22 కాంతి తరంగ స్వభావం

దీనికి ముందు అధ్యాయంలో కాంతి పరావర్తనం, వక్రీభవనం, విక్షేపణం, పరిక్షేపణంల గురించి చదివారు. వీటిని అర్థంచేసుకోవడానికి కాంతి ఋజుమార్గంలో ప్రయాణిస్తుందనే ధర్మాన్ని ఉపయోగించుకున్నాము. రెండు కాంతి తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందినపుడు లేదా అంచుల వద్ద వంగినపుడు జరిగే శక్తి పునర్వితరణంను పైభావన వివరించలేక పోయింది. కాంతి తరంగ స్వభావం ఆధారంగా మాత్రమే ఈ దృగ్విషయాలను వివరించగలం. న్యూటన్ సమకాలీకుడైన క్రిస్టియన్ హైగన్స్ కాంతి ఒక తరంగం అని ప్రతిపాదించాడు. వ్యతికరణం, వివర్తనాల ప్రయోగాల పరిశీలనల ద్వారా కాంతి తరంగ సిద్ధాంతాన్ని సంశయంలేని విధంగా స్థిరీకరించాడు. కాంతికి తిర్యక తరంగ స్వభావముందని నిరూపించే ధ్రువణం గురించి కూడా మీరు ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

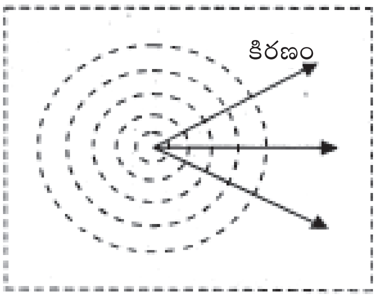
- హైగన్స్ సూత్రాన్ని తెలిపి, దానిని తరంగ ప్రసరణకు అనువర్తించుట.
- వ్యతికరణం, వివర్తనాలను వివరించుట.
- ఒక చీలిక ద్వారా కాంతి వివర్తనాన్ని వివరించుట.
- ధ్రువణం కాంతి తరంగ స్వభావాన్ని స్థిరీకరించిందని చూపించుట
- బ్రూస్టర్ నియమాన్ని సాధించుట.

22.1 హైగన్స్ సూత్రం

కాంతి ఒక తరంగం అని హైగన్స్ ప్రతిపాదించాడు. ఇది పరికల్పిక యానకం ఈథర్ గుండా ప్రయాణిస్తుంది. ఈ పరికల్పిక యానకం శూన్యంతో సహా విశ్వమంతా వ్యాపించి ఉంటుంది.

కాంతి జనక స్థానం నుండి వచ్చే కంపనాలు తరంగ రూపంలో వ్యాపనం చెంది, అవి మోసుకువచ్చే శక్తి అన్ని దిశలలో వితరణ చెందుతుంది.

హైగన్స్ సూత్రానికి తరంగాగ్రభావన చాలా ముఖ్యమైనది. తరంగాగ్రంను ఒక సరళకృత్యం ద్వారా అర్ధంచేసుకుందాం.



పటం 22.1 : నీటి తలంపై వృత్తాకార తరంగాలు

22.1 కృత్యం

వెడల్పాటి ఆధారంగల తొట్టెనిండా ఉన్న నీటిలో ఒక రాయిని పడేయ్యండి. నువ్వు ఏం గమనించావు? రాయి నీటిని తాకిన బిందువు నుండి నీటి అణువులుపైకి క్రిందికి చలించుట వల్ల వచ్చిన వృత్తాకార అలలను చూస్తావు. ఆ అలలను పరీక్షగా చూసినపుడు ఏదేని అల వృత్తాకార పరిధి వెంబడి ఉన్న బిందువులన్నీ ఒకే గమన స్థితిని కలిగి ఉంటాయి. అంటే అల వృత్తాకార పరిధి మీద ఉన్న అన్ని బిందువులు ఒకే దశను కలిగి ఒకే కంపన పరిమితితో కంపిస్తూ ఉంటాయి. ఇచ్చినక్షణమందు ఒకే దశలో కంపనం చేస్తున్న బిందువుల పథయే అల పరిధి. దీనిని **తరంగాగ్రం** అంటారు. నీటితలంపై అలజడి బిందువు నుండి పరచుకున్న వృత్తకార నీటి అలలు **వృత్తాకార తరంగాగ్రంలను** సూచిస్తాయి. తరంగాగ్రంపై ఉన్న ప్రతీబిందువు అలజడి బిందువు అంటే తరంగ జనక స్థానం నుండి ఒకే దూరంలో ఉంటాయి.

సమదైశిక యానకంలో బిందురూప జనకం నుండి వచ్చే కాంతిలో ఒకే దశలో ఉన్న తరంగాల బిందు పథం గోళాకారంగా ఉంటుంది. అంటే బిందురూప కాంతి జనక స్థానం **గోళాకార తరంగాగ్రంలను** ఉద్గారిస్తుంది. (ద్విమితీయంలో అంటే నీటితలం మీద తరంగాగ్రం వృత్తాకారంగా కనిపిస్తుంది). **స్తూపాకార కాంతిజనకం** స్తూపాకార తరంగాగ్రాన్ని ఉద్గారిస్తుంది. ఒక బిందువు వద్ద తరంగాగ్రానికి లంబంగా ఉన్న గీత ఆ బిందువు వద్ద తరంగాగ్ర గమన దిశను తెలియజేస్తుంది. ఈ గీతను కాంతి కిరణం అని, కొన్ని కిరణాల సమూహాన్ని కాంతిపుంజం అని అంటారు. కాంతి జనకస్థానం దూరంగా ఉంటే తరంగాగ్రంలోని చిన్న భాగాన్ని **సమతల తరంగాగ్రంగా** భావించవచ్చు.

హైగన్స్ సూత్రం ప్రకారం.

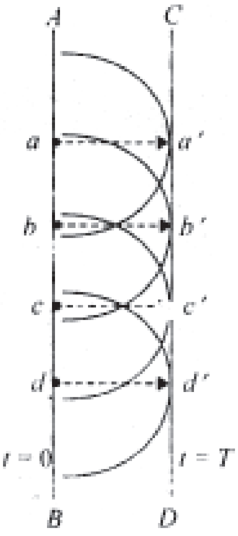
- తరంగాగ్రంలోని ప్రతి బిందువు గౌణ తరంగాగ్ర జనకంగా ప్రవర్తించి, గౌణ తరంగాలను యానకంలో అన్ని వైపులకు వ్యాపింపచేస్తాయి.
- ఏదేని తరువాతి క్షణంలో తరంగాగ్ర స్థానాన్ని ఆ క్షణంలో అన్ని గౌణ తరంగికలకు ముందుకు గీసిన ఉమ్మడి ఆచ్ఛాదన నుండి పొందవచ్చు.
- సమదైశిక యానకంలో తరంగాలు శక్తిని అన్ని దిశలకు సమానంగా ప్రసారం చేస్తాయి.

తరంగాగ్రం తొలి ఆకారం, స్థానం, గమనదిశ, వేగం తెలిసినపుడు తరువాతి క్షణంలో దాని స్థానాన్ని, జ్యామితీయ నిర్మాణం ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు. తరంగాగ్రం వెనుకకు ప్రయాణించదని గమనించండి.

హైగన్స్ తరంగాగ్ర నిర్మాణం కోసం గుల్లగోళం కేంద్రం వద్ద ఒక బిందువును ఊహించండి. దీని బాహ్య ఉపరితలం ప్రాథమిక తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తుంది. ఈ గోళం కంటే పెద్దదైన వ్యాసార్థం గల వేరొక గుల్ల గోళంలో ఆవరించి ఉన్నపుడు, రెండవగుల్ల గోళం యొక్క బాహ్య ఉపరితలం గౌణ తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తుంది. (ఈ అమరికకు సమీప పోలిక ఫుట్‌బాల్) రెండవ గుల్ల గోళం ఇంకా పెద్దదైన వ్యాసార్థంగల ఇంకొక గుల్ల గోళంతో ఆవరిపంపబడినపుడు (మూడవ) గోళం బాహ్య ఉపరితలం గౌణ తరంగాగ్రంగా రెండవగోళం బాహ్య ఉపరితలం ప్రాథమిక తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తాయి. ద్విమితీయంలో ప్రాథమిక, గౌణ తరంగాగ్రాలు ఏక కేంద్రవృత్తాలుగా అగుపిస్తాయి.

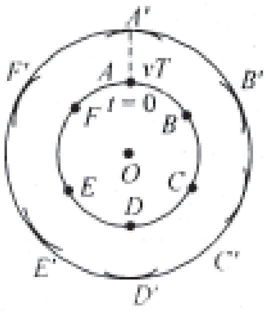
22.1.1 తరంగాల వ్యాపనం

హైగన్స్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి తరంగాగ్రాల వ్యాపన రూపంలో కాంతి తరంగాల వ్యాపనాన్ని వర్ణిద్దాం పటం 22.2, T =0 వద్ద, సమతల తరంగాగ్రం యొక్క ఆకారం, స్థానంను చూపిస్తుంది. AB గీత కాగితానికి లంబంగా ఉండేతలంలో ఉందని గమనించండి. AB తరంగాగ్రం పై ఉన్న a,b,c,d బిందువులు గౌణ తరంగాల జనకస్థానాలు. ఈ జనకస్థానాలన్నీ గౌణ తరంగికలను ఒకే కాలంలో వెలువరిస్తాయి. తరంగాగ్రం AB గమనదిశ వెంబడి ఈ తరంగికలన్నీ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి. (పటం 22.2) లోని వృత్తాకార ఛాపాలు a,b,c,d లను కేంద్రాలుగా చేసుకొని వెలువడిన తరంగికలను సూచిస్తాయి. r = vt వ్యాసార్థంతో ఛాపాలను గీయడం ద్వారా తరంగికలను పొందవచ్చు. ఇక్కడ v తరంగాగ్ర వేగం, ఎప్పుడైతే తరంగాగ్రాన్ని పొందాలనుకున్నామో ఆకాలం t. అన్ని తరింగకలకు గీసిన స్పర్శరేఖ CD, t = T కాలం వద్ద కొత్త తరంగాగ్రాన్ని సూచిస్తుంది.



పటం 22.2 : సమతల తరంగాగ్రం నిర్మాణం

వ్యాకోచిస్తున్న వృత్తకార తరంగాగ్రంను హైగన్స్ నిర్మాణానికి ఇంకొక ఉదాహరణగా తీసుకొందాం. t=O వద్ద O కేంద్రంగా గల వృత్తాకార తరంగాగ్రాన్ని పటం 22.3లో చూడండి. A,B,C.......... లు తరంగాగ్రం మీద బిందురూప జనక స్థానాలు. t = T కాలం తరువాత తరంగాగ్రాన్ని గీయడానికి నువ్వు ఏం చేస్తావు. వ్యాకోచిస్తున్న గౌణ తరంగికల వేగాన్ని, కాలంతో గుణించగా వచ్చిన విలువకు సమానమైన వ్యాసార్థంతో A,B,C.......... బిందువుల వద్ద చాపాలను గీయాలి. ఈ చాపాలు గౌణ తరంగికలను సూచిస్తాయి. ఈ చాపాలకు గీసిన స్పర్శరేఖలు T కాలం వద్ద వ్యాకోచిస్తున్న తరంగాగ్రాల ఆకారాన్ని, స్థానాన్ని తెలియజేస్తాయి.



పటం 22.3 : హైగన్స్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి వృత్తాకారతరంగాగ్ర నిర్మాణం

హైగన్స్ నిర్మాణంలోని మెళుకువను అర్థం చేసుకున్నావని మేం భావిస్తున్నాం. ఇపుడు నువ్వు **హైగన్స్ నిర్మాణం యొక్క భౌతిక ప్రయోజనాన్ని** తెలుసుకోవాలి. తరువాతి ఏదేనిక్షణ మందు తరంగాగ్ర ఆకారం, స్థానాన్ని, దానికి ముందు

క్షణంలో తరంగాగ్ర ఆకారం స్థానం సహాయంతో కనుక్కోవడడం ద్వారా తరంగాగ్ర వ్యాపనాన్ని వర్ణించవచ్చు. కనుక హైగన్స్ నిర్మాణంతో తరంగ చలనాన్ని వర్ణించగలం.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.1

1. తరంగాగ్రం యొక్క సాపేక్ష దిగ్విన్యాసం (relative orientation) మరియు తరంగ ప్రసరణ దిశకు మధ్య కోణమెంత?

   ....

2. $t = 0$ సె కాలంలో గౌణ తరంగ జనకస్థానం తరంగికలను వెలువరిస్తుంది. $t = 3$ సె, $t = 6$ సెల వద్ద తరంగికల వ్యాసార్థాల నిష్పత్తిని కనుక్కోండి.

   ....

22.2 కాంతి వ్యతికరణం

మొదట ఈ సరళ కృత్యాన్ని చేసి చూద్దాం.

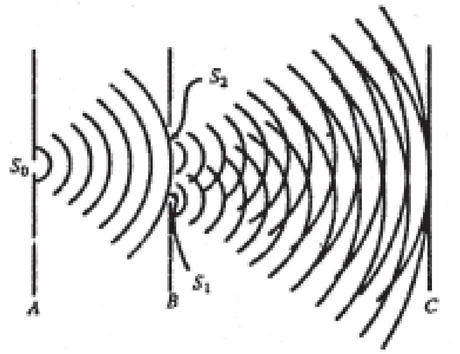
కృత్యం 22.2

నీటిని, సబ్బుపొడిని కలిపి సబ్బు ద్రావణాన్ని తయారు చేయండి. ఒక తీగను ఉంగరాకారంగా చేసి దానిని సబ్బు ద్రావణంలో ముంచి బాగా కదపండి. ఉంగరాన్ని బయటకు తీసినపుడు దాని మీద పలుచని సబ్బుపొర కనిపిస్తుంది. సబ్బుపొరను బల్బు దగ్గరికి తీసుకువెళ్ళి పొరనుండి వచ్చే పరావర్తన కాంతి దిశలో మీరు దానిని చూసినపుడు అందమైన రంగులను గమనిస్తారు. దీనికి కారణం తెలుసా? ఈ ప్రశ్నకు సమాధానం కోసం మనం కాంతి **వ్యతికరణ దృగ్విషయాన్ని** అర్థం చేసుకోవాలి. **రెండు సంబద్ధ కాంతి జనకాల నుండి వచ్చే కాంతి తరంగాల అధ్యారోపణం వలన జరిగే కాంతి పునర్వితరణంను వ్యతికరణం** అని అర్థం చేసుకోవచ్చు. మొట్ట మొదటి వ్యతికరణాన్ని థామస్ యంగ్ (Thomas Young) 1802 వ సంవత్సరంలో తన జంట చీలికల ప్రయోగం ద్వారా పరిశీలించాడు. ఈ ప్రయోగాత్మక పరిశీలన కాంతి తరంగ సిద్ధాంతంలో ప్రముఖ పాత్ర పోషించింది. వ్యతికరణం, వివర్తనంలో ఇమిడి ఉన్న సైద్ధాంతిక సూత్రం అధ్యారోపణ సూత్రం.

22.2.1 యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం

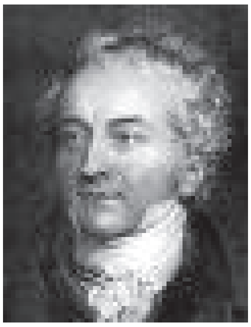
పటం 22.4లో యంగ్ పథకాత్మక ప్రయోగ అమరికను చూపించారు. అతని ప్రయోగంలో సూర్యుడి నుండి వచ్చే కాంతిని S సూదిమొనంత రంధ్రం ద్వారా పోనిచ్చి, కొంత దూరంలో S నుండి సమాన దూరంలో ఒకదానికొకటి దగ్గరగాగల S_1, S_2 సూదిమొనంత రంధ్రాల ద్వారా పోనిచ్చారు. హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రకారం గోళాకార తరంగాగ్రం సూదిమొనంత రంధ్రం S గుండా ప్రయాణించి S_1, S_2 సూదింమొనంత రంధ్రముల ద్వారా రెండు తరంగాగ్రములుగా

విడిపోతుంది. ఏకవర్ణ కాంతి జనకం (సోడియం)తో S ను ప్రకాశింపచేస్తే S_1,S_2సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా ప్రవర్తిస్తాయి. సమాన కాంపన పరిమితి కలిగి, ఒకే దశలో ఉన్న తరంగాలు ఈ జనకాల నుండి వెలువడి అధ్యారోపణం చెందుతాయి. ఈ అధ్యారోపణ ఫలితంగా(S_1,S_2ల నుండి వెలువడే రెండు సర్వ సమానమైన తరంగాలు) శక్తి పునర్వితరణం జరిగి C వద్ద ఉంచిన తెరమీద వరుస ద్యుతిమయ, ద్యుతి హీనపట్టీలు ఏర్పడతాయి. యంగ్ వ్యతికరణ ప్రయోగంలో ఏర్పడిన పట్టీ వ్యూహానికి వివరణను నేర్చుకుందాం.



పటం 22.4 : యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం అమరిక

ఐజన్ థామస్ యంగ్ (Euygen Thomas Young (1773-1829)



1773 వ సంవత్సరం, జూలై 16న జన్మించి థామస్ యంగ్ మానవుని చెవి మరియు కన్ను కేంద్రీకరించే పద్ధతి మరియు అసమదృష్టి (astigmatism) పై చేసిన అధ్యయనం వల్ల సుపరిచితుడు. వర్ణ అంధత్వంపై అతని పరిశోధన అతనిని వర్ణదృష్టి యొక్క మూడు అంశాల సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించేటట్లు చేసింది. మానవుడి చెవులు మరియు కళ్ళపై అధ్యయనం చేస్తూనే తన సమయాన్ని కాంతివేగం మరియు శబ్ధవేగాలపై పరిశోధనకు వెచ్చించాడు. సమానవేగాలు గల రెండు శబ్ధ తరంగాలు మానవుని చెవిని 180^0 వ్యతిరేకదశలో చేరినపుడు అతనికి శబ్ధం వినిపించదని తెలుసు. కాంతి, తరంగమైతే ఇలాంటి ఫలితాన్నే రెండు కాంతి పుంజాలతో కూడా పొందవచ్చునని అతనికి స్ఫురించింది. ఈ భావన ఇతనిని “యంగ్ జంట చీలిక” అని మనం పిలిచే ప్రయోగాన్ని చేసేలా పురికొల్పింది.

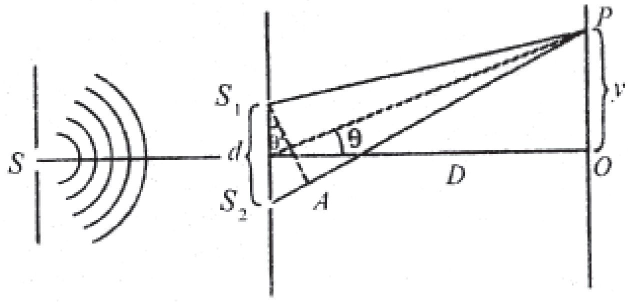
తరువాత కాలంలో ఇతను 1799 సంవత్సరంలో నైల్ డెల్టాలో దొరికిన రోసోటా రాయిపై చెక్కిన గుర్తులను విశ్లేషించాడు.

(a) **నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం :** అధ్యారోపణ సూత్రాన్ని గుర్తుకు తెచ్చుకుంటే ఒక తరంగంలోని శృంగం, రెండవ తరంగలోని శృంగంతో ఏకీ భవించడం వల్ల గరిష్ట స్థానభ్రంశం (లేదా కంపన పరిమితి) గల కొన్ని బిందువులు C తెరమీద ఏర్పడతాయి. ఈ బిందువుల వద్ద తరంగాలు ఒకే దశ వద్ద ఉంటాయి. కనుక మొత్తం కంపన పరిమితి వాటి వైయుక్తిక కంపన పరిమితి కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఇదే విధంగా మొదటి తరంగంలోని ద్రోణి

రెండవతరంగంలోని ద్రోణితో ఏకీభవించినపుడు కూడా ఇదే విధంగా జరిగి తీవ్రత కంపన పరిమితి వర్గానికి అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది. కనుక ఆ బిందువులన్ని ప్రకాశవంతంగా ఉంటాయి. ఈ బిందువుల వద్ద జరిగే అధ్యారోపణాన్ని **నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం** అంటారు.

(b) **వినాశాత్మక వ్యతికరణం :** తెర మీద కొన్ని బిందువుల వద్ద ఒక తరంగంలోని శృంగం రెండవ తరంగంలోని ద్రోణితో ఏకీభవించి మొత్తం కంపన పరిమితి సున్న అవుతుంది. ఈ బిందువుల వద్దకు చేరే తరంగాలు ఒకే దశలో లేకపోవడమే దీనికి కారణం. ఈ బిందువులు ప్రకాశరహితంగా ఉంటాయి. ఇక్కడ జరిగే అధ్యారోపణాన్ని **వినాశాత్మక వ్యతికరణం** అంటారు.

(c) **పట్టీల తీవ్రత :** వ్యతికరణ వ్యూహాన్ని విశ్లేషించడానికి హరాత్మక తరంగాల వ్యతికరణ వ్యూహంలోని ద్యుతిమయ, ద్యుతిహీన పట్టీల తీవ్రతను గణిద్దాం. పటం 22.5లో యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం పథకాత్మక అమరికను చూపించారు. ఒకే పౌనఃపున్యం, కంపన పరిమితి కలిగి, దశలో భేదం కలిగి ఉన్న రెండు హరాత్మక తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందటం వలన వ్యతికరణ దృగ్విషయం జరుగుతుంది. రెండు



పటం 22.5 : యంగ్ జంటచీలిక ప్రయోగం జ్యామితి

తరంగాలు మధ్య దశాభేదం δ అనుకుందాం స్థిరబిందువు P వద్ద రెండు తరంగాల స్థానభ్రంశం y_1, y_2

$y_1 = a \sin \omega T$

$y_2 = a \sin(\omega t + \delta)$

ఇక్కడ δ రెండు తరంగాల మధ్య దశాభేదంను తెలియజేస్తుంది. అధ్యారోపణ సూత్రం ప్రకారం ఫలితస్థానభ్రంశం

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a\sin\omega t + a\sin(\omega t + \delta)$$
$$= a\left(\sin\omega t + \sin(\omega t + \delta)\right)$$
$$= 2a\ \sin\left(\omega t + \frac{\delta}{2}\right)\cos\frac{\delta}{2}$$
$$= A\sin\left(\omega t + \frac{\delta}{2}\right)$$

ఇక్కడ A ఫలిత తరంగం యొక్క కంపన పరిమితి, $A = 2a\cos\frac{\delta}{2}$

P బిందువు వద్ద ఫలిత తరంగం తీవ్రతను

$$I \propto A^2 \text{ గా రాయవచ్చు}$$

$$\propto 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad \dots (22.1)$$

రెండు తరంగాల మధ్య దశాభేదం మీద తీవ్రత ఏ విధంగా ఆధారపడుతుందో తెలుసుకోవడానికి ఈ క్రింది సందర్భాలను చూద్దాం.

సంధర్భం 1: దశాభేదం $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots 2n\pi$ అయినపుడు

$$I = 4a^2 \cos^2 0$$

$$= 4a^2$$

సందర్భం.2 $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots (2n+1)\pi$ అయినపుడు

$$I = 4a^2 \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right) = 0$$

పై ఫలితాల నుండి రెండు అధ్యారోపణ తరంగాలు తెర మీద ఒకే దశతో కలిసివాటి మధ్య దశాభేదం 2π కుపూర్ణాంక గుణిజాలైతే ఆ బిందువుల వద్ద ఫలిత తీవ్రత వాటి వైయుక్తిక తీవ్రతకన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ($4a^2$కు సమానం). అలాకాక, రెండు అధ్యారోపణ తరంగాలు తెరమీద వ్యతిరేక దశలో కలిసి, వాటి మధ్య దశాభేదం πకు బేసి సంఖ్య గుణిజాలైతే ఆ బిందువులు శూన్య తీవ్రతను కలిగి, తెరమీద కాంతిరహితంగా కనిపిస్తాయి.

(d) దశాభేదం, పథ భేదం

తెరపై ఉన్న బిందువు ద్యుతిహీన లేక ద్యుతిమయ బిందువా అని తెలుసుకోవడానికి ఆ బిందువు వద్దకు చేరే తరంగాల మధ్య దశా భేదాన్ని తెలుసుకోవాల్సి ఉందని పై చర్చ నుండి అర్థం అవుతుంది. తరంగాలు జనక స్థానం నుండి తెరమీద బిందువు వద్దకు ప్రయాణించునపుడు వాటి మధ్య దశా భేదం ను పథభేదం పరంగా కూడా చెప్పవచ్చు. S_1, S_2నుండి వెలువడి ఒకే దశలో ఉన్న రెండు తరంగాలను తీసుకుందాం. ఈ రెండు తరంగాలు విభిన్న పథాల వెంబడి ప్రయాణించి పరిశీలన బిందువు P ను చేరతాయి. కనుక వాటి మధ్య ఎంతో కొంత దశాభేదం ఉంటుంది. పటం 22.5 నుండి వాటి మధ్య పథభేదం.

$$\Delta = S_2P - S_1P$$

ఒక తరంగ దైర్ఘ్యం పథభేదం, 2π దశాభేదానికి సమానమని మనకు తెలుసు. అపుడు దశాభేదం. δ ,పథభేదం Δ లమధ్య గల సంబంధం.

$$\Delta = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)\delta \quad \dots (22.2)$$

సమీ (22.1) నుండి దశా భేదం $2n\pi$ ఉన్నపుడు ద్యుతిమయ పట్టీ (నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం మూలంగా) ఏర్పడుతుందని మనకు తెలుసు. సమీ (22.2)నుపయోగించి పరిశీలించిన వెలుగుపట్టీకి పథభేదం.

$$(\Delta)_{\text{వెలుగు}} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)2n\lambda = n\lambda;\ n = 0, 1, 2, ... \qquad ...\ (22.3)$$

అలాగే చీకటి పట్టీకి

$$(\Delta)_{\text{చీకటి}} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)(2n+1)\pi$$

$$= (2n+1)\frac{\lambda}{2};\ n = 0, 1, 2, ... \qquad ...\ (22.4)$$

పథభేదం, ఉపయోగించిన కాంతి తరంగ దైర్ఘ్యంల మధ్య సంబంధాన్ని పథభేదం పరంగా వెలుగు, చీకటి పట్టీలకు సమాసాలను పొందాం కనుక ఇపుడు పథభేదంను ప్రయోగ జ్యామితితో సంబంధాన్ని ఏర్పరుద్దాం అంటే Δ తో జనకస్థానం, తెరకు మధ్య దూరం D సూది మొనంత రంధ్రాల మధ్యదూరం (d), P బిందువు స్థానానికి గల సంబంధాన్ని ఏర్పరచడం పటం 22.5 నుండి

$$\Delta = S_2P - S_1P = S_2A = d\text{Sin}\theta$$

θ చాలా తక్కువ అనుకొంటే,

$$\text{Sin}\theta \simeq \tan\theta \simeq \theta$$

$$\text{Sin}\theta \simeq \frac{x}{d}$$

అపుడు పథభేదానికి సమాసాన్ని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\Delta = d\text{Sin}\theta = x\frac{d}{D} \qquad ...\ (22.5)$$

సమీ (22.5) ను సమీ(22.2) సమీ (22.3) లలో ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{వెలుగు}} = n\lambda$$

$$(x_n)_{\text{వెలుగు}} = \frac{n\lambda D}{d};\ n = 0,1,2.... \qquad ...\ (22.6)$$

మరియు $$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{చీకటి}} = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$(x_n)_{\text{చీకటి}} = \left(n+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{d},\ n = 0,1,2, ... \qquad ...\ (22.7)$$

సమీ (22.6), (22.7)లు తెరమీద వెలుగు, చీకటి పట్టీల స్థానాలను తెలుపుతాయి.

(e) **పట్టీ వెడల్పు**

వెలుగు లేదా చీకటి పట్టీ వెడల్పు ఎంత ఉంటుందని మీరు అడగవచ్చు? దీనికి సమాధానం కోసం మొదట రెండు వరుస వెలుగు (లేదా చీకటి) పట్టీలను గుర్తిద్దాం. మొదట వెలుగు పట్టీ వెడల్పు కనుగొందాం. సమీ(22.6) నుండి మూడవ మరియు రెండవ వెలుగు పట్టీలకు

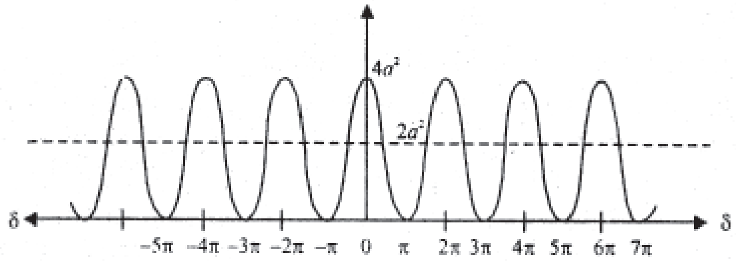
$$(x_3)_{\text{వెలుగు}} = 3\frac{\lambda D}{d}$$

$$(x_2)_{\text{వెలుగు}} = \left(2\frac{\lambda D}{d}\right)$$

∴ పట్టీ వెడల్పు

$$\beta = (x_3)_{\text{వెలుగు}} - (x_2)_{\text{వెలుగు}} = \frac{\lambda D}{d} \qquad \dots (22.8)$$

దీనిని బట్టి వ్యతికరణ వ్యూహంలో ఏ రెండు వరుస n విలువల పట్టీలకైనా పట్టీ వెడల్పు సమానంగా ఉంటుందని మనకు అర్థమవుతుంది. పట్టీ వెడల్పు, తరంగదైర్ఘ్యం రేఖీయ సామర్థ్యం, జనకస్థానం మరియు తెరకు మధ్య దూరంకు అనులోమానుపాతంలోను రెండు చీలికల మధ్య దూరానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుంది. నిజానికి ఆ పట్టీలు ఎంత సూక్ష్మంగా ఉంటాయంటే వాటిని చూడటానికి భూతద్దం కావాలి.



పటం 22.6 : వ్యతికరణ వ్యూహంలో తీవ్రత వితరణ

తరువాత మనం వ్యతికరణ వ్యూహంలో వెలుగు, చీకటి పట్టీల తీవ్రతను గురించి తెలుసుకుందాం. రెండు కాంతి తరంగాలు వ్యతిరేక దశలో తెరమీద బిందువు వద్దకు చేరుకున్నపుడు చీకటిపట్టీలు ఏర్పడతాయని మనకు తెలుసు. ఈ దృగ్విషయం శక్తినిత్యత్వనియమాన్ని అతిక్రమిస్తుందా అంటే రెండు కాంతితరంగాలతోపాటు ఉండే శక్తి, నాశనమై పోయిందా అని మీరు అడగవచ్చు? కాని అలాకాదు, వ్యతికరణం శక్తి నిత్యత్వనియామాన్ని అతిక్రమించలేదు. చీకటి పట్టీలవద్ద అదృశ్యమైన శక్తి, వెలుగు పట్టీల వద్ద ప్రత్యక్ష మవుతుంది. సమీ (22.1)నుండి, వెలుగు పట్టీ తీవ్రత, వైయుక్తిక తరంగ తీవ్రత కన్నా 4 రెట్లు ఎక్కువ. **కనుక పటం (22.6) చూపిన వ్యతికరణ వ్యూహంలో శక్తి పునర్విభజన జరిగి అది $4a^2$,0 ల మధ్య మారుతూ ఉంటుంది.** ఒక్కొక్క పుంజం స్వతంత్రంగా a^2 తీవ్రతను ఇస్తే, వ్యతికరణం జరగక పోయినట్లయితే రెండు సమానమైన జనకస్థానాల నుండి వెలువడే కాంతి $2a^2$ తీవ్రతతో తెరను ఏకరీతిగా ప్రకాశింప జేస్తుంది. ఇది దాని సరాసరి కాంతితీవ్రత పటం 22.6లో గీతల రేఖతో సూచించబడింది.

కాంతితరంగ సిద్ధాంత సహాయంతో యంగ్ ప్రయోగంలో పరిశీలించిన వ్యతికరణ వ్యూహాన్ని మీరు గుణాత్మకంగాను, పరిమాణాత్మకంగాను అర్థం చేసుకున్నారు. మీకు బాగా అర్థమైందని నమ్మకం కలగడానికి పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలివ్వండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.2

1. రెండు తరంగాలు అధ్యారోపణం జరిగిన ప్రదేశంలో ఏదేని బిందువు వద్ద ఫలితస్థాన భ్రంశం ఏ విషయాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.

   ....

2. యంగ్ ప్రయోగంలో తెరమీద నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం ఎలా ఏర్పడుతుంది.

   ....

3. S_1, S_2 సూదిమొనంత రంధ్రాలను రెండు విద్యుత్ బల్బులతో పూరిస్తే తెరమీద ఇంకా మనం వెలుగు, చీకటి పట్టీలను చూస్తామా?

   ....

4. సంబద్ధ కాంతి జనకాలనగా నేమి? మన కళ్ళు సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా పనిచేయగలవా?

   ....

22.3 కాంతివివర్తనం

రుజు మార్గంలో ప్రయాణించడం కాంతి యొక్క ఒక అభిలక్షణం అని ఇంతకు ముందు పాఠాలలో మీకు చెప్పారు. కాంతి రుజు మార్గంలో ప్రయాణించడానికి ప్రత్యక్ష ఉదాహణ నీడ ఏర్పడటం. కాని నీడను నీవు పరీక్షగా గమనించినపుడు దాని అంచుల వద్ద స్పష్టతలేక పోవడాన్ని గమనిస్తావు. ఉదాహరణకు కాంతి సన్నని కంత గుండా ప్రయాణించినపుడు లేదా స్వల్ప ప్రమాణాలు కలిగిన అవరోధం మీద పడినపుడు రుజుమార్గంలో ప్రయాణించే నియమాన్ని అతిక్రమించింది. కంత లేదా అవరోధం అంచుల వద్ద కాంతి సరళరేఖా మార్గంలో ప్రయాణించకుండా నీడ ప్రదేశంలోకి వంగుతుంది. **కాంతి అవరోధాల అంచుల వద్ద వంగి ప్రయాణించడాన్ని వివర్తనం అంటారు.**

వివర్తన దృగ్విషయం గురించి వివరంగా తెలుసుకొనే ముందు మీకు మీరు వివర్తనాన్ని పరిశీలించవచ్చు. రాత్రి సమయంలో వీధి దీపాన్ని మీకళ్ళను కొద్దిగా తెరచి చూడండి. ఏం కనిపిస్తుంది ? ట్యూబ్‌లైట్ నుండి వచ్చేకాంతి పలురంగుల రేఖలుగా కనిపిస్తుంది. మీ కనురెప్పల చుట్టూ అంచుల వద్ద కాంతి వివర్తనం (వంగడం) వల్ల ఇది జరుగుతుంది.

జేబురుమాలు నుపయోగించి కూడా వివర్తనంను చూడవచ్చు. జేబురుమాలును మీకళ్ళకు దగ్గరగా పెట్టుకొని దానిలోంచి సూర్యుడు లేదా దీపాన్ని చూడండి. మీరు వృత్తాకార పట్టీలను చూస్తారు. జేబురుమాలు అల్లికలో ఏర్పడ్డ చిన్నకంతల వద్ద కాంతి వివర్తనం చెందటం వల్ల ఇది సాధ్యపడుతుంది.

పై ఉదాహరణలలో వివర్తన అవరోధం/ కంత పరిమాణాలు చాలా స్వల్పం. వివర్తనంను పరిశీలించడానికి ఈ కింది నియమాలు పాటింపబడాలి.

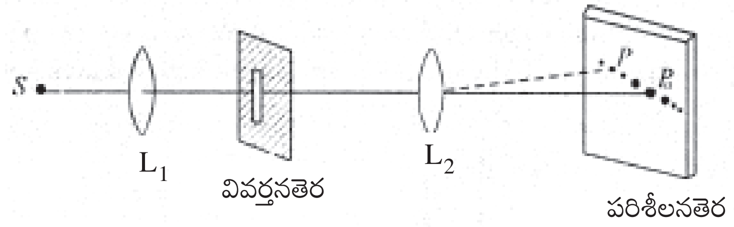
(a) అవరోధం లేదా కంత పరిమాణం, పతన తరంగం తరంగ దైర్ఘ్యం క్రమంతో ఉండాలి (పోల్చదగినంత చిన్నదిగా ఉండాలి)

(b) అవరోధం లేదా కంతకు, తెరకు మధ్య దూరం చాలా ఎక్కువగా అంటే అవరోధం లేదా కంత పరిమాణంకు కొన్ని వేలరెట్లు ఎక్కువగా ఉండాలి.

పై పరిశీలనల ఆధారంగా మనం ఎందుకు వివర్తనాన్ని చూడలేకపోతున్నామో, కాంతి రుజు మార్గంలోనే ప్రయాణిస్తున్నట్లుగా ఎందుకు కనిపిస్తుందో మనకు సులభంగా అర్థం అవుతుంది. కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం 10^{-6} మీ క్రమంలో ఉంటుందని మీకు తెలుసు. కనుక వివర్తనంను పరిశీలించడానికి మనకు అవరోధం లేదా కంత పరిమాణం(10^{-6} మీ) పై క్రమంలో ఉండాలి.

22.3.1 ఒంటి చీలిక వివర్తనం

తెరిచిన ఒంటి చీలిక వద్ద వివర్తన వ్యూహం ఎలా ఉంటుందో ఇపుడు చూద్దాం. పటం 22.7లో వివర్తన వ్యూహాన్ని పొందటానికి ప్రయోగ అమరిక చూపబడింది. S ఏక వర్ణకాంతి జనకం. దీనిని కుంభాకారకటకం నాభీయతలం వద్ద ఉంచారు. అందువల్ల సమతల తరంగాగ్రం సన్నని చీలిక మీద పతన మవుతుంది. చీలిక నుండి వచ్చే కాంతిని కేంద్రీకరించి తెరమీద పడేటట్లు చేయడానికి ఇంకొక కుంభాకార కటకాన్ని ఉంచారు.

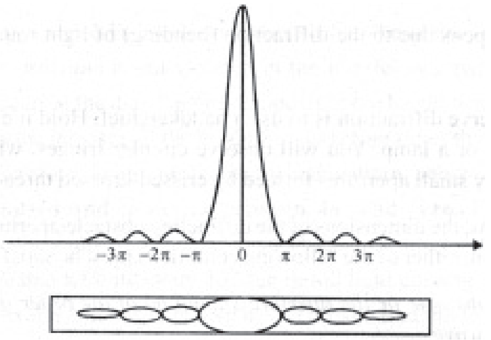


పటం 22.7 ఒంటి చీలిక వివర్తనం

పటం 22.8లో చూపించిన బిందురూప కాంతిజనకం నుండి లంబంగా ఉన్న ఒంటి చీలిక ద్వారా ఏర్పడిన వివర్తన వ్యూహం యొక్క ముఖ్యమైన లక్షణాలు.

- చీలిక పొడవుకు లంబంగా ఉన్న గీతవెంబడి క్షితిజ సమాంతర కాంతిచార
- వరుస ప్రకాశవంతమైన బిందువులతో క్షితిజ సమాంతర వ్యూహం.
- మధ్యలో ఉన్న బిందువు దానికిరు వైపులా ఉన్నబిందువుల కన్నా ప్రకాశవంతమైనది. ఈ బిందువు కిరువైపులా క్షీణిస్తున్న తీవ్రతలో సొష్టవంగా మరికొన్ని ప్రకాశవంతమైన బిందువులు ఉంటాయి. మధ్య బిందువును కేంద్రక గరిష్ఠం అంటారు. మిగతా బిందువులను గౌణ గరిష్ఠాలంటారు.

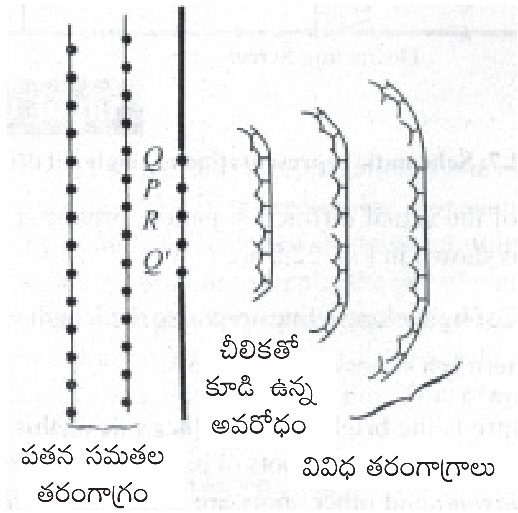
● మధ్య బిందువు వెడల్పు, మిగతా బిందువుల వెడల్పుకన్నా రెండురెట్లు ఎక్కువ.



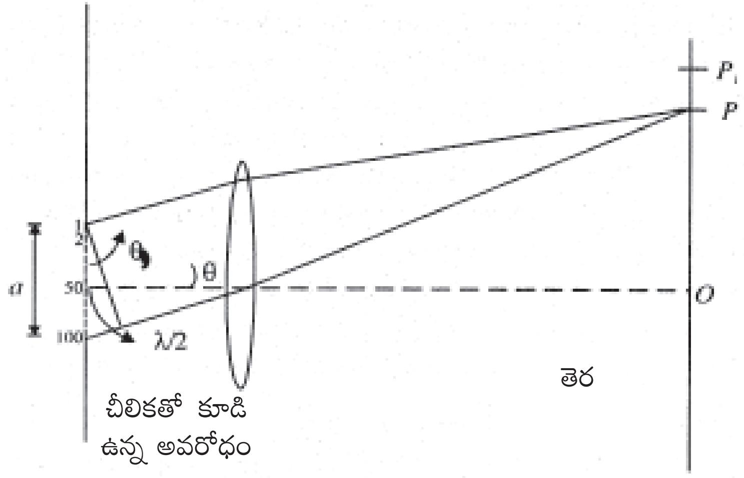
పటం 22.8:పరిశీలించిన ఒంటిచీలిక వివర్తన వ్యూహం

హైగన్స్‌తరంగ సిద్ధాంతం ఆధారంగా ఈ ఫలితాల సైద్ధాంతిక ప్రాతిపదికను అర్థం చేసుకోవచ్చు. సమతల తరంగాగ్రాలు ఒంటి చీలికను కలిగి ఉన్న అవరోధంపై పతనమవుతాయి. ఈ తరంగాగ్రాలన్నీ అవరోధం మీద పతనమయినా కూడా చీలిక మీద పతనమయిన తరంగాగ్రాలు మాత్రం ప్రసారమవుతాయి. తరంగాగ్ర భాగం మాత్రం అవరోధం కుడివైపుకు ప్రయాణిస్తాయి. ఏదేమైనా చీలికను దాటిన తరువాత తరంగాగ్ర ఆకారం సమతలంగా ఉండదు.

పటం 22.9లో కంత Q P R…Q^1 లో ప్రతిబిందువు గౌణతరంగికలకు వరుస సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా ఉంటాయి. అవరోధానికి కుడివైపున ఉన్న తరంగాగ్రం మధ్య భాగంలోని P బిందువు నుండి బహిర్గతమవుతున్న తరంగిక, P కి ఇరువైపులా ఉన్న Q,R బిందువుల నుండి వెలువడుతున్న తరంగికల వల్ల వ్యాప్తి చెందుతుంది. తరంగిలకు గీసిన స్పర్శరేఖ తరంగాగ్రం యొక్క ఆకారాన్ని నిర్ణయిస్తుంది. కనుక తరంగాగ్రం పురోగ మించినపుడు మధ్యభాగం సమతలంగా ఉంటుంది. చీలిక చివరి బిందువులైన Q,Q^1నుండి వెలువడే తరంగికలతో అధ్యారోపణం చెందడానికి అంచులను దాటి మరే ఇతర తరంగికలు ఉండవు. అధ్యారోపణం, తరంగాగ్రం సమతలంగా ఉండటానికి సహాయపడుతుంది కనుక అంచుల వద్ద అధ్యారోపణం చెందని తరంగికలు సమతలంగా ఉండవు. అంటే అంచుల వద్ద నున్న తరంగికలు వ్యాప్తిచెందుతాయి. దీని ఫలితంగా పరిమిత పరిమాణం గల పలుచని కంతపై సమతల తరంగాగ్రం పతనమై దానిగుండా ప్రయాణించిన తరువాత సమతలంగా ఉండదు.



పటం 22.9 : సన్నని చీలిక నుండి కాంతి వివర్తనంకు హైగన్స్ నిర్మాణం



పటం 22.10: ఒంటి చీలిక వివర్తనానికి పథకాత్మక పటం

ఒంటి చీలిక వివర్తన వ్యూహం **తీవ్రత వితరణను** అర్థంచేసుకోవడానికి తెరను చేరిన తరంగాల అధ్యారోపణ స్వభావాన్ని కనుక్కుందాం. హైగన్స్ సూత్రాన్ని అనువర్తించడానికి చీలిక వెడల్పు **a** ను 100 సమాన భాగాలుగా విభజిద్దాం. ప్రతీభాగాన్ని గౌణ తరంగికల జనకస్థానంగా భావిద్దాం. ఈ బిందువుల నుండి బయటకు వస్తున్న తరంగికలు, చీలికకు కుడివైపున ఉన్న ప్రదేశంలోకి వ్యాప్తి చెందుతాయి. సమతలతరంగాగ్రం చీలిక మీద పతనమవుతున్నందున ప్రారంభంలో అన్ని బిందువులు ఒకే దశలో ఉంటాయి. అందువల్ల చీలికను వదిలి పెట్టే సమయంలో ఈ బిందువు నుండి బహిర్గతమయ్యే తరంగిలన్నీ ఒకే దశలో ఉంటాయి. ఈ తరంగికల అధ్యారోపణ ఫలితాన్ని O బిందువద్ద తెరమీద చూద్దాం. 1వ మరియు 100వ జనకాల నుండి వెలువడిన తరంగికలు O బిందువును ఒకే దశలో చేరతాయని పటం 22.10 లోని సౌష్టవం తెలియజేస్తుంది. ఎందుకనగా రెండు తరంగికలు ప్రయాణం చేసే పథ దూరం సమానం కనుక. చీలిక మీద ఉండే బిందువు నుండి ప్రయాణం మొదలుపెట్టినపుడు అవి అన్నీ ఒకే దశలో ఉంటాయి. ఒకే దశలో O బిందువద్దకు చేరి అధ్యారోపణం చెందిన ఫలిత కంపన పరిమితి 1 మరియు 100వ జనకాల నుండి వచ్చిన తరంగికల వైయుక్తిక కంపనపరిమితి కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఇలాగే 2 నుండి 50 వరకు గల జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికలకు 99 నుండి 55వ జనకం నుండి వచ్చే తరంగికలు అనురూపంగా ఉంటాయి. ఇవి నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం చెందటం ద్వారా O బిందువు వద్ద తీవ్రతను అధికం చేస్తాయి. అపుడు తెరమీద O బిందువు ద్యుతిమయంగా కనిపిస్తుంది.

అక్షం నుండి దూరంగా ఉండే P అనే బిందువును తెరమీద తీసుకుందాం. చీలిక యొక్క రెండు చివరి బిందువులు అంటే 1వ మరియు 100వ జనక స్థానముల మధ్య పథభేదం λ ఉండే విధంగా తెరపై P బిందువును తీసుకోండి. అపుడు 1 మరియు 51వ జనక స్థానములు నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం సుమారుగా $\frac{\lambda}{2}$ అవుతుంది.

1 మరియు 51వ జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికలు P బిందువు వద్దకు వ్యతిరేకదశలో చేరి వినాశాత్మక వ్యతికరణాన్ని ఏర్పరుస్తుందని కాంతి వ్యతికరణం నుండి తెలుసు. ఇలాగే 2 మరియు 52వ జనకములనుండి వచ్చే

తరంగికలు మరియు ఇలాంటి అన్ని జతల నుండి వచ్చే తరంగికలు P బిందువు వద్ద వినాశాత్మక వ్యతికరణాన్ని ఇస్తాయి. ఇందు వలన P బిందువు వద్ద కనిష్టతీవ్రత ఉంటుంది. ఇలాగే చివరలో ఉన్న జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం 2λ ఉన్న అన్ని బిందువులకు కనిష్ట తీవ్రత ఉంటుంది. 1 మరియు 2 చతుర్థాంశాల మధ్య పథభేదం $\frac{\lambda}{2}$ ఉండి అవి ఒకదానితో ఒకటి రద్దు చేసుకొనే విధంగా చీలికను 4 సమాన బిందువులుగా 1 మరియు 26, 2 మరియు 27..... జతలుగా విభజించా మనకుందాం. పై వాదన నుండి 3 మరియు 4 చతుర్థాంశాలు ఒక దానితో ఒకటి రద్దు చేసుకొని ఫలిత తీవ్రత కనిష్టమవుతుంది. ఇలాగే మిగతావన్నీకూడా కనిష్ట తీవ్రతను ఏర్పరుస్తాయి. చివరి బిందువుల వల్ల ఒక ప్రత్యేక దిశలో వివర్తనం చెందిన తరంగికల మధ్యపథభేదం λకు పూర్ణాంక గుణిజాలుగా ఉన్నపుడు ఫలిత వివర్తన తీవ్రత ఆ దిశలో శూన్యమవుతుందని చెప్పవచ్చు.

P మరియు P_1ల మధ్య ఉంటే P^1 బిందువు వద్ద తీవ్రతను కనుగొందాం. చివరి బిందువుల నుండి వివర్తనం చెందిన తరంగికల మధ్య పథభేదం $\frac{3\lambda}{2}$. చీలిక వద్ద తరంగాగ్రాన్ని మూడు సమాన భాగాలుగా విభజిద్దాం. ఈ పరిస్థితిలో రెండు భాగాల అనురూప జనకాల నుండి వచ్చే గౌణ తరంగికలు P బిందువును చేరినపుడు పథభేదం $\frac{\lambda}{2}$ ఉండి ఒక దాని నొకటి రద్దు చేసుకుంటాయి. తరంగాగ్రం మూడవ భాగం నుండి వచ్చిన తరంగికలు నిర్మాణాత్మక (ఈ భాగం నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం శూన్యం అవుతుంది) వ్యతికరణం చెంది P^1 బిందువును ద్యుతిమయం చేస్తాయి. తరంగాగ్రంలో $\frac{1}{3}$ వంతుభాగం మాత్రమే P^1 బిందువు వద్ద తీవ్రతకు కారణమైతే, O బిందువు వద్ద తీవ్రతకు మొత్తం తరంగాగ్రం కారణం కనుక P^1 వద్ద తీవ్రత, O బిందువు వద్ద తీవ్రతకన్నా చాలా తక్కువ. P^1 బిందువు మరియు ఇలాంటి అన్ని బిందువులు కలిసి గౌణ గరిష్టంను ఏర్పరుస్తాయి.

ఒంటి చీలిక వివర్తానికి ఇది గుణాత్మకమైన సరళీకృత వివరణ మాత్రమే అని గమనించగలరు. దీని గురించి మరింత విశ్లేషణాత్మకంగా తరువాతి తరగతుల్లో చదువుకుంటారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.3

1. కాంతి సరళరేఖ పథంలో ప్రయాణించదని వివర్తనం నిరూపిస్తుందా?

   ....

2. వ్యతికరణం, వివర్తనం లమధ్య భేదాలను తెలపండి?

   ....

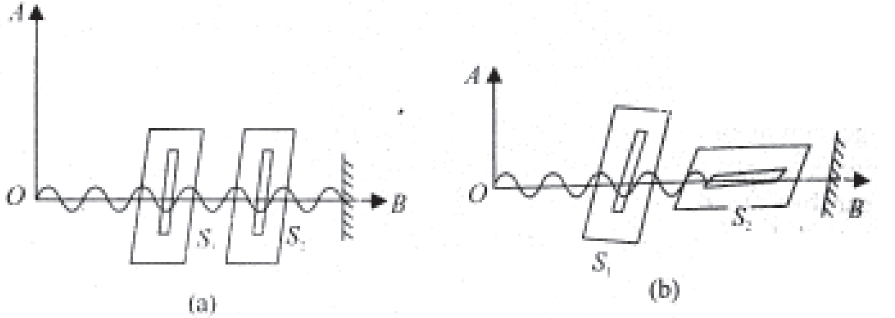
3. ఒంటి చీలిక వివర్తనంలో కేంద్రిక గరిష్టం, గౌణ గరిష్టంల తీవ్రత సమానంగా ఎందుకుండవు?

   ....

22.4 కాంతి ధృవణం

ఇంతకుముందు రెండు భాగాలలో మీరు వ్యతికరణం, వివర్తన దృగ్విషయంల గురించి నేర్చుకున్నారు. ఈ దృగ్విషయాలను చర్చించేటప్పుడు కాంతి తరంగాలు అనుదైర్ఘ్య తరంగాలా లేక తిర్యక్ తరంగాలా అనే విషయాన్ని పట్టించుకోలేదు. ధృవణం, కాంతి తిర్యక్ తరంగమని చివరికి స్థిరీకరించింది.

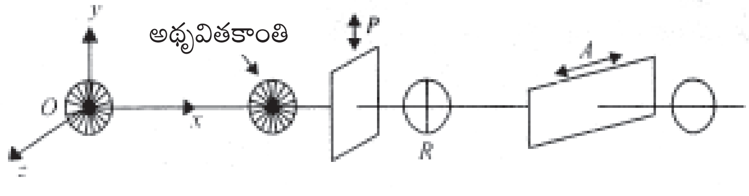
ధృవణంను అర్థంచేసుకోవడానికి ఒక చిన్న ప్రయోగం చేయండి.



పటం 22.11 : (a) **రెండు లంబంగా ఉన్న చీలికలు** (b) **ఒకటి లంబంగా ఉన్నచీలిక, రెండవది క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్న చీలికల గుండా ఉన్న తాడు వెంబడి తిర్యక్ తరంగం**

సన్నని నిలువు చీలికలు S_1, S_2 లుగల రెండు అట్ట ముక్కలను తీసుకొని, వాటిని సమాంతరంగా పట్టుకోండి. వాటిగుండా ఒక తాడునుపంపించి తాడు ఒక చివరను బిగించి రెండవ చివరను మీచేతిలో పట్టుకోండి. తాడును క్రిందికి, పైకి, ప్రక్కలకు జరుపుతూ తాడులో అన్ని దిశలలో తరంగాలు పుట్టేలా కదపండి పటం 22.11 (a) లో చూపినట్లుగా S_1 చీలిక గుండా పోతున్న తరంగాలు S_2 చీలిక గుండా కూడా పోతాయి. S_2 చీలికను క్షితిజ సమాంతరంగా పెట్టి ప్రయోగాన్ని మళ్ళీ చేయండి. S_2 కు ఆవలివైపున ఎటువంటి తరంగాలు ఉండవు. అంటే S_1 గుండా ప్రయాణించిన తరంగాలు క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్న చీలిక S_2 గుండా ప్రయాణించలేదు. దీనికి కారణం పటం 22.11(b) లో చూపినట్లుగా తరంగంలోని కంపనాలు S_2 చీలికకు లంబంగా ఉన్న తలం వెంబడి ఉన్నాయి కనుక.

O వద్ద కాంతిజనకాన్ని ఉంచి, చీలికలకు బదులుగా పోలరాయిడ్‌లను పెట్టి పై కృత్యాన్ని చేయండి. సంధర్భంలో (a) లో మాత్రమే కాంతి కనబడుతుంది. కాంతి కంపనాలు ఒక తలానికి బద్ధమై ఉన్నాయని తెలుస్తుంది. మొదటి పోలరాయిడ్ గుండా ప్రయాణించిన తరువాత అది రేఖీయ ధృవణం లేదా సమతల ధృవణం చెందిందని అంటారు(పటం 22.12).



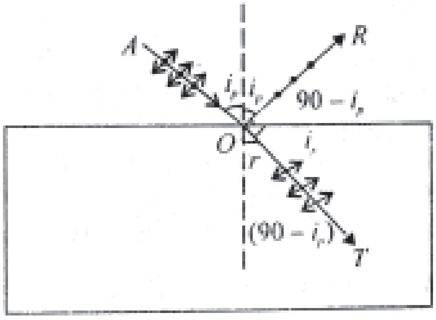
పటం 21.12 : కాంతి ధృవణాన్ని పరిశీలించడానికి పథకాత్మక పరికరాలు.

గాజు, నీరు, మరేదైన పారదర్శక పధార్థం మీద అధృవిత కాంతి పతనమైనపుడు, పరావర్తన కాంతి సాధారణంగా పాక్షిక సమతల ధృవిత కాంతిగా మారుతుంది. పటం 22.13లో గాజు పలకమీద అధృవిత కాంతి AO పతనమైంది. పరావర్తనకిరణాన్ని OR గా, ప్రసారిత కిరణాన్ని OT గా చూపించారు. ధృవణకోణం వద్ద కాంతి పతనమైనపుడు కాంతి పూర్తి ధృవణం చెందుతుంది. ఈ కోణం వద్ద పరావర్తన, ప్రసారిత కిరణాలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి.

అధృవిత కాంతి పతనమైన గాజు పధార్ధ వక్రీభవన గుణకం మీద ధృవణకోణం ఆధారపడుతుంది. r మరియు i_p ల మధ్య సంబంధాన్ని స్నెల్‌నియమం నుండి రాబట్టవచ్చు. (పటం 22.13)

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{\sin i_p}{\sin (90 - i_p)}$$

$$= \frac{\mathrm{Sin} i_p}{\cos i_p} = \tan i_p$$



పటం 22.13 : పరావర్తన, వక్రీభవన కాంతితో ధృవణం

దీనిని **బ్రూస్టర్ నియమం** అంటారు. దీని నుండి ధృవణకోణం i_p, పదార్థ వక్రీభవనగుణకం మీద ఆధారపడుతుందని తెలుస్తుంది. గాలి, నీరు అంతరఫలకానికి i_p=53^0 సూర్యుడు క్షితిజ సమాంతరానికి 37^0 పైన ఉన్నపుడు, నిశ్చలమైన సరస్సు లేక చెఱువు నుండి పరావర్తనం చెందిన కాంతి పూర్తిగా సమతల ధృవణం చెందుతుంది. బ్రూస్టర్ నియమం మననిత్య జీవితంలో అనేక అనువర్తనాలను కలిగి ఉంది. సమానంగా ఉండే తలాల నుండి పరావర్తనం చెందిన కాంతి కలిగించే గ్లేర్‌ను ధృవణ పధార్థాలనుపయోగించి తగ్గించవచ్చు. వీటిని పోలరాయిడ్ అంటారు. ఇవి చిన్న స్పటికాలైన క్వినైన్ ఐడో సల్ఫేట్ (quinini oodo sulphate) లతో తయారుచేస్తారు. నైట్రో సెల్యులోజ్ పలకపై అన్ని స్పటికాలు ఒకే దిశలో ఉండే విధంగా వరుసగా అమర్చుతారు. వీటిని డైక్రాయిక్ (dichroic) స్పటికాలంటారు. ఇవి ప్రత్యేక తలంలో కాంతిని ప్రసరింపచేసి, లంబంగా ఉండే తలంలో కాంతిని శోషణం చేసుకుంటుంది. కనుక పోలరాయిడ్ పూతపూయబడిన చలువ అద్దాలు ధృవణ కాంతిలోని ఒక అంశను శోషణం చేసుకోవడం ద్వారా గ్లేర్‌ను తగిస్తాయి. పోలరాయిడ్ డిస్కలను ఫోట్రోగ్రఫిలో కెమెరాకటకం ముందు ఫిల్టర్‌గా ఉపయోగించుట వలన గ్లేర్ వల్ల కనిపించకుండా పోయిన వివరాలను కూడా పొందవచ్చు. పొలారీమీటరును చక్కెర పరిశ్రమలో నాణ్యతను పరిశీలించడానికి ఉపయోగిస్తారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.4

1. కాంతి తిర్యక్ తరంగం మనడానికి ధృవణం తిరుగులేని ఋజువు దీనిని సమర్ధించండి?

   ....

2. తరంగ ప్రసార దిశ, ధృవణతలంలో ఉండనక్కర లేదని చెప్పడం సమంజసమేనా?

   ....

3. రెండు పోలరాయిడ్‌ల అమరికపై అధృవితకాంతి పతనమైందనుకుందాం. వీటిని ఉపయోగించే కాంతిని పూర్తిగా బహిర్గతం కాకుండా నిరోధించాలను కున్నపుడు ఆ రెండు పోలరాయిడ్‌ల ప్రసార అక్షాల మధ్య కోణం ఎంత ఉండాలి?

   ....

4. గాలిలో ధ్వని తరంగాలు ధృవణాన్ని చూపుతాయా?

   ....

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రకారం కాంతి తరంగాగ్రాల రూపంలో ప్రయాణిస్తుంది.
- ఏదేని ఒకక్షణమందు ఒకే దశలో కంపిస్తున్న యానకంలోని కణాల బిందుపథంను తరంగాగ్రం అంటారు.
- రెండు కాంతి జనకస్థానాలు వెలువరించే కాంతి తరంగాలు ఒకే పౌనఃపున్యం, ఒకే కంపన పరిమితితో ఒకే పథం వెంబడి ప్రయాణిస్తూ స్థిరమైన దశాభేదాన్ని కలిగి ఉంటే ఆ తరంగాలు సంబద్ధతను కలిగి ఉన్నాయని అంటారు.
- రెండు సంబద్ధ కాంతిజనకాల నుండి వచ్చే తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందినపుడు వివిధ బిందువుల వద్ద శక్తి పునర్విభజన జరుగుతుంది. దీనిని కాంతివ్యతికరణం అంటారు.
- నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణానికి దశాభేదం $\Delta = 2n\pi,$,

  వినాశాత్మక వ్యతికరణానికి దశాభేదం $\Delta = (2n+1)\pi$
- అవరోధం లేదా కంత అంచుల వద్ద కాంతి వంగి ప్రయాణించడాన్ని కాంతి వివర్తనం అంటారు.
- కాంతి కంపనాలు కాంతి ప్రసరణ దిశను కలిగి ఉన్న ఒక ప్రత్యేక తలానికి బద్ధమై ఉంటే ఆ దృగ్విషయాన్ని కాంతి ధృవణం అంటారు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. కాంతి స్వభావాన్ని తెలిపే సిద్ధాంతాలను క్లుప్తంగా వివరించండి?

2. తరంగాగ్రమనగా నేమి? సాహచర్య తరంగాగ్ర పరంగా కాంతి పుంజం దిశ ఏమిటి? హైగన్స్ సూత్రాన్ని తెలిపి కాంతి తరంగ ప్రసరణను వివరించండి?

3. హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రాతిపదికన పరావర్తన నియమాలను సాధించండి?

4. తరంగ అధ్యారోపణ సూత్రమనగా నేమి? కాంతి వ్యతికరణాన్ని వివరించండి?

5. వ్యతికరణంను పొందుటకు యంగ్ జంట చీలిక ప్రయోగాన్ని వర్ణించండి? వ్యతికరణ పట్టీల వెడల్పుకు సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి?

6. యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం ద్వారా పొందిన వ్యతికరణ వ్యూహం మార్పులు చేసినపుడు ఏ విధంగా మారుతుంది.

   (i) ఏదో ఒక చీలికను మూసి వేసారు.

   (ii) ప్రయోగాన్ని గాలిలో కాకుండా నీటిలో చేసారు.

   (iii) ఆకుపచ్చని కాంతి జనక స్థానానికి బదులు పసుపురంగు కాంతి జనకస్థానాన్ని ఉపయోగించారు.

   (iv) రెండు చీలికల మధ్య దూరాన్ని నెమ్మదిగా పెంచారు.

   (v) ఏక వర్ణ కాంతికి బదులుగా తెల్లని కాంతిని ఉపయోగించారు.

   (vi) చీలికల, తెర మధ్య దూరాన్ని పెంచారు.

   (vii) రెండు చీలికలను కొద్దిగా దగ్గరకు జరిపారు.

   (viii) ప్రతీ చీలిక వెడల్పు పెంచారు.

7. యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగ అమరికలో రెండు చీలికల మధ్యదూరం 2. మి.మి, చీలికలు, తెరమధ్య దూరం 100 సెం.మీ చీలకల మధ్య బిందువు నుండి పోయేరేఖ, తెరను తాకిన బిందువు నుండి తైరమీద 5 సెం.మీ దూరంలో ఉన్న బిందువును చేరే తరంగాల మధ్య పథభేదాన్ని గణించండి?

8. హైగన్స్ నిర్మాణం సహాయంతో వివర్తన దృగ్విషయాన్ని వర్ణించండి?

9. కాంతి తరంగాలు తిర్యక్ స్వభావాన్ని కలిగి ఉన్నాయని నువ్వు ఎలా నిరూపిస్తావు?

10. ధృవిత, అధృవిత కాంతులను పోల్చండి?

11. బ్రూస్టర్ నియమాన్ని తెలిపి, వివరించండి?

12. యానక ధృవణకోణం 60^0, వక్రీభవన గుణకాన్ని గణించండి?

13. వక్రీభవన గుణకం 1.42 గల యానకానికి, పతన అధృవిత కాంతి ధృవణకోణాన్ని కనుక్కోండి?

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలు

22.1

1. ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి $\left(\theta = \pi/2\right)$

2. $\frac{1}{2}$

22.2

1. తరంగకంపన పరిమితి మీద, రెండింటి మధ్య దశాభేదం మీద ఆధారపడుతుంది.

2. రెండు అధ్యారోపణ పుంజాల మధ్య దశాభేదం 2πకు పూర్ణాంక గుణిజలైతే, నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం జరుగుతుంది.

3. చెయ్యలేము. రెండు స్వతంత్ర కాంతి జనకాలు వేరువేరు తరంగ దైర్ఘ్యాలు, కంపన పరిమితి గల తరంగాలను వెలువరిస్తాయి. ఆ రెండు కాంతి జనకాల నుండి వచ్చే తరంగాలు స్థిరమైన దశాభేదంను కలిగి ఉండవు. అటువంటి కాంతిజనకాలను అసంబద్ధ కాంతి జనకాలు అంటారు. వ్యతికరణంను పరిశీలించడానికి కాంతి జనకాలు తప్పనిసరిగా సంబద్ధతను కలిగి ఉండాలి. అసంబద్ధ కాంతి జనకాల నుండి కాంతి తరంగాలు వస్తున్నపుడు తెరపై ఒక బిందువు వద్ద ఒకక్షణంలో రెండు తరంగాల శృంగాలు లేదా రెండు ద్రోణులు అధ్యారోపణం వల్ల ఆ బిందువు ద్యుతిమయమవుతుంది. అదే బిందువు వద్ద మరియొక క్షణంలో ఒక కాంతి జనకం నుండి వచ్చే తరంగంలోని శృంగం, రెండవ తరంగంలోని ద్రోణితో అధ్యారోపణం చెందటం వల్ల ఆ బిందువు ద్యుతి హీనమవుతుంది. ఈ విధంగా S_1, S_2 లస్థానంలో రెండు విద్యుత్ బల్బులను అమర్చినపుడు తెరమొత్తం ఏకరీతిగా ప్రకాశవంతమవుతుంది.

4. సంబద్ధ కాంతి జనకాలు

(a) ఒకే పౌనఃపున్యం మరియు తరంగదైర్ఘ్యం

(b) స్థిరమైన దశాభేదం కలిగిన

(c) ఒకే కంపన పరిమితి మరియు ఆవర్తన కాలంతో తరంగాలను వెలువరిస్తాయి. అంతేకాక ఈ రెండు జనకాలు చాలా దగ్గరగా ఉంటాయి. మనకళ్ళకుపై లక్షణాలు లేవు.

22.3

1. అవును.
2. రెండు వేరు వేరు గౌణ జనక స్థానముల నుండి బహిర్గతమైన గౌణతరంగాల అధ్యారోపణం వల్ల వ్యతికరణం జరిగితే ఒకే తరంగాగ్రంలోని వేరు వేరు భాగాలనుండి వెలువడిన గౌణ తరంగాలు అధ్యారోపణం వల్ల వివర్తనం జరుగుతుంది.
3. తరంగికల మధ్య పెరుగుతున్న పథభేదం కారణంగా తీవ్రతలో భేదం ఉంటుంది.

22.4

1. లేదు. అనుదైర్ఘ్య తరంగంలో కంపనదిశ, తరంగ ప్రసార దిశలోనే ఉంటుంది.
2. కాదు (3) 90^0 లేదా270^0 (4) లేదు.

ముగింపు అభ్యాసంలోని లెక్కలకు సమాధానాలు

7. 0.1 మీ.మీ 12. 1.73 13. 54^0