

HEMCHANDRACHARYA NORTH GUJARAT UNIVERSITY, PATAN

Course Name: B.Sc. Chemistry Semester: -V

PROGRAM CODE: SCIUG102
COURSECODE:SC23MJDSCCHE501

Type of course: Major Discipline Specific IKS course
Name of course: Ancient Indian Chemistry (Major-2)
Total Marks:100

Effective from June 2025 Under NEP2020

TotalCredits: 04	Teaching Hours per Week:04 Teaching Hours per Semester:60	Theory	External50 Marks Internal50Marks
-----------------------------------	--------------------------------------------------------------	--------	-------------------------------------

UNIT : 3 Raman Spectroscopy

- History and Discovery, Contribution of Dr.C.V.Raman and his team in the Raman effect.
- Basic principles: Raman effect, elastic and inelastic scattering of light.
- Molecular vibrations and energy levels.
- Selection rules in Raman spectroscopy.
- Stokes and Anti-Stokes lines
- Polarizability and Raman activity
- Example of 3 compounds which are Raman active.
- Role in promoting ancient science in India.
- Raman's philosophy and views on science and Society.
- Influence on future generations of science.

રામન સ્પેક્ટ્રા- ઇતિહાસ અને શોધ (History and Discovery of Raman Spectra):

સંપૂર્ણ નામ: ચંદ્રશેખર વેંકટ રામન, પિતાનું નામ: ચંદ્રશેખર ઐયર, માતાનું નામ: પાર્વતી દેવી

જન્મસ્થળ: હાલ તીરુચિરાપલ્લી (ત્રીજી) ગામની નજીક આવેલ થીરુવનૈકકવલ ગામમાં

જન્મ તારીખ: 7 નવેમ્બર 1988

11 વર્ષની ઉંમરે ધોરણ 10 પાસ, 12 વર્ષની ઉંમરે પ્રેસિડેન્સી કોલેજ, મદ્રાસ કોલેજમાં પ્રવેશ લીધો, 16 વર્ષની ઉંમરે સ્નાતક થયા. ૧૮ વર્ષે અનુસ્નાતકમાં ભૌતિકશાસ્ત્ર અને અંગ્રેજી વિષયમાં ગોલ્ડ મેડલ મેળવ્યો.

ઈ.સ.1906 માં 18 વર્ષે પ્રથમ લેખ “લાઈટ સ્પેક્ટ્રમ” ઉપર લંડનની ફિલોસોફીકલ પત્રિકામાં પ્રસિધ્ધ થયો અને બીજો સંશોધન લેખ “સરફેસ ટેન્શન” લંડનના નેચર મેગેઝીનમાં પ્રસિધ્ધ થયો. ઈ.સ.1907 માં સિવિલ સર્વિસની પરીક્ષા પાસ કરી અંગ્રેજ સરકારના નાણા વિભાગમાં નોકરી પ્રાપ્ત કરી. નોકરી દરમિયાન જ ઈ.સ. 1919 માં ઈન્ડિયન એસોસિએશન ફોર ધી કલ્ટીવેશન ઓફ સાયન્સ (IACS)માં સેક્રેટરી તરીકે સેવા લીધી. નોકરી સાથે સંશોધન કાર્ય ચાલુ કર્યું. ઈ.સ. 1907 થી 1917 માત્ર દસ વર્ષના ગાળામાં 27 સંશોધનપત્રો પ્રદર્શિત કર્યા. ઈ.સ.1912 માં Curzon Research Award અને 1913 માં Woodburn Research Award થી તેમનું સન્માન કરવામાં આવ્યું.

ઉંચા પગારની નોકરી છોડી ઈ.સ. 1917 માં કલકત્તા યુનિવર્સિટીની વિજ્ઞાન કોલેજમાં ભૌતિકશાસ્ત્રના પાઠ્યાપક તરીકે જોડાયા. ઈ.સ. 1921 માં ઈંગ્લેન્ડમાં યોજાયેલ વિજ્ઞાન પરિષદમાં યુનિવર્સિટી પ્રતિનિધિ તરીકે હાજરી આપી હતી ત્યાંથી પરત ફરતા જહાજના તુતક પર ઉભા રહી સમુદ્રના પાણીનું અવલોકન કરી ભૂમધ્ય સમુદ્રના પાણીનો ઘેરો વાદળી રંગ શા માટે? તે અંગે વિચારો કર્યા અને કલકત્તા પાછા ફર્યા પછી ઈ.સ.1922માં તેમને શોધી કાઢ્યું કે સમુદ્રના પાણીનો રંગ નાં તો આકાશનો છે નાં તો પાણીનો. જેમ હવામાં રહેલા અણુઓ દ્વારા સૂર્યપ્રકાશના કિરણોનું વિખેરણ થાય છે આથી આકાશ ભૂરું દેખાય છે તે જ રીતે પાણીના કણો દ્વારા સૂર્યપ્રકાશના કિરણોનું વિખેરણ થવાથી સમુદ્રનું પાણી ભૂરા રંગનું દેખાય છે. પ્રકાશના દ્રશ્યમાન વિભાગના ભૂરા રંગનું સૌથી વધારે વિખેરણ થાય છે અને તે ચારેય બાજુ ફેલાય છે.

૧૯૨૧ થી ૧૯૨૮ એમ સાત વર્ષ સુધી સંશોધન કર્યા બાદ ૨૮-૦૨-૧૯૨૮ ના રોજ તેમને સિદ્ધ કરી બાતાવ્યું કે જ્યારે પ્રકાશ કિરણ કોઈ માધ્યમ કે પદાર્થ માંથી પસાર થાય છે ત્યારે તે પદાર્થ ની અંદરના અણુઓ દ્વારા પ્રકાશના કિરણોનું વિખેરણ થાય છે તેની આર્વુતી અને તરંગ લંબાઈ માં ફેરફાર થાય છે આ ફેરફાર થયેલા રંગપટ ને રામન સ્પેક્ટ્રા કહેવામાં આવ્યું. અને આ અસરને રામન અસર તરીકે નામ આપવામાં આવ્યું.

ડૉ.સી.વી.રામન અને તેમની ટીમનો ફાળો (Contributions of Dr. C.V. Raman and His Team):

ડૉ. સી.વી. રમન સૂર્યપ્રકાશ, ક્વાર્ટઝ ફિલ્ટર્સ અને સ્પેક્ટ્રોસ્કોપ જેવા સરળ સાધનોનો ઉપયોગ કરીને પ્રકાશના વિખેરન પર વ્યાપક પ્રયોગો કર્યા. પ્રકાશના અસ્થિતિસ્થાપક વિખેરણનું અવલોકન કરવા માટે વિવિધ પ્રવાહી અને પારદર્શક પદાર્થોનો વ્યવસ્થિત રીતે અભ્યાસ કર્યો. રમન ઈફેક્ટ ઈન નેચર (૧૯૨૮) પર પ્રથમ વૈજ્ઞાનિક પેપર પ્રકાશિત કર્યું.

કે.એસ. કૃષ્ણન (સંશોધન સહાયક) પ્રયોગો હાથ ધરવા અને છૂટાછવાયા પ્રકાશનું વિશ્લેષણ કરવામાં મહત્વપૂર્ણ ભૂમિકા ભજવી. રમન રેખાઓ તરીકે ઓળખાતી આવર્તન-શિફ્ટ રેખાઓને માન્ય અને પુષ્ટિ કરવામાં મદદ કરી. પ્રારંભિક સંશોધનમાં સહ-લેખક તરીકે કામ કર્યું અને રામન અસર અને પરમાણુ પર વધુ અભ્યાસ ચાલુ રાખ્યો.

એસ. વેંકટેશ્વરન અને આર.એસ. કૃષ્ણન જેવા વિદ્યાર્થીઓ અને સહયોગીઓએ પ્રયોગોને શુદ્ધ કરવામાં અને રમનના તારણોને અન્ય સામગ્રી સુધી વિસ્તારવામાં મદદ કરી.

૧૯૩૦ માં, ડૉ. સી.વી. રમન આ શોધ માટે ભૌતિકશાસ્ત્રમાં નોબેલ પુરસ્કાર જીતનાર પ્રથમ એશિયન અને પ્રથમ બિન-શ્વેત વૈજ્ઞાનિક બન્યા. રમન અસરે ક્વોન્ટમ સિદ્ધાંત અને પ્રકાશના તરંગ-કણ દ્વિત સ્વભાવને મજબૂત સમર્થન પૂરું પાડ્યું. આ શોધથી રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો વિકાસ થયો, જે રસાયણશાસ્ત્ર, જીવવિજ્ઞાન, દવા અને સામગ્રી વિજ્ઞાનમાં વૈશ્વિક સ્તરે ઉપયોગમાં લેવાતી એક મુખ્ય વિશ્લેષણાત્મક તકનીક છે. આ શોધને માન આપવા માટે ભારતમાં 28 ફેબ્રુઆરીને રાષ્ટ્રીય વિજ્ઞાન દિવસ તરીકે ઉજવવામાં આવે છે. ડૉ. રમનની શોધે સાબિત કર્યું કે મર્યાદિત સંસાધનો હોવા છતાં પણ ભારતમાં વિશ્વ કક્ષાનું વૈજ્ઞાનિક સંશોધન કરી શકાય છે.

રામન ઈફેક્ટ ની શોધ પછી એ દિશામાં સેંકડો વૈજ્ઞાનિકોએ સંશોધન કાર્ય કર્યું. દુનિયાભરમાં લગભગ 1700 જેટલા સંશોધન પત્રો પ્રસિદ્ધ થયા. રામનના મૃત્યુ સમયે ઈ.સ.1970 સુધીમાં રામન ઈફેક્ટ પર 10,000 પેપર પ્રસિદ્ધ થઈ ચૂક્યા હતા. રામન ઈફેક્ટની પાછળ રામન સ્પેક્ટ્રા, રામન બેન્ડ, રામન શિફ્ટ, રામન સ્કેનર અને રામન લીડાર વગેરે જેવા

કેટલાક શબ્દો વિજ્ઞાનના શબ્દકોશમાં ઉમેરાયા. માત્ર ₹200 નો ખર્ચ કરીને જાતે બનાવેલા રામન spectrometer નો ઉપયોગ કરીને રામન ઈફેક્ટની તેઓએ શોધ કરી હતી. 10 ડિસેમ્બર 1930ના દિવસે સી વી રામનને નોબલ પુરસ્કાર આપવામાં આવ્યો નોબલ પુરસ્કારના ભાષણનો વિષય હતો “ધ મોલેક્યુલર સ્કેટરિંગ ઓફ લાઈટ”

રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી એ પદાર્થોની ઓળખ અને પરમાણુ વિશ્લેષણ માટે સૌથી શક્તિશાળી બિન-વિનાશક તકનીકોમાંની એક છે.

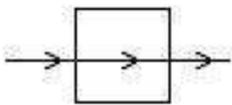
રામણનો એક રસ સંગીતના અવાજોના વૈજ્ઞાનિક આધાર પર હતો. તેઓ હર્મન વોન હેલ્મહોલ્ટ્ઝના “ધ સેન્સેશન્સ ઓફ ટોન” પુસ્તકથી પ્રેરિત હતા, જે પુસ્તક તેમને IACS માં જોડાયા ત્યારે મળ્યું હતું. તેમણે 1916 અને 1921 ની વચ્ચે તેમના તારણો વિપુલ પ્રમાણમાં પ્રકાશિત કર્યા. તેમણે વેગના સુપરપોઝિશનના આધારે ધ્વનિયુક્ત તાર વાદ્યોના ત્રાંસા કંપનનો સિદ્ધાંત ઘડ્યો. તેમના પ્રારંભિક અભ્યાસોમાંનો એક વાયોલિન અને સેલોમાં Wolf tone પર હતો. તેમણે વિવિધ વાયોલિન અને સંબંધિત વાદ્યોના ધ્વનિશાસ્ત્રનો અભ્યાસ કર્યો, જેમાં ભારતીય તાર વાદ્યો અને પાણીના છાંટાનો સમાવેશ થાય છે. તેમણે “યાંત્રિક રીતે વગાડવામાં આવતા વાયોલિન સાથેના પ્રયોગો” પણ કર્યા.

રામણે ભારતીય ઢોલની વિશિષ્ટતાનો પણ અભ્યાસ કર્યો. તબલા અને મૃદંગમના અવાજોની સુમેળભરી પ્રકૃતિના તેમના વિશ્લેષણ કરનાર પ્રથમ ભારતીય વૈજ્ઞાનિક હતા. તેમણે પિયાનોફોર્ટ તારનાં સ્પંદનો પર એક વિવેચનાત્મક સંશોધન લખ્યું જે કોફમેનના સિદ્ધાંત તરીકે જાણીતું હતું. 1921માં ઈંગ્લેન્ડની તેમની ટૂંકી મુલાકાત દરમિયાન, તેઓ લંડનમાં સેન્ટ પોલ કેથેડ્રલના ગુંબજની વ્હિસ્ટ્રિંગ ગેલેરીમાં અવાજ કેવી રીતે ફરે છે તેનો અભ્યાસ કરવામાં સફળ રહ્યા જે અસામાન્ય ધ્વનિ અસરો ઉત્પન્ન કરે છે. ધ્વનિશાસ્ત્ર પરનું તેમનું કાર્ય પ્રાયોગિક અને વૈચારિક બંને રીતે, ઓપ્ટિક્સ અને ક્વોન્ટમ મિકેનિક્સ પરના તેમના પછીના કાર્યો માટે એક મહત્વપૂર્ણ પ્રસ્તાવના હતું.

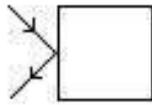
પ્રકાશનું વિકિરણની પદાર્થો ઉપર થતી અસરો :

જ્યારે પ્રકાશના કિરણો કોઈ પદાર્થ પર અથડાય છે, ત્યારે પ્રકાશની પ્રકૃતિ અને પદાર્થના ગુણધર્મોના આધારે અનેક પ્રકારની ક્રિયા-પ્રતિક્રિયાઓ અથવા અસરો થાય છે.

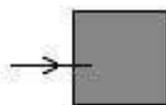
જ્યારે પ્રકાશ પદાર્થ પર અથડાય છે, ત્યારે તે પરિસ્થિતિના આધારે Reflection પ્રતિબિંબિત, Refraction વક્રીભવન, absorption શોષિત, transmission પારગમન, scattering વિખેરાણ શકે છે અથવા Photoelectric effect, ફોટોઈલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન અને Compton effect ક્વોન્ટમ અસરો જોવા મળે છે.



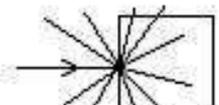
transmitted.
The object is
"transparent"



reflected.
The object is
a "mirror"



absorbed.
The object is
"opaque"



scattered.
The object is
"bright"

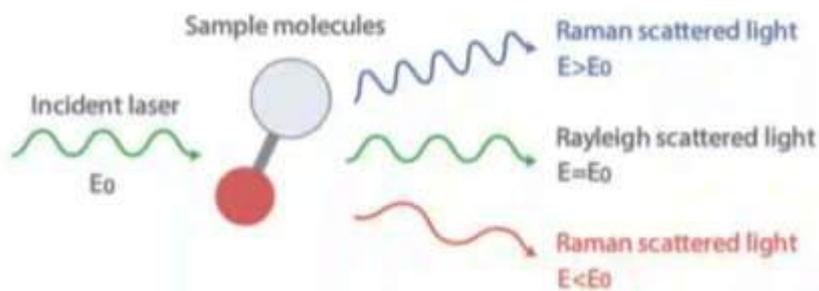
રામન અસરની શોધ (The Discovery of Raman effect):

પ્રકાશનું સમાંતર કિરણ જૂથ વાયુ, પ્રવાહી કે પારદર્શક ઘન પદાર્થ માંથી પસાર કરવામાં આવે ત્યારે તેમાંના થોડાક ભાગનું દરેક દિશામાં પ્રકીર્ણન (Scattering) થાય છે અને તેથી બાજુમાંથી પ્રકાશ જોઈ શકાય છે આ ઘટનાને ટીન્ડલ ઘટના (Tyndall) કહેવામાં આવે છે. આ રીતે પ્રકીર્ણન પામતા પ્રકાશની તીવ્રતા પ્રકાશની તરંગ લંબાઈના ચતુર્થઘાતના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે એટલે કે લાલ રંગના પ્રકાશ કરતા ભૂરા રંગના પ્રકાશનું પ્રમાણમાં વધારે પ્રકીર્ણન થાય છે. આ હકીકત આકાશનો ભૂરો રંગ સમજાવવા માટે ઉપયોગી છે.

ઈ.સ.1923 માં સ્પેકેલે (Spmekal) પ્રતિપાદન કર્યું કે જે રીતે ક્ષ-કિરણોનું અણુના ઈલેક્ટ્રોન સાથે અથડામણ થઈ આપાત ફોટોનું વિખેરણ થઈ ઓછી આવૃત્તિ વાળા વિકિરણનું વિખેરણ થાય છે આ ઘટનાને કોમ્પ્ટન અસર કહે છે, તે જ પ્રમાણે જ્યારે અણુઓ સાથે પ્રકાશના ફોટોનની આંતરિક પ્રક્રિયા થવાથી વિકીરણનું પ્રકીર્ણન થાય છે. આ વર્ષો દરમિયાન લાન્ડ્સ બર્ગ અને માંડેલસ્ટામે (Landsberg and Mandelstam) આ માટેના પ્રયોગો પારદર્શક ઘન પદાર્થ લઈને કર્યા હતા. હકીકતમાં આ પ્રકારની પ્રક્રિયા વાયુ અને ઘન પદાર્થો માટે ઘણી જ મંદ તીવ્રતા વાળી હોવાથી તેમના પ્રયાસો નિષ્ફળ ગયા. પ્રવાહી માટે આ અસર પ્રમાણમાં વધારે સારી રહે છે. સારી તીવ્રતા વાળો એકરંગી પ્રકાશ (Monochromic) વાપરીને પ્રયોગ કરવાની શરૂઆત સર સી.વી. રામને કરી હતી. પારાના આર્કમાં મળતા લીલા પ્રકાશનો ઉપયોગ કરી પ્રવાહી તરીકે બેન્ઝીન વાપરી ઈ.સ.1928 માં તેમને સૌપ્રથમ આ ઘટના પ્રાયોગિક રીતે જોઈ તેમાં વર્ણપટમાં મૂળ તરંગ લંબાઈની સાથે ઘણી ઓછી તીવ્રતાની બીજી તરંગ લંબાઈઓની રેખાઓ મળી આ ઘટના રામન ઘટના તરીકે અને મળતા વર્ણપટોને રામન વર્ણપટ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

જ્યારે મોનોક્રોમેટિક પ્રકાશનું કિરણ (જેમ કે સૂર્યપ્રકાશ અથવા લેસર) પારદર્શક પદાર્થમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે તેનો મોટાભાગનો ભાગ ઊર્જામાં ફેરફાર કર્યા વિના વિખેરાઈ જાય છે. જેને રેલે-સ્કેટરિંગ કહે છે.

જોકે, પ્રકાશનો એક નાના અંશનું વિખેરણ થાય છે અને તે વિખેરણ પામતા વિકિરણની આવૃત્તિ મૂળ વિકિરણ(incident) ની આવૃત્તિ કરતા વધુ અથવા ઓછી હોય છે. આથી કહી શકાય કે પ્રકાશનું વિકિરણ (ફોટોન) અને પદાર્થના પરમાણુઓ વચ્ચે ઊર્જાના વિનિમય થતો હશે. આ ઘટનાને રામન અસર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે અને તે પરમાણુ સ્પંદનોની પ્રકૃતિનો પુરાવો આપે છે.



Basic Principles: Raman Effect and Scattering of Light

Quantum theory of Raman Scattering:

જ્યારે પ્રકાશનું વિકિરણ(ફોટોન) દ્રવ્ય (અણુઓ અથવા પરમાણુઓ) સાથે અથડાય છે ત્યારે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે અને વિકિરણનું વિખેરણ થાય છે - એટલે કે આ ક્રિયાપ્રતિક્રિયાને કારણે વિકિરણની દિશા બદલાય છે. આ વિખેરણ બે પ્રકારનું થાય છે:

૧. Elastic Scattering (Rayleigh Scattering) સ્થિતિસ્થાપક સ્કેટરિંગ (રેલે સ્કેટરિંગ)

વિખેરાયેલા પ્રકાશની આવૃત્તિ (ઊર્જા), આપાત કરેલા પ્રકાશના વિકિરણ ની આવૃત્તિ જેટલી જ હોય છે. એટલે કે પ્રકાશના ફોટોન અને પરમાણુ વચ્ચે કોઈ ઊર્જા વિનિમય થતો નથી. આ સૌથી સામાન્ય પ્રકારનું સ્કેટરિંગ છે.

ઉદાહરણ: વાદળી આકાશ - સૂર્યપ્રકાશ હવાના અણુઓ દ્વારા સ્થિતિસ્થાપક રીતે વિખેરાય છે.

૨. Inelastic Scattering (Raman Scattering) સ્થિતિસ્થાપકતામાં ફેરફાર ન થવો (રમન વિખેરણ)

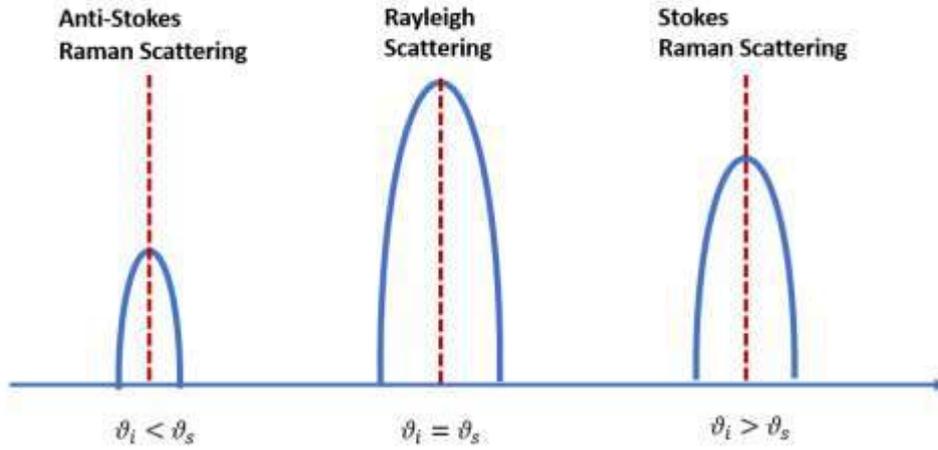
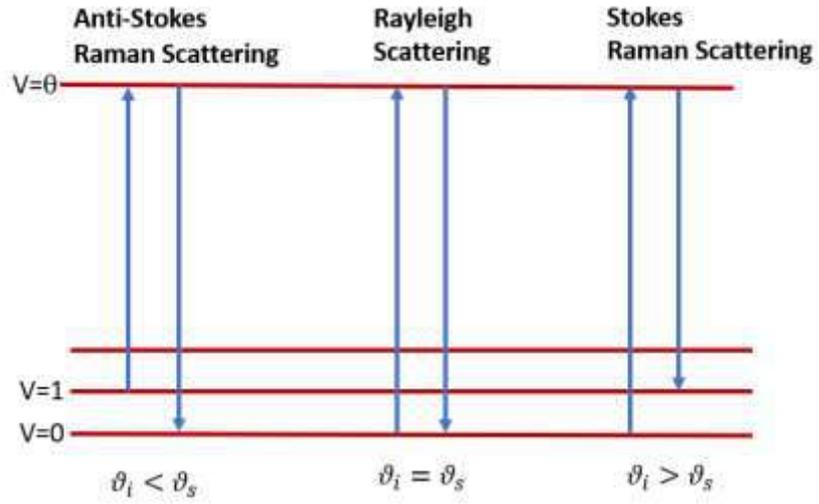
વિખેરણ પામેલ વિકિરણ ની આવૃત્તિ-ઊર્જા આપાત કરેલ પ્રકાશના વિકિરણની આવૃત્તિ -ઊર્જા કરતા જુદી હોય છે. કાં તો વધે છે અથવા ઘટે છે. આથી કહી શકાય કે પ્રકાશના ફોટોન અને પરમાણુ વચ્ચે ઊર્જાનું વિનિમય થાય છે:

- જો પરમાણુ આપાત વિકિરણની કેટલીક ઊર્જા મેળવે છે, તો વિખેરણ પામતા વિકિરણ ની ઓછી ઊર્જા હોય છે , જેને સ્ટોકસ શિફ્ટ કહે છે.(Stokes shift.)
- આપાત વિકિરણ અને પરમાણુ અથડામણ માં જો પરમાણુ ઊર્જા ગુમાવે છે, તો વિખેરણ પામતા વિકિરણ ની ઊર્જા વધે છે જેને એન્ટિ-સ્ટોકસ શિફ્ટ કહે છે.(Antistokes shift.)

વિખેરણ પામતા વિકિરણ ની ઊર્જામાં થતા આ ફેરફારો એ પરમાણુમાં કંપન શીલ (vibrational) અથવા પરિભ્રમણ (Rotational) સંક્રમણોને આધારે હોય છે.

રમન ઈફેક્ટ એ એક પ્રકારનું અસ્થિતિસ્થાપક સ્કેટરિંગ (Inelastic Scattering) છે જ્યાં પ્રકાશ પરમાણુના સ્પંદનો સાથે ક્રિયા-પ્રતિક્રિયા કરે છે, જેના કારણે વિકિરણની આવૃત્તિ -ઊર્જામાં ફેરફાર થાય છે.

આપાતીત વિકરણનો માત્ર એક નાનો અંશ (લગભગ 1 કરોડ ફોટોન માંથી 1 ફોટોન) રમન સ્કેટરિંગ દર્શાવે છે.



Rayleigh Scattering (Elastic):

ફોટોનનું કોઈપણ ઊર્જા પરિવર્તન વિના વિખેરાણ થાય છે. એટલે કે પરમાણુ એ જ કંપન ઊર્જા સ્થિતિમાં રહે છે. આથી મળતા શિફ્ટ ની તીવ્રતા (Intensity) ખુબ જ વધુ હોય છે.

જો આપાત કરેલ ફોટોન ની શક્તિ $E_i = h\nu_i$ હોય અને વિખેરિત પામતા વિકિરણ ની ઊર્જા $E_s = h\nu_s$ હોય તો

$$\Delta E = h(\nu_i - \nu_s)$$

જો આપતીત અને વિખેરિત વિકિરણની ઊર્જા સમાન હોય તો એટલે કે $(\nu_i = \nu_s)$ હોય તો

$$\Delta E = 0$$

આવા પ્રકારના વિખેરણને રેલે વિખેરણ (સ્થિતિસ્થાપક) કહે છે.

Anti-Stokes Raman Scattering:

પરમાણુમાં થતા કંપનો અને ભ્રમણ ને લીધે પરમાણું પહેલેથી જ ઉત્તેજિત કંપન સ્થિતિમાં હોય છે ($v = 1$). તે આપાત કરેલ ફોટોનમાંથી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે, અને ભૂમિ સ્થિતિમાં પાછો ફરે છે ($v = 0$). વિખેરાયેલા ફોટોનમાં વધુ ઊર્જા (ટૂંકી તરંગલંબાઈ) હોય છે. મળતા શિફ્ટની તીવ્રતા (Intensity) પણ ખુબ જ ઓછી હોય છે.

વિખેરિત વિકિરણની કૂલ ઊર્જા તફાવત $\Delta E = h(\nu_i - \nu_s)$ હોય છે, જો અણુ વિકિરણ સાથે ની અથડામણ માં શક્તિ ગુમાવે છે અને આપાતીત વિકિરણ શક્તિ પ્રાપ્ત કરે છે તો ($\nu_i < \nu_s$) વિખેરણ પામતા વિકરણ ની આવૃત્તિ /શક્તિ વધે છે આથી $\Delta E < 0$ ઋણ મળે છે આવા પ્રકારના વિખેરણને એન્ટી સ્ટોક રામન સ્કેટરીંગ કહે છે.

જ્યાં આપાતીત વિકિરણ આવૃત્તિ અને વિખેરિત વિકરણ આવૃત્તિ તફાવત ઋણ મળે છે જે એટલે કે વિખેરણ પામતા વિકિરણ આવૃત્તિ (ઊર્જા) વધુ હોય છે, જે દર્શાવે છે કે અણુમાના કંપનો ને લઈને ઊર્જા વધે છે.

Stokes Raman Scattering:

જ્યારે પરમાણુ પ્રથમ ભૂમિ સ્થિતિમાં હોય છે ($v = 0$). જ્યારે મોનો કોમિક વિકિરણ આપાત થાય છે ત્યારે ફોટોન પાસેથી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે, અને વર્ચ્યુઅલ ઉત્તેજિત અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે. ત્યાર બાદ પરત ભૂમિ સ્થિતિમાં પાછો ફરે છે ($v = 0$). ઉત્સર્જિત વિકિરણ ની ઊર્જા ઓછી હોય છે. મળતા શિફ્ટની તીવ્રતા (Intensity) વધુ હોય છે.

વિખેરિત વિકિરણ ની કૂલ ઊર્જા તફાવત

$$\Delta E = h(\nu_i - \nu_s)$$

અહીં.. $\nu_i > \nu_s$ હોવાથી $\Delta E > 0$ ધન મળે છે

આવા વિખેરણ થી વિખેરણ પામતા વિકિરણ ની ઊર્જા ઓછી હોય છે આથી આપાતીત વિકિરણ આવૃત્તિ અને વિખેરિત વિકરણ આવૃત્તિ તફાવત ધન મળે છે એટલે કે વિખેરણ પામતા વિકિરણ આવૃત્તિ (ઊર્જા) ઓછી હોય છે, જે દર્શાવે છે કે અણુમાના કંપનો માટે આપાતીત વિકિરણ ની ઊર્જા વપરાય છે.

શક્તિ સંવર્ધન નિયમ (Energy Conservation law) અનુસાર ફોટોન અને અણુ ની અથડામણ (Collision) પહેલા અને ત્યાર પછી અણુની શક્તિમાં થતો ફેરફાર નીચે મુજબ રજૂ કરી શકાય

અણુની અથડામણ પહેલાની ઊર્જા + આપાતીત વિકિરણની ઊર્જા = અણુની ફોટોન સાથે અથડામણ પછીની ઊર્જા + વિખેરણ પામતા વિકિરણની ઊર્જા

$$h\nu_i + E_p = h\nu_s + E_g$$

$$\frac{E_p - E_g}{h} = \nu_s$$

ઉપરના સમીકરણ ને આધારે નીચે મુજબ stock અને anti stock વિખેરણ નીચે મુજબ સમજાવી શકાય.

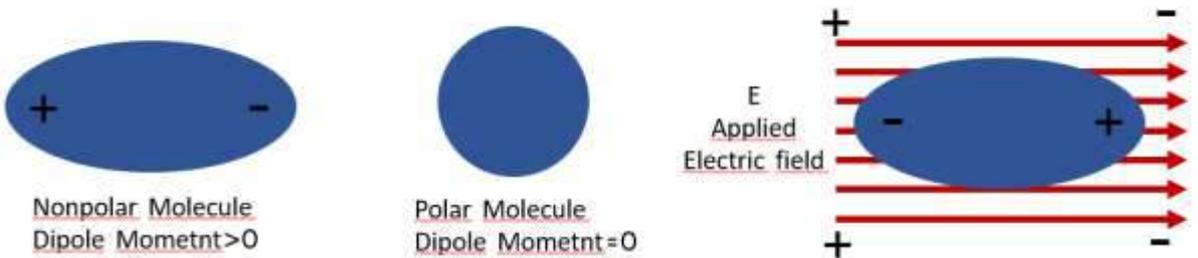
1. જ્યારે અણુ ઉપર વિકિરણ આપાત કરવામાં આવે અને અણુ ઉત્તેજિત થઈ સમાન પ્રારંભિક કંપન લેવલ માં પાછો આવે છે, આથી $\nu_s = \nu_i$ થવાથી અણુની ઊર્જા માં કોઈ જ ફેરાર થતો નથી $E_p = E_g$ એટલે કે આપાત કરેલ વિકિરણ અને અણુ વચ્ચે કોઈ કોલીજન થતું નથી આથી જ આપાત વિકિરણ અને વિખેરિત વિકિરણ ની આવૃત્તિ સમાન રહે છે, આવા શિફ્ટ ની તીવ્રતા વધુ હોય છે.
2. અણુ પહેલા ઉત્તેજિત અવસ્થામાં હોય છે જે ઉત્તેજિત અવસ્થા માં જઈ અને પ્રારંભિક કંપન (ground state) લેવલ માં પરત આવે છે ત્યારે વિકિરણ અને અણુની અથડામણ માં વિકિરણ શક્તિ પ્રાપ્ત કરે છે અને અણુની ઊર્જા ઓછી થાય છે $E_p > E_g$ એટલે કે આપાત કરેલ વિકિરણ અને અણુ કંપનો વચ્ચે ઊર્જા વિનિમય થવાથી વિખેરિત વિકિરણની ઊર્જા વધે છે $\nu_i < \nu_s$ જેને **Anti-Stokes Raman Scattering** કહે છે.
3. જ્યારે અણુ પ્રારંભિક કંપન અવસ્થા માં હોય અને વિકિરણ સાથે આંતર ક્રિયા થવાથી ઉત્તેજિત અવસ્થામાં જઈ અને અણુની શક્તિ વધે છે $E_p < E_g$ અને વિકિરણ ની ઊર્જા અણુમાં ટ્રાન્સફર થતી હોય તો વિખેરણ વિકિરણ ની ઊર્જા ઘટે છે $\nu_i > \nu_s$ એટલે કે આપાત કરેલ વિકિરણ અને અણુ કંપનો વચ્ચે ઊર્જા વિનિમય થવાથી વિખેરિત વિકિરણ ની ઊર્જા ઘટે છે જેને **Stokes Raman Scattering** કહે છે.

Classical Theory of Raman Scattering:

રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો ક્લાસિકલ સિદ્ધાંત ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક રેડિયેશન (પ્રકાશ) સાથે અણુની ક્રિયાપ્રતિક્રિયા થવાથી પરમાણુઓમાં પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય (induced dipole) ઉત્પન્ન થાય છે આ વિભાવનાનો ઉપયોગ કરીને રામન અસર સમજાવી શકાય છે. તે ક્લાસિકલ ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક સિદ્ધાંત પર આધારિત છે અને ક્વોન્ટમ ઊર્જા સ્તરોને ધ્યાન પર લીધા વિના પરમાણુના ધ્રુવીકરણ (Polarization) ને સમજાવે છે.

જ્યારે પ્રકાશનું વિકિરણ પરમાણુ સાથે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે:

- આપાત પ્રકાશ તરંગનું વિદ્યુત ક્ષેત્ર E પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોન વાદળને વિકૃત કરે છે.
- આ પરમાણુમાં પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય ઉત્તપન થાય છે.
- પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય પ્રકાશને ઓસીલેટ કરે છે અને ફરીથી વિકિરણ ઉત્સર્જિત થાય છે જેને સ્કેટરિંગ કહે છે.



આપાતીત વિદ્યુત ક્ષેત્ર ને લઈને ઉત્પન્ન થયેલ ડાઈપોલ મોમેન્ટ એ આપાતીત વિદ્યુત ક્ષેત્ર ને સમ પ્રમાણ હોય છે જેમ વિદ્યુતક્ષેત્રની શક્તિ વધુ તેમ વધુ પોલારીઝેશન થવાથી ડાઈપોલ મોમેન્ટ (ચુબકીય ચાકમાત્રા) વધે છે જેને નીચે મુજબ રજૂ કરી શકાય.

$$\mu \propto E$$

$$\mu = \alpha E \quad \text{સમીકરણ -----૧}$$

જ્યાં α ધ્રુવીયતા (*Polarizability of Molecule*)

જ્યારે ϑ આવૃત્તિ ધરાવતું વિકિરણ પ્રદાર્થ ઉપર આપાતીત થાય છે ત્યારે ઉત્પન્ન થતું વિદ્યુત ક્ષેત્રની શક્તિ E નીચે મુજબ રજૂ કરી શકાય

$$E = E_0 \sin 2\pi\vartheta t \quad \text{સમીકરણ -----૨}$$

જો કોઈ અણુ ચોક્કસ ϑ_v આવૃત્તિ સાથે કંપન કરે છે તો ઉત્પન્ન થતી ધ્રુવીયતા (*Polarizability*) નીચે મુજબ રજૂ કરી શકાય

$$\alpha = \alpha_0 + \beta \sin 2\pi\vartheta_v t \quad \text{સમીકરણ -----૩}$$

β = rate of change in polarizability α_0 = Equilibrium Polarizability

સમીકરણ ૨ અને ૩ ની કીમત સમીકરણ ૧ માં મુકતા પદાર્થ ઉપર વિકીરણ આપાત કરતા ઉત્પન્ન થતી ચુબકીય ચાકમાત્રા છે

$$\mu = (\alpha_0 + \beta \sin 2\pi\vartheta_v t)(E_0 \sin 2\pi\vartheta t)$$

$$\mu = (\alpha_0 E_0 \sin 2\pi\vartheta t + \beta \sin 2\pi\vartheta_v t E_0 \sin 2\pi\vartheta t)$$

$\sin A \sin B = (1/2)[\cos(A - B) - \cos(A + B)]$ નો ઉપયોગ કરતા

$$\mu = \left(\alpha_0 E_0 \sin 2\pi\vartheta t + \frac{1}{2} E_0 \beta [\cos 2\pi t(\vartheta_v - \vartheta) - \cos 2\pi t(\vartheta_v + \vartheta)] \right)$$

આ સમીકરણમાં ચોક્કસ ϑ_v કંપન આવૃત્તિ સિવાય નો એક આવૃત્તિ અવયવ ઉમેરાય છે આ પ્રેરિત દ્વિ ધ્રુવ $\vartheta_v - \vartheta$ અને $\vartheta_v + \vartheta$ આવુંતી વચ્ચે દોલનો કરે છે. ઉપરના સમીકરણ ને આધારે જ્યારે કોઈ આવૃત્તિ એ અણુમાં કંપનો ઉત્પન્ન થતા નથી એટલે કે ધ્રુવીયતા માં કોઈ જ ફેરફાર થતા નથી ત્યારે નું મુલ્ય શૂન્ય મળે છે આથી ડાઈપોલ મોમેન્ટ નીચે મુજબ મળે છે

$\mu = (\alpha_0 E_0 \sin 2\pi\vartheta t)$ જે **Rayleigh Scattering** દર્શાવે છે જેમાં આવૃત્તિમાં કોઈજ ફેરફાર થતો નથી જ્યારે

$\left(\frac{1}{2} E_0 \beta [\cos 2\pi t(\vartheta_v - \vartheta)] \right)$ **Stock line** નો નિર્દેશ કરે છે અને

$\left(\frac{1}{2} E_0 \beta [\cos 2\pi t(\vartheta_v + \vartheta)] \right)$ **Anti Stock line** નો નિર્દેશ કરે છે

રામન સ્કેટરિંગનો ક્લાસિકલ સિદ્ધાંત તે વિવિધ પરિસ્થિતિઓમાં કે જેમાં રામન સ્કેટરિંગ થાય છે તમની રામન રેખાઓની ઉત્પત્તિ ની સમજૂતી પૂરી પાડે છે, અને ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં ફેરફાર કેવી રીતે થાય છે અને તે રામન સક્રિય બને છે તે સમજાવે છે.

Selection Rules for Raman Spectra (રામન સ્પેક્ટ્રમ માટે પસંદગીના નિયમો)

રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી પ્રકાશના inelastic scattering (અસ્થિતિસ્થાપક સ્કેટરિંગ) પર આધારિત છે, જેને રામન અસર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે, જ્યાં આપાત થયેલ ફોટોન પરમાણુ કે અણુના સ્પંદનો સાથે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે, જેના પરિણામે આપાતીત પ્રકાશમાંથી ઊર્જા વિનિમય થતાં વિખેરાયેલા ફોટોન પ્રાપ્ત થાય છે.

બધા અણુ /પરમાણુ સ્પંદનો કરી શકતા નથી એટલે રમન સંકેત ઉત્પન્ન કરી શકતા નથી - પસંદગીના નિયમો નક્કી કરે છે કે કયા કંપન સંક્રમણો રમન-સક્રિય છે અને કયા રમન અક્રિય છે

જો કંપન સ્થિતિ (vibrational mode) પરમાણુની ધ્રુવીકરણ (polarizability) માં ફેરફાર લાવે છે, તો તે રમન-સક્રિય હોય છે.

બાહ્ય વિદ્યુત ક્ષેત્ર (જેમ કે પ્રકાશ) દ્વારા પરમાણુના ઈલેક્ટ્રોન વાદળને સરળતાથી વિકૃત કરે છે તેને પોલારીઝેશન કહે છે. એક કંપન જે પરમાણુની ધ્રુવીકરણ ક્ષમતામાં ફેરફાર કરે છે તે પ્રકાશ સાથે એવી રીતે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે જેનાથી રામન વિખેરણ જોવા મળે છે.

Quantum Mechanical View (Molecular Vibrations and Energy Levels in Raman Spectroscopy)

ક્વોન્ટમ મિકેનિક્સને આધારે, કંપનશીલ રામન સંક્રમણો માટે પસંદગીનો નિયમ

રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી પ્રકાશના અસ્થિતિસ્થાપક સ્કેટરિંગ (જેને રામન અસર તરીકે ઓળખવામાં આવે છે) પર આધારિત છે, જ્યાં ફોટોન પરમાણુ સાથે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે અને તેના કંપન મોડ્સ સાથે ઊર્જાનું વિનિમય કરે છે. આનાથી વિખેરાયેલા પ્રકાશની ઊર્જા (અને આવૃત્તિ)માં પરિવર્તન આવે છે. આ સમજવા માટે, આપણે પરમાણુ સ્પંદનો અને ઊર્જા સ્તરોમાં નો અભ્યાસ ની જરૂર છે.

અણુમાં રહેલા પરમાણુઓ તેમના સંતુલન સ્થાનો પર સતત કંપન કરે છે. આ સ્પંદનો પ્રકાર નીચે મુજબ હોય છે.

ખેંચાણ સ્પંદનો:

- સપ્રમાણ ખેંચાણ (Symmetrical Stretching) : પરમાણુઓ એક જ સમયે બંધન અક્ષ સાથે અંદર અને બહાર ખેંચાય છે.
- અસપ્રમાણ ખેંચાણ (Unsymmetrical Stretching): એક બંધન લંબાય છે જ્યારે બીજું ટૂંકું થાય છે.

Bending vibration:

- 1.કાતર: બે પરમાણુઓ એકબીજા તરફ અને દૂર ખસે છે.
- 2.રોકિંગ: પરમાણુઓ એક જ દિશામાં ખસે છે, જેમ કે રોકિંગ ગતિ.
- 3.હલનચલન: પરમાણુઓ ઉપર અને નીચે ખસે છે.
- 4.વળી જવું: પરમાણુઓ વિરુદ્ધ દિશામાં ફરે છે.

પરમાણુમાં શક્ય કંપન સ્થિતિઓ (Degree of freedom) ની સંખ્યા બિન-રેખીય અણુઓ માટે $3N - 6$ અને રેખીય અણુઓ માટે $3N - 5$ (જ્યાં $N =$ અણુઓની સંખ્યા)

ક્વોન્ટમ સિદ્ધાંત અનુસાર આ સ્પંદનો અલગ કંપન ઊર્જા સ્તરોને અનુરૂપ છે.

કંપન સ્તરની ઊર્જા

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2} \right) h\nu$$

Where:

- $v = 0, 1, 2, \dots$ (vibrational quantum number)
- h = Planck's constant
- ν = vibrational frequency of the mode

The $v = 0$ to $v = 1$ transition is the **fundamental vibrational transition**.

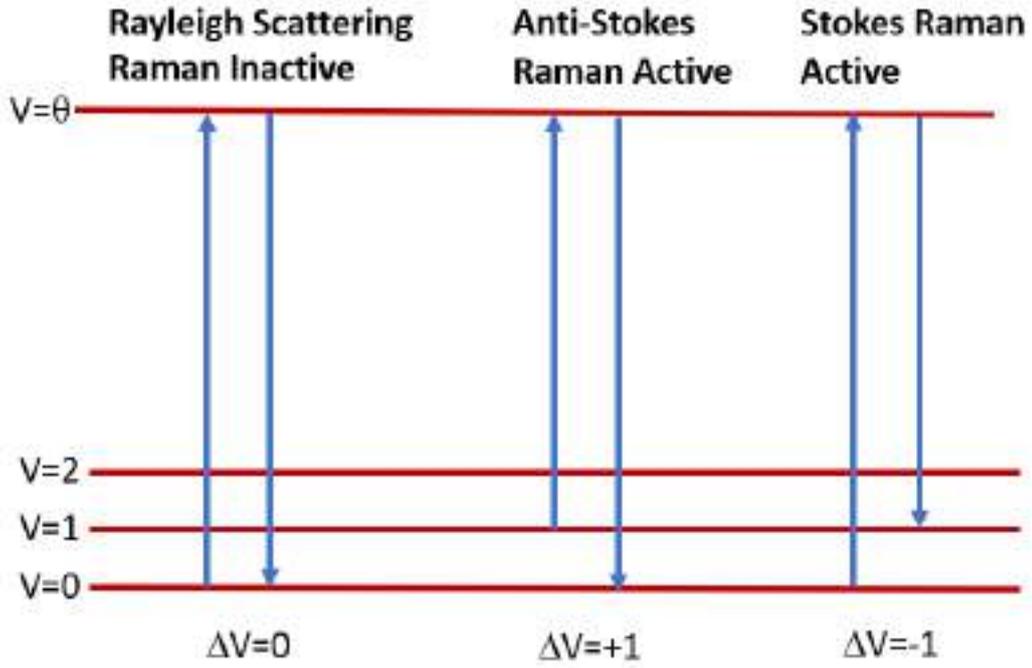
જ્યારે આપાતીત પ્રકાશનો ફોટોન (મોનોક્રોમિક કિરણ) અણુ કે પરમાણુ સાથે ક્રિયાપ્રતિક્રિયા કરે છે (શક્તિની આપલે કરે છે) ત્યારે અણુ એક કંપન લેવલ માંથી વર્ચ્યુઅલ કંપન લેવલમાં જાય છે, જ્યારે અણુ/પરમાણુ મૂળ કંપન લેવલ માં આવે છે ત્યારે બંને કંપન લેવલના ક્વાન્ટમ નંબર તફાવતને આધારે તે રામન સક્રિય છે કે અક્રિય તે નક્કી કરી શકાય છે. મોટાભાગના ફોટોન સ્થિતિસ્થાપક રીતે વિખેરાયેલા હોય છે (ઊર્જા પરિવર્તન થતું નથી) → રેલે સ્કેટરિંગ એક નાનો અપૂર્ણાંક અસ્થિર રીતે વિખેરાયેલો હોય છે → રમન સ્કેટરિંગ કહે છે, એટલે કે જો કંપન લેવલ ક્વાન્ટમ નંબર તફાવત $\Delta v = 0$ હોય તો તે રામન અક્રિય હોય છે (રેલે સ્કેટરિંગ કહે છે) અને જો $\Delta v = \pm 1$ હોય તો તે રામન સક્રિય હોય છે. $\Delta v = +1$ હોય તો રામનસક્રિય **antistock line** મળે છે અને $\Delta v = -1$ હોય તો રામન સક્રિય **stock line** મળે છે

Stokes Scattering $\Delta v = -1$

- પરમાણુ ઊર્જા મેળવે છે.
- ફોટોન ઊર્જા ગુમાવે છે.
- અંતિમ કંપન સ્થિતિ $v = 1$ અથવા તેથી વધુ છે.
- ઓછી આવૃત્તી (લાલ શિફ્ટ-૪૦૦-૮૦૦ Hz) માં પરિવર્તન તરીકે અવલોકન કરવામાં આવે છે.

Anti-Stokes Scattering $\Delta v = +1$

- પરમાણુ ઊર્જા ગુમાવે છે (પહેલેથી જ ઉત્તેજિત હતો).
- ફોટોન ઊર્જા મેળવે છે.
- અંતિમ કંપન સ્થિતિ $v = 0$ છે.
- ઉચ્ચ આવૃત્તી(વાદળી શિફ્ટ-૬૦૦-૬૩૦ Hz) માં પરિવર્તન તરીકે અવલોકન કરવામાં આવે છે.



ઓરડાના તાપમાને (બોલ્ટ્ઝમેન વિતરણ નિયમ અનુસાર) ઉત્તેજિત અવસ્થાઓ કરતાં વધુ અણુઓ ભૂમિ અવસ્થામાં ($v=0$) હોવાથી સ્ટોક રેખાઓની તીવ્રતા (Intensity)એન્ટી સ્ટોક રેખાઓ કરતા વધુ હોય છે.

Selection rules for Rotational Molecular Raman Spectra:

ભ્રમણ કંપનો માટે પસંદગીના નિયમો

કોઈ પરમાણુ રોટેશનલ રામન સંક્રમણો ત્યારે જ દર્શાવે છે જ્યારે ભ્રમણ ઊર્જા સ્તરના નીચેના ક્વોન્ટમ પસંદગી નિયમોનું પાલન કરે છે:

$$\Delta J = 0, \pm 2$$

- $\Delta J = +2 \rightarrow$ Stokes lines (અણુ ફોટોન પાસેથી ઊર્જા પ્રાપ્ત કરે છે)
- $\Delta J = -2 \rightarrow$ Anti-Stokes lines (અણુ ફોટોન ને ઊર્જા આપે છે)
- $\Delta J = 0 \rightarrow$ Rayleigh line (ફોટોન અને અણુ વચ્ચે ઊર્જા વિનિમય થતો નથી)

નોંધ: રામનમાં $\Delta J = \pm 1$ પ્રતિબંધિત છે પરંતુ માઈકોવેવ અને IR સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીમાં માન્ય છે.

Rotational Raman Spectrum Pattern

પરિભ્રમણ ઊર્જા સ્તરોની શક્તિ અને સ્પેક્ટ્રલ લાઈન માટે નીચે મુજબ સમીકરણ લખી શકાય

$$E_r = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1)$$

$$E_r = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = hc\bar{\nu}$$

$$hc\bar{\nu} = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1)$$

$$\bar{\nu} = \frac{h}{8\pi^2 IC} J(J+1)$$

$$\bar{\nu} = B J(J+1) \text{ અથવા } E = B J(J+1)$$

$\Delta J = +2$ માટે $J=J+2$ અને $J=J$ લેતા

$$\bar{\nu}_{(J+2)} - \nu_J = B[(J+2)(J+2+1)] - BJ(J+1)$$

$$\Delta\bar{\nu} = B[(J+2)(J+3)] - BJ(J+1)$$

$$\Delta\bar{\nu} = B(4J+6)$$

$$\Delta\bar{\nu} = 2B(2J+3)$$

$\Delta J = -2$ માટે $J=J$ અને $J=J+2$ લેતા

$$\Delta\bar{\nu} = -2B(2J+3) \text{ મળે છે}$$

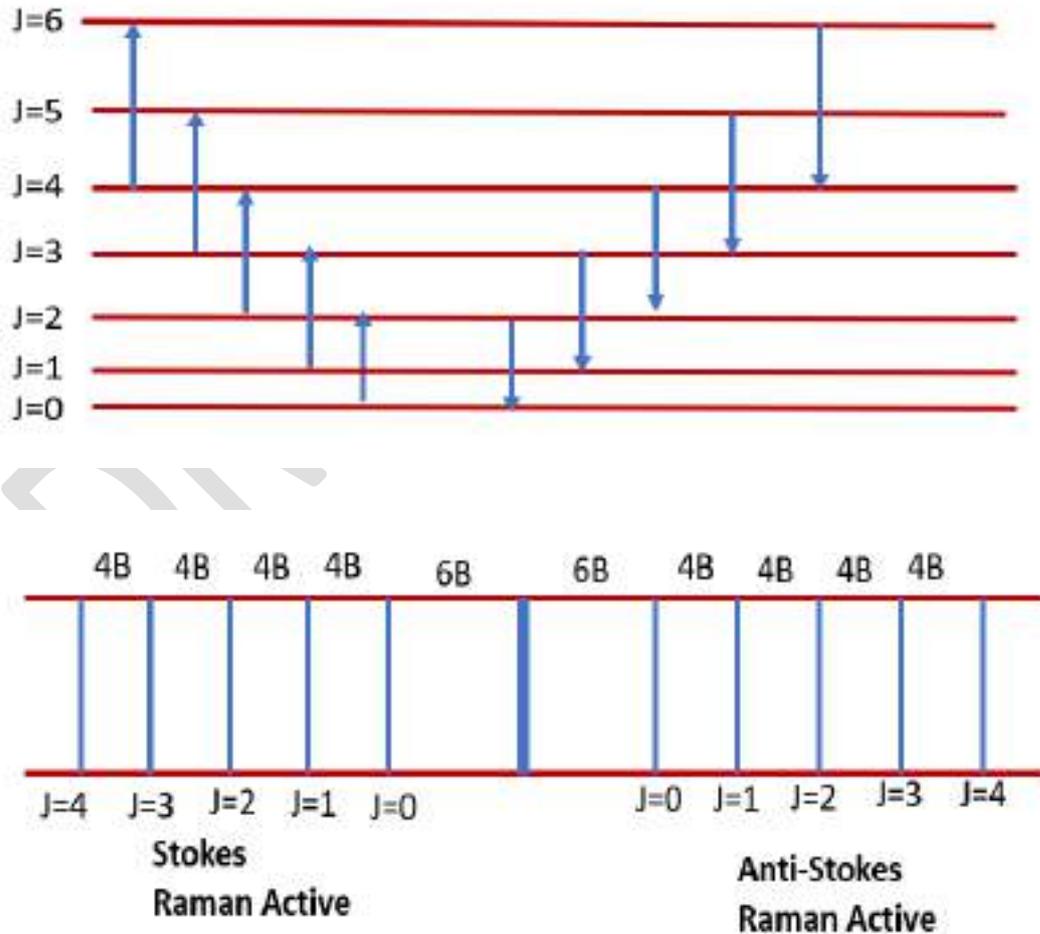
આથી $\Delta\bar{\nu} = \pm 2B(2J+3)$ જ્યાં $J = 0, 1, 2, \dots$

$J=0$ હોય તો $\Delta E = 6B$;

$J=1$ હોય તો $\Delta E = 10B$;

$J=2$ હોય તો $\Delta E = 14B$

Rotational Raman Spectrum Pattern પરિબ્રમણ ઊર્જા સ્તરોની પેટર્ન :



Classical Interpretation (Polarizability Tensor):

ક્લાસિકલ થીયરી ને આધારે પરમાણુ કંપન દરમિયાન, જો ધ્રુવીયતા (polarizability) (α) બદલાય તો અણુ કે પરમાણુ ના કંપન કે ભ્રમણ મોડ રામન સક્રિય હોય છે.

$$\text{ગાણીતીય રીતે રામન સક્રિયતા } I_R \propto \left(\frac{d\alpha}{dQ}\right)^2$$

જ્યાં Q = vibrational modes α : polarizability

જો અણુ ની α : polarizability શૂન્ય હોય તો તે કંપન મોડ રામન ઈનએક્ટીવ હોય છે

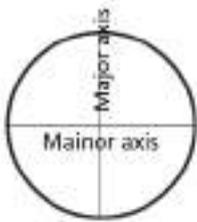
ધ્રુવીકરણ ક્ષમતા $\left(\frac{d\alpha}{dQ}\right) = 0$ હોય તો કહી શકાય કે અણુના કંપનો દરમિયાન ધ્રુવીયતા માં કોઈ જ ફેરફાર થતો નથી આથી આવા કંપનો રામન ઈનએક્ટીવ હોય છે. જો ધ્રુવીકરણ ક્ષમતા $\left(\frac{d\alpha}{dQ}\right) \neq 0$ હોય તો કહી શકાય કે અણુના કંપનો દરમિયાન ધ્રુવીયતામાં ફેરફાર થાય છે અને આવા કંપનો રામન એક્ટીવ હોય છે. અણુના કંપનો દરમિયાન ધ્રુવીકરણ ક્ષમતામાં કોઈ જ ફેરફાર થતો ના હોય પરંતુ જો ધ્રુવીકરણ ની દિશા બદલાતી હોય છે ત્યારે આવા કંપનો પણ રામન સક્રિય હોય છે.

અણુમાના કંપનો અને ધ્રુવીકરણ ક્ષમતા (magnitude of polarizability) માં થતા ફેરફાર નીચે મુજબ સમજાવી શકાય છે

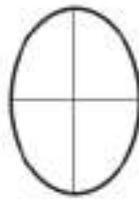
ધ્રુવીકરણ એ અણુની જુદી જુદી પ્રકૃતિ ઉપર આધારિત હોય છે.

- અણુનું કદ મોટું હોય તો મોટા ઈલેક્ટ્રોન વાદળો વધુ સરળતાથી વિકૃત થાય છે આથી ધ્રુવીયતા વધુ હોય છે.
- π -બોન્ડ્સ σ -બોન્ડ્સ કરતાં વધુ ધ્રુવીકરણક્ષમ હોય છે.
- અણુ માં ઈલેક્ટ્રોન ડિલોકલાઈઝેશન વધુ હોય તો ધ્રુવીકરણક્ષમતા વધુ હોય છે.
- બંધ મોટો હોય તો ધ્રુવીકરણ વધુ થાય છે
- સમિતીય અણુઓમાં દ્વિધ્રુવી ચાકમાત્રા શૂન્ય હોય છે પરંતુ ધ્રુવીકરણક્ષમતા વધુ હોઈ શકે છે.

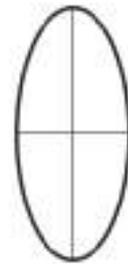
અણુ માંના આવી વિવિધ પરિસ્થિતિઓથી ધ્રુવીકરણ ઉદ્ભવે છે. જેને polarizability ellipsoid દ્વારા સમજી શકાય છે. ધ્રુવીકરણક્ષમતાનો લંબગોળ (ellipsoid)એ ભૌમિતિક રજૂઆત છે કે પરમાણુ વિવિધ દિશામાં કેટલું ધ્રુવીકરણક્ષમ છે. ધ્રુવીકરણક્ષમતાનું મૂલ્ય આ લંબગોળના કદ અને આકાર સાથે સંબંધિત છે. લંબગોળ ની અક્ષિસ ની સરેરાશ લંબાઈ $= \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$ હોય છે. ધ્રુવીયતાનું મૂલ્ય કાઢવા માટે, આપણે લંબગોળના ભૌમિતિક ગુણધર્મોનો ઉપયોગ કરીએ છીએ.



માઈનોર અને મેજર અક્ષિસ સમાન લંબાઈની હોય છે બધી દિશામાં ધ્રુવીયતા સમાન હોય છે.



માઈનોર અક્ષિસ મોટી હોય છે ધ્રુવીયતા મેજર અક્ષિસ દિશામાં વધુ હોય છે.



માઈનોર અક્ષિસ નાની હોય છે ધ્રુવીયતા મેજર અક્ષિસ દિશામાં ઓછી હોય છે.

H₂ અણુમાં રમન સક્રિય અને નિષ્ક્રિય કંપનો

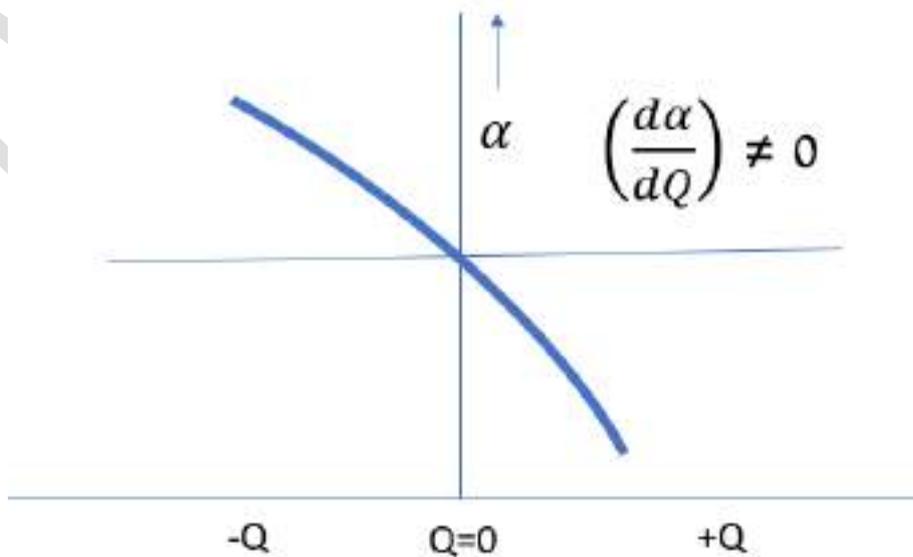
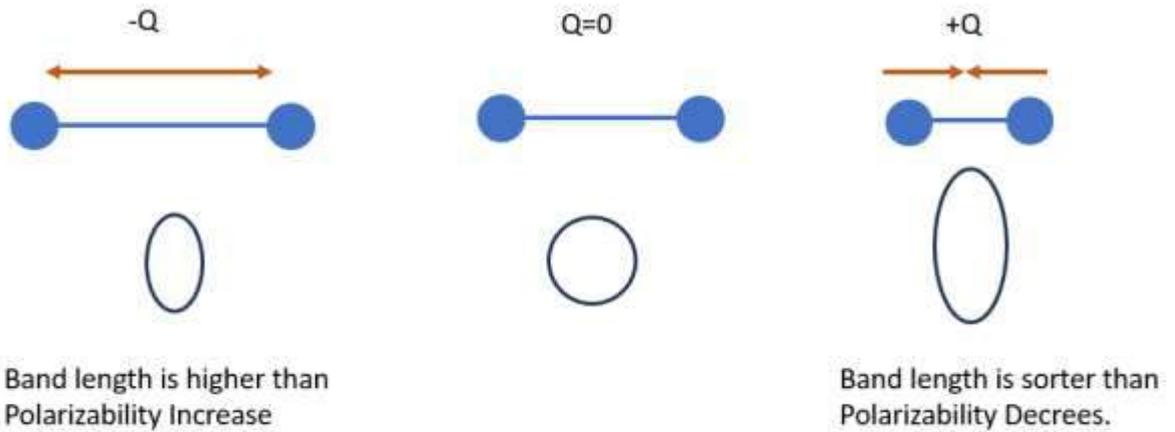
હાઈડ્રોજન અણુ (H₂) એ સૌથી સરળ ડાયટોમિક અણુ છે, જેમાં બે હાઈડ્રોજન પરમાણુઓનો સમાવેશ થાય છે.

અણુ સમિતિ અને કંપન સ્થિતિઓ:

H₂ રેખીય અને હોમોન્યુક્લિયર ડાયટોમિક છે. તે D_{∞h} બિંદુ જૂથનો છે. ડાયટોમિક પરમાણુ માટે કંપન સ્થિતિઓની સંખ્યા = 3N - 5 = 1 (કારણ કે N = 2). તેથી, H₂ પાસે ફક્ત એક જ કંપન સ્થિતિ છે: ખેંચાણ કંપન (સપ્રમાણ ખેંચાણ)

IR નિષ્ક્રિયતા: IR સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી માટે દ્વિધ્રુવીય ક્ષણમાં ફેરફાર જરૂરી છે. H₂ બિનધ્રુવીય છે અને તેનો સપ્રમાણ ખેંચાણ દ્વિધ્રુવીય ક્ષણ બનાવતો નથી ⇒ IR નિષ્ક્રિય.

રમન સક્રિયતા: રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી માટે ધ્રુવીયતામાં ફેરફાર જરૂરી છે. સ્ટ્રેચિંગ દરમિયાન, H-H બોન્ડની ધ્રુવીયતા બદલાય છે ⇒ રમન સક્રિય. (4155 cm⁻¹). H₂ માં એકમાત્ર વાઈબ્રેશનલ મોડ રમન સક્રિય છે પરંતુ IR નિષ્ક્રિય છે.



Molecular Vibrational Modes of CO₂ and its Raman Activities

CO₂ ના મોલેક્યુલર કંપન સ્થિતિઓ અને તેની રમન પ્રવૃત્તિઓ

CO₂ રેખીય અણુમાં રમન એક્ટીવ અને ઈનએક્ટીવ કંપન મોડ ધ્રુવીયતા ફેરફારને આધારે નીચે મુજબ સમજાવી શકાય.

કાર્બન ડાયોક્સાઇડ (CO₂) એ રાસાયણિક સૂત્ર O=C=O ધરાવતું રેખીય ત્રિપરમાણુ પરમાણુ છે. તેના કંપન સ્થિતિઓ તેના સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક ગુણધર્મોને સમજવા માટે મહત્વપૂર્ણ છે, ખાસ કરીને તેના ઈન્ફ્રારેડ શોષણ અને રમન સ્કેટરિંગ પ્રવૃત્તિઓ. આ પ્રવૃત્તિઓ પરમાણુના દ્વિધ્રુવીય ક્ષણમાં ફેરફાર અને કંપન દરમિયાન ધ્રુવીકરણક્ષમતા દ્વારા નિયંત્રિત થાય છે.

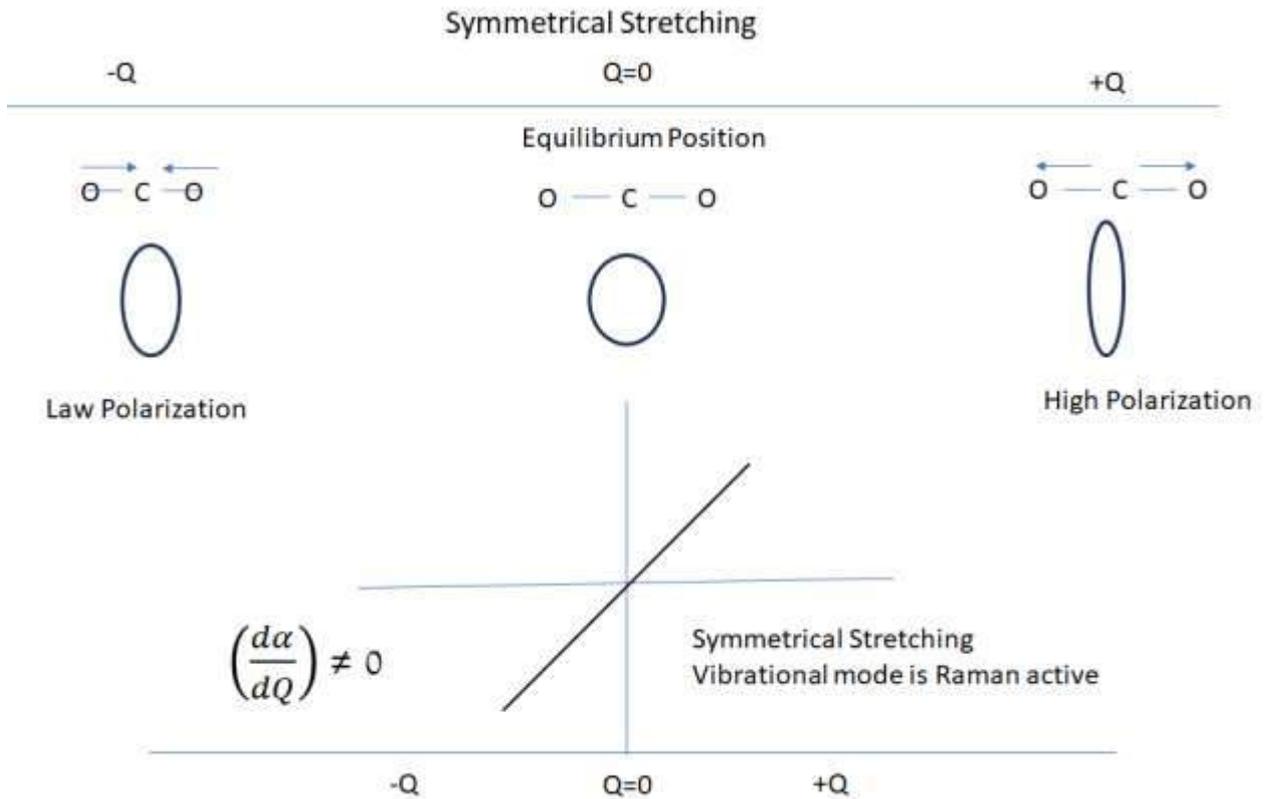
Degrees of Freedom and Vibrational Modes

N પરમાણુઓ ધરાવતા બિન-રેખીય પરમાણુમાં 3N - 6 મૂળભૂત કંપન સ્થિતિઓ હોય છે, જ્યારે રેખીય પરમાણુમાં 3N - 5 સ્થિતિઓ હોય છે. CO₂ માટે, જે રેખીય છે અને 3 પરમાણુઓ ધરાવે છે (N=3), મૂળભૂત કંપન સ્થિતિઓની સંખ્યા 3(3) - 5 = 4 છે.

આ ચાર સ્થિતિઓને નીચે મુજબ વર્ગીકૃત કરી શકાય છે:

1. Symmetrical Stretching mode સપ્રમાણ ખેંચાણ (ν_1): ($\sim 1333 \text{ cm}^{-1}$)

આ સપ્રમાણ ખેંચાણ સ્થિતિમાં, બંને ઓક્સિજન પરમાણુઓ સમપ્રમાણ રીતે કેન્દ્રિય કાર્બન અણુથી દૂર અને કાર્બન તરફ ખસે છે. કાર્બન અણુ સ્થિર રહે છે.



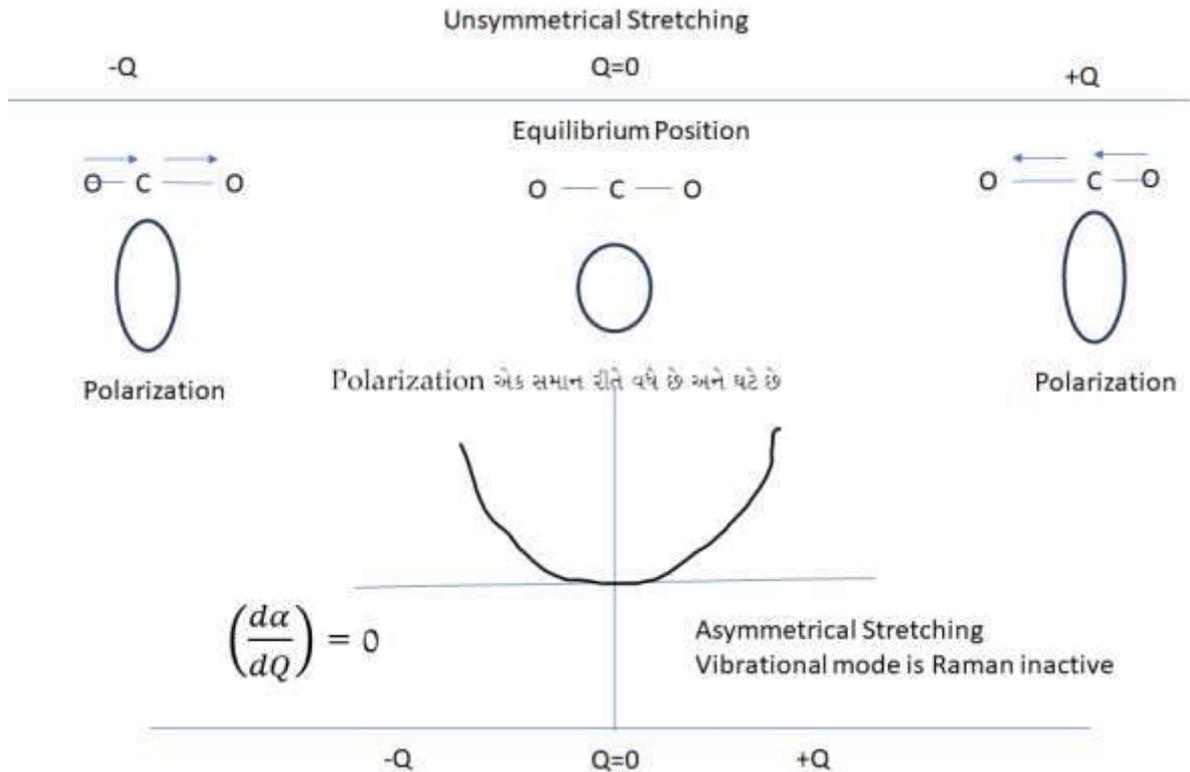
દ્વિધ્રુવ ક્ષણમાં ફેરફાર: આ કંપન દરમિયાન પરમાણુના દ્વિધ્રુવ ક્ષણમાં કોઈ ચોખ્ખો ફેરફાર થતો નથી કારણ કે પરમાણુ કેન્દ્રસમપ્રમાણ રહે છે. આથી તે IR નિષ્ક્રિય કંપન છે.

રામન એક્ટીવીટી: આ સ્થિતિમાં રામન સક્રિય અને IR નિષ્ક્રિય છે. બોન્ડ્સના સપ્રમાણ ખેંચાણ અને સંકોચન દરમિયાન ઇલેક્ટ્રોન વાદળ વિકૃત થતાં પરમાણુની ધ્રુવીકરણક્ષમતા નોંધપાત્ર રીતે બદલાય છે. કારણ કે કોઈ કંપન રમન સક્રિય રહે તે માટે, કંપન દરમિયાન પરમાણુની ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં ફેરફાર થવો આવશ્યક છે. ધ્રુવીકરણક્ષમતા એ બાહ્ય વિદ્યુત ક્ષેત્ર દ્વારા પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોન વાદળને કેટલી સરળતાથી વિકૃત કરી શકાય છે તેનો ઉલ્લેખ કરે છે. સપ્રમાણ ખેંચાણ દરમિયાન, ઇલેક્ટ્રોન ધ્રુવીકરણ વધે છે એટલે કે ઇલેક્ટ્રોન ને ધ્રુવીભુત થવા માટે મોટો અવકાશ મળે છે અને ધ્રુવીકરણક્ષમતા વધે છે. જ્યારે તેઓ સંકુચિત થાય છે, ત્યારે ઇલેક્ટ્રોન ઓછા ધ્રુવીભુત થાય છે અને ધ્રુવીકરણક્ષમતા ઘટે છે. ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં આ ચોખ્ખો ફેરફાર સપ્રમાણ ખેંચાણને રામન સક્રિય બનાવે છે.

CO₂ માં Symmetrical Stretching પરમાણુ અક્ષ સાથે એક +Q પોઝીસન વખતે ધ્રુવીકરણક્ષમતા વધારે છે. અને -Q પોઝીસન વખતે ધ્રુવીકરણક્ષમતા ઘટાડે છે આથી કંપન દરમિયાન એલિપ્સોઇડ લંબાય છે. એલિપ્સોઇડના પરિમાણ અને આકારમાં ફેરફારને કારણે Symmetrical Stretching રમન સક્રિય થાય છે.

2. Unsymmetrical Stretching mode અસમપ્રમાણ ખેંચાણ (ν_3): ($\sim 2349 \text{ cm}^{-1}$)

આ અસમપ્રમાણ ખેંચાણ સ્થિતિમાં, એક ઓક્સિજન અણુ કાર્બન અણુથી દૂર ખસે છે જ્યારે બીજો ઓક્સિજન અણુ કાર્બન અણુ તરફ ખસે છે. કાર્બન અણુ પણ કેન્દ્રને જાળવવા માટે ખસે છે.



દ્વિધ્રુવીય ક્ષણમાં ફેરફાર: આ કંપન દરમિયાન પરમાણુના દ્વિધ્રુવીય ક્ષણમાં નોંધપાત્ર ફેરફાર થાય છે કારણ કે સમપ્રમાણતા તૂટી જાય છે. આથી તે IR સક્રિય બને છે

રમન એક્ટીવીટી: આ સ્થિતિ IR સક્રિય છે અને રમન નિષ્ક્રિય છે. કારણ કે બંધની લંબાઈ બદલાતી હોવા છતાં, એક C=O બોન્ડના લંબાઈને કારણે ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં ફેરફાર લગભગ બીજા C=O બોન્ડના ટૂંકાવાથી સરભર થાય છે.

રમન એક્ટીવીટી અને બાધકતાનો સિદ્ધાંત

રામન અસરમાં પ્રકાશના અસ્થિતિસ્થાપક સ્કેટરિંગનો સમાવેશ થાય છે, જ્યાં પરમાણુ કંપન સંક્રમણને અનુરૂપ ઊર્જા મેળવે છે અથવા ગુમાવે છે. કંપન સ્થિતિને રામન સક્રિય રાખવા માટે, કંપન દરમિયાન પરમાણુની ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં ફેરફાર થવો જોઈએ. ધ્રુવીકરણક્ષમતા એટલે કે પરમાણુના ઈલેક્ટ્રોન વાદળને બાહ્ય વિદ્યુત ક્ષેત્ર દ્વારા કેટલી સરળતાથી વિકૃત કરી શકાય છે.

પરસ્પર બાધકતાનો સિદ્ધાંત એવા પરમાણુઓને લાગુ પડે છે જે વ્યુલ્કમ સમિતિ કેન્દ્ર (symmetry inversion centre) ધરાવે છે આ સિદ્ધાંત અનુસાર

- વાયબ્રેશનલ મોડ્સ જે IR સક્રિય છે તે રમન નિષ્ક્રિય છે.
- વાયબ્રેશનલ મોડ્સ જે રમન સક્રિય છે તે IR નિષ્ક્રિય છે.
- (મોડ્સ IR અને રમન બંને નિષ્ક્રિય હોઈ શકે છે, પરંતુ બંને સક્રિય નથી).

CO₂ કાર્બન ડાયોક્સાઇડ પર વ્યુલ્કમ કેન્દ્ર ધરાવે છે. આથી જ

- સપ્રમાણ ખેંચાણ (ν_1) રમન સક્રિય છે (ધ્રુવીકરણક્ષમતા બદલાય છે) પરંતુ IR નિષ્ક્રિય છે (કોઈ દ્વિધ્રુવીય ક્ષણ ફેરફાર નથી).
- અસમપ્રમાણ સ્ટ્રેચ (ν_3) અને બેન્ડિંગ મોડ્સ (ν_2) IR સક્રિય છે (દ્વિધ્રુવ ક્ષણ ફેરફારો) પરંતુ રમન નિષ્ક્રિય છે (વ્યુલ્કમ સમપ્રમાણતાને કારણે, તેમના ધ્રુવીકરણક્ષમતા ફેરફારો રમન પ્રવૃત્તિ માટે યોગ્ય પ્રકારના નથી).

વાતાવરણીય વિજ્ઞાન (ગ્રીનહાઉસ વાયુ તરીકે CO₂ ની ભૂમિકા), વિશ્લેષણાત્મક રસાયણશાસ્ત્ર (સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક ઓળખ) અને ભૌતિક રસાયણશાસ્ત્ર જેવા ક્ષેત્રોમાં આ કંપનશીલ સ્થિતિઓ અને તેમની વર્ણપટદર્શક પ્રવૃત્તિઓને સમજવી જરૂરી છે.

Vibrational Mode in CO ₂	IR Active?	Raman Active?
Symmetric Stretch (ν_1)	✗ No	✓ Yes
Asymmetric Stretch (ν_3)	✓ Yes	✗ No
Bending (degenerate) (ν_2)	✓ Yes	✗ No

Vibrational Mode	Description	Change in Dipole Moment?	Change in Polarizability?	IR Activity	Raman Activity
Symmetric Stretch (ν_1)	Both O atoms move symmetrically away/towards C. C stationary.	No	Yes	Inactive	Active
Asymmetric Stretch (ν_3)	One O away, one O towards C. C also moves.	Yes	No	Active	Inactive
Bending (ν_2) (Degenerate)	O atoms move perpendicular to axis, causing bending in two planes.	Yes	No	Active	Inactive

H₂O અણુમાં કંપનો અને રામન સક્રિયતા:

પાણી (H₂O) એ બેન્ટ આકાર ધરાવતો બિન-રેખીય ત્રિપરમાણુ પરમાણુ છે. તેની અનન્ય રચના અને ગુણધર્મો, મજબૂત હાઈડ્રોજન બંધનનો ની કારણે રસપ્રદ કંપનશીલ લાક્ષણિકતાઓ અને રમન પ્રવૃત્તિઓ તરફ દોરી જાય છે.

કંપન મોડ (સ્થિતિઓની) સંખ્યા: N અણુઓ ધરાવતા બિન-રેખીય પરમાણુ માટે, મૂળભૂત કંપન સ્થિતિઓની સંખ્યા સૂત્ર $3N-6$ દ્વારા આપવામાં આવે છે. H₂O, N=3 માટે. તેથી, કંપન સ્થિતિઓની સંખ્યા $3(3)-6=9-6=3$ છે. આ ત્રણેય કંપન સ્થિતિઓ મૂળભૂત છે અને તેનું વર્ણન આ રીતે કરી શકાય છે:

રમન એકતીવીટી:

કંપન સ્થિતિની રમન એકતીવીટી કંપન દરમિયાન પરમાણુની ધ્રુવીકરણક્ષમતા બદલાય છે કે કેમ તેના પર આધાર રાખે છે. ધ્રુવીકરણક્ષમતા એ બાહ્ય વિદ્યુત ક્ષેત્ર દ્વારા પરમાણુના ઇલેક્ટ્રોન વાદળને કેટલી સરળતાથી વિકૃત કરી શકાય છે તેનો ઉલ્લેખ કરે છે.

સપ્રમાણ ખેંચાણ (ν₁): આ સ્થિતિમાં, બંને O-H બોન્ડ તબક્કામાં ખેંચાય છે અને સંકોચાય છે, એટલે કે તેઓ એકસાથે લંબાય છે અને ટૂંકા થાય છે. O-H બોન્ડ વચ્ચેનો કોણ પ્રમાણમાં સ્થિર રહે છે.

ધ્રુવીકરણમાં ફેરફાર: જેમ જેમ બંને O-H બોન્ડ લંબાય છે, તેમ તેમ આ બોન્ડ સાથે સંકળાયેલ ઇલેક્ટ્રોન વાદળ વધુ પ્રસારેલું અને સરળતાથી વિકૃત બને છે, જેના કારણે પરમાણુ ધ્રુવીકરણમાં વધારો થાય છે. તેનાથી વિપરીત, જ્યારે તેઓ ટૂંકા થાય છે, ત્યારે ધ્રુવીકરણ ઘટે છે. આ કંપન દરમિયાન ઇલેક્ટ્રોન વાદળના એકંદર કદ અને આકારમાં ચોખ્ખો ફેરફાર થતો હોવાથી, ધ્રુવીકરણ બદલાય છે.

સપ્રમાણ ખેંચાણ મોડ રામન સક્રિય છે. આ સ્થિતિ પાણીના રમન સ્પેક્ટ્રમમાં એક મજબૂત બેન્ડ તરીકે જોવા મળે છે (વાયુ તબક્કા માટે લગભગ 3657 સેમી^{-1} , હાઈડ્રોજન બંધનને કારણે પ્રવાહી પાણીમાં સ્થળાંતર).

સપ્રમાણ ખેંચાણ IR એક્ટીવ સક્રિય છે. જોકે આ કંપન દરમિયાન પરમાણુ તેની સમપ્રમાણતા જાળવી રાખે છે, બોન્ડ લંબાઈમાં ફેરફાર દ્વિધ્રુવ ક્ષણની તીવ્રતામાં ફેરફારનું કારણ બને છે (ઓક્સિજન હાઈડ્રોજન કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રોનેગેટિવ છે, જે કાયમી દ્વિધ્રુવ તરફ દોરી જાય છે).

બેન્ડિંગ (કાતર) (ν₂): આ સ્થિતિમાં H-O-H બંધ કોણમાં ફેરફાર થાય છે. બે હાઈડ્રોજન અણુઓ એકબીજા તરફ અને દૂર ખસે છે, જેના કારણે બંધ કોણ અનુક્રમે ઘટે છે અને વધે છે, જ્યારે O-H બોન્ડ લંબાઈ પ્રમાણમાં સ્થિર રહે છે. આને ઘણીવાર "કાતર" સ્થિતિ કહેવામાં આવે છે.

ધ્રુવીકરણમાં ફેરફાર: જેમ જેમ પરમાણુ વળે છે, તેમ તેમ તેનો એકંદર આકાર બદલાય છે, અને પરિણામે, તેના ઇલેક્ટ્રોન ક્લાઉડને વિકૃત કરી શકાય તે સરળતાથી બદલાય છે. ધ્રુવીકરણ લંબગોળ (વિવિધ દિશામાં ધ્રુવીકરણનું પ્રતિનિધિત્વ) વિકૃતિમાંથી પસાર થાય છે.

રમન પ્રવૃત્તિ: સક્રિય. આ સ્થિતિ રમન સ્પેક્ટ્રમમાં પણ જોવા મળે છે (વાયુ તબક્કા માટે લગભગ 1595 સે.મી.^{-1} , પ્રવાહી પાણીમાં પણ સ્થળાંતર).

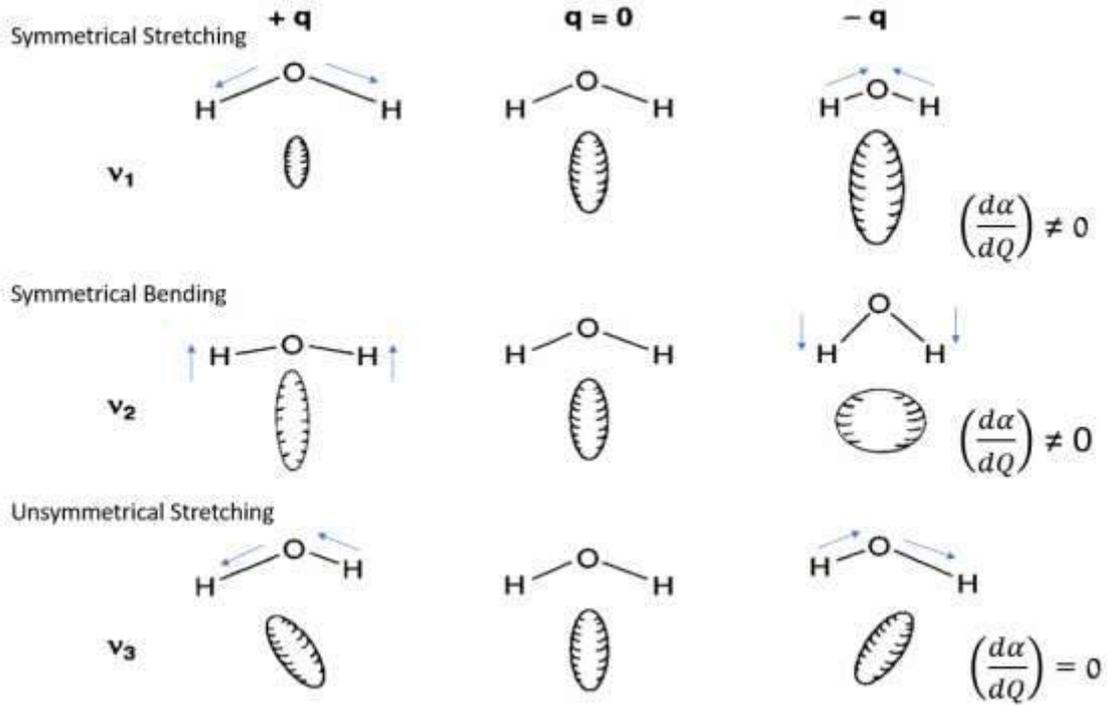
IR સક્રિય છે. બેન્ડિંગ ગતિ મોલેક્યુલર દ્વિધ્રુવીય ક્ષણની દિશા અને તીવ્રતામાં સીધા ફેરફાર કરે છે.

અસમપ્રમાણ ખેંચાણ (ν₃): આ સ્થિતિમાં, એક O-H બોન્ડ ખેંચાય છે જ્યારે બીજો O-H બોન્ડ સંકોચાય છે. આના પરિણામે એક વૈકલ્પિક ગતિ થાય છે જ્યાં બે O-H બોન્ડ લંબાઈ વિરુદ્ધ દિશામાં બદલાતી રહે છે.

ધ્રુવીકરણક્ષમતામાં ફેરફાર: પરમાણુ અસમપ્રમાણ ગતિમાંથી પસાર થઈ રહ્યું હોવા છતાં, ઈલેક્ટ્રોન વાદળનું એકંદર કદ અને આકાર હજુ પણ બદલાઈ રહ્યું છે. બોન્ડ લંબાઈ વિરુદ્ધ વધઘટ થતાં ધ્રુવીકરણક્ષમતા લંબગોળ વિરુદ્ધ દિશામાં વિકૃત થશે. અસમીતીય ખેચાણ કંપનો માં ધ્રુવીયતા એક સમાન રીતે બદલાય છે પરંતુ ધ્રુવીયાતાની દિશા બદલાતી હોવાથી આ કંપનો પણ રામન સક્રિય બને છે.

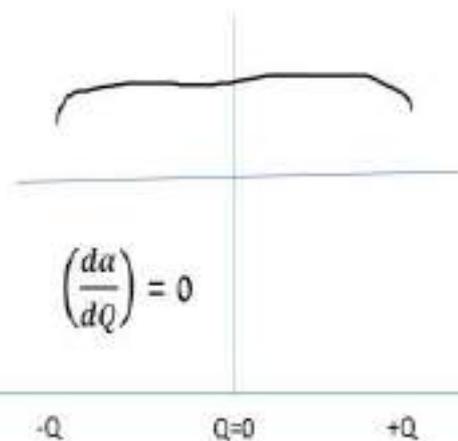
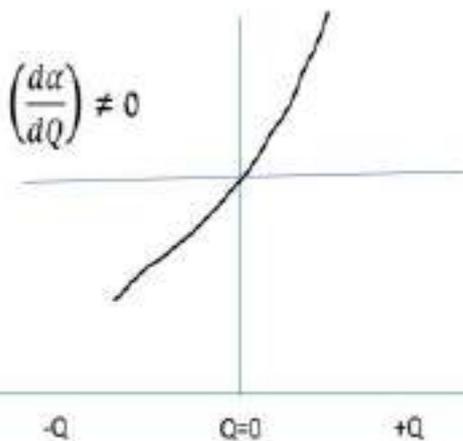
રમન પ્રવૃત્તિ: સક્રિય. આ મોડ રમન સ્પેક્ટ્રમમાં જોવા મળે છે (વાયુ તબક્કા માટે લગભગ 3756 સેમી^{-1} , પ્રવાહી પાણીમાં પણ સ્થળાંતર).

IR સક્રિય છે. આ કંપન મોલેક્યુલર દ્વિધ્રુવીય ક્ષણમાં નોંધપાત્ર ફેરફાર તરફ દોરી જાય છે, કારણ કે બોન્ડ લંબાઈ અસમપ્રમાણ રીતે બદલાઈ રહી છે, જેના કારણે ચાર્જ વિતરણમાં તાત્કાલિક અસંતુલન થાય છે.



Symmetrical Stretching and Symmetrical Bending Vibrational modes are Raman active

Unsymmetrical Stretching Vibrational modes is Raman active
Change the Direction of magnitude of Polarizability



CO₂ અને પરસ્પર બાધકતાના નિયમ સાથે સરખામણી

CO₂ થી વિપરીત, H₂O એક બિન-કેન્દ્રસિમિત પરમાણુ છે (તેમાં વ્યુલ્કમનું કેન્દ્ર નથી). પરિણામે, પરસ્પર બાધકતા રાખવાનો નિયમ પાણી પર લાગુ પડતો નથી.

આનો અર્થ એ છે કે H₂O માં રામન સક્રિય હોય તેવા સ્પંદનો પણ IR સક્રિય હોઈ શકે છે. જેમ આપણે જોયું છે, H₂O (સપ્રમાણ ખેંચાણ, બેન્ડિંગ અને અસમપ્રમાણ ખેંચાણ) ના ત્રણેય મૂળભૂત કંપન સ્થિતિઓ IR સક્રિય અને રમન સક્રિય બંને છે. આ સેન્ટ્રોસિમિત અને નોન-સેન્ટ્રોસિમિત પરમાણુઓ વચ્ચેનો મુખ્ય તફાવત છે અને માળખાકીય વિશ્લેષણ માટે IR અને રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીને જોડવાની શક્તિ દર્શાવે છે.

IR અને Raman સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી નો તફાવત (Differences between IR and Raman Spectroscopy)

વિગત	IR સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી	Raman સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી
મૂળ સિદ્ધાંત	અણુ દ્વારા ઈન્ફ્રારેડ કિરણોનું શોષણ થાય છે જે અનુમાં સંસ્પંદનો ઉત્પન્ન કરે છે.	અણુ દ્વારા પ્રકાશના વિકિરણનું અસ્થિતિસ્થાપક વિખેરણ થાય છે (Raman Effect)
પ્રતિક્રિયા પ્રકાર	IR વીકિરણ શક્તિને શોષી અણુ કમ્પન ઊર્જા સ્તરે જાય છે	પ્રકાશના ફોટોન સાથે ઊર્જા વિનિમય થવાથી વિખેરણ થાય છે
સિલેક્શન નિયમ	અણુમાં ડાયપોલ મુમેન્ટમાં ફેરફાર થવો જોઈએ	અણુમાં પોલેરાઈઝેબિલિટીમાં ફેરફાર થવો જોઈએ
પ્રકાશ સ્ત્રોત	ઈન્ફ્રારેડ લેમ્પ (જેમ કે Globar, Nernst)	લેસર (532 nm, 785 nm, 1064 nm વગેરે)
સ્પેક્ટ્રમ વિસ્તાર	મધ્ય IR વિસ્તાર (4000 - 400 cm ⁻¹)	રેમન શિફ્ટ (લેસરથી ભિન્ન ઊર્જા)
પાણી પર અસર	પાણી IR શોષણ કરે છે - અવરોધરૂપ છે	પાણી Raman માટે નબળું વિખેરક - સરળતાથી તેનો ઉપયોગ કરી શકાય છે
નમૂનાઓની તૈયારી	KEBR, પેલેટ કે તેલ સાથે સેપલીંગ કરવું જરૂરી છે	સાદો નમૂનો - ઘણીવાર સીધો નમૂનો પણ ચાલે છે કોઈ સેમ્પલ તૈયારી કરવી જરૂરી નથી
ક્રિયાશીલ સમૂહ સંવેદનશીલતા	ધ્રુવીય બંધ (O-H, C=O) માટે ઉત્તમ	સમમિત બંધ (C=C, C-C) માટે ઉત્તમ
ફ્લોરોસેન્સ સમસ્યા	અસર ન થાય	ફ્લોરોસેન્સ અવરોધરૂપ બની શકે છે
મ્યુચ્યુઅલ એક્સક્લૂઝન નિયમ	IR માટે સક્રિય મોડ, Raman માટે નિષ્ક્રિય હોઈ શકે	Raman માટે સક્રિય મોડ, IR માટે નિષ્ક્રિય હોઈ શકે
ઉપકરણ ખર્ચ	ઓછી કિંમતવાળું	મોંઘું (લેસર અને ડિટેક્ટરને કારણે)
ઉપયોગો(Applications)	દવાઓ, પોલીમર, કાર્બનિક યોગિકોની ઓળખ	સજીવ કોષો, નેનોપાર્ટિકલ્સ, કાર્બન સામગ્રીનું વિશ્લેષણ

ભારતમાં પ્રાચીન વિજ્ઞાનને પ્રોત્સાહન આપવામાં રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીની ભૂમિકા (Role in promoting ancient science in india)

ભારતીય ભૌતિકશાસ્ત્રી સર સી.વી. રમન દ્વારા ૧૯૨૮માં શોધાયેલી એક તકનીક, રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો માત્ર આધુનિક ભૌતિકશાસ્ત્ર અને રસાયણશાસ્ત્ર પર જ નહીં પરંતુ પ્રાચીન ભારતીય જ્ઞાન પ્રણાલીઓના વૈજ્ઞાનિક પુનરુત્થાન અને માન્યતાઓ પર પણ ઊંડી અસર જોવા મળે છે. રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી કેવી રીતે મહત્વપૂર્ણ ભૂમિકા ભજવે છે તે નીચે મુજબ સમજી શકાય:

૧. પ્રાચીન ભારતીય સામગ્રી અને પ્રથાઓનું વૈજ્ઞાનિક માન્યતા

● **આયુર્વેદ અને હર્બલ દવા:** રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો ઉપયોગ નમૂનાઓનો નાશ કર્યા વિના આયુર્વેદિક ઔષધિઓ અને ફોર્મ્યુલેશનની રાસાયણિક રચનાનું વિશ્લેષણ કરવા માટે થાય છે. જેમકે

- પરંપરાગત દવાઓને પ્રમાણિત કરવા
- સક્રિય સંયોજનો ઓળખવા
- ગુણવત્તા નિયંત્રણ સુનિશ્ચિત કરવા અને ભેળસેળ-અશુદ્ધિઓ શોધવા.

● **પ્રાચીન ધાતુશાસ્ત્ર:** ભારતના પ્રાચીન ધાતુશાસ્ત્રના પરાક્રમો, જેમ કે દિલ્હીના લોખંડના સ્તંભનો, કાટ પ્રતિકાર અને મિશ્રધાતુ રચનાને સમજવા માટે રમન તકનીકોનો ઉપયોગ કરીને અભ્યાસ કરી શકાય છે.

૨. પ્રાચીન ભારતીય કલાકૃતિઓ અને કાપડનો અભ્યાસ:

- ભારતીય લઘુચિત્ર ચિત્રોમાં વપરાતા ઐતિહાસિક રંગદ્રવ્યો ની પરખ માટે
 - પ્રાચીન ભારતીય વસ્ત્રો અને કાપડમાં કાપડના રંગો (દા.ત., ઈન્ડિગો, હળદર) નો અભ્યાસ માટે
 - શિલ્પો, માટીકામ અને હસ્તપ્રતો ખનિજ અને કાર્બનિક સંયોજનો શોધવા માટે.
- ભારતીય સાંસ્કૃતિક વારસાના પુનઃસ્થાપન, સંરક્ષણ અને પ્રમાણીકરણમાં મદદ કરે છે.

૩. આધુનિક સાધનો વડે પ્રાચીન જ્ઞાનને પુનર્જીવિત કરવું

- પ્રાચીન ભારતીય ગ્રંથો (જેમ કે ચરક સંહિતા, રસશાસ્ત્ર અને વૃક્ષ આયુર્વેદ) રાસાયણિક પદાર્થો અને પ્રક્રિયાઓનું વર્ણન કરે છે.
- રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી આ પરંપરાગત ફોર્મ્યુલેશનનું વૈજ્ઞાનિક રીતે અર્થઘટન કરવામાં મદદ કરે છે, આધુનિક સંશોધન અને શિક્ષણમાં તેમના એકીકરણને પ્રોત્સાહન આપે છે.

૪. ટકાઉપણું અને green રસાયણશાસ્ત્ર

- કુદરતી રંગો, છોડ-આધારિત દવાઓ અને પર્યાવરણને અનુકૂળ ધાતુશાસ્ત્ર સહિત ઘણી પ્રાચીન ભારતીય પદ્ધતિઓ, આધુનિક ગ્રીન કેમેસ્ટ્રીના સિદ્ધાંતો સાથે સુસંગત છે.
- રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી આ ટકાઉ પ્રથાઓને ઓળખવામાં અને પ્રોત્સાહન આપવામાં મદદ કરે છે.

૫. રાષ્ટ્રીય ગૌરવ અને વૈજ્ઞાનિક વારસો

- રમન ઈફેક્ટની શોધ એ ભારતની પ્રથમ મોટી વૈજ્ઞાનિક શોધ હતી જેને વૈશ્વિક સ્તરે માન્યતા આપવામાં આવી હતી (૧૯૩૦માં નોબેલ પુરસ્કાર).
- તે પ્રાચીન શાણપણને આધુનિક વિજ્ઞાન સાથે જોડવાની ભારતની ક્ષમતાનું પ્રતીક છે, ભારતીય વૈજ્ઞાનિકોની પેઢીઓને પ્રેરણા આપે છે અને સ્વદેશી સંશોધન ક્ષમતાને પ્રોત્સાહન આપે છે.

રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી આધુનિક વિજ્ઞાનના સાધન કરતાં શ્રેષ્ઠ છે; ભારતમાં, તે પરંપરાગત જ્ઞાન અને સમકાલીન વૈજ્ઞાનિક માન્યતા વચ્ચે સેતુ તરીકે કામ કરે છે. વારસામાં મળેલ વિજ્ઞાન, આયુર્વેદ, ધાતુશાસ્ત્ર અને કલા સંરક્ષણમાં તેનો ઉપયોગ વૈશ્વિક સ્તરે ભારતના પ્રાચીન વૈજ્ઞાનિક યોગદાનને પુનર્જીવિત, રક્ષણ અને પ્રોત્સાહન આપવામાં મદદ કરે છે.

સર સી.વી. રમણનું વિજ્ઞાન અને સમાજ પરનું દર્શન અને વિચારો (Raman's philosophy and views on science and society)

સર ચંદ્રશેખર વેંકટ રમણ (૧૮૮૮-૧૯૭૦), ભારતના વિજ્ઞાનમાં પ્રથમ નોબેલ પુરસ્કાર વિજેતા (૧૯૩૦), માત્ર એક અગ્રણી ભૌતિકશાસ્ત્રી જ નહીં, પણ એક ઉત્સાહી વિચારક અને સ્વપ્નદ્રષ્ટા પણ હતા. વિજ્ઞાન અને સમાજ પરના તેમના વિચારો સત્ય, સ્વતંત્ર વિચારસરણી, રાષ્ટ્રીય ગૌરવ અને વિજ્ઞાનના લોકશાહીકરણ પ્રત્યેની ઊંડી પ્રતિબદ્ધતા દર્શાવે છે.

૧. વિજ્ઞાન એક વ્યક્તિગત અને બૌદ્ધિક શોધ તરીકે

- વિજ્ઞાન માટે જુસ્સો: રમણ માનતા હતા કે વિજ્ઞાનનો સાચો પ્રયાસ ભૌતિક લાભો અથવા પુરસ્કારો માટે નથી, પરંતુ શોધ અને બૌદ્ધિક પરિપૂર્ણતાના આનંદ માટે છે.
- તેઓ ઘણીવાર કહેતા હતા:"સાચા પ્રશ્નો પૂછો, અને પ્રકૃતિ તેના રહસ્યોના દરવાજા ખોલશે."
- વિજ્ઞાન એક કલા સ્વરૂપ તરીકે: તેમણે વૈજ્ઞાનિક શોધોને કલા અને સંગીત સાથે સરખાવી - વૈજ્ઞાનિક શોધો સર્જનાત્મકતા, જિજ્ઞાસા અને વ્યક્તિગત સંતોષનો વિષય.

૨. સ્વદેશી વૈજ્ઞાનિક સ્વભાવ અને રાષ્ટ્રવાદ

- રમણે વિજ્ઞાનમાં આત્મનિર્ભરતાની ભારપૂર્વક હિમાયત કરી અને ભાર મૂક્યો કે ભારતે પશ્ચિમ પર આધાર રાખ્યા વિના પોતાની વૈજ્ઞાનિક ક્ષમતાઓ વિકસાવવી જોઈએ.
- તેઓ માનતા હતા કે ભારતીયોની બૌદ્ધિક ક્ષમતા અપાર છે અને તેને દેશમાં જ ઉછેરવી જોઈએ.
"આપણે આપણા યુવાનોને સ્વપ્ન જોવા અને હિંમત બતાવવાનું શીખવવું જોઈએ - આ રીતે ભારત વિજ્ઞાનમાં ઉભરી આવશે."
- તેમણે હીનતાની વસાહતી માનસિકતાનો વિરોધ કર્યો અને વૈશ્વિક વિજ્ઞાન મંચો ઉપર ભારતીય પ્રતિભાને સતત પ્રોત્સાહન આપ્યું.

૩. વિજ્ઞાનના વધુ પડતા અમલદારશાહીનો વિરોધ

- રામન સરકાર અને રાજકારણ દ્વારા વિજ્ઞાન પર વધતા નિયંત્રણ સામે અવાજ ઉઠાવતા હતા.
- તેમણે કેન્દ્રીયકૃત, અમલદારશાહી-સંચાલિત સંશોધન અને સંસ્થાઓના વલણનો પ્રતિકાર કર્યો જ્યાં વૈજ્ઞાનિકો "મુક્ત વિચારકો" ને બદલે "નાગરિક સેવકો" બની ગયા.

"વાસ્તવિક વિજ્ઞાનનું આયોજન કરી શકાતું નથી; તે રાજ્ય દ્વારા આદેશિત કરી શકાતું નથી. તે વ્યક્તિના મગજમાં જન્મવું જોઈએ."

૪. વિજ્ઞાન શિક્ષણ અને સશક્તિકરણ

- રમણ ગોખલાપટ્ટી કરતાં વ્યવહારુ પ્રયોગો અને અવલોકનોમાં માનતા હતા.
- ભારતમાં વિજ્ઞાન શિક્ષણમાં ભૌતિક વિચારસરણીમાં ઘટાડા અંગે તેઓ ખૂબ ચિંતિત હતા.
- તેમણે વિદ્યાર્થીઓને પ્રશ્નો પૂછવા અને ભૌતિક વિશ્વનું અન્વેષણ કરવા માટે પ્રોત્સાહિત કર્યા.

"વિજ્ઞાનનો સાર સ્વતંત્ર વિચારસરણી અને સખત મહેનત છે - સાધનો કે ઈમારતો નહીં."

૫. વિજ્ઞાન અને પ્રકૃતિ વચ્ચે સંવાદિતા

- રમણને ઓપ્ટિક્સ, ધ્વનિશાસ્ત્ર અને કુદરતી વિશ્વ (જેમ કે ફૂલોના રંગો, સમુદ્રનો વાદળી રંગ, સ્ફટિકોની રચના) પ્રત્યે આજીવન આકર્ષણ હતું.

- તેમનું કાર્ય ઘણીવાર કુદરતી ઘટનાઓથી પ્રેરિત હતું, જે દર્શાવે છે કે વિજ્ઞાન રોજિંદા અવલોકનો વિશે જિજ્ઞાસાથી શરૂ થાય છે.

દ. સમાજ પરના મંતવ્યો

- તેઓ માનતા હતા કે વિજ્ઞાનની સમાજને લાભ આપવાની નૈતિક જવાબદારી છે પરંતુ રાજકારણ કે વ્યાપારીકરણ દ્વારા તેની સાથે સમાધાન ન કરવું જોઈએ.
- રમણ વિજ્ઞાનને એક એકીકરણ અને ઉન્નત શક્તિ તરીકે જોતા હતા, જે તર્કસંગત, સ્વતંત્ર અને પ્રગતિશીલ સમાજ બનાવવામાં મદદ કરે છે.

નિષ્કર્ષ: સર સી.વી. રમણની ફિલસૂફી, જિજ્ઞાસા, હિંમત અને દૃઢ વિશ્વાસના મુળમાં સ્વતંત્ર, જુસ્સાદાર વૈજ્ઞાનિક પૂછપરછ ભારતીય બુદ્ધિ અને વારસામાં ગૌરવ સર્જનાત્મકતા અને પ્રશ્નો પૂછવાનું શિક્ષણ હતું.

રાષ્ટ્રીય અને વ્યક્તિગત મુક્તિ માટે વિજ્ઞાન એક સાધન તરીકે તેઓ માનતા હતા. તેમનો વારસો માત્ર વૈજ્ઞાનિકોને જ નહીં પરંતુ દરેક નાગરિકને વિવેચનાત્મક રીતે વિચારવા, સ્વતંત્ર રીતે કાર્ય કરવા અને જ્ઞાન દ્વારા સમાજની સેવા કરવા માટે પ્રેરણા આપે છે.

વિજ્ઞાનની ભાવિ પેઢીઓ પર રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો પ્રભાવ:

(The influence of Raman Spectroscopy on future generations of science)

૧૯૨૮માં સર સી.વી. રમન દ્વારા શોધાયેલ રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી, વૈજ્ઞાનિક સંશોધન પર નોંધપાત્ર અસર કરી છે અને અનેક શાખાઓમાં વૈજ્ઞાનિકોની ભાવિ પેઢીઓને આકાર આપવાનું ચાલુ રાખે છે. અહીં વૈજ્ઞાનિક વિચારસરણી, સંશોધન નવીનતા અને શિક્ષણને કેવી રીતે પ્રભાવિત કરે છે તેના પર ઊંડાણપૂર્વક નજર નાખવામાં આવી છે:

૧. આધુનિક સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી અને વિશ્લેષણાત્મક તકનીકોનો પાયો

૧૯૨૮માં સર સી.વી. રમન દ્વારા શોધાયેલ રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી, પ્રકાશ અને પરમાણુ સ્પંદનોની ક્રિયાપ્રતિક્રિયા દ્વારા દ્રવ્યને સમજવાની એક નવી રીત રજૂ કરે છે.

- ભવિષ્યના વૈજ્ઞાનિકો સામગ્રીનો અભ્યાસ કરવા માટે બિન-વિનાશક વિશ્લેષણ તકનીકોનો લાભ મેળવે છે જેમાં ફેરફાર કર્યા વિના તેનો અભ્યાસ કરી શકાય છે.
- તે રમન ઈમેજિંગ અને માઈક્રોસ્કોપીમાં વિકસિત થયું છે, જેનાથી વૈજ્ઞાનિકો માઈક્રોસ્કોપિક અને નેનોસ્કોપિક સ્તરે રાસાયણિક રચનાઓનો અભ્યાસ કરી શકે છે.
- તેણે આજના સંશોધનમાં ઉપયોગમાં લેવાતી અદ્યતન વાઈબ્રેશનલ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી પદ્ધતિઓનો પાયો નાખ્યો, જેમાં સરફેસ-એન્હાન્સ્ડ રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી (SERS) અને ટિપ-એન્હાન્સ્ડ રામન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી (TERS)નો સમાવેશ થાય છે.

૨. મટીરીયલ સાયન્સ અને નેનોટેકનોલોજીમાં ક્રાંતિ

- રામન તકનીકો ગ્રાફીન, કાર્બન નેનોટ્યુબ, પોલિમર, સેમિકન્ડક્ટર અને 2D સામગ્રીના વિગતવાર અભ્યાસને મંજૂરી આપે છે, જે ક્વોન્ટમ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ, નેનો-ડિવાઈસીસ અને ફ્લેક્સિબલ ઇલેક્ટ્રોનિક્સ જેવી ભવિષ્યવાદી તકનીકોના વિકાસને માર્ગદર્શન આપે છે.
- ભવિષ્યના વૈજ્ઞાનિકો રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનો ઉપયોગ સામગ્રીમાં તાણ, ખામીઓ અને ડોપિંગનું નિરીક્ષણ કરવા માટે કરી શકે છે, જે સ્માર્ટ સામગ્રી અને સેન્સરની ડિઝાઈનને વેગ આપે છે.

3. જીવન વિજ્ઞાન અને દવાના શોધ ક્ષેત્રે ઉપયોગો

- ભવિષ્યના બાયોમેડિકલ સંશોધન રમન-આધારિત ડાયગ્નોસ્ટિક્સ પર ખૂબ આધાર રાખશે, કારણ કે તે લેબલ અથવા આક્રમક પદ્ધતિઓ વિના બાયોમોલેક્યુલ્સ, કેન્સર કોષો અને પેથોજેન્સ શોધી શકે છે.
- રમન એન્ડોસ્કોપી અને ઈમેજિંગ પ્રારંભિક તબક્કામાં રોગો શોધવામાં મદદ કરશે, વ્યક્તિગત દવા અને રીઅલ-ટાઇમ ડાયગ્નોસ્ટિક્સને ટેકો આપે છે
- વિદ્યાર્થીઓ અને સંશોધકો મેડીકલ ક્ષેત્રના (દા.ત., ઝેર અથવા ચેપ શોધવો) પરીક્ષણ માટે પોર્ટેબલ રમન ઉપકરણો વિકસાવશે

4. પર્યાવરણીય અને અવકાશ સંશોધન ક્ષેત્રે ઉપયોગો

- રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી ભવિષ્યના ગ્રહોના સંશોધન માટે ચાવીરૂપ છે. નાસાનું પર્સિવરન્સ રોવર **Perseverance Rover** (માર્સ 2020) કાર્બનિક અણુઓ શોધવા, જીવનના ચિહ્નો શોધવા માટે રમન સાધનોનો ઉપયોગ કરે છે.
- યુવા વૈજ્ઞાનિકો પર્યાવરણીય દેખરેખ માટે પોર્ટેબલ રમન સિસ્ટમ્સનો ઉપયોગ કરશે, જેમ કે પૃથ્વી પર હવા, પાણી અને માટી પ્રદૂષણનું પરીક્ષણ કરવું.
- તે ટકાઉ ઊર્જા સંશોધન (દા.ત., હાઇડ્રોજન ઈંધણ, બેટરી) માં ઉત્પ્રેરક અને પ્રતિક્રિયાઓનું વિશ્લેષણ કરીને ગ્રીન ટેકનોલોજીના વિકાસને પ્રોત્સાહન આપે છે.

5. શિક્ષણ અને સંશોધન કૌશલ્યને આગળ વધારવું

- રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી ભૌતિકશાસ્ત્ર, રસાયણશાસ્ત્ર, જીવવિજ્ઞાન અને એન્જિનિયરિંગમાં આંતરશાખાકીય શિક્ષણને પ્રોત્સાહન આપે છે.
- ભવિષ્યની પેઢીઓ ડેટા વિશ્લેષણ, કોમ્પ્યુટેશનલ મોડેલિંગ અને અદ્યતન ઓપ્ટિક્સનો સંપર્ક મેળવે છે, જે AI-સંચાલિત વૈજ્ઞાનિક સંશોધન અને ઈન્સ્ટ્રુમેન્ટેશનમાં કારકિર્દી માટે મહત્વપૂર્ણ કુશળતા છે.
- વિદ્યાર્થીઓ અને સંશોધકો આગામી પેઢીના રમન ઉપકરણો માટે લઘુચિત્રીકરણ, ઓટોમેશન અને AI-સંકલનમાં નવીનતાઓમાં જોડાઈ શકે છે.

6. ઔદ્યોગિક અને તકનીકી નવીનતાઓ

- ભવિષ્યના ઉદ્યોગો, ફાર્માસ્યુટિકલ્સથી લઈને ફોરેન્સિક્સ સુધી, ગુણવત્તા નિયંત્રણ, નકલી શોધ અને પ્રક્રિયા દેખરેખ માટે રમન સાધનોનો ઉપયોગ કરશે.
- વૈજ્ઞાનિકો ઉત્પાદન એકમોમાં સંકલિત રીઅલ-ટાઇમ રમન સેન્સર ડિઝાઇન કરશે, જે સ્માર્ટ ફેક્ટરીઓ અને ઈન્ડસ્ટ્રી નવીનતાઓ તરફ દોરી જશે.

7. પ્રેરણાદાયક વૈજ્ઞાનિક જિજ્ઞાસા અને નવીનતા

- સર સી.વી. રમનની શોધ જિજ્ઞાસા-સંચાલિત સંશોધનનું પ્રતીક છે, જે વિદ્યાર્થીઓને નવીન સંશોધક તરીકે મૂળભૂત વિજ્ઞાનને મૂલ્ય લક્ષી બનાવવા પ્રેરણા આપે છે.
- તે આગામી પેઢીને ક્વોન્ટમ ઓપ્ટિક્સ, મોલેક્યુલર ફિઝિક્સ અને સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીનું અન્વેષણ કરવા માટે પ્રેરિત કરે છે, જે ક્ષેત્રો ક્વોન્ટમ કમ્પ્યુટિંગ, AI-ઉન્નત ડાયગ્નોસ્ટિક્સ અને અવકાશ વિજ્ઞાનને આકાર આપશે.

નિષ્કર્ષ: રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી માત્ર એક વૈજ્ઞાનિક સાધન નથી, પરંતુ નવીનતા માટેનું પ્રવેશદ્વાર છે, જે ભવિષ્યની પેઢીઓને આરોગ્યસંભાળ, અવકાશ, નેનો ટેકનોલોજી, ગ્રીન એનર્જી અને સ્માર્ટ સામગ્રીનું અન્વેષણ કરવા સક્ષમ બનાવે છે. તેની બિન-આક્રમક, અત્યંત સંવેદનશીલ અને બહુમુખી પ્રકૃતિ ખાતરી કરે છે કે તે 21મી સદી અને તેનાથી આગળ વૈજ્ઞાનિક પ્રગતિ માટે કેન્દ્રિય રહેશે.

Questions

B.Sc.Sem-5 Major Paper: Unit 3

- 1) રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી માટે સી.વી.રામન અને તેમની ટીમનું કન્ટ્રીબિશન વર્ણવો.
- 2) ડોક્ટર સી.વી.રામન નો ટૂંકો પરિચય આપી તેમને રામન અસરની શોધ કેવી રીતે કરી હતી તે સમજાવો.
- 3) રમન અસર એટલે શું? તેની શોધ કેવી રીતે થઈ હતી ટૂંકમાં સમજાવો.
- 4) રમન અસર એટલે શું? ક્વોન્ટમ સિદ્ધાંતને આધારે સ્ટોક અને એન્ટીસ્ટોક રેખાઓ સમજાવો.
- 5) રમન અસર ક્લાસીકલ થીયરીને આધારે સમજાવો.
- 6) કંપનશીલ રામન સંક્રમણો માટે રમન પસંદગીના નિયમો સમજાવો.
- 7) ભ્રમણ રમન સંક્રમણો માટે રમન પસંદગીના નિયમો સમજાવી રમન રેખાઓની પેટર્ન કેવી હોય છે તે સમજાવો.
- 8) પોલરાઇઝિબિલિટીને આધારે રમન સક્રિયતા અને નિષ્ક્રિયતા કેવી રીતે નક્કી કરવામાં આવે છે? સમજાવો.
- 9) કાર્બન ડાયોક્સાઇડ અને પાણીના અણુઓમાં કંપન મોડની રામન સક્રિયતા નક્કી કરો.
- 10) ભારતના પ્રાચીન વિજ્ઞાનને પ્રોત્સાહન આપવામાં રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીની ભૂમિકા સમજાવો.
- 11) ડો. સી.વી.રામનની વિજ્ઞાન માટેની દ્રષ્ટિ અને સમાજ માટેની જવાબદારી વિશે સમજાવો.
- 12) ભાવિ વિજ્ઞાન પર રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી નો પ્રભાવ- ટૂંકનોંધ લખો.
- 13) પોલારીઝેબીલીટી એટલે શું? તે રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી સાથે કેવી રીતે સંકળાયેલી છે? સમજાવો.
- 14) રમન અસર એટલે શું? તેના મૂળભૂત સિદ્ધાંતોની સમજૂતી આપો.
- 15) રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપીમાં ચયન નિયમોની ચર્ચા કરો.
- 16) ભારતના વૈજ્ઞાનિક વિકાસમાં રમન અસરની ભૂમિકા સમજાવો.
- 17) રમન સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી અને ઈન્ફ્રારેડ સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી વચ્ચેનો તફાવત સ્પષ્ટ કરો.

