**మాడ్యూల్ - 6**

# 20 కాంతి పరావర్తనం మరియు వక్రీభవనం

వస్తువులను చూడగలిగేలా చేసేది కాంతి. చుట్టూ ఉన్న పరిసరాలతో దృశ్యానుభూతిని కలుగజేస్తుంది. ప్రకృతి మన కందించిన పువ్వులు, మొక్కలు, పక్షులు, జంతువులు మరియు ఇతర జీవజాలాల రమణీయతను ఆస్వాదించేలా చేసేది కూడా కాంతియే. కాంతి లేనట్లయితే మనమేం కోల్పోయే వాళ్ళమో మీరు ఊహించగలరు. వజ్రం యొక్క ధగధగలను మరియు ఇంద్రధనస్సు సొగసును గుర్తించ గలిగే వాళ్ళమా? కాంతి, మనం చూడగలిగేలా ఎలా చేస్తుందన్న విషయం మీరు ఎప్పుడైనా ఆలోచించారా? సూర్యుడు, నక్షత్రాల నుండి కాంతి భూమిని ఎలా చేరుతుంది? అది దేనితో తయారైంది? ఇలాంటి ప్రశ్నలు తొలినాటి నుండి మానవ మేధస్సును తొలిచివేస్తూ ఉన్నాయి. ఇటువంటి కొన్ని ప్రశ్నలకు సమాధానాలివ్వగలిగే కొన్ని దృగ్విషయాలను మీరు నేర్చుకుంటారు.

గోడకున్న సన్నని రంధ్రం ద్వారా కాంతి గదిలోనికి ప్రవేశించినపుడు పరిశీలించండి. ధూళికణాల గమనం కాంతి సరళరేఖ మార్గంలో ప్రయాణిస్తుందన్న దానికి రుజువు అని మీరు తెలుసుకుంటారు. సరళరేఖ మధ్యలో బాణపు గుర్తు ( $\rightarrow$ ) కాంతి ప్రసరణ దిశను సూచిస్తుంది. దీనిని **కిరణం** అంటారు. కిరణాల సమూహాన్ని పుంజం అంటారు. ఈ కిరణ భావనే **జ్యామితీయ దృశాశాస్త్రంకు** మూలం. 22వ పాఠంలో మీరు కాంతి, తరంగంలా ప్రవర్తిస్తుందని నేర్చుకుంటారు. కాని తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యంగల తరంగాన్ని సుమారుగా కిరణంగానే భావించవచ్చు. కాంతి కిరణం అద్దం మీద పడినప్పుడు దాని దిశ మారుతుంది. ఈ పద్ధతిని పరావర్తనం అంటారు. కాని రెండు విభిన్న ఉపరితలాల సరిహద్దు వద్ద కాంతి పతనమైనపుడు అది వంగుతుంది. ఈ పద్ధతిని వక్రీభవనం అంటారు. ఈ పాఠంలో మీరు అద్దాల నుండి పరావర్తనం, కటకాల నుండి వక్రీభవనం నేర్చుకుంటారు. అలాగే సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం కూడా నేర్చుకుంటారు. ఈ దృగ్విషయాలన్నీ మనదైనందిన జీవితంలో అనేక అనువర్తనాలను కలిగి ఉన్నాయి.

## లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

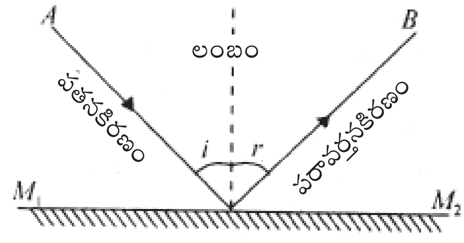
- వక్రీభవన తలాల వద్ద పరావర్తనం గురించి మరియు గోళాకార దర్పణాల నాభ్యంతరం, వక్రతా వ్యాసార్థాల మధ్య సంబంధాన్ని గురించి తెలుసుకుంటారు.
- వృత్తాకార తలాలకు సంజ్ఞా సాంప్రదాయాన్ని తెల్పుట.
- వస్తుదూరం, ప్రతిబింబదూరం మరియు నాభ్యంతరంల మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టుట.
- వక్రీభవన నియమాలను వివరించుట.
- సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం, నిత్య జీవితంలో దాని అనువర్తనాలను వివరించుట.
- ఒక దానికొకటి తాకునట్లుగా అమర్చిన కటకసంయోగం యొక్క నాభ్యంతరానికి సమాసం రాబట్టుట.

## 20.1 వృత్తాకార తలాల నుండి పరావర్తనం

ఇంతకు ముందు పాఠంలో సమతలాల వద్ద పరావర్తన నియమాలను నేర్చుకున్నారు. వాటిని ఒకసారి గుర్తుకు తెచ్చుకుందాం.

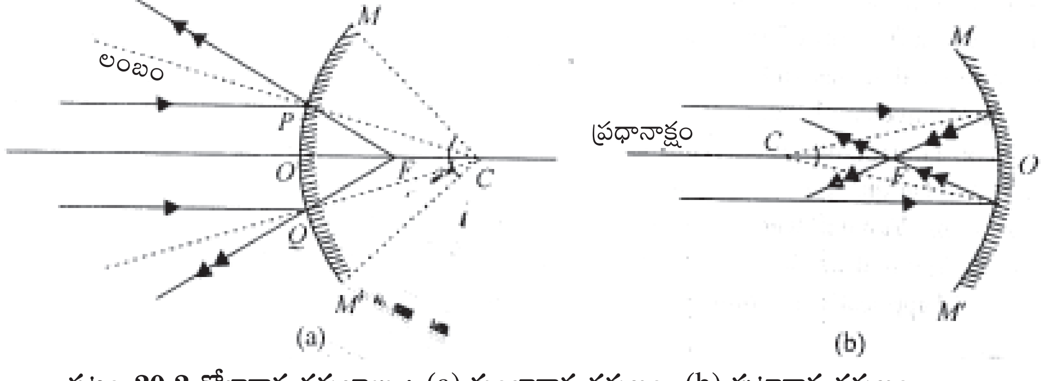
**మొదటి నియమం:** పతనకిరణం, పరావర్తన కిరణం మరియు పతన బిందువు వద్ద గీచిన లంబం ఒకేతలంలో ఉంటాయి.

**రెండవ నియమం:** పతనకోణం, పరావర్తన కోణానికి సమానం.




**పటం 20.1 సమతల పరావర్తనం**

వీటిని పటం 20.1లో చూపించారు. ఈ నియమాలు సమతలాలకు చెప్పినప్పటికి వృత్తాకార దర్పణాలకు కూడా వర్తిస్తాయి. ఎందువల్లననగా వృత్తాకార దర్పణాన్ని అనేక చిన్న సమతల దర్పణాల సమూహంగా భావిస్తున్నాం కనుక. ఎక్కువ పోలీష్ చేయబడిన చెంచా వృత్తాకార దర్పణానికి బాగా తెలిసిన ఉదాహరణ. మీ ముఖ ప్రతిబింబాన్ని అందులో చూశారా? పటం 20.2 (a) మరియు 20.2 (b) ముఖ్యమైన రెండు రకాల వృత్తాకార దర్పణాలను చూపిస్తున్నాయి.




**పటం 20.2 గోళాకార దర్పణాలు : (a) కుంభాకార దర్పణం, (b) పుటాకార దర్పణం**

కుంభాకార దర్పణం యొక్క పరావర్తన తలం బయటి వైపుకు, పుటాకార దర్పణం యొక్క పరావర్తన తలం లోపలి వైపుకు ఉండటం గమనించండి. మనం ఇపుడు వృత్తాకార దర్పణాలలో ఉపయోగించే ముఖ్యమైన పదాలను నిర్వచిద్దాం. దర్పణం ఏగోళం యొక్క భాగమో ఆ గోళ కేంద్రాన్ని ఆ దర్పణం యొక్క **వక్రతా కేంద్రం** అంటారు. ఆ గోళం వ్యాసార్ధంను ఆ దర్పణానికి **వక్రతావ్యాసార్థం** (c) అంటారు. దర్పణం యొక్క పరావర్తనతలం మధ్య బిందువు O ను **ధృవం** అంటారు. C మరియు O గుండా పోయే సరళ రేఖను **దర్పణం ప్రధాన అక్షం** అంటారు. దర్పణం యొక్క వృత్తాకార **అంచు** (periphary) ను **కంత** అంటారు. C వద్ద కంత చేయుకోణాన్ని MCM′ ను **కోణీయకంత** అంటారు. కంతపరిమాణం, దర్పణ పరిమాణానికి కొలత.

ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న కాంతి కిరణపుంజం వృత్తాకార దర్పణం మీద పతనమై ఒక బిందువు వద్ద కేంద్రీకృతమవడం లేదా వికేంద్రీకరణం అయినట్టుగా గాని అనిపిస్తుంది. ఆ బిందువును దర్పణానికి **ప్రధాననాభి** అంటారు. ధృవం, నాభ్యంతరంల మధ్య దూరం **దర్పణ నాభ్యంతరం**. ప్రధానాక్షానికి లంబంగా ఉంటూ నాభిగుండా పోయే తలాన్ని **నాభీయతలం** అంటారు.

ఇక్కడ మనం తక్కువ కంత గల దర్పణాలను, **ఉపాక్షీయ కిరణాలు** అంటే ప్రధానాక్షానికి దగ్గరగా ఉండే కాంతి కిరణాలను మాత్రమే తీసుకుంటాం (ప్రధానక్షానికి దూరంగా ఉండే కాంతికిరణాలను **ఉపాంత కిరణలు లేదా పరిసీమకిరణాలు** అంటారు).

## పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.1

1. ఈ కింది ప్రశ్నలకు సమాధానా లివ్వండి

   (a) సమతల, పుటాకార, లేక కుంభాకార దర్పణాలలో ఏ దర్పణానికి వక్రతా వ్యాసార్ధం ఎక్కువ.

   ......................................................................................................

   (b) వృత్తాకార దర్పణం నీటిలో మునిగి ఉన్నపుడు దాని నాభ్యంతరం మారుతుందా?

   ......................................................................................................

   (c) సమతల లేదా పుటాకార దర్పణంలో ఏర్పడిన ప్రతిబింబం యొక్క స్వభావం ఏమిటి?

   ......................................................................................................

   (d) వృత్తాకార దర్పణాలు ఎందుకు ఒకే నాభిని కలిగి ఉంటాయి.

   ......................................................................................................

2. ఒకే వక్రతా కేంద్రం కలిగి, 5 సెం.మీ, 7 సెం.మీ, 10 సెం.మీ వక్రతా వ్యాసార్ధం గల పుటాకార దర్పణాల బొమ్మలను గీయండి? ప్రతీ దర్పణం యొక్క నాభ్యంతరాన్ని కనుక్కోండి? ఉమ్మడి ప్రధాక్షానికి సమాంతరంగా ఒక కిరణాన్ని గీచి ప్రతీ దర్పణానికి పరావర్తన కిరణాలను గీయండి.

   ......................................................................................................

3. వృత్తాకార దర్పణం వక్రతా వ్యాసార్ధం 30 సెం.మీ

(i) లోపలితలం పూతపూయ బడినపుడు (ii) బయటితలం పూతపూయబడినపుడు దాని నాభ్యంతరం ఎంత ఉంటుంది?

..........................................................................................

4. డిష్ ఏంటెన్నాలు వక్రంగా ఎందుకుంటాయి?

..........................................................................................

## 20.1.2 ప్రతిబింబాన్నేర్పరచుటకు రేఖా చిత్రములు

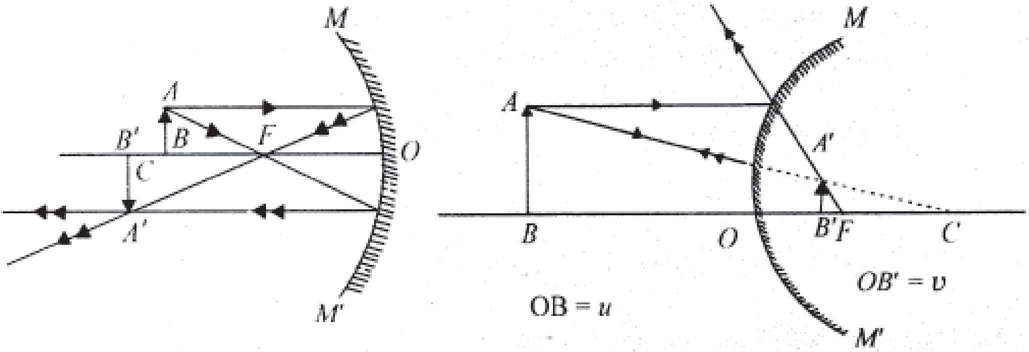
మళ్ళీ మనం పటం 20.2 (a) మరియు 20.2 (b) లను పరిశీలించినపుడు

- వక్రతా కేంద్రం గుండా పోయే కాంతికిరణం అదే మార్గంలో వెనుకకు మరలుతుంది.
- ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న కాంతికిరణం, పరావర్తనం తరువాత నాభి గుండా పోతుంది.
- నాభి F నుండి పోయే కాంతికిరణం పరావర్తనం చెంది ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా పోతుంది.

ప్రతిబింబాన్ని గుర్తించడానికి ఈ మూడు కిరణాలలో ఏవేని రెండింటిని ఎంచుకోండి. ప్రతిబింబాలు రెండురకాలు. నిజ ప్రతిబింబం మరియు మిధ్యా ప్రతిబింబం.

దర్పణం నుండి పరావర్తనం చెందిన కిరణాలు ఖండించుకున్నప్పుడు వస్తువు యొక్క **నిజప్రతి బింబం** ఏర్పడుతుంది. అవి తలక్రిందులైన ప్రతిబింబాలు. వాటిని తెరమీద పట్టవచ్చు. దర్పణం ముందు వస్తువు ఉన్న వైపునే ఏర్పడతాయి. (పటం 20.3(a)

దర్పణం నుండి వికేంద్రీకరింపబడినట్లు ఉండే పరావర్తన కిరణాల వల్ల **మిధ్యా ప్రతిబింబం** ఏర్పడుతుంది. ఈ ప్రతిబింబాలన్ని ఎల్లప్పుడూ నిటారుగా ఉండే మిధ్యా ప్రతిబింబాలు. వీటిని తెరమీద పట్టలేము. ఇవి దర్పణం వెనకవైపున ఏర్పడతాయి.

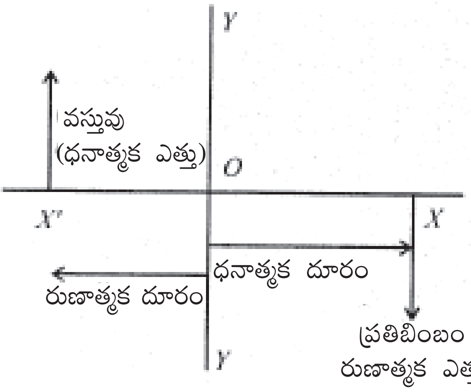



**పటం 20.3: (a) పుటాకార (b) కుంభాకార దర్పణాలలో ఏర్పడే ప్రతిబింబాలు**

### 20.1.3 సంజ్ఞా సాంప్రదాయం

కార్టీజియన్ నిరూపక వ్యవస్థ ఆధారంగా మనం సంజ్ఞా సాంప్రదాయాన్ని అనుసరిస్తున్నాం. ఈ సాంప్రదాయాన్ని ఉపయోగించినపుడు ఈ కింది విషయాలను జ్ఞప్తిలో ఉంచుకోవాలి.

1. అన్ని దూరాలను దర్పణ ధృవం నుండి కొలవాలి. పతనకిరణాలు ఎప్పుడూ ఎడమ వైపు నుండి కుడివైపుకు ప్రయాణించేలా వస్తువు నెప్పుడు దర్పణంకు ఎడమచేతి వైపు తీసుకోవాలి.
2. O బిందువుకు ఎడమవైపునున్న దూరాలన్నీ ఋణాత్మకంగాను అలాగే కుడివైపునున్న దూరాలన్నీ ధనాత్మకంగాను తీసుకోవాలి.
3. ప్రధానాక్షం నుండి పైకికొలిచే దూరాలు ధనాత్మకం కింది వైపుకు కొలిచే దూరాలు ఋణాత్మకం. కుంభాకార దర్పణానికి వక్రతా వ్యాసార్థం మరియు నాభ్యంతరాలు ధనాత్మకాలు, పుటాకార దర్పణానికి ఋణాత్మకంగా తీసుకోవాలి.



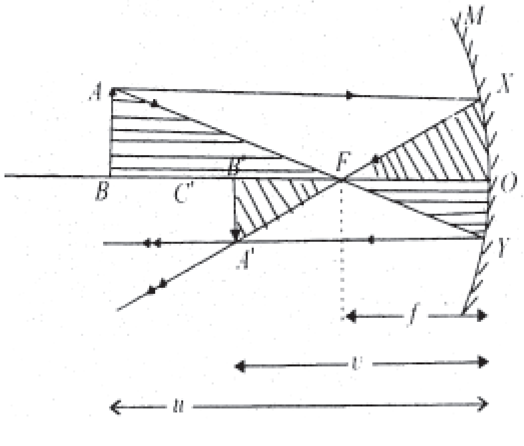

**పటం 20.4: సంజ్ఞా సంప్రదాయం**

## 20.2 దర్పణ సూత్రానికి సాధన

ఇపుడు మనం వృత్తాకార దర్పణానికి వస్తుదూరం (u) ప్రతిబింబ దూరం (v) నాభ్యంతరంలకు(f) మధ్య సంబంధాన్ని చూద్దాం.

[దృశాశాస్త్రంలో ప్రతిబింబదూరాన్ని $v$ తో సూచిస్తారు. దానిని వేగంగా భావించవద్దు.]

సరళ జ్యామితిని ఉపయోగించి ఈ సంబంధాన్ని తీసుకొస్తాం. ఇది అన్ని పరిస్థితులకు అనువర్తిస్తుంది. పటం 20.5ను పరిశీలించండి. పుటాకార దర్పణం ముందు AB అనే వస్తువునుంచాం. దర్పణం$A^1B^1$ అనే ప్రతిబింబానేర్పరిచింది.




**పటం 20.5**

AB వస్తువులో A బిందువు నుండి వెలువడే రెండు కిరణములు AX, AY లు. M పుటాకార దర్పణం. దీనిలో $XA^1$, $YA^1$ లు పరావర్తన కిరణాలు సంజ్ఞా సాంప్రదాయాన్ననుసరించి

వస్తుదూరం, OB $= -u$

నాభ్యంతరం, OF $= -f$

ప్రతిబింబదూరం, $OB^1$ $= -v$

వక్రతా వ్యాసార్థం OC $= -2f$ గా రాయవచ్చు

$\Delta ABF$, $\Delta FOY$ లు సరూప త్రిభుజాలు కనుక

$$\frac{AB}{OY} = \frac{FB}{FO} \qquad \ldots (20.1)$$

$\Delta$ XOF మరియు $\Delta$ B′A′F సరూపత్రిభుజాల నుండి

$$\frac{XO}{A'B'} = \frac{OF}{FB'} \qquad \ldots (20.2)$$

కాని AX ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉంది కనుక AB=XO, $A^1B^1$=OY సమీ (20.1), సమీ (20.2) లకు ఎడమచేతివైపు పదాలు సమానం కనుక వాటి కుడిచేతి వైపు పదాలను సమానం చేద్దాం.

$$\frac{FB}{OF} = \frac{OF}{FB^1} \qquad \ldots\ldots (20.3)$$

u, v, f విలువలను సమీ (20.3) లో పెట్టగా

$$\frac{-u-(-f)}{-f} = \frac{-f}{-v-(-f)}$$

$$\frac{-u+f}{-f} = \frac{-f}{-v+f}$$

అడ్డ గుణకారం చేయగా

$$uv - uf - vf + f^2 = f^2$$

లేదా $uv = uf + vf$

uvf తో భాగించగా వస్తు దూరం, ప్రతిబింబ దూరం, నాభ్యంతరంల మధ్య మనకు కావలసిన సంబంధం వస్తుంది.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \qquad \ldots (20.4)$$

తరువాత మనం అతి ముఖ్యమైన పదం **వృద్ధీకరణం**ను చూద్దాం. ఇది వస్తు పరిమాణంకు, ప్రతిబింబపరిమాణంకు మధ్య నిష్పత్తిని సూచిస్తుంది.

$$m = \frac{\text{వస్తు పరిమాణం}}{\text{ప్రతిబింబ పరిమాణం}} = \frac{h_2}{h_1}$$

కాని $\frac{A'B'}{AB} = \frac{-v}{-u}$

$$m = -\frac{h_2}{h_1} = \frac{v}{u} \qquad \ldots(20.5a)$$

నిజ ప్రతిబింబం తల క్రిందులుగా ఉంటుంది కనుక మనం

$$m = \frac{A^1B^1}{AB} = -\frac{v}{u} \text{ అని రాయవచ్చు} \qquad \ldots(20.5b)$$

లెక్కలు చేసేటప్పుడు ఈ క్రింది విషయాలను దృష్టిలో పెట్టుకోండి.

1. ఏ వృత్తాకార దర్పణానికైనా కింది దర్పణ సమీకరణాన్ని ఉపయోగించండి.

   $$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

2. ఇచ్చిన రాశుల సంఖ్యాత్మక విలువలను సరియైన సంజ్ఞతో ప్రతిక్షేపించండి.
3. సాధించవలసిన రాశికి సంజ్ఞను ఇవ్వవద్దు. సరియైన సంజ్ఞ దానికదే వస్తుంది.
4. నిజ ప్రతిబింబానికి రేఖీయ వృద్ధీకరణం రుణాత్మకం, మిథ్యాప్రతి బింబానికి ధనాత్మకం.
5. పటంగీచి లెక్కలు ప్రారంభించుట అన్ని వేళలా శ్రేయస్కరం.

## పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.2

1. ఒక వ్యక్తి అద్దం ముందు నిలబడినపుడు తన తల భాగం చిన్నదిగా తుంటి భాగం పెద్దదిగా ఉన్నట్టు కనబడింది. ఆ దర్పణం ఆకృతిని తెల్పండి?

   ...............................................................................................................

2. షేవింగ్ దర్పణాలు పుటాకారంగా, వాహనాలలో ఉపయోగించే రేర్‌వ్యూ (rearview) దర్పణాలు కుంభాకారంగా ఎందుకుంటాయి. మీ సమాధానాన్ని రేఖాచిత్రాలతో వివరించండి?

   ...............................................................................................................

3. 25 సెం.మీ నాభ్యంతరంగల పుటాకార దర్పణం ముందుంచిన వస్తువు స్థానాన్ని మార్చినపుడు ప్రతిబింబ స్థానం కూడా మారుతుంది. ఈ మార్పు −X నుండి +X కు మారుతున్న వస్తుదూరాన్ని ప్రతిబింబప్రమేయంగా గీయండి?

..................................................................................................................

నిజ ప్రతిబింబం ఎప్పుడు అవుతుంది, మిథ్యా ప్రతిబింబం ఎక్కడ అవుతుంది ప్రతీసందర్భంలో పటాలను గీయండి?

..................................................................................................................

4. పుటాకార దర్పణం తనముందు ఉంచిన వస్తువుకు ఎప్పుడు పెద్దదైన ప్రతిబింబాన్నిస్తుందో రెండు సందర్భాలలో తెల్పండి. మీ సమాధానాన్ని రేఖాచిత్రాలతో విశదపరచండి.

..................................................................................................................

5. వక్రతా వ్యాసార్థం 16 సెం.మీ గాగల పుటాకార దర్పణం ముందు 2.6 సెం.మీ ఎత్తుగల వస్తువును 24 సెం.మీ దూరంలో ఉంచారు. (i) ప్రతిబింబస్థానాన్ని (ii) ప్రతిబింబ పరిమాణం, స్వభావంను కనుక్కోండి?

..................................................................................................................

6. పుటాకార దర్పణం నుండి 15 సెం.మీ దూరంలో వస్తువు నుంచారు. దర్పణం వస్తువు కన్నా 4 రెట్లు పొడవుగా గల నిజ ప్రతిబింబా నేర్పచింది. ప్రతిబింబస్థానాన్ని, దర్పణం వక్రతా వ్యాసార్థాన్ని కనుక్కోండి.

..................................................................................................................

7. 20 సెం.మీ వక్రతా వ్యాసార్థం గల పుటాకార దర్పణం వస్తువు పరిమాణంలో సగం పరిమాణం గల ప్రతిబింబానేర్పరుస్తుంది. వస్తు, ప్రతిబింబ స్థానాల్ని కనుక్కోండి?

..................................................................................................................

8. ఒక కోతి, 10 సెం.మీ వ్యాసార్థం గల పోలీష్ చేసిన వృత్తాకార బంతిని రెప్పవేయకుండా చూస్తుంది. దానికన్ను, తలం నుండి 20 సెం.మీ దూరంలో ఉంటే కంటి నుండి ప్రతిబింబం ఎంత దూరంలో ఏర్పడుతుంది.

..................................................................................

## 20.3 కాంతి వక్రీ భవనం

కాంతి విరళ (గాలి), యానకం నుండి సాంద్రతర యానకం (నీరు, గాజు)లోకి వంగి ప్రయాణించునపుడు ప్రసారదిశలో మార్పు వస్తుంది. **రెండు భిన్నయాన కాల ఉమ్మడితలం వద్ద కాంతి వంగి ప్రయాణించడాన్ని వక్రీభవనం అంటారు.** ఉమ్మడి తలం వద్ద కాంతి వక్రీభవనం చెందినపుడు ఈ కింది నియమాలను పాటిస్తుంది.

**మొదటి నియమం :** పతనకిరణం, వక్రీభవన కిరణం పతనబిందువు వద్ద తలానికి గీసిన లంబం ఒకే తలంలో ఉంటాయి.

**రెండవ నియమం :** ఇచ్చిన రెండు యానకాల పతనకోణం యొక్క సైనుకు మరియు వక్రీభవన కోణం యొక్క సైనుకు మధ్యగల నిష్పత్తి రెండు యానకాలకు స్థిరం. ఇది కాంతి విరళ యనకం నుండి సాంద్రతర యానకంలోకి ప్రయాణించునపుడు పతనకోణం మీద ఆధారపడదు. అంతేకాక ఇచ్చిన రంగుకు ఆ నిష్పత్తి రెండు యానకాల మీద మాత్రమే ఆధారపడుతుంది.

ఈ నియమాన్ని డచ్‌శాస్త్రవేత్త విల్లీబ్రోర్డ్ వాన్ రోయ్‌జన్ స్నెల్ (While Brord Van Roijen Smell) ప్రతిపాదించినందున ఆయన గౌరవార్ధం ఈ నియమాన్ని **స్నెల్ నియమం** అంటారు.

స్నెల్ నియమం ప్రకారం

$$\frac{\text{Sin i}}{\text{Sin r}} = \mu_{12}$$

ఇక్కడ $\mu_{12}$ ఒక స్థిరాంకం, మొదటి యానకం దృష్ట్యా రెండవయానకం యొక్క వక్రీభవన గుణకం అంటారు. రెండు తలాలను వేరుచేసే ఉమ్మడితలం వద్ద ఎంత వంగుతుందో నిర్ధారిస్తుంది. దీనిని మొదటి యానకంలో కాంతి వేగానికి రెండవయానకంలోని కాంతివేగానికి మధ్యగల నిష్పత్తిగా కూడా చెప్పవచ్చు.

$$\mu_{12} = \frac{C_1}{C_2}$$

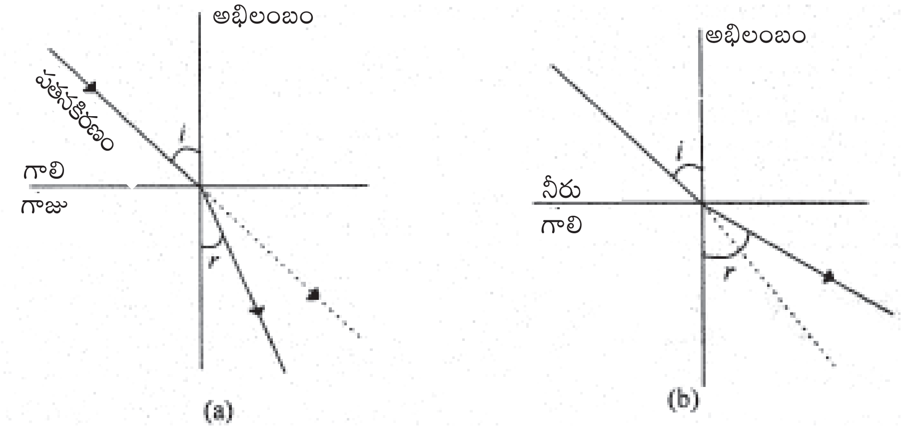
కొన్ని విలక్షణమైన పదార్థాల వక్రీభవన గుణకాలను పట్టిక 20.1లో ఇచ్చారు. ఇవి గాలి లేదా శూన్య యానకం దృష్ట్యా విలువలని గమనించండి. ఎక్కువ వక్రీభవనగుణకం ఉన్న యానకాలను దృశాసాంద్రతర యానకం అని, తక్కువ వక్రీభవన గుణకం ఉన్న యానకాలను విరళయానకాలంటారు. దీనిని బట్టి నీరు గాలికన్నా సాంద్రతరయానకం కాని గాజుకన్నా విరళయానకం. అలాగే క్రేన్‌గాజు సాధారణ గాజుకన్నా సాంద్రతరం కాని ఫ్లింట్ గాజు కన్నా విరళయానకం.

**పట్టిక 20.1 పదార్థముల వక్రీభవన గుణకములు**

| యానకం | $\mu$ |
|---|---|
| శూన్యం/గాలి | 1 |
| నీరు | 1.33 |
| సాధారణ గాజు | 1.5 |
| క్రేన్ గాజు | 1.52 |
| సాంద్రతర ఫ్లింట్ గాజు | 1.65 |
| వజ్రం | 2.42 |

గాలి నుండి గాలి కన్నా సాంద్రతరయానకమైన గాజులాంటి యానకంలో వక్రీభవనం చెందినపుడు (పటం 20.6(a)), $\angle i$ కన్నా $\angle r$ తక్కువ. అలాకాక నీటి నుండి గాలిలోకి ప్రయాణించినపుడు $\angle i$ కన్నా $\angle r$ ఎక్కువ. (పటం

20.6(b )) అంటే గాలి, గాజు అంతర ఫలకం వద్ద లంబంవైపుకు వంగుతుంది. నీరు, గాలి ఉమ్మడి తలంలో లంబం నుండి దూరంగా వంగుతుంది.




పటం 20.6 (a ) గాలి, గాజు ఉమ్మడితలం వద్ద వక్రీభవనం, (b)నీరు-గాలి ఉమ్మడితలం వద్ద వక్రీభవనం

## విల్లీ బ్రోర్డ్ వాన్ రోయిజెన్ స్నెల్

**Wille Brord Van Roijen Snell**

**(1580-1626)**

విల్లీబ్రోర్డ్ స్నెల్ 1580 లో లైడన్(Lieden) లో జన్మించాడు. చిన్నతనంలోనే గణితశాస్త్రాన్ని అభ్యసించడం మొదలు పెట్టాడు. లైడన్ విశ్వవిద్యాలయంలో మొదట న్యాయశాస్త్రాన్ని అభ్యసించాడు. తరువాత గణితశాస్త్రం వైపుకు ధ్యాస మరల్చి 20 ఏళ్ళ వయస్సులో విశ్వవిద్యాలయంలో బోధించడం మొదలు పెట్టాడు. 1613లో గణితశాస్త్రంలో తన తండ్రి తరువాత ప్రొఫెసర్ పదవినదిష్టించాడు.

బహుభుజిలో $\pi$ విలువ సుమారుగా కనుక్కొనే పద్ధతులతో పాటు గణితశాస్త్రంలో ఇంకా అనేక ముఖ్యమైన విషయాలెన్నో కనుక్కున్నాడు. సాంప్రదాయ పద్ధతి రెండు స్థానాల వరకు మాత్రమే సరియైన $\pi$ విలువను ఇస్తే ఇతను 96 ముఖాలుగల బహుభుజి నుపయోగించి కనుక్కొన్న పద్ధతి ద్వారా $\pi$ విలువను 7 స్థానాల వరకు ఖచ్చితంగా కనుక్కోవచ్చు. తోక చుక్కల మీద పరిశోధన కాక కొన్ని పుస్తకాలను కూడా ప్రచురించాడు. ఏదిఏమైనా అతను అందించిన వక్రీభవన నియమాలు విజ్ఞాన శాస్త్రానికి అతనిచ్చిన గొప్ప కానుక. కాని వక్రీభవనం మీద అతను ఎలాంటి పరిశోధనా వ్యాసాలు ప్రచురించ లేదు. హైగన్స్ డయాప్ట్రిక్స్ (Dioptrics) లో ప్రచురించిన స్నెల్ ఫలితాల వల్ల, 1703 వ సంవత్సరంలో అంటే స్నెల్ చనిపోయిన 73 సంవత్సరాల తరువాత మాత్రమే ప్రపంచానికి తెలిసాడు.

## 20.3.1 క్రాంతి ఉత్క్రమణీయత (Reversibility of light)

పటం 20.6 (b) ను మరల పరిశీలించండి. అది కాంతి ఉత్క్రమణీయతను విశదపరుస్తుంది. కాంతి కిరణం, అది ప్రయాణించిన మార్గంలోనే వెనుకుమరలినట్టుగా అనిపిస్తుంది. కాంతి అన్ని వేళలా గాలి నుండి సాంద్రతర యానకం లోనికి ప్రయాణించాలని లేదు. నిజానికి ఏరెండు సాంద్రతర యానకాల సమ్మేళనమైనా అవ్వ వచ్చు. నీరు–గాజు అంతర్ ఫలకం లోకి కాంతి పతనమైనదనుకుందాం అపుడు స్నెల్ నియమం ప్రకారం

$$\mu_{wg} = \frac{\text{Sin}\, i_w}{\text{Sin}\, i_g} \qquad \ldots(20.6)$$

ఇపుడు గాలి–గాజు, గాలి–నీరు తీసుకుందాం. స్నెల్‌నియమం ద్వారా

$$\frac{\text{Sin}\ i_a}{\text{Sin}\ i_g} = \mu_{ag}$$

మరియు $$\frac{\text{Sin}\ i_a}{\text{Sin}\ i_w} = \mu_{aw}$$

పై రెండు ఫలితాలను కలపగా మనకు

$$\mu_{ag}\text{Sin}\ i_g = \mu_{aw}\text{Sin}\ i_w \qquad \ldots\ (20.7)$$

దీనిని $$\frac{\text{Sin}\ i_w}{\text{Sin}\ i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \qquad \ldots\ (20.8)$$

సమీ (20.6) సమీ (20.8) లను పోల్చిచూడగా

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \qquad \ldots\ (20.9)$$

**కాంతి నీటి నుండి గాజులోకి ప్రయాణం చేసినపుడు నీటి దృష్ట్యా గాజు వక్రీభవన గుణకం గాలి దృష్ట్యా గాజు మరియు నీటి వక్రీభవన గుణకాలపరంగా రాయవచ్చునని పై ఫలితం నుండి తెలుస్తుంది.**

**ఉదాహరణ 20.1:** నీరు గాజు అంతర ఫలకం వద్ద కాంతికిరణం $30^0$ కోణంతో పతనమైంది. వక్రీభవనగుణకాన్ని గణించండి.

($\mu_{ag} = 1.5, \mu_{aw} = 1.3$ గా ఇచ్చారు)

**సాధన:** సమీ (20.8) నుండి

$$\frac{\text{Sin}\ i_w}{\text{Sin}\ i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$

$$\frac{\text{Sin}30^0}{\text{Sin}\ i_g} = \frac{1.5}{1.3}$$

$$\text{Sin } i_g = \left(\frac{1.3}{1.5}\right) \times \frac{1}{2}$$

$$= 0.4446$$

$$i_g = 25^0 41$$

**ఉదాహరణ 20.2 :** గాలి దృష్ట్యా నీటి వక్రీభవన గుణకం $\frac{4}{3}$ అయినపుడు నీటిలో కాంతి వేగాన్ని కనుక్కోండి. శూన్యంలో కాంతి వేగం $= 3\times10^8$ మీ సెకన్$^{-1}$

**సాధన:** $\mu = \frac{c}{v}$ అని మనకు తెలుసు

$$v = \frac{c}{\mu}$$

$$= \frac{3\times10^8}{4/3} \text{ మీసెకన్}^{-1}$$

$$= \frac{3\times10^8\times3}{4}$$

$$= 2.25\times10^8 \text{ మీ సెకన్}^{-1}$$

**ఉదాహరణ 20.3 :** నీరు గాజుల వక్రీభవన గుణకాలు వరుసగా 1.52, 1.33. నీటి దృష్ట్యా గాజు వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

**సాధన :** సమీ (20.9) నుపయోగించి

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} = \frac{1.52}{1.33} = 1.14$$

## పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.3

1. గాజు పలకమీద లంబంగా కాంతిపతనమైనపుడు అనుదైర్ఘ్య స్థానభ్రంశం ఎంత?

   ..............................................................................................

2. అర్ధవృత్తాకార గాజుపలకపై కాంతి కిరణం పడి కేంద్రం వైపుకు ప్రయాణిస్తున్నపుడు $\angle i < \angle i_c, \angle i > \angle i_c$ అయినపుడు కిరణ మార్గాన్ని గీయండి?

   ..............................................................................................

3. క్షితిజానికి దగ్గరగా ఉన్నపుడు సూర్యచంద్రుల దృశ్యా రూపాన్ని భూవాతావరణం, ఎలా ఎందుకు మారుస్తుంది?

.......................................................................................................

4. నక్షత్రాలెందుకు మెరుస్తాయి?

.......................................................................................................

5. బీకరులో నీరు లేనప్పటికంటే పూర్తిగా నీటితో నింపినపుడు లోతు లేనట్టుగా ఎందుకు కనబడుతుంది? దీనికి చక్కటి రేఖాపటాన్ని గీయండి?

.......................................................................................................

6. నీటితలంపై $52^0$ కోణంతో కాంతి పతనమైనపుడు వక్రీభవనకోణాన్ని కనుక్కోండి $\mu = 4/3$ గా తీసుకోండి

.......................................................................................................

## 20.4 సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం

### కృత్యం 20.1

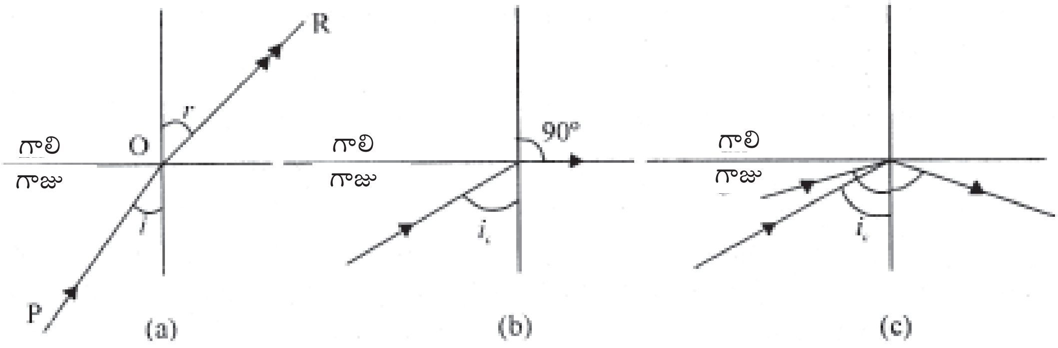
ఒక కర్రకు సైకిల్ గ్రీజుపూసి నీటిలో ముంచండి లేదా సన్ననిగాజు సీసా (హోమియో పతి మందులు వేసే సీసా లాంటింది)కు గ్రీజు పూసి నీటిలో ముంచండి. కర్రగాని, సీసాగాని వెండిలాగ మెరవడం మనం గమనిస్తాం. మీకు కారణం తెలుసా? ఈ వింతైన ఫలితం వక్రీభవనం యొక్క ప్రత్యేక సందర్భమే ఈ ఫలితానికి కారణం. కాంతికిరణం సాంద్రతరయానకం నుండి విరళయానకంలోకి అంటే గాజు నుండి గాలికి లేదా నీటినుండి గాలిలోకి ప్రయాణించునపుడు లంబం నుండి దూరంగా వంగుతుందని మనకు తెలుసు. అంటే వక్రీభవనకోణం, పతనకోణం కన్నా ఎక్కువ అని తెలుస్తుంది. పతన కోణాన్ని పెంచితే వక్రీభవనకోణం ఏమవుతుంది? వక్రీభవన కోణం కూడా పెరుగుతుంది. ఏదిఏమైనా వక్రీభవనకోణం గరిష్టవిలువ $90^0$.**సాంద్రతర యనకంలో ఏపతనకోణానికి విరళయానకంలో (గాలి) వక్రీభవనకోణం $90^0$ ఉంటుందో ఆ పతనకోణాన్ని సంధిగ్ధ కోణం $(i_c)$ అంటారు**. అపుడు వక్రీభవన కిరణం రెండు యానకాల ఉమ్మడి తలం వెంబడి ప్రయాణిస్తుంది. పటం 20.7(c) లో చూపినట్టు పతనకోణం సంధిగ్ధకోణం కంటే ఎక్కువైనపుడు పతనకిరణం అదే యానకంలోకి వెనుకకు పరావర్తనం చెందుతుంది. అటువంటి పరావర్తనాన్ని **సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం** అంటారు. సంపూర్ణాంతార పరావర్తనం జరగాలంటే ఈ కింది నియమాలు పాటింపబడాలి.

- కాంతికిరణం సాంద్రతర యానకం నుండి విరళయానకం లోనికి ప్రయాణించాలి.
- సాంద్రతర యానకంలోని పతనకోణం, రెండు యానకాల సంధిగ్ధకోణం కంటే ఎక్కువగా ఉండాలి.

కృత్యం 20.1లో గాజు గొట్టం ఉపరితలం నుండి సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం చెందటం వలన మెరుస్తున్నట్లుగా కనిపిస్తుంది.

స్నెల్‌నియమం నుపయోగించి వక్రీభవన గుణకంకు, సంధిగ్ధకోణంకు మధ్యగల సంబంధాన్ని రాబట్టవచ్చు. గాజుగాలి అంతర ఫలకం వద్ద వక్రీభవనానికి

$$\frac{\text{Sin i}}{\text{Sin r}} = \mu_{ga}$$




**పటం 20.7: గాజు నుండి గాలిలోకి కాంతి ప్రయాణించునపుడు వక్రీభవనం**

**(a)** $i < i_c$ **(b)** $i = i_c$ **(c)** $i > i_c$

$i = i_c$ కు $r = 90^0$ పెట్టగా

$$\frac{\text{Sin}\, i_c}{\text{Sin}\, 90^0} = \mu_{ga}$$

లేదా $\text{Sin}\, i_c = \mu_{ga}$

కనుక $\mu_{ag} = \frac{1}{\mu_{ga}} = \frac{1}{\text{Sin}\, i_c}$

కింది పట్టిక 20.2లో కొన్ని పదార్థాలకు వక్రీభవనగుణకాలు మరియు సందిగ్ధకోణాలు ఇచ్చారు

| పదార్థం | $\mu$ | సందిగ్ధకోణం |
|---|---|---|
| నీరు | 1.33 | $48.75^0$ |
| క్రౌన్‌గాజు | 1.52 | $41.14^0$ |
| వజ్రం | 2.42 | $24.41^0$ |
| సాంద్రతర ఫ్లింట్‌గాజు | 1.65 | $37.31^0$ |

**ఉదాహరణ:** గాజు వక్రీభవనగుణకం 1.52, గాజు, గాలి అంతర్ ఫలకానికి సంధిగ్ధకోణంను కనుక్కోండి.

**సాధన :** $\mu = \frac{1}{\text{Sin}\, i_c}$

$$\text{Sin } i_c = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{1.52}$$

$$i_c = 42^0$$

పారదర్శక పధార్థాలలోని ఎక్కువ మెరుపుకు కారణం సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం. వజ్రాలు ఎందుకు మెరుస్తాయో ఇపుడు మీరు చెప్పగలరా? వజ్రం సంధిగ్దకోణం చాలా తక్కువ మరియు వజ్రం లోపలికి ప్రవేశించినకాంతి అది బహిర్గతమయ్యేలోపు అనేకసార్లు సంపూర్ణాంతార పరావర్తనం చెందుతుండటమే దానికి కారణం.

పరావర్తనతలం ఎక్కువ మెరుగుపెట్టినదైనా కూడా సాధారణ పరావర్తనంలో పరావర్తన పుంజం, పతనపుంజం కంటే బలహీనంగా ఉంటుంది. దీనికి కారణం ఎల్లప్పుడు కొంత కాంతి ప్రసారమవడం. లేదా శోషణం చెందడం జరుగుతుంది. కాని సంపూర్ణాంతర పరావర్తనంలో వందశాతం (100%) కాంతి పారదర్శక సరిహద్దు వద్ద పరావర్తనం చెందుతుంది.

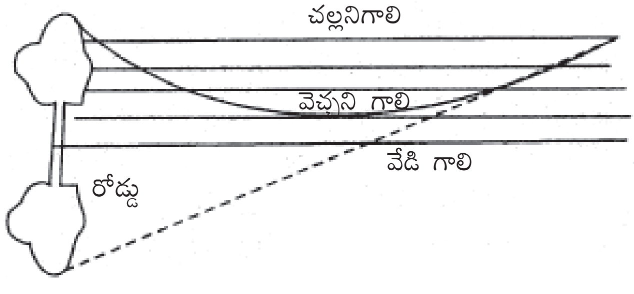
## 20.4.1 సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం అనువర్తనాలు

మన నిత్య జీవితంలో ఈ దృగ్విషయానికి అనేక ఉదాహరణలున్నాయి. వాటిలో కొన్నింటిని మాత్రమే మనం చూద్దాం.

### (a) ఎండమావులు

ఎండమావులు ఒక దృశ్య భ్రాంతి. వీటిని ఎడారులలో లేదా తారురోడ్డుమీద మండు వేసవి రోజులలో చూడవచ్చు. వీటిని మీరు చూసే ఉంటారు. నీరు లేకపోయినా ఉన్నట్లు కనిపించటం.

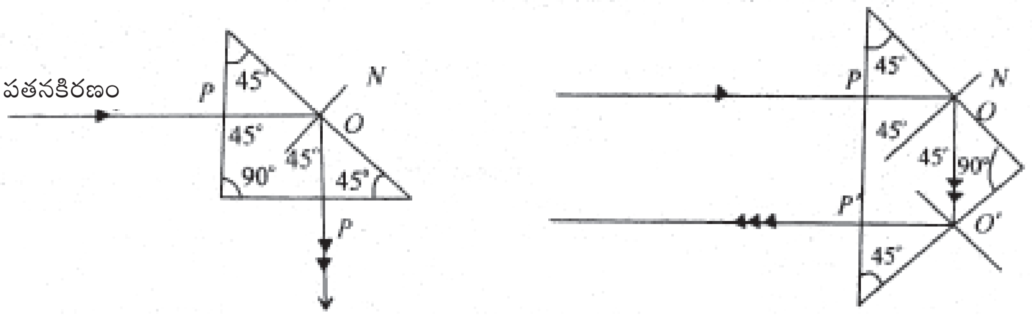
ఎక్కువ వేడిమి వలన రోడ్డు వేడెక్కి దానిని తాకి ఉన్న గాలి కూడా వేడెక్కుతుంది. సమీపంలోని గాలి పొరల సాంద్రత, వక్రీభవనగుణకంల విలువలు రోడ్డుకు దూరంగా ఉన్న చల్లటి పొరల కన్నా తక్కువగా ఉంటాయి. సుదూరంలో ఉన్న వస్తువు (చెట్టులాంటిది) నుండి వచ్చేకాంతికిరణం ఈ పొరల గుండా ప్రయాణించి అకస్మాత్తుగా యానక మార్పువల్ల ఎక్కువగా వంగుతుంది. రెండు వరుసపొరల సంధిగ్దకోణాల కంటే ఎక్కువ కోణంతో ఈ కిరణం ఒక పొరమీద పతనమైనపుడు సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరుగుతుంది. ఇది తలక్రిందులైన చెట్టు ప్రతిబింబానేర్పరచి జలాశయంలోని నీటిలోని పరావర్తనం వలే భ్రమను కల్పిస్తుంది.




**పటం 20.8: ఎండమావులు ఏర్పడుట**

## (b) సంపూర్ణ పరావర్తన పట్టకాలు

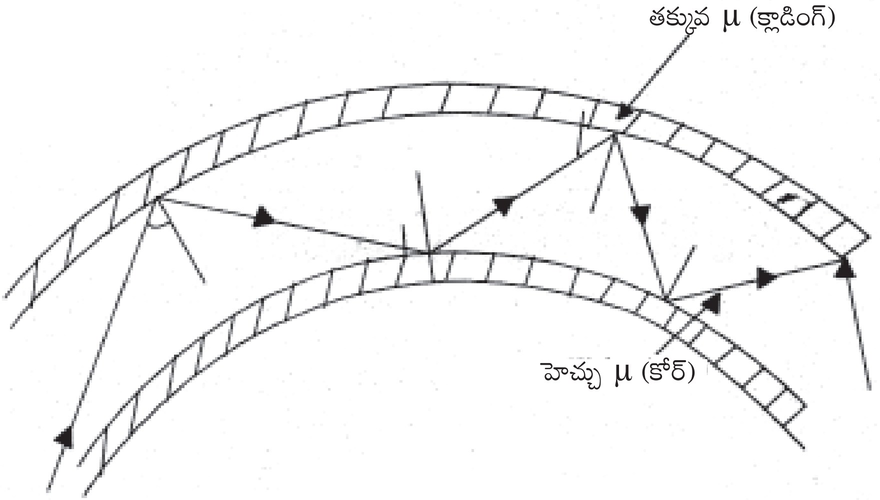
లంబకోణ సమద్విబాహు త్రిభుజాకారపు ఆధారంతో కూడిన పట్టకం లేదా $90^0$, $45^0$, $45^0$ కోణాలు కలిగిన సంపూర్ణపరావర్తన పట్టకం, కాంతి పరావర్తనంకు ఉపయోగకరమైన పరికరం. పటం 20.9(a)చూడండి. పట్టక సౌష్టవ నిర్మాణం కాంతి O బిందువు వద్ద $45^0$ కోణంతో పతనమయ్యేలా చేస్తుంది. ఇది గాజు సందిగ్ధకోణం $42^0$ కంటే ఎక్కువ. దీని ఫలితంగా కాంతి సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం చెంది $90^0$ లో విచలనం చెందుతుంది




**పటం 20.9 : (a) సంపూర్ణ పరావర్తన పట్టకాలు**

పట్టం 20.9 (b) లో చూపినట్లుగా వేరొక తలం మీద కిరణం పతన మైనపుడు O మరియు $O^1$ వద్ద రెండు వరుస అనుక్రమ సంపూర్ణ పరావర్తనంలు జరిగి కిరణం $180^0$ విచలనం చెందుతుంది.

## దృశాతంతువులు




**పటం 20.10 : దృశాతంతువులో హెచ్చు μ (కోర్) బహుళ పరావర్తనాలు**

గాజు లేదా క్వార్జ్‌తో తయారుచేసిన వెంట్రుక పరిమాణపునిర్మాణంను దృశాతంతువు అంటారు. లోపలి కోర్ తక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల పదార్థాలతో చేసిన పలుచని పొరతో కప్పబడి ఉంటుంది. దీనిని **క్లాడింగ్** అంటారు. కోర్ వక్రీభవనగుణకం 1.7 ఉన్నపుడు క్లాడింగ్ వక్రీభవన గుణకం 1.5 ఉంటుంది. ఈ ఏర్పాట్లు సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరిగేలా చేస్తాయి. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం ఏర్పడుటకు కావలసిన నియమాలను గుర్తు చేసుకున్నట్లయితే మీకు ఇది సులభంగా అర్థమవుతుంది.

తంతువు ఒక చివర తక్కువ కోణంతో కాంతి పతనమైనపుడు తంతువు వెంబడి అది అనేకసార్లు సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం చెందుతుంది. (పటం 20.10) కాంతి తీవ్రతలో నష్టం లేకుండా వేరొక చివరి నుండి బహిర్గతమవుతుంది. తంతువు వంగి ఉన్నాకూడా ఈ పద్ధతి ప్రభావితం కాదు. ఈరోజులలో దృశాతంతువులను విరివిగా వాడుతున్నారు. తేలికైన, వంచడానికి వీలుగా ఉన్న దృశాంతంతువును శరీరంలోపలి భాగాలను చూడటానికి ఉపయోగిస్తున్నారు. ఉదాహరణకు ఉదరం మూత్రాశయం మొదలైన (urinary bladder) వాటి లాప్రోస్కోపిక్ పరిశీలనకు వాడుతారు. న్యూరోసర్జరి, ఊపరితిత్తుల పరిశీలన, దృశాతంతువు యొక్క ఇతర వైద్య పరమైన అనువర్తనాలు. ఇవేకాక సమాచార వ్యవస్థలో దృశాతంతువు విప్లవాత్మకమైన మార్పులు తీసు కొచ్చింది. తీవ్రతలో నష్టం లేకుండా ఒక దృశాతంతువుతో 10,000 టెలిఫోన్ సంభాషణలను సుదూర ప్రాంతాలకు పంపవచ్చు. ఖండాంతరాల్లో ఉన్న అనేక మంది ప్రజలు ఒకేసారి దృశాతంతువు జాలం ద్వారా మాట్లాడుకోగలుగుతున్నారు.

## పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.4

1. కాంతి కిరణం విరళయానకం నుండి సాంద్రతర యానకంలోకి ప్రయాణించునపుడు సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం ఎందుకు జరగదు?

.......................................................................................................

2. గాజు సంధిగ్దకోణం $42^0$ గాజు ముక్కను నీటిలో ముంచినపుడు ఈ విలువలో మార్పు వస్తుందా? మీ సమాదానానికి కారణం తెల్పండి?

.......................................................................................................

3. (i) సమతదర్పణ (ii) సంపూర్ణ పరావర్తక పట్టకాలలో కాంతి కిరణం $90^0$ విచలనం ఎలా చెందుతుందో రేఖా పటాలలో చూపండి. రెండవ సందర్భంలో కాంతి తీవ్రత ఎందుకు ఎక్కువగా ఉంటుంది.

.......................................................................................................

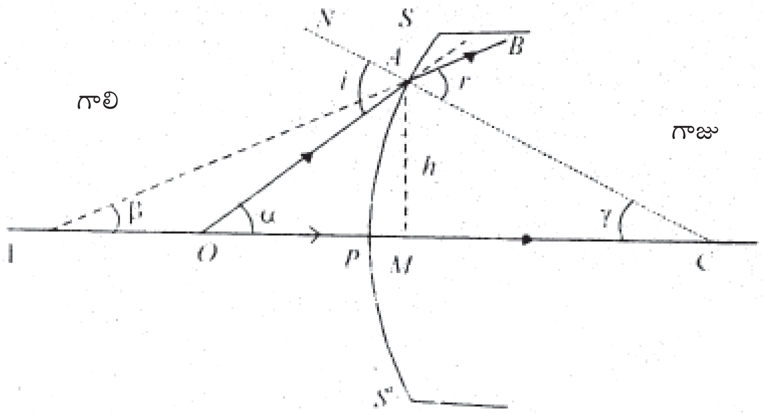
4. ఒక పాత్రలో ద్రవం లోతు 25 సెం.మీ. ద్రవ వక్రీభవన గుణరం 1.25 అయిన పైనుండి చూసినపుడు సాపేక్ష లోతు ఎంత? ద్రవానికి సందిగ్ధకోణం ఎంత ?

.......................................................................................................

## 20.5 వృత్తాకార తలాల వద్ద వక్రీభవనం

వృత్తాకారతలాలైన గ్లాస్ మార్బుల్ (కంచాస్) నీటి బిందువులు, గాజుసీసా మొదలైన వాటి ముందు వస్తువు నుంచినపుడు ఏర్పడే ప్రతిబింబాల గురించి చదువుదాం. వృత్తాకార వక్రీభవన తలాల నుండి దూరాలను కలవడానికి వృత్తకార దర్పణాలలో ఉపయోగించిన సంజ్ఞా సాంప్రదాయాలనే వాడతాము. పటం20.11

SPS[1] కుంభాకార వక్రీభవన తలం గాజు, గాలి యానకాలను వేరుచేస్తుంది. C దాని వక్రతా వ్యాసార్ధం. సౌష్టవంగా అమర్చిన SPS[1] మీద P ఒక బిందువు. దీనిని ధృవం అంటారు. CP ప్రధానాక్షం అవుతుంది. O బిందురూపవస్తువు. OA పతనకిరణం AB వక్రీభవనకిరణం. వేరొక కిరణం OP తలం మీద లంబంగా పతనమై వక్రీభవనం తరువాత విచలనం చెందకుండా బహిర్గతమవుతుంది. PC మరియు AB లు I నుండి వచ్చినట్టుగా కనిపిస్తాయి. I,O యొక్క మిథ్యాప్రతిబింబం.




**పటం 20.11 : వృత్తాకారతలాల వద్ద వక్రీభవనం**

$\angle OAN = i$ పతనకోణం అనుకోండి

$\angle CAB = r$ వక్రీభవనకోణం, సంజ్ఞా సాంప్రదాయాన్ననుసరించి

$PO = -\mu \; PI = -\nu, PC = +R$

$\alpha, \beta$ మరియు $\gamma$ లు వరుసగా ప్రధానాక్షంతో OA, IA మరియు CA ల వద్ద కోణాలు. A నుండి ప్రధానాక్షం మీదికి గీసిన లంబం ఎత్తు h. $\Delta OCA$, $\Delta ICA$ ల నుండి

$i = \alpha + \gamma$ (i బహిర్గామికోణం) ..... (20.10)

$r = \beta + \gamma$ (r బహిర్గామికోణం) .....(20.11)

స్నెల్ నియమం నుండి

$$\frac{\text{Sin}\, i}{\text{Sin}\, r} = \mu$$

ఇక్కడ గాలిపరంగా గాజుతలం వక్రీభవనగుణం $\mu$ తక్కువ కంత కలిగిన తలానికి P బిందువు A కు దగ్గరగా ఉంటుంది అపుడు i, r విలువలు చాలా స్వల్పం ($\text{Sin}\, i \simeq i$, $\text{Sin}\ r \simeq r$)

అపుడు పై సమీకరణం

$i = \mu r$ .... (20.12)

సమీ (20.10), సమీ (20.11) లనుండి

i, r విలువలను సమీ (20.12)లో ప్రతిక్షేపించగా

$$\alpha + \gamma = \mu(\beta + \gamma)$$

$$\alpha - \mu\beta = \gamma(\mu - 1) \qquad \text{.... (20.13)}$$

$\alpha, \beta$ మరియు $\gamma$ లు చాలా స్వల్పం కనుక $\tan\alpha \simeq \alpha, \tan\beta \simeq \beta, \tan\gamma \simeq \gamma$ గా తీసుకోవచ్చు. పటం (20.11)లో

$\Delta OAM$ నుండి

$$\alpha \approx \tan\alpha = \frac{AM}{MO} = \frac{AP}{PO} = \frac{h}{-u}$$ (M బిందువుకు P బిందువు సమీపంలో ఉంటే)

$$\beta \approx \tan\beta = \frac{AM}{MI} = \frac{AM}{PI} = \frac{h}{-v}$$

$$\gamma \approx \tan\gamma = \frac{AM}{MC} = \frac{AM}{PC} = \frac{h}{R}$$

$\alpha, \beta$ మరియు $\gamma$ విలువలను సమీ 20.13లో ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{h}{-u} + \frac{\mu h}{v} = (\mu - 1)\frac{h}{R}$$

$$\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R} \qquad \text{...(20.14)}$$

పై సమీకరణం వక్రీభవనతలం యొక్క వస్తుదూరం, ప్రతిబింబదూరం, వక్రీభవగుణకం $\mu$, వక్రతా వ్యాసార్ధం ల మధ్య సంబంధాన్ని తెలియజేస్తుంది.

## 20.5.1 కటకం గుండా పరావర్తనం

రెండు తలాలు కలిగిన పారదర్శక పదార్థం (సాధారణంగా గాజు)ను కటకం అంటారు (సాధారణంగా ఒక తలం లేదా రెండు తలాలు గోళాకారంగా ఉంటాయి). ఇంతకు ముందు పాఠాలలో కటకాలు ముఖ్యంగా రెండురకాలని అవి కుంభాకారకటం మరియు పుటాకార కటకమని చదివారు.పటం 20.12లో చూపినట్లు ఒక్కొక్కటి మూడు రకాలుగా విభజించారు. అపుడు సమతల పుటాకార మరియు సమతలకుంభాకార కటకాలు కూడా ఉంటాయి.

### వ్యవహారనామాలు :

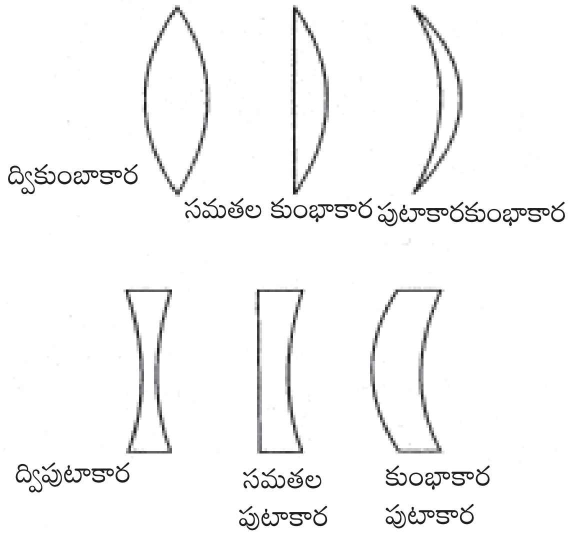
**పలుచని కటకం :** కటకం యొక్క వక్రతలాల వక్రతా వ్యాసార్థంతో కటక మందంను పోల్చిచూసినపుడు ఉపేక్షింపదగినదైతే ఆ కటకాన్ని పలుచని కటకం అంటారు. మనం పలుచని కటకాల గురించి మాత్రమే చర్చిస్తాము.

కటకం రెండు తలాల వక్రతా కేంద్రంల మధ్య దూరంను
ప్రధానాక్షం అంటారు.

ప్రధానాక్షంపై ఉంటూ కటకకేంద్రం వద్ద ఉండే బిందువును **కటకకేంద్రం** అంటారు. దీని గుండా పోయే కిరణాలు విచలనం చెందవు.

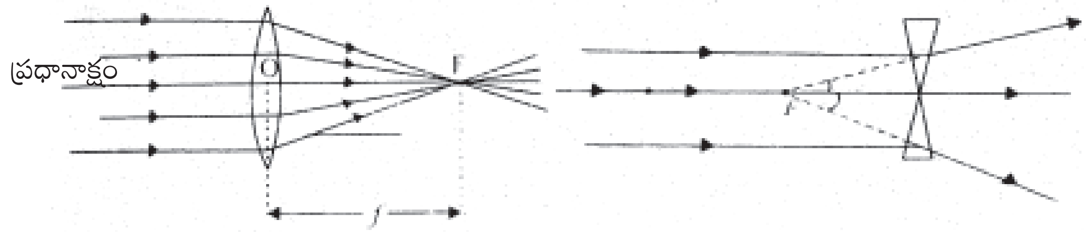
ప్రధానాక్షానికి దగ్గరగా మరియు సమాంతరంగా ఉన్న కాంతి కిరణాలు కటకతలాల వద్ద వక్రీభవనం చెంది ప్రధానాక్షంపై ఒక బిందువు వద్ద కేంద్రీకృతమవుతాయి లేదా వికేంద్రీకృతమవుతున్నట్టుగా కనిపిస్తాయి. ప్రధానాక్షంపై ఆ బిందువును **ప్రధాన నాభి** అంటారు.

కటకకేంద్రం, ప్రధాననాభిల మధ్యదూరాన్ని **నాభ్యంతరం** అంటారు. పటం 20.13 లో OF నాభ్యంతరం




**పటం 20.12 : కటకాలలో రకాలు**

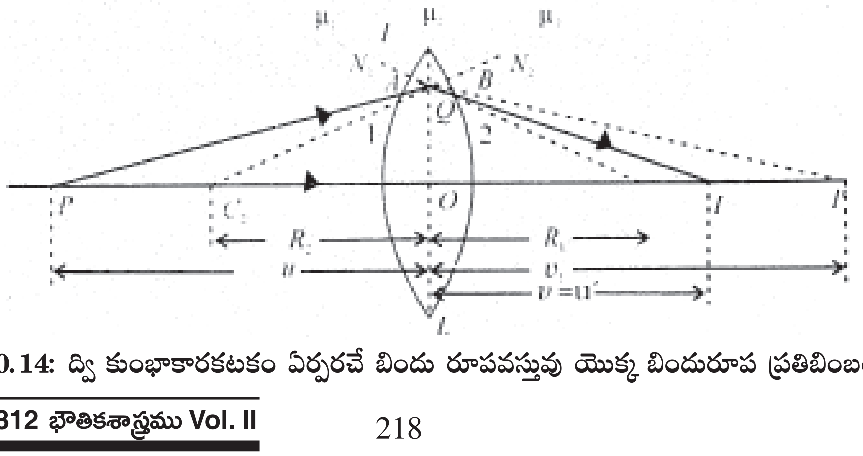
(f) సంజ్ఞా సాంప్రదాయం ప్రకారం కుంభాకారకటానికి OF ధనాత్మకం పుటాకారకటకానికి రుణాత్మకం. ప్రధానాక్షానికి లంబంగా ప్రధాననాభి గుండా పోయే తలాన్ని కటకతలం అంటారు




**పటం 20.13 : కుంభాకార, పుటాకార కటకాల నాభులు**

## 20.5.2 కటక తయారీ దారు సూత్రం మరియు వృద్ధీకరణం

కటక నాభ్యంతరం, వక్రతావ్యాసార్థం, కటక పదార్థ వక్రీభవన గుణకంతో సంబంధం కలిగి ఉంటుందని మీరు ఊహించగలరు. పలుచని కుంభాకారకటకం L ను ఆప్టికల్ బెంచ్‌పై ఉంచారనుకుందాం (పటం 20.14) కటక పదార్థపు వక్రీభవగుణకం గాలి పరంగా $\mu$ మరియు కటకం రెండు తలాల వక్రతావ్యాసార్ధాలు వరుసగా $R_1$,$R_2$. ప్రధానాక్షం పై P వద్ద బిందురూప వస్తువు నుంచారను కుందాం. 1 వ మరియు 2 వ వక్రతలాల వక్రతాకేంద్రాలు వరుసగా$C_1$, $C_2$




**పటం 20.14: ద్వి కుంభాకారకటకం ఏర్పరచే బిందు రూపవస్తువు యొక్క బిందురూప ప్రతిబింబం**

[పలుచని కటకాన్ని ఉపయోగించినందున, A మరియు B బిందువులు Q బిందువుకు చాలా దగ్గరగా ఉంటాయని భావించినందున $C_1A$ ను $C_1Q$ కు సమానంగా మరియు $C_1B$ ను $C_2Q$ కు సమానంగా తీసుకుంటారు].

P బిందువు నుండి బయలు దేరిన కిరణం మొదటి తలాన్ని A వద్ద తాకుతుంది. $C_1N_1$ మొదటి తలానికి A బిందువువద్ద లంబంగా ఉంటుంది. PA కిరణం విరళయానకం (గాలి) నుండి సాంద్రతర యానకం (గాజు)లోకి ప్రయాణించి లంబంవైపుకు వంగి AB దిశలో ముందుకు సాగుతుంది. AB కిరణం 2వ తలం లేకపోతే ప్రధానాక్షంను I వద్ద తాకి ఉండేది. అలాగే P నుండి ఇంకొక కిరణం దృశాకేంద్రం గుండా పోయి I బిందువు గుండా పోతుంది. P వస్తువు మిథ్యాప్రతిబింబం $I^1$.

అపుడు OP వస్తుదూరం $= u, OI^1$ ప్రతిబింబదూరం $= v_1$ (అనుకోండి) సమీ (20.14) నుండి

$$\frac{\mu}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R_1} \qquad \text{... (20.15)}$$

2వ తలం ఉండటం వల్ల AB కిరణం తలాన్ని B వద్ద తాకుతుంది. B బిందువుకి $C_2N_2$లంబం. AB కిరణం సాంద్రతరయానకం (గాజు) నుండి విరళ యానకం (గాలి) లోకి ప్రయాణిస్తుంది కనుక అది లంబం నుండి దూరంగా వంగి BI దిశలో ముందుకు ప్రయాణించి B నుండి వచ్చే వేరొక కిరణాన్ని I వద్ద కలుస్తుంది. కటకం వల్ల ఏర్పడిన P వస్తువు ప్రతిబింబం I. OI ప్రతిబింబ దూరం $= v$. O బిందురూప వస్తువు, O యొక్క మిథ్యా ప్రతిబింబం $I^1$ (మొదటి తలం వల్ల) తుది ప్రతిబింబం I అవుతుంది. రెండవ తలానికి $I^1$ మిథ్యా వస్తువు. I దాని తుది ప్రతిబింబం. మిథ్యా వస్తువుకు తుది ప్రతిబింబం I. అపుడు వస్తుదూరం $OI^1 = u^1 = v_1$, ప్రతిబింబదూరం $OI = v$

సమీ(20.12) నుండి AB కిరణం గాజు నుండి గాలిలోకి ప్రయాణిస్తుందనుకుంటే

$$\frac{\left(\frac{1}{\mu}\right)}{v} + \frac{1}{v_1} = \frac{\left(\frac{1}{\mu}\right) - 1}{R_2}$$

లేదా $\frac{1}{\mu v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1 - \mu}{\mu R_2}$

రెండు వైపులా $\mu$ తో గుణించగా

$$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{v_1} = \frac{\mu - 1}{R_2} \qquad \text{...(20.16)}$$

సమీ (20.15), సమీ (20.16)లను కలుపగా

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \text{...(20.17)}$$

$u = \infty$ అయితే, అంటే వస్తువు అనంత దూరంలో ఉంటే వస్తువు నుండి వచ్చే కిరణాలు సమాంతరంగా ఉంటూ, వక్రీభవనం తరవాత అవి నాభి $(v = f)$ వద్ద కేంద్రీకృతం అవుతాయి. అపుడు సమీ (20.17) ఈ కింది విధంగా ఉంటుంది.

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \ldots(20.18)$$

దీనిని కటక తయారీదారు సూత్రం అంటారు.

సమీ (20.17) సమీ (20.18)ల నుండి ఈ కింది విషయాలను స్థిరీకరించవచ్చు.

- కటక నాభ్యంతరం వృత్తాకార తలాల వక్రతా వ్యాసార్ధం మీద ఆధారపడుతుంది. ఎక్కువ వక్రతా వ్యాసార్ధాలు ఉన్న కటకానికి నాభ్యంతరం ఎక్కువగా ఉంటుంది.
- కటక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం ఎక్కువగా ఉంటే కటక నాభ్యంతరం తక్కువగా ఉంటుంది.

ఒక వేళ కటకాన్ని నీరు లేదా ఏదేని పారదర్శక పదార్థంలో ముంచినపుడు $\mu$ విలువ మారుతుంది.

అపుడు మీరు కటక నాభ్యంతరంను గణించినపుడు దాని విలువ పెరుగుతుంది. కటక పదార్థ సాంద్రతకన్నా ఎక్కువ సాంద్రతగల కార్బన్ డై సల్ఫైడ్ లాంటి ద్రావణంను తీసుకున్నపుడు కిరణాలు విముఖీ కరణం కూడా చెందవచ్చు.

## 20.6 కటకాల ద్వారా ప్రతిబింబాలు ఏర్పడుట

కటాకాల ద్వారా ప్రతిబింబాలను ఏర్పరచుటలో ఈ కింది ధర్మాలను ఉపయోగించారు.

- కటక కేంద్రం గుండా పోయే కిరణం విచలనం చెందదు.
- సమాంతర కిరణం, వక్రీభవనం తరువాత ప్రధాననాభిగుండా పోతుంది.
- F లేదా $F'$ నుండి వచ్చే కాంతి కిరణం వక్రీభవనం తరువాత ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది.
- రేఖా చిత్రాలు గీయడానికి ఈ కిరణాలలో ఏవేని రెండింటిని ఎంచుకోవాలి.

కటకం యొక్క వస్తు దూరం (u) ప్రతిబింబదూరం $(v)$ లు కటక నాభ్యంతరం మీద ఆధారపడతాయని కటక సూత్రం $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ నుండి తెలుస్తుంది. కటకం ఏర్పరచిన ప్రతిబింబం ఎత్తుకు, వస్తువు ఎత్తుకు మధ్యగల నిష్పత్తిని వృద్ధీకరణం అంటారు. దీనిని u తో సూచిస్తారు.

$$m = \frac{I}{O} = \frac{v}{u}.$$

ఇక్కడ I ప్రతిబింబం ఎత్తు, O వస్తువు ఎత్తు

**ఉదాహరణ 20.5:** ద్వి కుంభాకారకటకం వక్రతావ్యాసార్ధాలు వరుసగా 15cm, 30cm దాని నాభ్యంతరాన్ని గణించండి. వక్రీభవన గుణకం 1.65 గల ద్రవంలో కటకాన్ని ముంచినపుడు దాని నాభ్యంతరాన్ని కనుక్కోండి.

**సాధన:** సమీ (20.18) ను గుర్తుచేసుకుందాం

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$R_1 = 15$ సెంమీ, $R_2 = -30$ సెం.మీ, ఇచ్చిన దత్తాంశం ను ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{1}{f} = (15 - 1)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{30}\right)$$

$f = 20$ సెం.మీ

కటకాన్ని ద్రవంలో ముంచినపుడు $\mu$ బదులు $\mu_{1g}$ రాయాలి.

$$\mu_{lg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{al}}$$

$$= \frac{1.5}{1.65} = \frac{10}{11}$$

$$\therefore \frac{1}{f_1} = \left(\mu_{lg} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= \left(\frac{10}{11} - 1\right)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$$

$$= -\frac{1}{110}$$

$f = -110$ సెం.మీ

f రుణాత్మకం కనుక కటకం పుటాకారకటకంగా ప్రవర్తిస్తుంది.

## 20.7 కటక సామర్థ్యం

కటకాల వ్యవహారిక అనువర్తనం దృష్టి దోషాల నివారణ. మీరు కళ్ళజోడు వాడటం లేదా మీ స్నేహితులు, తల్లి తండ్రులు, ఇతరులు కళ్ళజోడు వాడటం చూసే ఉంటారు. వారి కటక సామర్థ్యాన్ని గురించి అడిగినపుడు వారు ధనాత్మక లేదా రుణాత్మక సంఖ్యను చెపుతారు. ఆ సంఖ్య ప్రాముఖ్యత ఏమిటి? ఈ సంఖ్య డయాప్టర్ ప్రమాణంలో కటకసామర్థ్యంను తెలియజేస్తుంది. కటక నాభ్యంతరం (మీటర్లలో) విలోమాన్ని కటక సామర్థ్యం అంటారు.

$$P = \frac{1}{f}$$

కటక సామర్థ్యంకు SI ప్రమాణాలు మీ$^{-1}$ దయాప్టర్ అనేది వాణిజ్య ప్రమాణం. సాధారణంగా ఆప్టీషియన్లు ఉపయోగిస్తారు. కుంభాకార కటక సామర్థ్యం ధనాత్మకం, పుటాకార కటకసామర్థ్యం రుణాత్మకం. ఎక్కువ సామర్థ్యం తక్కువ నాభ్యంతరాన్ని సూచిస్తుంది. కటక తయారీదారు సూత్రం నుపయోగించి కటకసామర్థ్యాన్ని, దాని వక్రతావ్యాసార్థాల మధ్య సంబంధాన్ని తీసుకొద్దాం.

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

**ఉదాహరణ 20.6:** రెండు సమాన వక్రతావ్యాసార్థాలున్న ద్వికుంభాకారకటకం $\mu = 1.5$ గల గాజుతో తయారైంది $+2.75$ దయాప్టర్ కటక సామర్థ్యాన్ని పొందటానికి కావలసిన వక్రతా వ్యాసార్థాన్ని గణించండి.

సాధన. $$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$P = +2.75$ దయాప్టరు

$\mu = 1.54$

$R_1 = R$

$R_2 = -R$

పై దత్తాంశాన్ని కటక తయారీదారు సూత్రంలో ప్రతిక్షేపించగా

$$2.75 = 0.54\left(\frac{2}{R}\right)$$

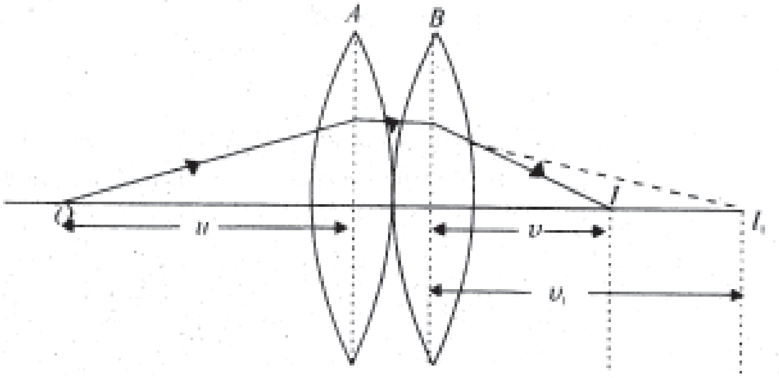
$$R = \frac{0.54 \times 2}{2.75}$$

$= 0.39$ మీ

$= 39$ మీ

## 20.8 కటకాల సంయోగం

పటం 20.15ను చూడండి. $f_1$ మరియు $f_2$ నాభ్యంతరాలు కలిగిన A మరియు B అనే రెండు పలుచని కుంభాకార కటకాలను ఒక దానితో ఒకటి తాకేవిధంగా అమర్చారు. వాటి ఉమ్మడి ప్రధానాక్షంపై A అనే బిందురూప వస్తువునుంచారు.




**పటం 20.15 : ఒకదానికొకటి తాకునట్లు ఉన్న రెండు పలుచని కుంభాకారకటకాలు.**

వస్తువు ప్రతిబింబాన్ని A కటకం $I_1$వద్ద ఏర్పరుస్తుంది. ఈ ప్రతిబింబం B కటకానికి మిథ్యా వస్తువుగా పనిచేసి తుది ప్రతిబింబంను I వద్ద ఏర్పడుతుంది. u వస్తుదూరంమైతే A కటకానికి $v_1$ ప్రతిబింబదూరం. కటకసూత్రాన్ని ఉపయోగించి ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \quad \text{... (20.19)}$$

B కటకానికి $v_1$ తుది ప్రతిబింబ దూరమైతే

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \quad \text{... (20.20)}$$

పై సమీకరణం రాసేటప్పుడు B కటకానికి $v_1$ను వస్తు దూరంగా తీసుకున్నాం.

సమీ (20.19), (20.20)లను కలుపగా

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad \text{... (20.21)}$$

O వస్తువు ప్రతిబింబాన్ని I వద్దే ఏర్పరచే విధంగా సంయోగకటకాలకు బదులు F నాభ్యంతరంగాగల ఏకకటకాన్ని ఉంచితే ఆ కటకాన్ని రెండు కటకాల తల్య కటకం అంటారు. తుల్యకటకానికి కటక సమీకరణం.

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{F} \quad \text{.... (20.22)}$$

ఇక్కడ

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad \text{.... (20.23)}$$

తుల్యకటక సామర్థ్యం P అయితే, లు $P_1 P_2$ లువరుసగా రెండు వైయుక్తిక కటకాల సామర్థ్యాలు

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{.... (20.24)}$$

సమీ (20.23), (20.24) లను ఒకదానికొకటి తాకునట్లుగా ఉన్న రెండు పలుచని కుంభాకార కటకాలను ఊహించి సాధించాము. ఇది ఏరెండు తాకునట్లుగా ఉన్న పలుచనికటక సంయోగానికైనా సరిపోతుంది. (రెండు కుంభాకారకటకాలైనా లేదా రెండు పుటాకార కటకాలైనా లేదా ఒకటి కుంభాకార, ఒకటి పుటాకారకటకమైనా సరే).

**ఉదాహరణ 20.7:** 20 సెం.మీ 40 సెం.మీ నాభ్యంతరాలుగాగల రెండు కుంభాకారకటకాలు ఒక దానికొకటి తాకునట్లుగా ఉన్నాయి. తుల్యకటక నాభ్యంతరం, సామర్థ్యంలను కనుక్కోండి.

**సాధన:** కటక సంయోగ నాభ్యంతరానికి సూత్రం $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40}$$

$$= \frac{3}{40}$$

$$F = \frac{40}{3} = 13.3 \text{ సెం.మీ} = 0.133\text{మీ.}$$

తుల్యకటక సామర్థ్యం $P = \frac{1}{F} = \frac{1}{0.133} = +7.5$ డయాప్టరు

## పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.5

1. కటక నాభ్యంతరం వేటి మీద ఆధారపడుతుంది?

   ..........................................................................................................

2. కటక అక్షంపై ఉంచిన వస్తువు ప్రతిబింబా నేర్పరచుటకు వేరు వేరు వక్రతావ్యాసార్థాలు కలిగిన కటకాన్ని ఉపయోగించారు. వస్తువువైపు ఉన్న కటక తలాన్ని ఉత్క్రమంచేస్తే ప్రతిబింబ స్థానం మారుతుందా?

   ..........................................................................................................

3. ద్వి కుంభాకారకటక వక్రీభవన గుణకం 1.5 నాభ్యంతరం, వక్రతా వ్యాసార్థానికి సమానమని నిరూపించండి?

   ..........................................................................................................

4. నీటిలో గాలి బుడగ ఏ రకమైన కటకాన్ని ఏర్పరుస్తుంది?

..........................................................................................................

5. కటకాన్ని పారదర్శక ద్రవంలో ముంచినపుడు అదృశ్యమవుతుంది. ఏ పరిస్థితులలో ఈ విధంగా జరుగుతుంది.

..........................................................................................................

6. వక్రతా వ్యాసార్ధాలు +20 సెం.మీ −25 సెం.మీ అయినపుడు కటక నాభ్యంతరాన్ని, సామర్థ్యాన్ని కనుక్కోండి $(\mu = 1.5)$

..........................................................................................................

7. రెండు కటకాలు తాకునట్లుగా అమర్చడం ద్వారా శూన్య సామర్థ్యాన్ని పొందవచ్చా?

..........................................................................................................

8. 40 సెం.మీ నాభ్యంతరం గల కుంభాకార కటకాన్ని 20 సెం.మీ నాభ్యంతరం గల పుటాకార కటకంతో తాకునట్లుగా అమర్చారు. సంయోగ నాభ్యంతరాన్ని, సామర్థ్యాన్ని కనుక్కోండి?

..........................................................................................................

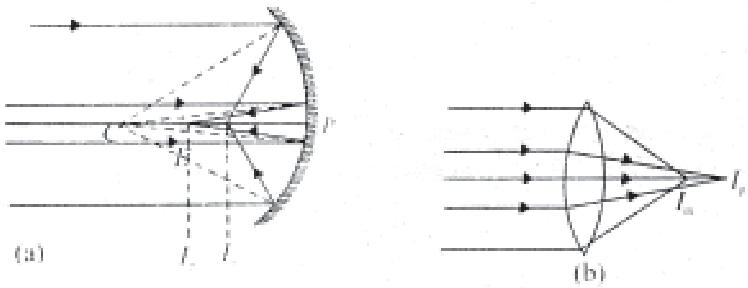
## ప్రతిబింబ మేర్పడుటలో దోషాలు

నిత్యజీవితంలో మనం కటకాలను, దర్పణాలను విరివిగా ఉపయోగిస్తున్నాం. అవి బిందురూప వస్తువుకు బిందురూప ప్రతిబింబాన్ని ఏర్పరచలేక పోవడం గమనిస్తున్నాం. సూర్యుని వైపుకటకాన్నుంచి కాగితం పై దాని ప్రతిచింబాన్ని ఏర్పరచడం ద్వారా దీనిని చూడవచ్చు. అది వృత్తాకారంగా లేక పోవడాన్ని గమనిస్తారు. దర్పణాలు కూడా ఖచ్చితమైన ప్రతిబింబాన్ని ఏర్పరచవు. ప్రతిబింబాన్నేర్పరుచుటలోని ఈ దోషాలనే విపథనాలు అంటారు ఈ విపథనాలు (i) కటక లేదా దర్పణ స్వభావం మీద (ii) ఉపయోగించిన కాంతి మీద ఆధారపడతాయి.

కటకాలు, దర్పణాలలో గమనించిన రెండు ప్రధాన విపథనాలు(a) గోళాయ విపథనం (b) వర్ణ విపథనం. కెమెరా, దూరదర్శిని, సూక్ష్మదర్శిని ఏర్పరచే ప్రతిబింబాలలో ఈ విపథనాలు అనేక దోషాలను ఏర్పరుస్తున్నాయి.

## గోళీయ విపథనం

ఇది ప్రతిబింబంలో ఏర్పడే ఏకవర్ణ విపథనం. పరావర్తన లేదా వక్రీభవనతలాల వృత్తాకారం వల్ల లేదా కంత పరిమాణం వల్ల ఈ విపథనం ఏర్పడుతుంది. ఉపాక్షీయ కిరణాలు, ఉపాంతకిరణాలు వేరు వేరు బిందువులు వరుసగా $I_p, I_m$ల వద్ద ప్రతిబింబాలను ఏర్పరుస్తాయి. (పటం20.16(b)



**పటం 20.16 : గోళీయ విపథనం (a) గోళాకార దర్పణంలో (b) కటకంలో ఉపాక్షీయ కిరణాలు ఏర్పరచే ప్రతిబింబం $I_p$ ఉపాంత కిరణాలు ఏర్పరచే ప్రతిబింబం $I_m$**

ఉపాక్షీయ కిరణాలు మాత్రమే కటకతలం మీద పతన మయ్యే విధంగా చేసి దర్పణాలలో, కటకాలలో గోళీయ విపథనాన్ని తగ్గించవచ్చు దీనిని స్టాప్‌లనుపయోగించి సాధించవచ్చు. కటక మధ్య భాగాన్ని మూసివేసి ఉపాక్షీయ కిరణాలను ఆపి, ఉపాంత కిరణాలు మాత్రమే ప్రతిబింబాన్నేర్పరచేలా చేయవచ్చు. కాని స్టాప్‌లనుపయోగించడం వలన ప్రతిబింబతీవ్రత తగ్గుతుంది.

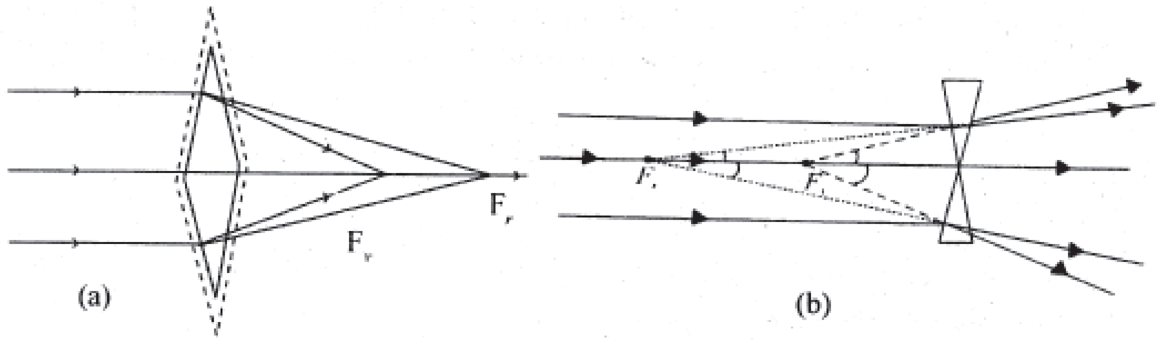
దీర్ఘ వృత్తకార లేదా పరావలయ దర్పణాలనుపయోగించడం మంచి పద్ధతి.

గోళాకార విపథనం తగ్గించడానికి ఇతర పద్ధతులు.

1. సమతల కుంభాకార కటకాన్ని ఉపయోగించటం లేదా సరియైన కుంభాకార, పుటాకార కటకాల సంయోగాన్ని ఉపయోగించడం.

## కటకాలలో వర్ణ విపథనం

రెండు స్వల్పకోణ పట్టకాలను వాటి ఆధారాలు ఒకదానికొకటి తాకునట్లుగా అమర్చిన వాటిని కుంభాకారకటకంగా భావించవచ్చు. అలాంటి పట్టకాలే వాటి శీర్షాలు ఒక దానికొకటి కలిసినట్లుగా అమర్చినపుడు పుటాకార కటకంతో సమానంగా తీసుకోవచ్చు. సమాంతర కాంతిపుంజంలోని విభిన్న రంగులు వక్రీభవనం తరువాత వివిధ నాభుల వద్ద కేంద్రీకృత మవుతాయి. గోళాకారకటకం ఏర్పరచే ఈ ప్రతిబింబ దోషాన్ని వర్ణవిపథనం అంటారు. పతన బహువర్ణ కాంతిపుంజం విక్షేపణం వల్ల వర్ణవిపథనం ఏర్పడుతుంది. పటం 20.17, ఎరుపురంగు కటకం నుండి దూరంగా, నీలంరంగు కటకానికి దగ్గరగా కేంద్రకృతమవుతాయి. ఇదేవిధంగా పుటాకార కటకంలో ఎరుపు మరియు నీలంరంగులు కటకానికి అవతలి ప్రక్క కేంద్రీకృతమవుతాయి.




**పటం 20.17 : వర్ణ విపథనం**

ఈ విపథనాన్ని తొలగించడానికి సరైన పదార్ధం నాభ్యంతరంలు గల అభిసారికటకం మరియు సరైన పదార్ధం, నాభ్యంతరం గల అపసారికటక సంయోగాన్ని ఉపయోగిస్తారు. అటువంటి సంయోగాన్ని అవర్ణక యుగ్మం అంటారు. అవర్ణతకు పాటించ వలసిన నియమం నుండి పుటాకారకటకం యొక్క నాభ్యంతరాన్ని కనుక్కోవచ్చు.

$$\frac{\omega_1}{f_1}+\frac{\omega_2}{f_2}=0$$

## మీరు ఏం నేర్చుకున్నారు

- పరావర్తనం చెందిన తరువాత పరావర్తన కిరణాలు ఖండించుకున్నపుడు నిజ ప్రతిబింబం ఏర్పడుతుంది. దీనిని తెరమీద పట్టవచ్చు.
- వక్రతావ్యాసార్ధంలో సగం కటకనాభ్యంతరం అవుతుంది.

$$f=\frac{R}{2}$$

- ఆవర్ధనంకు వస్తుదూరం, ప్రతిబింబదూరంల మధ్య సంబంధం $m=\frac{v}{u}$
- వక్రీభవనం వల్ల కాంతి కిరణం ఒక యానకం నుండి వేరొక యానకంలోకి ప్రయాణించునపుడు దాని వేగంలో మార్పు వస్తుంది.
- రెండు యానకాల విభాజకతలం వద్ద కాంతి ఎంత వంగి ప్రయాణిస్తుందనేది వక్రీభవనగుణకం నిర్ణయిస్తుంది.
- గణితాత్మకంగా స్నెల్‌నియమాన్ని ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు. $\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}=\mu_{12}$

  ఇక్కడ i మొదటి యానకంలో పతనకోణం, r రెండవ యానకంలో వక్రీభవనకోణం.

- వక్రీభవనంలో ఒక ప్రత్యేక సంధర్భం సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం. దీనిలో కాంతి సాంద్రతర యానకం నుండి విరళయానకం లోకి ఆ యానకాల సందిగ్ధకోణం కంటే ఎక్కువ కోణంతో పతనమవుతుంది.

$$\mu=\frac{1}{\sin i_c}$$

- రెండు వక్రతలాలు లేదా ఒకటి వక్రతలం రెండవది సమతలంల మధ్యగల పారదర్శక పథార్ధం, కటకంను ఏర్పరస్తుంది.

♦ కటకాల ద్వారా ప్రతిబింబాలు, వాటి నాభ్యంతరం మీద మరియు కటకం నుండి వస్తుదూరం మీద ఆధారపడతాయి.

♦ కుంభాకార కటాకలు కేంద్రీకరణాలు, పుటాకారకటకాలు వికేంద్రీకరణాలు.

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

$$m=\frac{v}{u}$$

మరియు $$\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$$

పై సమీకరణాలు నాభ్యంతరం (f) వక్రీభవన గుణకం ($\mu$) వక్రతావ్యాసార్ధాలు ($R_1$,$R_2$) వస్తుదూరం (u) ప్రతిబింబ దూరం ($v$)ల మధ్య సంబంధాన్ని తెలుపుతాయి.

♦ కటకం ఎంత కేంద్రీకరణం, వియుఖీకరణం చెందిస్తుందో కటక సామర్థ్యం తెలియజేస్తుంది.

$$P=\frac{1}{f}$$

దీనిని డయాప్టర్లలో తెలుపుతారు. (SI ప్రమాణం మీ$^{-1}$)

♦ $f_1$మరియు$f_2$ నాభ్యంతరాలు గల రెండు కటకాలు ఒక దానికొకటి తాకునట్లుగా అమర్చిన తుల్యకటక నాభ్యంతరం

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

## ముగింపు అభ్యాసం

1. పుటాకార, కుంభాకార కటకాల ఉపయోగాల జాబితా నివ్వండి?

2. (i) అనంతదూరంలో (ii) 2f (iii) కుంభాకార, పుటాకార దర్పణాలలో f వద్ద వస్తువు నుంచినపుడు ఏర్పడే ప్రతిబింబ స్వభావం, ప్రతిబింబ స్థానంను కనుక్కోండి.

3. సమాంతర భూజాలు కలిగిన గాజుదిమ్మె గుండా వక్రీభవణం చెందిన పతన కిరణం యొక్క పార్శ్వీయ స్థానభ్రంశం (lateral diplaument) వేటి మీద ఆధారపడుతుంది. పతనకోణం ఎక్కువైతే పార్శ్వీయ స్థాన భ్రంశం ఎందుకు ఎక్కువవుతుంది దీనిని కిరణ పటం ద్వారా చూపండి

4. సంపూర్ణాంతర పరావర్తనానికి కావలసిన నియమాలను తెల్పండి.

5. +1.5 డయాప్టర్, −1.5 డయాప్టర్ నుండి వేరుగా ఎలా ఉంటుంది. డయాప్టర్‌ను నిర్వచించండి.

6. వక్రీభవనం వల్ల ఏర్పడిన ప్రతిబింబ తీవ్రత ఎందుకు తక్కువగా ఉంటుంది.

7. ఒక దీపం, గోడనుండి 4 మీ దూరంలో ఉంది. దీపం యొక్క 5 రెట్లు ఎక్కువ వృద్ధీకరణ ప్రతిబింబాన్నేర్పచే పుటాకార దర్పణ నాభ్యంతరాన్ని గణించండి. గోడనుండి దర్పణాన్ని ఎంత దూరంలో ఉంచాలి.

8. దంతవైద్యుడు ఉపయోగించే పుటాకార దర్పణం వక్రతా వ్యాసార్థం 30 సెం.మీ. 5 రెట్లు పెద్దదైన మిథ్యాప్రతిబింబాన్ని పొందుటకు దర్పణాన్ని రంధ్రం నుండి ఎంతదూరంలో ఉంచాలి.

9. కటకానికి ఆవలివైపున 90 సెం.మీ దూరంలో ఉంచిన తెరమీద కటకం నుండి 45 సెం.మీ దూరంలో ఉంచిన సూది ప్రతిబింబం ఏర్పడింది. అది ఏరకమైన కటకమో తెలిపి దాని నాభ్యంతరాన్ని కనుక్కోండి. సూది పరిమాణం 5.0 సెం.మీ అయిన ప్రతిబింబ పరిమాణాన్ని కనుక్కోండి.

10. 21 సెం.మీ నాభ్యంతరం గల పుటాకారకటకం ముందు 14 సెం.మీ దూరంలో 3.0 సెం.మీ పరిమాణంగల వస్తువు నుంచారు. ప్రతిబింబ స్వభావాన్ని వర్ణించండి. కటకం నుండి వస్తువును దూరంగా జరిపితే ప్రతిబింబం ఏమవుతుంది.

11. ద్వి కుంభాకారకటకం నుండి 100 సెం.మీ దూరంలో వస్తువు నుంచారు. నిజ ప్రతిబింబాన్ని కటకం నుండి 20 సెం.మీ దూరంలో ఏర్పరచింది. కటక తలాల వక్రతా వ్యాసార్ధాలు వరుసగా 25 సెం.మీ, 12.5 సెం.మీ. కటక పధార్ధ వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

12. వజ్రం నుండి గాజులోకి కాంతికిరణం ప్రయాణిస్తుంది గాజు వక్రీభవన గుణకం 1.5, వజ్రానికి 2.47 అయితే కిరణానికి సందిగ్ధకోణాన్ని కనుక్కోండి.

13. సహాక్షంగా ఒక దానికొకటి తాకునట్లు అమర్చిన రెండు పలుచని కుంభాకార కటకాల నుండి 15 సెం.మీ దూరంలో ఒక చిన్న వస్తువు నుంచారు. ఒక్కొక్క కటక నాభ్యంతరం 20 సెం.మీ సంయోగ సామర్థ్యం, నాభ్యంతరం మరియు వస్తువు, ప్రతి బింబాల మధ్య దూరాన్ని కనుక్కోండి.

## పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలు

## 20.1

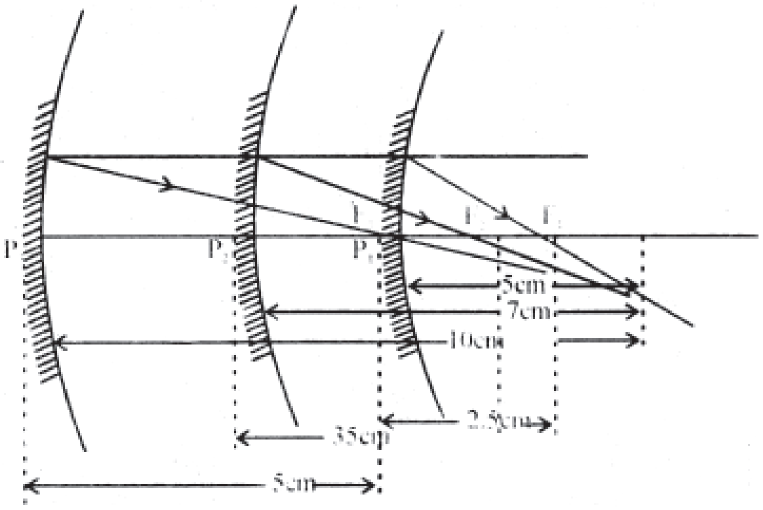
1. (a) సమతల దర్పణం (దీని వక్రతా వ్యాసార్థం అనంతం)

   (b) లేదు. గోళీయ దర్పణ నాభ్యంతరం దాని వక్రతా వ్యాసార్థంలో సగముంటుంది $\left(f = \frac{R}{2}\right)$ దానిని ముంచిన పధార్థంతో సంబంధం లేదు.

   (c) మిధ్యా

   (d) ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న కిరణాలు నాభీయ బిందువు f వద్ద కేంద్రీకృత మవుతాయి కనుక; f నుండి బయలుదేరిన కిరణాలు దర్పణం నుండి పరావర్తనం చెందిన తరువాత ప్రధానాక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. అపుడు f మొదటి మరియు రెండవ నాభీయ బిందువుగా పనిచేస్తుంది.

2. నాభ్యంతరాలు 2.5 సెం.మీ, 3.5 సెం.మీ, 5 సెం.మీ



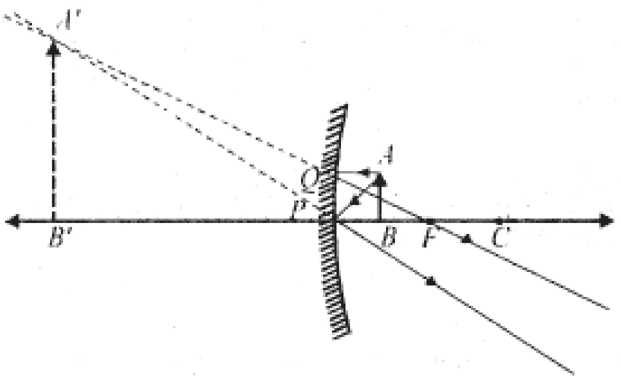

3. f = -15సెం.మీ, f = +15 సెం.మీ

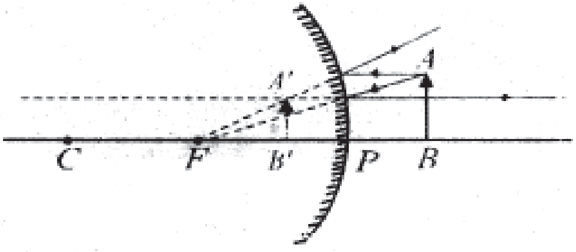
4. సమాంతర పతన కిరణాలు గ్రాహకం మీద కేంద్రీకృత మవ్వడానికి డిష్ ఏంటెన్నాలు వక్రంగా ఉంటాయి.

## 20.2

1. దర్పణం పై భాగం కుంభాకారంగా కింది భాగం పుటాకారంగా

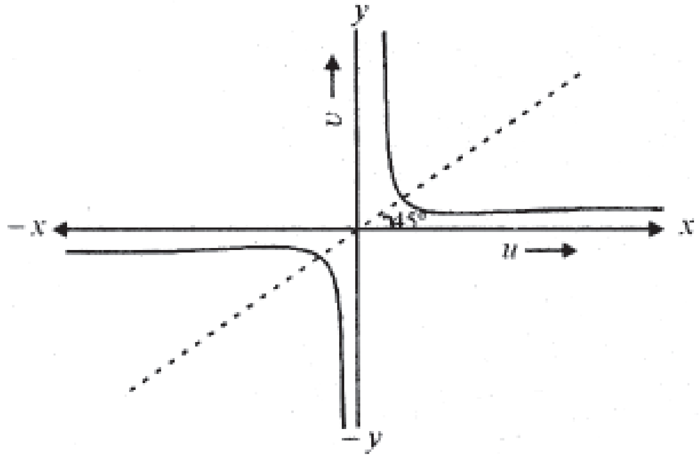
2. పుటాకార దర్పణానికి దగ్గరలో ఉంచిన వస్తువుకు పెద్దదైన ప్రతిబింబాన్ని దర్పణం ఏర్పరుస్తుంది. కుంభాకార దర్పణం ఎక్కువ దృక్క్షేత్రాన్ని కలిగి చిన్నదైన నిట్ట నిలువు ప్రతిబింబాన్నేర్పరుస్తుంది.



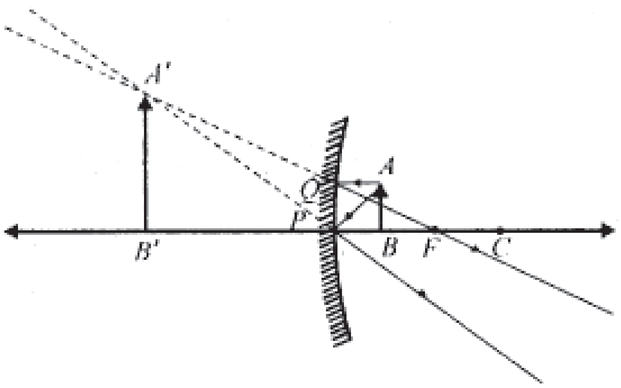



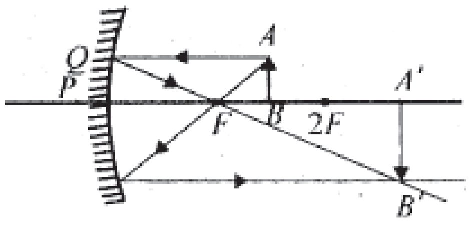

(a) పుటాకార దర్పణం ఏర్పరచిన ప్రతిబింబం (b) కుంభాకార దర్పణం ఏర్పరచిన ప్రతిబింబం

3. $|u| > f$ కు మనకు నిజ ప్రతిబింబం వస్తుంది. $u = -2f$ ప్రత్యేక సంధర్భం దర్పణం వక్రతా కేంద్రం వద్ద వస్తువునుంచినపుడు దర్పణం నిజ ప్రతిబింబాన్ని ఈ బిందువు($v = -2f$) వద్దే ఏర్పరుస్తుంది. $u < f$ కు మిధ్యా ప్రతిబింబం ఏర్పడుతుంది.




4. (i) $u < f$ (ii) $f < u < 2f$



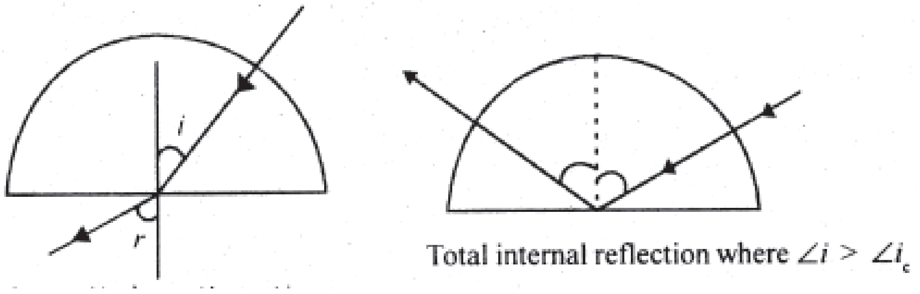
5. (i) దర్పణం ముందు 12 సెం.మీ దూరంలో, నిజ, తలక్రిందులైన ప్రతిబింబం (ii)0.8 సెం.మీ

6. $\nu = -60$ సెం.మీ $R = -24$ సెం.మీ

7. $u = -10$ సెం.మీ, $\nu = +5$ సెం.మీ 8. $\nu = 4$సెం.మీ

## 20.3

1. అనుదైర్ఘ్య స్థాన భ్రంశం ఉండదు.



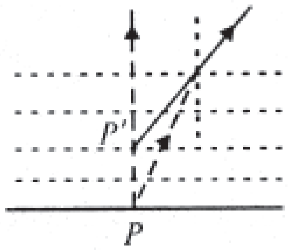

పటం $\angle i > \angle i_c$ అయితే సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం

2. $\angle i > \angle i_c$ అయినపుడు $\angle r > \angle i$

3. ఎక్కువ ఎత్తుకు పోయేకొలది గాలి సాంద్రత తద్వారా వక్రీభవన గుణకం తగ్గుతుంది. అందువల్ల సూర్యుడు క్షితిజానికి కింద ఉన్నపుడు దాని నుండి వచ్చే కిరణాలు విరళ యానకం నుండి సాంద్రతర యానకంలోకి ప్రయాణించి పరిశీలకుడిని చేరేంత వరకు లంబం వైపుకు వంగుతాయి. దాని ఆకారం సాగినట్టు కనిపించడానికి కారణం ఇదే.

4. గాలిలోని వాతావరణంలో వివిధపొరలలోని సాంద్రత మార్పు కారణంగా $\mu$ నిరంతరం మారుతూ ఉంటుంది. అందువలన వాతవారణంలో గాలి వక్రీభవన గుణకం వివిధ స్థాయిలలో మారుతూ ఉంటుంది. గాలి ప్రవాహంవెంబడి ఈ మార్పు నక్షత్రాల మెరుపుకు కారణం.

5. వక్రీభవనం కారణంగా P బిందువు, $P^1$ వద్దకనిపిస్తుంది.



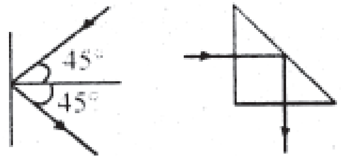

6. $36.2^0$

## 20.4

1. విరళ యానకం నుండి కిరణం సాంద్రతర యానకంలోకి ప్రయాణిస్తున్నపుడు వక్రీభవనకోణం పతనకోణం కంటే తక్కువగా ఉండటం వలన సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం జరగదు.
2. అవును. సంధిగ్ధకోణం ఈ కింది విధంగా మారుతుంది

$$\mu_{ag} = \frac{1}{Sini_c}$$

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$

3. 


సంపూర్ణాంతర పరావర్తనం వలన రెండవ సంధర్భంలో తీవ్రత ఎక్కువ

4. 20 సెం.మీ, $i_c = Sin^{-1}0.8$

## 20.5

2. కాదు, కటక తయారీదారు సూత్రంలో$R_1, R_2$ స్థానాలను మార్చడం వల్ల f విలువలో మార్పురాదు. అందువల్ల ప్రతిబింబం

అదే స్థానంలో ఏర్పడుతుంది.

3. $R_1$=R, $R_2$=-R, $\mu$=1.5 లను కటక తయారీదారు సూత్రంలో ప్రతిక్షేపించినపుడు మీకు f = R వస్తుంది.
4. పుటాకార కటకం, కాని అది కుంభాకార కటక ఆకారంలో ఉంటుంది.
5. కటక పదార్ధవక్రీభవన గుణకం, ద్రవం వక్రీభవనగుణకానికి సమానమైనపుడు ఇది జరుగుతుంది.
6. f = 22.2 సెం.మీ, P = 4.5 డయాప్టరు
7. అవును కుంభాకార, పుటాకార కటకాలను ఒక దానికొకటి తాకునట్లుగా అమర్చడం వల్ల.
8. −40 సెం.మీ, 2.5 డయాప్టరు

## ముగింపు అభ్యాసంలోని లెక్కలకు సమాధానాలు

7. f = 0.83మీ, 5 మీ (8)12 మీ

9. f = 30 సెం.మీ, ప్రతిబింబ పరిమాణం = 10 సెం.మీ, అభిసారికటకం

10. నిట్టు నిలువు మిధ్యా, చిన్నదైన పరిమాణం గల ప్రతిబింబం కటకం నుండి 8.4 సెం.మీ దూరంలో వస్తువు ఉన్నవైపునే ఏర్పడుతుంది. వస్తువును కటకం నుండి దూరంగా జరిపినపుడు పరిమాణం తగ్గుతూ ఉన్న మిధ్యాప్రతిబింబం కటక నాభి వైపుకు జరుగుతుంది.

11. $\mu = 1.5$, (12) $37.7^0$

13. 10 సెం.మీ, 10 డయాప్టరు, 45 సెం.మీ