

## પ્રકરણ 10

### પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન (Light-Reflection and Refraction)

વિશ્વમાં આપણી આસપાસ રહેલી અનેક પ્રકારની વસ્તુઓ આપણે જોઈએ છીએ. જોકે અંધારા ઓરડામાં આપણે કંઈ પણ જોવા માટે અસમર્થ છીએ. ઓરડાને પ્રકાશિત કરતાં તેમાં રહેલી વસ્તુઓ દૃશ્યમાન થાય છે. શાનાથી વસ્તુઓ દૃશ્યમાન બને છે ? દિવસ દરમિયાન સૂર્યનો પ્રકાશ આપણને વસ્તુઓને જોવા માટે મદદરૂપ થાય છે. વસ્તુ તેની પર પડતાં પ્રકાશને પરાવર્તિત કરે છે. આ પરાવર્તિત પ્રકાશ જ્યારે આપણી આંખો દ્વારા પ્રાપ્ત થાય ત્યારે તે આપણને વસ્તુઓ દેખવા શક્તિમાન બનાવે છે. આપણે પારદર્શક માધ્યમની આરપાર જોઈ શકીએ છીએ કારણ કે પ્રકાશ તેમાંથી પસાર થઈ શકે છે. પ્રકાશ સાથે અનેક સામાન્ય તથા અદ્ભુત ઘટનાઓ સંકળાયેલ છે જેમકે, અરીસાઓ દ્વારા પ્રતિબિંબની રચના, તારાઓનું ટમટમવું, મેઘધનુષ્યના સુંદર રંગો, માધ્યમ દ્વારા પ્રકાશનું વાંકું વળવું વગેરે. પ્રકાશના ગુણધર્મોનો અભ્યાસ આપણને તે સમજવામાં મદદરૂપ થશે.

આપણી આસપાસ બનતી સામાન્ય પ્રકાશીય ઘટનાઓનાં અવલોકનો પરથી આપણે તારણ કાઢી શકીએ કે પ્રકાશ સુરેખામાં ગતિ કરતો લાગે છે. કોઈ નાનું પ્રકાશ ઉદ્ગમસ્થાન અપારદર્શક વસ્તુનું તીક્ષ્ણ પ્રતિબિંબ બનાવે છે – આ તથ્ય પ્રકાશના સુરેખ પથને પ્રદર્શિત કરે છે, જેને સામાન્ય રીતે પ્રકાશના કિરણ તરીકે દર્શાવાય છે.

વધુ જાણવા જેવું !

જો પ્રકાશના પથમાં રાખેલ અપારદર્શક વસ્તુ ખૂબ નાની હોય તો પ્રકાશ સુરેખપથ પર ગતિ કરવાને બદલે તેની ધાર પાસેથી વાંકો વળે છે – આ ઘટનાને પ્રકાશનું વિવર્તન કહે છે. આ સ્થિતિમાં કિરણ પ્રકાશશાસ્ત્ર કે જેમાં રેખીયપથ વિચારધારા મુજબ કિરણોનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે તે નિષ્ફળ જાય છે. વિવર્તન જેવી ઘટનાઓ સમજાવવા માટે પ્રકાશને તરંગ સ્વરૂપે માનવામાં આવે છે, જેનો વિસ્તૃત અભ્યાસ તમે આગળનાં ધોરણોમાં કરશો. 20મી સદીના પ્રારંભમાં ફરીથી તે સ્પષ્ટ થઈ ચૂક્યું હતું કે પ્રકાશની દ્રવ્ય સાથેની આંતરક્રિયાના અભ્યાસમાં પ્રકાશનો તરંગ સિદ્ધાંત પર્યાપ્ત નથી તથા પ્રકાશ ઘણી વાર કણોના પ્રવાહ સ્વરૂપે વર્તે છે. પ્રકાશની સાચી પ્રકૃતિ વિશે મતમતાંતરો કેટલાંક વર્ષો સુધી ચાલતા રહ્યા જ્યાં સુધી પ્રકાશનો આધુનિક ક્વોન્ટમ સિદ્ધાંત અસ્તિત્વમાં ન આવ્યો કે જેમાં પ્રકાશને ન તો ‘તરંગ’ માનવામાં આવે છે ન તો ‘કણ’ – આવા સિદ્ધાંતમાં પ્રકાશના કણ સંબંધિત ગુણધર્મો તથા તરંગ પ્રકૃતિ વચ્ચે સમન્વય સાધવામાં આવ્યો.

આ પ્રકરણમાં આપણે પ્રકાશના પરાવર્તન અને વક્રીભવનની ઘટનાઓનો અભ્યાસ, પ્રકાશની સુરેખપથ પર થતી ગતિની મદદથી કરીશું. આ મૂળભૂત ખ્યાલો આપણને કુદરતમાં બનતી કેટલીક પ્રકાશીય ઘટનાઓના અભ્યાસમાં મદદરૂપ થશે. આ પ્રકરણમાં આપણે ગોળીય અરીસાઓ દ્વારા પ્રકાશના પરાવર્તન, પ્રકાશના વક્રીભવન તેમજ વાસ્તવિક જીવનમાં તેમની ઉપયોગિતાને સમજવાનો પ્રયત્ન કરીશું.

#### 10.1 પ્રકાશનું પરાવર્તન (Reflection of Light)

સંપૂર્ણ પોલિશ કરેલી સપાટી, જેમકે અરીસો, તેના પર પડતા મોટા ભાગના પ્રકાશનું પરાવર્તન કરે છે.

તમે પ્રકાશના પરાવર્તનના નિયમો વિશે પહેલેથી જ જાણો છો. ચાલો ! આ નિયમો યાદ કરી લઈએ —

- આપાતકોણ અને પરાવર્તનકોણ સમાન હોય છે તથા
- આપાતકિરણ, અરીસાના આપાતબિંદુએ સપાટીને દોરેલ લંબ અને પરાવર્તિત કિરણ એ બધા એક જ સમતલમાં હોય છે.

પરાવર્તનના આ નિયમો ગોળીય સપાટી સહિત બધા જ પ્રકારની પરાવર્તક સપાટીઓ માટે લાગુ પાડી શકાય છે. તમે સમતલ અરીસા વડે રચાતા પ્રતિબિંબથી પરિચિત છો. પ્રતિબિંબના ગુણધર્મો કેવા હોય છે ? સમતલ અરીસા દ્વારા મળતું પ્રતિબિંબ હંમેશાં આભાસી અને ચતું હોય છે. પ્રતિબિંબનું માપ વસ્તુના માપ જેટલું હોય છે. પ્રતિબિંબ અરીસાની પાછળ તેટલા જ અંતરે રચાય છે જેટલા અંતરે અરીસાની આગળ વસ્તુ રાખેલ હોય. આ ઉપરાંત પ્રતિબિંબની બાજુઓ ઉલટાયેલી હોય છે. જો પરાવર્તક સપાટી ગોળીય હોય તો પ્રતિબિંબ કેવું રચાશે ? ચાલો શોધીએ.

### પ્રવૃત્તિ 10.1

- એક મોટી ચળકતી ચમચી લો. તમારો ચહેરો તેની વક્સપાટીમાં જોવાનો પ્રયત્ન કરો.
- શું તમને પ્રતિબિંબ મળે છે ? તે નાનું છે કે મોટું ?
- ચમચીને ધીરે-ધીરે તમારા ચહેરાથી દૂર ખસેડતા જાઓ. પ્રતિબિંબનું અવલોકન કરો. તે કેવી રીતે બદલાય છે ?
- ચમચીને ઉલટાવીને આ પ્રવૃત્તિનું પુનરાવર્તન કરો. હવે પ્રતિબિંબ કેવું દેખાય છે ?
- બંને સપાટીઓ વડે મળતાં પ્રતિબિંબોની લાક્ષણિકતાઓની સરખામણી કરો.

ચળકતી ચમચીની વક્સપાટીને ગોળીય અરીસા તરીકે ગણી શકાય. સૌથી વધુ ઉપયોગમાં આવતાં વક્ર અરીસા તરીકે ગોળીય અરીસા છે. આ પ્રકારના અરીસાઓની પરાવર્તક સપાટી કોઈ ગોળાના પૃષ્ઠનો એક ભાગ ગણી શકાય. આવા અરીસાઓ કે જેના પરાવર્તક પૃષ્ઠ ગોળીય હોય તેને ગોળીય અરીસા કહે છે. હવે આપણે ગોળીય અરીસાઓ વિશે વિસ્તારપૂર્વક અભ્યાસ કરીશું.

### 10.2 ગોળીય અરીસાઓ (Spherical Mirrors)

ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટી અંદરની તરફ કે બહારની તરફ વક્રાકાર હોઈ શકે. ગોળીય અરીસો કે જેની પરાવર્તક સપાટી અંદરની તરફ વળેલી એટલે કે ગોળાના કેન્દ્ર તરફ હોય તેને અંતર્ગોળ અરીસો (concave mirror) કહે છે. ગોળીય અરીસો કે જેની પરાવર્તક સપાટી બહારની તરફ વળેલી હોય તેને બહિર્ગોળ અરીસો (convex mirror) કહે છે. આ અરીસાઓનું રેખીય નિરૂપણ (Schematic representation) આકૃતિ 10.1 માં દર્શાવેલ છે. આ આકૃતિમાં નોંધો કે અરીસાઓના પાછળના ભાગને છાયાંકિત (Shaded) કરેલ છે.

હવે તમે સમજી શકશો કે ચમચીની અંદર તરફની વક્ર સપાટી લગભગ અંતર્ગોળ અરીસા જેવી અને ચમચીની બહાર તરફ ઉપસેલી સપાટી લગભગ બહિર્ગોળ અરીસા જેવી ગણી શકાય.

ગોળીય અરીસાઓ વિશે વધારે સમજૂતી મેળવતા પહેલાં આપણે કેટલાંક પદો (terms)ના અર્થ, પરિચય અને સમજૂતી મેળવવાની જરૂર છે. આ પદો ગોળીય અરીસાઓની ચર્ચા કરતી વખતે સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટીના કેન્દ્રને અરીસાનું ધ્રુવ કહે છે. તે અરીસાના પૃષ્ઠ પર આવેલ હોય છે. ધ્રુવને સામાન્ય રીતે મૂળાક્ષર P વડે દર્શાવવામાં આવે છે. પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન



(a) અંતર્ગોળ અરીસો



(b) બહિર્ગોળ અરીસો

આકૃતિ 10.1

ગોળીય અરીસાઓનું રેખીય નિરૂપણ, છાયાંકિત ભાગ અપરાવર્તક છે

ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટી ગોળાનો એક ભાગ છે. આ ગોળાને કેન્દ્ર હોય છે. આ કેન્દ્રને ગોળીય અરીસાનું વક્રતાકેન્દ્ર કહે છે. તેને મૂળાક્ષર C વડે દર્શાવાય છે. અહીં ખાસ નોંધો કે વક્રતાકેન્દ્ર એ અરીસાનો ભાગ નથી. તે પરાવર્તક સપાટીની બહાર આવેલું હોય છે. અંતર્ગોળ અરીસાનું વક્રતાકેન્દ્ર તેની આગળ તરફ આવેલું છે. જોકે બહિર્ગોળ અરીસાના કિસ્સામાં તે અરીસાની પાછળ આવેલું હોય છે. આ હકીકત તમે આકૃતિ 10.2 (a) તથા (b)માં જોઈ શકો છો. ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટી જે ગોળાનો ભાગ છે તેની ત્રિજ્યાને અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા કહે છે. તેને મૂળાક્ષર R વડે દર્શાવાય છે. તમે નોંધો કે અંતર PC વક્રતાત્રિજ્યા જેટલું છે. ગોળીય અરીસાના ધ્રુવ તથા વક્રતાકેન્દ્રમાંથી પસાર થતી એક સુરેખા કલ્પો. આ રેખાને અરીસાની મુખ્ય અક્ષ કહે છે. યાદ રાખો કે મુખ્ય અક્ષ, અરીસાના ધ્રુવ પાસે અરીસાને લંબ હોય છે. ચાલો! આપણે અરીસા સાથે સંકળાયેલ એક મહત્વપૂર્ણ પદને પ્રવૃત્તિ દ્વારા સમજાવે.

### પ્રવૃત્તિ 10.2

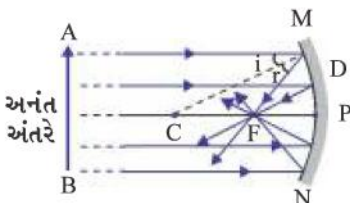
**ચેતવણી :** સૂર્ય તરફ પ્રત્યક્ષ કે સૂર્યપ્રકાશને પરાવર્તિત કરતા અરીસામાં ન જુઓ. તેનાથી કદાચ તમારી આંખોને નુકસાન થઈ શકે છે.

- એક અંતર્ગોળ અરીસાને તમારા હાથમાં પકડી તેની પરાવર્તક સપાટીને સૂર્ય તરફ રાખો.
- અરીસા દ્વારા પરાવર્તિત થતાં પ્રકાશને અરીસાની પાસે રાખેલ એક કાગળના પાના (શીટ) પર આપાત કરો.
- જ્યાં સુધી તમને કાગળના પાના પર એક પ્રકાશિત, તીક્ષ્ણ બિંદુ પ્રાપ્ત ન થાય ત્યાં સુધી કાગળના પાનાને ધીરે-ધીરે આગળ-પાછળ ખસેડો.
- અરીસા તથા કાગળને થોડી મિનિટો સુધી આ સ્થિતિમાં પકડી રાખો. તમે શું જુઓ છો ? આમ કેમ થાય છે ?

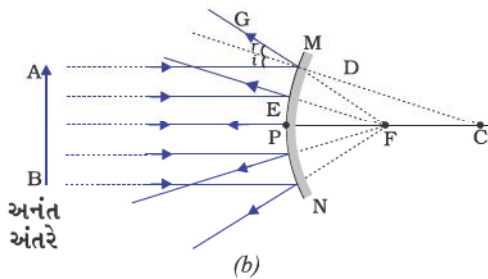
કાગળ સૌપ્રથમ સળગવાનું શરૂ કરે છે અને ધુમાડો ઉત્પન્ન થાય છે. સમય જતાં તે આગ પણ પકડી શકે છે. તે કેમ સળગી ઊઠે છે ? સૂર્યમાંથી આવતો પ્રકાશ અરીસા દ્વારા એક તીક્ષ્ણ પ્રકાશિત બિંદુ સ્વરૂપે કેન્દ્રિત થાય છે. વાસ્તવમાં કાગળના પાના પર પ્રકાશનું આ બિંદુ સૂર્યનું પ્રતિબિંબ છે. સૂર્યપ્રકાશના કેન્દ્રિત થવાથી ઉત્પન્ન થતી ઉષ્માને કારણે કાગળ સળગી ઊઠે છે. અરીસાના સ્થાનથી પ્રતિબિંબનું આ અંતર અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈનું આશરે મૂલ્ય આપે છે.

ચાલો, આ અવલોકનને એક કિરણાકૃતિ (Ray diagram) વડે સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ.

આકૃતિ 10.2 (a) ને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ. અંતર્ગોળ અરીસા પર મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કેટલાંક કિરણો આપાત થઈ રહ્યાં છે. પરાવર્તિત કિરણોનું અવલોકન કરો. તે બધા જ અરીસાની મુખ્ય અક્ષ પર એક બિંદુ પાસે મળી રહ્યાં (છેદી રહ્યાં) છે. આ બિંદુને અંતર્ગોળ અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર કહે છે. તે જ રીતે આકૃતિ 10.2 (b) જુઓ. બહિર્ગોળ અરીસા દ્વારા મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણો કેવી રીતે પરાવર્તિત થાય છે ? પરાવર્તિત કિરણો મુખ્ય અક્ષ પર એક બિંદુમાંથી આવતાં હોય તેવો ભાસ થાય છે. આ બિંદુને બહિર્ગોળ અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર કહે છે. મુખ્ય કેન્દ્રને F વડે દર્શાવાય છે. ગોળીય અરીસાના ધ્રુવ તથા મુખ્ય કેન્દ્ર વચ્ચેના અંતરને કેન્દ્રલંબાઈ કહે છે. તેને મૂળાક્ષર  $f$  વડે દર્શાવાય છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 10.2

(a) અંતર્ગોળ અરીસો

(b) બહિર્ગોળ અરીસો



ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટી મોટે ભાગે ગોળીય હોય છે. આ સપાટીને એક વર્તુળાકાર સીમારેખા હોય છે. ગોળીય અરીસાની પરાવર્તક સપાટીની આ વર્તુળાકાર સીમારેખાના વ્યાસને અરીસાનું દર્પણમુખ (Aperture) કહે છે. આકૃતિ 10.2 માં અંતર MN દર્પણમુખ દર્શાવે છે. આપણી ચર્ચામાં આપણે ફક્ત તેવા અરીસાઓનો વિચાર કરીશું કે જેનું દર્પણમુખ તેની વક્રતાત્રિજ્યા કરતાં ઘણું નાનું હોય.

શું ગોળીય અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા R તથા કેન્દ્રલંબાઈ f વચ્ચે કોઈ સંબંધ છે ? નાના દર્પણમુખ ધરાવતાં ગોળીય અરીસાઓ માટે વક્રતાત્રિજ્યા તેની કેન્દ્રલંબાઈ કરતાં બમણી હોય છે. આપણે આ સંબંધને  $R = 2f$  દ્વારા દર્શાવી શકીએ. જે દર્શાવે છે કે ગોળીય અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર તેના ધ્રુવ તથા વક્રતાકેન્દ્રને જોડતી રેખાનું મધ્યબિંદુ હોય છે.

### 10.2.1 ગોળીય અરીસાઓ વડે રચાતાં પ્રતિબિંબ

#### (Image Formation by Spherical Mirrors)

તમે સમતલ અરીસાઓ દ્વારા રચાતાં પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ કર્યો. તમે તેના દ્વારા રચાતાં પ્રતિબિંબોના પ્રકાર, સ્થાન તથા સાપેક્ષ પરિમાણ વિશે પણ જાણો છે. ગોળીય અરીસાઓ દ્વારા રચાતાં પ્રતિબિંબ કેવા હોય છે ? અંતર્ગોળ અરીસા દ્વારા વસ્તુનાં જુદાં-જુદાં સ્થાન માટે મળતાં પ્રતિબિંબોનું સ્થાન આપણે કેવી રીતે નક્કી કરી શકીએ ? શું આ પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે કે આભાસી ? શું તે મોટા છે, નાના છે કે સમાન પરિમાણ ધરાવે છે ? આપણે એક પ્રવૃત્તિ દ્વારા તેની સમજૂતી મેળવીશું.

#### પ્રવૃત્તિ 10.3

તમે અંતર્ગોળ અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ શોધવાની રીત અગાઉ શીખી ગયાં છો. પ્રવૃત્તિ 10.2માં તમે જોયું કે કાગળ પર મળેલ તીક્ષ્ણ પ્રકાશિત બિંદુ ખરેખર સૂર્યનું પ્રતિબિંબ છે. તે નાનું, વાસ્તવિક અને ઊલટું પ્રતિબિંબ છે. અરીસાથી પ્રતિબિંબનું અંતર માપી તમે અંતર્ગોળ અરીસાની આશરે કેન્દ્રલંબાઈ મેળવી હતી.

- એક અંતર્ગોળ અરીસો લો. ઉપર વર્ણવ્યા મુજબ તેની આશરે કેન્દ્રલંબાઈ શોધો. કેન્દ્રલંબાઈનું મૂલ્ય નોંધી લો. (તમે કોઈ દૂરની વસ્તુનું પ્રતિબિંબ એક કાગળના પાના પર મેળવીને પણ કેન્દ્રલંબાઈનું મૂલ્ય મેળવી શકો છો.)
- ટેબલ પર ચોક વડે એક રેખા દોરો. અંતર્ગોળ અરીસાને એક સ્ટેન્ડ પર ગોઠવો. સ્ટેન્ડને રેખા પર એવી રીતે મૂકો કે જેથી અરીસાનો ધ્રુવ આ રેખા પર આવે.
- ચોક વડે બીજી બે રેખાઓ અગાઉ દોરેલ રેખાને સમાંતર એવી રીતે દોરો કે જેથી બે ક્રમિક રેખાઓ વચ્ચેનું અંતર અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ જેટલું હોય. આ રેખાઓ અનુક્રમે બિંદુ P, F અને C નું સ્થાન દર્શાવે છે. યાદ રાખો કે, નાના દર્પણમુખવાળા ગોળીય અરીસાઓનું મુખ્ય કેન્દ્ર F, ધ્રુવ P અને વક્રતાકેન્દ્ર Cના મધ્યમાં હોય છે.
- એક તેજસ્વી વસ્તુ, જેમકે સળગતી મીણબત્તી, વક્રતાકેન્દ્ર C થી ઘણે દૂર મૂકો. એક કાગળના પડદાને અરીસાની સામે રાખીને જ્યાં સુધી મીણબત્તીની જ્યોતનું પ્રતિબિંબ તેના પર ન મળે ત્યાં સુધી અરીસા તરફ ખસેડો.
- પ્રતિબિંબનું કાળજીપૂર્વક અવલોકન કરો. તેનાં પ્રકાર, સ્થાન અને પરિમાણની વસ્તુના પરિમાણ સાપેક્ષે નોંધ કરો.
- આ પ્રવૃત્તિનું મીણબત્તીના નીચે દર્શાવેલ સ્થાનો માટે પુનરાવર્તન કરો. - (a) C થી થોડે દૂર (b) C પર (c) F તથા Cની વચ્ચે (d) F પર તથા (e) P અને F ની વચ્ચે
- આ બધા પૈકી એક સ્થિતિમાં તમે પડદા પર પ્રતિબિંબ નહિ મેળવી શકો. આ સ્થિતિમાં વસ્તુનું સ્થાન નક્કી કરો. ત્યાર બાદ અરીસામાં તેનું આભાસી પ્રતિબિંબ મેળવો.
- તમારાં અવલોકનોને અવલોકન-કોઠામાં નોંધો.

ઉપર્યુક્ત પ્રવૃત્તિમાં તમે જોશો કે અંતર્ગોળ અરીસા દ્વારા મળતાં પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને પરિમાણ બિંદુ P, F તથા Cની સાપેક્ષમાં વસ્તુના સ્થાન પર આધાર રાખે છે. વસ્તુનાં કેટલાંક સ્થાનો માટે મળતું પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક હોય છે. વસ્તુનાં બીજાં કેટલાંક ચોક્કસ સ્થાનો માટે તે આભાસી હોય છે. વસ્તુના સ્થાન અનુસાર પ્રતિબિંબ મોટું, નાનું કે સમાન પરિમાણનું હોય છે. તમારા સંદર્ભ માટે આ અવલોકનોનું સંક્ષિપ્ત વર્ણન નીચેના કોષ્ટક 10.1 માં આપેલ છે.

**કોષ્ટક 10.1** અંતર્ગોળ અરીસા દ્વારા વસ્તુના જુદાં-જુદાં સ્થાનોને અનુરૂપ રચાતાં પ્રતિબિંબ

| વસ્તુનું સ્થાન   | પ્રતિબિંબનું સ્થાન | પ્રતિબિંબનું માપ (Size) | પ્રતિબિંબનો પ્રકાર |
|------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| અનંત અંતરે       | મુખ્ય કેન્દ્ર F પર | ખૂબ જ નાનું બિંદુવત્    | વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| C થી દૂર         | F અને Cની વચ્ચે    | નાનું                   | વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| C પર             | C પર               | સમાન માપ (સાઈઝ)નું      | વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| C અને F ની વચ્ચે | Cથી દૂર            | વિવર્ધિત (મોટું)        | વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| F પર             | અનંત અંતરે         | ખૂબ જ વિવર્ધિત          | વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| P અને Fની વચ્ચે  | અરીસાની પાછળ       | વિવર્ધિત                | આભાસી અને ચતું     |

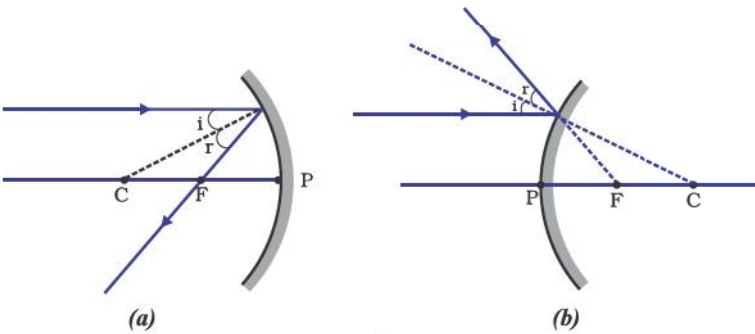
### 10.2.2 કિરણાકૃતિ (Ray diagram)ના ઉપયોગ દ્વારા ગોળીય અરીસાઓ વડે રચાતાં પ્રતિબિંબોનું નિરૂપણ

#### (Representation of Images Formed by Spherical Mirrors Using Ray Diagrams)

ગોળીય અરીસાઓ વડે રચાતાં પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ આપણે કિરણાકૃતિ દ્વારા પણ કરી શકીએ છીએ. ગોળીય અરીસાની સામે મૂકેલ એક નિયત સાઈઝની મોટી વસ્તુનો વિચાર કરો. આ મોટી વસ્તુનો દરેક નાનો ભાગ એક બિંદુવત્ વસ્તુ તરીકે કાર્ય કરે છે. આ દરેક બિંદુઓમાંથી અનંત સંખ્યામાં કિરણો ઉત્પન્ન થાય છે. વસ્તુના પ્રતિબિંબનું સ્થાન નક્કી કરવા માટે કિરણાકૃતિ બનાવતી વખતે કોઈ બિંદુમાંથી નીકળતાં કિરણોની વિશાળ સંખ્યામાંથી અનુકૂળતા મુજબ કેટલાંક કિરણો લઈ શકાય છે. જોકે સ્પષ્ટ કિરણાકૃતિ દોરવા માટે ફક્ત બે કિરણોનો વિચાર કરવો વધારે સગવડભર્યો છે. આ કિરણો એવા પસંદ કરવા જોઈએ કે જેની દિશા અરીસા પરથી પરાવર્તન પામ્યાં બાદ સરળતાથી જાણી શકાય.

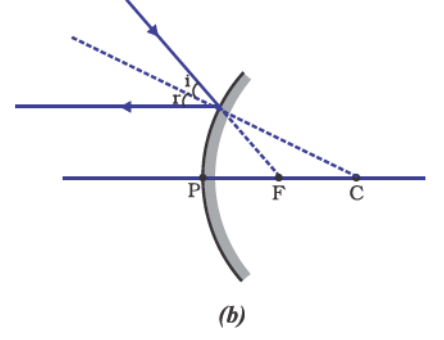
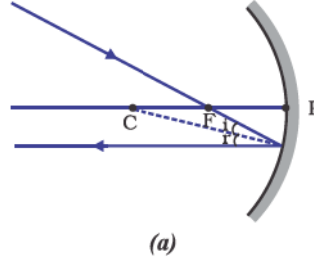
કોઈ બિંદુવત્ વસ્તુના પ્રતિબિંબનું સ્થાન ઓછામાં ઓછાં બે પરાવર્તિત કિરણોના છેદન દ્વારા મેળવી શકાય છે. પ્રતિબિંબનું સ્થાન નક્કી કરવા માટે નીચેનાં પૈકી કોઈ પણ બે કિરણો પર વિચાર કરી શકાય :

- મુખ્ય અક્ષને સમાંતર દિશામાં આપાત થતું પ્રકાશનું કિરણ પરાવર્તન પામ્યા બાદ અંતર્ગોળ અરીસાના કિસ્સામાં તેના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થશે અથવા બહિર્ગોળ અરીસાના કિસ્સામાં તેના મુખ્ય કેન્દ્ર પરથી વિકેન્દ્રિત થતું હોય તેવો ભાસ થશે. તે આકૃતિ 10.3 (a) અને (b)માં દર્શાવેલ છે.



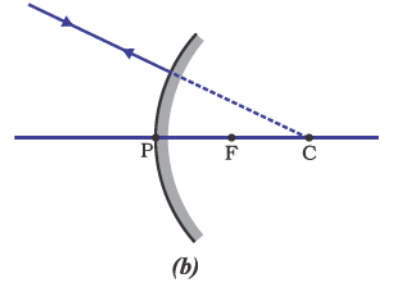
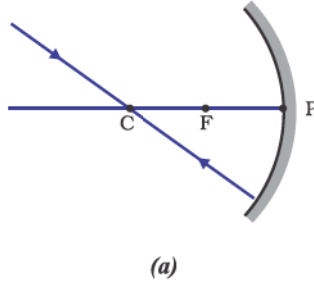
આકૃતિ 10.3

(ii) અંતર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું પ્રકાશનું કિરણ અથવા બહિર્ગોળ અરીસાના મુખ્ય કેન્દ્ર તરફ ગતિ કરતું હોય તેવું કિરણ પરાવર્તન પામ્યાં બાદ મુખ્ય અક્ષને સમાંતર દિશામાં પરાવર્તિત થાય છે. જે આકૃતિ 10.4 (a) અને (b)માં દર્શાવેલ છે.



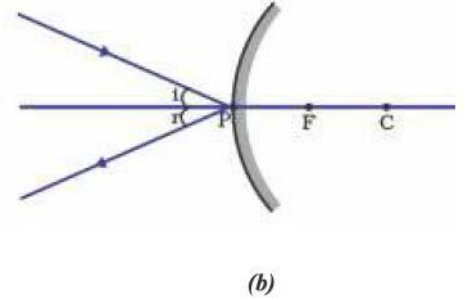
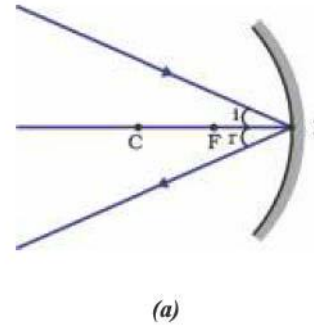
આકૃતિ 10.4

(iii) અંતર્ગોળ અરીસાના વક્રતાકેન્દ્રમાંથી પસાર થતું અથવા બહિર્ગોળ અરીસાના વક્રતાકેન્દ્રની દિશામાં ગતિ કરતું પ્રકાશનું કિરણ અરીસા પરથી પરાવર્તન પામી તે જ પથ પર પાછું ફરે છે. જે આકૃતિ 10.5 (a) અને (b)માં દર્શાવેલ છે. પ્રકાશનું કિરણ તે જ પથ પર એટલા માટે પાછું ફરે છે કારણ કે આપાતકિરણ અરીસાની પરાવર્તક સપાટીને લંબરૂપે આપાત થાય છે.



આકૃતિ 10.5

(iv) અરીસાની મુખ્ય અક્ષ સાથે નિશ્ચિતકોણ બનાવતી દિશામાં બિંદુ P (અરીસાનું ધ્રુવ) પર આપાત થતું કિરણ અંતર્ગોળ અરીસા [આકૃતિ 10.6 (a)] અથવા [આકૃતિ 10.6 (b)] પરથી પરાવર્તન પામી તે જ નિશ્ચિતકોણ બનાવતી દિશામાં પરાવર્તન પામે છે. આપાતબિંદુ (બિંદુ P) પાસે મુખ્ય અક્ષ સાથે સમાન કોણ બનાવતાં આપાત તથા પરાવર્તિત કિરણો, પરાવર્તનના નિયમોનું પાલન કરે છે.

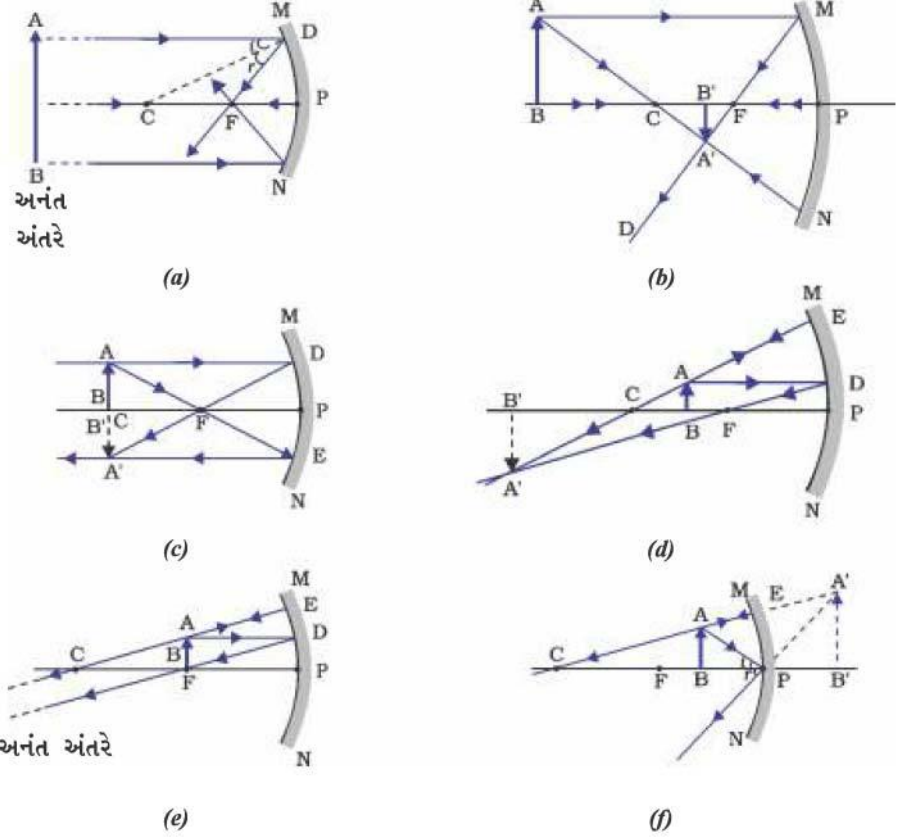


આકૃતિ 10.6

યાદ રાખો કે ઉપરના બધા જ કિસ્સાઓમાં પરાવર્તનના નિયમોનું પાલન થાય છે. આપાત-બિંદુ પાસેથી આપાતકિરણ એવી રીતે પરાવર્તન પામે છે કે જેથી પરાવર્તન કોણનું મૂલ્ય આપાત-કોણના મૂલ્ય જેટલું થાય.

#### (a) અંતર્ગોળ અરીસા વડે પ્રતિબિંબની રચના (Image Formation by Concave Mirror)

આકૃતિ 10.7માં વસ્તુના જુદાં-જુદાં સ્થાન માટે અંતર્ગોળ અરીસા વડે પ્રતિબિંબની રચના કિરણાકૃતિ દ્વારા દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 10.7 અંતર્ગોળ અરીસા વડે રચાતાં પ્રતિબિંબોની કિરણાકૃતિ

#### પ્રવૃત્તિ 10.4

- કોષ્ટક 10.1માં દર્શાવેલ વસ્તુની દરેક સ્થિતિઓ માટે સ્વચ્છ કિરણાકૃતિ દોરો.
- પ્રતિબિંબનું સ્થાન નક્કી કરવા માટે તમે અગાઉના વિભાગમાં વર્ણવેલ કોઈ પણ બે કિરણો લઈ શકો છો.
- તમારી કિરણાકૃતિઓને આકૃતિ 10.7માં દર્શાવેલ કિરણાકૃતિઓ સાથે સરખાવો.
- દરેક સ્થિતિમાં બનતા પ્રતિબિંબના પ્રકાર, સ્થાન તથા સાપેક્ષ પરિમાણ જણાવો.
- તમારાં પરિણામોને અનુકૂળ સ્વરૂપ (format)માં કોષ્ટકમાં દર્શાવો.

#### અંતર્ગોળ અરીસાઓના ઉપયોગ (Uses of concave mirrors)

અંતર્ગોળ અરીસાઓનો ઉપયોગ સામાન્ય રીતે ટોર્ચ, સર્ચલાઈટ તથા વાહનોની હેડ લાઈટ (head lights)માં પ્રકાશના શક્તિશાળી સમાંતર કિરણજૂથ મેળવવા માટે કરવામાં આવે છે. ઘણી વાર તેમનો ઉપયોગ દાઢી કરવાના અરીસા (Shaving mirrors) તરીકે ચહેરાનું મોટું પ્રતિબિંબ જોવા માટે કરવામાં આવે છે. દાંતના ડોક્ટરો અંતર્ગોળ અરીસાનો ઉપયોગ દર્દીઓના દાંતનું મોટું પ્રતિબિંબ જોવા માટે કરે છે. સૌર ભઠ્ઠીઓમાં સૂર્યપ્રકાશને કેન્દ્રિત કરવા માટે મોટા અંતર્ગોળ અરીસાઓનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

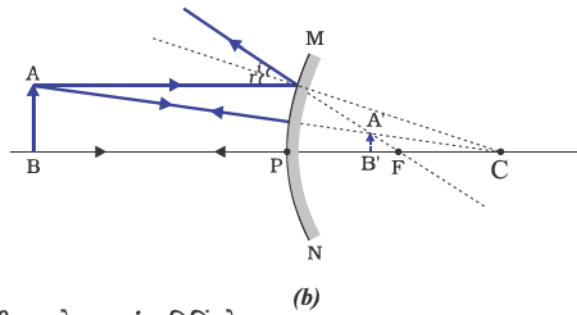
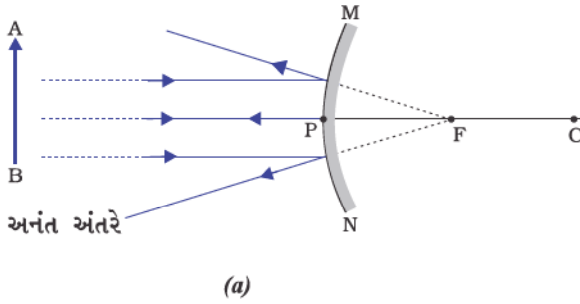
#### (b) બહિર્ગોળ અરીસા વડે પ્રતિબિંબની રચના (Image formation by a Convex Mirror)

આપણે અંતર્ગોળ અરીસા વડે રચાતાં પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ કર્યો. હવે આપણે બહિર્ગોળ અરીસા વડે રચાતાં પ્રતિબિંબ વિશેનો અભ્યાસ કરીશું.

### પ્રવૃત્તિ 10.5

- એક બહિર્ગોળ અરીસો લો. તેને એક હાથમાં પકડો.
- બીજા હાથમાં એક પેન્સિલને તેની અણી ઉપરની તરફ રહે તેમ સીધી પકડો.
- અરીસામાં પેન્સિલનું પ્રતિબિંબ જુઓ. પ્રતિબિંબ ચતું છે કે ઊલટું ? તે નાનું છે કે મોટું ?
- પેન્સિલને ધીરે-ધીરે અરીસાથી દૂર લઈ જાઓ. શું પ્રતિબિંબ નાનું થાય છે કે મોટું ?
- આ પ્રવૃત્તિને સાવધાનીપૂર્વક પુનરાવર્તિત કરો. જણાવો કે જ્યારે વસ્તુને અરીસાથી દૂર લઈ જવામાં આવે છે ત્યારે તેનું પ્રતિબિંબ મુખ્ય કેન્દ્રની નજીક આવે છે કે દૂર જાય છે ?

બહિર્ગોળ અરીસા દ્વારા રચાતાં પ્રતિબિંબનો અભ્યાસ કરવા માટે આપણે વસ્તુનાં બે સ્થાનો ધ્યાનમાં લઈશું. પ્રથમ સ્થિતિમાં વસ્તુ અનંત અંતરે હોય ત્યારે તથા બીજી સ્થિતિમાં વસ્તુ અરીસાથી ચોક્કસ અંતરે હોય. વસ્તુની આ બંને સ્થિતિઓમાં બહિર્ગોળ અરીસા વડે રચાતાં પ્રતિબિંબોની કિરણાકૃતિ અનુક્રમે આકૃતિ 10.8 (a) તથા 10.8(b)માં દર્શાવેલ છે. પરિણામોનું સંક્ષિપ્ત વર્ણન કોષ્ટક 10.2માં આપેલ છે.



આકૃતિ 10.8 બહિર્ગોળ અરીસા વડે રચાતાં પ્રતિબિંબો

**કોષ્ટક 10.2 :** બહિર્ગોળ અરીસા દ્વારા રચાતાં પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ પરિમાણ

| વસ્તુનું સ્થાન                                   | પ્રતિબિંબનું સ્થાન              | પ્રતિબિંબનું પરિમાણ  | પ્રતિબિંબનો પ્રકાર |
|--|---------------------------------|----------------------|--------------------|
| અનંત અંતરે                                       | મુખ્ય કેન્દ્ર F પર અરીસાની પાછળ | ખૂબ જ નાનું બિંદુવત્ | આભાસી અને ચતું     |
| અનંત અંતરે તથા અરીસાના ધ્રુવ (P) વચ્ચે ગમે ત્યાં | અરીસાની પાછળ P અને Fની વચ્ચે    | નાનું                | આભાસી અને ચતું     |

અત્યાર સુધી તમે સમતલ અરીસા, અંતર્ગોળ અરીસા તથા બહિર્ગોળ અરીસા વડે બનતાં પ્રતિબિંબોનો અભ્યાસ કર્યો. આ પૈકી કયો અરીસો કોઈ મોટી વસ્તુનું આખું પ્રતિબિંબ આપશે ? ચાલો ! એક પ્રવૃત્તિ દ્વારા તે સમજીએ.

### પ્રવૃત્તિ 10.6

- સમતલ અરીસામાં કોઈ દૂર રહેલી વસ્તુ જેમકે કોઈ દૂર રહેલ વૃક્ષના પ્રતિબિંબનું અવલોકન કરો.
- શું તમને સંપૂર્ણ (Full length) પ્રતિબિંબ જોવા મળે છે ?



- જુદી-જુદી સાઈઝના સમતલ અરીસાનો ઉપયોગ કરી આ પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરો. શું તમે અરીસામાં વસ્તુનું સંપૂર્ણ પ્રતિબિંબ જોઈ શકો છો ?
- અંતર્ગોળ અરીસો લઈને આ પ્રવૃત્તિનું પુનરાવર્તન કરો. શું આ અરીસો વસ્તુનું સંપૂર્ણ પ્રતિબિંબ દર્શાવે છે ?
- હવે એક બહિર્ગોળ અરીસો લઈને પ્રયત્ન કરી જુઓ. શું તમને સફળતા મળે છે ? તમારાં અવલોકનો કારણો સહિત સમજાવો.

તમે એક નાના બહિર્ગોળ અરીસામાં કોઈ ઊંચી ઈમારત/વૃક્ષનું સંપૂર્ણ પ્રતિબિંબ જોઈ શકો છો. આગ્રાના કિલ્લાની એક દીવાલ પર આવો જ એક અરીસો રાખેલ છે. જો તમે આગ્રાના કિલ્લાની મુલાકાતે જાઓ તો દીવાલ પર રાખેલા આ અરીસાની મદદથી કોઈ દૂરની ઊંચી ઈમારત/મકબરાને જોવાનો પ્રયત્ન કરજો. મકબરાને સ્પષ્ટ રૂપે જોવા માટે તમારે દીવાલ સાથેની અગાશી (terrace) પર યોગ્ય સ્થાને ઊભા રહેવું પડશે.

### બહિર્ગોળ અરીસાના ઉપયોગો (Uses of convex mirrors)

બહિર્ગોળ અરીસાનો ઉપયોગ સામાન્ય રીતે વાહનોમાં પાછળનાં દૃશ્યો જોવા માટેના અરીસા (wing) તરીકે કરવામાં આવે છે. આવા અરીસાઓ વાહનની સાઈડ પર લગાડવામાં આવે છે. જેમાં ડ્રાઈવર તેની / તેણીની પાછળ આવતાં ટ્રાફિકને જોઈ શકે છે, જેથી તે સુરક્ષિત રીતે પોતાનું વાહન ચલાવી શકે. બહિર્ગોળ અરીસાઓ એટલા માટે પસંદ કરવામાં આવે છે કારણ કે તેમના દ્વારા મળતાં પ્રતિબિંબો હંમેશાં નાના પરંતુ ચત્તાં હોય છે. સાથે-સાથે તેમનાં દૃષ્ટિક્ષેત્રો પણ વિશાળ મળે છે કારણ કે તેઓ બહારની તરફ વક્રાકાર હોય છે, તેથી સમતલ અરીસાની સરખામણીમાં બહિર્ગોળ અરીસા ડ્રાઈવરને તેની પાછળનો બહુ મોટો વિસ્તાર દર્શાવી શકે છે.

### પ્રશ્નો

1. અંતર્ગોળ અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર વ્યાખ્યાયિત કરો.
2. એક ગોળીય અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા 20 cm છે. તેની કેન્દ્રલંબાઈ કેટલી હશે ?
3. એવા અરીસાનું નામ આપો જે વસ્તુનું ચત્તું તથા વિવર્ધિત પ્રતિબિંબ આપે.
4. આપણે વાહનોમાં પાછળનું દૃશ્ય જોવા માટેના અરીસા તરીકે બહિર્ગોળ અરીસાને કેમ પસંદ કરીએ છીએ ?



### 10.2.3 ગોળીય અરીસા વડે થતા પરાવર્તન માટે સંજ્ઞા-પદ્ધતિ

#### (Sign Convention for Reflection by Spherical Mirrors)

ગોળીય અરીસા વડે થતાં પ્રકાશના પરાવર્તનની ચર્ચા વખતે આપણે એક નિશ્ચિત સંજ્ઞા-પદ્ધતિનું પાલન કરીશું, જેને નવી કાર્તેઝિય યામપદ્ધતિ કહે છે. આ પદ્ધતિમાં અરીસાના ધ્રુવ (P) ને ઊગમબિંદુ તરીકે લેવામાં આવે છે. અરીસાની મુખ્ય અક્ષને યામપદ્ધતિની X-અક્ષ (X'X) તરીકે લેવામાં આવે છે. આ સંજ્ઞાઓ નીચે પ્રમાણે છે -

- (i) વસ્તુ હંમેશાં અરીસાની ડાબી બાજુ રાખવામાં આવે છે. એનો અર્થ એ થયો કે વસ્તુ પરથી આવતો પ્રકાશ અરીસા પર ડાબી બાજુથી આપાત થાય છે.
- (ii) બધાં જ અંતરો અરીસાના ધ્રુવથી મુખ્ય અક્ષને સમાંતર માપવામાં આવે છે.
- (iii) ઊગમબિંદુ (ધ્રુવ)થી જમણી બાજુ (+X દિશામાં) માપેલ બધાં જ અંતરો ધન અને ઊગમબિંદુથી ડાબી બાજુ (-X દિશામાં) માપેલ બધાં જ અંતરો ઋણ ગણવામાં આવે છે.
- (iv) મુખ્ય અક્ષને લંબરૂપે ઉપરની તરફ (+Y દિશામાં) માપેલ અંતર (ઊંચાઈ) ધન લેવામાં આવે છે.
- (v) મુખ્ય અક્ષને લંબરૂપે નીચેની તરફ (-Y દિશામાં) માપેલ અંતર (ઊંચાઈ) ઋણ લેવામાં આવે છે.

ઉપર વર્ણવેલ નવી કાર્તેઝિય સંજ્ઞાપદ્ધતિ તમારા સંદર્ભ માટે આકૃતિ 10.9માં દર્શાવેલ છે. અરીસાનું સૂત્ર મેળવવા તેમજ તેને સંબંધિત દાખલા (numerical problems) ના ઉકેલ માટે આ સંજ્ઞાપદ્ધતિનો ઉપયોગ કરવામાં આવેલ છે.

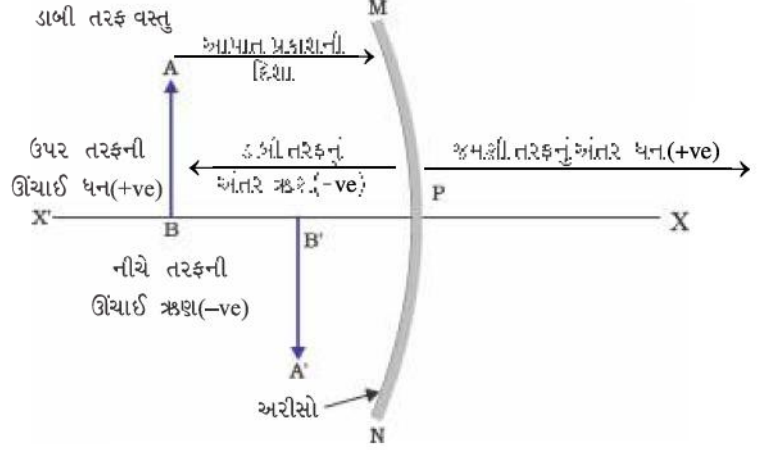
#### 10.2.4 અરીસાનું સૂત્ર અને મોટવણી (Mirror Formula and Magnification)

ગોળીય અરીસામાં તેના ધ્રુવથી વસ્તુનું અંતર વસ્તુઅંતર

(u) કહેવાય છે. અરીસાના ધ્રુવથી પ્રતિબિંબનું અંતર, પ્રતિબિંબ અંતર (v) કહેવાય છે. તમને પહેલાથી જ ખ્યાલ છે કે ધ્રુવથી મુખ્ય કેન્દ્ર સુધીનું અંતર કેન્દ્રલંબાઈ (f) કહેવાય છે. આ ત્રણેય રાશિઓ વચ્ચે એક સંબંધ છે જેને અરીસાના સૂત્ર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ સૂત્રને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરવામાં આવે છે :

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad (10.1)$$

આ સૂત્ર બધા જ પ્રકારના ગોળીય અરીસાઓ માટે તેમજ વસ્તુની દરેક સ્થિતિઓ માટે સાચા છે. પ્રશ્નોનો ઉકેલ મેળવતી વખતે જ્યારે તમે અરીસાના સૂત્રમાં u, v, f તથા R નાં મૂલ્યો મૂકો ત્યારે તમારે નવી કાર્તેઝિય સંજ્ઞા પદ્ધતિનો ઉપયોગ ફરજિયાત કરવો જોઈએ.



આકૃતિ 10.9

ગોળીય અરીસા માટે નવી કાર્તેઝિય સંજ્ઞાપદ્ધતિ

#### મોટવણી (Magnification)

ગોળીય અરીસા દ્વારા મળતી મોટવણી વસ્તુનું પ્રતિબિંબ વસ્તુના માપની સાપેક્ષે કેટલું વિવર્ધિત છે તેનું સાપેક્ષ પ્રમાણ આપે છે. તેને પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ અને વસ્તુની ઊંચાઈના ગુણોત્તર રૂપે રજૂ કરી શકાય છે. તેને સામાન્ય રીતે મૂળાક્ષર m દ્વારા રજૂ કરાય છે.

જો વસ્તુની ઊંચાઈ h હોય તથા પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ h' હોય તો ગોળીય અરીસા દ્વારા મળતી મોટવણી (m) નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે :

$$m = \frac{\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ (h')}}{\text{વસ્તુની ઊંચાઈ (h)}}$$

$$m = \frac{h'}{h} \quad (10.2)$$

મોટવણી m ને વસ્તુઅંતર (u) તથા પ્રતિબિંબ અંતર (v) સાથે પણ સાંકળી શકાય. તેને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય છે :

$$\text{મોટવણી (m)} = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u} \quad (10.3)$$

અહીં નોંધો કે વસ્તુની ઊંચાઈ ધન લેવામાં આવે છે કારણ કે મોટે ભાગે વસ્તુ મુખ્ય અક્ષની ઉપર રાખવામાં આવે છે. આભાસી પ્રતિબિંબો માટે પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ ધન લેવી પડે. જ્યારે વાસ્તવિક પ્રતિબિંબો માટે તેને ઋણ લેવામાં આવે છે. મોટવણીના મૂલ્યમાં રહેલા ઋણ ચિહ્નથી પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે તેમ જાણી શકાય છે. મોટવણીના મૂલ્યમાં ધન ચિહ્ન દર્શાવે છે કે પ્રતિબિંબ આભાસી છે.

### ઉદાહરણ 10.1

કોઈ વાહનમાં પાછળનાં દ્રશ્યો જોવા માટે ઉપયોગમાં લેવાયેલ બહિર્ગોળ અરીસાની વક્રતાત્રિજ્યા 3.00 m છે. જો એક બસ અરીસાથી 5.00 m અંતરે આવેલ હોય, તો આ અરીસા વડે મળતાં પ્રતિબિંબનું સ્થાન, પ્રકાર તથા પરિમાણ નક્કી કરો.

ઉકેલ

$$\text{વક્રતાત્રિજ્યા} \quad R = + 3.00 \text{ m}$$

$$\text{વસ્તુ અંતર} \quad u = - 5.00 \text{ m}$$

$$\text{પ્રતિબિંબ અંતર} \quad v = ?$$

$$\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ} \quad h' = ?$$

કેન્દ્રલંબાઈ  $f = R/2 = + \frac{3.00 \text{ m}}{2} = + 1.50 \text{ m}$  (કારણ કે બહિર્ગોળ અરીસાનું મુખ્ય કેન્દ્ર અરીસાની પાછળ છે.)

$$\text{હવે, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\begin{aligned} \text{અથવા } \frac{1}{v} &= \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = + \frac{1}{1.50} - \frac{1}{(-5.00)} = \frac{1}{1.50} + \frac{1}{5.00} \\ &= \frac{5.00 + 1.50}{7.50} \end{aligned}$$

$$v = \frac{+7.50}{6.50} = + 1.15 \text{ m}$$

આમ, પ્રતિબિંબ અરીસાની પાછળ 1.15 m અંતરે મળે છે.

$$\begin{aligned} \text{મોટવણી } m &= \frac{h'}{h} = - \frac{v}{u} = - \frac{1.15 \text{ m}}{-5.00 \text{ m}} \\ &= + 0.23 \end{aligned}$$

પ્રતિબિંબ આભાસી, ચત્તુ અને પરિમાણમાં વસ્તુથી 0.23 ગણું નાનું છે.

### ઉદાહરણ 10.2

4.0 cm ઊંચાઈની વસ્તુ કોઈ 15.0 cm કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતા અંતર્ગોળ અરીસાથી 25.0 cm અંતરે રાખેલ છે. અરીસાથી કેટલા અંતરે પડદાને રાખવો જોઈએ કે જેથી તેના પર સ્પષ્ટ પ્રતિબિંબ પ્રાપ્ત થાય ? પ્રતિબિંબનો પ્રકાર તથા તેની ઊંચાઈ શોધો.

ઉકેલ

$$\text{વસ્તુઊંચાઈ } h = + 4.0 \text{ cm}$$

$$\text{વસ્તુઅંતર } u = - 25.0 \text{ cm}$$

$$\text{કેન્દ્રલંબાઈ } f = -15.0 \text{ cm}$$

$$\text{પ્રતિબિંબ અંતર } v = ?$$

$$\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ } h' = ?$$

$$\text{સમીકરણ (10.1) પરથી, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{અથવા } \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-15.0} - \frac{1}{-25.0} = - \frac{1}{15.0} + \frac{1}{25.0}$$

અથવા  $\frac{1}{v} = \frac{-5.0 + 3.0}{75.0} = \frac{-2.0}{75.0}$  અથવા  $v = -37.5 \text{ cm}$

આમ, પડદો 37.5 cm અંતરે રાખવો જોઈએ. પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક છે, તથા મોટવણી  $m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u}$ .

અથવા  $h' = -\frac{vh}{u} = -\frac{(-37.5 \text{ cm})(+4.0 \text{ cm})}{(-25.0 \text{ cm})}$

પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ  $h' = -6.0 \text{ cm}$

પ્રતિબિંબ ઊલટું અને વિવર્ણિત છે.

### પ્રશ્નો

1. 32 cm વક્રતાનિજ્યા ધરાવતાં બહિર્ગોળ અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ શોધો.
2. એક અંતર્ગોળ અરીસો તેની સામે 10 cm અંતરે રાખેલ વસ્તુનું ત્રણગણું મોટું (વિવર્ણિત) વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ આપે છે. પ્રતિબિંબનું સ્થાન ક્યાં હશે ?



## 10.3 પ્રકાશનું વક્રીભવન (Refraction of Light)



પારદર્શક માધ્યમમાં પ્રકાશ સુરેખ પથ પર ગતિ કરતો જોવા મળે છે. જ્યારે પ્રકાશ એક પારદર્શક માધ્યમમાંથી બીજા પારદર્શક માધ્યમમાં પ્રવેશે છે ત્યારે શું થાય છે ? શું તે હજુ પણ સુરેખ પથ પર ગતિ કરે છે કે પોતાની દિશા બદલે છે ? આપણે આપણા રોજબરોજના કેટલાક અનુભવો યાદ કરીશું.

તમે જોયું હશે કે પાણી ભરેલ ટેન્ક અથવા તળાવની સપાટી ઉપર તરફ ખસેલી (ઊંચકાયેલી) દેખાય છે. તે જ રીતે એક કાચના લંબઘનને મુદ્રિત સાહિત્ય પર રાખી લંબઘનની ઉપરથી જોતાં અક્ષર ઉપર તરફ ખસેલા જોવા મળે છે. આવું કેમ થાય છે ? તમે પાણી ભરેલ ગ્લાસમાં અંશતઃ ડુબાડેલ પેન્સિલ જોઈ છે ? તે હવા તથા પાણીના આંતરપૃષ્ઠ (એટલે કે પાણીની ઉપરની સપાટી) પાસે વાંકી વળેલી જણાય છે. તમે એ પણ જોયું હશે કે, કાચના ગ્લાસમાં રાખેલ લીંબુ તેના વાસ્તવિક માપ કરતાં મોટું દેખાય છે. આ અનુભવો (અવલોકનો)ની સમજૂતી તમે કેવી રીતે આપશો ?

ચાલો આપણે પાણીમાં અંશતઃ ડૂબેલી પેન્સિલ વાંકી દેખાવાના કિસ્સા પર વિચાર કરીએ. પેન્સિલના પાણીમાં ડૂબેલા ભાગ પરથી તમારા સુધી પહોંચતા પ્રકાશનાં કિરણો, પેન્સિલના પાણીથી બહાર રહેલા ભાગની સરખામણીમાં અલગ દિશામાંથી આવતાં જણાય છે. તેના કારણે પેન્સિલ વાંકી વળેલી જણાય છે. આ જ કારણસર અક્ષરોની ઉપર કાચનું ચોસલું રાખીને જોતાં તે ઉપર તરફ ખસેલા જણાય છે.

જો પાણીને બદલે કેરોસીન કે ટર્પેન્ટાઈન જેવા અન્ય કોઈ પ્રવાહીનો ઉપયોગ કરીએ તોપણ પેન્સિલ આટલી જ વાંકી જણાશે ? જો આપણે કાચના લંબઘનને બદલે પારદર્શક પ્લાસ્ટિકના લંબઘનનો ઉપયોગ કરીએ તો ત્યારે પણ અક્ષરો આટલા જ ઉપર ખસેલા જણાશે ? તમે અનુભવશો કે માધ્યમોની અલગ-અલગ જોડ માટે આ અસરની માત્રા અલગ-અલગ છે. આ અવલોકનો દર્શાવે છે કે પ્રકાશ બધાં માધ્યમોમાં એક જ દિશામાં ગતિ કરતો નથી. એવું જોવા મળે છે કે એક માધ્યમમાંથી બીજા



માધ્યમમાં ત્રાંસી રીતે પ્રવેશતાં પ્રકાશનાં ત્રાંસા કિરણના પ્રસરણની દિશા બીજા માધ્યમમાં બદલાઈ જાય છે. આ ઘટનાને પ્રકાશનું વક્રીભવન કહે છે. આ ઘટનાને વિસ્તારપૂર્વક સમજવા માટે આપણે કેટલીક પ્રવૃત્તિઓ કરીએ :

#### પ્રવૃત્તિ 10.7

- પાણીથી ભરેલ ડોલના તળિયે એક સિક્કો મૂકો.
- તમારી આંખોને પાણીની સપાટી ઉપર એક બાજુ રાખીને સિક્કાને એક જ પ્રયત્નમાં ઉઠાવવાનો પ્રયત્ન કરો ? શું તમે સિક્કો ઉઠાવવામાં સફળ થાઓ છો ?
- આ પ્રવૃત્તિનું પુનરાવર્તન કરો. તમે એક જ પ્રયત્નમાં આ કરવામાં સફળ કેમ ન થયા?
- તમારા મિત્રોને આ પ્રવૃત્તિ કરવાનું કહો. તેમની સાથે તમારા અનુભવની સરખામણી કરો.

#### પ્રવૃત્તિ 10.8

- એક મોટા છીછરા કટોરાને ટેબલ પર રાખી તેમાં એક સિક્કો મૂકો.
- કટોરાથી ધીરે-ધીરે દૂર જાઓ. જ્યારે સિક્કો દેખાવાનો બંધ થાય કે તરત જ ત્યાં અટકી જાઓ.
- તમારા મિત્રને સિક્કાને ખલેલ પહોંચાડ્યા સિવાય ધીરે-ધીરે કટોરામાં પાણી ઉમેરવાનું કહો.
- તમારા સ્થાનેથી સિક્કાને જોતા રહો. શું સિક્કો આજ સ્થાનેથી ફરીથી દેખાવા લાગશે ? આ કેવી રીતે શક્ય બને છે ?

કટોરામાં પાણી ભરતાં સિક્કો ફરીથી દેખાવા લાગે છે. પ્રકાશના વક્રીભવનને કારણે સિક્કો પોતાની વાસ્તવિક સ્થિતિથી થોડો ઉપર ખસેલો જોવા મળે છે.

#### પ્રવૃત્તિ 10.9

- ટેબલ પર રાખેલ એક સફેદ કાગળના પાના પર શાહી (ink)ની જાડી સીધી રેખા દોરો.
- આ રેખા પર એક કાચના ચોસલાને એવી રીતે મૂકો કે તેની કોઈ એક ધાર આ રેખા સાથે કોઈ ખૂણો બનાવે.
- ચોસલાની નીચે આવેલ રેખાના ભાગને બાજુઓ પરથી જુઓ. તમને શું દેખાય છે ? શું કાચના ચોસલાની નીચેની રેખા ધારો [(કિનારીઓ edges)] પાસે વાંકી વળેલી દેખાય છે ?
- હવે કાચના ચોસલાને એવી રીતે રાખો કે જેથી તે રેખાને લંબ હોય. હવે તમે શું જુઓ છો ? શું કાચના ચોસલાની નીચે રેખાનો ભાગ વાંકો વળેલો દેખાય છે ?
- રેખાને કાચના ચોસલાની ઉપરથી જુઓ. શું ચોસલાની નીચે રહેલ રેખાનો ભાગ ઉપર ખસેલો જણાય છે ? આવું કેમ થાય છે ?

#### 10.3.1 કાચના લંબઘન ચોસલામાંથી પ્રકાશનું વક્રીભવન

##### (Refraction through a Rectangular Glass Slab)

કાચના લંબઘન ચોસલામાંથી થતા પ્રકાશના વક્રીભવનને સમજવા માટે ચાલો આપણે એક પ્રવૃત્તિ કરીએ :

### પ્રવૃત્તિ 10.10

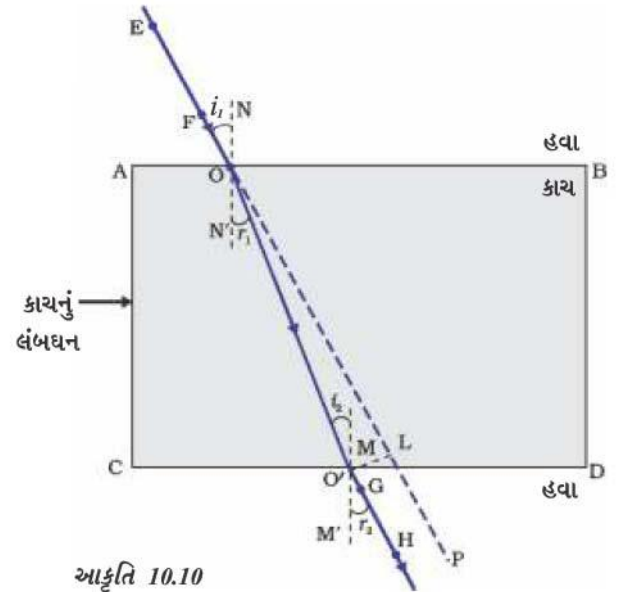
- ડ્રોઈંગ બોર્ડ પર ડ્રોઈંગ પિનોની મદદથી એક સફેદ કાગળનું પાનું લગાડો.
- પાના પર મધ્યમાં એક લંબઘનને મૂકો.
- પેન્સિલથી લંબઘનની સીમાઓ દોરો. તેને ABCD નામ આપીએ.
- ચાર એકસમાન ટાંકણીઓ લો.
- બે ટાંકણીઓ ધારો કે E તથા F ઊર્ધ્વ સમતલમાં એવી રીતે લગાડો કે જેથી તેમને જોડતી રેખા AB ધાર સાથે કોઈ ખૂણો બનાવે.
- ટાંકણીઓ E તથા F નાં પ્રતિબિંબોને વિરુદ્ધ સપાટી પરથી જુઓ. બીજી બે ટાંકણીઓ ધારો કે G તથા H ને એવી રીતે લગાડો કે જેથી આ ટાંકણીઓ તથા E અને F નાં પ્રતિબિંબ એક સીધી રેખા પર આવેલાં હોય.
- ટાંકણીઓ તથા લંબઘનને દૂર કરો.
- ટાંકણીઓ E તથા F ની અણીઓ (tip)ના સ્થાનને જોડો તથા આ રેખાને AB સુધી લંબાવો. ધારો કે EF, ABને બિંદુ O પાસે મળે છે. આ જ રીતે ટાંકણીઓ G તથા H ની અણીઓના સ્થાનને જોડો તથા મળતી રેખાને CD ધાર સુધી લંબાવો. ધારો કે HG, CD ને O' પાસે મળે છે.
- O તથા O' ને જોડો. EF ને પણ P સુધી લંબાવો, જે આકૃતિ 10.10માં તૂટક રેખા વડે દર્શાવેલ છે.

આ પ્રવૃત્તિમાં તમે નોંધો કે પ્રકાશનું કિરણબિંદુ O તથા O' પાસે પોતાની દિશા બદલે છે. નોંધો કે બંને બિંદુ O તથા O' બે પારદર્શી માધ્યમોને છૂટા પાડતી સપાટીઓ પર આવેલા છે. O પાસે ABને લંબ NN' દોરો તથા O' બિંદુએ CDને લંબ MM' દોરો. બિંદુ O પાસે પ્રકાશનું કિરણ પાતળા માધ્યમમાંથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં એટલે કે હવામાંથી કાચમાં પ્રવેશે છે. અહીં નોંધો કે પ્રકાશનું કિરણ લંબ તરફ વાંકું વળે છે. બિંદુ O' પાસે પ્રકાશનું કિરણ કાચમાંથી હવામાં એટલે કે ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પાતળા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે. અહીં પ્રકાશનું કિરણ લંબથી દૂર જાય છે. બંને વક્રીકારક સપાટીઓ AB અને CD પાસે આપાતકોણ તથા વક્રીભવનકોણનાં મૂલ્યોની સરખામણી કરો.

આકૃતિ 10.10માં EO કિરણ સપાટી AB પર ત્રાંસું આપાત થાય છે. તેને આપાતકિરણ કહે છે. OO' વક્રીભૂતકિરણ છે તથા O'H નિર્ગમનકિરણ છે. તમે જોઈ શકો છો કે નિર્ગમનકિરણ, આપાત-કિરણની દિશાને સમાંતર છે. આવું કેમ થાય છે ? કાચના લંબઘન ચોસલાની સામસામેની સપાટીઓ AB (હવા-કાચ આંતરપૃષ્ઠ) તથા CD (કાચ-હવા આંતરપૃષ્ઠ) પર પ્રકાશના કિરણના વાંકા વળવાનું પ્રમાણ સમાન અને વિરુદ્ધ હોય છે. આ જ કારણસર નિર્ગમનકિરણ, આપાતકિરણને સમાંતર હોય છે. જોકે પ્રકાશનું કિરણ થોડું બાજુ પર ખસે છે. જો પ્રકાશનું કિરણ બે માધ્યમોની આંતર સપાટીને લંબરૂપે આપાત થાય તો શું થશે ? જાતે કરો અને શોધો.

હવે તમે પ્રકાશના વક્રીભવનથી પરિચિત છો. પ્રકાશના એક પારદર્શક માધ્યમમાંથી બીજામાં પ્રવેશ કરતી વખતે તેના વેગમાં થતાં ફેરફારને કારણે વક્રીભવનની ઘટના બને છે. પ્રયોગો દર્શાવે છે કે પ્રકાશનું વક્રીભવન નિશ્ચિત નિયમોને આધીન થાય છે.

પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન



આકૃતિ 10.10

કાચના લંબઘન વડે પ્રકાશનું વક્રીભવન

પ્રકાશના વક્રીભવનના નિયમો નીચે પ્રમાણે છે :

- (i) આપાતકિરણ, વક્રીભૂતકિરણ અને બે માધ્યમોની આંતર સપાટીને આપાતબિંદુએ દોરેલો લંબ એક જ સમતલમાં હોય છે.
- (ii) પ્રકાશના આપેલ રંગ તથા માધ્યમોની આપેલ જોડ માટે આપાતકોણના સાઈન અને વક્રીભૂતકોણના સાઈનનો ગુણોત્તર અચળ રહે છે. આ નિયમ સ્નેલના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. જો આપાતકોણ  $i$  અને વક્રીભૂતકોણ  $r$  હોય તો,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{અચળ} \quad (10.4)$$

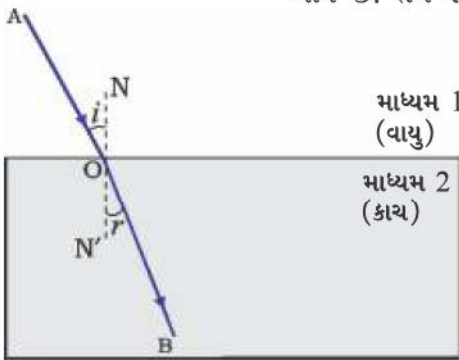
આ અચળ મૂલ્યને પ્રથમ માધ્યમની સાપેક્ષે બીજા માધ્યમનો વક્રીભવનાંક (refractive index) કહે છે. ચાલો વક્રીભવનાંક વિશે થોડું વિસ્તારપૂર્વક અધ્યયન કરીએ.

### 10.3.2 વક્રીભવનાંક (The Refractive Index)

તમે અગાઉ અભ્યાસ કરી ચૂક્યાં છો કે જ્યારે પ્રકાશનું ત્રાંસું કિરણ એક પારદર્શક માધ્યમમાંથી બીજા પારદર્શક માધ્યમમાં પ્રવેશ કરે છે ત્યારે બીજા માધ્યમમાં તે પોતાની દિશા બદલે છે. આપેલ કોઈ બે માધ્યમોની જોડ માટે થતા દિશાના પરિવર્તનની માત્રા (પ્રમાણ)ને વક્રીભવનાંકના પદમાં રજૂ કરવામાં આવે છે, જે સમીકરણ 10.4માં જમણી બાજુ આવતો ‘અચળ’ છે.

જુદાં-જુદાં માધ્યમોમાં પ્રકાશના પ્રસરણની સાપેક્ષ ઝડપ તરીકે ઓળખાતી મહત્વપૂર્ણ ભૌતિકરાશિ સાથે વક્રીભવનાંકને સાંકળી શકાય છે. તેવું જોવા મળે છે કે જુદાં-જુદાં માધ્યમોમાં પ્રકાશ જુદી-જુદી ઝડપે પ્રસરણ પામે છે. પ્રકાશ શૂન્યાવકાશમાં સૌથી વધુ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  ની ઝડપે ગતિ કરે છે. હવામાં પ્રકાશની ઝડપ શૂન્યાવકાશની સાપેક્ષે સહેજ જ ઓછી હોય છે. જ્યારે કાચ કે પાણીમાં તે નોંધપાત્ર પ્રમાણમાં ઘટે છે. બે માધ્યમોની જોડ માટે વક્રીભવનાંકનું મૂલ્ય નીચે દર્શાવ્યા મુજબ બંને માધ્યમોમાં પ્રકાશની ઝડપ પર આધારિત છે.

આકૃતિ 10.11 માં દર્શાવ્યા અનુસાર પ્રકાશના એક કિરણનો વિચાર કરો જે માધ્યમ-1 થી માધ્યમ-2 માં ગતિ કરી રહ્યું છે. ધારો કે માધ્યમ-1માં પ્રકાશની ઝડપ  $v_1$  તથા માધ્યમ-2માં ઝડપ  $v_2$  છે. માધ્યમ-2 નો માધ્યમ-1 ની સાપેક્ષે વક્રીભવનાંક, માધ્યમ-1માં પ્રકાશની ઝડપ તથા માધ્યમ-2માં પ્રકાશની ઝડપના ગુણોત્તર દ્વારા રજૂ કરવામાં આવે છે. જેને  $n_{21}$  સંજ્ઞા વડે રજૂ કરવામાં આવે છે. તેને સમીકરણના સ્વરૂપે નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :



આકૃતિ 10.11

$$n_{21} = \frac{\text{માધ્યમ 1માં પ્રકાશની ઝડપ}}{\text{માધ્યમ 2માં પ્રકાશની ઝડપ}} = \frac{v_1}{v_2} \quad (10.5)$$

આ જ દલીલ મુજબ માધ્યમ-1નો માધ્યમ-2ની સાપેક્ષે વક્રીભવનાંક  $n_{12}$  વડે દર્શાવાય છે. તે નીચે પ્રમાણે આપી શકાય :

$$n_{12} = \frac{\text{માધ્યમ 2માં પ્રકાશની ઝડપ}}{\text{માધ્યમ 1માં પ્રકાશની ઝડપ}} = \frac{v_2}{v_1} \quad (10.6)$$

જો માધ્યમ-1 શૂન્યાવકાશ કે હવા હોય તો માધ્યમ-2નો વક્રીભવનાંક શૂન્યાવકાશની સાપેક્ષે ગણાય છે. તેને માધ્યમનો નિરપેક્ષ વક્રીભવનાંક કહે

છે. તેને ફક્ત  $n_2$  વડે દર્શાવાય છે. જો હવામાં પ્રકાશની ઝડપ  $c$  હોય અને માધ્યમમાં ઝડપ  $v$  હોય, તો માધ્યમનો વક્રીભવનાંક  $n_m$  નીચે પ્રમાણે અપાય છે :

$$n_m = \frac{\text{હવામાં પ્રકાશની ઝડપ}}{\text{માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપ}} = \frac{c}{v} \quad (10.7)$$

માધ્યમના નિરપેક્ષ વક્રીભવનાંકને ફક્ત વક્રીભવનાંક કહે છે. કોષ્ટક 10.3 માં કેટલાંક માધ્યમોના વક્રીભવનાંકો દર્શાવેલ છે. કોષ્ટક પરથી તમે જાણી શકો છો કે, પાણીનો વક્રીભવનાંક  $n_w = 1.33$  છે. તેનો અર્થ એ થયો કે હવામાં પ્રકાશની ઝડપ તથા પાણીમાં પ્રકાશની ઝડપનો ગુણોત્તર 1.33 છે. તે જ રીતે કાઉન કાચનો વક્રીભવનાંક  $n_g = 1.52$  છે. આ પ્રકારની માહિતી ઘણી જગ્યાએ ઉપયોગી થાય છે. જોકે તમારે આ માહિતી યાદ રાખવાની જરૂર નથી.

**કોષ્ટક 10.3** કેટલાંક દ્રવ્ય માધ્યમોના નિરપેક્ષ વક્રીભવનાંક

| દ્રવ્ય માધ્યમ<br>(Material medium) | વક્રીભવનાંક | દ્રવ્ય માધ્યમ<br>(Material medium) | વક્રીભવનાંક |
|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| વાયુ                               | 1.0003      | કેનેડા બાલસમ                       | 1.53        |
| બરફ                                | 1.31        | ખનિજ મીઠું                         | 1.54        |
| પાણી                               | 1.33        | કાર્બન ડાઇસલ્ફાઇડ                  | 1.63        |
| આલ્કોહોલ                           | 1.36        | સઘન (dense) ફ્લિન્ટ કાચ            | 1.65        |
| કેરોસીન                            | 1.44        | રૂબી (મણિકા)                       | 1.71        |
| ફ્યુઝલ ક્વાર્ટઝ                    | 1.46        | નીલમ                               | 1.77        |
| ટર્પેન્ટાઇન તેલ                    | 1.47        | હીરો                               | 2.42        |
| બેન્ઝિન                            | 1.50        |                                    |             |
| કાઉન કાચ                           | 1.52        |                                    |             |

કોષ્ટક 10.3 પરથી નોંધો કે પ્રકાશીય દૃષ્ટિએ વધુ ઘટ્ટ માધ્યમ, વધુ દળ ધનતા ધરાવતું હોવું જરૂરી નથી. ઉદાહરણ તરીકે કેરોસીનનો વક્રીભવનાંક પાણી કરતાં વધારે હોવાથી તે પ્રકાશીય દૃષ્ટિએ પાણી કરતાં વધુ ઘટ્ટ છે છતાં તેની દળ ધનતા પાણી કરતાં ઓછી છે.

વધુ જાણવા જેવું!

કોઈ માધ્યમ દ્વારા પ્રકાશને વક્રીભૂત કરવાની ક્ષમતાને તેની પ્રકાશીય ઘનતા દ્વારા પણ રજૂ કરી શકાય છે. પ્રકાશીય ઘનતાને ચોક્કસ સૂચિતાર્થ છે. તે દળ ધનતા જેવું જ નથી. આ પ્રકરણમાં આપણે ‘પાતળું માધ્યમ’ તથા ‘ઘટ્ટ માધ્યમ’ શબ્દોનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. વાસ્તવમાં તેનો અર્થ અનુક્રમે ‘પ્રકાશીય પાતળું માધ્યમ’ તથા ‘પ્રકાશીય ઘટ્ટ માધ્યમ’ છે. આપણે ક્યારે એમ કહી શકીએ કે, કોઈ માધ્યમ બીજા માધ્યમની સાપેક્ષે પ્રકાશીય ઘટ્ટ છે ? બે માધ્યમોની સરખામણી કરતી વખતે વધારે વક્રીભવનાંક ધરાવતું માધ્યમ બીજા માધ્યમની સાપેક્ષે પ્રકાશીય ઘટ્ટ છે. જ્યારે બીજું ઓછો વક્રીભવનાંક ધરાવતું માધ્યમ પ્રકાશીય પાતળું માધ્યમ છે. પાતળા માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપ ઘટ્ટ માધ્યમની સાપેક્ષે વધારે હોય છે. આમ પાતળા માધ્યમમાંથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં જતી વખતે પ્રકાશનું કિરણ ધીમું પડે છે તથા લંબ તરફ વાંકું વળે છે. જ્યારે તે ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પાતળા માધ્યમમાં જાય છે ત્યારે તેની ઝડપ વધી જાય છે તથા તે લંબથી દૂર જાય છે.



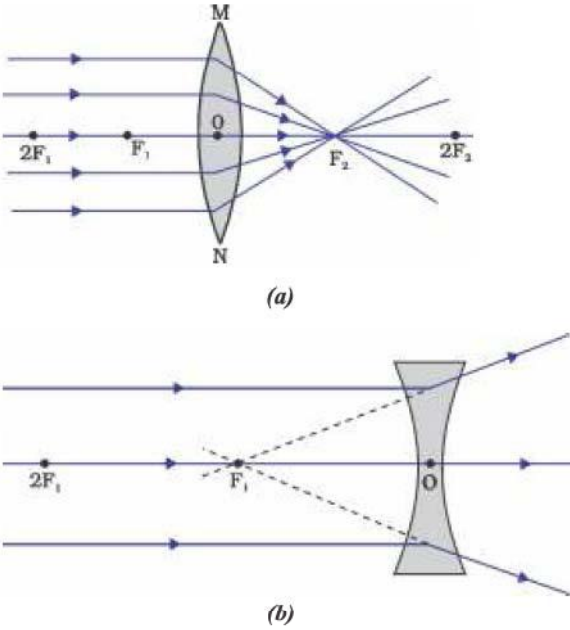
## પ્રશ્નો

1. હવામાં ગતિ કરતું પ્રકાશનું કિરણ પાણીમાં ત્રાંસું પ્રવેશે છે. શું પ્રકાશનું કિરણ લંબ તરફ વાંકું વળશે કે લંબથી દૂર જશે ? કેમ ?
2. પ્રકાશ હવામાંથી 1.50 વક્રીભવનાંક ધરાવતી કાચની પ્લેટમાં પ્રવેશે છે. કાચમાં પ્રકાશની ઝડપ કેટલી હશે ? શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ  $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  છે.
3. કોષ્ટક 10.3 માંથી સૌથી વધુ પ્રકાશીય ઘનતા ધરાવતું માધ્યમ શોધો. લઘુત્તમ પ્રકાશીય ઘનતા ધરાવતું માધ્યમ પણ શોધો.
4. તમને કેરોસીન, ટર્પેન્ટાઇન તથા પાણી આપેલ છે. આ પૈકી શેમાં પ્રકાશ સૌથી વધુ ઝડપથી ગતિ કરશે ? કોષ્ટક 10.3 માં આપેલ માહિતીનો ઉપયોગ કરો.
5. હીરાનો વક્રીભવનાંક 2.42 છે. આ વિધાનનો શું અર્થ થાય ?



### 10.3.3 ગોળીય લેન્સ દ્વારા થતું વક્રીભવન (Refraction by Spherical Lenses)

ઘડિયાળીને અત્યંત સૂક્ષ્મ ભાગોને જોવા માટે મેગ્નિફાઇંગ ગ્લાસ (બિલોરી કાચ)નો ઉપયોગ કરતો તમે જોયો હશે. શું તમે આવા મેગ્નિફાઇંગ ગ્લાસની સપાટીને તમારા હાથ વડે સ્પર્શ કર્યો છે ખરો ? તે સમતલ સપાટી છે કે વક્ર ? શું એ મધ્યમાં જાડો છે કે ધાર પાસે ? ચશ્માંમાં વપરાતા કાચ અને ઘડિયાળી જે કાચ ઉપયોગમાં લે છે તે લેન્સનાં ઉદાહરણો છે. લેન્સ શું છે ? તે પ્રકાશનાં કિરણોને કેવી રીતે વાંકાં વાળે છે ? આપણે આ વિભાગમાં આ અંગેની ચર્ચા કરીશું.



આકૃતિ 10.12

(a) બહિર્ગોળ લેન્સનું અભિસરણ કાર્ય (b) અંતર્ગોળ લેન્સનું અપસરણ કાર્ય

જેની એક અથવા બંને સપાટીઓ વક્ર હોય, તેવું પારદર્શક દ્રવ્ય લેન્સની રચના કરે છે. આનો અર્થ એ થયો કે લેન્સ ઓછામાં ઓછી એક વક્રસપાટી વડે ઘેરાયેલો છે. આવા લેન્સની બીજી સપાટી સમતલ હોય છે. લેન્સની બંને સપાટીઓ બહારની તરફ ઉપસેલી હોય તો તેને દ્વિ-બહિર્ગોળ લેન્સ કહે છે. તેને સામાન્ય રીતે બહિર્ગોળ લેન્સ કહે છે. આ લેન્સ કિનારીની સાપેક્ષે મધ્યમાંથી જાડો હોય છે. બહિર્ગોળ લેન્સ પ્રકાશનાં કિરણોનું આકૃતિ 10.12 (a)માં દર્શાવ્યા અનુસાર અભિસરણ કરે છે. તેથી બહિર્ગોળ લેન્સને અભિસારી લેન્સ પણ કહે છે. આ જ પ્રમાણે દ્વિ-અંતર્ગોળ લેન્સની બંને સપાટીઓ અંદર તરફ વળેલી હોય છે. તે મધ્ય કરતાં છેડાઓ પાસેથી જાડો હોય છે. આવા લેન્સ પ્રકાશનાં કિરણોનું આકૃતિ 10.12 (b)માં દર્શાવ્યા અનુસાર અપસરણ કરે છે. આવા લેન્સને અપસારી લેન્સ પણ કહે છે. દ્વિ-અંતર્ગોળ લેન્સને સામાન્ય રીતે અંતર્ગોળ લેન્સ કહે છે.

બહિર્ગોળ અથવા અંતર્ગોળ લેન્સને બે વક્રસપાટીઓ હોય છે. આ દરેક વક્રસપાટી ગોળાનો જ એક ભાગ હોય છે. આ ગોળાઓનાં કેન્દ્રોને લેન્સનાં વક્રતાકેન્દ્રો કહે છે. સામાન્ય રીતે લેન્સના વક્રતાકેન્દ્રને મૂળાક્ષર C વડે દર્શાવવામાં આવે છે. લેન્સને બે વક્રતાકેન્દ્રો હોવાથી આપણે તેમને

$C_1$  અને  $C_2$  વડે દર્શાવીએ છીએ. લેન્સના બંને વક્રતાકેન્દ્રોમાંથી પસાર થતી કાલ્પનિક રેખાને તેની મુખ્ય અક્ષ કહે છે. લેન્સના કેન્દ્રબિંદુને તેનું પ્રકાશીય કેન્દ્ર કહે છે. તેને સામાન્ય રીતે મૂળાક્ષર O વડે દર્શાવાય છે. લેન્સના પ્રકાશીય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતાં પ્રકાશનું કિરણ કોઈ પણ પ્રકારનું વિચલન અનુભવ્યા સિવાય પસાર થાય છે. ગોળીય લેન્સની વર્તુળાકાર કિનારીના અસરકારક વ્યાસને લેન્સનું મુખ (aperture) કહે છે. આપણે આ પ્રકરણમાં આપણી ચર્ચા એવા જ લેન્સ પૂરતી મર્યાદિત રાખીશું કે જેનું મુખ (aperture) તેની વક્રતાત્રિજ્યા કરતાં ઘણું નાનું હોય. આવા લેન્સને નાના મુખવાળા પાતળા લેન્સ કહે છે. જ્યારે લેન્સ પર પ્રકાશનાં સમાંતર કિરણો આપાત કરવામાં આવે છે ત્યારે શું થાય છે ? આ સમજવા માટે ચાલો એક પ્રવૃત્તિ કરીએ.

### પ્રવૃત્તિ 10.11

**ચેતવણી :** આ પ્રવૃત્તિ કરતી વખતે સૂર્યને સીધો નરી આંખે કે લેન્સમાંથી જોવો નહિ. એમ કરવાથી તમારી આંખને નુકસાન થઈ શકે છે.

- લેન્સને સૂર્ય તરફ રાખીને હાથ વડે પકડી રાખો.
- એક કાગળ પર સૂર્યમાંથી આવતાં કિરણોને કેન્દ્રિત કરો. સૂર્યનું તીક્ષ્ણ અને પ્રકાશિત પ્રતિબિંબ મેળવો.
- આ સ્થિતિમાં કાગળ અને લેન્સને થોડો સમય પકડી રાખો. કાગળનું નિરીક્ષણ કરતાં રહો. શું થાય છે ? કેમ ? પ્રવૃત્તિ 10.2 માં તમારા અનુભવને યાદ કરો.

કાગળ ધુમાડો ઉત્પન્ન કરી સળગવાનું શરૂ કરે છે. થોડા સમય પછી તેમાં આગ પણ લાગી શકે છે. આવું શાથી થયું ? સૂર્યમાંથી આવતો પ્રકાશ સમાંતર કિરણો રચે છે. આ કિરણો લેન્સ દ્વારા કાગળ પરના એક તીવ્ર પ્રકાશિત ટપકા પર કેન્દ્રિત થયેલાં છે. ખરેખર તમને કાગળ પર મળતું પ્રકાશિત ટપકું, સૂર્યનું વાસ્તવિક પ્રતિબિંબ છે. સૂર્યપ્રકાશના આ બિંદુ પાસે થતા કેન્દ્રીકરણે ઉષ્મા ઉત્પન્ન કરી. તેના કારણે કાગળ સળગી ઊઠે છે.

હવે આપણે લેન્સના મુખ્ય અક્ષને સમાંતર કિરણો ધ્યાનમાં લઈશું. આવાં કિરણોને તમે લેન્સમાંથી પસાર કરશો તો શું થશે ? આ બહિર્ગોળ લેન્સ માટે આકૃતિ 10.12 (a) તથા અંતર્ગોળ લેન્સ માટે આકૃતિ 10.12 (b)માં દર્શાવેલ છે.

આકૃતિ 10.12 (a)ને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ. મુખ્ય અક્ષને સમાંતર એવાં અનેક કિરણો લેન્સ પર આપાત થાય છે. આ કિરણો લેન્સમાંથી વક્રીભવન પામ્યા બાદ મુખ્ય અક્ષ પર એક બિંદુ પાસે કેન્દ્રિત થાય છે. મુખ્ય અક્ષ પરના આ બિંદુને લેન્સનું મુખ્ય કેન્દ્ર કહે છે. ચાલો, હવે અંતર્ગોળ લેન્સ માટેની ક્રિયા જોઈએ.

આકૃતિ 10.12 (b) ને ધ્યાનપૂર્વક જુઓ. મુખ્ય અક્ષને સમાંતર એવાં અનેક કિરણો અંતર્ગોળ લેન્સ પર આપાત થાય છે. આ કિરણો લેન્સમાંથી વક્રીભવન પામી મુખ્ય અક્ષ પરના કોઈ એક બિંદુમાંથી અપસરણ પામતા હોય તેમ જણાય છે. મુખ્ય અક્ષ પરના આ બિંદુને અંતર્ગોળ લેન્સનું મુખ્ય કેન્દ્ર કહે છે.

જો તમે લેન્સની બીજી બાજુએથી સમાંતર કિરણો પસાર કરો તો તમને વિરુદ્ધ બાજુ લેન્સનું બીજું મુખ્ય કેન્દ્ર મળશે. લેન્સનાં મુખ્ય કેન્દ્રને દર્શાવવા માટે સામાન્ય રીતે મૂળાક્ષર Fનો ઉપયોગ થાય છે. જોકે લેન્સને બે મુખ્ય કેન્દ્રો હોય છે. તેમને  $F_1$  અને  $F_2$  વડે દર્શાવાય છે. પ્રકાશીય કેન્દ્રથી મુખ્ય કેન્દ્ર સુધીના અંતરને લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ કહે છે. કેન્દ્રલંબાઈને દર્શાવવા માટે મૂળાક્ષર  $f$ નો ઉપયોગ થાય છે. તમે બહિર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ કેવી રીતે શોધશો ? પ્રવૃત્તિ 10.11 ને પુનઃ યાદ કરો. આ પ્રવૃત્તિમાં લેન્સના સ્થાન અને સૂર્યના પ્રતિબિંબના સ્થાન વચ્ચેનું અંતર લેન્સની આશરે કેન્દ્રલંબાઈ આપે છે.

પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન

### 10.3.4 લેન્સ દ્વારા પ્રતિબિંબની રચના (Image Formation by Lenses)

લેન્સ પ્રકાશનું વક્રીભવન કરીને પ્રતિબિંબ રચે છે. લેન્સ પ્રતિબિંબ કેવી રીતે રચે છે ? તેનો પ્રકાર કેવો છે ? ચાલો, પહેલાં બહિર્ગોળ લેન્સ માટે આનો અભ્યાસ કરીએ.

#### પ્રવૃત્તિ 10.12

- એક બહિર્ગોળ લેન્સ લો. પ્રવૃત્તિ 10.11 માં વર્ણવ્યા પ્રમાણે તેની આશરે કેન્દ્રલંબાઈ શોધો.
- એક લાંબા ટેબલ પર ચોક્ક વડે પાંચ સમાંતર રેખાઓ એવી રીતે દોરો કે ક્રમિક રેખાઓ વચ્ચેનું અંતર લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ જેટલું હોય.
- લેન્સને લેન્સ-સ્ટેન્ડમાં મૂકો. સ્ટેન્ડને મધ્યમાં આવેલી રેખા પર એવી રીતે ગોઠવો કે જેથી લેન્સનું પ્રકાશીય કેન્દ્ર બરોબર રેખા પર આવે.
- લેન્સની બંને બાજુએ આવેલી રેખાઓ અનુક્રમે લેન્સના  $F$  અને  $2F$  ને અનુરૂપ છે. આ રેખાઓને અનુક્રમે  $2F_1$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  અને  $2F_2$  વડે દર્શાવો.
- એક સળગતી મીણબત્તીને ડાબી બાજુ  $2F_1$  થી ઘણા દૂર અંતરે ગોઠવો. લેન્સની બીજી તરફ તેનું સ્પષ્ટ અને તીક્ષ્ણ પ્રતિબિંબ પડદા પર મેળવો.
- પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ (પરિમાણ) નોંધો.
- વસ્તુને  $2F_1$  થી થોડી જ દૂર,  $F_1$  અને  $2F_1$  ની વચ્ચે,  $F_1$  પર તથા  $F_1$  અને  $O$  ની વચ્ચે રાખી આ પ્રવૃત્તિનું પુનરાવર્તન કરો. તમારાં અવલોકનોને કોષ્ટકમાં નોંધો.

બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા વસ્તુના જુદાં-જુદાં સ્થાનો માટે મળતા પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ (સાપેક્ષ પરિમાણ) કોષ્ટક 10.4 માં દર્શાવ્યા છે.

**કોષ્ટક 10.4** બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા વસ્તુનાં જુદાં-જુદાં સ્થાનો માટે મળતાં પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ

| વસ્તુનું સ્થાન  | પ્રતિબિંબનું સ્થાન  | પ્રતિબિંબનું સાપેક્ષ પરિમાણ   | પ્રતિબિંબનો પ્રકાર   |
|---|---|---|--|
| અનંત અંતરે<br>$2F_1$ થી દૂર<br>$2F_1$ પર<br>$F_1$ અને $2F_1$ ની વચ્ચે<br>મુખ્ય કેન્દ્ર $F_1$ પર | મુખ્ય કેન્દ્ર $F_2$ પર<br>$F_2$ અને $2F_2$ ની વચ્ચે<br>$2F_2$ પર<br>$2F_2$ થી દૂર<br>અનંત અંતરે | અત્યંત નાનું બિંદુવત્<br>નાનું<br>તે જ માપનું<br>મોટું<br>અત્યંત મોટું અથવા ખૂબ<br>વિવર્ધિત | વાસ્તવિક અને ઊલટું<br>વાસ્તવિક અને ઊલટું<br>વાસ્તવિક અને ઊલટું<br>વાસ્તવિક અને ઊલટું<br>વાસ્તવિક અને ઊલટું |
| મુખ્ય કેન્દ્ર $F_1$ અને<br>પ્રકાશીય કેન્દ્ર $O$ ની<br>વચ્ચે                                     | વસ્તુ લેન્સની જે<br>તરફ હોય તે જ<br>બાજુ તરફ  | વિવર્ધિત  | આભાસી અને ચતું   |

ચાલો, હવે અંતર્ગોળ લેન્સ માટે પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપનો અભ્યાસ કરવા માટેની પ્રવૃત્તિ કરીએ.

### પ્રવૃત્તિ 10.13

- એક અંતર્ગોળ લેન્સ લો. તેને લેન્સ-સ્ટેન્ડ પર મૂકો.
- સળગતી મીણબત્તીને લેન્સની કોઈ એક તરફ મૂકો.
- લેન્સની બીજી તરફથી લેન્સ મારફતે પ્રતિબિંબનું અવલોકન કરો. પ્રતિબિંબને જો શક્ય હોય તો કોઈ પડદા પર મેળવવાનો પ્રયત્ન કરો. જો શક્ય ન હોય, તો પ્રતિબિંબને સીધું લેન્સમાંથી જુઓ.
- પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ નોંધો.
- મીણબત્તીને લેન્સથી દૂર ખસેડો. પ્રતિબિંબના કદમાં થતો ફેરફાર નોંધો. જ્યારે મીણબત્તીને લેન્સથી ઘણી દૂર મૂકવામાં આવે ત્યારે પ્રતિબિંબનું કદ કેવું બને છે ?

આ પ્રવૃત્તિનો સારાંશ નીચેના કોષ્ટક 10.5 માં આપેલ છે :

કોષ્ટક 10.5 અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા વસ્તુના જુદાં-જુદાં સ્થાનો માટે મળતાં પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ

| વસ્તુનું સ્થાન                                    | પ્રતિબિંબનું સ્થાન                                  | પ્રતિબિંબનું સાપેક્ષ માપ | પ્રતિબિંબનો પ્રકાર |
|---|---|--------------------------|--------------------|
| અનંત અંતરે  | મુખ્ય કેન્દ્ર $F_1$ પર                              | અત્યંત સૂક્ષ્મ, બિંદુવત્ | આભાસી અને ચતું     |
| અનંત અંતર અને લેન્સના પ્રકાશીય કેન્દ્ર O ની વચ્ચે | મુખ્ય કેન્દ્ર $F_1$ અને પ્રકાશીય કેન્દ્ર O ની વચ્ચે | નાનું                    | આભાસી અને ચતું     |

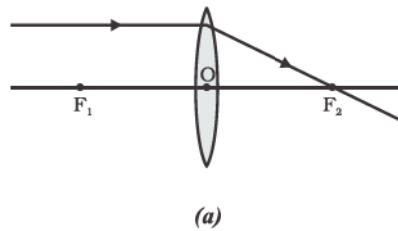
આ પ્રવૃત્તિ પરથી તમે શું નિષ્કર્ષ તારવ્યો ? વસ્તુનું સ્થાન ગમે ત્યાં હોય તોપણ અંતર્ગોળ લેન્સ હંમેશાં આભાસી, ચતું અને નાનું પ્રતિબિંબ આપે છે.

#### 10.3.5 કિરણાકૃતિના ઉપયોગ દ્વારા લેન્સ વડે રચાતાં પ્રતિબિંબનું નિરૂપણ

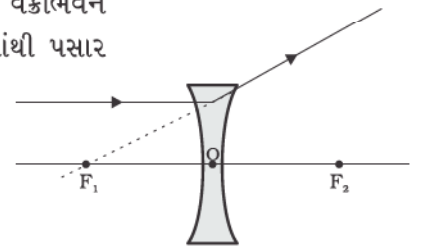
##### (Image Formation in Lenses Using Ray Diagrams)

આપણે લેન્સ વડે રચાતા પ્રતિબિંબને કિરણાકૃતિ દ્વારા પણ દર્શાવી શકીએ. કિરણાકૃતિ આપણને લેન્સ વડે રચાતા પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને સાપેક્ષ માપ જાણવામાં હંમેશાં મદદરૂપ થાય છે. લેન્સ માટે કિરણાકૃતિ દોરવા માટે આપણે વક્ર અરીસાની જેમ જ નીચેના પૈકી કોઈ પણ બે કિરણોને ધ્યાનમાં લઈશું -

- (i) વસ્તુ પરથી આવતું મુખ્ય અક્ષને સમાંતર પ્રકાશનું કિરણ બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા વક્રીભવન પામી આકૃતિ 10.13 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે લેન્સની બીજી તરફના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થાય છે. અંતર્ગોળ લેન્સના કિસ્સામાં આકૃતિ 10.13 (b) માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કિરણ લેન્સની તે જ બાજુ પરના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી અપસરણ પામતું હોય તેવો ભાસ થાય છે.



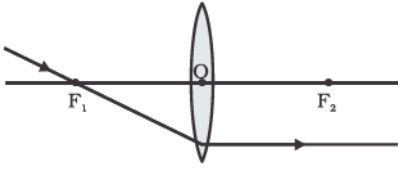
(a)



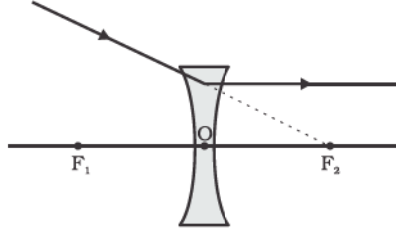
(b)

આકૃતિ 10.13



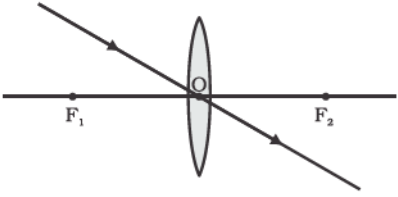


(a)

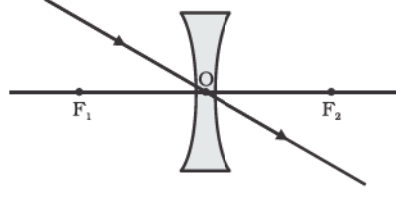


(b)

આકૃતિ 10.14



(a)



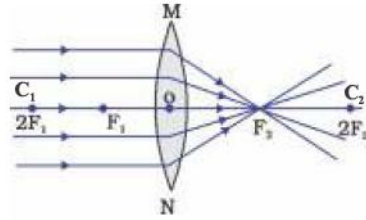
(b)

આકૃતિ 10.15

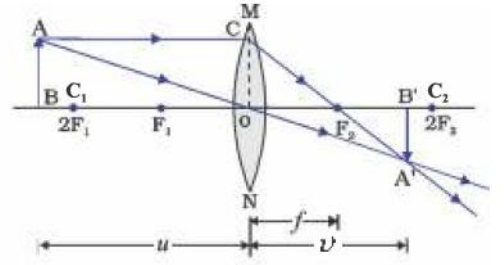
(ii) બહિર્ગોળ લેન્સના મુખ્ય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ લેન્સમાંથી વક્રીભવન પામી આકૃતિ 10.14 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મુખ્ય અક્ષને સમાંતર નિર્ગમન પામે છે. અંતર્ગોળ લેન્સના કિસ્સામાં આકૃતિ 10.14 (b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે લેન્સના મુખ્ય કેન્દ્ર તરફ જતું લાગે તેવું આપાતકિરણ લેન્સમાંથી વક્રીભવન પામી મુખ્ય અક્ષને સમાંતર નિર્ગમન પામે છે.

(iii) લેન્સના પ્રકાશીય કેન્દ્રમાંથી પસાર થતું કિરણ વિચલન પામ્યા સિવાય નિર્ગમન પામે છે. જે આકૃતિ 10.15 (a) તથા 10.15 (b)માં દર્શાવ્યું છે.

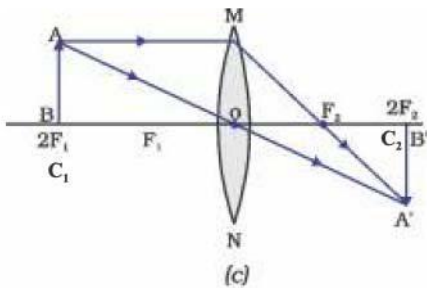
બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા કેટલાંક જુદાં-જુદાં વસ્તુસ્થાન માટે પ્રતિબિંબની રચના દર્શાવતી કિરણાકૃતિઓ આકૃતિ 10.16 માં દર્શાવી છે. અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા કેટલાંક જુદાં-જુદાં વસ્તુસ્થાન માટે પ્રતિબિંબની રચના દર્શાવતી કિરણાકૃતિઓ આકૃતિ 10.17 માં દર્શાવેલ છે.



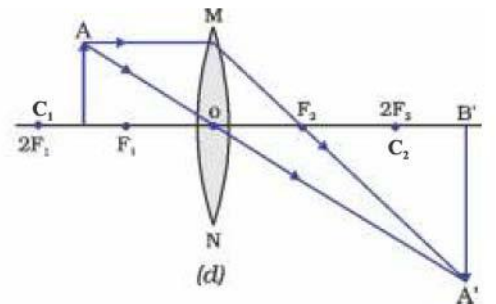
(a)



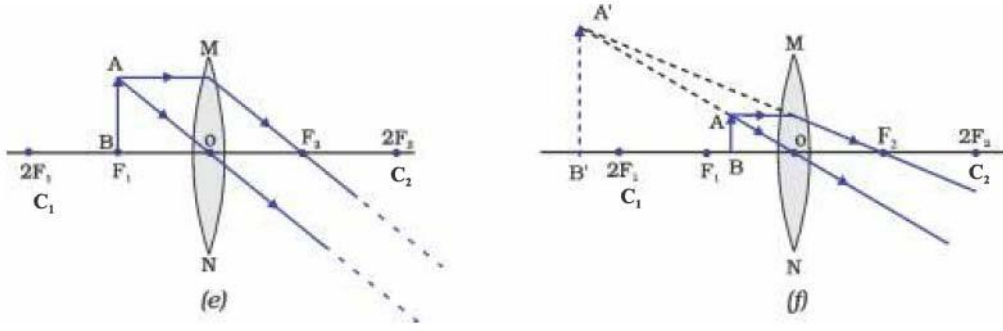
(b)



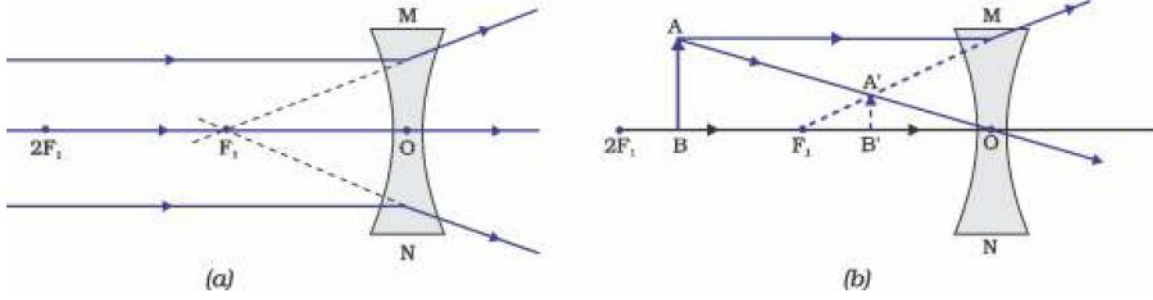
(c)



(d)



આકૃતિ 10.16 બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા વસ્તુનાં જુદાં-જુદાં સ્થાન માટે મળતાં પ્રતિબિંબનાં સ્થાન, પરિમાણ અને પ્રકાર



આકૃતિ 10.17 અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા મળતાં પ્રતિબિંબનાં સ્થાન, પરિમાણ અને પ્રકાર

### 10.3.6 ગોળીય લેન્સ માટે સંજ્ઞા-પ્રણાલી

#### (Sign Convention for Spherical Lenses)

લેન્સ માટે આપણે ગોળીય અરીસા માટે ઉપયોગમાં લીધેલ સંજ્ઞા-પ્રણાલીને જ અનુસરીશું. આ સંજ્ઞા-પ્રણાલીના નિયમો લાગુ પાડીશું સિવાય કે તમામ અંતરોને લેન્સના પ્રકાશીય કેન્દ્રથી માપવામાં આવે છે. સંજ્ઞા-પ્રણાલી પ્રમાણે બહિર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ ધન અને અંતર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ ઋણ છે. તમારે  $u$ ,  $v$ ,  $f$ , વસ્તુઊંચાઈ  $h$  અને પ્રતિબિંબ-ઊંચાઈ  $h'$  માટે યોગ્ય ચિહ્નો વાપરવા માટેની કાળજી રાખવી પડશે.

### 10.3.7 લેન્સ-સૂત્ર અને મોટવણી

#### (Lens Formula and Magnification)

ગોળીય અરીસાની જેમ ગોળીય લેન્સ માટે પણ આપણને સૂત્ર મળે છે. આ સૂત્ર વસ્તુઅંતર ( $u$ ), પ્રતિબિંબ અંતર ( $v$ ) અને કેન્દ્રલંબાઈ ( $f$ ) વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે. લેન્સ-સૂત્ર નીચે મુજબ દર્શાવવામાં આવે છે :

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad (10.8)$$

ઉપર દર્શાવેલ લેન્સ-સૂત્ર વ્યાપક અને કોઈ પણ ગોળીય લેન્સની કોઈ પણ સ્થિતિ માટે સાચું છે. લેન્સ સંબંધિત દાખલાઓ ગણતરી વખતે જુદી-જુદી રાશિઓનાં મૂલ્ય મૂકતી વખતે સંજ્ઞા બાબતે યોગ્ય કાળજી રાખવી જરૂરી છે.

પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન

### મોટવણી (Magnification)

લેન્સ દ્વારા મળતી મોટવણી ગોળીય અરીસાથી મળતી મોટવણીની જેમ જ પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ અને વસ્તુની ઊંચાઈના ગુણોત્તર વડે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. તેને મૂળાક્ષર  $m$  વડે દર્શાવવામાં આવે છે. જો વસ્તુની ઊંચાઈ  $h$  અને લેન્સ વડે મળતાં પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ  $h'$  હોય, તો લેન્સ દ્વારા મળતી મોટવણી,

$$m = \frac{\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ}}{\text{વસ્તુની ઊંચાઈ}} = \frac{h'}{h} \quad (10.9)$$

પૂરતી મળે છે.

લેન્સની મોટવણી વસ્તુઅંતર ( $u$ ) અને પ્રતિબિંબ-અંતર ( $v$ ) સાથે પણ સંબંધિત છે. આ સંબંધ

નીચે મુજબ આપવામાં આવે છે :

$$\text{મોટવણી } (m) = h' / h = v / u \quad (10.10)$$

### ઉદાહરણ 10.3

એક અંતર્ગોળ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ 15 cm છે. વસ્તુને લેન્સથી કેટલા અંતરે રાખવી જોઈએ કે જેથી તેનું પ્રતિબિંબ લેન્સથી 10 cm દૂર મળે ? લેન્સ દ્વારા મળતી મોટવણી પણ શોધો.

#### ઉકેલ

અંતર્ગોળ લેન્સ દ્વારા મળતું પ્રતિબિંબ હંમેશાં આભાસી, ચત્તું અને લેન્સથી વસ્તુ તરફની બાજુએ જ મળે છે.

$$\text{પ્રતિબિંબ અંતર } v = -10 \text{ cm}$$

$$\text{કેન્દ્રલંબાઈ } f = -15 \text{ cm}$$

$$\text{વસ્તુઅંતર } u = (?)$$

$$\text{હવે, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{અથવા, } \frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{u} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{(-15)} = -\frac{1}{10} + \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{u} = \frac{-3 + 2}{30} = \frac{1}{-30}$$

$$\text{અથવા } u = -30 \text{ cm}$$

આમ, વસ્તુઅંતર 30 cm મળે છે.

$$\text{મોટવણી } m = \frac{v}{u}$$

$$m = \frac{-10 \text{ cm}}{-30 \text{ cm}} = \frac{1}{3} \approx +0.33$$

ધન સંજ્ઞા દર્શાવે છે કે પ્રતિબિંબ આભાસી અને ચત્તું છે તથા પ્રતિબિંબનું માપ વસ્તુના માપ કરતાં ત્રીજા ભાગનું છે.

### ઉદાહરણ 10.4

2 cm ઊંચાઈની એક વસ્તુને 10 cm કેન્દ્રલંબાઈના બહિર્ગોળ લેન્સની મુખ્ય અક્ષ પર અક્ષને લંબ રહે તે રીતે મૂકેલી છે. લેન્સથી વસ્તુનું અંતર 15 cm છે. પ્રતિબિંબનો પ્રકાર, સ્થાન અને પરિમાણ શોધો. તેની મોટવણી પણ શોધો.

### ઉકેલ

$$\text{વસ્તુની ઊંચાઈ } h = + 2.0 \text{ cm}$$

$$\text{કેન્દ્રલંબાઈ } f = + 10 \text{ cm}$$

$$\text{વસ્તુઅંતર } u = -15 \text{ cm}$$

$$\text{પ્રતિબિંબઅંતર } v = ?$$

$$\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ } h' = ?$$

$$\text{હવે, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{અથવા, } \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{(-15)} + \frac{1}{10} = -\frac{1}{15} + \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{-2+3}{30} = \frac{1}{30}$$

$$v = + 30 \text{ cm}$$

$v$  ની ધન સંજ્ઞા દર્શાવે છે કે પ્રતિબિંબ પ્રકાશીય કેન્દ્રની બીજી તરફ 30 cm જેટલા અંતરે રચાશે. પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક અને ઊલટું છે.

$$\text{મોટવણી } m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \quad \text{અથવા } h' = h \left( \frac{v}{u} \right)$$

$$\text{પ્રતિબિંબની ઊંચાઈ } h' = 2 \left( \frac{30 \text{ cm}}{-15 \text{ cm}} \right) = - 4.0 \text{ cm}$$

$$\text{મોટવણી } m = \frac{v}{u}$$

$$\text{અથવા } m = \frac{+30 \text{ cm}}{-15 \text{ cm}} = -2$$

$m$  અને  $h'$  નાં ઋણ ચિહ્નો, દર્શાવે છે કે પ્રતિબિંબ વાસ્તવિક અને ઊલટું છે. તે મુખ્ય અક્ષની નીચે તરફ રચાય છે. આમ, 4 cm ઊંચાઈનું વાસ્તવિક અને ઊલટું પ્રતિબિંબ લેન્સની બીજી તરફ 30 cm અંતરે રચાય છે. પ્રતિબિંબ બે ગણું મોટું છે.

### 10.3.8 લેન્સનો પાવર (Power of a Lens)

તમે શીખી ગયાં છો કે પ્રકાશકિરણોનું અભિસરણ કે અપસરણ કરવાની લેન્સની ક્ષમતાનો આધાર તેની કેન્દ્રલંબાઈ પર છે. દા.ત., ટૂંકી કેન્દ્રલંબાઈનો બહિર્ગોળ લેન્સ, પ્રકાશનાં કિરણોને મોટા કોણે વાંકાં વાળે છે અને તેમને પ્રકાશીય કેન્દ્રની નજીક કેન્દ્રિત કરે છે. આ જ પ્રમાણે ટૂંકી કેન્દ્રલંબાઈનો અંતર્ગોળ લેન્સ, મોટી કેન્દ્રલંબાઈના લેન્સ કરતાં વધારે અપસરણ કરે છે. પ્રકાશનાં કિરણોના અભિસરણ કે અપસરણનું પ્રમાણ લેન્સના પાવરના પદમાં દર્શાવવામાં આવે છે. લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈના વ્યસ્તને લેન્સના પાવર તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. તેને મૂળાક્ષર P વડે દર્શાવવામાં આવે છે.  $f$  કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતા લેન્સનો પાવર P,

$$P = \frac{1}{f} \quad (10.11)$$

પ્રકાશ-પરાવર્તન અને વક્રીભવન



લેન્સના પાવરનો SI એકમ ‘ડાયોપ્ટર’ (diopter) છે. તેને મૂળાક્ષર D વડે દર્શાવવામાં આવે છે. જો  $f$  ને મીટરમાં દર્શાવવામાં આવે તો પાવરને ડાયોપ્ટરમાં દર્શાવાય છે. આમ, 1 ડાયોપ્ટર એ એવા લેન્સનો પાવર છે કે જેની કેન્દ્રલંબાઈ 1 મીટર હોય.  $1 D = 1m^{-1}$ . તમે એ નોંધ્યું હશે કે, બહિર્ગોળ લેન્સનો પાવર ધન અને અંતર્ગોળ લેન્સનો પાવર ઋણ છે.

ઓપ્ટિશિયન શુદ્ધિકારક લેન્સને પાવર વડે દર્શાવે છે. ધારો કે સૂચવેલ લેન્સનો પાવર + 2.0 D છે. એનો અર્થ એમ થાય કે સૂચવેલ લેન્સ બહિર્ગોળ લેન્સ છે. આ લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ + 0.5 m છે. આ જ પ્રમાણે - 2.5 D ના લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ - 0.40 m છે. આ લેન્સ અંતર્ગોળ છે.

વધુ જાણવા જેવું !

ઘણાં પ્રકાશીય ઉપકરણોમાં એક કરતાં વધારે લેન્સ હોય છે. પ્રતિબિંબની મોટવણી તથા તીક્ષ્ણતા વધારવા માટે લેન્સનું સંયોજન કરવામાં આવે છે. સંયોજનમાં રાખેલા લેન્સનો કુલ પાવર દરેક લેન્સના વ્યક્તિગત પાવર  $P_1, P_2, P_3, \dots$  ના બૈજક સરવાળા જેટલો હોય છે.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

આંખના ડોક્ટરો માટે કેન્દ્રલંબાઈની જગ્યાએ લેન્સના પાવરનો ઉપયોગ ઘણો અનુકૂળ રહે છે. આંખની તપાસ કરતી વખતે ડોક્ટર ટેસ્ટિંગ માટેની ચશ્માંની ફેમમાં જાણીતા પાવરના જુદાં-જુદાં શુદ્ધિકારક લેન્સ સંપર્કમાં મૂકે છે. ડોક્ટર જરૂરી લેન્સના પાવરની ગણતરી સાદો બૈજક સરવાળો કરીને કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે + 2.0 D અને + 0.25 D ના બે લેન્સોનું સંયોજન + 2.25 D ના એક જ લેન્સને સમતુલ્ય છે. એક લેન્સ દ્વારા ઉદ્ભવતી પ્રતિબિંબની કેટલીક ક્ષતિઓને ઘટાડવા માટે લેન્સના પાવરના સાદા સરવાળાના ગુણધર્મનો ઉપયોગ લેન્સતંત્રની રચનામાં કરી શકાય છે. એક કરતાં વધારે લેન્સ સંપર્કમાં હોય તેવું લેન્સતંત્ર કેમેરાના લેન્સની ડિઝાઇનમાં તથા માઈક્રોસ્કોપ અને ટેલિસ્કોપના વસ્તુકાયમાં ઉપયોગી છે.

### પ્રશ્નો

1. લેન્સના 1 ડાયોપ્ટર પાવરની વ્યાખ્યા આપો.
2. એક બહિર્ગોળ લેન્સ દ્વારા એક સોયનું વાસ્તવિક અને ઊલટું પ્રતિબિંબ લેન્સથી 50 cm દૂર મળે છે. જો પ્રતિબિંબનું પરિમાણ વસ્તુના પરિમાણ જેટલું જ મેળવવું હોય, તો સોયને બહિર્ગોળ લેન્સથી કેટલી દૂર રાખવી જોઈએ ? લેન્સનો પાવર પણ ગણો.
3. 2 m કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતાં અંતર્ગોળ લેન્સનો પાવર શોધો.



### તમે શીખ્યાં કે

- પ્રકાશ સીધી લીટીમાં ગતિ કરતો જણાય છે.
- અરીસા અને લેન્સ વસ્તુઓનાં પ્રતિબિંબો રચે છે. વસ્તુનાં સ્થાન પર આધારિત, પ્રતિબિંબો કાં તો વાસ્તવિક અથવા આભાસી હોય છે.
- દરેક પ્રકારની પરાવર્તક સપાટીઓ પરાવર્તનના નિયમોને અનુસરે છે. વક્રીભવનકારક સપાટીઓ વક્રીભવનના નિયમોને અનુસરે છે.
- ગોળીય અરીસા અને લેન્સ માટે નવી કાર્તેઝિય સંજ્ઞાપદ્ધતિને અનુસરવામાં આવે છે.

- અરીસાનું સૂત્ર  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  ગોળીય અરીસા માટે વસ્તુઅંતર ( $u$ ), પ્રતિબિંબ અંતર ( $v$ ) અને કેન્દ્રલંબાઈ ( $f$ ) વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે.
- ગોળીય અરીસાની કેન્દ્રલંબાઈ તેની વક્રતાત્રિજ્યા કરતાં અડધી હોય છે.
- ગોળીય અરીસા વડે મળતા પ્રતિબિંબની મોટવણી પ્રતિબિંબ ઊંચાઈ અને વસ્તુ-ઊંચાઈના ગુણોત્તર જેટલી હોય છે.
- પ્રકાશનું ત્રાંસું કિરણ ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પાતળા માધ્યમમાં પ્રવેશે છે ત્યારે લંબથી દૂર તરફ વાંકું વળે છે. પ્રકાશનું ત્રાંસું કિરણ પાતળા માધ્યમમાંથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં પ્રવેશે છે ત્યારે લંબ તરફ વાંકું વળે છે.
- પ્રકાશ શૂન્યાવકાશમાં  $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  જેટલી પ્રચંડ ઝડપથી ગતિ કરે છે. જુદાં-જુદાં માધ્યમમાં પ્રકાશનો વેગ જુદો-જુદો હોય છે.
- પારદર્શક માધ્યમનો વકીભવનાંક, શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશની ઝડપ અને તે પારદર્શક માધ્યમમાં પ્રકાશની ઝડપના ગુણોત્તર જેટલો હોય છે.
- કાચના લંબઘન ચોસલાના કિસ્સામાં, હવા-કાચ આંતરપૃષ્ઠ અને કાચ-હવા આંતરપૃષ્ઠ એમ બંને સપાટી પાસે વકીભવન થાય છે. નિર્ગમન કિરણ આપાતકિરણને સમાંતર દિશામાં હોય છે.
- લેન્સ સૂત્ર  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  ગોળીય લેન્સ માટે વસ્તુઅંતર ( $u$ ), પ્રતિબિંબ અંતર ( $v$ ) અને કેન્દ્રલંબાઈ ( $f$ ) વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે.
- લેન્સનો પાવર તેની કેન્દ્રલંબાઈના વ્યસ્ત જેટલો હોય છે. લેન્સના પાવરનો SI એકમ ડાયોપ્ટર છે.

## સ્વાધ્યાય

- નીચેનાં દ્રવ્યો પૈકી લેન્સ બનાવવા માટે કયા દ્રવ્યનો ઉપયોગ થઈ શકે નહિ ?  
 (a) પાણી (b) કાચ (c) પ્લાસ્ટિક (d) માટી (clay)
- એક અંતર્ગોળ અરીસા વડે મળતું પ્રતિબિંબ આભાસી, ચતું અને વસ્તુ કરતાં મોટું દેખાય છે. વસ્તુનું સ્થાન ક્યાં હશે ?  
 (a) મુખ્ય કેન્દ્ર અને વક્રતાકેન્દ્રની વચ્ચે (b) વક્રતાકેન્દ્ર પર  
 (c) વક્રતાકેન્દ્રની પાછળ (d) અરીસાના ધ્રુવ અને મુખ્ય કેન્દ્રની વચ્ચે
- બહિર્ગોળ લેન્સની સામે વસ્તુને ક્યાં રાખતાં તેનું સાચું અને વસ્તુના પરિમાણ જેટલું જ પ્રતિબિંબ મળે ?  
 (a) લેન્સના મુખ્ય કેન્દ્ર પર (b) કેન્દ્રલંબાઈ કરતાં બમણાં અંતરે  
 (c) અનંત અંતરે (d) લેન્સના પ્રકાશીય કેન્દ્ર અને મુખ્ય કેન્દ્રની વચ્ચે
- એક ગોળીય અરીસા અને એક પાતળા ગોળીય લેન્સ દરેકની કેન્દ્રલંબાઈ – 15 cm છે. અરીસો અને લેન્સ  
 (a) બંને અંતર્ગોળ (b) બંને બહિર્ગોળ  
 (c) અરીસો અંતર્ગોળ અને લેન્સ બહિર્ગોળ (d) અરીસો બહિર્ગોળ અને લેન્સ અંતર્ગોળ ..... હશે.



5. અરીસાની સામે તમે ગમે ત્યાં ઊભા રહો છતાં તમારું પ્રતિબિંબ ચતુર્થ મળે છે, તો આ અરીસો  
(a) માત્ર સમતલ (b) માત્ર અંતર્ગોળ (c) માત્ર બહિર્ગોળ (d) સમતલ અથવા બહિર્ગોળ ..... હશે.
6. શબ્દકોશમાં જોવા મળતાં નાના અક્ષરોને વાંચવા માટે તમે નીચેના પૈકી કયો લેન્સ પસંદ કરશો ?  
(a) 50 cm કેન્દ્રલંબાઈનો બહિર્ગોળ લેન્સ (b) 50 cm કેન્દ્રલંબાઈનો અંતર્ગોળ લેન્સ  
(c) 5 cm કેન્દ્રલંબાઈનો બહિર્ગોળ લેન્સ (d) 5 cm કેન્દ્રલંબાઈનો અંતર્ગોળ લેન્સ
7. આપણે 15 cm કેન્દ્રલંબાઈના અંતર્ગોળ અરીસાનો ઉપયોગ કરી એક વસ્તુનું ચતુર્થ પ્રતિબિંબ મેળવવા માંગીએ છીએ. અરીસાથી વસ્તુઅંતરનો વિસ્તાર (Range) કેટલો હોવો જોઈએ ? પ્રતિબિંબનો પ્રકાર કેવો હશે ? પ્રતિબિંબ વસ્તુ કરતાં મોટું હશે કે નાનું ? આ કિસ્સામાં પ્રતિબિંબ-નિર્માણ દર્શાવતી કિરણાકૃતિ દોરો.
8. નીચેની પરિસ્થિતિઓમાં કયા અરીસા વપરાય છે તે જણાવો :  
(a) કારની હેડલાઈટ  
(b) વાહનની પાછળનું દૃશ્ય જોવા માટેનો અરીસો  
(c) સોલાર ભટ્ટી  
તમારો જવાબ કારણ સહિત જણાવો.
9. બહિર્ગોળ લેન્સના અડધા ભાગને કાળા પેપર વડે ઢાંકી દેવામાં આવ્યો છે. શું આ લેન્સ વસ્તુનું સંપૂર્ણ પ્રતિબિંબ આપશે ? તમારું પરિણામ પ્રાયોગિક રીતે પણ ચકાસો. તમારું અવલોકન સમજાવો.
10. 5 cm લંબાઈની એક વસ્તુને 10 cm કેન્દ્રલંબાઈના અભિસારી લેન્સથી 25 cm દૂર રાખી છે. કિરણાકૃતિ દોરો અને પ્રતિબિંબનું સ્થાન, પરિમાણ અને પ્રકાર જણાવો.
11. 15 cm કેન્દ્રલંબાઈનો અંતર્ગોળ લેન્સ 10 cm દૂર પ્રતિબિંબ રચે છે. વસ્તુને લેન્સથી કેટલી દૂર રાખી હશે ? કિરણાકૃતિ દોરો.
12. 15 cm કેન્દ્રલંબાઈના બહિર્ગોળ અરીસાથી 10 cm દૂર વસ્તુને મૂકી છે. પ્રતિબિંબનું સ્થાન અને પ્રકાર જણાવો.
13. સમતલ અરીસાથી મળતી મોટવણી +1 છે. આનો શું અર્થ થાય ?
14. 30 cm વક્તાત્રિજ્યા ધરાવતાં બહિર્ગોળ અરીસાની સામે 20 cm દૂર 5 cm લંબાઈની એક વસ્તુ મૂકેલી છે. પ્રતિબિંબનું સ્થાન, પ્રકાર અને પરિમાણ શોધો.
15. 18 cm કેન્દ્રલંબાઈ ધરાવતાં અંતર્ગોળ અરીસાની સામે 27 cm દૂર 7 cm લંબાઈની એક વસ્તુને મૂકી છે. પડદાને અરીસાથી કેટલા અંતરે રાખતાં તેના પર તીક્ષ્ણ પ્રતિબિંબ કેન્દ્રિત થશે ? પ્રતિબિંબનો પ્રકાર અને પરિમાણ શોધો.
16. - 2.0 D પાવર ધરાવતાં લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ શોધો. આ લેન્સ કયા પ્રકારનો હશે ?
17. એક ડોક્ટર + 1.5 D પાવર ધરાવતાં શુદ્ધીકારક લેન્સની સૂચના આપે છે. લેન્સની કેન્દ્રલંબાઈ શોધો. સૂચિત કરેલો લેન્સ અભિસારી છે કે અપસારી ?