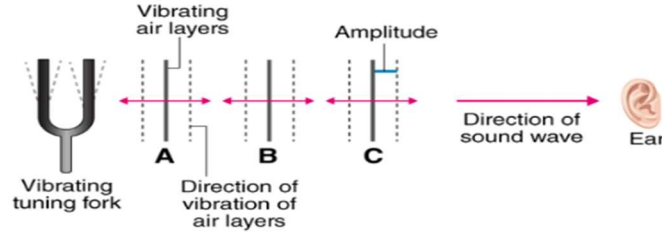


## ध्वनी

**ध्वनी म्हणजे ऐकण्याची संवेदना आहे. ध्वनी ही एक प्रकारची ऊर्जा आहे. जी आपल्या कानात ऐकण्याची संवेदना निर्माण करते.**

### **ध्वनीची निर्मिती (Production of sound)**

ध्वनीची निर्मिती आघाताने, छेडल्याने, हवा फुंकल्याने, ओरखडल्याने, विविध वस्तु हालल्याने अशा अनेक कारणाने होवू शकते. जी भौतिक संकल्पना ध्वनीच्या निर्मितीस कारणीभूत असते, त्यास 'कंपन' (vibration) असे म्हणतात. कंपन म्हणजे वस्तूची जलद गतीने पुढे मागे होणारी हालचाल. कंपने ही दिसूही शकतात किंवा ती जाणवतात. काही घटनांमध्ये कंपने दृश्य स्वरूपाची असतात तर काही अदृश्य स्वरूपाची असतात. ध्वनीचा आयाम अत्यंत कमी असल्यामुळे आपल्याला कंपने दिसत नाहीत. विविध संगीत साधनांमध्ये ध्वनीची निर्मिती त्यातील वेगवेगळ्या भागांमध्ये कंपने निर्माण होऊन होत असते.



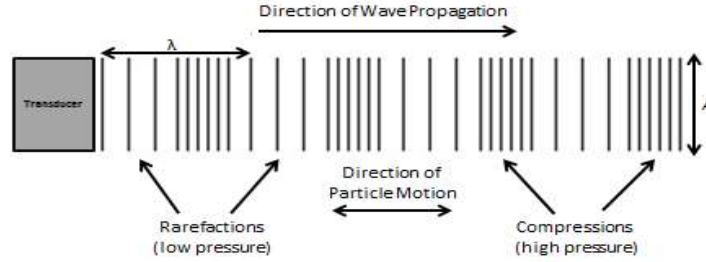
ध्वनी हे तरंगाच्या स्वरूपात प्रसारित होतो. वस्तु विक्षोभित होते आणि कंप पावते तेव्हा ध्वनी निर्माण होतो. ध्वनी भौतिक वस्तूतून किंवा पदार्थातून प्रसारित होतो त्याला माध्यम म्हणतात. ते घन, द्रव किंवा वायु असू शकते. ध्वनी निर्वात पोकळीतून प्रवास करू शकत नाही. प्रत्येक्षात कंपित वस्तूपासून ऐकणाऱ्यापर्यंत कण प्रवास करीत नाहीत.

### **ध्वनीचे प्रसारण (Propagation of sound)**

ध्वनीचे प्रसारण होण्यासाठी माध्यमाची आवश्यकता असते. ध्वनी ज्या पदार्थातून प्रसारित होतो त्या पदार्थाला ध्वनीचे माध्यम (Medium) म्हणतात.

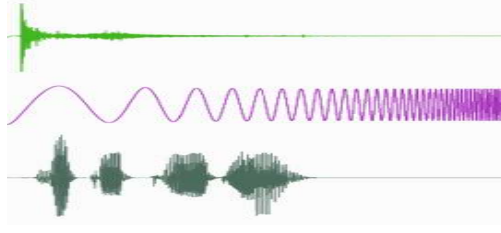
## ध्वनीच्या प्रसारणाची संकल्पना

ज्या वेळी ध्वनी एखाद्या माध्यमातून प्रसारित होतो तेव्हा, ज्या जागी कंपने तयार होतात. तेथून ध्वनीचे प्रसारण होते. सर्वप्रथम जिथे कंपन झाले आहे तेथील कण कंपनामुळे विचलीत होतात. (हालचाल होते). हे विचलीत कण त्यांच्या शेजारच्या कणावर बल प्रयुक्त करतात व पुन्हा आपल्या मूळ जागेवर येतात. पुन्हा समोरचा विचलीत कण त्याच्या पुढच्या कणावर बल प्रयुक्त करून मूळ स्थितीत येतो. अशा प्रकारे प्रत्येक कण आपल्या शेजारील कणावर बल प्रयुक्त करून पुन्हा आप-आपल्या जागेवर येतो. ध्वनीचे प्रसारण हे स्वतः कण करतात. परंतु ते त्यांच्या मूळ जागेवर राहूनच. ध्वनीचे प्रसारण हे तरंगांच्या (Waves) स्वरूपात होते. ज्या माध्यमात कण हे जितके जवळ असतात. तितक्या जलद गतीने ध्वनीचे प्रसारण होते. आपणास माहिती आहे स्थायू मधील कण अगदीच जवळ-जवळ असतात, म्हणून स्थायूमध्ये ध्वनीचा वेग सर्वाधिक असतो.



जेव्हा एखाद्या पदार्थात कंपनातून ध्वनी निर्माण होतो तेव्हा त्या लगतच्या हवेचे कण दाबले जातात म्हणजेच त्या कणांतील अंतर कमी होते व त्यांची घनता वाढते. त्यालाच संपीडने म्हणतात. संपीडनाच्या लगत असलेल्या हवेतील इतर कण परस्परांपासून दूर जातात त्यालाच विरलने म्हणतात. हेच संपीडने आणि विरलने हवेमुळे पुढे सरकतात आणि हवेतून अणूतरंगांच्या स्वरूपात ध्वनीचे प्रसारण घडून येते.

**तरंग (Waves)** - एखाद्या माध्यमातून ध्वनीचा आकृतिबंध प्रवास घडतो त्यालाच तरंग असे म्हणतात. या तरंगांनाच लवचिक तरंग किंवा यांत्रिक तरंग असे म्हणतात. पाण्यावर उठणारे तरंग, कंपित तार किंवा कंपित हवा यात निर्माण झालेले तरंग हे लवचिक किंवा यांत्रिक तरंग असतात.



## तरंगाचे प्रकार

### अनुतरंग (Longitudinal Waves)

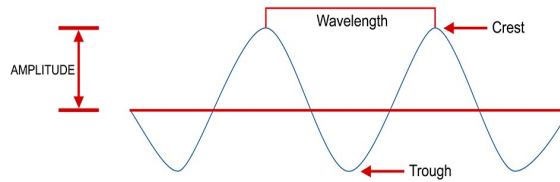
ज्या तरंगात कणाचे दोलन (Oscillation) पुढे आणि मागे होते आणि त्यांचे दोलन तरंग प्रसारणाच्या रेषेनुसार होते त्यांना “अनुतरंग” म्हणतात. म्हणजेच पुढे-मागे होणारे आणि प्रसरण रेषेच्या दिशेने होणारे दोलन म्हणता येईल.

### अवतरंग (Transverse waves)

ज्या तरंगात कणाचे दोलन मध्य स्थितीच्या वर आणि खाली होते आणि हे दोलन (oscillation) तरंग प्रसरणाच्या रेषेला लंब असते. थोडक्यात सांगायचे तर, जे तरंग वर-खाली व रेषेला लंब प्रकारे प्रसारित होतात त्याला अवतरंग म्हणतात.

## ध्वनी लहरींचे गुणधर्म

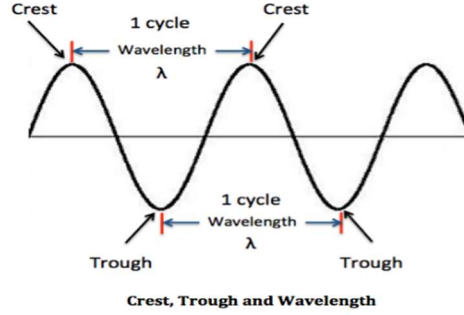
जेव्हा ध्वनितरंग माध्यमातून प्रसारित होतात तेव्हा माध्यमाची घनता आणि दाब यामध्ये बदल होतो. कणांची घनता व दाब संपीडनामध्ये जास्त असते तर विरलनामध्ये कमी असते. ध्वनिलहरींचा आलेख काढल्यास लहरींचा वरचा वक्र भाग म्हणजे संपीडने होय तर खालचा वक्र भाग म्हणजे विरलने होय. संपीडनमधील उंच बिंदू ला शिखरे म्हणतात तर विरलनमधील खोलगट बिंदूला द्रोणी असे म्हणतात.



## ध्वनी तरंगाविषयी काही महत्वाच्या संज्ञा

### तरंगलांबी (Wavelength)

अगदी लगतच्या दोन संपीडनातील किंवा लगतच्या दोन विरलनातील अंतरास तरंगलांबी (Wavelength) म्हणतात. तरंगलांबी ग्रीक भाषा लॅम्डा ( $\lambda$ ) ने दर्शवतात. SI एकक meter (m).



### 2) वारंवारता (Frequency)

एकक कालावधीत होणारी आंदोलनाची संख्या म्हणजेच तरंगाची वारंवारता होय. तरंगामध्ये जास्तीत जास्त घनतेपासून कमीतकमी घनतेपर्यंत आणि पुन्हा जास्तीत जास्त घनतेपर्यंत होणारा बदल म्हणजे एक आंदोलन (oscillation) होय. वारंवारतेचे SI पद्धतीत हर्ट्झ एकक असून Hz दर्शवतात. वारंवारता  $\nu$  (न्यू) दर्शवतात.  $1\text{ k Hz} = 1000\text{ Hz}$ ,  $1\text{ MHz} = 10^6\text{ Hz}$

### तरंग काल (Time Period of wave)

दोन लगतची संपीडने किंवा विरलने यांना ठराविक बिंदू पार करून जाण्यास लागणारा वेळ म्हणजे “तरंगकाल होय. याला आपण संपूर्ण एक आंदोलन होण्यासाठी लागणारा वेळ असेही म्हणू शकतो.

$$\text{तरंगकाल (T)} = 1 / \text{वारंवारता}$$

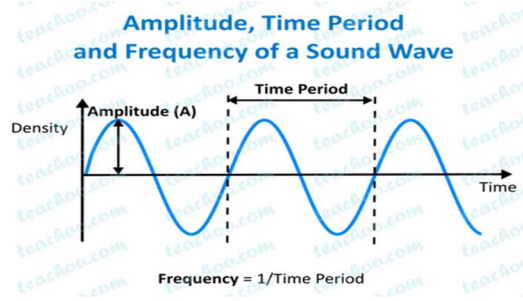
$$T = 1/\nu$$

## तीव्रता (Pitch)

ध्वनी स्रोताच्या कंपनांची वारंवारता म्हणजेच तीव्रता होय. जेवढी जास्त तीव्रता तेवढा ध्वनी कर्कश असतो व तीव्रता जेवढी कमी तेवढाच ध्वनी स्पष्ट ऐकू येतो. ध्वनी तीव्रतेचे एकक डेसिबल (dB) हे ग्रॅहम बेल या शास्त्रज्ञाच्या सन्मानार्थ ठेवले आहे. ध्वनीची तीव्रता जेव्हा दहा पटीने वाढते तेव्हा ध्वनी पातळी 10dB ने वाढते.

## आयाम (Amplitude)

माध्यमातील कणाचे मध्यस्थितीपासून कोणत्याही एका बाजूला होणारे जास्तीत जास्त विस्थापन म्हणजे “आयाम” होय. (आयाम कमी जास्त झाला तरी वारंवारता कायम राहते). आवाजाची उच्चता किंवा सौम्यता मूलतः त्याच्या आयामावर अवलंबून असते. उच्च ध्वनीच्या लहरींची उंची जास्त म्हणजेच आयाम जास्त आणि मृदू ध्वनीच्या लहरींची उंची म्हणजेच आयाम कमी असतो. आयाम ‘A’ या अक्षराने दर्शवतात.



ध्वनीची उच्चता (Loudness) म्हणजे ध्वनीला कानाने दिलेल्या प्रतिसादाचे मोजमाप होय.

ध्वनीची प्रखरता (Intensity) म्हणजे एकक कालावधीत एकक क्षेत्रफळातून जाणारी एकूण ध्वनी ऊर्जा होय. समान प्रखरता असलेल्या दोन ध्वनींची उच्चता वेगळी असते.

## ध्वनीचा वेग (Speed Sound)

तरंगातील संपीडने किंवा विरलने यांनी एकक कालावधीत कापलेले अंतर म्हणजे ध्वनीचा वेग होय. आपण पाहिले आहे की ध्वनीचा वेग कणांच्या अंतरावर अवलंबून आहे. ज्या माध्यमात कण अतिशय जवळ जवळ असतात. त्या माध्यमात ध्वनीचा वेग जास्त असतो. ध्वनी सर्वात जलद स्थायू मधून वाहतो. म्हणूनच ध्वनीच्या गतीचा माध्यमानुसार क्रम सर्वात जास्त पासून कमी पर्यंत; स्थायू > द्रव > वायू (Solid > Liquid > Gas). निर्वात पोकळी (vacuum) मध्ये ध्वनीचा वेग शून्य असतो. म्हणजेच निर्वातात प्रवास करू शकत

नाहीत. थंड हवेच्या ठिकाणी ध्वनी अधिक स्पष्ट ऐकू येतो, कारण ज्या माध्यमात कण जवळ-जवळ असतात त्या माध्यमात ध्वनीचा वेग जास्त असतो. थंड हवेच्या धुके पडते. ज्यामुळे हवेतील कण जवळ-जवळ येतात. वातावरणाची आर्द्रता (Humidity) वाढली की ध्वनीचा वेगही वाढतो. 'तरंगावरील संपीडन किंवा विरलनासारख्या एखाद्या बिंदूने एकक कालावधीत कापलेले अंतर म्हणजे ध्वनीचा वेग होय.'

$$\text{वेग} = \text{अंतर} / \text{काल}$$

$$\text{ध्वनीचा वेग} = \text{तरंगलांबी} / \text{तरंग काल}$$

म्हणूनच सारख्याच भौतिक स्थितीत दिलेल्या माध्यमातील सर्व वारंवारतांकरिता ध्वनीचा वेग जवळपास सारखाच असतो. जर एखाद्या माध्यमाचे तापमान वाढविले तर त्या माध्यमात ध्वनीचा वेग ही वाढतो. ध्वनीचा हवेतील सर्वसाधारणपणे वेग 340 m/s आहे. यावरून ध्वनी 1/10 सेकंदात 1/10 X 340 = 34 मी जातो.

### प्रतिध्वनी (Echo)

ज्याप्रमाणे प्रकाशाचे परावर्तन होते. तसेच ध्वनीचेही परावर्तन (Reflection) होऊ शकते. ध्वनीचे परावर्तन हे नियमाप्रमाणेच होते. 'प्रतिध्वनी म्हणजे मूळ ध्वनीची कोणत्याही पृष्ठभागावरून परावर्तनामुळे होणारी पुनरावृत्ती होय.' Echo बद्दल आपणास माहिती आहेच, थंड हवेच्या ठिकाणी ध्वनी पुन्हा पुन्हा ऐकू येतात.

### निनाद (Reverberation)

भिंतीवरून ध्वनी तरंगाचे पुन्हा-पुन्हा परावर्तन होऊन ध्वनीतरंग एकत्र येऊन सतत जाणवेल असा ध्वनी तयार होतो. त्याचा परिणाम ध्वनीचे सातत्य राहण्यात होतो यालाच "निनाद" म्हणतात. म्हणूनच निनाद कमी करण्यासाठी सभागृहांचे छत भिंती सामान्यतः क्रॉम्प्रेसड फायबर बोर्ड, खडबडीत गिलावा किंवा पडदे यासारख्या ध्वनी शोषक साहित्याने आच्छादित असतात.

**मानवाची श्रवण मर्यादा** - तसे पाहता ध्वनीच्या वास्तवतेवर ध्वनीचे तीन प्रकार पडतात.

1) **अवश्राव्य ध्वनि (Infrasonic)** - ज्या ध्वनीची वारंवारता 20 Hz पेक्षाही कमी असते त्या ध्वनीला अवश्राव्य ध्वनी म्हणतात. उदा. व्हेल मासे, हत्ती, गेंडा (5Hz) या प्राण्यामार्फत हे आवाज काढले जातात.

2) **मानवी श्रवण मर्यादा (Audible range)** - मानवी कानाची ध्वनी ऐकण्याची मर्यादा सुमारे 20 हर्ट्झ ते 20 हजार हर्ट्झ आहे.

3) **अतिश्राव्यातील ध्वनी (Ultrasonic)** - 20,000 Hz पेक्षा अधिक वारंवारता असणाऱ्या ध्वनीला अतिश्राव्यातील ध्वनी म्हणतात. उदा.: डॉल्फिन्स, वटवाघूळ, उंदीर हे प्राणी हा ध्वनी निर्माण करतात. तसेच कुत्रा अतिश्राव्यातील ध्वनी ऐकू शकतो.

**अतिश्राव्य ध्वनीचे उपयोग** - अतिश्राव्य ध्वनीची वारंवारता अतिशय जास्त असल्याने एका विशिष्ट मार्गाने अडथळ्यातून देखील प्रवास करू शकतात. त्यामुळे त्यांचा उपयोग कारखाने तसेच वैद्यकीय क्षेत्रात सर्वाधिक होतो. Echocardiography तंत्रज्ञानामध्ये हृदय स्पंदनांचा आलेख काढण्यासाठी याचा उपयोग होतो. आपल्या शरीरातील अंतर्गत अवयवांच्या प्रतिमा मिळविण्यासाठी sonography तंत्रज्ञानात याचा उपयोग होतो. यासाठी अल्ट्रासाउंड स्कॅनर हे उपकरण वापरतात. प्लास्टिक चे दोन पृष्ठभाग जोडण्यासाठी याचा उपयोग होतो. समुद्रामध्ये जहाजावरून जहाजावर संपर्क साधण्यासाठी तसेच समुद्राची खोली मोजण्यासाठी या ध्वनीचा उपयोग होतो. त्यांस SONAR तंत्रज्ञान असे म्हणतात.

**सोनार (SONAR)** - SONAR Sound Navigation And Ranging याचा उपयोग पाण्याखालील वस्तूंचे अंतर, दिशा आणि वेग काढण्यासाठी होतो. यामध्ये अतिश्राव्यातील ध्वनी (Ultrasonic waves) वापरतात. SONAR मध्ये प्रक्षेपक व शोधक असतात, जहाजावर किंवा बोटीवर बसवले जातात.

1) **प्रक्षेपक (Transmitter)** - याचे कार्य म्हणजे अतिश्राव्यातील ध्वनी निर्माण करणे आणि त्याचे प्रसरण करणे. पाण्यात प्रवास करताना; समुद्रतळाशी असलेल्या वस्तूवर आदळून तरंग परावर्तित (Reflect) होतात.

2) **शोधक (Detector)** - याद्वारे अतिश्राव्यातील ध्वनी तरंगाचे रूपांतर अशा विद्युतलहरीत होते की ज्यांचा सुयोग्य अर्थ व्यक्त केला जातो. या प्रक्रियेद्वारे एकूण काळ व वेग यावर अवलंबून आपणास समुद्राची खोली

काढता येते, पाण्याखालच्या टेकड्या, दर्या पाणबुड्या, हिमगिरी, बुडलेली जहाजे शोधण्यासाठी याचा उपयोग होतो.

$$\text{समुद्राची खोली} = \frac{\text{ध्वनीचा पाण्यातील वेग} \times \text{कालावधी}}{2}$$

**डॉप्लर परिणाम (Doppler Effect)** - डॉप्लर परिणाम हे निरीक्षक व ध्वनी निर्माण करणारे स्रोत यांच्या सापेक्ष गतीमुळे ध्वनी लहरीमधील होणारा बदलाचा परिणाम असतो. जेव्हा ध्वनीचा स्रोत आणि श्रोता किंवा निरीक्षक हे सापेक्ष गतिमान असतात तेव्हा ध्वनीच्या वारंवारतेत बदल होतो यालाच डॉप्लर प्रभाव म्हणतात. हि संकल्पना ख्रिस्तीयन डॉप्लर यांनी मांडली. डॉप्लर परिणामाचे उत्तम उदाहरण म्हणजे रेल्वे गाडीची शिष्टी होय. आपण प्लॅटफॉर्मवर उभे असतांना स्टेशनकडे वेगात येणाऱ्या गाडीने शिष्टी वाजवली तर शिष्टीच्या ध्वनीचा स्तर वाढतो आणि ती स्टेशनपासून दूर जातांना ध्वनीचा स्तर कमी होऊ लागतो.

### डॉप्लर प्रभावाचे उपयोग

कलर डॉप्लर सोनोग्राफी मध्ये शरीरातील उर्तीवरून परावर्तित झालेल्या अतिश्राव्य लहरी शरीरातील विविध द्रव तसेच रक्ताच्या वहनाच्या दराची माहिती देतात. वाहतूक पोलीस महामार्गावर वाहनांची गती तपासण्यासाठी वापरत असलेल्या स्पिड गनमध्ये डॉप्लर प्रभावाचा उपयोग होतो. डॉप्लर परिणामांचा खगोलशास्त्रामध्ये उपयोग होतो. एखादा तारा पृथ्वीच्या जवळ येत आहे किंवा दूर जात आहे याचा शोध घेण्यासाठी हा सिध्दांत उपयोगी पडतो. रडारमध्येही या डॉप्लर परिणामांचा उपयोग केला जातो.

**मानवी कर्ण (Human Ear)** - मानवी कर्णाचे मुख्य तीन भाग आहेत.

1) बाह्य कर्ण (External Ear); 2) मध्य कर्ण (Middle Ear); 3) आंतर कर्ण (Inner Ear)

बाह्य भाग ज्याला बाह्यकर्ण (Pinna) म्हणतात. याचे काम म्हणजे ध्वनी गोळा करणे व तो कानाच्या छिद्राद्वारे आत पाठवणे होय. मध्य कर्णाच्या सुरुवातीला पोकळीमध्ये एक पातळ पडदा असतो. (Tympanic membrane) यावर ध्वनी आदळतात आणि कंप पावतात. ध्वनीच्या तरंगातील संपीडन (compression) हा जास्त दाब व घनता असलेला भाग पडद्यावर पोहचतो व पडड्यावर दाब निर्माण होऊन पडदा आत ढकलल्या जातो. याउलट तरंगातील विरलन (Rarefaction) हा कमी दाब व घनता असलेल्या भागामुळे तो पडद्यावर पोहचताच पडदा बाहेर ढकलल्या जातो. अशा प्रकारे ध्वनीच्या तरंगाचे वहन पडदा पुढे-मागे होऊन



आंतरकर्णात ध्वनी पोहचतात. नंतर आंतरकर्णात ध्वनी पोहचल्यावर त्याचे वजन चेताद्वारे केले जाते. आंतरकर्णात गोलगायीच्या शंखाप्रमाणेच चक्राकार पोकळी असते तिला कर्णावर्त (cochlea) म्हणतात. तिच्यामुळे ध्वनीचा दर्जा व तीव्रता ओळखू येते. मध्य कर्णाच्या पडदयाद्वारे आलेले सर्व कंपने कर्णावर्त स्वीकारतो व याचे रूपांतर विद्युत लहरीत करतो. या विद्युत लहरीचे वहन ध्वनी विषयक मज्जातंतूद्वारे मेंदूकडे होते. त्यानंतर आपला मेंदू त्यांचा ध्वनीरूपात अर्थ व्यक्त करतो.