசெய்யும் ஒரு சிறந்த கலக்கிப் பிரிக்கும் வகை ஏற்பியினது (Super heterodyne receiver) இரைச்சல் வெப்ப நிலை 3000 டிகிரி கெல்வின் என்பதனை எண்ணிப் பார்த்தால், மேசரின் இரைச்சல் எவ்வளவு குறைந்தது என்பது தெற்றென விளங்கும்.

இதனை ஒரு பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தவேண்டின் கீழ்க் கண்ட முக்கிய மாற்றங்கள் தேவை. அம்மோனியாக் கற்றை யினது செறிவு குறைக்கப்படவேண்டும் ; வெளியீட்டினைத் தூண்டு வதற்குப் பெருக்கப்படவேண்டிய ரேடியோ அதிர்வெண் அலை களைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

அம்மோனியா மேசர் பெருக்கியினை இரைச்சல் எண்ணினை (noise figure) அளப்பதற்கும், இரைச்சல் மூலங்களை (noise sources) பகுத்தாராயும் கொள்கை அளவாய கணக்கீடுகளைச் சரிபார்ப்பதற்கும் பயன்படுத்தலாம்.

4. பராகாந்தப் படிகங்கள்

4.1. மேசர், லேசர்களுக்கான பராகாந்தப் படிகங்கள்

மேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெற வேண்டுமெனின் நாம் விரும்பும் அதிர்வெண்ணிற்கியைந்த ஆற்றல் வேறுபாட்டினையுடைய ஆற்றல் மட்டங்களைப் பெற்றுள்ள ஏற்றதொரு பொருளைத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டுமென்றும், அவ்விரு மட்டங்களுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்த வேண்டுமென்றும் கண்டோம். அம்மோனியா மூலக்கூறுகளில் மேசர் செயலுக்கேற்ற ஆற்றல் மட்டங்கள் உள்ளன வென்பதனையும் அவற்றைப் பயன்படுத்தி மேசர் நிகழ்ச்சியை நடைபெறச் செய்வதனையும் கடந்த பிரிவின்கண் பார்த்தோம். ஏனைய ஹைடிரஜன் போன்ற மூலக்கூறு கற்றை மேசர்களிலும் (molecular beam masers) இதே தத்துவந்தான் கையாளப் பெற்றது.

ஆனால், இன்று நடைமுறையில் பயன்படக்கூடிய பல்வேறு மேசர்களிலும், லேசர்களிலும் திடப்பொருள்கள் பெருமளவில் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. மேசர், லேசர் நிகழ்ச்சிகளுக்கேற்ற ஆற்றல் மட்டங்களையுடைய திடப்பொருள்களில் குறிப்பிடத்தக்கன பராகாந்தப் பொருள்களாகும் (paramagnetic materials). இப் பொருள்களில் நாம் விரும்பும் ஆற்றல் மட்டங்களைத் தோற்றுவிப்பதும் அவற்றிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதும் தனிக்கலைகள் ஆகும். எனவே, இப் பிரிவின்கண் பராகாந்தப் படிகங்களைப் பற்றிய சில அடிப்படைகளைக் காண்போம். இம் மட்டங்களைப் பயன்படுத்தி மேசர், லேசர் நிகழ்ச்சிகளை நிறைவேற்றுவதனைத் தொடர்ந்து வரும் உரிய பிரிவுகளில் பார்ப்போம்.

4.2. பராகாந்தப் படிகங்களில் ஆற்றல் மட்டங்கள்

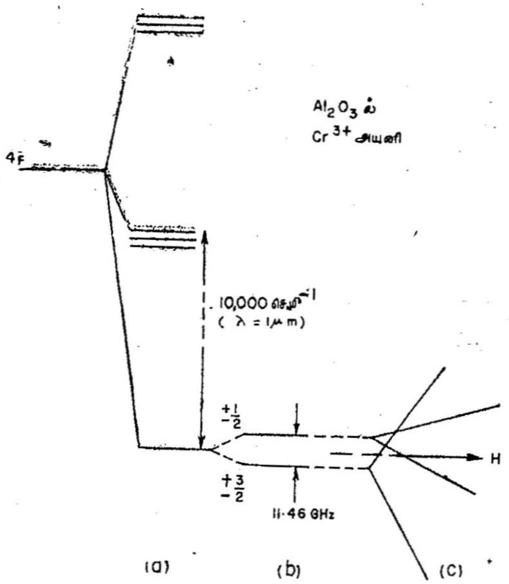
மேசர், லேசர் நிகழ்ச்சிகளில் பெரிதும் விரும்பப்படும் ஒரு பராகாந்தப் படிகம் மாணிக்கமாகும் (ruby). எனவே, இந்த ஒன்றினையே பராகாந்தப் படிகங்களுக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாக இவண் காண்போம். ஏனையவைபற்றி ஏற்புடைய இடங்களில் கூறப்பெறும்.

மாணிக்கப் படிகமானது Al_2O_3 எனப்படும் ஒரு தனிப்படிக மாகும். இதில் அலுமினிய அணுக்கள் இருக்கவேண்டிய சில விடங்களில் குரோமியம் (chromium) இருக்கும். படிகத்தில் இந்தக் குரோமியத்தின் செறிவு (concentration) 0·05% அள விற்குக் குறைவாக இருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ளப்பெறும். இந்தக் குரோமியமானது Al_2O_3 படிகப் பின்னலில் (crystal lattice) மும்மை அயனியாக்கம் பெற்ற நிலைகளில் (triply ionized state) நுழையும் ; அதாவது Cr^{3+}ஆக இருக்கும்.

குரோமியமானது இரும்புக் குழுவைச் (iron group) சார்ந்த அயனிகளில் ஒன்றாகும். இதன் நிறைவு பெறாத 3*d* கூடுகளில் (3*d* shells) உள்ள எலெக்ட்ரான்களால் பராகாந்தம் (paramagnetism) ஏற்படுகின்றது. கட்டற்ற Cr^{3+} அயனியின் (free Cr^{3+} ion) தரைநிலை (ground state) ^4F ஆகும். இந்தக் குரோமிய அயனி யானது சல்ஃபேட்டுகள் (sulphates), நைட்ரேட்டுகள் (nitrates), படிகாரங்கள் (alums), வெப்பம் தாங்கவல்ல ஆக்சைடுகள் (refractory oxides) போன்றவற்றின் தனிப் படிகங்களில் அமையப்பெறும் போது அப் படிகப் பின்னல்களது படிக உள்மின்புலத்தால் (internal crystalline electric field) வீதிநிலைக்கோண உந்தமானது (orbital angular momentum) தணிக்கப்பெறும் (quenched). எனவே, இவற்றின் பராகாந்தத்திற்குக் காரணமாக அமையப் பெறுவது எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சிகள் (electron spins) மட்டிலும் தான். Cr^{3+} அயனிகளுக்குச் செயலுறு தற்சுழற்சி (effective spin) மதிப்பு $S=\frac{3}{2}$ ஆகும்.

அலுமினியம் ஆக்சைடு (Al_2O_3) முக்கோணச் சமச்சீர் (trigonal symmetry) உடையது; இதன் படிக உள்மின்புலம் கனச் சமச்சீர் கூறு (cubic symmetry component), முக்கோணச் சமச்சீர் கூறு (trigonal symmetry component) ஆகிய இரண்டு கூறுகளையுமே உடையதாகும். இவற்றுள் கனசதுரக் கூறானது கட்டற்ற குரோ மியம் அயனியினது (free Cr ion) தரைமட்டத்தினைப் பின்

கண்டவாறு உடைக்கின்றது: ஓர் ஒற்றைத் தரைநிலை (singlet ground state), இரண்டு வீதிநிலை மும்மைகள் (orbital triplets). இவை படம் 4.1 (*a*) - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. இவற்றுள், தாழ்



படம் 4.1. மாணிக்கத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

(*a*) கன சதுரச் சமச்சீருடைய படிகப் புலத்திஞல் சுற்றுப் பாதை மட்டங்கள் உடைபடுதல்.

(*b*) முக்கோணச் சமச்சீருடைய படிகப் புலக்கூறிஞல் தரை மட்டம் மேலும் உடைபடுதல்.

(*c*) ஒரு புறக்காந்தப்புலத்தில் ஸீமன் உடைவு.

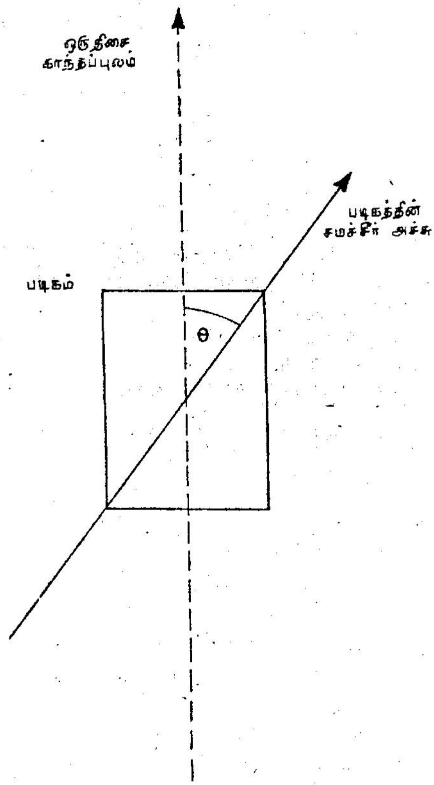
நிலையிலுள்ள மும்மையானது தரைநிலையிலிருந்து ஏறத்தாழ 10^{14} செ. மீ.$^{-1}$ ஆற்றல் அளவு உயர்ந்துள்ளது.

படிகப் புலத்தின் முக்கோணச் சமச்சீர் கூருனது, தரை நிலையை மேலும் இரண்டு மட்டங்களாக உடைக்கின்றது. இவ்விரண்டு மட்டங்களும் ஏறத்தாழ $0{\cdot}5^{-1}$ செ. மீ. அளவு ஆற்றல் இடை வெளியில் இருக்கும். இவை படம் 4.1 (b) - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன. இந்த இரண்டு மட்டங்களும் படிகத்தின் மின் புலத்தால் பாதிக்கப் படாத தற்சுழற்சி ஒரே ஆற்றலுடைமையை (spin degeneracy) இப்போதும் பெற்றுள்ளன. படம் 4.1 (b) காண்க. எனவே, இப்படிகத்தைப் புறக் காந்தப்புலம் (external magnetic field) ஒன்றில் வைத்தால் ஸீமன் உடைவிஞல் (Zeeman splitting) இவ்விரு மட்டங்களும் நான்கு தற்சுழற்சி

மட்டங்களாக உடைபடும். இவை படம் 4.1 (*c*) - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

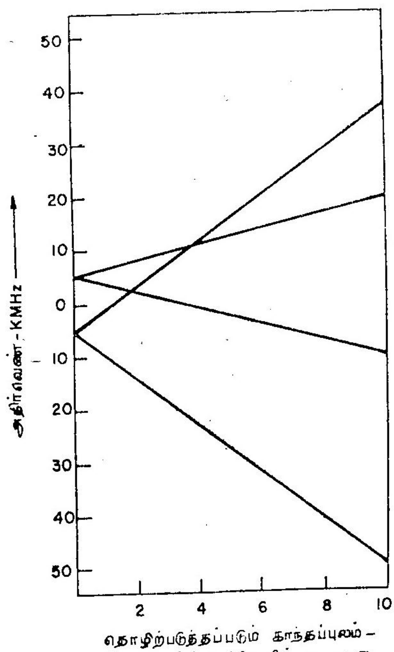
இவ்வாறு உடைபடும் தற்சுழற்சி மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு 0·5 செ. மீ.$^{-1}$ எனுமளவில் இருப்பதனுல், இவற்றிற்கியைந்த அலை நீளங்கள் மைக்ரோ அலைப் பகுதியினைச் சார்ந்தவை என்பதனை உணர்ந்துகொள்ளலாகும். மேலும், இந்த ஆற்றல் வேறுபாடானது தொழிற்படுத்தப் பெறும் காந்தப் புலத்திற்கேற்ப இருக்குமாதலான், காந்தப் புலத்தின் மதிப்பினை மாற்றுவதன் வாயிலாக நமக்குத் தேவையான ஆற்றல் வேறுபாடுகளை உடைத்தாயிருக்கும் வண்ணம் ஆற்றல் மட்டங்களை அமைத்தல் இயலும்.

மேற்கண்ட தற்சுழற்சி மட்டங்களைச் சற்றுத் தீவிரமாக நுணுகிப் பார்த்தால், Cr^{3+} அயனிகளின்மீது புறப்புலத்தோடு

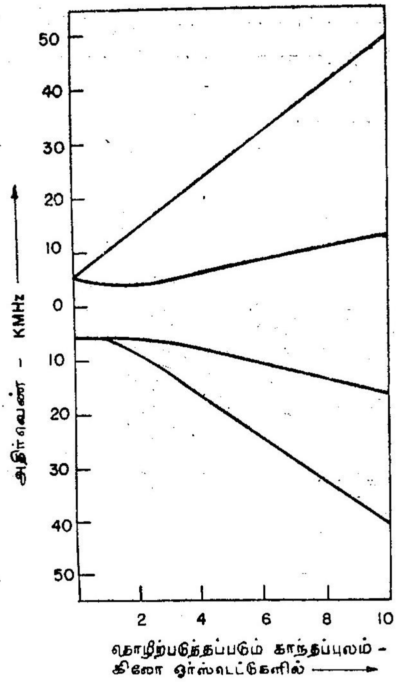


படம் 4.2. முனைவு கோணம் ' θ '

கூடப் படிகப்புலமும் (crystalline field) தொழிற்படுவதால் ஆற்றல் மட்டங்களின் அமைப்பானது புறப்புலத்தின் திசையை ஒட்டி மாறும் என்பதனை; அதாவது படிகத்தின் அச்சுக்கு (crystal axis) எந்தக் கோணத்தில் புறப்புலம் சாய்ந்துள்ளது என்பதனைப் பொறுத்து ஆற்றல் மட்டங்களின் அமைப்பு மாறும் என்பதனை உய்த்தறியலாகும். வழக்கமாகப் புறப்புலத்தின் திசையைப் படிகத்தினுடைய முனைப்பான ஓர் அச்சுக்கு எந்தக் கோணத்தில் சாய்ந்துள்ளதோ அதனையே முனைவு கோணம் ‘ θ ’ (polar angle) என வழங்குவது வழக்கம். படம் 4.2 காண்க. மாணிக்கப் படிகத்தில் படிகத்தினுடைய முக்கோண அச்சாகிய (trigonal axis) c-அச்சிலிருந்தே (c-axis) புறப்புலத்தின் திசையை அளப்பது வழக்கம். எனவே, தற்சுழற்சிகளினது ஆற்றல்மட்ட அமைப்பினை அது எந்த முனைவு கோணத்தில் உள்ள அமைப்பு என்பதனையும் சேர்த்தே குறிப்பிட வேண்டும். முனைவு கோணம் $\theta = 0°$ ஆகவும், $\theta = 90°$ ஆகவும் உள்ளபோது மாணிக்கப் படிகத்தின் தற்சுழற்சி ஆற்றல் மட்டங்களைப் படங்கள் 4.3, 4.4 ஆகியவை முறையே குறிக்கின்றன.



படம் 4.3. மாஹிக்கத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள்—$\theta = 0°$ அ௲ உள்ளபோது.



படம் 4.4. மாணிக்கத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள்— $\Theta = 90°$ ஆக உள்ளபோது.

மேற்கண்டவற்றிலிருந்து நமக்குத் தேவையான மேசர் அதிர் வெண்ணிற்கியைந்த ஆற்றல் மட்டங்களைப் பராகாந்தப் பொருளில் ஏற்படுத்த வேண்டின் அதற்கு இரு வழிகள் உள்ளன வென்பது தெளிவு. அவையாவன : (1) முனைவு கோணம் θ - ஐத் தகுந்தவாறு மாற்றுதல் (2) ஒரு திசைக் காந்தப்புலத்தை (d. c. magnetic field) (H) மாற்றுதல்.

தற்சுழற்சி மட்டங்களுக்கான இயல்பான தேர்வு விதிகள் (selection rules) படி பார்த்தால் $\Delta S = \pm 1$ என்ற பெயர்வுகள் மட்டிலுமே நடைபெறக் கூடும்; மற்றப் பெயர்வுகள் தவிர்க்கப் பெறும். ஆனால், படிக மின்புலம், தற்சுழற்சி - சுற்றுப்பாதை இணைப்பு (spin orbit coupling) ஆகியவற்றின் விளைவாக ஆற்றல் மட்டங்கள் முற்றிலும் தூய தற்சுழற்சி நிலைகளாக அமைவதில்லை. எனவே, $\Delta S = \pm 2$, $\Delta S = \pm 3$ பெயர்வுகளும் நடைபெறலாம். ஆனால், இவற்றின் செறிவுகள் (intensities) முன் கூறிய பெயர்வு களால் கிட்டுவனவற்றைவிட மிகக் குறைவாக இருக்கும்.

வீதிநிலை ஆற்றல் மட்டங்கள் (orbital energy levels) லேசர் பெயர்வுகளுக்குப் பயன்படும். அவற்றைப் பற்றிப் பின்னர் லேசர்களைப்பற்றிக் காணுங்காலைக் காண்போம்.

மாணிக்கம் மட்டுமேயல்லாது வேறு பல பராகாந்தப் பொருள்களும் மேசர் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தப்பெற்றுள்ளன. இவற்றுள் சில அட்டவணை (4·1) - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 4.1

சில மேசர் பொருள்கள்

எண்	மேசர் பொருள்	செயலுறு தற்சுழற்சி	மட்டங்களின் எண்ணிக்கை
1.	P கலப்புடைய Si	$\frac{1}{2}$	2
2.	கதிர்வீச்சுக்குட்பட்ட கால்சைட் —Ca CO_3	$\frac{1}{2}$	2
3.	கதிர்வீச்சுக்குட்பட்ட குவார்ட்சு —Si O_2	$\frac{1}{2}$	2
4.	கதிர்வீச்சுக்குட்பட்ட மக்னீஷியம் ஆக்சைடு—Mg O	$\frac{1}{2}$	2
5.	கடோலினியம்/லாந்தனம் எதில் சல்ஃபேட்டு— Gd/La $(C_2H_5SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	$\frac{7}{2}$	8
6.	பொட்டாஷியம் குரோமி/ கோபால்டி சயனையடு— $K_3Cr/Co\,(CN)_6$	$\frac{3}{2}$	4
7.	மாணிக்கம் Al_2O_3 - ல் Cr^{3+}	$\frac{3}{2}$	4
8.	நீலமணி (sapphire) Al_2O_3-ல் Fe^{3+}	$\frac{5}{2}$	6

4.3. வரி அகலம்

மேற்கண்டவாறு ஒரு பராகாந்தப் படிகத்தில் நாம் விரும்பும் ஆற்றல் மட்டங்களை ஏற்படுத்திய பின் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தையும் உண்டாக்கித் தூண்டப்பெற்ற பெயர்வுகள் ஏற்படும்படி செய்யலாம். இத்தகைய பெயர்வுகளின் பயனாக வெளிவிடப்பெறும் நிறமாலை வரிகளினது அகலம் (spectral line width) பற்றியும் நாம் அறியவேண்டியவர்களாகின்றோம். மேசரினுடைய பட்டை அகலம் (band width) இந்த வரி அகலத்தைவிட அதிகமாக இருந்துவிட முடியாது என்பதனால் இது மிகவும் முக்கியம்.

மேசர் பொருள்களில் இரண்டு முக்கியத் தளர்வு நிகழ்ச்சிகள் (relaxation phenomena) வரி அகலத்தை நிர்ணயிப்பதில் பெரும் பங்கேற்கின்றன. அவையாவன: தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயல் (spin—spin interaction), மற்றும் தற்சுழற்சி—பின்னல் செயலெதிர்ச் செயல் (spin—lattice interaction) என்பனவாகும். அவை குறித்தும் வரி அகலத்தைப் பாதிக்கும் பிறிதொரு நிகழ்ச்சியான மீநுண் செயலெதிர்ச் செயல் (hyperfine interaction) குறித்தும் இவண் காண்போம்.

4.3.1. தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயல்

பராகாந்தப் பொருள்களில் ஒவ்வோர் அயனியிலுள்ள நிறைவு பெருக் கூடுகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் சிறு காந்தங்களாக அமைந்து பராகாந்தப் பண்பிற்கு வழி வகுக்குமெனக் கண்டோம். இச் சிறு காந்தங்கள் புறப்புலம் (external field) ஒன்று தொழிற்படுத்தப் பெறும்போது அதன் ஆளுகைக்கு உட்படுகின்றன. அதே நேரத்தில் படிகத்திலுள்ள பல்வேறு சிறு காந்தங்களாலும் (அயனிகள்) ஒரு காந்தப்புலம் உண்டாகும். இது உள் காந்தப்புலம் (local field) எனப்படும். எனவே, எந்தவோர் அயனியும் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள மற்ற அயனிகளோடு காந்த இணைப்புப் பெற்றுள்ளன (magnetically coupled) எனக் கூறலாம். இதன் காரணமாக ஏற்படும் செயலெதிர்ச்செயலே தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயலெனப்படும்.

மேற்கூறிய உள்காந்தப் புலத்தைப் (H_l) பின்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:

$$H_l \simeq \frac{\mu_B}{r^3} \longrightarrow (4.1)$$

இங்கே μ_B என்பது ஒரு போர் மாக்னெட்டான் (Bohr magneton); r என்பது அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு அயனிகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம். பராகாந்தப் படிகங்கள் பலவற்றுள் இந்தத் தூரம் சில ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள் (Angstroms) இருக்கும். எனவே, உள்புலம் 1000 ஓர்ஸ்டெட்டுகள் (Oersteds) எனுமளவு உயர்ந்திருக்கும்.

இத்தகைய தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயலால் ஏற்படும் வரி அகல அதிகரிப்பு $\triangle B_s$ ஆனது உள்புல H_l, மற்றும் சுழலியக்க - காந்த விகிதம் (gyro - magnetic ratio) ஆகியவற்றோடு

தொடர்புகொண்டது. இத் தொடர்பினைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$\Delta B_s = \gamma H_l \qquad \longrightarrow (4.2)$$

மேசர் நிகழ்ச்சிகளுக்கு வரி அகலத்தைச் சில ஓர்ஸ்டெட்களுக்குக்* காட்டாக, ஏறத்தாழ 20 ஓர்ஸ்டெட்டுகளுக்குக் குறைக்க வேண்டின், பராகாந்தப் பொருளின் அயனிகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரத்தை அதிகரிக்க வேண்டுமென்பது (4·1), (4·2) சமன்பாடுகளிலிருந்து எளிதில் புரியும். காந்தச் செறிவாக்கம் குறைத்தல் (magnetic dilution) முறையினுல் இதனைச் செய்ய முடியும். இதனுல்தான் பராகாந்த அயனியினது செறிவு, படிகத்தில் 0·01% - லிருந்து 0·1% - க்குள் இருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ளப்பெறுகின்றது.

தற்சுழற்சி – தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயலுக்கான ஒரு தளர்வு நேரம் (relaxation time) வரையறுக்கப்படும். இது தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சித் தளர்வு நேரம் (spin—spin relaxation time) எனப்படும். தற்சுழற்சிகளின் ஓர் அமைப்பிற்கு ஆற்றல் அளிக்கப் பெறும்போது அவ்வாற்றல் உடனடியாக எல்லாத் தற்சுழற்சிகளுக்கும் பகிர்ந்தளிக்கப் பெற்றுவிடுவதில்லை; இதற்குச் சற்று நேரமாகும். இந்த நேரத்தைக் குறிக்கப் பயன்படும் ஒன்றே தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சித் தளர்வு நேரம் (T_2)ஆகும். தற்சுழற்சிகள் அமைப்பிற்கும் ஆற்றலுக்கும் ஏற்படும் செயலெதிர்ச் செயல் T_2 - விற்கும் குறைந்த நேரத்திலேயே நடைபெறுமாறுல், இந்தக் குறைந்த நேரத்திற்குள் ஆற்றல் முழுதும் எல்லாத் தற்சுழற்சிகளுக்கும் பங்கிடப் பெறுவதற்கான வாய்ப்பில்லாமல் போய்விடும். இதனைப் பின்கண்ட செயலெதிர்ச் செயலால் விளக்கலாம். பொருளின்மீது தொழிற்படுத்தப்பெறும் காந்தப்புலம் ஒன்றினைத் தலைகீழாக மாற்றினுல் தற்சுழற்சிகளின் திசையும் அதனையொட்டி மாறவேண்டும். ஆனுல், புலம் தலைகீழாக மாற்றப்படுவதற்காகும் நேரம் T_2 - ஐ விடக் குறைவாக இருக்குமாறுல், தற்சுழற்சிகளில்

---

* வரி அகலத்தைக் காந்தப்புலம், அதிர்வெண் போன்றவற்றுலும் குறிப்பிடலாம். செய்முறை அளவீடுகளில் ஓர்ஸ்டெட்டுகளே பெரிதும் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன, இரு மட்டங்களுக்கு ஸ்பின் உடைவிற்கு $h\nu = g\mu_B H$ என எழுதலாமாதலான், வரி அகல மதிப்புகளை ஹெர்ட்சுகளிலும் எளிதில் மாற்றி அளிக்கலாம் ஒரு கட்டற்ற தற்சுழற்சிக்கு $\frac{\nu}{H}$ = 2·8 மெகா ஹெர்ட்சுகள்/ஓர்ஸ்டெட் ஆகும்.

திசைமாற்றம் அந்த நேரத்திற்குள் ஏற்படாது. பெரும்பாலான மேசர் படிகங்களின் T_2 மதிப்பு 10^{-8} நொடிகளிலிருந்து 10^{-9} நொடிகள் வரை இருக்கும்.

இந்தத் தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சித் தளர்வு நேரத்தினுலும் வரி அகலத்தைக் குறிக்கலாம்.

$$T_2 \simeq \frac{1}{\Delta B_s} \simeq \frac{1}{\gamma H_l} \qquad \longrightarrow (4{\cdot}3)$$

4.3.2. தற்சுழற்சி—பின்னல் செயலெதிர்ச் செயல்

உயர்மட்டத்திலுள்ள தற்சுழற்சிகள் தம் ஆற்றலைப் பின்னலுக்கும் (lattice) அளிக்கக்கூடும். தற்சுழற்சிகளின் அமைப்பு, பின்னலினுடைய ஃபோனுன் நிறமாலையுடன் (phonon spectrum) இணைக்கப்பெற்றுள்ளது. இந்த இணைப்பினுல் தற்சுழற்சிகளிலிருந்து படிகப் பின்னலுக்கு ஆற்றல் செல்லும் வீதத்தைத் தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரம் (spin—lattice relaxation time) T_1 என்ற ஒன்றினுல் அளக்கின்றேம். தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரங்கள் ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் ஒரு மதிப்பினைப் பெற்றிருக்கும். இவை பெருமளவு வேறுபடலாம். எந்தவொரு குறிப்பிட்ட படிகத்திற்கும் இதன் மதிப்பு (T_1) வெப்பநிலையையொட்டி மாறும்; செறிவினை (concentration) யொட்டியும் ஒரு சிக்கலான முறையில் (complex manner) மாறக்கூடும்.

இந்தத் தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரத்தை (T_1) பின்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்: பராகாந்தப் படிகம் வெப்பச் சமநிலையில் (thermal equilibrium) உள்ளபோது அதன் காந்தமாக்கல் செறிவு (intensity of magnetization) $M(o)$ ஆக உள்ளதெனக் கொள்வோம். இப்போது, ஏற்றம் (pumping) போன்றதொரு நிகழ்ச்சியினுல் தொகைகள் பகிர்வில் (population distribution) ஒரு மாற்றத்தை உண்டு பண்ணுவோம். இதன் பயனுக, t நொடிகள் கழித்துக் காந்தமாக்கல் செறிவு $M(t)$ என ஆவதாகக் கொள்வோம். இப்போது, ஏற்றும் சைகையினை நீக்கிவிட்டால் உயர்மட்டத்திலுள்ள தற்சுழற்சிகள் தம் ஆற்றலைப் படிகப் பின்னலுக்குத் தந்து வெப்பச் சமநிலையை எய்தும். இவ்வாறு வெப்பச் சமநிலையை எய்துவதற்கான சமன்பாட்டைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$\frac{d\,M\ (t)}{dt} = -\left[\frac{M(t) - M(o)}{T_1}\right] \qquad \longrightarrow (4{\cdot}4)$$

மேசர்களுக்குப் பயன்படும் படிகங்களில் T_1 - ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்கவேண்டும். அப்போதுதான் உயர்மட்டத்திலுள்ள தற்சுழற்சிகள் படிகப் பின்னலுக்கு ஆற்றலைத்தந்து தாழ்மட்டத்திற்கேகும் நிகழ்ச்சி நடைபெறும் முன்னர்த் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை நிகழ்த்தும்படி செய்ய இயலும்.

சமன்பாடு (4·4) - ல் உள்ள வண்ணம் T_1 - ஐ வரையறுப்பதில் தற்சுழற்சி—பின்னல் செயலெதிர்ச் செயல் ஏற்படுவதற்குரிய அடிப்படைக் காரணங்கள் உள்ளடங்கியுள்ளதாகத் தெரிவதில்லை. இந்த நிகழ்ச்சியினை கிரானிக் (Kronig), வான் விளக் (Van Vleck) ஆகியோர் மேற்கொண்டு ஆராய்ந்து அதுபற்றிய கொள்கைகளை வகுத்துள்ளனர். படிகத்தின் வெப்பநிலையை யொட்டி தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நிகழ்ச்சியினை இருவகைகளாக வகுக்கலாமென அவர்கள் உணர்த்தியுள்ளார்கள்.

வெப்பநிலையானது தாழ்வாக இருக்குமானல் ஒவ்வொரு தற்சுழற்சியும் படிகப் பின்னலின் ஒவ்வொரு ஃபோனுனுடனும் (தற்சுழற்சியின் ஆற்றலுக்குச் சம அளவு ஆற்றலுடைய ஃபோனுனுடன்) நேரடியாக இணைக்கப் பெற்றிருக்கும் (coupled). இத்தகைய நிலைகளில் தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரத்தைப் பின்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்:

$$T_1 = \frac{10^4 \Delta^4}{\lambda^2 H^4 T} \longrightarrow (4{\cdot}5)$$

இங்கே, Δ என்பது மிகத் தாழ்ந்த வீதிநிலை ஆற்றல் மட்டங்கள் இரண்டிற்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு (இது செ. மீ.$^{-1}$ அலகுகளில் உள்ளது); λ என்பது தற்சுழற்சி—சுற்றுப் பாதை இணைப்பு அளபுரு (spin—orbit coupling parameter); T என்பது வெப்பநிலை - டிகிரி கெல்வினில்; H என்பது காந்தப் புலம். எனவே, தாழ் வெப்பநிலைகளில் T_1 ஆனது வெப்பநிலைக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கின்றது. இங்குத் தாழ் வெப்பநிலைகள் எனக் குறிப்பிடுவது வழக்கமாக 8° கெல்வினுக்குக் கீழ்ப்பட்டனவற்றையே.

உயர் வெப்பநிலைகளில் தற்சுழற்சியானது பல ஃபோனுன்களுடன் ஆற்றலைப் பரிமாறிக்கொள்ளலாம். இந் நிலைகளில் T_1 - ன் மதிப்பைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$T_1 = \frac{10^4 \Delta^6}{\lambda^2 H^2 T^7} \longrightarrow (4{\cdot}6)$$

இச் சமன்பாடு நைட்ரஜன் திரவ வெப்பநிலைகளில் பொருந்தும். இங்கே T_1 ஆனது வெப்பநிலையின் 7 மடிக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கக் காணலாம். எனவே, உயர் வெப்பநிலைகளில் அதாவது, நைட்ரஜன் திரவ வெப்பநிலைகளில் T_1 - ன் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருக்குமென்பது தெளிவு. பல மேசர் படிகங்களுக்கு இதன் மதிப்பு சில மைக்ரோ நொடிகள் (micro seconds) அல்லது அதற்கும் தாழ்ந்து இருக்கும். தாழ் வெப்பநிலைகளில், அதாவது திரவ ஹீலியம் வெப்பநிலைகளில், சமன்பாடு (4·5) - ஐப் பயன்படுத்தி T_1 - ஐக் காணவேண்டும். பல மேசர் படிகங்களுக்கு இந்த வெப்பநிலையில் T_1 - ன் மதிப்புச் சில நொடிகள்கூட இருக்கும். எனவே, திடப்பொருள் மேசர்களைத் திரவ ஹீலியம் வெப்பநிலைகளிலேயே சாதாரணமாக இயக்கவேண்டும் என்பது தெளிவு.

சில மேசர் படிகங்களுக்கான தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரங்கள் அட்டவணை (4.2) - ல் தரப்பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 4.2

சில மேசர் பொருள்களின் தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரங்கள்

எண்	மேசர் பொருள்	தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரம் ($\triangle S = 1$ பெயர்வுகளுக்கு)
1.	பொட்டாஷியம் குரோமி—கோபால்டி சயனேடு (0·05% Cr)	200 மில்லி நொடிகள்—1·25°K, 2·8 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் 18 மில்லி நொடிகள்—2·6°K, 2·8 KMH_2 களில் 1·3 மில்லி நொடிகள்—1·4°K, 35 KMH_2 களில் 0·6 மில்லி நொடிகள்—4°K, 35 KMH_2 களில்
2.	மாணிக்கம் (0·03—0·05% Cr)	60 மில்லி நொடிகள்—1·4°K, 35 KMH_2 களில் 20 மில்லி நொடிகள்—4°K, 35 KMH_2 களில்
3.	நீலமணி (0·03% Fe)	4 மில்லி நொடிகள்—1·4°K, 35 KMH_2 களில் 1·5 மில்லி நொடிகள்—4°K, 35 KMH_2 களில்

இந்தத் தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வினுலும் வரி அகலம் பாதிக்கப்படும். தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வு நேரம் T_1 ஆனுல், இதனுல் ஏற்படும் வரி அகலக் கூறு ΔB_l - ஐப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$\Delta B_l \simeq \frac{1}{T_1} \longrightarrow (4.7)$$

எனவே, தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வு நேரம் (T_1) சிறியதாக இருந்தால் வரி அகலம் அதிகமாகவும், T_1 உயர்ந்திருந்தால் வரி அகலம் குறைந்தும் இருக்கும் என்பது தெரிகிறது. மேசர்களுக்குப் பயன்படுத்தும் படிகங்களில் T_1 - ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்க வேண்டுமெனச் சற்று முன்னர்த்தான் கண்டோம். எனவே, இதனுல் ஏற்படும் வரி அகல அதிகரிப்புக் குறைவாகவே இருக்கும்.

4.3.3. மீநுண் செயலெதிர்ச்செயல்

தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வினுல் வரி அகலம் அவ்வளவாக அதிகரிக்காதென்றும், தற்சுழற்சி - தற்சுழற்சித் தளர்வு விளைவுகளே வரி அகலத்தைக் கூட்டுமெனவும், இவ் விளைவினுல் வரி அகலம் கூடக்கூடாதெனில் காந்த அளவில் செறிவாக்கம் குறைந்த படிகங்களைப் பயன்படுத்த வேண்டுமெனவும் கண்டோம். ஆனுல், இத்தகைய படிகங்களைப் பயன்படுத்தினுலும் பிறிதொரு செயலால் வரி அகலம் அதிகரிக்கக் கூடும். இதுவே மீநுண் செயலெதிர்ச் செயலாகும் (hyperfine interaction). அணுக்கரு காந்தத் திருப்புதிறன்களுக்கும் (nuclear magnetic moment), எலெக்ட்ரான் காந்தத் திருப்புதிறன்களுக்கும் இடையேயுள்ள காந்த விசைகளின் விளைவே இது.

இதனுல் ஏற்படக்கூடிய வரி அகல அதிகரிப்பு விளைவினைக் குறைப்பதற்கு அணுக்கரு காந்தத் திருப்புதிறன்களின் மதிப்புச் சிறிதாகவுள்ள பொருள்களைத் தேர்ந்தெடுப்பது ஒன்றுதான் வழியாகும். காட்டாக, ஹைடிரஜன் உடைய படிகங்களை (hydrated crystals) விடச் சயனைடுகளைப் பயன்படுத்துவது நல்லது. ஏனெனில், ஹைடிரஜனின் அணுக்கரு காந்தத் திருப்புதிறன் அதிகம்; கரி, நைட்ரஜன் போன்றவற்றின் ஐசோடோப்புகளின் (isotopes) அணுக்கரு காந்தத் திருப்புதிறன்கள் தாழ்ந்த மதிப்புடையன. ஹைடிரஜன் உள்ள படிகங்களில் கிடைக்கக்கூடிய சிறும வரி அகலம் (minimum line width) 6 ஓர்ஸ்டெட்டுகளாகவும், சயனைடுகளினுடைய இம் மதிப்பு ஓர் ஓர்ஸ்டெட் எனுமளவு குறைந்தும் இருக்குமென்பது ஈண்டு எண்ணற்பாலது.

5. மும்மட்ட மேசர்கள்

5.1. மும்மட்ட மேசர்கள்

பராகாந்தப் படிகங்களில் (paramagnetic crystals) மேசர் விளைவுக்கேற்ற ஆற்றல் மட்டங்கள் உள்ளன என்பதனைக் கடந்த பிரிவில் பார்த்தோம். இவற்றைப் பயன்படுத்தி மூன்று மட்ட மேசரை உருவாக்கலாமெனக் கி.பி. 1956ஆம் ஆண்டில் ப்ளோம் பெர்கன் (Bloembergen) என்பார் கூறினார். அதனைத் தொடர்ந்து இரு ஆண்டுகள் முடிவதற்குள்ளேயே ஸ்கோவில் (Scovil), ஃபெஹர் (Feher), ஸீடல் (Seidel) ஆகியோர் முதல் மும்மட்ட மேசரை உருவாக்கினர். அவர்கள் பயன்படுத்திய திடப்பொருள் கடோலினியம்/சீரியம் எதில் சல்ஃபேட்டாகும் (Gadolinium/cerium ethyl sulphate).

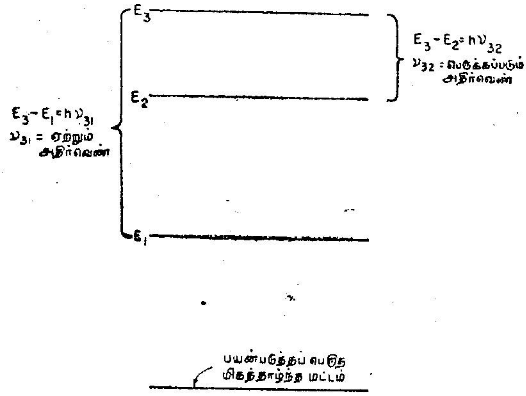
5.2. மும்மட்ட மேசரின் கொள்கை

பல தற்சுழற்சி மட்டங்களையுடைய (multi - spin levels) ஒரு திடப்பொருளில் E_1, E_2, E_3 ஆற்றல்களைக்கொண்ட மூன்று தற்சுழற்சி மட்டங்களை எடுத்துக்கொள்வோம். சூழலின் வெப்பநிலை T எனவும் வெப்பச் சமநிலையில் (thermal equilibrium) N_1, N_2, N_3 என்பன முறையே மூன்று மட்டங்களிலுமுள்ள தற்சுழற்சிகளின் தொகைகள் (spin populations) எனவும் கொண்டால், மாக்ஸ்வெல் - போல்ட்ஸ்மன் புள்ளியியல் (Maxwell - Boltzmann Statistics) கொள்கைப்படி,

$$N_3 = N_1 \, e^{-\left(\frac{E_3 - E_1}{kT}\right)} \longrightarrow (5{\cdot}1)$$

$$N_2 = N_1 \, e^{-\left(\frac{E_2 - E_1}{kT}\right)} \longrightarrow (5{\cdot}2)$$

ஆற்றல் வேறுபாடுகள் kT - ன் மதிப்போடு ஒப்பு நோக்கச் சிறிதாக இருக்குமாஞல் (மைக்ரோ அலைகளைப் பற்றியே நாம் பார்ப்பதால்



படம் 5.1. மேசர் படிகத்தின் மூன்று ஆற்றல் மட்டங்கள்.

இது பொருந்தும்) இவற்றைத் தோராயமாகக் (approximately) கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$N_3 = N_1 - N_1\left(\frac{E_3 - E_1}{kT}\right) \longrightarrow (5{\cdot}3)$$

$$N_2 = N_1 - N_1\left(\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) \longrightarrow (5{\cdot}4)$$

இப்போது, v_{31} அதிர்வெண்ணுடைய மைக்ரோ அலைகளைப் படிகத்தின்மீது படும்படி செய்வோம். v_{31} ஆனது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டிற்கு இயைந்ததாக இருக்கவேண்டும்.

$$E_3 - E_1 = hv_{31} \longrightarrow (5{\cdot}5)$$

இந்த அதிர்வெண் ஏற்றும் அதிர்வெண் (pumping frequency) எனப்படும். இதஞல் ஒத்ததிர்வு உட்கவர்தல் (resonance absorption) நிகழும்; மட்டம் 1 - லிருந்து 3 - வது மட்டத்திற்குத் தற்சுழற்சிகள் ஏற்றப்பெறும். ஏற்றும் திறன் மட்டம் (pumping power level) போதுமான அளவு உயர்வாக இருந்தால் மூன்ருவது ஒன்ருவது மட்டங்கள் தெவிட்டு நிலையை (saturation) எய்தும்; அதாவது, இரு மட்டங்களிலுமுள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை சமமாகும். இந் நிலையில் மூன்று மட்டங்களிலுமுள்ள தற்சுழற்சி

களின் தொகைகள் (population) முறையே n_1, n_2, n_3 எனக் கொண்டால்,

$$n_1 = n_3 \qquad \longrightarrow (5{\cdot}6)$$

மேலும், ஏற்றத்தினுல் மூன்ருவது மட்டத்தின் தொகை தொடக்கத்தில் 1-வது, 3-வது மட்டங்களிடையேயிருந்த தொகைகளின் வேறுபாட்டில் (difference) பாதி அளவு கூடி யிருக்கும். அதாவது,

$$n_3 = N_3 + \frac{N_1 - N_3}{2}$$

அதாவது,

$$n_3 = N_3 + \frac{1}{2}\,\frac{N_1\,(E_3 - E_1)}{kT} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}7)$$

அஃதேபோல, முதல் மட்டத்தின் தொகையானது அதே அளவு $\left(\frac{N_1 - N_3}{2}\right)$ தொடக்கத் தொகையிலிருந்து குறைந் திருக்கும். அதாவது,

$$n_1 = N_1 - \left(\frac{N_1 - N_3}{2}\right)$$

அல்லது,

$$n_1 = N_1 - \frac{1}{2}\,\frac{N_1\,(E_3 - E_1)}{kT} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}8)$$

3-வது, 2-வது மட்டங்களுக்கிடையே ஏற்படக்கூடிய பெயர்வு (transition) தான் நமக்குத் தேவையான மேசர் விளைவை உண்டாக்கவேண்டுமெனில்,

$$E_3 - E_2 = h\nu_{21} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}9)$$

ஏற்றத்தின்போது 2-வது மட்டத்தின் தொகை மாறவில்லை. எனவே,

$$n_2 = N_2 = N_1\left[\,1 - \left(\frac{E_2 - E_1}{kT}\right)\right] \qquad \longrightarrow (5{\cdot}10)$$

மேலும், 3 - வது, 2 - வது மட்டங்களுக்கிடையே தூண்டப் பெற்ற பெயர்வு நிகழவேண்டின் n_3 ஆனது n_2 - ஐ விடப் பெரியதாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$n_3 > n_2$$

அல்லது,

$$n_1 > n_2 \quad (n_3 = n_1 \text{ ஆனதால்})$$

எனவே,

$$N_1 - \tfrac{1}{2}\,\frac{N_1(E_3 - E_1)}{kT} > N_1 - N_1\,\frac{(E_2 - E_1)}{kT}$$

அல்லது,

$$\tfrac{1}{2}(E_3 - E_1) \quad < (E_2 - E_1) \qquad \longrightarrow (5{\cdot}11)$$

அல்லது,

$$\frac{E_3 + E_1}{2} \quad < E_2 \qquad \longrightarrow (5{\cdot}12)$$

அதாவது, 2 - வது மட்டமானது 1 - வது, 3 - வது மட்டங்களின் மையத்திற்கு மேலே இருக்கவேண்டும். இத்தகைய மட்டங்களைத் தேர்ந்தெடுத்தால்தான் மேசர் செயல் நிகழும்படி செய்ய முடியும்.

தலைகீழான தொகைகள் (inverted populations) படம் 5.2 - லும், வெப்பச் சமநிலையிலுள்ள தொகைகள் படம் 5.3 - லும் காட்டப்பெற்றுள்ளன. பிந்தைய படம் மாக்ஸ்வெல் - போல்ட்ஸ்மன் பகிர்வினை (Maxwell - Boltzmann distribution) ஒரு நேர் மதிப்புடைய வெப்ப நிலையில் (positive temperature) காட்டுவதனையும், முந்தைய படம் எதிர் மதிப்புடைய வெப்ப நிலையில் (negative temperature) காட்டுவதனையும் காணலாம். இந்த வெப்பநிலை தற்சுழற்சி எதிர் வெப்பநிலை (negative spin temperature) எனப்படும். இந்த வெப்பநிலைக்கும் படிகத்தின் வெப்ப நிலைக்கும் (சூழலின் வெப்பநிலைக்கும்) நேரடியான தொடர்பு ஏதுமில்லை. இந்த வெப்பநிலையைத் தொகை மதிப்புகளிலிருந்து வருவிக்கப்பெற்ற ஓர் இணைமாற்று வெப்பநிலையாகத்தான் (equivalent temperature) கொள்ளவேண்டும். இதனைப் பின் கண்ட விளக்கத்திலிருந்து புரிந்துகொள்ளலாம்;

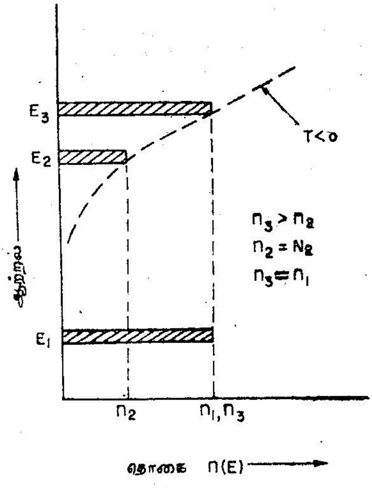
ஏற்றத்திற்கு முன்னர் 3 - வது மட்டத்தின் தொகை,

$$N_3 = N_2 \, e^{\frac{-E_3 - E_2}{kT}} \longrightarrow (5\cdot13)$$

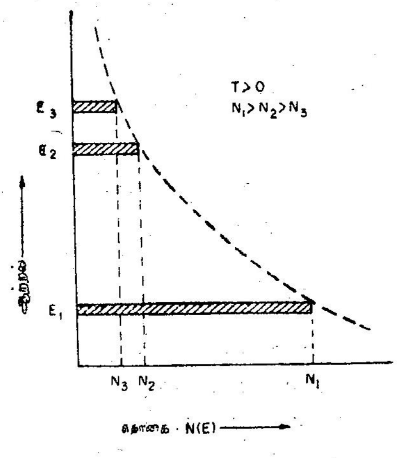
இதிலிருந்து,

$$T = \frac{E_3 - E_2}{k \log_e\left(\frac{N_3}{N_2}\right)} \longrightarrow (5\cdot14)$$

E_3 ஆனது E_2 - ஐ விட அதிகமானதால் தொகுதி (numerator) எப்போதும் நேர்க்குறி உடையது. வெப்பச் சமநிலையின்போது $N_2 > N_3$. எனவே, விகுதி (denominator) எதிர்க்குறியுடையது.



படம் 5.2. மும்மட்ட மேசர் அமைப்பில் தலைகீழான தொகைகள்.



படம் 5.3. மும்மட்ட மேசர் அமைப்பில் வெப்பச் சமநிலையில் தொகைகள்.

எனவே, வெப்பநிலை T ஆனது நேர்க்குறி பெறும். ஆனால், 3 - வது, 1 - வது மட்டங்கள் தெவிட்டுநிலையை (saturation) எய்திய பின்னர் $n_3 > n_2$ ஆனதால் விகுதி நேர்க்குறி பெறும். ஆகையால், T ஆனது எதிர்க்குறியுடையதாகும். இந்தத் தற்சூழற்சி எதிர் வெப்பநிலையின் தலைகீழ் மதிப்பு, $\frac{n_3}{n_2}$ ஐப் பொறுத்திருப்பதையும் காணலாம்.

மேசர் விளைவு நிகழ்வதற்குத் தேவையான நிப்ந்தனையைக் கண்டோம். ஆனால், இதில் நாம் ஒரு நிகழ்ச்சியினைக் கணக்கி லெடுத்துக் கொள்ளவில்லை. அதாவது, தற்சுழற்சிகளானவை படிகத்தின் பின்னலுடன் (crystal lattice) செயலெதிர்ச் செயல் பட்டு (interact) ஆற்றலை இழக்கும்; அதனால் தாழ்மட்டத்திற்கு வரும். எனவே, இவற்றிற்கு ஒரு தளர் நேரம் (relaxation time) உண்டு. இத்தகைய தளர் நேரங்களையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டால் 3 - வது, 2 - வது மட்டங்களுக்கு இடையே மேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதற்குத் தேவையான நிபந்தனையைக் கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாமென, புளோம்பெர்கன் (Bloembergen) கணக்கிட்டுக் காட்டியுள்ளார்.

$$\frac{E_2 - E_1}{(2T_1)_{21}} > \frac{E_3 - E_2}{(2T_1)_{32}} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}15)$$

இங்கே, $(T_1)_{21}$ என்பது 2 - வது, 1 - வது மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள தளர் நேரம்; $(T_1)_{32}$ என்பது 3 - வது, 2 - வது மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள தளர் நேரம். இந்தத் தளர் நேரங்கள் அளக்கப் பெற்றுள்ளன. இவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டு $(T_1)_{32}$, $(T_1)_{21}$ ஆகியவை சாதாரணமாக எப்போதும் சமமாகவே இருக்குமென ஸ்கோவில் (Scovil) கண்டார். எனவே,

$$(T_1)_{32} = (T_1)_{21}$$

எனவே, சமன்பாடு (5·15) கீழ்க்கண்டவாறு ஆகும்:

$$E_2 - E_1 > E_3 - E_2$$

அல்லது,

$$2E_2 > E_3 + E_1$$

அல்லது,

$$E_2 > \tfrac{1}{2}(E_3 + E_1) \qquad \longrightarrow (5{\cdot}12)$$

எனவே, அதே நிபந்தனை கிட்டுகின்றது.

5·3. திறன் வெளிப்பாடு

மும்மட்ட மேசரின் திறன் வெளிப்பாட்டினை இப்போது கணக்கிடுவோம்.

ஏற்றும் அமைப்பினுல் n_3 ஆனது n_2 - ஐ விட அதிகமாக இருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். அப்போது, $n_3 - n_2$ தற்சுழற்சிகளை 3 - வது மட்டத்திலிருந்து 2 - வது மட்டத்திற்கு வரும்படி தூண்டலாம். ஆனுல், W_{32} என்பது தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டிற்கான நிகழ்திறம் எனக் கொண்டால் $(n_3 - n_2)\ W_{32}$ தற்சுழற்சிகள்தாம் பெயர்ந்து ஆற்றலை வெளிப்படுத்தும். ஒவ்வொரு தற்சுழற்சியும் இவ்வாறு நிலை பெயரும்போது $h\nu_{32}$ ஆற்றலை வெளிவிடும். எனவே, திறன் வெளிப்பாடு,

$$P = (n_3 - n_2) \quad h\nu_{32} W_{32} \longrightarrow (5{\cdot}16)$$

தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு காரணமாக மட்டுமன்றித் தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்விஞலும் (spin - lattice relaxation) வெவ்வேறு மட்டங்களிலுமுள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை மாறுபடக்கூடும். எனவே, திறன் வெளிப்பாடு பெருமமாக இருக்க வேண்டுமெனில், ஏற்றும் நிகழ்ச்சியில் போதுமான அளவு திறன் வழங்கப்பெற்று 1 - வது, 3 - வது மட்டங்கள் தெவிட்டுநிலையில் இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். இந் நிலையில் $n_3 - n_2$ - ன் மதிப்பைத் தோராயமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்:

$$n_3 - n_2 \simeq \frac{Nh}{3kT} \quad \frac{w_{21}\nu_{21} - w_{32}\nu_{32}}{w_{33} + w_{12} + W_{32}} \longrightarrow (5{\cdot}17)$$

இங்கே, $N = n_1 + n_2 + n_3$, ν_{21}, ν_{32} ஆகியவை அவற்றின் ஒட்டுக்குறிகள் குறிக்கும் மட்டங்களுக்கு இடையே தொடர்புடைய அதிர்வெண்கள், w_{12}, w_{21}, w_{32} ஆகியவை ஒட்டுக்குறிகள் குறிக்கும் மட்டங்களுக்கு இடையே பெயர்வு ஏற்படுவதற்கான நிகழ்திறன்கள் (transition probabilities). இவற்றை அம் மட்டங்களுக்கு இடையேயான தற்சுழற்சி- பின்னல் தளர் நேரங்கள் (T_{12}, T_{21}, T_{32}) ஆகியவற்ருலும் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம்:

$$\left.\begin{aligned} w_{21} &= \frac{1}{2(T_1)_{21}} \\ w_{32} &= \frac{1}{2(T_1)_{32}} \\ w_{31} &= \frac{1}{2(T_1)_{31}} \end{aligned}\right\} \longrightarrow (5{\cdot}18)$$

எனவே,

$$P \simeq \frac{Nh}{3kT}\left(\frac{w_{21}v_{21} - w_{32}v_{32}}{w_{32} + w_{12} + W_{32}}\right) hv_{32} \cdot W_{32}$$

அல்லது,

$$P \simeq \frac{Nh^2}{3kT} \; \frac{v_{32}W_{32}\,(w_{21}v_{21} - w_{32}v_{32})}{w_{32} + w_{12} + W_{32}} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}19)$$

பெருக்கப்பட வேண்டிய சைகையானது பெரிதாக இருக்குமானல் W_{32} ஆனது w_{12}, w_{21}, w_{32} ஆகிய வெப்பத் தளர் உறுப்புகளைக் காட்டிலும் மிகப் பெரிதாக இருக்கும். எனவே, $(w_{32} + w_{12} + W_{32})$ - ஐ W_{32} என்றே தோராயமாகக் கொள்ளலாம். எனவே, பெருமத் திறன் வெளிப்பாடு (maximum power output)

$$P_m = \frac{Nh^2 v_{32}}{3kT}\;(w_{21}v_{21} - w_{32}v_{32}) \qquad \longrightarrow (5{\cdot}20)$$

இதிலிருந்து P_m - ன் மதிப்பை அதிகரிக்கவேண்டும் என்றால் $(w_{21}v_{21} - w_{32}v_{32})$ - ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்கவேண்டும் என்பது தெரிகிறது. எனவே, இதற்கு v_{21} - ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்க வேண்டும் ; அல்லது w_{21} - ன் மதிப்பு உயர்ந்திருக்கவேண்டும் ; அல்லது w_{21}, v_{21} ஆகிய இரண்டுமே உயர்மதிப்பு உடையனவாக இருக்கவேண்டும். ஆனல், w_{21} உயர்ந்தால் w_{13} - உம் உயரும். இதனல் ஏற்றும் திறன் (pumping power) அதிகமாக்கப்பட வேண்டும். ஆனல், ஏற்றும் திறன் மிக அதிகமானல் படிகம் சூடாகும். இஃது ஒரு பிரச்சினையாகும்.

v_{21} அதிகமாக இருக்க வேண்டுமானல் v_{31} - உம் அதிகம் ; அதாவது, ஏற்றும் அதிர்வெண் உயர்வாயிருக்கவேண்டும்.

மேலும், N - ன் மதிப்பு அதிகரித்தாலும் P_m அதிகரிக்கும். ஆனல், இதனை ஓர் அளவிற்கு மேல் உயர்த்த முடியாது. ஏனெனில், தற்சுழற்சிகளின் தொகை அதிகரித்தால் தற்சுழற்சி - தற்சுழற்சிச் செயலெதிர்ச் செயல் (spin - spin interaction) அதிகரிக்கும். இதனல் தற்சுழற்சி-தற்சுழற்சித் தளர் நேரமாகிய T_2 குறையும். ஆனல், T_2 குறைந்தால் படிகத்தின் பட்டை அகலம் (band width) அதிகரிக்குமென முன்னரே பார்த்துள்ளோம். பட்டை அகலம் அதிகரித்தால் திறன் வெளிப்பாடு குறையும். எனவே, தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையானது ஒரு குறிப்பிட்ட பட்டை அகலத்திற்கு ஏற்ற வகையில் தேர்ந்தெடுக்கப்படும்.

மேலும், வெப்பநிலையைக் (T) குறைத்தாலும் திறன் வெளிப்பாடு உயரும். ஆனால், வெப்பநிலையை 1° கெல்வினுக்குக் கீழே குறைப்பதற்கான செலவு மிக அதிகம்.

இவற்றிலிருந்து தகுந்த தளர் நேரங்களையும் ஆற்றல் மட்டங்களையும் உடைய படிகங்களைத் தேர்ந்தெடுப்பதன் இன்றியமையாமை புலனாகின்றது.

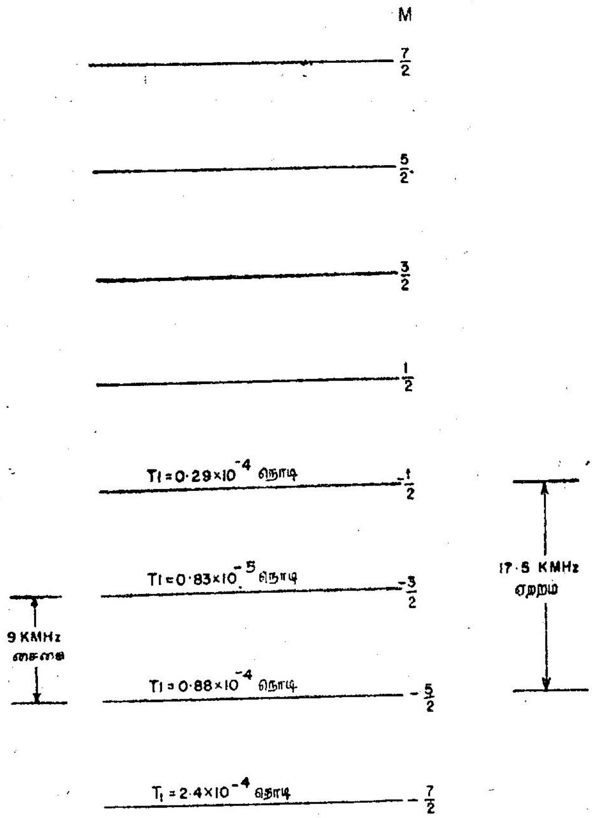
5.4. மும்மட்ட மேசருக்கு ஏற்ற படிகங்கள்

கடந்த பகுதியில் பார்த்ததுபோல் ஏற்றும் திறனின் அளவைக் குறைத்து வைத்துக் கொள்ளவேண்டின் தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வு நேரம் (T_1) உயர்வானதாக இருக்கவேண்டும். இந்த T_1 ஆனது மிகத் தாழ்ந்த இரு வீதிநிலை ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு (orbital energy levels) இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டின் நான்கு மடிக்கு (fourth power) நேர் விகிதத்திலும், தற்சுழற்சி - சுற்றுப்பாதை இணைப்பு (spin - orbit coupling) அளபுருவின் (parameter) இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருக்குமெனக் கடந்த பிரிவில் பார்த்தோம். எனவே, படிகங்களைத் தேர்ந்தெடுப்பதில் இந்த அளபுருக்களில் நாம் கவனம் செலுத்த வேண்டியுள்ளது. மேலும், தற்சுழற்சி நிலைகள் நன்றாகக் கலந்திருக்க வேண்டுமாதலான், கனசதுரமல்லாத சமச்சீருடைய (non - cubic symmetry) படிகங்களாக இருக்கவேண்டும் ; காந்தக் குவான்டம் நிலைகள் (quantum states) தாறுமாறாகக் குழம்பும் வகையில் படிகப் புலமானது தற்சுழற்சிகளை நன்றாகக் கலக்க வேண்டும். மேலும், மூன்று மட்டங்கள் இருக்கவேண்டும் ; இவற்றில் போதுமான அளவில் தற்சுழற்சிகள் இருக்கவேண்டும். இவற்றோடல்லாமல், கருவின் உந்தம் (nuclear moment) சிறிதாக இருக்கவேண்டும். இல்லாவிடில் ஒத்ததிர்வு வரியினது அகலம் அதிகரிக்கும்.

இந்த நிபந்தனைகளையெல்லாம் நினைவில் கொண்டால் Cr^{3+}, Fe^{3+}, Gd^{3+}, Ni^{2+} ஆகிய அயனிகளைப் பல்மட்ட மேசர்களுக்கெனத் தேர்ந்தெடுக்கலாமென்பது தெளிவாகும்.

ஸ்கோவில் (Scovil), ஃபெஹர் (Feher), சைடல் (Seidel) ஆகியோர் 0·2% சீரியம் (cerium) சேர்க்கப்பட்ட கடோலினியம் எதில் சல்ஃபேட்டினைப் (gadolinium ethyl sulphate) [$Gd_{0\cdot005}La_{0\cdot995}(C_2H_5SO_4)_3\cdot 9H_2O$] பயன்படுத்தினர். கடோலினியத்தின் தற்சுழற்சி $S=\frac{7}{2}$. எனவே, இதற்கு 8 மட்டங்கள் ($2S+1=8$) உண்டு. இவை

படம் 5·4 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. 2850 ஓர்ஸ்டெட் (Oersted) காந்தப் புலமானது படிகத்தின் சமச்சீர் அச்சிற்குச் செங்குத்தான திசையில் தொழிற்படுத்தப்படுகின்றது. $-\frac{5}{2}$, $-\frac{1}{2}$ மட்டங்களுக்கு இடையே 17·5 கிலோ மெகா ஹேர்ட்சுகளில் ஏற்றம் (pumping)



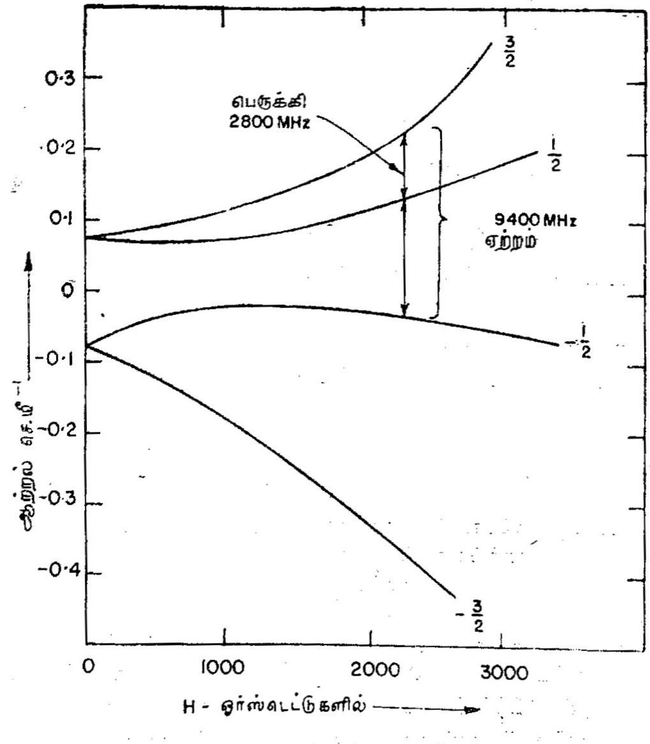
படம் 5.4. கடோலினியம் எதில் சல்ஃபேட்டின் ஆற்றல் மட்டங்கள். தளர் நேரங்கள் 4° கெல்வின் வெப்பநிலையில் கணக்கிடப்பட்டவை.

செய்வதன் வாயிலாக $-\frac{5}{2}$, $-\frac{3}{2}$ நிலைகளுக்கு இடையே 9 கிலோ மெகா ஹேர்ட்சுகளில் சைகைப் பெருக்கம் கிடைக்கின்றது. இப் படிகத்தில் 0·2% செரியம் சேர்க்கப்பட்டிருப்பதால் நமக்குத் தேவையான இரு பெயர்வுகளுக்கான தளர் நேரங்களின் விகிதம் 10 : 1 என ஆகின்றது. (படம் 5.4 காண்க). இதனால் ஏற்றும்

அதிர்வெண்ணுனது பெருக்கப்படும் அதிர்வெண்ணைவிட ஏறத் தாழ இருமடங்கு அதிகமாக இருந்தால் போதுமானதாகின்றது.

கடோலினியம் எதில் சல்ஃபேட் படிகத்தைப் பயன்படுத்துவதில் சில தொல்லைகள் உள்ளன. இது அறை வெப்பநிலையில் நிலைபேறுடையதன்று (unstable). எனவே, இதனை மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலைக்குக் குளிர்விக்க வேண்டும். மேலும், இதில் எட்டுச் சுழற்சி மட்டங்கள் உள்ளன. அவற்றில் மூன்றினை மட்டும் பயன் படுத்துகின்றோம். எனவே, மற்றவற்றிலுள்ள தற்சுழற்சிகள் நமக்குப் பயன்படுவதில்லை.

மாக் வொர்ட்டர் (Mc Whorter), மேயர் (Meyer) ஆகியோர் பயன்படுத்திய படிகம் பொட்டாஷியம் குரோமி கோபால்டி சயனைடு (potassium ch.omi cobalti cyanide) $[K_3\ Cr_{0\cdot005}\ Co_{0\cdot995}$



படம் 5.5. பொட்டாஷியம் குரோமி கோபால்டி சயனைடின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

CN)$_6$] ஆகும். இதன் S மதிப்பு $\frac{3}{2}$. எனவே, ஒரு காந்தப்புலத்தில் இதில் நான்கு மட்டங்கள் (2S+1=4) உள்ளன. இவை படம் 5.5 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. காந்தப் புலம் படிகத்தின் C - அச்சிற்கு இணையான திசையில் தொழிற்படுத்தப் பெறும். ஏற்றும் அதிர்வெண்ணும், பெருக்கப்படும் சைகை அதிர் வெண்ணும், அவை எம் மட்டங்களுக்கு இடையே செயல்படு கின்றன என்பதும் படம் 5.5 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. இப் படிகத்தைக் கரைசலிலிருந்து எளிதில் வளர்த்து உருவாக்கலாம்.

மேசர்களுக்குப் பயன்படக்கூடிய பிறிதொரு சிறந்த படிகம் மாணிக்கம் (ruby) ஆகும். இது 0·1% குரோமியம் (chromium) சேர்க்கப்பட்ட Al_2O_3 ஆகும். இதன் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (dielectric constant) உயர்வாக இருப்பதும், மின்கடத்தாப் பொருள் இழப்பு (dielectric loss) குறைவாக இருப்பதும், இஃது ஒரு சிறந்த வெப்பக்கடத்தியாக உள்ளதுவும், வேதியியல் அடிப் படையில் நிலைபேறுடையதாக (stability) உள்ளதுவும், மிகப் பெரிய மாணிக்கப் படிகங்களை எளிதில் உருவாக்க இயலுவதும் போன்ற இன்னபிற காரணங்களால் இது மேசருக்கு அண்மைக் காலத்தில் மிகவும் விரும்பிப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றது. இதனை மக்காவ் (Makhov), கிக்குசி (Kikuchi), லாம்பே (Lambe), டெர்ஹனே (Terhune) ஆகியோரும் மற்றும் பலரும் பயன் படுத்தியுள்ளனர்.

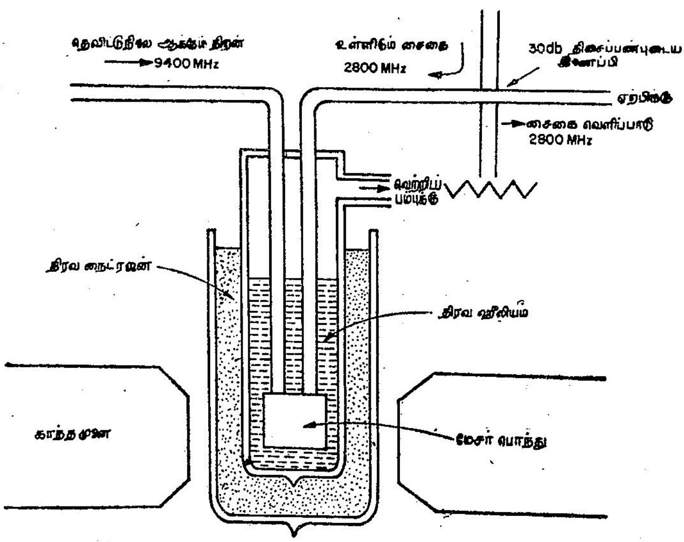
5.5. மும்மட்ட பொந்து மேசரின் அமைப்பு

இதுகாறும் ஒரு மும்மட்ட மேசர் செயல்படுவதற்கான அடிப் படைத் தத்துவங்களைப் பார்த்தோம். இனி, ஒரு மும்மட்ட பொந்து மேசரின் (three level cavity maser) அமைப்பினைச் சுருக்க மாகக் காண்போம்.

ஒரு மும்மட்ட பொந்து மேசருக்கு முதலில் ஏற்றதொரு படிகம் தேவை. இதனை எவ்வாறு தேர்ந்தெடுப்பது என்பதனையும், நடைமுறையில் பயன்படும் பல படிகங்களையும் பார்த்தோம். இதனை ஒரு மைக்ரோ அலை கட்டுமானத்தினுள் (micro wave structure) வைக்கவேண்டும். மும்மட்டப் பொந்து மேசரில் இக் கட்டுமானம் ஒரு மைக்ரோ அலைப் பொந்து (micro wave cavity) ஆகும். இஃது ஏற்றும் அதிர்வெண் (pumping frequency), பெருக்கப்படும் சைகை அதிர்வெண் (signal frequency) ஆகிய இரண்டு அதிர்வெண்களிலுமே ஒத்ததிர்வு நிகழ்த்தும் வகையில்

இருக்கவேண்டும். இந்தப் பொந்தினது சுற்றுப்புற வெப்பநிலை மீகத் தாழ்ந்ததாக இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். இதற்கென இவ்வமைப்பானது ஒரு திவார் குடுவையினுள் (Dewar flask) வைக்கப்பெறும். இக் குடுவை இரண்டு சீசாக்களால் ஆனது. உள் சீசாவில் ஹீலியம் திரவமும் (liquid helium), வெளிக் குப்பியில் நைட்ரஜன் திரவமும் (liquid nitrogen) இருக்கும். இதனுல் படிகமானது ஹைடிரஜன் திரவத்தின் வெப்ப நிலையிலேயே இருக்கும்.

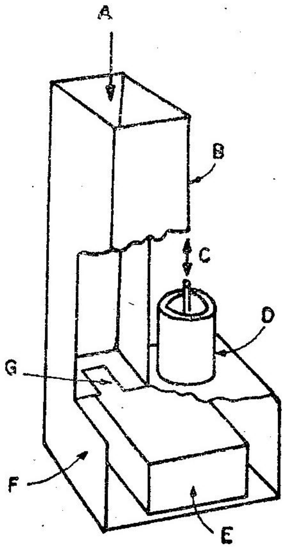
இவ்வமைப்பு ஓர் ஆற்றல் மிக்க மின்காந்தத்தின் (electro-magnet) முனைகளுக்கு (poles) இடையேயுள்ள வெளியில் வைக்கப் படும். இதனுல் படிகம் ஒரு சீரான காந்தப் புலத்தில் (இதன் அளவு முன்னரே கூறப்பெற்றுளது) வைக்கப்பெறுகின்றது. காந்தப் புலத்தின் திசையும் முன்னர் விவரித்துள்ள திசையில் இருக்கும்படி அமைக்கப்படும். திறனுனது ஏற்றும் அதிர்வெண் ணில் பொந்தினுள் செலுத்தப்பெறும். இதனுல் தொகைத் தலை கீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படும். பெருக்கப்பட



படம் 5.6. மும்மட்டப் பொந்து மேசரின் அமைப்பு.

வேண்டிய சைகை உட்செலுத்தப் பெற்றுத் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டு நிகழ்ச்சியினுல் பெருக்கமடையும். இத்தகைய ஓர்

அமைப்பினைப் படம் 5.6 காட்டுகின்றது. பொந்தின் விவரங்கள் படம் 5.7 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 5.7. மும்மட்டப் பொந்து மேசரின் பொந்து அமைப்பு.
A— ஏற்றம்— உள்ளீடு.
B – ஏற்றம்—அலைவழிப்படுத்தி.
C—சைகை.
D—சைகைஉள்ளீடு/வெளிப்பாடு.
E மாணிக்கப் படிகம்.
F—இரு அதிர்வெண்களிலும் (ஏற்றம்—சைகை) ஒத்ததிரும் பொந்து.
G—இணைக்கும் தொளை.

5.6. மும்மட்டப் பொந்து மேசரின் ஈட்டமும் பட்டை அகலமும்

மும்மட்டப் பொந்து மேசரின் ஈட்டத்தைக் (gain) கணக்கிடு வதற்கு அதனை டிரான்சிஸ்டர், மற்றத் திடநிலைச் சாதனங்கள் போன்றதொரு சுற்று உறுப்பாகக் (circuit element) கருதிக் கொள்ளலாம். இதனுல், இதற்கான இணைமாற்றுச் சுற்றினை (equivalent circuit) வரைந்துகொண்டு திறன் ஈட்டத்தை நேரடியாகக் கணக்கிடலாம். மற்ற வழக்கமான பெருக்கிகளைப்போன்று மேசர்களினது ஈட்டம், பட்டை அகலம் (band width) ஆகிய இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருங்கிய தொடர்புடையன.

பட்டை அகலம் குறுகலாக இருந்தால் ஈட்டம் பெரிதாக இருக்க முடியும். ஆனால், மிக அகன்ற பட்டை அகலத்தையும் அதே நேரத்தில் உயர்ந்த ஈட்டத்தினையும் ஒருங்கே அடைய முடியாது ; ஒன்று அதிகரித்தால் மற்றது குறையும்.

ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி (transmission line) அல்லது ஓர் அலைவழிப்படுத்தி (wave guide) அல்லது பொந்திலுள்ள ஓர் அலையினது பாதையில் ஒரு தடைப்பொருள் (obstacle) எதிர்ப் பட்டால், அதாவது பாதையின் மின் எதிர்ப்பில் (impedence) மாறுதல் ஏற்பட்டால் அலையினது ஒரு பகுதி எதிரொளிக்கும் (reflect); ஒரு பகுதி செலுத்தப்பெறும் (transmit). படு அலையினது (incident wave) வீச்சு $|A|$ எனவும், எதிரொளித்த பகுதியின் வீச்சு $|B|$ எனவும், செலுத்தப்பெற்றதன் வீச்சு $|C|$ எனவும் கொள்வோம். அலைவழிப்படுத்தியில் நிலைஅலைகள் (standing waves) தோற்றுவிக்கப்பெறும். அந்த நிலைஅலைகள் அமைப்பில் உள்ள பெரும, சிறும மின்னழுத்தங்கள் $V_{\text{பெருமம்}}$, $V_{\text{சிறுமம்}}$ எனில் $\frac{V_{\text{பெருமம்}}}{V_{\text{சிறுமம்}}}$ என்பது நிலைஅலையின் மின்னழுத்த விகிதம் (voltage standing wave ratio) எனப்பெறும். இதனை 'r' எனக் குறிப்பது வழக்கம். r-ன் மதிப்பைப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்:

$$r = \frac{V_{\text{பெருமம்}}}{V_{\text{சிறுமம்}}} = \left|\frac{Z}{Z_0}\right| = \frac{|A| + |B|}{|A| - |B|} \quad \rightarrow (5{\cdot}21)$$

இங்கே Z என்பது பொந்தினது சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு (characteristic impedence); Z_0 என்பது தடைப் பொருள் அல்லது சுமையின் (load) மின்னெதிர்ப்பு. தடைப்பொருள் அல்லது சுமையினை எதிரொளிப்புக் கெழு (reflection coefficient) எனப் படும் ஓர் எண்ணால் (Γ) குறிப்பது வழக்கம். இதனைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம் :

$$|\Gamma| = \frac{r-1}{r+1} \quad \longrightarrow (5{\cdot}22)$$

பொந்தில் படுகின்ற திறன் P_i எனவும், அதில் எதிரொளிக்கும் திறன் P_r எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{P_r}{P_i} = |\Gamma|^2$$

அல்லது,

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{(r-1)^2}{(r+1)^2} \longrightarrow (5{\cdot}23)$$

என்று எளிதில் கண்டுகொள்ளலாம். இந்த $\frac{P^r}{P_i}$ தான் பொந்தினது ஈட்டம். ஆனால், இதனை r - ன் மதிப்பில் அளிக்காமல் பொந்தினது பண்புக் காரணிகளால் (Q) குறிப்பது சிறந்தது. ஏனெனில், பொந்தினது Q - க்களை எளிதில் அளக்கலாம். மேசர் பொந்து அமைப்பில் ஓர் ஒத்ததிர்வு பொந்து உள்ளது. இது புறத்தேயுள்ள அலைவழிப்படுத்தி அமைப்புகளுடன் ஒரு தொளை (iris) வழியாக இணைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே, இரண்டு Q - க்கள் உள்ளன. அவையாவன: பொந்தினது சுமையேற்றப் படாத பண்புக் காரணி (unloaded Q) Q_0. இந்த Q_0 - ல் பொந்தின் சுவர்களில் ஏற்படும் இழப்புகளும் மேசர் படிகத்தினுல் ஏற்படும் மின்கடத்தாப் பொருள் இழப்புகளும் (dielectric losses) அடங்கும். மற்றது Q_e. இது வெளிப்பாட்டுச் சுற்ருேடு (output circuit) உள்ள இணைப்பினது Q ஆகும். இவையேயல்லாது பிறிதொரு Q - உம் உண்டு. பராகாந்தப் படிகமானது அலைவுறும் காந்தப் புலத்தில் இருப்பதால் அது காந்த ஆற்றலைச் சேமித்து வைக்கும். எனவே, படிகத்திற்கு ஒரு காந்தப் பண்புக்காரணி (magnetic Q) உண்டு. இதனைப் (Q_m) பின்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்:

$$Q_m = \frac{1}{4\pi\, \chi''\, \eta} \longrightarrow (5{\cdot}24)$$

இங்கே χ'' என்பது காந்த ஏற்புத் திறனின் (susceptibility) கற்பனைப் பகுதியாகும் (imaginary part) ; η என்பது நிரப்புக் காரணி (filling factor). இந்த நிரப்புக் காரணியைப் படிகத்தின் பருமனுக்கும், பொந்தின் கொள்ளளவிற்குமுள்ள விகிதமென எடுத்துக்கொள்ளலாம். இதன் மதிப்பு பொந்தின் அமைப்பைப் பொறுத்து ஏறத்தாழ 0·1 - லிருந்து 1·0 வரை இருக்கக்கூடும்.

மேசர் வேலை செய்யும்போது, பொந்தானது வெளிப்பாட்டுச் சுற்றுடன் இணைக்கப்பெற்றிருப்பதாலும், பொந்தில் படிகம் உள்ளதாலும் பொந்து சுமையேற்றப்பெற்றுள்ளதெனக் கொள்ள வேண்டும். எனவே, பொந்தினது சுமையேற்றப்பட்ட Q ஆகிய Q_L - ஐ இணை மாற்றுச் சுற்றுகளின் (equivalent circuits) தத்துவப் படி பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_0} \longrightarrow (5{\cdot}25)$$

மேலும், நிலைஅலை விகிதத்தைப் (r) பின்கண்டவாறு எழுதலாமென ஸ்லேட்டர் (Slater) காண்பித்துள்ளார்.

$$r = \frac{\frac{1}{Q_e}}{\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_e} + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \longrightarrow (5{\cdot}26)$$

இங்கே $\frac{\omega}{2\pi}$ என்பது படு அலையின் அதிர்வெண். ஒத்ததிர்வின்போது $\omega = \omega_0$ ஆனதால்,

$$r = \frac{\frac{1}{Q_e}}{\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_e}}$$

அல்லது,

$$r = \frac{1}{\frac{Q_e}{Q_L} - 1} \longrightarrow (5{\cdot}27)$$

ஆனல்,

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_0} \longrightarrow (5{\cdot}24)$$

அல்லது,

$$\frac{Q_e}{Q_L} = 1 + \frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0}$$

அல்லது,

$$\frac{Q_e}{Q_L} - 1 = \frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0} \longrightarrow (5{\cdot}28)$$

இதனை 5·26 - ல் பயன்படுத்த,

$$r = \frac{1}{\left(\frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0}\right)} \longrightarrow (5{\cdot}29)$$

இதனை 5·22 - ல் பதிலிட,

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{\left[\frac{1}{\left(\frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0}\right)} - 1\right]^2}{\left[\frac{1}{\left(\frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0}\right)} + 1\right]^2}$$

அல்லது,

$$G = \frac{P_r}{P_i} = \frac{\left[1 - \left(\frac{Q_e}{Q_0} + \frac{Q_e}{Q_m}\right)\right]^2}{\left[1 + \left(\frac{Q_e}{Q_m} + \frac{Q_e}{Q_0}\right)\right]^2}$$

அல்லது,

$$G = \frac{\left[\frac{Q_e}{Q_0} + \frac{Q_e}{Q_m} - 1\right]^2}{\left[\frac{Q_e}{Q_0} + \frac{Q_e}{Q_m} + 1\right]^2}$$

அல்லது,

$$G = \frac{\left[\frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_e}\right]^2}{\left[\frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_e}\right]^2} \longrightarrow (5{\cdot}30)$$

சாதாரணமாக எதிரொளிப்புப் பொந்தில் (reflection cavity) Q_0 ஆனது மற்ற Q - க்களோடு ஒப்பு நோக்க மிகப் பெரிதாயிருக்கும். எனவே, $\frac{1}{Q_0}$ ஐச் சிறிதெனப் புறக்கணிக்கலாம்.

அந் நிலையில்,

$$G = \frac{\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_e}\right]^2}{\left[\frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_e}\right]^2}$$

அல்லது,

$$G = \left[\frac{Q_e - Q_m}{Q_e + Q_m}\right]^2 \longrightarrow (5{\cdot}31)$$

மேசரில் நமக்குத் தேவையானது பெருக்கமே (amplification) ஆனதால் Q_m எதிர்க்குறியுடையதாக (negative) இருக்க வேண்டும். அப்போதுதான் படிகத்தில் ஏற்படும் இழப்புகள் எதிர்க்குறி உடையன எனக் கொள்ளலாம். இழப்புகள் எதிர்க் குறி உடையன என்றால் 'ஆதாயம்' என்று தானே பொருள்! எனவே,

$$G = \left[\frac{|Q_e| + |Q_m|}{|Q_e| - |Q_m|}\right]^2 \longrightarrow (5{\cdot}32)$$

பொந்து மேசரில் Q_0 ஆனது பெரிதானதால் பொந்தினது ஒத்ததிர்வு வரியின் அகலம் படிகத்தின் ஒத்ததிர்வு வரியினது அகலத்தைவிட மிகக் குறைவானதாயிருக்கும். எனவே, மேசரின் பட்டை அகலம் B-யினைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$B = \frac{f}{Q_L} \longrightarrow (5{\cdot}33)$$

இங்கே f என்பது பொந்தின் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண். முன்போல் $\frac{1}{Q_0}$ ஐச் சிறிதெனப் புறக்கணித்தால்,

$$B = f\left(\frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_m}\right)$$

அல்லது,

$$B = f\left[\frac{1}{Q_e} - \frac{1}{|Q_m|}\right]$$

அல்லது,

$$B = f\left[\frac{Q_e - |Q_m|}{Q_e\,|Q_m|}\right] \longrightarrow (5{\cdot}34)$$

(5·31), (5·33) ஆகிய சமன்பாடுகள் ஈட்டம், பட்டை அகலம் ஆகியவற்றைத் தருகின்றன. ஆனால், இவை இரண்டும் நாம் முன்னரே குறிப்பிட்டதுபோல ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையனவாதலான் இவற்றைத் தனித்தனியே குறிக்காமல் இவற்றின் பெருக்குத் தொகையையே (B × G) எடுத்துக்கொள்வது வழக்கம். இருப்பினும் மேசர் ஒரு மின்னழுத்தப் பெருக்கியாகச் (voltage amplifier) செயல்படுகின்றது எனக் கொண்டால் $G^{\frac{1}{2}}$ ஆனது மின்னழுத்த ஈட்டத்தைக் (voltage gain) கொடுக்கும். எனவே, ஈட்டத்தின் இருமடி மூலம், பட்டை அகலம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகையையே பயன்படுத்துவது வழக்கம். இதன் மதிப்பு,

$$G^{\frac{1}{2}}B = \left[\frac{Q_e + |Q_m|}{Q_e - |Q_m|}\right] \times f\left[\frac{Q_e - |Q_m|}{Q_e\,|Q_m|}\right]$$

அல்லது,

$$G^{\frac{1}{2}}B = f\left[\frac{Q_e + |Q_m|}{Q_e\,|Q_m|}\right] \longrightarrow (5{\cdot}35)$$

இது பெருமமாக இருக்கவேண்டின் $Q_e \simeq Q_m$. அப்போது,

$$G^{\frac{1}{2}}B = \frac{2f}{|Q_m|} \longrightarrow (5{\cdot}36)$$

இதிலிருந்து, Q_m சிறிதாக இருப்பது சிறந்தது என்பது புலனாகின்றது.

மாக் வொர்ட்டர் (Mc Worter), மேயர் (Meyer) ஆகியோர் அமைத்த மேசரில்,

$$Q_m = -2150,$$

$$f = 2800 \text{ மெகா ஹெர்ட்சுகள்.}$$

எனவே,

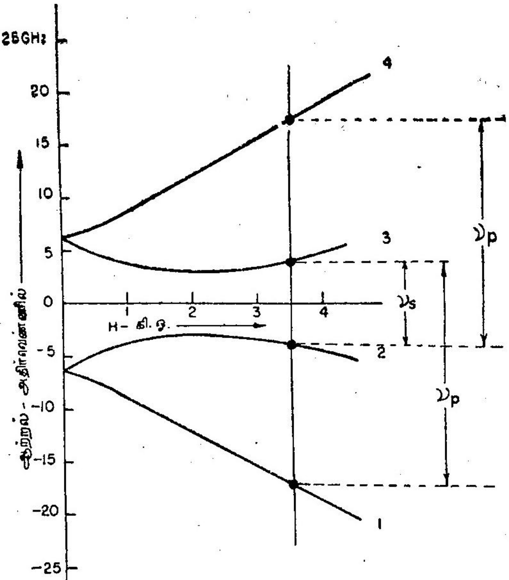
$$G^{\frac{1}{2}}B = \frac{2f}{Q_m} = 2{\cdot}6 \times 10^6 \text{ நொடி}^{-1}.$$

சோதனைகள் வாயிலாகக் கிடைத்த இதன் மதிப்பு $1 \cdot 8 \times 10^{6}$ நொடி$^{-1}$. இரண்டும் ஏறத்தாழ ஒத்திருக்கக் காண லாம். இந்த நிலைகளில் ஏறத்தாழ 20 டெசிபெல் (decibel) ஈட்டமும், சில நூறு கிலோ ஹெர்ட்சுகள் பட்டை அகலமும் கிட்டும்.

5.7. தள்ளு - இழு மேசர்

பராகாந்தப் பொருள்களின் (paramagnetic materials) ஆற்றல் மட்டங்களைப் பார்த்தகாலையில் அவை படிகத்தின் படிக அச்சிற்கும், அதன்மீது தொழிற்படுத்தப்பெறும் காந்தப் புலத் திற்கும் இடையேயுள்ள கோணத்தைப் (θ) பொறுத்திருக்கின்றன என்று கண்டோம். இவ்வுண்மை தள்ளு - இழு மேசர்களில் (push - pull maser) பயன்படுத்தப் பெறுகின்றது.

மாணிக்கத்தில் (ruby) Cr^{3+} அயனிகளின் தற்சுழற்சி மதிப்பு $S = \frac{3}{2}$. எனவே, இவை ஓர் ஒருதிசைக் காந்தப்புலத்தில்



படம் 5.8. மாணிக்கத்தில் $\theta = 54°44^{1}$ ஆக உள்ளபோது ஆற்றல் மட்டங்கள். (தள்ளு - இழு மேசரில் பயன்படும்போது).

(*d.c.* magnetic field) நான்கு ஆற்றல் மட்டங்களை $(2S + 1 = 4)$ உண்டாக்கும். இந்த மட்டங்களின் ஆற்றல்கள் முனைவு

கோணத்தைப் (polar angle) பொறுத்திருக்குமென முன்னரே கண்டோம். எனவே, இம் முனைவு கோணம் θ - ஐ மாற்றினால் இந்த நான்கு மட்டங்களின் நிலைகளும் மாறும். θ ஆனது $54^{0}44^{1}$ ஆக இருக்குமானால் இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 5.8 - ல் காட்டிய வண்ணமிருக்கும். இம் மட்டங்கள் சமச்சீருடையனவாக இருக்கக் காணலாம். அதாவது 3 - வது, 4 - வது மட்டங்கள் முறையே 1 - வது, 2 - வது மட்டங்களின் பிம்பங்களாக (mirror images) இருக்கின்றன. எனவே, எந்த ஒரு காந்தப்புலத்திற்கும் 1 - வது, 3 - வது மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள வேறுபாடும், 2 - வது, 4 - வது மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள வேறுபாடும் ஒன்று. அதாவது, $E_3 - E_1 = E_4 - E_2$. எனவே, 1 - வது மட்டத்திலிருந்து 3 - வது மட்டத்திற்குத் தற்சுழற்சிகளை உயர்த்துவதற்கு என்ன அதிர்வெண்ணுடைய கதிர்வீச்சு வேண்டுமோ அதே அதிர்வெண்ணுடைய கதிர்வீச்சு 2 - வது மட்டத்திலுள்ளவற்றை 4 - வது மட்டத்திற்கு உயர்த்தும். எனவே, $E_3 - E_1 = h\nu_p$ என்ற சமன்பாட்டிற்குட்பட்ட ஓர் ஏற்றும் அதிர்வெண்ணைக் கொண்டு 1 - வது மட்டத்திலிருந்து 3 - வது மட்டத்திற்குத் தற்சுழற்சிகளை உயர்த்தினால் அதே நேரத்தில் 2 - வது மட்டத்திலுள்ளவை 4 - வது மட்டத்திற்குச் செல்லும்.

இச் செயலால் 3 - வது மட்டத்திலுள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை உயருகின்றது ; அதே நேரத்தில் 2 - வது மட்டத்திலுள்ளவற்றின் எண்ணிக்கை குறைகின்றது. எனவே, 3 - வது, 2 - வது மட்டங்களுக்கு இடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படுகின்றது. இத் தொகைத் தலைகீழாக்கம் சாதாரண மும்மட்ட மேசரில் உள்ளதைவிட உயர்ந்த விகிதத்தில் இருக்கும் என்பது தெளிவு. எனவே, இவ்விரு மட்டங்களுக்கு இடையே தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை நிகழும்படி செய்தால் மிக உயர்ந்த பெருக்கம் (amplification) கிடைக்கும். $E_3 - E_2 = h\nu_s$ என்றால் ν_s என்பது பெருக்கப்படும் சைகையின் அதிர்வெண்.

இவ் வகையில் செயல்படும் மேசர் தள்ளு - இழு மேசர் (push - pull maser) எனப்படும். ஏனெனில், இங்கே சைகை அதிர்வெண்ணிற்கு இயைந்த ஆற்றல் மட்டங்களில் உயர்மட்டத்தில் எண்ணிக்கையைப் பெருக்குகிறோம் ; தாழ்மட்டத்தில் தொகையைக் குறைக்கிறோம். சாதாரண நேர்வகை மும்மட்ட மேசர்களில் சைகை பெருக்கும் மட்டங்களில் உயர்மட்ட எண்ணிக்கை மட்டிலுமே அதிகரிக்கப்படுவதும் தாழ்மட்டத்தின் தொகையில் மாறுதல் ஏற்படுவதில்லை என்பதும் ஈண்டுக் குறிப்பிடத்தக்கது. மாணிக்கத்தைப் பயன்படுத்தும் தள்ளு - இழு மேசரின் பயனுறு

திறன் (efficiency) தாழ்வெப்பநிலைகளில் சாதாரண மும்மட்ட மேசரினுடையதைவிட ஏறத்தாழ ஆறு மடங்கிருக்குமெனின் இதன் சிறப்பினைக் கூறவும் வேண்டுமோ !

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து தள்ளு - இழு மேசரில் பெருக்கப் படும் சைகை அதிர்வெண்ணிற்கு இயைந்த ஆற்றல் மட்டங்களில் உள்ள தற்சுழற்சிகளினுடைய தொகைகளின் வேறுபாடு (spin population difference) மிக அதிகம் என்பது தெரிகிறது. இதனால் ஒரு பெரு நன்மை உண்டு. சாதாரண, வழக்கமான மும்மட்ட மேசர்கள் ஹீலியம் திரவத்தின் வெப்பநிலையிலேயே இயக்கப்படும் என முன்னர்க் கண்டோம். இது ஏன்? உயர்மட்டத்திற்கு ஏற்றப் படும் தற்சுழற்சிகள் தளர்முறைகளால் (relaxation processes) தாழ்நிலைக்கு ஏகும். எனவே, தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டிற்கு நமக்குக் கிடைக்கும் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தின் அளவு குறைகின்றது. எனவே, தளர் விளைவுகள் குறைக்கப்படவேண்டும். இது குறையவேண்டின் தளர் நேரங்கள் உயர்ந்த மதிப்புடையன வாக இருக்கவேண்டும். வெப்பநிலை தாழ்ந்தால் தளர் நேரங் களின் மதிப்புக் குறையும். ஹீலியம் திரவ வெப்பநிலையில் தளர் விளைவு மிகவும் குறைவு. ஆனால், தள்ளு - இழு மேசரில் நாம் இரு வகைகளில் தலைகீழாக்கத்தின் மதிப்பை உயர்த்துகின்றோம். எனவே, இரு மட்டங்களுக்குமிடையேயுள்ள தொகை வேறுபாடு (population difference) பெரிதாக இருக்கின்றது. எனவே, தளர் விளைவுகளால் ஏற்படும் இழப்பை இது நன்கு ஈடுசெய்யும். எனவே, உயர் வெப்பநிலைகளில்கூட இதனைப் பயன்படுத்தலாம்.

இவ்வாறு, ஹீலியம் திரவ வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலைகளிலும் தள்ளு-இழு மேசர் நன்கு செயல்படும் என்பதனை முதன்முதலாக டிச்ஃபீல்ட் (Ditchfield), ஃபாரெஸ்டர் (Forester) ஆகியோர் செய்து காட்டினர். அவர்கள் தள்ளு - இழு மாணிக்கப் பொந்து மேசரை (push-pull ruby cavity maser) 60° கெல்வின் வெப்பநிலையில் வெற்றிகரமாக இயக்கிக் காட்டினார்கள்.

அவர்கள் பயன்படுத்திய மேசர் பொந்து ஓர் உருளையாகும் (cylinder). அதன் அச்சின் ஊடே மையத்தில் இரண்டாகப் பிளக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் வாயிலாக 0·1% Cr உள்ள மாணிக்கம் உள்ளே வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப் பொந்து ஏறத் தாழ 24 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் (K - பட்டை) ஏற்றும் அதிர்வெண்ணிற்கும், ஏறத்தாழ 9·3 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சு களில் (X - பட்டை) சைகை அதிர்வெண்ணிற்கும் ஒத்திரும்

இயல்புடையது. பொந்து ஒரு திவார் குடுவையினுள் வைக்கப் பட்டிருக்கும். இதில் திரவ ஆக்சிஜனைப் பயன்படுத்தி 63° கெல்வி னுக்கும் 56° கெல்வினுக்கும் இடைப்பட்ட வெப்பநிலைகளைப் பெற லாம். வெப்பநிலை 60° கெல்வினுக்கு அருகில் இருக்கும்போது 9280 மெகா ஹெர்ட்சுகளுக்கும் 9520 மெகா ஹெர்ட்சுகளுக்கும் இடைப்பட்ட அதிர்வெண்களில் பெருக்கம் (amplification) ஏற்பட்டது. பொந்தினது Q மதிப்பு 20,000 ஆக இருந்தது; 30 டெசிபெல் (decibel) வரை ஈட்டம் கிட்டியது; ஈட்டத்தின் இருமடிமூலம், பட்டை அகலம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகை $(G^{\frac{1}{2}}B)$ 3·8 மெகா ஹெர்ட்சுகளாக இருந்தது. உள்ளிடப்பெறும் சைகையின் (input signal) திறன் 10^{-12} வாட்டுகளிலிருந்து 10^{-7} வாட்டுகள் வரை இருக்கும்போது இப் பெருக்குத்தொகை $(G^{\frac{1}{2}}B)$ இதே மதிப்பில் மாறாதிருக்கக் காணப்பெற்றது.

தள்ளு - இழு மேசரை அமைப்பதில் மாணிக்கப் படிகம் மிகவும் கவனத்துடன் சீராக்கிப் பொருத்தப்படவேண்டும் என்பது தெளிவு. வெப்பநிலை 56° கெல்வின் ஆனால் θ - ன் மதிப்பு 54° 44¹ - லிருந்து 1° விலகியிருந்தாலும் மேசர் செயல்படாது.

தள்ளு - இழு மேசரின் தனிச்சிறப்பு, அது உயர்வெப்ப நிலைகளிலும் செயல்படும் என்பதே. இதனால் ஹீலியம் திரவம் தேவையில்லை. எனவே, மேசரின் அமைப்பு எளிதாகின்றது. அதனோடு திரவ ஹீலியம் கிடைக்காத இடங்களிலும் தாழ் இரைச்சல் நிலைகளில் பெருக்கத்தை அடைய முடிகின்றது.

இதனைத் தொடர்ந்து அமைக்கப்பெற்ற மற்றத் தள்ளு - இழு மேசர்களும் X - பட்டை அதிர்வெண்களிலேயே செயல்படுத்தப் பெற்றன. ஏனெனில், இந்த அதிர்வெண் பகுதிதான் செய்தித் தொடர்பு (communication) துறையில் பெரும்பாலும் பயன் படுகின்றது. மேலும், இதற்கு உகந்த ஏற்றும் அதிர்வெண்ணைப் பயன்படும் K - பட்டை வரிசையில் உயர்ந்த திறனைப் பெறும் வழி வகைகளும் தோன்றின. நைட்ரஜன் திரவ வெப்பநிலையில் (78° கெல்வின் — 63° கெல்வின்) வேலை செய்வதற்கு ஏற்ப அமைப் பதற்காக வேண்டியும், பட்டை அகலத்தை அதிகரிப்பதற்காக வேண்டியும் பெரிய மாணிக்கப் படிகங்களைப் பயன்படுத்தும் வழி வகைகள் ஆராயப்பெற்று வருகின்றன. மாணிக்கம் ஒன்றுதான் தள்ளு - இழு மேசருக்கு மிகவும் உகந்த படிகமாக அமைந்திருந்

தாலும், இவ் வகை மேசர்கள் அவை தம் சிறப்புகளால் நல்லதோர் இடத்தைப் பெற்றுள்ளன.

5.8. இயங்குஅலை மேசர்

மேசர்கள் குறைந்த இரைச்சலுடைய பெருக்கிகளாகப் பயன் படுமெனக் கண்டோம். ஆனால், இவை நடைமுறையில் பயன் படுத்தப் பெறும்போது இவற்றின் பட்டை அகலம் (band width) அதிகமாயிருத்தல் நலம். ஆனால், நாம் கண்ட பொந்து மேசரில் பட்டை அகலமும் ஈட்டமும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையன; ஒன்றை அதிகரித்தால் மற்றது குறையும். எனவே, இதன் பட்டை அகலத்தை அதிகரிக்க வேண்டின் ஈட்டம் குறைவதைத் தடுக்கமுடியாது. இதனால் ஒரு தொல்லை உண்டு. நடைமுறைக் காரியங்களுக்கு மேசர் பெருக்கி, தொடக்கப் பெருக்கியாக (pre-amplifier) இருக்கும். அதனைத் தொடர்ந்து பல பெருக்கிகள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்வாறு இணைக்கப் பெற்ற பெருக்கிகளில் தொடக்கப் பெருக்கியின் ஈட்டம் அதிகமா யிருந்தால் எல்லாப் பெருக்கிகளும் சேர்ந்த அமைப்பின் மொத்த இரைச்சல் எண் (noise figure) ஆனது முதல் பெருக்கியின் இரைச்சல் எண்ணுக்குச் சமமாகும். இதனைப் பின்கண்ட சமன் பாட்டிலிருந்து எளிதில் புரிந்துகொள்ளலாம்.

மூன்று பெருக்கிகள் ஒன்றைத் தொடர்ந்து ஒன்றாக இணைக்கப் பெற்றிருந்தால் அவற்றின் மொத்த இரைச்சல் எண் F_{123} - ஐப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$F_{123} = F_1 + \left\{ \frac{(F_2 - 1)}{G_1} \right\} + \left\{ \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \right\} \quad \rightarrow (5.37)$$

இங்கே F_1, F_2, F_3 என்பன முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது பெருக்கிகளின் இரைச்சல் எண்கள். G_1, G_2 என்பன முதல், இரண்டாவது பெருக்கிகளின் ஈட்டம். எனவே, G_1 - ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்குமானால் $F_{123} \simeq F_1$ எனக் கொள்ளலாம். எனவே, முதல் பெருக்கியாக - தொடக்கப் பெருக்கியாக மேசரைப் பயன்படுத்தினால் பெருக்கிகளினது அமைப்பின் மொத்த இரைச்சல் எண் மேசரின் இரைச்சல் எண்ணுக்குச் சம மாகும். மேசரின் இரைச்சல் மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் மொத்த அமைப்பின் இரைச்சல் எண்ணும் குறைவாக இருக்கும். இது மேசரைப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள நன்மையாகும்.

ஆனல், பட்டை அகலத்தை அதிகரிப்பான் வேண்டி ஈட்டத்தைக் குறைத்தால் அப்போது மேற்கூறிய நிபந்தனை மாறிவிடுகின்றது. அதாவது முதல் பெருக்கியின் ஈட்டம் உயர்வாக இல்லை. எனவே, பெருக்கிகள் அமைப்பின் மொத்த ஈட்டம் முதல் பெருக்கியின் ஈட்டத்திற்குச் சமமெனக் கொள்ளக்கூடாது. [சமன்பாடு (5·36) - ஐ நோக்கவும்.] இந்த நிலையில் பெருக்கிகள் அமைப்பின் வெளிப்பாட்டிலுள்ள இரைச்சலில் பெரும்பகுதி தொடக்கப் பெருக்கி தவிர்த்த மற்றப் பெருக்கிகளின் இரைச்சலே யாகும். எனவே, தொடக்கப் பெருக்கியாக இத்தகைய மேசரைப் பயன்படுத்துவதில் நன்மை இல்லை. எனவே, உயர்ந்த ஈட்டம், அகன்ற பட்டை அகலம், தாழ்ந்த இரைச்சல் ஆகிய மூன்றும் ஒருங்கே கிடைக்கச் செய்யும் வழிவகைகளைத்தான் ஆராயவேண்டும்.

இதற்கான ஒரு வழி பல மேசர்களையே ஒன்றன்பின் ஒன்முக இணைத்துப் பயன்படுத்துவது. ஆனல், இதனினும் சிறப்பான பிறிதொரு வழியுள்ளது. அஃதாவது பெருக்கப்படும் சைகையானது படிகத்துடன் செயலெதிர்ச் செயல்படும் (interact) பாதையினை நீட்டித்தலே. ஆனல், இதனல் மேசரின் அளவு பெரியதாகிவிடும். இதனைத் தவிர்ப்பதற்குக் குறைவேக அலை அமைப்புகளைப் (slow wave structure) பயன்படுத்தலாம். இவ்வாறு அமைக்கப் பெற்ற மேசரே இயங்குஅலை மேசர் (travelling wave maser) எனப்படும். இது செயல்படும் நெறியினைக் காண்போம்.

குறைவேக அலைவழிப்படுத்தி அமைப்பு என்பது (slow wave waveguide structure) பின்கண்ட தன்மையுடையது. இதன் வழியாகச் செலுத்தப்படும் கதிர்வீச்சின் திசைவேகமானது (velocity) வெட்டவெளியில் (empty space) அக் கதிர் வீச்சின் திசைவேகத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இதனலேயே இதற்கு இப் பெயர் வழங்கப்படுகிறது. இவ்வாறு குறைந்த திசைவேகத்தில் செல்லும் அலையினது திறனைக் (P) கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்:

$$P = v_g W_s \qquad \longrightarrow (5{\cdot}38)$$

இங்கே v_g என்பது அலையின் குழுத்திசை வேகம் (group velocity); W_s என்பது அமைப்பினுடைய ஓர் அலகு நீளத்தில் சேமித்து வைக்கப்பெற்றுள்ள ஆற்றல். அமைப்பினது வடிவத்தைப் பொறுத்துத் திசைவேகக் குறைவு ஏற்படும். இக் குறைதலின்

அளவு அதிகமாயிருந்தால் W_s - ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும். எனவே, பெருமளவில் வேகக் குறைவு ஏற்படும்படி அமைப்பினைத் திட்டமிடுவதன் வாயிலாக ஒரு குறிப்பிட்ட உள்ளிடும் திறன் மட்டத்திற்கு (input power level) ரேடியோ அதிர்வெண் புலத்தின் மதிப்பினை அதிகரிக்கச் செய்யமுடியும்.

ஒரு குறைவேக அலை அமைப்பில் ரேடியோப்புலம் செறிவாக்கம் (concentration) பெற்றிருப்பதனை ஓர் ஒத்ததிர்வுப் பொந்தில் அதன் Q - காரணி வழியாக அடையக்கூடியதற்கு ஒப்பிடலாம். எனவே, ஒரு குறைவேக அலை அமைப்பினுள் ஒரு மேசர் படிகத்தை வைத்தால் மேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறவேண்டும். இருப்பினும், இரண்டிற்கும் பல முக்கியமான வேறுபாடுகள் உள்ளன. இயங்குஅலை மேசரில் உள்ள மேசர் பொருளின் ஒரு சிறு பகுதி வெளிவிடும் ஆற்றலால் அமைப்பின் வழியே செல்லும் ரேடியோ அதிர்வெண் புலத்தின் மதிப்பு அதிகரிக்கின்றது. அதனால் மேசர் பொருளின் அப் பகுதியை அடுத்தடுத்துள்ள பகுதிகள் ஆற்றலை வெளிவிடும் வீதம் அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். ஆனால், பொந்தில் ஏற்படுவதுபோல ஒரு பகுதி வெளி விடுவதால் அதிகரிக்கும் ரேடியோ அதிர்வெண் புலம் மீண்டும் அப் பகுதியுடன் வினைப்படுவது (react) இல்லை. எனவே, பொந்தில் நிகழும் மீண்டும் இயற்றுதல் (regeneration), அலைவுறுதல் ஆகியவை இயங்குஅலை மேசரில் அதன் புறச்சுற்றுகளில் (external circuits) — மைக்ரோ அலைச் சுற்றுகள்—ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளால்தான் நடைபெறவேண்டும்.

இதில் கையாளப்பெறும் அமைப்புகளின் கடத்தும் பட்டைகள் (pass - bands) மிகப் பெரியனவாக இருக்குமாதலான் இயங்குஅலை மேசரின் பட்டை அகலமானது மேசர் பொருளின் பராகாந்த ஒத்ததிர்வு வரி அகலத்தாலேயே நிர்ணயிக்கப்படும். இந்தப் பட்டை அகலம் ஈட்டம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கச் சீராகவே குறையும்.

5.9. இயங்குஅலை மேசரின் ஈட்டம்

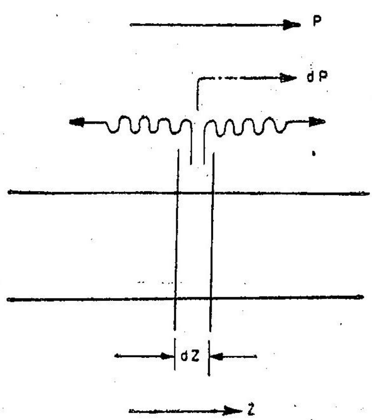
இயங்குஅலை மேசரின் ஈட்டத்தை இப்போது கணக்கிடுவோம். இது குறைவேக அலை அமைப்பினது பண்புக் காரணியையும் (Q_0), மேசர் பொருளின் காந்தப் பண்புக் காரணியையும் (Q_m) பொறுத்துளது. இவ்விரு காரணிகளையும் பின்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்:

$$\frac{1}{Q_0} = \frac{P_0}{2\pi f W_s} \longrightarrow (5\cdot39)$$

$$\frac{1}{Q_m} = \frac{P_m}{2\pi f W_s} \longrightarrow (5\cdot40)$$

இங்கே f என்பது மேசர் பெருக்கும் அதிர்வெண் ; P_0 என்பது மின்கடத்தாப் பொருள் இழப்பு (dielectric loss), ஓம் வகை இழப்பு (Ohmic loss) ஆகியவற்றால் அமைப்பின் ஓர் அலகு நீளத்தில் ஏற்படும் திறன் இழப்பு; P_m என்பது மேசர் படிகத்தின் ஓர் அலகு நீளத்தில் வெளிவிடப்படும் திறன்.

இயங்குஅலை மேசரின் ஊடே, ஒரு முனையிலிருந்து Z தூரத்தில் மேசர் படிகத்தில் ஒரு சிறு பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் நீளம் dZ எனக் கொள்வோம். படம் 5.9 காண்க. இச்சிறு



படம் 5.9. இயங்குஅலை மேசரின் ஒரு சிறு பகுதியிலிருந்து வெளியீடு.

பகுதி வெளிவிடும் ஆற்றலைக் கணிப்போம். இயங்குஅலை அமைப்புகளில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் முழுதும் முன்னோக்கியே செல்லும். எனவே, சிறு பகுதியின் குறுக்கே ஏற்படும் திறன் மாற்றம் dP ஆனது இப்பகுதியிலுள்ள மேசர் பொருள் வெளிவிடும் திறன் $P_m\, dZ$க்குச் சமமாகும். ஆனால், அமைப்பின் இந்த நீளத்திற்குள் $P_0 dZ$ இழப்பும் இருக்கும். ஆதலால், இந்த நீளத்தில் ஏற்படும் திறன் மாற்றம்,

$$dP = (P_m - P_0)\, dZ \longrightarrow (5.41)$$

P_m, P_0 ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை (5·38), (5·39) சமன்பாடுகளி லிருந்து பதிலிட,

$$dP = \left[\frac{2\pi f W^s}{Q_m} - \frac{2\pi f W_s}{Q_0}\right] dZ$$

அல்லது,

$$dP = 2\pi f W_s\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right]dZ \longrightarrow (5·42)$$

சமன்பாடு (5·37) - லிருந்து W_s - ன் மதிப்பைப் பயன்படுத்த,

$$dP = 2\pi f \frac{P}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right]dZ \longrightarrow (5·43)$$

அல்லது,

$$\frac{dP}{P} = \frac{2\pi f}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right]dZ \longrightarrow (5·44)$$

மேசரின் நீளமாகிய L - க்கும் O - க்கும் இடையில் தொகை காண (integrating),

$$log_e P = \frac{2\pi f}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right] L \longrightarrow (5·45)$$

இங்கே P என்பது மேசரில் ஏற்பட்ட திறன் பெருக்கமான தால் இது ஈட்டத்தைக் (G) குறிக்கும். எனவே,

$$log_e G = \frac{2\pi f}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right] L \longrightarrow (5·46)$$

ஆனால், ஈட்டம் (gain) வழக்கமாக டெசிபெல்களில் கொடுக்கப்பெறும். டெசிபெல்களில் (decibels) ஈட்டம் G_{db} ஆனால்,

$$G_{db} = 10\, log_{10} G \longrightarrow (5·47)$$

எனவே,

$$G_{db} = 10\, log_{10}^{e} \cdot log_e G$$

அல்லது,

$$G_{db} = 10\, log_{10}{}^{e} \,.\, \frac{2\,\pi f L}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right]$$

அல்லது,

$$G_{db} = 27{\cdot}3 f L \,.\, \frac{1}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right] \longrightarrow (5.48)$$

அல்லது,

$$G_{db} = 27{\cdot}3 \,.\, \frac{C}{\lambda}\,\frac{L}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right] \longrightarrow (5{\cdot}49)$$

இங்கே λ என்பது அலையினது அலைநீளம்; C என்பது வெட்ட வெளியில் அலையின் திசைவேகம். சமன்பாடு (5·48) - ஐப் பின் கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$G_{db} = 27{\cdot}3 \cdot \frac{L}{\lambda} \cdot \frac{C}{v_g}\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right]$$

அல்லது,

$$G_{db} = 27{\cdot}3 \frac{L}{\lambda}\, S\left[\frac{1}{Q_m} - \frac{1}{Q_0}\right] \longrightarrow (5.50)$$

இங்கே,

$$S = \frac{C}{v_g} \longrightarrow (5.51)$$

இந்த S என்பது வேகம் குறைக்கும் காரணி (slowing factor) எனப்படும்.

சமன்பாடு (5·49) - ஐப் பிரித்தெழுத,

$$G_{db} = 27{\cdot}3 \cdot \frac{L}{\lambda} \cdot S\left(\frac{1}{Q_m}\right) - 27{\cdot}3\ \frac{L}{\lambda} \cdot S\left(\frac{1}{Q_0}\right)$$

அல்லது,

$$G_{db} = G_0 - 27{\cdot}3 \frac{L}{\lambda} \,.\, S.\, \frac{1}{Q_0}$$

$$\text{இங்கே } G_0 = 27{\cdot}3\,\frac{L}{\lambda}.\,S.\,\frac{1}{Q_m} \longrightarrow (5{\cdot}52)$$

இந்த G_0 என்பது அமைப்பினது எலெக்ட்ரானிய ஈட்டம் (electronic gain) எனப்படும். அமைப்பில் இழப்புகளே இல்லை எனக் கொண்டால் G_0 தான் மேசரின் ஈட்டத்தைக் குறிக்கும் என்பது தெளிவு.

5.10 இயங்குஅலை மேசரின் அமைப்பு

மேலே கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து இயங்குஅலை மேசரின் ஈட்டம் உயர்வாக இருக்கவேண்டுமெனில் அதன் நீளம் L அதிகமாகவும், Q_m சிறியதாகவும், Q_0 பெரியதாகவும் இருக்கவேண்டுமென்பது தெரிகிறது.

இதில் நீளத்தை ஓரளவிற்குமேல் அதிகரிக்க முடியாது. வழக்கமாக இது 10 செ.மீ.க்குள் இருக்கும். ஏனெனில், அதிக நீளமுடைய, திருத்தமான குறைவேக அமைப்புகளைச் செய்வதில் பல நடைமுறைத் தொல்லைகள் உள்ளன. நீளம் அதிகமானால் மேசர் படிகமும் பெரியதாக இருக்கவேண்டும். ஆனால், ஒருபடித்தான (homogeneous) பெரிய படிகங்களைச் செய்வதும் அவ்வளவு எளிதன்று. மேலும், இப் படிகங்களில் நாம் விரும்பும் ஆற்றல் மட்டங்களை உண்டாக்க ஓர் ஒருபடித்தான காந்தப் புலத்தை உண்டாக்குவதும் தொல்லைமிக்க ஒன்றுதான்.

அடுத்து, Q_m - ன் மதிப்பைக் குறைக்கலாம். Q_m ஆனது நாம் பயன்படுத்தும் ஆற்றல் மட்டங்களையும், மேசர் இயங்கும் வெப்ப நிலையையும் பொறுத்து அமையும். 0·05% குரோமியம் உள்ள மாணிக்கப் படிகத்தில் Q_m - ன் மதிப்புக் குறைவாக இருக்கும். வாலிங் (Walling), ஸ்மித் (Smith) ஆகியோர் ஒரு துணைக்கோள் செய்தித் தொடர்பு நிலையத்திற்கு (satellite communication station) என அமைத்த இயங்குஅலை மேசரில் மாணிக்கப் படிகம் பயன்படுத்தப் பெற்றுள்ளது. இதில் படிகத்தின் *z* - அச்சிற்கு 90° கோணத்தில் காந்தப் புலம் தொழிற்படுத்தப் பெறுகின்றது. 1·5° கெல்வின் வெப்பநிலையில் செயல்படும் இதன் Q_m மதிப்பு ஏறத்தாழ 6 ஆகும்.

மேலும், v_g - ன் மதிப்பையும் குறைக்கலாம். அதாவது, உயர்ந்த S மதிப்புடைய குறைவேக அலை அமைப்பினைப்

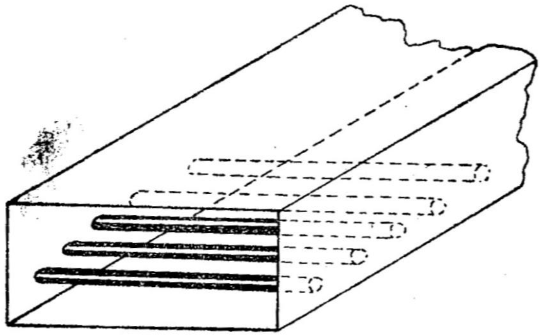
பயன்படுத்த வேண்டும். நடைமுறையில் மூவகையான குறை வேக அலை அமைப்புகள் உள்ளன. அவை மின்கடத்தாப் பொருள் (dielectric type), வடிவ வகை (geometric type), ஒத்ததிர்வு வகை (resonant type) ஆகும்.

இவற்றுள் மின்கடத்தாப் பொருள் வகையானது பிந்தைய இருவகைகளில் ஏதேனும் ஒன்றுடன் சேர்த்தே பயன்படுத்தப் பெறும். இதைமட்டிலும் தனியாகப் பயன்படுத்துவதில்லை. ஏனெனில், ஒரு மின்கடத்தாப் பொருளினுல் ஏற்படும் வேகம் குறைக்கும் காரணியின் மதிப்பு அப் பொருளின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (dielectric constant) யையும், வடிவ அமைப்பை யும் (geometrical arrangement) பொறுத்தது. மாணிக்கப் படிகத் தின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 10. இதனுல் 2 அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அளவில் வேகம் குறைக்கும் காரணி இருக்கும். எனவே, மாணிக்கத்தைப் பயன்படுத்துவது பெரு நன்மை பயக்கும்.

இயங்குஅலை குழாய் (travelling wave tube) போன்ற எலெக்ட்ரான் குழாய் அமைப்புகளில் பயன்படுகின்றது போன்ற திருகு சுழல் (helix) ஒரு சிறந்த வடிவ அமைப்பாகும். இதனுல் மிக அகன்ற பட்டை அகலத்தைப் பெறமுடியும். இதன் வேகம் குறைக்கும் காரணி 100 ஆக இருக்கும். இருப்பினும், இது மேசர் களில் பயன்படுத்துவதற்கு அவ்வளவாக உகந்ததன்று. ஏனெனில், மேசரில் சைகையினது ரேடியோ - அதிர்வெண் காந்தப்புலமானது (r. f. magnetic field) படிகத்தில் நாம் விரும்பும் ஆற்றல் மட்டங் களை உண்டாக்கும் நிலைகாந்தப் புலத்திற்கு (static magnetic field) நேர்க்குத்தான திசையில் இருக்கவேண்டும். ஆனுல், வழக்கமான திருகு சுழல் கம்பியினைப் (helical wire) பயன்படுத்தினுல் ரேடியோ-அதிர்வெண் புலமானது ஒரே திசையில் இராது; சுருள் வில்லாகச் (spirals) சுற்றி வரும். ஆனுல், திருகுசுழலைச் சற்றுத் தட்டையாக்குவதன் வாயிலாக இந்தத் தொல்லையைத் தவிர்க்க லாம். திருகுசுழல் அமைப்பினுல் ஏற்படக்கூடிய வேகக் குறைவு காரணியானது திருகுசுழலின் புரியிடைத் தூரத்தைப் (pitch) பொறுத்திருக்கும். எனவே, மெல்லிய கம்பியினை நெருக்கமாகச் சுற்றித் திருகுசுழலை அமைத்தல் சிறந்தது.

குறைவேக அலை அமைப்புகளில் ஒத்ததிர்வு வகையானது சாதாரணமாகக் காலாந்தர அமைப்பினை (periodic structure) உடையது. இது ஒரு குறிப்பிட்ட பட்டையில்தான் செயல்படும்.

ஆனால், இதன் பட்டை அகலத்தை நன்கு பெரியதாக இருக்கும்படி அமைத்துக்கொள்ளலாம். ஈசிட்ரான் (easitron) என்பது ஒரு காலாந்தர அமைப்பாகும். இதன் பட்டை அகலம் குறுகலாக இருக்கும். இது படம் 5.10 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 5.10. ஈசிட்ரான்.

இது அலை நீளத்தில் பாதி நீளமுடைய கம்பிகளால் ஆனது. இக் கம்பிகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக (parallel) இருக்கும்படி அலை வழிப்படுத்தியின் சுவர்களுக்கு இடையே பொருத்தப்பெற்றிருக்கும். இக் கம்பிகளுக்கு ஒருபுறத்தில் மேசர் படிகம் வைக்கப்பெற்றிருக்கும்; மறுபக்கத்தில் தனிமைப்படுத்தும் படிகம் (isolating crystal) இருக்கும். இந்தத் தனிமைப்படுத்தும் படிகமானது பின்புறமாகச் செல்லும் அலைகளை உறிஞ்சிவிடும். இதனால் முன்னோக்கிச் செல்லும் அலைகளை மட்டிலும் பெறமுடிகின்றது. நிலைக் காந்தப் புலமானது சைகையின் புலத்தினுக்கு நிலைக்குத்தான திசையில் செயல்படும்படி அமைக்கப்படுகின்றது.

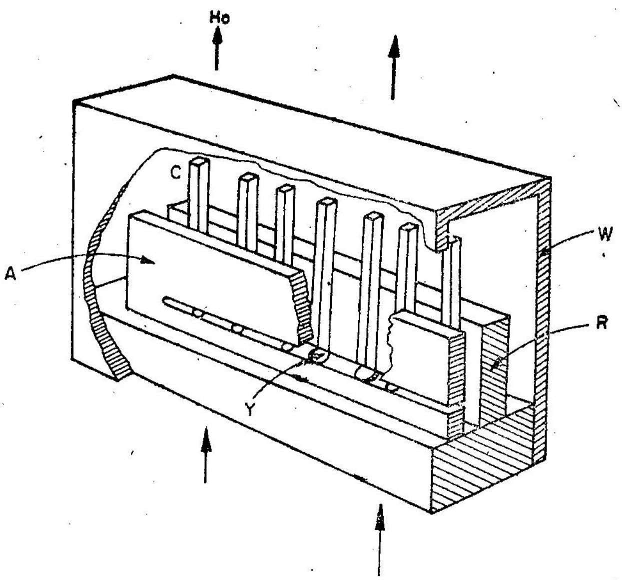
இத்தகைய அமைப்பின் பட்டை அகலம் குறுகலாக இருக்கும். ஆனால், கம்பிகளை ஒருக்கணித்தபடி (சாய்வாக) இருக்கும்படி அமைத்தாலோ அல்லது அலைவழிப்படுத்தியினை ஒரு மின்கடத்தாப் பொருளினால் நிரப்புவதாலோ பட்டை அகலத்தை அதிகரிக்க முடியும்.

ஒரு காலாந்தர அமைப்பினது வேகம் குறைக்கும் காரணியைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$S \simeq \frac{\lambda}{2p} \frac{f}{\Delta f} \qquad \longrightarrow (5{\cdot}53)$$

இங்கே f என்பது மைய அதிர்வெண் ; Δf என்பது பட்டை அகலம் ; λ என்பது மைய அதிர்வெண்ணுக்கான அலைநீளம் ; p என்பது புரியிடைத் தூரம் ; அதாவது, அடுத்தடுத்துள்ள இரு கம்பிகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம். எனவே, p-ன் மதிப்பு குறையக்குறைய வேகம் குறைக்கும் காரணியின் மதிப்பு அதிகரிக்கும் என்பது தெரிகின்றது.

ஒத்ததிர்வு வகையில் மற்றொன்று சீப்பு அமைப்பாகும் (comb structure). இதுதான் முதன்முதலாக வெற்றிகரமாக உருவாக்கப்பட்ட இயங்குஅலை மேசரில் பயன்பட்ட அமைப் பாகும். இந்த மேசரை உருவாக்கியோர் டி கிராஸ் (De Grasse), ஷூல்ட்ஸ் - டு பாய்ஸ் (Schultz - Du Bois), ஸ்கோவில் (Scovil) ஆகியோராவர். இது படம் 5.11 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 5.11. சீப்பு அமைப்புடைய இயங்குஅலை மேசர்.

சீப்பு அமைப்பில் சைகையின் அலை நீளத்தில் கால் பங்கு நீளமுடைய $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ கம்பிகள் (c) பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. இவை அலைவழிப்படுத்தியின் (W) மையத்தில் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும்படி அலைவழிப் படுத்தியின் ஒரு பக்கச் சுவரில்

மட்டும் பொருத்தப்படுகின்றன. அடுத்தடுத்துள்ள கம்பிகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் (புரியிடைத் தூரம்) 2 மி. மீ. இதனுல் 4170 மெகா ஹெர்ட்சுகள் அதிர்வெண்ணுடைய சைகை இதன் வழியே செல்ல முடிகின்றது. இவ்வலைகளின் குழுத் திசை வேகம் (group velocity) v_g ஆனது வெட்ட வெளியில் ஒளியினது வேகத்தில் நூறில் ஒரு பங்கு ; அதாவது, வேகம் குறைக்கும் காரணி 100. இந்தக் கம்பிகள் அமைப்பிற்கு ஒரு புறத்தில் மாணிக்கப் படிகம் (R) வைக்கப்படும். இம் மாணிக்கப் படிகத்தில் ஒன்ருவது, நான்காவது மட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள 4170 மெகா ஹெர்ட்சுகளே சைகையைப் பெருக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. 3280 ஓர்ஸ்டெட் காந்தப் புலமானது படிகத்தின் அச்சிற்குச் செங்கோணமான திசையில் ($\theta = 90°$) செயல் படுத்தப் பெறுகின்றது. பெருக்கப்படும் அலைகள் பின்னேக்கிச் செல்லாமல் உறிஞ்சப் படுவதற்கென எட்ரியம் இரும்பு கார்னெட் வட்டுகள் (yttrium iron garnet discs) (Y) பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. ஓர் அலுமினு (alumina) செவ்வகத் துண்டு (A) ஒன்று இந்தத் தகடுகள் நிலைபெயராமல் இருக்கும்படி செய்கின்றது.

கம்பி அமைப்பிற்கும் அலுமினுத் துண்டிற்கும் இடையில் ஒரு மெல்லிய மெலினக்ஸ் (melinex) தகடு வைக்கப்படுகின்றது. (இது படத்தில் காட்டப் பெறவில்லை). இதனுல் குறைவேக அமைப்பினது பண்புகளைச் சரி செய்துகொள்ளலாம். சைகையின் காந்தப் புலம் கம்பிகளுக்கு நிலைக்குத்தான திசையில் இருக்கும். இக் காந்தப் புலம் கம்பிகளுக்கு இருபுறத்திலும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் வட்டமுனைவாக்கம் (circularly polarised) பெற்றிருக்கும். ஏற்றும் அதிர்வெண் 30150 மெகா ஹெர்ட்சுகள். இது அலைவழிப் படுத்தியின் வழியே நேரடியாகச் செலுத்தப்படுகின்றது.

5·11. இயங்குஅலை மேசரின் பட்டை அகலம்

மேசர் படிகத்தினது வரி அகலத்தை (line width) விட அகன்ற பட்டை அகலம் உடைய குறைவேக அலை அமைப்புகளை உருவாக்க முடியும். எனவே, இயங்குஅலை மேசரின் சிறும பட்டை அகலம் (minimum band width) மேசர் படிகத்தைப் பொறுத்திருக்கின்றது. மேசரின் பட்டை அகலத்தைக் (B) கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டினுல் குறிக்கலாம்.

$$B = \frac{1}{\pi T_2} \sqrt{\frac{3}{G_0 - 3}} \qquad \longrightarrow (5·54)$$

இங்கே T_2 என்பது படிகத்தின் தற்சுழற்சி—தற்சுழற்சித் தளர் நேரம் (spin—spin relaxation time); G_0 என்பது முன்னர்க் குறித்ததுபோல் எலெக்ட்ரானிய ஈட்டம் (electronic gain). G_0-ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்குமானல் இதனை,

$$B = \frac{1}{\pi T_2}\sqrt{\frac{3}{G_0}}$$

எனத் தோராயமாகக் குறிக்கலாம். எனவே,

$$BG_0^{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{\pi T_2} \longrightarrow (5 \cdot 55)$$

எனவே, பட்டை அகலம், ஈட்டத்தின் இருமடிமூலம் (square root) ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை ஒரு மாறிலி (constant) எனக் கொள்ளலாம். இம் மாறிலியின் மதிப்புப் படிகத்தின் தன்மையை மட்டிலுமே பொறுத்திருக்கின்றது என்பது தெளிவு. மேலும், இம் மதிப்பானது ஒரு தனிப் பொந்து மேசரால் பெறக்கூடியதை விட மிகமிகப் பெரிதாக இருக்கும்.

5·12. இயங்குஅலை மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு

இயங்குஅலை மேசரின் திறன் வெளிப்பாடானது தூண்டப் பெற்ற வெளியீட்டு நிகழ்ச்சியில் பயன்படக் கூடிய தற்சுழற்சிகளின் (spins) எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருக்கின்றது. இயங்குஅலை அமைப்புகளினுள் ஒரு பெரிய படிகத்தை வைக்க முடியும் ; பொந்து அமைப்புகளினுள் சிறிய படிகத்தினைத் தான் வைக்கமுடியும் என்பதனை நினைவில் கொண்டால் இயங்குஅலை மேசரில் கிடைக்கும் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை அதிகம் என்பதும் அதனல் திறன் வெளிப்பாடும் அதிகம் என்பதும் தெற்றெனப் புலனுகும்.

6. இருமட்ட மேசர்கள்

6.1. இருமட்ட மேசர்கள்

மேசர்களில் எளிய வகையெனக் கருதக்கூடியவை இருமட்ட மேசர்களே (two level masers). நாம் முன்னரே பார்த்த அம்மோனியா மேசர் ஓர் இருமட்ட மேசராகும். இருமட்ட மேசரின் அடிப்படைத் தத்துவத்தை இது தெற்றென விளக்குகின்றது. இது ஒரு வாயு மேசர்; இது சிக்கலற்றது. ஆனால், திடப்பொருள்களைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்பெறும் இருமட்ட மேசர்களில் பல பிரச்சினைகள் உள்ளன. எனவே, அவற்றைத் தனியே ஈண்டுக் காண்போம்.

இருமட்ட மேசர் பொருளாகப் பயன்படும் திடப்பொருளில் இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்கள் இருக்கவேண்டும் என்பது நாமறிந்ததே. எனவே, நாம் விரும்பும் அதிர்வெண்ணிற்கு இயைந்த ஆற்றல் வேறுபாடு (energy difference) உடைய இரண்டு மட்டங்களைக்கொண்ட ஒரு திடப்பொருளைத் தேர்ந்தெடுத்துக்கொள்ளலாம். இத்தகைய பண்புடைய பராகாந்தப் பொருள்கள் (para magnetic substances) பல உள்ளன. காட்டாக, F மையங்களை (F centers) உடைய MgO, SiO_2 போன்றவற்றைக் கூறலாம். இவற்றின் பராகாந்த மையங்களின் செயலுறு தற்சுழற்சி (effective spin) $S=\frac{1}{2}$ ஆக இருக்கும். எனவே, $2S+1=2$ ஆற்றல் மட்டங்கள் கிட்டுகின்றன. இவற்றை, செஸ்டர் (Chester), வாக்னர் (Wagner), காசில் (Castle) ஆகியோர் பயன்படுத்தி இருமட்ட மேசரை அமைத்துள்ளனர்.

இரண்டு மட்டங்களே மட்டுமல்லாது பல மட்டங்களையுடைய பொருள்களையும் இருமட்ட மேசர் அமைக்கப் பயன்படுத்தலாம். அத்தகைய பொருள்களின் பல மட்டங்களில் நமக்குத் தேவை

யான இரண்டினை மட்டிலும் பொறுக்கி எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். ஆனால், இதில் ஒரு குறைபாடு உண்டு. பொருளில் உள்ள தற்சுழற்சிகளின் மொத்த எண்ணிக்கையானது பல்வேறு மட்டங்களிலும் பகிர்ந்து இருக்கும். எனவே, மேசர் பெருக்கத் திற்குப் பயன்படும் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை, அதாவது, அவ்விரு மட்டங்களில் மட்டிலும் உள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையானது பொருளிலுள்ள தற்சுழற்சிகளின் மொத்த எண்ணிக்கையைவிடக் குறைவு. இதனால் ஒத்ததிர்வு வரியினது (resonance line) அகலம் அதிகரிக்கலாம்.

மேசர் செயல் நிகழ வேண்டின் முதலில் தற்சுழற்சிகளின் தொகையில் தலைகீழாக்கத்தை (population inversion) ஏற்படுத்த வேண்டும் என்பது நாமறிந்ததே. அம்மோனியா மேசரில் இது மிகவும் திறம்படச் செய்யப்படுகின்றது. அதில், மேசர் விளைவு நிகழும் பொந்திற்குள் வருகின்ற மூலக்கூறுகளில் அனேகமாக யாவுமே உயர்மட்டத்தில் உள்ளன என்று கொள்ளலாம். ஆனால், இத்தகைய நிலையைத் திடப்பொருள்களில் ஏற்படுத்த இயலாது. சாதாரணமாகத் தாழ்மட்டத்தில் உள்ள எண்ணிக்கை உயர் மட்டத்திலும், உயர்மட்டத்தில் உள்ள எண்ணிக்கை தாழ்மட்டத் திலும் இருக்கும்படிதான் செய்யக்கூடும்.

இத்தகைய தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு மூன்று வழிகள் உள்ளன. அவையாவன: (1) 180° துடிப்பு உத்தி (180° pulse technique), (2) புலமாற்றம் முறை (field reversal method), (3) வெப்பம் மாறா விரைவான நிலைமாற்றம் (adiabatic rapid passage). இவற்றுள் முதல் இருமுறைகளும் மிகவும் உயர்ந்த மதிப்புடைய தளர் நேரங்களைக்கொண்ட அணுக்கரு காந்த ஒத்ததிர்விற்கே (nuclear magnetic resonance) பெரும்பாலும் பயன் படுத்தப்பெறுகின்றன. இவற்றை மேசர் நிகழ்ச்சிக்கான எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்விற்கு ஏற்ற வகையிலும் மாற்றி அமைத்துக்கொள்ள முடியும். இருப்பினும் அவை இருமட்ட மேசர்களை அமைப்பதற்கு அவ்வளவு ஏற்புடையனவாகக் காணப் பெறவில்லை. எனவே, அவற்றைப்பற்றி மேற்கொண்டு விவாதிக் காமல் மூன்றாவது முறையாகிய வெப்பம் மாறா விரைவான நிலை மாற்றம் (adiabatic rapid passage) முறையினை மட்டிலும் இவண் காண்போம்.

இருமட்ட மேசர் வேலை செய்வதனைப்பற்றி அறியப்புகு முன்னர் இதுபற்றிய பிறிதோர் உண்மையினையும் நாம் உணர்ந்து கொள்ள வேண்டியவர்கள் ஆகின்றோம். நாம் இதுகாறும் கண்ட

அம்மோனியா மேசர், மும்மட்ட மேசர்கள் ஆகியவை தொடர்ச்சியாக, இடையீடின்றிச் செயல்படும் திறம் வாய்ந்தவை. அம்மோனியா மேசரில் பொந்திற்குள் தொடர்ச்சியாக உயர்மட்ட மூலக் கூறுகளை அனுப்பியவண்ணம் இருக்கலாம். எனவே, மேசர் நிகழ்ச்சி இடையீடின்றி நடைபெறும். அவ்வாறே, மும்மட்ட மேசரிலும் முதல் மட்டத்திலும் மூன்ருவது மட்டத்திலும் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை எப்போதும் சமமாக இருக்கும்படி செய்யமுடியும். ஏற்றும் அதிர்வெண்ணுனது, தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டால் வரும் அதிர்வெண்ணிலிருந்து மாறுபட்டுள்ளதால் மும்மட்ட மேசரைத் தொடர்ந்து இயங்கும்படி செய்யமுடிகின்றது.

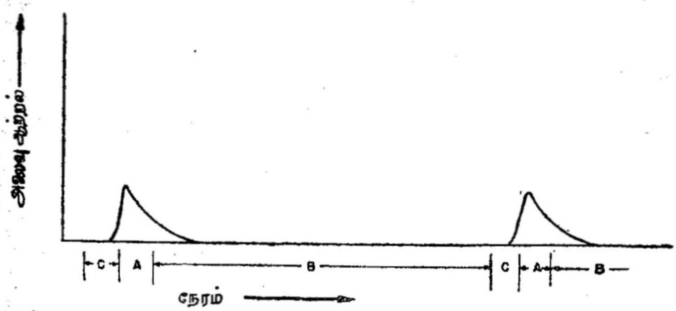
ஆனல், இருமட்ட மேசர் வேலைசெய்யும் தத்துவம் இதனின்று மாறுபட்டது. இதில் இருமட்டங்களே பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. எனவே, எப்போதும் உயர்மட்டத்தில் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை தாழ்மட்டத்திலுள்ளவற்றின் எண்ணிக்கையைவிட அதிகமாக இருக்கும்படி பார்த்துக்கொண்டால்தான் மேசர் நிகழ்ச்சி தொடர்ந்து நடைபெறும். ஆனல், தொடர்ந்து இவ்வாறிருக்கும்படி செய்வது இயலாத ஒன்று. ஏன்?

துவக்கத்தில் வெப்பச் சமநிலையில் உயர்மட்டத் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையானது தாழ்மட்டத் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையைவிடக் குறைவு. மேலேகூறிய மூன்று முறைகளில் ஏதேனும் ஒன்றைப் பயன்படுத்தித் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்ருேம். இப்போதுதான் மேசர் நிகழ்ச்சி ஏற்படும். மேசர் நிகழ்ச்சியின்போது ஆற்றல் வெளிப்படுகின்றது ; உயர்மட்டத் தற்சுழற்சிகள் தாழ்மட்டத்திற்கு ஏகுகின்றன. எனவே, தாழ்மட்டத் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கத் தொடங்கும் ; உயர்மட்டத் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை குறையத் தொடங்கும். தூண்டப்பெற்ற வெளியீடுமட்டுமல்லாது வேறு இரண்டு காரணங்களாலும் தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை உயர்மட்டத்தில் குறைந்து தாழ்மட்டத்தில் அதிகரித்துப் பழைய வெப்பச் சமநிலையை எய்தும்.

இவை முறையே தன்னிச்சையான வெளியீடு (spontaneous emission), தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு (spin lattice relaxation) ஆகியவை யாகும். இவற்றுள் தன்னிச்சையான வெளியீட்டால் வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு மேசர் இரைச்சலாக (maser noise) அமையும். ஆனல், மைக்ரோ அலைகளுக்கு இந்தத் தன்னிச்சையான வெளியீடு மிகமிகக் குறைவு என முன்னரே கண்டுள்ளோம்.

எனவே, இதனை நாம் புறக்கணிக்கலாம். ஆனால், தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு அவ்வாறன்று. எனவே, தற்சுழற்சிப் பின்னல் தளர்வினால் பாதிக்கப்படுவதன் முன்னர் மேசர் நிகழ்ச்சி விளையும் படி நாம் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும்.

எனவே, சைகைப் பெருக்கம் ஒரு மிகக் குறுகிய காலத்திற்கே நடைபெறும்; பின்னர்த் தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நிகழ்ச்சியால் வெப்பச் சமநிலையை எய்தும்வரை பயனுள்ள பெருக்கம் ஏதும் கிட்டாது. வெப்பச் சமநிலை எய்திய பின்னர் மீண்டும் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தவேண்டும். இப்போது மேசர் நிகழ்ச்சி மீண்டும் நடைபெறும். இந்த நிகழ்ச்சிகளின் வரிசையினைப் படம் 6.1 விளக்குகின்றது.



படம் 6.1. இருமட்ட மேசர் செயல்படும் வரிசை.

இது அலைவுறும் ஆற்றலுக்கும், நேரத்திற்கும் இடையே வரையப் பட்ட வரைபடம் ஆகும். x - அச்சில் நேரமும் y - அச்சில் அலைவுறும் ஆற்றலும் எடுத்துக்கொள்ளப் பெற்றுள்ளன. படத்தில் A - பகுதி மேசர் செயல்படும் நேரத்தையும், B - பகுதி தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வினால் வெப்பச் சமநிலையை எய்தும் நேரத்தையும், C - பகுதி தொகைத் தலைகீழாக்கம் நிகழும் நேரத்தையும் குறிக்கின்றன.

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து இருமட்ட மேசரில் பெருக்கம் விட்டுவிட்டுத்தான் நிகழும் என்பதும், மேசர் பெருக்கம் நிகழும் நேரம் ஒரு குறுகிய காலம்தான் என்பதும் தெரிகின்றது. அடுத் தடுத்த மேசர் பெருக்கங்கள் நிகழ்வதற்கு இடைப்பட்ட நேரம் நமக்குப் பயனற்ற நேரமாகும். இதனைக் குறைத்துக் கொள்வது நல்லது. எனவே, தற்சுழற்சி - பின்னல் தளர்வு நேரம் குறைவாக உள்ள படிகங்களைத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும்.

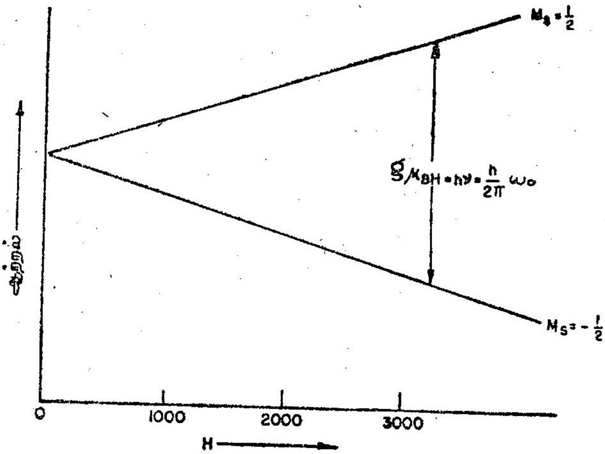
இருமட்ட மேசர் இவ்வாறு விட்டுவிட்டுச் செயல்படும் இயல்புடையதாலும், அதாவது ஒரு துடிப்பு மேசராகச் (pulsed maser) செயல்படுவதாலும், பெருக்கங்களுக்கு இடைப்பட்ட நேரம் பெரிதாக இருப்பதாலும் இது சென்டி மீட்டர் அலை வரிசைகளில் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப் பெறுவதில்லை. சென்டி மீட்டர் அலைவரிசைகளில் மும்மட்ட மேசர்களே பெரிதும் விரும்பப்படுகின்றன. ஆனால், மில்லி மீட்டர் அலைவரிசைகளிலும், அதனினும் குறைந்த அலை நீளமுடைய அலைவரிசைகளிலும் மும்மட்ட மேசர்களைப் பயன்படுத்துவது அவ்வளவு எளிதன்று. ஏனெனில், இம் மேசர்களில் ஏற்றும் அதிர்வெண்ணனது சைகை அதிர்வெண்ணை விட உயர்வானதாக இருக்கவேண்டும். எனவே, இவற்றிற்கு உகந்த உயர் அதிர்வெண்ணுடைய திறன் மூலங்களைப் (power sources) பெறுவது அவ்வளவு எளிதன்று. ஆனால், இருமட்ட மேசர்களில் இத்தகைய தொல்லை இல்லை. எனவே, மில்லி மீட்டர் அலை வரிசைகளிலும் அதனினும் குறைந்த நீளமுடைய அலைவரிசைகளிலும் இருமட்ட மேசர்களே பயன்படுத்தப்பெறும்.

6·2. தொகைத் தலைகீழாக்கம்

இருமட்ட மேசருக்குப் பயன்படும் பராகாந்தப் பொருளில் படிகத்தோடு மிகவும் வலுவற்ற முறையில் இணைக்கப்பெற்றுள்ள எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சிகள் உள்ளன என்று கொள்ளலாம். இந்தக் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களில் (free electrons) நமக்குத் தேவையான இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களை ஒரு காந்தப்புலத்தைக் கொண்டு ஏற்படுத்தலாம். இக் காந்தப் புலத்தின் மதிப்பு H எனக் கொள்வோம்.

எலெக்ட்ரான்களைச் சிறிய காந்தங்கள் (magnets) எனக் கொள்ளலாம். இத்தகைய ஒரு சிறு காந்தத்தின் காந்தத் திருப்பு திறன் (magnetic moment) ஒரு போர் மாக்னட்டான் (Bohr magneton) எனப்படும். இதன் மதிப்பு μ_B ஆகும். எனவே, நாம் தொழிற்படுத்தும் காந்தப் புலத்திற்கு $\theta°$ கோணத்தில் இக் காந்தம் ஒன்று சாய்ந்திருக்குமானால் அதன் ஆற்றல் μ_B H Cos θ என்பது நாமறிந்ததே. ஆனால் இடஞ்சார்ந்த குவான்டப் படுத்துதல் (spatial quantization) விதிகள்படி எலெக்ட்ரான்கள் காந்தப் புலத்தின் திசையிலோ அல்லது அதற்கு எதிர்த் திசையிலோதான் இருக்க முடியும். எனவே, இந்த எலெக்ட்ரான் காந்தங்களின் ஆற்றல்கள் μ_B H, — μ_B H எனத்தான் இருக்க முடியும். காந்தப் புலம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இவ்விரண்டு ஆற்றல் நிலைகளுக்கும்

இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு (energy difference) அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். இது படம் 6.2-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 6.2. ஒரு நிலைக்காந்தப் புலத்தில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

எனவே, H-ன் மதிப்பைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்வதன் வாயிலாக நமக்குத் தேவையான ஆற்றல் வேறுபாட்டினைப் பயன்படுத்தலாம். அதாவது, பெருக்கப்பட வேண்டிய சைகையின் கோண அதிர்வெண் (angular frequency) ω_0 ஆனால், பின்கண்ட சமன்பாட்டிற்கு இயைந்தவாறு H-ன் மதிப்பைத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும்.

$$2\,\mu_B\,H = \frac{h}{2\pi}\,\omega_0 \qquad \longrightarrow (6{\cdot}1)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டைப் பொதுப்படையாகப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$g\mu_B\,H = \frac{h}{2\pi}\,\omega_0 \qquad \longrightarrow (6{\cdot}2)$$

இங்கே g என்பது லாண்டேயின் பிரிக்கும் காரணி (Lande's splitting factor). இங்கு அதன் மதிப்பு 2 எனக் கொள்ளலாம்.

எலெக்ட்ரான்கள் முற்றிலும் கட்டற்றவையாக (completely free) இருக்குமானால், காந்தப் புலத்தைத் தொழிற்படுத்திய சிறிது

நேரத்திலேயே எலெக்ட்ரான் காந்தங்களில் பாதி எண்ணிக்கை புலத்திற்கு இணையாகவும் எஞ்சிய பாதி புலத்திற்கு எதிர்த் திசையிலும் அமையும். ஆனால், இதனைத் தொடர்ந்து தற்சுழற்சியானது படிகப் பின்னலுடன் செயலெதிர்ச் செயல்படும் (interact); தற்சுழற்சிகள் ஆற்றலை இழக்கும். இதனால் காந்தப் புலத்திற்கு இணையான திசையில் அதிகமான தற்சுழற்சிகளும் (எலெக்ட்ரான் காந்தங்கள்) எதிர்த் திசையில் குறைவான தற்சுழற்சிகளும் அமையும். இவ்வாறு ஒரு வெப்பச் சமநிலை அடைவதற்கான நேரம் வெப்பத் தளர்வு நேரம் (thermal relaxation time) T_1 ஆகும். இவ்வாறு சமநிலை அடைந்த நிலையில் தாழ்மட்டத்தில் (காந்தப் புலத்திற்கு இணையான திசையில்) N_1 தற்சுழற்சிகளும் (எலெக்ட்ரான் காந்தங்களும்), உயர் மட்டத்தில் (காந்தப் புலத்திற்கு எதிர்த் திசையில்) N_2 தற்சுழற்சிகளும் உள்ளன என்று கொண்டால், மாக்ஸ்வெல் - போல்ட்ஸ்மன் புள்ளியியல் படி (Maxwell - Boltzmann Statistics),

$$N_2 = N_1 \, e^{\frac{-2\,\mu_B H}{kT}} \longrightarrow (6\cdot3)$$

இங்கே T என்பது வெப்பநிலை (டிகிரி கெல்வினில்), k என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி.

$2\mu_B$ H ஆனது kT - ஐ விட மிகச் சிறிதாக இருக்குமானால்,

$$N_2 = N_1 - N_1 \left(\frac{2\,\mu_B H}{kT} \right)$$

அல்லது,

$$N_1 - N_2 = \frac{2\,N_1\,\mu_B H}{kT} \longrightarrow (6.4)$$

என எழுதலாம். இரு மட்டங்களிலும் உள்ள தற்சுழற்சிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை N ஆனால் $N = 2\,N_1$ எனத் தோராயமாகக் கொள்ளலாம். எனவே,

$$N_1 - N_2 = \frac{N\,\mu_B H}{kT} \longrightarrow (6\cdot5)$$

$N_1 - N_2$ என்பதுதான் நமக்கு மேசர் நிகழ்ச்சியில் பயன்தரக் கூடிய தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கையாகும். இதனைத் தற்சுழற்சி

களின் செயலுறு எண்ணிக்கை (effective number of spins) எனக் கூறலாம். ஓர் எலெக்ட்ரான் காந்தத்தின், அதாவது, ஒரு தற்சுழற்சியின் காந்தத் திருப்புதிறன் ஒரு போர் மாக்னட்டான் எனக் கண்டோம். எனவே, செயலுறு தற்சுழற்சிகளின் மொத்த காந்தத் திருப்புதிறன் (magnetic moment)

$$\mathbf{M} = \frac{N \mu_B^2 \mathbf{H}}{kT} \longrightarrow (6{\cdot}6)$$

[தடித்த எழுத்துகள் வெக்டார்கள் (vectors)]. காந்தத் திருப்பு திறன் அல்லது காந்தமாக்கல் வெக்டார் (magnetization vector) **M** - ஐ ஒரு தனிக் காந்தமாகக் கருதலாம். இது காந்தப் புலத்தின் (**H**) திசையில் இருக்கும்.

மேசர் நிகழ்ச்சிக்கான தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்த வேண்டுமெனில் காந்தப் புலத்தின் திசையிலுள்ள இந்தக் காந்த மாக்கல் வெக்டாரைப் புலத்திற்கு எதிர்த்திசையில் இருக்கும்படி மாற்றவேண்டும். நாம் செய்யவேண்டுவது இதுவே. வெப்பம் மாறு விரைவான நிலைமாற்றம் முறையில் இது எவ்வாறு செய்யப் படுகின்றது என்பதனை இப்போது காண்போம்.

6.3. வெப்பம் மாறு விரைவான நிலைமாற்றம்

காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டார் (**M**) ஆனது காந்தப் புலத்தின் (**H**) மீது ஓர் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கம் (precessional motion) உடையதாக இருக்கும். இந்த அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத் தினது கோண அதிர்வெண்ணைக் (angular frequency) கீழ்க் கண்டவாறு கணக்கிடலாம்:

ஒரு கட்டற்ற எலெக்ட்ரானின் (free electron) தற்சுழற்சி **S** எனக் கொள்வோம். இங்கு **S** ஆனது $\frac{h}{2\pi}$ அலகுகளில் எடுத்துக் கொள்ளப்பெற்றுள்ளது. முன்னரே கண்டவண்ணம் இதற்கு ஒரு காந்தத் திருப்புதிறன் μ_B உண்டு. இந்தக் காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டாரை $\boldsymbol{\mu}$ எனக் கொண்டால், காந்தத் திருப்பு திறனுக்கும் தற்சுழற்சிக்கும் உள்ள விகிதம் காந்த - எந்திர விகிதம் (magneto mechanical ratio) அல்லது சுழலியக்க - காந்த விகிதம் (gyro magnetic ratio) எனப்படும். இதனை γ எனக் குறிப் பிடுவது வழக்கம். எனவே,

$$\boldsymbol{\mu} = \gamma \frac{h}{2\pi} \mathbf{S} \longrightarrow (6{\cdot}7)$$

இந்த எலெக்ட்ரான் காந்தமானது **H** காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும்போது அதன்மீது ஓர் இரட்டைத் திருப்புதிறன் (torque) செயல்படும். இது காந்தத்தைக் காந்தப் புலத்தின் திசையில் இருக்கும்படி திருப்புவதற்கு முயலும். இந்த இரட்டைத் திருப்புதிறனின் மதிப்பு **L** ஆனால்,

$$\mathbf{L} = \gamma \frac{h}{2\pi} \mathbf{S} \times \mathbf{H} \longrightarrow (6 \cdot 8)$$

என்பது வெளிப்படை. ஆனால், நாமறிந்த எந்திரவியல் தேற்றப்படி, இரட்டைத் திருப்புதிறனனது கோண உந்தம் மாறும் வீதத்திற்குச் (rate of change of angular momentum) சமம். அதாவது,

$$\mathbf{L} = \frac{d\mathbf{S}}{dt} \frac{h}{2\pi} \longrightarrow (6 \cdot 9)$$

இதனை (6·8) - ல் பதிலிட,

$$\frac{h}{2\pi} \frac{d\mathbf{S}}{dt} = \gamma \frac{h}{2\pi} \mathbf{S} \times \mathbf{H} \longrightarrow (6 \cdot 10)$$

சமன்பாடு (6·7) - ஐப் பயன்படுத்தி **S** - ன் மதிப்பை $\boldsymbol{\mu}$ - ல் எழுத,

$$\frac{h}{2\pi} \frac{d}{dt} \left(\frac{\boldsymbol{\mu}}{\gamma \frac{h}{2\pi}} \right) = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{H}$$

அல்லது,

$$\frac{1}{\gamma} \frac{d\boldsymbol{\mu}}{dt} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{H}$$

அல்லது,

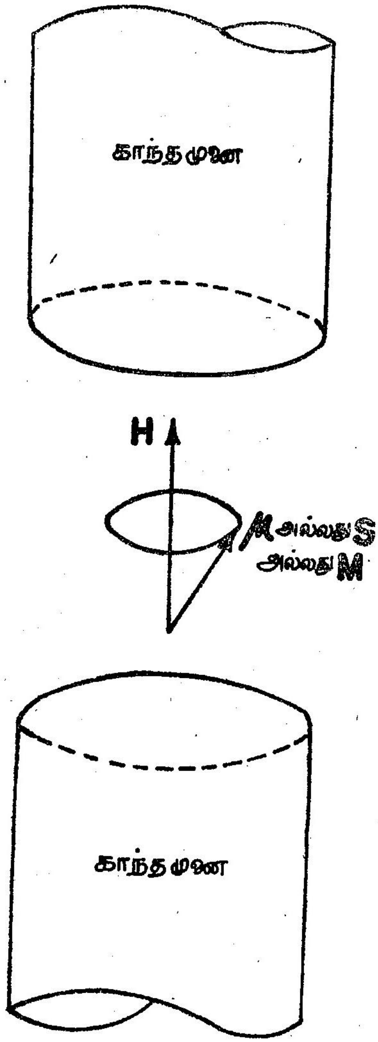
$$\frac{d\boldsymbol{\mu}}{dt} = \gamma \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{H} \longrightarrow (6 \cdot 11)$$

(6·10), (6·11) ஆகிய இரு சமன்பாடுகளும் ஒன்றுதான்; முதலாவது **S** - லும் இரண்டாவது μ - லும் உள்ளது. இச் சமன்பாடுகளிலிருந்து **S** அல்லது μ ஆனது ஓர் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத்தை உடையதாக இருக்கும் என்பது தெரிகின்றது. இந்த இயக்கத்தின் கோண அதிர்வெண் ω_0 ஆனால், மேற்கண்ட இரு சமன்பாடுகளில் எந்த ஒன்றினை வேண்டுமானாலும் எடுத்துக் கொண்டு ω_0 - ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இது,

$$\omega_0 = \gamma \mathbf{H} \longrightarrow (6 \cdot 12)$$

எனக் காட்டலாம்.

மேசரில் நாம் ஒரு தனித் தற்சுழற்சியை (எலெக்ட்ரான் காந்தத்தை) மட்டிலும் பார்ப்பதில்லை. முன்னரே காட்டியுள்ளது



படம் 6.3. காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டார் ஆனது நிலைக்காந்தப் புலத்தில் பெறும் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கம்.

போல் செயலுறு தற்சுழற்சிகளைத்தான் (effective spins) கணக்கிலெடுத்துக் கொள்கின்றோம். எனவே, S அல்லது μ ஆனது H-ன்

மீது அச்சுச் சுழற்சி உடையதாக இருக்குமானுல் காந்தத் திருப்பு திறன் வெக்டார் M - உம் H - ன் மீது ω_0 கோண அதிர்வெண்ணில் அச்சுச் சுழற்சியுடையதாக இருக்கும். இச் சுழற்சி படம் 6.3 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

ω_0 - ன் மதிப்பு, காந்தப் புலத்திற்கும் M - க்கும் இடையேயுள்ள கோணத்தைப் பொறுத்து இருக்கவில்லை என்பதனைச் சமன்பாடு (6·12) காட்டுகின்றது.

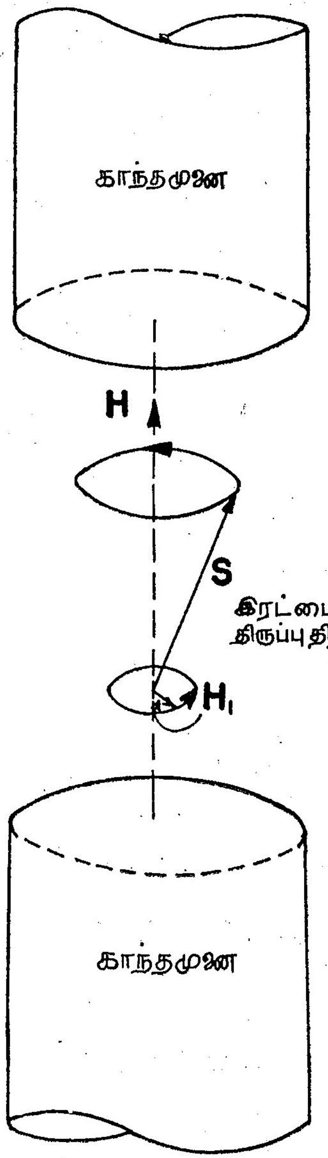
இப்போது, இந்தப் பராகாந்தப் பொருளின்மீது H - ன் திசைக்கு நேர்க்குத்தான திசையில் மைக்ரோ அலைக் காந்தப் புலம் ஒன்றினைச் (H_1) செயல்படுத்துவோம். இக் காந்தப் புலம் வட்ட முனைவாக்கம் பெற்றதாக (circularly polarised) இருக்க வேண்டும் ; ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண் உடையதாக இருக்கவேண்டும். இதனுல், இந்தப் புலத்தினை (H_1) நிலைக்காந்தப் புலத்திற்கு (H) நேர்க்குத்தான தளத்தில் (perpendicular plane) அதே கோண அதிர்வெண்ணில் (ω_0) சுழலுகின்ற ஒரு வெக்டாராகக் கருதலாம். இது படம் 6.4 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

இந்த மைக்ரோ அதிர்வெண் காந்தப் புலமானது காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டார் M - ன் மீது ஓர் இரட்டைத் திருப்பு திறனை (torque) செயல்படுத்தும். [படம் (6.4)]. எனவே, M ஆனது H_1 - ன் மீது ஓர் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத்தைப் (precessional motion) பெறும். இந்த இயக்கத்தின் கோண அதிர்வெண் ω_p ஆனுல்,

$$\omega_p = \gamma H_1 \qquad \longrightarrow (6·13)$$

H_1 - ன் மதிப்பு (சைகைப் புலத்தின் மதிப்பு) வழக்கமாகச் சிறியதாகத்தான் இருக்கும். எனவே, ω_p - ன் மதிப்பும் சிறியது. எனவே, இந்த இயக்கம் மெதுவாக நடைபெறும். ஆக, M வெக்டாரின்மீது இப்போது இரண்டு இயக்கங்கள் உள்ளன. அவையாவன: (1) H - ன் மீது வேகமான அச்சுச் சுழற்சி. (2) H_1 - ன் மீது மெதுவான அச்சுச் சுழற்சி. இவ்விரண்டும் ஒரே நேரத்தில் செயல்படுவதால் M வெக்டாரானது ஒரு தொகுபயன் இயக்கத்தை (resultant motion) உடையதாக இருக்கும். இந்த இயக்கம் ஒரு திருகுசுழல் இயக்கமாக (helical motion) இருக்க வேண்டுமென்பது தெளிவு.

இத்தகைய திருகுசுழல் இயக்கத்தைக் கற்பனையில் உருவகித்



படம 6.4. ஒத்ததிர்வு நிலை.

சுழற்சி வெக்டார், மைக்ரோ அதிர்வெண் புலம் ஆகிய இரண்டும் ஒரே கோண வேகத்தில் சுழலுகின்றன. நிலைக்காந்தப் புலம் மைக்ரோ அதிர்வெண் காந்தப் புலம் ஆகிய இரண்டும் சேர்ந்த விளைவினால் சுழற்சி வெக்டார் ஒரு திருகுசுழல் இயக்கத்திற்கு ஆளாகின்றது.

துப் பார்ப்பது சற்றுக் கடினமே. எனவே, காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டாரின் இயக்கத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு நிலையான ஆய அமைப்பினைப் (static coordinate system) பயன்படுத்தாமல் சுழலுகின்ற ஆய அமைப்பு (rotating coordinate system) ஒன்றினைப் பயன்படுத்துவது வழக்கம். அதாவது, நோக்காளர் (observer) ரேடியோ அதிர்வெண் காந்தப்புலம் சுழலுகின்ற அதே கோண வேகத்தில் சுற்றி வருவதாக வைத்துக்கொண்டு கணக்கிடுவது. இந்தச் சுழலுகின்ற ஆயத்திட்டத்தில் H, H_1 ஆகியவற்றின் தொகுபயனை (resultant) கணக்கிடுவது எளிது. அதனைக் கணக்கிடுவதற்கெனக் காந்தத் திருப்புதிறன் வெக்டார் M - க்குப் பதில் S வெக்டாரை எடுத்துக்கொள்வோம். இவ்விரண்டு வெக்டார்களின் இயக்கங்களும் ஒன்றே ஆனதால் எதை வேண்டுமானாலும் வைத்துக்கொண்டு கணக்கிடலாம்.

ரேடியோ அதிர்வெண் புலத்தின் கோண அதிர்வெண் (ω) ஆனது ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண் (ω_o) - க்குச் சமமாக இல்லையென்றும், ஆனால் ω_o - க்கு மிகவும் நெருங்கிய ஒரு மதிப்பினை உடையதென்றும் கொள்வோம். இந்த நிலையில், நிலையான ஆயத்திட்டத்தில் உள்ள $\frac{d\mathbf{S}}{dt}$ ன் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு மாற்றி எழுதவேண்டும் :

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = \left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{S} \quad \longrightarrow (6{\cdot}14)$$

இங்கே S என்பது நிலையான நோக்காளரால் (stationary observer) அளக்கப்பெறும் தற்சுழற்சியின் மதிப்பு ; $\left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}}$ என்பது ω கோண வேகத்தில் சுழலுகின்ற ஆயத்திட்டத்தில் S மாறும் வீதம்.

எனவே,

$$\left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}} = -\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{S} + \frac{d\mathbf{S}}{dt}$$

அல்லது,

$$\frac{h}{2\pi}\left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}} = -\frac{h}{2\pi}\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{S} + \frac{h}{2\pi}\frac{d\mathbf{S}}{dt}$$

அல்லது,

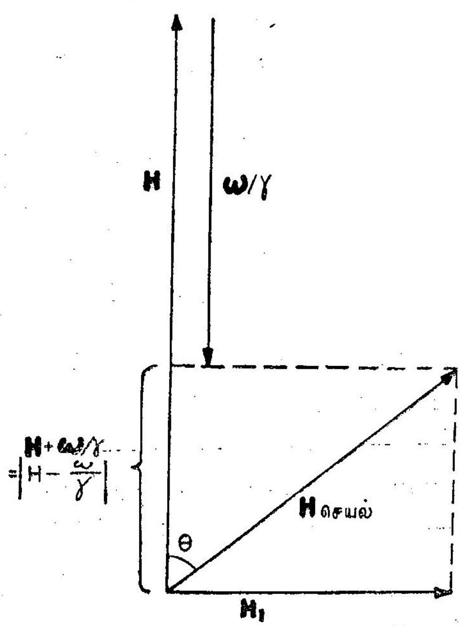
$$\frac{h}{2\pi}\left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}} = -\frac{h}{2\pi}\,\omega \times \mathbf{S} + \gamma\frac{h}{2\pi}\mathbf{S}\times\mathbf{H}$$

[சமன்பாடு (6·10) - லிருந்து]

அல்லது,

$$\frac{h}{2\pi}\left(\frac{d\mathbf{S}}{dt}\right)_{\text{சுழல்}} = \gamma\,\frac{h}{2\pi}\,\mathbf{S}\times\left(\mathbf{H}+\frac{\omega}{\gamma}\right) \longrightarrow (6{\cdot}15)$$

எனவே, இந்தச் சுழலும் ஆயத்திட்டத்தில் $\mathbf{H}$ - ன் மதிப்பினை $\left(\mathbf{H}+\frac{\omega}{\gamma}\right)$ எனக் கொள்ளவேண்டும். [சமன்பாடு (6·10) - ஐ



படம் 6.5. சுழலும் ஆயத்திட்டத்தில் செயலுறு காந்தப்புலம்.

ஒப்பு நோக்குக]. எனவே, இந் நிலையில் S வெக்டார்மீது அல்லது M வெக்டார்மீது ஆட்சி செலுத்தும் இரு காந்தப் புலங்களும்

$\left(H + \frac{\omega}{\gamma}\right)$ மற்றும் H_1 ஆகும். இவை, படம் 6.5 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன. இவற்றின் தொகுபயனை (resultant) செயலுறு காந்தப் புலத்தின் (effective magnetic field) அளவைக் கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$\left| H_{\text{செயல்}} \right| = \left[\left(H - \frac{\omega}{\gamma}\right)^2 + H_1^2 \right]^{\frac{1}{2}} \longrightarrow (6{\cdot}16)$$

[குறிப்பு : $H + \frac{\omega}{\gamma}$ எனுமிடத்தில் H, ω ஆகியவை வெக்டார்கள். இவ்விரண்டும் எதிரெதிர்த்திசையில் இருப்பன வாதலான் $H + \frac{\omega}{\gamma}$ ன் அளவு மட்டிலும் $H - \frac{\omega}{\gamma}$ என்பது தெளிவு. $\left(H - \frac{\omega}{\gamma}\right)$ வெக்டார் அன்று].

இந்தச் செயலுறு காந்தப் புலமானது H - க்கு θ டிகிரி சாய்ந்திருக்குமானல் θ - ன் மதிப்பைப் படம் 6.5 - லிருந்து கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$\text{Tan}\,\theta = \frac{H_1}{H - \frac{\omega}{\gamma}} \longrightarrow (6{\cdot}17)$$

இவ்வாருக, நாம் ஒரு சுழலும் ஆயத்திட்டத்தைப் பயன்படுத்தினுல் S வெக்டார் அல்லது M வெக்டார்மீது ஆட்சி செலுத்தும் புலம் $H_{\text{செயல்}}$ என்று கொள்ளலாம். இதன் மதிப்பும் திசையும் (6·16), (6·17) சமன்பாடுகளிலிருந்து கிட்டும். எனவே, இந்த ஆயத்திட்டத்தில் S வெக்டார் அல்லது M வெக்டார் ஆனது $H_{\text{செயல்}}$ ஆகிய செயலுறு காந்தப் புலத்தின்மீது ஓர் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத்தை உடையதாக இருக்கும். இந்த இயக்கத்தின் கோண அதிர்வெண் ω_p ஆனுல்,

$$\omega_p = \gamma \left| H_{\text{செயல்}} \right| \longrightarrow (6{\cdot}18)$$

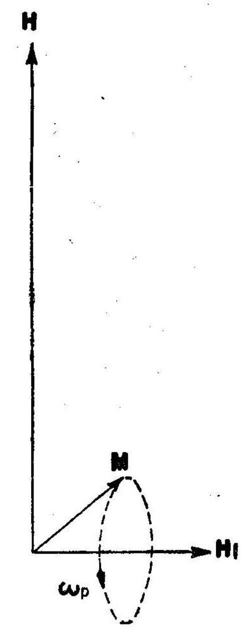
ஒத்ததிர்வு நிலையின்போது, அதாவது $\omega = \omega_o$ ஆனுல்,

$$\omega_0 = \gamma H \longrightarrow (6.12)$$

எனக் கண்டுள்ளோம். எனவே, இந் நிலையில்,

$$H_{செயல்} = H_1$$

என்பதனைச் சமன்பாடு (6·16) - லிருந்து எளிதில் புரிந்துகொள்ள லாம். இப்போது S வெக்டார் அல்லது M வெக்டார் ஆனது H_1 புலத்தின்மீது ω_p கோண அதிர்வெண்ணில் ஓர் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத்தை உடையதாக இருக்கும். இதனைப் படம் 6.6 காட்டுகின்றது.



படம் 6.6. ஒத்ததிர்வின்போது M வெக்டாரின் அச்சுச் சுழற்சி—சுழலும் ஆயத்திட்டத்தில்.

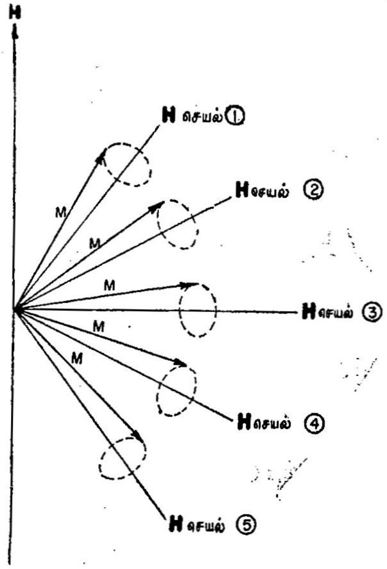
நமக்குத் தேவையானது தலைகீழாக்கம். அதாவது, M வெக்டாரின் திசையைத் துவக்கத்திலிருந்ததற்குத் தலைகீழாக மாற்ற வேண்டும். M வெக்டாரானது $H_{செயல்}$ காந்தப் புலத்தின்மீது அச்சுச் சுழற்சி உடையதாயிருப்பதால் M வெக்டாரின் திசையைத் தலைகீழாக்க வேண்டின் $H_{செயல்}$ காந்தப் புலத்தின் திசையைத் தலைகீழாக்கவேண்டும். அதாவது, துவக்கத்தில் $H_{செயல்}$ காந்தப் புலம் H - ன் திசைக்கு 0° கோணம் சாய்ந்திருக்கிறது ($\theta=0°$) எனக் கொண்டால் அக் கோணத்தை 180° ஆகும்படி மாற்றவேண்டும்.

இந்த மாற்றம் வெப்பம் மாரு நிலைமாற்றமாக (adiabatic change) இருக்கவேண்டும். வெப்பம் மாரு நிலைமாற்றத்திற்கான நிபந்தனை என்னவெனில், மாறுதலுக்குள்ளாகும் அமைப்பினது ஆற்றலில் ஏற்படுகின்ற மாறுதல்கள், அந்த அமைப்பிலுள்ள இயக்கங்களோடு ஒப்பிடும்போது மெதுவானவையாக இருக்க வேண்டும். இதனைச் சற்றுத் தள்ளி மேலும் விளக்குவோம்.

எனவே, முதலாவதாக θ - ன் மதிப்பை $0°$ - லிருந்து $180°$ - க்கோ அல்லது $180°$ - லிருந்து $0°$ - க்கோ மாற்றவேண்டும். சமன்பாடு (6·17) - ஐ ஒருகணம் நோக்கினுல் θ - ன் மதிப்பு H_1, H, ω ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருப்பதனைக் காணலாம். ஆனுல், H_1 - ன் மதிப்பை மாற்றுவதால் θ - ன் மதிப்பை $0°$ - லிருந்து $180°$ - க்கு மாற்ற முடியாது என்பதும் எளிதில் விளங்கும். எனவே, தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்த இரண்டு வழிகள்தாம் உள்ளன. அவையாவன: (1) ω - ன் மதிப்பை ω_0 - ஐ விடக் கூடுதலாக (அல்லது குறைவாக) வைத்திருந்து அதனை ω_0 - ஐ விடச் சிறியதாக (அல்லது உயர்ந்ததாக) ஆகும்படி மாற்றுதல். (2) H - ஐ ஒத்ததிர்வுக்கு இயைந்த மதிப்பை $\left(\text{அதாவது, } H = \dfrac{\omega_0}{\gamma}\right)$ விடக் கூடுதலாக (அல்லது குறைவாக) வைத்திருந்து பின்னர் அதனை இந்த ஒத்ததிர்வு மதிப்பை விடக் குறைந்த (அல்லது உயர்ந்த) மதிப்பிற்கு மாற்றுதல். இவ்விரண்டிலும் H புலத்தின் மதிப்பை மாற்றுவது எளியது. இதுவே நடைமுறையில் கையாளப்படுகின்றது. இதனை ஈண்டு விளக்குவோம்.

துவக்கத்தில் H - ன் மதிப்பு $\left(H = \dfrac{\omega_0}{\gamma}\right)$ என்பதனைவிட மிக உயர்ந்தது எனக் கொள்வோம். வழக்கமாக H_1 ஆனது சிறியதாக இருக்கும். எனவே, துவக்கத்தில் θ - ன் மதிப்பு மிகமிகச் சிறியது; இதனைச் சுழி (zero) எனவே கொள்ளலாகும். இப்போது, H - ன் மதிப்பைக் குறைத்தால் θ - ன் மதிப்பு உயர்ந்துகொண்டே செல்லும். H - ன் மதிப்பு $\dfrac{\omega_0}{\gamma}$ க்குச் சமமாகும்போது, அதாவது, ஒத்ததிர்வு மதிப்பினை உடையதாகும்போது, θ - ன் மதிப்பு $90°$ ஆகும். H - ன் மதிப்பை மேலும் குறைத்தால் θ - ன் மதிப்பு $90°$ - க்கு மேலும் உயரும். H - ன் மதிப்பு ஒத்ததிர்வு மதிப்பைவிட மிகப் பெரியதானுல் θ - ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ $180°$ ஆகும். இவ்

வாருக, $H_{செயல்}$ புலத்தின் திசையை 0° - லிருந்து 180° - க்கு மாற்ற முடியும். இதனைப் படம் 6.7 விளக்குகின்றது.



படம் 6.7. வெப்பம் மாறு விரைவான நிலைமாற்றத்தின்போது தற்சுழற்சி தலை கிழாக்கம் படிப்படியாக ஏற்படுதல்—சுழலும் ஆயத்திட்டத்தில்.

வெப்பம் மாறு நிலைமாற்றம் என்றால் இங்கு என்ன நிபந்தனை என்று முன்னரே குறிப்பிட்டோம். நாம் ஏற்படுத்தும் நிலை மாற்றம் $H_{செயல்}$ - ன் திசையை மாற்றுவது. இதனால் M வெக்டாரின் திசை தலைகீழாகின்றது. எனவே, நமது அமைப்பில் ஆற்றல் மாறுதல்கள் ஏற்படுகின்றன. இந்த ஆற்றல் மாற்ற மானது, அமைப்பிலுள்ள மற்ற இயுக்கங்களோடு ஒப்பிட, அதாவது, M வெக்டார் $H_{செயல்}$ வெக்டாரின்மீது நிகழ்த்தும் அச்சுச் சுழற்சி இயக்கத்தோடு ஒப்பிட, மெதுவாகவே நிகழ வேண்டும். அவ்வளவுதான். எனவே, $H_{செயல்}$ திசையை மாற்று வதற்காக H - ன் மதிப்பை நாம் மாற்றுவது ω_p - ன் மதிப்போடு ஒப்பிட மெதுவாக இருக்கவேண்டும். இந்த நிபந்தனையை

$$\frac{dH}{dt} << \omega_p H_1 \longrightarrow (6{\cdot}19)$$

என எழுதலாம். $\omega_p \simeq \gamma H_1$ எனக் கொள்ளலாமாதலான்,

$$\frac{dH}{dt} << \gamma H_1^2 \qquad \longrightarrow (6{\cdot}20)$$

மேலும், தற்சுழற்சிகள் (spins) யாவுமே $H_{\text{செயல்}}$ மீது அச்சுச் - சுழற்சி உடையனவாக இருக்க வேண்டுமானுல், $H_{\text{செயல்}}$-ன் மதிப்பு அண்மையிலுள்ள தற்சுழற்சிகளால் ஏற்படும் உள்காந்தப் புலத்தை (local field) விட — [ஒவ்வொரு தற்சுழற்சியையும் ஒரு காந்தமாகக் கருதக்கூடுமாதலான் ஒவ்வொன்றினுலும் ஒரு சிறு காந்தப்புலம் ஏற்படும். அண்மையிலுள்ள தற்சுழற்சிகளின் காந்தப் புலங்கள் யாவற்றையும் தொகுத்தால் குறிப்பிடத்தக்க அளவு காந்தப் புலம் ஒன்று உண்டாகும். இதுவே உள்காந்தப் புலம் எனப்படும். இது புறத்தேயிருந்து நாம் செயல்படுத்தும் காந்தப் புலமன்று] — குறிப்பிடத்தக்க அளவு உயர்ந்து இருக்கவேண்டும். இந்த விதிப்படி பார்த்தால், ஓர் ஓர்ஸ்டெட்டை (Oersted) விடக் குறைந்த வரி அகலமுடைய படிகங்களேப் பயன்படுத்தினுல் H_1-ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ ஓர் ஓர்ஸ்டெட்டும், அதனுல் H-ன் மதிப்பு மாறும் வீதம் ஒரு நொடிக்கு 10^7 ஓர்ஸ்டெட்டுகளுக்குக் குறைவாகவும் இருக்க வேண்டும். இது ஒன்றும் கடினமான நிபந்தனேயன்று; நடைமுறையில் எளிதில் செயல்படுத்தக் கூடியதே.

H-ன் மதிப்பு நொடிக்கு 10^7 ஓர்ஸ்டெட்டுகளுக்கும் குறைவான வீதத்தில் மாறவேண்டும் எனக் கண்டோம். ஆனுல், H-ன் மதிப்பை மிகமிக மெதுவாக மாற்ற முடியாது. ஏனெனில், H-ன் மதிப்பை மிகமிக மெதுவான வீதத்தில் மாற்றினுல் M வெக்டாரைத் தலேகீழாக்குவதற்கான நேரம் அதிகமாகும். இந்த நேரமானது தற்சுழற்சி—பின்னல் தளர்வு நேரத்தை (T_1) விடக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். இல்லேயெனின், நாம் தலேகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தி முடிப்பதற்குள் தற்சுழற்சி — பின்னல் செயலெதிர்ச் செயலால் (spin—lattice interaction) உயர்மட்டத் தற்சுழற்சிகள் தாழ்மட்டத்திற்குப் பாய்ந்துவிடும். எனவே, நமக்கு எப் பயனும் இல்லே. ஆதலான், H-ன் மதிப்பு மாறும் வீதம் மெதுவானதாக இருக்கவேண்டும்; ஆனுலும் 180°-க்கு M வெக்டாரை மாற்றுவதற்காகும் காலம் T_1-ஐ விடக் குறைந்ததாக இருக்கவேண்டும்.

சுருங்கச் சொன்னுல், வெப்பம் மாரு நிலேமாற்றத்திற்கான நிபந்தனேப்படி தலேகீழாக்கம் திடீரென நிகழக்கூடாது; சீராக,

மெதுவாக மாறவேண்டும். ஆனால், இந்த மாற்றம் T_1 உடன் ஒப்பிடும்போது குறைந்த நேரத்தில் ஏற்பட வேண்டும்; அதாவது, மாற்றம் விரைந்து நிகழவேண்டும்.

மேற்போக்காகப் பார்க்குமிடத்தில், இவ்விரு நிபந்தனைகளும் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டனவாகத் தோன்றினாலும், அது தோற்றந்தானேயன்றி உண்மையன்று. விரைவு, மெது என்பன யாவும் ஒப்பீட்டு அடிப்படையில் கையாளப்படும் சொற்கள்தாம் என்பதனை நினைவுகூர்ந்தால் நாம் இந்த முறையினை வெப்பம் மாறா விரைந்த நிலைமாற்றம் என அழைப்பதன் பொருத்தம் புலப்படும்.

மேலும், T_1 - ஐ விடக் குறைந்த நேரத்தில்தான் மாற்றத்தை மெதுவாக ஏற்படுத்தவேண்டும் என்று கண்டோம். எனவே, T_1 - ன் மதிப்பை உயர்த்திக் கொள்ளலாமன்றோ? ஹீலியம் திரவ வெப்ப நிலையில் T_1 - ன் மதிப்பு சில மில்லி நொடிகளாக அமையப் பெற்றுள்ள படிகங்கள் பல இருக்கத்தான் செய்கின்றன. எனவே, இத்தகைய படிகங்களைத் தேர்ந்தெடுத்துப் பயன்படுத்தி இம் முறையில் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவது ஒன்றும் பெரும் பிரச்சினையன்று.

இவ்வாறு தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்திவிட்டால் மேசர் செயல்படத் துவங்கும்; ஓர் அலைவியற்றியாகவோ (oscillator) அல்லது பெருக்கியாகவோ (amplifier) செயல்படும்.

6·4. இருமட்டத் திடப்பொருள் மேசரை அமைத்தல்

இனி, இருமட்டத் திடப்பொருள் மேசரை எவ்வாறு அமைக்க வேண்டுமெனக் காண்போம். இதுகாறும் நாம் விவாதித்தபடி தகுந்த பண்புகளையுடைய ஒரு மேசர் படிகத்தைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். இதனை ஓர் ஒத்ததிர்வுப் பொந்தினுள் (resonant cavity) வைக்கவேண்டும். இதன்மீது ஓர் உயர்ந்த காந்தப் புலத்தைத் (H) தொழிற்படுத்தவேண்டும். இந்தக் காந்தப் புலத்தின் மதிப்பை ஒத்ததிர்வு மதிப்பிற்குக் குறைந்த அளவிலிருந்து (அல்லது உயர்ந்த அளவிலிருந்து) படிப் படியாகச் சீராக உயர்த்திக்கொண்டே சென்று (அல்லது தாழ்த்திக்கொண்டே சென்று) ஒத்ததிர்வு மதிப்பினைவிட அதிக மான (அல்லது குறைவான) மதிப்பிற்குச் செலுத்தவேண்டும்.

அதே நேரத்தில், ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்ணில் உள்ள மைக்ரோ அலைக் கதிர்வீச்சு ஒன்றினையும் படிகத்தின்மீது படும்படி

செலுத்தவேண்டும். இந்த மைக்ரோ அலையின் காந்தப்புலம் H_1 ஆனது H - ன் திசைக்கு நேர்க்குத்தாக (perpendicular) இருக்க வேண்டும். இப்போது மேசர் செயல்படும். பொந்தும் படிகமும் ஹீலியம் திரவ வெப்பநிலையில் இருக்கவேண்டும்.

6·5. அலைவுகளும் பெருக்குதலும்

மேற்கண்டவாறோ அல்லது மற்ற இரு முறைகளாலோ அமைக்கப்பெறும் இருமட்டத் திடப்பொருள் மேசர் அலையியற்றி யாக அல்லது பெருக்கியாகச் செயல்படுவதற்கான நிபந்தனைகளை இனிக் காண்போம்.

மேசர் அலையியற்றியாகச் (oscillator) செயல்பட வேண்டு மானால் தற்சுழற்சிகளால் வெளிவிடப்பெறும் ஆற்றலானது பொந்தில் ஏற்படும் இழப்புகளையும் புற இணைப்புகளில் ஏற்படும் இழப்புகளையும் சரிகட்டிக் கொள்ளக் கூடியதாக இருக்க வேண்டும். காந்தப் பண்புக் காரணி (magnetic quality factor) Q_m ஆனால் தற்சுழற்சியின் மதிப்பு $\frac{1}{2}$ ஆக இருக்கும்போது,

$$Q_m = \frac{kT}{4\pi^2 \upsilon N \mu^2_B F_f T_2} \longrightarrow (6·21)$$

என எழுதலாம். இங்கே, υ என்பது மேசர் செயல்படும் அதிர் வெண்ணின் மதிப்பு; T_2 என்பது ஒத்ததிர்வு வரியினது அகலத்தின் தலைகீழ் மதிப்பு; N என்பது ஓர் அலகு பருமனில் (unit volume) உள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை. F என்பது நிரப்புக் காரணி.

தற்சுழற்சிகளின் தொகையில் தலைகீழாக்கத்தை முழுமை யாக ஏற்படுத்திவிட்டோமானால் (நாம் முன்னரே விவரித்தபடி) Q_m - ன் மதிப்பு எதிர்க்குறி (negative) உடையதாக மாறிவிடும்; அதன் எண் மதிப்பினை மட்டிலும் சமன்பாடு (6·21) கொடுக்கும். மேசர் அலையியற்றியாகச் செயல்பட வேண்டுமானால் நாம் சற்று முன் கூறிய நிபந்தனையைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$-\frac{1}{Q_m} > \frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_0} \longrightarrow (6·22)$$

இங்கே Q_e என்பது புற இணைப்புகளின் (external couplings) பண்புக் காரணியையும், Q_0 என்பது சுமையேற்றப் பெறாத பொந்தினது பண்புக் காரணியையும் குறிக்கும். இந்த நிபந்

தனைக்குட்பட்டிருக்க வேண்டுமானால் தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்வு வரியினது அகலம் மிக அதிகமாக இருக்கக்கூடாது என்பதும், தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை (N) முடிந்த அளவு உயர்ந்து இருக்கவேண்டும் என்பதும் தெளிவு. ஆனால், N - ன் மதிப்பு அதிகரித்தால் ஒத்ததிர்வு வரியின் அகலம் அதிகரிக்கும் என்ற உண்மையினை நினைவு கூர்ந்தோமானால், மேலே கூறிய நிபந்தனைகள் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டனவாகக் காணப்பெறும். எனவே, நமக்கு ஏற்ற வகையில் இம் மதிப்புகளைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். 10^{18} தற்சுழற்சிகள்/செ.மீ.^{3} என்பது ஏற்புடைய ஒரு மதிப்பாகும்.

மேசரானது பெருக்கியாகச் (amplifier) செயல்படுவதற்குரிய நிபந்தனையைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$\frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_0} > -\frac{1}{Q_m} > \frac{1}{Q_0} \longrightarrow (6{\cdot}23)$$

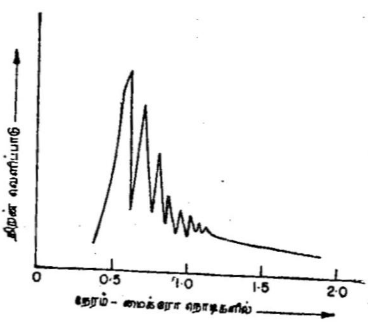
இதிலிருந்து, காந்தப் பண்புக்காரணி குறைந்த மதிப்புடையதாக இருக்கவேண்டும் என்பது புலப்படும். உயர்ந்த அதிர்வெண்களில் Q_m - ன் மதிப்பு தாழ்ந்திருக்கும். மேலும், தாழ்ந்த வெப்ப நிலைகளையும், உயர்ந்த நிரப்புக் காரணிகளையும் (F_f) (filling factor) கையாண்டாலும், ஒத்ததிர்வு வரியின் அகலத்தைக் குறைத்தாலும் இந்த நிபந்தனை எளிதில் நிறைவுபெறும் என்பதனைச் சமன்பாடு (6·21) - லிருந்து எளிதில் புரிந்து கொள்ளலாம்.

6.6. சில இருமட்ட மேசர்கள்

சென்டி மீட்டர் அலைவரிசைகளில் செயல்படும் இருமட்ட மேசர்களைப் பற்றிய சில விவரங்களை இப்போது பார்ப்போம். சென்டி மீட்டர் அலைவரிசைகளில் பெருக்கியாகச் செயல்படக் கூடிய மேசருக்கு உகந்த பல படிகங்கள் உள்ளன. அவற்றுள் சில : குவார்ட்ஸ் (quartz), மக்னீஷியம் ஆக்சைடு (magnesium oxide). இப் படிகங்களை நியூட்ரான் கதிர்வீச்சுக்கு (neutron radiation) உள்ளாக்கி இவற்றில் பரா காந்தக் குறைகள் (para magnetic defects) இருக்கும்படி செய்யப்படும். பொட்டாஷியம் குரோமி சயனைடு (pctassium chromi cyanide), மாணிக்கம் (ruby) ஆகிய படிகங்களும் பயன்படும்.

செஸ்டர் (Chester), வாக்னர் (Wagner), காசில் (Castle) ஆகியோர் அமைத்த இருமட்ட மேசர்களில் படிகமானது ஓர் எதிரொளிப்புப் பொந்தில் (reflection cavity) வைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்தப் பொந்து 9 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் ஒத்ததிரும். இதன் சுமையேற்றப்படாத Q மதிப்பு (unloaded Q) ஏறத்தாழ 6000. வெப்பம் மாறு விரைவான நிலைமாற்றம் முறையில் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தப்பட்டது. தலைகீழாக்கத்திற்குத் தேவையான மைக்ரோ அலை திறன் (microwave power) $\frac{1}{2}$ வாட்டுத் துடிப்புகளாக ($\frac{1}{2}$ watt pulses) அளிக்கப்பட்டது. ஒவ்வொரு துடிப்பும் ஏறத்தாழ 10 மைக்ரோ நொடிகளிலிருந்து 100 மைக்ரோ நொடிகள் வரை நீடிக்கும். ஒரு நொடிக்கு 10 துடிப்புகள் எனும் வீதத்தில் இவை அளிக்கப்படும். ஏறத்தாழ 10^{18} தற்சுழற்சிகள் உள்ள குவார்ட்சுப் படிகத்தை 4·2° கெல்வின் வெப்பநிலையில் பயன்படுத்தினால் தலைகீழான நிலை 2 மில்லி நொடிகள் நீடிக்கும். இதைத் தொடர்ந்து பெருக்கமானது 1·2 மில்லி நொடிகள் வரை நிகழும். ஈட்டம் (gain) 8 டெசிபெல்லிலிருந்து 21 டெசிபெல்கள் வரை இருந்தது.

இந்த ஈட்டங்களில் ஈட்டத்தின் இருபடிமூலம், பட்டை அகலம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை $(G^{\frac{1}{2}} B)$ 5×10^{6} / நொடி எனவிருந்தது. தலைகீழாக்கும் திறன் (inverting power) போதுமான அளவு உயர்ந்திருந்ததால் அலைவுகள் ஏற்படக் காணப்பட்டது. அலைவுகளின்போது வெளிவிடப்படும் திறனின் உச்சமதிப்பு (peak



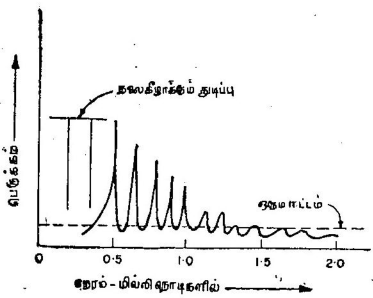
படம் 6.8. இருமட்டக் குவார்ட்சு மேசர் அலைவியற்றியாகச் செயல்படும்போது பொந்திலிருந்து வெளிப்படும் துடிப்புகளுள் ஒன்றின் அலைவடிவம்.

value) 12 மில்லி வாட்டுகள். இந்தத் திறன் ஏறத்தாழ 10 மைக்ரோ நொடிகள் நீடிக்கும் துடிப்புகளாக வெளிப்படும். அத்தகைய

ஓர் அலைவுத் துடிப்பு (oscillation pulse) ஒன்றினைப் படம் 6.8 காட்டுகின்றது.

அலைவுறும் துடிப்பானது வீச்சுப் பண்பேற்றம் (amplitude modulation) உடையதாக இருப்பதனைப் படத்தில் காணலாம். இது உயர்ந்த Q மதிப்புடைய பொந்தில் ஏற்படும் தடை. யுறுதலால் (damping) ஏற்படுகின்றது.

அலைவுத் துடிப்புகளில் இத்தகைய வீச்சுப் பண்பேற்றம் குவார்ட்சு மட்டுமல்லாது வேறு பல பொருள்களைப் பயன் படுத்தும்போதும் காணப்பெறுகின்றது. ஓர் அலைவிற்குப் பிறகும் துடிப்புப் பெருக்கம் (pulse amplification) காணப் பெற்றது. இந்தத் துடிப்புப் பெருக்கமானது காந்தப் புலத்தைத் தொடர்ந்து முன்னும் பின்னுமாக மாற்றுகையில் கிடைத்தது. இத்தகைய பெருக்கத்தின் சிறப்பியல்புகளை (characteristics) படம் 6.9 விளக்குகின்றது.



படம் 6.9. இருமட்ட மேசர் - தலைகீழாக்கத்திற்குப் பிறகு ஏற்படும் பெருக்கம் நேரத்தின் சார்பாகக் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

காந்தப் புலம் முன்னும் பின்னுமாக வீசிச்செல்வது மைக்ரோ நொடிக்கு 130 முறை என்று உள்ளபோது ஏற்படும் விளைவையே படம் 6.9 காட்டுகின்றது. படத்தின் இடப்புறக் கோடியில் காட்டப்பெற்றுள்ள அகன்ற சைகை (wide signal) யானது தலை கீழாக்கும் துடிப்பால் ஏற்பட்டது. இரண்டாவதாகக் காணப் படும் சைகை அலைவைக் குறிக்கும். அதனை அடுத்துள்ள எட்டுச் சைகைகளும் புலமானது ஒத்ததிர்வைத் தாண்டிச் செல்லும் ஒவ்வொரு நேரத்திலும் ஏற்படும் பெருக்கத்தைக் குறிக்கின்றன. ஈட்டம் (gain) படிப்படியாகக் குறைவதைக் காணலாம். மூன்றாவது சைகையில் 16 டெசிபெல்களாக உள்ள ஈட்டம் ஏழாவதில் 6 டெசிபெல்களாகவும் 11 - வதில் 0 - வாகவும் குறைகின்றது.

நியூட்ரான் கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளான மக்னீஷியம் ஆக்சைடின் தனிப்படிகத்தில் ஏறத்தாழ 10^{17} தற்சுழற்சிகள் இருக்கும்படி பார்த்துக்கொண்டு அப் படிகத்தை 4·2° கெல்வின் வெப்பநிலையில் பயன்படுத்தியபோது தலைகீழான நிலையானது ஏறத்தாழ 2·5 மில்லி நொடிகள் நீடித்தது. தலைகீழாக்கத்திற்கு 125 மைக்ரோ நொடிகளுக்குப் பின்னர் 20 டெசிபெல்கள் ஈட்டத்தில் பெருக்கம் காணப்பட்டது. இந்த ஈட்டம் 720 மைக்ரோ நொடிகளுக்குப் பின்னர் 3 டெசிபெல்களாகக் குறைந்தது.

ஹாஸ்கின் (Hoskin) என்பார் மாணிக்கப் படிகத்தைப் பயன்படுத்தி ஓர் இருமட்ட மேசரை அமைத்தார். இது திரவ ஹீலியம் வெப்பநிலையில் 3 செ. மீ. அலைநீளத்தில் இயக்கப்பெற்றது. ஏறத்தாழ 500 மில்லிவாட்டுகள் திறனுடைய தலைகீழாக்கும் மைக்ரோ அலைத் துடிப்புகள் பயன்படுத்தப் பெற்றன. காந்தப் புலத்தை ஏறத்தாழ 50 மைக்ரோ நொடிகளில் ஒத்ததிர்வைத் தாண்டி வீசிச்செல்லும்படி செய்யப்பட்டது. இதனால், சுழற்சித் தலைகீழாக்கம் எளிதில் ஏற்பட்டது. காந்தப் புலத்தை ஒத்ததிர்வு மதிப்புக்குத் திரும்பக்கொணரும்போது அலைவுகளோ அல்லது பெருக்கமோ ஏற்பட்டன. அலைவுகளா அல்லது பெருக்கமா என்பது தலைகீழாக்கும் துடிப்பு, பொந்தின் இணைப்பு (cavity coupling), தலைகீழாக்கும் துடிப்பைச் செயல்படுத்திய பிறகு கழிந்த நேரம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது.

6.6. (*a*) மில்லிமீட்டர் அலைவரிசையில் இருமட்ட மேசர்கள்

சென்டி மீட்டர் அலைவரிசையில் இருமட்ட மேசர்கள் அமைப்பதில் நடைபெற்ற அளவு வேலை மில்லி மீட்டர் அலைவரிசைகளில் நடைபெறவில்லையெனக் கூறலாம். ஏனெனில், சென்டி மீட்டர் அலைவரிசைப் பகுதிதான் செய்தித்தொடர்பு துறையில் மிகுந்த முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. இருப்பினும், உயர்ந்த பகுதிறன் (resolution) உடைய ராடார் அமைப்புகள் (radar systems) மைக்ரோ அலை நிறமாலையியல் (microwave spectroscopy) போன்ற துறைகளில் மில்லி மீட்டர் அலைவரிசைகளில் செயல்படும் மேசர்களே பெரும் பயனுடையவை. எனவே, இந்த அலைவரிசைகளிலும் ஓரளவு ஊக்கம் காட்டப்பெற்றுள்ளது. நடைமுறையில் அமைக்கப் பெற்ற இத்தகைய சில மேசர்களில் தார்ப் (Thorp), பேஸ் (Pace), சாம்ப்சன் (Sampson) ஆகியோர் உருவாக்கிய 8 மி. மீ. அலைநீளத்தில் செயல்படும் இருமட்ட மேசரைக் குறிப்பாகக் கூறலாம்.

7. லேசர்கள்

7.1. மேசர்களும் லேசர்களும்

மேசர்கள் மைக்ரோ அலைகளைத் தோற்றுவிக்கவோ அல்லது பெருக்கவோ செய்யுமெனவும், அவ்வாறே லேசர்கள் ஒளி அலைகளை வலிவுமிக்க, ஓரியல் கதிர்வீச்சுகளாகத் (coherent radiation) தோற்றுவிக்குமென்வும் கண்டோம். இரண்டுமே தூண்டப்பெறுதலால் கதிர்வீச்சு வெளியீடு எனும் முறையால்தான் பெருக்கியாகவோ அல்லது அலைவியற்றியாகவோ செயல்படுகின்றன. இரண்டிற்குமுள்ள அடிப்படை ஒன்றே. ஆயினும், நடைமுறை லேசர்கள் வேலை செய்யும் முறைகள், அவற்றில் பயன்படுத்தப்பெறும் பொருள்களுக்கேற்ப மாறுபடும்.

மேசர்களில் உள்ளதுபோல் இங்கும் நாம் விரும்பும் அதிர்வெண்ணுக்கு (ஒளி அலைகள்) ஏற்ற ஆற்றல் மட்டங்களையுடைய பொருளைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர், அப்பொருளில் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை (population inversion) ஏற்படுத்தவேண்டும். இதற்குப் பொருத்தமான ஒரு முறையைக் கையாளவேண்டும்.

மின்காந்த நிறமாலையில் (electro magnetic spectrum) ஒளியியல் பகுதியில் (optical region) தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டைவிடத் தன்னிச்சையான வெளியீடு நிகழ்வதற்கான நிகழ்திறம் (probability) அதிகமென முன்னரே இரண்டாவது பிரிவில் பார்த்தோம். எனவே, லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதற்குத் தன்னிச்சையான வெளியீட்டினைவிடத் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டின் செறிவு மிகுந்திருக்கவேண்டும்.

இத்தகைய தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு தகுந்த ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே நிகழும்படி பல்வேறுபட்ட பொருள்களில்

செய்யலாம். பராகாந்தப் படிகங்கள் (paramagnetic crystals), வாயுக் கலவைகள் (gas mixtures), குறைகடத்திகள் (semi conductors), ஒளிரும் திரவங்கள் (fluorescent liquids) போன்ற பல பொருள்களைக் காட்டாகக் கூறலாம்.

வாயுக் கலவைகளைப் பயன்படுத்தும் லேசர்களிலும் குறை கடத்தி லேசர்களிலும் கையாளப்பெறும் சில ஏற்றும் முறைகள் (pumping methods) மேசர்களில் பயன்படும் முறைகளிலிருந்து முற்றும் மாறுபட்டவை.

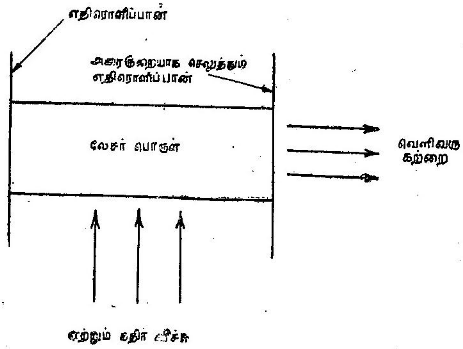
மேசர்களில் மேசர் பொருள் ஒரு மைக்ரோ அலைப் பொந்தினுள் (microwave cavity) வைக்கப்படும் என்றும், இதனால் மைக்ரோ அலைகள் பொந்தினுள் பன்முறை எதிரொளித்து முன்னும் பின்னும், மேலும் கீழுமெனப் பல திசைகளிலும் பல முறை செல்வதால் மேசர் பொருளிலுள்ள உயர்மட்ட மூலக் கூறுகள் யாவுமே தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினைச் செய்யும் சூழ்நிலை ஏற்படுகின்றது எனவும் கண்டோம். ஆனால், இந்த வகையான ஒத்ததிர்வுப் பொந்துகளை ஒளியியல் பகுதிகளில் பயன் படுத்த முடியாது. ஏனெனில், ஒளியியல் பகுதியில் இப் பொந்துகளின் அளவுகள் மிகமிகச் சிறியனவாக (அலை நீளத்தின் அளவில்) இருக்கவேண்டும்; அவற்றை நடைமுறையில் அமைப்பது இயலாத ஒன்றாகும். இப் பிரச்சினையை ஷவ்லாவ் (Schawlow), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் ஓர் ஒளியியல் அமைப்பினைக் கொண்டு தீர்த்து வைத்தார்கள். இது ஃபேப்ரி - பெரோ குறுக்கீட்டு விளைவுமானியின் (Fabry-Perot interferometer) அடிப்படையில் அமைந்தது; இது ஓர் ஒளியியல் ஒத்ததிர்வியாகச் (optical resonator) செயல்படும்.

7·2. ஒளியியல் ஒத்ததிர்வி

ஷவ்லாவ் (Schawlow), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் அமைத்த ஒத்ததிர்வி, இரண்டு எதிரொளிக்கும் தகடுகளை உடையது. இந்த எதிரொளிப்பான்கள் (reflectors) ஒன்றுக்கொன்று இணையாக (parallel) இருக்கும். இவற்றுக்கிடையே லேசர் பொருள் வைக்கப் பட்டிருக்கும். (படம் 7.1).

ஏற்றும் முறையால் லேசர் பொருளின் அணுக்கள் அல்லது அயனிகள் அல்லது மூலக்கூறுகள் தகுந்த உயர்மட்டத்திற்குச் செலுத்தப்பெறும். இவ்வுயர்மட்டத்திலுள்ளவற்றுள் சில

தன்னிச்சையான வெளியீட்டின் (spontaneous emission) வாயிலாக வெளிவிடும் ஃபோட்டான்கள் (photons) சைகை அதிர்வெண்

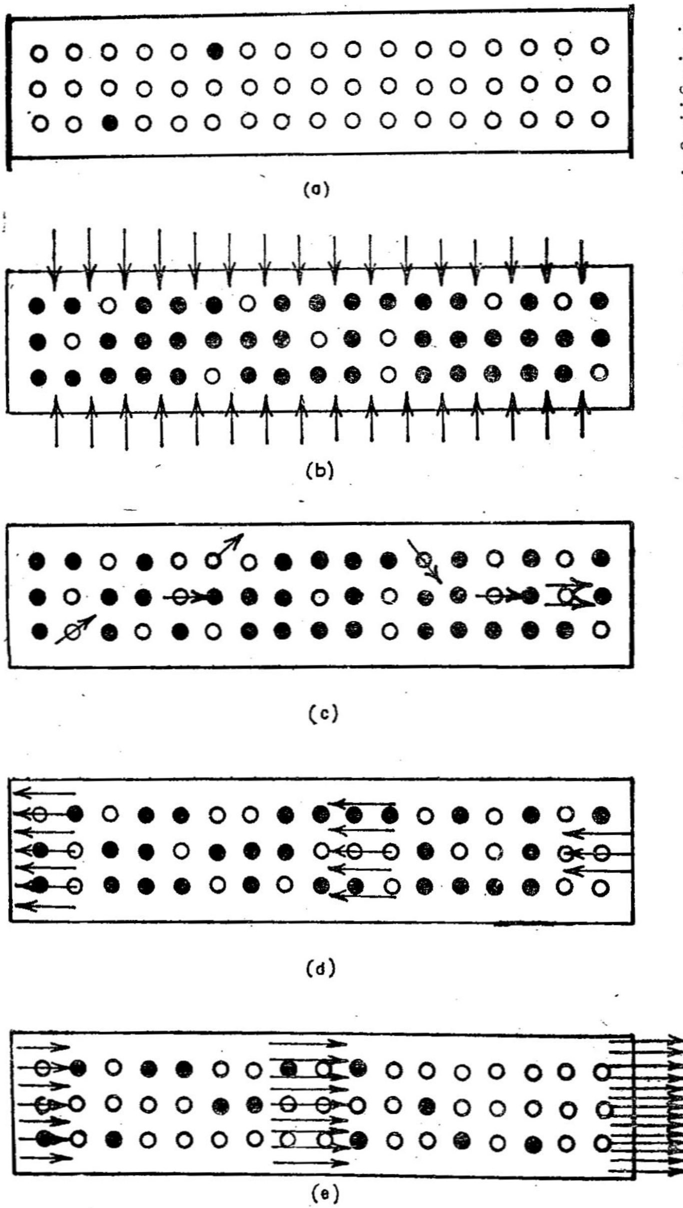


படம் 7 1. லேசரின் அடிப்படை உருவம் — ஒளியியல் ஒத்ததிர்வி.

ணுகச் செயல்படும். இவை, உயர்மட்டத்திலுள்ள மற்ற அணுக்களை, ஃபோட்டான்களை வெளிவிடும்படி தூண்டும். இதனால் ஒளி பெருக்கப்படுகின்றது.

முனைகளிலுள்ள எதிரொளிப்பானுக்குச் செங்கோணத்தில் செல்லும் ஒளி அலைகளே இரு எதிரொளிப்பான்களிலும் மீண்டும் மீண்டும் பட்டு எதிரொளித்துப் பல்லாயிரக்கணக்கான முறை முன்னும் பின்னுமாகச் செல்லும். இதனால் உயர்மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள் யாவுமே தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டின்மூலம் ஒளியை உமிழ்கின்றன ; பெருக்கம் பெருமளவில் ஏற்படுகின்றது. எதிரொளிப்பதால் ஏற்படும் இழப்புகளை (losses) வெற்றிகொள்ளப் போதுமான அளவு பெருக்கம் ஏற்படுமானால் இரு எதிரொளிப்பான்களுக்குமிடையே ஒரு நிலை - அலை ஒளி அமைப்பு (standing-wave pattern) உருவாகும். இப்போது இரு எதிரொளிப்பான்களில் ஒன்று இலேசாக ஒளியைச் செலுத்தும் வகையில் இருக்குமானால் அதன் வழியாக ஒரு திருத்தமான இணைக் கற்றை (parallel beam) வெளிவரும். இந் நிகழ்ச்சிகளைப் படம் 7.2 விளக்குகின்றது.

இவ் வகையான ஒளியியல் ஒத்ததிர்வியானது மேசர்களில் பயன்படும் மைக்ரோ அலை ஒத்ததிர்விகளிலிருந்து மாறுபட்டது. இதில் பக்கவாட்டில் செல்லும் ஃபோட்டான்கள் தப்பிச் சென்று விடுகின்றன. மேசர்களில் கதிர்வீச்சானது பொந்தின் தொளை அல்லது இணைப்பு (coupling) வழியாக வெளிவரும். லேசர் பொந்தின் அளவுகள் அதிலிருந்து வெளிவிடப்படும் அலைகளின்



● கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற அணுக்கள். ○ தாழ்மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள். (*a*) சமநிலையில். (*b*) ஏற்றும் முறையால் கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற அணுக்கள். (*c*) தன்னிச்சையாக வெளிவிடப்பெற்ற சில ∴போட்டான்கள் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினைத் துவக்குதல். (*d*) எதிரொளிக்கப்பெற்ற ∴போட்டான்கள் மேலும் கதிர்வீச்சு வெளியீட்டைத் தூண்டுதல். (*e*) இணையொளிக்கற்றை வெளிவருதல்.

படம் 7.2. லேசர் செயல் படிப்படியாய் உருவாதல்.

அலைநீளத்தைப்போல் பல நூறு அல்லது பல்லாயிரம் மடங்கு பெரியது; மேசர்களில் ஒத்ததிர்வுப் பொந்தின் அளவுகள் ஓர் அலைநீளம் என்னுமளவில்தான் இருக்கும்.

எதிரொளிப்பான்களின் செலுத்துகைத் திறன் (transmissivity) t எனவும், எதிரொளிக்கும் திறன் (reflectivity) r எனவும், இழப்பு (loss) q எனவும் கொண்டால்,

$$r + t + q = 1 \qquad \longrightarrow (7{\cdot}1)$$

சிறந்த மின்கடத்தாப் பொருள்களின் (dielectrics) பல படலங்களால் எதிரொளிப்பான்கள் செய்யப் பட்டிருக்குமானால் இழப்பைப் புறக்கணித்து விடலாம். எனவே,

$$r + t = 1$$

அல்லது,

$$t = 1 - r \qquad \longrightarrow (7{\cdot}2)$$

லேசரில் ஒளி இயற்றப்பெறுகின்றது. இதில் ஒரு பகுதி பக்கவாட்டில் தப்பிச்செல்கின்றது; இதுபோக எஞ்சியது முன்னும் பின்னுமாக லேசர் பொருளின் ஊடே எதிரொளிக்கப்படுவதால் அரைகுறையாகச் செலுத்தும் இயல்புடைய (partially transmitting) எதிரொளிப்பான்களில் ஒவ்வோர் எதிரொளிப்பின்போதும் $(1 - r)$ பங்கு இழக்கப்படுகின்றது. எனவே, அலைவுகள் நிலை பெறவேண்டுமானால் கதிர்வீச்சானது லேசர் பொருளின் ஊடே செல்வதால் ஏற்படும் கதிர்வீச்சு ஈட்டமானது (gain) இந்த இழப்பினையும், எதிரொளிப்பான்களில் உட்கவர்தல் (absorption), ஒளிச்சிதறல் (scattering) போன்ற இரண்டாந்தர விளைவுகளால் (secondary effects) ஏற்படும் இழப்புகளையும் ஈடுசெய்யக்கூடிய தாய் இருக்கவேண்டும்.

லேசரில் ஏதேனுமொரு புள்ளியில் துவங்குவோம். இங்கிருந்து புறப்படும் I_0 செறிவுடைய கதிர்வீச்சு மீண்டும் அதே புள்ளியை அதே திசையில் கடப்பதற்குள் இருமுறை எதிரொளிக்கப்படும். இந்த நிலையில் கதிர்வீச்சின் செறிவு I எனக் கொள்வோம். இந்தச் செயலில் கதிர்வீச்சானது லேசர் பொருளை இருமுறை கடக்கின்றது. ஒவ்வொரு முறை கடக்கும்போதும் அதன் செறிவு $e^{\alpha L}$ பங்கு அதிகரிக்குமெனக் காட்டலாம். இங்கே, α என்பது லேசர் பொருளின் ஒரு மாறிலி - எதிர்க்குறியுடைய

உட்கவர் எண் (negative absorption coefficient) ; L என்பது லேசர் பொருளின் நீளம். எனவே, இருமுறை கடத்தலால் செறிவு $e^{2\alpha L}$ பங்கு அதிகரிக்கும். ஆனால், இரு எதிரொளிப் பான்களிலும் ஒவ்வொரு முறை எதிரொளித்தலால்,

$$I = r_1 r_2 I_0 e^{2\alpha L} \longrightarrow (7{\cdot}3)$$

என எழுதலாம். இங்கே, r_1, r_2 என்பன முறையே இரு எதிரொளிப்பான்களினுடைய எதிரொளிக்கும் திறன்களாகும். எனவே,

$$\frac{I}{I_0} = r_1 r_2 e^{2\alpha L} \longrightarrow (7{\cdot}4)$$

எனவே, கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் $\frac{I}{I_0} = F$ மடங்கு மாறுகின்றது.

r_1, r_2 ஆகியவற்றின் பெருக்குச் சராசரி (geometric mean) r எனக்கொண்டால்,

$$F = r^2 e^{2\alpha L} \longrightarrow (7{\cdot}5)$$

மேலும், இழப்பு எண் (loss coefficient) γ என்ற ஒன்றினைப் புகுத்திக்கொள்வோம்.

$$\gamma = -\log_e r \longrightarrow (7{\cdot}6)$$

அல்லது,

$$r = e^{-\gamma} \longrightarrow (7{\cdot}7)$$

எனவே,

$$F = e^{-2\gamma} e^{2\alpha L}$$

அல்லது,

$$F = e^{2(\alpha L - \gamma)} \longrightarrow (7{\cdot}8)$$

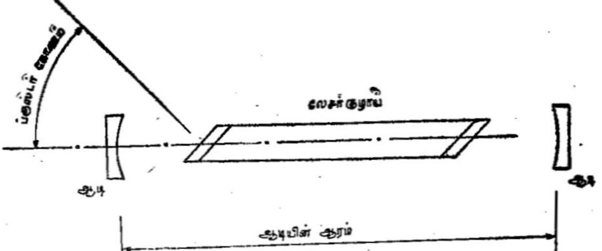
இந்தக் காரணி F ஆனது இருமுறை கதிர்வீச்சு முழுமையாக லேசர் பொருளின் ஊடு சென்று வருவதால் ஏற்படும் ஈட்டத்தைக் குறிப்பதால் $F \geqslant 1$ என்றிருந்தால் லேசரில் அலைவுகள் தோன்றி வளரும். அவ்வாறன்றி, $F < 1$ ஆனால் அலைவுகள் அழிந்துபடும்.

எவ்வாருகிலும் $\alpha L > \gamma$ எனும் நிலையை உருவாக்கினுல் கதிர் வீச்சின் செறிவு வேகமாக அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். எனவே, உயர்மட்டத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை குறையும். இது ஓர் இயக்க நிலையைக் (dynamic situation) குறிக்கும்; லேசர்கள் துடிப்புகளாக ஆற்றலை வெளிவிடும் நிலைகளுக்கு இது பொருந்தும். நிலையான நிலைகளில் (steady states) வெளிப்பாட்டினைப் பெறவேண்டுமாகுல் α - ன் உச்சமதிப்பாகிய α_m ஆனது $\frac{\gamma}{L}$ ஐ விடச் சற்றே குறைவானதாக இருக்கவேண்டுமெனக் காட்டலாம். எனவே,

$$\alpha_{\text{பெருமம்}} = \frac{\gamma}{L} \longrightarrow (7{\cdot}9)$$

என்பது பயன்தொடக்க நிபந்தனை (threshold condition) எனப்படும்.

α - ன் மதிப்பானது α_m - க்கு ஏறத்தாழச் சமமாக இருப்பது ஒரு மிகக் குறுகிய அகலமுடைய நிறமாலைப் பகுதியில்தான். எனவே, இந்த மிகக் குறுகிய அகலமுடைய அலைவரிசையில்தான் பெருக்கமானது இழப்புகளைச் சரிக்கட்டக்கூடிய அளவிற்குப் பெரிதாக இருக்கும். எனவே, லேசரின் வெளிப்பாடு கூர்மையான உச்சியினை (peak) உடையதாயிருக்கும். மேலும், வெளிப்பாட்டின் வரி அகலம் அணுவரி அகலத்தைவிட (atomic line width) மிகக் குறுகலாக இருக்கும்.



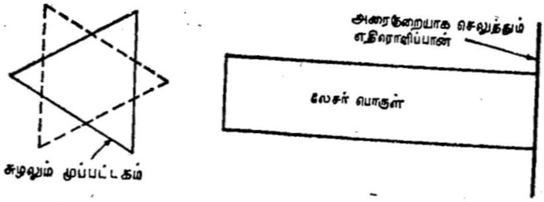
படம் 7.3. பொதுக்குவிய ஒளியியல் ஒத்ததிர்வி.

வழக்கத்திலிருக்கும் வேறொரு வகை ஒளியியல் ஒத்ததிர்வி பொதுக்குவிய ஒளியியல் ஒத்ததிர்வியாகும். இது பொதுக்குவிய ஆடிகள் (confocal mirrors) அமைப்பினை அடிப்படையாகக் கொண்டது. படம் 7.3 இதனை விளக்குகின்றது. இது ஒன்றுக்

கொன்று முற்றிலுமொத்த இரு ஆடிகளையுடையது. இரண்டும் ஒன்றையொன்று நோக்கி இருக்கும்படியும் இரண்டிற்கு மிடையே யுள்ள தூரம் ஆடியின் ஆரத்திற்குச் சமமாயிருக்கும்படியும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். லேசர் பொருளானது இவற்றுக்கு இடையே வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

Q - சுவிட்சு லேசர் (Q - switched laser) என்ற ஒருவகை ஒளியியல் ஒத்ததிர்வு இராக்கதத் துடிப்புகளைப் (giant pulses) பெறுவதற்கென உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் விரைந்து செயலாற்றும் ஓர் அடைப்பு (shutter) இருக்கும். ஏற்றும் நிகழ்ச்சி நடைபெறும்போது பெரும்பாலான நேரம் இது மூடியே இருக்கும். இதனல், ஏற்றும் நிகழ்ச்சி நடைபெறுகையில் லேசர் அலைவுகள் ஏற்படா ; உயர்ந்த அளவில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படும். அடைப்பைத் திறக்கும்போது, கணப்போதில், லேசர் பொருளில் தேக்கிவைக்கப்பட்டுள்ள கிளர்ச்சியாற்றல் முழுதும் ஒரு பெருந்துடிப்பாக (large pulse) வெளிவரும்.

பல்வகைப்பட்ட அடைப்புகள் நடைமுறையில் கையாளப் படுகின்றன. காட்டாக, கெர் மின்கலங்கள் (Kerr cells), காந்த - ஒளியியல் அடைப்புகள் (magneto - optical shutters), ஃபாரடே மின்கலங்கள் (Faraday cells), செவியுணரா ஒலி கலங்கள் (ultrasonic cells), சுழலும் வட்டுகள் (rotating discs), ஒரு படித்தாயில்லாத காந்தப் புலங்கள் (inhomogeneous magnetic fields) போன்றவற்றைக் கூறலாம். சுழலும் முப்பட்டகம் (spinning prism) ஒன்றைக் கையாளும் முறை படம் 7.4 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 7.4. Q - சுவிட்சு லேசர் - சுழலும் முப்பட்டகத்தைப் பயன்படுத்துவது.

இதில் முப் பட்டகத்தின் ஒரு பக்கம் லேசர் பொருளின் மறு கோடியிலுள்ள ஆடிக்கு இணையாக இருக்கும் மிகக் குறுகிய நேரத்தில் மட்டிலும் இரண்டும் சேர்ந்த அமைப்பு ஓர் ஒத்ததிர்வுப் பொந்தாகச் செயல்படுகின்றது. ஏற்றும் நிகழ்ச்சி

யின்போது முப்பட்டகத்தின் பக்கம் எதுவும் ஆடிக்கு இணையாக இல்லாதிருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ளப்படும். எனவே, தலைகீழாக்கம் ஓர் உயர்ந்த நிலையில் நடைபெறுகின்றது ; ஆடிகள் இணையாகும்போது லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெற்று உயர்ந்த உச்சத் திறனுடைய ஒரு குறுகிய துடிப்பாக ஆற்றல் வெளிப்படுகின்றது. இந்த முறையைக் கையாளும் மாணிக்க லேசர்களில் (ruby lasers) 500 மில்லிவாட்டுகள் (milli watts) எனுமளவு உயர்ந்த உச்சத் திறன்களில் ஆற்றல்களைப் பெற இயலும்.

7.3. லேசர் கதிர்வீச்சின் சிறப்பியல்புகளும் அவற்றை அளத்தலும்

அலைநீளம் (wave length), செறிவு (intensity) இடஞ்சார்ந்த ஒரியல் பண்பு (spatial coherence) ஆகியவை லேசர் வெளியிடும் கதிர்வீச்சின் முக்கியமான சிறப்புக் கூறுகளெனக் கூறலாம்.

லேசரில் பின்னூட்டல் செயலினால் (feed - back process) நிறமாலை வரியினது அகலம் குறைகின்றது. எனவே, லேசர் வெளியிடும் கதிர்வீச்சின் நிறமாலைப் பகிர்வினை (spectral distribution) அளப்பதற்கு மிகவும் உயர்ந்த பகுதிறன் (resolving power) உடைய ஒரு கருவி தேவை. உயர்ந்த பகுதிறனுடைய கீற்றணி நிறமாலை வரைவியினைப் (grating spectrograph) பயன்படுத்தினால் 0·02 செ.மீ.$^{-1}$ எனுமளவான பகுப்புகளைப் (resolutions) பெறக்கூடும். லேசருக்கென அமைக்கப்பட்ட ஃபேப்ரி - பெரோ குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைப் (Fabry - Perot interferometer) பயன்படுத்தினால் 4×10^{-5} செ.மீ.$^{-1}$ எனுமளவு உயர்ந்த பகுப்பினைக்கூட 10^4 செ.மீ.$^{-1}$ல் பெற இயலும். கலக்கிப் பிரித்தல் (heterodyne) போன்ற எலெக்ட்ரானிய முறைகளைப் பயன்படுத்தியும் லேசர் கதிர்வீச்சின் நிறமாலைப் பகிர்வினை அளக்கலாம். ஒளியியல் குறுக்கீட்டு விளைவு மானி (optical interferometers) முறைகளால் விரிவாக ஆராய்ந்தறிய முடியாத லேசர் அதிர்வெண்களையும் வரி அமைப்புகளையும் எலெக்ட்ரானிய முறைகளால் அறியக்கூடும்.

ஒரு புறப்பரப்பின் (surface) ஊடே கதிர்வீச்சுப் பாயும் வீதம் கதிர்வீசும் பாயம் (radiative flux) எனப்படும். இதனைத் திறன் அலகுகளால், அதாவது வாட்டுகளில் அளப்பது வழக்கம். ஒரு புறப்பரப்பின்மீது படுகின்ற கதிர்வீச்சில் செறிவானது கதிர்வீசும் பாய அடர்த்தி (radiative flux density) எனப்படும். இதனை ஒரு

சதுர சென்டிமீட்டருக்கு இத்தனை வாட்டுகள் என்று அளப்பது வழக்கம்.

தாழ்ந்த திறன் மட்டங்களில் லேசரின் வெளிப்பாடு ஒளி காட்டும் கருவியினால் (photo detector) அளக்கப்படும். உயர்ந்த திறன் மட்டங்களில் கேலரி மீட்டர் (calorimeter) பயன் படுத்தப்படும்.

துடிப்பு லேசரின் ஆற்றல் வெளிப்பாடு (energy output) ஒரு துடிப்புக்கு இத்தனை ஜூல்கள் எனவும், தொடர்ச்சியாகச் செயல் படும் லேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறன் ஒரு நொடிக்கு இத்தனை ஜூல்கள், அதாவது வாட்டுகள் எனும் அலகாலும் அளக்கப் பெறும்.

ஓர் அலைப்புலத்தில் (wavefield) மின்காந்த அமைதிக் குலை வானது (electromagnetic disturbance) இட ஆயம் (space coordinate), கால ஆயம் (time coordinate) ஆகிய இரண்டினையுமே சார்ந்துள்ளதால் நாம் இட ஓரியல் பண்பு (spatial coherence), கால ஓரியல் பண்பு (time coherence) என்ற இரண்டினைப் பகுத் துணர வேண்டியுள்ளது.

இடஞ்சார்ந்த ஓரியல் பண்பென்பது இரு புள்ளிகளிலிருந்து புறப்பட்டு வரும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளின் கட்டங்களுக்கு (phases) இடையேயுள்ள தொடர்புபற்றிய ஒன்றாகும். ஓர் அலைப்புலமானது ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் உண்டாக்கும் மின்காந்த அமைதிக் குலைவிற்கும் அதற்கு முன்போ அல்லது பின்போ அதே இடத்தில் உண்டாக்கும் அமைதிக் குலைவிற்கும் (disturbance) உள்ள ஒரு தொடர்பினையே கால ஓரியல் பண்பு என்று கூறுகின்றோம்.

இரு இடங்களிலிருந்து வரும் அலைகள் குறுக்கீட்டு விளைவுகளை (interference effects) உண்டுபண்ணுமானால் அந்த அலைகளை ஓரியல் அலைகள் (coherent waves) என்று நாம் வழங்குவது வழக்கம். ஆனால், துல்லியமான முறையில் கூறவேண்டுமானால் ஓர் ஒளியை ஓரியல் ஒளியென்றும் பிறிதொன்றை ஓரியலல்லாத ஒளியென்றும் கூறக்கூடாது. ஓரியல் பண்பென்று நாம் கூறும்போது இரு இடங்களிலிருந்து வரும் ஒற்றை நிற ஒளிகளுக்கிடையேயுள்ள கட்டத் தொடர்பினையே (phase relation) மனத்தில் கொள் கின்றோம். மின்காந்தக் கதிர்வீச்சினது ஓரியல் பண்புகளைப் பரி

மாற்று ஓரியல் சார்பலன் (mutual coherence function) என்ற ஒன்றினுல் வரையறுப்பது வழக்கம். குறிப்பிட்ட ஓர் இடத்திலே வெவ்வேறு நேரங்களிலும் ஒரு கதிர்வீச்சின் ஓரியல் பண்புகள் எவ்வாறிருக்கும் என்பதனை வரையறுக்கும் பரிமாற்று ஓரியல் சார்பலனுகிய இந்த அளபுருவினை (parameter) குறுக்கீட்டு மானியியல் முறைகளால் அளக்கலாம். இந்த அளபுருவின் தனி மதிப்பு (absolute value) 0 - விருந்து 1 வரை வேறுபடும். முழுக்க முழுக்க ஓரியல் பண்புடைய அலையினது பரிமாற்று ஓரியல் சார்பலனின் மதிப்பு ஒன்றுகும்.

7.4. லேசர் வகைகள்

கடந்த சில ஆண்டுகளில் பல்திறப்பட்ட லேசர்கள் உருவாகியுள்ளன. அவற்றைப் பின்கண்ட வகைகளாகப் பகுத்துக் கொண்டு அறிய முனையலாம்: (1) திடநிலை லேசர்கள், (2) வாயு லேசர்கள், (3) குறைகடத்தி லேசர்கள், (4) திரவ லேசர்கள், (5) வேதியியல் லேசர்கள் என்ற தலைப்புகளில் அடுத்து வரும் பிரிவுகளில் இவற்றைப் பார்ப்போம்.

7.5. லேசர் பெருக்கிகள்

பின்வரும் பிரிவுகளில் பார்க்கப்போகும் பல்வகை லேசர்களிலிருந்தும் இவை யாவும் ஒளி இயற்றிகளாகச் (light generators) செயல்படுகின்றனவேயன்றி லேசர் பெருக்கிகளாக (amplifiers) அல்ல என்பது புலனுகும். மேலும், லேசர்களின் முன்னேடிகளான மேசர்களின் சிறப்பே, அவை தொடக்கப் பெருக்கிகளாகத் திறம்படச் செயலாற்றுவதே எனக் கண்டோம். அவற்றில் இரைச்சல் மட்டம் (noise level) மிகமிகத் தாழ்ந்திருப்பதே மேசர்களின் பெருக்கும் செயலுக்கு நாமளிக்கும் சிறப்புக்குரிய காரணமாகும். அவ்வாறிருக்க லேசர் பெருக்கிகள் அமைக்கப்படாதது ஏன்?

மேசர்களில் போன்றல்லாமல் லேசர்களில் இரைச்சல் மட்டம் பெரிதும் உயர்ந்து காணப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். கதிர்வீச்சு வெளியீட்டினைப்பற்றிப் பார்த்தகாலை (பிரிவு - 2) தன்னிச்சையான வெளியீட்டின் வீதம் அதிர்வெண்ணின் மும்மடிக்கு (ν^3) நேர்விகிதத்தில் இருக்கக் கண்டோம். பெருக்கியில் தன்னிச்சையான வெளியீடு இரைச்சலாக அமைகின்றது; தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு பெருக்கமடைந்த சைகையாக இருக்கின்றது.

மைக்ரோ அலேப் பகுதியில் இந்த இரைச்சல் (தன்னிச்சையான வெளியீடு) மிகமிகக் குறைவு. ஆனால், ஒளியியல் பகுதியில் அதிர்வெண்ணானது மைக்ரோ அலே அதிர்வெண்ணைப்போல் ஏறத்தாழ 10^4 மடங்குளது. எனவே, சைகைக்கும் இரைச்சலுக்குமுள்ள விகிதம் (மைக்ரோ அலேயிலிருந்து ஒளி அலேக்கு வரும்போது) 10^{12} மடங்கு (v^3) குறைகிறது. எனவே, லேசரில் இரைச்சல் அதிகமென்பதும், இதனைப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்துவது அவ்வளவாக ஏற்புடையதில்லே என்பதும் தெரிகின்றது. ஆனால், இரைச்சலே ஒருபொருட்டாகக் கருத வேண்டாத இடங்களில் லேசர் பெருக்கிகளேப் பயன்படுத்தலாம்.

உள்ளிடும் சைகையானது (input signal) பிறிதொரு லேசரிலிருந்து வருவதாகவும், வலிவுடையதாகவும் இருக்குமானல் லேசர் பெருக்கியைப் பயன்படுத்தி அச் சைகையை மேலும் சிறப்பான முறையில் பெருக்கலாம். இதனைக் கிஸ்லியுக் (Kisliuk), பாயில் (Boyle) ஆகியோர் செய்து காட்டியுள்ளனர்; ஒளி இயற்றியாகச் செயல்படும் ஒரு மாணிக்க லேசரின் வெளிப்பாட்டினைப் பிறிதொரு மாணிக்க லேசருக்குள் செலுத்திப் (இந்த இரண்டாவது லேசரில் எதிரொளிக்கும் ஆடிகள் இரா.) பெருக்கிக் காட்டினர்.

8. திடநிலை லேசர்கள்

8.1. மும்மட்ட லேசர்

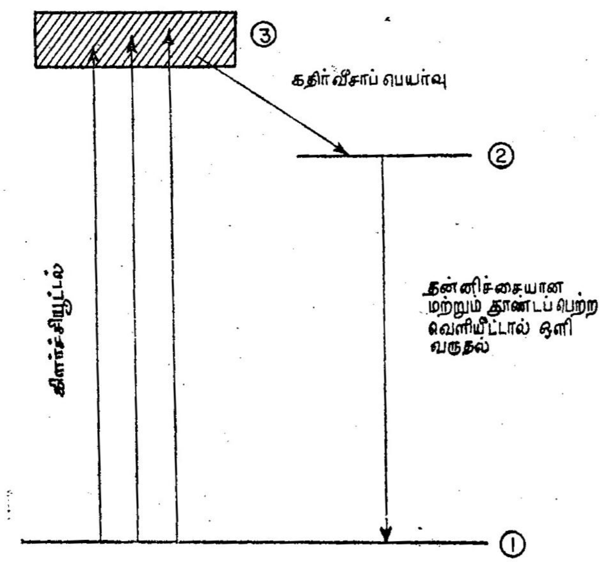
முதன்முதலாக அமைக்கப்பட்ட லேசர் ஒரு மாணிக்க லேசர் (ruby laser) எனவும், இதனைக் கி.பி. 1960 ஆம் ஆண்டில் மைமன் (Maiman) என்பார் உருவாக்கினார் எனவும், இதனைத் தொடர்ந்து பல்வேறுபட்ட திடநிலைப் பொருள்களையும்கொண்டு லேசர்கள் அமைக்கப்பெற்றன எனவும் முன்னரே கண்டோம். லேசர்கள் பற்றிய சில அடிப்படை உண்மைகளையும் கடந்த பிரிவில் கண்டோம். ஈண்டுத் திடநிலை லேசர்களைப்பற்றிக் காண்போம்.

திடநிலை லேசர்களில் இருவகையுண்டு. அவையாவன: மும் மட்ட லேசர் (three level laser), நான்மட்ட லேசர் (four level laser) எனப்படும்.

மும்மட்ட லேசர்கள் மும்மட்ட மேசர்களைப் போன்று பொருளின் மூன்று ஆற்றல் மட்டங்களைப் பயன்படுத்துகின்றன. ஆனால், மேசர் செயல்படுவதற்கும் லேசருக்கும் வேறுபாடு உண்டு. இப்போது மும்மட்ட லேசரின் தத்துவத்தைப் பார்ப்போம்.

ஒரு மும்மட்ட லேசர் பொருளின் ஆற்றல் மட்டங்களைப் படம் 8.1 விளக்குகின்றது. இதில் (1) என்பது தரைமட்டத்தைக் (ground level) குறிக்கின்றது. ஏற்றும் முறையால் (pumping method) இந்த மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள் அல்லது அயனிகள் அகன்ற பட்டையான உயர்மட்டத்திற்குச் செல்லும். இந்த மட்டம் படத்தில் (3) எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இம் மட்டத்திலுள்ள அயனிகள் (2) எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ள ஒரு சிற்றுறுதியான நிலைக்கு (metastable state) கதிர்வீசாப் பெயர்வால் (radiationless transfer) வரும். இந்த இடைப்பட்ட, கூர்மையான மட்டத்தி

லிருந்து தன்னிச்சையான வெளியீட்டால் (spontaneous emission) தரைமட்டத்திற்குச் சில அயனிகள் வரும். இந்தத் தன்னிச்சை யான வெளியீடானது, தாழ்ந்த அளவில் அயனிகள் கிளர்ச்சி யூட்டப் பெற்றிருந்தாலும் நிகழும். இது, சாதாரண ஒளிர்தலே (flourcscence). கிளர்ச்சியூட்டும் கதிர்வீச்சு, போதுமான அளவு செறிவுடையதாக இருந்தால், அதாவது ஏற்றும் நிகழ்ச்சி



படம் 8.1. மும்மட்ட லேசரில் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

திறம்பட நடைபெற்றால், (2) - வது மட்டத்தில் தரைமட்டத்தி லுள்ளதைவிட அதிகமான எண்ணிக்கையில் அயனிகள் இருக்கும். தன்னிச்சையான வெளியீட்டால் தோன்றிய ஃபோட்டான்கள் (photons) படிகத்தின் ஊடே செல்லும்போது அவை (2) - வது மட்டத்திலுள்ளவற்றைக் கதிர்வீச்சினை வெளிவிடும்படி தூண்டும். இவ்வாறாகத் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழும்.

8.2. மாணிக்க லேசர்

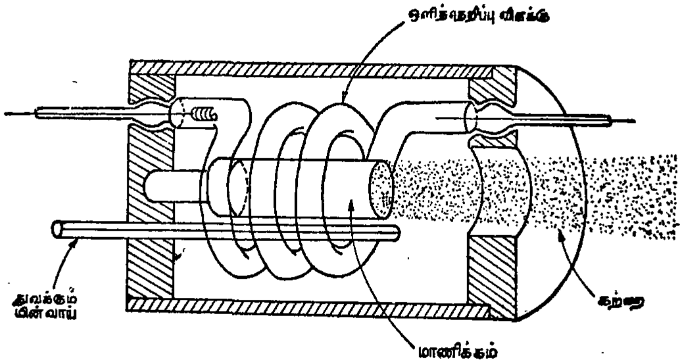
மைமன் (Maiman) அமைத்த மாணிக்க லேசர் (ruby laser) ஒரு மும்மட்ட லேசரே. இதில் லேசர் பொருளாகப் பயன்படுவது மாணிக்கமாகும். இது Al_2O_3 - ல் நூற்றுக்கு 0.05 விழுக்காடு Cr_2O_3 - ஐ உடையது. இதில் அலுமினியமும், ஆக்ஸிஜனும் செய

லற்றவை (inert). குரோமியம் அயனிகள் (chromium ions) தான் லேசர் நிகழ்ச்சியில் பங்கேற்கின்றன. மேலே குறிப்பிட்ட மாணிக்கப் படிகத்தில் ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு $1 \cdot 62 \times 10^{19}$ குரோமிய அயனிகள் இருக்கும்.

ஏறத்தாழ 1 செ.மீ. விட்டமும் 10 செ.மீ. நீளமுமுள்ள உருளை வடிவில் (cylindrical) மாணிக்கப் படிகம் எடுத்துக்கொள்ளப் பெறும். இவ்வுருளையின் இரண்டு முனைப் பக்கங்களும் சமதளங்களாகவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும் இருக்கும்படி செய்யப் பட்டிருக்கும். இந்தச் சமதளத் தன்மையும், இணைத்தன்மையும் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு சிறப்பாக அமைகின்றனவோ அவ்வளவுக் கவ்வளவு லேசரின் செயல்திறம் (performance) சிறந்து விளங்கும். முனைப்பக்கங்களில் (end faces) ஒன்று முழுவதும் எதிரொளிக்கும் தன்மையுடையதாகவும் மற்றொன்று அரைகுறையாக எதிரொளிப் பதாகவும் (partially reflecting) இருக்கும்படி இருபக்கங்கள்மீதும் வெள்ளிப்பூச்சு இடப்பெற்றிருக்கும் (silvered). அரைகுறையாக எதிரொளிக்கும் பக்கமானது ஏறத்தாழ 10% ஒளியைச் செலுத்தும் (transmit) வகையில் இருக்கும்படி அமைப்பது வழக்கம்.

இவ்வாறு அமைக்கப்பெற்ற மாணிக்க உருளையினைச் சூழ்ந் திருக்கும்படி சுருள்வடிவான ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு (spiral flash lamp) ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த விளக்கில் 125 மி.மீ. அழுத்தத்தில் (pressure) செனன் வாயு (xenon gas) நிரப்பப் பெற்றிருக்கும். இது பச்சை, நீலநிற ஒளிகளை ஓர் அகன்ற நிற மாலைப் பட்டையில் (spectral band) வெளிவிடும். இதனை ஒளி விடச் செய்யத் தேவையான மின்னாற்றலை மின்தேக்கிகளின் (condensers) தொகுப்பு ஒன்று அளிக்கும். இந்தத் தொகுப்பானது விளக்கின் குறுக்கே இணைக்கப்பெற்றிருக்கும். சில கிலோ வோல்ட்டுகள் (Kilovolts) மின்னழுத்தத்தில் ஏறத்தாழ, 100 மைக்ரோ ஃபாரடுகள் (micro farads) மின்தேக்கு திறனுடைய (capacity) மின்தேக்கிகள் தொகுப்பைப் பயன்படுத்தினால் சில மில்லிநொடிகளில் (milli seconds) 2000 ஜூல்கள் (Joules) ஆற்றல் வரை வெளிப்படும்படி செய்ய முடியும். இந்த ஆற்றல் ஒளித் தெறிப்பு விளக்கிற்குச் செலுத்தப்படும்போது இதில் பெரும் பகுதி வெப்பமாக (heat) வீணாகிவிடுகின்றது. எஞ்சிய ஆற்றலே நீல, பச்சை நிறக் கதிர்வீச்சாக வெளிப்படுகின்றது.

இந்தக் கதிர்வீச்சு மாணிக்கத்தால் உட்கவரப்பட்டுத் தரை மட்டத்திலுள்ள குரோமியம் அயனிகளை (3) - வது மட்டத்திற்கு உயர்த்துகின்றது. நாம் முன்னர் விவரித்ததுபோல மேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுகின்றது. 6943 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தில் லேசர் ஒளியானது அரைகுறையாக எதிரொளிக்கும் பக்கத்தின் ஊடே வெளிவருகின்றது. இந்த லேசரின் அமைப்பு, படம் 8.2 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 8.2. மாணிக்க லேசர்.

உண்மையில், கிளர்ச்சியூட்டலாகிய நிகழ்ச்சி துவங்கிய உடனேயே ஓரியல் கதிர்வீச்சு (coherent radiation) வெளிவருவதில்லை. ஏறத்தாழ அதே அலைநீளமுடைய ஒளிர்வு கதிர்வீச்சு தான் (fluorescent radiation) முதலில் வெளிவரும். இக் கதிர்வீச்சு நிறமாலையில் சற்றே அகன்ற பட்டையினை உடையது; எல்லாப் பக்கங்களிலும் கதிர்வீசும் (லேசர் ஒளிபோல இணைக்கற்றையாக வாராது); மாணிக்கத்தின் பல பகுதிகளிலிருந்தும் வரும் இத் தகைய கதிர்வீச்சுகளுக்கிடையே ஓரியல் தன்மை இராது. இக் கதிர்வீச்சு, தன்னிச்சையான வெளியீட்டின் (spontaneous emission) விளைவாகும். கிளர்ச்சியூட்டும் கதிர்வீச்சானது (exciting radiation) போதுமான அளவு செறிவுடையதாக இல்லாவிடில் இத்தகைய ஒளிர்வு கதிர்வீச்சு மட்டிலும்தான் வெளிவரும். ஆனல், கிளர்ச்சியூட்டும் கதிர்வீச்சானது ஒரு பயன்தொடக்க மதிப்பினை (threshold value) விடச் செறிவு மிக்கதாக இருக்குமாஞல் ஓரியல் கதிர்வீச்சு வெளிவரும். மாணிக்கப் படிகத்தை ஒளியூட்டத் தொடங்கியதன் பின்னர் ஏறத்தாழ 0·5 மில்லி நொடிகள் கழித்தே ஓரியல் கதிர்வீச்சு வெளிவரும்.

8.3. மாணிக்கத்தில் ஆற்றல் மட்டங்களும் நிறமாலையும்

மாணிக்க லேசர் செயல்படும் விதத்தினை ஒரு மூன்றுமட்டத் திட்டத்தினைக்கொண்டு விளக்கினோம். இனி, அந்த மூன்று மட்டங்களும் மாணிக்கப் படிகத்தில் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன என்பதனையும் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதனையும் சற்றே நுணுகிக் காண்போம்.

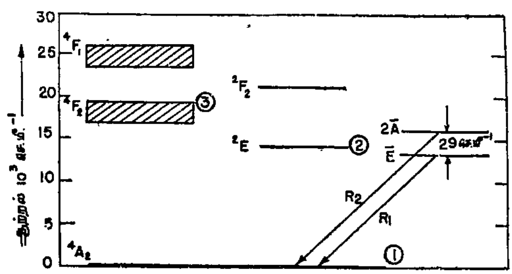
மாணிக்கப் படிகத்திலுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களைப் பற்றி, மேசர்களைப்பற்றிப் பார்த்தபோதே கண்டோம். ஆனால், மேசரைப்பற்றிப் பார்க்கும்போது படிகப் புலத்தினால் பிளவு பட்ட ^4F மட்டத்தில் தரைமட்டமானது படிகத்தின்மீது ஒரு காந்தப் புலம் செயல்படும்போது எவ்வாறு பிளவுபடுகின்றது என்பதனையும், அவ்வாறு ஏற்படும் தற்சுழற்சி மட்டங்களுக்கு இடையே ஏற்படும் மேசர் நிகழ்ச்சியினையும் மட்டிலுமே விரிவாகக் கண்டோம்; ஒளியியல் நிறமாலைக்கு இயைந்த ஆற்றல் மட்டங் களில் நாம் கவனம் செலுத்தவில்லை. லேசர் பொருளாகச் செயல் படும்போது மாணிக்கப் படிகத்தின்மீது காந்தப் புலம் எதுவும் செயல்படுத்தப் பெறுவதில்லை.

செயலூக்கமுடைய (active) பொருளாகச் செயல்படுவது Cr^{3+} அயனிகளே. Cr^{3+} அயனியானது அதன் நிறைவுபெறாத கூட்டில் (incomplete shell) மூன்று *d* எலெக்ட்ரான்களையுடையது. கட்டற்ற அயனியின் (free ion) தரை நிலையினை ^4F என்ற நிற மாலையியல் குறியினால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இதன் சுற்றுப் பாதைக் கோண உந்தம் (orbital angular momentum) $L = 3$, தற்சுழற்சி $S = \frac{3}{2}$. கட்டற்ற குரோமிய அயனியின் இதற்கு அடுத்த (தாழ்ந்த) நிலைகளின் தொகுதியானது $L = 4$, $S = \frac{1}{2}$ என்ற மதிப்புகளையுடையது. இது ^2G என்று குறிக்கப்படும்.

மாணிக்கத்தில் குரோமிய அயனியானது ஏறக்குறைய எண்முக உருவச் சமச்சீரினை (octahedral symmetry) உடைய ஒரு படிகப் புலத்தால் சூழப் பெற்றிருக்கும். இந்தப் புலமானது கட்டற்ற அயனியின் ஒரே ஆற்றலையுடைய மட்டங்களை (degenerate levels) பிளவுபடச் செய்கின்றது. மட்டங்கள் எத்தனை வழி களில் பிளவுபடும் என்பது படிகப்புலத்தின் சமச்சீரினைப் பொறுத்தது; கட்டற்ற அயனியின் மட்டங்களிலிருந்து இப் பிளவு பட்ட மட்டங்கள் எந்த அளவிற்குப் பெயர்ந்து உள்ளன என்பது படிகப்புலத்தின் வலுவினைப் பொறுத்தது. குழுக் கொள்கையைப்

(group theory) பயன்படுத்தி எண்முக உருவப் புலத்தில் (octahedral field) கட்டற்ற குரோமிய அயனியின் தரைமட்ட மானது மூன்று மட்டங்களாக உடைபடுமெனக் காட்டலாம். இவற்றை $^4F_1$, $^4F_2$, $^4A_2$ எனக் குறிப்பது வழக்கம். இவற்றின் பல்வகைப்பாடு (multiplicity) முறையே 12, 12, 4. இதனை அடுத்த ^2G மட்டமானது நான்கு துணை மட்டங்களாக உடைபடும். இவை $^2A_1$, $^2F_1$, $^2F_2$, ^2E மட்டங்கள் எனப்படும். இவற்றின் பல்வகைப் பாடுகள் முறையே 2, 6, 6, 4 ஆகும்.

மேலே குறித்தவற்றுள் சில மட்டங்கள் இங்கு நமக்குத் தேவையற்றவை; லேசர் நிகழ்ச்சியில் பயன்படும் மட்டங்கள் படம் 8.3 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

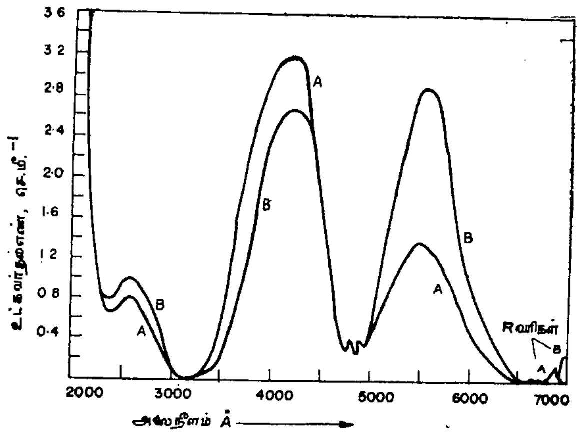


படம் 8.3. மாணிக்கத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

இதில் ^2E மட்டமானது ஒரு தனி மட்டமாகக் காண்பிக்கப் படாமல் அருகருகேயுள்ள இரண்டு மட்டங்களாகக் காண்பிக்கப் பெற்றுள்ளன. இதற்குரிய காரணம் என்னவோவெனில், படிகத் தின் சமச்சீர் முழுக்க முழுக்க எண்முக உருவச் சமச்சீராக (octahedral symmetry) இல்லாமல் ஆறுசாய் சதுரமுகச் சமச்சீராக (rhombohedric symmetry) இருப்பதே. இந்த இரண்டு மட்டங் களும் 29 செ. மீ. இடைவெளியில்தான் அமைந்துள்ளன. எனவே, அறை வெப்பநிலையில் சமநிலையின்போது இவ்விரு மட்டங்களின் தொகைகளும் (populations) ஏறத்தாழச் சமமாயிருக்கும்.

மாணிக்கத்தின் உட்கவரும் பண்புகளை (absorptive properties) படம் 8.4 காட்டுகின்றது. இந்த உட்கவர்தல் கோடுகளின் உச்சிகள் (peaks of the absorption curves) படம் 8.3 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ள பட்டைகளின் மையங்களுக்கு இயைந்தவை; பச்சை, நீலநிற ஒளிகள் உட்கவரப்படுதலை இவை குறிக்கின்றன. எனவே, ஏற்றும் செயலின்போது ஒளித்தெறிப்பு விளக்கிலிருந்து (flash

lamp) வரும் பச்சை, நீலநிற ஒளிகள் உட்கவரப்பட்டுக் குரோமிய அயனிகள் இந்தப் பட்டைகளுக்கு உயர்த்தப்படுகின்றன. (நாம் முன்பு கண்ட (3) என்ற மட்டம் இங்கு $^4F_1$, $^4F_2$ பட்டைகளாகும்). அங்கிருந்து ஃபோனன் (phonon) துணையால் நிகழும் கதிர்வீசாப் பெயர்வால் (non-radiative transfer) இந்த அயனிகள் ^2E மட்டங்



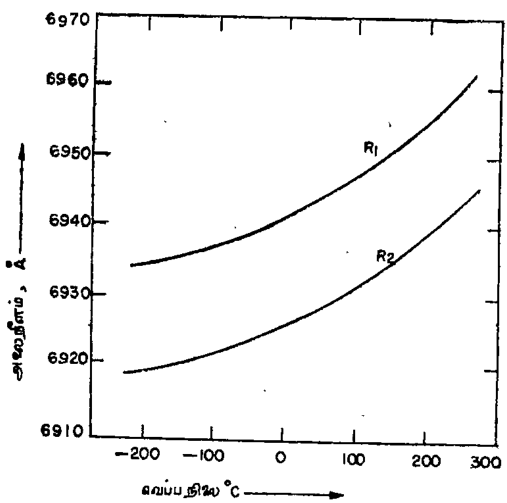
படம் 8.4. மாணிக்கத்தின் உட்கவர் நிறமாலை.
A—படுவொளி C-அச்சுக்கு இணையாக உள்ளபோது.
B—படுவொளி C-அச்சுக்கு நேர்க்குத்தாக உள்ளபோது.

களுக்கு வரும். இங்கு, அவற்றின் வாழ்நாள் அதிகம் - ஏறத்தாழ மூன்று மில்லி நொடிகள் ஆகும். எனவே, இங்குத் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை ஏற்படுத்த இயலுகின்றது.

^2E மட்டங்களிலிருந்து $^4A_2$ ஆகிய தரைமட்டத்திற்கு {(1)} வரும்போது R_1, R_2 எனக் குறித்துள்ள இரண்டு வரிகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. ஆனால், இவற்றுள்ளும் R_1 வரி வெளிவிடப்படுவதற்கான நிகழ்திறம் (probability) அதிகம். எனவே, சாதாரணமாக இந்த R_1 வரிதான் வெளிவிடப்பெறும்.

மாணிக்கப் படிகத்தின் வெப்பநிலை தாழ்ந்தால் R_1 பெயர்வுக்கான வாழ்நாளும் அதிகரிக்கின்றது. காட்டாக, 77° கெல்வின் வெப்பநிலையில் இது 4·3 மில்லி நொடிகளாக இருக்கும். அறை வெப்பநிலையில் இதன் மதிப்பு 3·0 மில்லி நொடிகள். வெப்பநிலையில் மாற்றங்கள் ஏற்பட்டால் படிகத்தின் பின்னல் (crystal lattice) விரியவோ அல்லது சுருங்கவோ செய்யும். இதனால்

படிகப் புலம் மாறுகின்றது; எனவே, நாம் முன்னர்க் குறிப்பிட்டது போல ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளி மாறும். இதனால் வெளிவரும் ஒளி வரிகளின் அலைநீளங்களும் மாறுபடும். இதனைப் படம் 8.5 காட்டுகின்றது.



படம் 8.5. மாணிக்கத்தின் R_1, R_2 ஒளிர்வு வரிகளின் அலைநீளத்திற்கும் வெப்பநிலைக்கும் உள்ள தொடர்பு.

மாணிக்க லேசரின் வெளிப்பாடு 77° கெல்வின் வெப்பநிலையில் 6943 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தை உடைத்தாயிருக்கும். 200° கெல்வினுக்கும் 300° கெல்வினுக்கும் இடைப்பட்ட வெப்பநிலையில் மாணிக்க லேசர் வெளிவிடும் ஒளியின் (R_1 வரி) அலைநீளத்தைப் பின்கண்ட வாய்பாட்டால் குறிக்கலாம் :

$$\lambda (T) = 6943{\cdot}25 + 0\,068\,(T - 293) \qquad \longrightarrow (8{\cdot}1)$$

இங்கே T என்பது வெப்பநிலை டிகிரி கெல்வினில்.

குரோமிய அயனிகளின் செறிவு (concentration) மாறுபட்டாலும் ஒளிர்தல் வரிகளின் அலைநீளமும் மாறுபடும். குரோமிய அயனிகளின் செறிவு 0·5% இருக்குமானால் ஒளிர்தல் 7009 ஆங்க்ஸ்ட்ராம், 7041 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் ஆகிய இரு அலைநீளங்களில் நிகழும். இவ்விரண்டும் துணைவரிகள் N_1 (7041 Å), N_2 (7009 Å)

எனப்படும். இந்தச் செறிவில், நைட்ரஜன் திரவ வெப்பநிலைகளில் லேசர் நிகழ்ச்சி ஏற்படுவதாகக் கண்டறியப் பெற்றுள்ளது.

மாணிக்க லேசரிலிருந்து வரும் ஒளியினது வரி அகலமும் (line width) மிகக் குறைவாக இருக்கும். இது ஏறத்தாழ 3 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள். இதனை 5×10^{-4} ஆங்க்ஸ்ட்ராம் வரைகூடக் குறைக்க முடியும். எனவே, இந்த லேசர் ஒளியானது சிறந்த ஒற்றை நிறத் தன்மையுடையது (monochromatic) என்பதை உணரலாம்.

8·4. மாணிக்க லேசரின் பயன் தொடக்கம் மற்றும் திறன் வெளிப்பாட்டின் பண்புகள்

மாணிக்க லேசரின் வெளிப்பாடானது துடிப்புகளாகத் தானிருக்குமெனக் கண்டோம். இதற்குரிய காரணங்கள் பலவாகும். ஒளித்தெறிப்பு விளக்குகளிலிருந்து, ஒளியானது ஒரு சிறு காலத்திற்குத்தான் ஒரு முறையில் வரமுடியும். ஏனெனில், மின் தேக்கிகள் மின்னிறக்கம் செய்யும்போது விளக்கு ஆற்றலைப் பெறுகின்றது. மீண்டும் விளக்கு ஆற்றலைப் பெறுவதற்கு மின்தேக்கிகள் மீண்டும் மின்னூட்டப் பெறவேண்டும். விளக்கிலிருந்து வரும் ஆற்றலில் பெரும் பகுதியானது மாணிக்கப் படிகத்தில் வெப்பமாக உட்கவரப்படுவதால் தொடர்ந்து ஏற்றும் நிகழ்ச்சி நடைபெற்றால் படிகம் தாங்க முடியாத அளவு சூடாகித் தெறித்து விடக்கூடும்.

ஒளித் தெறிப்பு விளக்கிலிருந்து வரும் தாழ்ந்த ஆற்றலை உடைய துடிப்பினை (1000 ஜூல்களுக்கும் குறைந்த ஆற்றல்) படிகத்தில் படும்படி செய்யும்போது R_1, R_2 ஆகிய ஒளிர்வு வரிகள் (fluorescent lines) வெளிப்படக் காணப்பெற்றன. இந்தக் கதிர்வீச்சுகள் மாணிக்கத்தின் எல்லாப் பக்கங்களின் வாயிலாகவும் வெளிப்பட்டது. அரைகுறையாக வெள்ளி முலாம் பூசப்பெற்ற பக்கத்தின் வழியாக வெளிவரும் கதிர்வீச்சினை ஆராய்ந்து பார்த்ததில் R_1, R_2 கதிர்வீச்சுகளின் செறிவுகளின் விகிதம் (intensity ratio) ஏறத்தாழ ஒன்றாக இருந்தது. ஒளித்தெறிப்பு விளக்கினது ஆற்றலானது ஒரு குறிப்பிட்ட பயன் தொடக்க மதிப்புக்கு (ஏறத்தாழ 2000 ஜூல்கள்) மேற்பட்டதாக இருக்கும்படி செய்யப்பெற்றபோது வெளிவிடப்பட்ட கதிர்வீச்சின் சிறப்பியல் பண்புகள் மாறின ; நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட கற்றை (well defined beam) வெளிப்பட்டது ; R_1, R_2 வரிகளது செறிவுகளின் விகிதத்தின் மதிப்புப் பல்லாயிரம் மடங்காக உயர்ந்தது.

இவற்றிலிருந்து பயன் தொடக்கத்திற்கு (threshold) கீழ்ப்பட்ட நிலையில் வெளிப்படும் ஒளிர்வு கதிர்வீச்சானது தன்னிச்சையான வெளியீட்டினையும் பயன் தொடக்கத்திற்கு மேற்பட்ட நிலையில் வெளிப்படும் நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட கற்றையாக வரும் R_1 கதிர்வீச்சானது தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினையும் குறிக்கின்றன என்பது தெரிகிறது.

மாணிக்கப் படிகத்தில் ஏற்படும் யாவற்றையும் உள்ளடக்கிய மொத்த ஈட்டமானது எல்லா இழப்புகளையும்விட அதிகமாக இருந்தால்தான் அலைவுகள் துவங்குவதற்கான ஓர் ஈட்டம் இருக்க முடியும் என்பதனையே இந்தப் பயன்தொடக்க நிலை காட்டுகின்றது.

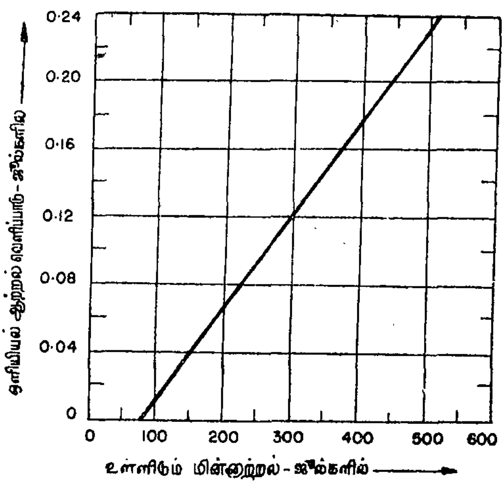
இப் பயன்தொடக்க ஆற்றலின் மதிப்பானது லேசரின் வடிவ அமைப்பையும், அளவுகளையும், ஒளித் தெறிப்பு விளக்கிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சின் நிறமாலை உள்ளடக்கத்தையும் (spectral content) லேசர் பொருளினது ஒளியியல் பண்புகளையும், பயன் படுத்தப்பெறும் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே நடைபெறும் பெயர்வுக்கான நிகழ்திறங்களையும் பொறுத்திருக்கின்றது. இக் காரணங்களால் ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளையும் அமைப்பையும் பயன்படுத்தும்போது பயன்தொடக்க ஆற்றலானது வெப்பநிலைக் கேற்ப மாறுபடும் என்பது தெளிவு. இதன் வெப்பச் சார்பினை அட்டவணை 8.1 காட்டுகின்றது.

அட்டவணை 8.1

வெப்பநிலை - °C	பயன்தொடக்க ஆற்றல் - வாட்டுகள் செ.மீ.$^{-3}$
20	550
100	1100
150	1800
200	3000

மேற்கண்ட அட்டவணையிலிருந்து பயன்தொடக்க ஆற்றலின் மதிப்பு வெப்பநிலை அதிகரிக்க அதிகரிக்க உயருகின்றது என்பது

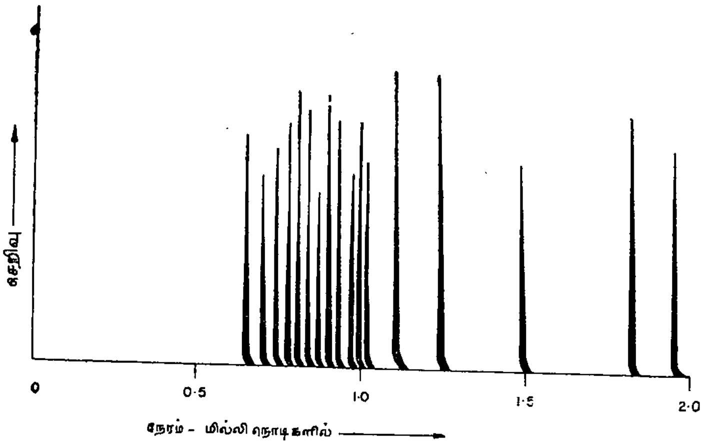
புலனுகின்றது. எனவே, லேசர் படிகத்தை எவ்வளவு முடியுமோ அவ்வளவு குளிர்ச்சியாக வைத்துக்கொள்வது நல்லதென்பது தெளிவு. பயன்தொடக்க மதிப்பிற்கு, மேற்பட்ட நிலையில் லேசரின் ஒளியியல் வெளிப்பாடானது (optical output) உள்ளிடும் ஆற்றலுக்கு ஏற்ப அதிகரிக்கின்றது ; பொருளானது தெவிட்டு நிலையை (saturation) எட்டும் வரையில் இவ்வாறு அதிகரிக்கும். தொடக்கத்தில் வெளிப்பாடும், உள்ளிடும் ஆற்றலும் (input energy) ஒன்றுக்கொன்று நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். இதனையே படம் 8.6 காட்டுகின்றது.



படம் **8.6.** மாணிக்க லேசரினது ஒளியியல் வெளிப்பாட்டிற்கும் மின்னாற்றல் உள்ளீட்டிற்கும் உள்ள தொடர்பு.

ஒளித்தெறிப்புக் குழாயிலிருந்து (flash tube) வரும் துடிப்பு, படிகத்தில் பட்ட உடனே தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழத் துவங்குவதில்லை ; சிறிது நேரம் கழித்தே துவங்கும். பயன் தொடக்கத்திற்கு மேற்பட்ட ஆற்றலையுடைய, சில மில்லி நொடிகள் நீடிக்கின்ற ஒளித்தெறிப்பு விளக்குத் துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தும்போது இந்தக் காலதாமதம் 0·5 மில்லி நொடிகள் இருக்கும். பெருக்கம் (amplification) வளர்ந்து அலைவுகள் ஏற்படு வதற்கான நிபந்தனையை அடைவதற்கான நேரமே இதுவாகும்.

இவ்வாறு வெளிப்படும் கதிர்வீச்சானது பல குறுகிய முள் போன்ற கூர்முனைகளை (spikes) உடையதாக இருக்கக் காணலாம். இவற்றைப் படம் 8.7 காட்டுகின்றது. ஒவ்வொரு கூர்முனைப் பகுதியும் (spike) ஏறத்தாழ 1 மைக்ரோ நொடிக் காலம் நீடிக்கும்.



படம் 8.7. மாணிக்கத் துடிப்பு லேசரின் வெளிப்பாட்டில் முள் வடிவக் கூர்முனைகள் தோன்றுதல்.

இதற்குரிய காரணமாவது: அலைவுகள் ஏற்படும்போது மேல் மட்டத்தில் தொகை குறைகின்ற வீதமானது ஏற்றும் நிகழ்ச்சியால் மேல் மட்டத்திற்குத் தொகைகள் வந்து சேரும் வீதத்தினை விட அதிகமாக இருக்கின்றது. இதனால் 2 - வது, 1 - வது மட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள தொகை வேறுபாடானது அலைவுகள் நிலை பெறுவதற்குத் தேவையான மதிப்பினைவிடக் குறைந்துவிடுகின்றது. எனவே, மீண்டும் அலைவுகள் நிலைபெறுவதற்கான பழைய நிலைமை எட்டும் வரை லேசர் வெளிப்பாடு நின்றுவிடுகின்றது.

லேசரின் வெளிப்பாடு இத்தகைய கூர்முனைகளாக விட்டு விட்டுத் தோன்றும் பண்பினை உடையதாக இருப்பதால் ஒருமுறை கிளர்ச்சி யூட்டுவதால் கதிர்வீசப்படும் மொத்த ஆற்றல் எனவும், ஒவ்வொரு குறுகிய கூர்முனையிலும் உள்ளடங்கிய ஆற்றல் எனவும் லேசர் வெளிப்படுத்தும் ஆற்றலை இரு வேறு வகைகளில் பிரித்துணரலாம்.

மொத்த ஆற்றலின் சராசரி மதிப்பானது ஏறத்தாழ 0·1 ஜூல்களிலிருந்து 1·5 ஜூல்களுக்குள் இருக்கும். இது கிளர்ச்சியூட்டலின் பயனுறு திறனையும் (efficiency), மாணிக்கப் படிகத்தின் பண்பினையும், எதிரொளிப்பான்களின் அமைப்பினையும் பொறுத்தது. மாறாக, ஒரு தனித் துடிப்பில் வெளிப்படும் உச்சத்திறனானது மிக உயர்ந்து இருக்கும்; இத் துடிப்பின் அகலம் மிகக் குறைவாக இருப்பதால் பல பத்தாயிரம் வாட்டுகள் அளவில் இத் திறன் வெளிப்பாடு இருப்பதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இவ்வளவு உயர்ந்த திறன் வெளிப்பாடுகளை (power output) அளிப்பது திடநிலை லேசர்களின் ஒரு தனிச் சிறப்பாகும்.

8.5. மாணிக்க லேசர் ஒளியின் முனைவாக்கம், ஓரியல் தன்மை, மற்றும் கற்றை அகலம்

தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சினது முனைவாக்கப் பண்புகள் (polarization properties) மாணிக்கப் படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சானது உருளையினது (cylinder) அச்சிற்கு எந்தக் கோணத்திலுள்ளது என்பதனைப் பொறுத்தது. இந்த இரண்டு அச்சுகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவிருந்தால் வெளிப்படும் லேசர் ஒளி முனைவாக்கம் பெறாத ஒளியாகவே இருக்கும். மாணிக்கப் படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சானது உருளையினது வடிவ அச்சிற்கு 60° அல்லது 90° கோணத்தில் சாய்ந்திருந்தால் முற்றிலும் தள முனைவாக்கம் பெற்ற (plane polarized) ஒளி வெளிப்பாடு கிட்டும். இந்த ஒளியானது படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சிற்கு (optical axis) நேர்க்குத்தான தளத்தில் தளமுனைவாக்கம் பெற்றிருக்கும்.

அரைகுறையாக எதிரொளிக்கும் பக்கத்தின் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்தும் வெளிவரும் ஒளியினது ஓரியல் பண்பானது கற்றையினது திசைப் பண்பினோடு (directionality) தொடர்பு கொண்டதாகும். கற்றையினது திசைப் பண்புகளைக் கதிர்வீசும் தொளையின் (aperture) மீது கட்டம் (phase), வீச்சு (amplitude) ஆகியவை எவ்வாறு பங்கிடப்பெற்றுள்ளன என்பதனைக் கொண்டு நிர்ணயிக்கலாம். உண்மையில், பயன் தொடக்கத்திற்குச் சற்றே மேம்பட்ட நிலையை எட்டும்போது வெளிவரும் ஒளியின் திசைப் பண்புகளில் ஏற்படும் திடீர் மாற்றத்தைக்கொண்டே தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளிவிடப்படுவதனை நாம் உணருகின்றோம்.

இவ்வாறு திசைப் பண்பு மாறுவதனை ஒன்றுக்கொன்று இணையான (1 கோண நிமிடத்திற்குட்பட்டது) முனைப் பக்கங்களை

உடையதும், 0·5 செ. மீ. நீளம் உடையதுமான மாணிக்கக் கோலினைப் (ruby rod) பயன்படுத்திக் காலின்சும் (Collins) அவருடன் பணியாற்றியவர்களும் கண்டறிந்தார்கள். பயன் தொடக்க (threshold) நிலையை எய்தும்வரையில் ஒளிவீசும் கதிர்வீச்சானது திசைப் பண்பேயில்லாமல் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவலாக வெளிவந்தது. இந்தக் கற்றையானது மாணிக்கத்தின் அச்சிலிருந்து 1 டிகிரிக்கு உட்பட்ட கோணத்திற்குள் அடங்கியிருந்தது.

ஒளிக்கற்றையானது எந்த அளவிற்கு இணைக் கற்றையாக (parallel beam) உள்ளதென்பது படிகத்தின் பண்பினையும், வடிவ அமைப்பையும், ஆடிகளின் எதிரொளிப்புத் திறனையும், ஆடிகள் ஒன்றுக்கொன்று எந்த அளவிற்கு இணையாக உள்ளன வென்பதையும், கிளர்ச்சியூட்டலின் அளவையும் பொறுத்தது. சாதாரணமாக 10 மில்லி ரேடியன் (milli radian) கற்றையினை அடைவது எளிது; மிகுந்த கவனமெடுத்துக் கொண்டால் 1 மில்லி ரேடியன் கற்றையினைக்கூடப் பெறமுடியும்.

இந்தக் கற்றை அகலங்கள் (beam width) விளிம்பு விளைவுக் கொள்கையின் (diffraction theory) அடிப்படையில் எதிர்பார்க்க வேண்டியவற்றைவிட மிகவும் உயர்ந்த மதிப்புகளாகும். விளிம்பு விளைவுக் கொள்கைப்படி d செ. மீ. விட்டமுடைய ஒரு வட்டமான தொளையிலிருந்து ஒரே சீரான கட்டம், வீச்சு ஆகியவற்றுடன் கதிர்வீசப்படும் ஒளியினால் கிடைக்கப் பெறும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தில் (diffraction pattern) முதல் சுழியானது (first zero) பாங்கத்தின் மையத்திலிருந்து எவ்வளவு கோண தூரத்தில் (angular distance) உள்ளதென்பதனைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு குறிக்கும்.

$$\theta_0 = \frac{1{\cdot}22\lambda}{d} \qquad \longrightarrow (8{\cdot}2)$$

இங்கே d-ன் மதிப்பு 1 செ. மீ. எனவும், $\lambda = 6943 \times 10^{-8}$ செ. மீ. எனவும் கொண்டால், θ_0-ன் மதிப்பு 0·085 மில்லி ரேடியன்கள் ஆகும். எனவே, லேசர் கற்றையினது அகலம் கொள்கைவாயிலாக எதிர்பார்க்க வேண்டியதைவிட மிகமிக அதிகமென்பது தெளிவு. படிகத்தின் முனைப்பக்கத்தின் (end face) எல்லாப் பகுதிகளிலிருந்தும் வரும் கதிர்வீச்சுகள் யாவும்

ஒரே சீரான கட்டமும் வீச்சும் உடையனவாக இல்லாமையே இதற்குரிய காரணமாகும்.

மாணிக்கப் படிகத்தின் முனைப்பக்கத்தினது புறப்பரப்பை (surface) ஒளிப்படம் (photograph) எடுத்துப்பார்த்தால் ஒளியானது புறப்பரப்பின்மீது சீராகப் பங்கிடப்பெறவில்லை யென்பது புலப்படும். புறப்பரப்பின்மீது தனித்தனியான ஒளிப் புள்ளிகள் (luminous spots) காணப்பெறும். இந்தப் புள்ளிகளி லிருந்துதான் தூண்டப்பெற்ற கதிர்வீச்சு வெளிவருகின்றது. இவ்ட்டுஹாவ் (Evtuhov), நீலன்ட் (Neeland) ஆகியோர் இப் புள்ளிகளின் அமைப்புகளைப் பல்வேறுபட்ட ஆய்வுநிலைகளில், பயன் தொடக்கத்திற்குச் சற்றே மேம்பட்ட நிலைக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற மாணிக்கப் படிகங்களைக்கொண்டு ஆராய்ந்தார்கள். 2, 3 மி.மீ. விட்டமுடைய மாணிக்கப் படிகங்களில் இவ்வாறு காணப்பெற்ற தனிப்புள்ளிகள் 100 மைக்ரான்கள் (micron) அளவில் விட்டமுடையனவாக இருந்தன; இப் புள்ளிகளின் குழுக்கள் ஏறத்தாழ 850 மைக்ரான்கள் வரை நீண்டிருந்தன.

மாணிக்கப் படிகத்தின் புறப்பரப்பின் பல்வேறு பகுதிகளி லிருந்து வெளிவரும் கதிர்வீச்சினைக்கொண்டு ஒளிக் குறுக்கீட்டு (interference) சோதனைகள் செய்து லேசர் ஒளியினது ஓரியல் பண்புகள் ஆராயப்பெற்றன. காலின்சும் (Collins) அவர் துணையாளர்களும் 50 மைக்ரான்களுக்கு 150 மைக்ரான்கள் என்ற அளவுடைய செவ்வகத்தொளை (rectangular aperture) ஒன்றினை லேசரின் ஓர் எதிரொளிப்பானில் அமைத்து அதனால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தினையும் (diffraction pattern) அதே போன்று ஓர் எதிரொளிப்பானில் அமைக்கப்பெற்ற 7·5 மைக்ரான்கள் அகலமுடையனவும் 54·1 மைக்ரான்கள் தூரத்தில் உள்ளனவுமான இரண்டு இணைப் பிளவுகளால் (parallel slits) ஏற்படும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தினையும் (interference pattern) ஆராய்ந்தார்கள்.

இவற்றின் பயனாக, ஒரே நேரத்தில் லேசர் நிகழ்ச்சிக்கு உள்ளாகும் எதிரொளிப்பானின் பரப்புகள் குறைந்தது 0·05 செ. மீ. விட்டமாவது உடையனவாக இருக்கும் எனக் கண்டார்கள். இந்த லேசர்களில் கிடைக்கப்பெறும் மிகக் குறைந்த கற்றை அகலங்களிலிருந்து ஓரியல் பரப்பானது (area of coherence) குறைந்தபட்சம் இதைவிட ஒரு மடங்கு

அதிகமான அளவினையாவது உடையதாக இருக்க வேண்டுமெனத் தெரிகின்றது. கலானின் (Galanin), லியோன்ட்டோவிச் (Leontovich), சிஷிகோவா (Chizhikova) ஆகியோர் நடத்திய சோதனைகளிலிருந்து படிகத்தின் முனைப்பக்கத்தின் பரப்பு முழுவதிலுமே ஓரியல் பண்புள்ளது எனத் தெரிகின்றது.

8.6. ஒளித் தெறிப்பு விளக்கு அமைப்பு

லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெற வேண்டுமெனில் ஒரு குறிப்பிட்ட சிறும மதிப்பிற்கு மேற்பட்ட வீதத்தில் ஆற்றலானது மாணிக்கப் படிகத்திற்கு வழங்கப்பட வேண்டுமெனக் கண்டோம். படிகத்தின் கன அளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க உயர்ந்த ஆற்றல்கள் தேவை.

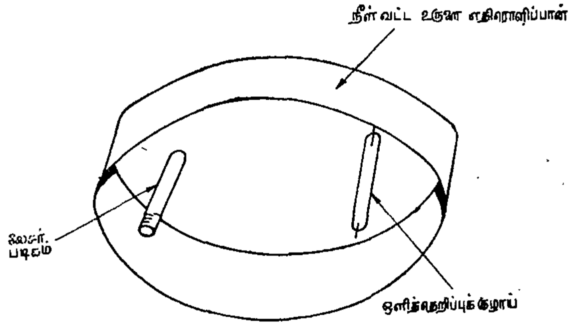
மேலும், இந்த ஆற்றலை அளிக்கும் விளக்குகளிலிருந்து வரும் ஒளியில் ஒரு பகுதிதான் மாணிக்கத்தால் உட்கவரப் படுகின்றது ; எஞ்சியது வெப்பமாகின்றது. எனவே, மிக உயர்ந்த ஆற்றலுடைய விளக்குகளையே நாம் நாடவேண்டியுள்ளது.

செனன் வாயு (xenon gas) நிரப்பிய விளக்குகளை நாம் இதற்கெனப் பயன்படுத்தலாம். இவற்றில் பல வகைகளுள்ளன. சாதாரணமாகச் செனன் விளக்கு ஒரு குவார்ட்சுக் குழாயினால் (quartz tube) ஆக்கப் பெற்றிருக்கும். இதனுள் 150 மி.மீ. பாதரசம் போன்ற தாழ்ந்த அழுத்தத்தில் செனன் வாயு நிரப்பப் பெற்றிருக்கும். குழாயினுள் இரண்டு மின்வாய்கள் (electrodes) பொருத்தப்பட்டிருக்கும் இம் மின்வாய்களினிடையே மின்னிறக்கம் (electrical discharge) ஏற்படுகின்றது ; ஒளியுண்டாகின்றது.

இவ்வாறு உண்டாகும் ஒளியின் பெரும்பகுதி வீணாகாமல் மாணிக்கப் படிகத்தின்மீது படும்படி ஒருமுகப்படுத்துவது இன்றியமையாததாகும். இதற்கென, நாம் முன்பு விவரித்த திருகுசுழல் (helical) வடிவத்தில் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு அமைக்கப்பட்டது. அவ்வாறன்றி வேறுவகையான அமைப்புகளும் பயன்படுத்தப் பெறுவதுண்டு. நீள்வட்ட உருளையின் (elliptical cylinder) அடிப்படையில் அமைந்தது அத்தகைய ஒன்றே.

இதில் நேரான வடிவுடைய ஓர் ஒளித்தெறிப்புக் குழாய் பயன்படுத்தப்பெறும். இக் குழாயானது நீள்வட்ட உருளை வடிவிலுள்ள ஓர் எதிரொளிப்பானின் ஒரு குவியத்தில் (focus) வைக்கப் பட்டிருக்கும். படம் 8.8 காண்க. மற்றொரு குவியத்தில் லேசர்

படிகம் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த நீள்வட்ட உருளையானது மிக உயர்ந்த அளவில் எதிரொளிக்கும் பொருளால் செய்யப் பெற்றிருக்கும். நீள்வட்டத்தின் ஒரு குவியத்திலிருந்து புறப்படும்



படம் 8.8. நீள்வட்ட உருளை எதிரொளிப்பானில் லேசர் படிகம், ஒளித்தெறிப்புக் குழாய் ஆகியவற்றின் இருப்பிடம்.

ஒளிக்கதிர்கள் எல்லாம் எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் மறு குவியத்தில் குவியும் என்ற அடிப்படைத் தத்துவத்தில்தான் இது அமைக்கப்பெற்றுள்ளது.

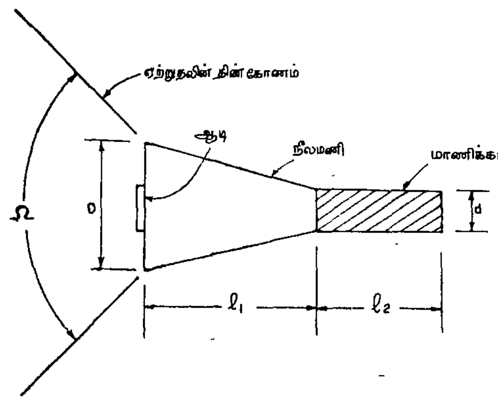
இத்தகைய அமைப்பைப் பயன்படுத்தி ஒரு லேசரை முதன் முதலாக அமைத்தவர்கள் சிப்டன் (Cifton), லக் (Luck), ஷேஃபர் (Shafer) ஆகியோர் ஆவர். இவர்கள் 6 செ.மீ. நீளமும் 0·6 செ.மீ. விட்டமும் உடைய ஒரு மாணிக்க லேசரை அமைத்தனர். இது 150 ஜூல்கள் ஆற்றலை உள்ளிடும்போதே செயல்பட்டது. திருகு சுழல் வடிவில் விளக்கு அமைக்கப்பெறும்போது தேவைப்படும் ஆற்றலை (ஏறத்தாழ 1000 ஜூல்கள்) இத்துடன் ஒப்புநோக்கவும்.

8.7. தொடர்ச்சியாக ஒளிவிடும் மாணிக்க லேசர்

இதுகாறும் விவரித்த மாணிக்க லேசர் விட்டுவிட்டே செயல் படும் ; அதிலிருந்து வரும் லேசர் ஒளி, 1 - லிருந்து 5 மில்லி நொடிகள் வரை நீடிக்கும் ; இத்தகைய துடிப்புகள் ஒரு நிமிடத் திற்குச் சில முறைகளே லேசரிலிருந்து வெளிப்படும். அவ்வா றன்றி லேசர் தொடர்ச்சியாகச் செயல்பட வேண்டுமானால், அதாவது, இடையீடின்றி லேசர் ஒளி வெளிவந்த வண்ணமிருக்க வேண்டுமானால், பின்கண்ட மூன்று நிபந்தனைகளும் நிறைவுபெற வேண்டும் :

(1) தொடர்ச்சியாக இயங்கக்கூடிய, ஆற்றல் மிக்க ஒளி விளக்குத் தேவை. (2) இவ் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளியானது மாணிக்கப் படிகத்தின்மீது நன்கு படும்படி செய்யும் ஒளியியல் அமைப்புகள் தேவை. (3) மாணிக்கப் படிகத்தினுள் நடைபெறும் கதிர்வீசாப் பெயர்வுகளால் ஏற்படும் வெப்பமானது அவ்வப் போது நீக்கப்படுவதற்கான ஒரு குளிர்விக்கும் அமைப்புத் தேவை.

இவற்றைச் சிறப்புற அமைத்துத் தொடர்ச்சியாகச் செயல் படக்கூடிய முதல் லேசரைக் கி.பி. 1961 ஆம் ஆண்டில் நெல்சன் (Nelson), பாயில் (Boyle) ஆகிய இருவரும் உருவாக்கினார்கள். அவர்கள் அமைத்த தொடர்ச்சியான அலை மாணிக்க லேசர் (continuous wave ruby laser) நீலமணி (sapphire), மாணிக்கம் ஆகியவற்றால் அமைந்தது. இது எக்காள (trumpet) வடிவில் இருக்கும். இதன் குறுக்கு வெட்டு அமைப்பு, படம் 8.9-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



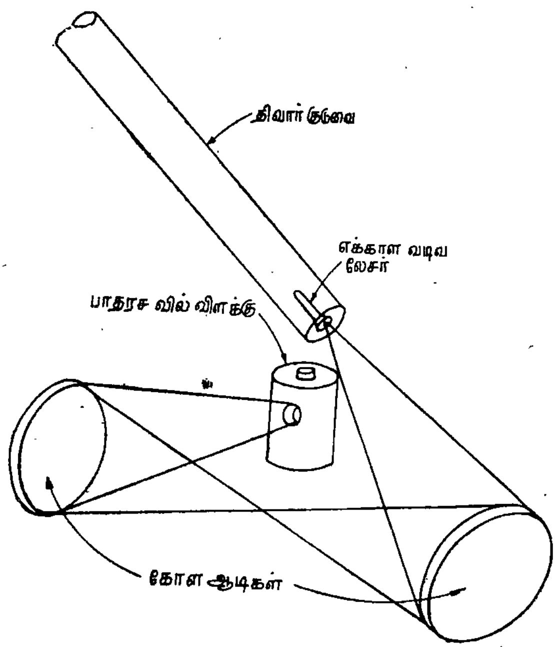
படம் 8.9. தொடர்ச்சியான அலை மாணிக்க லேசர்.
d=0·061 செ.மீ.; D=0·150 செ.மீ.; l_1=1·05 செ.மீ.; l_2=1·15 செ.மீ.; r=0·73 ஸ்டெரேடியன்.

இதன் நீளம், அகலம் முதலியவை படத்தில் குறிக்கப்பெற்றுள்ளன. தெளிவிற்காக வேண்டிப் படத்தில் லேசரின் நீள்வாட்டப் பரிமாணங்கள் (longitudinal dimensions) சிறிதாக வரையப் பெற்றுள்ளன.

இதில், கூம்புப் பகுதியானது நீலமணியால் செய்யப்பெற்றது. இதன் புறப்பரப்பு (surface) பளபளப்பாக இருக்கும்படி மெரு

கேற்றப்பட்டிருக்கும். இந்த நீலமணிக் கூம்புதான் கிளர்ச்சியூட்டு வதற்குப் பயன்படும் ஒளியைச் சேகரித்து மாணிக்கத் தண்டின் மீது விழும்படி செய்கின்றது.

ஒரு பாதரச வில் விளக்கிலிருந்து (mercury arc lamp) வரும் ஒளியானது இரண்டு கோள ஆடிகளால் (spherical mirrors) சேகரிக்கப்பட்டு ஒரு திண்மக்கோணத்தில் (solid angle) எக்காள வடிவத்தின் அகன்ற பக்கத்தின்மீது படும்படி செய்யப்பெறும். இம் முழு அமைப்பும் படம் 8.10 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் **8.10.** தொடர்ச்சியான அலை மாணிக்க லேசரின்மீது ஒளியை ஒருமுகப்படுத்துதல்.

இவ்வாறுகக் கூம்பின் அகன்ற பக்கத்தின் வழியாக நுழையும் எந்தவொரு கதிரும் கூம்பின் மெருகேற்றப்பெற்ற பக்கத்தின்மீது படுகின்றபோதெல்லாம் முழுவதுமாக எதிரொளிக்கப் பெற்று இறுதியில் கூம்பின் குறுகிய பக்கத்தின் வழியாக மாணிக்கப் படிகத்தினுள் செல்லும். மேலும், கூம்பின் முனையானது பின் கண்ட நிகழ்ச்சிக்கேற்ப ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் முடியும்.

அதாவது, கூம்பின் குறுகிய முனையின் வழியாக உள் நுழையும் எல்லாக் கதிர்களும் மாணிக்கத்தின் பக்கங்களின்மீது படுகின்ற ஒவ்வொரு முறையும் முழுவதுமாக உள்ளேயே எதிரொளிக்கப் பெற்று, இறுதியில் மாணிக்கத்தின் முனைப்பக்கத்திலுள்ள (end face) ஆடியின்மீது படும். வழக்கம்போல லேசர் நிகழ்ச்சி தூண்டப்பெறும்.

லேசர் ஒளி கூம்பின் மையப்பகுதியின் வழியாக வெளிவரும். இந்த மையப் பகுதியானது 0·05 எனுமளவில் ஒளி செலுத்தும் திறன் (transmissivity) உள்ள ஓர் எதிரொளிக்கும் மேலுறை (reflecting coating) ஒன்றினால் சூழப்பெற்றிருக்கும். இந்த லேசர் 3500 ஆங்க்ஸ்ட்ராமிலிருந்து 6000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்குட்பட்ட அலை நீளப் பகுதியில் செயல்படும்போது இதற்கு 400 வாட்டுகள், செ.மீ.[2] ஸ்டெரேடியன் பொலிவு (brightness) உடைய பாதரச வில் விளக்குத் தேவையெனக் கணக்கிடப்பெற்றுள்ளது.

லேசரின் வெப்பநிலை எப்போதும் சரியான அளவில் இருப்பதற்கு லேசர் முழுவதும் நைட்ரஜன் திரவத்தால் நிரப்பப்பெற்ற ஒரு திவார் குடுவையினுள் (Dewar flask) வைக்கப் பெற்றிருக்கும். எனவே, இதன் வெப்பநிலை எப்போதும் 77° கெல்வினிலேயே நிலை பெற்றிருக்கும்.

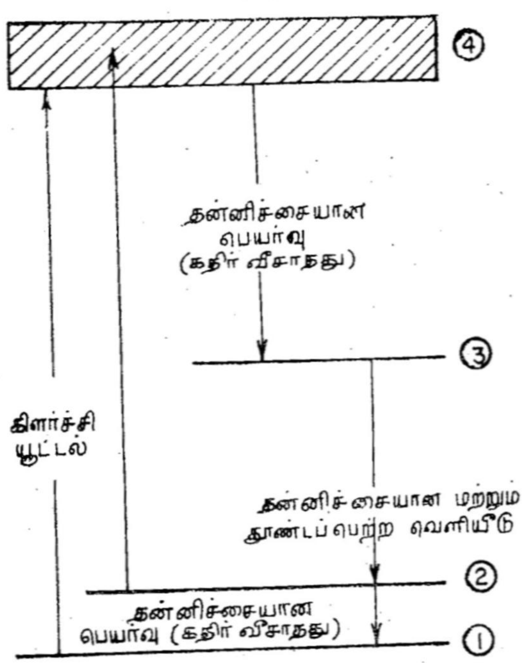
இந்த லேசர் செயல்படுவதற்கு ஹனோவியா 941 B பாதரச - செனான் விளக்கினைப் (Hanovia 941B mercury - xenon lamp) பயன் படுத்தலாம். இந்த விளக்கிற்கு 850 வாட்டுகள் மின்திறனை அளிக்க வேண்டும். இதிலிருந்து வெளிப்படும் கிளர்ச்சியூட்டும் கதிர் வீச்சானது 0·3 வாட்டுகள் எனும் வீதத்தில் உட்கவரப்படும். லேசரிலிருந்து 4 மில்லிவாட்டுகள் வெளிப்பாட்டுத் திறனில் (output power) லேசர் கற்றை வெளிவரும்.

எவ்ட்டுஹாவ் (Evtuhov), நீலன்ட் (Neeland) ஆகியோர் இதை விட எளியதும், அறை வெப்பநிலையிலேயே தொடர்ச்சியாக இயங்கக்கூடியதுமான, நீரால் குளிர்விக்கப்படும் மாணிக்க லேசர் ஒன்றினை அமைத்தார்கள். இதில் மாணிக்கமும் கிளர்ச்சியூட்டு தலுக்குப் பயன்படும் பாதரச வில்விளக்கும் ஒரு நீள்வட்டப் பொந்தினுள் (elliptic cavity) அதன் இரு குவியங்களில் வைக்கப் பெற்றிருந்தன. மாணிக்கப் படிகத்தின் விட்டம் (diameter) 2 மில்லி மீட்டரும், அதன் நீளம் (பொந்தின் நீளமும் அஃதே) 25 மில்லி மீட்டரும். பொந்தின் வேற்று மைய எண் (eccentricity) 0·4

எனவும், நீள்வட்டத்தின் பேரச்சு (major axis) 25 மில்லி மீட்டரும் உள்ளவாறு இந்த லேசர் அமைக்கப்பட்டது. இந்தப் பொந்தின் வழியாக நேரடியாக நீர் சுற்றிவரும்படி செய்யப்பட்டிருந்தது. கி. பி. 1965 ஆம் ஆண்டில் இந்த லேசர் உருவாக்கப்பட்டது. 2000 வாட்டுகளில், திறன் இதில் உள்ளிடப் பெற்றபோது 70 மில்லி வாட்டுகள் செறிவுடைய லேசர் கதிர்வீச்சு வெளிப்பட்டது.

8.8. நான்மட்ட லேசர்கள்

பெயரே கூறுமாப்போல இவ் வகை லேசர்களில் லேசர் பொருளினது நான்கு ஆற்றல் மட்டங்கள் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. இதன் செயலை, படம் 8.11 எளிதில் விளக்கும்.



படம் **8.11.** நான்மட்ட லேசரின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

இதற்கும் மும்மட்ட லேசருக்கும் உள்ள வேறுபாடு என்னையோவெனில், இதில் தரைமட்டத்திற்கு மேலே ஓர் ஆற்றல் மட்டமுள்ளது. படம் 8.11 - ல் (2) எனக் குறிக்கப்பெற்றுள்ள இந்த மட்டம் சாதாரணமாகக் காலியாக இருக்கும். லேசர் நிகழ்ச்சி

இம் மட்டத்தில்தான் முடிவுறுகின்றது. அதாவது, நாம் விரும்பும் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டிற்கான பெயர்வு, படம் 8.11 - ல் குறிக்கப்பெற்றுள்ள (3), (2) ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையேதான் நடைபெறுகின்றது. இந்த (2) - வது மட்டத்திற்கு வரும் அயனிகள் தாமாகவே தரைமட்டத்திற்குப் போய்விடுகின்றன. எனவே, (2) - வது மட்டத்தில் அயனிகளின் எண்ணிக்கை எப்போதும் குறைவாகவே இருக்கும். எனவே, குறைந்த அளவு அயனிகளே (3) - வது மட்டத்திற்கு வந்தாலும் லேசர் நிகழ்ச்சி எளிதில் நடைபெறும். இது மும்மட்ட லேசரின் செயலிலிருந்து மாறுபட்டது; நன்மை பயப்பது. மும்மட்ட லேசரில் லேசர் நிகழ்ச்சி தரை மட்டத்தில் வந்து முடிவுறுதலான் தரைமட்டத்தில் அயனிகளின் எண்ணிக்கை மிகுதியாகவே இருக்கும். எனவே, உயர்மட்டத்திற்கு அதிக அளவில் அயனிகள் வந்து சேர்ந்தால்தான் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறும்.

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து (2) - வது மட்டத்திற்கு வரும் அயனிகள் விரைவாக (1) - வது மட்டத்திற்குத் தன்னிச்சையான பெயர்வு மூலம் செல்லவேண்டும் என்பதும், வெப்ப அதிர்வுகளால் (thermal vibrations) தரைமட்டத்திலுள்ள அயனிகள் (2) - வது மட்டத்திற்குச் சென்றுவிடாதவண்ணம் பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும் என்பதும் தெரிகின்றது. எனவே, (2) - வது மட்டத்திற்கும் தரைமட்டத்திற்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு (energy difference) kT - ஐ விட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். அறை வெப்பநிலையில் இவ்வாறு அமையாவிடில் பொருளைக் குளிர்விப்பதன் வாயிலாக kT - ன் மதிப்பைக் குறைத்து இந்த நிபந்தனை நிறைவேறும்படி பார்த்துக்கொள்ளலாம்.

சிறு அளவில் யுரேனியம் (uranium) அல்லது அருமண் தனிமம் (rare earth element) கலக்கப்பெற்ற படிகங்களே பெரும்பாலும் நான்மட்ட லேசர் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. மாணிக்க லேசர் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சிறிது காலத்திற்குள்ளேயே CaF_2 படிகத்தில் U^{3+}, Sm^{2+} அயனிகளையுடைய பொருள்களில் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை ஸொரோகின் (Sorokin), ஸ்டீவன்சன் (Stevenson) ஆகியோர் கண்டறிந்தனர். அதனைத் தொடர்ந்து பல்வேறுபட்ட படிக, அயனி சேர்க்கைகள் ஆராயப்பட்டுள்ளன. இவை, இன்று நூற்றுக் கணக்கில் உள்ளன. இவற்றுள் சில அட்டவணை 8.2 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 8.2

அருமண் மற்றும் ஆக்டினைடு (actinide) லேசர்கள்

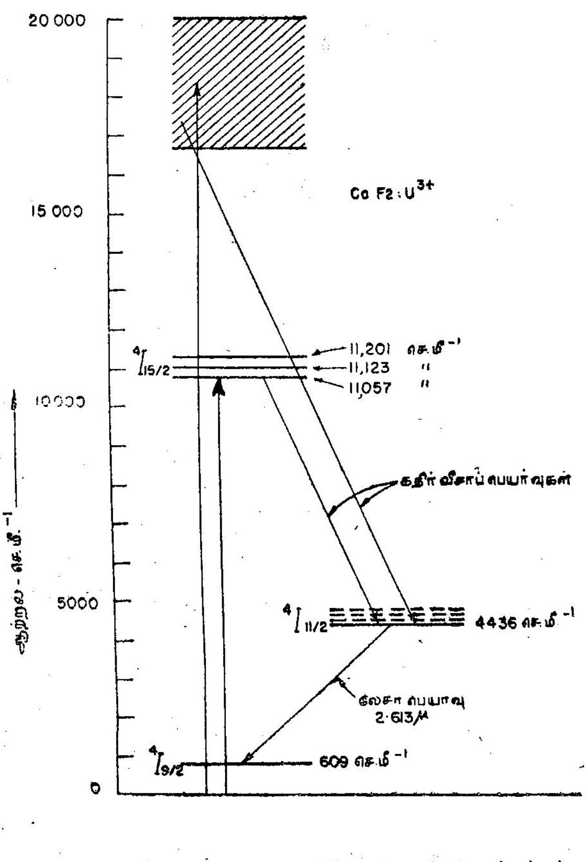
அணு எண்	அயனி	புரவலர் பொருள் (Host material)	அலை நீளம் (மைக்ரான்களில்)	செயல்படக் கூடிய மிக உயர்ந்த வெப்பநிலை	குறிப்பான பயன் தொடக்க மதிப்புகள்
59	P_r^{3+}	$Ca(NbO_3)_2$	1·04	77° கெ.	
		$CaWO_4$	1·0468	90° கெ.	20 ஜூல்கள்
		LaF_3	0·5985	77° கெ.	60 ,,
60	Nd^{3+}	BaF_2	1·060	77° கெ.	1600 ,,
		CaF_2	1·0457	77° கெ.	60 ,,
		$CaMoO_4$	1·067	255° கெ.	100 - 360 ,,
		$Ca(NbO_3)_2$	1·060	77° கெ.	2 ,,
		$CaWO_4$	0·9142	77° கெ.	4·6 ,,
		Gd_2O_3	1·0789	295° கெ.	9 ,,
		LaF_3	1·0633	295° கெ.	
		LaF_3	1·0399	77° கெ.	75 ,,
		$PbMoO_4$	1·0586	295° கெ.	60 ,,
		SrF_2	1·0437	77° கெ.	
		Y_2O_3	1·073	77° கெ.	260 ,,
		Y_2O_3	1·078	77° கெ.	>600 ,,
		கண்ணாடி	0·9180	80° கெ.	700 ,,
		கண்ணாடி	1·06	295° கெ.	
		கண்ணாடி	1·37	295° கெ.	460 ,,
62	Sm^{2+}	CaF_2	0·7085	4·2° கெ.	
		SrF_2	0·6969	4·2° கெ.	
63	Eu^{3+}	Y_2O_3	0·6113	220° கெ.	128 ,,

அட்டவணை 8.2 (தொடர்ச்சி)

அருமண் மற்றும் ஆக்டினைடு (actinide) லேசர்கள்

அணு எண்	அயனி	புரவலர் பொருள் (Host material)	அலை நீளம் மைக்ரான்களில்	செயல்படக் கூடிய மிக உயர்ந்த வெப்பநிலை	குறிப்பான பயன் தொடக்க மதிப்புகள்
64	Gd^{3+}	கண்ணாடி	0·3125	78° கெ.	4700 ஜூல்கள்
66	Dy^{2+}	CaF_2	2·36	77° கெ.	
67	Ho^{3+}	$Ca(NbO_3)_2$	2·047	77° கெ.	
		CaF_2	2·092	77° கெ.	260 ,,
		$CaWO_4$	2·046	77° கெ.	80 ,,
		$CaWO_4$	2·059	77° கெ.	250 ,,
		கண்ணாடி	2·046	78° கெ.	3600 ,,
68	Er^{3+}	CaF_2	1·617	77° கெ.	1000 ,,
		$Ca(NbO_3)_2$	1·61	77° கெ.	
		$CaWO_4$	1·612	77° கெ.	800 ,,
69	Tm^{3+}	$Ca(NbO_3)_2$	1·91	77° கெ.	
		$CaWO_4$	1·911	77° கெ.	60 ,,
		SrF_2	1·972	77° கெ.	1600 ,,
69	Tm^{3+}	CaF_2	1·116	27° கெ.	
70	Yb^{3+}	கண்ணாடி	1·015	78° கெ.	3400 ,,
92	U^{3+}	BaF_2	2·556	20° கெ.	12 ,,
		CaF_2	2·24	77° கெ.	
		CaF_2	2·51	295° கெ.	
		CaF_2	2·57	78° கெ.	
		CaF_2	2·613	300° கெ.	
		SrF_2	2·407	90° கெ.	

இவற்றுள் உரேனியத்தையும், நியோடிமியத்தையும் (neodymium) மட்டிலும் சற்று விரிவாக இங்குக் காண்போம். எல்லாவற்றுள்ளும் Nd^{3+} அயனியானது மிகவும் பயனுடையதாகக் காணப்பெறுகின்றது. இது பல்வேறு புரவலர் பின்னல்களிலும் (host lattice) தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை நிகழ்த்தக்கூடியது. இதனைச் சிலவகைக் கண்ணாடிகளுள்ளும் அமைத்து லேசர் பொருளாகப் பயன்படுத்தலாம். நியோடிமியம் லேசர் ஒன்றுதான் திறன்வெளிப்பாட்டைப் பொறுத்தமட்டில் மாணிக்க லேசருடன் போட்டியிடக்கூடிய தகுதியுடைய நான்மட்ட லேசராகும்.



படம் 8.12. CaF_2 - ல் உள்ள U^{3+} - ன் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

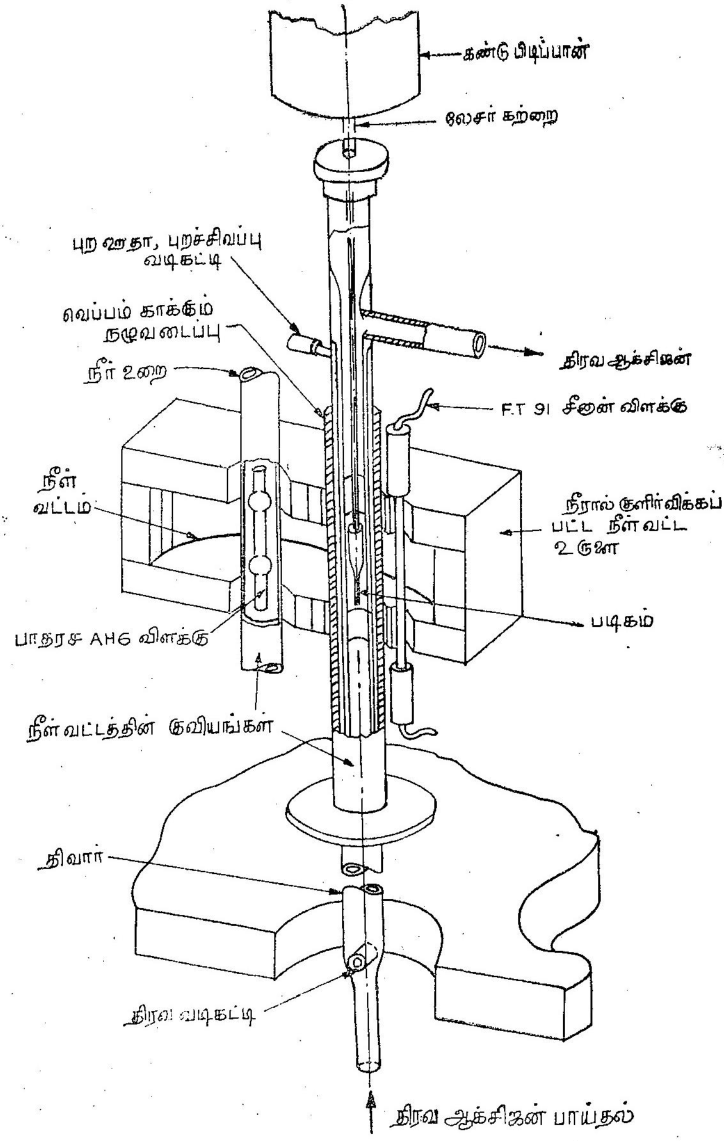
8.9. உரேனியம் லேசர்

ஸோரோகின் (Sorokin), ஸ்டீவன்சன் (Stevenson) ஆகியோர் அமைத்த நான்மட்ட உரேனியம் லேசர் (four level uranium laser) தொடர்ச்சியாகச் செயல்படக்கூடியது. CaF_2 படிகத்தி லுள்ள U^{3+} அயனியினது ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 8.12-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. (உரேனியம் அயனியானது நாற்கோணச் சமச்சீர் (tetrogonal symmetry) அல்லது முக்கோணச் சமச்சீரினது (trigonal symmetry) இடங்களில் இருக்கலாம்.) படிகத்தில் உரேனியச் செறிவு (concentration) 0·05% ஆக இருக்கும்போது மேற்கண்ட இருவகை இடங்களிலும் உரேனிய அயனிகள் சமமாகப் பங்கிடப் பெற்றிருந்தால் அந்த நிலையில் U^{3+} அயனிகளின் ஆற்றல் நிலைகளையே படம் 8.12 குறிக்கின்றது.

$^4I_{\frac{11}{2}}$ மட்டத்திற்கும் தரைமட்டத்திலிருந்து 609 செ. மீ.$^{-1}$ உயரத்தில் அமைந்துள்ள $^4I_{\frac{9}{2}}$ மட்டத்திற்கும் இடையில் லேசர் பெயர்வு நடைபெறுகின்றது. இதனால், 2·61 மைக்ரான் அலை நீளத்தில் லேசர் ஒளி வெளிவருகின்றது.

இதற்கும், மற்ற அருமண் லேசர்களுக்குமான சோதனை அமைப்புமுறை படம் 8.13-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

இந்த அமைப்பு ஜான்சன் (Johnson), பாய்ட் (Boyd), நசுவா (Nassaue), ஸோடன் (Soden) ஆகியோரால் பயன்படுத்தப்பெற்ற தாகும். இது ஒரு நீள்வட்ட உருளையினை (elliptic cylinder) உடையது. இதனுடைய சுவர்கள் நன்றாக மெருகேற்றப்பெற்றுச் சிறந்த எதிரொளிப்பான்களாகச் செயல்படும். இந்த நீள்வட்ட உருளையின் இரண்டு குவியங்களிலும் முறையே ஒரு ஜெனரல் எலெக்ட்ரிக் AH6 உயர் அழுத்த பாதரச விளக்கும் (General Electric AH6 high-pressure mercury lamp), லேசர் படிகமும் பொருத்தப் பெற்றிருக்கும். தொடர்ச்சியான முறையிலன்றித் துடிப்புகளை (pulses) வெளிவிடுவதாக லேசர் செயல்பட்டால், அப்போது செய்வதற்கான அளவீடுகளுக்காக வேண்டி நீள்வட்டத்தினுள்ளேயே ஓர் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கும் (GE FT 91) பொருத்தப் பெற்றிருக்கும். லேசர் வைக்கப்பட்டுள்ள திவார் குடுவையானது திரவ ஆக்சிஜனால் குளிர்விக்கப்படும். இந்தத் திரவ ஆக்சிஜனானது திரவ நைட்ரஜனுடன் வெப்பத் தொடர்பு



படம் 8.13. தொடர்ச்சியான அலை உரேனியம் லேசர், மற்றைய அருமண் தனிம லேசர்கள் ஆகியவற்றுக்கான சோதனை முறை அமைப்பு.

கொண்டு அதன் பயனாக அதன் கொதிநிலைக்குக் (boiling point) கீழ்ப்பட்ட வெப்பநிலையில் இருக்கும்படி செய்யப்பட்டிருக்கும்.

இந்த அமைப்பைக் கையாளுவதால் ஒளியியல் ஏற்றத்திற்கு (optical pumping) பல்வேறு ஒளி மூலங்களைப் (light sources) பயன்படுத்த முடியும். மேலும், தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளிலும் லேசர் செயல்படுவதை ஆராய்ந்தறிய முடியும்.

இந்த உரேனிய லேசரில் கிளர்ச்சியூட்டலில் பெரும் பகுதியானது தரைமட்டத்திலிருந்து $^4I_{\frac{15}{2}}$ மட்டத்திற்கு அயனிகளை உயர்த்துவதாகவே காணப்பட்டது. பயன் தொடக்க ஆற்றலானது (threshold energy) படிகத்தின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுவதாகக் காணப்பட்டது; 77° கெல்வினில் 3·0 ஜூல்களாக இருந்த பயன்தொடக்க ஆற்றல் 300° கெல்வினில் 1200 ஜூல்களாக உயர்ந்தது. 77° கெல்வினில் 130 மைக்ரோ நொடிகளாக இருந்த $^4I_{\frac{11}{2}}$ மட்டத்தின் வாழ்நாளானது 300° கெல்வினில் 15 மைக்ரோ நொடிகளாகக் குறையும். இதற்கேற்பத் தான் பயன் தொடக்க ஆற்றல் மேற்கண்டவாறு மாறுகின்றது.

ஒரு பாதரச வில் விளக்கினைக்கொண்டு ஒரு கிலோவாட்டு ஆற்றலை உள்ளிடுகையில் இந்த லேசர் 10 மைக்ரோ வாட்டுகள் திறனில் தொடர்ச்சியாகச் செயல்பட்டது.

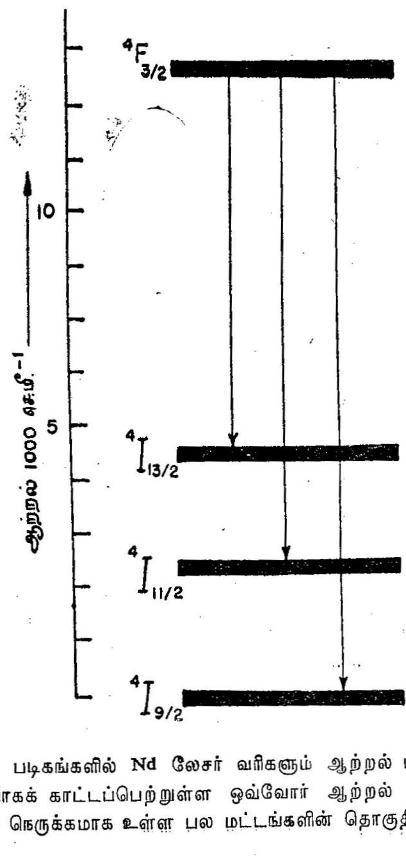
8.10. நியோடிமியம் லேசர்

நான்மட்ட லேசர் அயனிகளிலேயே மிகவும் முக்கியமானது நியோடிமியம் (neodymium) ஆகும். இதனைப் பல்வேறுபட்ட புரவலர் பின்னல்களிலும் (host lattice) பயன்படுத்தித் தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினை நிகழும்படி செய்யமுடியும். வேறெந்த நான்மட்ட லேசரைவிட நியோடிமியம் லேசர்கள் உயர்ந்த திறன் வெளிப்பாட்டினை உடையன.

இதனோடு பயன்படுத்தக்கூடிய முக்கியமான புரவலர் படிகங்கள் $CaWO_4$, $SrWO_4$, SrM_0O_4, $Ca(NbO_3)_2$ ஆகும். இந்தப் படிகங்களில் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு 1·06 மைக்ரான்களை ஒட்டிய பல்வேறு அலைநீளங்களில் நிகழக் காணப்பட்டுள்ளது. இந்த 1·06 மைக்ரான் அலைநீளத்தில் ஏற்படும் வெளியீடு

$^4F_{\frac{3}{2}} \rightarrow {}^4I_{\frac{11}{2}}$ பெயர்வினால் உண்டாவதாகும். இதனைப் படம் 8.14 காட்டுகின்றது.

CaF_2 மற்றும் SrF_2 படிகங்களில் இதே வகையான பெயர்வுக்குக் கிடைக்கும் அலைநீளங்கள் (1·044 மைக்ரான்) முந்தையதை விடக் குட்டையானவையாகும்; Y_2O_3, Gd_2O_3 ஆகியவற்றில் கிடைக்கும் அலைநீளங்கள் (1·078) மைக்ரான்கள்) நீளமானவை. நியோடிமியத்தில் 1·35 மைக்ரானிலும் 0·914 மைக்ரானிலும் கூடத்தூண்டப்பெற்ற பெயர்வுகள் நிகழும். இவை, முறையே $^4F_{\frac{3}{2}} \rightarrow {}^4I_{\frac{13}{2}}$ மற்றும் $^4F_{\frac{3}{2}} \rightarrow {}^4I_{\frac{9}{2}}$ பெயர்வுகளால் கிடைக்கின்றன. இவையும் படம் 8.14 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் **8.14.** படிகங்களில் Nd லேசர் வரிகளும் ஆற்றல் மட்டங்களும். பட்டையாகக் காட்டப்பெற்றுள்ள ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் மிகவும் நெருக்கமாக உள்ள பல மட்டங்களின் தொகுதியாகும்.

$CaWO_4 : Nd^{3+}$ லேசர் தான் முதன்முதலாக அமைக்கப்பட்ட தொடர்ச்சியாகச் (சில நொடிகள்) செயல்படும் திடநிலை லேசராகும். முதன்முதலில் 77° கெல்வின் வெப்பநிலையில்தான் இந்த லேசர் தொடர்ச்சியாகச் செயல்பட்டது. ஆனால், பின்னர் இப் படிகத்துள் Na-ஐச் சேர்த்ததன் வாயிலாக இது அறை வெப்ப நிலையிலேயே இயங்குமாறு செய்யப்பெற்றது. கிளர்ச்சியூட்டும் முறைகளும், குளிர்வித்தல் முறைகளும் சிறப்பான முறையில் வளர்ச்சியுற்றதன் பயனாக $CaWO_4 : Nd^{3+}$ லேசர்கள் அறை வெப்ப நிலையிலேயே ஏறத்தாழ ஒருமணிநேரம்வரைகூடத் தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும்படி செய்யலாம்.

கடந்த பகுதியில் உரேனியம் லேசருக்கெனக் கண்ட அதே அமைப்பு முறையினை நியோடிமியம் லேசருக்கும் பயன் படுத்தலாம்.

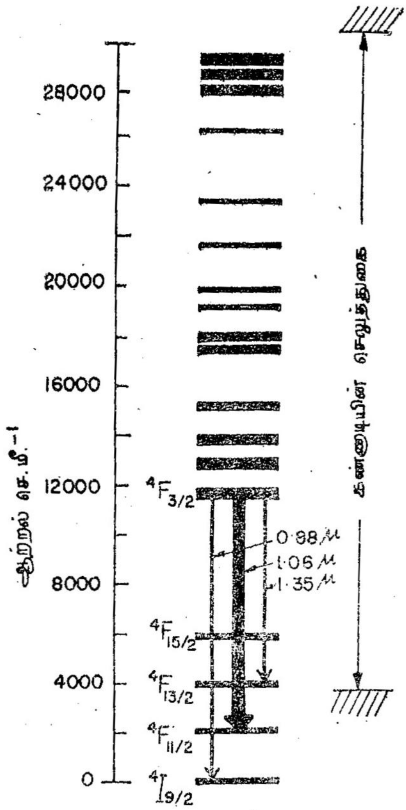
8.11. நியோடிமியம் கண்ணாடி லேசர்

நியோடிமியம் கண்ணாடியைப் பயன்படுத்தும் லேசர்கள் குறிப்பிடத்தக்கவை. ஏனெனில், செயற்கையாகச் செய்யப்படும் தனிப் படிகங்களுக்குப் பதில் வேறு திடப் பொருள்களையும் லேசருக்குப் பயன்படுத்தக்கூடுமென்பதனை இது காட்டுகின்றது; நியோடிமியம் கலந்த கண்ணாடி லேசர்களின் ஒளியியல் வெளிப் பாட்டுத் திறன் மிகவும் உயர்ந்தது; மேலும், கண்ணாடி லேசர்களை மெல்லிய இழைகளாகவோ, அல்லது இழைகளின் கற்றைக ளாகவோ, அல்லது வழக்கமான உருளைகளாகவோ அமைப்பது எளிது.

பேரியம் கிரவுன் கண்ணாடியில் (barium crown glass) Nd^{3+} அயனிகளின் ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 8.15-ல் காட்டப்பெற் றுள்ளன. $^4F_{\frac{3}{2}}$ மட்டம் ஒளிர்தல் மட்டமாகும் (fluorescent level). இந்த மட்டத்திலிருந்து $^4I_{\frac{13}{2}}$, $^4I_{\frac{11}{2}}$, $^4I_{\frac{9}{2}}$ மட்டங்களுக்கு முறையே 0·88 மைக்ரான்கள், 1·06 மைக்ரான்கள், 1·35 மைக்ரான்கள் அலை நீளங்களில் ஏற்படுவனவே லேசர் பெயர்வுகள் (laser transitions) ஆகும்.

ஒளியியல் ஏற்றத்தின் மூலம் தரை மட்டத்திலிருந்து $^4F_{\frac{3}{2}}$ நிலைக்கு அயனிகள் கிளர்ச்சியூட்டப்பெறுகின்றன. $^4I_{\frac{9}{2}}$

ஆகிய தரைமட்டத்தின் இயல்பு கண்ணாடியின் வேதியியல் கூட்டமைப்பைப் பொறுத்தது. ஈயம் உயர்ந்த அளவில் உள்ள

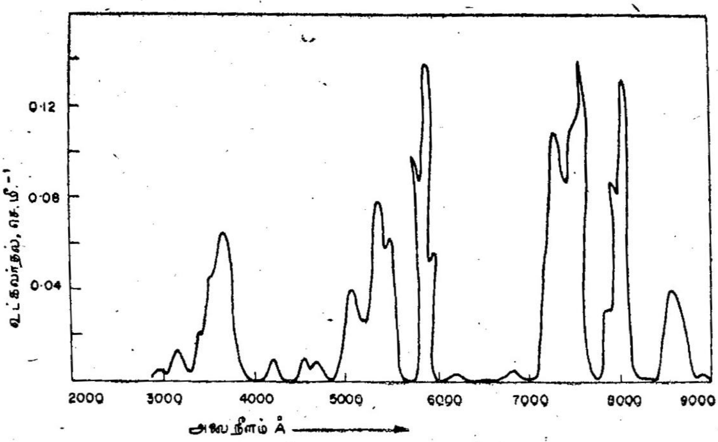


படம் 8.15. பேரியம் கிரவுன் கண்ணாடியில் Nd^{3+}-ன் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

சிலிக்காக் கண்ணாடிகளிலும் (Silica glass), லாந்தனம் போரேட் கண்ணாடிகளிலும் (lanthanum borate glasses) இஃது ஓர் ஒற்றை மட்டமாக (singlet) இருக்கக் காணப்பெறும். ஆனால், கார-காரமண் சிலிக்கேட் கண்ணாடிகளில் (alkali-alkali-earth silicate glasses) இந்தத் தரைநிலையானது இரண்டு மட்டங்களாகப் பிளவுபடும். இந்தப் பிளவுபட்ட இரு மட்டங்களுக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு ஏறத்தாழ 400 செ. மீ.$^{-1}$

இவ்வாறு தரை நிலையானது பிளவுபடுவதால் தீவிரமான உட்கவர்தல்கள் எல்லாம் நீண்ட அலைநீளப் பக்கத்தில் கூடுதலான

உட்கவர்தல் பட்டைகளை (absorption bands) உடையன வாயிருக்கின்றன. இதனைப் படம் 8.16 காட்டுகின்றது. இந்த உட்கவர்தல்



படம் **8.16.** **Sr F_2 : Nd^{3+}** -ன் உட்கவர்தல் — கண் காணும் பகுதியிலும், அதன் அண்மையிலும். **T=300°** கெல்வின்.

(நீண்ட அலைநீளங்களில்) அறைவெப்ப நிலைகளில்தான் ஏற்படுகின்றது; தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் அன்று. எனவே, அறை வெப்பநிலைகளில் ஏற்றும் நிகழ்ச்சி சிறப்பாக நடைபெறும். இது நியோடிமியம் கண்ணாடி லேசர்களின் ஒரு சிறப்பாகும்.

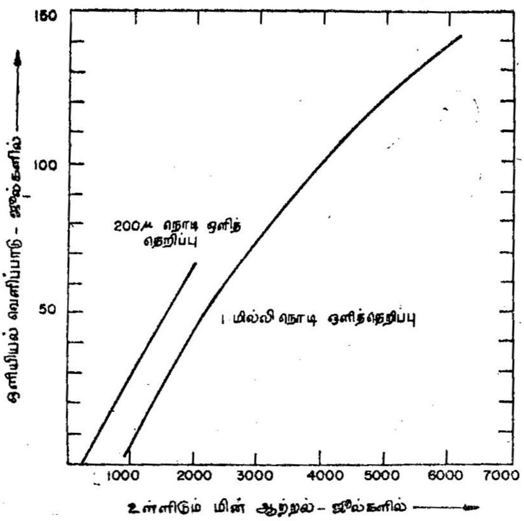
5000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் 6000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் இடையில் இவ்வாறு உட்கவர்தல் ஏற்படுவது ஒரு நற்பேறுகும். ஏனெனில், சூரியனிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சில் பெரும்பகுதி ஆற்றலானது இந்த நிறமாலைப் பகுதியில்தான் உள்ளது. எனவே, சூரிய ஒளியை ஆடிகளைக்கொண்டு குவித்து, செறிவு மிக்கதாக்கி ஏற்றும் நிகழ்ச்சிக்குத் தேவையான கதிர்வீச்சாகப் பயன்படுத்தலாம். இத்தகைய, சூரிய ஆற்றலால் இயங்கும் லேசர்கள் நடைமுறையில் அமைக்கக் கூடியவையே.

ஸ்நிட்சர் (Snitzer) அமைத்த நியோடிமியம் கண்ணாடி லேசரில் பயன்படுத்தப்பட்ட கண்ணாடி உருளையின் நீளம் 4 சென்டி மீட்டர். 6 செ. மீ. விட்டமுடைய இதன் உள்ளகம் (core) மட்டிலும் 6% செறிவில் (concentration) நியோடிமிய அயனிகளின் கலப்புடையது. இந்த உருளையின் முனைகள் தவிர்த்த மற்றப் பகுதிகள் கலப்பில்லாத கண்ணாடிப் படலங்களால் மூடப்பெற்றிருந்தன,

இந்தக் கண்ணுடிப் படலங்களின் ஒளிவிலகலெண் (refractive index) உள்ளகத்தினுடையதைவிடக் குறைந்தது. இதனால், முழு உள் எதிரொளிப்பு (total internal reflection) ஏற்படும். நியோடிமியக் கண்ணுடியின் மொத்த கன அளவு 13·5 கன செ. மீ.

ஏற்றும் நிகழ்ச்சிக்கென 45 செ. மீ. நீளமுடைய ஒரு செனன் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு (xenon flash lamp) பயன்படுத்தப் பெற்றது. இந்த விளக்கு லேசர் உருளேயின் பக்கத்தில் வைக்கப் பட்டு இரண்டுமே ஒரு மெல்லிய வெள்ளித்தகட்டால் (silver foil) சுற்றப் பெற்றிருந்தன. இந்த வெள்ளித்தகடு எதிரொளிப் பானகச் செயல்பட்டது.

இத்தகைய அமைப்பில் ஒரு மில்லிநொடி காலம் நீடிக்கின்ற துடிப்புகளாக (pulses) லேசர் ஒளி 140 ஜூல்கள் ஆற்றலில் வெளிப் பட்டது. இதன் உள்ளிடும் ஆற்றல் - வெளிப்பாட்டு ஆற்றல் சிறப்பியல்புகள் (input - output energy characteristics) படம் 8.17 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

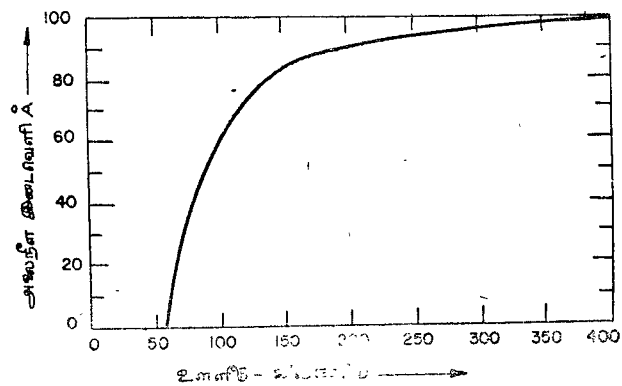


படம் 8.17. நியோடிமியம் கண்ணுடி லேசரின் ஒளியியல் வெளிப்பாடு - செனன் ஒளித் தெறிப்பு விளக்கில் உள்ளிடும் மின் ஆற்றல் ஆகியவற்றின் சிறப்பியல்புகள் - பேரியம் கிரவுன் கண்ணுடியில் 6% நியோடிமியம் உள்ள லேசர் உருளேயைப் பயன்படுத்தும்போது. லேசர் உருளேயின் கன அளவு 13·5 செ.மீ.[3]

இதில் இடப்புறமுள்ள கோடு 200 மைக்ரோ நொடிகள் மட்டுமே நீடிக்கும் குறுகிய ஒளித்தெறிப்பினைப் பயன்படுத்தும் போதும், வலப்புறமுள்ள கோடு 1 மில்லி நொடி நீடிக்கும் ஒளித் தெறிப்பினைப் பயன்படுத்தும்போதும் கிடைத்தவையாகும். இந்தப் பிந்தைய கோடு நேர்க்கோடாக இல்லாமல் சற்றே மாறு பட்டிருப்பதற்குரிய காரணம் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கின்மீது அளவுக்கு மேற்பட்ட நிலையில் பெருஞ்சுமை யேற்றுவதே.

பயன் தொடக்கத்திற்கு மேற்பட்ட நிலையில் ஆற்றலை மாற்றும் பயனுறுதிறம் (efficiency) 3·9% ஆக விருந்தது ; லேசரின் ஆற்றல் வெளிப்பாடு ஒவ்வொரு கன செ. மீ. லேசர் பொருளுக் கும் 10 ஜூல்கள் என்ற வீதத்தில் இருந்தது.

உயர்திறன் கண்ணுடி லேசர்களின் வெளிப்பாடு தாழ்ந்த திறன்களில் இயக்கப்பெறும் நியோடிமியக் கலப்புடைய படிக லேசர்களுடையதிலிருந்து மிகவும் மாறுபட்டது. கண்ணுடி லேசர்களிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சுகளின் நிறமாலை அகன் றிருக்கும். இந்த நிறமாலைப் பகுதியின் (spectral region) அகலம்



படம் 8.18. நியோடிமியம் - கண்ணுடி லேசரின் நிறமாலை அகலத்திற்கும் ஏற்றும் திறனுக்கும் உள்ள தொடர்பு - பேரியம் கிரவுன் கண்ணுடியில் 6% Nd_2O_3 உள்ள பொருளைப் பயன்படுத்தும்போது.

திறன் மட்டத்திற்கேற்ப மாறுபடும். உள்ளிடும் திறனுக்கேற்ப லேசரின் நிறமாலை அகலம் மாறுபடுவதனைப் படம் 8.18 காட்டு கின்றது. இந்தப் பட்டையினது மையமானது ஏறத்தாழ 1·061 மைக்ரான்களில் உள்ளது.

9. வாயு லேசாகள்

9.1. வாயு லேசர்கள்

வாயுக்களின் நிறமாலைகளும், வாயுக்களில் ஏற்படும் மின் னிறக்கங்களும் (electric discharge) பௌதிகத்தில் மிகப் பழமை யானவை. இவை குவான்டம் எந்திரவியல் (quantum mechanics) வளர்ச்சிக்கு முன்னரும் பின்னரும் நன்கு ஆராயப் பெற்றுள்ளன. எனவே, வாயுக்களை லேசர் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தித் தூண்டப் பெற்ற வெளியீட்டினை உண்டாக்குவது பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் ஆராய்ச்சியாளர்களை எளிதில் கவர்ந்திருக்க வேண்டும். இருப்பினும் கி. பி. 1962 ஆம் ஆண்டில்தான் வாயு லேசரைப் பற்றிய ஓர் உருப்படியான ஆராய்ச்சிக் கட்டுரை வெளி யானது. புறச்சிவப்பு மற்றும் ஒளியியல் மேசர்கள் (infra red and optical masers) என்ற தலைப்பில் ஷாவ்லாவ் (Schawlow) டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோர் வெளியிட்ட அக் கட்டுரையில் ஒளியியல் ஏற்றத்தின் (optical pumping) வாயிலாக, சோடியம் (sodium) அல்லது சீசியம் (cesium) ஆவியினைக் கிளர்ச்சியூட்டி லேசர் நிகழ்ச்சியினை ஏற்படுத்துவதுபற்றிய செய்திகள் விவரிக்கப் பெற்றிருந்தன. இத்தகைய சீசியம் ஆவி லேசர் கி.பி. 1962 ஆம் ஆண்டில்தான் வெற்றிகரமாக உருவாக்கப்பட்டது. இதனை ரபினோவிட்ஸ் (Rabinowitz), ஜேகப்ஸ் (Jacobs), கௌல்டு (Gould) ஆகியோர் அமைத்தனர்.

மேற்கூறிய கட்டுரையினைத் தொடர்ந்து வாயு லேசர்கள் (gas lasers) துறையில் பெருத்த வளர்ச்சியேற்பட்டது ; வாயுக் களின் மின்னிறக்கம் போன்ற வேறு வகைகளால் கிளர்ச்சியூட்டுதல் போன்ற பல்வகை லேசர்கள் உருவாயின. இருப்பினும், எல்லா வகை லேசர்களுக்கும் இந்தக் கட்டுரைதான் முன்னோடியாகக்

இருந்தது எனவும், இதுவே மேற்கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் நிகழ்த்துவதற்கொரு தூண்டுகோலாகவும் அமைந்தது எனவும் கூறலாம்.

ஒளியியல் ஏற்றம்தான் முதன்முதலாக எண்ணப்பெற்ற முறையானாலும் முதன்முதலாக உருவாகிய வாயு லேசர் மின்னிறக்கத்தையே பயன்படுத்தியது. இந்த முதல் வாயு லேசர் ஹீலியம் - நியான் லேசராகும் (helium - neon laser). இதனைக் கி. பி. 1961 - ல் உருவாக்கியவர்கள் ஜவான் (Javan), பென்னெட் (Bennet), எரியட் (Herriott) ஆகியோராவர். நியான் வாயுவின் $2s_5 \longrightarrow 2p_9$ பெயர்வினால் 1·1177 மைக்ரான்கள் அலைநீளத்தில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெற வேண்டுமென இவர்கள் எதிர்பார்த்தனர். அவ்வாறே அந்த லேசரிலும் இந்த அலைநீளத்தில் லேசர் ஒளி வெளிப்பட்டது. இதனோடு மட்டுமல்லாது 1·15 - லிருந்து 1·2 மைக்ரான்களுக்கு உள்ளிட்ட அலைநீளங்களிலும் இதனினும் வலுவான அலைவுகள் ஏற்படக் காணப்பெற்றன. உண்மையில் கூறப்போனால் முதன் முதலாக அமைத்த ஹீலியம் - நியான் லேசர் ஒன்றில்தான் இந்த 1·1177 மைக்ரான் வரி காணப்பெற்றதேயன்றிப் பின்னர் உருவான ஹீலியம் - நியான் லேசர்களில் இது மிக அரிதாகவே காணப் பெற்றது.

இந்த முதல் வாயு லேசரைத் தொடர்ந்து எண்ணற்ற லேசர்கள் உருவாக்கப் பெற்றுள்ளன. ஏறத்தாழ ஆயிரம் லேசர் பெயர்வுகள் (laser transitions) இந்தப் பத்தாண்டுக் காலத்திற்குள் கண்டுபிடிக்கப் பெற்றுள்ளன வென்று சொன்னால் இத் துறையில் ஆராய்ச்சி எவ்வளவு விரைந்து நடைபெறுகிறதென்பது தெற்றெனப் புலனாகும்.

வாயு லேசர்களில் இவ்வாறு பெருமளவில் கண்டுபிடிப்புகள் நிகழ்ந்துள்ளதற்கு ஒரு காரணம் வாயுக்களின் நிறமாலைப் பண்புகள்பற்றிய பிரச்சினைகள் திடப்பொருள்களின் பிரச்சினைகளைவிட எளியவை ; கட்டற்ற வாயு அணுக்களின் (free atoms of a gas) ஆற்றல் மட்டங்களின் அமைப்புகள் (energy level schemes) படிகப் பின்னலில் பொதிந்துள்ள அணுக்களின் ஆற்றல் மட்ட அமைப்புகளோடு ஒப்பு நோக்க எளியவை. ஏனெனில், வாயுக்களின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று நெடுந் தொலைவில் உள்ளன. இதற்கு மாறாகப் படிகங்களில் உள்ள அணுக்கள் நெருக்கமாக உள்ளமையால் இவ்வணுக்கள் ஒன்றையொன்று பாதிக்கின்றன.

மேலும், திடப்பொருள்களில் ஒளியியல் ஏற்றம் (optical pumping) ஒன்றினைத்தான் கிளர்ச்சியூட்டலுக்குப் பயன்படுத்த முடியும். ஆனால், வாயுக்களிலோ பல்வேறு முறைகள் உள்ளன. அவை ஒளியியல் ஏற்றம், எலெக்ட்ரான் மோதல் (electron impact), மீட்சியிலா மோதுகையினால் (inelastic collision) கிளர்ச்சியூட்டல் மாற்றம் (excitation transfer), அணு - மூலக்கூறு மோதல்களில் ஏற்படும் மூலக்கூறுகள் பிரிகை (molecular dissociation) முதலியனவாகும். வாயுக்களில் கிளர்ச்சியூட்டலுக்கு மேற்கண்ட முறைகளே உள்ளன என்று நாம் அறுதியிட்டு உறுதியாகக் கூற முடியாது ; போகும் போக்கினைப் பார்த்தால் மேலும் பல முறைகளும் பலவகை வாயு அமைப்புகளும் உருவாகலாம்.

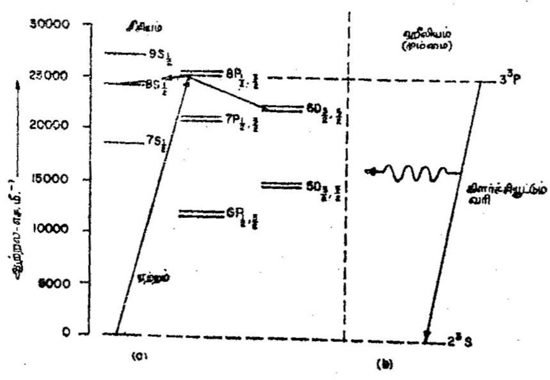
இனி, வாயு லேசர்களில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படுத்தும் பல்வேறு முறைகளையும், லேசர்களின் அமைப்பு விவரங்களையும், அவற்றின் செயல்திறங்களையும், சிறப்பியல்புகளையும் காண்போமாக.

9.2. ஒளியியல் ஏற்றம்

திடநிலை லேசர்களில் இந்த ஒளியியல் ஏற்றம் முறையே சிறப்பாகப் பயன்படுத்தப் பெற்றாலும் வாயுக்கள் அமைப்பிற்கு இது அவ்வளவாக உகந்ததன்று. ஏனெனில், தாழ் அழுத்த (low pressure) வாயு அமைப்புகளில் திடநிலைப் பொருள்களில் உள்ளது போன்ற உட்கவர் பட்டைகள் (absorption bands) இல்லை ; அதாவது, உட்கவர் அல்லது வெளிவிடு பட்டைகளின் அகலங்கள் மிகமிகக் குறைவு ; அதாவது, அகலம் குறைந்த உட்கவர் அல்லது வெளிவிடு வரிகளே உள்ளன. இவ்வாறு, உட்கவர் பட்டைகள் இல்லாமலிருப்பதும், மாறாக வரிகள் மிகமிக அகலம் குறைந்தனவாக இருப்பதும் வெளிவிடப்படும் வரிக்கு (emission line) மிகவும் உகந்ததாயினும் ஒளியியல் ஏற்றத்திற்கு இது ஒரு தொல்லையே. ஏனெனில், இதன் காரணமாக வாயுவானது குறுகிய தனித்த வரிகளிலேயே ஆற்றலை உட்கவர முடியும். எனவே, ஒளியியல் ஏற்றம் நிகழச் செய்யவேண்டின் கரும் பொருள் (black body) போன்ற ஒளிமூலங்களைப் பயன்படுத்த முடியாது ; உயர்ந்த செறிவுடைய நிறமாலை மூலங்களையே (spectral sources) பயன்படுத்தவேண்டும் ; இந்த ஒளி மூலத்தின் வெளிவிடு வரிகளில் ஒன்று வாயுவினது உட்கவர்தல் வரியோடு ஒன்றியிருக்க வேண்டும்.

ஆனால், இத்தகைய ஒன்றிப்பினை (coi.:cidence) நடைமுறையில் எய்துவது கடினம். எனவே, ஒரு வாயுவின் எந்த ஒத்ததிர்வு வரிக்குக் கிளர்ச்சி யூட்ட வேண்டுமென நினைக்கின்றோமோ அதே வரியினை வெளிவிடுகின்ற அதே வாயுவாலான ஒளிமூலத்தைத் தான் பயன்படுத்தவேண்டும். ஆனால், நற்பேறாக இத்தகைய ஒன்றிப்பு ஹீலியம், சீசியம் ஆகிய இரு வாயுக்களில் உள்ளது. இவை இரண்டிற்கும் 3888 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளமுள்ள ஒத்ததிர்வு வரிகள் உள்ளன. எனவே, இந்த அலைநீளத்தில் ஹீலியம் குழாய் (helium t.ibe) வெளிவிடும் ஆற்றலைச் சீசியத்தில் கிளர்ச்சி யூட்டுவதற்குப் பயன்படுத்தலாம். இத்தகைய ஒரு லேசரைத் தான் ரபினோவிட்ஸ் (Rabi.i witz), ஜேகப்ஸ் (Ja:obs) ஆகியோர் கி.பி. 1962 - ல் அமைத்தனர்.

சீசியத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 9.1 (*a*) - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன. இதனை ஹீலியத்தின் ஆற்றல் மட்டங்களுடன் [படம் 9.1 (*b*)] ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் ஹீலியத்தின் வெளிவிடு வரி



படம் 9 1. சீசியம், ஹீலியம் ஆகியவற்றில் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

($3^3P \rightarrow 2^3S$) யானது சீசியத்தின் $\left(6S_{\frac{1}{2}} \rightarrow 8P_{\frac{1}{2}}\right)$ பெயர்வினது வரிக்கு ஏறத்தாழச் சமமாக இருக்கக் காணலாம். இவற்றின் மதிப்புகள் முறையே 3889·69 Å, 3889·67 Å ஆகும். எனவே, சீசியம் லேசரின் ஹீலியம் மின்னிறக்க விளக்கு (helium discharge lamp) 3889·69Å - ல் ஒரு குறுகிய பட்டையில் வெளிவிடும் ஆற்றலானது சீசிய ஆவி (caesium vapour) உள்ள குழாயினை ஒளியூட்டப் பயன்படுத்தப் பெற்றது.

ஒளியியல் ஏற்றத்தைப் பயன்படுத்தும் ஒரே வாயு லேசர் இந்தச் சீசியம் லேசர்தான் (caesium laser) என்று கூறலாம். ஆனால், நாம் முன்னரே கூறியதுபோலக் கிளர்ச்சியூட்டுவதற்கான வேறு வழிகளும் உள்ளன. அவையே பெரும்பாலான நடைமுறை வாயு லேசர்களில் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன.

9.3. எலெக்ட்ரான் மோதலால் ஏற்றம்

எலெக்ட்ரான்கள் மோதலால் கிளர்ச்சியூட்டும் முறைதான் வாயு அமைப்புகளில் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்து வதற்கெனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ள முறைகளின் பொதுவான அடிப்படையாகும். இந்த முறையால் கிளர்ச்சியூட்டத்தை அடை வதற்கான நிலைகளை வாயு அமைப்பில் ஒரு பொலிவு மின்னிறக் கத்தை (glow discharge) நிலைநாட்டுவதன் வாயிலாகப் பெறலாம். வாயுக் குழாயில் வைக்கப்பெற்ற இரண்டு மின்வாய்களுக்கு (electrodes) இடையில் ஒரு நேர்த்திசை மின்னோட்டத்தை ஏற் படுத்துவதன் வாயிலாகவோ அல்லது மின்தேக்கு முறையில் இணைக்கப்பெற்ற (capacitatively coupled) ஓர் உயர் அதிர்வெண் மின்மூலத்தைப் பயன்படுத்தியோ மின்னிறக்கத்தை நிலைநாட்ட லாம். இந்த இரண்டாவது முறையைப் பயன்படுத்தும்போது லேசர் குழாயினுள் (laser tube) உலோக மின்வாய்கள் இல்லா திருப்பதால் வாயுவின் மின்னிறக்கத்தினால் ஏற்படும் தெறித்தல் (sputtering) அபாயமில்லை. இது ஒரு நன்மையாகும்.

வாயுவில் மின்னிறக்கம் ஏற்படும்போது அதில் அயனிகளும் (ions), கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களும் (free electrons) தோன்று கின்றன. மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்ற மின்புலத்தால் இந்த அயனிகளும் எலெக்ட்ரான்களும் முடுக்கப்படுகின்றன (accelerated) ; அதனால் இயக்க ஆற்றலைப் (kinetic energy) பெறுகின்றன.

நமக்கு அயனிகளின் இயக்கம் அவ்வளவு முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததன்று ; எலெக்ட்ரான்கள்தாம் திறன் மூலத்திலிருந்து ஆற்றலைப் பெற்று அணுக்களுடன் மோதும்போது அவ்வாற் றலைப் பகிர்ந்தளிக்கின்றன. ஏனெனில், வளியழுத்தத்தினைவிட (atmospheric pressure) மிகத் தாழ்ந்த அழுத்தங்களில் (வழக்கமாக இது சில மில்லி மீட்டர்கள் பாதரசம் அல்லது அதற்கும் கீழ்ப்பட்ட நிலையில்தானிருக்குமென்பது நாமறிந்ததே.) ஏற்படுகின்ற மின்னிறக்கங்களில் எலெக்ட்ரான்களின் சராசரி

இயக்க ஆற்றலானது மின்னிறக்கத்தின் போதுள்ள அணுக்கள் மற்றும் அயனிகளது ஆற்றலைவிட மிகமிக அதிகம்.

ஒரு நிலையான மின்னிறக்கத்தின்போது ஒரு மில்லிநொடி (milli second) என்னுமளவில் குறைந்த காலத்தில் எலெக்ட்ரான்கள் தமக்குள்ளேயே ஒரு சமநிலையை எட்டும். இது ஒரு மாக்ஸ்வெல் - போல்ட்ஸ்மன் பகிர்வாக (Maxwell - Boltzmann distribution) இருக்கும். இந் நிலையில் எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை T_e எனும் எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலையால் குறிக்கலாம். இந்த வெப்பநிலை இப் பகிர்வினது சிறப்பியலாகும். இது எலெக்ட்ரான்களின் சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

இப்போது எலெக்ட்ரான்களுக்கும் அணுக்களுக்குமிடையே மீட்சியிலா மோதுகைகள் (inelastic collisions) நிகழலாம். இந்த மோதல்களின்போது அணுக்கள் தம் ஆற்றலை இழக்கவோ அல்லது ஈட்டவோ செய்யும். ஆனால், இந்த ஆற்றல் இழப்புகள் அல்லது ஈட்டங்கள் அணுக்களின் ஆற்றல் மட்டங்களின் அமைப்பிற்கு இயைந்தவையாகத் தானிருக்கும். இதன்படி அணுக்கள் அவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே போல்ட்ஸ்மன் விதிப்படி பகிர்வு செய்யப்பெறும். அதன்படி n - ஆவது நிலையிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை N_n ஆனால், N_n - ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$N_n = N_1 e^{-\left(\frac{E_n - E_1}{kT_e}\right)} \longrightarrow (9{\cdot}1)$$

இங்கே N_1 என்பது தரைமட்டத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையையும், E_1, E_n என்பன முறையே தரைநிலை, n - ஆவது நிலை ஆகியவற்றின் ஆற்றல்களையும் குறிக்கும்.

ஆனால், இந்தப் பகிர்வின்படி அணுக்கள் அமைவதில்லை. n - ஆவது நிலையில் உள்ள கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்களின் எண்ணிக்கைச் சமன்பாடு (9·1) - ன்படி இருக்கவேண்டியதைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இதற்கு இரண்டு காரணங்கள் உள்ளன. அவை யாவன :

(1) அணுக்களுக்கிடையே ஏற்படும் மோதல்கள் அணு - எலெக்ட்ரான் மோதல்கள் ஆகியவற்றால் அணுக்கள் தம்

கிளர்ச்சி ஆற்றலில் (excitation energy) சிறிதளவை இயக்க ஆற்றல் வாயிலாக இழந்து விடுகின்றன. இதனால் அணுவெப்ப நிலை T_a ஆனது எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலை T_e - ஐவிடக் குறைந்து விடுகின்றது.

(2) கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்கள் கதிர்வீசும் பெயர்வுகளால் (radiative transfer) தாழ்ந்த ஆற்றல் நிலைகளுக்குச் செல்லும். இந்த இரண்டாவது விளைவு மிகவும் முக்கியமானது.

இவ்வாறாக, வாயுவின் அணுக்கள் எலெக்ட்ரான்களுடன் மோதுதலாலோ அல்லது கதிர்வீச்சினை உட்கவர்தலாலோ ஆற்றலை ஈட்டுகின்றன; இதனால் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறுகின்றன. (இம் மோதல்கள் முதல்வகை மோதல்கள் எனப்படும்.) அதே நேரத்தில் மோதுகைகளாலோ (இவை இரண்டாம் வகை மோதுகைகள் எனப்படும்.) அல்லது தன்னிச்சையான வெளியீட்டினாலோ அல்லது தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினாலோ ஆற்றலை இழக்கின்றன; இதனால் கிளர்ச்சி நிலையிலிருந்து இயல்பு நிலைக்கு வருகின்றன. இச் செயல்கள் ஒன்றோடொன்று போட்டியிட்டு ஒரு நிலையான சமநிலையற்ற நிலையை (stationary non-equilibrium state) வாயு எய்தும். இந்த நிலையில் ஒவ்வோர் ஆற்றல் நிலையிலும் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை மாறாமலிருக்கும். இந்த நிலை நீடிக்கவேண்டுமானால் எந்தவொரு நிலைக்கும் பல்வேறு காரணங்களாலும் அணுக்கள் வருகின்ற வீதமும் அந் நிலையிலிருந்து பல்வேறு காரணங்களாலும் அணுக்கள் வெளியேறும் வீதமும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

எந்தவோர் ஆற்றல் நிலையிலும் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை இவ்வாறான ஒரு சரியீட்டினை (balance) நிலைநாட்டும் வகையில் தானாகவே சரிசெய்து கொள்கின்றது. எனவே, எந்த ஆற்றல் நிலைகளிலிருந்து அணுக்கள் வெளியேறும் வீதம் குறைவாக இருக்கின்றதோ அந்த நிலைகளில் அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருக்கும். இத்தகைய நிலைகள் சிற்றுறுதியான நிலைகள் (metastable states) எனப்படும்.

இவ்வாறாக, ஒரு சிற்றுறுதியான நிலைக்கும் அதனினும் தாழ்ந்த ஒரு மட்டத்திற்கும் இடையில் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை (population inversion) ஏற்படுத்த இயலும். பல்வேறு வாயு மின்னிறக்க அமைப்புகளில் இத்தகைய தொகைத் தலை

கீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவது பற்றிய கொள்கை (theory) அளவான ஆராய்ச்சிகள் நிறையச் செய்யப்பெற்றுள்ளன. இருப் பினும் மிகப்பல அமைப்புகளுக்குப் பெயர்வு நிகழ்திறன்களும் (transition probabilities) எலெக்ட்ரான் மோதுகையால் கிளர்ச்சி யூட்டுதலுக்கான குறுக்கு வெட்டுகளும் (cross - sections) சரியாகத் தெரியாதிருத்தலால் எந்தெந்தப் பெயர்வுகளில் நிச்சயம் லேசர் அலைவுகள் ஏற்படுமென்பதனை இந்தக் கொள்கை அளவான பகுப்பிலிருந்து அறிய முடிவதில்லை ; இந்தக் கொள்கையளவான பகுப்பானது சோதனைகளைத் திட்டமிடுவதற்கு ஒரு வழிகாட்டி யாகத்தான் அமைகின்றது. எனவே, வாயு லேசர்களை அமைப் பதில் சோதனை முறைகளைத்தான் நாம் நாடவேண்டியுள்ளது.

எலெக்ட்ரான் மோதலால் கிளர்ச்சியூட்டும் முறையால் லேசர் விளைவானது மேதக்க வாயுக்களிலும் (noble gases), நைட்ரஜனிலும், அயோடின் மற்றும் பாதரச ஆவிகளிலும் கண்டறியப்பட்டுள்ளன.

9.4. மீட்சியிலா அணு - அணு மோதுகைகள்

வாயு லேசர்களில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்பெறும் பிறிதொரு முறை வாயுக் கலவைகளில் (gas mixtures) எலெக்ட்ரான் மோதுகைகளால் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதாகும்.

ஏறத்தாழ முற்றிலும் ஒத்த இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களை யுடைய இரு வாயுக்களின் கலவையை எடுத்துக்கொண்டால் அவற்றின் அணுக்களுக்கிடையே ஏற்படக்கூடிய மோதுகைகளால் ஆற்றல் பரிமாற்றம் ஏற்படும். இந்த அடிப்படையில் அமைந்தது தான் இந்த முறையாகும்.

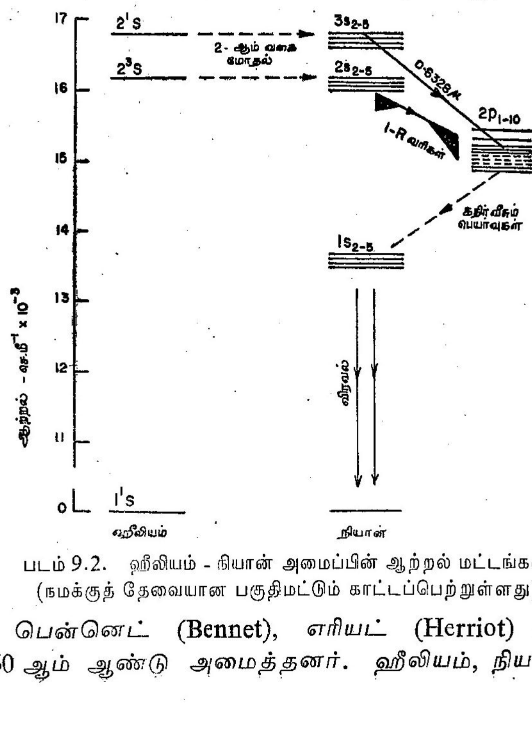
X, Y ஆகிய இரு வாயுக்கள் இத்தகைய ஆற்றல் மட்டங்களை யுடையனவெனக் கொள்வோம். கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலுள்ள ஒரு X அணுவானது தரைமட்டத்திலுள்ள Y அணுவின்மீது மோதுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு ஏற்படும் மோதுகை யினைப் பின்கண்டபடி எழுதலாம் :

$$X^* + Y \rightarrow X + Y^* + \Delta E \qquad \longrightarrow (9{\cdot}2)$$

கிளர்ச்சியுற்ற X^* நிலையானது ஒரு சிற்றுறுதியான நிலையாக (metastable) இருக்குமானால் இத்தகைய ஆற்றல் மாற்ற முறை

மிகவும் சிறப்பாகச் செயல்படும். ஏனெனில், வாயுவின் அழுத்தம், வேறு வாயுக்கள் கலந்திருத்தல், வாயுவுள்ள கொள்கலனின் கொள்ளளவு போன்றவற்றைத் தகுந்தவாறு சரிசெய்வதன் வாயிலாகச் சிற்றுறுதியான நிலையினை இத்தகைய ஒரு மோதலால் ஆற்றலை இழக்கச் செய்வதற்கான நிகழ்திறத்தைக் கூட்டமுடியும். மேலும், கிளர்ச்சியுற்ற அணுவாகிய Y* ஆனது ஒரு கதிர்வீசும் பாத (radiative path) வழியாகத் தாழ்மட்டத்திற்குச் செல்லுமானால் அதனுடைய வாழ்நாளானது சிற்றுறுதியான நிலையின் (X*) வாழ்நாளைவிட மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, Y* அணுவானது X* அணுவைக் கிளர்ச்சியூட்டுவதாகிய தலைகீழான செயல், மிகமிக மெதுவாகவே நடைபெறும். கிளர்ச்சியுற்ற அணு நிலையாகிய Y* ஆனது லேசர் பெயர்வுக்கான உயர்மட்டமாகச் செயல்படக் கூடுமானால் இத்தகைய மீட்சியிலா அணு - அணு மோதுகையால் லேசர் நிகழ்ச்சிக்குத் தேவையான தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்த முடியும்.

இந்த முறையினை வெற்றிகரமாகக் கையாண்டு அமைக்கப் பெற்ற லேசர் ஹீலியம் - நியான் லேசராகும். இதனை ஜவான்



படம் 9.2. ஹீலியம் - நியான் அமைப்பின் ஆற்றல் மட்டங்கள். (நமக்குத் தேவையான பகுதிமட்டும் காட்டப்பெற்றுள்ளது).

(Javan), பென்னெட் (Bennet), எரியட் (Herriot) ஆகியோர் கி.பி. 1960 ஆம் ஆண்டு அமைத்தனர். ஹீலியம், நியான் ஆகிய

வற்றின் ஆற்றல் மட்டங்களில் இந்த லேசருக்குப் பயன்படும் பகுதிகள் படம் 9.2-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

ஹீலியம் வாயுவில் தரைமட்டமானது ஓர் ஒற்றை (singlet) ஆகும். இதன் 2^3S நிலை ஒரு சிற்றுறுதியான நிலையாகும். இந்தச் சிற்றுறுதியான நிலையிலிருந்து தரைமட்டத்திற்குச் செல்லும் நேரடியான பெயர்வுகள் (transitions) நடைபெறமுடியாது; இத்தகைய பெயர்வுகள் விலக்கப்பட்டவையாகும் (forbidden).

வாயுவில் மின்னிறக்கம் நிகழும்படி செய்தால் நாம் முன்னர் விவரித்த முதல் வகையைச் சார்ந்த எலெக்ட்ரான் மோதல்களால் அணுக்களை 2^3S நிலைக்குக் கிளர்ச்சியூட்டலாம். ஹீலியத்தின் இந்த 2^3S மட்டமானது தரைமட்டத்திலிருந்து எவ்வளவு உயரத்தி லுள்ளதோ அதே அளவு உயரத்தில் நியான் வாயுவின் $2s$ மட்டங்கள் அதன் தரைமட்டத்திலிருந்துள்ளன. எனவே, இந்தக் கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற ஹீலியம் அணுக்கள் தரைமட்டத்திலுள்ள நியான் அணுக்களுடன் மோதி அவற்றை $2s$ மட்டங்களுக்குக் கிளர்ச்சியூட்டும். இவ்வாறாக, நியானின் 2s மட்டங்களில் அணுக் களின் தொகையை அதிகரிக்கச் செய்யலாம். இவ்வாறான ஆற்றல் பரிமாற்றம் நிகழ்வதற்கான நிகழ்திறம் (ω_{ex}) அந்த இரு மட்டங் களுக்கிடையேயுள்ள [ஹீலியம் வாயுவின் 2^3S மட்டம் - நியான் வாயுவின் $2s$ மட்டங்கள்] ஆற்றல் வேறுபாட்டினை ($\triangle E$) பொறுத் திருக்கும். இதனை,

$$\omega_{ex} = \text{மாறிலி} \times e^{-\left(\frac{\triangle E}{kT}\right)} \longrightarrow (9{\cdot}3)$$

என எழுதலாம். இங்கே T என்பது வாயுவின் வெப்பநிலை.

ஹீலியம் - நியான் கலவையில் ஹீலியத்தின் 2^3S நிலைக்கும் நியானின் $2s$ மட்டங்களில் மிக உயர்ந்ததற்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு ஏறத்தாழ 300 செ.மீ.$^{-1}$ தான். எனவே, ஆற்றல் பரிமாற்றத்திற்கான நிகழ்திறம் உயர்வாக இருக்கும்.

தேர்வு விதிகளின்படி (selection rules) பார்த்தால் நியானின் நிறமாலையில் $2s$ மட்டங்களுக்கும் பத்து $2p$ நிலைகளுக்குமிடையில் முப்பது லேசர் பெயர்வுகள் ஏற்படலாம். இவற்றுள் பதினான்கு பெயர்வுகள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இந்தப் பதினான்கும் 0·63

மைக்ரான்களுக்கும், 1·52 மைக்ரான்களுக்கும் இடைப்பட்ட அலை நீளங்களில் உள்ளன.

$2p$ மட்டங்கள் $1s$ மட்டங்களோடும், அதனால் தரைமட்டத்தினோடும் இணைக்கப்பட்டிருப்பதாலும் $2p$ மட்டங்களிலிருந்து $1s$ மட்டங்களுக்குச் செல்லும் பெயர்வுகளுக்கான நிகழ்திறம் $2s \rightarrow 2p$ பெயர்வுகளுக்கான நிகழ்திறத்தைவிட அதிகமாக இருக்குமாதலால் $2p$ மட்டங்களில் அணுக்கள் தேங்குவதில்லை. எனவே, $2s$ - $2p$ மட்டங்களுக்கிடையே தொடர்ச்சியாக லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறக்கூடும். மேலும், வாயுவில் மின்னிறக்கத்தை எளிதாகத் தொடர்ந்து நிகழ்த்த முடியுமாதலால் ஏற்றும் நிகழ்ச்சியும் தொடர்ந்து நடைபெறும். எனவே, இந்த லேசரும் இதே தத்துவத்தின் அடிப்படையில் வேலை செய்யும் மற்ற லேசர்களும் தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும்.

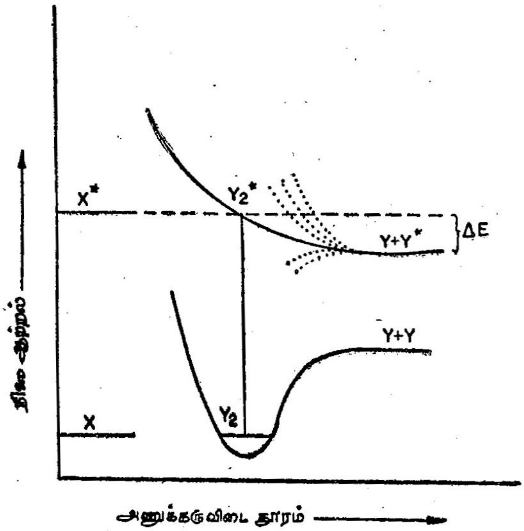
9.5. மூலக்கூறுகள் பிரிகை முறைகள்

கடந்த பகுதியில் இரு அணுக்கள் மோதுகையால் கிளர்ச்சியானது ஓர் அணுவிலிருந்து மற்றதற்கு மாற்றப்படுகின்றது என்பதனையும், அதனால் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை எவ்வாறு ஏற்படுத்த முடிகின்றதென்பதனையும் கண்டோம். இதிலிருந்து சற்று மாறுபட்ட ஒரு செயல்முறையும் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தப் பயன்படுகின்றது. கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்கள் ஈரணு மூலக்கூறுகளுடன் (diatomic molecules) அல்லது பலவணு மூலக்கூறுகளுடன் (polyatomic molecules) மோதலால் முதலில் மூலக்கூறு பிரிவடைகின்றது. பிரிகையால் ஏற்படும் அணுக்கள் அவற்றின் தரைநிலைகளை (ground states) எய்தலாம் அல்லது கிளர்ச்சி மட்டங்களையும் (excited levels) அடையலாம். ஓர் ஈரணு மூலக்கூறில் நிகழும் இத்தகைய பிரிகையைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$X^* + Y_2 \longrightarrow X + Y^* + Y + \Delta E \qquad \longrightarrow (9{\cdot}4)$$

இவ்வாறு ஒரு பிரிகைக்கூறு கிளர்ச்சியடைய வேண்டுமானால் கிளர்ச்சியடைந்திருந்த அணுவின் (X^*) ஆற்றலுக்கும் இதன் (Y^*) ஆற்றலுக்கும் உள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு சிறியதாக இருக்க வேண்டும். ஆனால், இந்த நிபந்தனையானது முன் பார்த்த அணு - அணு மோதல் நிகழ்ச்சியில் தேவையான அளவு கடுமையானதன்று; இந்த ஆற்றல் வேறுபாடு ஹீலியம் - நியான் அமைப்பில் உள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டைவிட அதிகமாக இருந்தாலும் இவ்வாறு

கிளர்ச்சியூட்ட முடியும். இதற்கொரு முக்கியக் காரணமுண்டு. மூலக்கூறு பிரிகையால் ஏற்படும் ஒவ்வோர் அணுவிற்கும் அது இருப்பதற்குரிய பல ஆற்றல் நிலைகள் உள்ளன. இதனைப் படம் 9.3 விளக்குகின்றது.



படம் 9.3. மூலக்கூறு பிரிகையில் கிளர்ச்சி மாற்றம் நிகழும் முறையை விளக்கப் பயன்படும் நிலை ஆற்றல் கோடுகள் (potential energy curves). சிற்றுறுதியான X* நிலையின் ஆற்றல் Y_2 மூலக்கூறால் உட்கவரப்பட்டு Y_2* எனும் கிளர்ச்சியடைந்த மூலக்கூறு உண்டாகிறது. Y_2* பிரிந்து ஓர் இயல்பான அணுவும் (Y) ஒரு கிளர்ச்சியடைந்த அணுவும் (Y*) தோன்றுகின்றன. பிரியும் எல்லையில் ஒரே ஆற்றலில் வந்து முடியும். மிகப்பலவான நிலை ஆற்றல் கோடுகளைப் புள்ளியிட்ட கோடுகள் குறிக்கின்றன.

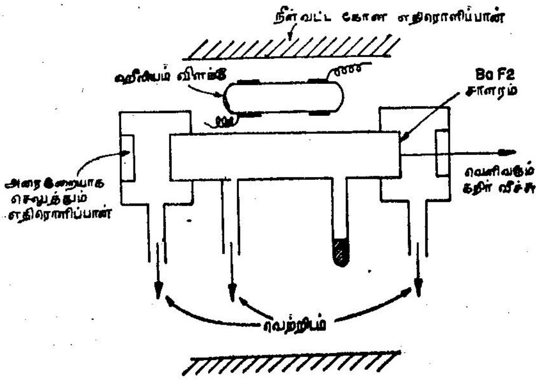
இந்த வகையில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தும் முறை முதன்முதலில் நியான் - ஆக்சிஜன், ஆர்கான் - ஆக்சிஜன் லேசர்களில் பயன்படுத்தப்பெற்றன.

9.6. சீசியம் லேசர்

வரலாற்று அடிப்படையில் பார்த்தால் இரண்டாவதாக உருவாகிய வாயு லேசர் சீசியம் லேசராகும் (caesium laser). ஆனால், ஒளியியல் ஏற்றத்தை அடிப்படையாகக்கொண்ட முதல் வாயு லேசர் இதுதான். ஒளியியல் ஏற்றத்தைப் பயன்படுத்தும் ஒரே லேசர் இதுதான் என்றும் கூறலாம்.

சீசியம் வாயுவின் ஆற்றல் மட்டங்களையும் அவற்றுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தும் முறையினையும் பகுதி 9·2-ல் கண்டோம். இனி, சீசியம் லேசரின் அமைப்பினைக் காண்போம்.

சீசியம் லேசரின் அமைப்பு, படம் 9.4-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. சீசியம் வாயுக் குழாயின் இருமுனைகளிலும் BaF_2



படம் 9.4. சீசியம் லேசர்.

சாளரங்கள் (BaF_2 windows) பொருத்தப் பெற்றிருக்கும். ஆனால், சாளரங்களைக் குழாயுடன் ஒட்ட முடியாது. ஏனெனில், சீசியம் வாயுவால் பாதிக்கப்படாத பசை (adhesive) எதுவுமில்லை. எனவே, BaF_2 சாளரங்கள் குழாயின் இருமுனைகளிலும் நன்றாகத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்படி அழுத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கும். வாயுக்கலம் ஒரு வெற்றிட (vacuum) அமைப்புடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதனால், சூடான சீசியமானது கண்ணாடியுடன் வினைபடுவதால் உண்டாகின்ற வேறு வாயுக்களை அவ்வப்போது வெளியேற்ற முடிகின்றது. இவ்வாறு மற்ற வாயுக்களை நீக்காவிடில் அவை சீசியத்தின் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளைத் தணிக்கும் (quench). எதிரொளிப்பான்கள் உள்ள வெளி அறைகளும் வெற்றிடமாக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் பயனாக வாயுக்கலம் ஒரு நல்ல வெற்றிடக் காப்புடையதாக அமைகின்றது.

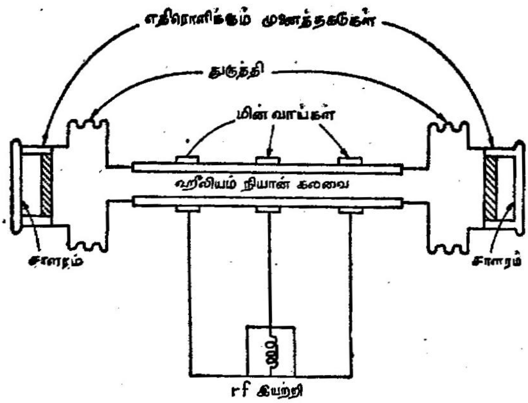
ஏற்றத்திற்குப் பயன்படும் விளக்கு மின்வாய்களற்ற ஹீலியம் மின்னிறக்கக் [குழாயாகும் (electrodeless helium discharge lamp).

இது ஒரு நீள்வட்டக் கோள எதிரொளிப்பானின் (ellipsoidal reflector) ஓர் அச்சின்மீது வைக்கப்பட்டிருக்கும்; பிறிதோர் அச்சில்தான் வாயுக்கலம் (gas cell) இருக்கும். இந்த விளக்கில் 4 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஹீலியம் வாயு நிரப்பப்பட்டிருக்கும். இது 800 வாட்டுகள் மின்திறனில் செயல்படும்.

இந்த அமைப்பைப் பயன்படுத்தி 25 மைக்ரோ வாட்டுகள் திறனில் 7·18 மைக்ரான் அலைநீளத்தில் லேசர் வெளிப்பாடு பெறப்பட்டது. வெளிப்பாட்டுத்திறன் இவ்வளவு குறைவாக இருப்பதால் சீசியம் லேசர் நடைமுறை முக்கியத்துவம் அற்றதாக இருக்கின்றது.

9.7. ஹீலியம் - நியான் லேசர்

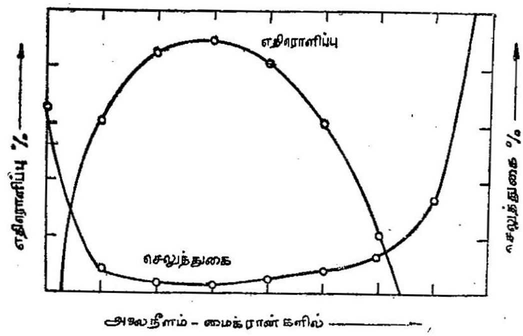
ஹீலியம், நியான் வாயுக் கலவையை லேசர் பொருளாக எவ்வாறு பயன்படுத்தக் கூடுமென்பதனைப் பகுதி 9·4-ல் பார்த்தோம். இனி, பெல் தொலைபேசி ஆய்வுக் கூடத்தில் (Bell Telephone Laboratories) முதன்முதலாக ஜவான் (Javan), பென்னெட் (Bennet), எரியட் (Herriot) ஆகியோர் அமைத்த ஹீலியம் - நியான் லேசரின் (helium - neon laser) அமைப்பையும் அதன் செயல்திறத்தையும் காண்போம்.



படம் 9.5. ஹீலியம் - நியான் லேசரின் அமைப்பு.

இந்த ஹீலியம் - நியான் லேசரின் அமைப்பைப் படம் 9.5 காட்டுகின்றது. இது ஒரு மின்னிறக்கக்குழாயினை (discharge tube) உடையது. இந்தக் குழாயின் நீளம் 100 சென்டி மீட்டர்; இதன் உள் விட்டம் 1·5 சென்டி மீட்டர்; 1 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்திலுள்ள

ஹீலியம் வாயு,* 0·1 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்திலுள்ள நியான் வாயு ஆகியவற்றின் கலவையால் இக் குழாய் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். குழாயின் இரு முனைகளிலும் உள்பக்கத்தில் இரண்டு தட்டையான எதிரொளிக்கும் தகடுகள் (reflecting plates) பொருத்தப் பெற்றிருக்கும். இவ்விரு தகடுகளும் துருத்திகள் (bellows) கொண்ட தனியோர் அமைப்பினைக்கொண்டு பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதனால் இரு தகடுகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக [ஆறு கோண நொடிகளுக்கு (seconds of arc) உட்பட்ட இணைநிலை] இருக்கும்படி சரிசெய்ய முடிகின்றது. இந்த எதிரொளிப்பான்கள் மின்கடத்தாப் படலங்களைப் (dielectric layers) பயன்படுத்தி உருவாக்கப்பட்டவையாகும். இந்த மின்கடத்தாப் பொருள்களாலான எதிரொளிப்பான்களின் எதிரொளிக்கும் சிறப்பியல்புகளும் (reflectance characteristics), ஒளி செலுத்தும் சிறப்பியல்புகளும் (transmittance characteristics) படம் 9.6-ல் காட்டப்



படம் 9.6 ஜவான், பென்னெட், எரியட் ஆகியோரின் லேசரின் எதிரொளிப்பான்களுடைய எதிரொளிப்பு, செலுத்துகைச் சிறப்பியல்புகள்.

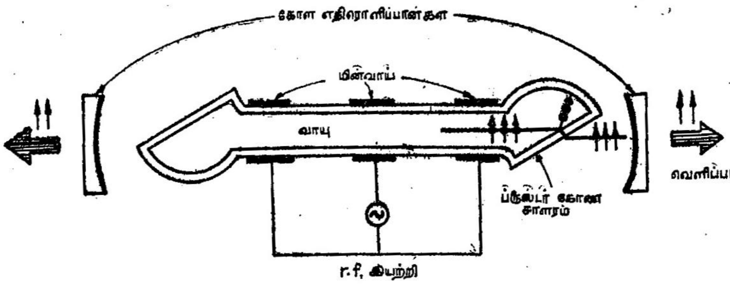
பெற்றுள்ளன. இதிலிருந்து இந்த லேசர் செயல்படும் 1·15 மைக்ரான் அலை நீளத்தின் அண்மையில் எதிரொளிக்கும் திறன் 98·9% ஆக இருப்பதனைக் காணலாம்.

குழாயின் ஊடே அமைக்கப்பெற்றுள்ள மின்வாய்களுக்கு (electrodes) இடையே ஒரு ரேடியோ அதிர்வெண் இயற்றி (rf generator) இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த இயற்றி 25-லிருந்து 30 மெகா ஹெர்ட்சுகள் (M Hz) பகுதியில் செயல்பட்டது. இந்த இயற்றியானது வாயுவில் ஒரு மின்னிறக்கம் ஏற்பட்டு நிலைபெற உதவுகின்றது. நாம் முன்னர் விவரித்ததுபோல மின்னிறக்கத்தின் காரணமாக லேசர் நிகழ்ச்சி துவங்கி அலைவுகள் ஏற்பட்டன.

இத்தகைய தொடர்ச்சியான லேசர் அலைவுகள் 1·118, 1·153, 1·160, 1·119, 1·207 மைக்ரான் அலை நீளங்களில் இவை சாளரத்தின் வழியே வெளிவந்தன. இவற்றுள் மிகவும் வலிவானது 1·153 மைக்ரான் ஆகும். இந்த அலைநீளங்களில் 1 மில்லிவாட்டிலிருந்து 4 மில்லிவாட்டுக்கு உட்பட்ட திறன் வெளிப்பாடுகள் (power output) கிடைத்தன.

ஹீலியம் – நியான் லேசர்களின் இத்தகைய அமைப்பில் ஒரு குறைபாடுள்ளது. இதில் உள்ளே அமைந்துள்ள எதிரொளிப்பான்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும்படி சரிசெய்வதற்காக வேண்டித் துருத்திகளைப் பயன்படுத்த வேண்டியுள்ளது. இதனால் பல சிக்கல்கள் ஏற்படுகின்றன. எனவே, இதற்குப் பதிலாக மின்னிறக்கக் குழாய்க்கு வெளியில் கோள எதிரொளிப்பான்களை (spherical reflectors) அமைக்கலாம்.

ஆனல், வெளிப்புறத்தில் எதிரொளிப்பான்களை அமைத்தால் வேறொரு பிரச்சினையைக் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். ஒளியானது குழாயிலிருந்து சாளரங்கள் (windows) வழியாக வெளியே வந்துதான் எதிரொளிப்பான்களின்மீது படவேண்டும். அவ்வாறு வரும்போது இச் சாளரங்களிலேயே எதிரொளிப்புகள் நிகழக் கூடும். இந்தத் தேவையற்ற, விரும்பத்தகாத எதிரொளிப்புகள் நிகழாவண்ணம் பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். சாளரங்கள் ப்ரூஸ்டர் கோணத்தில் (Brewsters angle) சாய்வாக இருக்கும்படி அமைத்தால் இஃது இயலும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட ஒரு லேசரைப் படம் 9.7 காட்டுகின்றது. இந்தக் கோணத்திலிருந்தால்



படம் 9.7 வெளிப்புறத்தில் அமைந்த குவிய கோள எதிரொளிப்பான்களையுடைய ஹீலியம் - நியான் லேசர்.
செங்குத்தான அம்புக் குறிகளும், புள்ளிகளும் முனைவாக்கத் திசைகளைக் குறிக்கின்றன. படத்தின் தளத்தில் முனைவாக்கத்தை அம்புக்குறிகளும், படத்தின் தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான தளத்தில் முனைவாக்கத்தைப் புள்ளிகளும் குறிக்கின்றன.

ஒரு திசையில் முனைவாக்கம் பெற்ற (polarized) ஒளியானது எதிரொளிக்காது ; ஆனால், மற்றத் திசைகளில் படும் ஒளி சிறிதளவாவது எதிரொளிக்கும். எனவே, இந்தச் சாளரமானது ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் முனைவாக்கம் பெற்ற ஒளியை முழுவதும் செலுத்தும் (படம் 9.7 காண்க). இந்த ஒளி விரும்பத்தகாத எதிரொளிப்புகளுக்கு உள்ளாகாது. லேசர் இந்த முனைவாக்கத்தில் அலைவுறும்.

அட்டவணை 9.1

ஹீலியம் - நியான் அமைப்பில் சில லேசர் பெயர்வுகள்

பெயர்வு	அலைநீளம் (மைக்ரான்களில்)	அதிர்வெண் (செ. மீ.$^{-1}$)	அழுத்தம் (மி. மீ. பாதரசம்) He/Ne
$3s_2-2p_4$	0·6328	15802·8	0·4/0·1
$2s_3-2p_7$	1·0798	9261·0	
$2s_2-2p_6$	1·0845	9220·8	
$2s_4-2p_8$	1·1143	8974·2	1—2/0·1—0·2
$2s_5-2p_9$	1·1177	8946·9	
$2s_5-2p_8$	1·1390	8779·6	
$2s_2-2p_5$	1·1409	8765·0	
$2s_2-2p_4$	1·1523	8678·3	1/0·1
$2s_2-2p_3$	1·1601	8619·9	
$2s_3-2p_5$	1·1614	8610·3	
$2s_2-2p_2$	1·1767	8498·3	
$2s_3-2p_2$	1·1985	8343·8	1—2/0·1—0·2
$2s_5-2p_6$	1·2066	8287·8	
$2s_2-2p_1$	1.5231	6565.6	

இத்தகைய ஒரு குவிய (confocal) அமைப்புகளைப் பயன் படுத்தினால் குழாயினுட்புறத்தில் சரியமைவுகள் செய்வதாகிய தொல்லை இல்லை. மேலும், சமதள எதிரொளிப்பான்களுக்குச் செய்யவேண்டிய அளவு திருத்தத்துடன் ஒரு குவிய அமைப்பு களுக்குச் சரிப்படுத்துதல்கள் (adjustments) செய்யவேண்டிய தேவையில்லை. ஒரு குவிய அமைப்புகளைப் பயன்படுத்தி ஹீலியம் - நியான் கலவையில் மேற்கொண்டு பல்வேறு வெளிவிடு வரிகளைப் (emission lines) பெற்றுள்ளார்கள். அத்தகைய லேசர் பெயர்வு களுள் சில அட்டவணை 9.1-ல் கொடுக்கப்பெற்றுள்ளன.

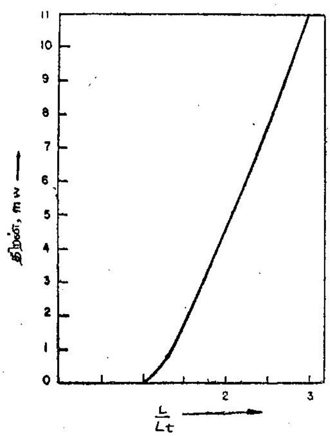
இந்த லேசர்கள் பல்வேறு நீளங்களை உடையனவாகவும், பல் வேறு அழுத்தங்களில் வாயுக்கள் பயன்படுத்தப் பெறுவனவாகவும் அமைக்கப்பெற்றிருந்தன. பொதுவாக, இந்த வாயு லேசரின் செயல் திறமானது மின்னிறக்கம் நடைபெறும் நிலைகளையும், லேசரின் நீள அகலம் போன்ற அளவுகளையும், வாயுக் கலவையின் அழுத்தங்களையும் பொறுத்து அமையும். இதுபற்றிக் குறிப்பிடத் தக்க அளவு ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்றுள்ளன. அவற்றுள் சில உண்மைகளைமட்டும் ஈண்டுக் காண்போம்.

0·6328 மைக்ரான், 3·39 மைக்ரான் லேசர்கள் அவற்றில் பயன் படும் வாயுக் கலவையில் உள்ள ஹீலியம், நியான் ஆகியவற்றின் விகிதம் 5-க்கு 1 என இருந்தால் மிகச் சிறப்பாகச் செயல்படும். வாயுக் கலவையின் மொத்த அழுத்தம் (மி. மீ. பாதரசத்தில்) குழாயின் விட்டம் (மி. மீட்டரில்) ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை 2·9-க்கும் 3·6-க்கும் இடையில் இருக்கவேண்டும். $2s \rightarrow 2p$ பெயர்வுக்கான சிறந்த சேர்க்கை 1 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஹீலியமும் 0·1 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் நியானும் உள்ள கலவையாகும். இந்தச் சேர்க்கையானது ஏறத்தாழ ·7 மி. மீ. விட்டமுடைய குழாயில் எடுத்துக் கொள்ளப்படவேண்டும்.

மின்னிறக்கத்தை நிலைநாட்டுவதற்குப் புறமின்வாய்களையும் (external electrodes) *r. f.* அலையியற்றியையும் பயன்படுத்துவது நல்லது. 23 மெகா ஹெர்ட்சுகளிலிருந்து 40 மெகா ஹெர்ட்சுகள் (Mega Hertz – MH_2) வரையான ரேடியோ அதிர்வெண்கள் நல்ல பயனை அளித்துள்ளன. 27 - லிருந்து 30 மெகா ஹெர்ட்சுகளுக்குட் பட்ட அதிர்வெண்கள் விரும்பத்தக்கன. இத்தகைய புறமின் வாய்களில் பயன்படுத்தப்பெறும் உயர்ந்த மின்புலங்கள் (electric fields) ஹீலியம் வாயுவைக் குழாயிலிருந்து வெளியேற்ற முயலும்.

குழாய்கள் அவ்வப்போது வாயுவால் நிரப்பிக் கொள்ளத்தக்க வகையில் அமைக்கப்பெற்றிருந்தால் இஃது ஒரு தொல்லையன்று. ஆனல், அவ்வாறன்றி வாயு அடைக்கப்பெற்ற பின் நிலையாக மூடப்பட்ட குழாயானது சில மணி நேரங்களே வேலை செய்யும். எனவே, இவ்வாறு நிலையாக மூடப்பெற்ற குழாய்களில் மின்வாய்கள் குழாயினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். 25 - லிருந்து 100 மில்லி ஆம்ப்பியர்களுக்கு உள்ளிட்ட மின்னிறக்க மின்னேட்டங்கள் **(discharge currents)** தேவைப்படும்.

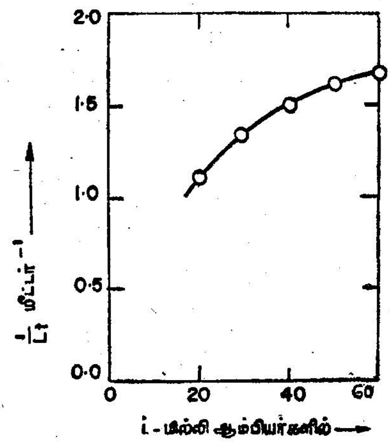
லேசர் அலைவுகள் உண்டாகவேண்டுமானல் குழாயினது நீளம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேலிருக்க வேண்டும். குழாயின் இந்தச் சிறும நீளம் (minimum length) L_t ஆனது வரியினது ஈட்டத்தையும் குழாய் முனைகளில் ஏற்படும் இழப்புகளையும் பொறுத்தது. L நீளமுடைய லேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறன் $\frac{L}{L_t}$ எனும் சார்புக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். கோள ஆடிகளையும் 6 மி. மீ. நீள மின்னிறக்கக் குழாயினையும் உடைய 6328 Å அலைநீள லேசரின் திறன் வெளிப்பாட்டுக்கும் $\frac{L}{L_t}$ ன் மதிப்புக்கும் உள்ள தொடர்பினை (சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தவை) படம் 9.8 காட்டு



படம் 9.8 கண் காணும் ஒளியைத் தரும் நியான் லேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறனுக்கும் வாயுக் குழாயின் நீளத்திற்குமுள்ள தொடர்பு.

கின்றது. குழாயினது சிறும நீளம் 61 செ. மீ. - லிருந்து 88 செ. மீ. வரை இருந்தது. இந்தச் சிறும நீளம் மின்னிறக்க மின்னேட்டத்

தைப் பொறுத்தது. இவ்விரண்டிற்குமுள்ள தொடர்பினைப் படம் 9.9 காட்டுகின்றது.



படம் 9.9. மின்னிறக்க மின்னோட்டத்திற்கும் குழாய் நீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு.

இவ்வாறு தேர்ந்தெடுக்கப்பெற்ற வசதியான நீளங்களை யுடைய, கண் காணும் ஒளியை வெளிவிடும் ஹீலியம் - நியான் லேசர்களில் 3 - லிருந்து 8 மில்லி வாட்டுகளுக்குட்பட்ட திறன் வெளிப்பாட்டினைப் பெறமுடியும். 1·15 மைக்ரான் லேசர்க ளுக்கும் இவை ஆராயப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் சிறும நீளம் மிகக் குறைவு; 10 செ. மீ. அளவு குட்டையான குழாய்களைப் பயன்படுத்தலாம். 33 செ. மீ. நீளமுடைய குழாய்களைப் பயன் படுத்தினல் 12 மில்லி வாட்டுகள் திறன் வெளிப்பாடு கிட்டும்.

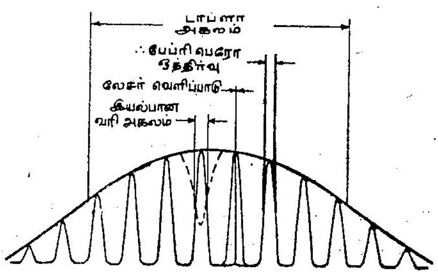
லேசர் கற்றையின் அகலத்தை அரைத்திறன் புள்ளிகளுக் கிடையே (half power points) அளப்பது வழக்கம். தட்டையான எதிரொளிப்பான்களைப் பயன்படுத்திய முதல் ஹீலியம் - நியான் லேசர் போன்றவற்றில் இரு எதிரொளிப்பான்களும் ஒன்றுக் கொன்று சற்றும் பிறழாமல் இணையாக இருக்கும்படி செய்த போது லேசர் கற்றையின் அகலம் (beam width) 1 கோண நிமிடம் (minute of arc) இருந்தது. புறத்தேயமைந்த ஒரு மைய ஆடிகளைப் (confocal mirrors) பயன்படுத்தும் லேசர்களில் கற்றையானது அவ்வளவு சிறப்பாக வரையறுக்கப்படவில்லை; கற்றை அகலம் ஏறத்தாழ 30 கோண நிமிடங்கள் இருந்தது. லேசர் கற்றை வெளிவரும் பக்கத்திலுள்ள ஆடியின் முன்னர் 3 செ. மீ. தொலைவில் 2 மி. மீ. விட்டமுடைய ஒரு வட்டத் தொளையை (circular aperture)

வைத்தால் இந்தக் கற்றை அகலம் ஏறத்தாழ 3 கோண நிமிடங்களாகக் குறையும். இத்தகைய வரம்பிடும் வட்டத்தொளையை (circular limiting aperture) ஆடியின் முன் வைத்தபின் கிடைக்கும் கற்றை அகலத்தை (θ_L) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம்.

$$\theta_L = 0{\cdot}93 \left(\frac{\lambda}{L}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \rightarrow (9{\cdot}5)$$

இங்கே λ என்பது கதிர்வீச்சின் அலைநீளம்; L என்பது இரு எதிரொளிப்பான்களுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு; கற்றை அகலம் θ_L ஆனது ரேடியன்களில் (radians) கிடைக்கும்.

தாழ்ந்த திறன்களில் கிளர்ச்சியூட்டப்பெறும்போது ஹீலியம்-நியான் லேசரின் புற எதிரொளிப்பான் வழியாக வெளிவரும் லேசர் ஒளியானது ஒரேயொரு தளத்தில்தான் முனைவாக்கம் பெற்றிருக்குமென முன்னரே கண்டோம். (படம் 9.7 காண்க.) இதற்குரிய காரணம் சாளரங்கள் புரூஸ்டர் கோணத்தில் (Brewsters angle) அமைக்கப் பெற்றிருப்பதே. இருப்பினும், உள்ளிடும் திறன் மட்டம் (input power level) பயன் தொடக்க மதிப்பைவிட



படம் 9.10. லேசரின் நிறமாலை வரி அகலக் காரணிகள்.

மிக உயர்வாக இருந்தால் வேறு திசைகளில் முனைவாக்கம் பெற்ற ஒளி அலைகளும் இச் சாளரங்களின் வழியே வரக்கூடும். எனவே, பல்வேறு பொந்து பாணிகளும் (cavity modes) ஒரே நேரத்தில் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறலாம். ஆகையால், அணு ஒத்ததிர்வின் (atomic resonance) வரி அகலத்துக்குட்பட்ட எல்லாப் பொந்து ஒத்ததிர்வுகளிலும் அலைவுகள் ஏற்படும். இந்த நிலையினைப் படம் 9.10 காட்டுகின்றது.

நியான் வாயுவின் 1·152 மைக்ரான் பெயர்வினது இயல்பான வரி அகலம் (natural line width) 90 மெகா ஹெர்ட்சுகள் எனும் அளவில் இருக்கும். ஆனல், மின்னிறக்கத்தின்போது டாப்ளர் அகலப்படுத்துதல் (Doppler broadening) விளைவினுல் இது 900 மெகா ஹெர்ட்சுகள் எனுமளவிற்கு உயரும்.

லேசர் கதிர்வீச்சு ஓர் உயர்ந்த Q உடைய ஒத்ததிர்வானில் உண்டாக்கப்பெறுவதால் லேசர் ஒளியின் வரி அகலம் $\Delta\omega_0$ ஆனது இயல்பான வரி அகலத்தை ($\Delta\omega$) விடக் குறைவாக இருக்கும். இரண்டுக்குமுள்ள வேறுபாடானது ஒத்ததிர்வானில் ஏற்படும் அலைவுகளின் திறன்மட்டத்தைப் (P) பொறுத்தது. ஒரு தனிப் பாணியில் (mode) ஏற்படும் அலைவுகளின் $\Delta\omega_0$ மதிப்பைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

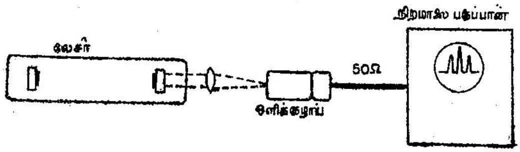
$$\Delta\omega_0 = \frac{h\omega}{\pi P}(\Delta\omega)^2 \qquad \longrightarrow (9{\cdot}6)$$

இங்கே ω என்பது கதிர்வீச்சின் கோண அதிர்வெண் (angular frequency). இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி 5 மில்லிவாட்டுகள் வெளிப்பாட்டுத் திறனுடைய லேசரின் வரி அகலத்தைக் கணக்கிட்டால் 1·15 மைக்ரான்கள் எனுமளவில் உள்ள அலைநீளங்களுக்கு வரி அகலம் 7×10^{-4} ஹெர்ட்சுகள்தாம் இருக்கும்.

இதுகாறும் பார்த்தவற்றிலிருந்து வாயு லேசரில் ஒரே நேரத்தில் பல பாணிகளில் அலைவுகள் ஏற்படக்கூடுமென்பதும், ஒவ்வோர் அதிர்வெண்ணின் நிறமாலை அகலமும் மிகக் குறுகலாக இருக்குமென்பதும் தெரிகின்றது.

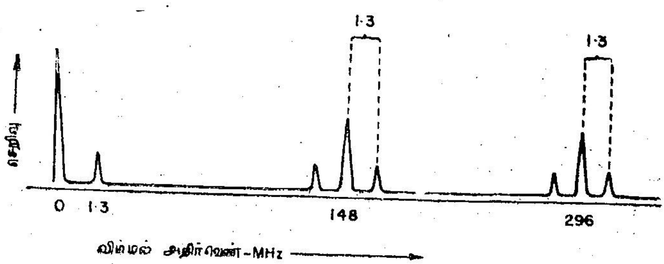
இவ்வாறு, ஒரே நேரத்தில் தோன்றும் அலைவுகளின் பாணி களுக்கு (modes of oscillation) இடையேயுள்ள இடைவெளி ஒளியியல் ஒத்ததிர்வானின் நீளத்தைப் பொறுத்தது. இரு எதிரொளிப்பான்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு 1 மீட்டர் இருக்கு மானுல், இந்த இடைவெளி 150 மெகா ஹெர்ட்சுகள் இருக்கும். இவ்வாருக லேசரிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சின் இரண்டு கூறுகளையும் கலந்தால் விம்மல் சுரங்கள் (beat notes) உண்டாகும். இந்த விம்மல் சுரங்களைக் கண்டறிவதற்கு ஓர் இருமடி விதி ஒளி பன்மடங்காக்கிக் குழாயினைப் (square law photo multiplier tube)

பயன்படுத்தலாம். லேசரிலிருந்து வரும் ஒளியினை இந்த ஒளி பன்மடங்காக்கியில் நேராகப் படும்படி செய்து இக்குழாயினது வெளிப்பாட்டை ஒரு நிறமாலைப் பகுப்பானின் (spectrum analyser) துணைகொண்டு ஆராயலாம். இந்த அமைப்பினைப் படம் 9.11 காட்டுகின்றது.



படம் 9.11. லேசர் கதிர்வீச்சைப் பகுத்தாராய்வதற்கான கருவி அமைப்பு.

எரியட் (Herriot) என்பார் இந்த அமைப்பினைப் பயன்படுத்திச் சோதனைகள் செய்து முடிவுகளை வெளியிட்டுள்ளார். 1 மீட்டர் தொலைவில் எதிரொளிப்பான்கள் அமைந்திருந்தபோது அச்சுப் பாணிகளுக்கு (axial modes) பெருமங்களும் (maxima), சிறுமங்களும் (minima) 148 மெகா ஹெர்ட்சுகள் (M Hz) இடைவெளியில், அஃதாவது, அடுத்தடுத்த இரு முக்கிய வரிகள் 148 மெகா ஹெர்ட்சுகள் இடைவெளியில் இருக்கக் கண்டார். அச்சிலிருந்து விலகிய அல்லது சமச்சீரில்லாத பாணிகளும் லேசரில் ஏற்படும். இவை உண்டாதல் எதிரொளிப்பான்களைச் சரிசெய்வதனைப் பொறுத்தது. எதிரொளிப்பான்கள் ஒரு மீட்டர் இடைவெளியில்



படம் 9.12. ஹீலியம் - நியான் லேசரினால் உண்டான விம்மல் சுரங்கள்.

இருந்த லேசரில் சமச்சீருடைய பாணியிலிருந்து 1·3 மெகா ஹெர்ட்சுகள் விலகியுள்ள சமச்சீரில்லாத ஒரு பாணியும் கிட்டும். இதனால், விம்மல் அதிர்வெண் நிறமாலையில் முக்கிய வரிகளுக்கு இருபுறத்திலும் 1·3 மெகா ஹெர்ட்சுகள் தொலைவில் துணை வரிகள் (satellite lines) காணப்பெற்றன. எரியட் கண்ட முடிவுகளைப் படம் 9.12 காட்டுகின்றது.

இவ்வாறு விம்மல் அதிர்வெண்களைக் கண்டறியும் முறையானது லேசர் வெளிவிடும் ஒளியின் நிறமாலை அகலத்தை மதிப்பிடுவதற்குப் பெரிதும் பயன்படும். லேசர் ஒளியின் வரி அகலம் வழக்கமாக நாம் பயன்படுத்தும் ஒளிமூலங்களிலிருந்து கிடைக்கக் கூடிய மிகக் கூர்மையான வரி அகலத்தைவிட 10^7 மடங்கு சிறிதாக இருக்கும். எனவே, சாதாரண ஒளிமூலங்களின் வரி அகலங்களை அளக்கப் பயன்படும் மிகச் சிறந்த நிறமாலை மானிகளையோ (spectrometers) அல்லது குறுக்கீட்டு விளைவு மானிகளையோ (interferometers) லேசர் வரி அகலத்தை அளக்கப் பயன்படுத்த முடியாது. இதனால்தான் லேசர் வரி அகலத்தை அளக்க விம்மல் அதிர்வெண்களை ஆராயும் முறையைப் பயன்படுத்த வேண்டியுள்ளது.

ஆனால், இந்த முறையில் இரண்டு தொல்லைகள் உள்ளன. அவையாவன :

(1) ஒரு குறிப்பிட்ட பாணியினது ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்ணானது எதிரொளிப்பான்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவைப் பொறுத்தது. எனவே, வெப்பநிலைகளில் ஏற்படும் மாறுதல்களால் அல்லது எந்திரவியல் அதிர்வுகளால் (mechanical vibrations) இந்தத் தொலைவு மாறும்போது அதிர்வெண்ணும் மாறும். இவ்வாறு ஏற்படும் அதிர்வெண் மாற்றங்கள் குறைந்த பட்சம் வரி அகலம் அளவிற்காவது இருக்கும்.

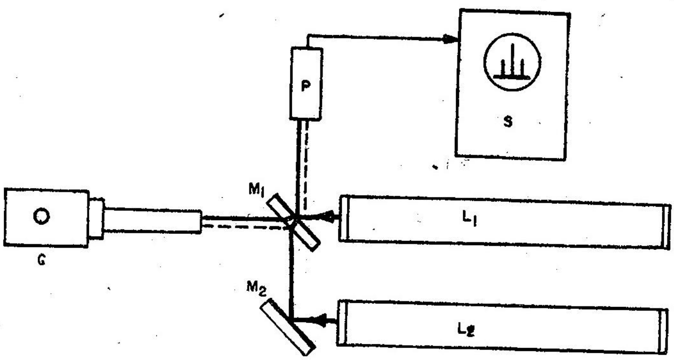
(2) குறுக்கீட்டு விளைவு மானி ஒத்ததிர்வுகளுக்கும் (interferometer resonance) அணு ஒத்ததிர்வுகளுக்கும் இடையே அதிர்வெண் இழுப்பு (frequency drift) ஏற்படும். இதனால் ஒவ்வொரு குறுக்கீட்டு விளைவு மானி பாணியும் அணு ஒத்ததிர்வு வரியினது மைய அதிர்வெண்ணை நோக்கிப் பெயர்ச்சியடையும். எதிரொளிப்பான்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவைச் சரிசெய்து பொந்தினது ஒத்ததிர்வுகளுள் (cavity resonances) ஒன்றினை அணு வெளிவிடு வரியினது மையத்துடன் ஒன்றிக்கும்படி (coincide) செய்தால் இந்த மைய அதிர்வெண்ணில் அலைவுகள் ஏற்படும்.

பொந்து பாணியின் அகலமாகிய $\triangle\omega_C$ ஆனது சாதாரணமாக அணு வெளிவிடு வரியின் டாப்ளர் அகலத்தை (Doppler width) விட மிகமிகக் குறைவாக இருக்குமானதால் மேற்கண்டவாறு சரிசெய்த நிலையில் பொந்து பாணியினை அடுத்துள்ள பாணியினது அதிர்வெண்ணைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$\omega_0 = \omega_C + (\omega_D - \omega_C)\,\frac{\Delta\omega_C}{\Delta\omega_D} \qquad \longrightarrow (9{\cdot}7)$$

இங்கே ω_C, ω_D என்பன முறையே பொந்து ஒத்ததிர்வு, டாப்ளர் அகலப்படுத்துதலுக்காளான அணுவரி ஆகியவற்றின் மைய அதிர்வெண்களாகும். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து அதிர் வெண் இழுப்பினால் ஏற்படும் பெயர்ச்சியானது (shift) பொந்து பாணியானது அணு ஒத்ததிர்வின் மையத்திலிருந்து எவ்வளவு விலகியிருக்கின்றது என்பதனைப் பொறுத்திருக்கின்றது என்பதும், இதன் காரணமாகக் குறுக்கீட்டு விளைவு மானியின் நீளத்தில் ஏற்படும் எந்தவொரு மாற்றமும் வெவ்வேறு பாணிகளை வெவ்வேறு வகைகளில் பாதிக்கின்றது என்பதும் புலனாகின்றது.

இதனால் விம்மல் அதிர்வெண்ணிலும் இதனை யொட்டி ஒரு விளைவு ஏற்படும் ; அதிர்வெண் இழுப்பினால் ஏற்படும் பெயர்ச்சிகள் மிகத் திருத்தமாக ஈடு செய்யப்பட்ட பாணிகளைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொண்டால் மட்டிலும் இந்த விளைவு இராது. ஜவான் (Javan), பல்லிக் (Ballic), பாண்டு (Bond) ஆகியோர் இந்த



படம் 9.13. இரு லேசர்களின் வெளிப்பாட்டினைக் கலத்தல்.
M_1 — அரை - வெள்ளிப் பூச்சிடப்பெற்ற ஆடி.
M_2 — முழு - வெள்ளிப் பூச்சிடப்பெற்ற ஆடி.
P — ஒளி பன்மடங்காக்கும் குழாய்.
S — நிறமாலைப் பகுப்பான்.
C — தன்னிணையாக்கி.
L_1 — முதல் லேசர்.
L_2 — இரண்டாவது லேசர்.

முறையினைக் கையாண்டு ஹீலியம் - நியான் லேசரின் நிலைப் பாட்டினை (stability) ஆராய்ந்தனர். விம்மல் அதிர்வெண்ணில்

2 ஹெர்ட்சுகளைவிடச் சிறந்த குறுகிய கால நிலைப்பாட்டினை (short term stability) அடைய முடியுமென அவர்கள் கண்டார்கள். இதிலிருந்து லேசர் ஒளிக் கற்றையினது ஒற்றைநிறத் தன்மை (monochromaticity) யானது 10^{14} - ல் ஒருபங்கு எனுமளவில் இருந்ததென்பது தெரிகின்றது.

இதனைத் தொடர்ந்து செய்யப்பட்ட சோதனைகளில் ஒரே லேசரிலிருந்து வரும் பாணிகளைக் கலந்து விம்மல் அதிர்வெண்ணை ஆராய்வதற்குப் பதில் இருவேறு ஹீலியம் - நியான் லேசர்களின் வெளிப்பாடுகளை ஒரே ஒளிபன்மடங்காக்கியில் (photo multiplier) கலந்து லேசரின் நிலைப்பாட்டுச் சிறப்பியல்புகள் ஆராயப்பெற்றன. இவ்வாறு கலப்பதால் கிடைக்கும் விம்மல் சுரத்தைக் கண்டு ஆராய்வதற்கு இரண்டு லேசர் கற்றைகளும் ஒளி பன்மடங் காக்கியின் ஒரே பரப்பின்மீது பட்டால் மட்டும் போதாது; இரண்டு கற்றைகளின் அலைமுகங்களும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்க வேண்டும். இந்த இணைப்பொருமையை (alignment) அடைவதற்காக வேண்டி ஆடிகளின் அமைப்பு ஒன்று பயன் படுத்தப்பெற்றது. இந்த அமைப்புமுறை படம் 9.13-ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது.

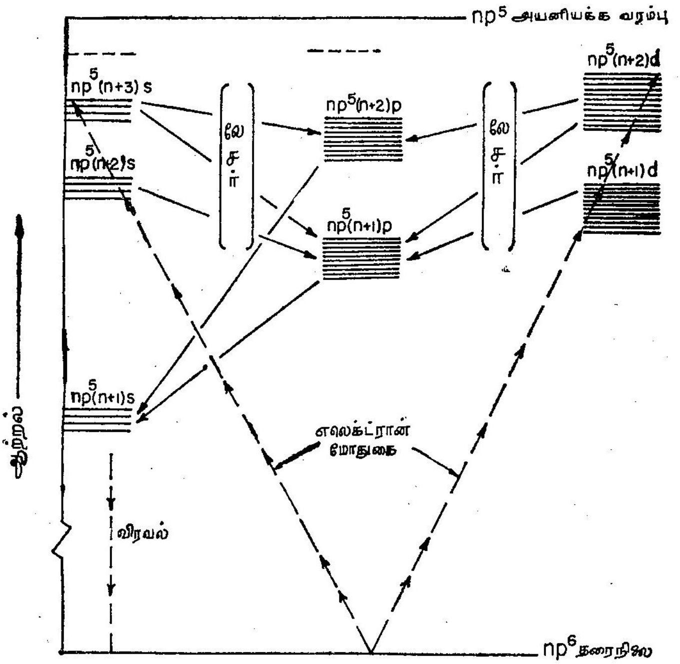
புற அதிர்வுகளால் பாதிக்கப்படாமலிருப்பதற்காக வேண்டி இந்த லேசர்கள் அதிர்ச்சிகளைத் தாங்கிக்கொள்ளும் மிகப் பளுவான ஒரு மேடையின்மீது பொருத்தப்பெற்றிருந்தன. இந்த மேடைகளின் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்கள் தனித்துள்ள ஒரு கட்ட டத்தினுள்ளே அமைந்த ஒரு நிலவறையினுள் வைக்கப்பெற் றிருக்கும். இந்த அமைப்பினைப் பயன்படுத்தி ஜவான், பல்லிக், பாண்டு ஆகியோர் ஏறத்தாழ நூறு நொடி அளவில் நீண்ட நேரங் களிலும் நிலைப்பாடு 10^{9} - ல் 2 பங்கு எனுமளவில் இருப்பதாகக் கண்டனர்.

9.8. மேதகு வாயு லேசர்கள்

தூய மேதகு வாயுக்களில் (pure noble gases) எலெக்ட்ரான் கிளர்ச்சியூட்டல் முறையினைப் பயன்படுத்தி ஒரு மைக்ரானி லிருந்து 42 மைக்ரான்களுக்குள்ளிட்ட அலைநீளங்களில் பல பெயர்வுகள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன.

நியான் (neon), ஆர்கான் (argon), கிரிப்டான் (krypton), செனன் (xenon) ஆகியவற்றின் எலெக்ட்ரான் கோலங்கள் (electron configuration) ஒரே மாதிரியானவை என்பது நாமறிந்

ததே. எனவே, இவற்றின் கிளர்ச்சியுற்ற ஆற்றல் மட்டங்களில் முதல் சில மட்டங்களைப் பொதுவானவோர் ஆற்றல் மட்டப் படத்தின் வாயிலாகக் குறிக்கலாம். இது படம் 9.14 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது. நியான், ஆர்கான், கிரிப்டான், செனுன் ஆகிய வற்றின் தரைமட்டங்கள் முற்றுப்பெற்ற கூடுகளை (closed shell) (np^6) உடையவை. இங்கே n - ன் மதிப்புகள் முறையே 2, 3, 4, 5 ஆகும். படத்தில் புள்ளிக் கோடுகளால் காண்பிக்கப் பெற்றுள்ளது



படம் 9.14. நியான் ($n=2$), ஆர்கான் ($n=3$), கிரிப்டான் ($n=4$), செனுன் ($n=5$) ஆகியவற்றின் முதற் சில எலெக்ட்ரான் கோலங்களின் ஆற்றல் மட்டப் படம்.

போல முக்கிய எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியூட்டல் கீழ்க்கண்ட வினைச் சமன்பாடுகளின்படி நடைபெறும்.

$$e + np^6 \longrightarrow np^5\, ms + e \qquad \longrightarrow (9{\cdot}8)$$

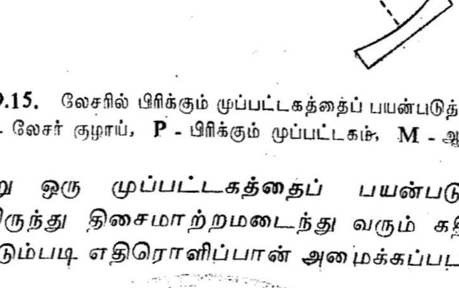
$$e + np^6 \longrightarrow np^5\, md + e \qquad \longrightarrow (9.9)$$

இங்கே $m=n+1$, $n+2$ .....p மட்டங்கள் கிளர்ச்சியடைவ தில்லை. ஏனெனில், மின் இருமுனைத் தேர்வு விதிகள் (electric dipole

selection rules) $p \to s$, $p - d$ பெயர்வுகளைத்தான் அனுமதிக்கின்றன; $p \to p$ பெயர்வை அனுமதிப்பதில்லை.

இத்தகைய ஓர் அமைப்பில் வாயுவின் அழுத்தம் *s*, *d* நிலைகளுக்கு மட்டிலும் கிளர்ச்சியூட்டக்கூடிய ஒத்ததிர்வு நிலையினை உண்டாக்குவதற்குப் போதுமான அளவிலும், ஆனால், மற்ற எலெக்ட்ரான் கோலங்களுக்கு மோதல் வாயிலாகக் கிளர்ச்சியூட்டும் பெயர்வுகள் நிகழ்வதற்குப் போதாத அளவிலும் இருக்குமானால் படம் 9.14 - ல் 'லேசர்' எனக் குறிக்கப் பெற்றுள்ள கதிர் வீசும் பெயர்வுகள் வழியாகத்தான் இந்த *ms*, *md* மட்டங்களிலிருந்து ஆற்றல் இழப்புகள் ஏற்படும்.

மேதகு வாயுக்களில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறும்படி செய்வதற்குப் படம் 9.7 - ல் காட்டப்பெற்றுளதுபோன்ற ஒரு லேசர் அமைப்புத் தேவை. இங்கே பயன்படுத்தும் ஆடிகள் அமைப்பு மாற்றிக்கொள்ளத் தக்கதாக இருக்கும். நாம் விரும்பும் குறுகிய நிறமாலைப் பகுதியில் **(narrow spectral region)** உச்ச எதிரொளிப்பினையுடைய அமைப்பினைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். இதனால் வேண்டத்தகாத அலைவுகள் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறுதலைத் தவிர்க்க முடிகின்றது; கருவியின் நிறமாலைப் பொறுக்குத் திறனும் (spectral **selectivity)** அதிகரிக்கப்படும். இதற்கென மின்னிறக்கக் குழாய்க்கும் இரு எதிரொளிப்பான்களில் ஒன்றுக்கும் இடையில் ஒரு பிரிக்கும் முப்பட்டகத்தைப் **(dispersive prism)** பயன்படுத்துவது வழக்கம். இந்த அமைப்பினைப் படம் 9.15 காட்டுகின்றது.



படம் **9.15.** லேசரில் பிரிக்கும் முப்பட்டகத்தைப் பயன்படுத்துதல்.
L - லேசர் குழாய், **P** - பிரிக்கும் முப்பட்டகம், **M** - ஆடி.

இவ்வாறு ஒரு முப்பட்டகத்தைப் பயன்படுத்தும்போது, பட்டகத்திலிருந்து திசைமாற்றமடைந்து வரும் கதிர்கள் நேர்க்குத்தாகப் படும்படி எதிரொளிப்பான் அமைக்கப்பட வேண்டும்.

மேதகு வாயுக்களாலான லேசர்களின் நீளம் சாதாரண ஹீலியம் - நியான் வரிகளுக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப் பயன்படும் குழாய்களினுடையதைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். ஏனெனில், இந்த லேசர்களில் சாதாரணமாக ஈட்டம் (gain) குறைவாக இருக்கும். 2·25 மீட்டர்கள் நீளமுடைய குழாய்களைப் பயன்படுத்திப் பல வரிகள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன.

மேதகு வாயுக்களின் அணுக்கள் மட்டுமல்லாது அயனிகளைப் பயன்படுத்தியும் லேசர்களை அமைக்கலாம். முதலில் நடுநிலை அணுக்கள் வெளிவிடும் கதிர்வீச்சுகளின் அடிப்படையில் அமைந்த லேசர்களைப் பார்ப்போம்.

ஹீலியம் (helium) பின்கண்ட வரிகளை வெளிவிடுவதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது : $7^3D \rightarrow 4^3P$ பெயர்வினாலேற்படும் 2·0603 மைக்ரான் வரி ; $4^3P \rightarrow 3^3D$ பெயர்வினாலேற்படும் 1·9543 மைக்ரான் வரி. இவ்விரண்டு வரிகளும் வெளிவிடப்படுவதற்கான நிலைகள் வெவ்வேறாக இருப்பது இயல்பே; ஒன்றில் 4^3P மட்டத்தின் தொகை பெருமமாக்கப்படவேண்டும் ; மற்றதில் இது சிறுமமாக்கப்படவேண்டும். 2·0603 மைக்ரான் வரி கிளர்ச்சியூட்டப் பெறவேண்டுமானால் வாயுவின் அழுத்தம் 8 மி.மீ. பாதரசமாகவும், 1·9543 மைக்ரான் வரிக்கு 0·3 மி.மீ. பாதரசமாகவும் இருப்பது மிகவும் உகந்தது.

தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினால் 150 - க்கு மேற்பட்ட நியான் வரிகள் கண்டறியப்பெற்றுள்ளன. இவற்றுள் சில ஹீலியம் - நியான் கலவையில் மட்டும் வெளிவிடப்பெறுகின்றன. ஆனால், இந்தக் கலவைகளில் காணப்படும் நியான் வரிகளைத் தூய நியானிலும் தோற்றுவிக்க முடியும். ஆனால், இதற்கு நீண்ட குழாய்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும் ; இழப்புகள் சிறுமமாக்கப்படுவதற்கான முன்னெச்சரிக்கைகளைக் கையாளவேண்டும்.

தத்துவ அடிப்படையில் பார்த்தால் நமக்குத் தெரிந்த எந்த நிறமாலை வரியினையும் வெளிவிடக்கூடிய லேசரை அமைக்க முடியும். அஃதாவது, எந்தச் சாதாரண நிறமாலை வரியும் லேசர் வரியாகும் தகுதியுடையது. ஆனால், நடைமுறையில் அந்த வரிக்கு இயைந்த (corresponding) ஆற்றல் மட்டங்களுக் கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதுதான் பிரச்சினையாகும். நியானைப் பொறுத்தமட்டில் சில ஹீலியம் மட்டங்களுக்

கும், நியான் மட்டங்களுக்குமிடையே நெருக்கமான ஒன்றிப்புகள் இருப்பதால் நியானில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் எளிதாகின்றது. அவை குறித்த சில விவரங்கள் அட்டவணை 9.2 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன.

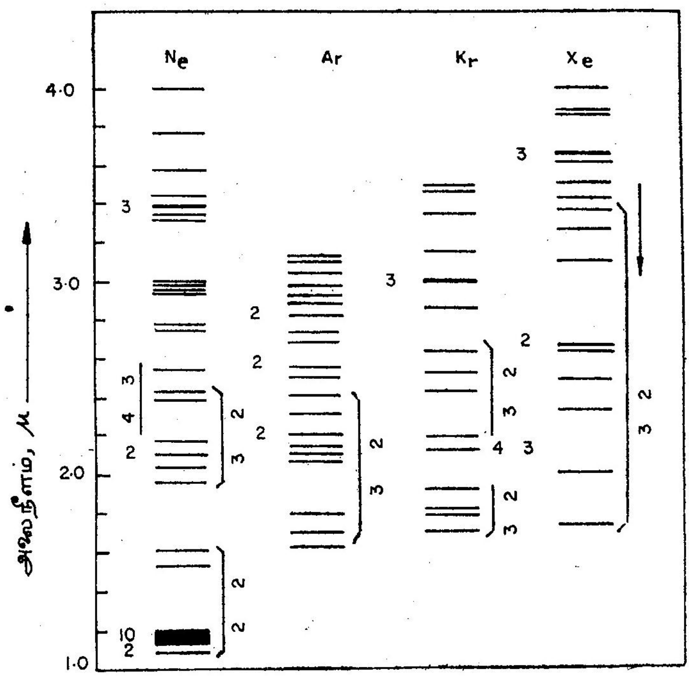
அட்டவணை 9.2

ஹீலியம் மட்டம்		நியான் மட்டத் தொகுதி	
குறியீடு	ஆற்றல் - செ.மீ.$^{-1}$	பாஷன் முறைக் குறியீடு	ஆற்றல்—செ.மீ.$^{-1}$
2^3S	159,850	$2s$	158,600—159,540
2^1S	166,272	$3s$	165,830—166,660
2^1P	171,129	$6p$	171,010—171,910

ஹீலியத்திலிருந்து கிளர்ச்சியினை நியானுக்கு மாற்றுவது, லேசர்களை ($2s$, $3s$, $6p$ மட்டங்களிலிருந்து பெயர்வுகளைத் தொடங்கும் சில லேசர்களை) இயக்குவதில் பெருமளவு உதவுகின்றது. கண் காணும் 6328 Å லேசர், வலிவுமிக்க 3·39 மைக்ரான் லேசர் ஆகியவையும் $2s \rightarrow 2p$ பெயர்வுகளாலேற்படும் பதினொன்கு அண்மைப் புறச் சிவப்பு (near infrared) லேசர் வரிகளும் இந்த வகையைச் சார்ந்தனவே. தொலைப்புறச்சிவப்பு (far infrared) பகுதியில் 35·6 மைக்ரான்களுக்கும் 54·4 மைக்ரான்களுக்கும் இடையில் ஆறு வரிகள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இவை $6p \rightarrow 6d$ பெயர்வுகளால் ஏற்பட்டனவாகும். இந்த எல்லா வரிகளிலும் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழ்வதற்கு ஹீலியத்தைக் கலப்பது உதவுகின்றது. ஆனல், இதற்கு மாருக, $5p$ மட்டங்களிலிருந்து தொடங்கும் வரிகளைப் பொறுத்தமட்டில் ஹீலியத்தைக் கலப்பது லேசர் நிகழ்ச்சிகளைக் கட்டுப்படுத்தும்.

1 மைக்ரானிலிருந்து 4 மைக்ரான்களுக்கு உள்ளிட்ட லேசர் வரிகள் படம் 9.16 - லும் 4 மைக்ரான்களிலிருந்து 20 மைக்ரான்கள் வரையுள்ள வரிகள் படம் 9.17 - லும் காட்டப்பெற்றுள்ளன,

நியான் லேசர் வரிகளில் பெரும்பான்மையானவை ஃபாஸ்ட் (Faust), கேரட் (Garret), மாக் ஃபர்லேன் (Mc Farlane), பட்டேல் (Patel) ஆகியோரால் கண்டறியப் பெற்றனவாகும்.

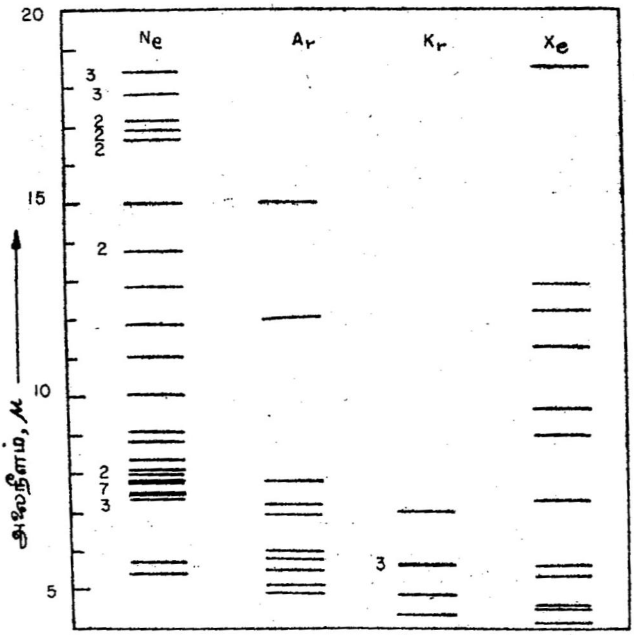


படம் **9.16.** மேதகு வாயு லேசர் வரிகள்—அண்மைப்புறச் சிவப்புப் பகுதியில் (1 - லிருந்து 4 மைக்ரான்கள்). தனித்தனியே காட்டமுடியாத அளவு மிக நெருக்கமாக உள்ள வரிகளின் எண்ணிக்கை ஆங்காங்குக் குறிக்கப் பெற்றுள்ளது.

ஆர்கான், கிரிப்டான், செனன் ஆகியவற்றின் லேசர் வரிகள் யாவும் படம் 9.16, படம் 9.17 ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ளன. ஆர்கானின் 26·944 மைக்ரான் வரிமட்டிலும் காட்டப் பெறவில்லை. நியானில் *s*, *p* ஆகிய தாழ்ந்த மட்டங்களிலிருந்து லேசர் பெயர்வுகள் தொடங்குவதாகக் காணப்பட்டாலும் மற்ற கனமான மேதகு வாயுக்களில் *d* மட்டங்களிலிருந்தே லேசர் வரிகள் தொடங்குகின்றன.

செனன் லேசர்களில் இரண்டு மட்டிலும் தனித்துக் கூறப்படும் தகுதியுடையனவாகும். ஏனெனில், இவற்றின் ஈட்டம் மிக

உயர்ந்தது. 0·02 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் செனன் வாயுவும் 2 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஹீலியம் வாயுவும் சேர்ந்த கலவை 5 - லிருந்து 7 மி. மீ. விட்டமுடைய குழாயில் எடுத்துக் கொள்ளப் பெற்றிருந்தது. இந்த லேசரில் ஒவ்வொரு செ. மீ. குழாய் நீளத் திற்கும் 1% ஈட்டம் 2·0268 மைக்ரான்களில் கிடைத்தது ; 3·507 மைக்ரான்களில் இந்த ஈட்டம் ஒவ்வொரு செ. மீ. நீளத்திற்கும் 13% ஆகும். இந்த இரண்டு லேசர்களிலும் ஹீலியத்திலிருந்து



படம் 9.17. மேதகு வாயு லேசர் வரிகள்—4மைக்ரான்களிலிருந்து 20 மைக்ரான் களுக்குட்பட்டவை.

செனன் அணுக்களுக்குக் கிளர்ச்சி மாற்றம் ஏது மேற்படவில்லை ; ஹீலியம் இருப்பதால் மின்னிறக்கத்தின்போது குழாயினுள் எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி (electron density) அதிகரித்தது. இது தான் ஹீலியத்தைப் பயன்படுத்துவதில் கிடைக்கும் நன்மை யாகும்.

அயனியாக்கம் (ionization) பெற்ற மேதகு வாயுக்களிலும் பல வரிகளில் லேசர் அலைவுகள் ஏற்படுவதாகக் கண்டறியப்பட் டுள்ளது. மேதகு வாயு அயனி லேசர்கள் (noble gas ion lasers)

கண் காணும் நிறமாலை (visible spectrum), அண்மைப் புறஊதாப் (near ultraviolet) பகுதியிலும் அமைகின்றன. இவை பிரிட்ஜஸ் (Bridges) என்பவராலும், கோர்டன் (Gordon), லபுடா (Labuda) ஆகியோராலும் ஏறத்தாழ ஒரே நேரத்தில் கண்டறியப்பெற்றன. இவர்கள் தங்கள் ஆராய்ச்சி முடிவுகளைக் கூட்டாகவே வெளியிட்டுள்ளார்கள்.

அயன லேசர் வரிகளைக் (ionic laser lines) கிளர்ச்சியூட்டுவதற்குச் சாதாரண அணு லேசர்களில் கிளர்ச்சியூட்டுவதற்குத் தேவையானதைவிட அதிகமான மின்னோட்ட அடர்த்தியில் மின்னிறக்கம் (discharge) ஏற்பட வேண்டும். இவ்வாறு உயர்ந்த மின்னோட்ட அடர்த்தி தேவைப்படுவதற்குரிய காரணத்தைப் பின்கண்டவாறு கூறலாம் :

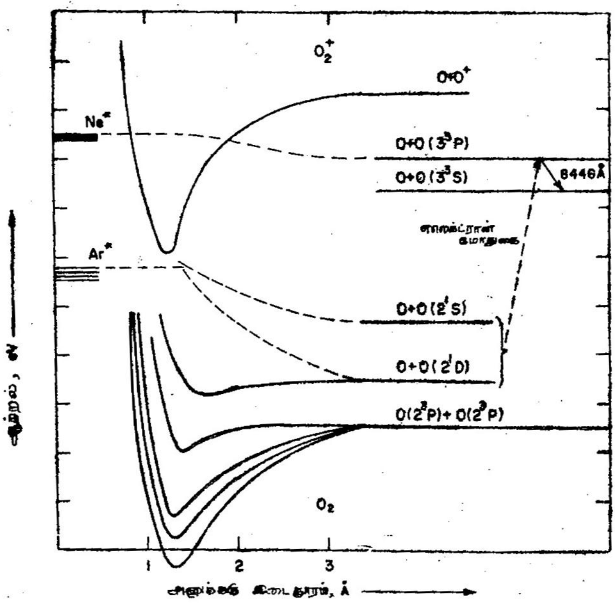
ஒற்றை அயனியாக்கம் பெற்ற வாயு லேசர்களில், லேசர் ஆற்றல் மட்டங்களில் உயர்மட்டத்தில் தொகையைக் கூட்டுவதற்கு வாயு அணுக்கள் அடுத்தடுத்து இருமுறை எலெக்ட்ரான்களுடன் மோதவேண்டும் ; முதல் மோதலில் நடுநிலை அணுவிலிருந்து ஓர் அயனி (கிளர்ச்சி பெறாத அயனி) உண்டாகின்றது ; அடுத்த மோதலில் இந்தக் கிளர்ச்சி பெற்றில்லாத அயனி கிளர்ச்சியுற்று உயர் லேசர் மட்டத்திற்குச் செல்கின்றது.

நடுநிலை மேதகு வாயுக்களுக்குப் பயன்படுத்தியது போன்ற லேசர் அமைப்புகளையே அயன லேசர்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம். ஆனால், இங்கே உயர்ந்த மின்னோட்டங்கள் பாய்வதற்கான வகையில் மின்னிறக்கக் குழாய் (discharge tube) அமைக்கப்பட வேண்டும். இதற்காக வேண்டி ஒருதிசை மின்னோட்ட மின்னிறக்கம் (d. c. discharge) பயன்படுத்தப் பெற்றது ; எதிர் மின்வாய் (cathode) சூடாக்கப்பட்ட வகையாகும். இந்த லேசர் சாதாரணமாக விட்டு விட்டுத்தான் செயல்படும். மின்னிறக்கத்திற்குத் தேவையான மின்சாரத்தை 2 - லிருந்து 10 கிலோ வோல்ட்டுகளுக்குட்பட்ட மின்னழுத்தத்தால் மின்னூட்டப் பெற்ற மின்தேக்கியிலிருந்து பெறலாம். ஏறத்தாழ 4 மி. மீ. விட்டமுடைய குழாய்களில் 40 - லிருந்து 300 ஆம்ப்பியர் வரையுள்ள மின்னோட்டங்கள் பயன்படுத்தப் பெற்றன. இதனினும் குறுகிய விட்டமுடைய குழாயையும், குறைந்த மின்னோட்டங்களையும் பயன்படுத்தினால் பல வரிகளில் தொடர்ச்சியாக இயங்கும் லேசரை அமைக்கலாம்.

9.9. மேதகு வாயு—ஆக்சிஜன் லேசர்கள்

இவை பிரிகைக் கிளர்ச்சி (dissociative excitation) முறையில் செயல்படுவனவாகும். மூலக்கூறுகள் பிரிகையின்போது கிளர்ச்சியூட்டம் நிகழ்வதுபற்றிப் பகுதி 9·5 - ல் முன்னரே கண்டோம். இந்த முறையில் தொகைத் தலைகீழாக்கமும் அதனால் லேசர் நிகழ்ச்சியும் நடைபெறுவது குறித்து நியான் - ஆக்சிஜன் (Ne - O_2), ஆர்கான் - ஆக்சிஜன் (Ar - O_2) ஆகியவற்றில் சிறப்பான முறையில் ஆய்வுகள் நடைபெற்றுள்ளன. அவ்விரண்டினை மட்டிலுமே நாம் இங்குக் காண்போம்.

நியான் - ஆக்சிஜன், ஆர்கான் - ஆக்சிஜன் இரண்டிலும் நிகழும் நடைமுறைகள் வெவ்வேறானவையாகும். இவை படம் 9.18 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 9.18. நியான் - ஆக்சிஜன், ஆர்கான் - ஆக்சிஜன் லேசர்களில் பங்குபெறும் ஆக்சிஜன், நியான், ஆர்கான் ஆகியவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

ஒன்றிலிருந்து ஒன்று பிரிந்து நிற்கும் ஆக்சிஜன் அணுக்களின் தரை நிலையிலிருந்து 5·080 எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் (electron - volts) கீழே O_2 மூலக்கூறின் மிகத்தாழ்ந்த கட்டுண்ட நிலை (bound state) இருக்கும். இந்த நிலையினைத் தொடக்கமாகக் கொண்டுதான்

ஆக்சிஜன் மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல்மட்டங்கள் படம் 9.18 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. நியான், ஆர்கான் ஆகியவற்றின் மிகத் தாழ்ந்த கிளர்ச்சியுற்ற 1*s* நிலைகளும் படத்தில் காட்டப்பெற்றுள்ளன. அவை Ne*, Ar* எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

Ne* மட்டங்களிலிருந்து ஆற்றல் பெறுவதால் ஆக்சிஜன் மூலக்கூறுகள் ஒரு நிலையற்ற (unstable) மூலக்கூறு மட்டத்திற்கு நேரடியாக உயர்த்தப்படுகின்றது. இந்த மட்டத்திலிருந்து மூலக்கூறு இரண்டு ஆக்சிஜன் அணுக்களாகப் பிரிகின்றது. அவற்றுள் ஒன்று லேசர் பெயர்வு (laser transition) துவங்குகின்ற மட்டமாகிய $3p^3P_2$ - வில் இருக்கும். ஆர்கானைப் பொறுத்தமட்டில் ஆற்றல் மாற்றம் $2p^1D_2$, $2p^1S_0$ ஆகிய தாழ்ந்த நிலையிலுள்ள இரண்டு மட்டங்களுக்கு ஏற்படுகின்றது. இவ்விரு மட்டங்களும் சிற்றுறுதியான மட்டங்கள் (metastable levels) ஆகும். இவற்றிலிருந்து மும்மைத் தரைமட்டத்திற்கு (triplet ground state) கதிர் வீசும் பெயர்வு வழியாகச் செல்லமுடியாதென்பது தேர்வு விதிகளிலிருந்து (selection rules) நாமறிந்ததே. இம் மட்டங்கள் சிற்றுறுதியானவை யானதால் இம் மட்டங்களில் தொகை பல்கிப் பெருகும். அதனுல் எலெக்ட்ரான் மோதுகைகளால் இங்குள்ள அணுக்கள் $3p^3P_2$ மட்டத்திற்கு உயரும். தேர்வு விதியின்படி பார்த்தால் $3p^3P_2$, $3s^3\ S_1^0$ மட்டங்களுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை எலெக்ட்ரான் மோதல் ஒன்றினுல் மட்டிலுமே நிலைநாட்டிவிட முடியாது; இதற்கு மேதகு வாயுவின் துணை தேவை. இவ்வாருக, இவ்விரு மட்டங்களுக்கு மிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தி லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறும்படி செய்யமுடியும்.

பென்னெட் (Bennet), ஃபாஸ்ட் (Faust), மாக் ஃபர்லேன் (Mc Farlane), பட்டேல் (Patel) ஆகியோர் O_I லேசரைக் கி.பி. 1962 - ல் அமைத்தனர். அவர்களது லேசர் குழாய் 2 மீட்டர் நீளமும், 7 மி. மீ. விட்டமும் உடையது. இதில் 0·014 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆக்சிஜனும், 0·03 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆர்கானும் சேர்ந்த வாயுக்கலவை எடுத்துக் கொள்ளப் பெற்றிருந்தது. இதில் மின்னிறக்கம் ஏற்படுத்திய போது 8446 Å அலைநீளத்தில் தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நிகழ்ந்தது. இதன் வெளிப்பாட்டுத்திறன் ஏறத்தாழ 2 மில்லி

வாட்டுகள் இருந்தது. இதே அமைப்பில் 0·036 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆக்சிஜனும், 1·3 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆர்கானும் எடுத்துக்கொண்டபோதும் அதே 8446 Å அலைநீளத்தில் லேசர் செயல்பட்டது. ஆர்கான் அல்லது நியானுக்குப் பதிலாக கிரிப்டானையும் (krypton) பயன்படுத்தலாம். அதற்கு, 0·036 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆக்சிஜனும், 1·3 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் கிரிப்டானும் இருக்கவேண்டும். இந்த $Kr—O_2$ லேசரும் 8446 Å அலைநீளத்தில் வேலைசெய்யும்.

மேதகு வாயுக்களோடு கலந்துள்ள CO, CO_2, NO, N_2O ஆகியவற்றிலும் மூலக்கூறு பிரிகை மூலமாக இதே அலைநீளத்தில் லேசர் கதிர்வீச்சினைப் பெறக்கூடுமெனப் பட்டேல், மாக் ஃபர்லேன், ஃபாஸ்ட் ஆகியோர் கி.பி. 1964 - ல் கண்டுரைத்துள்ளனர்.

9.10. பல்வகை அணு லேசர்கள்

சாதாரண வாயு, மேதகு வாயு ஆகியவற்றின் கலவையில் மின்னிறக்கம் ஏற்படும்போதும் லேசர் வரிகள் வெளிவிடப்படுவதாகப் பல்வேறு கலவைகளில் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் சிலவற்றில் மேதகு வாயுவிலிருந்து நேரடியாக ஆற்றல் மாற்றம் ஏற்படலாம். ஆனால், இவ்வாறு நேரடியாக மேதகு வாயு கிளர்ச்சியூட்டலில் பங்குபெறுமென உறுதியாக, அறுதியிட்டுக் கூறமுடியவில்லை; மேதகு வாயு மறைமுகமாகவே லேசர் நிகழ்ச்சிக்குத் துணை செய்கின்றதெனக் கூறலாம். அனேகமாக எல்லாவிடங்களிலும் நேரடியான எலெக்ட்ரான் மோதுகையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதில் பெரும் பங்கேற்கின்றது. இத்தகைய லேசர்களில் சிலவற்றை மட்டும் சுருக்கமாகக் காண்போம்.

9.10.1. கந்தக லேசர் (Sulphur laser)

0·03 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் SF_6 - உம், 2 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஹீலியமும் உள்ள கலவையைப் பயன்படுத்தி இரண்டு லேசர் வரிகளைப் பட்டேல் (Patel), மாக் ஃபர்லேன் (Mc Farlane), ஃபாஸ்ட் (Faust) ஆகியோர் கி.பி. 1964 - ல் கண்டறிந்துள்ளனர். இவ்விரு வரிகளுக்கும் இயைந்த பெயர்வுகள் அட்டவணை 9.3 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 9.3
கந்தக வரிகள்

அலைநீளம், மைக்ரான்களில்	பெயர்வு
1·0455	$4p^3P_2 \longrightarrow 4s^3S_1^\circ$
1·0628	$4p'\,^1F_3 \longrightarrow 4s'\,^1D_2^\circ$

ஹீலியம் வாயுவைக் கலக்காமல் SF_6 - ஐ மட்டிலுமே பயன் படுத்தியும் இந்த வரிகளைப் பெறக்கூடும். ஆனால், இங்குப் பயனுறு திறம் (efficiency) குறைவாக இருக்கும்.

9.10.2. உப்பீனிகள் லேசர்கள் (Halogen lasers)

குளோரின் - ஹீலியம் கலவையில் மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்தி இரண்டு லேசர் வரிகளை பானனென் (Paananen), டாங் (Tang), ஹாரிகன் (Horrigan) ஆகியோர் கி.பி. 1963 - ல் கண்டறிந்துள் ளனர். இவர்கள் பயன்படுத்திய லேசர் குழாய் 1·75 மீட்டர் நீளமும், 6 மி. மீ. விட்டமும் உடையது. இதில், 0·1 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் குளோரின் வாயுவும் 1·5 மி. மீ. பாதரச அழுத் தத்தில் ஹீலியம் வாயுவும் எடுத்துக்கொள்ளப் பெற்றிருந்தன. இவ் வரிகளுக்கான பெயர்வுகள் அட்டவணை 9.4 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 9. 4
குளோரின் வரிகள்

அலைநீளம், மைக்ரான்களில்	பெயர்வு
1·9755	$3d\,^4D_{\frac{7}{2}} \longrightarrow 4p\,^4P_{\frac{5}{2}}$
2·0199	$3d\,^4D_{\frac{5}{2}} \longrightarrow 4p\,^4P_{\frac{3}{2}}$

இரட்டை அயனியாக்கம் பெற்ற குளோரினுடைய (ClII) ஒன்பது லேசர் வரிகளை மாக் ஃபர்லேன் (Mc Farlane) கண்டறிந் துள்ளார். இவை துடிப்பு மின்னிறக்கத்தின்போது (pulsed discharge) பெற்றவையாகும். இவர் பயன்படுத்திய குழாய்

1 மீட்டர் நீளமுடையது; உச்ச மின்னோட்டம் 500 ஆம்ப்பியர் களுக்கும் மேற்பட்டது. இந்த ஒன்பது வரிகளின் அலைநீளங்கள் 4781 Å - லிருந்து 6095 Å வரையுள்ள பகுதியில் இருந்தன. இந்த வரிகள் $4p \longrightarrow 4s$ பெயர்வுகளால் ஏற்படுவன என்று எண்ணப்படுகின்றது.

ரிக்டென் (Rigden), ஒயிட் (White) ஆகியோர் கி.பி. 1963 - ல் 3·236 மைக்ரான்கள், 3·4311 மைக்ரான்கள் அலைநீளங்களில் இரண்டு அயோடின் (icdine) வரிகளைக் கண்டறிந்துள்ளனர்.

அயோடின் - ஹீலியம் கலவையில் துடிப்பு மின்னிறக்கம் ஏற்படும்போது 12 லேசர் வரிகளை ஃபௌல்ஸ் (Fowles), ஜென்சன் (Jensen) ஆகியோர் கண்டறிந்துள்ளனர். இவை இரட்டை அயனி யாக்கம் பெற்ற அயோடினுடைய (I II) வரிகள் என்று கூறப்படு கின்றது. இவ் வரிகள் 4987 Å - லிருந்து 8804 Å வரையுள்ள பகு தியில் உள்ளன.

சென்ற ஆண்டில் (கி.பி. 1971) ஃபெல்ட்மன் ரிசர்ச் லேபரட்டரி யைச் (Feltman Research Laboratory) சேர்ந்த எம். ஒய். டே உல்ஃப் லான்ஸெராட்டி (M. Y. De Wolf Lanzerotti) என்பார் 2–2–2 டிரைஃப்ளோரோ எதில் அயோடைடினை (2–2–2 trifluro ethyliodide—$CF_3\ CH_2\ I$) ஒளித்தெறிப்பு ஒளியாற்பகுப்பு (flash photolysis) செய்து 1·3 மைக்ரான் அலைநீளத்தில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதாகக் கண்டார். இந்த லேசர் நிகழ்ச்சி அயோடின் அணுவின் $^2P_{\frac{1}{2}} \longrightarrow {}^2P_{\frac{3}{2}}$ பெயர்வினால் நடைபெறுவதாகும். இதற்கு 800 ஜூல்கள் ஒளித்தெறிப்பு பயன்படுத்தப்பட்டது. உச்ச வெளிப்பாட்டுத் திறன் ஏறத்தாழ 10 மைக்ரோ நொடிகள் நீட்டிப்பில் ஏறத்தாழ 108 வாட்டுகள் கிடைத்தன. $CF_3\ CH_2I$ ஆனது 17 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப் பெற்றது.

0·09 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் புரோமினும் (Br_2), 1·8 மி.மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆர்கானும் உள்ள கலவையில் ரேடியோ அதிர்வெண் மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்துகையில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதில் நான்கு வரிகள் கிடைத்தன. இவ் வரிகள் 8446 Å - லிருந்து 8447 Å வரையிலுள்ள பகுதியில் மிக நெருக்கமாக அமைந்திருந்தன. ஆர்கானிலிருந்து

Br_2 மூலக் கூறுக்குக் கிளர்ச்சி மாற்றம் ஏற்படுவதன் பயனுக இவ் வரிகள் தோன்றலாம். இது O_2-ல் நாம் கண்ட முறைக்கொப் பானது. இந்த லேசர் பெயர்வு,

$$5p\,^4D^{\circ}_{\frac{3}{2}} \longrightarrow 5s\,^4P_{\frac{3}{2}}$$ ஆகும்.

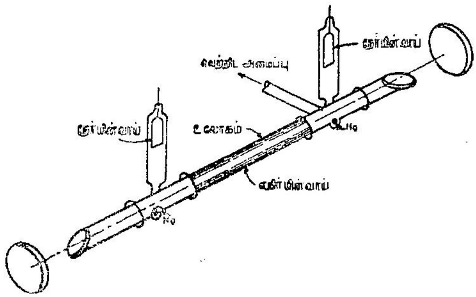
9. 10. 3. பாதரச லேசர்

பாதரச வாயு - ஒரு மேதகு வாயு ஆகியவற்றின் கலவையின் ஊடே மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்திப் பல்வேறு வகை லேசர் அலைவு களைப் பெறமுடியும். முழுப் பாதரச அணுக்களில் ஏற்படும் தூண் டப்பெற்ற பெயர்வுகளாலும், ஒற்றை அல்லது இரட்டை அயனி யாக்கம் பெற்ற பாதரச அணுக்களிடையே ஏற்படும் தூண்டப் பெற்ற பெயர்வுகளாலும் கதிர்வீச்சுத் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. இதற்குப் பயன்பெறும் மின்னிறக்கக் குழாய்கள் மேதகு வாயுக் களுக்குப் பயன்படுத்தியவை போன்றனவேயாகும். உள்ளே அமைந்த மின் வாய்களும் (electrodes), *d–c* கிளர்ச்சியூட்டலும் நல்லது. இருப்பினும் *r. f.* கிளர்ச்சியூட்டலைப் பயன்படுத்தியும் Hg_I வரிகளைப் பெறலாம். 7 மி. மீ. விட்டமும், 1 மீட்டர் நீளமும் உடைய குழாய்களைப் பயன்படுத்தி வலுமிக்க வரிகளைப் பெற லாம். இதனினும் நீண்ட குழாய்களைப் பயன்படுத்தினுல் வலுக் குறைந்த வரிகளையும் பெறலாம்.

ஒற்றை அயனியாக்கம் பெற்ற பாதரச லேசர்களுக்கு 0·2 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் பாதரச வாயுவையும் ஏறத்தாழ 0·5 மி. மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஹீலியம் அல்லது வேறு மேதகு வாயுவையும் எடுத்துக்கொள்வது மிகவும் உகந்ததாகும். குழா யினைத் தேவையான அளவு வெப்பநிலைக்குச் சூடாக்குவதன் வாயி லாகப் பாதரச அழுத்தத்தை நமக்கு வேண்டியவாறு சரிசெய்து கொள்ளலாம். அயனி லேசர்களுக்குத் தேவையான 10 ஆம்ப்பியரி லிருந்து 50 ஆம்ப்பியர்களுக்குட்பட்ட உயர்ந்த மின்னேட்டங்களை, ஒரு மின்தேக்கியைக் (condencer) குழாயின் வழியே மின்னிறக்கம் செய்யும்படி செய்து பெறலாம். பல்வேறு லேசர் வரிகளும் ஒரே நேரத்தில் தோன்றுவதில்லை. இதிலிருந்து ஒவ்வொரு வரி யையும் உண்டாக்குவதற்கான தொகைத் தலைகீழாக்கங்கள் வெவ் வேறு வேகங்களில் நடைபெறுகின்றன என்பது தெரிகிறது.

அயனியாக்கம் பெற்ற பாதரச வாயு லேசர்களுக்கு மேற் கண்ட அமைப்பல்லாது வேருெரு வகையும் பயன்படுத்தப் பெறு

வதுண்டு. இது உள்ளீடற்ற எதிர்மின்வாய் (hollow cathode) கட்டமைப்பாகும். இது படம் 9.19-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 9.19. பாதரச வாயு லேசர் - உள்ளீடற்ற எதிர்மின்வாய் அமைப்பு.

இது மிகப் பெரிய விட்டமுடைய குழாய்களைப் பயன்படுத்தினாலும் சிறப்பாகச் செயல்படக்கூடிய திறம் வாய்ந்தது.

முதல் பாதரச லேசர்களை உருவாக்கியவர்கள் ரிக்டென் (Rigden), ஒயிட் (White) ஆகியோராவர். இவர்களைத் தொடர்ந்து பலர் இத் துறையில் ஆராய்ச்சிகள் செய்துள்ளனர். அவர்களின் முடிவுகளை யொட்டி Hg_I வரிகளுக்கான பெயர்வுகள் அட்டவணை 9.6-ல் தொகுத்துத் தரப்பெற்றுள்ளன.

9.10.4. வளிமண்டில வாயுக்களின் அயனிகள் லேசர்கள்

காற்றின் பல கூறுகளின் ஊடே உயர்மின்னோட்டத்தில் துடிப்பு மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்தி ஏறத்தாழ 30 லேசர் வரிகள் பெறப்பட்டுள்ளன. மாக் ஃபர்லேன் (Mc Farlane) இத் துறையில் ஆய்வுகள் நடத்தியுள்ளார். இவை O_{II}, O_{III}, C_{III}, C_{IV}, N_{II}, N_{III}, N_{IV} வரிகளெனக் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் அலைநீளங்கள் கண் காணும் நிறமாலைப் பகுதி முழுவதிலுமே பரவியுள்ளன.

9.10.5. மூலக்கூறு லேசர்கள்

கார்பன் - டை - ஆக்சைடு (CO_2), கார்பன் - மானோ - ஆக்சைடு (CO), நைட்ரஜன் (N_2), நீரின் ஆவி (water vapour) போன்றவற்றின் பட்டை நிறமாலையிலும் (band spectra) தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நடைபெறக்கூடுமென்பது கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

மூலக்கூறு லேசர்கள் யாவற்றுள்ளும், ஏன் எல்லாவகை லேசர்களுள்ளேயுமே CO_2 லேசர்கள் ஒரு தனி இடம் பெற்

அட்டவணை 9.5

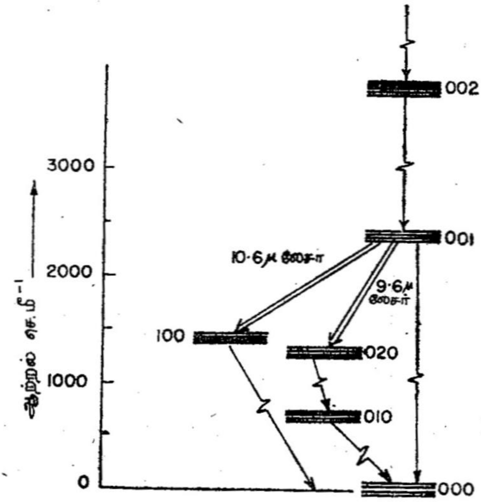
பாதரச வாயு வரிகள்

அலைநீளம், மைக்ரான்களில்	பெயர்வு
1·1177	$7p^1P_1^\circ \longrightarrow 7s^3S_1$
1·3674	$7p^3P_1^\circ \longrightarrow 7s^3S_1$
1·5296	$6p'\,^3P_2^\circ \longrightarrow 7s^3S_1$
1·6920	$5f\,^1F_3^\circ \longrightarrow 6d^1D_2$
1·6942	$5f\,^3F_2^\circ \longrightarrow 6d^3D_1$
1·7073	$5f\,^3F_4^\circ \longrightarrow 6d^3D_3$
1·7110	$5f\,^3F_3^\circ \longrightarrow 6d^3D_2$
1·7330	$7d\,^1D_2 \longrightarrow 7p^1P_1^\circ$
1·8130	$6p'\,^3F_4^\circ \longrightarrow 6d^3D_3$
3·93	$6d\,^3D_3 \longrightarrow 6p'\,^3P_2^\circ$
	$5g\,G \longrightarrow 5f\,F^\circ$
5·86	$6p'\,^1P_1^\circ \longrightarrow 7d^3D_2$
6·49	$9s^1S_0 \longrightarrow 8p^1P_1^\circ$
	$11p^3P_1^\circ \longrightarrow 10s\,^3S_1$

றுள்ளன. இவற்றைக்கொண்டு பல கிலோவாட்டுகள் எனுமளவு உயர்ந்த திறன் வெளிப்பாடுகளைப் பெறமுடியும்! வேறெந்த லேசரைவிடச் சிறந்த பயனுறு திறனுடையது CO_2 லேசர். CO_2 லேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறனுக்கும் உள்ளிடும் மின்திறனுக்கும் உள்ள விகிதம் 30% எனுமளவு உயர்ந்திருக்கும்.

CO_2 - ன் எலெக்ட்ரானியத் தரை நிலையிலுள்ள (electronic ground sta e) பல்வேறு அதிர்வு ஆற்றல் நிலைகள் படம் 9.20 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

CO_2 மூலக்கூறு வாயுவில் வாயு மின்னிறக்கத்தையுண்டாக்கினல் எலெக்ட்ரான் மோதல்களால் மூலக்கூறுகள் உயர் எலெக்ட்



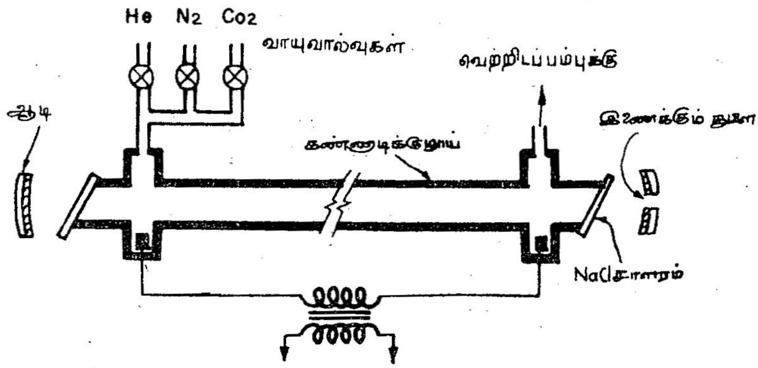
படம் 9.20. CO_2 மூலக்கூறினுடைய தாழ் ஆற்றல் மட்டங்களுள் சில. லேசர் பெயர்வுகளும் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

ரானிய, அதிர்வு - சுழல் மட்டங்களுக்குச் செல்லும். இதனுல் தாழ் எலெக்ட்ரானிய மட்டத்திலுள்ள (001) மட்டத்திற்கும் (020) மட்டத்திற்கும் இடையேயும் (001) மட்டத்திற்கும் (100) மட்டத்திற்கும் இடையேயும் தொகைத் தலைகீழாக்கங்களை ஏற்படுத்தக் கூடுமென்றும், இதன் பயனுக முறையே 9·6 மைக்ரான், 10·6 மைக்ரான்களுக்கு அண்மையில் லேசர் அலைவுகள் தோன்றச் செய்யலாமென்றும் கி.பி. 1965 ஆம் ஆண்டில் பெல் தொலைபேசி ஆய்வுக்கூடங்களைச் (Bell Telephone Laboratories) சேர்ந்த பட்டேல் (Patel) என்பார் கண்டுபிடித்தார். இதனைத் தொடர்ந்து இத் துறையில் ஆராய்ச்சிகள் பெருமளவில் நடைபெற்று வருகின்றன.

CO_2 லேசரில் H_2O, N_2, He போன்ற மற்ற வாயுக்களைச் சேர்த்தால் ஏற்றத்தின் பயனுறுதிறனை (pump efficiency) அதிகரிக்கக் கூடுமெனக் கண்டுள்ளார்கள். CO_2 லேசர் ஒன்றினது அமைப்பு முறை, படம் 9.21 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

CO_2 லேசர், ஏனைய மூலக்கூறு லேசர்கள் ஆகியவற்றிலெல்லாம் பெரும்பாலும் லேசர் வெளிப்பாடு புறச்சிவப்புப்

பகுதியிலுள்ளன. தொலைப்புறச் சிவப்பில் ஆற்றலானது வெப்ப ஆற்றலின் அளவுகளிலேயே இருப்பதால் வாயுவினைக் குளிர்ச்சியாக வைக்கவேண்டியது இன்றியமையாததாகும். இல்லாவிடில் வெப்ப மோதுகைகளால் (thermal collissions) தொகைத் தலை



படம் 9.21. CO_2 லேசர்.

கீழாக்கம் குலையும். இது CO_2 லேசரில் மிகமிக இன்றியமையாததாகும். CO_2 லேசரின் பயனுறுதிறன் (Efficiency) மின்னிறக்கக் குழாயினது சுவர்களின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து இருப்பதாக அறியப்பட்டுள்ளது. எனவே, CO_2 லேசர் சிறப்பாகச் செயல்படச் சுவர்கள் குளிர்ச்சியாக இருக்கவேண்டும்.

மேலும், மூலக்கூறு லேசர்களின் திறன் வெளிப்பாடானது லேசர் குழாயின் நீளத்தைப் பொறுத்துள்ளதேயன்றி வாயுவின் கன அளவை அன்று. எனவே, உயர்ந்த திறன் வேண்டின் நீளத்தை அதிகரிக்கவேண்டும்.

N_2 லேசரில் வலிவுமிக்க அலைவுகள் பெறப்பட்டுள்ளன. நைட்ரஜன் லேசரின் நீளம் குறைந்தது 40 செ.மீ. இருக்கவேண்டும். இதில் வாயு அழுத்தம் 1 மி.மீ. பாதரசத்திற்கு மேற்பட்டிருக்க வேண்டும். இதில் உயர்மின்னோட்டத்தில், உயர் மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் ஏற்படும்படி செய்து கிளர்ச்சியூட்ட முடியும்.

N_2 வரிகள் பட்டைநிறமாலையின் பகுதிகளாக அமைகின்றன. இவை பின்கண்ட அலைநீளப் பகுதிகளால் ஆன ஆறு தொகுதிகளில் அமைகின்றன.

(1) 7580 — 7620 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்

(2) 7700 — 7750 ,,

(3) 8683 — 8710 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்
(4) 8844 — 8910 ,,
(5) 10450 — 10505 ,,
(6) 12300 — 12350 ,,

முதலிரண்டு தொகுதிகளில் அமைந்த நைட்ரஜன் லேசர்களின் உச்ச வெளிப்பாட்டுத் திறன் 100 வாட்டுகளாக இருந்தது.

கீழ்க்கண்ட நான்கு அலைநீளப் பகுதிகளில் CO லேசர்கள் செயல்படுவதாகக் கண்டறியப் பெற்றுள்ளது.

(1) 5186 — 5198 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்
(2) 5590 — 5604 ,,
(3) 6063 — 6074 ,,
(4) 6595 — 6614 ,,

இவற்றின் உச்சத் திறன்வெளிப்பாடு தொகுதிக்குத் தொகுதி மாறுபட்டிருந்தது. உச்சத் திறன் வெளிப்பாட்டின் பெரும மதிப்பு 8 வாட்டுகளாகக் காணப்பெற்றது. சோதனை நிலைகளைச் சரிசெய்வதன் வாயிலாக இம் மதிப்பை உயர்த்த முடிந்தாலும் முடியலாம்.

நீரின் ஆவியைப் (water vapour) பயன்படுத்தியும் லேசர் நிகழ்ச்சி கண்டறியப் பெற்றுள்ளது. இந்த நீரின் ஆவி லேசர்களில் குழாய் 2·5 செ.மீட்டரிலிருந்து 5 செ.மீ. வரையான விட்டமும், 5 மீட்டர் நீளமும் உடையது. 1 மி.மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் ஆவி எடுத்துக்கொள்ளப் பெறும். உயர்மின்னோட்டத்தில் உயர் மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் நிகழ்த்தப்பெறும். இதில் 16 மைக்ரான்களிலிருந்து 120 மைக்ரான்கள் வரையுள்ள பல்வேறு அலைநீளங்களில் லேசர் வரிகள் கிடைத்துள்ளன. 33·033 மைக்ரானில் வெளிவரும் கதிர்வீச்சின் உச்சத்திறன் 7 வாட்டுகள்.

10. குறைகடத்தி லேசர்கள்

10.1. குறைகடத்தி லேசர்கள்

குறைகடத்திகளைப் பயன்படுத்தி லேசர்களை அமைக்கலாமென முதன்முதலாக ஐகிரெய்ன் (Aigrain) என்பார் கி.பி. 1958 ஆம் ஆண்டு பிரசல்ஸில் (Brussels) நடைபெற்ற எலெக்ட்ரானியல், மற்றும் தொலைச் செய்தித் தொடர்பில் திடநிலைப் பௌதிகம்பற்றிய அனைத்து நாட்டு மாநாட்டில் எடுத்துரைத்தார். அவர் கூறிய முறையினைப் பயன்படுத்தி ஒரு குறைகடத்தி லேசரை அமைக்க முடியாது போனாலும் குறைகடத்தி லேசர் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் தொடர்வதற்கு அது ஊக்கமூட்டுவதாக அமைந்தது.

கி.பி. 1961 ஆம் ஆண்டில் பசாவ் (Basov), குரோக்ளின் (Kroklin), பாப்பாவ் (Popov) ஆகியோர் பல்வேறு வகைப்பட்ட தொழில்துறை நுணுக்கங்களைக் கையாண்டு குறைகடத்திகளில் எவ்வாறு தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை உண்டாக்கக் கூடுமென ஆராய்ந்தனர். அவர்கள் அதே ஆண்டில் வெளியிட்ட பிறிதோர் ஆராய்ச்சிக் கட்டுரையில் Ga As - ன் $p-n$ சந்தியில் ($p-n$ junction) தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தும் வாய்ப்புகளைப் பற்றிக் கூறியுள்ளார்கள்.

லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறவேண்டுமெனில் மிகவும் உயர்ந்த அளவில் கலப்பூட்டவேண்டும் (doping) என அதே ஆண்டில் பெர்னார்டு (Bernard), டர்ராஃபோர்க் (Durraffourg) ஆகியோர் கூறினர். இவர்கள் $In\ Sb$ அல்லது $In\ As$ - ல் திரவ ஹீலியம் வெப்ப நிலைகளில் லேசர் நிகழ்ச்சி ஏற்படுத்த முடியுமாவெனவும் ஆராய்ந்தார்கள்,

குறைகடத்தி லேசர்களை அமைப்பதற்கான வாய்ப்புகளைப் பற்றிக் கொள்கை அளவில் ஆராய்ந்த டும்கே (Dumke) என்பார் டயோடில் (diode) மின்னோட்டத்தை உட்செலுத்துவதால் (current injection) லேசர் நிகழ்ச்சியை ஏற்படுத்த முடியலா மெனக் கி.பி. 1962 - ல் கூறினார்.

இதற்குள் பல்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்கள் முன்னோக்கிய சார்புடைய சந்தி டயோடாகச் (forward biased junction diode) செயல்படும்போது *Ga As* ஆனது மிக உயர்ந்த பயனுறு திறனுடன் (efficiency) மிகவும் குறுகிய பட்டையில் (ஒப்பீட்டடிப் படையில்) கதிர்வீசும் எனக் காட்டினார்கள்.

முதல் குறைகடத்தி லேசரை வெற்றிகரமாக ஹால் (Hall), ஃபென்னர் (Fenner), கிங்க்ஸ்லே (Kingsley), ஸோல்ட்டிஸ் (Solteys), கார்ல்சன் (Carlson) ஆகியோர் கி.பி. 1962 ஆம் ஆண்டில் அமைத் தார்கள். ஏறத்தாழ அதே நேரத்தில் வேறு இரு ஆராய்ச்சிக் குழுவினரும் குறைகடத்தி லேசரை அமைத்தனர். அக் குழுக்களாவன :

(1) குவிஸ்ட் (Quist), ரெடிக்கர் (Rediker), ராபெர்ட் ஜே. கேயெஸ் (Robert J. Keyes), வில்லியம் ஈ. கிராக் (William E. Krag), பெஞ்சமின் லாக்ஸ் (Benjamin Lax), ஆலன் மாக் வொர்ட்டர் (Alan Mc Whorter), எர்பர்ட் ஜே. ஸீகர் (Herbert J. Zeiger) ஆகியோர் குழு.

(2) நாதன் (Nathan), டும்கே (Dumke), ஜெரால்ட் பர்ன்ஸ் (Jerald Burns), டில் (Dill), கோர்டன் லேஷர் (Gordon Lasher) ஆகியோர் குழு.

இவர்களது வெளியீட்டிற்கு ஏறத்தாழ மூன்று மாதங்கள் கழித்து உலகின் பல்வேறு பகுதிகளிலும் குறைகடத்தி லேசர்கள் அமைப்பதில் பல்வேறு குழுவினர் வெற்றி கண்டனர். *Ga As* தவிர்த்து வேறு பொருள்களைக்கொண்டும் குறைகடத்தி லேசர்கள் (Semi - conductor lasers) உருவாயின.

குறைகடத்தி லேசர்கள் செயல்படும் பாங்கினைப் புரிந்து கொள்வதற்குக் குறைகடத்திகள்பற்றிய சில அடிப்படைகளை நாம் முதற்கண் அறிந்துகொள்ள வேண்டியவர்களாகின்றோம். எனவே, முதலில் அவற்றைக் காண்போம்.

10.2. குறைகடத்திகள்

திட்பப் பொருள்களை அவற்றின் மின்கடத்தும் திறன் (electrical conductivity) அடிப்படையில் மூவகையாகப் பிரிக்கலாம்.

அவையாவன : (1) கடத்திகள் (conductors) அல்லது உலோகங்கள், (2) காப்பான்கள் (insulators), (3) குறைகடத்திகள் (semi - conductors).

உலோகங்கள் எலெக்ட்ரான் ஓட்டத்திற்கு மிகக் குறைந்த தடையையே (resistance) ஏற்படுத்தும். வெப்பநிலை உயரஉயர இவற்றின் தடை எண் (resistivity) உயரும். இவற்றின் தடை எண் அறை வெப்ப நிலைகளில் சாதாரணமாக 10^{-7} ஓம் - மீட்டரிலிருந்து 10^{-9} ஓம் – மீட்டருக்குள்ளிருக்கும்.

காப்பான்கள் எலெக்ட்ரான் ஓட்டத்திற்கு உயர்ந்த தடையைக் கொடுக்கும். இவற்றின் மின் தடை எண் அறை வெப்ப நிலைகளில் 10^{9} - லிருந்து 10^{25} ஓம் - மீட்டருக்குள்ளிருக்கும்.

குறைகடத்திகளின் மின்தடை எண் இவ்விரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட நிலையிலிருக்கும். இவற்றின் மதிப்புச் சாதாரணமாக 10 - லிருந்து 10^{-6} ஓம் - மீட்டர்களுக்குட்பட்ட நிலையிலிருக்கும். குறைகடத்திகளாக அமைந்த தனிமங்கள் அட்டவணை 10.1 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 10.1

தனிம அட்டவணையில் 3, 4, 5, 6, 7 - வது பத்திகளின் A துணைக் குழுக்கள் (sub - group). இவற்றுள் தடித்த கோட்டினால் சூழப் பெற்றுள்ள தனிமங்கள் குறை கடத்திகளாகும்.

III A	IV A	V A	VI A	VII A
B	C	N	O	F
Al	Si	P	S	Cl
Ga	Ge	As	Se	Br
In	Sn	Sb	Te	I
Tl	Pb	Bi	Po	At

இவையேயன்றி வேறு பல சேர்மங்களும் (compounds) குறை கடத்திகளாக விளங்குகின்றன.

குறைகடத்திகளின் பண்புகளை அறிந்துகொள்வதற்குச் சகப் பிணைப்புகள் (covalent bonds), அயனிப் பிணைப்புகள் (ionic bonds), உலோகப் பிணைப்புகள் (metallic bonds) போன்ற வேதியியல் பிணைப்புகளின் (chemical bonds) அடிப்படை உதவும். அதனோடு கூட இவற்றின் எலெக்ட்ரான் ஆற்றல்பற்றிய சரியான விவரங்கள் நமக்குப் பெருந்துணை செய்யும்.

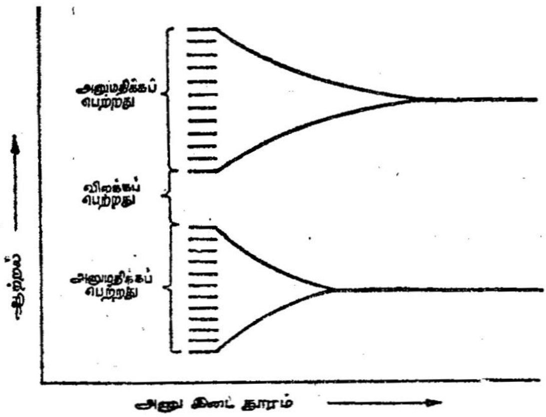
10.2.1. குறைகடத்திகளின் ஆற்றல் பட்டைகள்

தனித்ததோர் அணுவை எடுத்துக்கொண்டோமானால் அதன் எலெக்ட்ரான்கள் பெற்றிருக்கக்கூடிய ஆற்றல் மட்டங்கள் மிகக் கூர்மையாக வரையறுக்கப் பெற்றிருக்கும். அவ்வாறு வரையறுக்கப்பட்டவையன்றி மற்ற ஆற்றல் மதிப்புகளை எலெக்ட்ரான்கள் பெற்றிருக்க முடியாது; அவை விலக்கப்பட்டவையாகும். இது குவான்டம் விதிகளிலிருந்து நாமறிந்ததே. பௌலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவப்படி (Pauli's exclusion principle) எந்தவோர் அனுமதிக்கப்பெற்ற ஆற்றல் மட்டத்திலும் இரண்டே இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள்தாம் இருக்கமுடியும்.

இத்தகைய தனித்த அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று அருகாக ஒரு வரைமுறைக்குட்பட்டு இருக்கும்படி செய்தால் ஒரு படிகம் உருவாகின்றது. இவ்வாறு அணுக்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கினால் தனித்த அணுவினது இயல்பான ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் பிளவுபட வேண்டுமென்றும் அந்தப் படிகத்தில் எத்தனை அணுக்களுள்ளனவோ அத்தனை துணைமட்டங்களாகப் (sub-levels) பிளவுபட வேண்டுமென்றும் குவான்டம் எந்திரவியல் (quantum mechanics) கூறுகின்றது.

இவ்வாறு மட்டங்கள் பிளவுபடுவதனைப் படம் 10.1 விளக்குகின்றது. இப் படம் 12 அணுக்களை மட்டிலும் உடைய படிகத்திற்குரியது. நடைமுறையில் நாமெடுத்துக்கொள்ளும் எந்தவொரு திடப்பொருளிலும் மிகப் பலவான (N) அணுக்கள் இருக்கும். எனவே, எந்தவோர் ஆற்றல் மட்டமும் மிகப்பல (N) துணைமட்டங்களாகப் பிளவுபடும். எனவே, இந்தத் துணை மட்டங்கள் ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருங்கியிருக்கும்; அதாவது, அடுத்தடுத்துள்ள இரு துணைமட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல்

வேறுபாடு இல்லையென்று சொல்லுமளவிற்குச் சிறியதாகும். எனவே, இந்தத் துணைமட்டங்கள் தொடர்ச்சியானவோர் ஆற்றல் பட்டையை (energy band) உருவாக்குகின்றனவெனச் சொல்லலாம். எனவே, பொருளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இந்த



படம் **10.1.** ஆற்றல் பட்டைகள் உருவாதல்.

ஆற்றல் பட்டையினுள் எந்த மட்டத்திலும் இருக்கலாம்; அனுமதிக்கப்பெற்ற இரு ஆற்றல் பட்டைகளுக்கு இடைப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளில் மட்டும் இருக்க முடியாது.

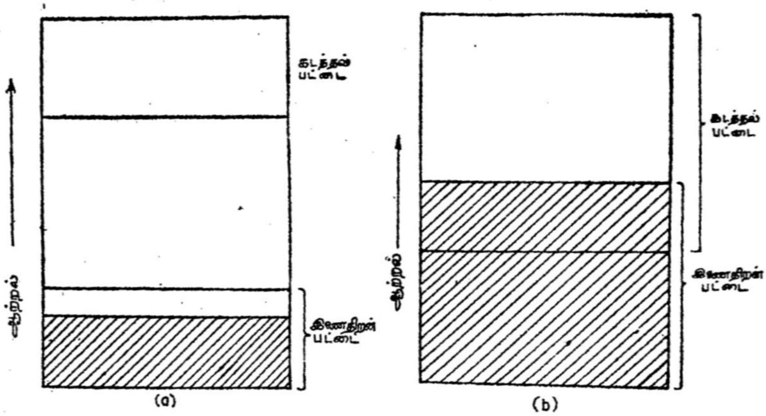
இந்த ஆற்றல் பட்டைகள் ஓர் எளிய விதிப்படி எலெக்ட்ரான்களால் நிரப்பப்பெறும். முதலில் மிகத் தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டம் நிரம்பும்; அது நிரம்பிய பின்னர் அதனை அடுத்துள்ள ஆற்றல் பட்டை நிரம்பத் தொடங்கும். இவ்வாறாக, எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் படிப்படியாகப் பட்டைகளை நிரப்பும்.

இவ்வாறாக நிரம்பப்பெற்ற மிக உயர்ந்த ஆற்றல் மட்டம் ஃபெர்மி மட்டம் (Fermi level) எனப்படும்.

இவ்வாறு முழுவதுமாகவோ அல்லது அரைகுறையாகவோ நிரம்பிய மிக உயர்ந்த ஆற்றல் பட்டை இணைதிறன் பட்டை (valence band) எனப்படும்.

இதற்கு மேலுள்ள ஆற்றல் பட்டையில் எலெக்ட்ரான்களே இரா. இது கடத்தல் பட்டை (conduction band) எனப்படும்.

கடத்திகளில் (conductors) இணைதிறன் பட்டையானது முழுவதும் நிரம்பியிராது. அல்லது இணைதிறன் பட்டையும் கடத்தல் பட்டையும் ஒன்றன்மீதொன்றாக மேற்பொருந்தும் (overlap). இவை முறையே படம் 10.2 (*a*), 10.2 (*b*) - களில் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 10.2. கடத்திகளின் ஆற்றல் பட்டைகள்.

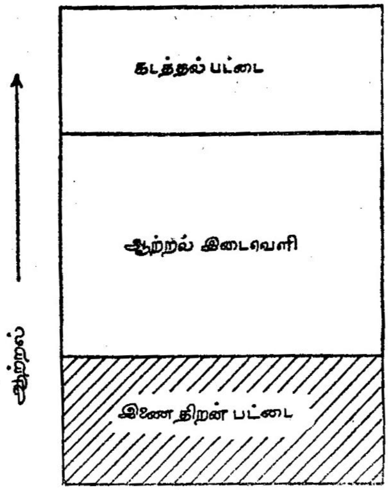
காப்பான்களில் (insulators) இணைதிறன் பட்டை முழுவதும் நிரம்பியிருக்கும்; கடத்தல் பட்டையும் இணைதிறன் பட்டையும் நல்ல இடைவெளி விட்டு அமைந்திருக்கும். இவ்வாறாக, ஆற்றல் இடைவெளி (energy gap) அதிகமாக இருப்பதால் இப் பொருளை மிகமிக உயர்ந்த மின்புலத்தில் வைத்தால்தான் எலெக்ட்ரான்கள், காலியாயிருக்கும் கடத்தல் பட்டைக்கு உயர்த்தப் பெறும். காப்பான்களின் ஆற்றல் பட்டைகள் படம் 10.3 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

இந்த ஆற்றல் இடைவெளி சிறிதாக இருந்தால் அப் பொருள் குறைகடத்தியாக (semi - conductor) இருக்கும்.

10.2.2. உள்ளார்ந்த குறைகடத்திகள்

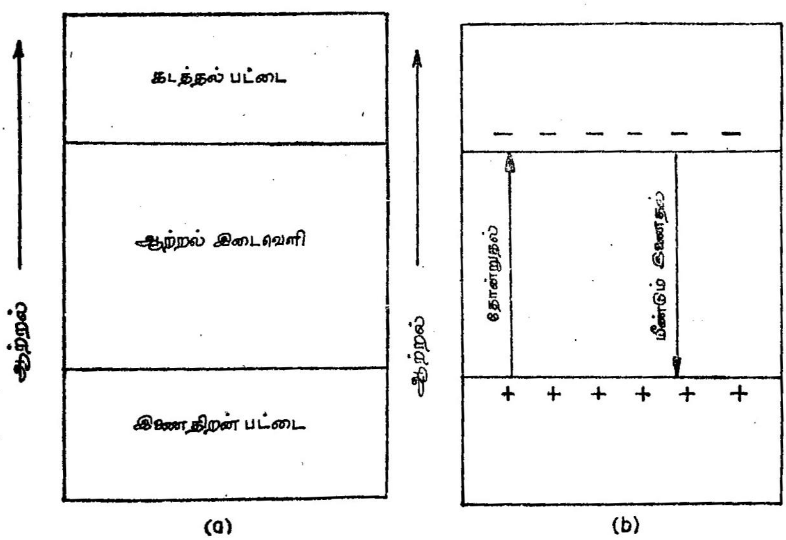
உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியில் (intrinsic semi - conductor) ஆற்றல் இடைவெளி சிறியதாக இருப்பதனால் வெப்பக் கிளர்ச்சியால் (thermal excitation) குறிப்பிடத்தக்க அளவு எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் பட்டையிலிருந்து கடத்தல் பட்டைக்கு உயர்த்தப்பெறும். இதனால், கடத்தல் பட்டையில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (free electrons) உண்டாகின்றன; அதே நேரத்தில் இணைதிறன் பட்டையில் மின்தொளைகள் (holes)

உண்டாகின்றன. உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியில் மின்தொளை



படம் **10.3.** காப்பானின் ஆற்றல் பட்டைகள்.

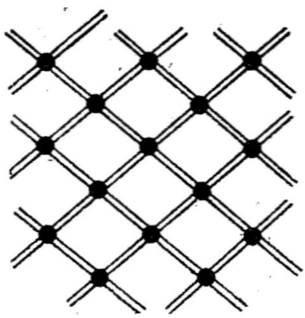
களின் எண்ணிக்கை கடத்தல் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாயிருக்கும். இந் நிலைகள் படம் 10.4-ல் காட்டப் பெற்றுள்ளன.



படம் **10.4.** உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள், (*a*) தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில். (*b*) உயர்வெப்பநிலைகளில்.

பொருளானது ஒரு மின்புலத்தின் ஆட்சிக்கு உட்படுத்தப் பெற்றால் இந்த எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் நகர்ந்து ஒரு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும். எனவே, தாழ்ந்த வெப்ப நிலைகளில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் இன்மையால் காப்பானாகச் செயல்படும் பொருள், உயர்ந்த வெப்ப நிலைகளில் எலெக்ட்ரான்கள், மின்தொளைகள் ஆகியவற்றின் துணையால் மின் கடத்துகின்றது.

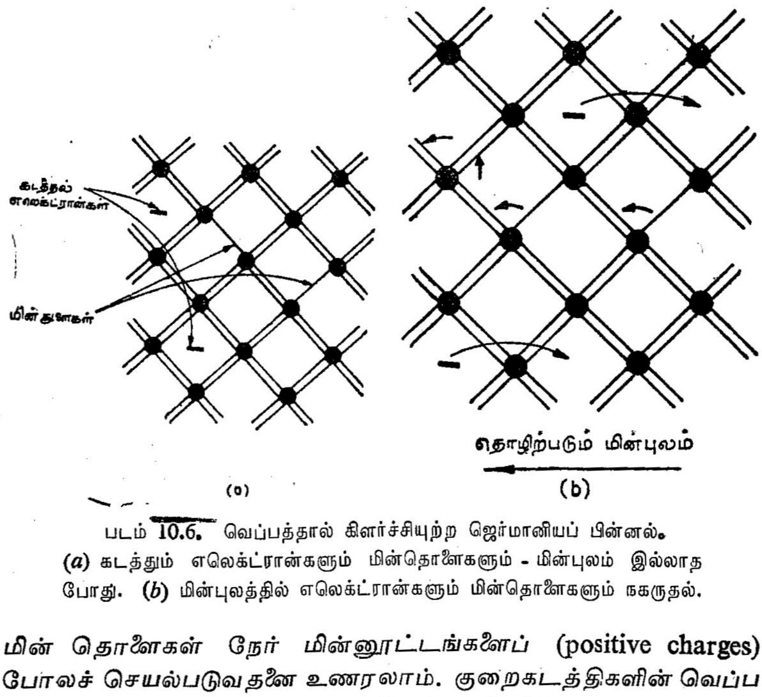
இவ்வாறு குறைகடத்தியில் எலெக்ட்ரான்களாலும், மின் தொளைகளாலும் கடத்தல் நிகழ்வதனைப் பின்கண்டவாறு விளக்கலாம். இதற்கு ஜெர்மானியத்தினை (germanium) எடுத்துக் காட்டாகக் கொள்வோம். ஜெர்மானியத்திற்குத் தரும் விளக்கம் மற்ற உள்ளார்ந்த குறைகடத்திகளுக்கும் பொருந்தும். ஜெர்மானியத்தின் கட்டமைப்பினைப் (structure) படம் 10.5 காட்டுகின்றது.



படம் 10.5. ஜெர்மானியத்தின் பின்னல்.
கறுப்பு வட்டங்கள் ஜெர்மானிய அணுக்களைக் குறிக்கின்றன. ஜெர்மானிய அணுக்களுக்கிடையேயுள்ள ஒவ்வொரு கோடும் சக பிணைப்பிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானைக் குறிக்கும்.

ஒவ்வொரு ஜெர்மானிய அணுவும் நான்கு இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்களை (valence electrons) உடையது; இந்த எலெக்ட்ரான்கள் அந்த அணுவைச் சூழ்ந்துள்ள வேறு நான்கு ஜெர்மானிய அணுக்களுடன் சக பிணைப்புகளை (covalent bonds) ஏற்படுத்துகின்றன. இவ்வாறு எந்தவோர் அணுவினுடைய நான்கு எலெக்ட்ரான்களும் சக பிணைப்புகளை ஏற்படுத்துவதில் பயன்பட்டுவிடுவதால் திடப்பொருளின் ஊடே எலெக்ட்ரான்கள் ஓட்டம் ஏற்படுவதில்லை; திடப்பொருள் ஒரு காப்பானாகச் செயல்படுகின்றது.

ஆனால், ஜெர்மானியப் படிகத்தின் வெப்ப நிலையைப் போதுமான அளவு உயர்த்தினால் எலெக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியுறும் ; சில எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தல் பட்டைக்கு உயர்த்தப்பெறும் ; அதாவது, சக பிணைப்பிலிருந்து விடுபடும். இப்போது திடப் பொருளை ஒரு மின்புலத்தின் ஆட்சிக்குட்படுத்தினால் இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மின்புலத்திற்கு எதிர்த் திசையிலும் மின் தொளைகள் மின்புலத்தின் திசையிலும் நகரும் ; மின்னோட்டம் ஏற்படும். இதனைப் படம் 10.6 விளக்குகின்றது. இதிலிருந்து



படம் 10.6. வெப்பத்தால் கிளர்ச்சியுற்ற ஜெர்மானியப் பின்னல்.
(*a*) கடத்தும் எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் - மின்புலம் இல்லாத போது. (*b*) மின்புலத்தில் எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் நகருதல்.

மின் தொளைகள் நேர் மின்னூட்டங்களைப் (positive charges) போலச் செயல்படுவதனை உணரலாம். குறைகடத்திகளின் வெப்ப நிலை உயரஉயர மின் கடத்தும் திறன் அதிகரிப்பதன் காரணமும் இதிலிருந்து எளிதில் விளங்கும்.

இவ்வாறு மின்புலத்தால் இயங்கும் எலெக்ட்ரான்கள் சில நேரங்களில் மின்தொளைகளைச் சந்திக்கலாம். இதனால் அவை மீண்டும் இணைந்துவிடக்கூடும். வெப்பக் கிளர்ச்சியால் எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் தோன்றும் வீதமானது இவ்வாறு மீண்டும் இணைதலின் வீதத்திற்குச் சமமாக இருக்கும் நிலை ஏற்படும்போது ஒரு சமநிலை (equilibrium) ஏற்படுகின்றது.

வெப்பக் கிளர்ச்சியால் மட்டுமின்றி வேறு வகைகளாலும் எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்தல் பட்டைக்கு உயர்த்த முடியும். அத்தகைய ஒரு வழி மின்காந்தக் கதிர்வீச்சினைப் (electromagnetic radiation) பயன்படுத்துவதாகும். பொருளின்மீது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுப் படும்படி செய்தால் எலெக்ட்ரான் - மின்தொளை இரட்டைகள் தோன்றும். அவ்வாறு தோன்றுவதற்குக் கதிர் வீச்சின் அதிர்வெண் (ν) பின்கண்ட சமன்பாட்டின்படி இருக்க வேண்டுமென்பது தெளிவு.

$$h\nu > Eg \longrightarrow (10{\cdot}1)$$

இங்கே Eg என்பது ஆற்றல் இடைவெளி. இத்தகைய செயல்முறை ஒளி கடத்தல் (photo conduction) எனப்படும்.

10.2.3. புறவியலான குறைகடத்திகள்

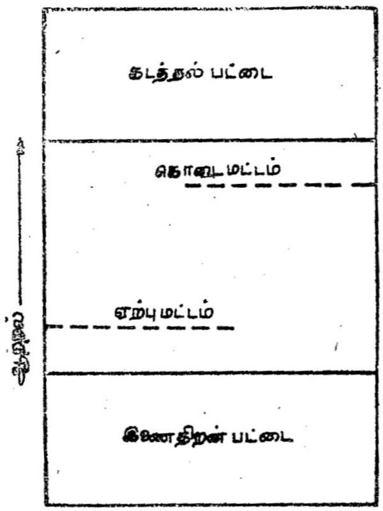
ஒரு தூய படிகத்தில் வேற்றுப்பொருள்களைக் கலப்பது போன்ற செய்கைகளால் நிறைவுறு நிலைமைகளை (imperfections) ஏற்படுத்தலாம். இதன் பயனாக இணைதிறன் பட்டைக்குச் சற்று மேலே காலியான ஆற்றல் மட்டங்களையோ அல்லது கடத்தல் பட்டைக்குச் சற்றுக் கீழே எலெக்ட்ரான்களால் நிறைந்த ஆற்றல் மட்டங்களையோ ஏற்படுத்தக்கூடும். இணைதிறன் பட்டைக்குச் சற்று மேலே ஏற்படும் காலியான மட்டங்கள் ஏற்பு மட்டங்கள் (acceptor levels) எனவும், கடத்தல் பட்டைக்குக் கீழே ஏற்படும் நிறைந்த மட்டங்கள் கொடை மட்டங்கள் (donor levels) எனவும் வழங்கப்பெறும்.

இதனால், இணைதிறன் பட்டையிலிருந்து வெப்பக் கிளர்ச்சி யால் எலெக்ட்ரான்களை ஏற்புமட்டங்களுக்கு எளிதில் உயர்த்த முடியும். அவ்வாறே, கொடைமட்டங்களிலிருந்து எலெக்ட்ரான் களைக் கடத்தல் பட்டைக்கு உயர்த்த முடியும்.

இத்தகைய கொடைமட்டங்களையும், ஏற்பு மட்டங்களையு முடைய பொருள்கள் புறவியலான குறைகடத்திகள் (extrinsic semi - conductors) அல்லது வேற்றுப்பொருள் கலந்த குறைகடத்தி கள் (impurity semi - conductors) எனப்பெறும். இவற்றின் ஆற்றல் பட்டைகள் படம் 10.7 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

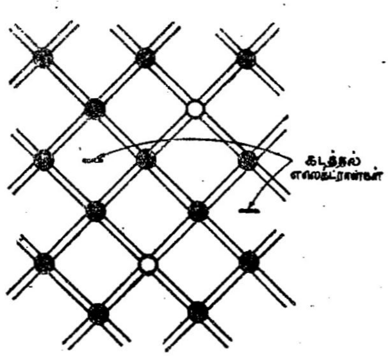
இந்த வேற்றுப்பொருள் கலந்த குறைகடத்திகளின் செயற் பாட்டினையும் பிணைப்புகளின் அடிப்படையில் பின்கண்டவாறு

விளக்கலாம் : மீண்டும் ஜெர்மானியத்தையே எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்வோம். ஜெர்மானியப் படிகத்தில் ஒரு



படம் 10.7. புறவியலான குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள்.

ஜெர்மானிய அணுவின் இடத்தில் தொகுதி V - லுள்ள ஒரு தனிமத்தின் அணுவை - காட்டாக, ஆர்செனிக் (arsenic) அணுவை



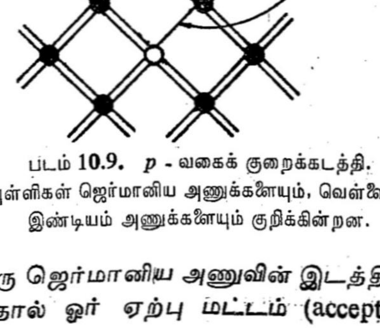
படம் 10.8. *n* - வகைக் குறைகடத்தி.
கறுப்புப் புள்ளிகள் ஜெர்மானிய அணுக்களையும், வெள்ளைப்புள்ளிகள் ஆர்செனிக் அணுக்களையும் குறிக்கின்றன.

வைப்பதாகக் கொள்வோம். ஜெர்மானியம் நான்கு இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்களை (valence electrons) உடையது; ஆனால்,

ஆர்செனிக்கோ ஐந்து இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்களை உடையது. எனவே, ஆர்செனிக் அணுவின் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள நான்கு ஜெர்மானிய அணுக்களுடன் சக பிணைப்புகளை (covalent bonds) ஏற்படுத்தும்; எஞ்சியவோர் இணைதிறன் எலெக்ட்ரான் எந்தவொரு வேதியியல் பிணைப்பிலும் அகப் படாமல் தனித்து நிற்கும். எனவே, இது கொடைமட்டத்திற்குச் செல்லும்.

இவ்வாறு கடத்தல் எலெக்ட்ரான்கள் ஏற்படுவதனைப் படம் 10.8 காட்டுகின்றது. இத்தகைய பொருள்கள் கொடைக் குறை கடத்திகள் (donor semi - conductors) அல்லது *n* - வகைக் குறை கடத்திகள் (*n* - type semi - conductors) எனப்பெறும்.

இப்போது, ஜெர்மானியப் படிகத்தில் தொகுதி III - ஐச் சார்ந்த தனிம அணுக்களை - காட்டாக, இண்டியம் (indium) அணுக் களைச் சேர்ப்பதால் ஏற்படும் விளைவினைக் காண்போம். இண்டியத் தில் மூன்று இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்கள்தாம் உள்ளன. இம் மூன்றும் அவ்வணுவைச் சூழ்ந்துள்ள மூன்று ஜெர்மானிய அணுக் களுடன் சக பிணைப்புகளை ஏற்படுத்துகின்றன. எனவே, நான்காவது சக பிணைப்பு முற்றுப்பெறுமல் ஒற்றை எலெக்ட்ரான் பிணைப்பாக உள்ளது. இந்தப் பிணைப்பு மேலுமோர் எலெக்ட் ரானை ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடியது. எனவே, இது ஒரு மின்துளை யாகச் செயல்படுகின்றது. இவை படம் 10.9 - ல் விளக்கப் பெற்றுள்ளன.



படம் **10.9.** *p* - வகைக் குறைக்கடத்தி.
கறுப்புப்புள்ளிகள் ஜெர்மானிய அணுக்களையும், வெள்ளைப்புள்ளிகள் இண்டியம் அணுக்களையும் குறிக்கின்றன.

எனவே, ஒரு ஜெர்மானிய அணுவின் இடத்தில் ஓர் இண்டியம் அணு அமைந்தால் ஓர் ஏற்பு மட்டம் (acceptor level) ஏற்படு

கின்றது. இயல்பான ஜெர்மானிய - ஜெர்மானியப் பிணைப்பி லுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் எளிதில் இத்தகைய ஏற்பு மட்டத் திற்குச் செல்லும். அவ்வாறு செல்லும்போது இணைதிறன் பட்டையில் ஒரு மின்தொளை உண்டாகின்றது. இத்தகைய பொருள்கள் ஏற்புக் குறைகடத்திகள் (acceptor semi - conductors) அல்லது *p* - வகைக் குறைகடத்திகள் (*p* - type semi - conductors) எனப்பெறும்.

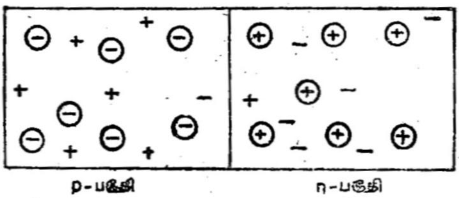
நாம் இதுகாறும் பார்த்த பொதுவான ஏற்பிகள் (acceptors), கொடையாளிகள் (donors) அமைப்பு முறை சேர்மக் குறைகடத்தி களுக்கும் (compound semi - conductors) பொருந்தும். காட்டாக, தொகுதி - III, தொகுதி V - சேர்மமாகிய கேலியம் ஆர்செனைடில் (gallium arsenide - *Ga As*) ஆர்செனிக் அணுக்களின் இடங்கள் சிலவற்றைத் தொகுதி VI - லுள்ள தனிமங்களின் அணுக்கள் பிடித்துக்கொண்டால் கொடைமட்டங்களும், தொகுதி II - லுள்ள தனிமங்களின் அணுக்கள் கேலியம் அணுக்கள் சிலவற்றின் இடங் களில் அமைந்தால் ஏற்பு மட்டங்களும் ஏற்படும்.

10.2.4. *p* - *n* சந்தி

ஒரு தனிப் படிகத்தில் அடுத்தடுத்த பகுதிகள் *n* - வகைக் குறைகடத்தியாகவும் *p* - வகைக் குறைகடத்தியாகவும் இருக்கும் படி அமைப்பதாகக் கொள்வோம். இதனால் ஏற்படும் எல்லை (boundary) ஒரு *p* - *n* சந்தி (*p* - *n* junction) என வழங்கப் பெறும். *n* - வகைப் பொருள்களில் நகரக்கூடிய எதிர் மின்னேற்றங்களும் (கடத்தல் எலெக்ட்ரான்கள்) அதே அளவு எண்ணிக்கையில் நிலை யான நேர்மின்னூட்டங்களும் (அயனியாக்கம் பெற்ற கொடை யாளிகள்) இருக்குமெனவும், *p* - வகைப் பொருள்களில் நகரக் கூடிய நேர்மின்னூட்டங்களும் (மின்தொளைகள்) நிலையான எதிர் மின்னூட்டங்களும் (அயனியாக்கம் பெற்ற ஏற்பிகள்) இருக்கு மெனவும் கண்டோம்.

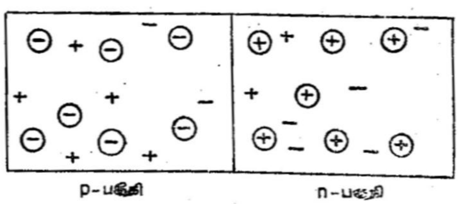
p - *n* சந்தியின் ஊடே ஒரு மின்னழுத்தச் சரிவு (potential gradient) உள்ளதால் இந்த எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் முறையே *n* - வகைப் பகுதியிலிருந்தும் *p* - வகைப் பகுதியிலிருந்தும் புறப்பட்டுச் சந்தியின் ஊடே பாய்ந்து எதிர்ப் பகுதிகளுக்குச் செல்லும். இப் பாய்வினால் *n* - வகைப் பகுதியானது நிகர நேர்மின் னூட்டம் (net positive charge) உடையதாகவும், *p* - வகைப் பகுதி யானது நிகர எதிர்மின்னூட்டம் (net negative charge) உடைய

தாகவும் ஆகின்றன. இவ்வாறாக, ஒரு மின்புலம் ஏற்படும். இந்த மின்புலம் மேற்கொண்டு எலெக்ட்ரான்களும் தொளைகளும் சந்தியின் ஊடே பாயாதவாறு தடுக்கும். சமநிலையின்போது இந்தப் புலமானது செறிவுச் சரிவினால் (concentration gradient) ஏற்படும் விளைவினை ஈடுசெய்கின்றது. இதனால் நிகர எலெக்ட்ரான் மின்னோட்டமோ (net electron current) அல்லது நிகர மின்தொளை மின்னோட்டமோ (net hole current) ஏற்படுவதில்லை. இந்த நிலை படம் 10.10 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 10.10. சமநிலையில் p - n சந்தி.
⊖ ⊕ என்பன நிலையான மின்னூட்டங்கள்.
− + என்பன நகரக்கூடிய மின்னூட்டங்கள்.

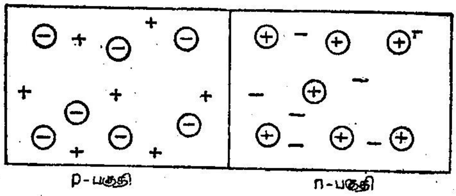
இப்போது, p - பகுதிக்கு ஒரு நேர்மின்னழுத்தத்தை அளித்தால் இரு பகுதிகளுக்குமிடையேயுள்ள மின்னழுத்தச் சரிவு குறைகின்றது ; மின்தொளைகளும் எலெக்ட்ரான்களும் முன்னேக்கிப் பாய்வது பெருமளவு அதிகரிக்கும். இதனால் சந்தியினூடே ஒரு நிகர மின்னோட்டம் ஏற்படுகின்றது. இதில் எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் பங்கேற்கின்றன. இந்த நிலை முன்னேக்கிய சார்பு மின்னழுத்த (forward bias) நிலை எனப்படும். இது படம் 10.11 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 10.11. முன்னேக்கிய சார்பு மின்னழுத்தமுடைய p - n சந்தி.
⊕ ⊖ என்பன நிலையான மின்னூட்டங்கள்.
+ − என்பன நகரக்கூடிய மின்னூட்டங்கள்,

இதற்கு மாறாக n - பகுதியோடு ஒப்பிட p - பகுதிக்கு ஓர் எதிர்மின்னழுத்தத்தை அளித்தால் மின்னழுத்தத் தடுப்பு (poten-

tial barrier) மிகவும் உயர்ந்ததாகின்றது. இதனால், நிகர மின்னோட்டம் முன்னோக்கிய மின்னழுத்தச் சார்பிலுள்ளதை விட மிக மிகக் குறைவாக விருக்கும். இந்த நிலை பின்னோக்கிய மின்னழுத்தச் சார்பு (reverse bias) எனப்படும். இது படம் 10.12-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 10.12. பின்னோக்கிய மின்னழுத்தச் சார்புடைய p-n சந்தி.
⊕ ⊖ என்பன நிலையான மின்னூட்டங்கள்.
+ − என்பன நகரக்கூடிய மின்னூட்டங்கள்.

இவ்வாறாக, p-n சந்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டமானது அதன்மீது செயல்படுத்தப் பெறும் மின்னழுத்தத்தின் முனைப்பினைச் (polarity) சார்ந்திருக்கின்றது என்பதனை அறிகின்றோம். எனவே, p-n சந்தியானது ஒரு திருத்தியாக (rectifier) செயல்படுகின்றது என்பது தெரிகின்றது.

படம் 10.10-ல் காட்டப்பெற்ற p-n சந்தியானது p-பகுதியிலுள்ள மின்தொளைகளின் எண்ணிக்கையும், n-பகுதியிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் ஏறத்தாழச் சமச் செறிவில் (concentration) உள்ள ஒன்றாகும். ஆனால், p-n சந்திகள் எல்லாவற்றிலும் இவ்வாறுதானிருக்க வேண்டுமென்பதில்லை. காட்டாக, p-பகுதியைவிட n-பகுதியானது மிகுதியான கலப்புடையதாக இருக்கும்படி அமைத்தால் எலெக்ட்ரான்களின் செறிவு (concentration) அதிகமாயிருக்கும். எனவே, முன்னோக்கிய மின்னழுத்தச் சார்பின்போது சந்தியின் ஊடே மின்தொளை மின்னோட்டத்தைவிட எலெக்ட்ரான் மின்னோட்டம் மிக அதிகமாக இருக்கும். இவ்வாறாக, எலெக்ட்ரான்களை p-பகுதிக்கு உட்செலுத்தச் சந்தி உதவுகின்றது.

ஓர் எலெக்ட்ரானும் மின்தொளையும் முன் கூறியதுபோல மீண்டும் இணைந்தால் ஆற்றல் வெளிவிடப்படுகின்றது. சில குறைகடத்திகளில் இவ்வாறு மீண்டும் இணைவதால் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு நேரடியாக ஒரு ஃபோட்டானாக (photon) வெளிப்படும். இதனைப் பின்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் ;

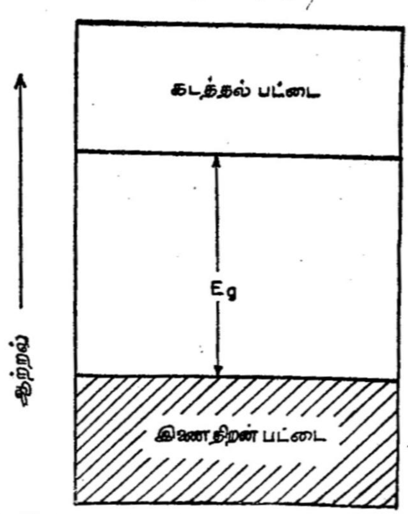
$$e^- + \text{மின்தொளை} \longrightarrow h\nu \longrightarrow (10{\cdot}2)$$

ஏனைய குறைகடத்திகளில் ஆற்றல் வெளிப்படும் முறை சிக்கலானதாக இருக்கும்; இது படிகப் பின்னலின் அதிர்வு ஆற்றலாகவும் ஃபோட்டாணுகவும் வெளிப்படலாம்.

இதிலிருந்து குறைகடத்திகளைப் பயன்படுத்திக் கதிர்வீச்சினைப் பெறமுடியும் என்பதும், எனவே தகுந்த சூழ்நிலைகளை ஏற்படுத்தி லேசர் நிகழ்ச்சியினை உண்டுபண்ணவும் கூடுமென்பதும் புலனுகின்றது.

10.3.1. நேரடியான பெயர்வு லேசர்

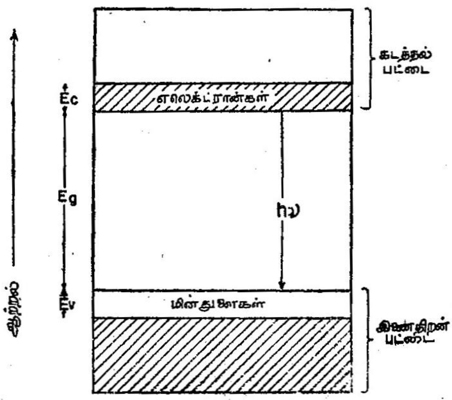
லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறச் செய்யவேண்டுமானுல் முதற்கண் தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படவேண்டும். இதனை எவ்வாறு செய்வது என்பதனை இப்போது பார்ப்போம். முதற்கண், ஒரு தூய உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியினை எடுத்துக் கொள்வோம். தாழ்ந்த வெப்ப நிலைகளில் எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் இணைதிறன் பட்டையில் கட்டுண்ட நிலையில் இருக்கும். இந் நிலையைப் படம் 10.13 காட்டுகின்றது.



படம் **10.13.** தாழ்ந்த வெப்ப நிலையில் ஓர் உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள்.

இப்போது, ஒரு குறுகிய காலம் நீடிக்கும் மின்துடிப்பு (electric pulse) ஒன்றினுலோ அல்லது ஒரு வலுவான ஒளித்தெறிப்பினுலோ

குறைகடத்தியைக் கிளர்ச்சியூட்டினால் எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தல் பட்டைக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப்பெறும்; இணைதிறன் பட்டையில் மினதொளைகள் ஏற்படும். எலெக்ட்ரான்களும் தொளைகளும் மீண்டும் ஒன்று சேர்வதற்காவதைவிடக் குறைந்த நேரத்தில் இவை ஒரு சமநிலையை எய்தும்; இதனால் படம் 10.14-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற எலெக்ட்ரான் தொளை பகிர்வு ஏற்படும்.



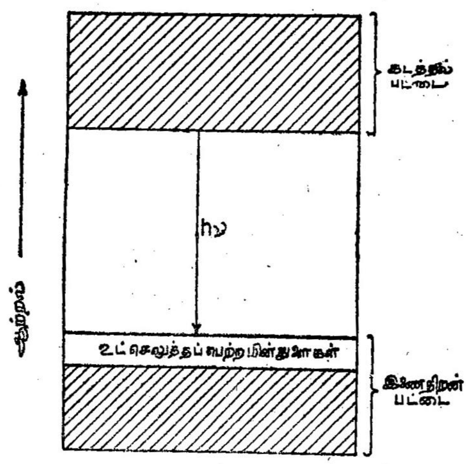
படம் **10.14.** உள்ளார்ந்த குறைகடத்தியானது ஒளியியல் முறையாலோ அல்லது மின் முறையாலோ கிளர்ச்சியூட்டப் பெறும்போது எலெக்ட்ரான் - மின்தொளைப்பகிர்வு.

இந்தச் சூழ்நிலைகளில் [கடத்தல் பட்டையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் பட்டையின் மேற்பகுதியிலுள்ள காலியான நிலைகளோடு ஒப்பிட ஒரு தலைகீழாக்கத்தைப் பெற்றுள்ளன. ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு தொளையோடு மீண்டும் சேர்ந்தால் அது கடத்தல் பட்டையிலிருந்து (conduction band) இணைதிறன் பட்டையிலுள்ள (valence band) காலியான நிலைகளுக்குத் தாழும். இத்தகைய முறையில் ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படுவதற்கான ஆற்றல் நெடுக்கத்தினை (energy range) கொள்கை அளவாலும் படம் 10.14-லிருந்து எளிதில் புரிந்துகொள்ளலாம். அதன்படி இவ்வாற்றல் நெடுக்கத்தினைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$E_g < h\nu < E_g + E_c + E_v \qquad \longrightarrow (10{\cdot}3)$$

இங்கே, E_g என்பது குறைகடத்தியின் ஆற்றல் இடைவெளி; E_c என்பது கடத்தல் பட்டையின் அடிப்புறத்தேயுள்ள நிரம்பிய மட்டங்களின் ஆற்றல்; E_v என்பது இணைதிறன் பட்டையின் மேற்புறத்திலுள்ள காலியான மட்டங்களின் ஆற்றல்.

இம்முறையிலன்றி ஒரு p-n சந்தியின் ஊடே எலெக்ட்ரான்களையோ அல்லது தொளைகளையோ மின்முறையில் உட்செலுத்துவதாலும் தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தப் பெற்றுள்ளது. ஒரு p-n சந்தியின் n-பகுதியில் தொளைகளை உட்செலுத்தினால் அவை இணைதிறன் பட்டையில் நுழைந்து அங்கே காலியான எலெக்ட்ரான் நிலைகளை ஏற்படுத்தும். இதனைப் படம் 10.15 காட்டுகின்றது.

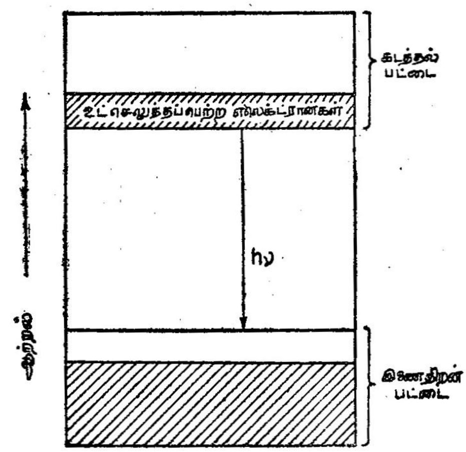


படம் **10.15.** p-n சந்தியின் n-பகுதியில் மின்தொளைகளை உட்செலுத்தித் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துதல்.

இப்போது, கடத்தல் பட்டையின் அடிப்புறத்தேயுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இந்தக் காலியான எலெக்ட்ரான் நிலைகளோடு ஒப்பிடத் தலைகீழாக்கம் பெற்றவையாகத் திகழும். இத்தகைய ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு மின்தொளையுடன் சேரும்போது இந்த இணைதிறன் நிலைகளில் ஒன்றுக்குத் தாழும். வழக்கம்போல, ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரான்-தொளை மீண்டும் சேர்தல் நிகழ்ச்சியின்போதும் ஒரு ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படும்.

இதேபோன்று, p-n சந்தியின் p-பகுதியில் எலெக்ட்ரான்களை உட்செலுத்தினால் அவை கடத்தல் பட்டையினுள் நுழையும்; கடத்தல் பட்டைக்கும் அரைகுறையாக நிரம்பிய இணைதிறன் பட்டைக்கும் இடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படும். இதனைப் படம் 10.16 காட்டுகின்றது.

கடத்தல் பட்டையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் பட்டையிலுள்ள மின் தொளைகளுடன் மீண்டும் சேரும்போது ஃபோட்டான் வெளிவிடப்படுகின்றது.



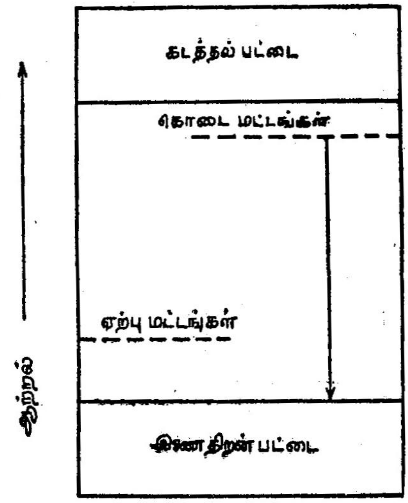
படம் **10.16.** p - n சந்தியின் p - பகுதியில் எலெக்ட்ரான்களை உட்செலுத்தித் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துதல்.

படங்கள் 10.15, 10.16 ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ள ஆற்றல்மட்ட விளக்கப் படங்கள் ஒரு தூய குறைகடத்திக் குரியன. ஆனால் n - வகை, p - வகைக் குறைகடத்திகளை உண்டாக்க வேண்டின் வேற்றுப் பொருள்களைக் கலக்க வேண்டுமென முன்னரே கண்டோம். இவ்வாறு வேற்றுப் பொருள்களைக் கலப்பதால் இணைதிறன் பட்டைக்கு மேலும், கடத்தல் பட்டைக்குக் கீழும் கூடுதலான ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 10.7 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளதுபோன்று ஏற்படும். இத்தகைய கலப்புடைய அமைப்புகளில் எலெக்ட்ரான் - மின் தொளைச் சேர்க்கையால் வெளிவிடப்பெறும் ஃபோட்டான் ஆற்றலானது ஆற்றல் இடைவெளியைவிடக் குறைவாக இருக்கும். அஃதாவது,

$$h\nu < E_g \qquad \longrightarrow (10{\cdot}4)$$

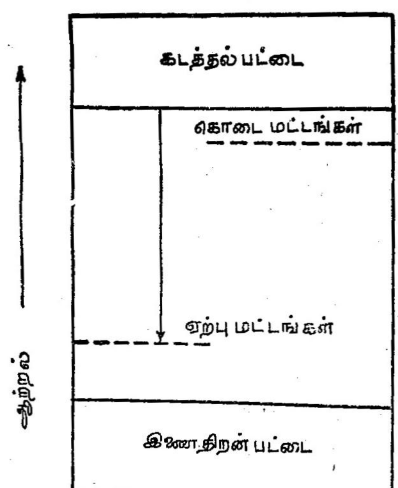
படங்கள் 10.15, 10.16 ஆகியவற்றில் காட்டியுள்ளது போன்றவை மட்டுமல்லாது வேறு பெயர்வுகளும் இருக்குமாதலால் இவ்வாறு குறைந்த ஆற்றல் வெளிப்படுவது இயல்பே. இத்தகைய பெயர்வுகள் படங்கள் 10.17, 10.18, 10.19 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

படம் 10.17 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது ஒரு கொடை மட்டத்திலிருந்து இணைதிறன் பட்டைக்கு ஏற்படும் பெயர்வாகும்.



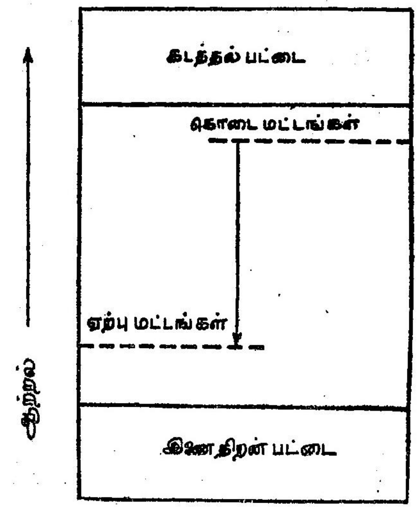
படம் 10.17. வேற்றுப்பொருள் கலந்த குறைகடத்தியில் கொடை மட்டத்திலிருந்து இணைதிறன் பட்டைக்கு ஏற்படும் பெயர்வு.

கடத்தல் பட்டையிலிருந்து ஓர் ஏற்பு நிலைக்கு ஏற்படும் பெயர்வினைப் படம் 10.18 காட்டுகின்றது.



படம் 10.18. வேற்றுப் பொருள் கலந்த குறைகடத்தியில் கடத்தல் பட்டைக்கும் ஏற்பு மட்டத்திற்கும் இடையே ஏற்படும் பெயர்வு.

கொடை மட்டத்திலிருந்து ஏற்பு மட்டத்திற்கு ஏற்படும் பெயர்வினைப் படம் 10.19 காட்டுகின்றது. கேலியம் ஆர்செனைடில்



படம் 10.19. வேற்றுப் பொருள் கலந்த குறைகடத்தியில் கொடை மட்டத்திற்கும் ஏற்பு மட்டத்திற்கும் இடையில் ஏற்படும் பெயர்வு.

செய்யப்பெற்ற சோதனைகள் படம் 10.19 - ல் காட்டியுள்ளது போன்ற பெயர்வுகள் ஏற்படுகின்றன வென்று காட்டியுள்ளன.

நாம் முன்னரே கூறியதுபோல முதன்முதலாகக் கி.பி. 1962 - ல் தான் முன்னோக்கிய மின்னழுத்தச் சார்புடைய *p* - *n* சந்தியில் லேசர் நிகழ்ச்சி கண்டறியப்பட்டது. அதனைத் தொடர்ந்து III—V வது தொகுதிகளைச் சார்ந்த பல்வேறு குறைகடத்திகளிலும் G*a* (A*s* - P), I*n* A*s*, I*n* P, (G*a* - I*n*) A*s* போன்ற உலோகக் கலவைகளிலும் (Alloys) லேசர் நிகழ்ச்சி கண்டறியப் பெற்றுள்ளன. இந்தப் பல்வேறு பொருள்களிலும் கிடைக்கும் அலை நீளங்கள் அட்டவணை 10.2 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

10.3.2. கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடு லேசர்

p - *n* சந்தி லேசர்களில் எவ்வாறு தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தக்கூடுமென்பதனையும் அதிலிருந்து ஃபோட்டான்கள் எவ்வாறு ஏற்படக்கூடுமென்பதனையும் பார்த்தோம். இப்போது அதன் அமைப்பு முறையினையும் செயல்திறனையும் காண்போம்.

அட்டவணை 10.2

p - n சந்தி லேசர்கள்

எண்	லேசர் பொருள்	செயல்படும் அலைநீளம் மைக்ரான்களில்	குறிப்பு
1.	GaAs	≃ 0·9020 ≃ 0·8425 ≃ 0·8370	கொடையாளி, ஏற்பிச் செறிவு ≃ 10^{18}/செ.மீ. [3]
2.	GaAs	≃ 0·8240	கொடையாளி, ஏற்பிச் செறிவு ≃ 10^{16}/செ.மீ. [3]
3.	$GaAs_{1-x}P_x$	0·7100	கொடையாளிச் செறிவு > 10^{18}/செ.மீ. [3] செயல்படும் அலைநீளம் சேர்க்கையைப் பொறுத்தது.
4.	$In_xGa_{1-x}As$	2·07 1·77	செயல்படும் அலைநீளம் சேர்க்கையைப் பொறுத்தது.
5.	InAs	3·1500 3·1120	காந்த முறையால் 3·1168 மைக்ரான்களுக்கும் 3·1125 மைக்ரான்களுக்கும் இடையில் இசைவிக்கக்கூடியது.
6.	InP	≃ 0·9100 ≃ 0·9030	
7.	$InP_{0.49}As_{0.51}$	1·602	கொடையாளிச் செறிவு = $1{\cdot}4 \times 10^{19}$/செ.மீ. [3]
8.	InSb	5·18	காந்த முறையால் இசைவிக்கக்கூடியது.

p-n சந்தி உட்செலுத்தும் லேசர் p - n junction injection laser) என்பது ஒரு சாதாரண p - n சந்தியே யாகும். இதன் முனைப்பக்கங்கள் ஒளியியல் அடிப்படையில் மிகவும் தட்டையாகவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும் இருக்கும்படி அமைக்கப் பெற்றிருக்கும். இதனால், ஃபேப்ரி - பெரோ (Fabry - Perot)

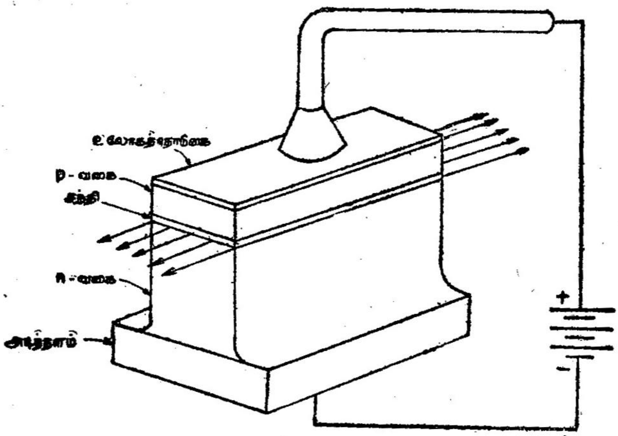
வகையைச் சார்ந்த எதிரொளிக்கும் அமைப்பாக இப் பக்கங்கள் செயல்படுகின்றன. இதன் நடைமுறை அமைப்பு விவரங்களைக் கேலியம் ஆர்செனைடு லேசர் ஒன்றின் துணைகொண்டு விளக்குவோம்.

சிலிக்கான் (silicon), ஜெர்மானியம் (germanium), செலினியம் (selenium) அல்லது டெலூரியம் (tellurium) போன்ற n-வகை வேற்றுப்பொருள் கலப்புடைய கேலியம் ஆர்செனைடு படிகம் ஒன்று எடுத்துக்கொள்ளப்பெறும். இது பல மெல்லிய தகடு களாக (thin wafers) வெட்டப்படும். இம் மெல்லிய தகடுகளின் தளமானது ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட (110) தளங்களுக்கு நேர்க்குத்தாக (perpendicular) இருக்கும்படி வெட்டப்படும். இந்த மென்தகடுகளின் புறப்பரப்பானது குறைபாடுகளின்றி விரவலுக்கு (diffusion) ஏற்ற வகையில் தட்டையாகவும், வழுவழுப்பாகவும் இருக்கும்படி தேய்த்துப் பளபளப்பாக மெருகூட்டப்பெறும். பிறகு நாகம் (zinc) போன்ற ஒரு p-வகை வேற்றுப் பொருளானது n-வகை மென்தகட்டின் புறப்பரப்பின் (surface) ஊடே விரவிச் செல்லும்படி செய்யப்படும். இவ்வாறு p-வகை வேற்றுப் பொருள் விரவலுக்கென நன்கு வெற்றிடமாக்கப்பட்ட 10 செ.மீ.^{3} குழாயும், 10^{-2} கிராம் $ZnAs_2$-உம், பல n-வகை மென்தகடுகளும் பயன்படுத்தப்பெறும். விரவல் வழக்கமாக 850° சென்டிகிரேடு வெப்பநிலையில் ஏறத்தாழ மூன்று மணி நேரம் நடைபெறும்படி செய்யப்படும்.

விரவலுக்குப் பின்னர் மென்தகடுகளின் ஒரு பக்கம் தேய்க்கப் பட்டுப் புறப்பரப்பு p-படலம் (surface p-layer) நீக்கப்பெறும். பிறகு மென்தகட்டிலிருந்து (110) தளங்களில் நீண்ட கம்பிகள் பிளந்து எடுக்கப்படும். இக் கம்பிகளின் பிளவுறு பக்கங்கள் (cleavage faces) ஒளியியல் அடிப்படையில் தட்டையாகவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும் இருக்கும். இவை எதிரொளிப் பான்களாகச் செயல்படுகின்றன. பிறகு கம்பியானது சிறு துண்டு களாகப் பிளவுறு பக்கங்களுக்கு நேர்க்குத்தான திசைகளில் அறுக்கப்படும்.

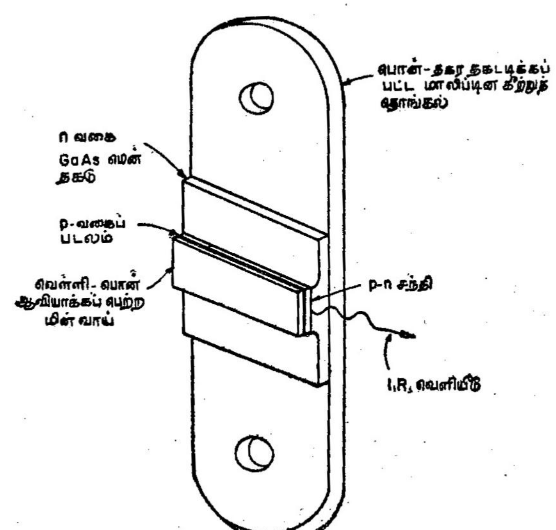
கேலியம் ஆர்செனைடின் ஒளிவிலகலெண் (refractive index) உயர்வானதானதால் இத் துண்டுகளின் முனைகளின்மீது எதி ரொளிக்கும் பூச்சுகள் (reflecting coatings) பூசவேண்டிய தேவை யில்லை. இவ்வாறு உருவாக்கப்பெற்ற p-n சந்தியைக்கொண்டு

அமைக்கும் லேசர் அமைப்பு, படம் 10.20-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. இந்த லேசரில் சந்தியின் முழுப்பரப்பும் 10^{-4} செ. மீ.²



படம் **10.20.** குறைகடத்திச் சந்தி லேசரின் அமைப்பு.

எனுமளவில்தான் இருக்குமென்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இதில் கொடையாளிச் செறிவு ஒரு கன செ. மீட்டருக்கு $0{\cdot}6 \times 10^{18}$ லிருந்து 5×10^{18} வரை இருக்கும். ஏற்பிச் செறிவு 5×10^{18}/செ. மீ.³ என்ற அளவிலிருக்கும்.



படம் 10.21. கேலியம் ஆர்செனைடு லேசர் டையோடின் பிறிதொரு வகை.

படம் 10.20 - ல் காட்டிய அமைப்பேயன்றி வேறு வகை அமைப்புகளும் உருவாகியுள்ளன. கி.பி. 1963 - ல் பெரிதும் விரும்பப்பட்ட ஓர் அமைப்பு, படம் 10.21 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

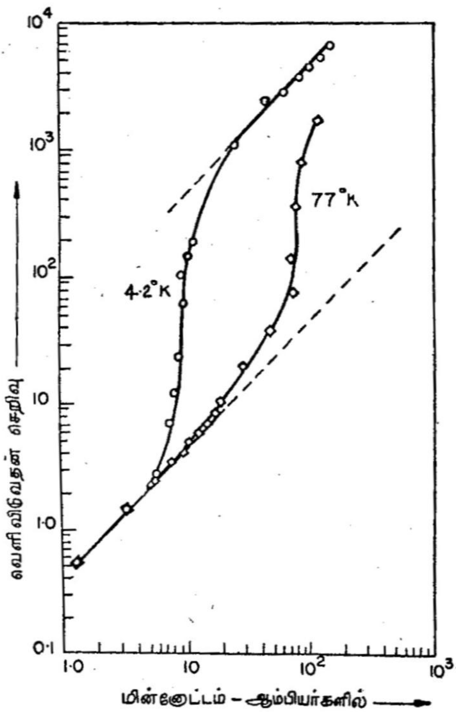
இதில், சந்தியானது 1.5 மி. மீ. $\times$ 0.5 மி. மீ. எனும் அளவினை யுடையது. சந்தியின் குட்டையான பக்கங்கள் பளபளப்பாக மெருகிடப்பட்டும், தட்டையாகவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வும் இருக்கும்படி செய்யப்பெற்றிருக்கும்.

கேலியம் ஆர்செனைடு லேசர் டையோடுகளின் திறனைக் கையாளும் திறமை ((pɔwer handling capacity) சிறியது. ஏனெனில், சந்தியில் உண்டாகும் வெப்பம் எளிதில் வெளியேற்றப் படுவதில்லை. வழக்கமாக இந்த லேசர் 77° கெல்வின் வெப்ப நிலையி லுள்ள திரவ நைட்ரஜனிலோ அல்லது 4·2° கெல்வின் வெப்ப நிலையிலுள்ள திரவ நைட்ரஜனிலோ அமிழ்த்தி வைக்கப்பட் டிருக்கும். சந்தியின் இரு பக்கங்களுக்கும் இடையே ஒரு மின்புலம் உண்டாக்கப்பெறும். இதற்கெனச் சில மைக்ரோ நொடிகளோ அல்லது ஒரு மைக்ரோ நொடிக்கும் குறைந்த காலமோ (0.5 மைக்ரோ நொடிகள்) நீடிக்கும் மின் துடிப்புகள் பயன்படுத்தப் பெறும். இந்த மின்துடிப்புகள் (pulses) ஒரு நொடிக்குப் பத்துத் துடிப்புகளிலிருந்து ஒரு நொடிக்கு 1000 துடிப்புகள் என்பதற் குட்பட்ட வீதத்தில் செலுத்தப்பெறும்.

கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடு லேசர்களின் பயன் தொடக்க மின்னோட்ட அடர்த்திகள் வழக்கமாக 800 ஆம்ப்பி யர்கள்/செ. மீ.^{2} - லிருந்து 10,000 ஆம்ப்பியர்கள்/செ. மீ.^{2} வரை இருக்கும். லேசர் வெளியீடு 8400 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்களுக்கு அண்மை யில் ஒரு குறுகிய நெடுக்கத்தில் (range) கிடைக்கும். வெளிவிடப் படும் கதிர்வீச்சின் செறிவு (intensity) மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்திருக்கும். இது படம் 10.22 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

77° கெல்வின் வெப்பநிலையில் கதிர்வீச்சின் செறிவு மின் னோட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். மின்னோட்ட அடர்த்தி (current density) 10^4 ஆம்ப்பியர்கள்/செ. மீ.^{2} வரை, அஃதாவது 90 ஆம்ப்பியர் மின்னோட்டம் வரைதான் இவ்வாறிருக்கும். மின் னோட்ட அடர்த்தி இதற்கு மேலும் உயர்ந்தால் கதிர்வீச்சின் செறிவு விரைந்து உயரும். லேசர் வெப்பநிலை 4·2° கெல்வினுகக்

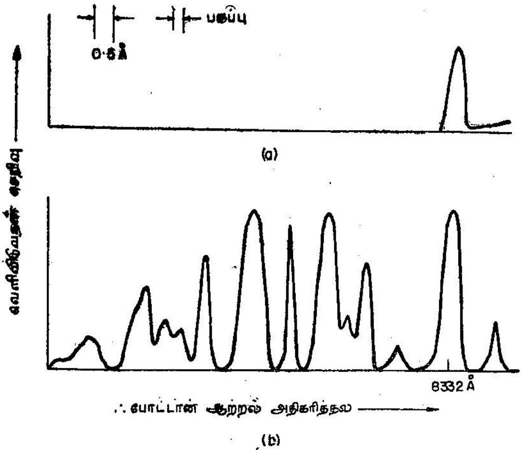
குறைந்தால் பயன் தொடக்க மதிப்பும் (threshold value) 1500 ஆம்ப்பியர்கள்/செ. மீ.² (12 ஆம்ப்பியர்கள்) ஆகக் குறையும். பயன் தொடக்க மதிப்பைவிட மிக அதிகமான மின்னோட்டங்களில் செறிவு மீண்டும் மின்னோட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கக் காணலாம்.



படம் 10.22. கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்விச்சின் செறிவுக்கும் மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள தொடர்பு.

இந்த டையோடின் குவான்டம் பயனுறு திறன் (quantum efficiency) ஏறக்குறைய ஒன்றாக இருக்கிறதென, அஃதாவது டையோடின் வழியாகப் பாயும் ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் சந்தியின் பளபளப்பான பக்கங்களிலிருந்து ஏறக்குறைய ஒரு ஃபோட்டானை வெளிவிடச் செய்கின்றதென அளவீடுகள் காட்டுகின்றன. குவிஸ்ட் (Quist) என்பார் செய்த சோதனைகளில் 190 ஆம்ப்பியர்கள் மின்னோட்டம் உள்ளிடப் பெற்றபோது 280 வாட்டுகள் உச்சக் கதிர்வீச்சுத் திறன் கிடைத்தது.

இந்த லேசரின் புறச்சிவப்பு வெளிப்பாட்டுக் கதிர்வீச்சின் நிறமாலை வடிவம் படம் 10.23 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. கீற்றணி நிறமாலை வரைவியினைக் (grating spectrograph) கொண்டு



படம் 10.23. கேலியம் ஆர்செனைடு லேசரின் வெளிவிடு நிறமாலை.

எடுக்கப்பட்ட வெளிப்பாட்டின் ஒளிப்படங்களிலிருந்து (photographs) அளக்கப்பெற்ற மதிப்புகளைக்கொண்டு இப் படம் வரையப்பெற்றுள்ளது.

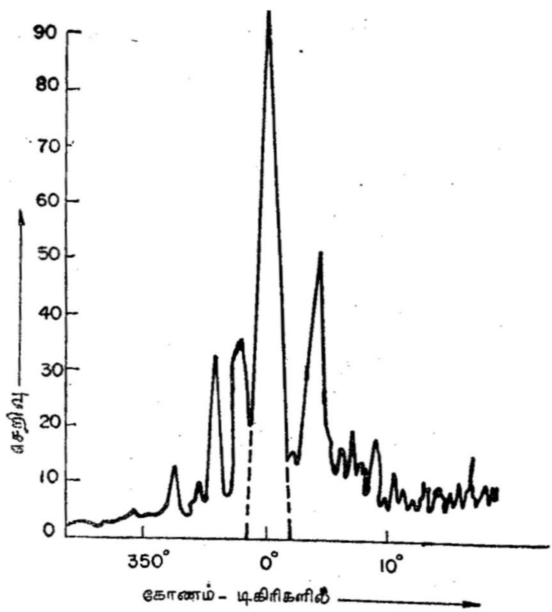
இந்த நிறமாலை வரைவியின் பகுப்பு (resolution) 0·2 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள் ஆகும். பயன் தொடக்க மதிப்பிற்குத் தாழ்ந்த மின்னோட்டங்களில் (20 ஆம்ப்பியர்கள்), 4·2° கெல்வின் வெப்பநிலையில் 8332 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தில் ஒரேயொரு வரிமட்டிலும் காணப்பட்டது. இதனைப் படம் 10·23 (*a*) காட்டுகின்றது.

பயன் தொடக்கத்தினைவிட உயர்ந்த மதிப்புகளில் (40 ஆம்ப்பியர்கள்) தனித்தனியான பல வெளிவிடு வரிகள் (emission lines) கிடைத்தன. இவை 20 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள் அளவு பரந்த பகுதியில் உள்ளன. இவற்றைப் படம் 10.23 (*b*) காட்டுகின்றது.

பயன் தொடக்கத்தைவிட உயர்ந்த மதிப்புள்ள மின்னோட்டங்களைப் பயன்படுத்தினால் வரிகள் குறுகுவதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. பயன் தொடக்கத்திற்கு மேற்பட்ட நிலையில் புறச்

சிவப்புக் கதிர்வீச்சு முழுவதும் அனேகமாகச் சந்தியின் தளத்திலேயே வெளிவிடப்படுவதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இது கதிர்வீச்சினது ஓரியல் பண்பினை (coherency) நிலை நாட்டுகின்றது.

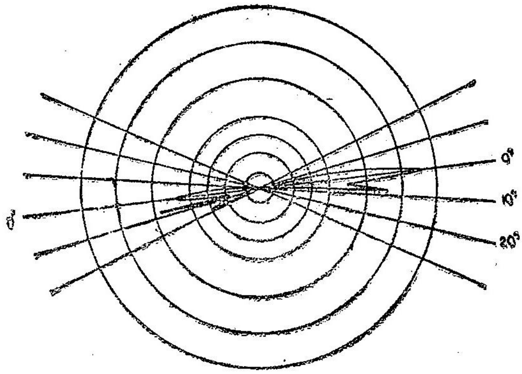
கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடு லேசர்களின் கதிர் வீச்சு அமைப்பினை (radiation pattern) மேற்கொண்டு கிங்க்ஸ்லே (Kingsley), ஃபென்னர் (Fenner) ஆகியோர் ஆராய்ந்துள்ளார்கள். சந்தியின் தளத்தில் எடுக்கப்பெற்ற கதிர்வீச்சு அமைப்பு, படம் 10.24 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. ஏறத்தாழ 1° அகலமுடைய



படம் 10.24. கேலியம் ஆர்செனைடு லேசர் வெளிவிடும் ஓர் அலை நீளத்தின் (λ = 8412 Å) கதிர்வீச்சு அமைப்பு - சந்தியின் தளத்தில் அளக்கப்பெற்றது - வெப்பநிலை 77° கெல்வின்.

பல கற்றைகள் (beams) பல குறுகிய கற்றைகளோடுகூடச் சேர்ந்து காணப்பெற்றன. இவை சேர்ந்த மொத்தக் கதிர்வீச்சின் கற்றை அகலம் (beam width) ஏறத்தாழ 20° ஆக இருந்தது. சந்தியின் தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான தளத்தில் கதிர்வீச்சு மடல்கள் (radiation lobes) இதைவிட அதிக அகலமுடையனவாகக் காணப் பெற்றன. இதனைப் படம் 10.25 காட்டுகின்றது.

பயன் தொடக்கத்திற்கு மேற்பட்ட நிலையில் மின்னோட்டம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க வரி அகலம் குறையுமென்று முன்னரே



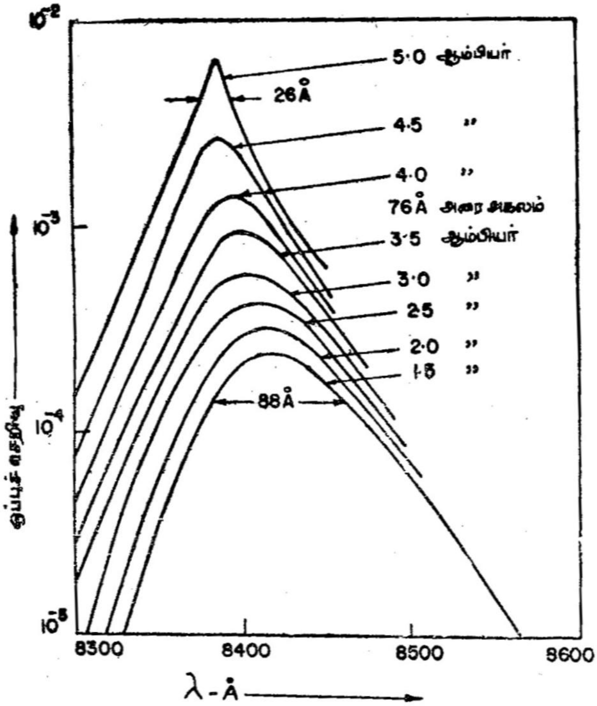
படம் **10.25.** கேலியம் ஆர்செனைடு லேசர் வெளிவிடும் ஓர் அலை நீளத்தின் கதிர்வீச்சு அமைப்பு - சந்திக்கு நேர்க்குத்தான தளத்தில் அளக்கப்பெற்றது - வெப்பநிலை 77° கெல்வின்.

சொன்னோம். அதுபோலப் பயன் தொடக்கத்திற்கு மிகவும் கீழ்ப் பட்ட மதிப்புகளிலும் மின்னோட்டம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க வரி அகலம் குறையும். இதனைப் படம் 10.26 காட்டுகின்றது.

மிகத் தாழ்ந்த மின்னோட்டங்களில் தன்னிச்சையான வெளி யீட்டினது வரி அகலம் 88 Å ; மின்னோட்டம் 5 ஆம்ப்பியர்களாக உயரும்போது இது 26 Å ஆகக் குறைகின்றது. சந்தியினுல் உருவாகும் ஒத்ததிர்வானது பல பாணிகளில் (modes) அலைவுறுவ தால் வரிகளுக்கு அகலம் உண்டாகின்றது. பயன் தொடக்கத் திற்குச் சற்று மேலே, ஒரு குறிப்பிட்ட பாணியில் மட்டும் அலைவுறு தற்குப் போதுமான பெருக்கம் இருக்கும்போது, அந்தப் பாணியில் வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சின் செறிவானது (intensity) மின் னோட்டம் உயரும்போது திடீரென உயரும். அஃதாவது, மின் னோட்டம் சிறிது உயர்ந்தாலும் கதிர்வீச்சின் செறிவு பன்மடங்கு உயரும். மின்னோட்டம் 2% ஆக மாறும்போது செறிவு பத்து மடங்கு உயர்வதாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதனைப் படம் 10.27 விளக்குகின்றது.

நாம் இதுகாறும் பார்த்ததிலிருந்து திடப்பொருள் லேசர்கள், வாயு லேசர்கள் போன்றவற்றோடு ஒப்பிடக் குறைகடத்தி டையோடின் சிறப்புப் பண்புகள் புலனாகின்றன. அவையாவன:

குறைகடத்தி டையோடில் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்துவதற்கு அதன் ஊடே நாம் ஒரு மின்னோட்டத்தைப்

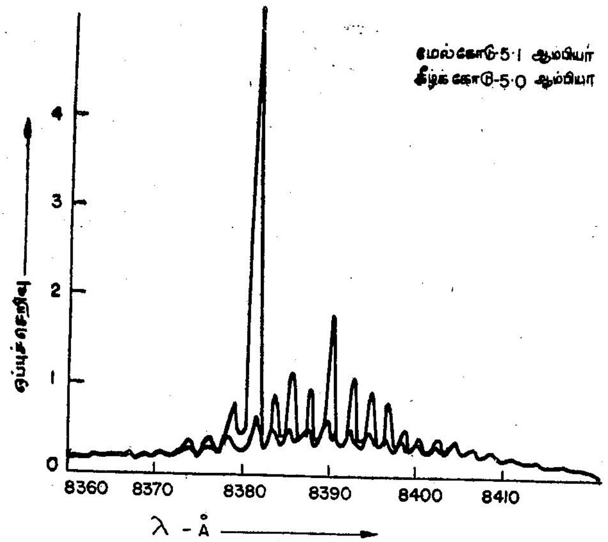


படம் 10.26. கேலியம் ஆர்செனைடு லேசரின் வெளிவிடு நிறமாலை - பயன் தொடக்கத்திற்குக் கீழே வரி அகலம் குறைவதனைக் காட்டுகின்றது.

பாய்ச்சுகின்றோம். எனவே, இம் மின்னோட்டத்தைப் பண்பேற்றம் (modulation) பெறும்படி செய்தால் லேசரின் வெளிப்பாட்டு ஒளியினது செறிவும் அதே பண்பேற்றமுடையதாக விருக்கும். எனவே, மற்ற லேசர்களைப் பயன்படுத்தும்போது தேவைப்படக் கூடிய தனியான பண்பேற்றிகள் (modulators) இங்குத் தேவையில்லை.

இரண்டாவதாக, குறைகடத்தி லேசர்கள் மிகச் சிறிய உருவமுடையவை ; வேறெந்த லேசரும் இவ்வளவு சிறியதாக இராது. எனவே, லேசர்களைப் பயன்படுத்தும் இடங்களில் எங்கெல்லாம் இடம் ஒரு பிரச்சினையாக உள்ளதோ அங்கெல்லாம் இதனைப் பயன்படுத்தலாம்.

அடுத்து, குறைகடத்தி லேசர்கள் மின்சாரத்தை நேரடியாக ஒளியாக மாற்றுகின்றன. மற்ற லேசர்கள் இவ்வாறல்ல. இவற்றில் மற்றவற்றிலுள்ளதுபோல ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு களைப் (flash lamps) பயன்படுத்துவதில்லையாதலால் இவை திடப்



படம் 10.27. கேலியம் ஆர்செனேடு லேசரில் அலைவுகள் ஏற்படத் தொடங்குகையில் மின்னோட்ட மாறுதலை யொட்டி வெளிப்பாட்டுச் செறிவில் ஏற்படும் மாற்றம்.

பொருள் லேசர்களையோ அல்லது வாயு லேசர்களையோவிட மிகுந்த பயனுறுதிறம் (Efficiency) உடையவை. உள்ளிடும் ஆற்றல் முழுவதுமே கதிர்வீச்சாக வெளிவருகின்றது ; இக் கதிர் வீச்சில் குறைந்தது 50% ஆவது ஓரியல் கதிர்வீச்சாக இருக்கும்.

மேலும், இவை நிறமாலையின் புறச்சிவப்பு அல்லது கண் காணும் பகுதிகளில், உயர்திறன் மட்டங்களில் செயல்பட முடியும். இவற்றின் வெளிப்பாட்டுத் திறனை மின்னோட்டத்தினைச் சரிசெய் வதன் வாயிலாகக் கட்டுப்படுத்த முடியும்.

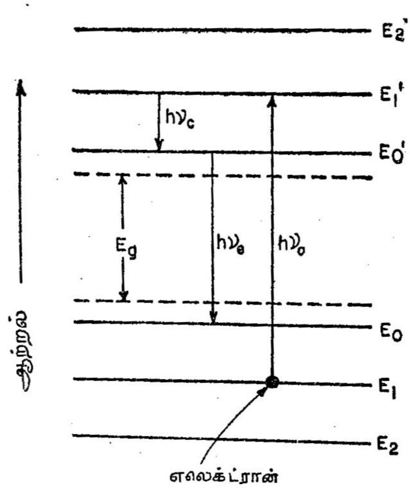
இவையேயன்றிப் பிறிதொரு நன்மையுமுண்டு. வெளிப் பாட்டுக் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணைக் காந்தப் புலங்களைப் பயன் படுத்துதல், வெப்பநிலையை மாற்றுதல், குறைகடத்தியின் வேதி யியல் அமைப்பினை (chemical composition) மாற்றுதல் போன்ற ஏதேனுமொரு முறையால் மாற்ற முடியும். கலப்புப் படிகமான

$GaAs_{1-x}P_x$ லேசர் இத்தகைய வொன்றே. இது வெளிவிடும் கதிர்வீச்சினைப் பாஸ்பரசைப் (phosphorus) சேர்ப்பதால் புறச் சிவப்புப் பகுதியிலிருந்து கண் காணும் பகுதிக்கு மாற்ற முடியும்.

சந்தி லேசர்களின் ஒரு பெருங் குறைபாடு நாம் பெரிதும் விரும்பும் திறன் வெளிப்பாட்டைப் பெறவேண்டின் இவை தாழ்ந்த வெப்ப நிலைகளில் வைக்கப்பட வேண்டுமென்பதே.

10.4. காந்த - ஒளியியல் லேசர்

ஒரு குறைகடத்தியினை ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைத்தால் அதன் ஆற்றல் பட்டைகள் படம் 10.28 - ல் காட்டியுள்ளதுபோல மாறும்.



படம் 10.28. காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பெற்ற குறைகடத்தியின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

E_g என்பது ஆற்றல் இடைவெளி ;

$h\,v_a$ என்பது ஏற்கும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் ;

$h\,v_c$ என்பது சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்ணில் (v_c) வெளிவிடப்படும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல்.

காந்தப் புலத்திற்கு நேர்க்குத்தான திசையிலுள்ள ஆயங்களில் (coordinates) ஆற்றல் மட்டங்கள் குவான்டப் படுத்தப்பெறுவதால் இதனைக்கொண்டு குறைகடத்தி லேசரை இசைவிக்க முடியும் (tune). காந்தப் புலத்தின் திசையிலுள்ள ஆயங்களைப் புறக்கணித்துவிட்டால் கடத்தல் பட்டை (conduction band),

இணைதிறன் பட்டை (valence band) ஆகியவற்றிலுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களைப் பின்கண்டவாறெழுதலாம் :

$$E_c = E_g + (v + \tfrac{1}{2})\, h\nu_c \qquad \longrightarrow (10{\cdot}5)$$

$$E_v = -\,(v + \tfrac{1}{2})\, h\nu_v \qquad \longrightarrow (10{\cdot}6)$$

இங்கே v என்பது ஒரு குவான்டம் எண் (quantum number); ν_c, ν_v என்பன முறையே எலெக்ட்ரான், மின்தொளை ஆகியவற்றின் சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்கள் (cyclotron frequencies). இந்தச் சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்களைப் பின்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம் :

$$\nu_c = \frac{eH}{2\,\pi\, m_e C} \qquad \longrightarrow (10{\cdot}7)$$

$$\nu_v = \frac{eH}{2\,\pi\, m_v C} \qquad \longrightarrow (10{\cdot}8)$$

இங்கே e என்பது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்; H என்பது காந்தப்புலத்தின் வலு; m_e, m_v என்பன முறையே எலெக்ட்ரான், மின்தொளை ஆகியவற்றின் செயலுறு நிறைகள் (effective masses); C என்பது ஒளியின் திசைவேகம் (velocity).

காந்தப்புலத்தை அதிகரித்தால் ஆற்றல் இடைவெளியும் பின்கண்ட அளவு ($\triangle E_g$) அதிகரிக்கும் :

$$\triangle E_g = \tfrac{1}{2} h\, (\nu_c + \nu_v) \qquad \longrightarrow (10{\cdot}9)$$

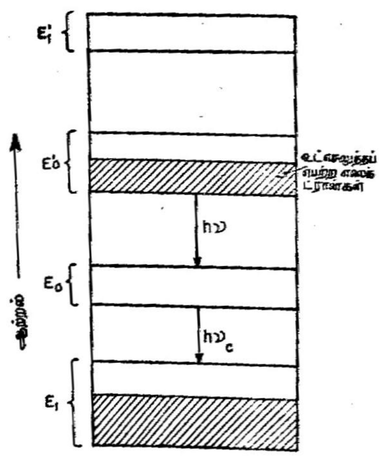
இண்டியம் ஆன்டிமொனைடு (indium antimonide), இண்டியம் ஆர்செனைடு (indium arsenide) போன்ற குறைகடத்திகளின்மீது 100,000 ஓர்ஸ்டெடுகள் (oersteds) வலுவுள்ள காந்தப் புலத்தைச் செலுத்தினால் ஆற்றல் இடைவெளியானது ஏறத்தாழ நூற்றுக்குப் பத்துப் பங்கு (10%) அதிகரிக்கும். இன்றைய தொழில்நுட்ப வளர்ச்சியையொட்டி அடையக்கூடிய உயர்ந்த காந்தப்புலங்களைப் பயன்படுத்தி 30% அளவு ஆற்றல் இடைவெளியை அதிகரிக்கலாம்.

ஒளியியல் ஏற்றத்தைப் பயன்படுத்தும் சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசர் (cyclotron resonance laser) செயல்படுவதற்

கான ஒரு முறை வகுக்கப்பட்டுள்ளது. அதனைப் படம் 10.28 விளக்குகின்றது.

இத்தகைய லேசரில் வலுவான ஒளியியல் மூலத்தைப் (cptical source) பயன்படுத்தி இணைதிறன் பட்டையில் E_1 ஆற்றல் மட்டத்தி லுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தல் பட்டையிலுள்ள E'_1 ஆற்றல் மட்டங்களுக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறுகின்றன. இதன் பயனாக, E_1', E_0' ஆகிய ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுகின்றது. சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்ணில் (v_c) ஒத்ததிர்வுடைய ஒரு கட்டமைப்பைப் (structure) பயன் படுத்தினால், இப்போது சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்ணில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறக்கூடும். சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசர் தொடர்ச்சியாகச் செயல்பட வேண்டுமானால் படம் 10·28-ல் காட்டியுள்ள E_0', E_0 ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே ஏற்படும் பட்டையிடைப் பெயர்வினைப் (interband transition) பயன்படுத்து வது இன்றியமையாததாகும்.

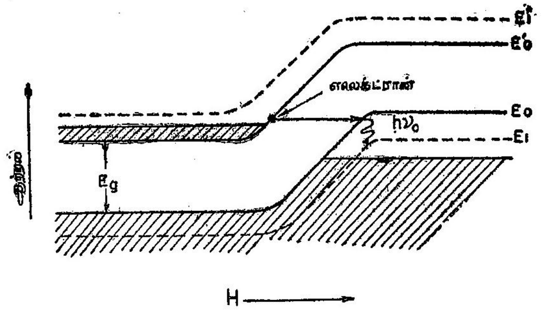
சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசரின் மின் முறையிலும் ஏற்றத்தை (pumping) நடத்த முடியும்; *p—n* சந்தியினது *p*-பக்கத்திற்குள் எலெக்ட்ரான்களை உட்செலுத்தலாம். அப்போது ஏற்படும் பெயர்வுகளைப் படம் 10.29 காட்டுகின்றது.



படம் 10 29. மின் ஏற்றத்தைப் பயன்படுத்தும் சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசரின் ஆற்றல் மட்டங்களும் பெயர்வுகளும்.

கடத்தல் பட்டையின் ஆற்றல் மட்டமாகிய E_0'-லிருந்து இணைதிறன் பட்டை ஆற்றல் மட்டமாகிய E_0-க்கு ஏற்படும் பெயர்வானது E_0 மட்டத்தின் தொகையினை அதிகரிக்கின்றது. இதனால் E_0 மட்டத்தின் தொகை E_1 மட்டத்தின் தொகையைவிட அதிகமாகின்றது. எனவே, ν_c அதிர்வெண்ணில் சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு பெயர்வுகளைத் தூண்ட முடியும்; சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசரை அமைக்க முடியும்.

இதுவேயன்றி வேறொரு வகையிலும் மின்முறை ஏற்றத்தை (electrical pumping) ஏற்படச் செய்யலாம். இதற்குப் புழல் டையோடை (tunnel diode) லேசர் பொருளாகப் பயன்படுத்த வேண்டும். இந்தப் புழல் டையோடில் n-வகை, p-வகை வேற்றுப் பொருள்கள் உயர்ந்த செறிவில் இருக்கும். அத்தகைய பொருளில் வேற்றுப் பொருள்களின் உயர்ந்த செறிவின் காரணமாகச் சந்தியின் இரு பக்கங்களையும் சார்ந்த ஆற்றல் பட்டைகளும் செங்குத்தான (vertical) திசையில் இடப்பெயர்ச்சியடையும். எனவே, முன்னோக்கிய திசையில் ஒரு சிறு மின்னழுத்தத்தைத் தொழிற்படுத்தினாலும் n-பகுதியிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் விலக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியினூடே புகுந்து p-பகுதியிலுள்ள இணைதிறன் பட்டையின் காலியான நிலைகளுக்குச் செல்ல முடியும். இந்தச் செயல்முறை படம் 10.30-ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது.



படம் **10.30.** ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள புழல் டையோடில் ஆற்றல் மட்டங்களும் பெயர்வுகளும்.

இவ்வாறு E_0' மட்டத்திலிருந்து E_0 மட்டத்திற்குப் பெயர்வு ஏற்பட வேண்டுமானால் மின்புலமும் காந்தப்புலமும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கவேண்டும். இவ்வாறிருந்தால்

$E_0' \rightarrow E_0$ பெயர்வு அனுமதிக்கப்படும். இத்தகைய $E_0' \rightarrow E_0$ பெயர்வினல் இணைதிறன் பட்டையிலுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களாகிய E_0, E_1 ஆகியவற்றினிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுகின்றது ; ஒத்ததிர்வு லேசர் கட்டமைப்பைப் பயன்படுத்தினல் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்ணில் (v_c) hv_c ஆற்றலில் ஓரியல் கதிர்வீச்சு வெளிவிடப்படும்.

11. திரவ லேசர்கள்

11. 1. திரவ லேசர்கள்

அருமண் அயனிகளில் (rare earth ions) நிரப்பப் பெறுத 4*f* எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவற்றோடு தொடர்புகொண்ட ஆற்றல் மட்டங்களைப் பயன்படுத்தி லேசர் நிகழ்ச்சியைப் படிகங்களில் சாதாரணமாகத் தூண்டலாமென முன்னரே கண்டோம். இந்த அருமண் அயனிகளை ஒரு கரைப்பானில் கரைத்தால் இவற்றின் இந்த 4*f* ஆற்றல் மட்டங்கள் மாறுவதில்லை. எனவே, படிகங்களிலும் கண்ணுடியிலும் நடைபெற்றது போன்று திரவங்களிலும் ஒளியியல் ஏற்றத்தால் லேசர் நிகழ்ச்சியை ஏற்படுத்தும் வாய்ப்புகளுள்ளன. திரவங்களில் லேசர் நிகழ்ச்சியை உண்டாக்குவதில் சில பெரும் தடைகள் உள்ளன. இருப்பினும் சில திரவ லேசர்கள் உருவாக்கப் பெற்றுள்ளன.

பெருந்தடைகள் சிலவிருப்பினும் திரவ லேசர்களில் குறிப்பாகக் கவனம் செலுத்துவதற்குப் பல காரணங்கள் உள்ளன. பொதுவாகச் சிறந்த லேசர் படிகங்கள் விலையுயர்ந்தவை; வளர்ப்பதற்கு, அதிலும் குறிப்பாகப் பெரும் படிகங்களாக வளர்ப்பதற்குக் கடினமானவை; அவற்றுள் ஒளியியல் திரிபுகள் (optical strains), வழுக்கள் (defects), நிறைவு பெறுமையாகிய குறைபாடுகள் (imperfections) இருக்கும்; இவற்றை நீக்குவது எளிதன்று; இவற்ருல் பாணி உருக்குவுலைகள் (mode distortion), சிதறல் இழப்புகள் (scattering losses), மற்றும் உயர்ந்த திறன்மட்டங்களில் செயல்படும்போது உள் சேதங்கள் (internal damages) போன்றவை ஏற்படும். உள்ளிடும் திறன் மட்டங்கள் சற்றே அதிகமானுலும் லேசர் படிகங்கள் உடையும்; தெறித்துவிடும்.

ஆனுல், இவற்றிற்கு மாருக ஒருபடித்தான திரவங்கள் (homogeneous liquids) ஏறக்குறைய குறைபாடற்ற ஒளியியல்

பண்பினைப் பெற்றிருக்கும்; திரவம் தெறிக்காது ; உடையாது. ஒரு திரவ லேசர் பொருளைமட்டிலும் உண்டாக்கிவிட்டோமானால் நமக்குத் தேவையான எந்த அளவிலும் 'லேசர் கம்பிகளை' (laser rods) அமைத்துக் கொள்ளலாம். அஃதாவது, நாம் விரும்பும் அளவு களுள்ள ஒரு குழாயினுள் திரவத்தை நிரப்பி அமைத்துக்கொள்ள லாம். ஆனால், திடப் பொருள்களோடு ஒப்பிடத் திரவங்களின் வெப்ப விரிவு எண்கள் (thermal expansion coefficients) குறிப் பிடத்தக்க அளவு பெரியவை; இவற்றின் ஒளி விலகலெண் (refractive index) வெப்பத்தால் பெருமளவு மாறும். ஆனால், இச் சிறு குறைபாடுகள் ஒருபொருட்டல்ல. உயர்ந்த திறன் வெளிப்பாடுடைய லேசர்களை அமைக்கும்போது திரவத்தைக் குளிர்ச்சியூட்டி வெப்பநிலை மாறாமல் பார்த்துக்கொள்வதும் எளிது.

அருமண் அயனிகளைப் பயன்படுத்தும் திரவ லேசர்களில் ஒரு பெரும் தொல்லையுண்டு. அஃதாவது, அருமண் அயனிகள் திரவத்தி லுள்ளதால் இவை கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலிருந்து தரைநிலைக்குக் கதிர்வீசாப் பெயர்வுகளால் வருவதற்குப் பலவகையான வழிகள் உள்ளன. இக் கதிர்வீசாப் பெயர்வுகளின்போது அதிர்வு ஆற்ற லானது (vibrational energy) அயனியைச் சூழ்ந்துள்ள திரவ அணுக்களுக்கு மாறிவிடும். எனவே, உயர் லேசர் மட்டங்களில் தொகைப் பெருக்கத்தை ஏற்படுத்துவதும், நிலைநாட்டுவதும் ஒரு பெரும் பிரச்சினையாகி விடுகின்றது. இத் தொல்லையிலிருந்து மீள் வதற்கும் ஒரு வழியுள்ளது. சில சிக்கல்மிக்க அங்ககத் திரவங் களைப் (organic liquids) பயன்படுத்தலாம். கொடுக்கிணைப்புப் பொருள்கள் (chelates) எனப்படும் திரவங்களில் Eu^{3+} போன்ற அருமண் அயனிகள் அணைவு அங்கக மூலக்கூறின் (complex organic molecule) மையத்தில் சிறை செய்யப்பெற்றிருக்கும். இதனால் Eu^{3+} அயனிகள் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள திரவ மூலக்கூறுகளின் கிளர்ச் சியிலிருந்து காக்கப்பெறுகின்றன. இத்தகைய பொருள்களைப் பயன்படுத்தும் லேசர்கள் கொடுக்கிணைப்பு லேசர்கள் (chelate lasers) எனப்பெறும்.

11.2. கொடுக்கிணைப்பிகள்

மேலே கூறியது போன்று ஓர் அயனியின்மீது கொடுக் கிணைப்புப் போட்டு அதனைச் சூழ்ந்துள்ள திரவ மூலக்கூறுகளின் சிற்றுலைவுகளிலிருந்து (perturbations) காக்கும் பல கொடுக்கிணைப்

பிகள் (chelates) உள்ளன. அவற்றுள் β - டைகீட்டோன்கள் (β - diketones) எனப்படுபவை அருமண் பொருள்களைக் கொடுக் கிணைப்பதற்குப் பயன்படுவனவாகும். அவை அட்டவணை 11.1 -ல் தரப்பட்டுள்ளன :

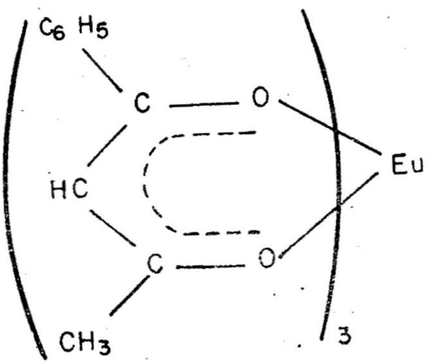
அட்டவணை — 11.1

β - டைகீட்டோன் கொடுக்கிணைப்பிகள்

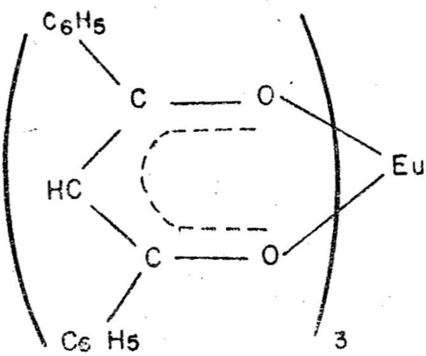
எண்	சேர்மம் (compound)	குறியீடு
1.	அசிடைலசிட்டோன் (acetylacetone)	A
2.	பென்சாயிலசிட்டோன் (benzoylacetone)	B
3.	டிரைஃப்ளோரோ அசிடைலசிட்டோன் (trifluoro acetylacetone)	TFA
4.	பென்சாயில் டிரைஃப்ளோரோ அசிட்டோன் (benzoyl trifluoro acetone)	BTF
5.	ஹெக்சா ஃப்ளோரோ அசிடைலசிட்டோன் (hexa fluoro acetylacetone)	HFA
6.	டைபென்சாயில் மீதேன் (dibenzoyl methane)	D
7.	டைபென்சாயிலமின் (dibenzoylamine)	DA
8.	தினையில் டிரைஃப்ளோரோ அசிட்டோன் (thenoyl trifluoro acetone)	TTF
9.	தினையில் அசிட்டோன் (thenoyl acetone)	T
10.	ஃப்ளூராயில் டிரைஃப்ளோரோ அசிட்டோன் (fluoroyl trifluoro acetone)	FTF
11.	ஃப்யூராயில் அசிட்டோன் (furoylacetone)	F

மேற்கூறிய கொடுக்கிணைப்பு ஏற்படுத்தும் பொருள்களுடன் மும்மை இணைதிறனுடைய (trivalent) அருமண்பொருள்கள் அணைவுச் சேர்மங்களை (complexes) எளிதில் உண்டாக்குகின்றன. இத்தகைய கொடுக்கிணைப்புச் சேர்மங்களின் நிறமாலையியல் பண்புகளும் வேதியியல் பண்புகளும் ஒருமாதிரியானவை யானதால்

யூரோப்பியத்தின் (europium) இரு β - டைகீட்டோன் கொடுக்கிணைப்பிகளை மட்டிலும் இவண் காண்போம். அவை, யூரோப்பியம் பென்சாயிலசிட்டோனேட் (europium benzoyl acetonate), யூரோப்பியம் டைபென்சாயில் மீதைடு (europium dibenzoyl methide) ஆகும். இவற்றின் கட்டமைப்புகள் (structures) முறையே படம் 11. 1, 11. 2 ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 11.1. யூரோப்பியம் பென்சாயில்சிட்டோனேட்டின் கட்டமைப்பு.



படம் 11.2. யூரோப்பியம் டைபென்சாயில் மீதைடின் கட்டமைப்பு.

யூரோப்பியத்தின் இந்தக் கொடுக்கிணைப்பிகளை எளிதில் உண்டாக்கலாம்; EuL_3, $EuL_3 \cdot 2H_2O$, EuL_4P போன்ற திட உருவங்களில் இவற்றைப் பிரித்தெடுக்கலாம். [இங்கே L என்பது இரு கொடுக்குகளையுடைய கொடுக்கிணைப்பியையும் ('bidentate

chelating agent), P என்பது பைப்பிரிடியம் அயனி (piperidium ion) போன்ற ஓர் ஒற்றை நேர்மின் அயனியையும் குறிக்கும்].

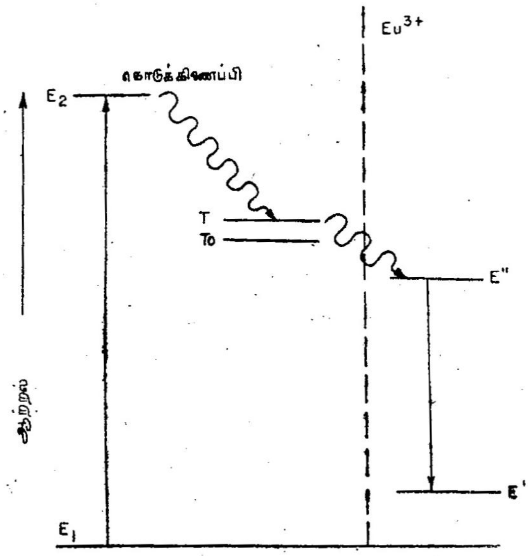
யூரோப்பியம் கொடுக்கிணைப்புக் கரைசல்கள் பற்றிய விவரங்கள் பெரும்பாலும் வெளிவிடு நிறமாலை (emission spectrum) ஆய்வுகளிலிருந்தே பெறப்பட்டுள்ளன. நிறமாலை ஆய்வுகளிலும் லேசர் ஆய்வுகளிலும் இரண்டு வகையான கரைப்பான் அமைப்புகள் (solvent systems) பயன்படுத்தப் பெற்றுள்ளன. அவற்றுள் முதலாவது எதனால் (ethanol) மூன்று பங்கும் ஒரு பங்கு மெதனாலும் (Methanol) உடைய கலவையாகும். இரண்டாவது, மேற்கூறிய கலவையும் டைமெதில் ஃபார்மமைடும் (DMF) 4 : 1 எனும் விகிதத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப் பெறுவதாகும்.

11.3. கொடுக்கிணைப்பு லேசர்

அருமண் கொடுக்கிணைப்புச் சேர்மங்களில் அங்ககப் பகுதியானது மிகத் தீவிரமாக உட்கவர்தலைச் செய்யும்; யூரோப்பியம் அயனி செறிவுமிக்க ஒளிர்தல் வெளியீட்டினைச் செய்யும். எனவே, உள்ளிடும் ஆற்றலை அங்ககப் பகுதி உட்கவரவேண்டும்; அதனால் உயர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் செல்லும் அங்ககப் பகுதியானது, ஆற்றலை யூரோப்பியம் அயனிக்குத் தரவேண்டும்; யூரோப்பியம் அயனி கதிர்வீச்சினை வெளிவிடும். இந்தச் செயல்கள் எவ்வாறு படிப்படியாக நிகழ்கின்றனவென்பது விவாதத்திற்குரிய ஒன்றாகும். இருப்பினும் லேசர் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு நடைபெறுகின்றதென்பதனைப் பின்கண்டவாறு விளக்கலாம் :

கொடுக்கிணைப்பி (chelating agent) ஒரு ஃபோட்டானை (photon) உட்கவர்கின்றது; இதனால் கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற ஒற்றை நிலைக்கு (singlet state) உயர்த்தப்பெறுகின்றது. இங்கிருந்து அங்ககப் பகுதியின் மும்மை நிலைகளுக்கு (triplet states) கதிர்வீசாப் பெயர்வுகளால் ஆற்றல் மாற்றப்பெறுகின்றது. இங்கிருந்து மூலக்கூறுகளிடை மாற்றத்தின் வாயிலாக யூரோப்பியம் அயனிக்கு ஆற்றல் மாற்றப்படுகின்றது. இந்த நிலைகள் எளிமையாக்கப் பெற்ற ஆற்றல் மட்டப் படத்தில் (படம் 11.3) காட்டப்பெற்றுள்ளன. இங்கே E_1 என்பது கொடுக்கிணைப்பியின் தரை நிலையையும், E_2 என்பது அதனுடைய கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற ஒற்றை நிலையையும், T, T_0 என்பன அதன் மும்மை நிலைகளையும், E', E'' என்பன முறையே யூரோப்பியம் அயனியின் தரை நிலையையும், லேசர் உயர்மட்டத்தையும் குறிக்கின்றன.

இவ்வாறன்றிக் கொடுக்கிணைப்பியின் கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற ஒற்றை நிலையிலிருந்து யூரோப்பியம் அயனியின் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளுக்கு ஆற்றல் மாற்றப்பெறுகின்றது என்றும் அங்கிருந்து ஒளி உமிழும் E" மட்டத்திற்குத் தாழ்கிறதென்றும் ஒருமுறை கூறப்படுகின்றது.



படம் **11.3.** யூரோப்பியம் கொடுக்கிணைப்புச் சேர்மத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

இந்த இருவகைகளிலுமே ஆற்றல் மாற்றங்கள் ஏற்படலாம். ஆனல், நடைமுறைச் சோதனைகள் முந்தைய முறையினையே பரிந்துரைக்கின்றன.

இவ்வாறாக, அருமண் கொடுக்கிணைப்பு லேசரில் கொடுக்கிணைப்பியானது $v_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$ எனும் அதிர்வெண்ணில் ஆற்றலை உட்கவருகின்றது; பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தொகைகள் சரி செய்துகொள்ளப்பெற்று E", E' மட்டங்களுக்கு இடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் நடைபெறுகின்றது. இப்போது தூண்டப்பெற்ற வெளியீட்டினல் கதிர்வீச்சுப் பெருக்கம் $v = \frac{E'' - E'}{h}$ எனும் அதிர்வெண்ணில் நடைபெறுகின்றது.

லேசரை அமைப்பதற்குப் பல உருவங்களிலுள்ள அருமண் கொடுக்கிணைப்புச் சேர்மங்களில் டெட்ரகிஸ் உருவம் (tetrakis form) சிறந்தது. அவ்வாறே, டைமெதில் ஃபார்மமைடு (dimethyl formamide) சாராயத்தைவிடச் சிறந்த கரைப்பானகச் செயல்படு மெனக் கூறலாம். ஏனெனில், சாராயத்தில் கரைப்பதைவிட டைமெதில் ஃபார்மமைடில் கரைத்தால் வெளிவிடு நிறமாலையின் செறிவு அதிகமாயிருக்கும். ஆனால், இந்த நன்மை வேறொரு வகையில் அடிபட்டுப்போகின்றது. டெட்ரகிஸ் உருவ சேர்மங்கள் டைமெதில் ஃபார்மமைடில் அதிக அளவில் பிரிகையடையும் (dissociate). இதனால் இரு தொல்லைகள் உள்ளன. அவையாவன:

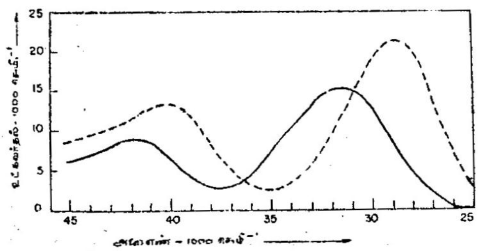
(1) வினைபடு பொருளின் (லேசர் நிகழ்ச்சியில்) செறிவு (consentration) குறையும். (2) பிரிகையால் விளையும் பொருள்கள் ஏற்றும் ஆற்றலை (pump energy) வினைபடுபொருள்களைப் போலவே உட்கவருமாதலான் ஏற்றத்தின் செயல்திறனைக் குறைக்கும். மேற் கூறியவற்றிலிருந்து சாராயக் கலவையைக் கரைப்பானகப் பயன் படுத்துவதில் நன்மைக் குறைவு ஒன்றுமில்லையெனக் கூறலாம்.

கொடுக்கிணைப்புகளை லேசர் பொருளாகப் பயன்படுத்துவதில் இரு முக்கியப் பிரச்சினைகள் உள்ளன. ஒற்றைக் கிளர்ச்சி நிலையி லிருந்து (singlet excited state) நடைபெறும் தன்னிச்சையான பெயர்வுகள், மும்மை நிலையிலிருந்து தரைநிலைக்கு ஏற்படும் பெயர்வுகள், ஒளிர்தலின் உயர்நிலையிலிருந்து தரைநிலைக்கு நேராகச் செல்லும் பெயர்வுகள் போன்ற பல வழிகளிலும் உயர் மட்டங்களிலிருந்து தாழ்மட்டங்களுக்குச் செல்லலாம். இப் பாதைகளில் செல்வதால் குவான்டம் பயனுறுதிறன் (quantum efficiency) குறைகின்றது. ஏற்றும் வீதத்தினை (pumping rate) உயர்த்துவதன் வாயிலாக இந்தப் பிரச்சினையைத் தீர்க்க முடியும். ஆனால், அங்ககப் பகுதியின் மும்மைத் தரைநிலையானது குறிப் பிடத்தக்க அளவு உயர்ந்த வாழ்நாளை உடையதாகவிருந்தால் இவை ஒரு கண்ணியாகச் (trap) செயல்படும்; ஏற்றும் திறனை உயர்த்துவதன் வாயிலாக இதனை ஈடுகட்ட முடியாது.

இரண்டாவது: பெரும்பாலான அருமண் கொடுக் கிணைப்புகள் உயர்ந்த அளவில் உட்கவரும் இயல்புடையன. இவற்றின் உட்கவர் நிறமாலை படம் 11.4-ல் காட்டப்பெற் றுள்ளது.

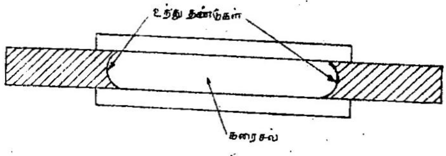
உட்கவர்தல் பட்டை ஏறத்தாழ ஆயிரம் ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள் பரந்துள்ளது. மேலும், இதன் உச்ச மதிப்பும் அதிகம். எனவே

லேசரை வழக்கமான அமைப்பில் அமைத்தால் லேசர் பொருளின் உட்புறத்தில் (லேசர் குழாயின் அச்சினை யொட்டிய பகுதிகளில்) கிளர்ச்சியூட்ட முடிவதில்லை. எனவே, குறுகிய விட்டமுடைய குழாய்களையே பயன்படுத்த வேண்டும். 1 மி. மீ. விட்டமுடைய குழாய்களைப் பயன்படுத்தலாம்.



படம் **11.4.** அருமண் கொடுக்கிணைப்புகளின் உட்கவர் நிறமாலை. **20°** செ. வெப்பநிலையில் எதனலில் 10^{-5} மோலார் செறிவில் அளக்கப்பெற்றது.
முழுமையான கோடு : பென்சாயில் அசிட்டோனேட்டுகளுக்கு.
புள்ளியிட்ட கோடு : டைபென்சாயில் மீதைடுகளுக்கு.

இவையேயன்றிப் பிறிதொரு முக்கியமான நடைமுறைப் பிரச்சினையும் உள்ளது. சாதாரணமாகத் திரவங்கள் குளிர்ச்சியூட்டப் பெறும்போது பெருமளவு சுருங்கும். லேசர் செயல்படும் தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் (120° கெல்வின்) இவ்வாறு சுருங்குவதால் கரைசல் எடுத்துக்கொள்ளப் பெற்றுள்ள கலத்தில் (குழாயில்) காலியிடங்கள் (voids) ஏற்படும். உந்துதண்டுக் கலத்தினைப் (piston cell) பயன்படுத்துவதன் வாயிலாக இப் பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காணலாம். இது படம் 11.5-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



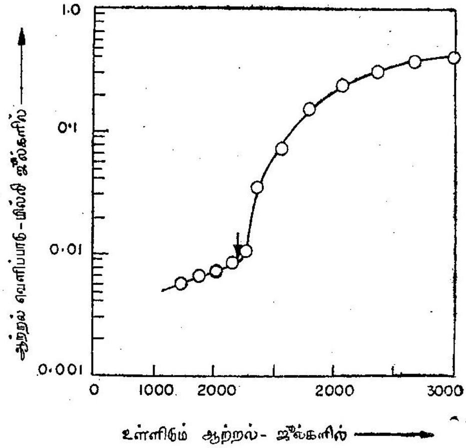
படம 11.5. உந்துதண்டுக் கலம்.

இங்கே உந்து தண்டுகளே அரைகுறையாகக் கடத்தும்போது மைய ஆடிகளாகச் செயல்படுகின்றன. சுருங்குவதால்

ஏற்படும் காலியிடங்களை இந்த உந்துதண்டுகள் நகர்ந்து சரிப் படுத்திக்கொள்ளும். முன்னரே குளிர்விக்கப்பெற்ற நைட்ரஜன் வாயுவைச் செலுத்துவதன் மூலம் தாழ்ந்த வெப்பநிலையில் இக் கலத்தை வைத்துக்கொள்ளலாம். வழக்கமான ஒளித்தெறிப்புக் குழாய்களைக் (flash tubes) கிளர்ச்சியூட்டும் ஒளிமூலங்களாகப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். கொடுக்கிணைப்புகள் உயர்ந்த உட்கவர் திறமுடையவையானதால் நிறமாலையின் நீலநிறம், அண்மைப் புற ஊதாப் (near ultra - violet) பகுதிகளே ஏற்றத் திற்குப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன.

கொடுக்கிணைப்பு லேசர்களில் பெருமளவு ஆய்வுகள் சாரா யத்தில் கரைக்கப்பெற்ற $E_u B_4 P$ கரைசல்களிலேயே செய்யப் பெற்றுள்ளன. லெம்பிகி (Lempicki), சாமெல்சன் (Samelson), பிரெசர் (Brecher) ஆகியோர் இக் கரைசலையே பயன்படுத்தினர். 6130 ஆங்க்ஸ்ட்ராமில் லேசர் அலைவுகள் ஏற்பட்டன.

$E_u B_4 P$ லேசரின் பயன் தொடக்கச் சிறப்பியல்புகளும் வெளிப்பாட்டு ஆற்றல் மாறும் தன்மையும் படம் 11.6 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 11.6. $E_u B_4 P$ கொடுக்கிணைப்பு லேசரின் ஒளியியல் வெளிப்பாட்டிற்கும் உள்ளிடும் மின்னாற்றலுக்குமுள்ள தொடர்பு. இங்குப் பயன்படுத்திய கலத்தின் விட்டம் 1 மி.மீ., முன் ஆடியின் செலுத்துகை 0·1%, செறிவு (concentration) 9×10^{18} செ. மீ.$^{-3}$

1 மி. மீ. விட்டமுடைய ஒத்ததிர்வுக் கலத்தை (resonator cell) பயன்படுத்தும்போது தேவையான பயன் தொடக்க

உள்ளிடும் ஆற்றல் ஏறத்தாழ 500 ஜூல்கள். இதற்குப் பயன் படுத்தியது போன்ற அதே ஒளித்தெறிப்புக் குழாயினையும், பொது மைய ஆடி அமைப்பையும் பயன்படுத்தும் படித்தர மாணிக்க லேசரின் (standard ruby laser) பயன் தொடக்க ஆற்றலில் பாதிதான் இது. உள்ளிடும் ஆற்றல் உயர்வாக இருக்கும் போது வெளிப்பாடு 1 மில்லி ஜூல் அளவை யெட்டியது. இதன் படி கணக்கிட்டுப் பார்த்தால் 1 கன செ. மீ. அளவுள்ள கரைசலை எடுத்துக்கொண்டால் பெரும ஆற்றல் வெளிப்பாடு (maximum energy output) 30 மில்லி ஜூல்கள் இருக்கவேண்டும். இது, மாணிக்க லேசரின் ஒரு கன செ. மீ. அளவு பொருளுக்குள்ள வெளிப்பாட்டுத் திறனைவிட ஏறத்தாழ நான்கு மடங்குக் குறை வாகும். இருப்பினும் இதன் பயன் தொடக்க ஆற்றல் குறைவாக இருப்பதும் இதில் கிடைக்கும் அலை நீளங்களும் இந்த லேசர்களைக் கவர்ச்சியுடையவை ஆக்குகின்றன.

யூரோப்பியம் கொடுக்கிணைப்பு லேசர்களை அறை வெப்ப நிலையிலேயே இயக்கமுடியும் என அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளது. இது ஏற்றும் முறைகளில் ஏற்பட்டுள்ள முன்னேற் றத்தின் விளைவாகும்.

யூரோப்பியம் கொடுக்கிணைப்புகள் மட்டுமன்றி டெர்பி யத்தின் (terbium) கொடுக்கிணைப்பிலும் லேசர் நிகழ்ச்சி ஏற்படுவ தாக ஜார்க்லண்டு (Bjorklund), கெல்லெர் மேயர் (Keller meyer) ஆகியோர் கி.பி. 1967 - ல் கண்டறிந்துள்ளனர். இந்த லேசர் பச்சைநிற ஒளியினை வெளியிட்டது.

11.4. சாய லேசர்கள்

மிகவும் அண்மைக்காலத்தில் பிறிதொரு வகைத் திரவ லேசர் உருவாகியுள்ளது. இது அங்கக சாய லேசராகும் (organic dye laser). பல்வேறு திரவங்களிலும் சாயங்களிலும் (dyes) உள்ள அங்கக மூலக்கூறுகளின் (organic molecules) கிளர்ச்சியுற்ற எலெக்ட்ரானிய ஆற்றல் மட்டங்கள் இதில் பயன்படுத்தப் பெறு கின்றன. இவற்றின் தளர் நேரங்கள் (relaxation times) குறை வானதால் செறிவு மிக்க, விரைவான ஏற்றம் தேவை. மாணிக்க லேசர் போன்ற பிறிதோர் உயர்திறன் லேசரே சாய லேசருக்கு ஏற்றும் மூலமாகப் பயன்படும்.

இத் துறையில் (அரோமாட்டிக் சேர்மங்களைப் (aromatic compounds) பயன்படுத்திச் செய்யப்பெற்ற தொடக்க காலச்

சோதனைகள் வெற்றியளிக்கவில்லை. ஆனால், கி.பி. 1966 ஆம் ஆண்டு பீட்டர் பி. ஸொரோகின் (Peter P. Sorokin), ஜான் ஆர். லான் கா(ர்)ட் (John R. Lankard) ஆகியோர் அங்கக மூலக்கூறுகளில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதனை ஐயத்திற்கிடமின்றிச் செய்து காட்டினர். அவர்கள் பல்வேறு சாயக் கரைசல்களில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதனைக் கண்டார்கள்; அவற்றிற்கு வேறு லேசர்களையோ அல்லது உயர்செறிவுடைய விளக்குகளிலிருந்து வரும் மைக்ரோ நொடிக் காலம் நீடிக்கும் ஒளித்தெறிப்புகளையோ ஏற்றத்திற்குப் பயன்படுத்தினார்கள். இதனைத் தொடர்ந்து பல்வேறு ஆய்வுக் கூடங்களிலும் சாய லேசர்களில் ஆராய்ச்சி தீவிரமாக நடைபெறத் துவங்கியது.

கி.பி. 1970 ஆம் ஆண்டு ஓட்டிஸ் ஜி. பீட்டர்சன் (Otis G. Peterson), சாம் ஏ. டுக்கியா (Sam A. Tuccio), ஸ்னுவெலி (Snavely) ஆகியோர் [ஈஸ்ட்மன் கோடாக் (Eastman Kodak) நிறுவனத்தைச் சேர்ந்தவர்கள்] தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும் ஒரு சாய லேசரை உருவாக்கினார்கள். ரோடாமின் 6 G (rhodamine 6 G) எனப் படும் சாயத்தை இவர்கள் பயன்படுத்தினார்கள். ஏற்றத்திற்கு ஓர் ஆர்கான் - அயனி லேசர்க் (argon - ion laser) கற்றை பயன் படுத்தப்பெற்றது.

இதனைத் தொடர்ந்து இதே குழுவினர் ஸாந்தைன் சாயங்கள் (xanthine dyes) மூன்றில்கூட லேசர் நிகழ்ச்சியினைக் கண்டுள் ளார்கள்.

சென்றவாண்டில் (கி.பி. 1971) இல்லினுய்ஸ் பல்கலைக் கழகத் தைச் (Illinois University) சார்ந்த சி. ஏ. டுரெக் (C. A. Turek), ஜேம்ஸ் டீ. யார்ட்லி (James T. Yardley) ஆகியோர் BBD - யிலும், ஐசோ புரொப்பைல் PBD - யிலும் (iso propyl PBD) N_2 லேசரால் ஏற்றும் நிகழ்ச்சியினை நடத்திப் புறஊதாப் பகுதியால் செயல்படும் சாய லேசரை அமைத்துள்ளார்கள்.

ஸ்டான்ஃபோர்டு பல்கலைக்கழகத்தைச் சார்ந்த டீ. டபிள்யூ. ஹான்ஷ் (T. W. Hansch), எம். பெர்னியர் (M. Pernier), ஏ. எல். ஷவ்லாவ் (A. L. Schawlow) ஆகியோர் ஊன் பசைகளில் (gelatin) கரைக்கப்பட்ட பல்வேறு சாயங்களிலும் உயர் ஈட்டமுடைய, சிறந்த திசைப்பண்புடைய தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு நடை பெறுவதனைக் கண்டுள்ளார்கள். நீரும், ஊன் பசையும் கலந்த திரவத்தில் சில சாயங்கள் கரைக்கப்பட்டன; சில சாயங்களுக்கு நீருக்குப் பதில் கிளிசரின் பயன்படுத்தப்பெற்றது.

12. வேதியியல் லேசர்கள்

12.1. வேதியியல் லேசர்கள்

இதுகாறும் பார்த்த லேசர் அமைப்புகளில் ஒரு லேசர்ப் பொருளில் நமக்குத் தேவையான ஆற்றல் மட்ட அமைப்பு (energy level system) ஒன்று இருக்கும். இந்த அமைப்பில் புற மூலங்களைப் (external sources) பயன்படுத்தித் தொகைத் தலைகீழாக்கம் (population inversion) ஏற்படுத்தப்பெறும். அவ்வாறன்றி, சில பொருள்களில் ஏற்படும் வேதியியல் வினைகளால் (chemical reactions) ஆற்றல் மட்ட அமைப்புத் தோன்றும்; அதே நேரத்தில் அவ் வினைகளின் பயனாக ஆற்றலும் வெளிப்படும்; இந்த ஆற்றலே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தும் ஆற்றல் மூலமாகவும் செயல்படும். இத்தகைய லேசர்கள் வேதியியல் லேசர்கள் (chemical lasers) எனப்படும்.

இந்த வேதியியல் வினைகளைத் துவக்கி வைப்பதற்கு ஃபோட்டான்கள் (photons), எக்ஸ் - கதிர்கள் (X - rays), எலெக்ட்ரான்கள் (electrons) போன்ற புற மூலங்கள் பயன்படுத்தப் பெறலாம். ஆனால், லேசரில் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுத்தும் ஆற்றலாக விளங்குவது வேதியியல் வினைகளில் விளைவனவேயன்றி அவற்றைத் துவக்கும் புறச்செயலிகளின் ஆற்றல் அன்று.

இத்தகைய லேசர் நிகழ்ச்சிக்குத் தேவையான, ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தக் கூடிய வேதியியல் செய்முறைகள் பெருமளவில் ஆராயப் பெற்றுள்ளன. அத்தகைய முறைகள் நான்கு வகை உள்ளன வென்று ஷுலர் (Schulor), காரிங்டன் (Carrington), லைட் (Light) ஆகியோர் கி. பி. 1965 ஆம் ஆண்டில் ஆய்ந்துரைத்துள்ளார்கள். அவையாவன :

(1) மீண்டும் சேர்க்கையுறும் கிளர்ச்சி வினைகள் (recombinative excitation reactions). (2) பிரிகையால் ஆற்றல் மாற்றம் நிகழும் வினைகள் (dissociative energy transfer reactions). (3) வெப்பம் உமிழ் பரிமாற்ற வினைகள் (exothermic exchange reactions). (4) ஒளியால் பிரிகை வினைகள் (photo - dissociative reactions). இனி இவற்றைப்பற்றிக் காண்போம்.

12.2. மீண்டும் சேர்க்கையுறும் கிளர்ச்சி வினைகள்

மீண்டும் சேர்க்கையுறும் கிளர்ச்சி வினைகள் பின்கண்ட பொது வகைகளில் இருக்கும் :

$$A+B+M \longrightarrow AB^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}1)$$

$$A+B+M \longrightarrow AB{-}M^* \qquad \longrightarrow (12{\cdot}2)$$

இங்கே A, B என்பன அணுக்களையோ அல்லது மூலக் கூறுகளையோ அல்லது இரண்டினையுமோ குறிக்கும்; M என்பது ஒரு மூன்றாவது பொருள். * ஒட்டுக்குறியானது எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியூட்டத்தையோ அல்லது அதிர்வு அல்லது சுழற்சி (vibrational or rotational) கிளர்ச்சியூட்டங்களையோ அல்லது இரண்டினையுமோ குறிக்கும்.

இவற்றுள் சில குறிப்பிடத்தக்க எடுத்துக்காட்டுகளெனப் பின்கண்ட வினைகளைக் கூறலாம் :

$$N+N+M \longrightarrow N_2^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}3)$$

$$N+O+M \longrightarrow NO^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}4)$$

$$O+O+M \longrightarrow O_2^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}5)$$

$$H+NO+M \longrightarrow HNO^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}6)$$

$$O+NO+M \longrightarrow NO_2^*+M \qquad \longrightarrow (12{\cdot}7)$$

$$H+H+Z \longrightarrow H_2+Z^* \qquad \longrightarrow (12{\cdot}8)$$

$$H+OH+Z \longrightarrow H_2O+Z^* \qquad \longrightarrow (12{\cdot}9)$$

இங்கே N, O, H ஆகியவை முறையே நைட்ரஜன், ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன் அணுக்களைக் குறிக்கின்றன. Z என்பது *Cu*, *Ag*, *Fe*, *Co*, *Ni*, *Mn*, *Pb*, *Na* போன்ற ஓர் உலோகம்.

இதுகாறும், இத்தகைய வினைகளில் நைட்ரஜன் அணு மீண்டும் சேர்க்கை வினையில்தான் லேசர் நிகழ்ச்சி நடத்திக் காட்டப் பெற்றுள்ளது.

12.3. பிரிகையால் ஆற்றல் மாற்றம் நிகழும் வினைகள்

பிரிகையால் ஆற்றல் மாற்றம் நிகழும் வினைகளைப் பின்கண்ட வாறு பொதுவாகக் குறிக்கலாம் :

$$M^* + AB \rightarrow A^* + B \text{ (அல்லது } B^*) + M \quad \longrightarrow (12{\cdot}10)$$

இத்தகைய நிகழ்ச்சிகளில் $Ne^* + O_2$, $Ar^* + O_2$, $Kr^* + O_2$, $He^* + SF_6$, $He^* + CO_2$, $He^* + N_2O$, $He^* + NO$, $Ne^* + N_2O$, $Ne^* + NO$, $Ar^* + Br_2$ போன்றவற்றில் லேசர் நிகழ்ச்சிகள் நடைபெற்றுள்ளன என்பதாகவோ அல்லது ஏற்படக்கூடு மெனவோ கூறப்படுகின்றது. இந்த அமைப்புகள் யாவற்றிலும் மேதகு வாயு (noble gas) அணுவானது எலெக்ட்ரான் மோத லாலும் லேசர் நிகழ்ச்சியில் பங்குபெறும் அணுவானது பிரிகைக்குப் பின்னுல் எலெக்ட்ரான் மோதலாலும் கிளர்ச்சி யூட்டப் பெற்றிருக்கலாம்.

12.4. வெப்பம் உமிழ் பரிமாற்ற வினைகள்

வெப்பம் உமிழ் பரிமாற்ற வினைகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு பொதுவாகக் குறிக்கலாம் :

$$A + BC \rightarrow AB + C^* \quad \longrightarrow (12{\cdot}11)$$

$$A + BC \rightarrow AB^* + C \quad \longrightarrow (12{\cdot}12)$$

இத்தகைய வினைகளில் வினையின் பயனுய் விளையும் அணு அல்லது மூலக்கூறு ஆகியவை அதிர்வுகளால் கிளர்ச்சியுறுதல் சாதாரணமாக நிகழும். மேலும் விளைபொருள்கள் (products) நேரடியாக எலெக்ட்ரான் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலேயே தோன்ற லாம்; அல்லது வினைக்குப் பின்னர் நிகழும் மோதலினுல் கிளர்ச்சி மாற்றம் நடைபெற்றுக் கிளர்ச்சியுறலாம். இவ்வாறு நிகழ்வதனைப் பின்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம் :

$$X + AB^* \rightarrow X^* + AB \quad \longrightarrow (12{\cdot}13)$$

அதிர்வினுல் கிளர்ச்சியுறுதல் (vibrational excitation) நன்கு ஆராயப்பெற்றுள்ளது. விளைபொருள்களில் வெப்பமற்ற அதிர்வு

கிளர்ச்சியூட்டத்தால் (non - thermal vibrational excitation) ஏற்படும் பல வினைகள் கண்டறியப்பெற்றுள்ளன. அவற்றுள் சில அட்டவணை 12·1 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

அட்டவணை 12.1

அதிர்வுக் கிளர்ச்சியூட்டத்தை ஏற்படுத்தும் பரிமாற்ற வினைகள்

எண்	வினைகள்	குறிப்பு
1.	$H + O_3 \longrightarrow OH^* + O_2$	
2.	$H + X_2 \longrightarrow HX^* + X$	$X = Cl, Br, F$
3.	$H + HO_2 \longrightarrow OH^* + OH$	
4.	$O + O_3 \longrightarrow O_2^* + O_2$	
5.	$O + XO_2 \longrightarrow O_2^* + XO$	$X = N, Cl$
6.	$O(^1D) + HX \longrightarrow OH^* + X$	$X = H, Cl, N, NH_2, CH_3$
7.	$X + O_3 \longrightarrow XO^* + O_2$	$X = Br, Cl$
8.	$N + NO \longrightarrow N_2^* + O$	
9.	$X + M_2 \longrightarrow MX^* + M$	M = Na, K, Cs…………
10.	$M + HgX_2 \longrightarrow MX^* + HgX$	$X = Cl, Br, I$
11.	$M + HgX \longrightarrow MX^* + Hg$	
12.	$S + S_2Cl_2 \longrightarrow S_2^* + SCl_2$	

சில வினைகளின்போது வினை வெப்பத்தில் (heat of reaction) ஒரு பகுதி வினைபொருள்களின் எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியாய் அமைவதாகக் கண்டறியப் பெற்றுள்ளது. இது பின்கண்ட இரு வகைகளில் ஏற்படலாம். ஒன்று நேர்முகக் கிளர்ச்சி. இவ்வகை யினைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$A + BC \rightarrow \begin{cases} AB + C \\ AC + B \end{cases} \qquad \longrightarrow (12{\cdot}14)$$

அட்டவணை 12.2

எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியுற்ற வினைபொருள்களைத் தரும் பரிமாற்ற வினைகள்

எண்	வினை	குறிப்பு
1.	$M_2 + X \longrightarrow MX + M^*$ $(MX^* + M \longrightarrow MX + M^*)$	$M = Na, K, Cs$ $X = Cl, Br, I$
2.	$M + HgX \longrightarrow MX^* + Hg$ $(MX^* + M \longrightarrow MX + M^*)$	
3.	$N + CCl \longrightarrow CN^* + Cl$	
4.	$C + CX \longrightarrow C_2^* + X$	$X = Cl, H$
5.	$CO + O + M \longrightarrow CO_2^* + M$	
6.	$CS_2 + O_2 \longrightarrow CS^* + SO_2$	
7.	$CS_2 + O_2 \longrightarrow S_2^* + CO_2$	
8.	$H + Br_2 \longrightarrow HBr + Br^*$ $(H + HBr \longrightarrow H_2 + Br^*)$	
9.	$NO + O_3 \longrightarrow NO_2^* + O_2$	
10.	$H + O_3 \longrightarrow OH + O_2$	
11.	$H + N_2H \longrightarrow NH^* + NH$	
12.	$O + NH_3 \longrightarrow NH^*$	
13.	$O + N_2H_4 \longrightarrow NH_2^*, OH^*$	
14.	$O + SO \longrightarrow SO_2^*$	
15.	$H + N_2H_4 \longrightarrow NH_2^*, NH^*$	

இரண்டாவது வகையில் வினை நடைபெறும் பல கட்டங்களில் ஏற்படும் மோதல்களால் ஆற்றல் மாற்றம் ஏற்பட்டுக் கிளர்ச்சி யடையலாம். இதனைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் ;

$$A + BC \longrightarrow AB^* + C \qquad \longrightarrow (12.15)$$
$$AB^* + C \longrightarrow AB + C^* \qquad \longrightarrow (12.16)$$

இந்த வகையான செயல்முறைகள் வாயிலாகப் பிரித்தறிதல் மிகவும் கடினம். கொள்கை வாயிலாகவும் இவற்றை அணுகுவது கடினமே. ஏனெனில், மூன்று கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளுக்கான மூன்று அணு நிலையாற்றல் புறப்பரப்புகள் (three atom potential energy surface) பற்றி நமக்கு அவ்வளவாகத் தெரியாது. இருப்பினும் சில வினைகள் கொள்கை அளவில் ஆராயப்பெற்றுள்ளன. அவற்றுள் இரண்டு கீழே தரப்பட்டுள்ளன :

$$Na_2 + Cl \longrightarrow NaCl + Na^* \qquad \longrightarrow (12.17)$$
$$N + CCl \longrightarrow CN^* + Cl \qquad \longrightarrow (12.18)$$

எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியுற்ற விளைபொருள்களைத் தரக் கூடும் என்று நம்பப்படுகின்ற வினைகள் பலவுள்ளன. அவற்றுள் சில முன் பக்கத்தில் உள்ள அட்டவணை 12.2-ல் தரப்பெற்றுள்ளன.

இவற்றில் எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியூட்டம் நடைபெறுகின்றது என்பதும் இவை வெப்பத்தினால் ஏற்படுவனவல்லவென்பதும் சோதனைகளில் கண்டறியப்பெற்று நிறுவப்பெற்றுள்ளன. ஆனால், நாம் குறிப்பிட்டுள்ள வழிமுறையில்தான் கிளர்ச்சி நடைபெறுகின்றதா, அஃதாவது, கிளர்ச்சியூட்டம் நடைபெறும் பாதை (excitation path) நாம் குறித்தவண்ணம் தான் உள்ளதா என்பது உறுதி செய்யப்படவில்லை. மேலும், இந்த வினைகளாலேற்படும் எலெக்ட்ரானிய நிலைகளில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படுவதாக இன்னும் கண்டறியப்பட்டதாகத் தெரியவில்லை.

12.5. பலவணு மூலக்கூறுகளில் ஒளியால் பிரிகை

ஒளியால் பிரிகை வினையின்போது ஒரு பலவணு மூலக்கூறானது (polyatomic molecule) ஒரு ஃபோட்டானை (photon) உட்கவர்கின்றது ; அதன் பயனாக அஃது ஓர் உயர்ந்த எலெக்ட்ரான் நிலைக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறுகின்றது. இந்த உயர் எலெக்ட்ரான் நிலையானது கட்டுண்ட அதிர்வுநிலைகளை (bound vibrational levels) உடையதாகவோ அல்லது இல்லாததாகவோ இருக்கலாம். இதனாலேற்படும் விளைபொருள்களின் உள் ஆற்றல் பகிர்வுச் சாதாரணமாக எந்தவொரு வெப்பநிலையிலும் இருக்கக் கூடிய சமநிலைக்கு இசைந்ததாக இராது.

இந்தப் பிரிகையினை இரண்டு வகைகளில் கூறலாம். கிளர்ச்சியுற்ற மூலக்கூறில் இணைப்பு (coupling) போதுமான அளவு வலுவுடையதாகவும் செயலெதிர்ச்செயல் (interaction) நீண்ட நேரம் நீடிப்பதாகவும் இருக்கலாம். இந் நிலையில் பிரிகை நடைபெறும்போது கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றலானது விளைபொருள்களின் பல்வேறு உரிமைப்படிகளில் (degrees of freedom) புள்ளியியல்படி பகிர்வு செய்யப்பெறும். அஃதாவது, ஆற்றல் அழிவின்மை (conservation of energy), கோண உந்தம் அழிவின்மை (conservation of momentum) ஆகியவற்றினை நிறைவு செய்யும் வகையில் அமைந்துள்ள எல்லாக் குவான்டம் நிலைகளும் (quantum states) ஒரேயளவு நிகழ்திறத்துடன் தொகைகளை உடையனவாயிருக்கும். இந்த நிலையில்,

$$ABCD \longrightarrow AB + CD \qquad \longrightarrow (12\cdot19)$$

எனும் பிரிகையின் விளைவாக ஓர் இறுதியான உள்ளாற்றல் பகிர்வு (internal energy distribution) ஏற்படும். இந்தப் பகிர்வு **AB, CD** ஆகியவற்றின் இடையேயுள்ள குறுகிய தொலைவு செயல்படும் மூலக்கூறு இடை விசைகளால் (short range inter molecular forces) கட்டுப்படுத்தப் பெற்றிராது; அஃதாவது, ஆற்றல் பகிர்வு இவ் விசைகளைப் பொறுத்திராது.

இந்த வகைகளில் ஆற்றல் பகிர்வுப் புள்ளியியல் அடிப்படையில் அமையக்கூடுமாலும் இந்தப் புள்ளியியல் அடிப்படைச் சாதாரணமாக வெப்ப அடிப்படையாக, அஃதாவது போல்ட்ஸ்மன் பகிர்வாக (Boltzmann distribution) இராது; இந்தப் பகிர்வில் தொகைத் தலைகீழாக்கங்கூட ஏற்படலாம்.

இந்த வகையான புள்ளியியல் அடிப்படையில் - வலுவான இணைப்பு அடிப்படையில்—H_2O, H_2O_2 ஆகியவற்றில் ஃபோட்டான் அல்லது எலெக்ட்ரான் மோதலால் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் கிளர்ச்சியுற்ற **OH** உறுப்புகளில் சுழற்சிப் பகிர்வு கணக்கிடப் பெற்றுள்ளது. இதன் முடிவுகள் எலெக்ட்ரான் மோதல் சோதனைகளால் கிடைக்கப் பெறும் முடிவுகளுடனும் ஒளியியல் பிரிகை முடிவுகளுடனும் நன்கு ஒத்திருக்கின்றன.

மேற்கண்டவாறன்றிக் கிளர்ச்சியுற்ற மூலக்கூறின் வாழ்நாள் மிகக் குறைவாக இருக்குமானல், அல்லது பிரிகைக் கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள செயலெதிர்ச் செயல் வலுவற்றதாக இருக்கு

மாறுல், முற்றிலும் மாறுபட்ட முறையிலேயே இதனை அணுக வேண்டும். இந் நிலைகளில் நடைபெறும் செயல் முறையினை ஓர் அரை - மோதலாகக் (half collision) கருதலாம்.

பலவணு மூலக்கூறுகளின் ஒளியால் பிரிகையானது கிளர்ச்சி யுற்ற கூறுகளினிடையே பல்வேறு வகையான பெயர்வுகளின் வாயிலாகத் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தை ஏற்படுத்தலாம். மூன்று விதத் தலைகீழாக்கங்கள் இங்குத் தரப்பட்டுள்ளன. அவையாவன:

(1) எலெக்ட்ரானியத் தரைநிலைச் சுழற்சி மட்டங்களுக் கிடையே ஏற்படும் தலைகீழாக்கம். (2) உயர் எலெக்ட்ரானிய மட்டம் ஒன்றிலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட சுழற்சி - அதிர்வு மட்டத் திற்கும் தாழ் எலெக்ட்ரானிய நிலையிலுள்ள சுழற்சி - அதிர்வு மட்டத்திற்கு மிடையே ஏற்படும் தலைகீழாக்கம். (3) ஒரே எலெக்ட் ரானிய நிலையிலுள்ள சுழற்சி - அதிர்வு மட்டங்களுக்கிடையே தலைகீழாக்கம்.

இவற்றுள் முதல்வகைக்கு எடுத்துக்காட்டாக, நைட்ரோசில் ஹாலைடுகளான (nitrosil Hallides) $NOCl$, $NOBr$ ஆகியவற்றி லேற்படும் நிகழ்ச்சியினைக் கூறலாம்.

$$NO\,Cl \longrightarrow NO^* + Cl \qquad \longrightarrow \quad (12{\cdot}20)$$

$$NO\,Br \longrightarrow NO^* + Br \qquad \longrightarrow \quad (12{\cdot}21)$$

இந்த வினைகளில் NO ஆனது எலெக்ட்ரானியத் தரைமட்டத் தில் உயர் அதிர்வு மட்டங்களில் தோன்றும்.

இரண்டாவது வகைக்கு எடுத்துக்காட்டாக 2000 ஆங்க்ஸ்ட் ராம்களுக்குக் குறைவான அலைநீளங்களைப் பயன்படுத்தி C_2N_2 - ல் ஏற்படுத்தும் ஒளியால் பிரிகை நிகழ்ச்சியினைக் கூறலாம். இதனைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$C_2N_2 \longrightarrow 2\,CN^* \qquad \longrightarrow \quad (12{\cdot}22)$$

மேற்கண்ட இருவகை ஒளியியல் - பிரிகை முறைகளிலும் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறக்கூடும். ஆனால், மூன்றுவதாகிய ஒரே எலெக்ட்ரானிய நிலையிலுள்ள சுழற்சி - அதிர்வு மட்டங்களுக் கிடையேயான தலைகீழாக்கம் லேசர் நிகழ்ச்சிக்குப் போதுமான தாகவிராது.

12.6. சில நடைமுறை வேதியியல் லேசர்கள்

இதுகாறும் பல்வேறு வகைகளில் வேதியியல் லேசர்களை அமைப்பதற்குரிய வாய்ப்புகளைப் பார்த்தோம். இனி நடைமுறையில் அமைக்கப்பெற்றுள்ள வேதியியல் லேசர்களைப்பற்றிப் பார்ப்போம். முதன்முதலாக வேதியியல் லேசர் ஒன்றினை ஜெரோம் வி. காஸ்பெர் (Jerome V. Kasper) என்பாரும், ஜியார்ஜ் சி. பிமெண்ட்டல் (George C. Pimentel) என்பாரும் கி. பி. 1965 ஆம் ஆண்டில் உருவாக்கினார்கள். இவர்களது லேசரில் லேசர் பொருளாகப் பயன்பட்டது அதிர்வுக் கிளர்ச்சியுற்ற ஹைடிரஜன் குளோரைடு (vibrationally excited hydrogen chloride) ஆகும். இது பின்கண்ட வினைகளால் ஏற்பட்டதாகும் :

$$Cl + H_2 \longrightarrow HCl^* + H \qquad \longrightarrow \quad (12{\cdot}23)$$

$$H + Cl_2 \longrightarrow HCl^* + Cl \qquad \longrightarrow \quad (12{\cdot}24)$$

இந்த லேசரின் வெளிப்பாடு 3·77 மைக்ரான் அலைநீளத்தில் இருந்தது. மேற்கண்ட வினைக்குத் தேவையான கட்டற்ற ஹைடிரஜன் அணுக்களைத் தோற்றுவிப்பதற்கு ஒரே ஒரு முறைதானுள்ளது. அஃதாவது, $H_2 - Cl_2$ கலவையில் ஓர் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கிலிருந்து (flash lamp) வரும் ஒளித்தெறிப்பினைப் படும்படி செய்து அதன் பயனாக இக் கலவையிலுள்ள மூலக்கூறுகளைப் பிரிகை அடையும்படி செய்வதே. இதற்குத் தேவையான ஒளித்தெறிப்பினைத் (flash) துவக்குவதற்குத் தேவையான மின்னாற்றலானது (electric energy) லேசரின் வெளிப்பாட்டு ஆற்றலைவிடப் பன் மடங்குப் பெரிதாகும். இஃது ஓர் அவப்பேறாகும். இத்தகைய அமைப்பு உண்மையான வேதியியல் லேசர் வினையையுடையதாகும். ஆனால், இதற்குத் தேவையான உள்ளிடும் ஆற்றல் வேதியியல் ஆற்றலே என்று கூறமுடியாது.

இந்த முதல் வேதியியல் லேசரைத் தொடர்ந்து ஹைடிரஜன் ஐசடோப்புகள் (hydrogen isotopes) ஹாலஜன்கள் (halogens) ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. இவற்றுள் தொடர்ச்சியாகச் செயல்படுவனவுமுண்டு ; துடிப்புகளாக வெளிப்பாட்டினை அனுப்புவனவுமுண்டு. இவற்றுள் சிலவற்றின் சராசரித் திறன் வெளிப்பாடு பலநூறு வாட்டுகள் கூட இருந்தன. இவற்றிலெல்லாம் வினையைத் துவக்குவதற்கு ஒளித்தெறிப்பு ஒளியால் பிரிகை (flash photolysis), மின்னிறக்கம் (electrical discharge) போன்ற முறைகள் கையாளப்பட்டன.

கி.பி. 1969 ஆம் ஆண்டில் டெரில் ஏ. கூல் (Terril A. Cool), ரொனல்டு ஆர். ஸ்டீபென்ஸ் (Ronald R. Stephens) ஆகியோர் முற்றிலும் வேதியியல் வினையாலேயே இயங்கும் ஒரு வேதியியல் லேசரை உருவாக்கினார்கள். அது செயல்படும் அடிப்படையினைப் பின்கண்ட வினைகள் விளக்கும் :

$$F_2 + NO \longrightarrow NOF + F \longrightarrow \quad (12{\cdot}25)$$
$$F + D_2 \longrightarrow DF^* + D \longrightarrow \quad (12{\cdot}26)$$
$$D + F_2 \longrightarrow DF^* + F \longrightarrow \quad (12{\cdot}27)$$
$$DF^* + CO_2\,(00^\circ0) \longrightarrow DF^{**} + CO_2\,(00^\circ1) \longrightarrow \quad (12{\cdot}28)$$

இங்கே * குறி $v=n$ என்ற அதிர்வுக் கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற நிலைகளையும், ** குறி $v=n-1$ என்ற அதிர்வுக் கிளர்ச்சியூட்டப் பெற்ற நிலையினையும் குறிக்கின்றன.

இவற்றுள் முதல் வினையில் F_2 ஆனது வேதியியல் முறையில் கட்டற்ற ஃப்ளோரின் அணுக்களாகப் (free flourine atoms) பிரிகையடைகின்றது. இந்த ஃப்ளோரின் அணுக்கள் மிக வேகமாக D_2, CO_2 ஆகியவற்றுடன் கலந்து அதிர்வுக் கிளர்ச்சியுற்ற DF - ஐ உருவாக்குகின்றன. கிளர்ச்சியுற்ற DF ஆனது தன் ஆற்றலை CO_2 - க்கு மாற்றித் தருகின்றது; லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறுகின்றது. இந்த லேசரின் வெளிப்பாடு 10·6 மைக்ரான்களில் இருந்தது.

இந்த லேசரில் பல முன்னேற்றங்கள் செய்யப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் 4 - 5% அளவிலான பெரும பயனுறு திறன் (maximum efficiency) கிடைத்துள்ளது. இந்தப் பயனுறு திறனானது $D_2 + F_2$ வினைகளில் கிடைக்கும் ஆற்றலின் அடிப்படையில் கணக்கிடப் பட்டதாகும். கி. பி. 1971 ஆம் ஆண்டுத் தொடக்கம் வரை இவ்வகை வேதியியல் லேசரில் கிடைத்துள்ள வெளிப்பாட்டுத் திறனின் உச்ச அளவு 440 வாட்டுகள் ஆகும். இது தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும் லேசர் ஒன்றின் உச்ச வெளிப்பாடாகும். இதனைக் கார்னெல் ஏரோநாட்டிக்கல் லேபரட்டரியைச் (Cornell Aeronautical Laboratory) சார்ந்த தியோடர் ஜே. ஃபாக் (Theodore J. Falk) கண்டார்.

இந்தத் தூய வேதியியல் லேசராகிய DF—CO_2 லேசர் உருவானதைத் தொடர்ந்து வேறு தூய வேதியியல் லேசர் அமைப்புகள் உருவாகியுள்ளன. நாம் மேலே விவரித்த லேசர் CO_2 இல்லாமலுங்கூட இயங்கும்; அப்போது DF - ல் மட்டுமிருந்தே லேசர் நிகழ்ச்சியினைப் பெறலாம்.

13. மேசரின் பயன்கள்

13.1. மேசரின் பயன்கள்

அம்மோனியா மேசரின் வரிஅகலம் மிகமிகக் குறைவாக இருக்குமாதலான் அதனை ஒரு சிறந்த அதிர்வெண் படித்தரமாக (frequency standard) பயன் படுத்தலாமென முன்னரே கண்டோம். அதே காரணத்தினுல் அம்மோனியா மேசர் ஒரு பெருக்கியாக நடைமுறைக் காரியங்களுக்குப் பயன்படாதெனவும் கண்டோம். ஆனுல், மற்றத் திடநிலை மேசர்களில் பட்டை அகலம் ஓரளவிற்கு அதிகரிக்கும். இதன் காரணமாக இவற்றைப் பெருக்கிகளாகப் பயன்படுத்தலாம்.

ஆனுல், ஒப்புமை அடிப்படையில் பார்க்கும்போது நடைமுறை யிலுள்ள மற்ற மைக்ரோ அலைப்பெருக்கிகளைவிடத் திடநிலை மேசர்கள் சிக்கலானவை ; விலையுயர்ந்த மேசர்ப் படிகப்பொருள் களைப் பயன்படுத்துபவை. ஏற்றத்திற்குப் பயன்படுத்த உயர் அதிர்வெண் மூலங்கள் (high frequency sources) இவற்றிற்குத் தேவை. மேலும் இவற்றைத் திரவ ஹீலியம் வெப்ப நிலைகளுக்குக் குளிர்விக்கவேண்டும். இவ்வளவு பிரச்சினைகள் இருப்பதோடுகூட இவை தரும் ஈட்டமும் (gain) ஒரு வரம்பிற்குட்பட்டதே. இவற்றின் வரி அகலமும் குறைந்ததுதான். இருப்பினும், இந்த மேசர்ப் பெருக்கிகளை நடைமுறைப் பயன்களுக்கெனப் பயன்படுத் துவதில் ஆர்வம் குன்றவில்லை. இதற்குரிய காரணம் இவற்றின் இரைச்சல் (noise) மிகவும் வியக்கத்தக்க அளவு குறைவாக இருப் பதேயாகும்; இந்த அளவு குறைவான இரைச்சலையுடைய மைக்ரோ அலைப் பெருக்கிகள் வேறெதுவும் இல்லையென்றே துணிந்துரைக்கலாம். இந்த ஓர் அடிப்படையில்தான் மேசர்கள் விரும்பப்பெறுகின்றன. எனவே, மேசர்ப் பெருக்கிகளின் பயன் களைப் பார்க்கப் புகுமுன்னர் அவற்றின் இரைச்சல் செயல் திறத்தை (noise performance) அறியவேண்டியவர்களாகின்றோம்.

13.2. மேசர்களின் இரைச்சல் செயல்திறம்

தன்னிச்சையான வெளியீடுதான் (spontaneous emission) மேசர் இரைச்சலாக அமைகின்றது என்பதனையும், சாதாரணமாக மேசரில் தன்னிச்சையான வெளியீடு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறிதாக இருக்குமெனவும், அதனால் மேசர் இரைச்சல் மிகமிகக் குறைவு எனவும் முன்னரே கண்டோம். இப்போது, ஒரு மேசரைப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்துகையில் இந்த இரைச்சலின் விளைவு களையும் அதன் பயனாக மேசர் எவ்வாறு விரும்பப்படுகின்றது என்பதனையும் காண்போம்.

மைக்ரோ அலை மேசர்ப் பெருக்கி யொன்று ஒரு சைகை மூலத் துடன் (signal source) இணைக்கப் பெற்றிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தச் சைகை மூலம் ஒரு சைகை இயற்றி (signal generator) அல்லது மைக்ரோ அலை அன்டென்னு (antenna) போன்ற ஏதேனும் ஒன்றாக இருக்கலாம். மூலத்திலிருந்து மேசருக்கு உள்ளிடப் பெறும் திறன் (input power) P_i எனவும் மேசரின் திறன் ஈட்டம் (power gain) G எனவும் கொள்வோம். எனவே, இச் சைகை மேசரில் பெருக்கப்பெற்று $P_i \times G$ திறன் வெளிப்படும். இந்த வெளிப்பாட்டுடன்கூட (output) மேசரினுள்ளேயே தோன்று கின்ற மேசர் இரைச்சலும் (P_n) சேர்ந்துவிடும். எனவே, மொத்தத் திறன் வெளிப்பாடு,

$$P_{\text{மொத்தம்}} = G P_i + P_n \qquad \longrightarrow (13.1)$$

நாம் மேசர்ப் பெருக்கியைப் பயன்படுத்த விழையும் பலவிடங் களிலும் பெருக்கப்பட வேண்டிய உள்ளிடும் சைகையானது ஒரு வெப்ப இரைச்சலைப் (thermal noise) பின்னணியாகக் கொண் டிருக்கும். மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்களில் இந்த இரைச்சலின் அளவைப் பின்கண்டவாறு குறிக்கலாம் :

$$\text{வெப்ப இரைச்சல்} \simeq k T_s B \qquad \longrightarrow (13{\cdot}2)$$

இங்கே T_s என்பது வெப்ப மூலத்தின் (thermal source) வெப்ப நிலையையும், B என்பது இரைச்சல் திறனை எந்தப் பட்டை அகலத்திற்குள் அளக்கின்றோமோ அந்தப் பட்டை அகலத்தையும் குறிக்கும். k என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (Boltzmann constant).

இந்த வெப்ப இரைச்சலை மட்டிலும் மேசர்ப் பெருக்கியில் உள்ளிடுவதாகக் கொண்டால்,

$$P_i \simeq k T_s B \quad \longrightarrow (13{\cdot}3)$$

இப்போது, மேசர் இரைச்சல் P_n - ஐ வேறொருவிதமாகக் குறிக்கும் வழியொன்று நமக்குப் புலனாகின்றது. மேசர் இரைச்சலே யற்றதென்றும், மேசருக்குப் புறத்தே $k T_{eq}. B$ எனும் இரைச்சலை B பட்டை அகலத்தில் தோற்றுவிக்கும் ஒரு வெப்ப இரைச்சல் மூலம் உள்ளதாகவும் கொள்வோம். இந்த மூலத்திலிருந்து வரும் $k T_{eq}. B$ இரைச்சலை மேசர்ப் பெருக்கியில் உள்ளிட்டால் அது பெருக்கப்பெறும்; எனவே, மேசரின் வெளிப்பாட்டில் அது $G k T_{eq}. B$ ஆக வெளிவரும். இப்போது,

$$P_n = G k T_{eq}. B \quad \longrightarrow (13{\cdot}4)$$

என்றிருக்குமானால், அந்த வெப்பமூலம் மேசர் இரைச்சலுக்கு இணைமாற்று (equivalent) ஆகும். எனவே, மேசரை T_{eq}. வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு வெப்ப இரைச்சல் மூலத்திற்கு இணையானதாகக் கருதலாம். T_{eq}. என்பது மேசரின் இரைச்சலைக் குறிக்கும் அளவீடாகக் கருதப்படும். இது எந்த ஒரு பெருக்கிக்கும் பொருந்தும். எனவே, எந்த ஒரு பெருக்கியினது இரைச்சலையும் அதன் இணை மாற்று வெப்பநிலையால் (equivalent temperature) குறிப்பது வழக்கம்.

எனவே, T_s வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு வெப்ப - இரைச்சல் மூலத்தோடு (thermal noise source) மட்டிலுமே இணைக்கப்பெற்றுள்ள ஒரு மேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறனைப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$P_{out} = G k T_s B + G k T_{eq}. B \quad \longrightarrow (13{\cdot}5)$$

இப்போது, மேசருடன் இணைக்கப்படும் மூலமானது 0° கெல்வினுக்குக் ($T_s = 0° K$) குளிர்விக்கப்பட்டால், அதாவது மேசருக்குள் செலுத்தப்படும் இரைச்சல் சுழியாக இருக்கும்படி செய்தால், மேசரின் வெளிப்பாட்டில் மேசரின் இரைச்சலாகிய $G k T_{eq}. B$ மட்டிலும்தான் இருக்கும். எனவே, பெருக்கப்பட வேண்டியதும், அளக்கப்பட வேண்டியதுமான மூலத்தினது வெப்பநிலை (T_s) மேசரின் இணைமாற்று வெப்பநிலையைவிடக் குறைவாக இருந்தால் வெளிப்பாட்டில் மேசரினது இரைச்சலே அதிகமாக இருக்கும்; உள்ளிடப் பெறும் சைகை அதில் அழுந்திவிடும். எனவே, பெருக்கப்பட வேண்டிய சைகை மூலத்தின் வெப்ப

நிலை T_s ஆனது பெருக்கியினது இணைமாற்று வெப்பநிலையைவிடக் கூடுதலாகவோ அல்லது சமமாகவோ இருக்க வேண்டும்; அதாவது

$$T_s \geqslant T_{eq.}$$

பெருக்கியினது இணைமாற்று வெப்பநிலையை வழக்கமாகக் குறிப்பிடப்பெறும் பெருக்கியினது இரைச்சல் எண்ணுடன் (noise figure) பின்கண்டவாறு தொடர்பு படுத்தலாம். T_s வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு சைகை மூலத்தை (signal source) எடுத்துக் கொள்வோம். இது $k T_s B$ எனும் வெப்ப இரைச்சல் திறனைப் பின்னணியாக உண்டாக்கும். இதனுடன் உள்ளிடப்பெறும் சைகைத் திறன் P_s எனக் கொள்வோம். இந்தச் சைகைத் திறனையே நாம் கண்டறியவேண்டும். இப்போது, மேசர்ப் பெருக்கியில் உள்ளிடப் பெறும் சைகைத் திறனுக்கும் இரைச் சலுக்கும் உள்ள விகிதம்,

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in} = \frac{P_s}{k T_s B} \longrightarrow (13{\cdot}6)$$

ஆகும்.

பெருக்கியில் உள்ளிடப்பெறும் சைகைத்திறன் G மடங்காகப் பெருக்கப்பட்டு வெளிவரும்; உள்ளிடப்பெறும் இரைச்சலும் G மடங்குப் பெருக்கப்பட்டு வெளிவரும். இவற்றோடு கூட மேசரின் இரைச்சலும் $G k T_{eq.} B$ சேர்ந்து வெளிவரும். எனவே பெருக்கியினது வெளிப்பாட்டில் சைகைக்கும் இரைச்சலுக்கும் உள்ள விகிதம்,

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{G P_s}{G k T_s B + G k T_{eq.} B} \longrightarrow (13{\cdot}7)$$

பின்னணியாய் அமையும் மூலத்தின் வெப்பநிலை T_s ஆனது 290° கெல்வினாக இருக்கும்போது, பெருக்கியின் உள்ளீட்டில் (input) உள்ள சைகை - இரைச்சல் விகிதத்தினை வெளிப்பாட்டில் உள்ள சைகை - இரைச்சல் விகிதத்தால் வகுக்கக் கிடைக்கும் எண்ணே இரைச்சல் எண் (ncise figure) எனப்படும். எனவே, இரைச்சல் எண்ணை F எனக் குறித்தால்,

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}} \rightarrow (13{\cdot}8)$$

13·6, 13·7 சமன்பாடுகளிலிருந்து பதிலிட,

$$F = \frac{\dfrac{P_s}{k\,T_s\,B}}{\dfrac{G\,P_s}{G\,(k\,T_s + k\,T_{eq.})\,B}}$$

அல்லது,

$$F = \frac{k\,T_s + k\,T_{eq.}}{k\,T_s}$$

அல்லது,

$$F = 1 + \frac{T_{eq.}}{T_s} \qquad \longrightarrow (13{\cdot}9)$$

அல்லது,

$$F = 1 + \frac{T_{eq.}}{290} \qquad \longrightarrow (13{\cdot}10)$$

செம்மையாக அமைக்கப்பெற்ற, ஹீலியம் திரவ வெப்ப நிலையில் இயங்கும் மேசரின் இணைமாற்று வெப்பநிலை $T_{eq.}$ ஆனது வழக்கமாகச் சில டிகிரி கெல்வின்களோ அல்லது சில பத்து டிகிரி கெல்வின்களோதாம் இருக்கும். எனவே, இத்தகைய மேசரின் இரைச்சல் எண் ஏறக்குறைய ஒன்று ஆகும். மேலும், பின்னணி வெப்பநிலை T_s ஆனது அறை வெப்பநிலையைவிட மிகக் குறைவாக இருக்கும் நிலைகளில்தான் மேசர்ப் பெருக்கிகள் பயன்படுத்தப் பெறும். எனவே, மேசர்ப் பெருக்கிகளின் இரைச்சல் அளவை அறிவதற்கு இரைச்சல் எண்ணை ஓர் அளவாகப் பயன்படுத்துவதை விட அதன் இணைமாற்று வெப்பநிலையையே பயன்படுத்துவது வழக்கம். மைக்ரோ அலை ஏற்பிகளின் சில வகைகளினது இரைச்சல் எண், இணைமாற்று வெப்பநிலை ஆகியவை அட்டவணை 13.1 - ல் தரப்பெற்றுள்ளன. இதிலிருந்து, குறைந்த இரைச்சலை யுடைய பெருக்கி தேவைப்படும்போது மேசர் ஏன் விரும்பப் படுகின்றது என்பது தெற்றெனவிளங்கும்.

13·3. மேசரின் சில பயன்கள்

மிகவும் வலுக்குறைந்த சைகைகள் பெருக்கப்படவேண்டின் அப்போது மேசர்களைப் பயன்படுத்தலாம். ஏனெனில், சைகை யின் வலுவே குறைவாக இருக்கின்ற காரணத்தினுல் சாதாரணப் பெருக்கிகளைப் பயன்படுத்தும்போது பெருக்கியில் ஏற்படும் இரைச்சல் வெளிப்பாட்டுச் சைகையைவிட வலுவானதாக

அட்டவணை 13.1

மைக்ரோ அலை ஏற்பிகள் சிலவற்றின் இரைச்சல் பண்புகள்

பெருக்கி அல்லது ஏற்பி	இரைச்சல் எண் F டெசிபெல் களில்	இரைச்சல் வெப்ப நிலை T_{eq}. டிகிரி கெல்வினில்
கலக்கிப் பிரிக்கும் ஏற்பி - படிகக் கலக்கியுடையது	7	1200
இயங்குஅலைக் குழாய் அல்லது டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி	5	625
மீக்குறைந்த இரைச்சல் இயங்கு அலைக் குழாய்	2	170
மைக்ரோ அலை திட - நிலை மேசர்	0·16	10

இருக்கக்கூடும். இத்தகைய நேரங்களில் மேசர்கள் சிறப்பாகப் பயன்படும்.

உயர்ந்த ஈட்டங்களைப் பெறவேண்டின் சைகையானது அடுத்தடுத்து இணைக்கப்பெற்றுள்ள பல பெருக்கிகளால் பெருக்கப்படும் என்பது நாமறிந்ததே. இந்த எல்லாப் பெருக்கல் நிலைகளிலும் விலையுயர்ந்த மேசர்ப் பெருக்கிகளையே பயன்படுத்தத் தேவையில்லை. தொடக்கப் பெருக்கி ஒன்றுமட்டிலும் மேசர்ப் பெருக்கியாக இருந்தால் போதும்; அடுத்துள்ள நிலைகளில் சாதாரணப் பெருக்கிகளைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். இதற்குரிய காரணம் ஐந்தாம் பிரிவில் (பகுதி 5.8) விளக்கப்பெற்றுள்ளது. மேசர்ப் பெருக்கிகள் தொடக்கப் பெருக்கிகளாகவே (pre-amplifiers) பயன்படுத்தப்பெறும்.

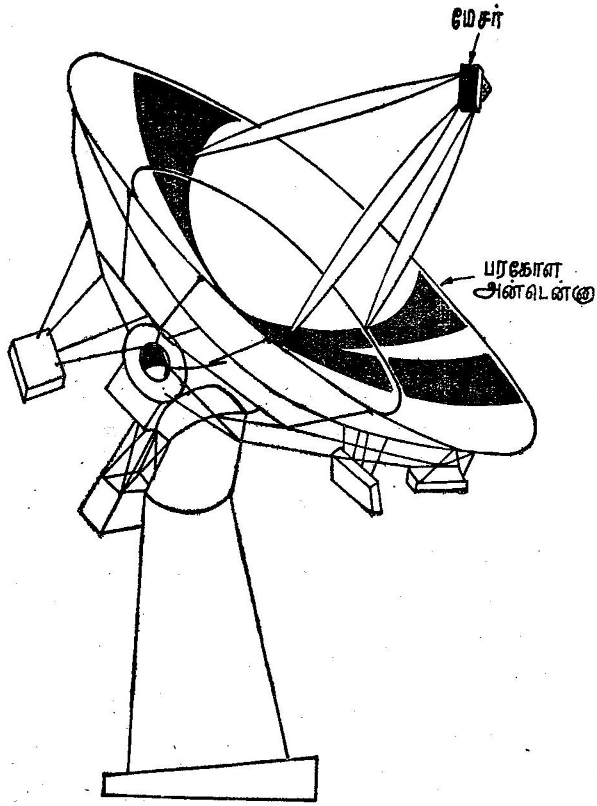
மேலும், மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கிகளைச் சாதாரணப் பெருக்கும் காரியங்கள் யாவற்றினுக்கும் பயன்படுத்தத் தேவையில்லை. ஏனெனில், சாதாரணமாக ஆய்வுக்கூட அளவீடுகளில் பின்னணி வெப்பநிலையே உயர்வாக இருக்கும்; இது அறை வெப்ப நிலையாகவோ அதனைவிட அதிகமாகவோ இருக்கும். எனவே, பெருக்கியினது இணைமாற்று வெப்பநிலையும் அதே அளவில்

இருக்கலாம் ; மேசரைப் போன்ற மிகக்குறைந்த இரைச்சல் வெப்பநிலையுடைய பெருக்கிகளைப் பயன்படுத்துவதால் பெரும் பயன் ஏதுமில்லை. எனவே, விலையுயர்ந்த, சிக்கல் மிக்க மேசர்ப் பெருக்கிகள் தேவையில்லை. இதே போன்று சாதாரண ராடார் (Radar) அமைப்புகளுக்கும் இது தேவையில்லை. இங்கும், ராடார் புலத்திலுள்ள வெப்பமான பொருள்கள், புவி போன்ற வற்றின் வெப்பக் கதிர்வீச்சுகளாலும், ஒளிக் குறுக்கீடு (interference), பரப்பியில் கசிவு (transmitter leakage) போன்ற காரணங் களாலும் பின்னணி இரைச்சல் இருக்கும்.

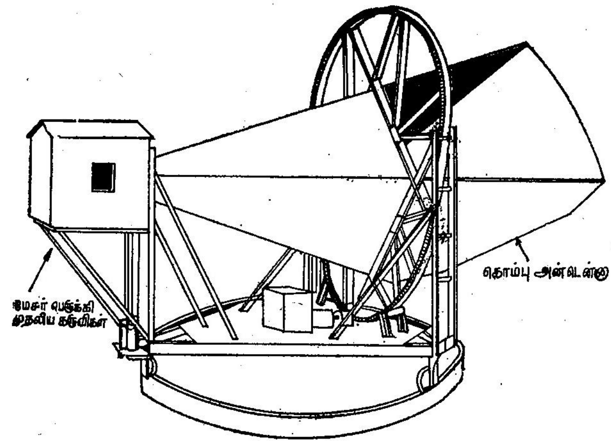
அவ்வாறுயின் மேசர் பயன்படுத்தப்பெறும் இடங்கள்தாம் யாவை? வெட்ட வெளியிலிருந்து (space) வருகின்ற மிகவும் வலுக்குறைந்த சைகைகளைப் பெருக்குவதற்கு மேசர்ப் பெருக்கி கள்தாம் பயன்படும். இங்கு மேசரைப் பயன்படுத்திஞல் மட்டிலும் போதாது ; பின்னணி இரைச்சல் இல்லாமலும் பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இதற்கென மிகுந்த கவனத்துடன் அமைக்கப்பெறும் அன்டென்ஞக்களைப் (antenna) பயன்படுத்தவேண்டும் ; இந்த அன்டென்ஞக்கள் வானத்தின் குளிர்ச்சியான பகுதியினை நோக்கி இருக்கும்படி அமைக்கப்படவேண்டும். அன்டென்ஞ சூரியன் அல்லது வேறெந்தப் பெரிய இரைச்சல் மூலத்தையும் பார்த்துக் கொண்டு இல்லாதபடி வானத்தை நோக்கி வைக்கப்பட்டால், அன்டென்ஞவை அடையும் வானத்தின் பின்னணி இரைச்சலின் (background noise) வெப்ப நிலையானது ($T_s = T_{\text{வானம்}}$) பல்வேறு காரணிகளைப் பொறுத்திருக்கும். அன்டென்ஞவானது அடிவா னத்திற்கு மேலே 30° - க்கு மேற்பட்ட கோணத்தில் இருக்கும் போது 1 - லிருந்து 10 கிகா ஹெர்ட்சுகளுக்கு (G H_z) உட்பட்ட மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்களில் பின்னணி வெப்பநிலை 10° கெல்வின் இருக்கும்.

வானத்தை நோக்கி இருக்கும், திசை திருப்பிக்கொள்ளக் கூடிய அன்டென்ஞக்களில் மேசர்கள் எவ்வாறு அமைக்கப்படு கின்றனவென்பதற்கு இரண்டு சிறப்பான எடுத்துக்காட்டுகளைப் படம் 13.1, படம் 13.2 ஆகியவை விளக்குகின்றன.

இவை, அன்டென்ஞ இழப்புகள் (antenna losses) குறைவாக இருக்கும்படியும், அன்டென்ஞவிற்கும் மேசருக்கும் உள்ள இணைப்புக் கம்பிகள் குட்டையானவையாக இருக்கும்படியும், பக்க மடல் மட்டம் (side lobe level), பின் மடல் மட்டம் (back lobe



படம் **13.1.** குவியத்தில் மேசர் பொருத்தப்பெற்ற அன்டென்னு.



படம் **13.2.** மேசர் தனியாகப் பொருத்தப்பெற்ற அன்டென்னு.

level) ஆகியவை தாழ்வாக இருக்கும்படியும் அமைக்கப்பட்டவை யாகும்.

படம் 13.1 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது ஒரு பரகோளத் தட்டு வடிவ அன்டென்ஞ. இதன் குவியத்தில் (focus) மேசர் அமைக்கப் பெற்றுள்ளது. படம் 13.2 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளதில் மேசரும் மற்ற ஏற்கும் கருவிகளும் ஒரு நிலேயான இடத்தில் அன்டென்ஞ விற்குப் பக்கத்தில் தரைக்கு அருகே அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மேசருக்கும் அன்டென்ஞவிற்கும் இடையில் ஒரு சுழலும் இணைப்பு (rotary joint) இருக்கின்றது.

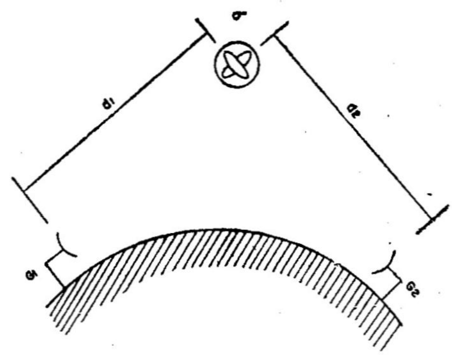
மேசர்ப் பெருக்கிகள் துணைக்கோள்கள் வழிச் செய்தித் தொடர்பு, ரேடியோ வானியல், ராடார் வானியல், மைக்ரோ அலை நிறமாலேயியல் போன்ற துறைகளில் பயன்படுத்தப் பெற லாம். அவற்றுள் சில ஈண்டு விவரிக்கப்பெற்றுள்ளன.

13.4. துணைக்கோள்வழிச் செய்தித் தொடர்பு அமைப்புகளில் மேசர்கள்

சாதாரண ராடார் அமைப்புகளில் ரேடியோ அலேகள் இலக்கின் (target) மீது படுகையில் எதிரொளித்துத் திரும்பி வருகின்றன. அதேபோல ஒரு செயற்கைத் துணைக்கோளின் (artificial satellite) மீதும் மைக்ரோ அலேக்கதிர் வீச்சினைப் படும்படி செய்தால், அதில் ஓரளவு துணைக்கோளால் சிதறடிக்கப் பெற்றுத் தொலேவிலுள்ள ஏற்பியினை அடையும். இந்த அடிப்படையில் ஒரு செய்தித் தொடர்பு திட்டத்தினை (communication system) உருவாக்கலாம்.

மிக உயர்ந்த திசைப்பண்புடைய ஏரியல் (directional aerial) ஒன்றிலிருந்து திறன் செயற்கைத் துணைக்கோளை நோக்கி அனுப் பப்படும். செயற்கைக் கோளில் இத் திறன் ஏற்கப்பட்டு மீண்டும் கதிர்வீசப்படும். இவ்வாறு மீண்டும் கதிர்வீசப்படும் திறன் தொலேவிலுள்ள ஏற்கும் நிலேயத்தில் (receiving station) சேகரிக்கப் படும். இவ்வாறு துணைக்கோளில் ஏற்கப்பட்டு மீண்டும் அங்கிருந்து பரப்பப்படாமல் துணைக்கோளானது பரப்பியிலிருந்து (transmitter) வந்து தன்மீது படும் திறனை மட்டும் சிதறடிக்கும் செயலே மட்டும் செய்கின்ற அமைப்புகளும் உண்டு. உண்மையில் இத்தகைய முறைதான் எக்கோ - 1 (Echo - 1) எனும் செயற்கைத் துணைக்கோள் வழிச் செய்தித் தொடர்பு சோதனைகளில்

கி. பி. 1960 - ல் பயன்படுத்தப்பெற்றது. இத்தகைய திட்டத்திற்கான அடிப்படை அமைப்பு முறை, படம் 13.3 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது.



படம் 13.3. துணைக்கோள் வழிச் செய்தித் தொடர்பு.

இத்தகைய அமைப்பினைச் சற்று நுணுகிச் சிந்தித்துப் பார்த்தால் துணைக்கோளால் சிதறடிக்கப் பெற்று ஏற்பியினை அடையும் சைகையின் வலு மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும் என்பது எளிதில் புலப்படும். இந்த அமைப்பில் ஏற்படும் இழப்பு எவ்வளவு என எளிதில் கணக்கிடலாம். இதற்கான கணக்கீடுகள் ராடார் சமன்பாட்டை ஒட்டியனவேயாகும். எனவே, தரையிலுள்ள இரு நிலையங்களும் துணைக்கோளிலிருந்து முறையே d_1, d_2 தூரங்களிலிருந்தால் (படம் 13.3 காண்க) முதல் நிலையத்திலிருந்து இரண்டாவது நிலையத்திற்குச் செய்தி செல்வதில் ஏற்படும் இழப்பு (L) - ஐப் பின்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$L = \frac{(4\pi)^3 \, d_1^2 \, d_2^2}{G_1 \, G_2 \, \lambda^2 \, \sigma} \qquad \longrightarrow (13{\cdot}11)$$

இங்கே G_1, G_2 என்பன பரப்பி (transmitter), ஏற்பி (receiver) ஏரியல்களின் ஈட்டங்கள் ; λ என்பது மைக்ரோ அலைக் கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் ; σ என்பது துணைக்கோளின் சிதறல் குறுக்குவெட்டு (scattering cross - section).

நடைமுறையில் இழப்பு எவ்வளவு இருக்கும் என்பதற்கு எக்கோச் சோதனைகளில் பயன்படுத்திய அளவீடுகளையே எடுத்துக் கொள்வோம். இதில், 30 மீட்டர் விட்டமுடைய உலோக பலூன்தான் துணைக்கோளாக இருந்தது. இது தரையிலிருந்து

ஏறத்தாழ 1600 கிலோ மீட்டர்கள் உயரத்தில் ஏறத்தாழ வட்ட வடிவமான சுற்றுப்பாதையில் (orbit) இயங்கியது. இதன் சிதறல் குறுக்குவெட்டு ஏறத்தாழ 730 சதுர மீட்டர்கள். பரப்பி, ஏற்பி ஏரியல்கள் இரண்டுமே பயன்படுத்தப்பெற்ற 12·5 செ. மீ. அலை நீளத்தில் ஏறத்தாழ 45 டெசிபெல் ஈட்டங்களை உடையனவா யிருந்தன. தரை நிலையங்கள் 4800 கிலோமீட்டர் தொலைவில் அமைக்கப் பெற்றிருந்தன. ஏற்கப்படும் திறனுக்கும் (P_R) பரப்பப் படும் திறனுக்கும் (P_T) உள்ள விகிதமே இழப்பு (L) என்பதனை, அதாவது,

$$L = \frac{P_R}{P_T} \longrightarrow (13 \cdot 12)$$

என்பதனை நினைவில் கொண்டால் மேலே கூறிய அளவுகளில் செயல்படும்போது பரப்பி 10 கிலோ வாட்டுத் திறனைப் பரப்பினால் ஏற்பியினை 10^{-14} வாட்டுகள்தாம் அடையும் எனக் கணக்கிட்டுக் காணலாம்.

ஏற்கப்படும் சைகையின் வலு இவ்வளவு குறைவாக இருந்தால் இதனை ஏற்பது கடினம் ; ஏற்பியின் இரைச்சலில் இது அழுந்திவிடும். மிகச் சிறந்த, தாழ்ந்த இரைச்சலையுடைய கலக்கிப் பிரிக்கும் ஏற்பி (super heterodyne receiver) ஒன்றினை 1 மெகா ஹெர்ட்சுப் பட்டை அகலத்தில் செயல்படும்படி செய்தால் அதன் இரைச்சல் எண் ஏறத்தாழ 1·06 டெசிபெல் களாக இருக்கும் ; அதன் இரைச்சல் வெப்பநிலை 50° கெல்வினாக இருக்கும் ; அது $0 \cdot 7 \times 10^{-15}$ வாட்டுகள் இரைச்சல் திறனை உண்டு பண்ணும். எனவே, 10^{-14} வாட்டுகள் திறனே உடைய சைகையினை ஏற்கும்போது சைகை-இரைச்சல் விகிதம் 10 டெசிபெல்கள்தாம் இருக்கும். எனவே, சாதாரணக் கலக்கிப் பிரிக்கும் வகை ஏற்பிகள் அவை எவ்வளவுதான் சிறப்பாக அமைக்கப்பெற்றாலும் துணைக் கோள் செய்தித் தொடர்பில் பயன்படா. இங்கு மேசர்கள்தாம் தேவை. 1 மெகா ஹெர்ட்சுப் பட்டை அகலத்திலேயே இப்படி யென்றால் நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்பெறும் 25 மெகா ஹெர்ட்சுகள் போன்ற பட்டை அகலங்களில் மேசர்கள்தாம் தொடக்கப் பெருக்கிகளாகச் செயல்பட முடியுமென்பதைச் சொல்லவும் வேண்டுமோ !

உலகம் முழுவதற்குமான செய்தித் தொடர்பிற்குத் துணைக் கோளைப் பயன்படுத்த வேண்டின் துணைக்கோளை மிக அதிகமான

உயரத்தில் சுற்றி வரும்படி செய்யவேண்டும். இதன் காரணமாக இரைச்சல் பெருகும் ; ஏற்கும் நிலையத்தினை அடையும் சைகையின் வலு மேலும் குறையும். சைகையின் வலுக்குறைவைத் தடுப்ப தற்காகவேண்டிச் செயலுடைய துணைக்கோளைப் (active satellite) பயன்படுத்தலாம் ; அஃதாவது, துணைக்கோளானது பரப்பியி லிருந்து வரும் ஆற்றலை ஏற்று அதனைப் பெருக்கி மீண்டும் பரப்பும் முறையைப் பயன்படுத்தலாம். டெல்ஸ்டார் (Telstar) சோதனை களில் இந்த முறைதான் கையாளப்பெற்றது. இந்த முறையிலும் 10,000 கிலோ மீட்டர்கள் தொலைவிலுள்ள நிலையங்களில் ஏற்கப் பட்ட சைகையின் வலு 10^{-13} வாட்டுகள்தாம் இருந்தது. எனவே, எந்த முறையைப் பின்பற்றினாலும் - செயலுடைய துணைக்கோள் (active satellite) அல்லது செயலற்ற துணைக்கோள் (passive satellite) - மேசர்தான் தொடக்க ஏற்பியாகத் திறம்படச் செயல்பட முடியுமென்பது தெளிவு.

இந்த வகையில் பயன்படும் மேசர்களுக்கு ஓர் எடுத்துக் காட்டாகக் கூன்ஹில்லி (Goonhilly) எனுமிடத்திலுள்ள அஞ்ச லகத்தில் அமைந்துள்ள செய்தித் தொடர்பு துணைக்கோள் தரை நிலையத்தில் பயன்படும் இயங்குஅலை மேசரைக் கூறலாம். கூன் ஹில்லியில் உள்ள ஏரியல் 26 மீட்டர் விட்டமுடைய ஒரு பரகோள அன்டென்னாவாகும் (parabolic antenna). மேசர்ப் பெருக்கியானது அன்டென்னாவிற்குப் பின்புறமுள்ள ஓர் அறையில் வைக்கப்பட் டிருக்கின்றது. இது ஒரு மாணிக்க இயங்குஅலை மேசராகும். இதன் வெளிப்பாடு 4170 மெகா ஹெர்ட்சுகள் அதிர்வெண் ணுடையது. இதுவே, செய்தித் தொடர்பினது ஊர்தி அதிர் வெண்ணும் (carrier frequency) ஆகும். இந்த மேசருக்கு ஏற்றும் அதிர்வெண் (pumping frequency) 30150 மெகா ஹெர்ட்சுகள். இந்த அதிர்வெண்களில் மேசர் இயங்குவதற்கு 3280 ஓர்ஸ்டெட் வலுவுள்ள காந்தப் புலம் தேவைப்படும். ஒரு நிலைக் காந்தம் (permanent magnet) இந்தப் புலத்தை ஏற்படுத்துகின்றது. குறை வேக அலைக் கட்டமைப்பு (slow wave structure) சீப்பு (comb) வகையாகும். இதில் இரும்புக் கார்னெட் (Iron garnet - YIG) தனிமைப்படுத்தும் பொருளாகப் (isolating material) பயன்படு கின்றது. இந்த மேசர் 1·5 டிகிரி கெல்வினில் இயங்குகின்றது. இதன் இரைச்சல் வெப்ப நிலை 15° கெல்வின். சிறந்த இயங்கு அலை வெற்றிடப் பெருக்கி (travelling wave vacuum amplifier) ஒன்று இந்த அதிர்வெண்ணில் செயல்பட்டால் இதன் இரைச்சல்

வெப்பநிலை 900° கெல்வினாக இருக்கும் என்பது ஈண்டுக் குறிப்பிடத் தக்கது. மேசரின் இரைச்சல் வெப்பநிலை 15° கெல்வின் எனக் கூறினாலும் மேசர் ஒன்றினால் மட்டும் உண்டாகும் இரைச்சல் வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 4° கெல்வின்தான்; மீதியெல்லாம் பொது அச்சுக் கேபிள் (coaxial cable), மைக்ரோ அலை உறுப்புகள், அன்டென்னாவின் பக்க மடல்கள் (side lobes) ஆகியவற்றால் ஏற்படுவனவாகும். இந்த வகைகளில் ஏற்படும் இரைச்சல் வெப்ப நிலையைக் குறைக்க முயலலாம்.

13·5. ரேடியோ வானியலில் மேசர்கள்

ரேடியோ வானியல் இந்த நூற்றாண்டில் தோன்றி வளரும் ஒரு புதிய வானியல் துறையாகும். ஞாயிறு, திங்கள், கோள்கள், நட்சத்திர மண்டிலங்கள், நட்சத்திர மண்டிலங்களின் தொகுதிகள் போன்ற வெட்டவெளியில் நெடுந் தொலைவிலுள்ள வான் பொருள்கள் இயற்கையாக வெளிவிடும் ரேடியோ அலைகளை ஆராயும் துறையே ரேடியோ வானியலாகும் (radio astronomy). இந்த வான் பொருள்கள் வெளிவிடும் ரேடியோ ஆற்றல்கள் நம் புவியினை எட்டும்போது மிகமிகக் குறைந்த வலுவுடையனவா யிருக்கும். மிகுந்த வலுமிக்க ரேடியோ மூலங்களிலிருந்து (radio sources) வரும் சைகைகள்கூடப் பூமியை எட்டும்போது வழக்க மான ஏற்பிகளில் ஏற்படும் இரைச்சல் அளவிலேயே இருக்கும். எனவே, இத் துறையில் மேசர்களைத் தொடக்க ஏற்பிகளாகப் பயன்படுத்த வேண்டியுள்ளது.

இவ்வாறு ரேடியோ வானியலில் முதன்முதலாக மேசரைப் பயன்படுத்தியவர்கள் ஜியோர்ட்மைன் (Giordmaine), அல்சாப் (Alsop), மேயர் (Mayer), டவுன்ஸ் (Townes) ஆகியோராவார்கள். இவர்கள் கி. பி. 1959 ஆம் ஆண்டில் வாஷிங்டனிலுள்ள நேவல் ரிசர்ச் லாபரட்டரியில் (Naval Research Laboratory) உள்ள 50 அடி அன்டென்னாவில் ஒரு X - பட்டை மேசரைப் பொருத்திப் பயன் படுத்தினார்கள். இதனைத் தொடர்ந்து உலகின் பல பகுதிகளிலு முள்ள பல வானாய்வுக்கூடங்களும் (observatories) மேசர்களைப் பயன்படுத்தத் தொடங்கின.

இவைகளுக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாக ஜெல்லி (Jelley), கூப்பர் (Cooper) ஆகியோர் கி. பி. 1961 ஆம் ஆண்டில் செய்த சோதனை களைக் கூறலாம். இவர்கள் ஹார்வார்டு கல்லூரியின் வானாய்வுக் கூடத்திலுள்ள 60 அடி எதிரொளிப்பானைப் பயன்படுத்தினார்கள்.

இந்த அன்டென்னுவின் குவியத்தில் ஒரு மும்மட்டப் பொந்து மேசரைப் பொருத்தினர்.

அம் மேசர்பற்றிய சில விவரங்களாவன: மேசர்ப் பொருளாக 0·05% குரோமியம் உடைய மாணிக்கப் படிகம் பயன்படுத்தப் பெற்றது. இப் படிகத்தின் C - அச்சானது ஒருதிசைக் காந்தப்புலத் திற்கு 90° கோணத்தில் இருக்கும்படி பொருத்தப்பெற்றிருந்தது. 2000 ஓர்ஸ்டெட்டுகள் வலுவுள்ள காந்தப்புலம் பயன்படுத்தப் பெற்றது. அமைப்பு 4·2° கெல்வின் வெப்பநிலையில் வைக்கப்பட் டிருந்தது. 11·27 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் ஏற்றும் அதிர் வெண் பயன்படுத்தப்பெற்றது. இந் நிலைகளில் மேசர் 1420 மெகா ஹெர்ட்சுக்ளில் பெருக்கியாகச் செயல்பட்டது. 2 மெகா ஹெர்ட்சுகள் பட்டை அகலத்திலும் 20 டெசிபெல்கள் ஈட்டத் துடனும் மேசர் இயக்கப்பெற்றது.

இம் மேசரானது அன்டென்னுவின் குவியத்தில் பொருத்தப் பட்டமையால் இதன் எடை குறைவாக இருக்க வேண்டியது மிகவும் இன்றியமையாதது ; எனவே, இதன் எடை 200 பவுண்டு களுக்கு மிகாமல் பார்த்துக் கொள்ளப்பட்டது.

ரேடியோ மூலங்களிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சுகளைக் கண்டு ஆராயப் பயன்படும் மொத்த அமைப்பிற்கும் கதிர்வீச்சுமானி (radiometer) என்பது பெயர். இதில் மேசர் ஒரு பகுதியாகும். மேற்கண்ட மேசரினுடைய இரைச்சல் வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 2° கெல்வின்தான். ஆனுலும் அதனை இணைக்கும் பகுதிகள், கேபிள்கள் போன்றவற்றின் இரைச்சலையும் சேர்த்துக் கணக்கிட இது 97° கெல்வினுக இருந்தது. தொடக்கப் பெருக்கியாக இந்தக் கதிர்வீச்சுமானியில் மேசரைப் பயன்படுத்தாமல் வேறு பெருக்கி களைப் பயன்படுத்திவந்தபோது இதன் இரைச்சல் வெப்பநிலை 1000° கெல்வினுக இருந்தது என்பதனை எண்ணிப் பார்த்தால் மேசரின் சிறப்புப் புலப்படும்.

இந்தக் கதிர்வீச்சுமானியைப் பயன்படுத்தி ஜெல்லி, கூப்பர் ஆகியோர் பல்வேறு நட்சத்திர மண்டலங்கள் (galaxies) வெளி விடும் ஹைடிரஜன் வரிகளை ஆராய்ந்தனர்.

ரேடியோ வானியலில் மேசர்களின் பயன்களுக்குப் பிறிதோர் எடுத்துக்காட்டாக பைர் (Bair), குக் (Cook), கிராஸ் (Cross), அர்னுல்ட் (Arnold) ஆகியோர் மிச்சிகன் பல்கலைக்கழகத்தில்

X - பட்டை மாணிக்க மேசர் கதிர்வீச்சுமானியைப் பயன்படுத்திய தனைக் கூறலாம். இவர்கள் ஒரு நான்கு மட்டத் தள்ளு - இழு வகை மாணிக்கப் பொந்து மேசரைத் தொடக்கப் பெருக்கியாகப் பயன் படுத்தினர்கள். இதனை 85 அடிப் பரகோள அன்டென்னவில் பொருத்தியிருந்தார்கள். இந்த மேசரின் செயல் பண்புகள் பின்வருமாறு :

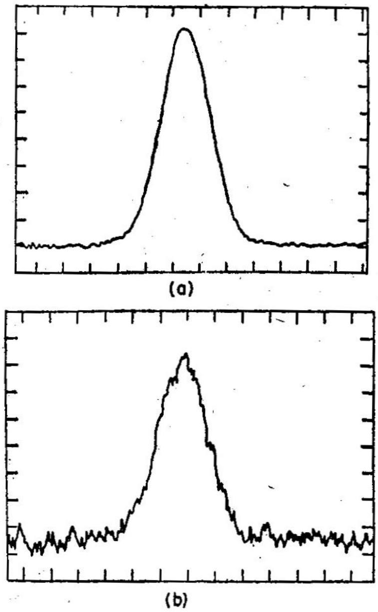
சைகை அதிர்வெண்	— 8·72 கிகா ஹெர்ட்சுகள்
ஏற்றும் அதிர்வெண்	— 22·4 கிகா ஹெர்ட்சுகள்
காந்தப்புலம்	— 3850 ஓர்ஸ்டெட்டுகள்
முனைவுக் கோணம் θ	— 55° 44′
மேசர் ஈட்டம்	— 20—23 டெசிபெல்கள்
ஈட்டம்--பட்டை அகலம் பெருக்குத் தொகை	— 300 மெகா ஹெர்ட்சுகள்
அமைப்பின் பட்டை அகலம்	— 8 மெகா ஹெர்ட்சுகள்
மேசரின் ஈட்ட நிலைப்பாடு	
குறுகியகாலப் பயன்களில்	$<$ 10 நிமிடங்கள் 0·6%
	$<$ 30 நிமிடங்கள் 2·0%
நீண்டகாலப் பயன்களில்	$>$ 30 நிமிடங்களில் 5·0%

இந்த அமைப்பினது யாவற்றையும் உள்ளடக்கிய (அன்டென்ன வெப்பநிலை தவிர்த்து) இரைச்சல் வெப்பநிலை 60° கெல்வின்கள்தாம்.

கதிர்வீச்சு மானிகளில் மேசரைப் பயன்படுத்தும்போதும் பயன்படுத்தாத நிலையிலும் கிடைக்கக்கூடிய நகர்வுக் கோடுகளை (drift curves) ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் மேசரின் பெருநன்மை நன்கு புலனுகும். இத்தகைய கோடுகள் படம் 13.4, படம் 13·5 ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

இவை, உயர்ந்த செறிவுடைய கசியோப்பியா - A (Cassiopeia - A) யினுடைய நகர்வுக் கோடுகளாகும். மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கி இல்லாதபோது கிடைக்கும் நகர்வுக் கோட்டினைப் படம் 13.4 (*a*) - யும் மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கி பயன்படுத்தப்பெறும்போது ஏற்கப்படும் சைகையினைப் படம் 13.4 (*b*) - யும் காட்டுகின்றன. இதிலிருந்து மேசர்ப் பெருக்கி எந்த அளவிற்குச் சைகையினைத் தெளிவாகப் பெறுவதற்குத் துணை செய்கிறது என்பது நன்கு விளங்கும்.

கசியோப்பியா - A - ஐவிட வலுக் குறைந்த மூலமாகிய டைகோ பிரஹியின் சூப்பர் நோவா (Tycho Brahe's supernova) ஆராய்வுகளில் மேசரின் திறமை இதனினும் சிறப்பாகப் புலப்



படம் 13.4. கசியோப்பியா - A*- விற்கான நகர்வுக் கோடுகள்.

(*a*) மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கியுள்ள அமைப்பினைப் பயன் படுத்தும்போது.

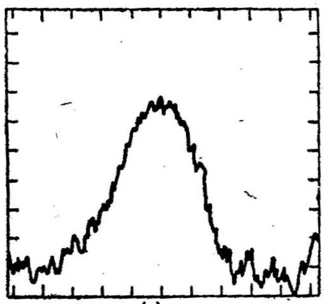
(*b*) மேசர் அல்லாத வேறு வழக்கமான ஏற்பியினைப் பயன் படுத்தும்போது.

படும். மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கி பயன்படுத்தப்பெற்றபோதும் அது இல்லாதபோதும் இதற்குக் கிடைத்த கோடுகள் முறையே படம் 13.5 (*a*), படம் 13.5 (*b*) ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

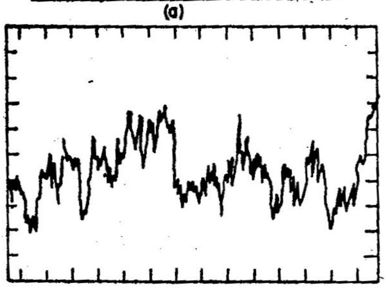
13.6. மைக்ரோ அலை நிறமாலையியலில் மேசர்கள்

மைக்ரோ அலை நிறமாலையியலிலும் மேசர்ப் பெருக்கிகள் பயன்படக்கூடும். வழக்கமான மைக்ரோ அலை நிறமாலை மானியில் (microwave spectrometer) ஆய்வுக்குட்படும் பொருள் ஓர் ஒத்ததிர்வுப் பொந்தினுள் (resonant cavity) வைக்கப்படும்; எதிரொளிப்பு முறை ஒன்றினை ஒரு மின்சுற்றுப் பாலம் (bridge circuit) ஒன்றுடன் சேர்த்துப் பயன்படுத்திப் பொந்தில் நிலைபெற்

றிருக்கும் எதிரொளிப்பினைச் சரியீடுசெய்தல் (balance out) வழக்கும். அந்த நிலைகளில் சைகையின் வலுவான உள்ளிடப் பெறும் திறன்மட்டம் அமைப்பிலுள்ள மொத்த மெலிவு (attenuation), ஆய் பொருளிலுள்ள தற்சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை, ஆராயப்பெறும் ஒத்ததிர்வுக்கியைந்த பெயர்வு நிகழ்திறம் (transition probability) ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருக்கும்.



(a)



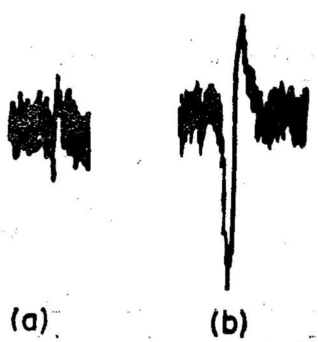
(b)

படம் 13.5. டைகோ பிரஹியின் சூப்பர் நோவாவின் நகர்வுக் கோடுகள்.
(*a*) மேசர் பெருக்கியுள்ள அமைப்பினைப் பயன்படுத்தும்போது.
(*b*) மேசர் அல்லாத சாதாரணப் பெருக்கியினைப் பயன்படுத்தும்போது.

இந்தச் சைகை வலு வழக்கமாகச் சிறிதாகத்தானிருக்கும். எனவே, பெருக்கும் நிலைகளில் உள்ள இரைச்சல்களால் சைகை வலுவின் உணர்வு நுட்ப வரம்பு (sensitivity limit) நிர்ணயிக்கப் படும். எனவே, இயல்பாக விலக்கப்பட்ட ஒத்ததிர்வு வரிகளைக் காணுதல், சோடி நிறமாலைகளை (pair spectra) ஆராய்தல், மிகச் சிறிய எண்ணிக்கையிலுள்ள தற்சுழற்சிகளைக் கண்டுபிடித்தல் போன்ற சோதனைகளில் ஈடுபட வேண்டின் இரைச்சலில் மூழ்கி மறைந்துவிடும் சைகையினைக் கண்டுபிடிப்பதே ஒரு பிரச்சினையாக அமையும். இந்த பிரச்சினையை மேசர்களைக் கொண்டு தீர்க்க லாம்.

இத் துறையில் சில முயற்சிகள் செய்யப் பெற்றுள்ளன. அவற்றுள் பலவற்றில் மும்மட்டத் திடப்பொருள் மேசர்களே பயன்படுத்தப்பெற்றன. ஆனல், கேம்ப்ளிங் (Gambling), வி(ல்)ம் ஹர்ஸ்ட் (Wilmhurst) ஆகியோர் 23 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் செயல்படும் ஓர் அம்மோனியா மேசரையே தொடக்கப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தி ஓர் எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்வு நிறமாலை மானியை (electron spin resonance spectrometer) அமைத்தனர். நிறமாலைமானியின் உணர்வு நுட்பம் (sensitivity) அதிர்வெண்ணின் (v) இருமடி மூலத்திற்கு ($v^{\frac{1}{2}}$) நேர்விகிதத்தில் இருக்குமாதலான் [நிரப்புக் காரணி (filling factor) மாருதிருக்கும் போது] 23 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகளில் செயல்படும் மேசரானது 10 கிலோ மெகா ஹெர்ட்சுகள் அல்லது அதற்குக் கீழ்பட்ட அதிர் வெண்களிலேயே சாதாரணமாகச் செயல்படும் மும்மட்ட மேசர்களைவிட விரும்பத்தக்கன வென்பதனை அவர்கள் உணர்த் தினர்கள்.

அவர்கள் இவ்வமைப்பினைப் பயன்படுத்திக் கரியில் (carbon) தற்சுழற்சி ஒத்ததிர்வுகளை ஆராய்ந்தார்கள். மேசர்ப் பெருக்கி பயன்படுத்தப் பெருத நிலையிலும், பயன்படுத்தப் பெற்ற நிலையிலும் கிடைத்த கரியின் உட்கவர் நிறமாலைகள் முறையே படம் 13.6 (*a*), 13.6 (*b*) ஆகியவற்றில் காட்டப்பெற்றுள்ளன.



படம் 13.6. கரியின் உட்கவர் நிறமாலை.
(*a*) மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கி பயன்படுத்தப் பெருத நிலையில்.
(*b*) மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கி பயன்படுத்தப் பெற்ற நிலையில்.

இவற்றினை ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் மேசர்த் தொடக்கப் பெருக்கியின் செயல் திறம் தெற்றென விளங்கும்.

14. லேசரின் பயன்கள்

14.1. லேசரின் பயன்கள்

லேசர்கள் தனிச்சிறப்புகள் வாய்ந்த மின் காந்தக் கதிர்வீச்சுகளைத் தோற்றுவிக்கும் ஆற்றல் படைத்தவை. இவை வெளிவிடும் ஒளிஅலைகள் சிறந்த திசைப்பண்பு (directionality) உடையவை; செறிவு மிக்கவை (intense); ஓரியல் தன்மையுடையவை (coherent); ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணை உடையவை. இப்பண்புகள் காரணமாக லேசர்களைப் பல்வேறு வழிகளில் நடைமுறைச் செயல்களுக்குப் பயன்படுத்தும் வாய்ப்புகள் உள்ளன. முதல் லேசர் உருவாக்கப்பெற்றுச் சில ஆண்டுகளே ஆயினபோதும் இவை பயன்படுத்தப்பெறும் துறைகள் எண்ணற்றவை. காட்டாக, செய்தித் தொடர்பு (communication), ஒளிப்படவியல் (photography), மருத்துவத்துறை, தொழில்துறை, வானியல் (astronomy) வானிலையியல் (meteorology), அளவுகளியல் (metrology), இயல்பியல் (physics), வேதியியல் (chemistry) என இது பயன்படும் துறைகளை அடுக்கிக்கொண்டே செல்லலாம். இவற்றுள் சிலவற்றை ஈண்டுச் சுருக்கமாகக் காண்போம்.

14.2. செய்தித் தொடர்பில் லேசர்

14.2. 1. செய்தித் தொடர்பு

இருவருக்கிடையே செய்தியைப் பரிமாறிக் கொள்ளும் எளிய முறை பேச்சே. ஒருவர் பேசும்போது ஏற்படும் ஒலி அலைகள் காற்றின் ஊடே சென்று மற்றவர் செவியினையடைய, செய்தி ஒருவரிடமிருந்து மற்றவருக்கு எட்டுகின்றது. ஆனால், ஒலி அலைகளின் வேகம் குறைவானதாலும், அவை காற்றில் எளிதில் தடையுறும் (damped) ஆதலாலும் நீண்டதூரச் செய்தித் தொடர்பிற்கு ஒலி அலைகளைப் பயன்படுத்த முடியாது. எனவே, ஒலி அலைகளை நீண்ட

தூரம் செல்லக் கூடியதும், விரைந்துப் போகக்கூடியதுமான வேறு வகை ஆற்றலாக மாற்றலாம். இத்தகைய ஒருவழிதான் தொலை பேசி (telephone) அமைப்பு முறையாகும். இங்கு ஒலி அலைகள் ஒரு மைக்ரஃபோனின் (microphone) உதவியால் மின் அலைகளாக மாற்றப் பெறுகின்றன; இவை ஒரு கம்பியின் வழியாகச் செய்தி போய்ச் சேரவேண்டிய இடத்திற்குச் செல்கின்றன; அங்கே ஓர் ஒலிப்பான் (loud speaker) இந்த மின் அலைகளை மீண்டும் ஒலி அலைகளாக மாற்றித் தருகின்றது.

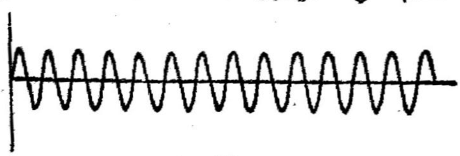
இவ்வாறு செய்தியனுப்புவதற்கு இரண்டு இடங்களுக்கு மிடையே ஒரு சோடிக் கம்பிகள் தேவை. எனவே, ஓர் ஊரிலுள்ள பல்வேறு தொலைபேசிகள் பிறிதோர் ஊரிலுள்ள பல்வேறு தொலைபேசிகளுடன் இணைக்கப்பட வேண்டுமெனில் ஒவ்வொரு சோடித்தொலைபேசிகளுக்கும் ஒரு சோடிக் கம்பி தேவை. இது செலவு மிக்க செயல். இதற்கு மாறாக ஈரிடங்களிலும் இரு தொலைபேசி இணைப்பகங்கள் (telephone exchanges) இருக்கு மானால் ஓர் ஊரிலுள்ள எல்லாத் தொலைபேசிகளும் அவ்வூரிலுள்ள இணைப்பகத்துடன் இணைக்கப்படலாம்; அதேபோல அடுத்த ஊரிலும் இணைக்கலாம் ; ஈரிடங்களுக்குமிடையில் ஒரு சோடிக் கம்பிகள் போதும். ஆனால், ஒரு நேரத்தில் எவரேனுமிரண்டு பேரே இதனைப் பயன்படுத்த முடியும். இதற்கும் ஒரு தீர்வு உள்ளது.

நம்முடைய பேச்சொலி ஏறத்தாழ 20 ஹெர்ட்சுகளிலிருந்து 20,000 ஹெர்ட்சுகளுக்குள்தான் இருக்கும். 200 - லிருந்து 4000 ஹெர்ட்சுகளுக்குள் உள்ள ஒலி அலைகளை மட்டிலும் அனுப்பி னால்தான் அவை மறுமுனையில் புரிந்துகொள்ளத்தக்க வகையில் இருக்குமெனக் கண்டுபிடித்துள்ளார்கள். மேலும், செய்தித் தொடர்புக்கென அலைகளின் அதிர்வெண்ணை மாற்றிக்கொள்ளவும் செய்யலாம் ; அவ்வாறு மாற்றும்போது அதிர்வெண்களின் நெடுக்கம் (frequency range) மட்டிலும் மாறக்கூடாது. அதாவது, 200 - லிருந்து 4000 ஹெர்ட்சுகளுக்குள் உள்ள அலைகளை 4200 - லிருந்து 8000 ஹெர்ட்சுகள் வரையுள்ளதுபோன்ற அதிர்வெண் களுக்கு மாற்றிக்கொள்ளலாம். ஆனால், ஏற்கும் மறுமுனையில் இவை மீண்டும் பழைய அதிர்வெண்களுக்கு (200 - 4000) மாற்றப் படவேண்டும்.

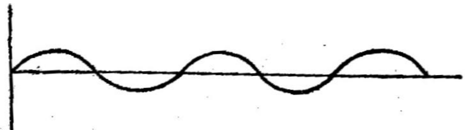
இவ்வாறு ஒரு குறிப்பிட்ட நெடுக்கத்திலுள்ள ஒலி அலைகளை அதே அளவு நெடுக்கமுள்ள ஆனால் வேறுபட்ட அதிர்வெண்களில்

மின்அலைகளாக மாற்றி அனுப்பவும், அவற்றை மறுமுனையில் பழைய அதிர்வெண்களுடைய ஒலி அலைகளாக மாற்றவும் செய்ய முடியும். இவ்வாறு மாற்றுவதால் நாம் மேற்கூறிய பிரச்சினைக்கு ஒரு தீர்வு கிட்டுகின்றது. அஃதாவது, பொது அச்சுக் கேபிள் களைப் (coaxial cables) பயன்படுத்தினால் இவை பலபேருடைய பேச்சுகளை ஒரே நேரத்தில் செலுத்தும். முதல்வருக்கு 200 - லிருந்து 4000 ஹெர்ட்சுகளையும், இரண்டாமவருக்கு 4200 - லிருந்து 8000 ஹெர்ட்சுகளையும், மூன்றுமவருக்கு 8200 - லிருந்து 12000 ஹெர்ட்சு களையும் எனப் பல்வேறு நெடுக்கங்களை (ranges) ஒதுக்கலாம். இந்தப் பல்வேறு நெடுக்கங்களும் மறுமுனையில் தனித்தனியே பிரித்துணரப்பெறும். இத்தகைய பொது அச்சுக் கேபிள்கள் 12,000,000 ஹெர்ட்சுகள் வரையுள்ள அதிர்வெண்களைச் செலுத்தும் இயல்புடையன. எனவே, இவை ஒரே நேரத்தில் ஏறத்தாழ 1500 செய்தித் தொடர்புகளை ஏற்படுத்திக் கொடுக்கும் ஆற்றல் படைத்தவை என்பது தெரிகின்றது.

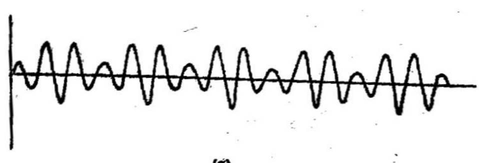
இவ்வாறு கம்பிகளைப் பயன்படுத்தும் முறையேயன்றிக் கம்பி



(a)



(b)



(c)

படம் 14.1. அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம்.
(*a*) ஊர்தி அலை ; (*b*) செய்தி அலை ;
(*c*) அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் பெற்ற அலை.

யில்லாத செய்தித் தொடர்பு துறையும் வளர்ந்துள்ளது. இங்கே, செய்தியானது ரேடியோ அலைகளின்மீது (radio waves) பதியும்படி

செய்யப்படும். இவ்வாறு செய்வதற்கு அலைப் பண்பேற்றம் (modulation) என்பது பெயர். இதில் பலவகைகள் உள்ளன. இவற்றுள் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றத்தின் (amplitude modulation) தத்துவத்தினைப் படம் 14.1 விளக்குகின்றது. ரேடியோ அதிர்வெண்ணுடைய ஊர்தி அலைப் (carrier wave) படம் 14.1 (*a*) - விலும், அனுப்பப்படவேண்டிய செய்தி மைக்ரஃபோனால் மின்அலைகளாக மாற்றப்பட்ட செய்தி அலை (information wave) படம் 14.1 (*b*)-யிலும், ஊர்தி அலையின்மீது செய்தி அலையைப் பதிய வைத்த பின் கிடைக்கும் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் பெற்ற அலை படம் 14.1 (*c*)-யிலும் காட்டப்பெற்றுள்ளன. பல்வேறு ரேடியோ நிலையங்களும் பல்வேறு அதிர்வெண்களை உடைய ஊர்தி அலைகளைப் பயன்படுத்தும். ஒவ்வொரு நிலையத்திற்கும் ஒரு ரேடியோப் பட்டை (radio band) ஒதுக்கப்பெற்றிருக்கும். செய்தியை ஏற்குமிடத்திலுள்ள ஏற்பி தான் விரும்பும் அதிர்வெண் பட்டையிலுள்ள அலைகளை மட்டும் பொறுக்கியெடுத்து அதிலுள்ள செய்திகளை மட்டிலும் பகுத்து (detect) மீண்டும் ஒலி அலைகளாக மாற்றித் தரும்.

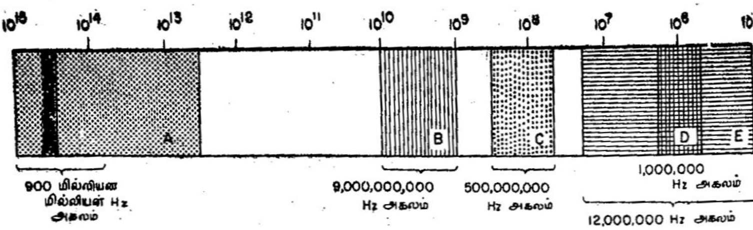
ஒவ்வொரு ரேடியோ நிலையத்திற்கும் ரேடியோப் பட்டையில் 9000 ஹெர்ட்சுகள் அகலம் ஒதுக்கப்பெற்றிருக்கும். எனவே, 550,000 ஹெர்ட்சுகளிலிருந்து 1·5 மில்லியன் ஹெர்ட்சுகள்வரை பரந்துள்ள இடைநிலை ரேடியோ அலைப் பட்டைக்குள் (medium wave band) பல நிலையங்கள் இயங்க முடியும்.

தொலைக் காட்சிகளுக்கோ (television) இதனினும் அகன்ற அதிர்வெண் பட்டைகள் தேவை; 4, 5, 6 மில்லியன் ஹெர்ட்சுகள் பட்டை அகலங்கள் தேவை. ஆனால், இவ்வளவு அகன்றபட்டைகள் இடைநிலை ரேடியோ அலைவரிசையிலோ, குற்றலை வரிசையிலோ (short waves) நமக்குக் கிடைக்கா. எனவே, மிக உயர்ந்த அதிர்வெண் (very high frequency - VHF) பட்டைகள் இதற்குப் பயன்படுகின்றன.

இதற்கும் மேற்பட்ட அதிர்வெண் பட்டைகளும் அண்மைக் காலத்தில் செய்தித் தொடர்பு துறையில் வழக்கிற்கு வந்துள்ளன. மைக்ரோ அலைத் தொடர்புகள் (microwave links) என்பனவே இவையாகும். மைக்ரோ அலைகள் 1000 மில்லியன் ஹெர்ட்சுகளிலிருந்து 10,000 மில்லியன் ஹெர்ட்சுகள்வரை நீண்டவை. பொது அச்சுக் கேபிள்கள் 12 மில்லியன் ஹெர்ட்சுகள் பட்டை அகலம் உடையவை என்பதனை இதனுடன் எண்ணிப்பார்த்தால்

ஒரு தனி மைக்ரோ அலைத் தொடர்பு தொலைபேசி அமைப்பின் பலநூறு பொது அச்சுக் கேபிள்கள் செய்யும் வேலையைச் செய்யக் கூடுமென்பது எளிதில் புலனாகும்.

உலகம் வளர்ந்துவரும் வேகத்தில் இந்த மைக்ரோ அலைப் பட்டையும் முழுதும் பயன்படுத்தப் பெற்றுவிட்டால் அதற்கு மேற்கொண்டு என்ன செய்வது? மைக்ரோ அலைகளுக்கு அடுத்துள்ள புறச்சிவப்பு (infra red), அதனையடுத்துள்ள கண் காணும் ஒளிப் (visible light) பட்டைகள் ஆகியவற்றைத்தான் நாடவேண்டும். மின்காந்த நிறமாலை (electro - magnetic spectrum) படம் 14.2 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. இது மடக்கை அளவுத் திட்டத்தில் (logarithmic scale) குறிக்கப்பெற்றுள்ளது என்பதனை நினைவில் கொண்டு பார்த்தால் கண் காணும் ஒளி, புறச்சிவப்பு ஆகியவற்றின் பட்டை அகலம் எவ்வளவு பெரிதென்பதையும், இதற்குள் எத்துணை எண்ணிக்கைச் செய்திக் கால்வாய்களை (channels) அடக்க முடியும் என்பதனையும் தெற்றெனப் புரிந்து கொள்ளலாம்.



படம் 14.2. மின்காந்த நிறமாலை.

A என்பது கண் காணும் ஒளி, புறச்சிவப்புப் பகுதிகளையும், **B** என்பது மைக்ரோ அலைப்பட்டையையும், **C** என்பது தொலைக்காட்சிக்குப் பயன்படும் **VHF, UHF** பட்டைகளையும், **D** என்பது இடைநிலை ரேடியோ அலைப்பட்டையையும், **E** என்பது பொது அச்சுக் கேபிள் பட்டையையும் குறிக்கின்றன.

இதனைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளவேண்டுமெனில் சாதாரண ஒளி அலைகளையும், புறச்சிவப்புக் கதிர்களையும் பயன்படுத்த முடியாது; லேசர்க் கதிர்கள்தாம் தேவை. இது ஏன்? சாதாரண ஒளி அலைகளையும், புறச்சிவப்புக் கதிர்களையும் அலைப்பண்பேற்றம் (modulation) பெறும்படி செய்யமுடியாது. ரேடியோ அலைகளை அலைப்பண்பேற்றம் பெறும்படி செய்ய முடியும்போது இவற்றை மட்டும் ஏன் அவ்வாறு செய்யமுடியாது? இதற்குக் காரணம் சாதாரண ஒளியின் பண்பே,

சாதாரண ஒளி, புறச்சிவப்பு மூலங்கள் வெளிவிடும் கதிர் வீச்சுகள் ஒரு தனி அதிர்வெண்ணில் வருவதில்லை. எனவே, இச் சாதாரண ஒளியின்மீது அலைப் பண்பேற்றம் செய்தால் அவற்றை மீண்டும் பகுக்கும்போது கிடைக்கும் பல அலைகள் ஒன்றோடொன்று குறுக்கிட்டுச் சகிக்க முடியாத அளவு இரைச்சலை உண்டாக்கும். ஆனால், சாதாரண ஒளியை ஒரு முப்பட்டகத்தின் வழியே செலுத்தி அதிலிருந்து வெளிவருவதில் ஒரு குறுகிய அலை நீளப்பகுதியினை மட்டிலும், அஃதாவது ஒற்றைநிற ஒளியினை மட்டிலும் பெறலாம். ஆனால், இவ்வாறு செய்யும்போது ஒளியின் செறிவு மிகமிகக் குறைந்து விடுகின்றது. ஆனால், லேசர் ஒளியோ ஒற்றை நிறமுடையது ; செறிவுமிக்கது.

லேசரைச் செய்தித் தொடர்பு துறையில் பயன்படுத்துவதில் பிறிதொரு நன்மையும் உண்டு; லேசர்க் கதிர்கள் சிறந்த திசைப் பண்புடையன. எனவே, லேசர்க் கற்றையின் ஆற்றல் முழுவதும் ஒரு சிறு பரப்பளவில் செறிந்துள்ளது. எனவே, மிகுந்த திசைப் பண்புடைய மைக்ரோ அலைக்கற்றைகளைவிட இவை அதிக தூரம் செல்ல முடியும். கோள்களுக்கிடையேயான செய்தித் தொடர்பிற்கு இவை சிறந்தவை.

(லேசர் செய்தித் தொடர்பில் பயன்படுத்தப்பெறும் ஏற்பிகள் ஒளியியல் அன்டென்னாக்களை (optical antenna) உடையனவாகும். ஒளியியல் அன்டென்னா ஒரு குழி ஆடியால் (concave mirror) ஆனது. இதன் குவியத்தில் ஓர் ஒளி உணர்கருவி (photo detector) இருக்கும்.) இத்தகைய சிறிய அன்டென்னாவானது ரேடியோக் கற்றையிலிருந்து ஒரு பெரிய ரேடியோ ஏரியல் பெறும் ஆற்றலைவிட (அதிகமான வீதத்தில் லேசர்க் கற்றையிலிருந்து ஆற்றலைப்பெறும் திறமுடையதாகும்.)

(லேசரிலிருந்து வெளிவரும் லேசர்க் கற்றைகள் ரேடியோ அலைக் கற்றைகளைவிடக் குறுகியவை. ஏனெனில், ரேடியோப் பரப்பியினுடையதைவிட (radio transmitter) லேசர்களின் வெளிப்பாட்டுத் தொளைகள் (output apertures) மிகமிகச் சிறியனவாகும். மேலும், லேசர்க் கற்றை பரவும்போது அதன் அகலம் அதிகரிப்பதில்லை. எந்தவொரு மின்காந்தக் கற்றையினுடைய விரிவெல்லைக் கோணமும் (angle of spread) கதிர்வீச்சின் அலை நீளத்திற்கும் அக் கதிர்வீச்சு மூலத்தின் (source of radiation) விட்டத்திற்கும் உள்ள விகிதத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். அஃதாவது,

$$\theta \propto \frac{\lambda}{d} \longrightarrow (14{\cdot}1)$$

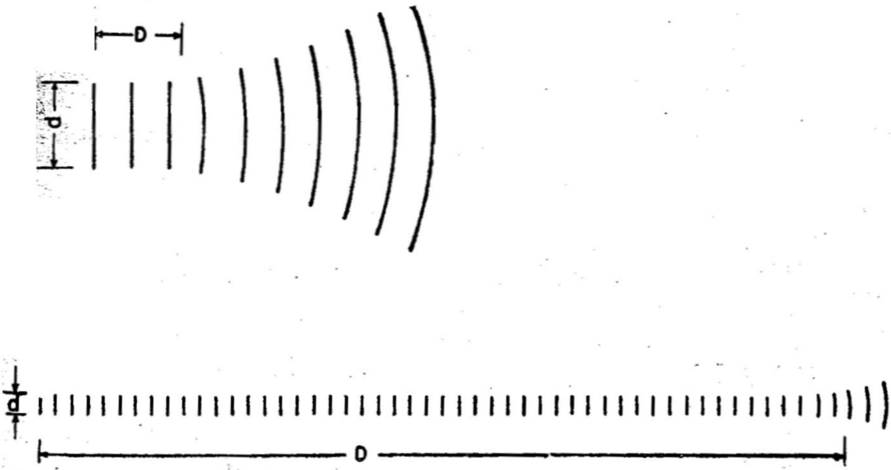
இங்கே θ என்பது விரிவெல்லைக் கோணம் ; λ என்பது கதிர் வீச்சின் அலை நீளம்; d என்பது மூலத்தின் விட்டம்.

மைக்ரோ அலைப் பரப்பியிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சின் அலை நீளம் 5 செ. மீ. ஆகவும், பரப்பியினது கொம்பின் (horn) விட்டம் 250 செ. மீ. ஆகவும் இருக்கலாம். எனவே, அலைநீளத்திற்கும் மூலத்தின் விட்டத்திற்கும் உள்ள விகிதம் 1 : 50 ஆகும். ஆனால், 10,000 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தில் வெளிவிடும் லேசர் மூலத்தின் விட்டம் 3 அல்லது 4 செ. மீ. எனுமளவில் இருக்கும். எனவே, இங்கு அலைநீளத்திற்கும் விட்டத்திற்குமுள்ள விகிதம் 1 : 30,000. இவ் விகிதம் இவ்வளவு சிறியதாக இருப்பதால்தான் லேசர்க் கற்றையின் விரிவெல்லைக் கோணம் (angle of spread) புறக்கணிக்கத் தக்க அளவு சிறியதாக இருக்கின்றது ; அஃதாவது, (ஓர் இணை லேசர்க் கற்றையானது (parallel laser beam) விரிவடையாமல் இணைக்கற்றையாகவே நெடுந்தூரம் செல்ல முடியும்.)

மேலும், ரேடியோக் கற்றைகளோ அல்லது லேசர்க் கற்றைகளோ மூலத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட உடனே விரிவடையத் தொடங்குவதில்லை ; சிறிது தூரம் அவை விரிவடையாமலேயே செல்லுகின்றன; அதன் பின்னர்த்தான் மேற்கூறிய விரிவெல்லைக் கோணத்தில் விரிவடையத் தொடங்கும். இதனைப் படம் 14·3 விளக்குகின்றது. இந்தத் தூரமும் அலைநீளத்திற்கும் மூலத்திற்கும் உள்ள விகிதத்தையே பொறுத்திருக்கின்றது. மைக்ரோ அலை ரேடியோக் கற்றை விரிவடையாமல் செல்லும் இந்தத் தூரம் மிகக் குறைவாகவும் லேசர்க் கற்றைக்கு இந்தத் தூரம் ஒரு கிலோ மீட்டர் எனுமளவிற்கு உயர்ந்தும் இருக்குமெனக் காட்டலாம்.

மைக்ரோ அலைச் செய்தித் தொடர்பில் பரப்பியும் ஏற்பியும் வழக்கமாக ஒன்றுக்கொன்று 100 கிலோ மீட்டர் தூரத்தில் இருக்கும். எனவே, இந்தத் தூரம் செல்வதற்குள் மைக்ரோ அலைக் கற்றை நன்கு விரிவடைந்துவிடும். எனவே, பரப்பியிலிருந்து புறப்படும் ஆற்றலில் ஒரு சிறு பகுதிதான், நூறாயிரத்தில் ஒரு பகுதிதான், ஏற்பியினை அடையும். ஆனால், லேசர்க் கற்றைகள் மிக நீண்ட தொலைவுகட்கும் இழப்பில்லாமல் செல்லக்கூடும். ஒவ்வொரு கிலோமீட்டர் தூரத்திலும் (சிறு வில்லையினைப் (lens) பயன்படுத்தி இக் கற்றை இணைக் கற்றையாகவே செல்லும்படி செய்யமுடியுப்

இதுகாறும் செய்தித் தொடர்பு துறையில் லேசர்களைப் பயன் படுத்த வேண்டிய தேவையினையும், அவற்றைப் பயன்படுத்துவதி



படம் 14.3. லேசர்க் கற்றைகளும் ரேடியோக் கற்றைகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் (D) விரிவடையாமலேயே செல்வதனையும் அதன் பின்னர்க் கூம்பு வடிவில் விரிவடைவதனையும் காட்டும் படம்.
(*a*) மைக்ரோ அலைகளுக்கு.
(*b*) லேசர்க் கற்றைகளுக்கு.

லுள்ள நன்மைகளையும் கண்டோம். இனி எவ்வாறு இதன்வழிச் செய்திகளை அனுப்புவது, அதாவது, அலைப்பண்பேற்றம், பகுப்பு ஆகிய செயல்களை எவ்வாறு செய்வது என்பதனைக் காண்போம்.

14. 2. 2. லேசர்க் கற்றையில் அலைப்பண்பேற்றம்

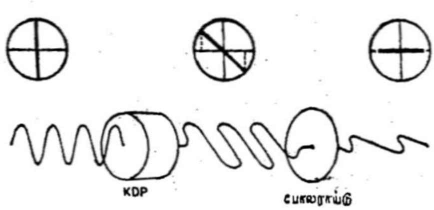
லேசர்க் கற்றையில் அலைப் பண்பேற்றத்திற்கு மின் ஒளியியல் விளைவு (electro optical effect) ஒன்றினைப் பயன்படுத்தக்கூடும். ஜான் கெர் (John Kerr) என்பார் கி.பி. 1875 - ல் ஒரு மின் ஒளியியல் விளைவினைக் கண்டுபிடித்தார்.

கண்ணாடி, ஆலிவ் நெய் (olive oil), கார்பன் டை சல்ஃபைடு (carbon di sulphide) போன்ற ஓர் ஒளிபுகும் பொருளின்மீது ஒரு வலுவான மின்புலத்தைத் தொழிற்படுத்தினால் அது ஓர் ஒற்றை அச்சுப் படிகமாகச் (uni-axial crystal) செயல்படும் எனக் கண்டுபிடித்தார். இது கெர் விளைவு (Kerr effect) என அழைக்கப் பெறும். இவ்வாறு ஒரு மின்புலத்தில் கண்ணாடி ஓர் ஒற்றை

அச்சுப் படிகமாகச் செயல்படுவதால் அது தன் ஊடே செல்லும் ஒளியினது முனைவாக்கத்தை (polarization) மாற்றும். இவ்வாறு இது ஏற்படுத்தும் மாற்றம் மின்புலத்தின் வலுவைப் பொறுத்திருக்கும். எனவே, மின்புலத்தின் வலுவைக் கொண்டு ஒளியினைப் பண்பேற்றம் பெறும்படி செய்யலாம்.

மேற்கண்ட பொருள்கள் மட்டுமேயன்றிச் சில படிகங்களும் இத்தகைய மின் - ஒளியியல் விளைவுகளைக் காட்டுகின்றன. படிகங்களில் ஏற்படும் இவ் விளைவுகள் போகெல்ஸ் விளைவுகள் (Pockels effects) எனப்பெறும். பொட்டாஷியம் டை ஹைடிரஜன் பாஸ்ஃபேட்டு (potassium di hydrogen phosphate—KH_2PO_4) இத்தகைய ஒரு படிகமாகும். இதனைச் சுருக்கமாக KDP என அழைப்பது வழக்கம். (லேசர் அலைப் பண்பேற்றத்திற்கு இதனைப் பயன்படுத்துவது வசதியானது.)

(KDP - ஐக் கொண்டு அலைப்பண்பேற்றம் செய்யும் முறையினைப் படம் 14.4 எளிய முறையில் விளக்குகின்றது. (செங்குத்தான (vertical) திசையில் முனைவாக்கம் பெற்ற லேசர் ஒளியானது ஒரு



படம் **14.4.** மின் - ஒளியியல் அலைப்பண்பேற்றம் நடைபெறுவதன் தத்துவம்.

KDP படிகத்தின்மீது படுவதாகக் கொள்வோம். இப் படிகம் ஒளியினது முனைவு தளத்தினை (plane of polarization) மாற்றும். எனவே, இதிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியானது வேறொரு தளத்தில் முனைவாக்கம் பெற்றிருக்கும். இந்த ஒளியானது ஒரு போலராய்டு (polaroid) வழியாகச் சென்றால் அப் போலராய்டு ஒரு குறிப்பிட்ட தளத்தில் முனைவாக்கம் பெற்ற ஒளியினை அல்லது அத் தளத்தில் ஒளியின் கூறினை (component) மட்டிலும்தான் செலுத்தும்.) KDP - யிலிருந்து வரும் ஒளியின் முனைவு தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான (perpendicular) தளத்தில் முனைவுகொண்ட ஒளியினை மட்டிலும் செலுத்தும்படி போலராய்டு அமைக்கப் பெற்றிருந்தால் ஒளியே

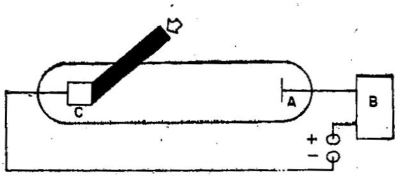
வெளிவராது. இப்போது KDP - யின்மீது தொழிற்படும் மின் புலத்துடன் செய்தி அலையை (information wave), அதாவது அலைப் பண்பேற்றும் மின்னழுத்தத்தையும் (modulating voltage) சேர்த்து அளித்தால் KDP - யிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் முனைவுதளம் முந்தைய நிலையிலிருந்து மாறுபடும்; எனவே, போலராய்டிலிருந்து ஓரளவு ஒளி வெளிவரும். இவ்வாறு (போலராய்டிலிருந்து வெளி வரும் ஒளியின் வீச்சானது பண்பேற்றும் மின்னழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.) எனவே, பேச்சின் வீச்சு மாறினால் இதுவும் மாறும்.

நாம் இப்போது விவரித்தது அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் செய்யும் வழிதான். இவ்வாறன்றி அலை அதிர்வெண் பண்பேற்றம் (frequency modulation), அலைகட்டப் பண்பேற்றம் (phase modulation), அலைத் துடிப்புப் பண்பேற்றம் (pulse modulation) போன்ற வேறுவகை முறைகளையும் காணலாம். இடங்கருதி அவை இவண் விவரிக்கப் பெறவில்லை.

14. 2. 3. அலைப் பண்பிறக்கம்

அலைப்பண்பேற்றம் பெற்ற கற்றையிலிருந்து ஏற்கும் நிலையில் செய்தி அலைகளை மட்டிலும் பிரித்தெடுப்பது அலைப்பண்பிறக்கம் (demodulation) எனப்படும். இதனை இப்போது பார்ப்போம்.

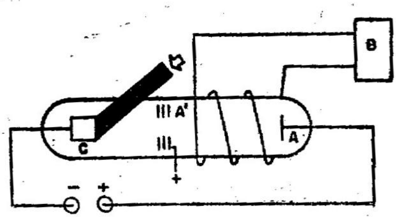
இதற்கான ஓர் அமைப்பு, படம் 14.5 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. வெற்றிடமாக்கப் பெற்ற ஒரு குழாயில் இரண்டு மின் வாய்கள் (electrodes) பொருத்தப் பெற்றிருக்கும். இவற்றிற்கிடையே ஓர் உயர்மின்னழுத்தம் நிலைநாட்டப் பெற்றிருக்கும். எதிர்மின்வாயின் (cathode) மீது அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் பெற்ற ஒளி படும்போது அதிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப் படும்; இந்த எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாயினால் (anode) ஈர்க்கப்பெறும்; இதனால் மின்சுற்றில் (electric circuit) ஒரு மின் னோட்டம் ஏற்படும். இந்த மின்னோட்டத்தின் வலிமை லேசர்க்



படம் 14.5. லேசர்க் கற்றை அலைப்பண்பிறக்கி - எளியவகை. B என்பது பெருக்கி, மற்றும் ஒலியாக மாற்றித்தரும் சுற்றுகள்; A என்பது நேர்மின்வாய்; C என்பது எதிர்மின்வாய்.

கற்றையின் வலிமையினைப் பொறுத்திருக்கும். இந்த மின்னோட்டத்தினைப் பெருக்கிய பின் ஓர் ஒலிப்பானை இயங்கச் செய்து சைகையினைத் திரும்பப் பெறலாம்.

ஆனால், இத்தகைய அமைப்பு அவ்வளவாக உணர்வுநுட்பம் (sensitivity) உடையதன்று. நகரங்களுக்கிடையே ஏற்படுத்தப் பெறும் செய்தித் தொடர்புகள் மிகப் பலவான செய்திகளை ஒரே நேரத்தில் கையாளும் ஆற்றல் படைத்தனவாக இருக்கவேண்டும். அவற்றிற்கு இந்த முறையினைப் பயன்படுத்த முடியாது. இதிலிருந்து சற்று மாற்றி அமைக்கப்பட்ட இயங்குஅலைக் குழாய் எதிர்மின்வாய் பகுப்பான் (travelling wave tube cathode detector) என்ற அமைப்பினைப் பயன்படுத்தலாம். இதன் செயல்முறை படம் 14.6 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

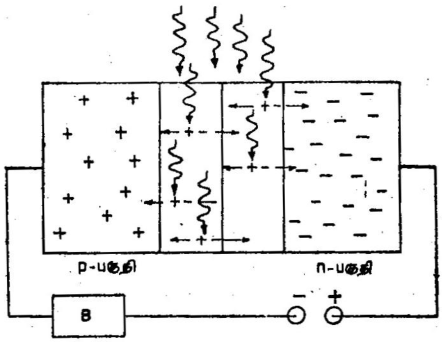


படம் 14.6. இயங்குஅலைக் குழாய் நேர்மின்வாய்ப்பண்பிறக்கி.
A, A[1] என்பன நேர்மின்வாய்கள் ; C என்பது எதிர்மின்வாய் ;
B என்பது பெருக்கி, ஒலிச்சைகையாக மாற்றித் தரும் சுற்றுகள்.

இங்கும் லேசர்க் கற்றை படுவதால் எதிர்மின்வாயிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படும். இவை, பல நேர்மின்வாய்களால் ஒரு கற்றையாகச் செல்லும்படி முடுக்கப் பெறுகின்றன. இவ்வெலெக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவு பண்பேற்றும் அலையின் செறிவிற்கேற்ப மாறுபடும். இந்த எலெக்ட்ரான் கற்றை குழாயின் வழியே செல்லும்போது அக் குழாயின்மீது வெளிப்புறத்தில் சுற்றப்பெற்றுள்ள ஒரு கம்பிச் சுருளில் ஒரு மின்னோட்டத்தைத் தூண்டும். இவ்வாறு தூண்டப்பெறும் மின்னோட்டம் (induced current) செய்தி அலையின் முழு உருவ நேர்ப்படியாக (replica) இருக்கும். இந்த மின்னோட்டம் பெருக்கப்பெற்று ஒலிச்சைகையாக ஓர் ஒலிப்பானால் மாற்றித் தரப்பெறும்.

அலைப் பண்பிறக்கத்திற்குப் பயன்படும் பிறிதொரு வகைப் படம் 14.7 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. இது ஒரு p - n சந்தி குறை

கடத்தியினைப் (p - n junction semi conductor) பயன்படுத்தும் அமைப்பாகும். இதில் p - பகுதியானது ஒரு நேர்த்திசை மின்



படம் 14.7. p - n சந்தி அலைப் பண்பிறக்கி.
— எலெக்ட்ரான்கள் ;
+ மின்தொளைகள் ;
B பெருக்கி, ஒலியாக மாற்றித்தரும் சுற்றுகள்.

னழுத்த மூலத்தின் எதிர் வாயுடனும் n - பகுதியானது நேர் வாயுடனும் இணைக்கப் பெற்றிருக்கும். இதனால் p - வகைப் பொருளிலுள்ள அதிகப்படியான மின்தொளைகள் (holes) சந்தியினை விட்டு விலகி p - பகுதியினுள் செல்லும் ; அவ்வாறே n - வகைப் பொருளிலுள்ள மிகையான எலெக்ட்ரான்கள் சந்தியிலிருந்து விலகி n - பகுதியினுள் செல்லும். இதனால், சந்தியினை ஒட்டிய பகுதியில் கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களும் மின்தொளைகளும் இல்லாது போய்விடும். எனவே, இப் பகுதியிலுள்ள பொருள் ஒரு மின் கடத்தாப் பொருளாகச் செயல்படும்.

ஆனால், அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் பெற்ற ஒவ்வோர் அலைப் பெட்டகமும் (wave packet) சந்தியின்மீது படும்போது இணைதிறன் பட்டையிலுள்ள (valence band) எலெக்ட்ரான்கள் இவ்வலைப் பெட்டகத்தின் ஆற்றலைப் பெற்றுக் கடத்தல் பட்டைக்குத் (conduction band) தாவும். இதனால், கட்டற்ற எலெக்ட்ரான் – மின் தொளைச் சோடிகள் தோன்றும். இவை தோன்றிய உடனே புற மின்னழுத்தத்தால் எதிரெதிர்த் திசைகளில் செல்லும். இதனால், ஒவ்வோர் அலைப் பெட்டகம் வரும்போதும் ஒரு மின்னோட்டம் புறச் சுற்றில் பாயும். இவ்வாறு பாயும் மின்னோட்டத்தின் வலிமை லேசர்க் கற்றையின் பண்பேற்றத்தை யொட்டி மாறும். இம் மின்

னோட்டத்தைப் பெருக்கி மீண்டும் ஒலிச் சைகையாக மாற்றிக் கொள்ளலாம்.

இவ்விரு வகைப் பண்பிறக்கிகளுமே அகன்ற பட்டைச் சாதனங்களாகும் (wide-band devices). இவை ரேடியோ, தொலைக்காட்சி, அல்லது மைக்ரோ அலைச் செய்தித் தொடர்பு ஏற்பிகளைப்போன்று அலைநீள தேர்திறன் (wavelength selectivity) உடையனவல்ல. இதனால் இரண்டு வசதியின்மைகள் ஏற்படுகின்றன. நகரங்களிடைச் செய்தித் தொடர்பில் பல லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன் படுத்தும்போது அவற்றை ஏற்கும் இடங்களில் அவை தனித் தனியே பிரித்துணரப்படவேண்டும். இவ்வாறு பிரித்துணருவது அலைநீள அடிப்படையில்தான். அகன்ற - பட்டை அலைப் பண் பிறக்கிகள் இதனைச் செய்ய முடியாது. மேலும், லேசர்க் கற்றை மட்டுமல்லாது அதனுடன் வெளியில் சாதாரணமாக உள்ள, நமக்குத் தேவையற்ற, மற்ற ஒளி, புறச் சிவப்பு அலைகளையும் இப் பண்பிறக்கி எடுத்துக்கொள்ளலாம் (pick up). இதனால், செய்தித் தொடர்பின் தேர்திறம் குன்றும்.

கலக்கிப் பிரிக்கும் உத்தியைக் (heterodyne technique) கையாண்டு இப் பிரச்சினையைத் தீர்க்கலாம். ஏற்பிக்கு வரும் சைகையானது ஓர் அகன்ற - பட்டை அலைப் பண்பிறக்கிக்குச் செலுத்தப்படும்; அதனோடுகூட ஏற்கப்படும் லேசர் கற்றையின் அலைநீளத்திற்குச் சற்றே வேறுபட்ட அலைநீளத்தில் பிறிதொரு லேசர் (ஏற்பியில் அமைந்த லேசர்) வெளிவிடும் கற்றையும் அலைப் பண்பிறக்கிக்கு அனுப்பப்படும். இப்போது, அலைப் பண்பிறக்கியின் வெளிப்பாட்டில் மற்ற அலைவெண்களுடன்கூட இரு லேசர்க் கற்றைகளின் அதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டினை அதிர்வெண்ணாக உடைய ஒரு சைகையும் வரும். இதன் அதிர்வெண் சிறிதாக இருக்குமாதலான் அலைநீளம் உயர்ந்திருக்கும். இத்தகைய உயர்ந்த அலைநீளங்களில் உயர்ந்த தேர்திறம் உடைய சுற்றுகளை அமைப்பது எளிது.

14.2.4. வளிமண்டிலத்தின் ஊடே லேசர்க் கற்றைகளை அனுப்புதல்

கடந்த இரு பகுதிகளிலும் லேசர் ஒளியினைச் செய்தி அலைகளால் அலைப் பண்பேற்றும் முறைகளையும் அவ்வாறு அலைப் பண் பேற்றம் பெற்ற லேசர்க் கற்றையினை அலைப் பண்பிறக்கம் செய்யும் வழிகளையும் கண்டோம். ஆனால், இவ்வாறு அலைப் பண் பேற்றம் பெற்ற லேசர்க் கற்றையினைப் பரப்பியிலிருந்து ஏற்பி

யிருக்கு மிடத்திற்குச் செலுத்தவேண்டும். இதற்கு இரு வழிகள் உள்ளன. அவையாவன : (1) வளிமண்டிலத்தின் ஊடே அனுப்புதல் (2) குழாய்கள் வழியே அனுப்புதல்.

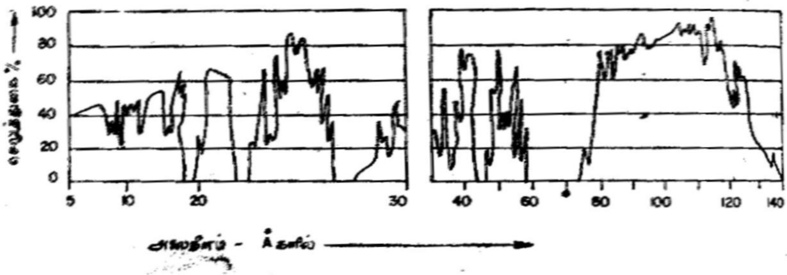
இவற்றுள் முதலாவது முறையில் தொழில் நுணுக்கப் பிரச்சினைகள் குறைவு. ஆனால், ஒளிக் கதிர்களும், புறச்சிவப்புக் கதிர்களும் காற்றின் ஊடே செல்லும்போது பெரிதும் மெலிவடைகின்றன (attenuated). எனவே, லேசர்க் கற்றைகளை வளிமண்டிலத்தில் பயன்படுத்த வேண்டுமானால் அவை எந்த அலை நீளத்தில் பயன்படுத்தப் பெற்றால் மெலிதல் சிறுமமாக இருக்குமென உணர்ந்து அவ்வலைநீள லேசர்க் கற்றைகளையே கையாள வேண்டும்.

வளிமண்டிலத்தில் ஆக்சிஜன் (oxygen), நைட்ரஜன் (nitrogen), நீரின் ஆவி (water vapour), கார்பன் டை ஆக்சைடு (carbon di oxide), ஓசோன் (ozone), மீதேன் (methane), கார்பன் மானோ ஆக்சைடு (carbon monoxide), நைட்ரஸ் ஆக்சைடு (nitrous oxide) போன்ற வாயுக்கள் உள்ளன. இவை ஒவ்வொன்றும் சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களில் மின்காந்த அலைகளை உட்கவருகின்றன. இவை எல்லாவற்றுள்ளும் நீரின் ஆவிதான் லேசர்க் கற்றைகளைப் பொறுத்தமட்டில் பெரும் பிரச்சினையாகவுள்ளது.

கடல் மட்டத்தில், தெளிவான வானம் உடைய நாளில் 6·5 கிலோ மீட்டர்கள் பாதையில் வளிமண்டிலத்தில் எந்த அளவிற்கு மின்காந்த அலைகள் செலுத்தப்பெறுகின்றன (transmitted) என்பதனைப் படம் 14.8 காட்டுகின்றது.

அலைநீளப்பட்டைகள் முழுவதுமே இந்தச் சிறு தூரம்கூட ஊடுருவிச் செல்ல முடியவில்லை என்பதனை இப் படம் உணர்த்துகின்றது. ஆனால், இப் படங்களை வரைவதற்கான அளவீடுகள் குறைந்த பகுதிறன் (resolving power) உடைய கருவிகளைக் கொண்டு செய்யப் பெற்றவையாகும். இதனால் பெறப்படுவது என்னையோவெனின் எடுக்கப்பெற்ற அளவுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தில் செலுத்துகையைக் குறிப்பிடுவனவல்ல ; மாறாக, ஒப்பீட்டடிப்படையில் அலை நீளங்களின் அகன்ற பட்டையில் செலுத்துகையையே குறிப்பிடுகின்றன.

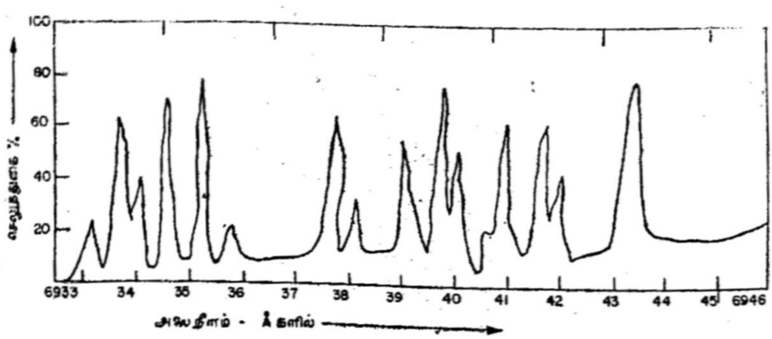
எனவே, லேசர்க் கற்றைகள் மிகக் குறுகிய பட்டைகளில் வெளி வருகின்றன என்ற உண்மையினை நினைவில் நிறுத்தி



படம் **14.8.** வளிமண்டிலத்தில் கதிர்வீச்சுச் செலுத்துகை.

எண்ணிப் பார்த்தோமானுல் வளிமண்டில உட்கவர்தல் மிகக் குறைவாக உள்ள அகலம் குறைந்த அலைநீளப் பட்டைகள் இருக்க முடியும் என்பதும், அந்த அலைநீளங்களில் லேசர்க் கற்றை வளிமண்டிலத்தை எளிதில் ஊடுருவிச் செல்ல முடியும் என்பதும் புலனுகும். அத்தகைய குறுகிய அலைநீளப் பட்டைகள் படம் 14.8 - ல் காணப் பெறு.

அத்தகைய குறுகிய பட்டைகளைக் கண்டறியும் முயற்சிகள் லேசர் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட காலத்திலிருந்தே நடைபெற்று வருகின்றன. இதற்கென உயர்ந்த பகுதிறன் உடைய கருவிகள் கையாளப்பெற்று வருகின்றன. இத் துறையில் கிடைக்கப்பெற்றுள்ள சில முடிவுகள் படம் 14.9 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. படம் 14.8 - ல் காணப்பெருத விவரங்களை இது காட்டுகின்றது. இதில் காட்டப்பெற்றுள்ள நிறமாலைப் பகுதி மாணிக்க லேசர் செயல்படும் அலைநீளங்களாகும். இதில் காணும் பட்டைகள் மிகக்



படம் 14.9. உயர்ந்த பகுதிறனுடைய கருவிகளைக் கொண்டு எடுக்கப்பெற்ற வளிமண்டிலச் செலுத்துகை அளவுகள்.

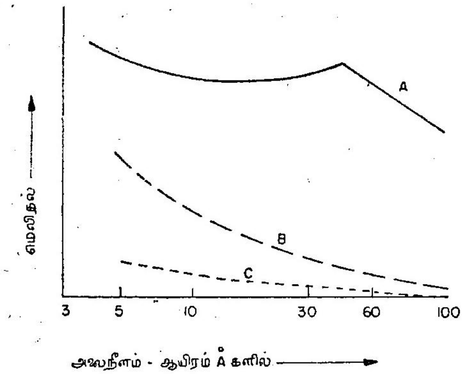
குறுகியவை - ஓர் ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அகலத்திற்கும் குறைந்தவை. இந்த அலைநீளப் பட்டையில் லேசர்க் கற்றை குறிப்பிடத்தக்க அளவு சிறப்பாகச் செலுத்தப்படுகின்றது.

இந்த வரைபடத்தில் காணப்பெறும் உச்சிகளும், தாழ்ந்த பகுதிகளும் உயரத்தில் 20 - க்கு 1 எனுமளவில் வேறுபாடுடையன. எனவே, லேசர் அலைநீளத்தை மிகுந்த கவனத்துடன் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். மாணிக்க லேசர் செயல்படும் வெப்பநிலையை மாற்றுவதன் வாயிலாக அதன் அலைநீளத்தை நிறமாலையின் இக் குறுகிய பகுதிக்குள் இருக்கும்படி செய்யமுடியும். இவ்வாறாக, செலுத்துகை சிறப்பாக உள்ள லேசர்க் கற்றைகளைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கையாளலாம்.

மேலே கூறிய ஆக்கக்கூறுகளேயன்றி (constituents) வளிமண்டிலத்தில் பல்வேறு துகள்கள் காற்றில் மிதக்கின்றன; இவை லேசர்க் கற்றையினைச் சிதறடிக்கும் பண்புடையன. அலைநீளங்கள் சிறியனவாகவும் இத் துகள்கள் பெரியனவாகவும் இருந்தால் இச் சிதறல் விளைவால் ஏற்படும் மெலிதல் (attenuation) மிக மோசமாக இருக்கும்.

ஆவி மூட்டம் உள்ள நாள்களில் (hazy days) உலர்ந்த துகள்களால்தான் மெலிதல் ஏற்படும். இந்த உலர்ந்த துகள்கள் ஒளியின் அலைநீளத்தைவிடச் சிறியவை. கடற்கரைப் பகுதிகளிலும், கடலிலும் மூடுபனி (fog) கவிந்திருக்கும். அப்போது, இதனைவிடத் தீவிரமான மெலிதல் ஏற்படும். உப்பினைக் கருவாகக் கொண்டு அதன்மீது நீர் சுருங்குவதால் மூடுபனி உண்டாகின்றது. இப் பனித்துளிகள் ஆவி மூட்டத்திலுள்ள பனித்துளிகளைவிட அளவில் பெரியவை. எனவே, மிக நீண்ட அலைநீளமுடைய லேசர்க் கற்றைகள்தாம் இவற்றை ஊடுருவ முடியும். தொழிற்சாலைகள் நிரம்பிய பகுதிகளில் பொறுக்கு மூடுபனி (selective fog) ஏற்படும். இது ஏற்படுவதற்கான கருவாக எரிதல் விளைபொருள்கள் (combustion products) செயல்படுகின்றன. இந்தப் பொறுக்கு மூடுபனித் துகள்கள் மேற்கூறிய நிலையான மூடுபனித் துகள்களைவிடக் குறிப்பிடத்தக்க அளவு சிறியனவாகும்.

இவ்வாறு வெவ்வேறு துகள்களால் ஏற்படும் மெலிதல் விளைவுகள் படம் 14.10 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளன. இப் படம் மெலிதல்பற்றிய எல்லா விவரங்களையும் தரவில்லை; பொறுக்கு



படம் **14.10.** மின்காந்த அலைகள் மெலிவுறுதல்.
A - கோடு நிலையான மூடுபனியிலும், **B** - கோடு பொறுக்கு மூடுபனியிலும், **C** - கோடு ஆவி முட்டத்தாலும் ஏற்படும் மெலிதல்களைக் குறிக்கின்றன.

மூடுபனியானது நிலையான மூடுபனியைவிடக் குறைந்த மெலிதலை யுண்டாக்கும் என்பது போன்ற விவரங்களை மட்டிலுமே இதிலிருந்து பெறலாம். செய்தித் தொடர்பினைத் திட்டமிடும் பொறியாளர் வேறு பல விவரங்களையும் கருத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

மேற்கண்ட விவரங்களிலிருந்து வானிலை தெளிவாக இருந்தாலும், பனி கவிந்திருந்தாலும் நீண்ட அலைநீளங்களைப் பயன்படுத்துவது நல்லதென்பது தெரிகின்றது. நல்ல தெளிவான வானமுடைய நாட்களில் 7000 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளச் சைகையானது 23,600 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளச் சைகையைவிட நான்கு மடங்கு மெலிவுறும்; பனி கவிந்த நிலைகளில் இந்த வேறுபாடு இன்னும் அதிகமாக இருக்கும்.

நல்ல தெளிவான நிலைகளிலுங்கூட வளிமண்டிலக் கொந்தளிப்புகளால் (atmospheric turbulence) லேசர்க் கற்றை மோசமாக மெலிவடையக் கூடும். இக் காரணத்தினல் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றத்தைவிட அலைத் துடிப்புப் பண்பேற்றம் பெரிதும் விரும்பப்படுகின்றது.

எனவே, (குறுகிய தூரங்களுக்கிடையே (6-19 கிலோ மீட்டர்கள்) வளிமண்டிலம் வழியே லேசர்ச் செய்தித் தொடர்பு கொள்வது நல்லது) அதுவும் குறைந்த எடையுடைய கருவிகளும் இரகசியமும் விரும்பப்படும் காரியங்களுக்கு இது மிகவும் நல்லது.

மேலும், ரேடியோக் கற்றையைப் பயன்படுத்தும்போது இடையி லுள்ளோர் ஒட்டுக் கேட்பதுபோல (மிகுந்த திசைப் பண்புடைய லேசர்க் கற்றையின் பாதையில் குறுக்கிட்டு ஒட்டுக்கேட்பது சிரமம்.) எனவே, இராணுவத்திற்கு இது ஒரு சிறந்த நற்பேறாகும். இதைவிட அதிகமான தூரங்களிலுங்கூட இதனைப் பயன்படுத்த லாம்; ஆனால், அவ்வப்போது தோன்றும் மூடு பனிகளின்போது இத் தொடர்பு அறுபடும்.

(மூடுபனி, ஆவிமூட்டம், கொந்தளிப்புகள் போன்றவை ஏற்படாத உயரங்களில் லேசர்க் கற்றையினைப் பயன்படுத்திச் செய்தித் தொடர்பினை மேற்கூறியவற்றினும் அதிகமான தூரங் களுக்கிடையே ஏற்படுத்தலாம். இவ்வாறு உயரத்தில் செய்தித் தொடர்பு கொள்வதற்கு இரு வழிகள் உள்ளன.)

முதலாவதில் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில் இடைவெளி விட்டு மிதக்கும்படி பலூன்கள் விடப்படும். முதல் பலூனில் லேசரும், அடுத்தடுத்துள்ள பலூன்களில் வில்லைகளும் (lenses), இறுதி பலூனில் ஏற்பியும் பொருத்தப்படும். முதல் பலூனிலுள்ள லேசர் வெளிவிடும் அலைப் பண்பேற்றம் பெற்ற கற்றை அடுத் தடுத்துள்ள பலூன்களில் உள்ள வில்லைகளால் நீண்ட தூரம் செலுத்தப்பெற்று இறுதி பலூனிலுள்ள ஏற்பியில் ஏற்கப்பெறும்.

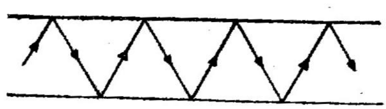
இரண்டாவது முறையில் லேசரும், ஏற்பியும் தரையில்தான் இருக்கும். ஆனால், லேசரிலிருந்துவரும் அலைப் பண்பேற்றம் பெற்ற கற்றை வானத்திலுள்ள ஒரு பொருளால் எதிரொளிக்கப் பெற்று நீண்டதூரம் செல்லும். இவ்வாறு செல்வதில் பெரும் பகுதி தூரம் மெலிதல் அதிகமாக நடைபெறும் வளிமண்டிலப் பகுதிக்கு மேலேயே இருக்கும். நியூ ஜெர்சி (New Jersey) யிலுள்ள அனைத்து நாட்டுத் தொலைபேசி - தந்திக் கழக ஆய்வுக்கூடத்தில் (International Telephone and Telegraph Federation laboratories) இது குறித்து ஆய்வுகள் செய்யப்பெற்றுள்ளன. கியுமுலஸ் மேகங்கள் (cumulous clouds) லேசர்க் கற்றைகளைப் பரப்பியி லிருந்து 150 கிலோ மீட்டர்கள் தூரத்திலுள்ள ஏற்பிக்குச் செல் லும்படி சிதறடிக்க முடியுமென அங்குக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது.

14.2.5. லேசர்க் கற்றைகளைக் குழாய்கள், கம்பிகள் வழியே அனுப்புதல்

மேலே கூறிய வளிமண்டில வழிச் செய்தித் தொடர்பு, இராணுவம் போன்ற ஒளிவு மறைவு விரும்பப்படும் இடங்

களுக்குப் பெரிதும் உகந்ததாகும். ஆனால், நகரங்களுக்கிடையே நடைபெறும் பொதுமக்கட்கான செய்தித் தொடர்புகளில் ஒளிவு மறைவு தேவையில்லை. எனவே, பனி முதலிய மாறுதல்களால் பாதிக்கப்படுகின்ற வளிமண்டில வழித் தொடர்பிற்குப் பதில் நிலையாக அமைக்கப்பெற்ற வேறு தொடர்புகளைப் பயன் படுத்தலாம். இத்தகைய அமைப்புகளில் கம்பிகள் அல்லது குழாய்கள் பயன்படுத்தப்பெறும்.

ஒரு குழாயின் வழியே மின்காந்த அலைகளை அனுப்புவதற்குப் பல வழிகள் உள்ளன. உள்ளீடற்ற, உலோகத்தாலான குழாயின் சுவர்கள் மிகச் சிறப்பாக எதிரொளிக்கும் தன்மையுடையனவாக அமைக்கப் பெற்றிருக்கும். அலை சுவரின்மீதுபட்டு எதிரொளிக் கும்; எதிரொளித்த அலை மீண்டும் சுவரின்மீது பட்டு எதிரொளிக்கும். இவ்வாறு அடுத்தடுத்து நிகழும் எதிரொளிப்பு களால் அலை முன்னேக்கிச் செல்லும். இது படம் 14.11-ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது.



படம் 14.11. ஒளியியல் அலைவழிப்படுத்தியில் ஒளியின் பாதை - உள்ளீடற்ற உலோகக் குழாய் அல்லது மின்கடத்தாப் பொருளாலான கம்பியில் ஒளியின் பாதை.

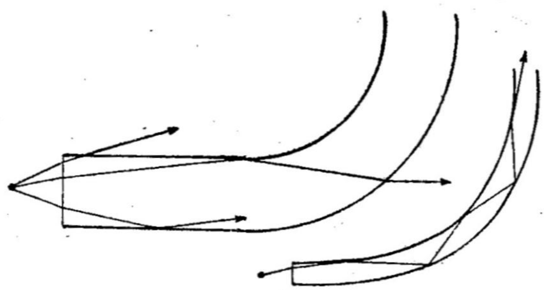
காற்றைவிடக் குறைந்த அரிப்பினை (corrosion) உண்டாக்கும் ஒரு மந்த வாயுவினால் (inert gas) குழாய் நிரப்பப் பெற்றிருக்கும். அலை நீளத்திற்கேற்ற மந்த வாயுவினைத் தேர்ந்தெடுத்துப் பயன்படுத்தினால் வாயுவினால் மெலிதல் (attenuation) ஏற்படாது பார்த்துக் கொள்ளலாம். ஆனால், ஒவ்வொருமுறை எதிரொளிக்கப் பெறும்போதும் ஒளியின் ஆற்றல் ஓரளவு இழக்கப்படுகின்றது. இத்தகைய அலைவழிப்படுத்திகள் (wave guides) மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்களில் பயன்படுத்தப் பெறு கின்றன. இவற்றை ஒளி அலைகளுக்கு அமைப்பது சற்றுக் கடினம். ஏனெனில், அதிர்வெண் அதிகரித்தால் இழப்புகளும் அதிகரிக்கும்.

இரண்டாவது வகை அலைவழிப்படுத்தி மின்கடத்தா ஒளி புகும் பொருளாலான கம்பிகளால் (insulating transparent rods) ஆனது. இங்கும், ஒளியானது உலோகக் குழாயில் செல்வது

போல (படம் 14.11) அடுத்தடுத்து நிகழும் எதிரொளிப்புகளால் முன்னேறும். இங்கே, மின் கடத்தாப் பொருளையும் அதன் புறத்தே சூழ்ந்துள்ள ஊடகத்தினையும் (medium) பிரிக்கும் புறப் பரப்பில் (surface) எதிரொளிப்புகள் நிகழும்.

இத்தகைய அலைவழிப்படுத்திகளாகக் கண்ணாடி நார்கள் (glass fibres) பயன்படும். அலைவழிப்படுத்தியின் அச்சுப் பகுதியில் உள்ள கண்ணாடியின் ஒளி விலகலெண் (refractive index) உயர்ந்ததாக இருக்கும். இதனைப் பிறிதொரு கண்ணாடி உறை சூழ்ந்திருக்கும்; இதன் ஒளிவிலகலெண் அச்சுப் பகுதியினுடையதைவிடக் குறைந்தது. இரு வகைக் கண்ணாடிகளும் சந்திக்கும் இடத்தில் முழு உள் எதிரொளிப்பு (total internal reflection) ஏற்படும்.

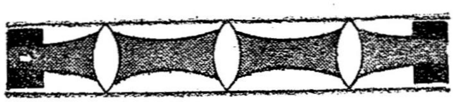
இவற்றில் ஏற்படும் இழப்புகள் அதிகம். இதுவரை கண்ணாடி நார்கள்தாம் சில மீட்டர் தூரத்திற்கு லேசர் ஒளியைச் செலுத்தப் பயன்படுத்தப் பெற்றுள்ளன. இக் குறைகள் இருப் பினும் இவை பிறிதொரு காரணத்தால் பெரிதும் விரும்பப்படு



படம் 14.12. நார்ப்பொருள் கம்பிகளில் ஒளியின் பாதை. ஒரு கதிரானது இடைப்பரப்பில் தொடுகோணத்தில் படும்வரை அது உள்ளேயே எதிரொளிக்கப் பெற்று முன்னேறும். எனவே, மூலைகளின் வழியே ஒளியை வழிகாட்டிச் செலுத்துவதற்குக் குறுகிய விட்ட முடையனவே உகந்தவை.

கின்றன. அஃதாவது, எந்திரவியல் அடிப்படையில் பார்த்தால் இவை மிகுந்த வளைந்து கொடுக்கும் தன்மை (flexible) யுடையன. எனவே, இவற்றை மிகவும் குறுகிய விட்டங்களிலும் உண்டுபண்ண லாம். விட்டம் குறுகலாக இருந்தால் இவை ஒளியை நன்றாக வளைக்கும். இதனைப் படம் 14.12 காட்டுகின்றது.

மூன்றாவது வகை அலைவழிப்படுத்தி ஓர் உள்ளீடற்ற குழாய் (hollow tube) ஆகும். இதில் முதல் வகையில் நிகழ்வதுபோல் ஒளி குழாயின் சுவர்களில் எதிரொளிக்கப் படுவதில்லை. மாறாக, குழாயின் ஊடே குறிப்பிட்ட இடைவெளிகளில் அமைக்கப் பெற்றுள்ள வில்லைகளால் (lenses) ஒளி அதன் பாதையில் செல்லும்படி செய்யப்படுகின்றது. இது படம் 14.13 - ல் விளக்கப் பெற்றுள்ளது.



படம் 14.13. வில்லைகள் பொருத்தப்பெற்ற உள்ளீடற்ற குழாய் அலைவழிப்படுத்தி.

இவ் வகை ஒளியியல் அலைவழிப்படுத்தி யொன்று அமெரிக்க நாட்டிலுள்ள தரைப்படை எலெக்ட்ரானிய ஆணை ஆய்வுக் கூடத்தில் (Army Electronic Command) உருவாக்கப்பெற்றுள்ளது. இந்த அலைவழிப்படுத்தியில் மெலிதல் (attenuation) மிகவும் குறை வாகவே ஏற்பட்டது ; ஒன்றுக்கொன்று 100 மீட்டர் தூரத்தில் வில்லைகள் அமைக்கப்பட்டிருந்தன ; 2 செ.மீ. நீளமுள்ள குழாய் பயன்படுத்தப்பெற்றிருந்தது ; அலைகள் இந்தக் குழாய்க்குள் ளேயே செல்லும்படி வில்லைகள் செய்தன. ஆனால், இந்தக் குழாயில் வளைவுகள் இருந்தால் அங்கே ஒளி வளைந்து செல்ல முடியாது. இப் பிரச்சினையைத் தீர்ப்பதற்கு இருவழிகள் உள்ளன: வில்லைகளின் நிலைகளை மாற்றி அமைக்கலாம் அல்லது அடுத்தடுத் துள்ள வில்லைகளுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தைக் குறைக்கலாம்.

பெரும்பாலும் உள்ளீடற்ற குழாய்களாலான அலைவழிப் படுத்திகள் யாவற்றிலும் அவற்றின் உட்பகுதியிலுள்ள காற்றின் அழுத்தம் இயல்பான வளி அழுத்தத்திற்குச் சற்றே குறைவாக இருக்கும்படி அமைக்கப்பெற்றிருக்கும். குழாயினுள் உள்ள காற்றில் ஏற்படும் வெப்பநிலைச் சரிவு (temperature gradient) மாறுதல்களால் ஏற்படக்கூடிய விளைவுகளை இது குறைக்கும். காற்றின் ஒளிவிலகலெண் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கு மாகலான் இத்தகைய வெப்பநிலைச் சரிவு மாறுதல்கள் ஒளிக் கற்றையைச் சற்றே ஒதுக்கமடையச் (deflect) செய்யும். அதனால் இழப்புகள் அதிகரிக்கும்.

அலைவழிப்படுத்தியில் ஒவ்வொரு வில்லையும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு இழப்பினையுண்டாக்குமாதலான் வில்லைகளுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தை முடிந்த அளவு அதிகமாக வைத்துக்கொள்வது நல்லது. குவார்ட்சினுல் (quartz) ஆன ஒளியியல் வில்லைகள் லேசர் அலை நீளங்களில் மற்றவகை வில்லைகளைவிடக் குறைவாகவே உட்கவரும். ஆனுல், அவற்றின் புறப்பரப்பு ஓரளவு சொரசொரப்பாக இருக்கும்; இதனுல் குறிப்பிடத்தக்க அளவு இழப்புகள் ஏற்படும்.

பெல் தொலைபேசி ஆய்வுக்கூடங்கள் (Bell Telephone Laboratories) இப் பிரச்சினையில் தீர்வு காணுமுகத்தான் வாயு வில்லைகளை (gas lenses) உருவாக்கியுள்ளன. இந்த அலைவழிப்படுத்தி ½ செ.மீ. விட்டமுடைய உலோகக் குழாயாலானது. இக் குழாய் குறிப்பிட்ட தூரங்களில் அமைந்த இடைவெளிகளில் சூடாக்கப் பெறும்; குளிர்ந்த நைட்ரஜன் அல்லது கார்பன்-டை-ஆக்சைடு குழாயின் வழியே ஒருபுறத்திலிருந்து மறுபுறத்திற்குத் தொடர்ச்சியாக அனுப்பப்பட்ட வண்ணம் இருக்கும். எந்தெந்தவிடங்களில் சூடாக்கும் அடுப்புகள் உள்ளனவோ அப் பகுதிகளில் குழாய்ச் சுவரை ஒட்டியுள்ள வாயுக் குழாயின் மையத்திலுள்ள வாயுவை விட உயர்ந்த வெப்ப நிலையை அடையும். இதனுல், சுவரை ஒட்டியுள்ள வாயுவின் அடர்த்தி (density) குறையும். அதன் ஒளிவிலகலெண் குறையும். இவ்வாறு மையப் பகுதியைவிடச் சுவரை ஒட்டிய பகுதியின் ஒளிவிலகலெண் குறைவாக இருக்கும்படி ஆக்கப்படுவதால் ஒரு குவிக்கும் வில்லையின் விளைவு (converging lens effect) ஏற்படும். எனவே கற்றை, குழாயின் அச்சின் ஊடே செறிவுடையதாக்கப் பெறுகின்றது. இத்தகைய வாயு வில்லைகளையுடைய அலைவழிப்படுத்திகள் ஒளிக்கற்றையின் செறிவில் எவ்வித இழப்பினையும் ஏற்படுத்துவதில்லை; அஃதாவது செறிவினைக் குறைப்பதில்லை.

14.2.6. லேசர் ஒளியூட்டம்

ஓரிடத்திலிருந்து பிறிதோரிடத்திற்குச் செய்தியை எடுத்துச் செல்வதற்கு லேசர்கள் எவ்வாறு உதவுகின்றன என்பதனைக் கடந்த பகுதிகளில் பார்த்தோம். செய்தித் தொடர்பு அமைப்புகளில் வேறு வகைகளிலும் லேசர்கள் உதவக்கூடும். காட்டாக, (தொலைக் காட்சியில் (television) படமெடுத்து அனுப்பப்பட வேண்டிய காட்சியினை ஒளியூட்டுவதற்கான (illuminate) ஒளி மூலமாக (light source) லேசரைப் பயன்படுத்தலாம்.) அஃதாவது,

எளிதில் கையாள முடியாத, ஒழுங்கற்ற ஒளி விளக்குகள் இப்போது தொலைக்காட்சியில் பயன்படுத்தப்பெற்று வருகின்றன. அவற்றுக்குப் பதில் லேசர்களைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால், லேசர் ஒளியானது ஒரு காட்சி முழுவதினையும் பரவலாக, சீராக ஒளியூட்ட முடியாதென்பது நமக்குத் தெரியும். எனவே, வழக்கமான விளக்குகளைப் பயன்படுத்துவதுபோல் இவற்றைப் பயன்படுத்த முடியாது. அதற்குக் கீழ்க்கண்ட முறையினைக் கையாளவேண்டும் :

லேசரிலிருந்து வரும் குறுகிய ஒளிக்கற்றை, காட்சியினை ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறுபக்கத்திற்கும், மேலிருந்து கீழுமாக மிக விரைவாக வரிக்கண்ணோட்டம் செய்யும் (scan). எனவே, மற்றபடி காட்சி இருண்டிருந்தாலும் காட்சி படமாக்கப்படுகின்றது. ஒளியூட்டத்தின் மட்டம் (illumination level) எவ்வளவாக இருந்த போதிலும் தொலைக்காட்சித் திரையில் காட்சியானது சாதாரணப் பகல் வெளிச்சத்தில் காணப்படுவதுபோலத் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் காணப்படும்.

14.3. ஒளிப்படவியலில் லேசர்

14.3.1. சாதாரண ஒளிப்படவியலில் லேசர்

சாதாரண ஒளிப்படவியலில் (photography) கண் காணும் சாதாரண வெள்ளை ஒளியினைப் (visible white light) பயன்படுத்துகின்றோம். இந்த ஒளியானது பல்வேறு அலைநீளங்களின் கலவையால் ஆனது. இதனை ஒரு வில்லை (lens) அல்லது முப்பட்டகத்தின் (prism) வழியே அனுப்பும்போது அதன் பல்வேறு கூறுகளும் பல்வேறு அளவுகளில் விலகலடையும்; இதனால் நிறப்பிறழ்ச்சி (chromatic aberration) எனும் விளைவு ஏற்படும்.

இந்த நிறப்பிறழ்ச்சியினால் பிம்பங்கள் தெளிவில்லாமல் விழும் (blurred). உயர்வேக ஒளிப்படவியலில் (high-speed photography) இது ஒரு பிரச்சினையாகும். லேசர் ஓர் ஒற்றைநிற ஒளியானதால் (monochromatic light) அதனைப் பயன்படுத்தி இப் பிரச்சினையைத் தீர்க்கலாம். நொடிக்கு 20,000 செ.மீ. வேகத்தில் பாய்ந்து செல்லும் குண்டினைப் படமெடுக்கவும், ஒலியைக் காட்டிலும் வேகமாகச் செல்லும் காற்றுப் புழல்களில் (hypersonic wind tunnels) ஏற்படும் அதிர்ச்சி அலை அமைப்புகளை (shock wave pattern) ஆராயவும் மாணிக்க லேசர்கள் ஒளி மூலங்களாகப் பயன்படுத்தப்பெற்றுள்ளன. இரண்டிலும் நல்ல கூர்மையான பிம்பங்கள் கிட்டின.

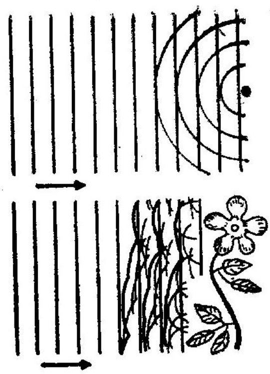
(லேசர்க் கற்றைகள் உயர் செறிவுடையனவாதலால் இவை நுண் - ஒளிப்பட வியலிலும் (photomicrography) பயன்படுத்தப் பெறலாம்.) சாதாரண ஒளியைப் பயன்படுத்தும்போது நுண் பொருள்களைப் படமெடுக்க நீண்ட நேரம் அவை ஒளியூட்டப் பெறவேண்டும் ; அஃதாவது, திறப்பு (exposer) அதிகமாக இருக்க வேண்டும். இதனால் ஒரு தொல்லை ஏற்படுகின்றது. அஃதாவது, பொருளின் இயக்கத்தால் பிம்பம் தெளிவற்றதாகும். (லேசர் ஒளியின் செறிவு உயர்வாக இருப்பதனால் அதனைப் பயன்படுத்து கையில் திறப்பு நேரம் (exposure time) குறைவாக இருந்தால் போதும்; தெளிவான கூர்மையான பிம்பங்கள் கிட்டும்.)

14.3.2. ஓலோகிரஃபி

முப்பரிமாணப் (three dimensional) படங்களை எடுக்கவும், அவற்றை மீட்டுருவாக்கவும் (reproduce) ஆன முயற்சிகள் பன்னெடுங்காலமாகவே நடைபெற்று வந்துள்ளன. அத்தகைய ஒரு முயற்சிதான் 3 - D திரைப்படம் (3 - D cinema). ஆனால், அவை அவ்வளவாக வெற்றிபெறவில்லை. அவை முப்பரிமாணப் படங்களாகத் தோன்றினாலும் உண்மையில் அவை முப்பரிமாணக் காட்சிகளாக விளங்கவில்லை. எவ்வாறெனின், மூன்று பரிமாணங் களையுடைய ஒரு காட்சியினை முன்னேயிருந்து அதன் முன்புறத் தைப் பார்க்கலாம்; சற்றுத் திரும்பி அதன் பின்னே என்னவுள்ள தென்று காணலாம். ஆனால், 3-D திரைப்படத்தில் இது நடக்காது. இந்தப் பண்பினையுடைய, உண்மையான முப்பரிமாணப் படங்களை எடுக்கவும், மீட்டுருவாக்கவும்வல்ல ஒரு துறை இப்போது உருவாகியுள்ளது. இது (ஓலோகிரஃபி (Holography) எனப்படும். இந்தப் புதிய உத்தியில் லேசர்க் கற்றைகள் பயன்படுகின்றன.)

14.3.3. ஓலோகிரஃபி வேலை செய்யும் விதம்

நாம் ஒரு காட்சியினைக் காணும் நிகழ்ச்சியிலோ அல்லது அதனைப் படமெடுப்பதிலோ பல்வேறு செயல்முறைகள் நடை பெறுகின்றன. ஒரு விளக்கிலிருந்தோ, சூரியனிலிருந்தோ வரும் ஒளியானது அக் காட்சியிலுள்ள பொருள்களின்மீது பட்டு எதிரொளிக்கின்றது. எதிரொளித்த ஒளியானது பொருளின் தோற்றம், வடிவம் முதலியவற்றை யொட்டிச் சில மாறுதல்களை அடைந்திருக்கும்; அஃதாவது, எதிரொளித்து வரும் ஒளியின் அலை முகப்பின் (wavefront) வடிவம் மாறி யிருக்கலாம், அல்லது ஒரு அலைமுகப்பின் பல்வேறு பகுதிகளின் வீச்சுகள் மாறியிருக்கலாம்.



படம் 14.14. (*a*) புள்ளி அளவான ஒரு பொருள் தள அலைகளால் ஒளியூட்டப் பெறும்போது ஒளியினைக் கோள அலைகளாகச் சிதறடிக்கின்றது.

(*b*) மெய்யான ஒரு பொருள் பல புள்ளிகளின் தொகுதியாகச் செயல்படுகின்றது. ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்து சிதறடிக்கப் பெற்றுவரும் கோள அலைகள் எல்லாவற்றினுடைய தொடுபரப்பு (tangential surface) பொருளிலிருந்து எதிரொளித்து வரும் அலைமுகப்பாகச் செயல்படும்.

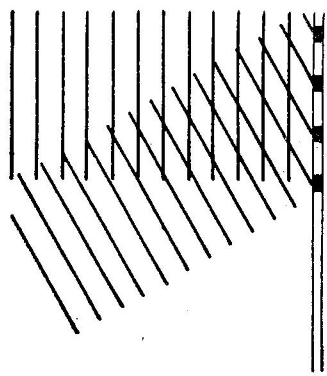
இதனைப் படம் 14.14 காட்டுகின்றது. செய்திகளைச் சுமந்து வரும் இந்த ஒளி நம் கண்களையோ அல்லது ஒளிப்படப் பெட்டியையோ (camera) அடையும்போது நாம் பொருள்களை உணருகின்றோம் அல்லது படம் பதிவாகின்றது.

நம் கண்ணின் விழித்திரையோ (retina) அல்லது ஒளிப்படத் தகடோ (photographic plate) அதன்மீது படுவொளியின் செறிவினையும், நிறத்தினையுமே பதியவைக்கும் ஆற்றல் படைத்தவை. எனவே, இந்த இரண்டில் ஏற்படும் மாற்றங்களே பிம்பங்களாகத் தோன்றுகின்றன. இந்தப் பிம்பங்கள் பொருளின் தூரத்தைப் பற்றி எந்தவிதமான தகவலையும் நமக்குத் தருவதில்லை. ஓர் ஒளிப்படத்திலிருந்து பொருள் எவ்வளவு தூரத்தில் உள்ளது என்றோ அல்லது படத்தில் காணப்பெறும் பொருள்களில் எது அண்மையில் உள்ளது என்றோ நம்மால் கண்டுகொள்ள முடியாது. ஆனால், பழக்கத்தின் காரணமாக இதனை நாம் ஊகித்துக் கொள்கிறோம்.

ஆனால், நமக்கு இரண்டு கண்கள் உள்ளதால் தூரத்தை உணர முடிகின்றது. ஒவ்வொரு கண்ணும் காட்சியினைச் சற்று மாறுபட்ட

கோணத்தில் பார்க்கின்றது ; மூளை இதனைப் பகுத்துத் தூரத்தை உணருகின்றது. இஃது எவ்வாறு ?

விழித்திரையில் பல்வேறு பகுதிகளையும் ஒரே நேரத்தில் அடைகின்ற பல்வேறு அலைகளுக்கு இடையேயுள்ள கட்ட வேறுபாடுகளே (phase differences) தூரத்தை உணர்த்தும் பகுதிகளாக அமைகின்றன. ஆனால், விழித்திரையோ அல்லது ஒளிப்படத்தட்டோ இந்தக் கட்ட வேறுபாடுகளை நேரடியாக உணர முடியாது. இதற்கு ஒளிக்குறுக்கீடு (interference) எனும் நிகழ்ச்சிதான் பயன்படும். இந்த உத்திதான் ஒலோகிரஃபியிலும் பயன்படுகின்றது. ஒளிக் குறுக்கீடு எவ்வாறு நிகழ்கின்றதென்பதனைப் படம் 14.15 விளக்குகின்றது.

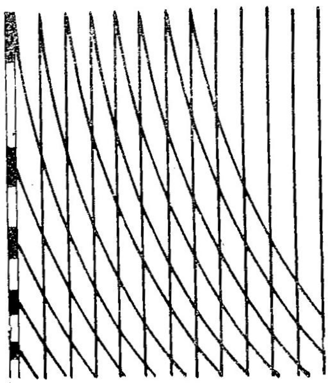


படம் 14.15. இரண்டு தள அலைகளின் குறுக்கீடு.

ஒரே அதிர்வெண்ணும் வீச்சுமுடைய இரண்டு தள அலைகள் (plane waves) ஓர் ஒளிப்படத் தட்டினை வந்தடைவதனைப் படம் 14.15 காட்டுகின்றது. படத்தில் அலைகளின் முகடுகள் (crests) குறிக்கப்பெற்றுள்ளன. ஒளிப்படத் தட்டின்மீது எந்தெந்தவிடங்களில் இரண்டு அலைகளின் முகடுகளும் அல்லது அகடுகளும் ஒரே நேரத்தில் வந்து சேருகின்றனவோ அங்கெல்லாம் இரு அலைகளும் ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டுகின்றன (reinforce) ; ஆனால், எந்தெந்தவிடங்களில் ஓர் அலையின் முகடும் மற்றோர் அலையின் அகடும் ஒரே நேரத்தில் வந்து சேருகின்றனவோ அங்கெல்லாம் அவை ஒன்றையொன்று அழிக்கின்றன. எனவே, ஒளிப்படத் தட்டின்மீது ஒளி வரிகளும், இருண்ட வரிகளும் அடுத்

தடுத்துச் சமதூர இடைவெளிகளில் தோன்றும். இந்த வரிகளின் அமைப்பானது முதல் அலைத் தொகுதியினது கட்டம், இரண்டாவது அலைத் தொகுதியினது கட்டத்திலிருந்து எவ்வாறு வேறுபடுகின்றது என்பதன் உண்மையான பதிவு (record) ஆகும்.

மேலே கண்டது இரு அலைத் தொகுதிகளும் தள அலைகளால் ஆனவையாக உள்ளபோது ஏற்படும் ஒளிக் குறுக்கீட்டு வரி அமைப்பாகும். அவ்வாறன்றி ஓர் அலைத் தொகுதி தள அலைகளாலும் பிறிதொன்று கோள அலைகளாலும் (spherical waves) ஆனவையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இது படம் 14.16 - ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 14.16. தள அலைகள் - கோள அலைகள் குறுக்கீடு.

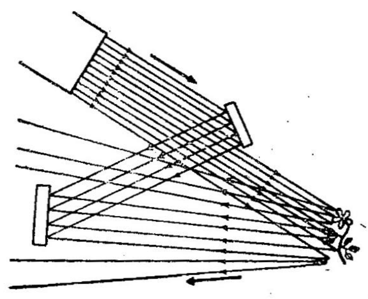
இப்போது ஏற்படும் ஒளிக்குறுக்கீட்டு வரிகளின் அமைப்பு நேர்க்கோட்டு வரிகளாக இராது ; வட்ட வரிகளாக (circular fringes) இருக்கும் ; மையத்தை விட்டு விலகவிலக வரிகளுக்கிடையேயுள்ள தூரமும் குறைந்துகொண்டே செல்லும். எனவே, ஒரே மாதிரியான ஓர் அலைத் தொகுதியினை அல்லது ஒளிக் கற்றையினை முதல் அலைத் தொகுதியாகவும் [இதனை மேற்கோள் கற்றை (reference beam) எனக் கூறுவோம்], வெவ்வேறு வகையான அலைத் தொகுதிகளை அல்லது ஒளிக் கற்றைகளை இரண்டாவது தொகுதியாகவும் [இதனைச் சைகைக் கற்றை (signal beam) எனக் கூறுவோம்] பயன்படுத்தினால் கிடைக்கும் ஒளிக் குறுக்கீட்டு வரி அமைப்புகளும் வெவ்வேறாக இருக்குமென்பதும், இரண்டாவதான சைகைக் கற்றையிலுள்ள செய்திகள் முழுவதும் வரி அமைப்பில் உள்ளனவென்பதும் தெரிகின்றது. எனவே, இவ்வாறு ஒளிக்குறுக்கீட்டு

வரி அமைப்புகளைப் படமெடுத்துப் பின்னர் அதிலிருந்து சைகைக் கற்றையினை மீண்டும் உருவாக்கிக் காட்சியினைக் காண்பதுதான் ஓலோகிரஃபி வேலை செய்யும் தத்துவமாகும்.

மேற்கண்டவாறு ஒளிக்குறுக்கீட்டு வரி அமைப்புகளைப் பெற வேண்டுமானால் இரு ஒளிக்கற்றைகளும் ஓரியல் ஒளி மூலங்களிலிருந்து (coherent light sources) வரவேண்டுமென்பது நாமறிந்ததே. எனவே, லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன்படுத்தி இதனை எளிதில் பெறக்கூடும். இனி இத்தகைய படங்கள் எவ்வாறு எடுக்கப் படுகின்றன என்பதனையும் அதிலிருந்து காட்சியை மீட்டுருவாக்குவதனையும் காண்போம்.

14.3.4. ஓலோகிராம்

ஒரு பொருளின் முப்பரிமாணப் படத்தை எவ்வாறு எடுப்பது என்பதனைப் படம் 14.17 விளக்குகின்றது. ஒரு லேசர்க்கற்றையின் ஒரு பாதியானது ஒரு சமதள ஆடியால் (plane mirror) எதிரொளிக்கப்பட்டு ஓர் ஒளிப்படத்தட்டின்மீது விழுகின்றது.

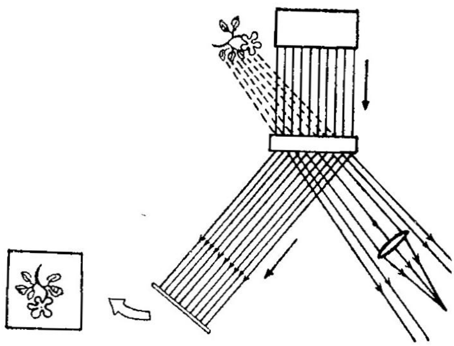


படம் 14.17. ஓலோகிராம் உண்டாக்குதல்.

இந்தக் கற்றை மேற்கோள் கற்றையாகச் செயல்படும். லேசர்க் கற்றையின் மறு பகுதி படமெடுக்கப்படும் பொருளின்மீது பட்டு எதிரொளிக்கப்பெற்றுச் சைகைக் கற்றையாக அதே ஒளிப்படத் தட்டின்மீது வந்துபடும். இரு கற்றைகளும் ஒளிப்படத்தட்டின் மீது ஓர் ஒளிக்குறுக்கீட்டு அமைப்பினை (interference pattern) உண்டாக்கும். இந்த ஒளிக்குறுக்கீட்டு அமைப்புதான் சைகைக் கற்றையின் துல்லியமான பதிவாகும். இது ஓர் ஓலோகிராம் (hologram) எனப்படும். ஓலோகிராமானது சாதாரண ஒளிப் படம் (photograph) போன்று தோன்றாது ; இதனை நேராகப்

பார்த்தால் காட்சியின் உண்மையான படமோ, சாயலோ தெரியவே தெரியாது ; இருண்டதும் ஒளியுடையதுமான வட்டங்களின் தொகுதிகள் பலதாம் கிடைக்கும்.

அப்படியானால் இதிலிருந்து காட்சியினை எப்படி மீட்டுருவாக்குவது (reproduce) ? இது மிகவும் எளியதாகும். ஒலோகிராம் உண்டாக்கும்போது எந்தத் திசையில் மேற்கோள் கற்றையினை (reference beam) அனுப்பினோமோ அதே திசையில் இப்போது ஒரு லேசர்க் கற்றையை ஒலோகிராமின்மீது படும்படி அனுப்ப வேண்டும் ; இதற்கு மறுபக்கத்திலிருந்து ஒலோகிராமைப் பார்த்தால் படமாக்கப்பட்ட காட்சி முழுவதும் நமக்குத் தெரியும். இதனைப் படம் 14.18 காட்டுகின்றது. இப்போது நம் தலையைப்



படம் 14.18. ஒலோகிராமிலிருந்து காட்சியை மீட்டுருவாக்குதல்.

பக்கவாட்டில் திருப்பிப் பார்த்தால் முப்பரிமாணப் பிம்பங்களின் சிறப்பியல்பான இடமாறு தோற்றத்தை (parallax) நன்கு உணர முடியும்.

இவ்வாறு ஒலோகிராமை லேசரால் ஒளியூட்டும்போது உண்மையில் இரண்டு பிம்பங்கள் தோன்றும். இதனைப் படம் விளக்குகின்றது. படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஓர் ஒளிப்படத் தட்டினை வைத்தால் அதன்மீது ஒரு மெய்ப் பிம்பம் (real image) உருவாகும் ; அக் காட்சி அந்த ஒளிப்படத்தட்டில் சாதாரண ஒளிப்படம்போல் பதிவுறும். இதற்கு எந்த வில்லை அமைப்பும் தேவையில்லை. பிறிதொரு பிம்பம் மாயப் பிம்பமாகும் (virtual image).

முப்பரிமாணப் பிம்பங்களை உருவாக்குவதோடல்லாமல் ஓலோகிராம்களுக்குப் பிறிதொரு சிறப்புமுண்டு. ஓலோகிராம் முழுவதும் இருந்தால்தான் காட்சியை மீட்டுருவாக்க முடியு மென்பதில்லை; ஓலோகிராமின் ஒரு சிறு பகுதி இருந்தாலும் போதும். காட்சி முழுவதுமே ஒவ்வொரு சிறு பகுதியிலும் பதிந்துள்ளது. சாதாரண ஒளிப்படத்தில் இவ்வாறன்று என்பது ஈண்டு நினைவுகூரத்தக்கது. எனவே, ஓலோகிராம் பதியப் பெற்றுள்ள ஒளிப்படத்தட்டு உடைந்துபோனாலும் பரவாயில்லை; அதன் ஒரு சிறு துண்டினைக்கொண்டே நாம் காட்சி முழுவ தனையும் மீட்டுருவாக்கிக் கொள்ளலாம். ஓலோகிராமின் பரப் பளவு சிறிதாயிருக்குமானால் பிம்பம் அவ்வளவாகத் தெளிவாக நன்கு வரையறுக்கப்பட்டிராது ; ஆனால் குவித்தல் ஆழம் (depth of focus) அதிகரிக்கும்.

ஓலோகிராம்களை உண்டாக்கும்போதும் அவற்றிலிருந்து காட்சியை மீட்டுருவாக்கும்போதும் லேசர்க் கற்றைகள் குறிப் பிட்ட கோணங்களில்தான் செலுத்தப்படுகின்றன. ஓர் ஒளிப் படத்தட்டில் ஓர் ஓலோகிராமைப் பதிவு செய்துவிட்ட பின்னர் வேறொரு காட்சியினையும் அதிலேயே பதிவு செய்யலாம்; ஆனால், இரண்டாவது காட்சியினைப் பதிவு செய்வதற்குப் பயன்படும் லேசர்க் கற்றை வேறொரு கோணத்தில் செலுத்தப்படவேண்டும். இவ்வாறு வெவ்வேறு கோணங்களில் லேசர்க் கற்றைகளைச் செலுத்தி ஒரே ஒளிப்படத்தட்டில் பல காட்சிகளை நாம் பதிவு செய்யமுடியும். மீட்டுருவாக்கும்போதும் எந்தக்காட்சி நமக்கு வேண்டுமோ அந்தக் காட்சியினைப் பதிவுசெய்யும்போது லேசர்க் கற்றை எந்தக் கோணத்தில் செலுத்தப்பெற்றதோ அதே கோணத்தில் இப்போதும் செலுத்தப்படவேண்டும்.

இவ்வாறு பல பிம்பங்களைச் சேர்ந்தாற்போல் பதிவு செய்து கொள்ளும் சிறப்பினை ஓலோகிராம் பெற்றுள்ளது. சாதாரண ஒளிப்படவியலில் இது முடியாது. இந்தக் காரணத்தினால் ஓலோ கிராம்களைச் செய்திகளைச் சேமித்து வைக்கும் கருவியாகப் பயன் படுத்தலாம். இத் துறையில் இதனைச் சிறப்புறப் பயன்படுத்து வதற்குப் பிறிதொரு காரணமும் உண்டு. செய்திகளைச் சேமித்து வைக்கப் பயன்படுத்தப்பெற்றுவரும் மைக்ரோ ஃபில்ம்களில் (micro film) ஒரு சிறு கீறல் விழுந்தாலும் அந்தப் பகுதியிலுள்ள செய்திகள் முழுவதும் அழிந்துபடும். ஆனால், நாம் முன்னரே கூறியதுபோல ஓலோகிராம் உடைந்தாலும் பரவாயில்லை; சிறு

துண்டு மிஞ்சினுலும்போதும்; முழுச்செய்தியும் பத்திரமாக அதில் பொதிந்திருக்கும்.

இந்த ஓலோகிரஃபி முறையினை முதன்முதலாகக் கி.பி. 1947-ல் இலண்டன் பல்கலைக் கழகப் (University of London) பேராசிரியர் டென்னிஸ் கேபார் (Dennis Gabor) என்பார் கண்டுபிடித்தார். இதற்கென இவருக்குச் சென்றவாண்டு (1971-ல்) நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டுள்ளது. ஆயினும், லேசர்கள் வளர்ச்சியுற்ற பின்னர்த்தான் இவற்றை நடைமுறைக்குக் கொணரமுடிந்தது.

ஓலோகிரஃபி முறையில் பொருள்களைப் படம் பிடிப்பதிலும் அவற்றை மீட்டுருவாக்குதலிலும் பல பிரச்சினைகள் உள்ளன. இருந்தாலும், மிச்சிகன் பல்கலைக் கழகத்தைச் சார்ந்த பேராசிரியர் ஈ. என். லெய்த் (E. N. Leith) என்பாரும் அவருடன் பணியாற்றுவோரும் இந்தத் துறையில் குறிப்பிடத்தக்க வெற்றி கண்டுள்ளார்கள். ஓர் அடிச் சதுர அளவில் பார்க்கக்கூடிய திரைப்பட ஓலோகிராம்களை இவர்கள் உண்டாக்கினுர்கள். இதனைப் பலர் ஒரே நேரத்தில் பார்க்க முடியும். ஆனுல், சாதாரணத் திரையரங்கங்களில் காணப்பெறும் திரையின் அளவுக்குப் பெரிய ஓலோகிராம்களை உண்டாக்குவதில் தீர்க்கப்படவேண்டிய பிரச்சினைகள் பல இன்னுமுள்ளன.

ஓலோகிரஃபி முறையில் உயர்ந்த திறன்கள் தேவையென நம்பப்பட்டு வந்தது. ஆனுல், கி.பி. 1970 ஆம் ஆண்டின் பிற்பகுதியில் இஸ்ரேல் இன்ஸ்டிடூட் ஆஃப் டெக்னுலஜியைச் (Israel Institute of Technology) சேர்ந்த ஜே. ஷமிர் (J. Shamir), ஜே. பொலிட்சி (J. Politchi), ஜே. பென் ஊரி (J. Ben Uri) ஆகியோர் 1 மில்லி வாட்டு ஸ்பெக்ட்ரா-பிஸிக்ஸ் மாடல் 133 (spectra physics model-133) He-Ne லேசரையும், அக்ஃபா-கேவர்ட் 10 E 75 (Agfa-Gevaert 10 E 75) ஒளிப்படத் தகடுகளையும் பயன்படுத்தி 2 நொடிகள் திறப்பிலேயே ஓலோகிராம் உண்டாக்கியுள்ளனர்.

ஓலோகிராம் உண்டுபண்ணுதலுக்குச் சிறந்த நிலைப்பாடும் (stability) சிறந்த ஒரியல் பண்புகளும் தேவையானபடியால் ஓலோகிரஃபி படமெடுக்கும் அமைப்புகள் மிகப் பெரியனவாக இருக்கும். ஆனுல் கையடக்கமான, லேசர் உள்ளிட்ட எல்லாக் கருவிகளும் உள்ளடங்கிய உயர்பகுதிறனுடைய ஓர் ஓலோ கேமிராவை (holo camera), ஹியூக்ஸ் ரிசர்ச் லேபரட்டரியைச் (Hughes Research

Laboratories, Malibu, California) சேர்ந்த டொனல்டு எச். குளோஸ் (Donald H. Close) என்பார் சென்ற ஆண்டில் (1971 - ல்) உருவாக்கியுள்ளார். இது $12 \times 13 \times 6\frac{1}{2}$ அங்குலம் எனும் அளவுகளை யுடையது; 17·4 பவுண்டு எடையுடையது. இதில் ஒளிமூலமாக மாணிக்கத் துடிப்பு லேசர் பயன்படுகின்றது, இதில் ஒலோகிராம் களை ஒளிப்படத் தகடுகளில் (photographic plates) பதிய வைப்பதற்குப் பதில் படலங்களிலேயே (films) பதியவைக்கலாம். மீட்டுருவாக்கும் நிலையில் He - Ne லேசரைப் பயன்படுத்தலாம்.

ஒலோகிரஃபி முறையில் தொலைக்காட்சியும் ஏற்படுவதற் கான வாய்ப்புகள் உள்ளன. இது நடைமுறையில் இன்னும் வரவில்லை.

ஒலோகிரஃபியினைத் தொழில்துறைகளில்கூடப் பல வழிகளில் பயன்படுத்தக்கூடும். காட்டாக, வானவூர்திகளின் (aircrafts) பாகங்களில் ஏற்படும் அதிர்வுகளை அளப்பதற்கும், உலோகங்களில் ஏற்படும் வடிவ மாற்றங்களை (deformation) அளப்பதற்கும் பயன்படுத்தக் கூடும். இன்னபிற துறைகளில் ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்ற வண்ணமுள்ளன.

ஒலோகிரஃபி இன்னும் துவக்கக் கட்டத்திலேதான் உள்ளது. இதன் முழுப் பயனும் நாளாவட்டத்தில்தான் உணரப்படும்.

14. 4.1. மருத்துவத் துறையில் லேசர்கள்

லேசர்கள் மருத்துவத் துறையில் சிறப்பான சில காரியங் களுக்குப் பயன்பட்டு வருகின்றன. அவற்றுள் சில: மாணிக்க லேசரிலிருந்து வரும் ஒளியினைக்கொண்டு சில ஆயிரம் பேர்களுக்குக் கண்ணில் அறுவை மருத்துவம் செய்யப்பட்டுள்ளது; ஆர்கான் அயனி லேசரிலிருந்து வரும் ஒளியானது வேறுபல அறுவை மருத் துவங்களுக்குப் பயன்படுத்தப் பெற்றுள்ளது. உண்மையில் சொல் லப்போனால் வேறு துறைகளை விட மருத்துவத் துறையில் லேசர்கள் நன்றாகப் பயன்படுத்திக்கொள்ளப் பெறுகின்றன. லேசர்க் கற்றையானது மிகக் குறுகியதாக இருப்பதால் மிகச் சிறு பரப்புகளில் செய்யவேண்டிய அறுவைகளுக்கு இது சிறப்பாகப் பயன்படுகின்றது. ஆனால், உடலில் பரவலாக அமைதிக் குலைவுகளை ஏற்படுத்தக்கூடிய நோய்களைக் குணப்படுத்தும் முயற்சிகளில் லேசர்கள் பயன்படா.

கண்ணின் உட்புறத்தேயுள்ள பகுதிகளில் சிகிச்சை செய்ய லேசரைப் பயன்படுத்தலாமென்று ஊகிப்பது எளிது. ஏனெனில், கண்ணின் புறப்பகுதிகள் ஒளியினைச் (குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களில் உள்ளனவற்றை) செலுத்தும் திறமுடையவை. எனவே, அந்த அலைநீளங்களில் உள்ள லேசரை உட்செலுத்திக் கண்ணின் பின் பகுதிகளில் நாம் விரும்பும் இடத்தில் லேசர்க் கற்றை படும்படி செய்யலாம்; அங்கேயுள்ள திசுக்கள் (tissues) லேசர் ஒளியைப் பெருமளவில் உட்கவரும். எனவே, அத் திசுக்கள் ஒழிக்கப்பெறும் அல்லது உருக்கி இணைக்கப்பெறும் (welded).

கண்ணின் மேற்பகுதிகள் ஒளியை ஊடுருவ விடுவதில் வியப்பில்லை; தோலும், அதனடியிலுள்ள கொழுப்பும் (fat), உடலின் உட்பகுதிகளிலுள்ள தசைகள் போன்ற இணைப்புத் திசுக்களுங்கூட சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களையுடைய லேசர்க் கற்றைகளைப் பொறுத்த மட்டில் ஒளி ஊடுருவும் பொருள்களாகத் திகழ்கின்றன. உயர்ந்த திறனுடைய (power) லேசர்க் கற்றைகள் இப் பொருள் களாலான படலங்களின் ஊடே புகுந்து சென்று லேசர் ஒளியை உட்கவருகின்ற புற்றுநோய்க் கழலைகளை (cancer tumours) அழிக்கும்.

புற்றுநோய்க் கழலைகள் இயற்கையாக ஒளியை உட்கவரும் இயல்பற்றனவாகவிருந்தால் அவற்றை ஒளியை உட்கவரும்படி செயற்கை முறையில் தூண்டி விடலாம்.

தோலின் புறத்தேயுள்ள வளர்ச்சிகளை லேசரைக் கொண்டு குணப்படுத்துவது மிகவும் எளிது. ஏனெனில், இந்த வளர்ச்சிகள் அதனைச் சுற்றியுள்ள நோயற்ற தோலின் பகுதிகளைவிடப் பெரிதும் ஒளியை உட்கவரும். தோலின் மேற்பகுதியில் வரும் சாதாரணக் கழலைகளிலிருந்து மிகவும் துன்புறுத்தும் கொடிய புற்று நோய்வரை அண்மைக் காலங்களில் பல நோய்கள் இவ்வாறு குணப்படுத்தப் பெற்றுள்ளன. உடலின் உள்ளே ஆழமான பகுதிகளில் புற்றுநோய் இருக்குமானல், அப் பகுதிக்கு லேசர்க் கற்றையினைச் செலுத்துவதற்கு நெளிந்து கொடுக்கக்கூடிய ஒளி யியல் நார்ப்பொருள்களாலான (optical fibres) அலைவழிப் படுத்திகளைப் பயன்படுத்தக்கூடும். நுரையீரல், சிறுகுடல் போன்ற பகுதிகளில் ஏற்படும் வளர்ச்சிகளை இவ்வாறு அழிக்கும் முயற்சியில் மருத்துவர்கள் கவனம் செலுத்திவருகின்றனர்.

நோயறுதி செய்யும் கருவிகளாகவும் (diagnostic tools) லேசர் களைப் பயன்படுத்தி வருகிறுர்கள். உடலின் ஒருபகுதியிலிருந்து

எடுக்கப்பட்ட திசுவின் (tissue) மாதிரியினை ஒரு நுண்ணோக்கியில் (microscope) வைத்து ஹீலியம் - நியான் லேசரிலிருந்து வரும் ஒளியினால் ஒளியூட்டிப் பார்த்தால் எண்ணற்ற ஒளிக்குறுக்கீட்டு வரிகள் காணப்பெறும். இந்த வரிகளிலிருந்து திசுக்களின் கனத்தில் (thickness) உள்ள மிகச்சிறு வேறுபாடுகளையும் - ஒளியின் ஓர் அலைநீளம் அளவுள்ள வேறுபாடுகளையும் - கண்டுகொள்ளலாம். இந்த உத்தியானது (technique) திசுக்களில் மிக மெதுவாக ஏற்படும் மாறுதல்களின் முன்னேற்றத்தை மிகத் திருத்தமாக அளப்பதற்கான ஒரு வழியாகப் பயன்படுகின்றது. உயர்ந்த திறனுடைய (high power), துடிப்புகளாக வரும் லேசர்க் கற்றைகளைக் கொண்டு திசுக்களை ஆவியாகும்படி செய்யலாம். இந்த ஆவியினை வழக்கமான கருவிகளைக் கொண்டு ஆராய்ந்து பார்த்து திசுக்களின் நிலையையும் அவை நோயால் தாக்கப் பெற்றுள்ளனவா இல்லையா என்பதனையும் அறிந்துகொள்ளலாம்.

லேசர்க் கற்றைகள் பல்லில் சிதைவுற்ற பகுதிகளை அழிப்பதற்கும் பயன்படும். லேசர்களைப் பயன்படுத்தினால் வலியின்றி இதனைச் செய்யலாம்; ஒரு நொடிக்கும் குறைந்த நேரத்தில் இது முடியும். பல் சொத்தையாவதனையும் லேசர்கள் தடுக்க முடியும். பல் சொத்தை தொடங்கும் இடமாகிய பல்லின் எனாமலில் (enamel) உள்ள சிறு இடுக்குகளை லேசர் இளக்கி மூடிவிடும்.

14. 4. 2. கண் அறுவை மருத்துவம்

கண் அறுவை மருத்துவத்தில் லேசர் எவ்வாறு பயன்படுகின்றது என்பதனைச் சற்றே விளக்கமாகக் காண்போம்.

விழித்திரையின் (retina) எந்த ஒரு படலமாவது பிளவுபட்டால் அல்லது அதனடியிலுள்ள திசுக்களிலிருந்து பிய்த்துக் கொண்டு வந்துவிட்டால் மூளைக்குச் செல்லும் நரம்பு கணத் தாக்குதல்களின் (nerve impulses) பாதை தடைபெறும். இவ்வாறு பாதிக்கப்பட்ட பகுதி குருடாகிவிடும். மிகச் சாதாரணமாக இவ்வாறு ஏற்படும்; கடுமையான அடிபட்டாலோ, அல்லது சில நோய்களாலோ இந் நிலை ஏற்படலாம்.

இவ்வாறு தனியாக உரிந்துவரும் பகுதிகளை மீண்டும் தட்டையாக்கி (flattened) கண்கோளத்தின் (eye - ball) சுவருடன் நன்றாகப் பொருந்தியிருக்கும்படி செய்வதற்குப் பல்வேறுபட்ட உத்திகள் (techniques) கையாளப்பெற்று வந்துள்ளன. இவ்வாறு மீண்டும் சுவருடன் பொருந்தியிருக்கச் செய்ய முடியாவிடில் உரி

யாமல் நல்ல முறையில் உள்ள விழித்திரையின் மற்றப் பகுதிக ளுக்கும் இது பரவாவண்ணம் தடுக்கப்படும். இவ்விரு வகையான சிகிச்சைகளும் புதிய லேசர் சிகிச்சையும் ஒரே மாதிரியான முறை யில்தான் செய்யப்படுகின்றன.

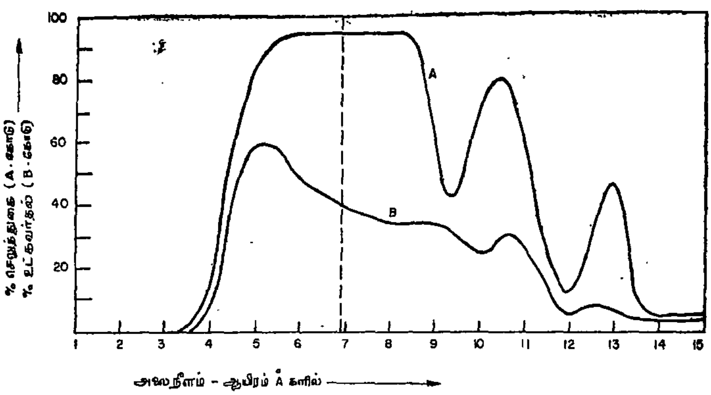
விழித்திரையில் உரிந்துள்ள பகுதியினையும் அதனடியிலுள்ள திசுக்களையும் மட்டிலும் சூடாக்கி, அல்லது எரிச்சலையூட்டி (irritate), அல்லது இரண்டையுமே செய்து அப் பகுதியில் ஒரு சிறு தழும்பு (scar) உண்டாக்கப்பெறும். இதற்கென உட்பகுதிகளுக்கு மின் அலைகளால் வெப்பமூட்டும் ஊசிகள் (diathermic needles) அல்லது சலாகைகளை (probes) பயன்படுத்துவது வழக்கம்; திறன்மிக்க வில் மின்னிறக்க விளக்குகளும் (arc discharge lamps) பயன்படுத்தப் பெற்று வந்துள்ளன.

ஆனால், இந்த இரண்டு பழைய முறைகளையும்விட லேசர்க் கற்றையினைப் பயன்படுத்தி வெப்பமூட்டுவது மிகவும் சிறந்த தாகும். ஏனெனில், லேசர்க் கற்றையினை ஒரு சிறு இடத்தில் குவியும்படி செய்யமுடியும். எனவே, உருக்கி இணைத்த (welded) ஒவ்வோர் இணைப்பும் பழைய முறைகளில் ஏற்படக்கூடியதைவிட மிகமிகச் சிறியதாக இருக்கும். இவ்வாறு இணைப்பு இடங்கள் சிறியனவாக இருக்கவேண்டியது மிகமிக இன்றியமையாததாகும். அதுவும் குறிப்பாக விழித்திரையின் மையப் பகுதியில் உரிந்த பகுதிகளை உருக்கி இணைக்கவேண்டியிருந்தால் இது மிகவும் இன்றியமையாததாகும். ஏனெனில், விழித்திரையின் மையப் பகுதிதான் காணும் காட்சியின் நுட்பமான விவரங்களை அறியும் பகுதியாகும்.

மேலும், லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன்படுத்தினால் உருக்கி இணைத்தலாகிய செயலை ஒரு நொடியினைவிடக் குறைந்த நேரத்தில் செய்து முடிக்கலாம்; நொடியின் ஒரு பகுதிநேரம்தான் தேவைப்படும். இவ்வாறு இணைப்பதற்கான நேரம் கண்ணிமை கொட்டுவதற்காகும் நேரத்தைவிடக் குறைவாகும். எனவே, கண்ணினை நிலையாக இருக்கும்படி, அதாவது கண்கொட்டாமல் இருக்கும்படி பற்றிப்பொருத்திவிட்டுச் (clamp) சிகிச்சையைத் துவக்கவேண்டிய வேதனையில்லை. லேசர்க் கற்றையினைப் பயன் படுத்தும்போது மிகச்சிறு வெப்பமே உண்டாகிறது; வலியே ஏற்படுவதில்லை. எனவே, நோயாளியை மயக்கமுறச் செய்ய வேண்டிய தொல்லையுமில்லை.

கண்ணின் கார்னியா (cornea), விழிவில்லை (eye lens), முன்கண் ரசம் (acqueous humour), பின் கண்ரசம் (vitreous humour) ஆகியனவெல்லாம் எல்லா அலைநீளங்களையும் செலுத்தா. எனவே, பயன்படுத்தப்பெறும் லேசர் ஒளி இவற்றால் உட்கவரப்படாமல், இவற்றையெல்லாம் ஊடுருவிச் செல்லும் திறம் படைத்ததாக இருக்கவேண்டும். கண்ணானது மிகுந்த உணர்வு நுட்பம் உடையதாகும் (sensitive). எனவே, ஒளி இப் பகுதிகளில் உட்கவரப்பட்டால் கண் பழுதடையும். இவ்வாறு ஏற்படும் பழுது குணப்படுத்த முடியாமல் போய்விடலாம். எனவே, தகுந்த அலைநீளத்தில் உள்ள லேசர்க் கற்றையினைக் கண் அறுவை மருத்துவத்திற்குத் தேர்ந்தெடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்; அஃதாவது, கண்ணின் இந்தப் பகுதிகளில் உயர்ந்த செலுத்துகை எண் (transmission coefficient) உடைய அலை நீளங்களைத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும்.

கண்ணின் ஒளி ஊடுருவும் முன் பகுதிகளின் செலுத்துகைக்கும் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினைப் படம் 14.19-ல் வரையப் பட்டுள்ள A - கோடு காட்டுகின்றது. இதிலிருந்து 4500



படம் 14.19. A - கோடு : கண்ணின் செலுத்துகைக்கும் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு.

B - கோடு : விழித்திரையின் பின்னுள்ள நிறப்பொருளுடைய திசுக்களின் உட்கவர்தலுக்கும் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு.

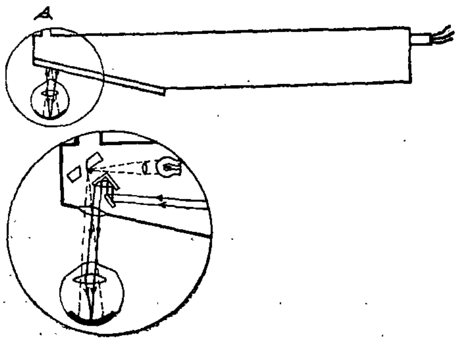
ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் 9000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் இடைப்பட்ட அலை நீளங்களை அல்லது 10,600 ஆங்க்ஸ்ட்ராமின் அண்மையிலுள்ள அலைநீளங்களைப் பயன்படுத்தலாமென்பது தெரிகின்றது.

லேசர் ஒளி கண்ணின் முன் பகுதிகளை ஊடுருவி விழித் திரையினை அடைந்தால் மட்டும் போதாது; விழித்திரையில் உருக்கி இணைக்கப்படவேண்டிய பகுதியில் ஒளி உட்கவரப்பட வேண்டும்; வெப்பமூட்டப்படவேண்டும். எனவே, பயன்படுத்தப் பெறும் ஒளியானது விழித்திரையின் பின்பக்கத்திலுள்ள நிறப் பொருள்களடங்கிய திசுக்களால் (pigmented tissues) உட்கவரப் படத்தக்க அலை நீளங்களிலும் இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு உட்கவரப்படுவதற்கும் அலை நீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினைப் படம் 14.19-ல் வரையப்பட்டுள்ள B - கோடு காட்டுகின்றது. இதிலிருந்து 4,000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் 12,000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமுக்கும் இடைப்பட்ட எல்லா அலைநீளங்களுமே ஓரளவிற்கு உட்கவரப் படுகின்றன வென்பதும், ஏறத்தாழ 5,000 ஆங்க்ஸ்ட்ராமில் உச்ச உட்கவர்தல் (peak absorption) ஏற்படுகின்ற தென்பதும் தெரிகின்றது.

எனவே, நாம் கையாளும் லேசர் ஒளி இவ்விரு நிபந்தனை களையும் நிறைவேற்றும் வகையில் இருக்கவேண்டும். நமக்குத் தேவையான அலைநீளத்தில் செயல்படும் பலவகையான லேசர்கள் உள்ளன. அவற்றுள் மாணிக்க லேசர் சிறந்தது. ஏனெனில், இது வெளிவிடும் அலை நீளம் 6943 Å. ஹீலியம் - நியான் லேசர்கள் 6328 Å-ல் ஒளியை வெளிவிடுகின்றன. ஆனால், அவை புறச்சிவப்புக் கதிர்களையும் வெளிவிடும். அவற்றை எவ்வாறாவது ஒதுக்கிவிடவேண்டும். ஏனெனில், புறச்சிவப்புக் கதிர்கள் கார்னியா, விழிவில்லை ஆகியவற்றால் உட்கவரப்படும். எனவே, அவற்றிலுள்ள திசுக்கள் சேதமடையும். கண்ணாடியில் நியோடி மியம் உள்ள லேசர்கள் (neodymium in glass lasers) 10,600 Å - ல் ஒளியை வெளிவிடுகின்றன. எனவே, இவையும் பயனுடையனவா யிருக்கலாம். ஆனால், இந்த அலைநீளம் விழிவில்லையால் மிக எளிதாக உட்கவரப்படும். எனவே, கேட்டராக்ட் (cataract) எனப்படும் நோய் தோன்றும் அபாயம் உள்ளது. எல்லாவகை யிலும் பார்க்கும்போது மாணிக்க லேசர்க் (ruby laser) கற்றையே சிறந்தது எனலாம்.

இங்கிலாந்தில் உள்ள அனைத்துநாட்டு ஆராய்ச்சி - வளர்ச்சிக் கம்பெனி (International Research and Development Company) யைச் சேர்ந்த எச். வெர்னன் இங்க்ரம் (H. Vernon Ingram)

என்ற மருத்துவருடைய ஒத்துழைப்பின்மீது அமைத்த லேசர் கண்ணமைப்புக் காட்டி (opthalmoscope) எனும் கருவி, படம் 14.20-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.



படம் 14.20. லேசர் கண்ணமைப்புக் காட்டி.
லேசர் ஒளியின் பாதையினைக் (அம்புக்குறியிட்ட கோடு)
காட்டுவதற்கென ஒரு பகுதிப் பெருக்கி தனியே தரப்பட்டுள்ளது.

இது இரண்டங்குல நீளமுடைய மாணிக்கப் படிகத்தை உடையது. சீனன் ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு ஒன்று ஏற்றத்திற்குப் (pump) பயன்படுத்தப் பெற்றுள்ளது. இவ் விளக்கு, கருவியின் கைப்பிடியில் இருக்கும். ஒரு நொடியில் பத்தாயிரத்தில் 8 பங்கு நீட்டிப்புடைய, குறுகிய துடிப்புகளை (pulses) இந்த லேசர் வெளி விடும். விழித்திரையினைக் கவனித்து எந்தவிடத்தில் லேசர்க் கற்றையினைக் குவித்து உருக்கி இணைத்தலைச் செய்யவேண்டும் என்பதனை மருத்துவர் அறிந்துகொள்வதற்கென விழித்திரையை ஒளியூட்டும் ஒரு குவிமுகப்படுத்தும் அமைப்பும் (focusing device) இதில் உள்ளது. ஒரு தொலை நோக்கி அமைப்பானது (telescopic system) லேசர்க் கற்றையின் விட்டத்தை 0·64 செ. மீ.-லிருந்து 0·32 செ. மீ. ஆகக் குறைக்கின்றது. இதனால் லேசர்க் கற்றை முழுவதும் நோயாளியின் கண்பாவை (pupil) வழியாக உட்செல்லமுடிகின்றது. கார்னியா, விழிவில்லை ஆகியவை லேசர்க் கற்றையின் விட்டத்தை மேலும் குறைக்கின்றன. இதனால் லேசர்க் கற்றையினை விழித்திரையின்மீது மிகக் குறுகிய இடத்திற்குள் குவிக்க முடிகின்றது.

14.4.3. பல் மருத்துவத்தில் லேசர்

பல்லின் சொத்தையான பகுதிகளை அழிப்பதற்கும் லேசரைப் பயன்படுத்தலாமெனக் கண்டோம். சின்சின்னுட்டியிலுள்ள

(Cincinnati) குழந்தைகள் மருத்துவமனை ஆராய்ச்சிக் கழகத்தைச் (Children's Hospital Research Foundation) சேர்ந்த பேராசிரியர் டாக்டர் லியான் கோல்ட்மன் (Dr. Leon Goldman) என்பாரும் அவருடன் பணியாற்றுவோரும் பல் சொத்தையைப் போக்க லேசரைப் பயன்படுத்தியுள்ளார்கள்.

இப் பணிக்கு லேசர்க் கற்றை மிகவும் உகந்தது. ஏனெனில், இதனை ஒரு சிறு பரப்பிற்குள் படும்படி செய்ய முடியும்; பல்லின் சொத்தையான இருண்ட பகுதிகள் மட்டிலும்தான் லேசர் ஆற்றலை உட்கவருமே தவிர நல்ல நிலையிலுள்ள பகுதிகள் உட்கவரா. சொத்தையான பகுதிகளை அழிப்பதற்கு ஒரு நொடியில் ஆயிரத்தில் ஒருபங்கு நேரம் நீட்டிப்புடைய லேசர்த் துடிப்புகள் போதும். எனவே, கண் மருத்துவத்தில் லேசரைப் பயன்படுத்துவதில் நோயாளிக்குக் கிட்டும் எல்லா நன்மைகளும் இங்கும் உண்டு. லேசர்த் துடிப்புகள் குறுகியனவாக உள்ளதால் (short pulses) பல் முழுமையும் சூடாக்கப் பெறுவதில்லை. எந்திரத் தொளைப்பான்களைப் (mechanical drills) பயன்படுத்தும்போது உள்ளதுபோன்ற அதிர்வுகள் (vibrations) இங்கே ஏற்படா. எனவே, மயக்க மருந்து கொடுக்காமலேயே தொளைக்கலாம். நன்கு ஆழமாகவுள்ள பெரிய சொத்தையான பகுதிகளை அழிப்பதற்கு லேசர்க் கற்றையினை மீண்டும்மீண்டும் செலுத்தலாம். பல்லின் பின்பக்கத்திலுள்ள இடுக்குகள் போன்ற நுழைய முடியாத இடங்களுக்குக்கூட லேசர் ஒளியைச் செலுத்த முடியும்; இதற்கு நெளிந்து கொடுக்கக்கூடிய கண்ணாடி - நார் கம்பியினைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

பல் சொத்தையானதைக் குணப்படுத்துவதைவிடச் சொத்தையாகாமல் காப்பது மேலன்றோ ! இத் துறையிலும் ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்றுவருகின்றன. பல்லின் எனாமலில் ஏற்படும் மிக நுண்ணிய வெடிப்புகளில்தான் சொத்தை தொடங்குகின்றது ; பின்னர், நல்ல நிலையிலுள்ள பகுதிகளுக்குப் பரவுகின்றது. எனவே தொடக்கக் கட்டத்திலேயே, எனாமலில் வெடிப்புகள் ஏற்படும் போதே அவ் வெடிப்புகளின் இருபக்கங்களிலுமுள்ள எனாமலை உருக்கி விடுவதன் வாயிலாக வெடிப்பினை மூடிவிடமுடியும். இதற்கு லேசர்க் கற்றையினைப் பயன்படுத்தலாம். அல்லது புதிய நீண்டநாள் கெடாதிருக்கக் கூடிய பொருள்களைக்கொண்டும் வெடிப்புகளை அடைத்துவிடலாம். பீங்கான் போன்ற, மிகுந்த வெப்பத்தையும் தாங்கவல்ல பொருள்களையுங்கூட ஒரு லேசர்க் கற்றை உருக்கிவிட முடியுமாதலால் இவற்றைக் கொண்டும் வெடிப்புகளையும் குழிகளையும் மூடிவிட முடியும்.

14.4.4. தோல் நோய்களுக்கு லேசர் மருத்துவம்

வெளுப்பான நிறமுடைய மக்களின் நோயற்ற தோலில் லேசர்க் கற்றை (உயர் ஆற்றலை உடையவை கூட) எவ்வித மாற்றத்தையும் ஏற்படுத்துவதில்லை. கறுப்பு நிறமுடையோரின் தோல் வெளுப்பான தோலைவிட ஒளியால் எளிதில் பாதிக்கப்படக்கூடு மாறுலும் லேசர்க் கற்றை குறிப்பிடத்தக்க விளைவினை ஏற்படுத்துவதில்லை. அனைத்துநாட்டு ஆராய்ச்சி - வளர்ச்சிக் கழகத்தைச் சேர்ந்த டி. சமார்ட் (D. Samart) என்பார் வெளுப்பான தோல் அல்லது கொழுப்பு நிறைந்த திசு (fatty tissue) ஆகியவற்றின்மீது மாணிக்க லேசர் ஒளியைப் படும்படி செய்தால் நாம் காணக்கூடிய அளவிலான விளைவுகளை ஏற்படுத்தக்கூடிய பயன் தொடக்க ஆற்றல் ஒரு சதுர செ. மீ.-க்கு 25 ஜூல்கள் எனக் காட்டியுள்ளார். இதைவிட அதிகமான அளவில் ஆற்றல் தோலின்மீது பட்டால் தனித்தனி செல்கள் அழிக்கப்பெறும்.

தோலின்மீது ஏற்படும் நிறமுடைய புள்ளிகள் (spots) லேசர்க் கற்றையால் எளிதில் பாதிக்கப்படும். ஒரு சதுர செ. மீ.-க்கு 25 ஜூல்களுக்குக் குறைவான லேசர் ஆற்றல்கூட இப் புள்ளிகளை அழித்துவிடும்; ஆனால் நல்ல ஆரோக்கியமான தோலை ஒன்றும் செய்யாது. கிழவியின் பழுப்புப் புள்ளிகள் (old lady brown spots) எனப்படுவனவும், பச்சை குத்திக்கொண்ட அடையாளங்களும் இம் முறையால் அறவே நீக்கப் பெற்றுள்ளன. தோல் புற்று நோய் (skin cancer) கூடப் பலருக்கு முழுவதுமாகவோ அல்லது அரை குறையாகவோ குணப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. மிகவும் துன்பம் தரும் பெருங் கழலைகள் (tumours) முற்றிலும் குணப்படுத்தப் பெற்றுள்ளன. தைராய்டு புற்றுநோய் போன்ற ஒளி ஊடுருவும் கழலைகள்கூட வியக்கத்தக்க வகையில் லேசர் மருத்துவத்தால் குணப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

ஆனால், எல்லாவகைத் தோல் புற்றுநோய்களும் மாணிக்க லேசர் ஒளியால் குணப்படுத்தப் பெறுவதில்லை. இருபது வகையான தோல் புற்றுநோய்களில் ஏழு வகைகள்தாம் இதனால் குணமடையும். மற்ற வகைகள் வேறு அலைநீள லேசர்களால் குணப்படுத்தப் பெறலாம். இத் துறையில் ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற வேண்டும்.

14.4.5 மருத்துவம், உயிர்நூல் துறை ஆராய்ச்சிகளில் லேசர்

லேசர்க் கற்றையினைப் போதுமான அளவு குறுகலானதாக ஆக்கிக்கொண்டால் செல்களின் கருக்களிலும், குரோமோசோம்

களின் (chromosomes) பகுதிகளிலும் நுண்ணறுவை மருத்துவம் (micro surgery) செய்யக்கூடும். இது வெற்றிபெற்றால் நோயறுதி செய்கின்றதற்கும் (diagnosis), மனித உடலில் தவறான முறையில் செயல்படும் பகுதிகளைக் குணப்படுத்துவதற்கும் சிறந்த வழி வகைகளை வகுக்கக்கூடும்.

லேசர்க் கற்றைகளை நுண்ணோக்கிகள் (microscopes) வழியாக அனுப்புவதன் வாயிலாக அவற்றைக் குறுகியனவாக ஆக்க முடியும் அவ்வாறு குறுகிய லேசர்க் கற்றைகள் தனித்தனி செல்களின் சிறப்பியல்புகளில் (characteristics) மாறுதல்களை ஏற்படுத்தும்; அதனால் செல்களின் செயல் (action) குறைக்கப்படும். இவ் வகையில் இரத்தத்தின் சிவப்பு, வெள்ளைச் செல்களில் (red and white blood cells) மாற்றங்கள் ஏற்படுத்தப் பெற்றுள்ளன. பாரிசில் (Paris) டாக்டர் மார்சல் பெசிஸ் (Dr. Marcel Bessis) என்பாரும் அவரது குழுவினரும் திசுக்களின் 10,000 - 25,000 ஆங்க்ஸ்ட்ராம்கள் விட்டமுடைய பரப்புகளில் இவ்வாறு சிகிச்சை செய்துள்ளனர்.

கண்ணின் விழித்திரையின் பகுதிறனைக் (resolving power) கண்டுபிடிக்கவும் லேசர் பயன்படக் கூடும். சாதாரணக் கீற்றணியைக் (grating) கண்முன்னால் வைத்துப் பார்த்தால் அதிலுள்ள இணையான கோடுகள் (parallel lines) தெரியும் ; இந்த வரிகளுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தைக் குறைத்துக்கொண்டே போனால் ஒரு குறிப்பிட்ட வரியிடைத் தூரத்தில் வரிகள் தனித்தனியே தெரியாமல் எல்லா வரிகளும் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு பட்டையாகத் தெரியும். இவ்வாறு ஏற்படும் நிலையில் அடுத்தடுத்த இருவரிகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் கண்ணின் பகுதிறனைப் பொறுத்திருக்கும்: தூரம் குறைவாக இருந்தால் கண்ணின் பகுதிறன் உயர்ந்ததாகும்; தூரம் அதிகமாக இருந்தால் பகுதிறன் குறைவு. ஆனால், இந்த முறையில் அளக்கப்பெறும் பகுதிறம் கண்முழுமைக்குமான பகுதிறனாகும். விழித்திரையின் பகுதிறனை மட்டிலும் அளக்கவேண்டுமானால் வேறு வழிகளைத்தான் கையாளவேண்டும். இதற்கு லேசரைப் பயன்படுத்தும் ஒருமுறை பின்கண்டவாறு :

ஒரு லேசரிலிருந்து வெளிவரும் கற்றையானது கண்முன்னே வைக்கப்பெற்றுள்ள இரண்டு பிளவுகளை (slits) உடைய ஒரு திரையின்மீது படும்படி செய்யப்படும். இதனால் இவ்விரு பிளவுகளிலிருந்தும் வெளிவரும் இரு ஒளிக்கற்றைகளும் குறுக்கிட்டு ஒளிக்குறுக்கீட்டு வரிகளை (interference fringes) விழித்திரையின்

மீது உண்டாக்கும். இந்த வரிகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் லேசர் ஒளியின் அலைநீளத்தையும், பிளவுகளுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தையும் பொறுத்தது. நமக்கு நன்கு தெரிந்த யங் சோதனையின் (Young's experiment) அமைப்புதான் இதுவும்.

லேசர் ஒளியின் அலைநீளத்தை மாற்றியோ அல்லது பிளவுகளிடைத் தூரத்தை மாற்றியோ விழித்திரையில் ஏற்படும் ஒளிக் குறுக்கீட்டு வரிகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரத்தை மாற்றலாம். இவ்வாறு மாற்றி எந்த நிலையில் வரிகள் யாவும் ஒன்றுகச் சேர்ந்து ஒரு பட்டையாகத் தோற்றமளிக்கத் தொடங்குகின்றதோ அந்த நிலையில் லேசர் ஒளியின் அலைநீளம், பிளவிடைத் தூரம் ஆகியவற்றை அளந்து விழித்திரையின் பகுதிறனைக் கணக்கிடலாம்.

14.5. தொலைவுகளை அளப்பதிலும் பொருள்களின் இடம் காண்பதிலும் லேசர்கள்

.1. இராணுவத்தில் லேசர்

டுங்காலமாகவே எதிரிகளின்மீது பட்டமாத்திரத்தில் அவர்களை அழிக்கவல்ல சாவுக் கதிர்களைக் (death rays) கண்டுபிடிக்கும் முயற்சிகள் இராணுவத் துறையில் நடைபெற்று வந்துள்ளன. இத் துறையில் லேசர்களைப் பயன்படுத்தக் கூடுமா ? லேசர்கள் அத்தகைய சாவுக் கதிர்களாக அமையுமா? அவப்பேறுகவோ அல்லது நற்பேறுகவோ இதுகாறும் அமைக்கப்பெற்றுள்ள லேசர்களிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்கள் அத்தகைய கொடும் விளைவை உண்டுபண்ணும் ஆற்றல் படைத்தனவல்ல.

ஆனுல், அண்மையில் உருவாக்கப்பெற்ற (கார்பன் - டை - ஆக்சைடு லேசர் (CO_2 lasers) உயர்ந்த திறன் வெளிப்பாடுடையது. இதன் வெளிப்பாடு தொலைவிலுள்ள இராணுவ வீரரின் உடைகளைப் பற்றி எரியச் செய்யும் ஆற்றல் படைத்தது.) இது உண்மையில் சாவுக்கதிர்களாகச் செயல்படாவிடினும் இராணுவத்தில் பயன்படக் கூடியதே. திடீரென வீரர்களின் உடைகள் காரணம் புரியாவகையில் தீப்பற்றி எரியத் தொடங்கினுல் அச்சம் தோன்றுதோ ? படையின் மனவுறுதி குலையாதோ ?

லேசர்கள் சாவுக்கதிர்களாகப் பயன்படாவிடினும் வேறுவகை

அவை எங்கேயுள்ளனவென்பதனை மிகத் திருத்தமாகக் கண்டறி வதற்கு இவை பயன்படக்கூடும். காட்டாக, எதிரிப்படைகள் உள்ள திசையில் அனுப்பப்படும் லேசர்க் கற்றையானது எதிரிப் படைகளின்மீது பட்டுச் சிதறடிக்கப்பெறும். வானில் பறந்து கொண்டிருக்கும் ஒரு போர்விமானம் லேசர் உணர்கருவியால் இவற்றை ஏற்று அதிலிருந்து எதிரிகள் எங்குள்ளனர் என்பதனை மிகத் திருத்தமாக அறிந்து, சரியாகக் குறிவைத்து எதிரிகளை ஒழிக்க முடியும்.

14.5.2. லேசர் தொலைமானி

பல கிலோமீட்டர்கள் தொலைவிலுள்ள இலக்குகளின் (targets) தூரத்தைச் சில மீட்டர்களுக்குத் திருத்தமாக அளக்கக்கூடிய தொலைமானிகளை (range finders) லேசர் துணைகொண்டு உரு வாக்க முடியும்.

இத்தகைய லேசர் தொலைமானிகள் மைக்ரோ அலை ரேடியோ தொலைமானிகளை (microwave radio range finders) வி சிறந்தவை. ஏனெனில், லேசர்க் கற்றையின் அகலம் மி குறைவு. ஒரு குறிப்பிட்ட இலக்கினை, காட்டாக ஓர் ன் பீரங்கி வண்டியினை (tank) நோக்கி மைக்ரோ அலைகளை அனுப்பி ஞல் அவை அதன்மீது மட்டிலும் பட்டுத் திரும்பிவாரா; அலைக் கற்றையின் அகலம் அதிகமாக இருப்பதால் இவ்வகலத்திற்குள் அடங்கும் மரங்கள், வீடுகள் போன்றவற்றின்மீதும் பட்டு எதிரொளித்துத் திரும்பிவரும். எனவே, இலக்கின் தொலைவைக் கண்டுபிடிப்பதில் மயக்கம் ஏற்படும். ஆனல் லேசர்க் கற்றையின் அகலம் குறைவாக இருப்பதால் லேசர்க் கற்றை அனுப்பப்படும் திசையிலுள்ள இலக்கு அல்லது பொருளின்மீது மட்டிலும்தான் பட்டுத் திரும்பி வரும்.

இந்தத் தொலைமானிகள் எவ்வாறு செயல்படுகின்றன? இவற்றில் தொலைவிலுள்ள இலக்கினைக் கண்ணல் பார்த்துக் கருவி யைச் சரி செய்துகொள்வதற்கென ஒரு தொலைநோக்கி (telescope) இருக்கும். இதனல், இலக்கினைக் குறிபார்த்துக்கொண்டு அத் திசையில் லேசர்க் கற்றையினை அனுப்பவேண்டும். அது இலக்கின் மீது பட்டு எதிரொளித்துத் திரும்பிவரும். திரும்பிவரும் லேசர்க் கற்றை தொலைமானியில் ஏற்கப்படும். லேசர்த் துடிப்பு போய் வருவதற்கான நேரத்திலிருந்து தூரத்தைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள லாம். தூரத்தை நேரடியாகவே காட்டும்படி கருவி

இவ்வாறு லேசர்த் துடிப்புகள் போய் வருவதற்கான நேரத்திலிருந்து தூரத்தை அளக்காமல் வேறு வகைகளில் செயல்படும் தொலைமானி உத்திகளும் உள்ளன. அவற்றுள் ஒன்று பின் வருமாறு :

இலக்கில்பட்டு எதிரொளித்துவரும் ஒளியானது லேசரிலிருந்து புறப்படும் ஒளியுடன் குறுக்கிட்டு ஓர் ஒளிக்குறுக்கீட்டு அமைப்பினை (interference pattern) உண்டாக்கும்படி செய்யப்படும். இந்த ஒளிக்குறுக்கீட்டு அமைப்பிலிருந்து தூரத்தை மிகத் திருத்தமாக அளந்துகொள்ளலாம்.

மூன்றுவது உத்தியில் லேசர்க் கற்றையானது ஒரு மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்ணுல் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றம் (amplitude modulation) பெறும்படி செய்யப்படும். எதிரொளித்துவரும் சைகையின் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றத்தையும் இலக்குநோக்கி அனுப்பப்படும் நிலையில் லேசர்க் கற்றையின் அலைவீச்சுப் பண்பேற்றத்தையும் ஒத்துப்பார்த்துத் தூரத்தை அளக்கலாம். உண்மையில், இதனுல் இலக்கின் தூரத்தை அளக்க முடியாது ; ஆனுல், தூரங்களில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல்களை மிகத் துல்லியமாக அளக்கலாம்.

முதன்முதல் கூறிய துடிப்பு முறையினைக் கையாண்டால் உயர்ந்த திறன்கள் தேவைப்படும். ஏனெனில், லேசர் மிகக் குறுகிய காலமே செயல்படுகின்றது. எனவே, மாணிக்க லேசர்களைக் கையாளுவது வழக்கம்.

(துடிப்புத் தொலைமானி (pulse - range finder) கொண்டு தூரங்களை எவ்வளவு திருத்தமாக அளக்க முடியுமென்பது, நேரத்தை நாம் எவ்வளவு திருத்தமாக அளக்க முடியுமென்பதனையும், ஒளியின் வேகம் எவ்வளவு திருத்தமாகத் தெரியுமென்பதனையும் பொறுத்துள்ளது.) நவீன எலெக்ட்ரானியல் சுற்றுகளைப் (electronic circuits) பயன்படுத்தி நேரத்தை நானே நொடிகளுக்குத் (nano seconds) (1 நானே நொடி $= 10^{-9}$ நொடி) திருத்தமாக அளக்கலாம். இந்த நேரத்தில் ஒளி 30 செ. மீ. தூரம் செல்லும்; அதாவது 15 செ. மீ. போய் 15 செ. மீ. திரும்பவரும். எனவே, 15 செ. மீ.-க்குத் திருத்தமாகத் தூரத்தை அளக்கலாம்.

இராணுவ வேலைகளுக்கு மட்டுமன்றிப் புவிப் பரப்பளவு கணிப்புப் (geodetic surveying) போன்ற வேலைகளுக்கும் லேசர் தொலைமானி உத்திகளைக் கையாளலாம்.

14.5.3. புவிப் பரப்பளவு கணிப்பியலில் லேசர்

(செயற்கைத் துணைக்கோள்களின் (artificial satellites) துணை கொண்டு புவியின் மேற்பரப்பில் ஆயிரக்கணக்கான மைல்களுக் கிடையேயுள்ள தூரங்களையும் மிகவெளிதில் துல்லியமாக அளக்க லாம்.) நில அளவீட்டுத் துறையில் வழக்கமாகப் பயன்படும் முக்கோண வழி அளவீடு (triangulation) முறையே இங்கும் பயன் படுத்தப்பெறும். முக்கோணவழி அளவீட்டு முறையில் மலைகள் எவ்வாறு பயன்படுத்தப் பெறுகின்றனவோ அதே முறையில்தான் நில அளவீட்டாய்வாளர்கள் (surveyors) துணைக் கோள்களையும் பயன்படுத்துகின்றார்கள்.

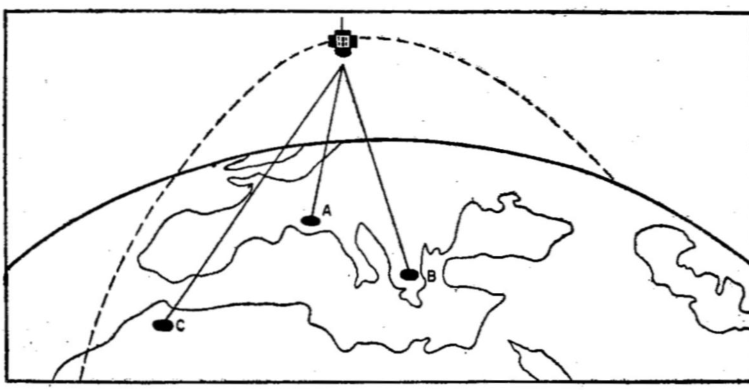
முக்கோண வழி அளவீட்டு முறையில் இரண்டு இடங்களுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் முன்னரே தெரியுமானால் அவ்விரு இடங் களையும், தூரம் அளக்கப்படவேண்டிய மூன்றாவது இடத்தையும் கொண்டு ஒரு முக்கோணம் உருவாக்கிக் கொள்ளப்பெறும்; இந்த முக்கோணத்தின் கோணங்கள் அளக்கப்படும். இந்தக் கோணங் களிலிருந்தும் தெரிந்த இடங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தி லிருந்தும் தெரியாத இடத்தின் தூரத்தை எளிதில் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

துணைக்கோள்களைப் பயன்படுத்துவதில் தனி நன்மையென்ன வெனில் நீண்ட பக்கங்களையுடைய முக்கோணங்களை உருவாக்கிக் கொண்டு தூரத்தை அளக்கமுடியும். சாதாரண, பழைய முறைகளில் நூற்றுக்கணக்கான கிலோமீட்டர் தூரங்களை அளக்க லாம்; ஆனால், துணைக்கோளைப் பயன்படுத்தும் முறையில் பல்லாயிரக் கணக்கான கிலோமீட்டர் தூரங்களையும் நேரடியாக அளந்துவிடலாம். சாதாரண முறையில்கூட இந்தத் தூரங்களை அளக்க முடியும்; அதற்கு, இவ்வளவு நீண்ட தூரத்தை, பல பகுதிகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு ஒவ்வொரு பகுதியின் தூரத்தை யும் அளந்து, பின்னர் அவற்றைக் கூட்டிக்கொள்ளலாம். ஆனால், இதில் பிழையும் கூடிவிடும்.

துணைக்கோளைப் பயன்படுத்திச் செய்யப்பட்ட தொடக்க கால நில அளவாய்வுகளில் தூரம் அளக்கும் மைக்ரோ அலை ரேடியோக் கருவிகள் (microwave radio distance measuring instruments) பயன் படுத்தப்பெற்றன. ஆனால், இனி வருங்காலத்தில் லேசர்க் கற்றை களைப் பயன்படுத்தும் தூரமளக்கும் கருவிகள் இவற்றை முந்திவிடு மென்பதில் ஐயமில்லை.

ரேடியோ அமைப்புகளில் ஒரு குறை என்னவென்ருல் வளி மண்டிலத்தில் அதுவும் குறிப்பாக அயன மண்டிலத்தில் (ionosphere) ஒளிவிலகல் (refraction) ஏற்படும். ஆனல், ஒளி அலேகள் அயன மண்டிலத்தால் பாதிக்கப்படா. மேலும், உடுக்களேப் பின்னணியாகக் கொண்டு அளவீடுகள் செய்யலாம். இதனல், உடுக்களிலிருந்துவரும் ஒளியும் லேசர் ஒளியும் ஒளிவிலகலால் ஒரே அளவில் பாதிக்கப்படுமாதலால் செய்யப்படும் அளவீடுகளில் ஒளிவிலகலால் ஏற்படும் பிழை இராது. எக்கோ பலூன் (echo balloon) போன்ற மிகவும் எளிய வகைத் துணைக்கோள்களேப் பயன்படுத்தியே இவ்வளவீடுகளேச் செய்யலாம். வானம் தெளிவாக இருக்கும்போது மட்டிலும்தான் அளவீடுகள் செய்யமுடியும்.

ரேடியோ அமைப்புகளேவிட ஒளியியல் அமைப்புகள் சிறந்தவையென்று கூறினலும் இவற்றிற்குச் சாதாரண ஒளியைக் கூடப் பயன்படுத்தலாம். சூரியவொளியை எதிரொளித்து அனுப்பும் எக்கோ பலூன் துணைக்கோள்களேக்கொண்டே பல அளவீடுகள் செய்யப்பெற்றுள்ளன. ஆனல், இவ்வாறு சூரிய ஒளியைப் பயன்படுத்தும்போது துணைக்கோள் கதிரவனின் ஒளியிலும், அளவீடு செய்வோர் இருளிலும் இருக்கவேண்டும். எனவே, அளவீடுகள் செய்யக்கூடிய நேரங்களுக்கு ஓர் எல்லே வகுக்கப்பட்டு விடுகின்றது; எந்த நேரத்திலும் அளவீடுகள் செய்ய



படம் 14.21. துணைக்கோள்கொண்டு முக்கோண வழி அளவீடு செய்தல்.

முடியாது. இத் தொல்லேயைத் தீர்க்கவேண்டின் லேசரைப் பயன் படுத்தவேண்டும். அப்போது துணைக்கோளில் லேசர் பொறுத்தப் பெற்றிருக்கும். அவை ஒளியை அனுப்பும்.

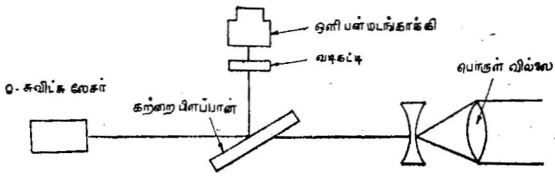
துணைக்கோள்களைக் கொண்டு தூரம் அளக்கும் ஒரு முறையினைப் படம் 14.21 விளக்குகின்றது. துணைக்கோள் புள்ளிக்கோட்டால் காண்பிக்கப்பெற்றுள்ள பாதையில் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில் சென்றுகொண்டுள்ளது எனக் கொள்வோம். A, B, C ஆகிய மூன்று இடங்களிலிருந்தும் துணைக்கோள் அனுப்பும் ஒளிச் சைகைகள் (light signals) ஏற்கப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் மூன்று இடங்களிலும் சைகைகள் கவனிக்கப் பெறும். எந்தவோர் இடத்திலிருந்து எடுக்கும் அளவீட்டிலிருந்தும் அந்த இடத்திலிருந்து துணைக்கோளை எந்தக்கோணத்தில் பார்க்கவேண்டியுள்ளது என்பதனை அறியலாம். இரண்டு இடங்களில் எடுக்கப் பெற்ற அளவுகளிலிருந்து துணைக்கோள் பூமியோடு ஒப்பிட எந்த விடத்தில் அந்த நேரத்தில் உள்ளது என்பதனையும் மூன்றுவது அளவிலிருந்து தரையிலுள்ள இரு இடங்களோடு ஒப்பிட மூன்றுவது இடம் எங்குள்ளது என்பதனையும் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம்.

14.5.4. வானிலையியலில் லேசர்

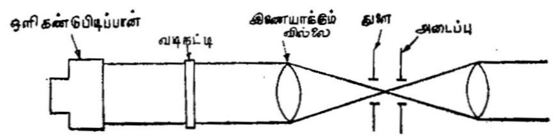
வானிலையை அவ்வப்போது கண்டறிவதற்கென லேசரைப் பயன்படுத்தும் புதியதொரு கருவி அண்மையில் உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. இது லிடார் (lidar) எனப்படும். ஒளியைக் கொண்டு தூரத்தை அளக்கும் கருவி எனப் பொருள்படும். Light Detection And Ranging எனும் சொற்களில் தடிப்பாகக் குறிக்கப் பெற்றுள்ள எழுத்துகளைச் சேர்த்து உருவாக்கிய பெயரே லிடார் என்பது. இது ராடார் (Radar) வேலை செய்யும் அதே தத்துவத்தில்தான் இயங்குகின்றது; மைக்ரோ அலைகளுக்குப் பதில் லேசர் ஒளி பயன்படுத்தப்பெறுகின்றது. இதனைக்கொண்டு வானத்திலுள்ள மேகங்கள், தூசிப் படலங்கள் (aerosols) போன்ற இலக்குகளின் தூரங்களையும் அவற்றின் இயக்கங்களையும் அறியலாம். இதனைக் கொண்டு செய்யப்பெற்ற ஆய்வுகள் வளிமண்டிலத்தின் அமைப்பு, அதன் இயக்கம் ஆகியவைபற்றிய புதிய உண்மைகள் பலவற்றை நமக்குத் தந்துள்ளன.

லிடார் அமைப்பு ஒன்று படம் 14.22-ல் காட்டப்பெற்றுள்ளது. Q-சுவிட்சு உத்தியினைக் (Q-switch technique) கையாளும் ஒரு மாணிக்க லேசரிலிருந்து உயர்ந்த செறிவுடைய, குறைந்த காலமே நீடிக்கும் தனித் துடிப்புகள் வெளிவரும். லேசரிலிருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கற்றை ஓர் இணைக்கற்றையாக ஆக்கப்பெற்று வளிமண்டிலத்தில் பரப்பியின் (transmitter) வாயிலாகச் செலுத்தப்படும். வளிமண்டிலத்திலுள்ள **துகள்களால் சிதறடிக்கப்**

பெற்றுத் திரும்பிவரும் ஒளி ஏற்பியில் (receiver) ஏற்கப்பெற்று, பகல் வெளிச்சத்திலிருந்து பிரிக்கப்பெற்று, குவிமுகப்படுத்தப் பெற்று மின் சைகைகளாக மாற்றப்படும்.



(a) பரப்பி



(b) ஏற்பி

படம் 14.22. லிடார் அமைப்பு.
(*a*) லிடார் பரப்பி.
(*b*) லிடார் ஏற்பி.

உயர்செறிவுடைய லேசர்க் கற்றையினைப் பயன்படுத்துவதால் அதிக தூரத்திலுள்ள இலக்கினையும் ஆராயமுடிகின்றது. லேசர் ஒளி ஒற்றை நிறமுடையதாகையால் (monochromatic) வடிகட்டிகளைப் (filter) பயன்படுத்திப் பகல்வெளிச்சம் போன்ற தேவையற்ற ஒளிகளை ஏற்பியிலிருந்து நீக்கிவிட முடிகின்றது. லேசர்க் கற்றை ஓரியல்பு (coherency) உடையதாகவிருப்பதால் சிறிய தொளையை (aperture) உடைய ஒளியியல் அமைப்புகளைப் பயன்படுத்திக் குறுகிய ஒளிக்கற்றையினை அடைய முடிகின்றது.

லிடாரைப் பயன்படுத்தி மேகங்களைப்பற்றிய ஆய்வுகள் செய்யப்பெற்றுள்ளன; முகில்களின் உயரங்களும் அளவுகளும் (sizes) அளக்கப்பெற்றுள்ளன; கண்ணுக்குப் புலனுகும் அளவிற்கு ஒரு முகில் உருவாவதற்குப் பல நிமிடங்கள் முன்னதாகவே ஒரு படலத்தில் நீர்த்துளிகள் சுருங்குகின்றன (condense) என்பதும் கண்டறியப் பெற்றுள்ளது. வளிமண்டிலத்தில் ஒளி செலுத்துகை எந்த அளவிற்கு உள்ளதென்பதைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு லிடாரைப் பயன்படுத்தும் முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பெற்று வருகின்றன.

14.5.5. வானியலில் லேசர்

வானியல் (astronomy) துறையில் லேசர் பலவகைகளில் பயன் படக்கூடும்.

(லேசரைப் பயன்படுத்தி நிலாவின் தூரம் அளக்கப்பெற்றுள்ளது. ஒரு மாணிக்க லேசரிலிருந்து வரும் துடிப்புகளைச் சந்திரனை நோக்கி அனுப்பி, அவை நிலாவில்பட்டு எதிரொளித்துத் திரும்பி வருவதற்கான நேரத்தைக் கணித்து அதிலிருந்து நிலாவின் தூரம் கணக்கிடப்பெற்றுள்ளது.) ராடார் அலைகளை அனுப்பியே இதனை வானியல் வல்லுநர்கள் சாதித்துள்ளனரெனினும் லேசரைப் பயன்படுத்துவதில் தனிச் சிறப்புள்ளது. ராடார்க் கற்றைகளை (radar beams) அனுப்பினால் அவை தூரமாகச் செல்லச் செல்ல விரிவடையும்; மதியினை யெட்டும்போது அதன் முழுப்பரப்பையே ஒளியூட்டும். ஆனால், லேசரைப் பயன்படுத்தும் போது சந்திரனின்மீதுள்ள ஒரு சிறு பரப்பு (ஒப்பீட்டு அடிப் படையில் சிறு பரப்பு) மட்டிலும்தான் ஒளியூட்டப் பெறும். இதனால் நிலாவின் ஒரு குறிப்பிட்ட சிறு பரப்பு எவ்வளவு தூரத்தில் உள்ளதென்று அறியலாம். எனவே, சந்திரனின் மேற்பரப்புப் பற்றிய உண்மைகளை அறிந்து அதன் புறப்பரப்புப் (surface) படம் வரையக்கூடும். இந்த முறையினை மற்றக் கோள்களுக்கும் கையாளலாம்.

ராடார் அலைகளைப் பயன்படுத்திச் சந்திரனின் தூரம் $\pm$ 0·7 மைல்களுக்குத் திருத்தமாக அளக்கப் பெற்றுள்ளது. ஆனால், கி.பி. 1962 ஆம் ஆண்டு வாக்கில் மசாசுசெட்ஸ் இன்ஸ்டிடூட் ஆஃப் டெக்னலஜியைச் (Massachussetts Institute of Technology) சார்ந்த அறிஞர் குழு ஒன்று முதன்முறையாக லேசரைப் பயன்படுத்தி மதியின் தூரத்தை அளந்தது. இவர்கள் ஒரு மில்லிநொடிக் காலம் நீடிக்கும் லேசர் துடிப்புகளை ஒரு 12 அங்குலத் தொலைநோக்கி (12 inch telescope) வழியாக அனுப்பி அவை சந்திரனில் பட்டு எதிரொளித்து வரும்போது அவற்றை ஒரு 48 அங்குலத் தொலை நோக்கியால் ஏற்றுத் தூரத்தைக் கணக்கிட்டார்கள்.

இதனையொத்த ஒரு சோதனையைக் கி.பி. 1964-ல் ரஷிய வானியலார் செய்தார்கள். அவர்கள் பரப்பியாகவும், ஏற்பியாகவும் ஒரே தொலைநோக்கியைப் பயன்படுத்தினார்கள். அது ஒரு 104 அங்குலத் தொலைநோக்கியாகும். அதே ரஷிய வானியலார் குழு கி.பி. 1965 ஆம் ஆண்டில் இதே சோதனையைச் செய்து

குறிப்பிடத்தக்க அளவு திருத்தத்துடன் சந்திரனின் தூரத்தை அளந்தார்கள். இந்த இரண்டாவது ஆய்வில் அவர்கள் 104 அங்குலத் தொலைநோக்கியைத்தான் இரு நிலைகளிலும் பயன் படுத்தினார்கள். 50 நானோ நொடி (1 nano second = 10^{-9} sec.) காலநீட்டிப்புடைய லேசர் துடிப்புகளை அனுப்பினார்கள். இவர்கள் நிலாவின் தூரத்தை 600 அடிக்குத் திருத்தமாகக் கண்டுபிடித்தார்கள்.

கி.பி. 1969 ஆம் ஆண்டு ஜூலை மாதத்தில் இத் துறையில் புதியதொரு முன்னேற்றம் ஏற்பட்டது. அப்போலோ 11-ல் (Apollo - 11) நிலாவிற்குச் சென்று அதில் நடமாடிவிட்டுத் திரும்பிய வான்வெளி வீரர்கள் எட்வின் ஈ. ஆல்ட்ரின் (Edvin E. Aldrin), நீல் ஏ. ஆர்ம்ஸ்ட்ராங் (Neil A. Armstrong) ஆகியோர் முப்பட்டகம் (prism) போன்ற வடிவுடைய எதிரொளிப்பான்கள் தொகுதி (reflectors array) ஒன்றினை நிலாவில் விட்டுவிட்டு வந்தார்கள். இது தன்மீது படும் லேசர்ச் சைகையினை மிக நன்றாக எதிரொளிக்கும்; சந்திரனின் சாதாரண மேற்பரப்பு எதிரொளிப் பதைவிட 10-லிருந்து 100 மடங்கு அதிகமாக எதிரொளிக்கும். எனவே, இதில் பட்டு எதிரொளித்துத் திரும்பிவரும் லேசர்க் கற்றை பன்மடங்குச் செறிவுடையதாக (intensity) இருக்கும். இதனால் இப்போது சந்திரனின் தூரத்தை ஆறு அங்குலத்திற்குத் திருத்தமாக அளக்க முடியும்.

இந்தத் தூரம் அளக்கும் ஆய்வுகளின் பயன் சந்திரனின் தூரத் தைத் திருத்தமாக அளப்பது மட்டிலுமன்று. இதற்கு வேறுபல நோக்கங்களுமுண்டு. சந்திரனின் தூரத்தைத் தொடர்ந்து மாதக் கணக்கில், ஆண்டுக் கணக்கில் அளந்து அதில் உள்ள வேறுபாடுகளை அறியலாம். இவ் வேறுபாடுகளிலிருந்து பல அறிவியல் வினாக் களுக்கு விடை கிடைக்கக்கூடும். காட்டாக, சந்திரனின் உட் புறத்தே நிறை (mass) எவ்வாறு பங்கிடப் பெற்றுள்ளது என் பதனை நிர்ணயிக்கலாம்; புவியிலுள்ள கண்டங்கள் (continents) ஒன்றை நோக்கி யொன்று அல்லது ஒன்றை விட்டு ஒன்று நகரு கின்ற வீதத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்; புவியின் வடமுனையின் (north pole) இருப்பிடம் எவ்வாறு நகருகின்றது என்பதனைக் காண லாம்; கவர்ச்சி எண் (Gravitation constant) காலத்தால் மாறு திருக்கின்றதா அல்லது குறைந்துகொண்டே செல்கின்றதா என ஆராயலாம்.

நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் ஓர் இலக்கினை நோக்கி அனுப்பப் பெறும் துடிப்புகள் அதனால் சிதறடிக்கப் பெறும்போது டாப்ளர்

விளைவினுல் (Doppler effect) ஏற்படும் மாற்றங்களைக் கண்டுபிடிப்பதற்கும் லிடார் (lidar) தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தக் கூடும். இத்தகைய அளவீடுகளைப் பயன்படுத்திக் கோள்களின் (planets) இயக்கங்களை இப்போதுள்ள முறைகளால் அறிவதைவிடத் திருத்தமாக அளக்கலாம்.

14.6. தொளையிடுதல், வெட்டுதல், செதுக்குதல், உருக்கி இணைத்தல் போன்ற வேலைகளுக்கு லேசர்

லேசர்களைத் தொளையிடுதல், வெட்டுதல், செதுக்குதல் (etching), உருக்கி இணைத்தல் போன்ற வேலைகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். இப் பணிகளுக்குத்தான் வழக்கமான கருவிகளும், உத்திகளும் (techniques) உள்ளனவே ! விலைமிக்க லேசரைப் பயன்படுத்த வேண்டிய தேவை யென்ன? இதில் தனியான சிறப்பான நன்மைகள் எவையுமுண்டா? உண்டு. லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன்படுத்துவதிலுள்ள தனி நன்மைகளுக்கு அடிப்படையாய் அமைவது அதன் சிறப்பியல்புகளே. லேசரின் உயர்ந்த உச்சத்திறன் (peak power), அதன் திசைப் பண்பு (directionality), அதன் ஆற்றல் கதிர்வீச்சு (radiation) வடிவத்தில் உள்ளது என்பனவே அதன் சிறப்பியல்புகளாகும். லேசர்களின் வெளிப்பாட்டுத் திறன் (output power) உயர்ந்தது என்று சொல்லும்போது நாம் ஒன்றை நினைவில் கொள்ளவேண்டும். பெரும்பாலான லேசர்களின் சராசரி வெளிப்பாட்டுத் திறன் ஒரு சாதாரணப் பற்றவைக்கும் இரும்பில் (soldering iron) கிடைக்கக் கூடியதைவிட அதிகமானதன்று. ஆனல், லேசரின் வெளிப்பாட்டுத் திறன் ஒரு குறுகிய கற்றையில் செறிந்துள்ளது. எனவே, சில நுணுக்கமான வெட்டுதல், பற்றவைத்தல் போன்ற வேலைகளுக்கு லேசர் மிகவும் உகந்தது. சாதாரண வேலைகளுக்குச் சிக்கனமான, மற்ற வழக்கமான முறைகளே சிறந்தனவாகும்.

லேசர் வெட்டும் கருவிகள் (cutting tools) எந்திர விசையின் (mechanical force) துணைகொண்டு வெட்டும் வேலையைச் செய்வதில்லை. மாருக, உயர் திறனுடைய லேசர்க் கற்றைகள் குவிமுகப் படுத்தப்பெறும்போது ஏற்படும் உயர்வெப்ப நிலைகளைப் பயன்படுத்தியே வெட்டுதல் போன்ற வேலைகள் நடைபெறுகின்றன. 100,000° சென்டிகிரேடு எனுமளவு உயர்ந்த வெப்பநிலைகளை உயர் திறன் லேசர்கள் உண்டாக்க முடியும். ஆனல், இவ்வளவு உயர்ந்த திறனுடைய லேசர்க் கற்றையினை இலக்கின்மீது, காட்டாக, தொளையிடவேண்டிய இடத்தின்மீது குவிப்பதில் ஒரு தொல்லை

யுள்ளது. இந்தக் கற்றைகள் தாம் செல்லும் பாதையிலுள்ள காற்றினை அயனியாக்கம் பெறச் செய்யும். இந்த அயனியாக்கம் பெற்ற காற்று லேசர் ஆற்றலை உட்கவர்ந்து விடும். இதனால் கற்றையினை இலக்கின் மீது சரியாகக் குவிக்க முடியாது போய்விடலாம்.

இதற்கென, நேஷனல் இயல்பியல் ஆய்வுக் கூடத்தைச் (National Physical Laboratory) சார்ந்த டி. பி. ஹியூக்ஸ் (T. P. Hughes) என்பார் தொளையிடுவதற்கான சிறந்த வழியொன்றினைக் கூறியுள்ளார். (தொளையிடப்பட வேண்டிய இடத்திலுள்ள பொருளை முதலில் சுமாரான திறனுடைய லேசர்க் கற்றையினைக்கொண்டு உருக்கிக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர், அந்த இடத்தில் ஒரு சிறிய, மிக உயர்ந்த திறனுடைய லேசர்த் துடிப்பு ஒன்றினைச் செலுத்த வேண்டும். இதனால் உருகிய நிலையிலுள்ள உலோகத்தில் ஒரு மெல்லிய படலம் (thin layer) ஆவியாகும்; அணுக்கள் புறப்பரப்பிலிருந்து மிக வேகமாக வீசியெறியப்படும். இவ்வாறு வீசியெறியப்படும் அணுக்கள் உருகிய உலோகத்திலிருந்து ஓர் உருளை வடிவான பகுதியினை வெளியேற்றி விடும் ; அதாவது தொளை யேற்படும்.)

ஜெனரல் எலெக்ட்ரிக் கம்பெனியார் (General Electric Company) லேசர் தொளைப்பானைக் கொண்டு நாமறிந்தவற்றுள்ளேயே கடினமான பொருளாகிய வைரத்தில் (diamond) தொளையிட்டுள்ளனர். இப்போது வேறு நிறுவனங்களும் லேசர் தொளைப்பான்களை வைரங்களில் தொளையிடுதல், மெல்லிய கம்பிகளைச் செய்வதற்குப் பயன்படும் கம்பி இழுக்கும் படிவ அச்சுகளைச் (wire drawing die) செய்தல் போன்ற பல வேலைகளுக்குப் பயன்படுத்துகின்றார்கள்.

ஒரு வைரத்தில் வழக்கமான பழைய முறையில் வைரத்தூளைக் கொண்டு தொளையிடுவதற்கு இரண்டு மூன்று நாட்களாகும். அதே தொளையை இடுவதற்கு லேசர்த் தொளைப்பான் (laser drill) இரண்டு நிமிடங்கள்தாம் எடுத்துக்கொள்ளும். ஆனால், லேசரால் இடப்பட்ட தொளைப்பகுதி சற்றுச் சொரசொரப்பாக இருக்கும். இதனை வைரத் தூளைக் (diamond powder) கொண்டு சாணை தீட்டிவிடலாம். இதற்கும் சேர்த்து ஆகும் மொத்த நேரம் பழைய முறைக்காவதைவிட மிகக் குறைவுதான். சாணை தீட்ட வேண்டிய வேலை இல்லாமலேயே தொளையிடும் லேசர் தொளைப்பான்கள் உருவாகிவிடலாம்.

(லேசர் கற்றையினை உருக்கி இணைத்தலுக்கும் (welding) பயன்படுத்தலாம். சாதாரண வில் விளக்குகளையோ (arc lamps), சுடர்களையோ (flames) பயன்படுத்தி வழக்கமாக உருக்கி இணைத்தலை விடச் சீரிய முறையில் லேசரைக்கொண்டு செய்ய முடியும். ஏனெனில், லேசர்க் கற்றையின் ஆற்றலைக் கட்டுப்படுத்த முடியும் ; அதனை ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் குவிக்க முடியும். மேலும், இணைக்கப்படவேண்டிய இடத்திற்கு மிக உயர்ந்த வீதத்தில் ஆற்றலைச் செலுத்தமுடியும். இதனால், உருக்கி இணைத்தல் மிகக் குறுகிய காலத்தில் முடிந்துவிடும் ; இணைக்கப் படும் உலோகங்கள் வழியாக வெப்பம் கடத்தப்பட்டு வீணாகாது.

லேசர்க் கற்றைகளைவிட எலெக்ட்ரான் கற்றைகள் இவ் வகையில் சிறப்பாகச் செயல்படும். ஆனால், எலெக்ட்ரான் கற்றைகளை வெற்றிடத்தில்தான் பயன்படுத்த முடியும். எனவே, வெற்றிடத்தை (vacuum) உண்டாக்குவது கடினமாகவோ அல்லது செலவு மிக்கதாகவோ இருந்தால் லேசர்க் கற்றைகள் தாம் சிறந்தவை.

சிலவாண்டுகளுக்கு முன்னர் நடைபெற்ற ஆய்வுகளிலிருந்து செம்பு (copper), வெள்ளி, பொன் ஆகியவற்றை உருக்கி இணைப் பதற்கு லேசர்க் கற்றை சிறந்தது எனத் தெரியவருகின்றது. ஏனெனில், இந்த உலோகங்கள் லேசர்க் கற்றை படுவதாலேற்படும் மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைகளையும் தாங்கக் கூடியனவாயிருக்கும். அவ்வுயர் வெப்பநிலைகளில் புறப்பரப்பிலிருந்து உலோகம் வெளியேறாமலிருக்கும். மேலும், அவற்றின் வெப்பம் கடத்தும் திறன்கள் உயர்வானவையாக விருப்பதால் மிகக் குறுகிய காலமே நீடிக்கும் லேசர்த் துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தும்போது அவை விரைவாகச் சூடேறும்.

லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன்படுத்தி உருக்கி இணைத்தல் எவ்வளவு சிறப்பானது, அது எங்கெங்கு மிகுந்த திறத்துடன் செயல்படும், அதன் தனிச்சிறப்பு என்ன என்பதற்குக் கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டினைக் கூறலாம் : (வெடிப்பொருள் (explosive) வைத்து அனுப்பப் பயன்படும் கலத்தினைக் (can) காற்றுப் புகாமல் பற்ற வைப்பதற்கு CO_2 லேசரைப் பயன்படுத்தினால் அது $\frac{1}{3}$ நொடியில் திறம்பட உருக்கி இணைக்கின்றது ; வெடிப்பொருளி லிருந்து 0·04 அங்குலத் தூரத்திற்குள் பற்றவைப்புச் செய்ய வேண்டி யிருந்தாலுங்கூட வெடிப்பொருள் வெடிக்காமல் இதனைச்

செய்ய முடிகின்றது) இவ்வுண்மையினைச் சென்ற ஆண்டு (1971) I E E E/O S A மாநாட்டில் (Institute of Electrical and Electronics Engineers/Optical Society of America) ஹனிவெல் கார்ப்பொரேட் ரிசர்ச் சென்ட்டரைச் (Honewell Corporate Research Centre, Hopkins) சேர்ந்த ஜே. எஃப். ரீடி (J. F. Ready) என்பார் எடுத்துரைத்துள்ளார்.

14.7. கம்ப்யூட்டர்களில் லேசர்

கம்ப்யூட்டர்களில் இருக்கும் பெருந்திறமையுடைய நினைவுகள் (large capacity memories) அனேகமாக ஒளிப்பட வகையினைச் (photographic type) சார்ந்தவையாகத்தான் இருக்கும். இத் தகைய (நினைவுக் கருவிகளைப் பயன்படுத்தும்போது அவற்றி லிருந்து செய்திகளைப் படிப்பதற்கும் அவற்றை எழுதிக் காட்டு வதற்கும் லேசர்க் கற்றைகளைப் பயன்படுத்தலாம்.) செய்திக் குறிப்புகளை உருவாக்கும் வழக்கமான உத்திகளில் (data processing techniques) செய்தியானது புள்ளிகளின் அமைப்புகளாக (pattern of data) மாற்றிச் சேர்த்து வைக்கப்பெறும். எனவே, இந்த முறையில் செய்தியைக் கம்ப்யூட்டரில் எழுதுவதென்றால் ஓர் ஒளிக்கற்றையினைப் பயன்படுத்தி ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளிகள் அமைப்பினை உருவாக்க வேண்டும். அவ்வாறு நினைவுக் கருவியில் பதிவு செய்யப்பட்ட செய்தியினை நமக்குத் தேவையானபோது படிக்கவேண்டுமெனில் அந்தப் புள்ளிகள் அமைப்புள்ள படத்தினை ஓர் ஒளிக் கற்றையினைக் கொண்டு வரிக் கண்ணோட்டம் (scan) செய்து எந்தப் பகுதிகள் ஒளிக் கற்றையினைத் தடை செய் கின்றன, எப் பகுதிகள் ஒளியை ஊடுருவிச்செல்ல விடுகின்றன எனப் பார்க்க வேண்டும். இதனால் கம்ப்யூட்டர் அந்தப் புள்ளிசள் அமைப்பினை இனங்கண்டுகொள்ள முடிகின்றது. இச் செயலுக்குச் சாதாரண ஒளிக் கற்றைகளையே பயன்படுத்தலாம். எனினும், லேசர்க் கற்றைகள் இவற்றிற்கு விரும்பத் தக்கன. ஏனெனில், லேசர்க் கற்றைகள் செறிவு மிக்கவை, கற்றை அகலமும் குறைவு. இங்கும் லேசர்க் கற்றைகளைவிட எலெக்ட்ரான் கற்றைகள் நல்ல முறையில் பயன்படுத்தப் பெறலாம். ஆனால் முன்னர்க் கூறியாங்கு எலெக்ட்ரான்களை வெற்றிடத்தில்தான் பயன்படுத்தவேண்டும்.

ஒளிப்பட நினைவுக் கருவிகளைப் (photographic memory unit) பயன்படுத்துவதில் ஒரு தொல்லையுண்டு. இவை திருப்பவல்லன அல்ல (non - reversible). வழக்கமான ஒளிப்பட உத்திகளைக் கையாண்டு இவற்றின்மீது செய்திகள் நிரந்தரமாகப் பதிவு

செய்யப்படுகின்றன. இச் செய்திகளை மாற்ற வேண்டுமானால் அந்த ஒளிப் படத் தட்டினை எடுத்துவிட்டுப் புதியதோர் ஒளிப் படத் தட்டினை அங்கு வைக்கவேண்டும். எனவே, லேசரோடு பயன்படுத்தக் கூடிய திருப்பவல்ல ஒளிப்பட நினைவுக் கருவிகளைத் தயாரிக்க முடியுமா எனக் குறிப்பிடத்தக்க அளவு ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன. ஃபோட்டோ குரோமிக் கண்ணாடிகள் (photo chromic glasses), தெர்மோ பிளாஸ்டிக் பொருள்கள் (thermo plastics), காந்த - ஒளியியல் பொருள்கள் (magneto - optical materials) ஆகியவை இவற்றிற்குப் பயன்படலாம்.

(கம்ப்யூட்டர்களில் செய்திகளை ஓலோகிரஃபிக் உருவத்தில் கூடப் பதிவு செய்து வைக்கலாம். இதனால் ஒரு சிறு பரப்பில் மிக அதிகமான செய்திகளைப் பதிவு செய்து வைக்கலாம். மேலும், இதிலுள்ள செய்திகள் நாம் முன்னரே கூறியதுபோல ஓலோகிராமில் ஏற்படும் கீறல்களால் பாதிக்கப்படா.)

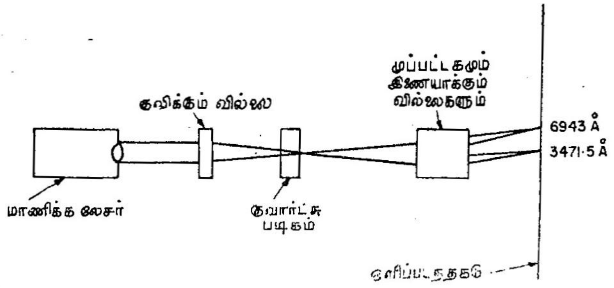
14.8. அடுக்குச் சுரங்களை இயற்றுதல்

மின்காந்த அலைத் தொகுதி ஒன்று ஒரு பொருளின் ஊடே சென்றுகொண்டிருக்கும்போது அப் பொருளின்மீது ஒரு செறிவு மிக்க மின் புலத்தையோ அல்லது காந்தப் புலத்தையோ செயல் படுத்தினால் அப் பொருளின் ஒளிவிலகஎண் (refractive index) இலேசாக மாறும் என்பதும், அதனால் அலைத் தொகுதியின் திசை வேகம் (velocity) மாறுபடும் என்பதும் பல்லாண்டுகளாக நாமறிந்த உண்மையேயாகும். எனவே, ஒரு மின் காந்தக் கதிர் வீச்சானது போதுமான அளவு செறிவுடையதாக இருக்குமானால் அது ஒரு பொருளின் ஊடே போகும்போது தன்னுடைய மின் புலம், காந்தப் புலம் ஆகியவற்றாலேயே ஊடகத்தின் ஒளிவிலக வெண்ணை மாற்ற வேண்டுமென்பதும், அவ்வாறு ஒளிவிலக வெண்ணை மாற்றுவதால் அது பரவும் செயலே பாதிக்கப்பட வேண்டுமென்பதும், வேறு அலைகள் அப் பொருளின் ஊடு சென்றாலும் அவற்றின் பரவலும் பாதிக்கப்படுமென்பதும் தெரிகின்றது. மேலும், இவ்வாறு ஓர் ஊடகத்தில் (medium) ஒரு மின் காந்தக் கதிர்வீச்சு ஏற்படுத்தும் மாற்றங்கள், அம் மாற்றங்களுக்குக் காரணமாயமைந்த அக் கதிர்வீச்சின் அதிர் வெண்ணுக்குச் சமமான ஓர் அதிர்வெண்ணை உடையதாயிருக்க வேண்டுமென்பதும் தெளிவு. எனவே, வேறோர் அதிர்வெண் ணுடைய இரண்டாவது கதிர்வீச்சுக் கற்றையொன்று அப் பொருளினூடு இந்த முதல் கதிர்வீச்சுடனேயே சேர்ந்து செல்லு

மானுல் இந்த இரண்டாவது கதிர்வீச்சின் திசைவேகம் காலாந்தர மாறுதல்களுக்கு (periodic changes) உள்ளாகும். இத்தகைய செயலெதிர்ச்செயலால் (interaction) இரு அலைகளின் அதிர்வெண் களின் கூடுதலுக்குச் சமமான அதிர்வெண்ணுடைய கதிர்வீச்சும், இரண்டின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமான அதிர்வெண்ணுடைய கதிர்வீச்சும் உண்டாகும்.

இத்தகைய நேர்ப் போக்கற்ற (non-linear) விளைவுகள் ஏற்பட வேண்டுமென்று கொள்கை யளவில் உணரப்பட்டாலும் சாதாரண ஒளிமூலங்களைப் பயன்படுத்தி நடைமுறையில் ஆராய்ந்து பார்த்தால் எவ்வித விளைவும் காணப்படாது. இதற்குக் காரணமென்ன வெனில், இச் சாதாரண ஒளிமூலங்களிலிருந்து வரும் ஒளிகளின் மின், காந்தப் புலங்கள் மிகமிகச் சிறியவை ; அவற்ருல் இந்த நேர்ப்போக்கற்ற விளைவுகளை ஏற்படுத்த முடியாது. ஆனுல், லேசரிலிருந்து வெளிப்படும் செறிவு மிக்க, ஒற்றைநிறக் கதிர் வீச்சுகள் குவிக்கப் பெறும்போது அவற்ருேடு தொடர்புகொண்ட புலங்கள் 10^6 வோல்ட்டுகள்/செ. மீ. அளவும் அதற்கு மேலு மிருக்கும். எனவே, இவை மேற்கூறிய நேர்ப் போக்கற்ற விளைவுகளை ஏற்படுத்தும்.

இதனை முதன்முதல் கி.பி. 1961 ஆம் ஆண்டில் நடைமுறையில் கண்டவர்கள் மிச்சிகன் பல்கலைக் கழகத்தைச் (Michigan University) சார்ந்த ஃப்ராங்கென் (Franken), ஹில் (Hill), பீட்டர்ஸ் (Peters), வெயின்ரிச் (Weinrich) ஆகியோராவர். அவர்கள் 3 கிலோ வாட்டுகள் திறனில் 6943 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தில்



படம் 14.23. இரண்டாவது அடுக்குச் சுரத்தை உண்டாக்க ஃப்ராங்கென் முதலியோர் பயன்படுத்திய அமைப்பு.

மாணிக்க லேசரிலிருந்து வெளிப்படும் லேசர்க் கற்றையினைக் குவார்ட்சுப் படிகத்தின் (quartz crystal) ஒரு பக்கத்தில் குவியச்

செய்தார்கள். அதன் மறுபக்கத்திலிருந்து 3471·5 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளமுடைய நீலநிற ஓரியல் ஒளி வெளிப்பட்டது. அவர்கள் பயன்படுத்திய கருவிகளின் அமைப்பு, படம் 14.23 - ல் காட்டப் பெற்றுள்ளது. அவர்கள் நடத்திய சோதனையில் படுவொளியில் (incident light) 10^8 - ல் 1 பங்குதான் இரண்டாவது அடுக்குச்சுர ஒளியாக (second hormonic light) 3471·5 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலை நீளத்தில் வெளிப்பட்டது.

இதனைத் தொடர்ந்து (பல்வேறு பொருள்களைப் பயன்படுத்தி லேசர் ஒளி அதன் அடுக்குச்சுர அதிர்வெண்களுக்கு மாற்றப்பட்டுள்ளது. இதன் பயனாக, நிறமாலையின் புறஊதா (ultra violet), கண் காணும் ஒளி (visible light), புறச்சிவப்புப் (infra red) பகுதிகளில் நூற்றுக்கணக்கான புதிய அலைநீளங்களில் ஓரியல் ஒளி தோற்றுவிக்கப் பெற்றுள்ளது! இப் பிந்தைய சோதனைகளில் படுவொளியில் 20% அடுக்குச் சுரங்களில் வெளிப்பட்டது.

நாம் முன்னர்ப் பிரிவு 9 ல் - பார்த்ததுபோல இரண்டு (மாணிக்க லேசர்களிலிருந்து வரும் வெவ்வேறு அதிர்வெண்களை ஒன்றுகக் கலக்கியும் அடுக்குச் சுரங்களைப் பெறலாம்.)

14.9. நிறமாலையியலில் லேசர்

வழக்கமான, சாதாரண ஒளிமூலங்களை நிறமாலையியல் (spectroscopy) ஆய்வுகளில் பயன்படுத்துவதிலுள்ள குறைகள் என்னவெனில் குறைந்த செறிவு, இட ஓரியல்பின்மை (spatial incoherence), ஒளியின் வரி அகலம் ஆகியவையாகும். ஆனால், லேசர் ஒளியைப் பயன்படுத்தினால் இக் குறைகள் யாவும் நீங்கும். ஏனெனில், லேசர் ஒளி செறிவு மிக்கது ; மிகுந்த திசைப்பண் புடையது ; ஓரியல்புடையது ; ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளத்தினை உடையது.

(லேசர் ஒளியினைக் கொண்டு மிக உயர்ந்த நிறமாலைத் தூய்மையினைப் (spectral purity) பெறலாம்.) இதனால் நிறமாலையியல் வல்லுநர்களுக்கு இது மிகுந்த பயனுடைய சாதனமாக அமைகின்றது. ஆனால், நிறமாலையியலில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு முன்னேற்றத்திற்கு லேசர் துணைபுரிய வேண்டுமெனில் இசைவு செய்து கொள்ளத்தக்க (tunable) லேசர்கள் உருவாகவேண்டும். இத் துறையில் முன்னேற்றங்கள் ஏற்பட்டுவருகின்றன. நாம் விரும்பும் அதிர்வெண்ணிற்கு இசைவு செய்துகொள்ளத்தக்க

லேசர்கள் இல்லாவிட்டாலும் கடந்த பகுதியில் பார்த்த உத்திகளைக் கையாண்டு நாம் விரும்பும் ஓரியல் ஒளிகளைப் பெறலாம்.

6 லேசர் ஒளி உயர்செறிவுடையதாகவும், குறுகிய வரி அகலம் உடையதாகவும் இருப்பதால் இராமன் நிறமாலையை (Raman spectrum) உண்டாக்குவதற்கான ஒளிமூலமாக இதனைப் பயன்படுத்தலாம். மாணிக்க லேசரும், ஹீலியம் - நியான் லேசரும் இராமன் நிறமாலை மூலங்களாகப் பயன்படுத்தப் பெற்றுப் புதிய லேசர் வரிகள் தோற்றுவிக்கப் பெற்றுள்ளன) பல்வேறு கூட்டுப் பொருள்களினுடைய இராமன் நிறமாலைகள் ஆராயப் பெற்றுள்ளன.

இப்போது, லேசரால் கிளர்ச்சியூட்டப் பெறும் இராமன் நிறமாலைமானிகள் (Raman spectrometers) செய்யப்படுகின்றன. இவற்றில் வழக்கமான பெரிய, பாதரச வில் விளக்கிற்குப் பதில் லேசர் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இதனால் இவை மலிவானவையாக உள்ளன; இவற்றின் அமைப்பு சிக்கல் குறைந்ததாகவுள்ளது; இவற்றை இயக்குவதும் எளிது. லேசர் ஒளி மிக உயர்ந்த ஒற்றை நிறத் தன்மையுடையதாக விருப்பதால் உயர்ந்த பண்புடைய (quality) நிறமாலையை உண்டாக்க முடிகின்றது; இதனால் கிளர்ச்சியூட்டும் வரிக்கு மிக அண்மையிலுள்ள இராமன் வரிகளையும் பதிவு செய்ய முடிகின்றது. லேசர் மூலத்தில் தொடர்ச்சியான பின்னணியாக அமையும் ஆற்றல் (back ground energy) ஏதும் இல்லாதிருப்பதால் ராலே சிதறல் (Rayleigh scattering), டின்டால் சிதறல் (Tyndall scattering) ஆகியவற்றினால் ஏற்படும் குறுக்கீடானது கிளர்ச்சியூட்டும் வரியில்தான் ஏற்படுமேயன்றி மற்ற விடங்களில் அன்று. எனவே, பொருளில் இருக்கக்கூடிய தூசு குறுக்கிடுவதற்கான வாய்ப்புக் குறைகின்றது. ஆவியாகும் பொருள்களை (volatile samples) ஆராய்வது முன்னிலும் எளிது.

நீண்ட அலைநீளமுடைய (6328 Å) லேசர்க்கற்றையினைப் பயன்படுத்தினால் ஒளியினால் சிதைவு (photo decomposition) ஏற்படுவதற்கான வாய்ப்புகள் குறையும்; பொருளில் ஒளிர்தல் (fluorescence) உண்டாகாது. மேலும், பாதரச விளக்கு ஒளியைக் கிளர்ச்சியூட்டலுக்குப் பயன்படுத்தினால் நிறப்பொருள்கள் குறைந்த அலைநீளங்களில் உட்கவரும்; ஆனால், நீண்ட அலை நீள லேசர் ஒளியில் இது ஏற்படாது. எனவே (நிறப்பொருள்களில் இராமன் விளைவை ஆராய லேசர் சிறந்தது.) லேசர்க் கற்றை சிறப்பான முறையில்

முனைவாக்கம் பெற்றிருப்பதாலும் (polarized), சிறந்த இணைக் கற்றையாக (parallel beam) வருவதாலும் முனைவு நீக்க விகிதம் (depolarization ratio) பற்றிய திருத்தமான ஆராய்ச்சிகளுக்கு இது வழிவகுக்கின்றது.

(ஒளித்தெறிப்பு ஒளியாற் பகுப்பில் (flash photolysis) பயன் படும் மின்னிறக்கக் குழாய்க்குப் (discharge tube) பதில் லேசரைப் பயன்படுத்தலாம்.) தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும் லேசரைப் பயன்படுத்தினால் அது இடைநிலை உறுப்புகள் (radical intermediates) ஓர் உயர்ந்த நிலையான - நிலையில் (steady - state) செறிந் திருக்கச்செய்யும். இதனால் இடைநிலை உறுப்புகளைக் கண்டு பிடிப்பது எளிதாகலாம். பல்வேறுபட்ட அலைநீளங்களில் செயல் படும் பல லேசர்களைப் பயன்படுத்தி ஒளியாற் பகுப்பானது அலை நீளத்தினை எவ்வாறு சார்ந்துள்ளது என்பதனை ஆராயக்கூடும். ஒளித்தெறிப்பு ஒளியாற் பகுப்பில் ஏற்படும் ஒரு பிரச்சினை என்ன வெனில் பல இடைநிலை உறுப்புகள் அவை கண்டுபிடிக்கப் படுவதற்கு முன்னர்ச் சிதைந்து (decay) விடும். இதற்கு மிகக் குறுகிய, செறிவு மிக்க துடிப்பினைக் கையாளவேண்டும்.

பாலித்தீன் படலங்களிலிருந்து (polythene films) சிதறடிக்கப் பெறும் ஒளியினைக்கொண்டு நீண்ட சங்கிலி பலபடிகளின் (long chain polymers) படிக அமைப்பினை (crystal structure) ஆராய லாம். இதற்குச் சாதாரண ஒளியைப் பலமணி நேரங்கள் பாலித்தீன்மீது படும்படி செய்யவேண்டும். ஆனால், ஒரு துடிப்பு லேசரிலிருந்து வரும் ஓர் ஒளித்தெறிப்பு பாலித்தீன்மீது பட்டாலும் அதே அளவு விளைவினை ஏற்படுத்தும். (குறைந்த திறனுடைய, தொடர்ச்சியாகச் செயல்படும் லேசர்களும் கூழ்பொருள்களில் (colloids) செய்யப்படும் ஆய்வுகளுக்குப் பயன்படும்.)

14.10. வேதியியலில் லேசர்

வேதியியலிலும், ஒளி வேதியியல் வினைகளிலும் (photo chemical reactions) லேசரின் முக்கியத்துவம் மேன்மேலும் பெருகி வருகின்றது. (லேசர்க் கற்றைகளை ஒரு சிறு இடத்திற்குள் குவிக்க முடிவதாலும், அவற்றின் ஒற்றை நிறத்தன்மை மிகச்சிறப்புடைய தானதாலும் மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பையும் (molecular structure), வேதியியல் வினைகளையும் ஆராய்வதற்கு இவை மிகவும் உவப்பானவையாகும்.) இதில் லேசர்க் கற்றையின் தனிச்

சிறப்பு என்னெனில் ஒரு கலவையில் பல்வேறு வினைகள் நடைபெறக்கூடுமெனில் அதிலொரு குறிப்பிட்ட வேதியியல் வினையை மட்டிலும் நடைபெறும்படி லேசர் தூண்டிவிடும். காட்டாக, ஒரு வாயுக்கலவையில் மற்ற வாயுக்களைப் பாதிக்காமல் ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவில் மட்டும் ஒரு வினையை லேசரால் துவக்கிவைக்க முடியும். லேசர் அதிர்வெண்ணில் உட்கவர் பட்டைகளையுடைய மூலக்கூறுகளின் தொகுதியில் மட்டிலும்தான் லேசர் வினையைத் துவக்குமே தவிர ஒரு கலவையிலுள்ள மற்ற மூலக்கூறுகளைப் பாதிக்காது.

மந்த வாயுக்கள் (inert gases), அருமண் பொருள்கள் (rare earths) ஆகியவற்றின் நிறமாலைகள் பற்றிய செய்திகளைப் பெறுவதற்கு லேசர்கள் உதவியுள்ளன; அணுக்களின் அனுமதிக்கப்படக்கூடிய பல்வேறு எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே நடைபெறக்கூடிய பெயர்வு வீதங்களை அறியவும், முன்னரே அறிந்தவற்றைச் சரிதானுவென உறுதிசெய்யவும் லேசர்கள் உதவியுள்ளன. இது பற்றிய புது ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைகள் வந்தவண்ணம் உள்ளன. இசைவு செய்துகொள்ளத் தக்க லேசர்கள் இப்போது உள்ளனவாதலால் வேதியியல் பிணைப்புகளின் (chemical bonds) வலு, உட்கவர்தலின் சிறப்பியல்புகள் போன்றவற்றைப் பற்றிய புதிய செய்திகளை லேசர்கள் நமக்குத் தரக்கூடும்.

14.11. பௌதிகத்தில் லேசர்

லேசர்களின் சிறப்பியல்புகளின் காரணமாகப் பௌதிகத் துறையில் பல்வேறு புதுவகைகளில் இவை பயன்படக்கூடும். காட்டாக, நாம் முன்னர்ப் பார்த்ததுபோல அடுக்குச்சுரங்களை (harmonics) இயற்றும் துறையில் லேசர்களின் பயன் குறிப்பிடத்தக்கது. இதுபோன்ற நேர்ப்போக்கற்ற ஒளியியல் விளைவுகளில் (non-linear optical effects) லேசரைப் பயன்படுத்த முடிவதற்கான காரணம் லேசர் ஒளியின் செறிவு மிகுந்திருப்பதே.

லேசர்களின் ஒற்றை நிறத்தன்மை மிக உயர்ந்ததாக விருப்பதால் நீளங்களையும், அதிர்வெண்களையும் ஒப்பிடுவதற்கான திருத்தமான அளவீடுகளைச் செய்யப் பயன்படும் சோதனைகளில் இவற்றைப் பயன்படுத்தக்கூடும். ஒளியின் வேகத்தை அளக்க அண்மையில் செய்யப்பெற்ற ஒரு சோதனையை இதற்கு எடுத்துக் காட்டாகக் கூறலாம்.

வெற்றிடத்தில் (vacuum) ஒளியின் வேகம் ஒரு மாறிலி (constant) என்பதனை நாம் ஏற்றுக்கொள்ளத் தயாராகவிருந் தாலும் இந்த உண்மையினை நேரடியாக நிலைநாட்டுவதற்கான ஒரே சோதனை, பலவாண்டுகளுக்கு முன்னர் மைக்கேல்சன் - மோர்லி (Michelson - Morley) ஆகியோர் செய்ததேயாகும் என்பது நாமறிந்ததே. அவர்களுடைய சோதனையின் நோக்கம் எங்கும் நீக்கமற நிலைபெற்று விளங்குவதாக எண்ணப்படும் ஈதர் (ether) உண்மையில் உள்ளதா அல்லது வெறும் கற்பனைதானு என்று அறிவதே. ஈதர் ஊடே ஒளி பரவுமானுல் ஒளியின் வேகம் ஒரு மாறிலியாக இருக்க முடியாது. ஏனெனில், அது ஒளிக்கற்றை பரவும் திசையினையும் புவியின் இயக்கத்தையும் பொறுத்திருக்கும். எனவே, ஈதர் எனும் பொருள் வழியே ஒளிபரப்பப்படுவது உண்மையானுல் ஓர் ஒளிக் கற்றை செல்லும் பாதையின் திசையை மாற்றிஞல் ஒளியின் திசைவேகமும் (velocity) மாற வேண்டுமென்றும், இதன் காரணமாக இரு ஆடிகளுக்கு மிடையே யுள்ள தூரத்தைக் கடப்பதற்கு ஒளி எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமும் மாறவேண்டுமெனவும் மைக்கேல்சனும் மோர்லியும் காரண காரியங்களுடன் விளக்கினுர்கள். இத்தகைய விளைவினுல் வெளிப் பாட்டுக் கற்றையின் அதிர்வெண் மாறவேண்டும்.

இவ்வாறு உண்மையில் நடைபெறுகின்றதா என்பதனை அறியவே அவர்கள் மைக்கேல்சன் ஒளிக் குறுக்கீட்டுமானியைப் (Michelson interferometer) பயன்படுத்திச் சோதனையைச் செய் தார்கள். அதன் பலனுக ஈதரின் நகர்வுத் திசை வேகமானது (drift velocity) புவியின் சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகத்தில் (orbital velocity) $\frac{1}{80}$ - க்கு மேல் இருக்கமுடியாதெனக் காட்டினுர்கள்.

(மிக உயர்வான அளவில் ஒற்றைநிற அதிர்வெண்களையுடைய லேசர்க் கற்றைகளை அவர்கள் சோதனையில் பயன்படுத்தியிருந்தி மானுல் இரு ஆடிகளுக்குமிடையே ஒளி சென்று வருவதற்கான பயணத்தில் ஏற்படும் மேற்கண்ட மாறுதலை மிகமிகத் துல்லிய மாகக் கணக்கிடலாம்) எனவே, (ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தான (perpendicular) திசைகளில் செல்லும் லேசர் ஒளிகளைப் பயன் படுத்தி அவற்றின் அதிர்வெண்களை ஒப்பிடலாம்.) டவுன்ஸ் (Townes) என்பாரும் அவருடன் பணியாற்றியோரும் கி.பி. 1964 ஆம் ஆண்டில் இத்தகைய ஒரு சோதனையைச் செய்து ஈதரின் நகர்வுத் திசை வேகம் புவியின் சுற்றுப்பாதைத் திசைவேகத்தில் $\frac{1}{1000}$ க்கு மேல் இருக்க முடியாதெனக் காட்டினுர்கள்.

உயர் அதிர்வெண் நிறமாலையியலுக்குத் தேவையான ஒளி மூலங்களாக இசைவு செய்துகொள்ளத் தக்க லேசர்களைப் (tunable lasers) பயன்படுத்தலாம். நீண்ட தூரங்களையும் துல்லியமாக அளக்கக்கூடிய ஒளிக் குறுக்கீட்டுமானிகளையும், பிளாஸ்மா அடர்த்திகளை (plasma density) அளக்கவல்ல ஒளிக் குறுக்கீட்டு மானிகளையும் லேசர்களைக்கொண்டு அமைக்கலாம்.

இவ்வாறாக, லேசரானது பௌதிகத் துறையில் ஒளிக் குறிக் கீட்டு மானியியல், நிறமாலையியல், ஒளிப்படவியல் போன்ற பல்வேறு துறைகளில் புதிய உத்திகளைக் கையாளுவதற்கான வாய்ப்புகளைப் பெருக்கியுள்ளது.

லேசர்கள் பயன்படக்கூடிய ஒரு சில இடங்களை மட்டிலுந் தான் இப் பிரிவின்கண் சுட்டிக் காட்டியுள்ளோம். இதன் பயன்கள் நாளும் பெருகிவருகின்றன. புதுப்புது ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைகள் நாளும் வெளி வந்தவண்ணமுள்ளன.

15. லேசர்களால் ஏற்படக்கூடிய உடல் நலக் குறைவுகளும் கையாளவேண்டிய முன்னெச்சரிக்கைகளும்

15·1. லேசர்களால் ஏற்படக்கூடிய உடல்நலக் குறைவுகள்

லேசர்களின் உயர்செறிவுபோன்ற தனிச் சிறப்புப் பண்புகளால் உடல்நலத்திற்கு ஊறுகள் ஏற்படலாம். எனவே, இவற்றைப் பயன்படுத்துபவர்கள் மிகுந்த எச்சரிக்கையுடன் விழிப்பாக இருக்கவேண்டும். வழக்கமாக லேசர்களைச் செய்து விற்கும் நிறுவனங்கள் அவற்றுடன் கையாளப்படவேண்டிய முன்னெச்சரிக்கைக் குறிப்புகளையும் சேர்த்தே அனுப்பும். இனி, லேசர்க் கற்றைகளாலேற்படக்கூடிய தீங்குகளையும் அவற்றைத் தவிர்ப்பதற்கான குறிப்புகளையும் காண்போம்.

லேசர்க் கற்றை திசுக்களின் (tissues) மீது படும்போது ஏற்படுத்தும் உடற்கூறு விளைவுகள் அவற்றின் செறிவையும் அவை எவ்வளவு நேரம் படுகின்றன என்பதனையும் பொறுத்து அமையும். இவ்விரண்டினது பெருக்குத் தொகை (லேசர்க் கற்றையின் செறிவு × லேசர்க் கற்றை திசுக்களின்மீது படும் காலம்) ஒரு வழங்களவு (dose) எனப்படும். இந்த வழங்களவு குறைவாக இருக்குமானால் லேசர் ஒளியால் நன்மை பயக்கும் விளைவுகள் ஏற்படும். ஆனால், வழங்களவு அதிகமானால் உடல்நலத்திற்குக் கேடு பயக்கும். இந்தக் கேடு பயக்கும் பண்பினைத் தான் நாம் புற்றுநோய்க் கழலைகளை அழிப்பதற்குப் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றோம் என்பது ஈண்டு நினைவுகூரத்தக்கது.

இந்தக் கேடு பயக்கும் விளைவுகளைப்பற்றி ஆய்வுகள் செய்யப் பெற்றுள்ளன. அவற்றிலிருந்து ஒரு லேசர்க் கற்றை மூன்றுவித

மான விளைவுகளை உண்டாக்கலாமெனத் தொகுத்துக் கூறலாம். அவையாவன: (1) வெப்ப விளைவு; (2) பொறுக்கு வெப்ப விளைவு (selective thermal effect); (3) மின் விளைவு.

மின்காந்தக் கதிர்வீச்சினது வெப்பத்தையுண்டாக்கும் திறமையின் அடிப்படையில் அமைந்தது வெப்ப விளைவு. இது லேசர் தொடர்ச்சியாகச் செயல்படுகின்றதா அல்லது துடிப்பு லேசரா என்பதனைப் பொறுத்து அமையும்.

வெப்ப ஆற்றலை உட்கவர்தலில் திசுக்கள் பொறுக்கு வினையை (selective action) உடையன. இதனால் ஏற்படுவதுதான் பொறுக்கு வெப்ப விளைவு. லேசர்க் கற்றை உடலின்மீது படும்போது சில பகுதிகளிலுள்ள திசுக்கள் ஆற்றலை உட்கவர்ந்து வெப்பமடைய, அதனருகிலுள்ள மற்றத் திசுக்களின் வெப்பநிலை உயராமல் இருக்கக்கூடும். இதனால், அடுத்தடுத்துள்ள திசுக்கள் பகுதிகளுக்கிடையே வெப்பநிலைச் சரிவுகள் (temperature gradients) ஏற்படுகின்றன. இதன் பயனுகச் சவ்வூடு பரவுதலில் (osmosis) ஏற்படும் மாற்றம் போன்ற உயிரியல் விளைவுகள் (biological effects) ஏற்படக்கூடும்.

லேசர்க் கற்றைத் திறன் செறிவுடையதாகவுள்ளதால் இம் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சினது மின் வெக்டாரின் (electric vector) மதிப்பு மிகமிக உயர்வாக இருக்கும். இதனால் லேசர்க் கற்றை அங்ககத் திசுக்களின் (organic tissues) மீது படும்போது அவற்றினூடே ஓர் உயர் மின்னழுத்தச் சரிவு (voltage gradient) ஏற்படும். இந்த உயர் மின்னழுத்தச் சரிவுகள் மின் விளைவுகள் (electric effects), ஒளிமின் விளைவுகள் (photoelectric effects), வேதியியல் விளைவுகள் (chemical effects), உடற்கூறு - வேதியியல் விளைவுகள் (physico - chemical effects) போன்றவற்றை ஏற்படுத்தும்.

விலங்குகள்மீது லேசர்க் கற்றைகளைச் செலுத்தி இத்தகைய விளைவுகள் ஆராயப்பெற்றுள்ளன. இவற்றிலிருந்து லேசரால் எளிதில் பாதிக்கப்படும் உடல் உறுப்பு கண்ணேயெனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. இருப்பினும் லேசர்த்துறையில் தொடக்கக் கட்டத்திலேயே நாமுள்ளதால் கண்மட்டும்தான் எளிதில் பாதிக்கப்படுமென அறுதியிட்டுக்கூறிவிட முடியாது. மேற்கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் நடத்தி உறுதியான முடிவுகள் பெறப்படும்வரை லேசர்களோடு பழகும்போது மிகுந்த எச்சரிக்கையுடன் இருக்க வேண்டுவது இன்றியமையாதது.

15.2. உடல்நலக் கேட்டிற்கான காரணிகள்

லேசர்கள் ஏற்படுத்தும் விளைவுகள் லேசர்க் கற்றையின் பல்வேறு பண்புகளையும், லேசர் ஒளிபடும் பொருளின் தன்மைகளையும், பயன்படுத்தப் பெறும் சூழ்நிலைகளையும் பொறுத்து அமையும்.

லேசரின் அதிர்வெண், அதன் ஆற்றல் பாய அடர்த்தி (energy flux density) ஆகியவற்றைப் பொறுத்து உடல்நலக் கேடுகள் விளையும். துடிப்பு லேசர்களைப் பயன்படுத்தினால் துடிப்புகளின் கால நீடிப்பும் (pulse duration), அவை எவ்வளவு காலம் விட்டு விட்டு வருகின்றன வென்பதனையும் பொறுத்து அமையும். மேலும், பொதுவாக இக் கேடுகள் கதிர்வீச்சு மூலம் எவ்வளவு தூரத்தில் உள்ளதென்பதனையும் பொறுத்திருக்கும்.

உடல்நலக் கேடுகள் திசுக்களின் பண்புகளையும் பொறுத்தது. இங்கு இருவிதமான காரணிகள் உள்ளன. ஒன்று, எல்லாத் திசுக்களுக்கும் பொதுவான காரணிகள் ; பிறிதொன்று கண்போன்ற ஒவ்வோர் உறுப்பிற்கும் உரிய தனிக் காரணிகள்.

லேசரால் பாதிக்கப்படக்கூடிய பொதுவான சில காரணிகளைப் பின்கண்டவாறு தொகுத்துக் கூறலாம் :

(1) திசுக்களின் நிறத்தன்மை. இதனைப் பொறுத்துத் திசுக்கள் கூடுதலாகவோ அல்லது குறைவாகவோ ஒளியை உட்கவரும். காட்டாக, திசுக்களில் உள்ள மெலனின் (Melanine) எனும் பொருளின் செறிவு அதிகமாயிருந்தால் உட்கவர்தலும் அதிகமாக இருக்கும்.

(2) திசுக்களிலுள்ள குருதி ஓட்டம். குருதி ஓட்டம் அதிகமாக இருந்தால் திசுக்களின் வெப்பநிலை மாறாமல் சீராக இருக்கும். எனவே, வெப்பத்தினாலேற்படும் கேடு குறையும்.

(3) திசுக்கள் ஆற்றலை உட்கவரும் தன்மை அவ்வாற்றலின் அலைநீளத்தைப் பொறுத்தது. இது குறித்த உண்மைகள் நமக்கு அவ்வளவாகத் தெரியாது. கண்ணின் விழித்திரையிலுள்ள திசுக்களைப் பொறுத்தவரையில் 4000 - 5000 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளங்களுக்குட்பட்ட கதிர்வீச்சில் உட்கவர்தல் பெருமமாகவிருக்கும்.

உறுப்புகளின் தனிக் காரணிகளில் கண்பற்றியதனை மட்டிலும் பின்கண்டவாறு தொகுத்துக் கூறலாம் :

(1) கண் பாவையின் அளவு ; பாவையின் அளவு சிறிதாக இருக்குமானால் ஓர் அகன்ற கற்றையாக வரும் கதிர்வீச்சில் கண்ணினுள் நுழையும் ஒளி குறையும் ; கேடுகள் குறையும்.

(2) கார்னியா, விழிவில்லை ஆகியவற்றின் குவிக்கும் திறன் : இவை விழித்திரையில் ஏற்படும் பிம்பத்தின் அளவைப் பாதிக்கும்.

(3) விழிவில்லைக்கும் விழித்திரைக்கும் உள்ள தூரம் : இதுவும் விழித்திரையில் ஏற்படும் பிம்பத்தின் அளவைப் பாதிக்கும்.

(4) கண்ணிலுள்ள ரசங்கள், திசுக்கள் ஆகியவற்றின் தன்மைக்கும் படுவொளியின் அலைநீளத்திற்கும் ஏற்பக் கண்வழிச் சென்று விழித்திரையை அடையும் ஆற்றலில் ஏற்படும் மெலிவு (attenuation).

ஆய்வுக்கூடத்தில் லேசர்க் கற்றை பயன்படுத்தப் பெறும்போதுள்ள சூழலின் நிலைகள் வெளியில் பயன்படுத்தப் பெறும்போதுள்ள சூழ்நிலைகளிலிருந்து மாறுபட்டது. எனவே, லேசரால் ஏற்படும் விளைவுகளும் மாறும். காட்டாக, பனி, மூடுபனி, மழை போன்றவை லேசர்க் கற்றையினைப் பாதிக்கலாம்.

15·3. கண்ணிற்கு ஏற்படும் கேடுகள்

லேசர் ஒளியானது நேராகக் கண்ணில் பட்டாலோ அல்லது எதிரொளித்து வந்து கண்ணில் பட்டாலோ கண்ணில் பெருங் கேடுகளை யுண்டாக்கும். கண்ணிலும் விழித்திரைதான் எளிதில் பாதிக்கப்படும். விழித்திரையின் திசுக்களில் தோய்தல் (coagulation) ஏற்படும். இதன் விளைவாக விழித்திரையின் அப் பகுதியில் பார்வை அழிந்துவிடும். இவ்வாறு தோய்தல் அடையும் விழித் திரைப் பகுதிகள் லெசியான்கள் (lesions) எனப்படும். இவற்றை, சாதாரணமாகக் கண்ணைச் சோதிக்கப் பயன்படும் ஆப்தால்மாஸ்கோப் (ophthalmoscope) எனப்படும் கருவியால் நேரடியாகப் பார்க்கலாம். இத்தகைய லெசியான்கள் லேசர்த் துடிப்பு கண்ணில் பட்ட 5 நிமிடங்களில் உருவாகின்றன. ஒரு லெசியான் உருவாகியதென்று சொன்னால் கண்பார்வை முற்றிலும் போய்விட்டதென்பது பொருளன்று; லெசியான் உருவான அச்சிறு பரப்பு மட்டிலும் பார்க்கும் ஆற்றலை இழந்துவிடும். ஆனால், இத்தகைய லெசியான் ஒன்று மனிதக் கண்ணின் விழித்திரையின் மையப் பகுதியின் அருகே ஏறத்தாழ 0·2 மி. மீ. விட்டமுடைய பரப்பில் ஏற்படுமானால் அது பார்வையைப் பெரிதும் பாதிக்கும் : செய்தித்தாள்களைப் படித்தல் போன்ற வேலைகளைச் செய்யமுடியாமற்போய்விடும். விழித்திரையின் மற்றப் பகுதிகளில் ஏற்படும் லெசியான்கள் பார்வையை அவ்வளவு மோசமாகப் பாதிக்கா. எனவே, லெசியானின் அளவோடுகூட அவை ஏற்படும் இடமும் கண் எந்த அளவிற்குச் சேதமடைகின்றதென்பதனை நிர்ணயிக்கும்.

ஒரு லேசர்க் கற்றை எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும்போது அது லேசரிலிருந்து நேரடியாக வரும் கற்றையினைவிட அகன்ற திண் கோணங்களில் (solid angles) விரியும். எனவே, எதிரொளிப் பானிலிருந்து தூரமாகச் செல்லச்செல்ல ஒரு குறிப்பிட்ட குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் வரும் ஒளி ஆற்றலின் அளவு குறைந்து கொண்டே செல்லும். இதிலிருந்து லேசர் ஒளி எதிரொளிக்கப் படும் இடத்திலிருந்து தொலைவில் இருந்தால் எதிரொளித்து வரும் லேசர் ஒளியால் கண் பாதிக்கப்படுவது குறையும் என்று தெரிகின்றது. இவ்வாறுதான் இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை. ஏனெனில், கண்ணின் கார்னியாவானது தொலைவிலுள்ள பொருள்களை விழித்திரையின்மீது சிறிய உருவமுடைய பிம்பமாக விழும்படி குவிக்கின்றது. எனவே, தொலைவிலுள்ள பொருள் களில் எதிரொளித்து வந்து விழியினுள் நுழையும் ஆற்றலின் அளவு குறைவாக இருந்தாலும் அவை சிறிய பிம்பத்தை உருவாக்கும் வகையில் சிறிய பரப்பளவில் குவிக்கப்பெறுவதால் விழித்திரையில் ஆற்றல் அடர்த்தி (energy density) அதிகரிக்கும். இதிலிருந்து லேசர் மூலத்திலிருந்து தொலைவிலிருந்தால் அதனால் ஏற்படும் ஆபத்திலிருந்து தப்பிவிடலாமென்று எண்ண முடியாது.

15.4. கேடு விளைவிப்பதில் பயன்தொடக்க மட்டம்

லேசர்க் கற்றையின் ஆற்றல் ஒரு குறிப்பிட்ட மட்டத்திற்குக் கீழாக இருக்குமானால் அது எவ்விதக் கேட்டினையும் செய்யாது. இம் மட்டத்திற்கு மேலிருந்தால் தீங்கு விளைவிக்கும். இது பயன் தொடக்க மட்டம் (threshold level) எனப்படும். இது குறித்து ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன. இதற்கு முயல்கள் பயன்படுத்தப்பெற்றுவருகின்றன. முயல்களின் கண்களுக்கும் மனிதக் கண்களுக்குமுள்ள தொடர்புகள் முன்னரே நன்கு ஆராயப்பட்டுள்ளன வாதலால் முயல்களின் கண்களில் லேசர்கள் ஏற்படுத்தும் விளைவுகளைக் கொண்டு மனிதக் கண்களைக் காத்துக் கொள்வதுபற்றிய வழிகளைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

அண்மைக் காலத்தில் சிறுவகைக் குரங்குகளின்மீது ஆராய்ச் சிகள் நடைபெற்றுவருகின்றன.

லேசர்க் கற்றைகளின் பயன்தொடக்க ஆற்றல் (threshold energy) பற்றிய முடிவான கருத்துகள் இன்னும் உருவாகவில்லை யெனினும் ஸ்வோப் (Swope), கோயஸ்ட்லர் (Koestler) ஆகி யோரின் முடிவுகளை ஒரளவிற்கு நாம் எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

முயல்களின் கண்களில் செய்த ஆய்வுகளின் முடிவுகளைக் கொண்டு மனிதக் கண்ணிற்கான பயன்தொடக்க ஆற்றலின்

மதிப்பு லேசரின் சிறப்பியல்புகளை எவ்வாறு சார்ந்துள்ளதென் பதனை அவர்கள் குறித்துள்ளார்கள். அவையாவன :

லேசரின் வெளிப்பாடு துடிப்புகளாக உள்ளதெனவும், லேசர்க் கற்றையில் ஆற்றல் சமமாகப் பங்கிடப்பெற்றுள்ளதெனவும், அதன் கோணப் பரவல் (angular spread) மிகமிகச் சிறிதெனவும் கொண்டால், கண்ணின் விழித்திரையில் தோய்தலை (coagulation) ஏற்படுத்தத் தேவையான லேசர் ஆற்றலின் சிறும மதிப்பு (minimum value),

$$E_t = \frac{A_r \; I_t}{(TA)\,F} \longrightarrow (15.1)$$

இங்கே A_r என்பது விழித்திரையிலேற்படும் பிம்பத்தின் பரப் பளவு (இந்தப் பரப்பின் கீழ் எல்லை $4{\cdot}6 \times 10^{-5}$ மி. மீ.^{2}) ; I_t என்பது விழித்திரையின்மீது பயன்தொடக்க ஆற்றல் அடர்த்தி; T என்பது கண்ணிலுள்ள ஒளி ஊடுருவும் பொருள்களின் செலுத்துகை; A என்பது விழித்திரையின் உட்கவர்தல் ; F என்பது கண்ணி னுள் நுழையும் லேசர் ஆற்றலின் பகுதி (fraction). இவற்றுள் A_r, F ஆகியவை லேசரையும், லேசரைப் பார்க்கும் சூழ்நிலை களையும் சார்ந்த அளவுகள்.

இந்தச் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்தி லேசர் ஆற்றலின் பயன்தொடக்க மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். காட்டாக, 1 மி. மீ. விட்டமுடைய நியோடிமியம் கலப்புடைய கண்ணாடி - நார் லேசரிலிருந்து 10,600 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலைநீளத்தில் 5° பரவல் கோணத்தில் துடிப்புகளாக வரும் லேசர்க் கற்றையினை ஒருவர் நேரடியாகப் பார்ப்பதாகக் கொள்வோம். இத்தகைய நிலைகளில் பயன் தொடக்க மதிப்பு $E_t = 1{\cdot}5 \times 10^{-3}$ ஜூல்களாக இருக்கும். இதைவிட அதிகமான ஆற்றலுடைய லேசர் வெளிப்பாடு கண்ணில் பட்டால் கண் சேதமடையும். இதேபோல, மாணிக்க லேசரிலிருந்து 0·5° பரவல் கோணத்தில் 6940 ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலை நீளத்தில் வரும் லேசர்க் கற்றை வரம்பிலிக்குக் (infinity) குவிக்கப் பட்டிருப்பதாகவும், இந்தக் கற்றையிலிருந்து வரும் ஆற்றல் முழு வதும் கண்ணினுள் நுழைவதாகவும், அஃதாவது F = 1 எனவும் கொண்டால் $E_t \simeq 10^{-4}$ ஜூல்கள். எனவே, லேசரின் வெளிப் பாட்டுத் திறன் 10^{-4} வாட்டுகளுக்கு மேலிருந்தால் விழித்திரையின் மீது ஏறத்தாழ $1{\cdot}7 \times 10^{-2}$ மி. மீ.^{2} பரப்பளவுள்ள பகுதி சேத மடையும்.

15.5. தற்காப்பு முறைகள்

லேசர்க் கற்றைகளின் அபாயத்திலிருந்து கண்களைக் காத்துக் கொள்ளத் தனிவகைக் கண்ணாடிகளை அணிந்துகொள்வது நலம். இவற்றில் ஒளியை உட்கவரும் இரண்டு கண்ணாடி வடிகட்டிகள் (glass filters) ஒன்றன் பின் ஒன்ருக விருக்கும். இவ்விரண்டு வடிகட்டிகளுக்கும் பின்னால் ஒரு தெளிவான பிளாஸ்டிக் தட்டு இருக்கும். இத்தகைய ஒரு கண்ணாடி நியோடிமியம் - கண்ணாடி லேசரிலிருந்து வரும் 500 ஜூல் ஆற்றலுக்குக்கூட ஈடுகொடுக்கும் எனவும் அதே நேரத்தில் கண்ணையும் பாதுகாக்குமெனவும் அதனை உண்டுபண்ணியவர்கள் கூறுகின்ருர்கள்.

இத்தகைய கண் பாதுகாப்புக் கண்ணாடிகள் இலேசானவையாக இருக்கவேண்டும். இல்லெனின் அணிபவர் எளிதில் களைப்படையக் கூடும். அமெரிக்கன் ஆப்டிகல் கம்பெனியினர் (American Optical Company) சிவப்பு, புறச்சிவப்புப் பகுதியில் கண்ணுக்குப் பாதுகாப்பளிப்பதற்கும் அதே நேரத்தில் பார்க்கும் ஒளி குறையாமலிருப்பதற்கும் BG - 18 கண்ணாடி எனப்படும் வடிகட்டும் பொருளைப் பயன்படுத்தலாமெனக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். ஆனால், இக் கண்ணாடியின் புறப்பரப்பில் சிறு வெடிப்புகள் ஏற்படக்கூடும். எனவே, இதனேடுகூட, இதற்கு முன்னால் குறைந்த உட்கவர் எண்ணுடைய BG - 38 எனப்படும் ஒரு வடிகட்டியையும் பயன்படுத்தவேண்டும்.

லேசர்களைக் கையாள்பவர்களும், அங்குச் செல்பவர்களும், லேசரால் ஏற்படக்கூடிய ஆபத்துகளை உணர்ந்திருக்கவேண்டும். சில முன்னெச்சரிக்கைகளை, தற்காப்பு முறைகளை அறிந்திருக்க வேண்டும். அவற்றுள் முக்கியமான சிலவற்றைப் பின்கண்ட வாறு தொகுத்தளிக்கலாம் :

(1) லேசர் பயன்படுத்தப்பெறும் அறையிலுள்ள புறப் பரப்புகள் (surfaces) யாவும் பளபளப்பற்றனவாகவும், ஒழுங்காக எதிரொளிப்பை நிகழ்த்தாதனவாகவும் இருக்கும்படி வண்ணப் பூச்சடிக்கப்பட வேண்டும். மேலும், புறப்பரப்புகள் வெப்பம் தாங்குவனவாகவும், அதாவது எளிதில் தீப்பிடிக்காதனவாகவும் இருக்கவேண்டும்.

(2) லேசர் பயன்படுத்தப்பெறும் பகுதிகளில் லேசர்க் கற்றை செல்லக்கூடிய வழியிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் (ஏறக்குறைய 2 மீட்டர்கள்) விலகியே இருக்கவேண்டும். எதிர்பாராதபடி யாரும் அங்கு வாராதவண்ணம் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும்.

(3) எக் காரணத்தை முன்னிட்டும் லேசரிலிருந்து வரும் கற்றையினை நேரடியாகப் பார்க்கக்கூடாது. பொருள்களின்மீது பட்டு எதிரொளித்து வரும் லேசர்க் கற்றைகளையும் தவிர்க்க வேண்டும். பாதுகாப்பான வடிகட்டும் கண்ணாடிகளை அணிந்திருப்பது நலம். ஆனல், இவற்றை அணிந்திருக்கின்றேமே என்ற அலட்சியம் கூடாது; நேரடியாகப் பார்ப்பதனை எப்போதும் தவிர்க்கவேண்டும்; அதிலும் குறிப்பாக உயர்திறன் படைத்த லேசர்களைக் கையாளும்போது மிகமிக எச்சரிக்கையாக இருக்க வேண்டும்.

(4) லேசர் பயன்படுத்தப் பெறும் அறைகளில் உயர்ந்த அளவில் வெளிச்சம் இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இதனுல் கண்பாவையின் அளவு குறுகியே இருக்கும். எனவே, நாமறியாமல் தப்பித்தவறி லேசர் ஒளி கண்ணினுள் நுழைந்தாலும் அதன் அளவு குறைவாகவே இருக்கும்.

(5) லேசரோடு பழகுபவர்கள் அடிக்கடி கண் மருத்துவரிடம் சென்று கண்ணைச் சோதித்துக் கொள்ளவேண்டும்.

(6) லேசர்க் கற்றை தோலின்மீது படாமலும் பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும்.

(7) தடுப்பு உடைகளை அணிந்திருப்பதாலோ அல்லது சில தடுப்புக் களிம்புகளை உடம்பில் தடவியுள்ளதாலோ லேசர்க் கற்றையால் தோலுக்கு அபாயம் ஏற்படாதெனஎண்ணி அலட்சியமாக இருக்கக்கூடாது.

(8) கண்ணிலோ அல்லது தோலிலோ எவ்வகை மாற்றம் காணப்பட்டாலும் உடனடியாகத் தேர்ந்த மருத்துவரை அணுக வேண்டும்.

(9) கண்ணுக்குப் புலப்படா லேசர்க் கற்றைகளையோ அல்லது மிக உயர்ந்த லேசர்க் கற்றைகளையோ பயன்படுத்துவோர் மிகுந்த விழிப்புடன் இருக்கவேண்டும். அவை உடல்மீது படாவண்ணம் தகுந்த எச்சரிக்கையுடனிருக்கவேண்டும். அவை தப்பித்தவறி உடல்மீது பட்டதாக ஐயம் தோன்றினுலும் தகுந்த மருத்துவரிடம் உடன் காட்டவேண்டும்.

படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Abragam, A.,—The Principles of Nuclear Magnetism, Oxford University Press, 1961.
2. Andrew, E.R.,—Nuclear Magnetic Resonance, Cambridge University Press, 1955.
3. Beran, M. J. and Parrent, G. B.,—Theory of Partial Coherence, Prentice - Hall, 1964.
4. Birnbaum, G.,—Optical Masers, Academic Press, 1964.
5. Bloembergen, N.,—Non linear Optics, Benjamin, 1965.
6. Bloom, A. L.,—Gas Lasers, Wiley, 1968.
7. Born, M.,—Atomic Physics, Blackie, 1962.
8. Born, M. and Wolf, E.,—Principles of Optics, Pergamon Press, 1965.
9. Brotherton, M.,—Masers and Lasers, Mc Graw Hill, 1964.
10. Brown, R.,—Lasers : Tools of Moden Technology. Double Day Science Series, 1968.
11. Coulson, C. A.,—Valence, Oxford University Press, 1961,
12. Eaglesfield, C. C.,—Laser Light, Macmillan, 1967.
13. Fishlock, D. (ed.)—A Guide to the Laser, American Elsevier, 1967.
14. Fox, J.,—Proceedings of the symposium on Optical Masers, New York, Polytechnic Press, 1963.
15. Garbuny, M.,—Optical Physics, Academic Press, 1965.
16. Garrett, G. C. B.,—Gas Lasers, Mc Graw Hill, 1967.
17. Grivet, P. and Bloembergen, N. (eds.), Quantum Electronics III, Columbia University Press, 1964 (2 vols.)
18. Hannay, N. B.,—Semi conductors, Reinhold, 1959.
19. Heavens, O. S.,—Optical Masers, Methuen, 1964.
20. Heitler, W.,—The Quantum Theory of Radiation, Oxford University Press, 1954.
21. Herzberg, G.,—Atomic Spectra and Atomic Structure, Dover, 1944.

22. Kittel, C.,—Introduction to Solid State Physics, Wiley, 1971.

23. Lengyel, B. A.,—Introduction to Laser Physics, Wiley, 1966.

24. Levine, A. K., (ed.),—Lasers: A Series of Advances, Vol. 1, Marcel Dekker, 1966.

25. Low, W.,—Paramagnetic Resonance in Solids, Solid State Physics, Supplement 2, Academic Press, 1960.

26. Melia, T. P.,—An Introduction to Masers and Lasers, Chapman and Hall, 1967.

27. Siegmann, A. E.,—Microwave Solid State Masers, Mc Graw Hill, 1964.

28. Siegmann, A. E.,—An Introduction to Lasers and Masers, Mc Graw Hill, 1971.

29. Singer, J. R.,—Masers, Wiley, 1959.

30. Singer, J. R.,—Advances in Quantum Electronics, Columbia University Press, 1961.

31. Smith, W. V. and Sorokin, P. P.,—The Laser, Mc Graw Hill, 1966.

32. Steele, E. L.,—Optical Lasers in Electronics, Wiley, 1968.

33. Thornton, P. R., The Physics of Electro-luminiscent Devices, Barnes and Noble, 1967.

34. Thorp, J. S.,—Masers and Lasers: Physics and Design, Macmillan, 1967.

35. Townes C. H. and Schawlow, A. L.,—Microwave Spectroscopy, Mc Graw Hill, 1955.

36. Troup, G.,—Masers and Lasers, Methuen, 1963.

37. Vuylsteke, A.,—Elements of Maser Theory, Van Nostrand, 1962.

38. Whiffen, D. H.,—Spectroscopy, Wiley, 1966.

39. Yariv, A.,—Quantum Electronics, Wiley, 1967.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute zero — தனிச்சுழி
Absorption coefficient — உட்கவர் எண்
Acceptor level — ஏற்பு மட்டம்
Acceptor semiconductor — ஏற்பு குறைகடத்தி
Acqueous humour — முன்கண் ரசம்
Actinide — ஆக்டினைடு
Active satellite — செயலுடைய துணைக்கோள்
Adhesive — பசை
Adiabatic rapid passage — வெப்பம் மாறா விரைவான நிலைமாற்றம்
Aerial — ஏரியல்
— Directional aerial — திசைப்பண்புடைய ஏரியல்
Alignment — இணைப்பொருமை
Allowed transition — அனுமதிக்கப்பட்ட பெயர்வு
Alloy — உலோகக் கலவை
Alum — படிகாரம்
Ammonia maser — அம்மோனியா மேசர்
Amplification — பெருக்கம்
Amplifier — பெருக்கி
Angstrom — ஆங்க்ஸ்ட்ராம்
Angular frequency — கோண அதிர்வெண்
Angular momentum — கோண உந்தம்
Anharmonicity — சீரிசையின்மை
Antenna — அன்டென்னா
Antenna loss — அன்டென்னா இழப்பு
Anti parallel — எதிரிணை
Aperture — தொளை

Astronomy — வானியல்
Atmospheric pressure — வளியழுத்தம்
Atomic structure — அணு கட்டமைப்பு
Attenuation — மெலிவு, மெலிதல்
Axis — அச்சு

B

Background noise — பின்னணி இரைச்சல்
Back lobe le el — பின்மடல் மட்டம்
Bandwid h — பட்டை அகலம்
Beam — கற்றை
Bellows — துருத்தி
Black body radiation — கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு
Bohr magneton — போர் மாக்னட்டான்
Boiling point — கொதிநிலை
Bond — பிணைப்பு
—Chemical bond — வேதியியல் பிணைப்பு
—Covalent bond — சக பிணைப்பு
—Ionic bond — அயனிப் பிணைப்பு
—Metallic bond — உலோகப் பிணைப்பு
Bound state — கட்டுண்ட நிலை
Brewsters angle — புரூஸ்டர் கோணம்
Bridge circuit — மின்சுற்றுப் பாலம்
Brightness — பொலிவு

C

Caesium laser — சீசியம் லேசர்
Calorimeter — கேலரிமீட்டர்
Cancer — புற்றுநோய்
Capacity — மின்தேக்கு திறன்
Carrier frequency — ஊர்தி அதிர்வெண்
Carrier wave — ஊர்தி அலை
Cathode — எதிர்மின்வாய்
Cavity — பொந்து
C - axis — C - அச்சு
Characteristic impedance — சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு
Characteristics — சிறப்பியல்புகள்
Chelate — கொடுக்கிணைப்புப் பொருள்
Chelate laser — கொடுக்கிணைப்பு லேசர்

Chelating agent — கொடுக்கிணைப்பி
Circularly polarized — வட்ட முனைவாக்கம் பெற்ற
Closed shell — முற்றுப்பெற்ற கூடு
Coaxial cable — பொது அச்சுக் கேபிள்
Coherent — ஓரியல் பண்புடைய
Coincidence — ஒன்றிப்பு
Comb structure — சீப்பு அமைப்பு
Communication system — செய்தித் தொடர்பு அமைப்பு
Component — கூறு
Concentration — செறிவு
Condenser — மின்தேக்கி
Conduction band — கடத்தல் பட்டை
Conductor — கடத்தி
Confocal — ஒரு குவிய
Constant — மாறிலி
Coordinate — ஆயம்
Core — உள்ளகம்
Cornea — கார்னியா
Corpuscular theory — துகள் கொள்கை
Corrosion — அரிப்பு
Coupling — இணைப்பு
Crest — முகடு
Cross - section — குறுக்கு வெட்டு
Crystal axis — படிக அச்சு
Crystal lattice — படிகப் பின்னல்
Crystalline field — படிகப் புலம்
Cubic symmetry — கனசதுரச் சமச்சீர்
Cutting tool — வெட்டு கருவி
Cyclotron frequency — சைக்ளட்ரான் அதிர்வெண்
Cyclotron resonance laser — சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசர்

D

D. C. Voltage — ஒருதிசை மின்னழுத்தம்
Decibel — டெசிபெல்
Defect — வழு
Deformation — வடிவமாற்றம்
Degenerate levels — ஒரே ஆற்றலுடைய மட்டங்கள், ஓராற்றல் மட்டங்கள்

Demodulation — அலைப்பண்பிறக்கம்
Density — அடர்த்தி
Depolarization ratio — முனைவு நீக்க விகிதம்
Depth of focus — குவித்தல் ஆழம்
Dewar flask — திவார் குடுவை
Diagnostic tool — நோயறுதி செய்யும் கருவி
Diameter — விட்டம்
Diamond — வைரம்
Diathermic needle — வெப்பமூட்டும் ஊசி
Diatomic molecule — ஈரணு மூலக்கூறு
Dielectric constant — மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி
Dielectric loss — மின்கடத்தாப் பொருள் இழப்பு
Diffraction — விளிம்பு விளைவு
Diketone — டைகீட்டோன்
Dimension — பரிமாணம்
Diode — டையோடு
Dipole moment — இருமுனை திருப்புதிறன்
Directionality — திசைப்பண்பு
Direct transition laser — நேரடியான பெயர்வு லேசர்
Disc — வட்டு
Discharge — மின்னிறக்கம்
Discrete states — தனித்தனியான நிலைகள்
Dissociative excitation — பிரிகைக் கிளர்ச்சி
Donor level — கொடை மட்டம்
Donor semiconductor — கொடை குறை கடத்தி
Doppler broadening — டாப்ளர் வரிஅகல அதிகரிப்பு
Deppler effect — டாப்ளர் விளைவு
Dose — வழங்களவு
Doublet — இரட்டை
Drift curve — நகர்வுக் கோடு
Drift velocity — நகர்வுத் திசைவேகம்
Drill — தொளைப்பான்
Dual nature — இருமைப் பண்பு
Dye laser — சாயலேசர்

E

Easitron — ஈசிட்ரான்
Eccentricity — வேற்றுமைய எண்

Effective spin — செயலுறு தற்சுழற்சி
Efficiency — பயனுறு திறன்
Electrical conductivity — மின் கடத்து திறன்
Electric vector — மின் வெக்டார்
Electrode — மின்வாய்
Electromagnet — மின்காந்தம்
Electron — எலெக்ட்ரான்
Electron configuration — எலெக்ட்ரான் கோலம்
Electronic spectra — எலெக்ட்ரானிய நிறமாலை
Electronic - vibration - rotation spectrum — எலெக்ட்ரானிய - அதிர்வு - சுழல் நிறமாலை
Electron impact — எலெக்ட்ரான் மோதல்
Electron volt — எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டு
Electrostatic separator — நிலைமின் பிரிப்பான்
Elliptically polarized — நீள்வட்ட முனைவாக்கம் பெற்ற
Emission line — வெளிவிடு வரி
Empty space — வெட்டவெளி
Energy band — ஆற்றல் பட்டை
Energy distribution — ஆற்றல் பகிர்வு
Energy gap — ஆற்றல் இடைவெளி
Energy level — ஆற்றல் மட்டம்
Energy loss — ஆற்றலிழப்பு
Einstein coefficients — ஐன்ஸ்டைன் கெழுக்கள்
Equivalent — இணைமாற்று
Etching — செதுக்குதல்
Ether — ஈதர்
Excited state — கிளர்ச்சியுற்ற நிலை
Expansion coefficient — பெருக்க எண்
Exposure time — திறப்பு நேரம்
External agent — புறச்செயலி
External field — புறப்புலம்
Extrinsic semiconductor — புறவியலான குறைகடத்தி
Eye - ball — கண்கோளம்
Eye lens — கண் வில்லை

F

Farad — ஃபாரடு
Faraday cell — ஃபாரடே மின்கலம்

Far infrared	— தொலை புறச்சிவப்பு
Feed back	— பின்னூட்டல்
Fermi level	— ஃபெர்மி மட்டம்
Field gradient	— புலச் சரிவு
Field strength	— புல வலு
Figure of merit	— தகுதி எண்
Filling factor	— நிரப்புக் காரணி
Filter	— வடிகட்டி
Flash lamp	— ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு
Flash photolysis	— ஒளித்தெறிப்பு ஒளியால் பிரிகை
Fluorescence	— ஒளிர்தல்
Fluorescent line	— ஒளிர்வு வரி
Flux	— பாயம்
Focus	— குவியம்
Focuser	— குவிப்பான்
Fog	— மூடுபனி
Forbidden transition	— விலக்கப்பட்ட பெயர்வு
Forward bias	— முன்னேக்கிய மின்னழுத்தச் [சார்பு
Four level laser	— நான்மட்ட லேசர்
Free	— கட்டற்ற
Frequency drift	— அதிர்வெண் இழுப்பு
Frequency range	— அதிர்வெண் நெடுக்கம்
Frequency standard	— அதிர்வெண் படித்தரம்

G

Gadolinium	— கடோலினியம்
Gain	— ஈட்டம்
Gallium arsenide	— கேலியம் ஆர்செனைடு
Gas cell	— வாயுக் கலம்
Gas laser	— வாயு லேசர்
Geissler tube	— கெய்ஸ்லர் குழாய்
Generator	— இயற்றி
Germanium	— ஜெர்மானியம்
Gradient	— சரிவு
Grating spectrograph	— கீற்றணி நிறமாலை வரைவி
Gravitation constant	— கவர்ச்சி எண்
Gross selection rule	— மொத்த தேர்வு விதிகள்

Ground state — தரை நிலை
Group theory — குழுக் கொள்கை
Group velocity — குழுத் திசை வேகம்
Gyro - magnetic ratio — சுழலியக்க - காந்த விகிதம்

H

Half bandwidth — அரைப் பட்டை அகலம்
Halogen lasers — உப்பீனிகள் லேசர்கள்
Harmonics — அடுக்குச் சுரங்கள்
Heat of reaction — வினை வெப்பம்
Helix — திருகு சுழல்
Hertz — ஹெர்ட்சு
Hole — மின்தொளை
Hologram — ஓலோகிராம்
Holography — ஓலோகிரஃபி
Homogeneous — ஒருபடித்தான
Horizontal — கிடை
Horn antenna — கொம்பு அன்டென்ன
Host lattice — புரவலர் பின்னல்
Hydrated crystal — ஹைடிரஜனுடைய படிகம்
Hyperbola — அதிபரவளையம்
Hyperfine interaction — மீநுண் செயலெதிர்ச் செயல்

I

Ion — அயனி
Ionic laser line — அயன லேசர் வரி
Ionosphere — அயனமண்டிலம்
Imaginary part — கற்பனைப் பகுதி
Impedance — மின் எதிர்ப்பு
Impurity semiconductor — வேற்றுப்பொருள் கலந்த குறைகடத்தி
Incandescent lamp — வெண்சுடர் விளக்கு
Incident wave — படு அலை
Incoherent — ஓரியல் பண்பற்ற
Inelastic collision — மீட்சியிலா மோதுகை
Inert gas — மந்த வாயு
Information wave — செய்தி அலை
Inhomogeneous — ஒரு படித்தானதல்லாத

Input power — உள்ளிடும் திறன்
Input signal — உள்ளிடும் சைகை
Insulator — காப்பான்
Integrate — தொகை காண்
Intensity — செறிவு
Intensity of magnetization — காந்தமாக்கல் செறிவு
Interaction — செயலெதிர்ச் செயல்
Interband transition — பட்டையிடைப் பெயர்வு
Interference — குறுக்கீடு
Interferometer — குறுக்கீடு விளைவு மானி
Intermolecular force — மூலக்கூறிடை விசை
Internal crystalline field — படிக உள்மின்புலம்
Internal energy — உள்ளாற்றல்
Inter nuclear axis — அணுக்கரு இடை அச்சு
Intrinsic semiconductor — உள்ளார்ந்த குறைகடத்தி
Invar — இன்வார்
Inverted population — தலைகீழான தொகை
Inverting power — தலைகீழாக்கும் திறன்
Isolating crystal — தனிமைப்படுத்தும் படிகம்
Isotope — ஐசோடோப்பு

J

j - j coupling — j - j இணைப்பு
Junction diode — சந்தி டையோடு

K

Kerr cell — கெர் மின்கலம்
Kilo — கிலோ
Kinetic theory — இயக்கக் கொள்கை
Klystron — கிளைஸ்ட்ரான்

L

Lande's splitting factor — லான்டேயின் பிரிக்கும் காரணி
Lanthanum — லாந்தனம்
Laser — லேசர்
Laser action — லேசர் நிகழ்ச்சி
Laser drill — லேசர் தொளைப்பான்
Lattice — பின்னல்

Lens — வில்லை
Lidar — லிடார்
Life time — வாழ்நாள்
Line width — வரி அகலம்
Liquid laser — திரவ லேசர்
Lithium — லிதியம்
Loaded Q — சுமையேற்றிய பண்புக் காரணி
Lobe — மடல்
Local field — உள் புலம்
Loss coefficient — இழப்பு எண்
Loud speaker — ஒலிப்பான்
Low noise amplification — தாழ் இரைச்சல் பெருக்கி
L - S coupling — L - S இணைப்பு
Luminous spot — ஒளிப்புள்ளி

M

Magnetically coupled — காந்த இணைப்புப் பெற்ற
Magnetic field — காந்தப் புலம்
Magnetic vector — காந்த வெக்டார்
Magnetization — காந்தமாக்கல்
Magneto - optical laser — காந்த ஒளியியல் லேசர்
Magneto - optical shutter — காந்த ஒளியியல் அடைப்பு
Major axis — பேரச்சு
Maser — மேசர்
Maser action — மேசர் நிகழ்ச்சி
Mass — நிறை
Maximum — பெருமம்
Maxwell - Boltzmann distribution — மாக்சுவெல் - போல்ட்சுமென் பகிர்வு
Medium — ஊடகம்
Mega — மெகா
Mercury laser — பாதரச லேசர்
Metastable state — சிற்றுறுதியான நிலை
Meteorology — வானிலையியல்
Metrology — அளவுகளியல்
Micron — மைக்ரான்
Microphone — மைக்ரோஃபோன்
Microscope — நுண்ணோக்கி

Microsecond — மைக்ரோ நொடி
Microwave — மைக்ரோ அலை
Microwave spectroscopy — மைக்ரோ அலை நிறமாலையியல்
Minimum — சிறுமம்
Mode — பாணி
Mode distortion — பாணி உருக்குலைவு
Modulation — அலைப்பண்பேற்றம்
Modulus of elasticity — மீட்சிக் குணகம்
Molecular bandwidth — மூலக்கூறு பட்டை அகலம்
Molecular dissociation — மூலக்கூறுகள் பிரிகை
Molecular spectroscopy — மூலக்கூறு நிறமாலையியல்
Molecule — மூலக்கூறு
Moment of inertia — நிலைமை திருப்பு திறன்
Monochromaticity — ஒற்றை நிறத் தன்மை
Multiplicity — பல்வகைப்பாடு

N

Natural width — இயல்பான அகலம்
Near infrared — அண்மைப் புறச்சிவப்பு
Negative spin temperature — தற்சுழற்சி எதிர் வெப்பநிலை
Neodymium — நியோடிமியம்
Neutron — நியூட்ரான்
Nitrate — நைட்ரேட்டு
Noble gas — மேதகு வாயு
Noise — இரைச்சல்
Noise figure — இரைச்சல் எண்
Noise source — இரைச்சல் மூலம்
Noise temperature — இரைச்சல் வெப்பநிலை
n - type semiconductor — n - வகை குறைகடத்தி
Nuclear magnetic moment — அணுக்கரு காந்த திருப்பு திறன்
Nuclear magnetic resonance — அணுக்கரு காந்த ஒத்ததிர்வு
Nucleus — அணுக்கரு

O

Observer — நோக்காளர்
Octahedral symmetry — எண்முக உருவச் சமச்சீர்
Oersted — ஓர்ஸ்டெட்டு
Ohmic loss — ஓம்வகை இழப்பு

Opthalmoscope — கண்ணமைப்புக் காட்டி
Optical antenna — ஒளியியல் அன்டென்னா
Optical fibre — ஒளியியல் நார்ப்பொருள்
Optical maser — ஒளியியல் மேசர்
Optical pumping — ஒளியியல் ஏற்றம்
Optical strain — ஒளியியல் திரிபு
Orbit — சுற்றுப் பாதை
Orbital — வீதிநிலை
Organic liquid — அங்ககத் திரவம்
Orientation — முகப்பு நிலை
Oscillation — அலைவு
Oscillation pulse — அலைவுத் துடிப்பு
Oscillator — அலையியற்றி
Output — வெளிப்பாடு
Output circuit — வெளிப்பாடு சுற்று
Output power — வெளிப்பாட்டுத் திறன்
Oven — உலை
Overlap — மேற்பொருந்து

P

Pair spectra — சோடி நிறமாலை
Parabolic antenna — பரகோள அன்டென்னா
Parallax — இடமாறு தோற்றம்
Parallel — இணை
Paramagnetism — பராகாந்தம்
Parameter — அளபுரு
Particle — துகள்
Particular selection rule — தனிப்பட்ட தேர்வு விதி
Passive satellite — செயலற்ற துணைக்கோள்
Pauli's exclusion principle — பௌலியின் தவிர்கைத் தத்துவம்
Peak — உச்சி
Performance — செயல்திறம்
Periodic structure — காலாந்தர அமைப்பு
Perpendicular — நேர்குத்து
Perturbation — சிற்றலைவு
Phase — கட்டம்
Phonon spectrum — ஃபோனான் நிறமாலை
Photoconduction — ஒளி கடத்தல்

Photo dectector — ஒளி உணர்வு கருவி
Photo electric effect — ஒளியின் விளைவு
Photograph — ஒளிப்படம்
Photomicrography — மைக்ரோ ஒளிப்படவியல்
Photomultiplier — ஒளி பன்மடங்காக்கி
Photon — ஃபோட்டான்
Piston cell — உந்து தண்டு கலம்
Pitch — புரியிடைத் தூரம்
Plane — தளம்
Plane polarized — தளமுனைவாக்கம் பெற்ற
p - n junction — p - n சந்தி
p - n junction injection laser — p - n சந்தி உட்செலுத்தும் [லேசர்
Polar angle — முனைவு கோணம்
Polarizability — முனைவாகு திறன்
Polarization — முனைவாக்கம்
Polarized wave — முனைவாக்கம் பெற்ற அலை
Polaroid — போலராய்டு
Polyatomic molecule — பலவணு மூலக்கூறு
Population — தொகை
Population inversion — தொகைத் தலைகீழாக்கம்
Potential barrier — மின்னழுத்தத் தடுப்பு
Potential energy function — நிலைஆற்றல் சார்பு
Potential gradient — மின்னழுத்தச் சரிவு
Power — திறன்
Pre - amplifier — தொடக்கப் பெருக்கி
Precessional motion — அச்சுச் சுழற்சி இயக்கம்
Pressure — அழுத்தம்
Principle of uncertainty — ஐயப்பாட்டுத் தத்துவம்
Probability — நிகழ்திறம்
Probe — சலாகை
Propagation — பரவுதல்
p - type semiconductor — p - வகை குறைகடத்தி
Pulse amplification — துடிப்புப் பெருக்கம்
Pulse technique — துடிப்பு உத்தி
Pump — ஏற்றம்
Pumping — ஏற்றுதல்
Pumping frequency — ஏற்ற அதிர்வெண்

Pumping rate — ஏற்றும் வீதம்
Pupil — கண்பாவை
Pure rotational spectrum — தூய சுழல் நிறமாலை
Push - pull maser — தள்ளு - இழு மேசர்

Q

Q - switched laser — Q - சுவிட்சு லேசர்
Quality factor — பண்புக் காரணி
Quantum device — குவான்டம் சாதனம்
Quantum mechanics — குவான்டம் எந்திரவியல்
Quantum number — குவான்டம் எண்
—Inner quantum number — உள் குவான்டம் எண்
—Magnetic quantum number — காந்தக் குவான்டம் எண்
—Magnetic spin quantum number — காந்த - தற்சுழற்சி [குவான்டம் எண்
—Orbital quantum number — வீதிநிலைக் குவான்டம் எண்
—Principal quantum number — முதன்மைக் குவான்டம் எண்
—Total quantum number — மொத்தக் குவான்டம் எண்
Quantum theory — குவான்டம் கொள்கை
Quartz — குவார்ட்சு

R

Radar — ராடார்
Radian — ரேடியன்
Radiationless transfer — கதிர்வீசாப் பெயர்வு
Radiative transfer — கதிர்வீசு பெயர்வு
Radio frequency (r. f.) — ரேடியோ அதிர்வெண்
Radiometer — கதிர்வீச்சுமானி
Raman effect — இராமன் விளைவு
Range — நெடுக்கம்
Range finder — தொலைமானி
Rare earth element — அருமண் தனிமம்
Rectangular — செவ்வக
Reflection — எதிரொளிப்பு
Reflection coefficient — எதிரொளிப்புக் கெழு
Reflectivity — எதிரொளிக்கும் திறன்
Reflector — எதிரொளிப்பான்
Refraction — ஒளி விலகல்

Refractive index — ஒளி விலகலெண்
Refractory oxide — வெப்பம் தாங்கவல்ல ஆக்சைடு
Regeneration — மீட்டுருவாக்கல்
Relative velocity — ஒப்பு திசைவேகம்
Relaxation phenomenon — தளர்வு நிகழ்ச்சி
Relaxation time — தளர்வு நேரம்
Resistance — தடை
Resistivity — தடை எண்
Resolution — பகுப்பு
Resolving power — பகுதிறன்
Resonance absorption — ஒத்ததிர்வு உட்கவர்தல்
Resonance frequency — ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண்
Resonant circuit — ஒத்ததிர்வுச் சுற்று
Resonator — ஒத்ததிர்வி
Resultant — தொகுபயன்
Retina — விழித்திரை
Reverse bias — பின்னோக்கிய மின்னழுத்தச் [சார்பு
Rhombohedric symmetry — ஆறுசாய்சதுரமுகச் சமச்சீர்
Rotational energy — சுழல் ஆற்றல்
Rotational quantum number — சுழல்நிலைக் குவான்டம் எண்
Rotational spectra — சுழல் நிறமாலை
Ruby — மாணிக்கம்
Ruby laser — மாணிக்க லேசர்
Russel - Saunders coupling — ரஸ்ஸெல் - ஸான்டெர்ஸ் [இணைப்பு

S

Sapphire — நீலமணி
Satellite — துணைக்கோள்
Satellite lines — துணை வரிகள்
Saturation — தெவிட்டுநிலை
Scattering — சிதறல்
Screw focuser — திருகு குவிப்பான்
Secondary effect — இரண்டாந்தர விளைவு
Selection rule — தேர்வு விதி
Selective action — பொறுக்கு வினை
Selectivity — தேர்திறம், பொறுக்குதிறம்

Semi-conductor	— குறைகடத்தி
Separator	— பிரிப்பான்
Shell	— கூடு
Shift	— பெயர்ச்சி
Shutter	— அடைப்பு
Side lobe level	— பக்கமடல் மட்டம்
Signal	— சைகை
Simple harmonic motion	— சீரிசை இயக்கம்
Singlet	— ஒற்றை
Slit	— பிளவு
Slow wave structure	— குறைவேக அலை அமைப்பு
Solid angle	— திண்மக்கோணம்
Solvent	— கரைப்பான்
Space quantization	— இடக் குவான்டப்படுத்தல்
Spatial coherence	— இடஞ்சார்ந்த ஓரியல் பண்பு
Spectrometer	— நிறமாலைமானி
Spherical mirror	— கோள ஆடி
Spin	— தற்சுழற்சி
Spin - lattice interaction	— தற்சுழற்சி — பின்னல் செய [லெதிர்ச் செயல்
Spin - spin interaction	— தற்சுழற்சி — தற்சுழற்சி செய [லெதிர்ச் செயல்
Spiral	— சுருள்வில்
Spontaneous emission	— தன்னிச்சையான வெளியீடு
Structure	— கட்டமைப்பு
Sub - group	— துணைக் குழு
Sub - level	— துணைமட்டம்
Sub - shell	— துணைக்கூடு
Sulphate	— சல்ஃபேட்டு
Sulphur laser	— கந்தக லேசர்
Super heterodyne receiver	— கலக்கிப் பிரிக்கும் வகை ஏற்பி
Superscript	— மேல் ஒட்டுக்குறி
Surface	— புறப்பரப்பு
Surroundings	— சூழல்
Susceptibility	— காந்த ஏற்புத் திறன்

T

Telephone	— தொலைபேசி

Telephone exchange — தொலைபேசி இணைப்பகம்
Telescope — தொலைநோக்கி
Television — தொலைக் காட்சி
Telstar — டெல்ஸ்டார்
Temperature — வெப்பநிலை
Tetragonal symmetry — நாற்கோணச் சமச்சீர்
Tetrakis form — டெட்ரகிஸ் உருவம்
Thermal equilibrium — வெப்பச் சமநிலை
Thermal excitation — வெப்பக் கிளர்ச்சி
Thermal radiation — வெப்பக் கதிர்வீச்சு
Three level cavity maser — மும்மட்ட பொந்து மேசர்
Three level laser — மும்மட்ட லேசர்
Three level maser — மும்மட்ட மேசர்
Threshold — பயன் தொடக்கம்
Tissue — திசு
Total internal reflection — முழுஉள் எதிரொளிப்பு
Transition frequency — பெயர்வு அதிர்வெண்
Transition probability — பெயர்வு நிகழ்திறம்
Transmission line — ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி
Transmissivity — செலுத்துகைத் திறன்
Transmitter leakage — பரப்பியல் கசிவு
Transverse wave — குறுக்கலை
Trap — கண்ணி
Travelling wave maser — இயங்கு அலை மேசர்
Travelling wave tube — இயங்கு அலைக் குழாய்
Trigonal symmetry — முக்கோணச் சமச்சீர்
Triplet — மும்மை
Triply ionized state — மும்மை அயனியாக்கம் பெற்ற [நிலை
Trivalent — மும்மை இணைதிறம்
Trough — அகடு
Trumpet — எக்காளம்
Tumour — கழலை
Tunnel diode — புழல் டையோடு
Tunnel effect — புழல் விளைவு
Turbulence — கொந்தளிப்பு
Two level maser — இருமட்ட மேசர்

U

Ultrasonic cell — செவியுணரா ஒலிகலம்

V

Vacuum — வெற்றிடம்
Valence band — இணைதிறன் பட்டை
Valence electron — இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்
Vector — வெக்டார்
Velocity — திசைவேகம்
Vertical — செங்குத்தான
Vibrational energy — அதிர்வு ஆற்றல்
Vibrational spectra — அதிர்வு நிறமாலைகள்
Vibration - rotation spectrum — அதிர்வு - சுழல் நிறமாலை
Visible spectrum — கண்காணும் நிறமாலை
Vitreous humour — பின்கண்ரசம்
Void — காலியிடம்
Volatile — ஆவியாகும்
Volt — வோல்ட்
Voltage amplifier — மின்னழுத்தப் பெருக்கி
Voltage gain — மின்னழுத்த ஈட்டம்

W

Water vapour — நீரின் ஆவி
Watt — வாட்டு
Wave equation — அலைச் சமன்பாடு
Wavefront — அலைமுகம்
Wave guide — அலைவழிப்படுத்தி
Wave packet — அலைப்பெட்டகம்
Wave surface — அலை பரப்பு
Wave theory — அலைக் கொள்கை
Weld — உருக்கி இணை

X

X - rays — எக்ஸ்-கதிர்கள்

Z

Zeeman effect — ஸீமன் விளைவு
Zeeman splitting — ஸீமன் உடைவு

பொருள் குறிப்பகராதி

அ

அடுக்குச் சுரங்களை இயற்றுதல், 346
அணு லேசர்கள், 208
அணுவின் ஆற்றல் நிலைகள், 13
அதிர்வுக் கிளர்ச்சியூட்டத்தை ஏற்படுத்தும் பரிமாற்ற வினைகள், 267
அதிர்வெண் படித்தரமாக அம்மோனியா மேசர், 49
அம்மோனியா மேசர், 3, 37
அம்மோனியா மேசரில் அலைவுகள் நிகழ்வதற்கான நிபந்தனைகள், 40
அம்மோனியா மேசரின் அமைப்பு, 38
அம்மோனியா மேசரின் செயல் திறம், 48
அம்மோனியா மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு, 44
அம்மோனியாவின் ஆற்றல் மட்டங்கள், 37
அர்னல்ட், 287
அருமண் மற்றும் ஆக்டினைடு லேசர்கள், 161
அல்சாப், 286
அலைக் கொள்கை, 5
அலைப் பண்பிறக்கம், 301

இ

இசைவு செய்து கொள்ளத்தக்க லேசர், 353
இயங்கு அலை மேசர், 90
இயங்கு அலை மேசரின் அமைப்பு, 96
இயங்கு அலை மேசரின் சுட்டம், 92
இயங்கு அலை மேசரின் திறன் வெளிப்பாடு, 101
இயங்கு அலை மேசரின் பட்டை அகலம், 100
இராணுவத்தில் லேசர், 333
இருமட்ட திடப்பொருள் மேசரில் அலைவுகளும் பெருக்குதலும், 122
இருமட்ட திடப்பொருள் மேசரை அமைத்தல், 121
இருமட்ட மேசர்கள், 102
இருமட்ட மேசர்களில் சில, 123
இருமட்ட மேசரில் தொகை தலைகீழாக்கம், 106
இரைச்சல் எண், 277
இவ்ட்டுஹாவ், 153, 158

ஈ

ஈசிட்ரான், 98

உ

உடல் நலக் கேட்டிற்கான காரணிகள், 356
உப்பீனிகள் லேசர்கள், 209
உருக்கி இணைத்தலுக்கு லேசர், 342
உரேனியம் லேசர், 164
உள்ளார்ந்த குறைகடத்திகள், 222

எ

எரியட், 174, 181, 186, 195
எலெக்ட்ரான் மோதலால் ஏற்றம், 177
எலெக்ட்ரானியக் கிளர்ச்சியுற்ற விளைபொருள்களைத் தரும் பரிமாற்ற வினைகள், 268

ஐ

ஐகிரெய்ன், 217
ஐன்ஸ்டைன், 11, 28
ஐன்ஸ்டைன் கெழுக்கள், 28

ஒ

ஒயிட், 52, 210
ஒளிப்படவியலில் லேசர், 314
ஒளியியல் அன்டென்னு, 297
ஒளியியல் ஏற்றம், 175
ஒளியியல் ஒத்ததிர்வி, 128
ஒளியியல் மேசர், 1

ஓ

ஓட்டிஸ் ஜி. பீட்டர்சன், 263
ஓரியல் பண்பு, 33
ஓலோகிரஃபி, 315
ஓலோகிரஃபியின் பயன்கள், 323
ஓலோகிரஃபி முறையில் தொலைக்காட்சி, 323
ஓலோகிரஃபி வேலை செய்யும் விதம், 315
ஓலோகிராம், 319
ஓலோகிராமிலிருந்து காட்சியை மீட்டுருவாக்குதல், 320

ஃ

ஃபாரெஸ்டர், 88
ஃபாஸ்ட், 203, 207
ஃபென்னர், 218, 244
ஃபெஹுர், 3, 66, 74
ஃபேப்ரி - பெரோ குறுக்கீட்டு விளைவுமானி, 126
ஃபௌல்ஸ், 210

க

கண் அறுவை மருத்துவம், 325
கண்ணமைப்புக் காட்டி, 329
கண்ணிற்கு ஏற்படும் கேடுகள், 357
கண்ணின் செலுத்துகைக்கும் அலை நீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு, 327
கதிர்வீச்சு உட்கவரப்படுதலும் வெளிவிடப்படுதலும் 124
கதிர் வீச்சுமானி, 287
கந்தகலேசர், 208
கந்தக வரிகள், 209
கம்ப்யூட்டர்களில் லேசர், 345
கலானின், 154

கா

காசில், 3, 102, 124
காந்த - ஒளியியல் லேசர், 248
கார்ல்சன், 218
காவின்ஸ், 153

கி

கிக்குசி, 77
கிங்க்ஸ்லே, 218, 244
கிரானிக், 63
கிராஸ், 287
கிஸ்லியுக், 138

கு

குக், 287
குரோக்ளின், 217
குவான்டம் கொள்கை, 10
குவான்டம் சாதனங்கள், 2
குவிஸ்ட், 218, 242
குளோரின் வரிகள், 209
குளோஸ், டொனல்ட், 323
குறைகடத்திகள், 218
குறைகடத்திகளின் ஆற்றல் பட்டைகள், 220
குறைகடத்தி லேசர்கள், 216

கூ

கூப்பர், 286

கெ

கெர், 299
கெர் விளைவு, 299

கே

கேடு விளைவிப்பதில் பயன் தொடக்கமட்டம், 358
கேபார், டென்னிஸ், 322
கேம்ப்ளிங், 291
கேரட், 203
கேரிங்டன், 264
கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடு லேசர், 237
கேலியம் ஆர்செனைடு டையோடு லேசர்களின் கதிர் வீச்சு அமைப்பு, 244

கொ

கொடுக்கிணைப்பிகள், 254
கொடுக்கிணைப்பு லேசர்கள், 254, 257

கோ

கோர்டன், 3, 36, 45, 47, 50, 52, 205, 218

கௌ

கௌல்ட், 173

ச

சமார்ட், டி., 331

சா

சாதாரண ஒளிப்படவியலில் லேசர், 314
சாம் ஏ. டுக்கியா, 263
சாம்ப்சன், 126
சாய லேசர்கள், 263

சி

சிப்டன், 155

சீ

சீசியத்தின் ஆற்றல் மட்டங்கள் 176
சீசியம் லேசர், 177, 185
சீசியம் — ஹீலியம் ஆற்றல் மட்டங்கள், 176,
சீப்பு அமைப்பு, 99

செ

செதுக்குதலுக்கு லேசர், 342
செய்தித் தொடர்பில் லேசர், 292
செய்தித் தொடர்பு, 292
செஸ்டர், 3, 102, 124

சை

சைக்ளட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசர், 249

சோ

சோடன், 4

ட

டர்ராஃபோர்க், 217
டவுன்ஸ், சி. எச்., 3, 4, 36, 38, 44, 45, 47, 48, 50, 128, 173, 286

டா

டாங், 209

டி

டிச் ஃபீல்ட், 88
டி பிராலி, 12
டில், 218

டு

டும்கே, 218
டுரெக், 263

டெ

டெர்ஹீனே, 77

டொ

டொனுட்டு எச். குளோஸ், 323

த

தள்ளு - இழு மேசர், 80
தற்காப்பு முறைகள், 360
தற்சுழற்சி - தற்சுழற்சி செயலெதிர்ச் செயல், 60
தற்சுழற்சி - பின்னல் செயலெதிர்ச் செயல், 62

தா

தார்ப், 126

தி

திடநிலை லேசர்கள், 139
தியோடர் ஜே. ஃபால்க், 273
திரவ லேசர்கள், 253
திருகு குவிப்பான், 47

து

துகள் கொள்கை, 5
துணைக் கோள் வழிச் செய்தித் தொடர்பு அமைப்புகளில் மேசர்கள், 282

தூ

தூண்டப்பெற்ற வெளியீடு, 2

தே

தேர்வு விதிகள், 21

தொ

தொகை தலைகீழாக்கம், 35
தொடர்ச்சியாக ஒளிவிடும் மாணிக்க லேசர், 155
தொலையிடுவதற்கு லேசர், 342

தோ

தோல் நோய்களுக்கு லேசர் மருத்துவம், 331

ந

நசாவ், 4, 164
நடைமுறை வேதியியல் லேசர்கள், 272

நா

நாதன், 218
நான்மட்ட லேசர், 139, 159

நி

நியூட்டன், 5
நியோடிமியம் கண்ணாடி லேசர், 168
நியோடிமியம் லேசர், 163, 166
நிலைமின் பிரிப்பான், 39
நிலைமின் பிரிப்பானின் அமைப்பு, 45
நிறமாலையியலில் லேசர், 348

நீ

நீரின் ஆவிலேசர், 216
நீலன்ட், 153, 158

நெ

நெதர்காட், 36
நெல்சன், 156

நே

நேரடியான பெயர்வு லேசர், 232

நோ

நோயறுதி செய்யும் கருவி, 324

ப

பசாவ், 3, 4, 217
படேல், 203, 207
பயன்தொட்க்க நிபந்தனை, 133
பராகாந்தப் படிகங்கள், 52
பராகாந்தப் படிகங்களில் ஆற்றல் மட்டங்கள், 54
பல் மருத்துவத்தில் லேசர், 329
பல்லிக், 197
பலவணு மூலக்கூறுகளில் ஒளியால் பிரிகை, 269

பா

பாண்டு, 197
பாதரச லேசர், 211
பாதரச வாயுவரிகள், 213
பாப்பாவ், 217
பாய்டு, 4, 164
பாயில், 138, 156
பானனென், 209

பி

பிரிகையால் ஆற்றல் மாற்றம் நிகழும் வினைகள், 266
பிரிட்ஜஸ், 205

பு

புரோக்கராவ், 3
புலமாற்றம் முறை, 103
புவிப்பரப்பளவு கணிப்பியலில் லேசர், 336
புழல் டையோடைப் பயன்படுத்தும் லேசர், 251
புளோம்பெர்கன், 3, 66, 71
புறவியலான குறைகடத்திகள், 226

பெ

பெஞ்சமின் லாக்ஸ், 4, 218
பர்னார்டு, 217
ர்னியர், 263

பென் ஊரி, 322
பென்னெட், 174, 181, 186, 207

பே

பேஸ், 126

பை

பைர், 287

பொ

பொதுக்குவிய ஆடிகள் அமைப்பு, 133
பொந்தின் அமைப்பு, 47
பொந்தின் தகுதி எண், 48
பொலிட்சி, ஜே., 322

போ

போகெல்ஸ் விளைவு, 300
போர், 11

பௌ

பௌதிகத்தில் லேசர், 351

ம

மக்காவ், 77
மருத்துவத்துறையில் லேசர்கள், 323
மருத்துவம், உயிர் நூல் துறை ஆராய்ச்சிகளில் லேசர், 331

மா

மாக்ஃபர்லேன், 203, 207, 209
மாக் வொர்ட்டர், 76, 218
மாக்ஸ் பிளாங்க், 11
மாக்ஸ்வெல், 6, 7
மாணிக்கத்தில் ஆற்றல் மட்டங்களும் நிறமாலையும், 143
மாணிக்கப் படிகத்தின் அமைப்பு, 54
மாணிக்க லேசர், 140
மாணிக்க லேசர் ஒளியின் முனைவாக்கம், ஓரியல் தன்மை மற்றும் கற்றை அகலம், 151

மாணிக்க லேசரின் பயன் தொடக்கம் மற்றும் திறன் வெளிப்பாட்டின் பண்புகள், 147

மி

மின் - ஒளியியல் விளைவு, 299
மின் காந்தக் கதிர்வீச்சு மூலங்கள், 132
மின் காந்தக் கொள்கை, 6

மீ

மீட்சியிலா அணு - அணு மோதுகைகள், 180
மீண்டும் சேர்க்கையுறும் கிளர்ச்சி வினைகள், 265
மீநுண் செயலெதிர்ச் செயல், 65

மு

மும்மட்ட பொந்து மேசரின் ஈட்டமும் பட்டை அகலமும், 79
மும்மட்ட மேசர்கள், 66
மும்மட்ட மேசரின் கொள்கை, 66
மும்மட்ட மேசருக்கேற்ற படிகங்கள், 74
மும்மட்ட லேசர், 139
மும்மட்ட லேசரில் ஆற்றல் மட்டங்கள், 139

மூ

மூலக்கூறு ஆற்றல் நிலைகள், 17
மூலக்கூறுகள் பிரிகை முறைகள், 183
மூலக்கூறு லேசர்கள், 212

மே

மேசர்களின் இரைச்சல் செயல் திறம், 275
மேசர்களும் லேசர்களும்—ஒப்பீடு, 127
மேசர்களும் லேசர்களும்—பெயர் விளக்கம், 1
மேசரின் பயன்கள், 274
மேதகு வாயு அயனி லேசர்கள், 204
மேதகு வாயு — ஆக்சிஜன் லேசர்கள், 206
மேதகு வாயு லேசர்கள், 198
மேயர், 76, 286

மை

மைக்ரோ அலை ஏற்பிகள் சிலவற்றின் இரைச்சல் பண்புகள் 279
மைக்ரோஅலைநிற மாலையியலில் மேசர்கள், 289
மைமன், 4, 139, 140

யா

யார்ட்லி, 263

ர

ரபினோவிட்ஸ், 173, 176

ரா

ராபெர்ட் ஜே. கேயெஸ், 218

ரி

ரிக்டென், 210

ரீ

ரீடி, ஜே. எஃப், 345

ரெ

ரெடிகர், 218

ரே

ரேடியோ வானியலில் மேசர்கள், 286

ரொ

ரொனால்டு ஆர். ஸ்டீபென்ஸ், 273

ல

லக், 155
லபுடா, 205

லா

லாம்பே, 77
லான்ஸெராட்டி, 210

லி

லிடார், 338
லியான் கோல்ட்மன், 330
லியோன்ட்டோவிச், 154

லெ

லெய்த், 322

லே

லேசர் ஒளியூட்டம், 313
லேசர் கற்றைகளைக் குழாய்கள், கம்பிகள் வழியே அனுப்புதல், 309
லேசர் கற்றையில் அலைப்பண்பேற்றம், 299
லேசர் கதிர்வீச்சின் சிறப்பியல்புகளும் அவற்றை அளத்தலும், 135
லேசர் கதிர்வீச்சைப் பகுத்தாராயும் கருவி 195
லேசர் கண்ணமைப்புக் காட்டி, 329
லேசர்களால் ஏற்படக்கூடிய உடல் நலக் குறைவுகள், 354
லேசர் தொலைமானி, 334
லேசர் பெருக்கிகள், 137
லேசர் வகைகள், 137
லேசரின் பயன்கள், 292
லேசருக்கான ஒளித்தெறிப்பு விளக்கு அமைப்பு, 154

லை

லைட், 264

வ

வரி அகலம், 29, 59
வளிமண்டிலத்தினூடே லேசர் கற்றைகளை அனுப்புதல், 304
வளிமண்டில வாயுக்களின் அயனிகள் லேசர், 212
வளைய குவிப்பான், 47

வா

வாக்னர், 3, 102, 124
வாங்க், 44, 48, 50
வாயு லேசர்கள், 173
வாலிங், 96
வான்விலிக், 63
வானியலில் லேசர், 340
வானிலையியலில் லேசர், 338

வி

வில்லியம் ஈ. கிராக், 218
வி(ல்)ம்ஹர்ஸ்ட், 291

வெ

வெட்டுதலுக்கு லேசர், 342
வெப்பம் மாறு விரைவான நிலை மாற்றம், 103, 109
வெபர், 3
வெர்னுன் இங்க்ரம், 328
வெளிப்புறத்தில் எதிரொளிப்பான்களையுடைய ஹீலியம் நியான் லேசர், 188

வே

வேதியியல் லேசர்கள், 264
வேதியியலில் லேசர், 350

ஜ

ஜவான், 4, 174, 181, 186, 197

ஜா

ஜான்சன், 4, 164

ஜி

ஜியோர்ட்மைன், 286

ஜெ

ஜெரால்ட் பர்ன்ஸ், 218
ஜெல்லி, 286
ஜென்சன், 210

ஜே

ஜேகப்ஸ், 173, 176

ஷ

ஷமிர், ஜே., 322
ஷவ்லாவ், 4, 128, 173, 263

ஷி

ஷிமோடா, 44, 48, 50

ஷீ

ஷீலர், 264

ஷே

ஷேஃபர், 155

ஸ்

ஸ்கோவில், 3
ஸ்டீவன்சன், 160, 164
ஸ்நிட்சர், 170
ஸ்மித், 96

ஸீ

ஸீகர், 3, 36, 45, 47, 50, 218

ஸை

ஸைடல், 3, 66, 74

ஸொ

ஸொரோகின், 160, 164

ஸோ

ஸோடன், 164
ஸோல்ட்டிஸ், 218

ஹா

ஹாரிகன், 209
ஹால், 218
ஹாஸ்கின், 126

ஹி

ஹியூக்ஸ், டி. பி., 343

ஹீ

ஹீலியம்—நியான் அமைட
சில லேசர் பெயர்வுகள்,
ஹீலியம்—நியான் ஆற்றல்
டங்கள், 181
ஹீலியம்—நியான் லேசர்,
181, 186
ஹீலியம்—நியான் லேசரின்
ரொளிப்பான்களை
எதிரொளிப்பு - செலுத்த
சிறப்பியல்புகள், 187

ஹெ

ஹெர்ட்ஸ், 7
ஹெல்மர், 50

ஹை

ஹைஜன்ஸ், 6
ஹோனிக், 3
Co_2 லேசர், 212
N_2 லேசர், 215
p—n சந்தி, 229
p—n சந்தி லேசர்கள், 238
Q — சுவிட்சு லேசர், 134
3 — D திரைப்படம், 315
180° துடிப்பு உத்தி, 103