

B. Sc. PHYSICS :SEMESTER -V

TYPE OF COURSE: MINOR DISCIPLINE SPECIFIC COURSE (THEORY)

COURSE NAME: HOLOGRAPHY AND FIBER OPTICS

COURSE CODE: SC23MIDSCPHY502

(Effective from June 2025 Under NEP–2020)

Unit-IV

FIBER OPTICS:

Fiber Optics: Introduction (24.1), Optical Fiber (24.2), Necessity of cladding(24.2.1),Optical Fibre System (24.2.2), Optical fiber cable (24.2.3), Total Internal Reflection (24.3), Propagation of Light Through and Optical Fibre (24.4),Critical angle of Propagation (24.4.1), Acceptance angle (24.4.2), Fraction of refractive index (24.5), Numerical aperture(24.6), Skip distance and number of total internal reflections (24.7), Classification of optical fibres (24.10), Types of Optical Fibre (24.11), (24.11.1, 24.11.2, 24.11.3), V-Number (Normalize frequency)(24.13), Losses in Optical Fibre (24.15), Attenuation (24.15.1), Bandwidth (24.17), Characteristics of the Fibres (24.18), Fibre Optic Communication System (24.21), Merits of Optical Fibres (24.22), Disadvantages (24.22.1). Related Examples, Problems & Short Questions

Basic Reference:

A Textbook of Optics by Dr.N.Subrahmanyam, Brijlal and Dr. M. N.Avadhanulu (as per UGC Model syllabus,25th revise addition 2012, reprint 2018) (S. Chand Co.)

અનુક્રમણિકા

નંબર	વિગત	પેજ નંબર
1.	પરિચય (Introduction)	4
2.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબર (Optical Fibre)	5
3.	આવરણની જરૂરિયાત (Necessity of Cladding)	6
4.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સિસ્ટમ(Optical Fibre System)	8
5.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કેબલ(Optical Fibre Cable)	8
6.	કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ (Total Internal Reflection)	10
7.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશનો પ્રચાર (Propagation of light through an optical fibre)	11
8.	પ્રસારનો મહત્વપૂર્ણ કોણ(Critical Angle of Propagation)	12
9.	સ્વીકૃતિ કોણ(Acceptance Angle)	14
10.	અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફેરફાર(Fractional Refractive Index Change)	16
11.	સંખ્યાત્મક છિદ્ર(Numerical Aperture)	16
12.	અંતર અને કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબની સંખ્યા છોડો (Skip Distance and Number of Total Internal Reflections)	17
13.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનું વર્ગીકરણ(Classification of Optical Fibres)	18
A.	રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલ પર આધારિત વર્ગીકરણ (Classification basing on refractive index profile)	19
B.	પ્રકાશ પ્રસારના મોડ્સના આધારે વર્ગીકરણ (Classification basing on the modes of light propagation)	19
C.	સામગ્રીના આધારે વર્ગીકરણ(Classification basing on materials)	20
1.	સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર(Single mode step index fibre)	20
2.	મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર(Multimode step index fibre)	21
3.	ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ (ગ્રિન) ફાઇબર(Graded index(GRIN) fibre)	22
14.	વી નંબર (V-NUMBER)	23
15.	ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં નુકસાન(Losses in Optical Fibre)	26
15.1	નિર્બળતા(Attenuation)	26
16.	બેન્ડવિડ્થ(Bandwidth)	27
17.	તંતુઓની લાક્ષણિકતાઓ(Characteristics of the Fibres)	27
A.	સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ સિંગલ-મોડ ફાઇબર (Step index single mode fibre)	27

	B.	સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ મલ્ટી-મોડ ફાઇબર(Step index multi mode fibre)	28
	C.	ગ્રેડેડ-ઇન્ડેક્સ મલ્ટી-મોડ ફાઇબર(Graded-index multi mode fibre)	29
18.		ફાઇબર ઓપ્ટિક કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ (Fibre optic Communication System)	29
19.		ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના ગુણો(Merits of Optical Fibres)	31
20.		ઉદાહરણો(Examples)	33
21.		પ્રશ્નો(Questions)	35

Unit-4

FIBER OPTICS (ફાઇબર ઓપ્ટિક્સ)

1. પરિચય (Introduction):

૧૮૭૦ માં, બ્રિટીશ ભૌતિકશાસ્ત્રી જોન ટિન્ડલએ દર્શાવ્યું હતું કે પ્રકાશને પાણીના પ્રવાહના વળાંક સાથે દિશાયમાન કરી શકાય છે. પૂર્ણ આંતરિક પ્રતિબિંબને કારણે પ્રકાશ પાણીના પ્રવાહ સુધી મર્યાદિત થઈ જાય છે અને પ્રવાહ તેજસ્વી દેખાય છે. તેજસ્વી પાણીનો પ્રવાહ એ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો પર્યાય છે. ૧૯૫૦ ના દાયકામાં, ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા છબીઓનું પ્રસારણ વ્યવહારમાં સાકાર થયું. હોપકિન્સ અને કપાનીએ લવચીક ફાઇબરસ્કોપ વિકસાવ્યો, જેનો ઉપયોગ તબીબી જગત દ્વારા દૂરસ્થ પ્રકાશન અને માનવ શરીરના આંતરિક ભાગને જોવા માટે કરવામાં આવતો હતો. કપાનીએ જ ફાઇબર ઓપ્ટિક્સ શબ્દ બનાવ્યો હતો. ૧૯૬૦ સુધીમાં, તે સ્થાપિત થઈ ગયું હતું કે પ્રકાશને કાયના ફાઇબર દ્વારા માર્ગદર્શન આપી શકાય છે. ૧૯૬૬ માં ચાર્લ્સ કાયો અને જ્યોર્જ હોકહામે કાયના ફાઇબર દ્વારા માહિતીના પ્રસારણનો પ્રસ્તાવ મૂક્યો હતો, પરંતુ તે સમયે ઉપલબ્ધ ફાઇબરોએ તેમના દ્વારા પ્રસારિત થતા પ્રકાશને ભારે ઘટાડ્યો હતો. ૧૯૭૦ માં કોર્નિંગ ગ્લાસ વર્ક્સે ઓછા નુકસાનવાળા કાયના ફાઇબરનું ઉત્પાદન કર્યું. ૧૯૭૦માં સોલિડ સ્ટેટ લેસરોની શોધથી ઓપ્ટિકલ કોમ્યુનિકેશન વ્યવહારુ બન્યું. ૧૯૭૭ સુધીમાં ઓપ્ટિકલ ફાઇબર પર આધારિત વાણિજ્યિક કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ્સનો દેખાવ થયો. કોમ્યુનિકેશન ચેનલ તરીકે ઉપયોગ ઉપરાંત, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો ઉપયોગ અન્ય ક્ષેત્રોમાં પણ વ્યાપકપણે થાય છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરથી બનેલા ફાઇબ્રોસ્કોપનો ઉપયોગ તબીબી નિદાનમાં વિવિધ સ્વરૂપોમાં વ્યાપકપણે થાય છે. ઇલેક્ટ્રિકલ, મિકેનિકલ, થર્મલ એનર્જી શોધવા માટેના સેન્સર ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો ઉપયોગ કરીને બનાવવામાં આવે છે. ફાઇબર ઓપ્ટિક્સ એક એવી ટેકનોલોજી છે જેમાં સિગ્નલોને ઇલેક્ટ્રિકલમાંથી ઓપ્ટિકલ સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે, પાતળા કાયના ફાઇબર દ્વારા ટ્રાન્સમિટ કરવામાં આવે છે અને ફરીથી ઇલેક્ટ્રિકલ સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે.

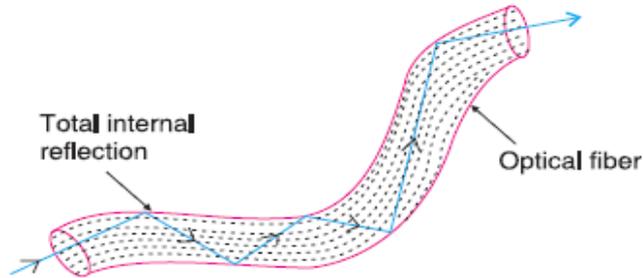


Optical Fibre.

2. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર (Optical Fibre):

વ્યાખ્યા(Definition): ઓપ્ટિકલ ફાઇબર એ નળાકાર તરંગ માર્ગદર્શિકા છે જે પારદર્શક ડાઇલેક્ટ્રિક (કાચ અથવા સ્પષ્ટ પ્લાસ્ટિક) થી બનેલી હોય છે , જે કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ દ્વારા પ્રકાશ તરંગોને તેની લંબાઈ સાથે માર્ગદર્શન આપે છે. તે માનવ વાળ જેટલું પાતળું છે , આશરે $70 \mu\text{m}$ અથવા 0.003 ઇંચ વ્યાસ. (નોંધ કરો કે ધાતુના પાતળા તારને વાયર કહેવામાં આવે છે અને ડાઇલેક્ટ્રિક પદાર્થોના પાતળા તારને ફાઇબર કહેવામાં આવે છે).

સિદ્ધાંત(Principal): ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં તેના એક છેડાથી બીજા છેડા સુધી પ્રકાશનો પ્રસાર સંપૂર્ણ આંતરિક પ્રતિબિંબના સિદ્ધાંત પર આધારિત છે. જ્યારે પ્રકાશ ફાઇબરના એક છેડામાં પ્રવેશ કરે છે , ત્યારે તે બાજુની દિવાલોમાંથી ક્રમિક કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે અને ઝિગઝેગ માર્ગ સાથે ફાઇબરની લંબાઈ સાથે મુસાફરી કરે છે , જેમ કે આકૃતિ માં બતાવ્યા પ્રમાણે. પ્રકાશનો એક નાનો અંશ બાજુની દિવાલોમાંથી બહાર નીકળી શકે છે પરંતુ ફાઇબરના બહાર નીકળવાના છેડામાંથી એક મોટો અંશ બહાર નીકળે છે, જેમ આકૃતિ-1 માં દર્શાવવામાં આવ્યું છે કે ભલે તે વાંકો હોય તો પણ પ્રકાશ ફાઇબરમાંથી મુસાફરી કરી શકે છે.



આકૃતિ-1

માળખું(Structure):



Side view and cross sectional view of a typical optical fibre

આકૃતિ-2

એક વ્યવહારુ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર નળાકાર આકારનું હોય છે (આકૃતિ 2a) અને તેમાં સામાન્ય રીતે ત્રણ સમઅક્ષીય પ્રદેશો (આકૃતિ 2b) હોય છે.

(i) સૌથી અંદરનો નળાકાર પ્રદેશ પ્રકાશ માર્ગદર્શક ક્ષેત્ર છે જેને કોર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. સામાન્ય રીતે, કોરનો વ્યાસ $8.5 \mu\text{m}$ થી $62.5 \mu\text{m}$ સુધીનો હોય છે.

(ii) તે આવરણ (ક્લેડીંગ) તરીકે ઓળખાતા સમઅક્ષીય મધ્ય પ્રદેશથી ઘેરાયેલું છે. ક્લેડીંગનો વ્યાસ $125 \mu\text{m}$ જેટલો હોય છે. ક્લેડીંગ (n_2)નો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ હંમેશા કોર (n_1) કરતા ઓછો હોય છે. કોરમાં પ્રવેશતો અને કોર-ટુ-ક્લેડીંગ ઇન્ટરફેસને નિર્ણાયક કોણ કરતા મોટા ખૂણા પર અથડાતો પ્રકાશ કોરમાં પાછો પ્રતિબિંબિત થશે. ઘટના અને પ્રતિબિંબના ખૂણા સમાન હોવાથી, પ્રકાશ ફાઇબર દ્વારા ફરી વળતો અને પ્રસારિત થતો રહેશે.

(iii) સૌથી બહારના પ્રદેશને આવરણ અથવા રક્ષણાત્મક પ્રતિરોધક આવરણ (બફર કોટિંગ) કહેવામાં આવે છે. આ પ્લાસ્ટિક કોટિંગ છે જે વધારાના રક્ષણ માટે ક્લેડીંગ પર આપવામાં આવે છે. આ કોટિંગ ઉત્પાદન પ્રક્રિયા દરમિયાન ફાઇબર માટે ભૌતિક અને પર્યાવરણીય રક્ષણ પૂરું પાડવા માટે લાગુ કરવામાં આવે છે. બફર પ્રકૃતિમાં સ્થિતિસ્થાપક છે અને ઘર્ષણ અટકાવે છે. કોટિંગ $250 \mu\text{m}$ અથવા $900 \mu\text{m}$ સુધી કદમાં બદલાઈ શકે છે. સારાંશમાં

- કોર એ આંતરિક પ્રકાશ વહન કરનાર સભ્ય છે.
- ક્લેડીંગ એ મધ્યમ સ્તર છે, જે પ્રકાશને કોર સુધી મર્યાદિત રાખવાનું કામ કરે છે.
- બફર કોટિંગ ક્લેડીંગને ઘેરી લે છે, જે ફાઇબરને ભૌતિક નુકસાન અને પર્યાવરણીય અસરોથી રક્ષણ આપે છે.

3. આવરણની જરૂરિયાત (Necessity of Cladding):

વાસ્તવિક ફાઇબર ખૂબ જ પાતળું હોય છે અને ખુલ્લા ફાઇબરમાં પ્રવેશતો પ્રકાશ કાય-હવા સીમા પર પુનરાવર્તિત કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ દ્વારા ફાઇબર સાથે પ્રવાસ કરશે. જો કે, ખુલ્લા ફાઇબરનો ઉપયોગ ફક્ત ચોક્કસ એપ્લિકેશનોમાં જ થાય છે. સંદેશાવ્યવહાર અને કેટલાક અન્ય એપ્લિકેશનોમાં ઉપયોગ માટે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને ક્લેડીંગ આપવામાં આવે છે. ક્લેડીંગ ફાઇબરનું એકસમાન કદ જાળવી રાખે છે, ફાઇબરની દિવાલોને ચીપિંગથી સુરક્ષિત કરે છે, અને ફાઇબરમાં ફસાયેલા પ્રકાશના શંકુનું કદ ઘટાડે છે.

- તે જરૂરી છે કે ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો વ્યાસ તેની લંબાઈ દરમિયાન સ્થિર રહે અને તે જ માધ્યમથી ઘેરાયેલો હોય. ફાઇબરની જાડાઈમાં કોઈપણ ફેરફાર અથવા ફાઇબરની બહારના માધ્યમ (જ્યારે

ફાઇબર ભેજ વગેરેને કારણે ભીનું થઈ જાય છે) ફાઇબરની દિવાલો દ્વારા પ્રકાશ ઊર્જાનું નુકસાન કરશે.

- ફાઇબર દ્વારા ખૂબ મોટી સંખ્યામાં પ્રતિબિંબ થાય છે અને તે જરૂરી છે કે કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ માટેની સ્થિતિ ફાઇબરની સમગ્ર લંબાઈ પર સચોટ રીતે પૂર્ણ થવી જોઈએ. જો કાચના તંતુની સપાટી ખંજવાળી અથવા ચીપ થઈ જાય, તો ધાર સુધીનો સામાન્ય ભાગ હવે એકસમાન રહેશે નહીં. પરિણામે, તંતુમાંથી પસાર થતો પ્રકાશ વિખેરાઈ જશે અને તંતુમાંથી છટકી જશે. આનાથી પ્રકાશ ઊર્જાનું નુકસાન પણ થાય છે.
- પ્રકાશ ઊર્જાનો એક ભાગ તંતુની સપાટીમાં પ્રવેશ કરે છે. જેમ જેમ આપણે સપાટીથી દૂર જઈએ છીએ તેમ તેમ પ્રકાશની તીવ્રતા ઘટતી જાય છે, કારણ કે પ્રકાશ તંતુની બહાર ખૂબ જ નાના અંતરે પ્રવેશ કરી શકે છે. જો કે, જ્યારે પણ તંતુ બીજા કોઈ વસ્તુને સ્પર્શે છે, ત્યારે પ્રકાશ નવા માધ્યમમાં લીક થઈ શકે છે અથવા તંતુથી દૂર વિખેરાઈ શકે છે. આ અસર તંતુમાંથી પ્રકાશ ઊર્જાના નોંધપાત્ર લિકેજનું કારણ બને છે. સપાટી પર થોડી માત્રામાં ધૂળ પણ લિકેજનું કારણ બનશે.
- જો ખુલ્લા ઓપ્ટિક તંતુઓને એક બંડલમાં નજીકથી પેક કરવામાં આવે છે, તો વ્યક્તિગત તંતુઓ દ્વારા મુસાફરી કરતી પ્રકાશ ઊર્જા નિરાશાજનક કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબની ઘટના દ્વારા જોડાય છે. પૂરતી જાડાઈનું આવરણ એક તંતુમાંથી બીજા તંતુમાં પ્રકાશ ઊર્જાના લિકેજને અટકાવે છે. ઉપરોક્ત કારણોસર પ્રકાશ ઊર્જાના નુકસાનને રોકવા માટે ફાઇબરને ક્લેડીંગ આપવામાં આવે છે.
- ક્લેડીંગ પ્રકાશના શંકુના કદમાં ઘટાડો કરે છે જે ફાઇબરમાં ફસાઈ શકે છે. મોટા ખૂણા પર ફાઇબરમાં પ્રવેશતો પ્રકાશ નાના ખૂણાઓ (ઉચ્ચ મોડ્સ) પર ફાઇબર દિવાલો પર અથડાશે અને અંતે લાંબા અંતરની મુસાફરી કરશે. પ્રકાશ સિગ્નલના આવા ઉચ્ચ મોડ્સ ફાઇબરના છેડા સુધી નીચલા મોડ્સ કરતા વધુ સમય લેશે. તેથી, ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા મોકલવામાં આવેલ પલ્સ ફેલાશે. ફેલાવો મોટો હશે, સ્વીકૃતિનો શંકુ જેટલો મોટો હશે. આવા પલ્સ સ્પ્રેડિંગ ફાઇબર દ્વારા ડેટા ટ્રાન્સમિશનના દરને મર્યાદિત કરે છે. ક્લેડીંગવાળા ફાઇબરમાં સ્વીકૃતિનો શંકુ નાનો હોવાથી, તેઓ ક્લેડીંગ વગરના કરતા ઘણા વધુ બીટ રેટ પર માહિતી વહન કરે છે.

આમ, ક્લેડીંગ નીચેના મહત્વપૂર્ણ કાર્યો કરે છે:

- ફાઇબરનું કદ સ્થિર રાખે છે અને કોરમાંથી આસપાસની હવામાં પ્રકાશનું નુકસાન ઘટાડે છે.
- ફાઇબરને ભૌતિક નુકસાન અને શોષક સપાટીના દૂષકોથી રક્ષણ આપે છે.
- અદ્રશ્ય તરંગો દ્વારા ફાઇબરમાંથી પ્રકાશ ઊર્જાના લિકેજને અટકાવે છે.

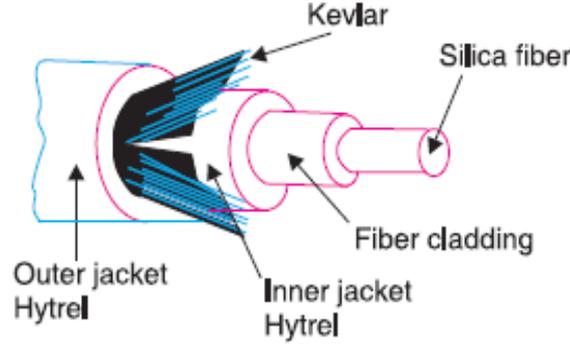
- નિરાશાજનક કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ દ્વારા કોરમાંથી પ્રકાશ ઊર્જાના લિકેજને અટકાવે છે.
- સ્વીકૃતિ શંકુ ઘટાડે છે અને ડેટાના પ્રસારણ દરમાં વધારો કરે છે.
- હવાને બદલે નક્કર ક્લેડીંગ, ફાઇબર પર અન્ય રક્ષણાત્મક સ્તરો ઉમેરવાનું પણ સરળ બનાવે છે.

4. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સિસ્ટમ(Optical Fibre System):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો ઉપયોગ લાંબા અંતર સુધી પ્રકાશ સંકેતો પ્રસારિત કરવા માટે થાય છે. તે મૂળભૂત રીતે પ્રકાશ પ્રસારિત કરતું માધ્યમ છે, તેની ભૂમિકા માઇક્રોવેવ કોમ્યુનિકેશનમાં વપરાતા કોએક્સિયલ કેબલ અથવા વેવ-ગાઇડ જેવી જ છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને તેના ઇનપુટ છેડે ફાઇબરમાં પ્રકાશ લોન્ચ કરવા માટે પ્રકાશ સ્ત્રોત અને તેના આઉટપુટ છેડે પ્રકાશ પ્રાપ્ત કરવા માટે ફોટોડિટેક્ટરની જરૂર પડે છે. ફાઇબરનો વ્યાસ ખૂબ જ નાનો હોવાથી, પ્રકાશ સ્ત્રોત ફાઇબર કોર સાથે પરિમાણીય રીતે સુસંગત હોવો જોઈએ. પ્રકાશ ઉત્સર્જક ડાયોડ્સ અને લેસર ડાયોડ્સ , જે કદમાં ખૂબ નાના હોય છે , પ્રકાશ સ્ત્રોત તરીકે સેવા આપે છે. ઇલેક્ટ્રિકલ ઇનપુટ સિગ્નલ સામાન્ય રીતે ડિજિટલ સ્વરૂપમાં હોય છે. તે પ્રકાશ સ્ત્રોતમાંથી વહેતા પ્રવાહને બદલીને ઓપ્ટિકલ સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત થાય છે. તેથી , સ્ત્રોત દ્વારા ઉત્સર્જિત પ્રકાશની તીવ્રતા ઇનપુટ સિગ્નલ સાથે મોડ્યુલેટ થાય છે અને આઉટપુટ પ્રકાશ પલ્સના સ્વરૂપમાં હશે. પ્રકાશ પલ્સ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા મુસાફરી કરતા સિગ્નલનું નિર્માણ કરે છે. રીસીવરના છેડે, સેમિકન્ડક્ટર ફોટોડાયોડ્સ, જે કદમાં ખૂબ નાના હોય છે, તેનો ઉપયોગ આ પ્રકાશ પલ્સ શોધવા માટે થાય છે. ફોટોડિટેક્ટર ઓપ્ટિકલ સિગ્નલને વિદ્યુત સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત કરે છે. આમ , મૂળભૂત ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સિસ્ટમમાં LED/લેસર ડાયોડ , ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કેબલ અને સેમિકન્ડક્ટર ફોટોડાયોડનો સમાવેશ થાય છે.

5. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કેબલ(Optical Fibre Cable):

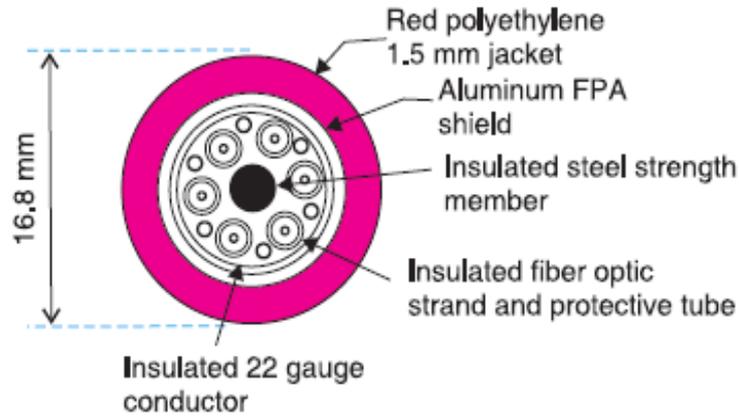
ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કેબલ્સને વિવિધ એપ્લિકેશનો પૂરી પાડવા માટે અલગ અલગ રીતે ડિઝાઇન કરવામાં આવે છે. "કેબલ" દ્વારા ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને વધુ સુરક્ષા પૂરી પાડવામાં આવે છે જેમાં "જેકેટ" નામના બાહ્ય આવરણની અંદર ફાઇબર અને મજબૂતાઈના સભ્યો હોય છે. આપણે અહીં બે લાક્ષણિક ડિઝાઇનનો અભ્યાસ કરીએ છીએ: સિંગલ ફાઇબર કેબલ (આકૃતિ-3) અથવા મલ્ટિફાઇબર કેબલ.



Single fibre cable

આકૃતિ-3

- સિંગલ ફાઇબર કેબલ (Single Fibre Cable): ફાઇબરની આસપાસ હાઇટ્રેલનું ટાઇટ બફર જેકેટ વપરાય છે (આકૃતિ-4 જુઓ). બફર જેકેટ ફાઇબરને ભેજ અને ઘર્ષણથી રક્ષણ આપે છે. જરૂરી કઠિનતા અને તાણ શક્તિ પ્રદાન કરવા માટે બફર જેકેટની આસપાસ એક સ્ટ્રેન્થ મેમ્બર ગોઠવવામાં આવે છે. સ્ટ્રેન્થ મેમ્બર સ્ટીલ વાયર, પોલિમર ફિલ્મ, નાયલોન યાર્ન અથવા કેવલર યાર્ન હોઈ શકે છે. છેલ્લે, ફાઇબર કેબલ હાઇટ્રેલ બાહ્ય જેકેટ દ્વારા આવરી લેવામાં આવે છે. આ ગોઠવણીને કારણે ફાઇબર કેબલને વાળવા, રોલિંગ, સ્ટ્રેચિંગ અથવા ખેંચવા અને પરિવહન અને ઇન્સ્ટોલેશન પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન નુકસાન થશે નહીં. સિંગલ ફાઇબર કેબલનો ઉપયોગ ઇન્ડોર એપ્લિકેશનો માટે થાય છે.



Cross-sectional view of a typical multi fibre cable

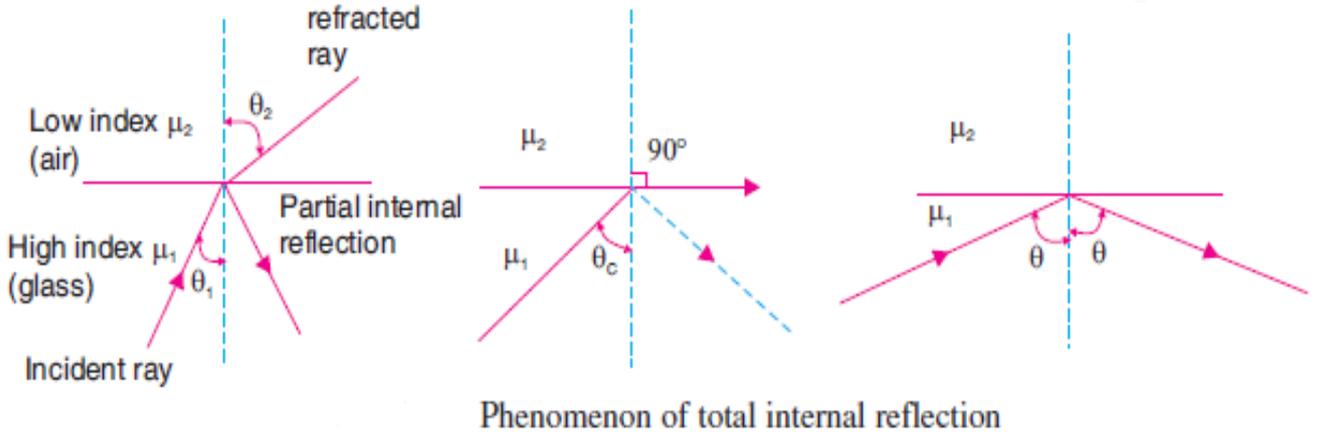
આકૃતિ-4

- મલ્ટિફાઇબર કેબલ (Multifibre Cable): મલ્ટિફાઇબર કેબલમાં એક જ જેકેટમાં સંખ્યાબંધ ફાઇબર હોય છે. દરેક ફાઇબર સ્વતંત્ર રીતે પ્રકાશ વહન કરે છે. લાક્ષણિક ટેલિકોમ્યુનિકેશન કેબલનો ક્રોસ-સેક્શનલ વ્યૂ આકૃતિ માં બતાવવામાં આવ્યો છે. તેમાં છ ઇન્સ્યુલેટેડ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સ્ટ્રેન્ડ હોય છે અને તાણ

શક્તિ પ્રદાન કરવા માટે કેન્દ્રમાં ઇન્સ્યુલેટેડ સ્ટીલ કેબલ હોય છે. દરેક ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સ્ટ્રેન્ડમાં ક્લેડીંગથી ઘેરાયેલો કોર હોય છે , જે બદલામાં ઇન્સ્યુલેટીંગ જેકેટથી કોટેડ હોય છે. આમ ફાઇબરને વ્યક્તિગત રીતે બંધ કરવામાં આવે છે અને મજબૂત બનાવવામાં આવે છે. ફાઇબર વચ્ચેની જગ્યામાં છ ઇન્સ્યુલેટેડ કોપર વાયર વિતરિત કરવામાં આવે છે. જો જરૂરી હોય તો તેનો ઉપયોગ ઇલેક્ટ્રિકલ ટ્રાન્સમિશન માટે થાય છે. પછી એસેમ્બલીને એલ્યુમિનિયમ આવરણમાં ફીટ કરવામાં આવે છે , જે ઢાલ તરીકે કાર્ય કરે છે. ટોચ પર પોલિઇથિલિન જેકેટ લગાવવામાં આવે છે.

6.કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ (Total Internal Reflection):

જે માધ્યમમાં ઓછું વક્રીભવનાંક(રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ) હોય તેને ઓપ્ટિકલી રેર(દુર્લભ ,અસામાન્ય) માધ્યમ(Rarer Medium) કહેવામાં આવે છે જ્યારે જે માધ્યમમાં વધારે રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ હોય તેને ઓપ્ટિકલી ડેન્સર(ઘટ્ટ) માધ્યમ(Denser Medium) કહેવામાં આવે છે. જ્યારે પ્રકાશ કિરણ ઘન માધ્યમમાંથી દુર્લભ માધ્યમમાં જાય છે , ત્યારે તે દુર્લભ માધ્યમમાં સામાન્યથી દૂર વળેલું હોય છે (આકૃતિ -5 જુઓ). આ કિસ્સામાં સ્નેલનો નિયમ આ રીતે લખી શકાય છે



આકૃતિ-5

$$\sin \theta_2 = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \right) \sin \theta_1 \text{ ----- (1)}$$

જ્યાં θ_1 એ ગીચ માધ્યમમાં પ્રકાશ કિરણનો આવર્તન કોણ છે અને θ_2 એ ગીચ માધ્યમમાં વક્રીભવન કોણ છે. $\mu_1 > \mu_2$ પણ. જ્યારે ગીચ માધ્યમમાં θ_1 આવર્તન કોણ વધે છે, ત્યારે ટ્રાન્સમિશન કોણ, θ_2 વધે છે અને વક્રીભવન કિરણો સામાન્યથી વધુને વધુ દૂર વળે છે. કોઈ ચોક્કસ ખૂણા θ_c રીફ્રેક્ટેડ કિરણ સીમા સપાટી સાથે સરકે છે જેથી $\theta_2 = 90^\circ$ જેમ કે આકૃતિમાં દેખાય છે. θ_c કરતા મોટા ખૂણા પર કોઈ વક્રીભવન કિરણો નથી. કિરણો ઘન માધ્યમમાં પાછા પ્રતિબિંબિત થાય છે જાણે કે તેઓ કોઈ સ્પેક્યુલર પરાવર્તક સપાટીનો સામનો કરે છે (આકૃતિ). આમ,

- જો $\theta_1 < \theta_c$ હોય, તો કિરણ દુર્લભ માધ્યમમાં વક્રીભવન કરે છે
- જો $\theta_1 = \theta_c$ હોય, તો કિરણ ફક્ત દુર્લભ-થી-ઘન માધ્યમના ઇન્ટરફેસને ગ્રહણ કરે છે
- જો $\theta_1 > \theta_c$ હોય, તો કિરણ ફરીથી ગીચ માધ્યમમાં પરાવર્તિત થાય છે.

જે ઘટનામાં પ્રકાશ ગીચ-થી-દુર્લભ માધ્યમ સીમાથી સંપૂર્ણપણે પરાવર્તિત થાય છે તેને કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. જે કિરણો કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ અનુભવે છે તે પ્રતિબિંબના નિયમોનું પાલન કરે છે. તેથી, સ્નેલના નિયમ પરથી નિર્ણાયક કોણ નક્કી કરી શકાય છે.

જ્યારે $\theta_1 = \theta_c$ હોય, $\theta_2 = 90^\circ$ હોય.

તેથી, સમીકરણ (24.1) માંથી, આપણને

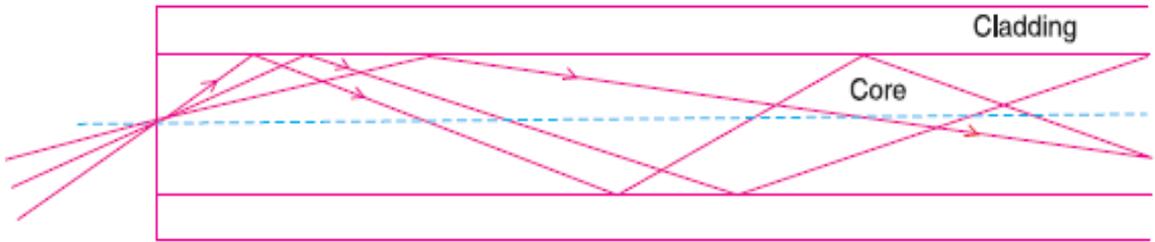
$$\mu_1 \sin \theta_c = \mu_2 \sin 90^\circ = \mu_2$$

$$\sin \theta_c = \frac{\mu_2}{\mu_1} \text{ ----- (2)}$$

જ્યારે અસામાન્ય માધ્યમ હવા હોય, $\mu_2 = 1$ અને $\mu_1 = \mu$ લખતા, નીચે મુજબ મળે છે.

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu} \text{ ----- (3)}$$

7. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશનો પ્રચાર (Propagation of light through an optical fibre):



Propagation of light rays through an optical fibre due to total internal reflection.

આકૃતિ-6

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો વ્યાસ ખૂબ જ નાનો હોય છે અને તેથી આપણે પ્રકાશ કિરણને તેમાં દાખલ કરવા માટે મોટા પ્રકાશ સ્ત્રોતોનો ઉપયોગ કરી શકતા નથી. ફાઇબર ઓપ્ટિક્સમાં ઉપયોગમાં લેવાતા ઓપ્ટિકલ સ્ત્રોતો - પ્રકાશ ઉત્સર્જક ડાયોડ (LEDs) અને લેસર ડાયોડ છે. આ નાના કદના સ્ત્રોતોના કિસ્સામાં પણ, બીમને ફાઇબર કોર પર કેન્દ્રિત કરવા માટે ફોકસિંગ લેન્સનો ઉપયોગ કરવો પડે છે. પ્રકાશ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક તરંગ તરીકે ફેલાય છે. જો કે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશ પ્રસાર કિરણ મોડેલના આધારે પણ સમજી શકાય છે. કિરણ મોડેલ મુજબ, ફાઇબરમાં પ્રવેશતા પ્રકાશ કિરણો કોર-ક્લેડ ઇન્ટરફેસ પર વિવિધ ખૂણા પર અથડાવે છે. ક્લેડિંગનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ કોર કરતા ઓછો હોવાથી, મોટાભાગના કિરણો ઇન્ટરફેસ પર કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે અને પ્રતિબિંબનો કોણ-દરેક કિસ્સામાં ઘટનાના

કોણ જેટલો હોય છે. ફાઇબર માળખામાં નળાકાર સમપ્રમાણતાને કારણે , ફાઇબર અક્ષની એક બાજુના ઇન્ટરફેસમાંથી પ્રતિબિંબિત કિરણો-વિરુદ્ધ બાજુના ઇન્ટરફેસ પર પણ કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબનો ભોગ બનશે. આમ, કિરણો કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબોની શ્રેણી દ્વારા તંતુઓ દ્વારા આગળ વધે છે અને તંતુના બહાર નીકળવાના છેડામાંથી બહાર નીકળે છે (ઉપરની આકૃતિ -6). દરેક પ્રતિબિંબ એ સંપૂર્ણ આંતરિક પ્રતિબિંબ હોવાથી, પ્રકાશ ઊર્જાનું કોઈ નુકસાન થતું નથી અને પ્રકાશ પ્રસાર દરમિયાન કોરમાં જ રહે છે. કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ દરમિયાન નજીવા નુકસાનને કારણે , ઓપ્ટિકલ ફાઇબર પ્રકાશ તરંગોને ખૂબ લાંબા અંતર સુધી લઈ જઈ શકે છે. આમ , ઓપ્ટિકલ ફાઇબર આવશ્યકપણે તરંગ-માર્ગદર્શિકા તરીકે કાર્ય કરે છે અને તેને ઘણીવાર પ્રકાશ માર્ગદર્શિકા અથવા પ્રકાશ પાઇપ કહેવામાં આવે છે. ફાઇબરના બહાર નીકળવાના છેડે , પ્રકાશ ફોટો-ડિટેક્ટર દ્વારા પ્રાપ્ત થાય છે.

ફાઇબર દિવાલ પર કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ થઈ શકે છે અને પ્રકાશ ફાઇબર નીચે પ્રસારિત થાય છે , ફક્ત ત્યારે જ જો નીચેની બે શરતો પૂર્ણ થાય.

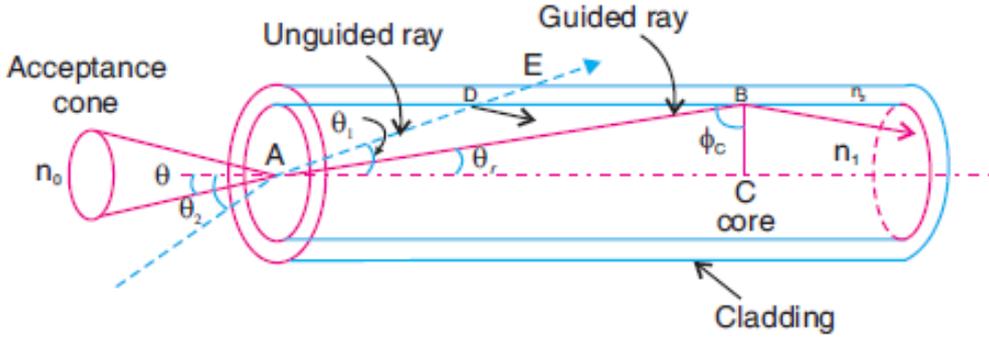
1. કોર મટીરીયલ, n_1 , નો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ, ક્લેડિંગ, n_2 કરતા થોડો વધારે હોવો જોઈએ.
2. કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ (નીચેની આકૃતિ) પર, કિરણ અને ઇન્ટરફેસના સામાન્ય વચ્ચેનો આપાત કોણ θ દ્વારા વ્યાખ્યાયિત ક્રિટિકલ એંગલ θ_c કરતા મોટો હોવો જોઈએ.

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \text{-----(4)}$$

અહીં એ નોંધવું જોઈએ કે ફક્ત તે કિરણો, જે કોર-ક્લેડ ઇન્ટરફેસ પર ક્રિટિકલ એંગલ કરતા મોટા ખૂણા પર આપાત હોય છે, તે ફાઇબર દ્વારા પ્રસારિત થશે. નાના ખૂણા પર આપાત કિરણો ક્લેડિંગમાં રીફ્રેક્ટ થાય છે અને ખોવાઈ જાય છે.

8. પ્રસારનો મહત્વપૂર્ણ કોણ (Critical Angle of Propagation):

જો સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો વિચાર કરીએ જેમાં એક છેડે પ્રકાશ પ્રક્ષેપિત થાય છે. જે છેડે પ્રકાશ ફાઇબરમાં પ્રવેશ કરે છે તેને લોન્ચિંગ એન્ડ કહેવામાં આવે છે. આકૃતિ -7માં લોન્ચિંગ એન્ડ પરની પરિસ્થિતિઓ દર્શાવે છે. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબરમાં , રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ અચાનક બદલાય છે જે કોરને ક્લેડિંગમાં બનાવે છે. હવે , બે અલગ અલગ ઘટના ખૂણા પર ફાઇબરમાં પ્રવેશતા બે કિરણોને ધ્યાનમાં લઈએ છીએ.



Light rays incident at an angle smaller than critical propagation angle will propagate through the fibre.

આકૃતિ-7

તૂટેલી રેખા દ્વારા દર્શાવવામાં આવેલ કિરણ ફાઇબરના ધરીના સંદર્ભમાં θ_2 ખૂણા પર આપાત થાય છે. આ કિરણ હવા અને કોર વચ્ચેના ઇન્ટરફેસ પર બિંદુ A પર વક્રીભવનમાંથી પસાર થાય છે. કિરણ θ_1 ($\theta_1 < \theta_2$) ખૂણા પર ફાઇબરમાં વક્રીભવન કરે છે. કિરણ બિંદુ D પર કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ સુધી પહોંચે છે. બિંદુ D પર, વક્રીભવન ફરીથી થાય છે અને કિરણ ક્લેડિંગમાં પ્રવાસ કરે છે. અંતે, બિંદુ E પર, કિરણ ફરી એકવાર વક્રીભવન કરે છે અને ફાઇબરમાંથી હવામાં બહાર નીકળે છે. તેનો અર્થ એ છે કે કિરણ ફાઇબર દ્વારા પ્રસરણ કરતું નથી.

આગળ આકૃતિ માં ઘન રેખા દ્વારા દર્શાવેલ કિરણ પર વિચાર કરીશું. ખૂણા θ પર કિરણ આપાત ઇન્ટરફેસ પર બિંદુ A પર વક્રીભવનમાંથી પસાર થાય છે અને ફાઇબરમાં θ_c ખૂણા પર પ્રસરણ કરે છે. બિંદુ B પર કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ પર, કિરણ કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે, કારણ કે $n_1 > n_2$. ધારીએ કે કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ પર આપાતકોણ એ ક્રિટિકલ એંગલ ϕ_c છે, જ્યાં ϕ_c ને નીચે મુજબ દર્શાવવામાં આવે છે.

$$\phi_c = \text{Sin}^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \text{ ----- (4a)}$$

ϕ_c કરતા મોટા ખૂણા સાથેનો કિરણ આપાત ફાઇબર સુધી મર્યાદિત રહેશે અને ફાઇબરમાં પ્રસારિત થશે. કોર-ક્લેડિંગ સીમા પર, ક્રિટિકલ એંગલ પર કિરણ આપાતને ક્રિટિકલ રે કહેવામાં આવે છે. ક્રિટિકલ રે ફાઇબરની ધરી સાથે એક કોણ θ_c બનાવે છે. તે સ્પષ્ટ છે કે પ્રસારકોણવાળા કિરણો અનગાઇડેડ રે θ_c કરતા મોટા ફાઇબરમાં પ્રસારિત થશે નહીં. તેથી, કોણ θ_c ને ક્રિટિકલ પ્રસારકોણ કહેવામાં આવે છે. $\Delta^{lc} ABC$ પરથી, એવું જોવા મળે છે કે

$$\frac{AC}{AB} = \text{Sin } \phi_c \quad \text{ઉપરાંત, } \frac{AC}{AB} = \text{Cos } \theta_c$$

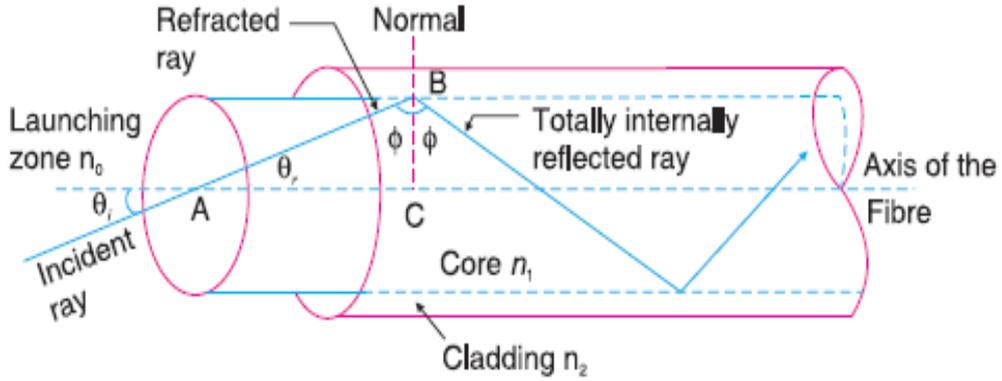
સમીકરણ(4a)ના સંબંધ પરથી, $\text{Sin } \phi_c = n_2/n_1$

$$\text{Cos } \theta_c = n_2/n_1 \text{ -----(5)}$$

$$\therefore \theta_c = \cos^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \text{ -----(6)}$$

આમ, ફક્ત તે કિરણો જે $\theta_r < \theta_c$ ખૂણા પર કેબલમાં વક્રીભવન થાય છે તે ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં પ્રસરે છે.

9.સ્વીકૃતિ કોણ(Acceptance Angle):



Geometry for the calculation of acceptance angle of the fibre.

આકૃતિ-8

આકૃતિ-8માં બતાવ્યા પ્રમાણે ફરીથી એક સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો વિચાર કરીએ જેમાં પ્રકાશ એક છેડેથી પ્રક્ષેપિત થાય છે . જેમ કે, કોરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ n_1 અને ક્લેડીંગનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ $n_2(n_2 < n_1)$ હોય. જે માધ્યમમાંથી પ્રકાશ ફાઇબરમાં પ્રક્ષેપિત થાય છે તેનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ n_0 ના હોય.

ધારો કે પ્રકાશ કિરણ ફાઇબરની ધરીના θ_i ખૂણા પર ફાઇબરમાં પ્રવેશ કરે છે. કિરણ θ_r ખૂણા પર પ્રક્ષેપિત થાય છે અને ϕ ખૂણા પર કોર-ક્લેડીંગ ઇન્ટરફેસ પર અથડાવે છે. જો ϕ ક્રિટિકલ એંગલ ϕ_c કરતા મોટો હોય, તો કિરણ ઇન્ટરફેસ પર કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે , કારણ કે $n_1 > n_2$. જ્યાં સુધી કોણ $\phi < \phi_c$ કરતા મોટો હોય, ત્યાં સુધી પ્રકાશ ફાઇબરની અંદર રહેશે.

સ્નેલનો નિયમ ફાઇબરના લોન્ચિંગ ફેસ પર લાગુ કરવાથી,

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_i}{n_r} \text{ ----- (7) મળે છે}$$

જો θ_i ને મર્યાદાથી આગળ વધારવામાં આવે, તો ϕ નિર્ણાયક મૂલ્ય ϕ_c થી નીચે જશે અને કિરણ ફાઇબરની બાજુની દિવાલોમાંથી બહાર નીકળી જશે. θ_i નું સૌથી મોટું મૂલ્ય ત્યારે થાય છે જ્યારે $\phi = \phi_c$

$\Delta^{lc} ABC$ માંથી, એવું જોવા મળે છે કે

$$\sin \theta_r = \sin (90^\circ - \phi) = \cos \phi \text{ -----(8)}$$

સમીકરણ (8) ને સમીકરણ (7) માં ઉપયોગ કરતાં,

$$\sin \theta_i = \frac{n_1}{n_2} \cos \phi$$

$$\text{જ્યારે } \phi = \phi_c, \sin[\theta_{i \max}] = \frac{n_1}{n_2} \cos \phi_c \text{ ----- (9)}$$

$$\text{પરંતુ } \sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \cos \theta_c = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \text{-----(10)}$$

સમીકરણ (10) ને સમીકરણ(9) માં ઉમેરતાં,

$$\sin \left[\theta_i(\max) = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \right] \text{-----(11)}$$

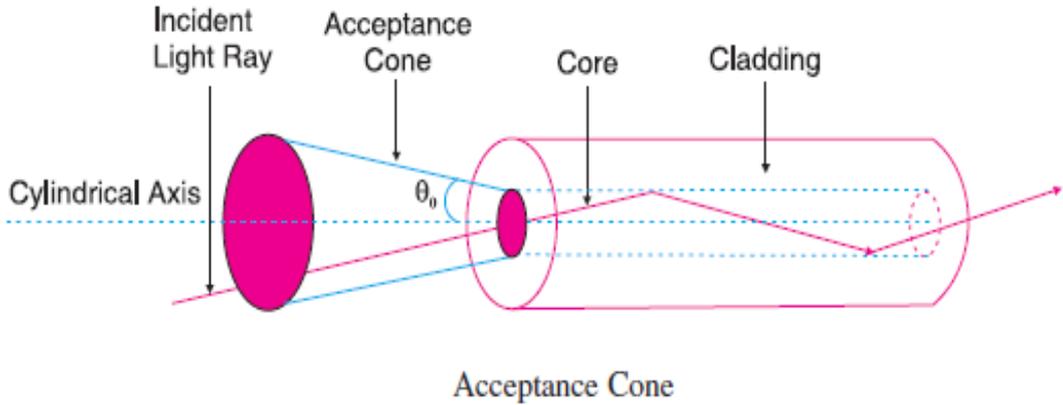
ઘણી વાર આપત કિરણ હવાના માધ્યમથી પ્રક્ષેપિત થાય છે, જેના માટે કોઈ $n_0 = 1$.

સમીકરણ (11) માં $\theta_i(\max) = \theta_0$ દર્શાવતા, સરળ બનાવી શકાય છે.

$$\sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\therefore \theta_0 = \sin^{-1} \left[\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right] \text{----- (12)}$$

કોણ θ_0 ને તંતુનો સ્વીકૃતિ ખૂણો કહેવામાં આવે છે. સ્વીકૃતિ ખૂણો એ મહત્તમ ખૂણો છે જે પ્રકાશ કિરણ તંતુની ધરીની સાપેક્ષમાં ધરાવી શકે છે અને તંતુમાં પ્રસરે છે. આમ ,માત્ર તે કિરણો જે તંતુના પૃષ્ઠ પર આપાત થાય છે અને θ_0 કરતા ઓછા ખૂણા બનાવે છે તે પુનરાવર્તિત કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થશે અને તંતુના બીજા છેડા સુધી પહોંચશે. દેખીતી રીતે , મોટા સ્વીકૃતિ ખૂણો પ્રકાશને તંતુમાં છોડવાનું સરળ બનાવે છે.



આકૃતિ-9

ત્રણ પરિમાણમાં, $2\theta_0$ પૂર્ણ ખૂણો ધરાવતા શંકુમાં રહેલા પ્રકાશ કિરણો સ્વીકારવામાં આવે છે અને તંતુ સાથે પ્રસારિત થાય છે (આકૃતિ-9). તેથી, શંકુને સ્વીકૃતિ શંકુ કહેવામાં આવે છે.

θ_0 થી આગળના ખૂણા પર પ્રકાશ આપાત થાય છે અને તે ક્લેડીંગમાંથી વક્રીભવન કરે છે અને અનુરૂપ પ્રકાશ(ઓપ્ટિકલ) ઊર્જામાં ખોવાઈ જાય છે.

10. અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફેરફાર(Fractional Refractive Index Change):

કોર અને ક્લેડીંગના રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ વચ્ચેના અપૂર્ણાંક તફાવત Δ ને અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફેરફાર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. તેને મુજબ રજૂ કરવામાં આવે છે

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{-----(13)}$$

આ પરિમાણ હંમેશા ધન હોય છે કારણ કે કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ સ્થિતિ માટે n_1, n_2 કરતા મોટો હોવો જોઈએ. ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશ કિરણોને અસરકારક રીતે માર્ગદર્શન આપવા માટે $\Delta \ll 1$. સામાન્ય રીતે, Δ 0.01 ના ક્રમમાં હોય છે.

11. સંખ્યાત્મક છિદ્ર(Numerical Aperture):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનું મુખ્ય કાર્ય સ્ત્રોતમાંથી શક્ય તેટલો પ્રકાશ સ્વીકારવાનું અને પ્રસારિત કરવાનું છે.

ફાઇબરની પ્રકાશ સંગ્રહ કરવાની ક્ષમતા સંખ્યાત્મક છિદ્ર પર આધાર રાખે છે. સ્વીકૃતિકોણ અને અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફેરફાર ફાઇબરના સંખ્યાત્મક છિદ્ર નક્કી કરે છે.

સંખ્યાત્મક છિદ્ર (NA) ને સ્વીકૃતિ કોણની સાઈન તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. આમ,

$$NA = \sin \theta_0 \quad \text{જ્યાં } \theta_0 \text{ એ સ્વીકૃતિ કોણ છે.}$$

$$\text{પરંતુ, } \sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\therefore NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{----- (14)}$$

$$n_1^2 - n_2^2 = (n_1 + n_2)(n_1 - n_2) = \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1}\right) 2n_1$$

અંદાજે, $\frac{n_1 + n_2}{2} \approx n_1$ ને ઉપરોક્ત સંબંધ $(n_1^2 - n_2^2) = 2n_1^2 \Delta$ તરીકે વ્યક્ત કરતાં મળે છે.

$$NA = \sqrt{2n_1^2 \Delta}$$

$$\therefore NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \text{-----(15)}$$

આંકડાકીય છિદ્ર ફાઇબરની પ્રકાશ સંગ્રહ ક્ષમતા નક્કી કરે છે. તે ફાઇબર દ્વારા સ્વીકારી શકાય તેવા

પ્રકાશના પ્રમાણનું માપ છે. સમીકરણ (14) પરથી જોવા મળે છે કે NA માત્ર કોર અને ક્લેડીંગ સામગ્રીના રીફ્રેક્ટિવ સૂચકાંકો પર આધારિત છે અને ફાઇબરના ભૌતિક પરિમાણો પર આધારિત નથી. NA નું મૂલ્ય 0.13 થી 0.50 સુધીનું છે. મોટા NA નો અર્થ એ છે કે ફાઇબર ફાઇબર સ્ત્રોતમાંથી મોટી માત્રામાં પ્રકાશ સ્વીકારશે (આકૃતિ 10).

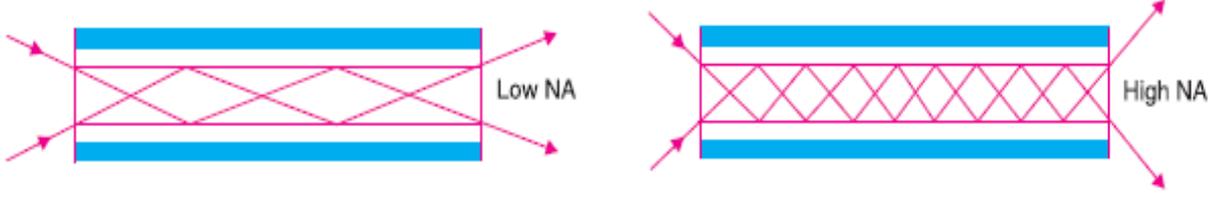
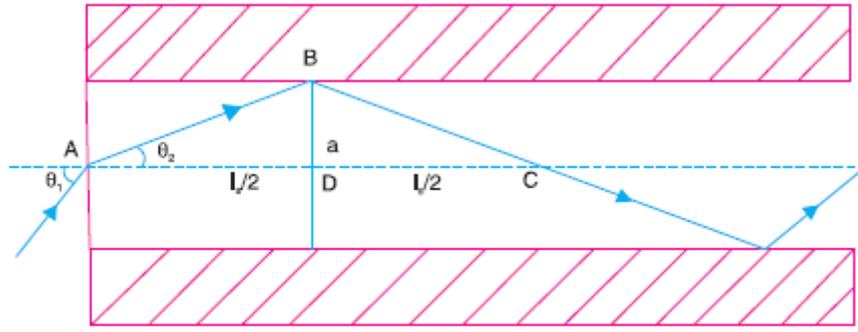


Illustration of the propagation of light through low and high numerical aperture fibres.

આકૃતિ 10`

12.અંતર અને કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબની સંખ્યા છોડે (Skip Distance and Number of Total Internal Reflections):



Skip Distance l_s

આકૃતિ 11

હવે L લંબાઈના ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાંથી પસાર થતી વખતે પ્રકાશ કિરણના કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબોની સંખ્યાની ગણતરી કરીશું. ધારો કે a એ ફાઇબરની ત્રિજ્યા છે. ધારો કે પ્રકાશ કિરણ ફાઇબરના એક છેડે θ_1 ખૂણા પર ધરી પર આવે છે અને θ_2 ખૂણા પર ફાઇબરમાં વક્રીભવન કરે છે, જેમ કે આકૃતિ 11માં બતાવ્યા પ્રમાણે. કિરણ B પર પ્રથમ પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે. $AC = l_s$ અંતરને સ્કીપ અંતર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે અને તે કિરણના બે ક્રમિક પ્રતિબિંબ વચ્ચેનું અંતર દર્શાવે છે. $\Delta^{lc} ABD$ માં,

$$AD = \frac{1}{2}AC = \frac{l_s}{2}, BD = a \text{ and } \angle BAD = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \frac{BD}{AD} = \frac{a}{\frac{l_s}{2}}$$

$$\text{અથવા } l_s = \frac{2a}{\tan \theta_2} \text{----- (16)}$$

આપાત કોણ θ_1 ની દ્રષ્ટિએ, ઉપરોક્ત સમીકરણને લખતાં,

$$l_s = 2a \left[\frac{\cos \theta_2}{\sin \theta_2} \right] \text{ અથવા } l_s^2 = (2a)^2 \left[\frac{1}{\sin^2 \theta_2} - 1 \right]$$

ઉપરોક્ત સમીકરણમાં સમીકરણ (7) નો ઉપયોગ કરતાં

$$l_s^2 = (2a)^2 \left[\left(\frac{n_1}{n_0 \sin \theta_1} \right)^2 - 1 \right]$$

અથવા $l_s = 2a \left[\left(\frac{n_1}{n_0 \sin \theta_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}$ -----(17)

હવાના કિસ્સામાં, $n_0 = 1$ અને $l_s = 2a \left[\left(\frac{n_1}{\sin \theta_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}$ ----- (17a)

કુલ ફાઇબર લંબાઈમાં કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબની સંખ્યા

$$N = \frac{\text{કેબલની કુલ લંબાઈએક}}{\text{પ્રતિબિંબ દરમિયાન કાપેલ અંતર}} = \frac{L}{l_s}$$

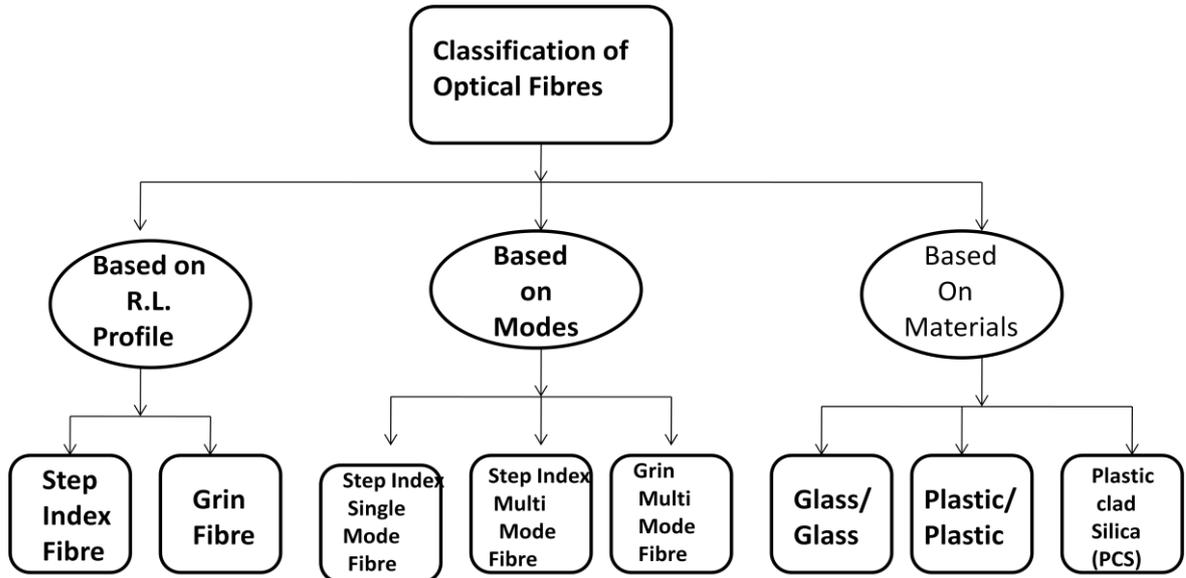
$\therefore N = \frac{L \tan \theta_2}{2a}$ -----(18a)

ઉપરાંત, $N = \frac{L}{2a \left[\left(\frac{n_1}{\sin \theta_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}}$ ----- (18b)

ઉદાહરણ તરીકે, જો $n_1 = 1.50, \theta_1 = 30^\circ$ અને $a = 25 \mu m$ હોય, તો સમીકરણ (18b) $l_s = 141 \mu m$ આપે છે. વૈકલ્પિક રીતે, θ_2 ની કિંમતની ગણતરી કરીને અને તેનો સમીકરણ (18a) માં ઉપયોગ કરીને, આપણને $l_s = 141 \mu m$ મળે છે.તેથી, જો પ્રકાશ ઉપરોક્ત સ્પષ્ટીકરણોના ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના 1 મીટરની લંબાઈમાંથી પસાર થાય છે, તો તે 7092 વાર પ્રતિબિંબિત થાય છે.

13.ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનું વર્ગીકરણ(Classification of Optical Fibres):

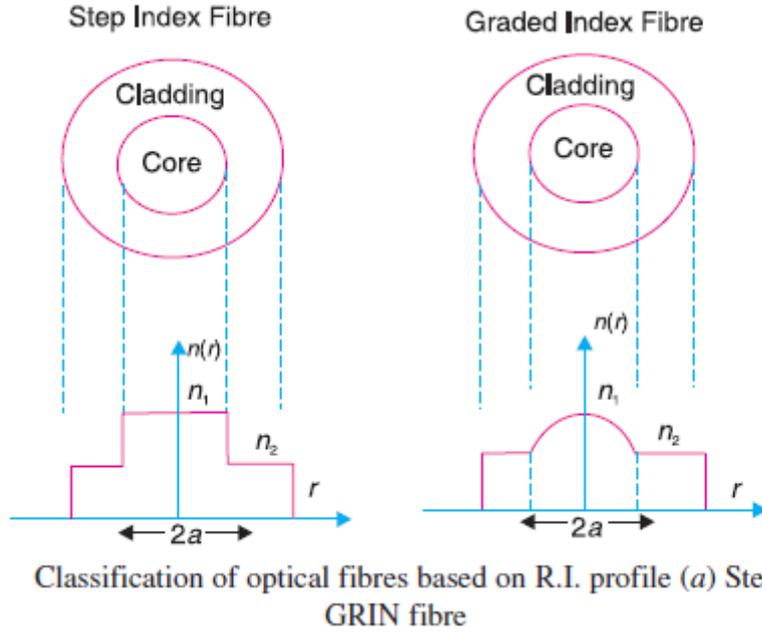
ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને વિવિધ પરિમાણોના આધારે વિવિધ પ્રકારોમાં અલગ અલગ રીતે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે.



A. રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલ પર આધારિત વર્ગીકરણ (Classification basing on refractive index profile):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલ એ એક અક્ષ પર દોરવામાં આવેલ રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સનો પ્લોટ છે અને બીજા અક્ષ પર દોરવામાં આવેલ કોર અક્ષથી અંતર (આકૃતિ 14) રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલના આધારે ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને નીચેની બે શ્રેણીઓમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે.

1. સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર(Step index fibres) અને
2. ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ (GRIN) ફાઇબર(Graded index (GRIN) fibres).



આકૃતિ 12

સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ એ હકીકતનો ઉલ્લેખ કરે છે કે કોરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ રેડિયલ દિશા સાથે સ્થિર છે અને ક્લેડિંગ અને કોર સીમા પર અચાનક નીચા મૂલ્ય પર આવી જાય છે (આકૃતિ 12a). GRIN તંતુઓના કિસ્સામાં, કોરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ સ્થિર નથી પરંતુ કોરના વ્યાસ પર સરળતાથી બદલાય છે(આકૃતિ 12b). તેનું કેન્દ્રમાં મહત્તમ મૂલ્ય છે અને કોરની બાહ્ય ધાર તરફ ધીમે ધીમે ઘટે છે. કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ પર કોરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ક્લેડિંગના રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ સાથે મેળ ખાય છે. ક્લેડિંગનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ સ્થિર છે.

B. પ્રકાશ પ્રસારના મોડ્સના આધારે વર્ગીકરણ (Classification basing on the modes of light propagation):

પ્રકાશ પ્રસારના મોડ્સના આધારે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને બે શ્રેણીઓમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે જેમ કે

1. સિંગલ મોડ ફાઇબર (SMF) અને
2. મલ્ટિમોડ ફાઇબર (MMF).

સિંગલ મોડ ફાઇબર (SMF) નો કોર વ્યાસ નાનો હોય છે અને તે ફક્ત એક જ મોડને સપોર્ટ કરી શકે છે પ્રસાર. બીજી બાજુ, મલ્ટિમોડ ફાઇબર (MMF) નો કોર વ્યાસ મોટો હોય છે અને તે સંખ્યાબંધ મોડ્સને સપોર્ટ કરે છે.

આમ, એકંદરે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને ત્રણ પ્રકારોમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે:

- સિંગલ મોડ સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ (SMF) ફાઇબર
- મલ્ટિમોડ સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ (MMF) ફાઇબર
- ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ (મલ્ટિમોડ) (GRIN) ફાઇબર.

C. સામગ્રીના આધારે વર્ગીકરણ(Classification basing on materials):

કોર અને ક્લેડિંગ માટે વપરાતી સામગ્રીના આધારે, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરને ત્રણ શ્રેણીઓમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે

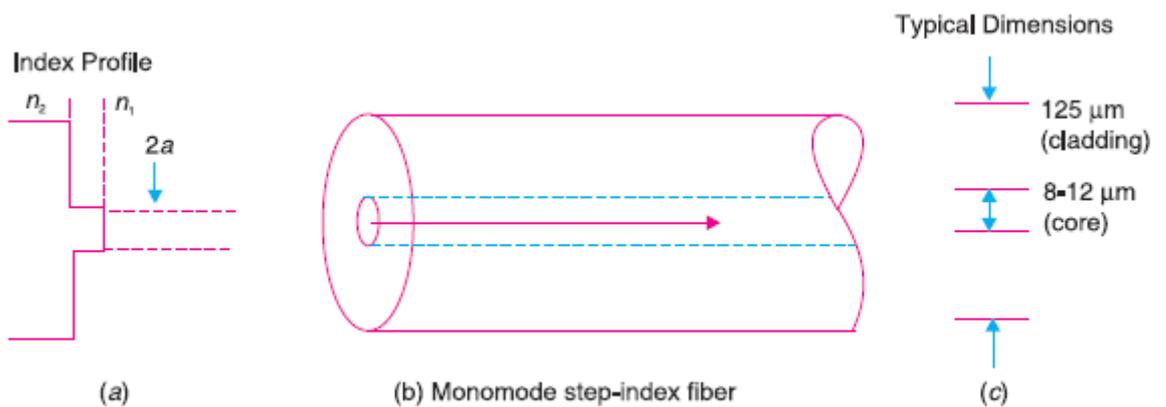
શ્રેણીઓ.

૧. કાચ/કાચના રેસા (કાચના આવરણ સાથે કાચનો કોર)
૨. પ્લાસ્ટિક/પ્લાસ્ટિક રેસા (પ્લાસ્ટિક ક્લેડિંગ સાથે પ્લાસ્ટિક કોર)
૩. પીસીએસ રેસા (પોલિમર ક્લેડ સિલિકા)

ત્રણ પ્રકારના તંતુઓ(The Three types of Fibres):

હવે ત્રણ પ્રકારના ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની રચના અને લાક્ષણિકતાઓનો વિગતવાર અભ્યાસ કરીશું.

1.સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર(Single mode step index fibre):



Single mode step index fibre (a) R.I. profile (b) ray paths (c) typical dimensions

આકૃતિ 13

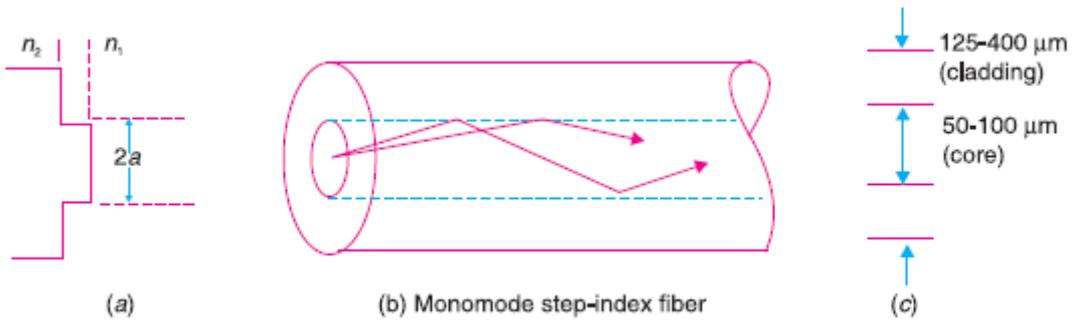
માળખું(Structure):

સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરમાં $8 \mu\text{m}$ થી $12 \mu\text{m}$ વ્યાસનો ખૂબ જ પાતળો કોર હોય છે (આકૃતિ 13c). તે સામાન્ય રીતે જર્મેનિયમ ડોપ્ડ સિલિકોનથી બનેલો હોય છે. કોર નીચલા રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સના જાડા ક્લેડિંગથી ઘેરાયેલો હોય છે. ક્લેડિંગ ફોસ્ફરસ ઓક્સાઇડ સાથે થોડું ડોપ કરેલ સિલિકાથી બનેલું હોય છે. ક્લેડિંગનો બાહ્ય વ્યાસ $125 \mu\text{m}$ ના ક્રમનો હોય છે. ફાઇબર એક અપારદર્શક રક્ષણાત્મક આવરણથી ઘેરાયેલું હોય છે. આકૃતિ 13(a) માં બતાવ્યા પ્રમાણે, કોર-ક્લેડિંગ સીમા પર ફાઇબરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ અચાનક બદલાય છે. સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરના રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સના રેડિયલ ડિસ્ટ્રિબ્યુશનના કાર્ય તરીકેના ભિન્નતાને ગાણિતિક રીતે આ રીતે રજૂ કરી શકાય છે

$$n(r) = n_1 [r < a \text{ કોરની અંદર}] \\ = n_2 [r > a \text{ ક્લેડિંગમાં}] \text{----- (19)}$$

SMF માં પ્રકાશનો પ્રસાર(Propagation of light in SMF)

પ્રકાશ SMF માં ધરી સાથે એક જ માર્ગ પર પ્રવાસ કરે છે (આકૃતિ 13b). દેખીતી રીતે, તે શૂન્ય ક્રમ મોડ છે જે SMF દ્વારા સમર્થિત છે. સિંગલ મોડ ફાઇબર માટે Δ અને NA બંને ખૂબ નાના છે. આ પ્રમાણમાં નાનું મૂલ્ય ફાઇબર ત્રિજ્યા ઘટાડીને અને Δ , સંબંધિત રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફેરફારને નાનું બનાવીને મેળવવામાં આવે છે. નીચા NA નો અર્થ ઓછો સ્વીકૃતિ કોણ છે. તેથી, ફાઇબરમાં પ્રકાશનું જોડાણ મુશ્કેલ બની જાય છે. SMF માં પ્રકાશ લોન્ચ કરવા માટે મોંઘા લેસર ડાયોડની જરૂર પડે છે.

2.મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર(Multimode step index fibre):

Multimode step index fibre (a) R.I. Profile (b) Ray paths (c) typical dimensions.

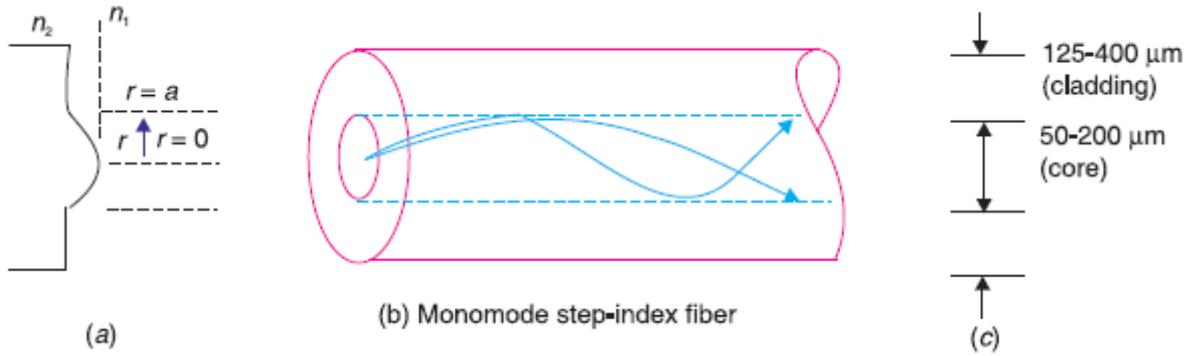
આકૃતિ 14

મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર જેવું જ હોય છે, સિવાય કે તેનો કોર મોટો વ્યાસ ધરાવે છે. કોર વ્યાસ 50 થી 100 μm જેટલો હોય છે, જે પ્રકાશની તરંગલંબાઈની તુલનામાં ખૂબ મોટો છે. ક્લેડિંગનો બાહ્ય વ્યાસ લગભગ 150 થી 250 μm છે (આકૃતિ 14 c).

MMF માં પ્રકાશનો પ્રસાર(Propagation of light in MMF)

મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર મર્યાદિત સંખ્યામાં માર્ગદર્શિત મોડ્સને મંજૂરી આપે છે. ધ્રુવીકરણની દિશા, વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રોનું સંરેખણ વિવિધ મોડ્સના કિરણોમાં અલગ હશે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો,MMF માં પ્રચારના ઘણા ઝિગઝેગ પાથને મંજૂરી છે. ફાઇબરની ધરી સાથે પાથની લંબાઈ ટૂંકી હોય છે જ્યારે અન્ય ઝિગઝેગ પાથ લાંબા હોય છે. આ તફાવતને કારણે, નીચલા ક્રમના મોડ્સ ફાઇબરના અંત સુધી વહેલા પહોંચે છે જ્યારે ઉચ્ચ ક્રમના મોડ્સ થોડા સમય વિલંબ પછી પહોંચે છે (આકૃતિ 14b).

3.ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ (ગ્રિન) ફાઇબર(Graded index(GRIN) fibre):



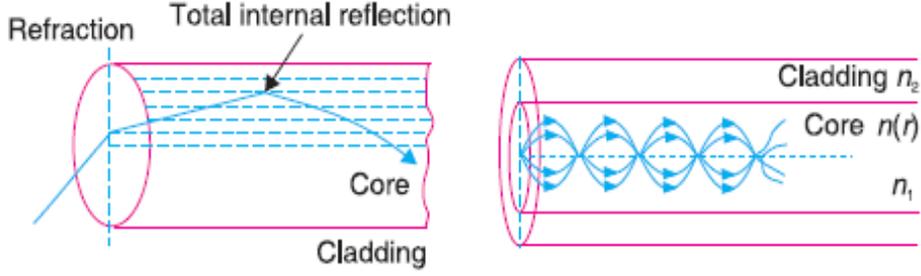
GRIN fibre (a) R.I. Profile (b) Ray paths (c) typical dimensions

આકૃતિ 15

ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર એ એક મલ્ટિમોડ ફાઇબર છે . જેમાં વિવિધ રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સના કેન્દ્રિત સ્તરોનો સમાવેશ થાય છે. તેથી, કોરનો રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર અક્ષથી અંતર સાથે બદલાય છે. તેનું કેન્દ્રમાં ઉચ્ચ મૂલ્ય છે અને ધરીથી વધતા રેડિયલ અંતર સાથે ઘટે છે. એક લાક્ષણિક માળખું અને તેની ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલ આકૃતિ 15(a) માં બતાવવામાં આવી છે. આવી પ્રોફાઇલ ફાઇબર દ્વારા પ્રકાશના સમયાંતરે ધ્યાન કેન્દ્રિત કરવાનું કારણ બને છે. ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરનું કદ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર જેટલું જ છે.કેન્દ્રથી માપવામાં આવતી ત્રિજ્યા સાથે કોરના રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સનો ભિન્નતા આના દ્વારા આપવામાં આવે છે.

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - [2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha]}, & r < a \text{ કોરની અંદર} \\ n_2, & r > a \text{ ક્લેડિંગમાં} \end{cases} \text{-----(20)}$$

જ્યાં n_1 એ કોર અક્ષ પર મહત્તમ રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ છે, a એ કોર ત્રિજ્યા છે, અને α એ ગ્રેડિંગ પ્રોફાઇલ ઇન્ડેક્સ નંબર છે જે 1 થી ∞ સુધી બદલાય છે. જ્યારે $\alpha = 2$, ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલ પેરાબોલિક હોય છે અને વિવિધ એપ્લિકેશનો માટે પસંદ કરવામાં આવે છે

પ્રકાશનો પ્રચાર(Propagation of light):

(a) An expanded ray diagram showing refraction at the various high to low index interfaces within graded index fibre, giving an overall curved ray path. (b) Light transmission in a graded index fibre.

આકૃતિ 16

જેમ જેમ પ્રકાશ કિરણ ઉચ્ચ રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સવાળા પ્રદેશમાંથી રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સવાળા પ્રદેશમાં જાય છે , તેમ તેમ તે સામાન્યથી દૂર વળેલું રહે છે. કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ માટેની સ્થિતિ પૂર્ણ ન થાય ત્યાં સુધી પ્રક્રિયા ચાલુ રહે છે. પછી કિરણ મુખ્ય અક્ષ તરફ પાછું ફરે છે , ફરીથી સતત રીફ્રેક્ટ થાય છે (આકૃતિ 16a). કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ સુધી પહોંચતા પહેલા પણ વળાંક આવી શકે છે. આમ , સતત રીફ્રેક્ટિવ ફાઇબર પછી કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ અને ફરીથી ધરી તરફ સતત રીફ્રેક્ટિવ ફાઇબર આવે છે. ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરમાં, ધરી સાથે મોટા ખૂણા બનાવતા કિરણો લાંબા માર્ગે પસાર થાય છે પરંતુ તેઓ નીચલા રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સવાળા ક્ષેત્રમાં મુસાફરી કરે છે અને તેથી પ્રસારની વધુ ગતિએ મુસાફરી કરે છે. પરિણામે, ફાઇબરમાંથી મુસાફરી કરતા બધા કિરણો , તેમની મુસાફરીની રીતોને ધ્યાનમાં લીધા વિના , લગભગ સમાન ઓપ્ટિકલ પાથ લંબાઈ ધરાવતા હશે અને તે જ સમયે ફાઇબરના આઉટપુટ છેડા સુધી પહોંચશે (આકૃતિ 16b જુઓ). GRIN ફાઇબરના કિસ્સામાં, સ્વીકૃતિ કોણ અને સંખ્યાત્મક છિદ્ર ધરીથી રેડિયલ અંતર સાથે ઘટે છે. ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરનું સંખ્યાત્મક છિદ્ર આના દ્વારા આપવામાં આવે છે

$$NA = \sqrt{n^2(r) - n_2^2} \approx n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}} \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2}$$

$$= n_1 \sqrt{2\Delta \left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]} \text{-----(21)}$$

14.વી નંબર (V-NUMBER):

સ્ટેપઇન્ડેક્સ ફાઇબરના આગળના છેડે મોનોક્રોમેટિક પ્રકાશના સાંકડા બીમનો વિચાર કરીએ , જે ફાઇબરના સ્વીકૃતિ ખૂણા કરતા ઓછા ખૂણા પર હોય છે. પ્રકાશની તરંગલંબાઈ λ_0 અને ફાઇબરનો વ્યાસ d હોય. કિરણ ખ્યાલ પરથી આપણને એવું લાગે છે કે બીમમાં રહેલા બધા કિરણો ફાઇબર સાથે પ્રસારિત થાય છે , જેથી

પ્રસારના અનંત મોડ્સ હોઈ શકે. જો કે, વ્યવહારમાં, ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં પ્રસારના મર્યાદિત સંખ્યામાં જ શક્ય છે. આ વર્તનનું કારણ સમજવા માટે, યાદ રાખવું પડશે કે પ્રકાશ તરંગો આગળ વધે છે તેમ તબક્કામાં ફેરફાર થાય છે. તબક્કામાં ફેરફાર બે કારણોસર થાય છે - (i) ઓપ્ટિકલ પથ લંબાઈ ફેલાયેલને કારણે અને (ii) કોર-ક્લેડિંગ ઇન્ટરફેસ પર કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબને કારણે.

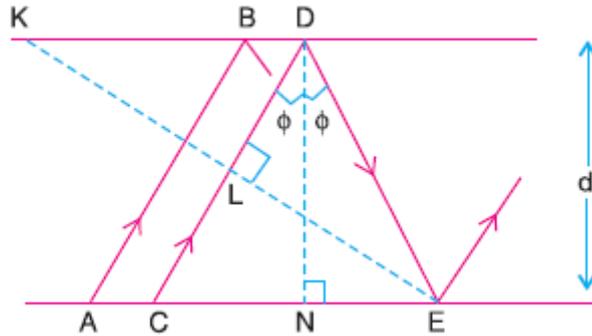
(i) જ્યારે કોઈ તરંગ વક્રીભવનકાં n_1 ના માધ્યમમાં l અંતર કાપે છે, ત્યારે તે તબક્કા પરિવર્તન δ_1 માંથી પસાર થાય છે જે નીચે દ્વારા આપવામાં આવે છે

$$\delta_1 = k n_1 l = \frac{2\pi l n_1}{\lambda} \text{----- (22)}$$

જ્યાં k પ્રસાર સ્થિરાંક છે.

(ii) જ્યારે પણ, પ્રતિબિંબિત સપાટી પર સામાન્ય ઘટક ધરાવતી તરંગ કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે તબક્કા પરિવર્તન δ_2 ,

$$\delta_2 = 2 \tan^{-1} \frac{\sqrt{n_1^2 \cos^2 \phi - n_2^2}}{n_1 \sin \phi} \text{----- (23)}$$



આકૃતિ17

આકૃતિ17 માં, AB અને CD એક ઘટના બીમમાં સમાંતર કિરણો છે. રેખા KL કિરણો AB, CD ના પ્રસાર માર્ગ પર લંબ છે અને તેથી તે સમતલ તરંગફ્રન્ટનું પ્રતિનિધિત્વ કરે છે. બિંદુઓ K અને L સમાન તરંગફ્રન્ટ પર આવેલા એકબીજા સાથે તબક્કામાં હશે. બિંદુ E, જે પ્રતિબિંબિત કિરણ DE પર છે, તરંગફ્રન્ટ KL પર સ્થિત હોવાથી, બિંદુઓ L અને E એકબીજા સાથે તબક્કામાં હોવા જોઈએ. જો કે, કિરણ સાથે બિંદુ L થી E તરફ જતા, શોધીએ છીએ કે

$$\delta = (LD + DE) \frac{2\pi n_1}{\lambda_0} - 2\delta_2 \text{----- (24)}$$

ઉપરોક્ત સમીકરણમાં પરિબલ 2, પર બે કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબોને D અને E ધ્યાનમાં લે છે. $\Delta^{le} DNE$ માં

$$\frac{DN}{DE} = \cos \phi \quad \text{તેથી, } DE = \frac{DN}{\cos \phi} = \frac{d}{\cos \phi}$$

વધુમાં, $\Delta^{le} DNE$ માં

$$\frac{LD}{DE} = \cos\phi \text{ તેથી, } LD = DE \cos 2\phi$$

$$LD + DE = DE(1 + \cos 2\phi) = 2DE \cos^2 \phi$$

$$LD + DE = 2 \frac{d}{\cos \phi} \cos^2 \phi = 2d \cos \phi$$

ઉપરોક્ત સમીકરણનો ઉપયોગ સમીકરણ (23) માં કરતાં

$$\delta = \frac{4d\pi n_1 \cos \phi}{\lambda_0} - 2\delta_2$$

હવે કિરણ CD સાથે સંકળાયેલ તરંગ ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સાથે પ્રસારિત થાય તે માટે શરત એ છે કે બે વાર પ્રતિબિંબિત તરંગનો તબક્કો ઘટના તરંગ જેવો જ હોવો જોઈએ. એટલે કે , તરંગ પોતાની સાથે રચનાત્મક રીતે દખલ કરવી જોઈએ. જો આ તબક્કો સ્થિતિ સંતોષાય નહીં , તો તરંગ પોતાની સાથે વિનાશક રીતે દખલ કરશે અને ફક્ત નાશ પામશે. તેનો અર્થ એ છે કે કુલ તબક્કો શિફ્ટ 2π રેડિયનના પૂર્ણાંક ગુણાંક જેટલો હોવો જોઈએ. આમ

$$\frac{4d\pi n_1 \cos \phi}{\lambda_0} - 2\delta_2 = 2\pi m$$

$$\text{અથવા } m = \frac{2dn_1 \cos \phi_m}{\lambda_0} - \frac{\delta_2}{\pi} \text{ -----(25)}$$

જ્યાં m એ પૂર્ણાંક છે જે તરંગના પ્રસાર માટે માન્ય કિરણ ખૂણા નક્કી કરે છે અને ϕ_m , m ના ચોક્કસ મૂલ્યને અનુરૂપ ϕ નું મૂલ્ય છે. કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબ ટકાવી રાખવા માટે,

$$\sin \phi_m \geq \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \cos \phi_m \leq \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

$$\therefore m \leq \frac{2d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda_0} - \frac{\delta_2}{\pi} \text{ -----(26)}$$

$$\text{અથવા } m \leq \frac{2V}{\pi} - \frac{\delta_2}{\pi} \text{ -----(27)}$$

જ્યાં V આપવામાં આવે છે

$$V = \frac{\pi d}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ ----- (28)}$$

V -નંબરને સામાન્ય રીતે ફાઇબરની સામાન્ય આવૃત્તિ કહેવામાં આવે છે. દરેક મોડમાં V -નંબરનું ચોક્કસ મૂલ્ય હોય છે જેની નીચે મોડ કાપી નાખવામાં આવે છે. સમીકરણ (28) ને આ રીતે લખી શકાય છે

$$V = \frac{\pi d}{\lambda_0} (NA) \text{ -----(29)}$$

$$\text{અથવા } V = \frac{\pi d}{\lambda_0} n_1 \sqrt{2\Delta} \text{ -----(30)}$$

SI ફાઇબર દ્વારા સપોર્ટેડ મોડ્સ N_m ની મહત્તમ સંખ્યા

$$N_m = \frac{1}{2} V^2 \text{ ----- (31)}$$

આમ, $V = 10$ માટે, $N_m = 50$ છે. જ્યારે સામાન્યકૃત આવર્તન $V = 2.405$ કરતા ઓછી હોય છે, ત્યારે ફાઇબર

માત્ર એક જ મોડને સપોર્ટ કરી શકે છે , જે ફાઇબરની અક્ષીય લંબાઈ સાથે ફેલાય છે , અને ફાઇબર સિંગલ મોડ ફાઇબર બની જાય છે. તેનો અર્થ એ છે કે MMF માં સિંગલ મોડ ટ્રાન્સમિશન માટે , $V < 2.405$ કરતા ઓછી હોવી જોઈએ.

જે તરંગલંબાઈ પર ફાઇબર સિંગલ મોડ બને છે તેને ફાઇબરની કટઓફ તરંગલંબાઈ, λ_c કહેવામાં આવે છે. સમીકરણ (29) નો ઉપયોગ કરીને, લખતાં

$$\lambda_c = \frac{\pi d}{2.405} (NA) \text{ -----(32)}$$

ઉપરોક્ત સમીકરણ પરથી જોવા મળે છે કે સિંગલ મોડ ગુણધર્મ મલ્ટિમોડ ફાઇબરમાં કોર વ્યાસ ઘટાડીને અને/અથવા Δ ઘટાડીને પ્રાપ્ત કરી શકાય છે જેથી $V < 2.405$.

GRIN રેસાના કિસ્સામાં, V ના મોટા મૂલ્યો માટે,

$$N_m \equiv \frac{V^2}{4} \text{ -----(33)}$$

15.ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં નુકસાન(Losses in Optical Fibre):

જેમ જેમ પ્રકાશ સિગ્નલ ફાઇબર દ્વારા ફેલાય છે , તેમ તેમ તે કંપનવિસ્તારમાં ઘટાડો અને આકારમાં ફેરફારનો ભોગ બને છે.

કંપનવિસ્તારના નુકસાનને એટેન્યુએશન અને આકારમાં ફેરફારને વિકૃતિ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

15.1 નિર્બળતા(Attenuation):

જ્યારે ઓપ્ટિકલ સિગ્નલ ફાઇબર દ્વારા ફેલાય છે , ત્યારે તેની શક્તિ અંતર સાથે ઘાતાંકીય રીતે ઘટે છે. પ્રકાશ ફાઇબર નીચે પ્રવાસ કરે છે ત્યારે ઓપ્ટિકલ પાવરના નુકસાનને એટેન્યુએશન તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. ઓપ્ટિકલ સિગ્નલના એટેન્યુએશનને લંબાઈ L ના ફાઇબરથી ઇનપુટ ઓપ્ટિકલ પાવર સુધી ઓપ્ટિકલ આઉટપુટ પાવરના ગુણોત્તર તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે. જો P_i ફાઇબરના ઇનપુટ છેડે લોન્ચ થયેલ ઓપ્ટિકલ પાવર છે, તો પાવર P_0 , L ના અંતરે ફાઇબર નીચે દ્વારા આપવામાં આવે છે

$$P_0 = P_i e^{-\alpha L} \text{ -----(34)}$$

જ્યાં α ને કિમી⁻¹ ના એકમોમાં વ્યક્ત કરાયેલ ફાઇબર એટેન્યુએશન ગુણાંક કહેવામાં આવે છે. ઉપરોક્ત સમીકરણની બંને બાજુએ લોગરીધમ્સ લેતા, આપણને મળે છે

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \frac{P_i}{P_0} \text{ -----(35)}$$

$dB / કિમી$ ના એકમોમાં, α ને સમીકરણ દ્વારા વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે

$$\alpha_{dB/km} = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_0} \text{ -----(36)}$$

આદર્શ ફાઇબરના કિસ્સામાં, $P_i = P_0$ અને એટેન્યુએશન શૂન્ય હશે.

16. બેન્ડવિડ્થ(Bandwidth):

ઉપરોક્ત વિભાગમાં જાણવા મળ્યું છે કે વિવિધ વિક્ષેપ પદ્ધતિઓ સમય ક્ષેત્રમાં માહિતી સિગ્નલના વિસ્તરણનું કારણ બને છે. જો પલ્સ વધુ ફેલાય છે , તો તે નજીકના પલ્સ સાથે દખલ કરી શકે છે જેના પરિણામે ઇન્ટર સિમ્બોલ ઇન્ટરફરન્સ અથવા ટ્રેકમાં ISI થાય છે અને ISI એટલું બધું હોઈ શકે છે કે વ્યક્તિગત પલ્સ વચ્ચે તફાવત કરવો અશક્ય બની જાય છે. તેથી , આપેલ વિસ્તરણ માટે , પલ્સને ઓવરલેપિંગ ટાળવા માટે ન્યૂનતમ સમય અંતરાલ દ્વારા અલગ કરવા પડશે. આ સિસ્ટમની અંતિમ માહિતી-વહન ક્ષમતા નક્કી કરશે. જ્યારે પલ્સ વિભાજન વધારવામાં આવે છે , ત્યારે ડેટા ટ્રાન્સફર દર ઘટે છે. આમ, પલ્સનું વિસ્તરણ પલ્સ ટ્રાન્સમિશનના દર પર એક ઉચ્ચ મર્યાદા મૂકે છે. પ્રથમ અંદાજ મુજબ , એવું માની શકાય છે કે હર્ટ્ઝમાં બેન્ડવિડ્થ ડિજિટલ બીટ રેટ જેટલી છે. આમ,

$$B_T = \frac{1}{\tau} = B$$

જ્યાં τ ઇનપુટ પલ્સ અવધિ છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો , મહત્તમ સ્વીકાર્ય ટ્રાન્સમિશન દરને બેન્ડવિડ્થ કહેવામાં આવે છે. વ્યવહારમાં , ફાઇબર બેન્ડવિડ્થને $MHz.km$ ના સંદર્ભમાં વ્યક્ત કરવામાં આવે છે , જે આવર્તન અને અંતરનું ઉત્પાદન છે. આને બેન્ડવિડ્થ-ડિસ્ટન્સ પ્રોડક્ટ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે , જે ચોક્કસ અંતર પર ઉપયોગી બેન્ડવિડ્થને સ્પષ્ટ કરે છે. અંતર વધવા સાથે , ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં વિવિધ વિક્ષેપ અસરો વધશે અને પરિણામે ઉપયોગી બેન્ડવિડ્થ ઘટશે. પ્રતિ કિલોમીટર એટેન્યુએશન અને બેન્ડવિડ્થ-કિલોમીટર ઉત્પાદન ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના મહત્વપૂર્ણ પ્રદર્શન પરિમાણો છે.

17. તંતુઓની લાક્ષણિકતાઓ(Characteristics of the Fibres):

A. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ સિંગલ-મોડ ફાઇબર (Step index single mode fibre):

- તેનો કોર વ્યાસ ખૂબ જ નાનો હોય છે, સામાન્ય રીતે લગભગ $10 \mu m$.
- તેનું સંખ્યાત્મક છિદ્ર ખૂબ જ નાનું હોય છે.
- તે ફક્ત એક જ મોડને સપોર્ટ કરે છે જેમાં સમગ્ર પ્રકાશ ઊર્જા કેન્દ્રિત હોય છે.
- સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર 0 અને 2.4 ની વચ્ચે V નંબર રાખવા માટે રચાયેલ છે.
- પ્રચારના એક જ મોડને કારણે , ઇન્ટરમોડલ વિક્ષેપને કારણે નુકસાન અસ્તિત્વમાં નથી. સામગ્રી , પરિમાણો અને તરંગલંબાઈની કાળજીપૂર્વક પસંદગી સાથે, કુલ વિક્ષેપને અત્યંત નાનું બનાવી શકાય છે.
- એટેન્યુએશન સૌથી ઓછું છે.
- સિંગલ મોડ ફાઇબર મલ્ટિમોડ ફાઇબર કરતાં વધુ બેન્ડવિડ્થ ધરાવે છે.

- તેને મોનોક્રોમેટિક અને સુસંગત પ્રકાશ સ્ત્રોતની જરૂર પડે છે. તેથી , લેસર ડાયોડનો ઉપયોગ સિંગલ મોડ ફાઇબર સાથે કરવામાં આવે છે.

ફાયદા(Advantages):

- સિગ્નલનું કોઈ ડિગ્રેડેશન નહીં
- ઓછું ડિસ્પરશન ફાઇબરને ઉચ્ચ ડેટા દર સાથે ઉપયોગ માટે યોગ્ય બનાવે છે. સિંગલ-મોડ ફાઇબર ઉચ્ચ ટ્રાન્સમિશન દર અને મલ્ટિમોડ કરતાં 50 ગણું વધુ અંતર આપે છે.
- સંદેશાવ્યવહાર માટે ખૂબ અનુકૂળ.

ગેરફાયદા(Disadvantages):

- SMF નું ઉત્પાદન અને સંચાલન વધુ મુશ્કેલ છે.
- ફાઇબર ખર્ચાળ છે.
- ફાઇબરમાં પ્રકાશનું પ્રક્ષેપણ મુશ્કેલ છે.
- જોડાણ મુશ્કેલ છે.

એપ્લિકેશનો(Applications):

- પાણીની અંદર કેબલ તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે

B. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ મલ્ટી-મોડ ફાઇબર(Step index multi mode fibre):

- તેનો મુખ્ય વ્યાસ મોટો છે, જે સામાન્ય રીતે 50 – 100 μm ની વચ્ચે હોય છે.
- સંખ્યાત્મક છિદ્ર મોટું છે અને તે 0.3 ના ક્રમમાં છે.
- મોટા સંખ્યાત્મક છિદ્ર વધુ સંખ્યામાં મોડ્સને મંજૂરી આપે છે , જે મોટા વિક્ષેપનું કારણ બને છે.વિક્ષેપ મોટે ભાગે ઇન્ટરમોડલ છે.
- એટેન્યુએશન વધારે છે.
- LED જેવા અસંગત સ્ત્રોતનો ઉપયોગ મલ્ટિમોડ ફાઇબર સાથે પ્રકાશ સ્ત્રોત તરીકે કરી શકાય છે.

ફાયદા(Advantages):

- મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર ઉત્પાદન કરવા માટે પ્રમાણમાં સરળ છે અને તે ઓછો ખર્ચાળ છે.
- LED અથવા લેસર સ્ત્રોતનો ઉપયોગ કરી શકાય છે.
- ફાઇબરમાં પ્રકાશનું લોન્ચિંગ સરળ છે.
- મલ્ટિ-મોડ ફાઇબરને અન્ય ફાઇબર સાથે જોડવાનું સરળ છે.

ગેરફાયદા(Disadvantages):

- ઓછી બેન્ડવિડ્થ ધરાવે છે.
- વધુ વિક્ષેપને કારણે ડેટા દર ઓછો છે અને ટ્રાન્સમિશન ઓછું કાર્યક્ષમ છે.
- તે લાંબા અંતરના સંદેશાવ્યવહાર માટે ઓછું યોગ્ય છે.

એપ્લિકેશન્સ(Applications):

- ડેટા લિંક્સમાં વપરાય છે.

C. ગ્રેડેડ-ઇન્ડેક્સ મલ્ટી-મોડ ફાઇબર(Graded-index multi mode fibre):

- કોર વ્યાસ 50-100 μm ની રેન્જમાં છે.
- ન્યુમેરિકલ એપરચર સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ મલ્ટીમોડ ફાઇબર કરતા નાનું છે.
- ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરમાં મોડ્સની સંખ્યા સમાન મલ્ટિમોડ સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબર કરતા લગભગ અડધી છે.
- મધ્યમ એટેન્યુએશન ધરાવે છે.
- ઇન્ટરમોડલ ડિસ્પેરશન શૂન્ય છે, પરંતુ મટીરીયલ ડિસ્પેરશન હાજર છે.
- મલ્ટિમોડ સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબર કરતા વધુ સારી બેન્ડવિડ્થ ધરાવે છે.

ફાયદા(Advantages):

- GRIN ફાઇબર સાથે પ્રકાશના સ્ત્રોત તરીકે LED અથવા લેસરનો ઉપયોગ કરી શકાય છે.

ગેરફાયદા(Disadvantages):

- ગ્રેડેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરનું ઉત્પાદન વધુ જટિલ છે. તેથી, તે સૌથી મોંઘા ફાઇબર છે.
- પ્રકાશ સ્ત્રોત સાથે ફાઇબરનું જોડાણ મુશ્કેલ છે.

ઉપયોગ(Applications)

- ટેલિફોન લિંક્સમાં વપરાય છે.

18. ફાઇબર ઓપ્ટિક કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ(Fibre optic Communication System):

ફાઇબર ઓપ્ટિક કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ પરંપરાગત કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ જેવી જ હોય છે . અને તેમાં ત્રણ મુખ્ય ઘટકો હોય છે. ટ્રાન્સમીટર ઇલેક્ટ્રિકલ સિગ્નલને પ્રકાશ સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત કરે છે , ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સિગ્નલો ટ્રાન્સમિટ કરે છે અને રીસીવર ફાઇબરના બીજા છેડે સિગ્નલોને કેપ્ચર કરે છે અને તેમને ઇલેક્ટ્રિકલ સિગ્નલોમાં રૂપાંતરિત કરે છે.

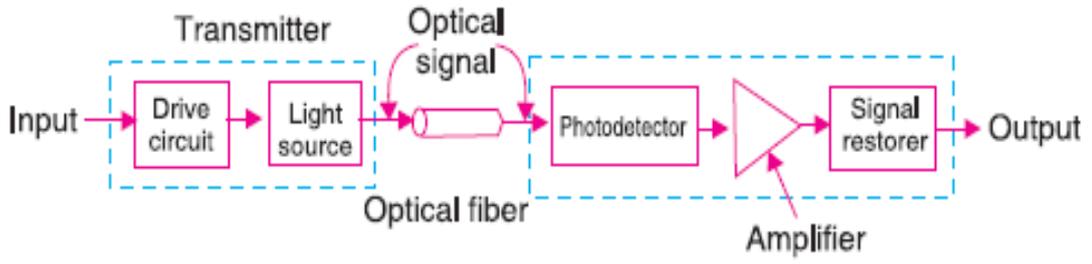


Illustration of a typical fibre optic communication link.

આકૃતિ 18

બ્લોક ડાયાગ્રામ આકૃતિ 18 એક લાક્ષણિક સંદેશાવ્યવહાર પ્રણાલી દર્શાવે છે. ટ્રાન્સમીટરમાં જરૂરી ડ્રાઇવ સર્કિટ દ્વારા સપોર્ટેડ પ્રકાશ સ્ત્રોતનો સમાવેશ થાય છે. ટ્રાન્સડ્યુસર બિન-વિદ્યુત સંદેશને વિદ્યુત સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત કરે છે અને પ્રકાશ સ્ત્રોતને આપવામાં આવે છે. પ્રકાશ સ્ત્રોત એક લઘુચિત્ર સ્ત્રોત છે, કાં તો પ્રકાશ ઉત્સર્જક ડાયોડ અથવા સેમિકન્ડક્ટર લેસર. બંને કિસ્સાઓમાં, પ્રકાશ IR શ્રેણીમાં 850 nm (0.85 μm), 1300 nm (1.3 μm) અથવા 1550 nm (1.55 μm) ની તરંગલંબાઈ સાથે ઉત્સર્જિત થાય છે. પ્રકાશ તરંગો સિગ્નલ સાથે મોડ્યુલેટ થાય છે. લેસર ડાયોડ અથવા LED થી પ્રકાશ બીમની તીવ્રતામાં ફેરફાર કરીને, એનાલોગ મોડ્યુલેશન પ્રાપ્ત થાય છે. લેસર ડાયોડ અથવા LED ને અત્યંત ઝડપી દરે ચાલુ અને બંધ કરીને, ડિજિટલ મોડ્યુલેશન પ્રાપ્ત થાય છે. પ્રકાશનો પલ્સ નંબર 1 દર્શાવે છે અને ચોક્કસ સમયે પ્રકાશની ગેરહાજરી શૂન્ય દર્શાવે છે. આ સંદેશ 1s અથવા 0s ના ચોક્કસ ક્રમ દ્વારા પ્રસારિત કરી શકાય છે. જો રીસીવર આવા ડિજિટલ પેટર્નને ઓળખવા માટે પ્રોગ્રામ કરેલ હોય, તો તે મૂળ સંદેશનું પુનઃનિર્માણ કરી શકે છે. ડિજિટલ મોડ્યુલેશન માટે એન્કોડર્સ અને ડીકોડર્સ જેવા વધુ જટિલ ઉપકરણો અને એનાલોગ મોડ્યુલેશન કરતાં વધુ બેન્ડવિડ્થની જરૂર હોવા છતાં, તે સમાન શક્તિ સાથે વધુ ટ્રાન્સમિશન અંતરની મંજૂરી આપે છે. આ એક મોટો ફાયદો છે અને તેથી ડિજિટલ મોડ્યુલેશન આજે લોકપ્રિય અને વ્યાપકપણે ઉપયોગમાં લેવાયું છે. ટ્રાન્સમીટર એનાલોગ અથવા ડિજિટલી મોડ્યુલેટેડ પ્રકાશ તરંગને ટ્રાન્સમિશન ચેનલ, એટલે કે ઓપ્ટિકલ ફાઇબર લિંક, ફીડ કરે છે. ફાઇબરમાંથી પસાર થતો ઓપ્ટિકલ સિગ્નલ ધીમે ધીમે એટેન્યુએટ થશે અને વિક્ષેપ અસરોને કારણે વિકૃત થશે. તેથી, સિગ્નલને ફરીથી ઉત્પન્ન કરવા માટે ચોક્કસ અંતરાલો પર રીપીટરનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. ફાઇબરના અંતે, આઉટપુટ કપ્લર ફાઇબરમાંથી પ્રકાશને સેમિકન્ડક્ટર ફોટોડાયોડ પર દિશામાન કરે છે, જે પ્રકાશ સંકેતોને ઇલેક્ટ્રિકલ સિગ્નલમાં રૂપાંતરિત કરે છે. ફોટોડિટેક્ટર પ્રકાશ તરંગોને ઇલેક્ટ્રિકલ સિગ્નલોમાં રૂપાંતરિત કરે છે જે પછી એમ્પ્લીફાઇડ થાય છે અને સંદેશ મેળવવા

માટે ડીકોડ કરવામાં આવે છે. આઉટપુટને યોગ્ય ટ્રાન્સડ્યુસરને ફીડ કરવામાં આવે છે જેથી તેને ઓડિયો અથવા વિડિયો સ્વરૂપમાં રૂપાંતરિત કરી શકાય.

એપ્લિકેશન્સ(Applications):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કોમ્યુનિકેશન સિસ્ટમને વ્યાપક રીતે બે જૂથોમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે:

- (i) સ્થાનિક અને મધ્યવર્તી શ્રેણી સિસ્ટમ્સ જ્યાં અંતર નાના હોય છે અને
- (ii) લાંબા અંતરની સિસ્ટમ્સ જ્યાં કેબલ્સ મોટા અંતર સુધી ફેલાયેલા હોય છે.

(i) **સ્થાનિક વિસ્તાર નેટવર્ક્સ (Local area network):** સ્થાનિક વિસ્તાર નેટવર્ક (LAN) એક કમ્પ્યુટર લક્ષી સંચાર સિસ્ટમ છે. LAN લગભગ 1 થી 2 કિમીના ટૂંકા અંતર પર કાર્ય કરે છે. તે બહુ-વપરાશકર્તા લક્ષી સિસ્ટમ છે. LAN માં, સંખ્યાબંધ કમ્પ્યુટર ટર્મિનલ્સ એક સામાન્ય ચેનલ પર એકબીજા સાથે જોડાયેલા હોય છે જે દરેક કમ્પ્યુટરને કોઈપણ અન્ય કમ્પ્યુટરના ડેટા અને પ્રોગ્રામ્સનો ઉપયોગ કરવાની મંજૂરી આપે છે. ઓપ્ટિકલ ડેટા બસ ખર્ચમાં મોટો ઘટાડો આપે છે અને માહિતી હેન્ડલિંગ ક્ષમતામાં ભારે વધારો કરે છે.

(ii) **લાંબા અંતરનો સંદેશાવ્યવહાર (Long haul communication):** ફાઇબર ઓપ્ટિક સંચારના સૌથી મહત્વપૂર્ણ કાર્યક્રમોમાંનો એક લાંબા અંતરનો સંદેશાવ્યવહાર છે. લાંબા અંતરની સંચાર સિસ્ટમ્સનો ઉપયોગ લાંબા અંતર, 10 કિમી કે તેથી વધુ માટે થાય છે. વિવિધ દેશોને જોડતા ટેલિફોન કેબલ આ શ્રેણીમાં આવે છે. એક ખૂબ જ સુસંસ્કૃત લાંબા અંતરનું નેટવર્ક NSFNET છે જે સમગ્ર યુએસએમાં છ સુપર કમ્પ્યુટર કેન્દ્રોને જોડે છે.

19. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના ગુણો(Merits of Optical Fibres):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં ઘણી ફાયદાકારક સુવિધાઓ હોય છે જે વાહક વાયરમાં જોવા મળતી નથી. કેટલાક મહત્વપૂર્ણ ફાયદા અહીં આપેલા છે.

1. **સસ્તા(Cheaper):** ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સિલિકા (SiO₂) માંથી બનાવવામાં આવે છે જે પૃથ્વી પર સૌથી વધુ વિપુલ પ્રમાણમાં સામગ્રીમાંની એક છે. ફાઇબર ઓપ્ટિક કમ્યુનિકેશનનો એકંદર ખર્ચ સમકક્ષ કેબલ કમ્યુનિકેશન સિસ્ટમ કરતા ઓછો હોય છે.

2. **કદમાં નાનો, વજનમાં હળવો, લવચીક છતાં મજબૂત (Smaller in size, lighter in weight, flexible yet strong):** ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો કોસ સેક્શન લગભગ થોડાક માઇક્રોન છે. તેથી, ફાઇબર ઓછા ભારે હોય છે. સામાન્ય રીતે, RG-19/U કોએક્સિયલ કેબલનું વજન લગભગ 1100 કિગ્રા/કિમી હોય છે જ્યારે PCS ફાઇબર કેબલનું વજન ફક્ત 6 કિગ્રા/કિમી હોય છે. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર તદ્દન લવચીક અને મજબૂત હોય છે.

3. જોખમી નથી (Not hazardous): વાયર કમ્યુનિકેશન લિંક આકસ્મિક રીતે હાઇ વોલ્ટેજ લાઇનને શોર્ટ સર્કિટ કરી શકે છે અને તેના કારણે થતા સ્પાર્કિંગ વિસ્તારમાં જ્વલનશીલ વાયુઓને સળગાવી શકે છે જે મોટા નુકસાન તરફ દોરી જાય છે. ફાઇબર લિંક્સ સાથે આવા અકસ્માતો થઈ શકતા નથી કારણ કે ફાઇબર ઇન્સ્યુલેટિંગ મટિરિયલ્સથી બનેલા હોય છે.
5. EMI અને RFI માટે રોગપ્રતિકારક (Immune to EMI and RFI): ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં, માહિતી ફોટોન દ્વારા વહન કરવામાં આવે છે. ફોટોન વિદ્યુત રીતે તટસ્થ હોય છે અને ઉચ્ચ વોલ્ટેજ ક્ષેત્રો, વીજળી વગેરે દ્વારા ખલેલ પહોંચાડી શકાતા નથી. તેથી, ફાઇબર ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક હસ્તક્ષેપ (EMI) અને રેડિયોફ્રીક્વન્સી હસ્તક્ષેપ (RFI) દ્વારા ઉત્પન્ન થતા બાહ્ય પૃષ્ઠભૂમિ અવાજથી રોગપ્રતિકારક હોય છે.
6. કોઈ ક્રોસ ટોક નહીં (No cross talk): ઓપ્ટિકલ ફાઇબર સાથે ફેલાતા પ્રકાશ તરંગો સંપૂર્ણપણે ફાઇબરની અંદર ફસાઈ જાય છે અને બહાર નીકળી શકતા નથી. વધુમાં, પ્રકાશ બાજુઓથી ફાઇબરમાં જોડાઈ શકતો નથી. આ સુવિધાઓને ધ્યાનમાં રાખીને, જ્યારે ઓપ્ટિકલ ફાઇબરનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે ત્યારે ક્રોસ ટોકની શક્યતા ઓછી થાય છે. તેથી, ટ્રાન્સમિશન વધુ સુરક્ષિત અને ખાનગી છે.
7. વિશાળ બેન્ડવિડ્થ (Wider bandwidth): ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં મોટી માત્રામાં માહિતી વહન કરવાની ક્ષમતા હોય છે. જ્યારે 900 જોડી વાયરથી બનેલો ટેલિફોન કેબલ 10,000 કોલ્સ હેન્ડલ કરી શકે છે, ત્યારે 1mm ઓપ્ટિકલ ફાઇબર 50,000 કોલ્સ ટ્રાન્સમિટ કરી શકે છે.
8. પ્રતિ યુનિટ લંબાઈ ઓછું નુકસાન (Low loss per unit length): ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની પ્રતિ યુનિટ લંબાઈ ટ્રાન્સમિશન નુકશાન લગભગ 4 dB/km છે. તેથી, રિપીટર વચ્ચે લાંબા કેબલ-રન શક્ય છે. જો કોપર કેબલનો ઉપયોગ કરવામાં આવે, તો રિપીટરને લગભગ 2 કિમીના અંતરાલે રાખવા જોઈએ. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના કિસ્સામાં, અંતરાલ 100 કિમી અને તેથી વધુ હોઈ શકે છે.

ગેરફાયદા(Disadvantages):

ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના સ્થાપન અને જાળવણી માટે કુશળતાના નવા સેટની જરૂર પડે છે. તેમને ઓપ્ટિકલ ટાઇમ ડોમેન રિફ્લેક્ટોમીટર વગેરે જેવા વિશિષ્ટ અને ખર્ચાળ સાધનોની જરૂર પડે છે. આ બધાનો અર્થ ભારે રોકાણ છે.

20. ઉદાહરણો(Examples):

1: ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં, મુખ્ય વક્રીભવનાંક 1.43 અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક 1.4 છે. પ્રસાર ખૂણો શોધો.

$$\text{ઉકેલ: } \cos \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.40}{1.43} = 0.979$$

$$\text{તેથી, પ્રસાર ખૂણો } \theta_c = \cos^{-1}(0.979) = 11.8^\circ.$$

2: ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં, મુખ્ય વક્રીભવનાંક 1.6 અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક 1.3 છે. જટિલ કોણનું મૂલ્ય શું છે? સ્વીકૃતિ શંકુના ખૂણાના મૂલ્યની પણ ગણતરી કરો

$$\text{ઉકેલ: જટિલ કોણ } \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.3}{1.6} = 0.8125 \text{ દ્વારા આપવામાં આવે છે}$$

$$\therefore \theta_c = 54.3^\circ$$

$$\theta_0 = \sin^{-1} \left[\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right] = \sin^{-1} \left[\sqrt{1.6^2 - 1.3^2} \right]$$

$$= \sin^{-1}(0.87) = 60.5^\circ$$

$$\text{સ્વીકૃતિ શંકુના ખૂણાના } = 2\theta_0 = 121^\circ$$

3: ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના નીચેનો ડેટા આંકડાકીય છિદ્ર અને સ્વીકૃતિ કોણની ગણતરી કરો.

$$\mu_1(\text{core}) = 1.55 \text{ and } \mu_2(\text{cladding}) = 1.50$$

$$\text{ઉકેલ: } NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.55^2 - 1.50^2} = \sqrt{0.153} = 0.391$$

$$\text{સ્વીકૃતિ કોણ } \theta_0 = \sin^{-1} \left[\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right] = \sin^{-1} \left[\sqrt{1.55^2 - 1.50^2} \right] = 23.02^\circ$$

4: ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક 1.378 સાથે અને મુખ્ય વક્રીભવનાંક 1.546 નો ઓપ્ટિકલ ફાઇબર કેબલનું આંકડાકીય છિદ્ર શું છે?

$$\text{ઉકેલ: } NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.546^2 - 1.378^2} = \sqrt{0.491} = 0.70$$

5: ફાઇબર કેબલમાં સ્વીકૃતિ કોણ 30° નો હોય છે અને રીફ્રેક્શનનું મુખ્ય વક્રીભવનાંક 1.4. ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક ની ગણતરી કરો.

$$\text{ઉકેલ: } \sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\therefore \sin^2 \theta_0 = n_1^2 - n_2^2$$

$$n_2^2 = n_1^2 - \sin^2 \theta_0 = (1.4)^2 - \sin^2 30^\circ = 1.96 - 0.25 = 1.71$$

$$\therefore n_2 = 1.308$$

6: આપેલ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની સ્વીકૃતિના કોણની ગણતરી કરો, જો મુખ્ય વક્રીભવનાંક અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક અનુક્રમે 1.563 અને 1.498 છે.

$$\text{ઉકેલ: } \sin \theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(1.563)^2 - (1.498)^2} = 0.4461$$

$$\theta_0 = \sin^{-1}(0.4461) = 26.49^\circ$$

7: જો મુખ્ય વક્રીભવનાંક અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું વક્રીભવનાંક અનુક્રમે 1.563 અને 1.498 હોય તો આપેલ ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાટે અપૂર્ણાંક અનુક્રમણિકા પરિવર્તનની ગણતરી કરો..

$$\text{ઉકેલ: અપૂર્ણાંક અનુક્રમણિકા પરિવર્તન } \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1.563 - 1.498}{1.563} = \frac{0.065}{1.563} = 0.0415$$

8: નીચેના ડેટામાંથી ફાઇબરની મુખ્ય અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું પ્રક્રિયાશીલ સૂચકાંકો ની ગણતરી કરો.

આંકડાકીય છિદ્ર (NA) = 0.22 and $\Delta = 0.012$, જ્યાં Δ એ અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પરિવર્તન છે.

$$\text{ઉકેલ: } NA = n_1 \sqrt{2\Delta}$$

$$0.22 = n_1 \sqrt{2 \times 0.012} = 0.155n_1$$

$$\therefore n_1 = \frac{0.22}{0.155} = 1.42$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\therefore \frac{1.42 - n_2}{1.42} = 0.012$$

$$\therefore n_2 = 1.42 - 1.42 \times 0.012 = 1.403$$

9: મુખ્ય અને ઢંકાયેલ મટિરિયલનું પ્રક્રિયાશીલ સૂચકાંકો અનુક્રમે 1.5 અને 1.49 તરીકે ઓપ્ટિકલ ફાઇબર માટે અપૂર્ણાંક રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ અને આંકડાકીય છિદ્ર શોધો.

$$\text{ઉકેલ: } \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1.5 - 1.49}{1.5} = 0.0067$$

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} = 1.5 \sqrt{2 \times 0.0067} = 0.174$$

10: એક સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબર રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ 1.52 છે, એક કોર નો વ્યાસ $29 \mu\text{m}$ ના અને અપૂર્ણાંક તફાવત અનુક્રમણિકા 0.0007. સાથે બનાવવામાં આવે છે તેની તરંગલંબાઈ $1.3 \mu\text{m}$ પર સંચાલિત છે. આ વી-નંબર અને મોડ્સની સંખ્યા કે જે ફાઇબર સપોર્ટ કરશે તે શોધો.

$$\text{ઉકેલ: } V = \frac{\pi d}{\lambda_0} n_1 \sqrt{2\Delta} = \frac{3.143 \times 29 \times 10^{-6} \text{m}}{1.3 \times 10^{-6} \text{m}} \times 1.52 \sqrt{2 \times 0.0007} = 4.049$$

$$\therefore \text{મોડ્સની સંખ્યા } N = \frac{1}{2} V^2 = \frac{1}{2} (4.049)^2 = 8 \text{ modes}$$

11: 1 મેગાવોટની ઓપ્ટિકલ પાવર 100 મીટર લંબાઈના ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં શરૂ થાય છે. જો બીજા છેડેથી ઉભરતી શક્તિ 0.3 mW છે, તો ફાઇબર એટેન્યુએશનની ગણતરી કરો.

$$\text{ઉકેલ: નિર્બળતા, } \alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_0} = \frac{10}{0.1 \text{km}} \log \frac{1 \text{mW}}{0.3 \text{mW}} = 52.3 \text{dB/km}$$

12: જો લોર્ચિંગના અંતમાં 15% પાવર ખવડાવવામાં આવે છે. એક પ્રસાર દરમિયાન 1 કિ.મી. ફાઇબર ખોવાઈ જાય છે તો ડીબી/કિ.મી. માં નિર્બળતા શું છે?

$$\text{ઉકેલ: નિર્બળતા, } \alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_0} = \frac{10}{0.5 \text{km}} \log \frac{1}{0.15} = 16.48 \text{dB/km}$$

21. પ્રશ્નો(Questions):

1. પ્રકાશના કુલ આંતરિક પ્રતિબિંબની ઘટનાને સમજાવો. તેનો ઉપયોગ ફાઇબર ઓપ્ટિકમાં સંદેશાવ્યવહાર કેવી રીતે થાય છે?
2. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર ના નિર્ણાયક પ્રસાર એંગલનો અર્થ શું છે ? નિર્ણાયક પ્રસાર એંગલ માટે અભિવ્યક્તિ પ્રાપ્ત કરો
3. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના નિર્ણાયક કોણ દ્વારા શું થાય છે? નિર્ણાયક કોણ માટે અભિવ્યક્તિ મેળવો.
4. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર એટલે શું? તેના કામમાં સામેલ સિદ્ધાંત શું છે?
5. નીચેના પદો સમજાવો: (i) જટિલ કોણ (ii) સ્વીકૃતિ શંકુ (iii) આંકડાકીય છિદ્ર
6. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર ના સ્વીકૃતિ એંગલ માટે અભિવ્યક્તિને કાપી નાખો.
7. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર ના કોર અને ક્લેડીંગ રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સની દ્રષ્ટિએ ફાઇબરની સ્વીકૃતિના કોણ માટે અભિવ્યક્તિ મેળવો. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરની સ્વીકૃતિ શંકુનો અર્થ શું છે?
8. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર માટે કોણ સ્વીકૃતિનો અર્થ શું છે ? તે આંકડાકીય છિદ્ર સાથે કેવી રીતે સંબંધિત છે તે બતાવો.
9. સ્વીકૃતિ એંગલ અને સ્વીકૃતિ શંકુ શબ્દો દ્વારા તમે શું સમજો છો ? એક કોર અને ક્લેડીંગના રીફ્રેક્ટિવ સૂચકાંકોની દ્રષ્ટિએ સ્વીકૃતિ કોણ માટે અભિવ્યક્તિ.
10. યોગ્ય આકૃતિની મદદથી ફાઇબર સ્વીકૃતિ એંગલ અને સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ માટે આંકડાકીય છિદ્ર માટે અભિવ્યક્તિ મેળવો.
11. સ્વીકૃતિ એંગલ અને આંકડાકીય છિદ્ર દ્વારા તમે જે સમજો છો તે સમજાવો.
12. કોરની રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સની દ્રષ્ટિએ એસ.આઇ. ફાઇબર માટે એન.એ. માટે અભિવ્યક્તિ મેળવો અને કોર અને ક્લેડીંગ વચ્ચે સંબંધિત રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ તફાવત.
13. Δ ની દ્રષ્ટિએ સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબરના આંકડાકીય છિદ્ર માટે અભિવ્યક્તિ મેળવો.
14. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરના સંબંધિત રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ તફાવતને વ્યાખ્યાયિત કરો. તે આંકડાકીય છિદ્ર કેવી રીતે સંબંધિત છે તે બતાવો.
15. રીફ્રેક્ટિવ ઇન્ડેક્સ પ્રોફાઇલના આધારે , મોડ્સના આધારે અને સામગ્રીનો આધાર તેના પર રેસાને વર્ગીકૃત કરો.
16. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ, ગ્રેડ ઇન્ડેક્સ, સિંગલ મોડ, મલ્ટિમોડ ફાઇબર શું છે તે સમજાવો.
17. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ, ગ્રેડ ઇન્ડેક્સ, મોનોમોડ અને મલ્ટિમોડ ફાઇબર શું છે તે સમજાવો. સ્કેચ સંબંધિત દોરો.

18. સ્ટેપ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબર અને ગ્રેડ-ઇન્ડેક્સ ફાઇબર વચ્ચેનો તફાવત સમજાવો.
19. મલ્ટિમોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર સાથે સિંગલ મોડ સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ ફાઇબરની તુલના કરો.
20. ઓપ્ટિકલ ફાઇબરમાં વિવિધ પ્રકારના એટેન્યુએશન નુકસાન શું છે? નુકસાન શોષણની ચર્ચા કરો.
21. ઓપ્ટિકલ રેસામાં એટેન્યુએશનની વિવિધ પદ્ધતિઓનું વર્ણન કરો.
22. ઓપ્ટિકલ ફાઇબર લિંક માટે આકૃતિ દોરો અને દરેક બ્લોકનું કાર્ય સમજાવો.
23. ઓપ્ટિકલ કમ્યુનિકેશન સિસ્ટમના મુખ્ય ઘટકોની સૂચિ બનાવો. મૂળભૂત ઓપ્ટિકલ સંદેશાવ્યવહાર સિસ્ટમ વર્ણવો.
24. લાંબા અંતરની વાતચીત માટે બ્લોક ડાયાગ્રામ દ્વારા ઓપ્ટિકલ કમ્યુનિકેશન સમજાવો.
(i) મોનો-મોડ અથવા મલ્ટિમોડ અને (ii) સ્ટેપ ઇન્ડેક્સ અથવા ગ્રેડ ઇન્ડેક્સ ફાઇબર , છે જે પ્રાધાન્યક્ષમ શા માટે?
25. ટ્રાન્સમિશન મીડિયા પરંપરાગત સંદેશાવ્યવહાર ઉપર ઓપ્ટિકલ ફાઇબર (રેસા)ના ફાયદા અને ગેરફાયદાની ચર્ચા કરો.