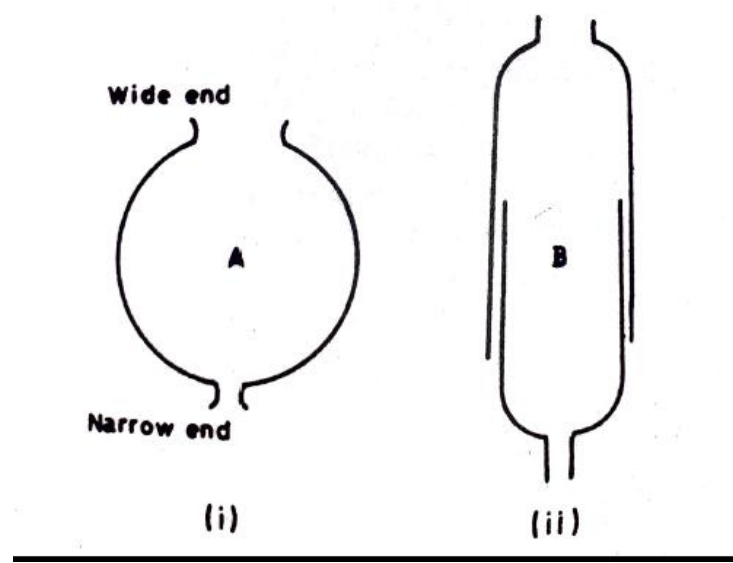


ભૌતિકશાસ્ત્રમાં આપણે તરંગ ઉપર આધારીત ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરીશું. જુદા જુદા ધ્વનિશાસ્ત્રીય સંશોધનોમાં અનુનાદક(રેઝોનેટર) ઉપયોગમાં લેવાય છે. સંગીતમય ધ્વનિ ની ગુણવત્તાના અભ્યાસ માટે આવા અનુનાદકો ઉપયોગી છે. તેને હેમહોલ્ડ રેઝોનેટર(અનુનાદક) કહે છે. સિધ્ધાંત: નાના મુખ અને સાંકડી ડોકવાળા પોલા પાત્રમાં હવા રહેલ છે. જ્યારે ધ્વનિ ચીપિયાને કંપાવી પાત્રના મુખ નજીક લઇજતાં તેમાં રહેલી હવા દોલિત થાય છે. જ્યારે હવાના દોલનોની આવૃત્તિ અને ધ્વનિ ચીપિયાની આવૃત્તિ સમાન થાય ત્યારે ધ્વનિ તીવ્રતામાં વધારો થાય છે.

અનુનાદક એ અનુનાદ(resonance) ના સિધ્ધાંત પર કાર્ય કરે છે.

આકૃતિમાં બે પ્રકારના હેમહોલ્ડ રેઝોનેટર દર્શાવ્યા છે.



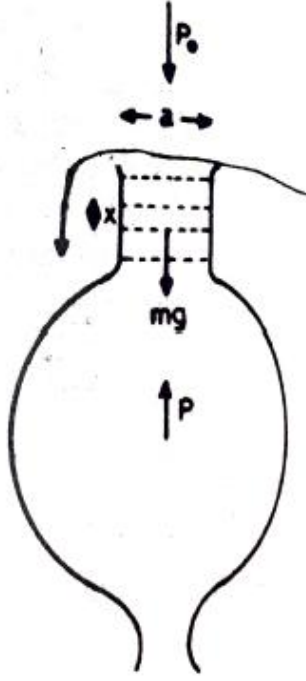
ધ્વનિ ઉદગમને રેઝોનેટરના પોહળા મુખવાળા ભાગ તરફ રાખવામાં આવે છે જ્યારે કાન સાંકડા ભાગ તરફ રાખવામાં આવે છે.

‘A’ રેઝોનેટર માં રહેલી હવાનું કદ નિશ્ચિત છે અને તેથી તેની આવૃત્તિ પણ ચોક્કસ જ હોય છે. જ્યારે ‘B’ રેઝોનેટરમાં બહારના નળાકાર ને આગળ પાછળ કરી તેમાં રહેલી હવાનું કદ બદલી શકાય છે. તેથી તેની આવૃત્તિ નું મૂલ્ય પણ બદલી શકાય છે.

અનુનાદકનો વાદ: (Theory of resonator)

અનુનાદક ના સિધ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી આપણે આનુનાદક ની આવૃત્તિનું સૂત્ર મેળવીએ.

એક હવા ભરેલો ફ્લાસ્ક(અનુનાદક) લો. જેનો મુખનો ભાગ ખૂબ નાનું આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ‘a’ ધરાવે છે. ફ્લાસ્કમાં રહેલી હવાનું કદ ‘V’ છે. તથા ફ્લાસ્કના ડોકમાં રહેલી હવાનું દળ ‘m’ છે. ફ્લાસ્કની અંદરનું દબાણ P અને બહારનું દબાણ P_0 છે.



સમતોલન સ્થિતિમાં

$$P = P_0 + \frac{mg}{a} \text{ ----- (1)}$$

જ્યારે કોઈ ચોક્કસ આવૃત્તિએ અનુનાદ થાય ત્યારે ડોકમાં રહેલી હવા ઉચીનીચી થાય છે અને પીસ્ટન જેવું કાર્ય કરે છે.

ધારોકે કોઈ એક ક્ષણે ડોકમાં રહેલી હવા (નું દળ) સંકોચન પામી x જેટલું સ્થાનાંતર કરી નીચે જાય છે. જો દબાણ પ્રક્રિયા સમોસ્મી હોય તો વેસલમાં નવું P_1 જેટલું દબાણ ઉત્પન થાય છે.

$$P_1(V - ax)^\gamma = PV^\gamma \text{ ----- (2) જ્યાં } \gamma = \text{વીશીષ્ટઉષ્માનો ગુણોત્તર}$$

$$P_1 = P \left[\frac{V}{V - ax} \right]^\gamma$$

$$P_1 = P \left[\frac{V - ax + ax}{V - ax} \right]^\gamma$$

$$P_1 = P \left[\frac{V - ax}{V - ax} + \frac{ax}{V - ax} \right]^\gamma$$

$$P_1 = P \left[1 + \frac{ax}{V - ax} \right]^\gamma$$

$$P_1 = P \left[1 + \frac{\gamma ax}{V - ax} \right]$$

$$P_1 = P + \frac{P\gamma ax}{V - ax}$$

$$P - P_1 = - \frac{P\gamma ax}{V - ax} \text{ ----- (3)}$$

રેઝોનેટરમાં રહેલી હવા ઉપર નીચેની દિશામાં લાગતું બળ $F = [P - P_1]a$

$$F = - \frac{P\gamma ax}{V - ax} \times a \quad \left[P = \frac{F}{a}, F = Pa = (P - P_1)a \right]$$

$$= - \frac{P\gamma a^2 x}{V - ax} \quad ax \ll V \quad F = - \frac{P\gamma a^2 x}{V}$$

પરંતુ $F = m a = \text{દળ} \times \text{પ્રવેગ}$

$$\text{પ્રવેગ} = \frac{F}{m} = - \frac{P\gamma a^2 x}{mV} \quad \text{-----(4)}$$

$$\frac{\text{પ્રવેગસ્થાનનાંતર}}{(x)} = \frac{P\gamma a^2}{mV} = - \left[- \frac{P\gamma a^2}{mV} \right] \quad (\text{સ્થાનાંતર નીચેની દિશામાં હોવાથી ઋણ લેતાં})$$

જે સરળ આવર્તગતિ દર્શાવે છે.

$$\text{આવર્તકાળ } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\text{સ્થાનાંતરપ્રવેગ}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{mV}{P\gamma a^2}}$$

$$\text{આનુનાદકની આવૃત્તિ } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P\gamma a^2}{mV}} \quad \text{-----(5)}$$

$$\text{હવામાં ધ્વનિનો વેગ } v = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}$$

$$P\gamma = v^2 \rho$$

આ મૂલ્ય સ.ક. (5) માં મૂકતા

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{v^2 \rho a^2}{mV}} \quad (\text{ધનત્તલ} = \frac{\text{દળકેન્દ્રનું અંતર}}{\text{અલ}}, m = a l \rho)$$

પરંતુ હવાનું દળ $m = a l \rho$

જ્યાં $l = \text{ડોકની લંબાઈ}$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho v^2 a^2}{a l \rho V}}$$

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{lV}} \quad \text{-----(6)}$$

$$f^2 V = \frac{v^2}{4\pi^2} \frac{a}{l} \quad \text{-----(7)}$$

જો a, l , અને v અચળ હોયતો

$$f^2 V = \text{અચળ}$$

$$f = \frac{1}{\sqrt{V}}$$

આમ, અનુનાદક ની આવૃત્તિ તેના કદના વર્ગમૂળના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે.

- ધ્વનિક વાહકતા:(acoustic conductivity)

અનુનાદકની આવૃત્તિનો આધાર અનુનાદકના મુખના આકાર અને કદ પર રહેલો છે. રેઝોનેટર ની અંદર રહેલી વધારાની હવા નું દબાણ બહાર આવવા લાગતો સમય તેના(રેઝોનેટર) ડોકના આકાર ઉપર આધાર રાખે છે.

જો હવા સહેલાઈથી બહાર આવતી હોય એટલેકે મુખ પહોળુ હોયતો તેના માટેનો સમય ઓછો હોય એટલેકે આવૃત્તિ વધારે હોય($f=\frac{1}{T}$). તેજ પ્રમાણે સમય વધારે હોયતો આવૃત્તિ ઓછી હોય.

“રેઝોનેટરના મુખમાંથી હવા ઝડપથી કે ધીમેથી બહાર નીકળવાની લાક્ષણીકતા ને તેના મુખની ધ્વનિક વાહકતા(acoustic conductivity)” કહે છે.

ધ્વનિક વાહકતા(acoustic conductivity) એ રેઝોનેટરના મુખના આડછેદના ક્ષેત્રફળ ‘a’ અને મુખ(ડોક)ની લંબાઈ ‘l’ ઉપર આધાર રાખે છે.

$$\text{ધ્વનિક વાહકતા(acoustic conductivity)} K = \frac{a}{l} \text{-----(1)}$$

$$\text{રેઝોનેટરની આવૃત્તિ } f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{lV}} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{V}} \text{-----(2)}$$

પાતળા ગોળાકાર મુખ ધરાવતા રેઝોનેટર માટે ‘l’ ખૂબ નાનો હોય છે. તે માટે ધ્વનિક વાહકતા(acoustic conductivity) એ વ્યાસ જેટલી થાય છે.

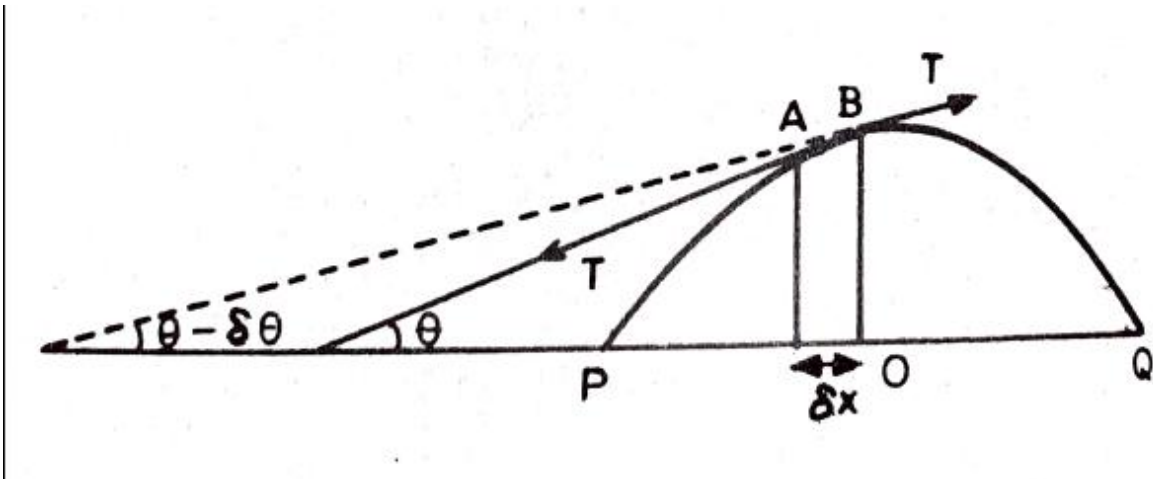
$$K = \frac{a}{l} = 2r$$

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{2r}{V}} \text{-----(3)}$$

- બંધીત દોરીમાં લંબગત તરંગોનો વેગ:

(velocity of transverse waves along stretched string):

તણાવ T લગાડેલ દોરી PQ ધ્યાનમાં લો. દોરીને તેના મધ્યબિંદુ O થી ઉચકી છોડવામાં આવે છે. તેથી દોરીમાં લંબગત દોલનો ઉત્પન્ન થાય છે. આ દોલનો સાદા હાર્મોનિક દોલનો છે.



દોરીનું X અક્ષની દિશામાં કોઈ સ્થાનાંતર થતું નથી જ્યારે Y અક્ષની દિશામાં તેનું સ્થાનાંતર થાય છે. δx લંબાઈનો નાનો ભાગ AB ગણતરીમાં લો. A અને B બિંદુએ દોરેલો લંબ X અક્ષ સાથે અનુક્રમે θ અને $\theta - \delta\theta$ ખૂણો બનાવે છે. જે આકૃતિ-(1) માં દર્શાવ્યું છે. A બિંદુ પાસે લગતા તણાવને બે ભાગમાં વહેંચી શકાય.

A બિંદુ પાસે નીચેની દિશામાં લાગતા તણાવ બળનો ઘટક $= T \sin \theta$

જો θ ખૂબ નાનો હોયતો $\sin \theta \approx \tan \theta$

A બિંદુ પાસે નીચેની દિશામાં તણાવ બળનો ઘટક $= T \tan \theta$

પરંતુ $\tan \theta = \frac{dy}{dx}$ (A બિંદુ પાસે ઢાળ)

$$= T \frac{dy}{dx} \text{ -----(1)}$$

$$\text{લંબાઈની સાપેક્ષ ઢાળનું વિકલન કરતાં} = \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$\delta x \text{ લંબાઈ માટે ઢાળમાં થતો ફેરફાર} = \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

બિંદુ B પાસે ઢાળ $= \tan(\theta - \delta\theta)$

$$= \frac{dy}{dx} - \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

B બિંદુ પાસે ઉપરની દિશામાં તણાવબળનો ઘટક

$$= T \sin (\theta - \delta\theta)$$

$$\text{પરંતુ } \sin (\theta - \delta\theta) \approx \tan (\theta - \delta\theta)$$

$$= T \tan (\theta - \delta\theta)$$

$$= T \left[\frac{dy}{dx} - \frac{d^2y}{dx^2} \delta x \right] \text{ -----(2)}$$

સ.ક.(1) અને (2) પરથી નીચેની દિશામાં લાગતું પરિણામી તણાવબળ

$$F = T \frac{dy}{dx} - T \left[\frac{dy}{dx} - \frac{d^2y}{dx^2} \delta x \right]$$

$$= T \left[\frac{d^2y}{dx^2} \delta x \right] \text{ -----(3)}$$

ઘોરોકે એકમ લંબાઈની દોરીનું દળ $= m$

δx લંબાઈની દોરીનું દળ $= m \delta x$

તથા અક્ષની દિશામાં પ્રવેગ = $\frac{d^2y}{dt^2}$

' δx ' (એટલેકે AB) ભાગ પર લાગતું બળ $F = \epsilon \ell \times$ પ્રવેગ

$$= m \times a$$

$$= m \delta x \frac{d^2y}{dt^2} \text{-----(4)}$$

સ.ક.(3) અને (4) ને સરખાવતા

$$m \delta x \frac{d^2y}{dt^2} = T \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{T}{m} \frac{d^2y}{dx^2} \text{-----(5)}$$

આ સક. તરંગ ગતિના વિકલ સક

$$\frac{d^2y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2y}{dx^2} \text{-----(6) જેવું છે}$$

જ્યાં v તરંગનો વેગ છે

સક.(5) અને (6) ને સરખાવતાં

$$v^2 = \frac{T}{m}$$

$$\text{તરંગનો વેગ } v = \sqrt{\frac{T}{m}} \text{-----(7)}$$

તથા વેગ $v = n\lambda$

ધરોકે । લંબાઈની દોરી p જેટલા ગાળામાં દોલીત થાય છે.

$$\text{દરેક ગાળાની લંબાઈ} = \frac{l}{p}$$

તથા દરેક ગાળો અર્ધતરંગ લંબાઈ જેટલો છે.

$$\frac{l}{p} = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{2l}{p}$$

$$v = n \frac{2l}{p} \text{-----(8)}$$

v નું આ મૂલ્ય સક. (7) માં મૂકતા

$$n \frac{2l}{p} = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

તણાવવાળી દોરીની મૂળભૂત આવૃત્તિ

$$n = \frac{p}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \text{-----(9)}$$

જો દોરીમાં એકજ ગોળો ઉત્પન્ન થતો હોય તો $p=1$ મૂકતા $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$

• દોરી પરના લંબગત દોલનોના નિયમો:

(Laws of Transverse vibration of strings):

દોરી પરના લંબગત દોલનો નીચેના ત્રણ નિયમો ને અનુસરે છે.

(1) મૂળભૂત આવૃત્તિ દોરીની લંબાઈના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

$$n \propto \frac{1}{l}$$

(2) મૂળભૂત આવૃત્તિ તેના પર લાગતા તણાવ ના વર્ગમૂળના સમપ્રમાણમાં છે.

$$n \propto \sqrt{T}$$

(3) મૂળભૂત આવૃત્તિ એકમ લંબાઈની દોરીના દળના વર્ગમૂળના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે.

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

ત્રણેય નિયમોને સંયુક્ત રીતે લખતા

$$n \propto \frac{1}{l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$n = \frac{k}{l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$k = \frac{1}{2} \text{ લેતાં}$$

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

દોરીની જગ્યાએ જો તાર લેવામાં આવે તો

$$N = \frac{1}{lD} \sqrt{\frac{T}{\pi d}} \quad 'D' = \text{તારનો વ્યાસ}$$

'd' = તારના દ્રવ્યની ઘનતા

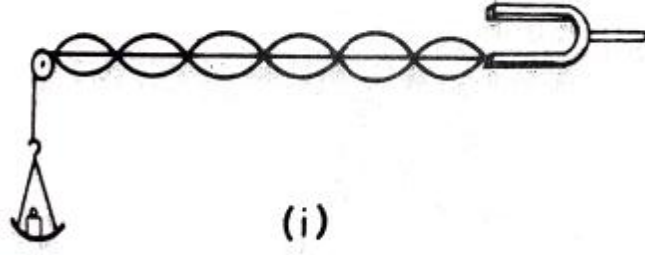
• મેલ્ડેનો પ્રયોગ: (Meld's Experiment):

આ પ્રયોગમાં સ્વરકાંટાને એક આધાર સાથે જડિત કરવામાં આવે છે. દોરીનો એક છેડો સ્વરકાંટાના એક પાંખીયા સાથે જ્યારે બીજા છેડા ને ગરગડી પરથી પસાર કરી છેડે લટકાવેલ પલ્લાં સાથે બાંધવામાં આવે છે. પલ્લાંમાં વજન મૂકી દોરીપર તણાવબળ લાગુ પાડી શકાય છે. જે આકૃતિમાં દર્શાવ્યું છે. સ્વરકાંટા અને ગરગડી વચ્ચેનું અંતર જરૂરીયાત પ્રમાણે ગોઠવી શકાય છે. સ્વરકાંટાને બે રીતે ગોઠવી દોરીમાં કંપનો ઉત્પન્ન કરી શકાય છે.

(1) લંબસ્થિતિના દોલોનો

(2) સમાંતરસ્થિતિના દોલોનો

લંબસ્થિતિના દોલોનો:(Transverse mode of vibration)



જ્યારે સ્વરકાંટાના બે પાંખીયાને જોડતી રેખા અને દોરીની લંબાઈની દિશા એકબીજાને લંબ હોયતો આવી ગોઠવણીને લંબ સ્થિતિની ગોઠવણી કહે છે. આ સ્થિતિમાં સ્વરકાંટાના દોલાનો દોરીની લંબાઈની દિશાને લંબ હોય છે. જે ઉપર ની આકૃતિમાં દર્શાવ્યું છે. આ સ્થિતિમાં દોરીના દોલનોની આવૃત્તિ એ સ્વરકાંટાના દોલોની આવૃત્તિ જટલી હોય છે.

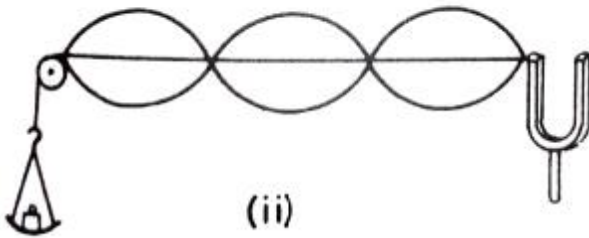
ઘોરોકે સ્વરકાંટાની આવૃત્તિ N છે તથા l લંબાઈની દોરી માં P_1 ગાળા ઉત્પન્ન થાય છે.

$$N = \frac{P_1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$N^2 = \frac{P_1^2 T}{4 l^2 m}$$

$$TP_1^2 = 4 l^2 N^2 m = \text{const.} \text{-----(1)}$$

સમાંતર સ્થિતિના દોલાનો:(Longitudinal mode of vibration)



આ સ્થિતિમાં સ્વરકાંટાના પાંખીયાને જોડતી રેખા દોરીની લંબાઈની દિશામાં હોય છે. જે ઉપર ની આકૃતિમાં દર્શાવ્યું છે. આવી સ્થિતિમાં દોરીના દોલાનોને સમાંતર સ્થિતિના દોલાનો કહે છે. આવા કિસ્સામાં સ્વરકાંટો એક દોલન પૂરું કરે છે ત્યારે દોરી અડધું દોલન પૂરું કરે છે.

ધોરોકે સ્વરકાંટાની આવૃત્તિ N હોયતો, દોરી માં થતા દોલાનોની આવૃત્તિ $\frac{N}{2}$ છે. દોરીની લંબાઈ હોય તથા તેમાં P_2 ગાળા ઉત્પન્ન થતા હોયતો

$$\frac{N}{2} = \frac{P_2}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$N = \frac{P_2}{l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$N^2 = \frac{P_2^2 T}{l^2 m}$$

$$TP_2^2 = N^2 l^2 m = \text{const.} \text{-----}(2)$$

સક(1) અને સક (2) ઉપરથી

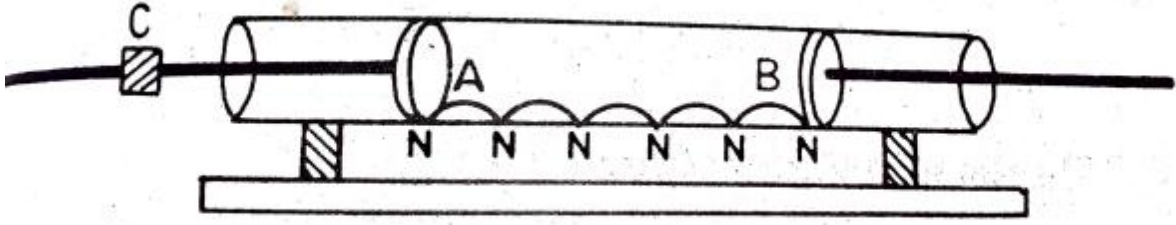
$$TP_1^2 = TP_2^2 = TP^2 = \text{અચળ}$$

ખાસ કિસ્સો

ધોરોકે કોઈ એક સ્વરકાંટા ને યોગ્ય તણાવબળ લગાડતાં લંબ સ્થિતિમાં થતા દોલાનો (દોરીમાં) માં જો P_1 ગાળા ઉત્પન્ન થતા હોયતો તેજ સ્વરકાંટા માટે અને તેટલુજ તણાવબળ લગાડતાં સમાંતર સ્થિતિમાં થતા દોલાનો(દોરી)માં તેના કરતાં અડધા ગાળા ઉત્પન્ન થાય છે.

$$\text{સમાંતર સ્થિતિના ગાળા } P_2 = \frac{P_1}{2}$$

• કુંડની નળી:(kund's Tube)



કુંડની નળી કાયની બનેલી છે. તેના બંને છેડે નળીની અંદર બે કોર્ક A અને B છે. કોર્ક B ને આગળ પાછળ કરી શકાય છે. જે દ્વચના સળિયા માટે ધ્વનિ નો વેગ શોધવાનો હોય તેને નળીના મધ્યબિંદુ આગળ જડિત કરવામાં આવે છે. આકૃતિમાં સળિયા ને C બિંદુ એ જડિત કરેલ છે.

સળિયાના એક છેડે કોર્ક A આગળ એલ્યુમિનીયમ ડિસ્ક લગાડવામાં આવે છે. નળીમાં ઓરડાના તાપમાને હવા ઉપરાંત લાઈપોડીયમ પાવડર(લાકડાનો વેર) એક સરખી રીતે પાથરવામાં આવે છે.

Velocity of sound in solids:

મધ્યબિંદુ પાસે જડિત સળિયાના મુક્ત છેડાને રેઝીનના કપડાથી ઘસતાં સળિયામાં સ્થિત સંગત તરંગો ઉત્પન્ન થાય છે. સળિયાનો મુક્ત છેડો પ્રસ્પંદબિંદુ અને જડિત છેડો નિસ્પંદબિંદુ(c બિંદુ પાસે) તરીકે વર્તે

છે. આ દોલોનો નળીમાં રહેલી હવામાં ટ્રાન્સફર થાય છે તેથી નળીમાં રહેલી હવા દોલિત થાય છે. કોર્ક ને આગળ પાછળ ખસેડી હવાના સ્તંભ ની લંબાઈમાં વધારો ઘટાડો કરવામાં આવે છે. જ્યારે હવાના સ્તંભની આવૃત્તિ અને સળિયાની આવૃત્તિ સમાન થાય ત્યારે અનુનાદ રચાય છે. આ પરિસ્થિતિમાં લાઈપોડીયમ પાવડર નળીમાં અમુક ચોક્કસ જગ્યાએ ઢગલાના સ્વરૂપે ભેગો થાય છે. તે નિસ્પંદબિંદુ બને છે. (પાવડરમાં ગાળા રચાય છે)

ધારોકે સળિયાની લંબાઈ l_r છે. તથા બે ક્રમિક પ્રસ્પંદ કે નિસ્પંદ બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર l_a હોયતો

$$l_r = \frac{\lambda_r}{2} \quad l_a = \frac{\lambda_a}{2}$$

ધારોકે તરંગની આવૃત્તિ n તથા હવામાં ધ્વનિનો વેગ V_a હોયતો

$V = n\lambda$ પ્રમાણે

$$\text{સળિયા માટે } n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V_r}{\lambda_r} = \frac{V_r}{2l_r} \text{-----(1)}$$

$$\text{હવા માટે } n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V_a}{\lambda_a} = \frac{V_a}{2l_a} \text{-----(2)}$$

સક(1) અને સક(2) પરથી

$$\frac{V_r}{2l_r} = \frac{V_a}{2l_a}$$

$$V_r = V_a \left[\frac{l_r}{l_a} \right] \text{-----(3)}$$

વાયુમાં ધ્વનિનો વેગ: (velocity_of sound in gases)

વાયુમાં ધ્વનિનો વેગ શોધવા પ્રથમ ઉપર પ્રમાણે હવા માટે પ્રયોગ કરવામાં આવે છે ત્યારબાદ હવાની જગ્યાએ જે વાયુ માટે ધ્વનિનો વેગ શોધવો હોય તેને કુંડની નળીમાં ભરવામાં આવે છે. નળીમાં મુકેલ સળિયાને બદલવો નહીં.

ધોરોકે હવા માટે બે ક્રમિક પ્રસ્પંદ કે નિસ્પંદ બિંદુ વચ્ચેનું અંતર $= l_a$

તેજ પ્રમાણે વાયુ માટે બે માટે બે ક્રમિક પ્રસ્પંદ કે નિસ્પંદ બિંદુ વચ્ચેનું અંતર $= l_g$

સક (3) પરથી

$$\text{હવા માટે } V_r = V_a \left[\frac{l_r}{l_a} \right] \text{-----(4)}$$

$$\text{વાયુ માટે } V_r = V_g \left[\frac{l_r}{l_g} \right] \text{-----(5)}$$

સક (4) અને સક (5) ઉપરથી

$$V_a \left[\frac{l_r}{l_a} \right] = V_g \left[\frac{l_r}{l_g} \right]$$

$$V_g = V_a \frac{l_r}{l_a} \times \frac{l_g}{l_r}$$

$$V_g = V_a \left[\frac{l_g}{l_a} \right] \text{-----(6)}$$

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો

આવૃત્તિને આધારે તરંગોને ત્રણ ભાગમાં વહેંચી શકાય.

- શ્રાવ્ય(Audible) તરંગો

જે ધ્વનિ તરંગોની આવૃત્તિ 20 Hz થી 20 KHz વચ્ચે હોય તેવા ધ્વનિ તરંગોને શ્રાવ્ય તરંગો કહે છે.

આપણો કાન આ આવૃત્તિના તરંગોને સાંભળી શકે છે.વાયોલીન,ગિટાર,સોનોમીટર જેવા સાધનોના તાર ને દોલિત કરીને આ આવૃત્તિના તરંગો ઉત્પન્ન કરી શકાય છે.

- ઇન્ફ્રાસોનિક તરંગો:

જે ધ્વનિ તરંગોની આવૃત્તિ 20 Hz કરતાં ઓછી હોય તેવા ધ્વનિ તરંગોને ઇન્ફ્રાસોનિક તરંગો કહે છે.જેમકે ધરતીકંપ દરમ્યાન ઉત્પન્ન થતા તરંગો. આપણો કાન આ ગાળાની આવૃત્તિ સાંભળી શકતો નથી. આ તરંગોની આવૃત્તિ ઓછી હોવાથી તેની તરંગલંબાઇ વધારે છે.

- અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો:(પરાશ્રાવ્ય ધ્વનિ તરંગો)

જે ધ્વનિ તરંગોની આવૃત્તિ 20 KHz કરતાં વધારે હોય તેવા ધ્વનિ તરંગોને અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો કહે છે.

આપણો કાન આ આવૃત્તિના ધ્વનિ તરંગોને સાંભળી શકતો નથી.કેટલાક પ્રાણીઓ અને પક્ષીઓ આ આવૃત્તિનો ધ્વનિ સાંભળી શકે છે. ચામાચિડિયા 60 KHz અને ફૂતરા 20 KHz આવૃત્તિનો ધ્વનિ સાંભળી શકે છે.આ તરંગોની આવૃત્તિ વધારે હોવાથી તેની તરંગલંબાઇ ઓછી છે.

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોનું ઉત્પાદન કરવાની રીતો:

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો નીચેની રીતોથી ઉત્પન્ન કરી શકાય.

- (1) ગેલ્ટન વ્હિસલ(Galton Whistle)
- (2) ચુંબકીય વિરૂપણની રત (Magnetostriction Effect):
- (3) દાબ વિદ્યુતીય રીત(Piezo-electric Method):

- દાબ વિદ્યુતીય રીત(Piezo-electric Method):

ઈ.સ.1880માં ક્યુરી બ્રધર્સે આ રીત શોધી હતી. આ પદ્ધતિમાં સ્ફટિકના બે સામસામેના પૃષ્ઠો ઉપરદબાણ લગાડવામાં આવેછે ત્યારે આ પૃષ્ઠોને લંબ રહેલ અન્ય સામસામેના પૃષ્ઠોનાં જોડકાં પર વીજભાર જમા થાય છે. જો દબાણને બદલે તણાવ ઉત્પન્ન કરવામાં આવેતો પૃષ્ઠો પરના વીજભારનો પ્રકાર(ધન કે ઋણ વીજભાર) બદલાય છે. આ અસર પિઝો ઇલેક્ટ્રિક અસર તરીકે ઓળખાય છે.

ઉલટી પિઝો ઇલેક્ટ્રિક અસર પણ ઉદભવે છે. ચોક્કસ રીતે કાપેલા સ્ફટિકના સામસામેના પૃષ્ઠોનાં જોડકાં પર A.C. વોલ્ટેજ લાગુ પાડવામાં આવેતો, તેને લંબ અન્ય પૃષ્ઠોનાં પરિમાણમાં ફેરફાર થાય છે.જો ક્વાર્ટઝ, ટુમેલીન અને રોસેલા સોલ્ટ જેવા સ્ફટિકો ને ઉપયોગમાં લેવામાં આવેતો તેના પરિમાણમાં વધારે

ફેરફાર થયેલો જોવા મળે છે. આવા સ્ફટિકો ને તેની દગઅક્ષ(optic axis) ને લંબ રહે તે રીતે પૃષ્ઠોને કાપવામાં આવે તે મહત્વનું છે.

આમ ઓપ્ટીકલ અક્ષ(દગ અક્ષ)ને લંબરૂપે કાપેલ ક્વાર્ટઝ સ્ફટિકના બે સામસામેના પૃષ્ઠોનાં જોડકાં પર A.C. વોલ્ટેજ લગાવતા તેને લંબ અન્ય પૃષ્ઠોમાં પ્રતિબળ અને વિકૃતિ ઉત્પન્ન થાય છે.તેથી ક્વાર્ટઝનો સ્ફટિક સતત સંકોચન અને વિસ્તરણ અનુભવે છે. સ્ફટિકમાં સંગત દોલનો ઉદભવે છે. જ્યારે A.C. વોલ્ટેજ ની આવૃત્તિનું મૂલ્ય ક્વાર્ટઝ

સ્ફટિકમાં થતા દોલનોની આવૃત્તિ જેટલું થાય ત્યારે અનુનાદ થાય છે.

દોલિત તરંગોની આવૃત્તિ નચેનાં સૂત્રથી શોધી શકાય.

$$f = \frac{P}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{or} \quad f = \frac{P}{2t} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

જ્યાં $P = 1, 2, 3, \dots$ $E =$ સ્ફટિકની સ્થિતિસ્થાપકતા અને $\rho =$ સ્ફટિકની ઘનતા

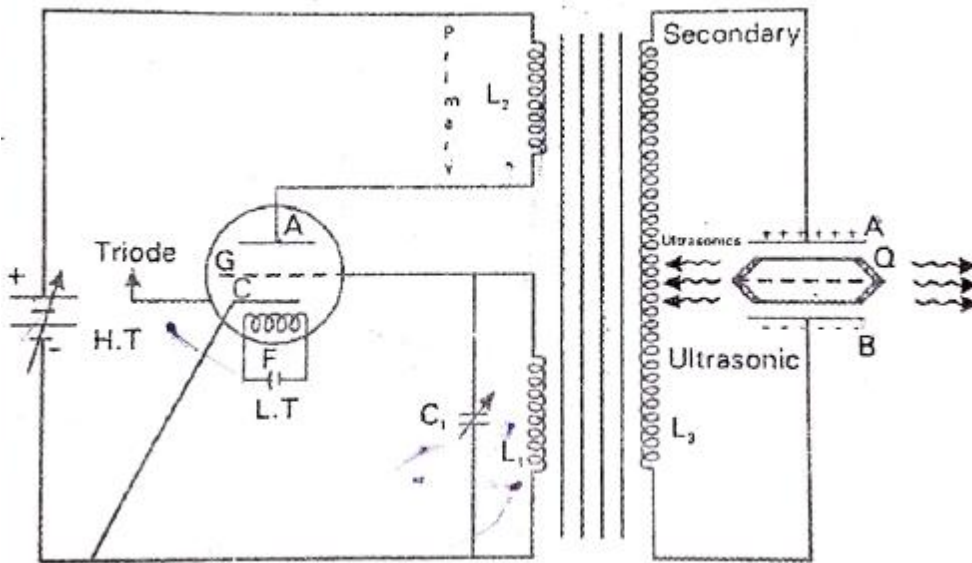
। અને t એ સ્ફટિકની અનુક્રમે લંબાઈ અને જાડાઈ છે.

સ્ફટિકમાં સંગત તરંગોનો વેગ v હોયતો, ક્વાર્ટઝ માટે $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 5.5 \times 10^3 \text{ m/s}$ તથા $l = 0.05$ મીટર હોયતો

આવૃત્તિ $f = 5.5 \times 10^4 \text{ Hz}$.

પિઝોઇલેક્ટ્રિક પદ્ધતિથી અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉત્પન્ન કરવાની પ્રાયોગિક ગોઠવણ:

પી.લેન્જેવીને આ પ્રાયોગિક ગોઠવણ ઈ.સ.1917 માં શોધી હતી.આ માટેનો પરિપથ નીચે આકૃતિમાં દર્શાવ્યો છે



આકૃતિ

પ્રથમ ક્વાર્ટઝ સ્ફટિકની પાતળી તકતી Q ના સામસામેના પૃષ્ઠો તેની ઓપ્ટીકલ અક્ષને લંબ રહે તેમ કાપવામાં આવે છે.આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે આ તકતીને ધાતુની બે પ્લેટ A અને B વચ્ચેમૂકવામાં આવે છે. પ્લેટ A અને B ને ગૌણ ગૂચળા L_3 સાથે જોડવામાં આવે છે. ઇન્ડક્ટર L_1, L_2 , અને L_3 એ ટ્રાયોડ

વાલ્વના દોલિત પરિપથમાં ઇન્ડક્ટીવલી(પ્રેરિત રીતે) જોડાયેલ છે. ટેન્ક પરિપથમાં ઇન્ડક્ટર L_1 , ને કેપેસિટર C_1 સાથે જોડીને ગ્રીડ અને કેથોડની સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે.

જ્યારે H.T.ધ્વારા પરિપથમાં વોલ્ટેજ આપવામાં આવે છે ત્યારે દોલક ધ્વારા ઉચ્ચ આવૃત્તિનો વિજસ્થીતિમાનનો તફાવત ઉત્પન્ન થાય છે.તેને કારણે ઇન્ડક્ટર L_3 માં પ્રેરિત e.m.f. ઉત્પન્ન થાય છે. આ e.m.f. પ્લેટ અને પર અસર ઉત્પન્ન કરે છે.તેથી બંને પ્લેટ વચ્ચે ગોઠવેલી ક્વાટ્ઝની તકતી દોલિત થાય છે તથા તેનું સંકોચન અને વિસ્તરણ થાય છે. કેપેસિટર C_1 નું મૂલ્ય એવું ગોઠવો કે જેથી H.T. વોલ્ટેજની આવૃત્તિ ક્વાટ્ઝ સ્ફટિકના એક મોડના દોલનોની આવૃત્તિ જેટલું થાય એટલેકે અનુનાદ થાય. પરિણામે સ્ફટિકમાં ઉચ્ચઆવૃત્તિના સંગત તરંગો ઉત્પન્ન થાય છે.આ પદ્ધતિ થી $5 \times 10^8 \text{ Hz}$ સુધીની આવૃત્તિના અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉત્પન્ન શકાય છે.

- અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની ખોજ:(Detection of ultrasonic wave)

કુંડની નળી ધ્વારા

સંવેદીતજ્યોત ધ્વારા

ઉષ્મા ખોજક ધ્વારા

ક્વાટ્ઝ સ્ફટિક ધ્વારા

- કુંડની નળી ધ્વારા :

લાઈપોડીયમ પાવડર ભરેલી કુંડની નળીમાં તરંગો પસાર કરતાં પ્રસ્પંદબિંદુ પાસે પાવડર ઢગલા(heap)ના સ્વરૂપે એકઠો થશે.આ રીતે પ્રસ્પંદબિંદુ અને નિસ્પંદબિંદુ ના સ્થાન નક્કિ કરી શકાય. બે ક્રમિક પ્રસ્પંદબિંદુ કે નિસ્પંદબિંદુ વચ્ચેનું અંતર અર્ધતરંગલંબાઈ($\lambda/2$) જેટલું થશે.આ રીતે તરંગલંબાઈ અને તે ઉપરથી આવૃત્તિ શોધી શકાય. ($f = \frac{1}{\lambda}$) જ્યારે અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની તરંગલંબાઈ ખૂબ નાની(મિલીમીટર કરતાં ઓછી) હોય ત્યારે આ પદ્ધતિ કામ લાગતી નથી.

- સંવેદીતજ્યોત ધ્વારા:(Sensitive flame method)

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉત્પન્ન કરતાં માધ્યમમાંથી સંવેદીત જ્યોત ને પસાર કરવામાં આવે છે. માધ્યમના પ્રસ્પંદબિંદુ પાસે જ્યોત સ્થિર રહે છે જ્યારે નિસ્પંદબિંદુ પાસે જ્યોત ફલીકર થાય છે.(દબાણમાં ફેરફાર ને કારણે).આ રીતે પ્રસ્પંદબિંદુ અને નિસ્પંદબિંદુ ના સ્થાન નક્કિ કરી છે. બે ક્રમિક પ્રસ્પંદબિંદુ કે નિસ્પંદબિંદુ વચ્ચેનું અંતર અર્ધતરંગલંબાઈ($\lambda/2$) જેટલું થશે.આ રીતે તરંગલંબાઈ અને તે ઉપરથી આવૃત્તિ શોધી શકાય. ($f = \frac{1}{\lambda}$)

- ઉષ્મા ખોજક ધ્વારા :(Thermal detector method)

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની ખોજ માટે સૌથી વધારે પ્રચલિત રીત છે.આ રીતમાં માધ્યમમાં પાતળો પ્લેટીનમ તાર પસાર કરવામાં આવે છે. માધ્યમમાં સંઘનન અને વિઘનન ના લીધે દરેક બિંદુ પાસે તાપમાન બદલાય છે તેથી પ્લેટીનમ તારનો અવરોધ પણ બદલાય છે. પ્રસ્પંદબિંદુ પાસે તાપમાન અચળ રહે છે

તેથી પ્લેટીનમ તારનો અવરોધ પણ રહે છે. ગ્રીફીથ અને કેલેન્ડર બ્રીજની મદદથી આ અવરોધનો વધારો ઘટાડો માપી શકાય છે. આ રીતે પ્રસ્પંદબિંદુ અને નિસ્પંદબિંદુ ના સ્થાન નક્કિ કરી તરંગલંબાઇ અને આવૃત્તિ શોધી શકાય

- **ક્વાટ્ઝ સ્ફટિક ધ્વારા:**

આ રીત પિઝો ઇલેક્ટ્રિક અસરના સિધ્ધાંત પર આધારિત છે. આ રીતમાં ક્વાટ્ઝની યોગ્ય રીતે કાપેલી તકતીના સામસામેના પૃષ્ઠો પર દબાણ કે તણાવ લાગુ પાડતા તેને લંબ અન્ય બે સામસામેના પૃષ્ઠો પર વીજભાર જમા થાય છે. આ વીજભારોને વિવેર્ધીત કરી તેને આધારે અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની ખોજ થઈ શકે છે.

- **અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોના ઉપયોગો(Application of ultrasonic waves):**

1. **સમુદ્રની ઉડાઈ માપવા માટે:**

સરોવર કે સમુદ્રની ઉડાઈ માપવા માટે ખૂબ ઉચી આવૃત્તિવાળા અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોનો ઉપયોગ થાય છે. આ માટે પિઝો ઇલેક્ટ્રિક ક્વાટ્ઝ સ્ફટિક વપરાય છે. ક્વાટ્ઝનો સ્ફટિક અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોના વાહક અને રીસીવર તરીકે વર્તે છે. સ્ફટિક વડે ટ્રાન્સમીટ થતા અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો સમુદ્રના તળિયા સુધી જાય છે અને ત્યાંથી પરાવર્તન પામી ફરીથી સ્ફટિક વડે નોંધાય છે. ઓસીલોગ્રાફની મદદથી સમુદ્રમાં જતાં અને પરાવર્તન પામી નોંધાતા સંકેતો વચ્ચેનો સમય 't' નોંધવામાં આવે છે. સમુદ્રમાંથી પસાર થતાં તરંગોનો વેગ જાણતા હોઈએતો સમુદ્રની ઉડાઈ નીચેના સૂત્રથી મેળવી શકાય.

$$d(h) = \frac{v \times t}{2}$$

આજ પદ્ધતિથી સમુદ્રમાં સબમરીનની હાજરી તથા સપાટીથી તેની ઉડાઈ જાણી શકાય. વળી સમુદ્રમાં ઉડાઈએ આવેલી હિમશીલા(પર્વતો) ની જાણકારી મેળવી શકાય.

SONAR(Sound Navigation and Ranging): SONAR ની મદદથી સમુદ્રમાં સબમરીન તથા હિમશીલા ના સ્થાન, દિશા અને અંતર નક્કિ કરી શકાય. સમુદ્રમાં તળીયે રહેલા ખડકો કે અન્ય વસ્તુઓ કેટલી ઉડાઈએ છે તે પણ શોધી શકાય છે.

- (2) ચેતવણી દર્શક તરીકે:(As a signaling):

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની તરંગલંબાઇ ખૂબ નાની હોવાથી લાંબા અંતર સુધી ફેલાયા સિવાય તિક્ષ્ણ કિરણાવલી ના સ્વરૂપમાં મોકલી શકાય છે. તેથી અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોને રડાર મારફતે ચેતવણી દર્શક તરીકે ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે.

- (3) ઉષ્મીય અસર(Heating effect):

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોને પદાર્થમાંથી પસાર કરવામાં આવે ત્યારે તેને ગરમ કરે છે અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોને બરફ જામેલી સપાટીમાંથી પસાર કરતા તે ભાગના તાપમાનમાં વધારો થાય છે એટલે તે ભાગમા બરફ

ઓગળે છે જ્યારે સપાટીપર નો બરફ એમજ રહે છે.આમ બરફ જામેલોબરફ હોવા છતાં તેની નીચે રહેલી જળસૃષ્ટી ને બચાવી શકાય છે.

(4) યાંત્રિક અસર(mechanical effect):

અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉપયોગમાંઆવે છે. અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો જેટલી આવૃત્તિથી કંપતો કાયનો સળીયો સખત ધાતુમાં સહેલાઈથી કાણું પાડે છે.ગરમ અને સિલ્કના કપડા ધોવા તથા રંગોની ગુણવત્તા સુધારવા પણ અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉપયોગમાંઆવે છે.

(5) ધાતુમાં તિરાડ શોધવા (crack in metal):

જો કોઈ ધાતુની અંદર છુપી તિરાડ કે પોલાણ હોયતો અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોની મદદથી તોડફોડ વિના શોધી શકાય છે. ઉચી આવૃત્તિવાળા તરંગોને એમીટર ધ્વારા ધાતુ તરફ મોકલાય છે જ્યારે પરાવર્તિત બીમ ને ડીટેક્ટરની મદદથી નોધવામાં આવે છે. તરંગોના માર્ગમાં તિરાડ આવતાં ઉર્જા વધારો થાય છે. આમ ઉર્જામાં થતા ફેરફારન પરથી ધાતુમાં તિરાડ શોધી શકાય છે.

(6) મિશ્રધાતુ ની બનાવટમાં(Formation of alloys):

સમાન કે અસમાન ઘનતા ધરાવતી ના મિશ્રણ માટે અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉપયોગી છે.

(7) રાસાયણિક અસર(Chemical effect):

- અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો ઉદ્દીપક(catalytic agent) તરીકે વર્તી પ્રક્રિયાને ઝડપી બનાવે છે.
- પોટેશીયમ આયોડાઈડ(KI)માંથી આયોડીન છુટું પાડવા ઉપયોગી છે.
- પાણી અને પારાનું મિશ્રણ બનાવવા માટે
- પાણી અને તેલનું મિશ્રણ બનાવવા માટે
- સ્ફટિકીકરણ(Crystallization)ની પ્રક્રિયાને ઝડપી બનાવવા માટે

(8) શોલ્ડરીંગ તરીકે(Soldering):

એલ્યુમિનીયમ ને શોલ્ડર કરવા માટે સામાન્ય પદ્ધતિ ઉપયોગમાં આવતી નથી. ઇલેક્ટ્રિક શોલ્ડરીંગ આયન સાથે અલ્ટ્રાસોનિક તરંગોનો ઉપયોગ કરી એલ્યુમિનીયમમાં શોલ્ડર કરવામાં આવે છે.

(9) મેડીકલ ક્ષેત્રે:

- Neuralgic pain: અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો neuralgic અને -rheumatic દુખાવાને દૂર કરવા ઉપયોગી છે
- Arthritis: આર્થરાઈટીસ માં થતા દુખાવાને દૂર કરવા
- Broken teeth:તૂટેલા દાંતને દૂર કરી સરખા કરવા
- Constricted fingers:એકસીડન્ટમાં તૂટેલી આગળીઓને ફરી યોગ્ય જગ્યાએ ગોઠવવા તથા ફાટેલા મસલ્સને સાધવા માટે
- Bloodless surgery:રક્તવિહીન સર્જરી માટે, કેન્સર અને મગજમાં રહેલી ગાંઠની સર્જરી માટે
- Sterilization: દૂધ અને પાણી ને જંતુ મુક્ત કરવા
