એકમ 9

પ્રકાશનું વક્રીભવન (Refraction of Light)

ઘણી વખત આપણને કેટલીક વસ્તુઓ હોય તેના કરતાં કંઈક જુદી દેખાય છે. જેમ કે આકાશમાં દેખાતા તારા સ્થિર પ્રકાશિત હોવા છતાં ઝબૂકતા દેખાય છે. તો વળી, રોડ પર દૂર દૂર નજર કરતાં પાણી હોવાનો આભાસ થાય છે, મૃગજળ દેખાય છે. નજીક જઈને જોતાં ખ્યાલ આવે છે કે ત્યાં પાણી નથી! ફક્ત ડામરનો રોડ છે!

આવું તમે ક્યારેક જોયું હશે. તેની નોંધ કરો.

શું જોઈશે ? કાચનો ગ્લાસ, પાણી, રૂપિયાનો સિક્કો અને પેન્સિલ.

શું કરીશું ?

- ☞ એક ટેબલ ઉપર રૂપિયાનો સિક્કો મૂકો.
- ☞ તેના પર આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબ કાચનો ખાલી ગ્લાસ મૂકો.
- ☞ રૂપિયાનો સિક્કો જુઓ.
- ☞ હવે નજર સિક્કાપર સ્થિર રાખી ગ્લાસમાં પાણી ભરો.
- ☞ હવે ગ્લાસમાં રૂપિયાનો સિક્કો દેખાય છે?

સિક્કો ક્યાં ગયો ?

☞ હવે ગ્લાસની અંદર ઉપરથી જુઓ. શું દેખાય છે ?

☞ રૂપિયાનો સિક્કો ગ્લાસની અંદર દેખાય છે કે બહાર ?

આવું કેમ થયું હશે ?

હવે, ઉપરની પ્રવૃત્તિમાં પાણી ભરેલા ગ્લાસમાં રૂપિયાનો સિક્કો મૂકીને તેનું અવલોકન કરો. રૂપિયાનો સિક્કો ગ્લાસમાં કઈ જગ્યાએ દેખાય છે ?

આવું કેમ થયું હશે ?

હવે, પાણી ભરેલા કાચના ગ્લાસમાં પેન્સિલ મૂકી તેનું અવલોકન કરો.

☞ પાણી ભરેલા કાચના ગ્લાસમાં મૂકેલી પેન્સિલ કેવી દેખાય છે ?

આવું કેમ થતું હશે ?

પાણી ભરેલા ગ્લાસની બહાર મૂકેલા રૂપિયાના સિક્કાનું ગ્લાસમાં દેખાવું, પાણી ભરેલા ગ્લાસમાં રૂપિયાનો સિક્કો હોય તેના કરતાં સહેજ ઉપર દેખાવો, પાણી ભરેલા ગ્લાસમાં પેન્સિલ તૂટેલી કે વાંકી વળેલી દેખાવી વગેરે જેવી ઘટનાઓ માટે પ્રકાશના વક્રીભવનની ઘટના જવાબદાર છે.

પ્રવૃત્તિ

શું જોઈશે ? પારદર્શક કાચનો લંબઘન (Rectangular Slab) ડ્રૉઇંગ પેપર, પેન્સિલ, ટાંકણી, લેસર ટૉર્ચ, થર્મોકૉલ સીટ અને માપપટ્ટી.

શું કરીશું ?

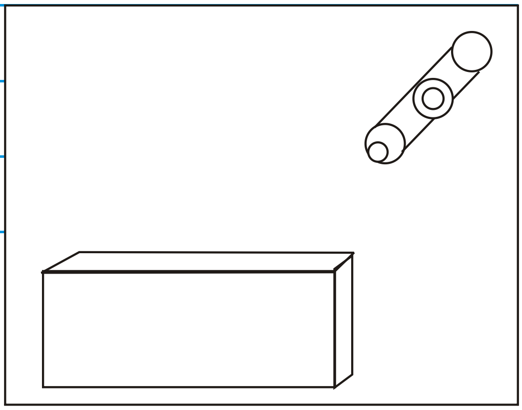
☞ ડ્રૉઇંગ પેપરને થર્મોકૉલ સીટ પર ગોઠવો.

☞ ત્યારબાદ તેના પર પારદર્શક કાચનો લંબઘન ગોઠવો.

☞ હવે, આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબ લેસર ટૉર્ચ વડે નીકળતું કિરણપુંજ (Beam of Light) ડ્રૉઇંગ પેપરની સપાટીને અડીને કાચના લંબઘન સુધી પહોંચે તેમ આપાત કરો.

☞ પ્રકાશનું કિરણ લંબઘનમાંથી પસાર થાય ત્યારે શું થાય છે ?

☞ આ પ્રવૃત્તિ બે-ત્રણ વાર કરી તમને જોવા મળતા પ્રકાશના કિરણનો માર્ગ નીચેના ચિત્રમાં દર્શાવી તમારું અવલોકન નોંધો.



પ્રકાશના કિરણનો માર્ગ દર્શાવો.

☞ પ્રકાશનું કિરણ સીધું પસાર થાય છે ? હા / ના

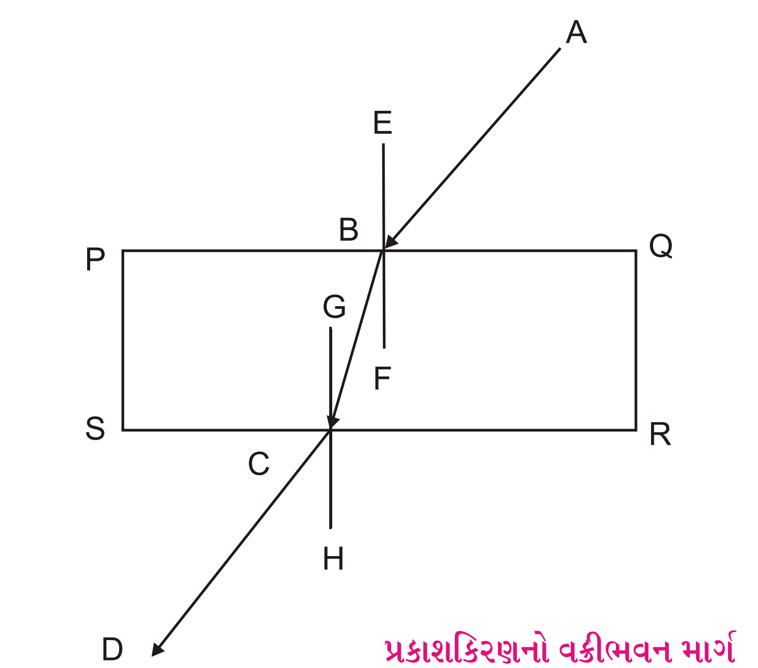
☞ પ્રકાશનું કિરણ કયા કયા માધ્યમ (medium)માંથી પસાર થાય છે ?

અહીં પ્રકાશનું ત્રાંસું કિરણ હવા જેવા પાતળા માધ્યમમાંથી કાચ જેવા ઘટ્ટ માધ્યમમાં દાખલ થાય છે ત્યારે બે માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી પાસે તે સહેજ (દિશા બદલે) વાંકુ વળે છે.

આમ, પ્રકાશનું કિરણ પાતળા પારદર્શક માધ્યમ(Rarer Medium)માંથી ઘટ્ટ પારદર્શક માધ્યમ (Denser Medium)માં દાખલ થાય ત્યારે બે માધ્યમોને છૂટી પાડતી સપાટી પાસે સહેજ વાંકુ વળે છે. પ્રકાશના કિરણની આ ઘટનાને પ્રકાશનું વક્રીભવન (Refraction of Light) કહે છે.

ઉપરની પ્રવૃત્તિમાં હવે લંબઘનની સપાટી ફરતે પેન્સિલ વડે તેનું સ્થાન અંક્તિ કરો. જેમાં લંબઘનના ચારેય બિંદુઓને P, Q, R, S નામ આપો. હવે આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબ લેસર ટૉર્ચ વડે નીકળતું કિરણપુંજ (Beam of Light) ડ્રૉઈંગ પેપરની સપાટીને અડીને કાચના લંબઘનની સપાટી PQ પર ત્રાંસુ આપાત થાય તેમ મોકલો. આપાત થતા કિરણ પર બિંદુ A અંકિત કરો. જ્યારે સપાટી PQને અડીને બિંદુ B અંકિત કરો.

હવે લંબઘનમાંથી સહેજ ત્રાંસુ બની પસાર થતું કિરણ જુઓ. લંબઘનની બીજી સપાટી RS તરફ જ્યાંથી કિરણ પસાર થાય છે, ત્યાં લંબઘનની સપાટીને અડીને બિંદુ C અંકિત કરો. બહાર નીકળતા કિરણ પર બિંદુ D અંકિત કરો. હવે લંબઘન ઉઠાવી લો. બિંદુ A, B, C, D જોડી દો. નીચે આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબનું રેખાચિત્ર જોવા મળશે. જે પ્રકાશના કિરણનો વક્રીભવન માર્ગ બતાવે છે.



પ્રકાશકિરણનો વક્રીભવન માર્ગ

હવે ડ્રૉઈંગ પેપર પર જોવા મળતી આકૃતિમાં લંબઘન સપાટીની બાજુ PQ પર બિંદુ Bમાંથી પસાર થતો EF લંબ રચો. એજ રીતે બાજુ RS પર બિંદુ C માંથી પસાર થતો હોય તેવો લંબ GH રચી અવલોકન નોંધો.

આપાતકિરણ AB (Incident Ray) અને સપાટીને અડીને દોરેલા લંબ વચ્ચેના ખૂણાને આપાતકોણ કહે છે.

- આકૃતિમાં કયો ખૂણો આપાતકોણ છે ?
- આપાતકોણનું મૂલ્ય (માપ) કેટલું છે ?
- **વક્રીભૂતકિરણ (Ray of Refraction) :** લંબઘનમાંથી વક્રીભવન પામીને પસાર થતાં કિરણને વક્રીભૂતકિરણ કહે છે. આકૃતિમાં કયું કિરણ વક્રીભૂતકિરણ છે ?
- **વક્રીભૂતકોણ (Angle of Refraction) :** વક્રીભૂતકિરણ અને લંબ વચ્ચેના ખૂણાને વક્રીભૂતકોણ કહે છે. આકૃતિમાં કયો ખૂણો વક્રીભૂતકોણ છે ?
- વક્રીભૂતકોણનું મૂલ્ય કેટલું છે ?

આપણે જોયું કે પ્રકાશનું કિરણ હવા જેવા પાતળા માધ્યમમાંથી કાચ જેવા ઘટ્ટ માધ્યમમાં દાખલ થાય છે. ત્યારે તેના માર્ગમાંથી સહેજ વાંકુ વળે છે.

જે આપણે કરેલ પ્રવૃત્તિમાં પ્રકાશનો ગતિમાર્ગ ABCDમાં સ્પષ્ટ જોઈ શકાય છે.

લંબઘનની સપાટી RS માટે વક્રીભૂતકિરણ આપાતકિરણ બને છે અને નિર્ગમનકિરણ વક્રીભૂતકિરણ બને છે. જ્યારે સ્લૅબને માટે વક્રીભૂતકિરણને નિર્ગમનકિરણ (Emergent Ray) અને ∠ DCH નિર્ગમનકોણ (Emergent Angle) કહેવાય છે.

સપાટી RS માટે આપાતકોણ કયો બનશે ?

વક્રીભૂતકોણ કયો બનશે ?

ચાલો હવે આપાતકોણનું મૂલ્ય બદલીને ઉપરોક્ત પ્રવૃત્તિ ફરીથી કરી, તમારું અવલોકન નીચેના કોષ્ટકમાં નોંધો :

ક્રમ	આપાતકિરણનું માધ્યમ	વક્રીભૂતકિરણનું માધ્યમ	લંબઘનની સપાટી PQ માટે		લંબઘનની સપાટી RS માટે	
			આપાતકોણનું મૂલ્ય	વક્રીભૂતકોણનું મૂલ્ય	આપાતકોણનું મૂલ્ય	વક્રીભૂતકોણનું મૂલ્ય
1						
2						
3						

ઉપરોક્ત પ્રવૃત્તિના આધારે આપણે કહી શકીએ કે સપાટી PQ માટે આપાતકોણનું મૂલ્ય વક્રીભૂતકોણના મૂલ્ય કરતાં વધુ હોય છે. જ્યારે, સપાટી RS માટે આપાતકોણનું મૂલ્ય વક્રીભૂતકોણના મૂલ્ય કરતાં ઓછું હોય છે. તેમજ નીચે મુજબના નિયમોનું પાલન થાય છે.

વક્રીભવનનાં નિયમો (Laws of Refraction)

(1) આપાતકિરણ અને વક્રીભૂતકિરણ લંબની સામ-સામે અને જુદા જુદા માધ્યમમાં હોય છે.

(2) જ્યારે પ્રકાશનું કિરણ પાતળા માધ્યમમાંથી ઘટ્ટ માધ્યમમાં દાખલ થાય ત્યારે લંબ તરફ સહેજ વાંકુ વળે છે, અને ઘટ્ટ માધ્યમમાંથી પાતળા માધ્યમમાં દાખલ થાય ત્યારે લંબથી સહેજ દૂર જાય છે.

(3) સપાટી પર લંબરૂપે પડતાં કિરણનું વક્રીભવન થતું નથી.

(4) આપાતકિરણ, વક્રીભૂતકિરણ અને સપાટી પર દોરેલ લંબ–ત્રણે એક જ સમતલમાં આવેલાં હોય છે.

પ્રકાશના કિરણનું વક્રીભવન ક્યારે થતું જોવા મળે છે ?

(a) પ્રકાશના માર્ગમાં કોઈ અવરોધ આવે ત્યારે.

(b) પ્રકાશના માર્ગનું માધ્યમ બદલાય ત્યારે.

(c) પ્રકાશ વધતો-ઓછો થતો હોય ત્યારે.

તમે જાણતા હશો કે જુદાં જુદાં માધ્યમમાં પ્રકાશનો વેગ જુદો જુદો છે. કેટલાક માધ્યમમાં પ્રકાશનો વેગ નીચે મુજબ જોવા મળે છે :

ક્રમ	માધ્યમ	પ્રકાશનો વેગ
1	શૂન્યાવકાશ / હવા	3,00,000 km / second
2	કાચ (સાદો પારદર્શક કાચ)	1,80,000 km / second
3	પાણી	2,25,000 km / second

શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશનો વેગ સૌથી વધુ જોવા મળે છે. જ્યારે અન્ય માધ્યમોમાં ઓછો છે. આમ, પારદર્શક માધ્યમોમાં પણ પ્રકાશનો વેગ જુદો જુદો હોવાથી જ્યારે પ્રકાશનું કિરણ એક માધ્યમમાંથી બીજા માધ્યમમાં દાખલ થાય છે ત્યારે તેનો વેગ બદલાય છે. તેથી તેનું વક્રીભવન થાય છે.

પ્રકાશના વક્રીભવનનું માપ વક્રીભવનાંક (Refractive Index) દ્વારા જાણી શકાય છે.

શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશનો વેગ અને આપેલ માધ્યમમાં પ્રકાશના વેગના ગુણોત્તરને તે પારદર્શક માધ્યમનો નિરપેક્ષ વક્રીભવનાંક કહે છે.

એટલે કે માધ્યમનો નિરપેક્ષ વક્રીભવનાંક = શૂન્યાવકાશમાં પ્રકાશનો વેગ / આપેલ માધ્યમમાં પ્રકાશનો વેગ.

તેની સંજ્ઞા (μ) મ્યુ છે.

પ્રકાશનું કિરણ જ્યારે એક માધ્યમમાંથી બીજા માધ્યમમાં દાખલ થાય ત્યારે નિરપેક્ષ (Absolute) વક્રીભવનાંક ગણવાને બદલે તેનો સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક ગણવામાં આવે છે. જેમ કે હવામાંથી કાચના માધ્યમમાં દાખલ થતા પ્રકાશના કિરણનો વક્રીભવનાંક સૂત્ર મુજબ શોધવો હોય તો તેનો સાપેક્ષ વક્રીભવનાંક નીચે મુજબ ગણી શકાય.

હવાની સાપેક્ષે કાચનો વક્રીભવનાંક $= \dfrac{\text{હવામાં પ્રકાશનો વેગ (300000 km / second)}}{\text{કાચમાં પ્રકાશનો વેગ (180000 km / second)}}$

$= \dfrac{300000 \text{ km/second}}{180000 \text{ km/second}}$

માટે હવા η કાચ $= 1.66$

જ્યાં હવા η કાચ હવાની સાપેક્ષે કાચનો વક્રીભવનાંક કહેવાય છે.

એ જ રીતે હવાની સાપેક્ષે પાણીનો વક્રીભવનાંક શોધો :

હવાની સાપેક્ષે પાણીનો વક્રીભવનાંક = ________

= ________

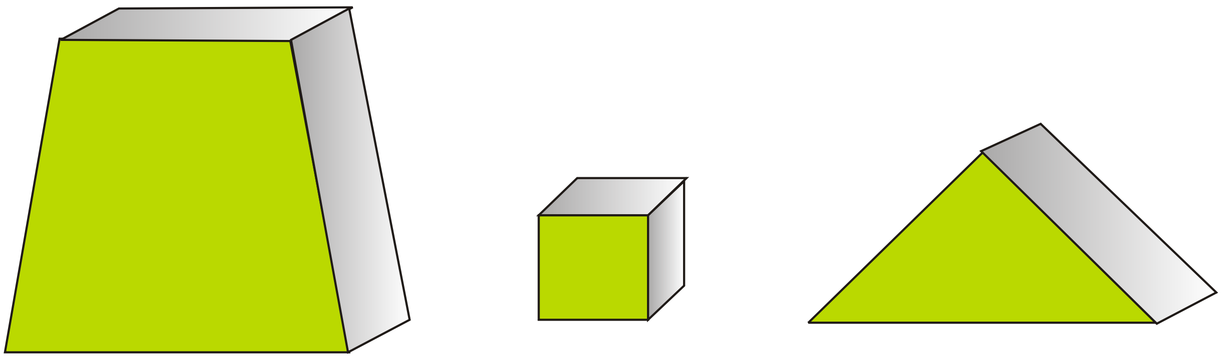
માટે હવા η પાણી = ________

જ્યાં હવા η પાણી હવાની સાપેક્ષે પાણીનો વક્રીભવનાંક કહેવાય છે.

જેમ માધ્યમના વક્રીભવનાંકનું મૂલ્ય વધુ
તેમ તે માધ્યમમાં પ્રકાશના કિરણનું વક્રીભવન વધુ હોય છે.

ચાલો કેટલાક જુદા જુદા આકારના સાદા પારદર્શક ઘન કાચ દ્વારા થતા વક્રીભવનનું અવલોકન કરીએ.

શું જોઈશે ? ડ્રૉઈંગ પેપર, જુદા જુદા આકારના કાચના ઘન અને લેસર ટૉર્ચ.



જુદા જુદા આકારના કાચના સ્લૅબમાં પ્રકાશનો ગતિમાર્ગ

શું કરીશું ?

☞ જુદા જુદા આકારના કાચના સ્લૅબ ડ્રૉઈંગ પેપર પર મૂકો.

☞ હવે તેની ફરતે ચારે તરફની સપાટી અંકિત કરી દરેક ખૂણાને ક્રમશઃ A, B, C, D નામ આપો.

☞ ત્યારબાદ તેની એક સપાટી તરફથી લેસર ટૉર્ચ વડે પ્રકાશનું કિરણ આપાત કરો.

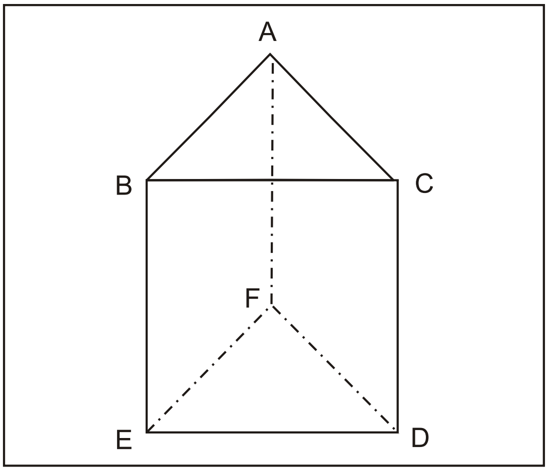
☞ તમારું અવલોકન નોંધો.

- આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબના જુદા જુદા સ્લૅબમાં થતા પ્રકાશના વક્રીભવનમાં તફાવત જોવા મળે છે ? હા / ના

- શું તફાવત જોવા મળે છે ?

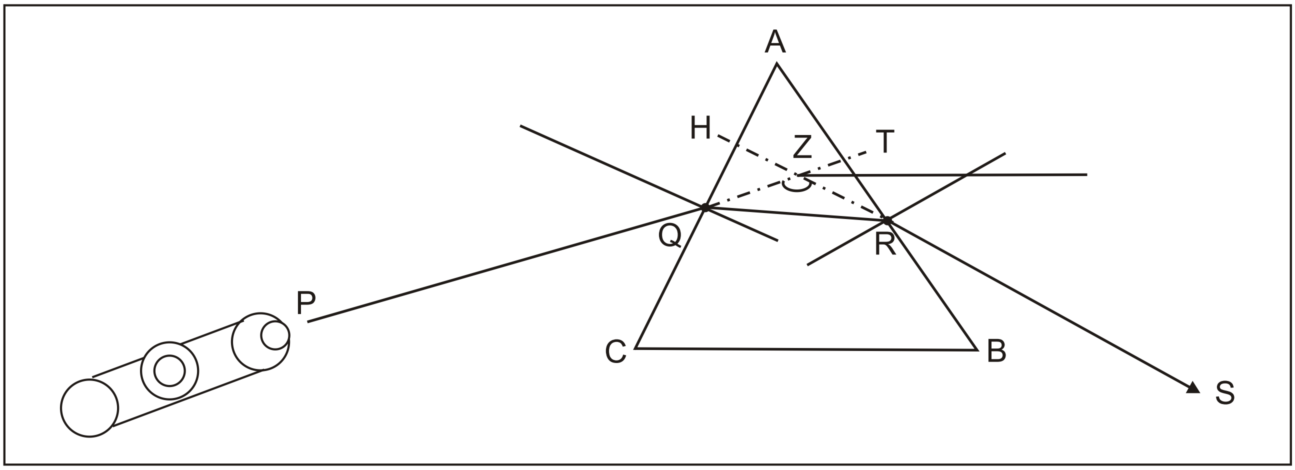
બાજુમાં આપેલ આકૃતિનું ABCDEF અવલોકન કરો. તેમાં આકૃતિ એ કોઈ ત્રિકોણ જેવી રચના જણાય છે. તે ત્રિકોણ નથી પરંતુ પારદર્શક કાચમાંથી બનાવેલી એક ખાસ રચના છે. જેને આપણે પ્રિઝમ તરીકે ઓળખીએ છીએ. તેની સામ-સામેની બે સપાટી ત્રિકોણ હોય છે. જ્યારે એ સિવાયની સામ-સામેની બીજી ત્રણ સપાટીઓ ચોરસ કે લંબચોરસ હોય છે.

આવો પ્રિઝમ (Prism) મેળવી તેનું અવલોકન કરો.



ચાલો પ્રિઝમ દ્વારા થતા પ્રકાશના વક્રીભવનનું અવલોકન કરીએ.

શું જોઈશે ? પ્રિઝમ, લેસર, ટૉર્ચ, ડ્રૉઈંગ પેપર, પેન્સિલ અને માપપટ્ટી.



શું કરીશું ?

☞ આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબ એક સમતલ સપાટી પર ડ્રૉઈંગ પેપર ગોઠવો.

☞ હવે પ્રિઝમની ત્રિકોણાકાર સપાટી ડ્રૉઈંગ પેપર પર રહે તેમ મૂકો.

☞ ડ્રૉઈંગ પેપર પર રહેલી પ્રિઝમની સપાટી પેન્સિલ વડે અંકિત કરી ABC બિંદુ નિશ્ચિત કરો.

☞ આકૃતિમાં બતાવ્યા મુજબ પ્રિઝમની એક બાજુ AB પર લેસર વડે કિરણ PQ આપાત કરો.

☞ એજ પ્રમાણે નિર્ગમિતકિરણ પણ અંકિત કરો. હવે પ્રિઝમ લઈ લો. બિંદુ Q અને R જોડો. પ્રિઝમ દ્વારા થતા પ્રકાશના કિરણના વક્રીભવનનું અવલોકન કરી નીચેની વિગત પૂર્ણ કરો.

- આપાતકિરણ જણાવો.
- વક્રીભૂતકિરણ જણાવો.

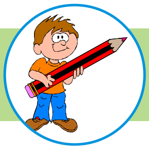
- નિર્ગમિતકિરણ કયું છે ?
- સપાટી AC માટે આપાતકોણ કયો બને છે ?
- સપાટી AC માટે વક્રીભૂતકોણ કયો બને છે ?
- સપાટી AC પરના આપાતકોણનું મૂલ્ય કેટલું છે ?
- સપાટી AC પરના વક્રીભૂતકોણનું મૂલ્ય કેટલું છે ?
- નિર્ગમિત કિરણ કઈ તરફ વક્ર થતું જોવા મળે છે ? ઉપર તરફ / નીચે પાયા તરફ

ઉપરની આકૃતિમાં આપાતકિરણ PQને આગળ T બિંદુ તરફ તૂટક રેખા વડે લંબાવો. હવે નિર્ગમિતકિરણ RSને પાછળની બાજુ બિંદુ H તરફ તૂટક રેખા વડે લંબાવો. આમ કરતાં બંને કિરણો એકબીજાને Z બિંદુ પર મળે છે. ત્યાં ખૂણો RZQ બને છે. આ ખૂણાને વિચલનકોણ કહે છે.

આપાતકિરણ અને નિર્ગમિતકિરણ વચ્ચેના ખૂણાને વિચલનકોણ (Angle of Deviation) કહે છે. તેની સંજ્ઞા (δ) ડેલ્ટા છે.

આ પ્રવૃત્તિ બે-ત્રણ વખત કરી નિર્ગમિતકિરણ કઈ તરફ વક્ર થતું જોવા મળે છે તેનું અવલોકન નોંધો. ઉપર તરફ / નીચે પાયા તરફ.

પ્રિઝમની કોઈ એક સપાટી પર આપાત થતું કિરણ તેની સામેની બાજુ પરથી નિર્ગમન પામે ત્યારે પાયા તરફ વક્ર થતું જોવા મળે છે.



પ્ર.1. તમે જાણતા હોવ એવા વક્રીભવનના પ્રયોગો તમારા મિત્ર સાથે કરો અને તેની ચર્ચા કરી નોંધ કરો.

પ્ર.2. આપેલ આકૃતિમાં વક્રીભવનના સંદર્ભે પ્રકાશકિરણ અને ખૂણાઓની ઓળખ લખો.