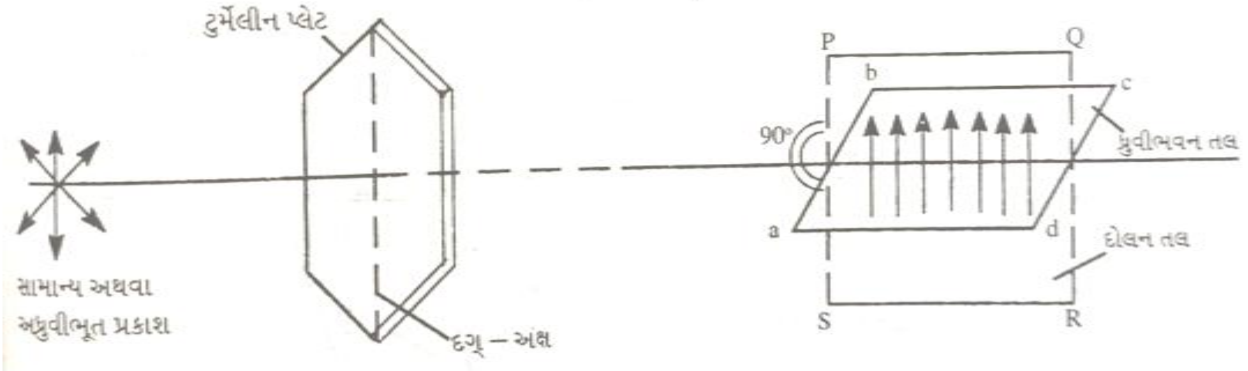
Chapter-2 ધ્રુવિભવન (Polarization)

1.પ્રસ્તાવના(Introduction)

વ્યતિકરણ અને વિવર્તનની ઘટના દ્વારા એવું સાબિત કરી શકય છે કે પ્રકાશ એ તરંગ ગતિ ધરાવે છે. આ ઘટનાઓ દ્વારા પ્રકાશ તરંગની તરંગલંબાઇ મેળવી શકાય છે. પરંતુ આ બંને ઘટના દ્વારા પ્રકાશ તરંગની લાક્ષણિકતા વિશે કોઇ માહિતી મળતી નથી. જેવી કે પ્રકાશ તરંગો લંબગત તરંગો કે સમગત તરંગો છે કે પ્રકાશ તરંગના દોલનો રેખીય છે કે વૃતિય છે તે માહિતી ઉપરના બંને વાદ દ્વારા જાણી શકાતી નથી. કારણ કે કોઇપણ પ્રકારના તરંગો દ્વારા સુવ્યવસ્થીત અવસ્થામાં વ્યતિકરણ કે વિવર્તન ઘટના મેળવી શકાય છે. ૧૮૧૬માં એરાગો **(Arago)**અને ફ્રેશ્નલે **(Fresnal)** દર્શાવ્યું કે પ્રકાશ તરંગો એકબીજાને લંબતલોમાં દોલન કરતા હોય છે અને તે બંને દોલન તલો પ્રસરણ દરમ્યાન એકબીજાને કોઇ ખલેલ પહોંચાડતા નથી. ૧૮૧૭માં થૉમસ યંગ તેમના પ્રયોગમાં બે તરંગો દ્વારા વ્યતિકરણ ન થવાની ઘટના પરથી એવા નિષ્કર્ષ પર આવેલ કે પ્રકાશના તરંગો એ લંબગત તરંગો છે. અને ત્યારબાદ પચાસ વર્ષ પછી મેક્સવેલે વિજચુંબકીયવાદ સ્થાપ્યો અને તેના દ્વારા તેણે પ્રતિપાદીત કર્યું કે પ્રકાશ તરંગો એ વિજવચુંબકીય તરંગો છે. જે રીતે વિજચુંબકીય તરંગો એ લંબગત તરંગો છે તેથી સ્વાભાવીક છે કે પ્રકાશ તરંગો પણ લંબગત તરંગો છે. તેથી પ્રકાશ તરંગોનો આ લંબગત પ્રસરણનો સ્વભાવ એ આપણને ધ્રુવિભવનની ઘટના તરફ દોરી જાય છે. કોઇપણ સામાન્ય પ્રકાશ ઉદભવ સ્થાન માંથી આવતો પ્રકાશ ધ્રુવિભૂત હોતો નથી.અને ધ્રુવિભવનની અવસ્થા મનુષ્યની સામાન્ય આંખે જોઇ શકાતી નથી. તેથી વિજચુંબકીય તરંગોનું વેવગાઇડ દ્વારા પ્રકાશનું નિશ્રિત દિશામાં સ્થાનાંતર કરવા અથવા ઓપ્ટીકલ ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશનું નિશ્રિત દિશામાં પ્રસારણ કરવા માટે ધ્રુવિભવનની ઘટના સમજવી જરૂરી છે. કારણ કે ધ્રુવિભૂત પ્રકાશની ઘણી અગત્યની ઉપયોગીતાઓ ઔધોગીક ક્ષેત્રમાં અને યંત્રશાસ્ત્રમાં છે. જેમાંની આપણે જાણીએ છીએ કે તેવી એક અગત્યની ઉપયોગીતા લીક્વીડ ક્રિસ્ટલ ડીસ્પેલ **(LCD)** માં છે. **LCD** કે જે હાલના યુગમાં કાડાઘડીયાળ, મોબાઇલ, ટીવી, કેલક્યુલેટર વગેરેમાં વપરાય છે.

સામાન્ય પ્રકાશ ઉદભવસ્થાન માંથી ઉદભવતા પ્રકાશ તરંગોના દોલનો દરેક દિશામાં થતા હોય છે જે નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.



પરંતુ જો આકૃતિ માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જો પ્રકાશના દોલનો ફકત એક જ તલમાં થતા હોય તો તેવા પ્રકાશને ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહેવામાં આવે છે.

ધ્રુવિભવનને લગતી કેટલીક વ્યાખ્યાઓ.

1.અધ્રુવિભૂત પ્રકાશ: જે પ્રકાશમાં વિધુત સદિશોના દોલનો પ્રકાશ પ્રસરણને લંબ સમતલમાં શક્ય એટલી બધી જ દિશાઓમાં થતાં હોય તેને અધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહે છે.

2.તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ: જે પ્રકાશમાં વિધુત સદિશોનાં દોલનો પ્રકાશ પ્રસરણને લંબ સમતલમાં કોઇ એક જ દિશામાં થતાં હોય તેને તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહે છે.

3.દોલન તલ:તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશમાં વિધુત સદિશનાં દોલનોની દિશા અને પ્રસરણની દિશા વડે બનતા સમતલને દોલન તલ કહે છે.

4.ધ્રુવિભવન તલ: તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશમાં પ્રસરણની દિશા અને વિધુત સદિશનાં દોલનોની દિશાને લંબ દિશા વડે બનતા સમતલને ધ્રુવિભવન તલ કહે છે. દોલન તલ અને ધ્રુવિભવન તલ પરસ્પર લંબ હોય છે.

5.ધ્રુવક: જે રચના વડે પ્રકાશનું ધ્રુવિભવન થઇ શકે છે તેને ધ્રુવક કહે છે.

6.વિશ્લેષક: જે રચના વડે પ્રકાશ ધ્રુવિભૂત છે કે નહિ તે જણી શકાય છે તેને વિશ્લેષક કહે છે.

7.દ્રિવક્રીભવન: એક કિરણમાંથી બે વક્રીભૂત કિરણ મળવાની ઘટનાને દ્રિવક્રીભવન કહે છે.

8.દક અક્ષ: સ્ફટિકમાંથી પસાર થતા પ્રકાશ કિરણનું દ્રિવક્રીભવન થાય છે. બંને કિરણોના વેગ જુદા જુદા હોય છે. પરંતુ સ્ફટિકમાં એક દિશા એવી હોય છે કે તે દિશામાંથી પ્રકાશ કિરણ પસાર થાય તો તેનું દ્રિવક્રીભવન થતું નથી એટલે કે બંને કિરણ એકસરખા વેગથી ગતિ કરે છે. જે દિશામાં બંને કિરણો સરખા વેગથી ગતિ કરે છે તેને દક અક્ષ કહેવામાં આવે છે.

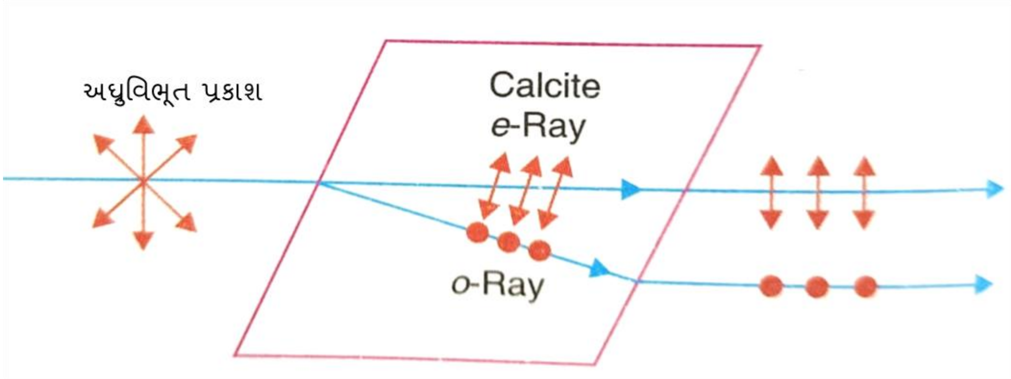
9.મુખ્ય સમતલ: સ્ફટિકની સામસામી બાજુમાંથી લંબ દિશામાંથી લંબ દિશામાં પસાર થતા અને દક અક્ષને સમાંતર લીધેલા છેદને મુખ્ય સમતલ કહેવામાં આવે છે.

10.ઋણ સ્ફટિક: જે સ્ફટિકમાં સામાન્ય કિરણનો વેગ (V_0) અસામાન્ય કિરણના વેગ (V_e) કરતાં ઓછો હોય એટલે કે $V_e > V_0$ અથવા વક્રીભવનાંક $n_e < n_0$ હોય તેવા સ્ફટિકને ઋણ સ્ફટિક કહેવામાં આવે છે.

11.ધન સ્ફટિક: એવા સ્ફટિકો છે કે જેમાં સામાન્ય કિરણનો વેગ (V_0) અસામાન્ય કિરણના વેગ (V_e) કરતાં વધારે હોય છે એટલે કે $V_e < V_0$ અથવા $n_e > n_0$ હોય તો તેવા સ્ફટિકને ધન સ્ફટિક કહેવામાં આવે છે.

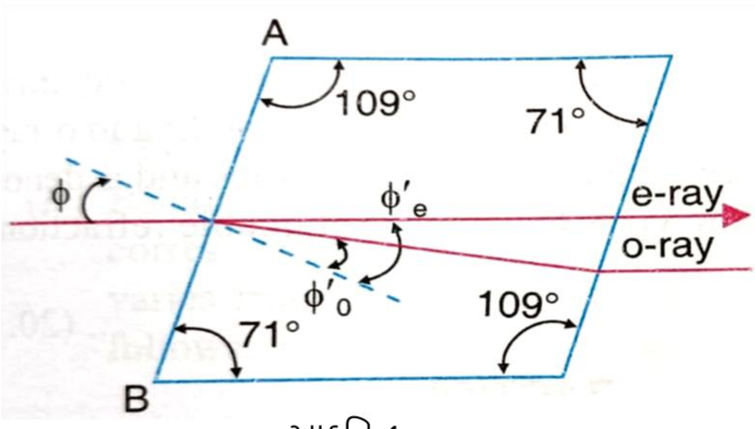
2.દ્વિવક્રીભવન દ્વારા ધ્રુવિભવન (Polarization by Double Refraction)

૧૬૬૯માં એરાસ્મુસ બાર્થોલીનસે તેના કેલ્સાઇટ $(CaCo_3)$ પરના અભ્યાસ દરમ્યાન દ્વિવક્રીભવન વાદની શોધ કરી.કેલ્સાઇટ ક્રિસ્ટલને આઇસલેન્ડ સ્પાર પણ કહેવામાં આવે છે.

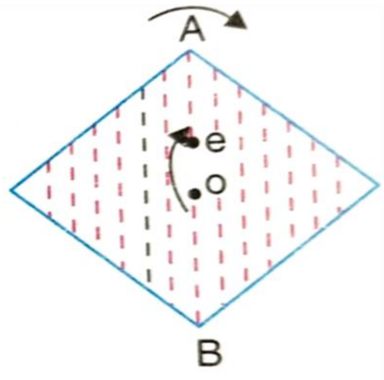


આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જ્યારે પ્રકાશ કેલ્સાઇટ ક્રિસ્ટલ પર આપાત થાય છે ત્યારે તેનું બે પ્રકારના વક્રીભૂત કિરણોમાં વિભાજન થાય છે. અને બંને કિરણોની સંરચના જુદી હોય છે. આ પ્રકાર બે કિરણો ઉદભવતાની ઘટનાને દ્વિવક્રીભવન કહેવાય છે. અને આવા ક્રિસ્ટલને દ્વિવક્રીભવનકારક સ્ફટીક કહેવાય છે . આવા દ્વિવક્રીભવનકારક સ્ફટીક દ્વારા ઉદભવતા કિરણો તલધ્રુવિભૂત હોય છે. અને બંનેના કંપન તલો એકબીજાને લંબ હોય છે. જેમાંના એક પ્રકારના કંપન ધરાવતા કિરણો કે જે વક્રિભવન માટેના સ્નેલના નિયમને અનુસરે છે.તેને O- કિરણો (Ordinary ray)અથવા સામાન્ય કિરણો કહેવાય છે. અને બીજા પ્રકારના કિરણો કે જે વક્રીભવન માટેના સ્નેલના નિયમને અનુસરતા નથી તેને e- કિરણો (Extraordinary ray)અથવા અસામાન્ય કિરણો કહે છે. તેથી બંને કિરણોને એક બીજાથી જુદા પાડી શકાય છે. જો આમાંના એક પ્રકારના કિરણોને તેના પ્રસરણ પથ માંથી દૂર કરવામાં આવે તો સ્ફટીકમાંથી બહાર આવતા પ્રકાશને રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહેવામાં આવે છે.

3.દ્વિવક્રીભવન (Double Refraction):



આકૃતિ-1



આકૃતિ-2

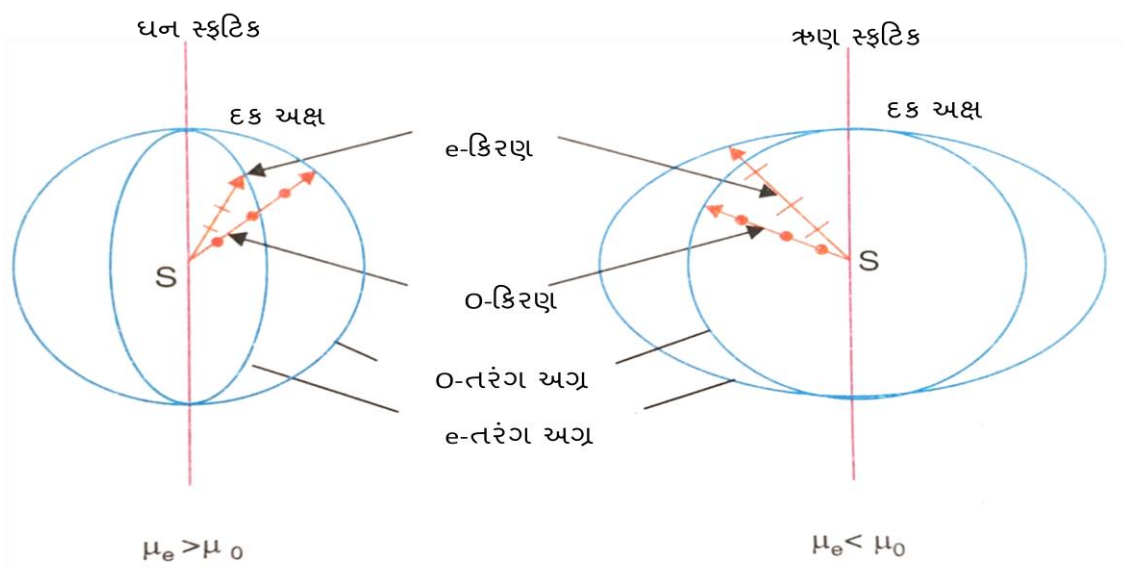
આકૃતિ-1માં કેલ્સાઇટ સ્ફટીકનો પ્રધાન છેદ દર્શાવેલ છે. આ સ્ફટીકની સપાટી પર એક પ્રકાશનું કિરણ આપાયત થાય છે. અને તે સ્ફટીકના પ્રધાન છેદની દિશામાં ગતિ કરે છે. સ્ફટીકમાં દાખલ થતાં જ આ કિરણનું બે કિરણોમાં વિભાજન થાય છે. જેમાંનું એક e-કિરણ અને બીજું O- કિરણ હોય છે. સ્ફટીકમાં O- કિરણ વિચલન પામ્યા વગર આગળ વધે છે. જ્યારે e- કિરણ વક્રીભૂત થઇને આગળ વધે છે. અને સ્ફટીકમાંથી બહાર નીકળતા આ બંને કિરણો આપાત કિરણને સમાંતર દિશામાં જ બહાર આવે છે કારણકે સ્ફટીકની સામસામે આવેલી બાજુઓ સમાંતર રહેલી હોય છે. પરંતુ સ્ફટીકની અંદર O- કિરણ હંમેશા આપાત તલને સમાંતર હોય છે. જ્યારે e- કિરણ આપાત તલને સમાંતર હોતું નથી.

હવે જો કોઇ એક સફેદ કાગળ પર ક્રોસનું નિશાન કરીએ. અને તેની પર કેલ્સાઇટ સ્ફટીકને મૂકવામાં આવે તો તેના દ્વારા ક્રોસના બે પ્રતિબિંબો જોવા મળશે. જે આકૃતિ -2માં દર્શાવેલ છે. જેમાંનું એક પ્રતિબિંબ O- કિરણ દ્વારા અને બીજું પ્રતિબિંબ e-કિરણ દ્વારા ઉદભવે છે. પરંતુ બંને પ્રતિબિંબને જોડતી રેખા એ સ્ફટીકના મૂળભૂત છેદમાં રહેલી હોય છે. હવે જો સ્ફટીકને કિરણની અક્ષને સાપેક્ષ ધીમેથી ફેરવતા જઇએ તો O-કિરણને કારણે મળતું પ્રતિબિંબ સ્થિર રહેશે અને e-કિરણને કારણે મળતું પ્રતિબિંબ O- કિરણના પ્રતિબિંબ આસપાસ ફરતું જોવા મળશે. તેથી કહી શકાય કે O- કિરણનો વેગ સ્ફટીકની દરેક દિશા માટે સમાન રહે છે. જ્યારે e-કિરણનો વેગ સ્ફટીકની દરેક દિશાને અનુરૂપ બદલાતો જાય છે.

અહીં e- કિરણ અને O- કિરણ એ રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ હોય છે. અને e- કિરણોના દોલનો સ્ફટીકના પ્રધાન છેદને સમાંતર હોય છે. જ્યારે O- કિરણોના દોલનો પ્રધાન છેદને લંબ હોય છે. જે આકૃતિ માં દર્શાવેલ છે. આ દોલનોની દિશા જાણવા માટે આ કિરણોમાંથી નીકળતા પ્રકાશને ધ્રુવક દ્વારા તપાસવામાં આવે છે. તે માટે ધ્રુવકને કિરણોના માર્ગ વચ્ચે રાખી અને ફેરવતા જઇએ તો ક્રોસ નિશાનીવાળું એક પ્રતિબિંબ કે જે O-કિરણ દ્રરા મળતું હોય તેની તીવ્રતા ઘટતી જશે. એક સમયે O- કિરણની તીવ્રતા મહતમ થશે અને e- કિરણ દ્વારા મળતું પ્રતિબિંબ અદ્રશ્ય થશે. ત્યાર બાદ ફરી પાછું જો ધ્રુવકને 90^0 ફેરવવામાં આવે તો O- કિરણ અદ્રશ્ય થશે . અને e- કિરણ દ્વારા મળતા પ્રતિબિંબની તીવ્રતા મહતમ થશે. તેથી તેવું કહી શકાય કે e- કિરણ અને O- કિરણ બંને રેખીય ધ્રુવિભૂત હશે પરંતુ તે બંનેના ધ્રુવિભવનની દિશા એકબીજાને લંબ હશે.

4.દ્વિવક્રીભવન માટે હાઇઝેનની સમજૂતી (Huygen's Explanation of Double Refraction):

જો પ્રકાશના પ્રસરણને તરંગ અગ્ર દ્વારા થતા પ્રસરણના રૂપમાં વિચારીએ અને ધારોકે કાચ જેવા કોઇ એક આઇસોટ્રોપીક ઘટકમાં વચ્ચેના ભાગે એક કુદરતી પ્રકાશનું બિંદુવત ઉદભવ સ્થાન રહેલું છે તેમ વિચારીએ તે તેના દ્વારા કાચની અંદર એક તરંગ અગ્ર માધ્યમના(કાચના) અણુઓ ઉતેજીત થઇ અને ફરી બીજા તરંગ અગ્રનું નિર્માણ કરશે અને તે પણ ગોળાકાર હશે. આ રીતે પ્રકાશ ગોળાકાર તરંગ અગ્રના રૂપમાં સમાન વેગ વડે બધીજ દિશામાં પ્રસરતો જશે.



હવે જો પ્રકાશ ઉદગમસ્થાન કોઇ એક દ્રિવક્રીભૂત સ્ફટીકની અંદર આવેલું હોય તો તેવા સ્ફટીકમાં એક સાથે બે તરંગ અગ્રો ઉત્પન્ન થશે. તેથી પ્રકાશ કિરણનું બે ભાગમાં વિભાજન થશે. તેમાંના O- કિરણો નું તરંગ અગ્ર બધીજ દિશામાં એકસરખા વેગથી ગતિ કરશે. માટે તે તરંગ અગ્રનો આકાર ગોળાકાર હશે. પરંતુ e-કિરણો બધીજ દિશામાં જુદા જુદા વેગથી ગતિ કરતા હોવાથી તેનો આકાર અતિવૃતિયગોળા રૂપે હશે.આ બંને તરંગ અગ્રો એકબીજાને બે બિંદુએ ભેગા થાય છે.આ બે બિંદુને જોડતી રેખાને સ્ફટીકની દકઅક્ષ કહેવામાં આવે છે અને આ રીતે સ્ફટીકમાંથી પ્રકાશનું પ્રસરણ થઇ અને સ્ફટીકમાંથી બે વક્રીભૂત કિરણો બહાર આવશે.

અહીં મળતા બે જુદા જુદા તરંગ અગ્રોને કારણે બે જુદા પ્રકારની પરિસ્થિતિ ઉઅદભવે છે. જેમાંની એકમાં O-કિરણનું ગોળાકાર તરંગ અગ્ર એ e- કિરણો દ્રારા રચાતા અતિવૃતિયગોળા આકારના તરંગ અગ્ર વચ્ચે ઘેરાયેલું હોય તેવા પ્રકારનો સ્ફટીક હોય. આ પ્રકારના સ્ફટીકને ઋણ સ્ફટીક કહેવામાં આવે છે. કારણે કે તેમાં e-કિરણોનો વક્રિભવનાંક O-કિરણોના વક્રિભવનાંક કરતાં ઓછો હોય છે. કેલ્સાઇટ એ આ પ્રકારનો ઋણ સ્ફટીક છે. અને બીજી પરિસ્થિતિમાં e- કિરણનું તરંગ અગ્ર એ O- કિરણના તરંગ અગ્ર વડે ઘેરાયેલું હોય છે અને આવા સ્ફટીકને ધન સ્ફટીક કહેવામાં આવે છે.કારણ કે તેમાં e-કિરણોનો વક્રિભવનાંક O- કિરણોના વક્રિભવનાંક કરતાં વધારે હોય છે.

4.1 O-કિરણો અને e-કિરણો(O-Ray and e-Ray):

હવે આપણે O- કિરણો અને e- કિરણોની લાક્ષણિકતા સરખાવીએ તો

(1) O-કિરણો વક્રીભવનના નિયમને અનુસરે છે જ્યારે e- કિરણો તેને અનુસરતા નથી.

(2) O-કિરણો અને e- કિરણો બંને તલધ્રુવિભૂત હોય છે. અને તે બંને એકબીજાને લંબતલમાં ધ્રુવિભૂત થયેલા હોય છે.O- કિરણોના વિદ્યુતિય સદિશની દોલનની દિશા એ O- કિરણના પ્રધાન છેદને લંબ હોય છે. જ્યારે e- કિરણોના દોલનની દિશા e- કિરણના પ્રધાન છેદને સમાંતર હોય છે.

(3) સ્ફટીકની અંદર O- કિરણો બધીજ દિશામાં એકસરખા વેગથી ગતિ કરે છે. જ્યારે સ્ફટીકની દરેક દિશામાં e- કિરણો જુદાજુદા વેગથી ગતિ કરે છે. પરંતુ સ્ફટીકની દકઅક્ષની દિશામાં બંને કિરણોનો વેગ સમાન હોય છે.

(4) O-કિરણો સ્ફટીકમાં બધીજ દિશામાં એક સરખા વેગથી ગતિ કરતા હોવાથી તેનો વક્રીભવનાંક અચળ હોય છે.જ્યારે e- કિરણો બધી દિશામાં જુદા જુદા વેગ થી ગતિ કરતા હોવાથી સ્ફટીકની દરેક દિશામાં તેનો વક્રીભવનાંક જુદો જુદો હોય છે. તેથી O-કિરણોનો પ્રધાન વક્રીભવનાંક નીચે મુજબ દર્શાવાય છે.

$$\mu_o = \frac{c}{v_o} = \frac{\text{પ્રકાશનો શૂન્યાવકાશમાં વેગ}}{\text{કિરણોનો સ્ફટીકમાં વેગ}} \quad ----------(1)$$

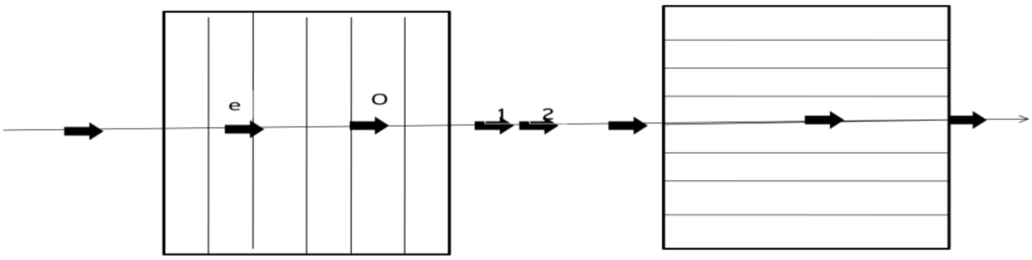
e-કિરણોનો ધન સ્ફટીકમાં પ્રધાન વક્રીભવનાંક નીચે મુજબ થશે.

$$\mu_e = \frac{c}{(v_e)_{min}} = \frac{\text{પ્રકાશનો શૂન્યાવકાશમાં વેગસ્ફટીકમાં}}{\text{કિરણોનો લઘુતમ વેગ}} --------(2)$$

અને e- કિરણોનો ઋણ સ્ફટીકમાં પ્રધાન વક્રીભવનાંક

$$\mu_e = \frac{c}{(v_e)_{max}} = \frac{\text{પ્રકાશનો શૂન્યાવકાશમાં વેગસ્ફટીકમાં}}{\text{કિરણોનો મહતમ વેગ}} ------------(3)$$

(5)



જ્યારે કુદરતી પ્રકાશનું કિરણ સ્ફટીકની દક અક્ષને લંબ દિશામાં આપાત થાય છે ત્યારે e- કિરણો અને O- કિરણો સ્ફટીકમાં એકજ દિશામાં ગતિ કરે છે. પરંતુ તે બંનેનો વેગ જુદો હોય છે.જે આકૃતિ -1 માં દર્શાવેલ છે. જો સ્ફટીક ઋણહોય તો તેમાં O-કિરણ એ e-કિરણ કરતાં પાછળ રહેલ હોય છે. અને જો ધન સ્ફટીક હોય તો તેમાં O-કિરણ એ e-કિરણ કરતાં આગળ હોય છે.

જ્યારે કુદરતી પ્રકાશનું કિરણ સ્ફટીકની દક અક્ષ ને સમાંતર દિશામાં આપાત થાય છે ત્યારે તેનું બે કિરણોમાં વિભાજન થતું નથી જે આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.એટલે કે આવા કિસ્સામાં e-કિરણો અને O-કિરણો એક જ દિશામાં એકસરખા વેગથી ગતિ કરે છે.

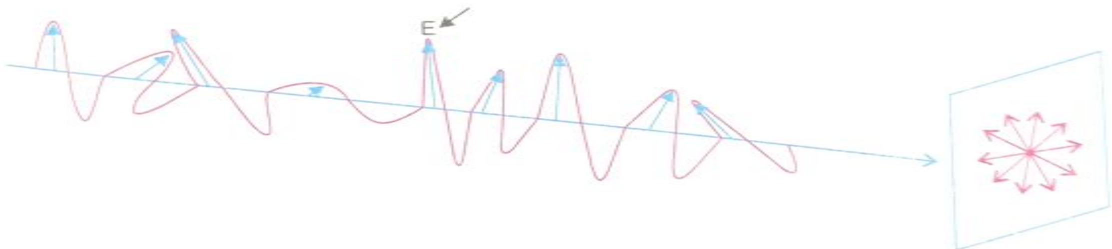
જ્યારે કુદરતી પ્રકાશનું કિરણ સ્ફટીક પર તેની દક અક્ષને લંબ કે સમાંતર સિવાયની દિશામાં આપાત થાય ત્યારે પ્રકાશનું બે કિરણો e- કિરણ અને O-કિરણમાં વિભાજન થાય છે અને તે બંનેના પ્રસરણની દિશા તેમજ બંનેનો વેગ જુદો જુદો હોય છે.

(૬) જ્યાં સુધી e-કિરણ અને O-કિરણ સ્ફટીકની અંદર ગતિ કરે છે ત્યાં સુધી તેમની વચ્ચે વેગનો તફાવત જોવા મળે છે અને જેવા બંને કિરણો સ્ફટીકમાંથી બહાર આવે છે ત્યારે બંને કિરણો સમાન વેગથી ગતિ કરવા લાગે છે.એટલે કે સ્ફટીક્ની બહારની બાજુએ નિકળતા બંને કિરણોના પ્રસરણની દિશા જુદી હોય છે. તદઉપરાંત બંને કિરણોના દોલન તલોની દિશા જુદી હોય છે તે સિવાય સ્ફટીકની બહાર e- કિરણો અને O-કિરણો વચ્ચે બીજો કોઇ ભેદ જોવા મળતો નથી.

5.ધ્રુવિભૂત પ્રકાશના પ્રકારો(Types of Polarized light):

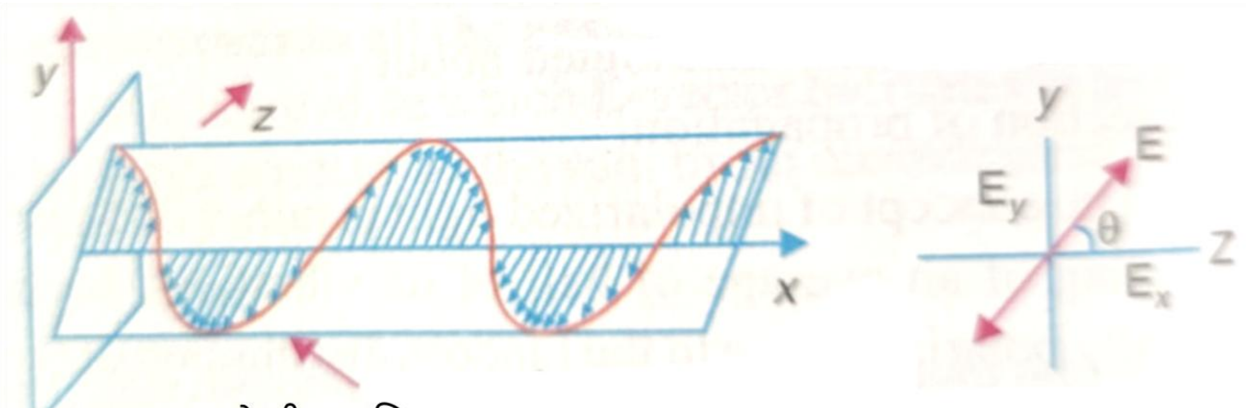
(1)અધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Unpolarized light):

જેમાં તરંગ સમુહોની શૃંખલાઓ આવેલ હોય છે અને આ દરેક તરંગ સમુહોની દિશા અસ્તવ્યસ્ત હોય છે અને તેના પરિણામે આ પ્રકારનો પ્રકાશ બધીજ દિશામાં દોલીત થતો જોવા મળે છે. અને તેનો બે પ્રકાશીય સદિશો E સદિશ અને M સદિશનો બનેલો ગણી શકાય આ પ્રકારનો પ્રકાશ સુસંબધ્ધ પ્રકાશ હોતો નથી.



(2)રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ (Linearly Polarised Light):

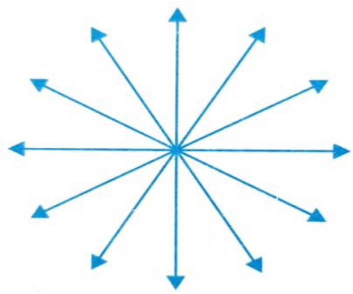
જે તે બે રેખીય ધ્રુવિભૂત સુસંબધ્ધ તરંગોનો બનેલો ગણવામાં આવે છે. આ પ્રકારના પ્રકાશના વિધુતીય દોલનો ફક્ત એકજ તલને સાપેક્ષ દોલન થતા હોવાથી તેને તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ પણ કહેવામાં આવે છે.



રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ

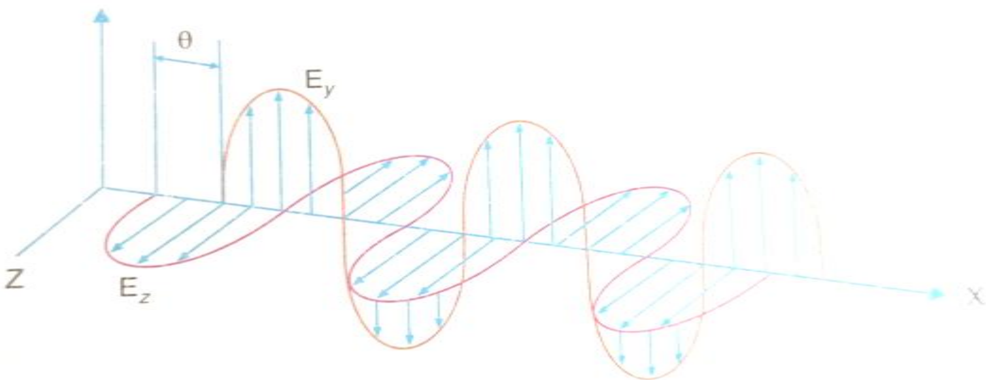
(3)અંશતઃ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Partially Polarised Light):

અધ્રુવિભૂત પ્રકાશ અને રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશના મિશ્રણને અંશતઃ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહેવામાં આવે છે. બાજુની આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ અંશતઃ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશને દર્શાવામાં આવે છે.



(4) અતિવૃતીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Elliptically Polarised Light):

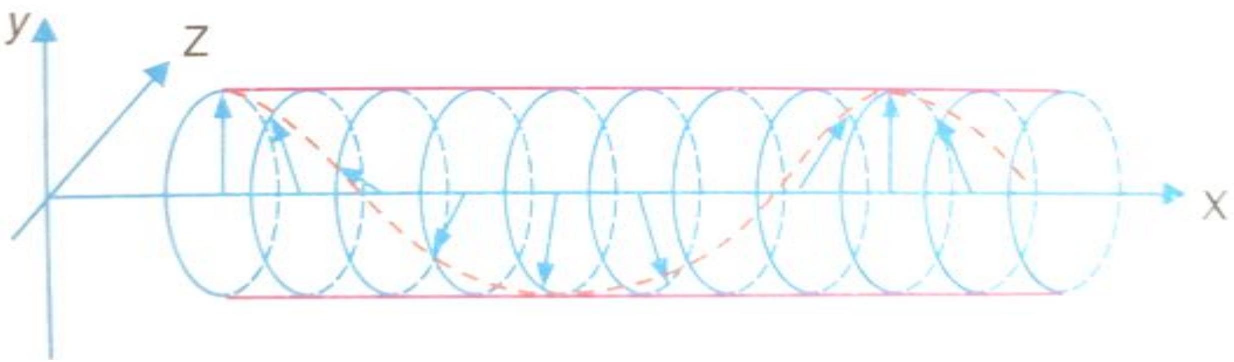
બે સુસંબધ્ધ તલધ્રુવિભૂત તરંગો એક બીજાને લંબ આવેલ હોય છે અને બંનેનો કંપવિસ્તાર અલગ અલગ હોય તેમજ તેમની વચ્ચે કળાનો તફાવત 90^0 અચળ હોય તો તેવા બે તરંગોના મિશ્રણથી મળતું પરિણામી તરંગ એ અતિવૃતીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહેવાય છે. જેમાં તેના વિદ્યુતીય સદિશ E નું માન સમયને સાપેક્ષ બદલાતું જાય છે અને આ સદિશ E તેના પ્રસરણની દિશાની આસપાસ ધુમતો જોવા મળે છે.



હવે જો આ પ્રકારનો પ્રકાશ આપણી તરફ આવતો હોય તેમ તેને જોવામાં આવે તો E સદિશની અણી એક અતિવૃતિયની આકૃતિ બનાવતી દેખાશે અને જો આવા પ્રકારના પ્રકાશને તેની પ્રસરણની દિશાની બાજુમાંથી જોવામાં આવે તો E સદિશની અણી એક હેલીકલ આકૃતિ રૂપે દેખાશે. જો આવા પ્રકાશને તેના ઉદભવ સ્થાનની પાછળની બાજુએથી તેના પ્રસરણની દિશા તરફ જોવામાં આવે અને જો E ની દિશા ઘડિયાળની દિશા જેવી હોય તો તેવા પ્રકાશને દક્ષ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ (Right elliptically polarized)કહેવાય છે અને જો E ની દિશા ઘડિયાળની વિરૂધ્ધ દિશામાં હોત તો તેવા પ્રકાશને વામ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ (Left elliptically polarized)કહેવામાં આવે છે.

(5)વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Circularly Polarised Light):

જો બે સુસંબધ્ધ તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશના તરંગો એકબીજાને લંબ રહેલ હોય અને તેમનો કંપવિસ્તાર સમાન હોય તેમજ તેમની વચ્ચે અચળ કળા તફાવત 90^0 હોય તો તેવા બે તરંગોના મિશ્રણથી મળતા પ્રકાશને વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કહેવામાં આવે છે.



હવે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ જો વિધુત સદિશ E નું માન સમાન રહેલું હોય પરંતુ તે પ્રસરણની દિશામાં ધુમતો જતો હોય તો તે એક વૃતિય હેલીક્સ પથ બનાવશે. હવે જો આ તરંગને આપણે આપણી તરફ આવતું કલ્પીએ તો સદિશ E ની અણી એક વતૃળ બનાવતી દિશામાં હોય . જો તેને E ના ભ્રમણની દિશા ઘડીયાળની દિશામાં હોય જો તેને પ્રકાશ ઉદભવ સ્થાન તરફથી જોઇએ ત્યારે તો તેવા તરંગને દક્ષ વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Right circularly polarized) કહેવાય છે. અને પ્રકાશ ઉદભવસ્થાનથી જોતા તે ઘડીયાળની વિરૂધ્ધ દિશામાં ગતિ કરતો હોય તો તેવા પ્રકાશને વામ વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ(Left circularly polarized) કહે છે.

6. વિરૂપકો અથવા તરંગ તકતીઓ(Retarolors or Wave Plates):

વિરૂપકો એ પ્રકાશીય ઉપકરણોનો એક એવો વર્ગ છે કે જેના દ્વારા આપાત પ્રકાશના ધ્રુવિભવનમાં બદલાવ કરી શકાય છે. આમ તો વિરૂપકોનું કાર્ય ખુબ જ સાદું હોય છે. જેમ કે કોઇ એક તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ કિરણ વિરૂપક

પર આપાત થાય છે ત્યારે વિરૂપક આ કિરણને બે તલધ્રુવિભૂત કિરણોમાં વિભાજીત કરે છે. જેમાંનું એક તરંગ બીજા કરતા જાણીતી માત્રામાં પાછળ રહેલું હોય છે. આ બંને તરંગો જ્યારે વિરૂપકમાંથી બહાર આવે છે ત્યારે તે બંને એકબીજા પર સંપાત થાય છે. અને એક નવાજ પ્રકારના તરંગનું સર્જન કરે છે. કે જે તરંગનું ધ્રુવિભવન આપાત પ્રકાશની ધ્રુવિભવન અવસ્થા કરતા જુદું હોય છે. આ પ્રકારના બે વિરૂપકો ખૂબજ ઉપયોગી છે. જેમાંનું એક ચતૃથાંશ(ચતુર્થ) તરંગ તકતી (quarter wave plate) અને બીજી અર્ધ તરંગ તકતી (half wave plate). આ પ્રકારના વિરૂપકો બનાવવા માતે કેલ્સાઇટનો ઉપયોગ થતો નથી કારણકે કેલ્સાઇટ ખુબજ મૃદુ હોવાથી તેની પાતળી તકતી બનાવતા તે તુટી જાય છે. તેથી વિરૂપકો બનાવવા માટે ક્વાર્ટઝ (quartz)અથવા તો અબરખ (mica) નો ઉપયોગ થાય છે.

6.1 ચતુર્થ તરંગ તકતી(Quarter Wave Plate):

ચતુર્થ તરંગ તકતી એ એક દ્રિવક્રીભવનકારક સ્ફટીકની પાતળી તકતી હોય છે. અને તેની દકઅક્ષ એ સ્ફટીકની વક્રીભવનકારક સપાટીને સમાંતર હોય છે. તેની જાડાઇ એ રીતની રાખવામાં આવેલ હોય છે જેથી e-કિરણ અને O-કિરણ તેમાંથી પસાર થતા તેમની વચ્ચે ચતુર્થ તરંગ જેટલો એટલે કે $\frac{\lambda}{4}$ જેટલો પથતફાવત ઉત્પન્ન થાય અથવા તો બંને તરંગો વચ્ચે 90^0 નો કળા તફાવત ઉત્પન્ન થાય.

જ્યારે કોઇ એક દ્રિવક્રિભવન સ્ફટીક પર તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ આપાત થાય છે અને જો આ દ્રિવક્રીભૂત સ્ફટીકની દક અક્ષ તેની વક્રીભવન કારક સપાટીને સમાંતર હોય તો તેમાંથી પ્રકાશ પસાર થતા તેનું બે કિરણો e-કિરણ અને O-કિરણમાં વિભાજન થાય છે અને આ બંને કિરણો સ્ફટીકમાં એકજ દિશામાં પરંતુ જુદા જુદા વેગથી ગતિ કરે છે. તેથી જ્યારે આ બંને કિરણ સ્ફટીકની પાછળની સપાટીમાંથી બહાર આવશે ત્યારે આ બંને કિરણો વચ્ચે પથતફાવત ઉત્પન્ન થયેલ જોવા મળશે તેથી આવી ક્વાર્ટઝ ની ચતુર્થ તરંગ તકતી માટે

$(\mu_e - \mu_0)d = \frac{\lambda}{4}$ ------------(1)

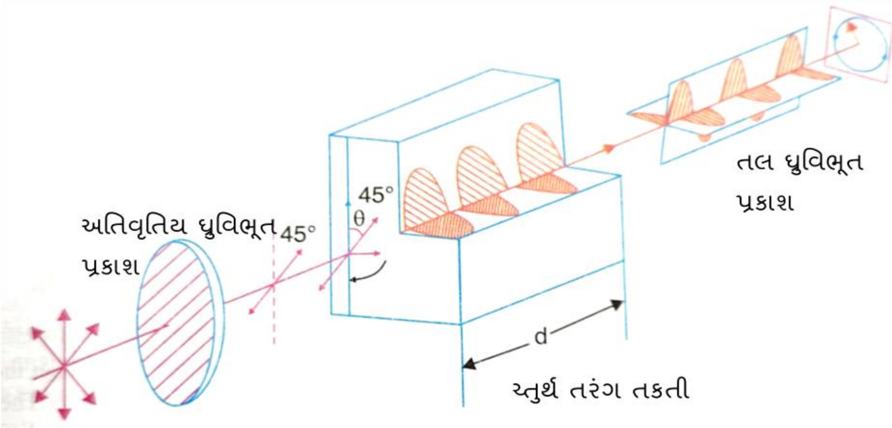
$\therefore \ d = \frac{\lambda}{4(\mu_e - \mu_0)}$ ---------------(2)

અને ચતુર્થ તરંગ તકતી દ્વારા e- કિરણ અને O- કિરણ વચ્ચે ઉમેરાતો કળાનો તફાવત δ હોય તો

$$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\Delta = \frac{\pi}{2} = 90^0$$

અતિવૃતિય અથવા વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ પર ચતુર્થ તરંગ તકતી દ્વારા થતું કાર્ય (Action of quarter wave plate on elliptically & circularly polarized light):

આ પ્રકારની ચતુર્થ તરંગ તકતીનો ઉપયોગ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત અને વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ઉત્પન્ન કરવા માટે થાય છે. તેના પર આપાત થતા તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશના સદિશનો તેની દક અક્ષ સાથે જે ખૂણો બને તેને અનુરૂપ અતિવૃતિય અથવા વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ મળે છે.



હવે જો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ ચતુર્થ તરંગ તકતી પર અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ આપાત કરવામાં આવે તો આ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ એ બે સુસંબધ્ધ તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશનો બનેલો હશે કે જેના બંને તરંગોનો કંપવિસ્તાર જુદો જુદો હશે અને તે બે તરંગો વચ્ચેનો કળા તફાવત 90^0 હશે. હવે આ પ્રકારનો પ્રકાશ ચતુર્થ તરંગ માંથી પસાર થતા તેમાં વધારાનો કળા તફાવત 90^0 ઉમેરાશે તેથી તેના બંને તરંગો વચ્ચેનો કળા તફાવત 180^0 થશે. અને આમ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ચતુર્થ તરંગ તકતીમાંથી પસાર થઇને બહાર આવતા તે બંને તરંગો એકબીજા તર સંપાત થઇ જશે અને બહારની બાજુએ રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ અથવા તો તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ મળશે. જે આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે. આજ રીતે જો વૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ચતુર્થ તરંગ તકતી માંથી પસાર થાય તો પણ તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ મળશે.

6.2 અર્ધ તરંગ તકતી(Half Wave Plate):

અર્ધ તરંગ તકતી એ એક દ્વિવક્રિભવનકારક સ્ફટીકની પાતળી તકતી હોય છે. તેની દક અક્ષ સ્ફટીકની વક્રીભવનકારક સપાટીને સમાંતર હોય છે. તેથી જાડાઇ એ રીતે રાખવામાં આવેલ હોય છે. જેથી e- કિરણ અને O-કિરણ તેમાંથી પસાર થતા તેમની વચ્ચે અર્ધ તરંગ જેટલો એટલે કે $\frac{\lambda}{2}$ જેટલો પથતફાવત ઉત્પન્ન થાય અથવા તો તે બંને તરંગો વચ્ચે 180^0 જેટલો કળા તફાવત ઉત્પન્ન થાય.

આવા એક દ્વિવક્રીભૂત સ્ફટીક પર તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ આપાત થાય અને જો આ દ્વિવક્રીભૂત સ્ફટીકની દક અક્ષ તેની વક્રીભવનકારક સપાટીને સમાંતર હોય તો તેમાંથી પ્રકાશ પસાર થતા તેનું બે કિરણો e- કિરણ અને O-કિરણમાં વિભાજન થાય છે અને આ કિરણો સ્ફટીકમાં એકજ દિશામાં પરંતુ જુદા જુદા વેગથી ગતિ કરે છે.તેથી જ્યારે

આ બંને કિરણો સ્ફટીકની પાછળની સપાટીમાંથી બહાર આવશે ત્યારે આ બંને કિરણો વચ્ચે પથતફાવત ઉત્પન્ન થયેલો જોવા મળશે તેથી ક્વાર્ટઝની અર્ધ તરંગ તકતી માટે

$(\mu_e - \mu_0)d = \frac{\lambda}{2}$ ------------(1)

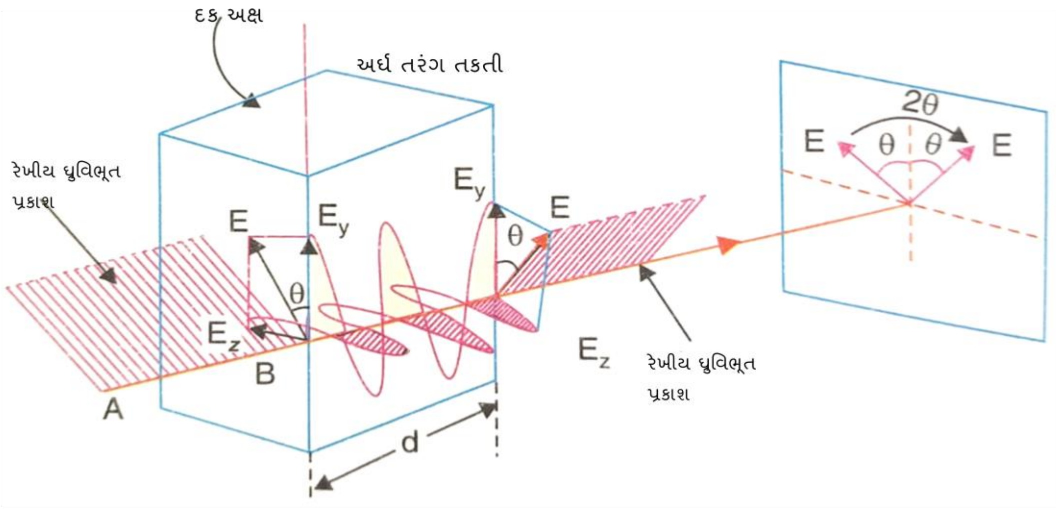
$\therefore \; d = \frac{\lambda}{2(\mu_e - \mu_0)}$ ---------------(2)

અને અર્ધ તરંગ તકતી દ્વારા e- કિરણો અને O- કિરણો વચ્ચે ઉમેરાતો કળાનો તફાવત δ હોય તો,

$$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\Delta = \pi = 180^0$$

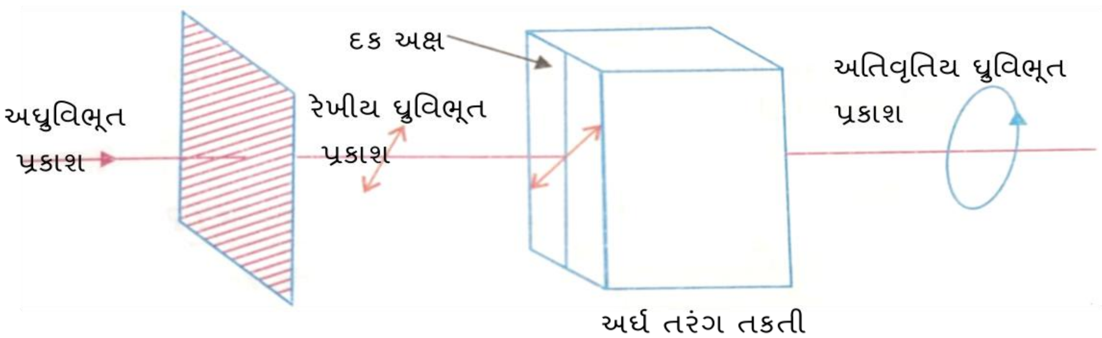
અર્ધ તરંગ તકતી દ્વારા રેખીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશના ધ્રુવિભવન તલનું ભ્રમણ (Rotation of the plane of polarization of linearly polarized light by a half wave plate):

હવે જો અર્ધ તરંગ તકતી પર તકતીને લંબ દિશામાં તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ આપાત કરવામાં આવે અને જો આ પ્રકાશના વિદ્યુત સદિશ E એ θ જેટલો ખૂણો અર્ધ તરંગ તકતીની દક અક્ષ સાથે બનાવતા હોય તો આ પ્રકારની રચના નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ છે.



આપાત તરંગ સ્ફટીકમાં દાખલ થતાં તેનું બે તરંગો e-કિરણ અને O-કિરણમાં રૂપાંતર થાય છે. જેમ આ તરંગો સ્ફટીકમાંથી પસાર થતા જશે તેમ તેમની વચ્ચે પથતફાવત વધતો જશે અને સ્ફટીકમાંથી બહાર નીકળતા તેમની વચ્ચે 180^0 નો કળા તફાવત ઉદભવશે અને આ બે કિરણોની પરિણામી અસર રૂપે બહાર આવતો પ્રકાશ ફરી પાછો તલધ્રુવિભૂત હશે. પરંતુ તે સ્ફટીકમાં દાખલ થતા પ્રકાશથી 2θ કોણે ભ્રમણ થયેલ હશે. તેથી અર્ધ તરંગ તકતી આપાત તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશના તલનું જેટલા કોણે ભ્રમણ કરે છે. આજ રીતે અર્ધ તરંગ તકતી દ્વારા અતિવૃતની અક્ષોને ડાબેથી જમણે કે જમણે થી ડાબી તરફ ફેરવી શકાય છે.

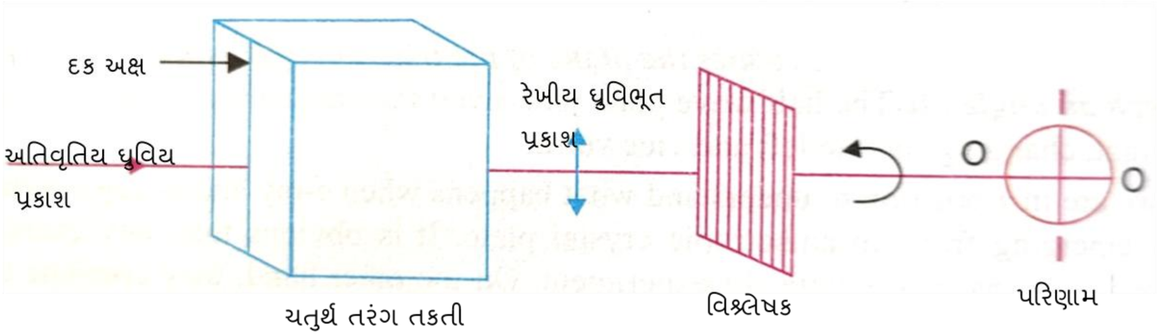
7. અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ઉત્પન્ન કરવાની રીત(Production of Elliptically Polarised light):



અધ્રુવિભૂત પ્રકાશમાંથી અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ મેળવવા માટે એક ચતુર્થ તરંગ તકતી અને એક ધ્રુવકની જરૂર પડે છે. અધ્રુવિભૂત પ્રકાશને સૌ પ્રથમ એક ધ્રુવકમાંથી પસાર કરી અને તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ મેળવવામાં આવે છે અને ત્યાર બાદ આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે આ તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશને ચતુર્થ તરંગ તકતી પર આપાત કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ કાંતો ચતુર્થ તરંઅગ તકતી અથવા ધ્રુવકને એ રીતે ફેરવવામાં આવે છે કે જેથી તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશના વિદ્યુત સદિશ E એ અર્ધ તરંગ તકતીના દક અક્ષ સાથે θ ખૂણો બનાવે અહીં એ બાબતનું રાખવું કે $\theta \neq 45^0$. હવે આપાત પ્રકાશ સ્ફટીકમાં e- કિરણ અને O- કિરણ રૂપે વિભાજીત થાય છે. આ e- કિરણ અને O-કિરણ કંપવિસ્તાર અનુક્રમે $Esin\theta$ અને $Ecos\theta$ થશે. આ બંને કિરણો સ્ફટીકમાં એક જ દિશામાં પરંતુ જુદાજુદા વેગથી ગતિ કરશે. આ બંને કિરણો એકબીજાને લંબતલમાં ધ્રુવિભૂત થયેલા હશે. જ્યારે તે સ્ફટીકની પ્રથમ સપાટી પાસે હશે ત્યારે તેમની વચ્ચેનો કળા તફાવત શૂન્ય હશે પરંતુ જેમ જેમ તે સ્ફટીકમાં આગળ વધશે તેમ બંને વચ્ચે કળા તફાવત વધતો જશે અને જ્યારે તે સ્ફટીકમાંથી બહાર આવશે ત્યારે તેમની વચ્ચેનો કળા તફાવત 90^0 થશે અને પથતફાવત $\frac{\lambda}{4}$ થશે. જ્યારે આ પ્રકાશના બંને તરંગો બહાર આવે છે ત્યારે તેની સંયુક્ત અસરથી અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ઉત્પન્ન થાય છે.

7.1 અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશની ચકાસણી(Detection of Elliptically polarized light):

જે અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશની ચકાસણી કરવી હોય તેને વિશ્લેષકમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે. જ્યારે આ વિશ્લેષક તકતી અથવા નિકોલ પ્રિઝમને તેની પર આપાત થતા પ્રકાશની અક્ષને સાપેક્ષ અક્ષને લંબ ફેરવવામાં આવે છેત્યારે તેમાંથી પસાર થઇને બહાર આવતા પ્રકાશની તીવ્રતામાં મહતમ થી ન્યુનતમ અને ન્યુનતમથી મહતમ એમ ફેરફાર પરંતુ તે ક્યારેય પણ શૂન્ય થાય નહીં તો આપાત પ્રકાશ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત છે તેમ કહી શકાય. પરંતુ આજ પ્રકારનું પરીણામ અંશતઃ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ માટે પણ મળે છે તેથી આ બંને પ્રકાશને સ્પષ્ટ અલગ પાડવા માટે નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પ્રકાશ વિશ્લેષકની સપાટી પર પડે તે પહેલાના તેના માર્ગમાં એક ચતુર્થ તરંગ તકતી દાખલ કરવામાં આવે છે.



હવે જે પ્રકાશને ચકાસવો છે તે અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ હોય તો તે બે સુસંબધ્ધ તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશનો બનેલો હશે કે જે e-કિરણો અને O-કિરણો છે. અને આ બંને કિરણો એક બીજાને સાપેક્ષ કળા તફાવત 90^0 હશે. હવે આવો પ્રકાશ જ્યારે ચતુર્થ તરંગ તકતીમાંથી પસાર થશે ત્યારે e-કિરણ અને O-કિરણ વચ્ચે વધારાનો કળા તફાવત 90^0 ઉમેરાશે અને તેથી કુલ કળા તફાવત 180^0 થશે. તેથી આ e-કિરણ અને O-કિરણ ચતુર્થ તરંગ તકતીમાંથી બહાર આવી સંયુક્ત અસર રૂપે તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ રૂપમાં જોવા મળશે. જો આ પ્રકાશનું વિશ્લેષક દ્વારા પરીક્ષન કરવામાં આવે તો વિશ્લેષકના એક પૂર્ણ ભ્રમણ દરમ્યાન બે વખત પ્રકાશની તીવ્રતા મહતમ થતી જોવા મળશે. અને તે પરથી કહી શકાય કે આપાત પ્રકાશ એ અતિવૃતિય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ છે.

દાખલા(Examples):

1.જો $n_e = 1.553$ અને $n_o = 1.544$ હોય તો 5000^0A ની તરંગલંબાઇના પ્રકાશ માટે (1)ક્વાર્ટર વેવ પ્લેટ અને (2) હાફ વેવ પ્લેટની જાડાઇની ગણતરી કરો.

(1)ક્વાર્ટર વેવ પ્લેટ માટે $d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_0)} = \frac{5000\times10^{-8}}{4(1.553-1.544)} = \frac{5000\times10^{-8}}{4\times0.099} = 1.39\times10^{-3}\text{cm}$

(2) હાફ વેવ પ્લેટ માટે $d = \frac{\lambda}{2(n_e - n_0)} = \frac{5000\times10^{-8}}{2(1.553-1.544)} = \frac{5000\times10^{-8}}{2\times0.099} = 2.78\times10^{-3}\text{cm}$

2. 6000^0A ની તરંગલંબાઇનો તલ ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ $1.37\times10^{-3}cm$ જાડાઇની ક્વાટ્ઝ પ્લેટમાંથી પસાર થાય છે ત્યારે વૃતીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ બને છે. આ પ્રકાશ માટે દક અક્ષની દિશામાં વક્રીભવનાંક 1.5442 હોય તો ક્વાટ્ઝના n_oઅને n_e મૂલ્યો શોધો.

ક્વાટ્ઝ ધન સ્ફટિક હોવાથી દક અક્ષની દિશામાં તેને વક્રીભવનાંક ઓછામાં ઓછો હોય છે. તેથી

$n_e = n_o = 1.5442$

હવે ક્વાર્ટર વેવ પ્લેટ માટે $d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_0)}$

$\therefore\ n_e - n_o = \frac{\lambda}{4d} = \frac{6000\times10^{-8}}{4\times1.37\times10^{-3}} = \frac{6}{4\times137} = 0.0109$

$\therefore\ n_e = 0.0109 + 1.5442 = 1.5551$

પ્રશ્નો(Questions):

1.નીચેની વ્યાખ્યાઓ આપો.

અધ્રુવીભૂત પ્રકાશ, તલધ્રુવિભૂત પ્રકાશ, દોલન તલ, ધ્રુવિભવન તલ, ધ્રુવક, વિશ્લેષક, દ્વિવક્રીભવન, દક અક્ષ.

2.દ્વિવક્રીભવન દ્વારા થતું ધ્રુવિભવન સમજાવો.

3. દ્વિવક્રીભવન માટે હાઇગેન્સની સમજૂતી આપો.

4. O-કિરણ અને e- કિરણ નો તફાવત સમજાવો.

5. ધ્રુવિભૂત પ્રકાશના પ્રકારો વિષે સંપૂર્ણ માહિતી આપો.

6.ચતુર્થ તરંગ તક્તી વિષે નોંધ લખો.

7.અર્ધ તરંગ વિષે નોંધ લખો.

8. અતિવૃતીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશ ઉત્પન્ન કરવાની રીત લખો.

9. અતિવૃતીય ધ્રુવિભૂત પ્રકાશની ચકાસણી માટેની રીત લખો.