అధ్యాయం

5

సమతల ఉపరితలాల వద్ద కాంతి వక్రీభవనం

ఇంతకుముందు మనం కాంతి పరావర్తనం గురించి నేర్చుకున్నాం. కాంతి వల్లనే ప్రకృతికి అందం చేకూరుతుంది. వివిధ సందర్భాలలో కాంతి ప్రవర్తించే తీరు ఎంతో ఆసక్తికరంగా ఉంటుంది.

వాటిలో కొన్నింటిని పరిశీలిద్దాం!

ఒక పాత్రలోని నీటిలో పడవేసిన నాణెం ఆ పాత్ర అడుగు భాగం నుండి పైకి కొంత ఎత్తులో కనబడటం మీరు గుర్తించి ఉంటారు కదా! అదేవిధంగా ఒక గాజు గ్లాసులోని నీటిలో ఉంచిన నిమ్మకాయ పరిమాణం పెరిగినట్లు కనబడుతుంది. కాగితంపై రాసిన అక్షరాలపై ఒక మందపాటి గాజుపలకనుంచి చూస్తే ఆ అక్షరాలు కాగితంపై నుండి కొంత ఎత్తులో కనబడతాయి.

- ఈ విధమైన మార్పులకు కారణమేమై ఉంటుంది?

కృత్యం 1

ఒక గాజు గ్లాసులో కొంత నీటిని తీసుకోండి. అందులో ఒక పెన్సిల్ ఉంచండి. గ్లాసు పైభాగం నుండి, ప్రక్కభాగం నుండి పెన్సిల్‌ను పరిశీలించండి.

- పెన్సిల్ ఎలా కనిపిస్తుంది?
- గ్లాసు పైనుండి, పక్కనుండి పరిశీలించినపుడు ఏం తేడాను గమనించారు?

కృత్యం 2

సూర్యుని ఎండపడుతున్న ఒక పొడవైన గోడ (దాదాపు 30 అడుగుల పొడవు గల గోడ) వద్దకు మీరు, మీ స్నేహితుడు వెళ్ళండి. గోడ ఒక చివర వద్ద మీరు నిల్చొని, రెండవ చివర వద్ద ప్రకాశవంతమైన ఒక లోహపు వస్తువును చేతిలో పట్టుకొని మీ స్నేహితుణ్ణి నిలబడమని

చెప్పండి. గోడకు కొద్ది అంగుళాల దూరంలో ఆ లోహపు వస్తువు ఉన్నప్పుడు, గోడ అద్దం వలె ప్రవర్తిసున్నట్లుగా దానిపై లోహపు వస్తువు యొక్క ప్రతిబింబం కనబడుతుంది.

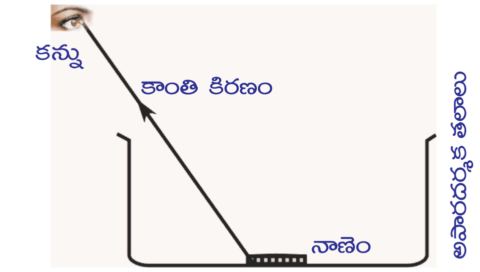
- గోడపై వస్తువు యొక్క ప్రతిబింబం ఎందుకు ఏర్పడింది?

పై ప్రశ్నలకు సమాధానాలివ్వడానికి, వాటికి గల కారణాలను వివరించడానికి కాంతి వక్రీభవనం (Refraction of light) గురించి మనం అవగాహన చేసుకోవాలి.

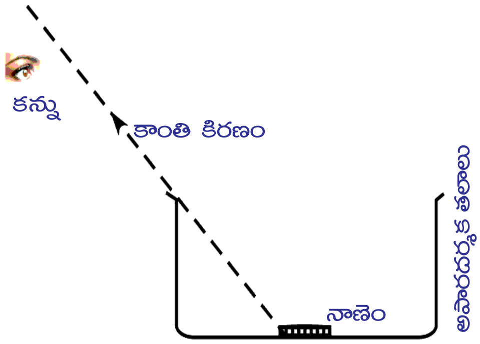
వక్రీభవనం

కృత్యం 3

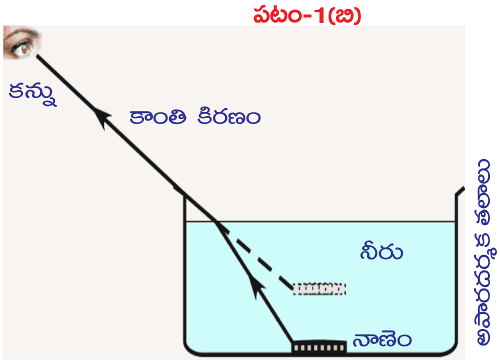
అపారదర్శక పదార్థంతో తయారు చేయబడిన, తక్కువ లోతు కలిగిన పాత్రను (shallow vessel) తీసుకోండి. పాత్ర అడుగున ఒక నాణేన్ని ఉంచండి. ఆ నాణెం మీకు కనబడకుండా పోయేవరకు పాత్ర నుండి వెనుకకు జరగండి. పటం-1 (బి)ని చూడండి. మీరు అక్కడే నిల్చుని ఆ పాత్రను నీటితో నింపమని మీ స్నేహితురాలికి చెప్పండి. ఆ పాత్రను నీటితో నింపగానే తిరిగి ఆ నాణెం మీకు కనిపిస్తుంది. పటం-1 (సి)ని చూడండి.



పటం-1(ఎ)



పటం-1(బి)



పటం-1(సి)

- పాత్రను నీటితో నింపితే నాణెం మీకు ఎందుకు కనబడింది?

పటం-1 (బి)లో చూపినట్లు పాత్ర ఖాళీగా ఉన్నప్పుడు నాణెం నుండి వచ్చే కాంతి కిరణం మీ కంటిని చేరలేదు. అందుకే నాణెం మీకు కనిపించలేదు. పాత్రను నీటితో నింపిన తరవాత మీకు నాణెం కనిపించింది.

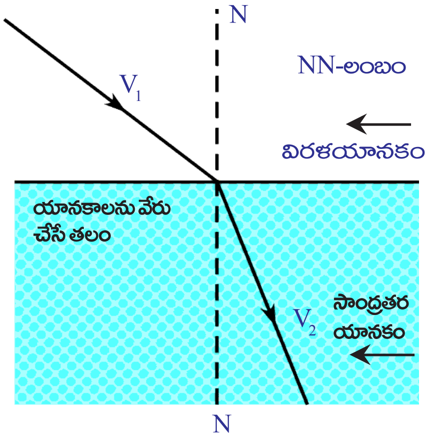
- ఇది ఎలా సాధ్యమయింది?
- పాత్రలో నీరు పోసినప్పుడు నాణెం నుండి వచ్చే కాంతి కిరణం మీ కంటిని చేరుతుందని మీరు భావిస్తున్నారా?

అది నిజమని భావిస్తే, కాంతి ఋజుమార్గంలో (సరళరేఖా మార్గంలో) ప్రయాణిస్తుందనే అంశం ఆధారంగా నాణెం నుండి మీ కంటికి చేరే కాంతిని కిరణ చిత్రం (ray diagram) ద్వారా చూపండి.

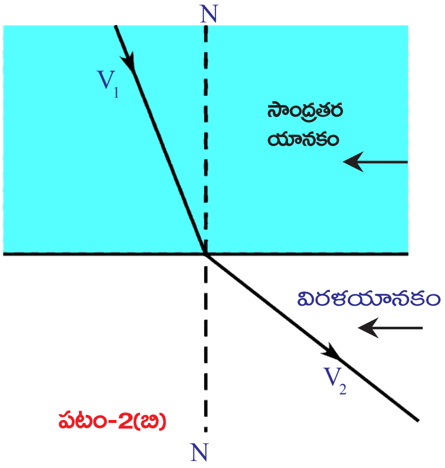
- నీటిని, గాలిని వేరుచేసే తలం వద్ద కాంతి కిరణం ఏమయ్యింది?
- ఈవిధంగా కాంతి కిరణం వంగిపోవడానికి కారణం ఏమై ఉంటుంది?

ఫెర్మాట్ సూత్రాన్ని ఆధారంగా చేసుకొని పై ప్రశ్నలకు సమాధానాలివ్వవచ్చు. ఏవేని రెండు బిందువుల మధ్య కాంతి ప్రయాణించేటప్పుడు అతి తక్కువ సమయం పట్టే మార్గంలోనే ప్రయాణిస్తుందని, 'ఫెర్మాట్ సూత్రం' తెలుపుతుంది. ఈ సూత్రాన్ని మన కృత్యానికి అన్వయిద్దాం!

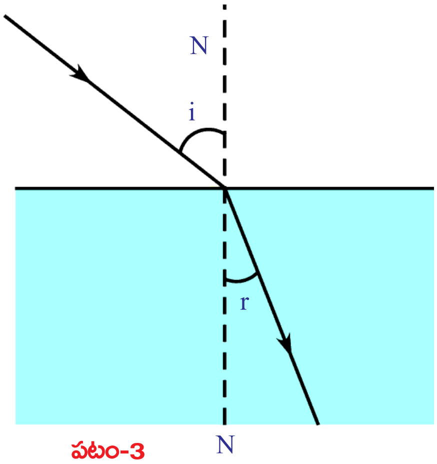
పై కృత్యంలో కాంతి కిరణాన్ని పరిశీలిస్తే నీరు, గాలి అనే యానకాలను వేరుచేసే తలం (interface) వద్ద కాంతి కిరణం తన దిశను మార్చుకుంటుందని స్పష్టమవుతుంది. నాణెం నుండి కంటిని చేరడానికి అతి తక్కువ కాలం పట్టేందుకుగాను కాంతి కిరణం ఈ మార్గాన్ని ఎన్నుకుంది. యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద కాంతి వేగంలో మార్పువచ్చినప్పుడే ఇది సాధ్యమవుతుంది. మరోవిధంగా చెప్పాలంటే వివిధ యానకాలలో కాంతి వేగం వేర్వేరుగా ఉంటుంది. దీనిని బట్టి ఒక యానకం నుండి మరొక యానకంలోకి ప్రయాణించేటప్పుడు కాంతి వేగం మారుతుందని చెప్పవచ్చు.



పటం-2(ఎ)



పటం-2(బి)



పటం-3

ఒక యానకం నుండి మరొక యానకంలోకి ప్రయాణించేటప్పుడు కాంతివేగం మారడం వల్ల, కాంతి దిశ మారే దృగ్విషయాన్ని కాంతి వక్రీభవనం అంటాం. ఒక తలానికి లంబంగా పతనమైనప్పుడు తప్ప, మిగిలిన ఏ సందర్భంలోనైనా కాంతి వక్రీభవనం చెందినప్పుడు కాంతికిరణం వంగిప్రయాణించడం గమనించవచ్చు.

2 (ఎ), 2 (బి) పటాలలో చూపినట్లు కాంతి (v_1 వేగంతో) ఒక యానకం నుండి రెండో యానకంలోకి (v_2 వేగంతో) ప్రయాణిస్తుంది అనుకుందాం.

- పటం-2 (ఎ), (బి) పటాలలోని వక్రీభవన కిరణాలలో మీరు ఏం తేడా గమనించారు?
- వక్రీభవన కిరణాల ప్రవర్తనకు, కాంతి వేగాలకు ఏదైనా సంబంధం ఉందా?

యానకంలో కాంతి వేగం మారడం వల్లనే వక్రీభవనం జరుగుతుందని వివిధ ప్రయోగాలు తెలుపుతున్నాయి.

v_1 కన్నా v_2 తక్కువైతే ఒకటో యానకంకన్నా రెండో యానకం సాంద్రతర యానకం (denser medium) అంటాం.

v_1 కన్నా v_2 ఎక్కువైతే ఒకటో యానకంకన్నా రెండో యానకం విరళ యానకం (rarer medium) అంటాం.

కాంతి కిరణం విరళ యానకం నుండి సాంద్రతర యానకంలోకి ప్రవేశిస్తే రెండు యానకాలను వేరు చేసే తలం వద్ద గీసిన లంబంవైపుగా వక్రీభవన కిరణం జరుగుతుంది. కాంతి కిరణం సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు వక్రీభవన కిరణం లంబానికి దూరంగా జరుగుతుంది. రెండు యానకాలను వేరే చేసే తలం వద్ద కాంతి కిరణం తన పథాన్ని మార్చుకుంటుందని మనం ఇదివరకే తెలుసుకున్నాం. పటం-3లో చూపినట్లు పతనబిందువు వద్ద ఒక లంబాన్ని గీయండి.

లంబానికి–పతనకిరణానికి మధ్య కోణం(i)ని పతనకోణం అని, లంబానికి–వక్రీభవన కిరణానికి మధ్య కోణం(r) ను వక్రీభవన కోణం అని అంటాం.

వక్రీభవనం జరిగే విధానాన్ని వివరించడానికి వక్రీభవన గుణకం (refractive index) అనే సిరాంకం గురించి తెలుసుకోవాలి. ఇది పారదర్శక యానకానికుండే ధర్మం.

కాంతి ఒక యానకం నుండి మరొక యానకంలోకి ప్రయాణించేటప్పుడు దాని దిశలో మార్పు ఏ మేరకు జరుగుతుంది అనేది వక్రీభవన గుణకం రూపంలో తెలియపరుస్తాం.

వక్రీభవన గుణకం

శూన్యంలో కాంతి అత్యంత వేగంతో ప్రయాణిస్తుందని మనకు తెలుసు. శూన్యంలో కాంతి దాదాపుగా 3×10^8 మీ/సె. వేగంతో ప్రయాణిస్తుది. దీనిని **c** తో సూచిస్తాం. మరే ఇతర పారదర్శక యానకంలోనైనా కాంతి వేగం 'c' కన్నా తక్కువగా ఉంటుంది.

ఏదేని యానకంలో కాంతి వేగం v అనుకుంటే, శూన్యంలో కాంతి వేగానికి, ఆ యానకంలో కాంతి వేగానికి గల నిష్పత్తిని ఆ యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం nగా నిర్వచిస్తాం. దీనినే పరమ వక్రీభవన గుణకం (absolute refractive index) అంటాం.

$$\text{పరమ వక్రీభవన గుణకం (n)} = \frac{\text{శూన్యంలో కాంతి వేగం}}{\text{యానకంలో కాంతి వేగం}}$$

$$n = c/v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

ఇది ఒకేవిధమైన రెండు రాశుల నిష్పత్తి. కనుక దీనికి ప్రమాణాలు ఉండవు. ఒక యానకంలో కాంతి ఎంత వేగంగా లేదా ఎంత నెమ్మదిగా ప్రయాణిస్తుందనేది ఆ యానక వక్రీభవన గుణకం తెలియజేస్తుంది. యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం ఎక్కువగా ఉంటే ఆ యానకంలో కాంతి వేగం తక్కువగా ఉంటుంది. యానక వక్రీభవన గుణకం తక్కువగా ఉంటే ఆ యానకంలో కాంతి వేగం ఎక్కువ. వక్రీభవన గుణకం n అంటే ఆ యానకంలో కాంతివేగం, శూన్యంలో కాంతి వేగం cలో nవ వంతు అని అర్థం.

ఉదాహరణకు గాజు యొక్క వక్రీభవన గుణకం 3/2. అంటే గాజులో కాంతివేగం $2/3 \times 3\times10^8$ మీ/సె $= 2\times10^8$ అవుతుంది.

పట్టిక-1: వివిధ పదార్థయానకాల వక్రీభవన గుణకాలు

పదార్థ యానకం	వక్రీభవన గుణకం	పదార్థ యానకం	వక్రీభవన గుణకం
గాలి	1.0003	కెనడా బాల్సం	1.53
మంచు	1.31	రాతి ఉప్పు (rock salt)	1.54
నీరు	1.33	కార్బన్ డై సల్ఫైడ్	1.63
కిరోసిన్	1.44	సాంద్రతర ఫ్లింట్ గాజు	1.65
ఫ్యూజ్డ్ క్వార్ట్జ	1.46	కెంపు (ruby)	1.71
టర్పంటైన్ ఆయిల్	1.47	సఫైర్ (supphire)	1.77
క్రౌన్ గాజు	1.52	వజ్రం	2.42
బెంజీన్	1.50		

గమనిక: పట్టిక-1నిబట్టి, అధిక (optical density) కలిగిన యానకం ద్రవ్యరాశిపరంగా అధిక సాంద్రత కలిగి ఉండనవసరం లేదని తెలుస్తుంది. ఉదాహరణకు నీటితో పోల్చినప్పుడు కిరోసిన్ వక్రీభవన గుణకం ఎక్కువ. అనగా నీటితో పోల్చినప్పుడు కిరోసన్ దృక్‌సాంద్రత ఎక్కువ. కానీ ద్రవ్యరాశిపరంగా కిరోసిన్ సాంద్రత నీటి సాంద్రత కన్నా తక్కువ.

- వివిధ పదార్థ యానకాల వక్రీభవన గుణకాలు వేర్వేరుగా ఎందుకుంటాయి?
- ఒక యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం ఏ అంశాలపై ఆధారపడుతుంది?

వక్రీభవన గుణకం కింది అంశాలపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

1. పదార్థ స్వభావం

2. ఉపయోగించిన కాంతి తరగందైర్ఘ్యం (దీని గురించి 'మానవుని కన్ను-రంగుల ప్రపంచం' పాఠంలో చదువుకుంటారు.

సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకం (Relative refractive index)

ఒక యానకంపరంగా మరొక యానకం యొక్క వక్రీభవనగుణకాన్ని మొదటి యానకంలో కాంతివేగం, రెండో యానకంలో కాంతివేగాల నిష్పత్తిగా చెబుతాం. ఒకటో యానకంలో కాంతి వేగం v_1, రెండో యానకంలో కాంతి వేగం v_2 అనుకుంటే,

ఒకటో యానకంపరంగా రెండో యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకాన్ని కిందివిధంగా సూచించవచ్చు.

n_{21} = ఒకటో యానకంలో కాంతి వేగం/ రెండో యానకంలో కాంతి వేగం

$n_{21} = v_1/v_2$

లవహారాలను కాంతి వేగం 'c'తో భాగించగా, $n_{21} = \dfrac{v_1/c}{v_2/c} = \dfrac{1/n_1}{1/n_2}$

$$n_{21} = n_2/n_1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

దీనినే సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకం లేదా తారతమ్య వక్రీభవన గుణకం అంటాం.

సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకాన్ని కిందివిధంగా నిర్వచిస్తాం.

సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకం (n_{21}) = $\dfrac{\text{రెండో యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం } n_2}{\text{ఒకటో యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం } n_1}$

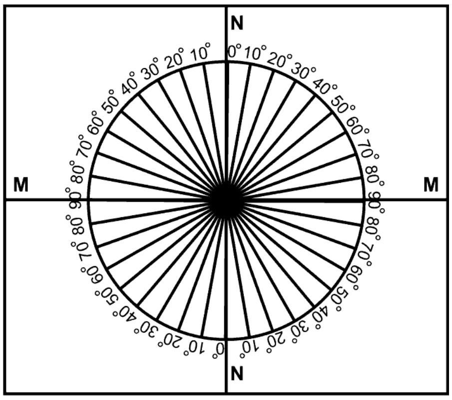
ప్రయోగశాల కృత్యం-1

ఉద్దేశ్యం: పతనకోణానికి, వక్రీభవనకోణానికి మధ్య సంబంధాన్ని గుర్తించడం.

కావలసిన వస్తువులు: కార్డుబోర్డు షీట్ (1 చ.అడుగు), తెల్ల డ్రాయింగ్ షీట్, కోణమానిని, స్కేలు, నలుపురంగు వేసిన చిన్న కార్డుబోర్డు ముక్క (10 సెం.మీ. × 10 సెం.మీ.), 2 సెం.మీ. మందంగల అర్ధవృత్తాకారపు గాజుపలక, పెన్సిల్ మరియు లేజర్ లైట్.

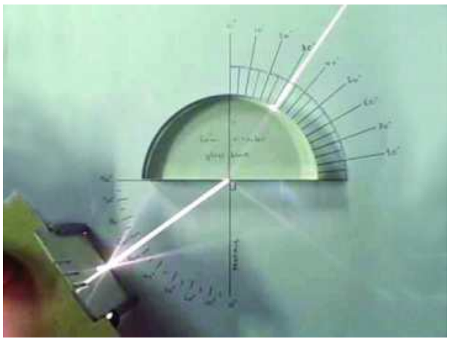
నిర్వహణ పద్ధతి: కార్డుబోర్డు షీట్‌పై తెల్లడ్రాయింగ్ షీట్‌ను అంటించండి.

పటం 4(ఎ)లో చూపిన విధంగా డ్రాయింగ్ షీట్ మధ్యలో రెండు లంబరేఖలు గీయండి. వాటి ఖండన బిందువును O గా గుర్తించండి. ఆ లంబరేఖలకు MM, NN అని పేర్లు పెట్టండి. వీటిలో MM అనేది రెండు యానకాలను వేరుచేసే తలాన్ని సూచిస్తుంది. NN అనేది MM రేఖకు O బిందువు వద్ద గీసిన లంబాన్ని సూచిస్తుంది.



పటం-4(ఎ)

NN రేఖ వెంబడి ఒక కోణమానినుంచండి. కోణమాని కేంద్రం, బిందువు O తో ఏకీభవించేటట్లు చేయండి. పటం-4 (ఎ)లో చూపినవిధంగా NN యొక్క రెండు చివరల నుండి 0 - 90^0 కోణాలను గుర్తించండి. ఇదేవిధంగా NN యొక్క రెండోవైపు కూడా కోణాలను గుర్తించండి. పటం-4 (ఎ)లో చూపినవిధంగా ఈ కోణరేఖలన్నింటినీ ఒక వృత్తంపై సూచించండి. పటం-4(బి) లో చూపినవిధంగా అర్ధవృత్తాకార గాజుపలకను MM వెంబడి అమర్చండి. గాజుపలక వ్యాసం MMతో ఏకీభవించాలి. దాని కేంద్రం O బిందువుతో ఏకీభవించాలి. లేజర్‌లైట్‌తో NN వెంబడి కాంతిని ప్రసరింపజేయండి. ఈ లేజర్ కాంతి మొదట గాలిలో ప్రయాణించి రెండు యానకాలను వేరేచేసే తలం MM గుండా O బిందువు వద్ద గాజులోకి ప్రవేశిస్తుంది. పటం-4 (బి)లో చూపినట్లు గాజు నుండి బయటకు వచ్చే కాంతి మార్గాన్ని పరిశీలించండి. (గాజు నుండి బయటకు వచ్చే కాంతి మార్గాన్ని (కాంతి కిరణాన్ని) మీరు గుర్తించలేకపోతే, నలుపురంగు వేసిన కార్డుబోర్డు ముక్కను వృత్తాకార రేఖ వద్ద ఉంచి లేజర్ కాంతి పడే బిందువును గుర్తించండి. తద్వారా కాంతి మార్గాన్ని ఊహించండి.)



పటం-4(బి)

- కాంతి మార్గంలో ఏదైనా విచలనాన్ని గుర్తించారా?

ఇప్పుడు NN రేఖకు 15^0 కోణం (పతనకోణం) చేసే రేఖ వెంబడి లేజర్‌కాంతిని ప్రసరింపజేయండి. ఈ కాంతి కిరణం O బిందువుగుండా పోయేవిధంగా జాగ్రత్త వహించండి. గాజుపలక యొక్క వక్రతలంగుండా బయటకు వచ్చే కాంతిని పరిశీలించి, వక్రీభవన కోణాన్ని కొలవండి. పతనకోణం, వక్రీభవనకోణం విలువలను పట్టిక-2లో నమోదు చేయండి. 20^0, 30^0, 40^0, 50^0 మరియు 60^0 పతనకోణాలతో ఈ ప్రయోగాన్ని మరలా చేయండి. వాటికి సంబంధించిన వక్రీభవన కోణాలను అదే పట్టికలో నమోదు చేయండి.

పట్టిక-2

i	r	Sin i	Sin r	Sin i / Sin r

ప్రతీ i, r విలువలకు sin i, sin r లను గణించండి. ప్రతీ సందర్భానికి sin i/ sin r విలువను కనుగొని పట్టికలో రాయండి.

గమనిక: ప్రతీ సందర్భంలో sin i, sin r విలువలను గణించడానికి మీ ఉపాధ్యాయుల సహకారం తీసుకోండి.

అన్ని సందర్భాలలోనూ sin i / sin r నిష్పత్తి విలువ స్థిరంగా ఉంటుంది.

- ఈ నిష్పత్తి గాజు యొక్క వక్రీభవన గుణకానికి సమానమవుతుందా? ఎందుకు?

ఈ నిష్పత్తి విలువ గాజు యొక్క వక్రీభవన గుణకాన్ని తెలుపుతుంది. పై ప్రయోగంలోని అన్ని సందర్భాలలో r విలువ i విలువకన్నా తక్కువగా ఉండడం మీరు గమనించవచ్చు. అంతేగాక ప్రతీ సందర్భంలో వక్రీభవన కిరణం లంబంవైపుగా వంగడం గమనించవచ్చు.

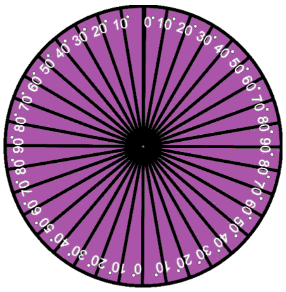
- పై పరిశీలనలనుబట్టి మీరేం నిర్ధారణలు చేస్తారు?

విరళయానకం నుండి సాంద్రతర యానకంలోకి కాంతి ప్రయాణించినపుడు వక్రీభవన కోణం విలువ, పతనకోణం విలువకన్నా తక్కువగా ఉంటుందని, వక్రీభవన కిరణం లంబంవైపుగా వంగుతుందని పై ప్రయోగం ఆధారంగా నిర్ధారించవచ్చు.

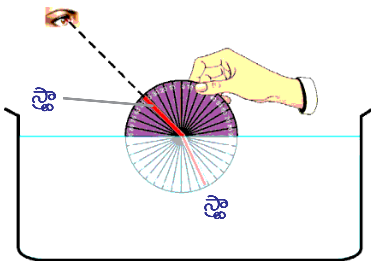
- సాంద్రతర యానకం నుండి విరళయానకంలోకి కాంతి ప్రయాణించినపుడు ఏం జరుగుతుందో ఊహించగలరా?

దీని గురించి తెలుసుకోవడానికి మరొక కృత్యం చేద్దాం.

కృత్యం 4



పటం-5(ఎ)



పటం-5(బి)

ఒక వృత్తాకారపు లోహపు పళ్ళెం (disk) తీసుకొని దానిపై కోణమాని సహాయంతో పటం-5 (ఎ)లో చూపినవిధంగా కోణాలను గుర్తించండి. డిస్క్ కేంద్రం వద్ద రెండు 'స్ట్రా'లను, కేంద్రం చుట్టూ సులభంగా తిరిగేటట్లు అమర్చండి.

ఒక స్ట్రాను 10^0 కోణరేఖ వెంబడి అమర్చండి. ఈ డిస్క్‌ను పటం-5 (బి)లో చూపినట్లు పారదర్శక పాత్రలో గల నీటిలో సగం వరకు ముంచండి. డిస్క్‌ను నీటిలో ముంచినపుడు 10^0 కోణరేఖ వద్ద ఉంచిన స్ట్రా నీటిలో మునిగి ఉండేటట్లు జాగ్రత్త వహించండి.

పాత్ర పైభాగం నుండి నీటిలో మునిగిఉన్న స్ట్రాను చూస్తూ, నీటి బయట ఉన్న స్ట్రాను లోపల ఉన్న స్ట్రాతో సరళరేఖలో ఉండేవిధంగా అమర్చండి. తరవాత డిస్క్‌ను నీటి నుండి బయటకు తీసి రెండు స్ట్రాలను పరిశీలించండి. అవి రెండూ ఒకే సరళరేఖలో లేవని మీరు గుర్తిస్తారు.

- పాత్ర పై నుండి చూసినప్పుడు స్ట్రాలు రెండూ ఒకే సరళరేఖలో ఉన్నట్లు ఎందుకు కనిపిస్తాయి?

రెండవ స్ట్రాకు, లంబానికి మధ్య కోణాన్ని కొలవండి. పట్టిక–2ను మరలా మీ నోట్‌బుక్‌లో రాసుకొని అందులో i, r విలువలను నమోదు చేయండి. ఇదే ప్రయోగాన్ని వివిధ పతనకోణాలతో చేసి వక్రీభవన కోణాలను కొలవండి. ప్రతీ సందర్భంలో i, r విలువలను పట్టికలో నమోదు చేయండి. పట్టికలోని విలువల ఆధారంగా నీటి వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి. ఈ ప్రయోగంలో పతనకోణం 48^0లను మించరాదు. దీనికిగల కారణమేమిటో ఈ పాఠ్యాంశంలో ముందుముందు తెలుసుకుంటారు.

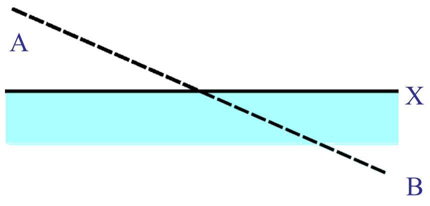
నీటి నుండి (సాంద్రతర యానకం నుండి) గాలిలోకి (విరళయానకంలోకి) కాంతి ప్రయాణించేటప్పుడు ప్రతి సందర్భంలోనూ r విలువ i కన్నా ఎక్కువ ఉంటుందని పై ప్రయోగం ద్వారా మీరు గుర్తిస్తారు. ప్రయోగశాల కృత్యం1లో మనం పరిశీలించిన అంశానికి పూర్తి వ్యతిరేకంగా ఈ కృత్యంలో కాంతి ప్రయాణిస్తుంది.

ఈ కృత్యాన్నిబట్టి సాంద్రతర యానకం నుండి విరళయానకంలోకి కాంతి ప్రయాణించినపుడు లంబానికి దూరంగా వంగుతుందని, $r > i$ అవుతుందని చెప్పవచ్చు.

- పతనకోణానికి, వక్రీభవన కోణానికి మధ్య సంబంధాన్ని తెలిపే సూత్రాన్ని మనం ఉత్పాదించగలమా?

దీనిని ఉత్పాదించడానికి కింది సందర్భాన్ని పరిగణనలోకి తీసుకోండి.

పటం–6 (ఎ)లో చూపినవిధంగా B అనే బిందువు వద్ద ఒక వ్యక్తి నీటిలో పడి సహాయం కోసం ఎదురుచూస్తున్నాడను కొందాం.



పటం-6(ఎ)

పటంలో x - బిందువుగుండా అడ్డంగా గీసిన రేఖ నీటి ప్రాంతానికి 'ఒడ్డు'ను తెలియజేసే రేఖ (shore line) అని భావించండి. మనం నేలపై A బిందువు దగ్గర ఉన్నామనకుందాం. ఇప్పుడు మనం ఆ వ్యక్తిని కాపాడాలంటే కొంత దూరం నేల మీద, కొంతదూరం నీటిలో ప్రయాణించాలి. నీటిలో ఈదడం కంటే నేలమీద మనం వేగంగా పరుగెత్తగలమని మనకు తెలుసు.

- ఆ వ్యక్తిని కాపాడడానికి మనం ఏం చేస్తాం?
- అతనిని త్వరగా కాపాడాలంటే ఏ మార్గం సరైనది?
- పటం–6 (ఎ) లో చూపినట్లు మనం సరళరేఖా మార్గంలో వెళ్తామా?

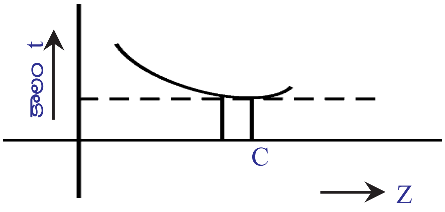
మనం నీటిలో మెల్లగా కదులుతాం కాబట్టి, ఎక్కువ దూరం నేలపై ప్రయాణిస్తే నీటిలో ప్రయాణించే దూరం తక్కువవుతుంది. మనం నేలపై, నీటిలో ఏ వేగాలతో ప్రయాణించినా, ఆ వ్యక్తి ఉన్నచోటుకు చేరుకోవడానికి ACB మార్గాన్నే ఎన్నుకోవాలి. ఇతర మార్గాలన్నింటిని కంటే ఈ మార్గానికే తక్కువ సమయం పడుతుంది. (పటం–6 (సి) చూడండి). మిగిలిన ఏ మార్గాన్ని ఎన్నుకున్నా అది ACB కంటే ఎక్కువ సమయం పట్టే మార్గం అవుతుంది.

A నుండి, నీటి ఒడ్డుగా భావించే రేఖపైనున్న వివిధ బిందువులగుండా వ్యక్తి ఉన్న చోటుకు చేరడానికి పట్టే కాలాలకు సంబంధించిన గ్రాఫ్ గీస్తే అది పటం–6 (బి) లో చూపినవిధంగా ఉంటుంది.

ఇందులో C అనే బిందువు అన్ని సందర్భాలలోకెల్లా అతి తక్కువ కాలాన్ని తెలియజేస్తుంది. ఒడ్డురేఖపై C బిందువుకు అతి దగ్గరలో మరో బిందువు Dని పరిగణనలోకి తీసుకుందాం. అనగా ACB, ADB మార్గాలగుండా ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలాలు సమానం అని భావిద్దాం.

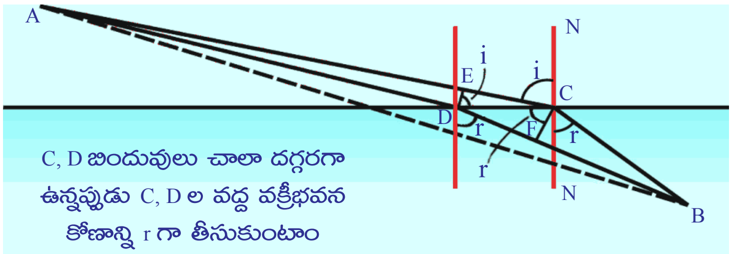
పటం-6 c లో చూపిన ACB, ADB మార్గాల ద్వారా A నుండి B కు చేరడానికి పట్టే సమయాలను లెక్కగడదాం.

మొదట పటం 6 (సి)లో చూపిన నేలపై ప్రయాణించే మార్గాలను (AD,AC) చూడండి. రెండు మార్గాల మధ్య D వద్ద DE అనే లంబాన్ని గీస్తే, AC మార్గంతో పోల్చినప్పుడు AD మార్గంలో నేలమీద ప్రయాణించాల్సిన దూరం EC మేర తగ్గుతుంది. అదే విధంగా నీటిలో ప్రయాణించే మార్గాలు CB, DB లను చూడండి. ఈ రెండు మార్గాల మధ్య C వద్ద CF అనే లంబాన్ని గీస్తే, CB మార్గంతో పోల్చినప్పుడు DB మార్గంలో నీటిలో ప్రయాణించాల్సిన దూరం DF మేర పెరుగుతుంది.



పటం-6(బి)

మరోవిధంగా చెప్పాలంటే ADB మార్గం గుండా ప్రయాణిస్తే EC దూరం నేల మీద ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలం ఆదా అవుతుంది. నీటిలో DF దూరం ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలం అధికంగా అవసరమవుతుంది. ఈ రెండు కాలాలు సమానమవ్వాలి. ఎందుకనగా ACB, ADB మార్గాలలో ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలాలు సమానమని మనం భావించాం.



పటం-6(సి)

E నుండి Cకి నేలపైగానీ, D నుండి Fకు నీటిలోగానీ ప్రయాణించడానికి పట్టేకాలం Δt అనుకుందాం. నేలపై వేగం v_1, నీటిలో వేగం v_2 అయితే, పటం-6 (సి) నుండి కింది సమీకరణాలు రాయవచ్చు.

$EC = v_1 \Delta t$ మరియు $DF = v_2 \Delta t$

$EC/DF = v_1/v_2$ .... (3)

C బిందువు వద్ద ఒడ్డురేఖ x కు గీసిన లంబం NNతో ACB మార్గం చేసే కోణాలు i, r అయితే

- పటం-6 (సి) ద్వారా sin i, sin r విలువలు మీరు కనుగొనగలరా?

గమనిక: మీ ఉపాధ్యాయుని సలహా తీసుకోండి.

పటం 6 (సి) నుండి.. $\sin i = EC/DC$, $\sin r = DF/DC$

$\sin i/\sin r = EC/DF$ .... (4)

సమీకణాలు (3), (4)ల నుండి $\sin i/\sin r = v_1/v_2$ .... (5)

కాబట్టి ఆ వ్యక్తిని కాపాడాలంటే (5)వ సమీకరణాన్ని సంతృప్తిపరిచే మార్గంగుండా ప్రయాణించాలి. ఈ సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించడానికి మనం కనిష్ట కాల నియమాన్ని

ఉపయోగించాం. ఇదే నియమాన్ని మనం కాంతి కిరణాలకు కూడా ఉపయోగిస్తాం. కావున సమీకరణం (5) నుండి

$\sin i/\sin r = v_1/v_2 = n_2/n_1$ ($v_1/v_2 = n_2/n_1$ కాబట్టి)

⇨ $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

దీనినే 'స్నెల్' నియమం (Snell's Law) అంటాం.

పై వివరణ ఆధారంగా కాంతి ఒక యానకం నుండి మరొక యానకంలోకి ప్రయాణించేటప్పుడు ఆ యానకాలలో కాంతి వేగాల నిష్పత్తి v_1/v_2, ఆ యానకాల వక్రీభవన గుణకాల నిష్పత్తి n_2/n_1 కు సమానంగా ఉంటుందని చెప్పవచ్చు. $\sin i/\sin r$ విలువ v_1/v_2కు సమానమయ్యేటట్లు కాంతి పతనకోణం ఉండాలి.

పై ప్రయోగాల ద్వారా కాంతి వక్రీభవనం అనేది కొన్ని నియమాలకు అనుగుణంగా జరుగుతుందని తెలుస్తుంది. ఆ నియమాలు:

1. పతన కిరణం, వక్రీభవన కిరణం, రెండు యానకాలను వేరుచేసే తలంపై పతనబిందువు వద్ద గీసిన లంబం అన్నీ ఒకే తలంలో ఉంటాయి.
2. వక్రీభవనంలో కాంతి 'స్నెల్' నియమాన్ని పాటిస్తుంది.
   $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ లేదా $\sin i/ \sin r =$ స్థిరాంకం.

- వక్రీభవన కోణం 90^0 అయ్యే సందర్భం ఉంటుందా? అది ఎప్పుడు అవుతుంది? కనుగొందాం.

సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం (Total internal reflection)

కృత్యం 5

ప్రయోగశాలకృత్యం-1లో వాడిన పరికరాలనే ఇప్పుడు కూడా వినియోగించండి. ప్రయోగశాల కృత్యం-1లో ఉంచినట్లుగానే అర్ధ వృత్తాకార గాజు దిమ్మె వ్యాసం యానకాలను వేరుచేసే రేఖ MMతో ఏకీభవించేటట్లుగా అమర్చండి. MM మధ్య బిందువు O తో గాజు దిమ్మె వ్యాసం యొక్క మధ్యబిందువు ఏకీభవించాలి. ఇప్పుడు గాజు దిమ్మె వక్రతలం వైపు నుండి కాంతిని పంపండి. అంటే ఇప్పుడు మనం కాంతిని సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి పంపుతున్నాం. మొదట 0^0 పతనకోణంతో ప్రారంభించి (కాంతిని లంబం NN వెంబడి పంపుతూ) గాజుదిమ్మె రెండోవైపు వక్రీభవన కిరణాన్ని పరిశీలించండి.

- వక్రీభవన కిరణాన్ని మీరు ఎక్కడ గుర్తించారు?
- విరళ యానకంలోకి ప్రవేశించేటప్పుడు వక్రీభవన కిరణం తన పథాన్ని మార్చుకుందా?

వక్రీభవన కిరణం తన పథాన్ని మార్చుకోలేదని మీరు గుర్తించి ఉంటారు. ఇప్పుడు 5^0, 10^0,15^0 మొదలగు పతనకోణాలతో కాంతిని పంపి వక్రీభవన కోణాలను కొలవండి. మీ నోటుబుక్‌లో పట్టిక-3ను రాసుకొని అందులో i, r విలువలను నమోదు చేయండి.

పట్టిక-3

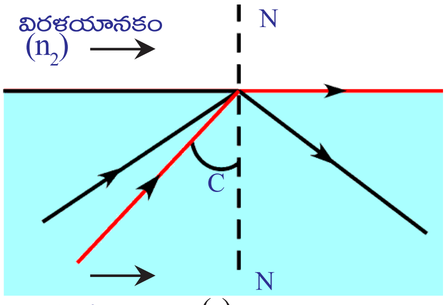
i	r

- ఏ పతన కోణం వద్ద వక్రీభవన కిరణం గాజు, గాలి యానకాలను వేరుచేసే రేఖ MM వెంబడి ప్రయాణించింది?

నిర్దిష్ట పతనకోణం వద్ద వక్రీభవన కిరణం గాజు, గాలి యానకాలను వేరుచేసే రేఖ వెంబడి ప్రయాణించడం మీరు గమనించవచ్చు. అప్పుడు పతనకోణాన్ని కొలవండి. ఆ కోణాన్ని 'సందిగ్ధ కోణం' (critical angle) అంటాం.

పై కృత్యంలోని ఫలితాలను ఫెర్మాట్ సూత్రం (కనిష్ఠ కాలనియమం) ద్వారా వివరించవచ్చు.

ఒక కాంతి కిరణం n_1 వక్రీభవన గుణకం కలిగిన ఒకటో యానకం నుండి n_2 వక్రీభవన గుణకం కలిగిన రెండో యానకంలోకి ప్రయాణిస్తుందనుకుందాం (పటం-7 చూడండి). సాంద్రతర యానకం (n_1) నుండి విరళయానకం (n_2)లోకి కాంతి ప్రయాణించినప్పుడు వక్రీభవన కోణం పతన కోణం కంటే ఎక్కువగా ఉంటుందని మనకు తెలుసు. ఏదేని పతన కోణం (i)కి పరావర్తన కోణం (r) అయినప్పుడు,



పటం-7

స్నెల్ నియమం ప్రకారం $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

$$n_1/n_2 = \sin r/\sin i$$

n_1/n_2 విలువ 1 కన్నా ఎక్కువని మనకు తెలుసు. కాబట్టి sin r/sin i విలువ కూడా 1 కన్నా ఎక్కువ. దీనినిబట్టి వక్రీభవన కోణం, పతనకోణం కన్నా ఎక్కువ అని నిర్ధారించవచ్చు. అంటే r>i.

సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి ప్రయాణించే (n_1)కాంతి కిరణానికి ఏ పతనకోణం వద్ద వక్రీభవన కిరణం యానకాలను వేరుచేసే తలంగుండా ప్రయాణిస్తుందో, ఆ పతనకోణాన్ని సాంద్రతర యానకం యొక్క సందిగ్ధకోణం అంటాం. C అనేది సందిగ్ధకోణం అనుకుందాం. అప్పుడు $r = 90^0$ అవుతుంది.

$n_1/n_2 = \sin 90^0/\sin C$ ⇨ $n_1/n_2 = 1/\sin C$ ⇨ $\sin C = n_2/n_1$

n_1/n_2 అనగా విరళ యానకం (n_2) పరంగా సాంద్రతర యానకం (n_1) యొక్క వక్రీభవన గుణకం (n_{12}) .

కాబట్టి $\sin C = 1/n_{12}$

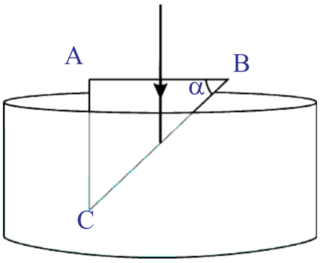
- పై సూత్రాన్ని ఉపయోగించి నీటి యొక్క సందిగ్ధకోణాన్ని మీరు కనుగొనగలరా? మీ తరగతి గదిలో దీని గురించి చర్చించండి.
- సందిగ్ధ కోణం కంటే పతనకోణం ఎక్కువైనప్పుడు కాంతి కిరణం ఏమవుతుంది?

సందిగ్ధ కోణం కన్నా పతనకోణం ఎక్కువైనప్పుడు యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద కాంతి కిరణం తిరిగి సాంద్రతర యానకంలోకే పరావర్తనం చెందుతుంది. అనగా కాంతి కిరణం విరళ యానకంలోకి ప్రవేశించదు. ఈ దృగ్విషయాన్ని 'సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం' అంటాం. పటం-7 చూడండి.

ఈ అంశాల గురించి మీ తరగతిగదిలో చర్చించి నీటి సందిగ్ధకోణాన్ని కనుక్కోండి.

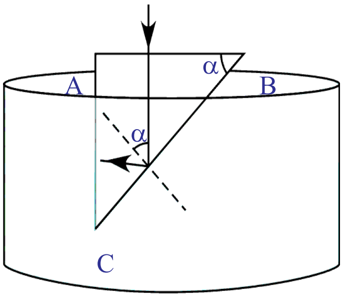
సంపూర్ణాంతర పరావర్తనానికి సంబంధించి ఇప్పుడొక ఉదాహరణను పరిశీలిద్దాం.

ఉదాహరణ: పటం E- (ఎ)లో చూపినవిధంగా లంబకోణ పట్టకం (rectangular wedge/prism)ను నీటిలో ఉంచాం. AB తలంపై లంబంగా పడే కాంతి కిరణం పటం E-(బి) చూపినట్లు పూర్తిగా ACని చేరాలంటే కోణం á విలువ ఎంత ఉండాలి? నీటి వక్రీభవన గుణకం 4/3 మరియు గాజు వక్రీభవన గుణకం 3/2గా తీసుకోండి.



పటం E-ఎ

సాధన: పటం E -(బి)ని పరిశీలిస్తే, BC వద్ద పతన కోణం á కు సమానమని తెలుస్తుంది. (పటంలో చుక్కలతో చూపిన గీత పతనబిందువు వద్ద BC తలానికి లంబం.) కాంతి కిరణం పూర్తిగా ACని చేరాలంటే సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరగాలి. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరగాలంటే గాజు, నీటి యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద ఉండే సందిగ్ధకోణం కంటే á ఎక్కువగా ఉండాలి.



పటం E-బి

ఈ సందర్భంలో సందిగ్ధకోణం C అనుకుందాం.

ఇచ్చిన నియమాన్నిబట్టి á >C .... (1)

$\text{Sin } C = 1/n_{12}$ .... (2) అని మనకు తెలుసు.

$$n_{12} = n_1/n_2 = (3/2)\ /\ (4/3) = 9/8$$

సమీకరణం (2) నుండి $\text{Sin } C = 8/9$ ⇨ $C = 62^0 30'$

á విలువ C $(62^0 30')$ కన్నా ఎక్కువ ఉండాలి.

సంపూర్ణాంతర పరావర్తనానికి సంబంధించి కొన్ని కృత్యాలు నిర్వహిద్దాం.

కృత్యం 6

ఒక టేబుల్‌పై నాణేన్ని ఉంచి దానిపై ఒక గాజు గ్లాసును పెట్టండి. గ్లాసు ప్రక్క భాగం నుండి నాణేన్ని పరిశీలించండి.

- మీరు నాణాన్ని చూడగలుగుతున్నారా?

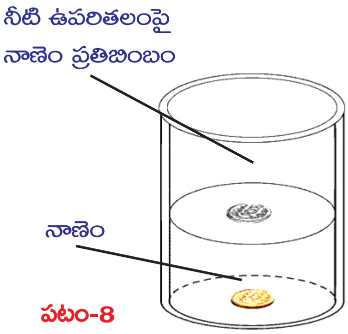
గాజు గ్లాసును నీటితో నింపండి. గ్లాసు ప్రక్క భాగం నుండి నాణాన్ని చూడండి.

- ఇప్పుడు నాణెం మీకు కనబడుతుందా?
- నాణెం మీకు ఎందుకు కనబడటం లేదు? వివరించండి.

కృత్యం 7

ఒక స్థూపాకార పారదర్శక పాత్రను తీసుకోండి. (1 లీ॥ గాజు బీకరును కూడా మీరు వినియోగించవచ్చు.) ఆ పాత్ర అడుగున ఒక నాణాన్ని ఉంచండి. పటం-8లో చూపినవిధంగా ఆ నాణెం ప్రతిబింబం నీటి ఉపరితలంపై కనబడేంత వరకు ఆ పాత్రలో నీరు పోయండి. (బీకరు ప్రక్కభాగం నుండి నీటి ఉపరితలాన్ని చూడాలి.)

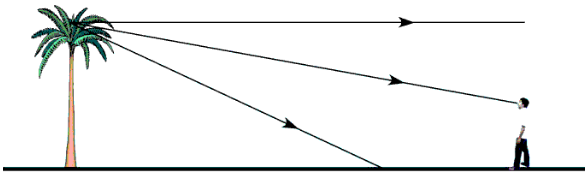
- నాణెం యొక్క ప్రతిబింబం ఎందుకు ఏర్పడిందో వివరించగలరా?



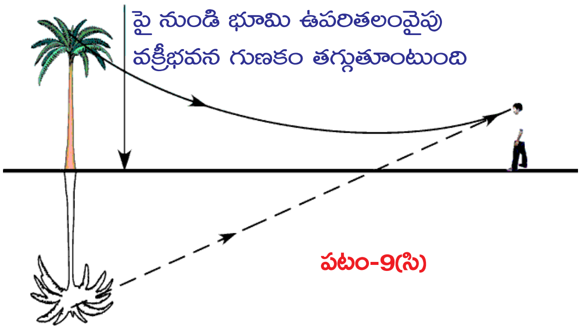
పటం-8

మన చుట్టూ పరిసరాలలో సంపూర్ణాంతర పరావర్తనానికి సంబంధించిన అనేక ఆసక్తికర సన్నివేశాలు ఉంటాయి. వేసవికాలంలో తారు రోడ్ల మీద మనం ప్రయాణించేటప్పుడు కనబడే 'ఎండమావులు' కూడా దీనికొక ఉదాహరణ.

పటం-9(ఎ)



పటం-9(బి)



పటం-9(సి)

ఎండమావులు (Mirages)

ఎండమావులు అనేవి దృక్ భ్రమ (optical illusion) వల్ల ఏర్పడతాయి. ఎండాకాలంలో కొన్నిసార్లు తారు రోడ్లపై కొంతదూరంలో నీరు ఉన్నట్లు కనబడుతుంది. కానీ అక్కడికి వెళ్ళిచూస్తే అక్కడ నీరు ఉండదు.

- ఈవిధంగా కనబడడానికి కారణమేమిటో మీకు తెలుసా?

యానక వక్రీభవన గుణకం ఆ యానకం అంతటా ఒకే విధంగా ఉండనటువంటి సందర్భానికి ఎండమావులు ఒక మంచి ఉదాహరణ. వేసవి కాలంలో రోడ్డు ఉపరితలానికి దగ్గరగా ఉన్న గాలి వేడిగానూ రోడ్డు ఉపరితలానికి చాలా ఎత్తులో ఉన్న గాలి చల్లగాను ఉంటుంది. అంటే ఎత్తును బట్టి ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. కావున ఎత్తును బట్టి గాలి సాంద్రత పెరుగుతుంది. గాలి వక్రీభవన గుణకం సాంద్రతతోపాటు పెరుగుతుందని మనకు తెలుసు. కాబట్టి ఎత్తు పెరుగుతున్న కొలదీ గాలి వక్రీభవన గుణకం పెరుగుతుంది. కాబట్టి రోడ్డు ఉపరితలానికి దగ్గరగా ఉన్న వేడిగాలి కంటే పైన ఉన్న చల్లగాలి వక్రీభవన గుణకం ఎక్కువ. కాబట్టి పైన ఉండే సాంద్రతరమైన చల్ల గాలిలో కంటే, కింద ఉండే విరళమైన వేడిగాలిలో కాంతి వేగంగా ప్రయాణిస్తుంది.

ఆకాశం నుండి లేదా ఎత్తైన చెట్టు నుండి వచ్చే కాంతి 'పై నుండి కిందకు సాంద్రత మారుతున్నటువంటి గాలి' గుండా ప్రయాణిస్తూ రోడ్డుకు దగ్గరగా వచ్చినప్పుడు వక్రీభవనానికి లోనై సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం వల్ల పటం-9(సి) లో చూపినవిధంగా వక్రమార్గంలో ప్రయాణిస్తుంది.

ఈ వక్రీభవన కాంతి పటం-9(సి) లో చూపిన మార్గంలో పరిశీలకుణ్ణి చేరుతుంది. ఆ కాంతి నేలపై పరావర్తనం చెంది వస్తున్నట్లుగా పరిశీలకునికి కనిపిస్తుంది.

ఇలా జరగడం వల్లనే ఆకాశం యొక్క మిథ్యా ప్రతిబింబం పటం-9(ఎ) లో చూపినట్లు మనకు రోడ్డుపై నీళ్ళవలె కనబడుతుంది. దీనినే ఎండమావి (Mirage) అంటాం.

ఆలోచించండి - చర్చించండి

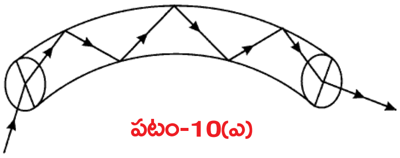
- ఎండమావి నిలిచి ఉన్న నీరులా ఎందుకు కనిపిస్తుంది?
- ఎండమావిని మీరు ఫోటో తీయగలరా?

సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం - అనువర్తనాలు

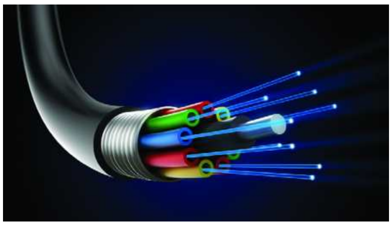
i) **వజ్రాల ప్రకాశం:** వజ్రాల ప్రకాశానికి ముఖ్యకారణం సంపూర్ణాంతర పరావర్తనమే. వజ్రం యొక్క సందిగ్ధ కోణం విలువ చాలా తక్కువ (24.4^{0}). కాబట్టి వజ్రంలోకి ప్రవేశించే కాంతి కిరణం సులభంగా సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం చెంది వజ్రం ప్రకాశవంతంగా కనబడేటట్లు చేస్తుంది.

ii) **ఆప్టికల్ ఫైబర్స్:** ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ సంపూర్ణాంతర పరావర్తనంపై ఆధారపడి పనిచేస్తాయి. ఆప్టికల్ ఫైబర్ అనేది గాజు లేదా ప్లాస్టిక్‌తో తయారు చేయబడిన అతి సన్నని తీగ. దీని వ్యాసార్థం సుమారుగా 1 మైక్రో మీటర్ (10^{-6} మీ.) ఉంటుంది. ఇలాంటి సన్నని తీగలు కొన్ని కలిసి లైట్‌పైప్‌గా (light pipe) ఏర్పడతాయి.

ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లో కాంతి ప్రయాణించే విధానాన్ని పటం-10(ఎ) వివరిస్తుంది. పటం-10(బి) లో ఆప్టికల్ ఫైబర్ కేబుల్‌ను చూడవచ్చు. ఆప్టికల్ ఫైబర్ యొక్క అతి తక్కువ వ్యాసార్థం వల్ల దానిలోకి ప్రవేశించే కాంతి, దాని లోపలి గోడలకు తగులుతూ పతనం చెందుతుంది. పతనకోణం సందిగ్ధకోణం కన్నా ఎక్కువ ఉండడం వల్ల సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరుగుతుంది. తద్వారా ఆప్టికల్ ఫైబర్ గుండా కాంతి ప్రయాణిస్తుంది.



పటం-10(ఎ)



పటం-10(బి)

మానవ శరీరంలోని లోపలి అవయవాలను(ఉదాహరణకు-ప్రేవులు) డాక్టర్ కంటితో చూడలేరు. డాక్టర్ లైట్‌పైపును నోటిద్వారా పొట్టలోకి పంపుతారు. లైట్‌పైప్‌లోని కొన్ని ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ ద్వారా కాంతిని పొట్టలోకి పంపుతారు. ఆ కాంతి పొట్ట లోపలి భాగాన్ని ప్రకాశవంతంగా చేస్తుంది. ఆ లోపలి కాంతి, లైట్‌పైపులోని మరికొన్ని ఆప్టిక్ ఫైబర్స్ ద్వారా బయటకు వస్తుంది. ఆ ఫైబర్స్ రెండవ చివర నుండి వచ్చే కాంతిని పరిశీలించడం ద్వారా (సాధారణంగా, కంప్యూటర్ స్క్రీన్‌పై చూడడం ద్వారా) పొట్ట లోపలి భాగాల చిత్రాన్ని పరిశీలకులు తెలుసుకుంటారు.

సమాచార సంకేతాలను (communication signals) ప్రసారం చేయడానికి కూడా ఆప్టికల్ ఫైబర్‌లను విరివిగా వినియోగిస్తారు. ఉదాహరణకు, దాదాపు 2000 టెలిఫోన్ సిగ్నళ్ళను కాంతి తరంగాలతో సరైన విధానంలో కలిపి ఒకేసారి ఆప్టికల్ ఫైబర్‌గుండా ప్రసారం చేయవచ్చు. ఇలా ప్రసారం చేసిన సంకేతాలు, సాంప్రదాయ పద్ధతిలో ప్రసారం చేసే సంకేతాల కంటే చాలా స్పష్టంగా ఉంటాయి.

- కాంతి ప్రసార మార్గంలో ఒక గాజుదిమ్మెను అడ్డుగా ఉంచితే ఏం జరుగుతుంది?

గాజు దిమ్మెగుండా వక్రీభవనం

గాజుదిమ్మె అనేది రెండు సమాంతర తలాలను కలిగియుండి, దాని పరిసరాలలోని యానకం నుండి వేరుచేయబడివున్న ఒక పారదర్శక యానకం. గాజుదిమ్మెను ఒక వస్తువు ముందు ఉంచినప్పుడు ఏర్పడే ప్రతిబింబ స్వభావం మరియు స్థానం గురించి ఇప్పుడు తెలుసుకుందాం. దీని కొరకు ఒక కృత్యాన్ని నిర్వహిద్దాం.

ప్రయోగశాల కృత్యం-2

ఉద్దేశ్యం: గాజు దిమ్మెతో ఏర్పడే ప్రతిబింబ స్వభావం, స్థానాలను గుర్తించడం.

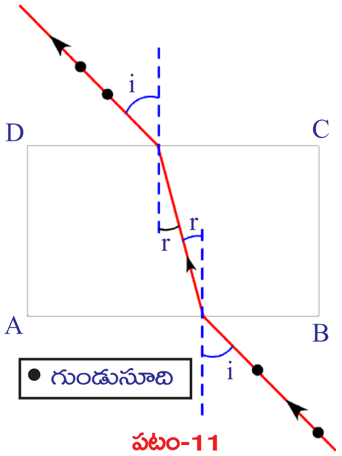
కావలసిన వస్తువులు: కార్డుబోర్డు షీట్, డ్రాయింగ్ చార్టు, క్లాంప్‌లు, స్కేలు, పెన్సిల్, పలుచని గాజుదిమ్మె మరియు గుండుసూదులు.

నిర్వహణ పద్ధతి: కార్డుబోర్డు షీట్‌పై డ్రాయింగ్ చార్టును ఉంచి దానికి క్లాంప్‌లు పెట్టండి. డ్రాయింగ్ చార్టు మధ్య భాగంలో గాజుదిమ్మెను ఉంచి, చార్టుపై దిమ్మె అంచువెంబడి పెన్సిల్‌తో గీత గీయండి. గాజుదిమ్మెను తొలగించండి. గాజుదిమ్మె అంచువెంబడి గీసిన పటం దీర్ఘచతురస్రంలా ఉంటుంది. దాని శీర్షాలకు A, B, C, D అని పేర్లు పెట్టండి.

దీర్ఘచతురస్రం పొడవులలో ఒక దానికి (AB) ఏదైనీ బిందువు వద్ద ఒక లంబరేఖ గీయండి. తిరిగి గాజుదిమ్మెను యథాస్థానంలో (దీర్ఘచతురస్రంలో) ఉంచండి. రెండు గుండుసూదులను మీరు గీసిన లంబంపై నిలువుగా ఒకే ఎత్తులో గుచ్చండి. మరో రెండు గుండుసూదులను తీసుకొని గాజుదిమ్మెకు రెండవవైపు నుండి చూస్తూ మొదటి రెండు గుండుసూదులతో ఒకే సరళరేఖలో ఉండేవిధంగా గుచ్చండి. గాజుదిమ్మెను, గుండుసూదులను తీసివేసి గుండుసూదుల వల్ల ఏర్పడిన గుర్తులను కలుపుతూ AB వరకు గీత గీయండి. ఒక పొడవైన సరళరేఖ ఏర్పడటం మీరు గమనించవచ్చు.

- దీనిని బట్టి ఏం తెలుస్తుంది?

గాజుదిమ్మె ఉపరితలంపై లంబంగా పతనమైన కాంతి కిరణం ఎటువంటి విచలనం పొందకుండా గాజుదిమ్మె రెండోవైపు నుండి బయటకు వస్తుంది.



పటం-11

ఇప్పుడు మరొక డ్రాయింగ్ చార్టును కార్డుబోర్డు షీట్‌పై ఉంచి అది కదలకుండా క్లాంప్‌లు పెట్టండి. పైన తెలిపిన విధంగా గాజుదిమ్మె అంచును తెలిపే ABCD దీర్ఘచతురస్రాన్ని, ABకి లంబాన్ని గీయండి. ఈ లంబంతో 30^0 కోణం చేస్తూ, లంబం మరియు AB రేఖలు కలిసే బిందువును చేరేవిధంగా మరొక రేఖను గీయండి. ఈ రేఖ గాజుదిమ్మెపై పడే పతనకిరణాన్ని సూచిస్తుంది. లంబంతో ఈ రేఖ చేసేకోణం పతనకోణం అవుతుంది. ఇప్పుడు గాజుదిమ్మెను ABCD దీర్ఘచతురస్రంలో ఉంచండి

పతనకిరణంపై రెండు గుండు సూదులను నిలువుగా, ఒకే ఎత్తులో గుచ్చండి. (పటం-11 చూడండి). గాజుదిమ్మె యొక్క రెండోవైపు నుండి చూస్తూ మొదటి రెండు గుండుసూదులతో సరళరేఖలో ఉండేవిధంగా మరో రెండు గుండుసూదులను దిమ్మెకు రెండోవైపు గుచ్చండి.

ఇప్పుడు గాజుదిమ్మెను, గుండుసూదులను తొలగించండి. గుండుసూదులు గుచ్చడం వల్ల ఏర్పడిన గుర్తులను కలుపుతూ CD వరకు రేఖను గీయండి. ఈ రేఖ బహిర్గత కాంతికిరణాన్ని (emergent ray of the light) తెలుపుతుంది.

మీరు గీసిన బహిర్గత కిరణం CDని తాకే బిందువు వద్ద, CD రేఖకు ఒక లంబాన్ని (ON) గీయండి. ఆ లంబానికి బహిర్గత కిరణానికి మధ్య కోణాన్ని కొలవండి. ఈ కోణాన్ని బహిర్గత కోణం (angle of emergence) అంటాం. (మీరు గీసిన చిత్రాన్ని పటం-11 తో పోల్చిచూసుకోండి.)

- ఈ కృత్యంలో పొడవైన సరళరేఖ ఏర్పడిందా?
- పతనకోణం, బహిర్గతకోణం సమానంగా ఉన్నాయా?
- పతన కిరణం, బహిర్గత కిరణం సమాంతరంగా ఉన్నాయా?

  పతన కిరణం, బహిర్గత కిరణాలు సమాంతరంగా ఉన్నాయని గుర్తించవచ్చు.
- ఈ సమాంతర రేఖల మధ్యదూరాన్ని మీరు కనుగొనగలరా?

ఈ రెండు సమాంతర రేఖల మధ్యదూరాన్ని పార్శ్య విస్థాపనం (lateral shift) అంటాం. ఈ విస్తాపనాన్ని కొలవండి. ఈ ప్రయోగాన్ని వివిధ పతనకోణాలతో చేసి చూడండి. ప్రతీ సందర్భంలో పతనకోణం, దానికి సంబంధించిన విస్థాపనం విలువలను పట్టిక-4లో నమోదు చేయండి.

- పతనకోణానికి, విస్థాపనానికి మధ్య ఏదైనా సంబంధాన్ని మీరు గుర్తించగలరా?
- గాజుదిమ్మె యొక్క వక్రీభవన గుణకాన్ని మీరు కనుగొనగలరా?

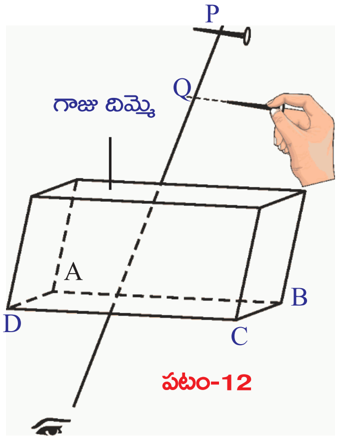
పట్టిక 4

పతన కోణం	విస్తాపనం

గాజుదిమ్మె వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుగొందాం.

కృత్యం 8

గాజుదిమ్మె మందాన్ని కొలిచి మీ నోట్‌బుక్‌లో రాసుకోండి. గాజుదిమ్మెను డ్రాయింగ్ చార్టుపై, మధ్య భాగంలో ఉంచండి. ప్రయోగశాల కృత్యం-2లో చేసినట్లుగానే గాజుదిమ్మె అంచు (ABCD దీర్ఘచతురస్రం) గీయండి. AB రేఖకు ఏదేని బిందువు వద్ద లంబాన్ని గీయండి. గాజుదిమ్మెను ABCD దీర్ఘచతురస్రంలో ఉంచండి. ఒక గుండుసూదిని తీసుకొని, దాని పొడవు ABకి సమాంతరంగా ఉండేవిధంగా, AB రేఖకు గీసిన లంబంపై గాజుదిమ్మె నుండి 15 సెం.మీ. దూరంలో P బిందువు వద్ద ఉంచండి. ఆ గుండుసూదిని గాజుదిమ్మె



పటం-12

యొక్క రెండోవైపు నుండి చూస్తూ మరొక గుండుసూదిని మొదటిదానితో ఒకే సరళరేఖలో ఉండేటట్లు అమర్చండి. గాజుదిమ్మను తొలగించి గుండుసూదుల స్థానాలను పరిశీలించండి.

- అవి రెండూ ఒకే సరళరేఖలో ఉన్నాయా?

రెండవ గుండుసూది కొన నుండి మొదటి సూది ఉంచిన రేఖపైకి ఒక లంబాన్ని గీయండి. వాటి ఖండన బిందువును Qగా గుర్తించండి. P, Qల మధ్య దూరం కొలవండి. దీనిని నిలువు విస్థాపనం (vertical shift) అంటాం.

- నిలువు విస్థాపనం అనేది మొదటి గుండుసూదిని ఉంచిన దూరంపై ఆధారపడి ఉంటుందా?

అది తెలుసుకోవడానికి గాజుదిమ్మె నుండి గుండుసూది దూరాన్ని మార్చి ఈ ప్రయోగాన్ని మరలా చేయండి. నిలువు విస్థాపనం మారదని మీరు గుర్తిస్తారు.

గాజు వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుగొనడానికి కింది సూత్రాన్ని ఉపయోగించవచ్చు.

$$\text{వక్రీభవన గుణకం} = \frac{\text{గాజుదిమ్మె మందం}}{\text{గాజుదిమ్మె మందం} - \text{నిలువు విస్థాపనం}}$$

కీలక పదాలు

వక్రీభవనం, పతనకిరణం, వక్రీభవనకిరణం, పతనకోణం, వక్రీభవనకోణం, పరమ వక్రీభవన గుణకం, సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకం, స్నెల్ నియమం, సందిగ్ధ కోణం, సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం, విస్థాపనం, ఎండమావులు, ఆప్టికల్ ఫైబర్

మనం ఏం నేర్చుకున్నాం?

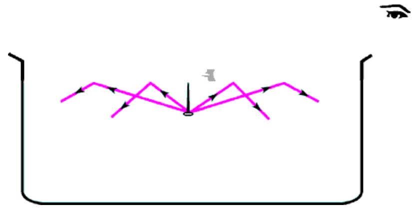
- కాంతి ఒక యానకం నుండి మరొక యానకంలోకి ప్రయాణించేటప్పుడు కాంతి ప్రయాణదిశ మారుతుంది. రెండు యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద కాంతి దిశ మారే దృగ్విషయాన్ని కాంతి వక్రీభవనం అంటాం.
- యానకాలను వేరు చేసే తలం వద్ద కాంతి వేగం మారడం వల్ల కాంతి వక్రీభవనం జరుగుతుంది.
- పరమ వక్రీభవన గుణకం = శూన్యంలో కాంతి వేగం/ యానకంలో కాంతి వేగం $\Rightarrow$ $n = c/v$
- సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకం $n_{21} = v_1/v_2 = n_2/n_1$
- $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ ను స్నెల్ నియమం అంటాం.

- సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి ప్రయాణించే కాంతి కిరణం ఏ పతన కోణం వద్ద, యానకాలను విభజించే తలానికి సమాంతరంగా ప్రయాణిస్తుందో ఆ పతనకోణాన్ని ఆ తలానికి సంబంధించిన సందిగ్ధ కోణం అంటాం. సాంద్రతర యానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం n_1, విరళయానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం n_2 ($n_1 > n_2$)అయితే $\sin C = n_2/n_1$
- సందిగ్ధకోణం కంటే పతనకోణం ఎక్కువైనప్పుడు యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద కాంతి కిరణం తిరిగి సాంద్రతర యానకంలోకి పరావర్తనం చెందుతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్ని సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం అంటాం.

అభ్యసనాన్ని మెరుగుపరచుకుందాం

1. నీటిలో ఈదే చేపను తుపాకితో కాల్చడం కష్టం. ఎందుకు? (AS1)
2. శూన్యంలో కాంతివేగం 3,00,000 కి.మీ/ సె, వజ్రంలో కాంతి వేగం 1,24,000 కి.మీ/ సె అయిన, వజ్రం వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుగొనండి. (AS1) (**జవాబు:** 2.42)
3. నీటిపరంగా గాజు వక్రీభవన గుణకం 9/8. గాజుపరంగా నీటి వక్రీభవన గుణకం ఎంత?(AS1) (**జవాబు:**8/9)
4. నీటి పరమ వక్రీభవన గుణకం 4/3. అయిన నీటి సందిగ్ధకోణం ఎంత? (AS1) (**జవాబు:** 48.5^0)
5. బెంజీన్ యొక్క సందిగ్ధకోణం 42^0. అయిన బెంజీన్ వక్రీభవన గుణకం కనుగొనండి. (AS1) (**జవాబు:** 1.51)
6. ఎండమావులు ఏర్పడే విధానాన్ని వివరించండి. (AS1)
7. sin i/ sin r విలువ స్థిరమని ప్రయోగపూర్వకంగా ఎలా సరిచూస్తారు ? (AS1)
8. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనాన్ని ఏదేని కృత్యంతో వివరించండి. (AS1)
9. సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి కాంతి ప్రయాణించినప్పుడు, పతనకోణం కన్నా వక్రీభవన కోణం విలువ ఎక్కువని ప్రయోగపూర్వకంగా ఎలా సరిచూస్తారు? (AS1)
10. ప్రకాశవంతమైన ఒక లోహపు గోళాన్ని తీసుకొని, కొవ్వొత్తి నుండి వచ్చే మసితో గోళాన్ని నల్లగా చేయండి. ఆ గోళాన్ని నీటిలో ముంచండి. ఆ గోళం ఎలా కనిపిస్తుంది. ఎందుకు? (ఊహించండి. ప్రయోగం చేసి చూడండి.) (AS2)
11. ఒక గాజు పాత్రలో సగం వరకు గ్లిజరిన్ పోయండి. తరవాత దాని నిండుగా నీరు నింపండి. ఈ పాత్రలో క్వార్ట్జ్ గాజుకడ్డీని ఉంచండి. పాత్ర ప్రక్కభాగం నుండి గాజుకడ్డీని పరిశీలించండి. (AS2)
    - మీరు ఏం మార్పులు గమనించారు?
    - ఈ మార్పులకు కారణాలేమైఉంటాయి?
12. కృత్యం-7ను మరలా చేయండి. నీటి సందిగ్ధ కోణాన్ని మీరు ఎలా కనుగొంటారు? కనుగొనే పద్ధతిని వివరించండి. (AS3)
13. కింది యానకాల వక్రీభవన గుణకాల విలువలను సేకరించండి. (AS4)
    నీరు, కొబ్బరినూనె, ఫ్లింట్‌గాజు, వజ్రం, బెంజీన్, హైడ్రోజన్ వాయువు.
14. ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ పనిచేసే విధానాన్ని వివరించే సమాచారాన్ని సేకరించండి. మన నిత్యజీవితంలో ఆప్టికల్ ఫైబర్స్ ఉపయోగాల గురించి ఒక నివేదిక తయారుచేయండి.(AS4)

15. థర్మాకోల్ షీట్‌తో 2 సెం.మీ, 3 సెం.మీ, 4 సెం.మీ, 4.5 సెం.మీ, 5 సెం.మీ మొదలగు వ్యాసార్థాలు కలిగిన వృత్తాకార ముక్కలను తయారు చేయండి. ప్రతిదానికి కేంద్రాన్ని గుర్తించండి. అన్ని వృత్తాలకు కేంద్రం వద్ద 6 సెం.మీ. పొడవు గల సూదిని గుచ్చండి. ఒక వెడల్పాటి అపారదర్శక పాత్రలో నీటిని తీసుకొని, 2 సెం.మీ వ్యాసార్థం గల థర్మాకోల్ ముక్కను పటం-Q15లో చూపినవిధంగా సూది నీటిలో ఉండేటట్లుగా అమర్చండి. ఆ సూది రెండవ చివరను పాత్ర పైనుండే చూడడానికి ప్రయత్నించండి.


పటం-Q15

- సూది కొనను మీరు చూడగలిగారా? ఎందుకు?

వేర్వేరు వ్యాసార్థాలను కలిగిన మిగతా థర్మాకోల్ వృత్తాలతో ఈ ప్రయోగాన్ని మళ్ళీ చేయండి. సూది కొనభాగాన్ని చూడడానికి ప్రయత్నించండి.

గమనిక: ప్రతి సందర్భంలోనూ థర్మాకోల్ వృత్తం యొక్క స్థానం, మీ కంటి స్థానం మారకుండా జాగ్రత వహించండి.

- ఏయే వ్యాసార్థాలు కలిగిన వృత్తాలకు ఉంచిన సూదుల కొనలను మీరు చూడలేకపోయారు? వాటిలో తక్కువ వ్యాసార్థం విలువ ఎంత?
- కొన్ని సూదుల కొనలను మీరు చూడలేకపోవడానికి కారణమేమిటి?
- యానకం యొక్క సందిగ్ధ కోణాన్ని కనుగొనడానికి మీకు ఈ కృత్యం సహాయపడిందా?
- వివిధ సందర్భాలలో సూది కొన నుండి కాంతి ప్రయాణాన్ని తెలిపే చిత్రాలను గీయండి. (AS4)

16. గాజుదిమ్మెలో కాంతి వక్రీభవనం చెందే విధానాన్ని పటం గీసి వివరించండి. (AS5)
17. టేబుల్‌పై ఒక వస్తువును ఉంచండి. దానిని ఒక గాజుదిమ్మెగుండా చూస్తే ఆ వస్తువు మీకు చేరువగా కనిపిస్తుంది. ఈ సందర్భంలో కాంతికిరణ ప్రయాణాన్ని వివరించే కిరణ చిత్రాన్ని గీయండి. (AS5)
18. వజ్రం ప్రకాశించడానికి కారణమేమిటి? ఇందులో ఇమిడి ఉన్న అంశాన్ని మీరెలా అభినందిస్తారు? (AS6)
19. కిరణ చిత్రాలను గీయడంలో 'ఫెర్మాట్ సూత్రం' ప్రాముఖ్యతను మీరెలా అభినందిస్తారు? (AS6)
20. గాలి – ఒక ద్రవం వేరు చేయబడే తలం వద్ద కాంతి కిరణం 45^0 కోణంతో పతనమై 30^0 కోణంతో వక్రీభవనం పొందింది. ఆ ద్రవం వక్రీభవనగుణకం ఎంత? వక్రీభవన కిరణం, పరావర్తనం కిరణం మధ్య కోణం 90^0 ఉండాలంటే కాంతి ఎంత కోణంతో పతనం చెందాలి? (AS7) (**జవాబు:** 1.414, 54.7^0)
21. ఒక పాత్రలోని నీటిలో నిర్దిష్ట కోణంతో ముంచబడిన పరీక్షనాళికను (పరీక్షనాళికలోకి నీరు చేరరాదు) ఒక ప్రత్యేక స్థానం నుండి చూసినప్పుడు, పరీక్షనాళిక గోడ అద్దం వలె కనిపిస్తుంది. దీనికి కారణమేమిటో వివరించగలరా? (AS7)
22. గాజుదిమ్మెగుండా ప్రయాణించే కాంతి పొందే విచలన కోణం (angle of deviation) ఎంత? దానిని కిరణ చిత్రంతో చూపండి. (AS7)
23. ఏ సందర్భాల్లో కాంతి కిరణం యానకాలను వేరుచేసే తలం వద్ద విచలనం పొందదు? (AS7)
24. సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకంలోకి కాంతి కిరణం ప్రయాణిస్తుంది. ఆ యానకాల సందిగ్ధకోణం C. అయితే ఆ కాంతి కిరణం అత్యధికంగా పొందే విచలన కోణం ఎంత? (AS7) (**జవాబు:** π-2C)

25. మనం చలిమంట కాచుకుంటున్నప్పుడు మంట వెనుక భాగాన ఉన్న వస్తువులు స్వల్పంగా ఊగుతున్నట్లుగా కనిపిస్తాయి. కారణం ఏమిటి? (AS7)

26. నక్షత్రాలు ఎందుకు మిణుకుమిణుకుమంటాయి? (AS7)

27. ఒకే ఆకారంలో తయారుచేయబడిన గాజుముక్క, వజ్రాలలో వజ్రం ఎక్కువగా మెరుస్తుంది. ఎందుకు? (AS7)

ఖాళీలను పూరించండి

1. సందిగ్ధకోణం వద్ద వక్రీభవన కోణం విలువ ___________
2. $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ ను ___________ అంటాం.
3. శూన్యంలో కాంతివేగం విలువ ___________
4. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరగాలంటే కాంతికిరణం ___________యానకం నుండి ___________యానకంలోకి ప్రయాణించాలి.
5. ఒక పారదర్శక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం 3/2. ఆ యానకంలో కాంతివేగం___________
6. ఎండమావులు ___________ కు ఒక ఉదాహరణ.

సరైన సమాధానాన్ని ఎన్నుకోండి

1. కింది వాటిలో స్నెల్ నియమం ___________ [ ]

   a) $n_1 \sin i = \sin r / n_2$ b) $n_1/n_2 = \sin r / \sin i$

   c) $n_2/n_1 = \sin r / \sin i$ d) $n_2 \sin i =$ స్థిరాంకం

2. గాలి పరంగా గాజు వక్రీభవన గుణకం 2. గాజు-గాలి కలిసే తలం యొక్క సందిగ్ధకోణం____ [ ]

   a) 0^0 b) 45^0

   c) 30^0 d) 60^0

3. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరగాలంటే కాంతి _______లోకి ప్రయాణించాలి. [ ]

   a) విరళ యానకం నుండి సాంద్రతర యానకం

   b) విరళ యానకం నుండి విరళ యానకం

   c) సాంద్రతర యానకం నుండి విరళ యానకం

   d) సాంద్రతర యానకం నుండి సాంద్రతర యానకం

4. గాజుదిమ్మె వల్ల కాంతిపొందే విచలన కోణం ______ [ ]

   a) 0^0 b) 20^0 c) 90^0

   d) గాజు దిమ్మెతలానికి గీసిన లంబంతో కాంతికిరణం చేసే కోణంపై ఆధారపడి ఉంటుంది.