

শব্দ (Sound):

যে বাহ্যিক কারণ আমাদের কানের শ্রবন ইন্দ্রিয়ের ক্ষতির অনুভূতি জাগায় বা জাগাতে চেষ্টা করে তাকে শব্দ বলে। শব্দ এক প্রকার শক্তি যা কোন কম্পনশীল বস্তু থেকে উৎপন্ন হয়ে জড় মাধ্যমের সাহায্যে আমাদের কানে পৌঁছিয়ে শ্রতির অনুভূতি জাগায় বা জাগাতে চেষ্টা করে।

শব্দ যেভাবে উৎপন্ন হয় (Production of Sound):

বাতাসে কোন বস্তুর কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। তবে যদি এই শব্দের কম্পাঙ্ক 20Hz থেকে 20,000Hz পর্যন্ত হয় তবে আমরা উৎপন্ন শব্দ শুনতে পাই। আর যদি উৎপন্ন 20Hz এর কম বা 20,000Hz এর বেশী হয় তবে উৎপন্ন শব্দ আমরা শুনতে পাই না। এই জন্য 20Hz থেকে 20,000Hz পর্যন্ত কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট শব্দ তরঙ্গকে অডিও বা শ্রবনীয় শব্দ তরঙ্গ বলে।

শ্রাব্যতার সীমা, কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকোয়েন্সি, তরঙ্গ, আড় তরঙ্গ, লম্বিক তরঙ্গ, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, তরঙ্গ বেগ, বিস্তার, দোলন কাল, দশা, তরঙ্গ বেগ, শব্দের বেগ এবং কৌলিক কম্পাঙ্ক এর সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা:

শ্রাব্যতার সীমা (Limit of Audibility):

যে শব্দ আমরা শুনতে পাই তার কম্পাঙ্ক 20 Hz থেকে 20,000 Hz এর মধ্যে হয়। এ জন্য একে শ্রাব্যতার সীমা বলে। অর্থাৎ শ্রাব্যতার সীমা হল যে শব্দ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 20 Hz থেকে 20,000 Hz এর মধ্যে।

কম্পাঙ্ক (Frequency):

কোন কম্পমান বস্তু প্রতি সেকেন্ডে যতটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাকে তাকে ঐ কম্পমান বস্তুর কম্পাঙ্ক বলে। একে n বা f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকোয়েন্সীর একক Hz বা, cy/s ।

তরঙ্গ (Wave):

স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণা গুলির সমষ্টিগত কম্পনের ফলে সৃষ্ট আন্দোলনকে তরঙ্গ বলে। তরঙ্গ প্রধানত দুই প্রকার (1) আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (2) লম্বিক তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ

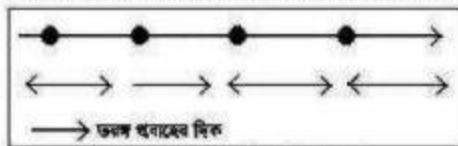
(1) আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (Transverse Wave):

যে সমস্ত তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণা গুলির কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সাথে সমকোণ বা লম্ব ভাবে হয় সেই সমস্ত তরঙ্গকে আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলে। আলোক তরঙ্গ অনুপ্রস্থ তরঙ্গের উদাহরণ।



(2) লম্বিক তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal Wave):

যে সমস্ত তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণা গুলির কম্পনের আতিমুখে বা সমান্তরালে তরঙ্গ প্রবাহিত হয় সেই সমস্ত তরঙ্গকে লম্বিক



আড় অনুপ্রস্থ বা লম্বিক তরঙ্গ

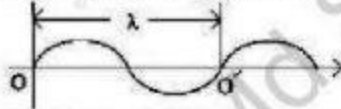
তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলে। শব্দ তরঙ্গ লম্বিক তরঙ্গের উদাহরণ।

আড় তরঙ্গ ও লম্বিক (দীঘল) তরঙ্গের পার্থক্য (Distinction between Transverse wave and longitudinal wave) :

ক্রমিক	আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ	লম্বিক বা দীঘল তরঙ্গ
১	স্থিতি স্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতিপথের সাথে সমকোণে প্রবাহিত হয় তবে ঐ তরঙ্গকে আড় তরঙ্গ বলে।	স্থিতি স্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতিপথের সাথে সমান্তরালে প্রবাহিত হয় তবে ঐ তরঙ্গকে লম্বিক তরঙ্গ বলে।
২	তরঙ্গ প্রবাহের ফলে মাধ্যমে তরঙ্গ চূড়া ও তরঙ্গ পাদ এর সৃষ্টি হয়।	তরঙ্গ প্রবাহের ফলে মাধ্যমে সংকুচিত স্তর ও প্রসারিত স্তর সৃষ্টি হয়।
৩	মাধ্যমে তরঙ্গ প্রবাহে সৃষ্ট পর পর দুটি তরঙ্গ চূড়া বা তরঙ্গ পাদ এর মধ্যবর্তী দূরত্বকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে।	তরঙ্গ প্রবাহে সৃষ্ট একটি সংকুচিত ও একটি প্রসারিত স্তর এর মিলিত দৈর্ঘ্যকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে।
৪	আকৃতির ধর্ম সম্পন্ন মাধ্যমে এই তরঙ্গের উৎপত্তি হয়।	আয়তনের স্থিতিস্থাপক ধর্ম সম্পন্ন মাধ্যমে এই তরঙ্গের উৎপত্তি হয়।
৫	মাধ্যমে এর সমবর্তন হতে পারে।	মাধ্যমে এর সমবর্তন হয় না।
৬	আড় তরঙ্গের গঠন চিত্র নিম্নরূপ 	লম্বিক তরঙ্গের গঠন চিত্র নিম্নরূপ 

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (Wave Length):

কম্পমান বস্তুর একটি পূর্ণ কম্পনে সৃষ্ট তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে। তরঙ্গ



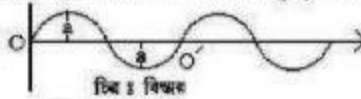
দৈর্ঘ্যকে λ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের একক মিটার বা ফিট। তরঙ্গ প্রবাহকালে তরঙ্গস্থিত একটি কণার N টি পূর্ণ কম্পনের সময় অবকাশে তরঙ্গ S দূরত্ব অতিক্রম করলে $\lambda = \frac{S}{N}$ হবে।

তরঙ্গ বেগ (Wave Velocity):

নির্দিষ্ট দিকে তরঙ্গ একক সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ বেগ বলে। একে V দ্বারা প্রকাশ করা হয়। t সময়ে নির্দিষ্ট দিকে কোন তরঙ্গ d দূরত্ব অতিক্রম করলে তরঙ্গ বেগ $V = \frac{d}{t}$ হবে। এর একক ms^{-1} ।

বিস্তার (Amplitude):

কোন একটি কম্পমান কণার সাম্যাবস্থান থেকে যে কোন একদিকে সর্বাধিক যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে এর বিস্তার বলে।



বিস্তারকে a দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিস্তার এর একক মিটার।

দোলনকাল বা পর্যায়কাল (Time Period):

কোন একটি মাধ্যমে একটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করতে কম্পনরত তরঙ্গ উৎসের যে সময় লাগে তাকে ঐ কম্পমান বস্তুর দোলনকাল বা পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। t সেকেন্ডে তরঙ্গ উৎস N টি পূর্ণ কম্পন দিলে দোলনকাল $T = \frac{t}{N}$ হবে।

দশা (Phase):

তরঙ্গের মধ্যে একটি কণার কোন মুহূর্তের অবস্থান এবং এর গতির অবস্থা ও দিক যা দ্বারা প্রকাশ করা হয় তাকে দশা বলে। এজন্য দশা কোন একটি কম্পমান বস্তুর অবস্থা প্রকাশ করে।

তরঙ্গ মুখ (Wave Front):

কোন তরঙ্গের উপরে অবস্থিত সমদশা সম্পন্ন কণা গুলি যে তলে অবস্থান করে তাকে তরঙ্গমুখ বলে। আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গ শীর্ষে ও তরঙ্গ পাদে অবস্থিত সকল কণা সম দশায় থাকে। অর্থাৎ তাদের দশা একই।

শব্দের বেগ (Velocity of Sound):

শব্দ একক সময়ে নির্দিষ্ট দিকে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে শব্দের বেগ বলে। একে V দ্বারা প্রকাশ করা হয়। t সময়ে d দূরত্ব অতিক্রম করলে বেগ $V = \frac{d}{t}$ হবে। এর একক ms^{-1} ।

কৌণিক কম্পাঙ্ক (Angular Frequency):

সময়ের সাথে দশার পরিবর্তনের হারকে কৌণিক কম্পাঙ্ক বলে। একটি পূর্ণ কম্পনে T সময়ে দশার পরিবর্তন 2π সুতরাং কৌণিক কম্পাঙ্ক $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ কৌণিক কম্পাঙ্কের একক rad s^{-1}

$v = f\lambda$ সম্পর্ক টি প্রমাণ অথবা, শব্দের বেগের সাথে কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক স্থাপন (Relation Between v and λ):

তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কোন কম্পনশীল কণার একটি পূর্ণ কম্পন দিতে যে সময় লাগে, সেই সময়কে পর্যায়কাল T বলে। T সময়ে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ বলে।

T সময়ে তরঙ্গ অতিক্রম করে λ দূরত্ব

\therefore একক সময়ে তরঙ্গ অতিক্রম করে $\frac{\lambda}{T}$ দূরত্ব

কিন্তু তরঙ্গ একক সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ বেগ বলে। তরঙ্গ বেগ v হলে

$$\therefore v = \frac{\lambda}{T}$$

আবার, কম্পনশীল বস্তু একক সময়ে যতগুলো পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাকে কম্পাঙ্ক বলে।

পর্যায়কাল T হলে, T সেকেন্ডে দেয় একটি দোলন ফলে। সেকেন্ডে দেয় $1/T$ টি দোলন।

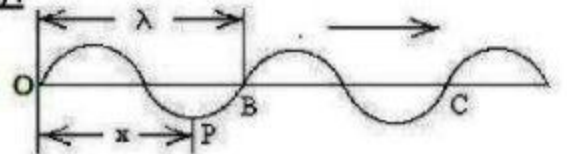
কম্পাঙ্ককে f দ্বারা প্রকাশ করলে,

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{সুতরাং } v = \frac{\lambda}{T} \text{ অর্থাৎ } v = f\lambda \text{ (প্রমাণিত)}$$

চলমান বা অগ্রগামী তরঙ্গ (Progressive wave or travelling wave):

কোন তরঙ্গ যদি বিস্তৃত মাধ্যমের এক স্তর হতে অন্যস্তরে ক্রমাগত সঞ্চালিত হয়ে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয় তবে সেই তরঙ্গকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে। মুক্ত বায়ুতে প্রবাহমান শব্দ তরঙ্গ এবং সাধারণ পানির তরঙ্গ অগ্রগামী লম্বিক তরঙ্গের উদাহরণ।



চলমান বা অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য:

- কোন মাধ্যমের একই প্রকার কম্পনে এই তরঙ্গের উৎপত্তি হয়।
- এর বেগ মাধ্যমের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভর করে।
- মাধ্যমের কণা গুলো কখনো স্থির থাকে না।
- তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমের বিভিন্ন অংশের চাপ ও ঘনত্বের একই প্রকার পরিবর্তন ঘটে।
- তরঙ্গ মুখের অভিলম্ব বরাবর শক্তি বহন করে এ তরঙ্গ প্রবাহিত হয়।
- মাধ্যমের প্রতিটি কণার কম্পাঙ্ক ও বিস্তার একই হয় এবং তারা একই ধরনের কম্পনে কম্পিত হয়।

চলমান (অগ্রগামী) তরঙ্গের সমীকরণ প্রতিপাদন কর বা, $y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ সমীকরণ প্রতিপাদন :

চলমান (অগ্রগামী) তরঙ্গের সমীকরণ (Equation of travelling or progressive wave) :

মাধ্যমের কণাগুলো সরল ছন্দিত স্পন্দিত হলে চলমান তরঙ্গের উদ্ভব হয়।

একটি কণা থেকে আন্দোলন পরবর্তী কণাতে পৌঁছতে কিছু সময় লাগে।

সুতরাং তরঙ্গের অভিমুখ বরাবর কণাগুলির দশার পরিবর্তন ঘটতে থাকে।

মনেকরি, একটি চলমান তরঙ্গ O থেকে C বরাবর এগুচ্ছে। [পার্শ্ব চিত্র]

যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলো সরল ছন্দিত স্পন্দনে এগুচ্ছে, সেহেতু O কণার গতিকে নিচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$y = a \sin \omega t$$

এখানে, $y = t$ সময়ে OBC রেখা বা সাম্যাবস্থা থেকে কণাটির সরণ।

a = কণার বিস্তার

ω = কণার কৌণিক কম্পাঙ্ক

যদি কণাটির কম্পাঙ্ক f হয় তবে $\omega = 2\pi f$

$$\therefore y = a \sin 2\pi ft \quad \text{---(1)}$$

আবার O কণাটি যখন সাম্যাবস্থা অতিক্রম করে তখন B কণাটিও একই দিকে সাম্যাবস্থা অতিক্রম করে। সুতরাং এরা সমদশা সম্পন্ন। সমদশা সম্পন্ন পরস্পর দুটি কণার মধ্যবর্তী দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ । এখানে $\lambda = OB$ । এখানে O বিন্দু থেকে B

বিন্দুতে যাওয়ার সময় দশার পরিবর্তন হয় 2π । অতএব, O বিন্দু থেকে x দূরত্বে P বিন্দুতে যাওয়ার সময় দশার পার্থক্য $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} x$

এখন P বিন্দুতে অবস্থিত কণার সরণ y হলে, $y = a \sin (\omega t - \phi)$

$$\Rightarrow y = a \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

$$\Rightarrow y = a \sin \left(2\pi ft - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \quad [\because \omega = 2\pi f]$$

$$\Rightarrow y = a \sin \left(\frac{2\pi vt}{\lambda} - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \quad [\because f = \frac{v}{\lambda}]$$

$$\Rightarrow y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$$

তরঙ্গ ডান দিক থেকে বাম দিকে গেলে কণাটির সরণ হবে, $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$

স্থির তরঙ্গ (Stationary wave):

কোন মাধ্যমের একটি সীমিত অংশে পরস্পর বিপরীত মুখী তরঙ্গের বিস্তার ও দোলনকাল যদি সমান হয় তবে এদের মিলিত ক্রিয়ায় ঐ অংশে যে নূতন তরঙ্গের উৎপত্তি হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।

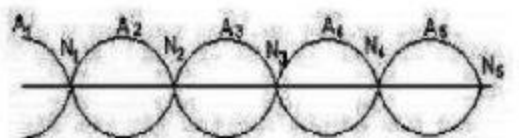
একটি টানা তারের কোথাও আঘাত করলে ঐ ধরনের তরঙ্গ তার বেয়ে দুই প্রান্তের দিকে অগ্রসর হয় এবং দুই প্রান্ত থেকে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে। উক্ত তারে সৃষ্ট তরঙ্গ একটি স্থির তরঙ্গের

উদাহরণ। স্থির তরঙ্গের কোন কোন বিন্দুর বিস্তার শূন্য এবং কোন কোন

বিন্দুর বিস্তার সর্বাধিক। যে বিন্দু গুলির বিস্তার সর্বাধিক [A চিহ্নিত বিন্দু গুলি]

তাদেরকে সুস্পন্দ বিন্দু এবং যে বিন্দুগুলির বিস্তার শূন্য [N চিহ্নিত বিন্দু গুলি]

তাদেরকে নিস্পন্দ বিন্দু বলে।



তরঙ্গের তীব্রতা

Intensity of wave

ধারণা : তরঙ্গ গতির মাধ্যমে শক্তি এক স্থান থেকে অন্যস্থানে সঞ্চারিত হয়। সঞ্চালনের পথে লম্বভাবে অবস্থিত কোনো নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত শক্তির পরিমাণ সময়ের উপর নির্ভর করে।

কোনো অগ্রগামী তরঙ্গের অভিমুখের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে একক সময়ে প্রবাহিত শক্তির পরিমাণকে ঐ তরঙ্গের তীব্রতা বলে। একে মাধ্যমের শক্তি-প্রবাহও বলে।

তরঙ্গের তীব্রতার একক হচ্ছে জুল/বর্গমিটার-সেকেন্ড ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$) বা ওয়াট/বর্গমিটার (Wm^{-2})

গাণিতিক রাশিমালা : কোন অগ্রগামী তরঙ্গের অভিমুখের সাথে লম্বভাবে A ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে t সময়ে E পরিমাণ শক্তি প্রবাহিত হলে তরঙ্গের তীব্রতা,

$$I = \frac{E}{At}$$

$$= \frac{E}{Ax} \times \frac{x}{t} \quad (\text{এখানে } x \text{ হল } t \text{ সময়ে তরঙ্গের অতিক্রান্ত দূরত্ব})$$

$$= \frac{E}{V} \times v \dots \dots \dots (\text{যেখানে আয়তন, } V = Ax \text{ এবং তরঙ্গের বেগ, } v = \frac{x}{t})$$

$$\text{বা } I = uv \dots \dots \dots (1)$$

যেখানে শক্তি ঘনত্ব $k = \frac{E}{V}$ । সুতরাং তরঙ্গের তীব্রতা হল শক্তি ঘনত্ব ও বেগের গুণফলের সমান। কিন্তু মাধ্যমের ঘনত্ব, ρ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, f ও তরঙ্গের বিস্তার, a হলে, শক্তি ঘনত্ব,

$$E = 2\pi^2 f^2 a^2 \rho \dots \dots \dots (2)$$

সুতরাং (৯.১৭) নং সমীকরণ থেকে পাই,

$$I = 2\pi^2 f^2 a^2 \rho v \dots \dots \dots (3)$$

যখন কম্পাঙ্ক f , ঘনত্ব ρ ও বেগ v ধ্রুবক, তখন

$$I \propto a^2$$

অর্থাৎ তরঙ্গের তীব্রতা তার বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।

উপরিপাতন নীতি

Principle of superposition

দুই বা ততোধিক তরঙ্গ যদি একই মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়, তরঙ্গগুলো পরস্পর নিরপেক্ষভাবে সঞ্চালিত হয়। যখন মাধ্যমের কোন বিন্দুতে একই সঙ্গে তরঙ্গগুলো আপতিত হয় তখন প্রত্যেক তরঙ্গের প্রভাবে সাম্যাবস্থা থেকে মাধ্যমের ঐ কণার সরণ হয়। এই কণার লব্ধি সরণ কী হবে তা নির্ণয়ের নিমিত্তে একটি নীতি প্রবর্তিত হয়। এর নাম তরঙ্গের উপরিপাতন নীতি। নীতিটি হল:

কোন মাধ্যমের কোন কণার উপর একই সময়ে একাধিক তরঙ্গ আপতিত হলে সাম্যাবস্থান হতে কণাটির লব্ধি সরণ তরঙ্গগুলোর জন্য কণাটির পৃথক সরণ ভেক্টর সমষ্টির সমান হবে।

দুটি তরঙ্গের জন্য মাধ্যমের কোন কণার সরণ একই দিকে হলে কণাটির লব্ধি সরণ হবে প্রত্যেক তরঙ্গ দ্বারা সৃষ্ট সরণের যোগফলের সমান। আবার তরঙ্গ দুটির জন্য মাধ্যমের কণার সরণ বিপরীত দিকে হলে লব্ধি সরণ হবে দুটি সরণের বিয়োগফলের সমান। একটি তরঙ্গের জন্য মাধ্যমের কোনো কণার সরণ y_1 ও অপর তরঙ্গের জন্য ঐ কণার সরণ y_2 হলে, লব্ধি সরণ

$$y = y_1 \pm y_2 \dots \dots \dots (8)$$

স্থির তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য:

- (ক) এই তরঙ্গ মাধ্যমের কোন একটি সীমিত অংশে উৎপন্ন হয়।
 (খ) অগ্রসর না হয়ে একই অংশে সীমাবদ্ধ থাকে।
 (গ) তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে কম্পনের বিস্তার সমান নয়।
 (ঘ) তরঙ্গের সুস্পন্দ বিন্দুর বিস্তার তরঙ্গ সৃষ্টিকারী মূল তরঙ্গের বিস্তারের দ্বিগুন-এর সমান।
 (ঙ) পর পর দুটি লুপের সরণ পরস্পর বিপরীত দিকে হয়।
 (চ) স্থির বিন্দু কণাগুলো ছাড়া সকল কণার গতি সরল ছন্দিত স্পন্দন গতি।

স্থির তরঙ্গের সমীকরণ প্রতিপাদন বা, $y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt$ সমীকরণ প্রতিপাদন :



স্থির তরঙ্গ: কোন মাধ্যমের একটি সীমিত অংশে সমান বিস্তার ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের দুটি চলমান তরঙ্গ একই মানের বেগে বিপরীত দিক থেকে অগ্রসর হয়ে একে অপরের উপর আপতিত হয়ে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।

একটি তারের এক প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে বেধে অন্য প্রান্ত ধরে উপর নিচে আড়াআড়িভাবে দোলালে একটি তরঙ্গ তার বেয়ে অগ্রসর হবে এবং বন্ধপ্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসবে। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ যখন নতুন চলমান তরঙ্গের উপর আপতিত হবে তখন স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হবে। এই তরঙ্গ তার বেয়ে অগ্রসর না হয়ে বরং তারের ঐ অংশের মধ্যে উৎপন্ন ও বিলুপ্ত হয়। তরঙ্গের উদ্ভবের সময় দেখা যায় যে, তারের কোন কোন জায়গায়, যেমন N_1, N_2, N_3 ইত্যাদি বিন্দুতে কোন স্পন্দন নেই, আবার কোন কোন জায়গায়, যেমন A_1, A_2, A_3 ইত্যাদি স্পন্দন সব সময় সর্বাধিক। যে সমস্ত বিন্দুতে কোন স্পন্দন নেই তাদেরকে নিস্পন্দ বিন্দু (Nodes) বলে এবং যে সমস্ত বিন্দুতে স্পন্দন সর্বাধিক সে সকল বিন্দুকে সুস্পন্দ বিন্দু (Antinodes) বলে।

মনে করি, একই বিস্তার a এবং একই তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ বিশিষ্ট দুটি চলমান তরঙ্গ বেগ v নিয়ে একই অক্ষ X বরাবর পরস্পর বিপরীত দিকে অগ্রসর হচ্ছে। যে তরঙ্গটি X অক্ষ বরাবর ডানদিকে গতিশীল তার জন্য x বিন্দুতে t সময়ে কোন কণার সরণ y_1 এবং বাম দিকে গতিশীল তরঙ্গের জন্য ঐ কণার সরণ y_2 হলে আমরা জানি,

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$$

$$\text{ও } y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x) \text{ সুতরাং কণাটির লব্ধি সরণ } y \text{ হবে}$$

$$y = y_1 + y_2$$

$$\Rightarrow y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) + a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$$

$$\Rightarrow y = a \left\{ \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) + \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x) \right\}$$

$$\Rightarrow y = 2a \left[\sin \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{vt - x + vt + x}{2} \right) \cos \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{vt - x - vt + x}{2} \right) \right]$$

$$\Rightarrow y = 2a \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} vt \right) \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

$$\therefore y = A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} vt \right) \dots \dots \dots (1) \text{ এখানে বিস্তার, } A = 2a \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

উপরোক্ত সমীকরণটি স্থির তরঙ্গ প্রকাশ করে। বিভিন্ন বিন্দুতে x এর মানের উপর নির্ভর করে বিস্তারের মান ও বিভিন্ন হবে।

সুস্পন্দ বিন্দুর শর্ত: যে সকল বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার সর্বাধিক অর্থাৎ $A = \pm 2a$ হবে সেই সকল সুস্পন্দ বিন্দু তৈরী হবে। অর্থাৎ যে সকল বিন্দুতে $\cos \frac{2\pi}{\lambda} x = \pm 1$ হবে সেই সকল বিন্দুতে সুস্পন্দ বিন্দু তৈরী হবে। সুতরাং যে সকল বিন্দুতে

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, \dots, n\pi, \text{ হবে। যেখানে, } (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{।}$$

$$\text{বা, } x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \dots, \frac{n\lambda}{2}, \text{ যেখানে, } (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{।}$$

$$\text{বা, } x = 0, \frac{2\lambda}{4}, \frac{4\lambda}{4}, \dots, \frac{2n\lambda}{4}, \text{ যেখানে, } (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{। সেই সকল বিন্দুতে সুস্পন্দ বিন্দু তৈরী}$$

হবে। সুতরাং স্থির তরঙ্গের যে সকল বিন্দু $\frac{\lambda}{4}$ এর জোড় গুনিতক দূরে অবস্থিত সেই সকল বিন্দুতে সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হবে।

নিষ্পন্দ বিন্দুর শর্ত: যে সকল বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার শূণ্য অর্থাৎ $A = 0$ হবে সেই সকল বিন্দুতে নিষ্পন্দ বিন্দু তৈরী হবে। অর্থাৎ যে সকল বিন্দুতে $\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$ হবে সে সকল বিন্দুতে নিষ্পন্দ বিন্দু তৈরী হবে। সুতরাং যে সকল বিন্দুতে

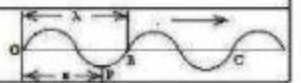
$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots, (2n+1)\frac{\pi}{2}, \text{ হবে। যেখানে, } (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{।}$$

$$\text{বা, } x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots, (2n+1)\frac{\lambda}{4}, \text{ যেখানে, } (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{। সেই সকল বিন্দুতে নিষ্পন্দ বিন্দু}$$

তৈরী হবে। সুতরাং যে সকল বিন্দু $\frac{\lambda}{4}$ এর বেজোড় গুনিতক দূরে অবস্থিত সেই সকল বিন্দুতে নিষ্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হবে।

স্থির ও চলমান (অগ্রগামী) তরঙ্গের পার্থক্য (Distinction between Stationary and progressive wave :

স্থির তরঙ্গ	চলমান (অগ্রগামী) তরঙ্গ
১। কোন মাধ্যমের একটি সীমিত অংশে পরস্পর বিপরীত মুখী তরঙ্গের বিস্তার ও দোলনকাল যদি সমান হয় তবে এদের মিলিত ক্রিয়ায় ঐ অংশে যে নতুন তরঙ্গের উৎপত্তি হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।	১। কোন তরঙ্গ যদি বিস্তৃত মাধ্যমের এক স্তর হতে অন্য স্তরে ক্রমাগত সম্বলিত হয়ে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয় তবে সেই তরঙ্গকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে।
২। তরঙ্গের নিষ্পন্দ বিন্দু ছাড়া অন্য বিন্দুর গতি সরল দোল গতি।	২। তরঙ্গস্থিত বিভিন্ন বিন্দুর গতি সরল দোল গতি।
৩। তরঙ্গের আকার এক স্থানে স্থির থাকে।	৩। তরঙ্গের আকার এক স্থানে স্থির থাকে না।
৪। তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমের কণা গুলি প্রত্যেক পূর্ণ কম্পনে দুইবার স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হয়।	৪। তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমের কণা গুলি কখনো স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হয় না।
৫। স্থির তরঙ্গের চিত্রঃ	৫। চলমান তরঙ্গের চিত্রঃ



$$\text{টানাতারে আড় কম্পনের বেগ: } V = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ বা, } f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ এর প্রমাণ:}$$

T টানে রাখা CC তারটিকে দৈর্ঘ্যের সাথে সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারে আড় কম্পনের উদ্ভব হবে। ফলে তারের বিচ্যুত অংশের শীর্ষ AEB একটি বৃত্তচাপের অংশ ধারণ করবে। চিত্র পার্শ্বী ধরি আড় তরঙ্গ বাম থেকে ডানে V বেগে প্রবাহিত হচ্ছে।

এখন শীর্ষ E এর নিকটস্থ বিন্দুর বৃত্তাকার গতির জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বল A ও B বিন্দুর টান T থেকে পাওয়া যায়। A ও B বিন্দুতে প্রযুক্ত টানদ্বয়ের PO বরাবর ক্রিয়াশীল প্রত্যেক উপাংশের মান $T \sin \theta$ । অর্থাৎ PO বরাবর মোট ক্রিয়াশীল বল $2T \sin \theta$ । PO-এর লম্ব বরাবর ক্রিয়াশীল T এর উপাংশ দুটি পরস্পর সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় পরস্পরকে নাকচ করে দেবে। এখন $AE = BE$ এবং AEB চাপের বক্রতার কেন্দ্র O, OA এবং OB যোগ করে A ও B বিন্দুতে দুটি স্পর্শক টানা হল। স্পর্শকদ্বয়কে পিছনে বর্ধিত করায় তারা OE-এর বর্ধিতাংশের উপর P বিন্দুতে মিলিত হয়।

ধরি $\angle AOE = \theta$, AEB চাপের দৈর্ঘ্য = S, তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর = μ , AEB চাপের বক্রতার ব্যাসার্ধ = R সুতরাং তারের উপর সুষ্পর্শ তরঙ্গ গতির সাপেক্ষে তারের বৃত্তাকার গতির জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বলের মান হবে

$$\frac{\mu SV^2}{R} = 2T \sin \theta$$

$$\Rightarrow \frac{\mu SV^2}{R} = 2T \theta$$

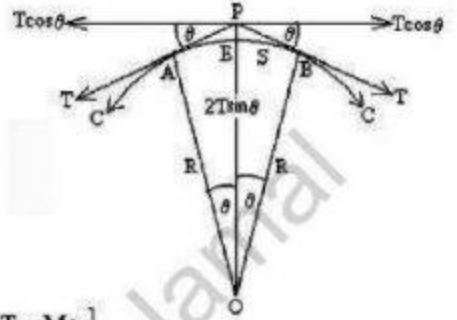
$$\Rightarrow \frac{\mu SV^2}{R} = 2T \frac{S/2}{R}$$

$$\Rightarrow V^2 = \frac{T}{\mu}$$

$$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{Mg}{\mu}} \dots \dots \dots (1) \quad [\text{যেহেতু } T = Mg]$$

[θ খুব ছোট]

$$\left[\because \theta = \frac{\text{চাপ AE}}{\text{ব্যাসার্ধ R}} = \frac{S/2}{R} \right]$$



যখন তারটি মূল সুর উৎপন্ন করে তখন $l = \frac{\lambda}{2}$ বা, $\lambda = 2l$ । কিন্তু আমরা জানি $V = f\lambda$ $\therefore V = 2fl$ $\dots \dots \dots (2)$

(1) নং সমীকরণে V এর মান বসিয়ে পাই,

$$2fl = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$\therefore \text{কম্পাঙ্ক } f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \dots \dots \dots (3) \quad (\text{প্রমাণিত})$$

তারটিকে টান টান রাখার জন্য প্রয়োজনীয় ভর M এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে এবং যদি তারের ব্যাসার্ধ r এবং ঘনত্ব ρ হলে

$$\mu = \pi r^2 \rho \dots \dots \dots (4)$$

\therefore সমীকরণ (3) ও (4) হতে পাই,

$$f = \frac{1}{2lr} \sqrt{\frac{Mg}{\pi \rho}} \dots \dots \dots (5)$$

(3) অথবা (৫) নং সমীকরণ হতে টানা তারের আড় কম্পনের সূত্র গুলো পাওয়া যায়।

মেলডিঁর পরীক্ষার সাহায্যে একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়:

তত্ত্ব:

একটি সুতার বা সরু তারের এক প্রান্তকে একটি সুরশলাকার এক বাহুতে বেঁধে এবং অপর প্রান্তকে একটি কণিকলের উপর দিয়ে কোন ওজন চাপালে তারটি টান টান অবস্থায় থাকবে। কম্পমান সুরশলাকা হতে দুই প্রকার তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায় :

১। যখন সুরশলাকার কম্পন তারের দৈর্ঘ্যের লব্ধ বরাবর হয় তখন তারে আড় তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। চিত্র (ক)। এই অবস্থায় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (N) এবং তারের কম্পাঙ্ক (f) এর সমান হয়

২। আবার, যখন সুরশলাকার কম্পন তারের দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল বরাবর হয় তখন তাকে লম্বিক তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। চিত্র (খ)। এই অবস্থায় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (N) এবং তারের কম্পাঙ্ক (f) দ্বিগুন হয়। অর্থাৎ $N = 2f$

আমরা জানি, সুতার টান T এবং সুতার একক দৈর্ঘ্যের ভর m হলে, সুতার যথা দিয়ে সঞ্চালিত আড়

$$\text{তরঙ্গের কম্পাংক, } f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (১)$$

$$\text{তারের নিম্নপ্রান্তে ঝুলানো ভর } M \text{ এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ } g \text{ হলে টান, } T = Mg \quad (২)$$

সমীকরণ (১.২৪) ও (১.২৫) হতে পাই,

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad (৩)$$

যদি কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য l এবং উৎপন্ন বৃত্তাংশ বা লুপের সংখ্যা s হয় তবে,

$$\lambda = \frac{2l}{s} \quad (৪)$$

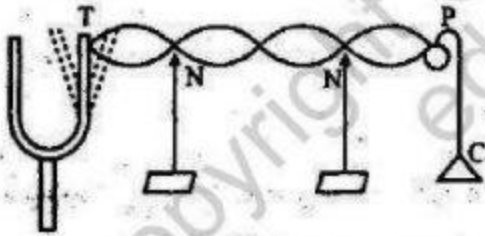
∴ সমীকরণ (৩) ও (৪) হতে পাই,

$$f = \frac{s}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad (৫)$$

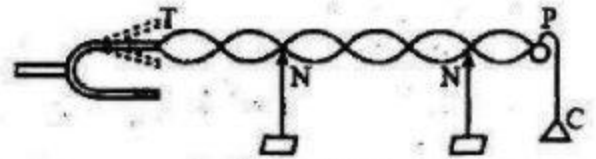
$$\text{আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে, } N = f = \frac{s}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad (৬)$$

$$\text{এবং লম্বিক তরঙ্গের ক্ষেত্রে, } N = 2f = \frac{s}{l} \sqrt{\frac{Mg}{m}} \quad (৭)$$

বস্তুপাতি (Apparatus) : মেলডির যন্ত্র, মিটার স্কেল, ওজন বাস্কসহ নিকি, পাল্লা, কপিকল, পিসসহ স্ট্যান্ড, ব্যাটারী, রোধ বাজ, প্রাণ চাবি, সরু তার (যেমন সুতা), রাবার প্যাড ইত্যাদি।



(ক) লম্বিক তরঙ্গ



(খ) আড় তরঙ্গ

চিত্র - ১ : মেলডির পরীক্ষা

কাজের ধারা (Experimental procedure) :

- ১। নিকির সাহায্যে মেলডির যন্ত্রের পাল্লার তর নির্ণয় করা হয়।
- ২। পরীক্ষণীয় সরু তারের বা সুতার এক প্রান্তকে সুরশলাকার কাঁটার সাথে এবং অপর প্রান্তকে কপিকলের উপর দিয়ে নিয়ে পাল্লার সাথে আটকানো হয়।
- ৩। এখন সুরশলাকাকে পরীক্ষা টেবিলের উপর রেখে ভরী নিকির সাহায্যে তারের সাথে আড়াআড়িভাবে বসানো হয় (চিত্র-(খ))।
- ৪। পাল্লার সামান্য ওজন বসিয়ে তারটিকে টান টান অবস্থায় রাখা হয়।

- ৫। ৬/৭ ভোল্টের একটি ব্যাটারি দ্বারা সুরশলাকার সাথে বৈদ্যুতিক বর্তনী যুক্ত করা হয়। বর্তনীতে প্রাণ চাষি বসিয়ে সুরশলাকার বাহুরের কম্পন সৃষ্টি করা হলে পরীক্ষণীয় তার কয়েকটি লুপ সৃষ্টি করে কাঁপতে থাকবে। এতে তারের মধ্যে তরঙ্গের সৃষ্টি হবে।
- ৬। সৃষ্ট তরঙ্গ স্পষ্ট না হওয়া পর্যন্ত কপিকলের অবস্থান পরিবর্তন করা হয় এবং পাল্লার ওজন কমানো-বাড়ানো হয়।
- ৭। দুটি পিন স্ট্যান্ড নিয়ে এদেরকে নিম্পন্দ বিন্দুর ঠিক নিচে বসানো হয়। মিটার স্কেলের সাহায্যে পিন দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব l নির্ণয় করা হয়। পিন দুটির লুপের সংখ্যা s নির্ণয় করা হয়। অতঃপর $\lambda = \frac{2l}{s}$ সূত্র দ্বারা তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।
- ৮। যত্নে পাল্লার ভর স্থির রেখে λ এর মান তিন বার নির্ণয় করা হয় এবং এদের গড় মান বের করা হয়।
- ৯। পাল্লার রাখা ভর কয়েক বার পরিবর্তন করে উপরোক্ত পদ্ধতিতে গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ -এর মান নির্ণয় করা হয়।
- ১০। পরীক্ষার ব্যবহৃত তারটি 100 cm দৈর্ঘ্যের ভর নির্ভর সাহায্যে নির্ণয় করে উক্ত ভরকে 100 দ্বারা ভাগ করে তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর m নির্ণয় করা হয়।
- ১১। সুরশলাকাকে ভারী ভিত্তির উপর লম্বিকভাবে রেখে (চিত্র ৯.৭ (ক)) উপরে বর্ণিত পদ্ধতিতে পাল্লার স্থাপিত বিভিন্ন ওজন বসিয়ে λ -এর মান নির্ণয় করা হয়।
- ১২। পরীক্ষায় প্রাপ্ত পাঠগুলোকে উপরের সূত্রে বসিয়ে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

পরীক্ষার উপাত্তসমূহ (Experimental data) :

তারের মোট দৈর্ঘ্য, $L = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$

100 cm তারের ভর $M' = \text{----- gm}$,

অভিকর্ষক ত্বরণ $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$
 $= 980 \text{ cms}^{-2}$

ছক নং - ১

[আড়া কম্পন N নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পাল্লার ওজন W_1 gm	পাল্লার স্থাপিত ওজন W_2 gm	মোট ওজন $M =$ $(W_1 + W_2) \text{ gm}$	টান $T = Mg$ dyne	লুপ সংখ্যা s	লুপগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব l cm	তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{2l}{s}$ m	তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর gm/cm	$N = f = \frac{1}{\lambda} \times \sqrt{\frac{Mg}{m}}$ Hz	গড় কম্পাঙ্ক N Hz
1										
2										
3										

ছক নং - ২

[লম্বিক কম্পন N নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পাল্লার ওজন W_1 gm	পাল্লার স্থাপিত ওজন W_2 gm	মোট ওজন $M = (W_1 + W_2)$ gm	টান $T = Mg$ dyne	লুপ সংখ্যা s	লুপগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব / cm	তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{2l}{s}$	তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর m gm/cm	$N = 2f = \frac{2}{\lambda} \times \sqrt{\frac{Mg}{m}}$ Hz	গড় কম্পাঙ্ক N Hz
1										
2										
3										

হিসাব ও গণনা (Calculation) :

তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর, $m = \frac{M'}{L} = \text{----- gm/cm}$ এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 980 \text{ cms}^{-2}$

আড়া কম্পনের ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক N,

$$(i) \quad N_1 = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}; \quad (ii) \quad N_2 = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}$$

$$(iii) \quad N_3 = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}$$

$$\text{গড় কম্পাঙ্ক, } N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} = \dots \text{ Hz}$$

লম্বিক কম্পনের ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক, N

$$(i) \quad N_1 = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}; \quad (ii) \quad N_2 = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}$$

$$(iii) \quad N_3 = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{m}} = \dots \text{ Hz}$$

$$\text{গড় কম্পাঙ্ক, } N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} = \dots \text{ Hz}$$

ফলাফল (Result) :

$$\text{প্রদত্ত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক } N = \frac{\dots + \dots}{2} = \dots \text{ Hz}$$

সতর্কতা (Precautions) :

- ১। সূতা বা তারটি সুস্থ হওয়া আবশ্যিক এবং তারের ভর সঠিকভাবে নেয়া হয়।
- ২। লুপের সংখ্যা সঠিকভাবে গণনা করা হয়।
- ৩। শলাকাদ্বয়কে যথাযথ অবস্থানে বসানো হল যাতে কম্পমান অংশের দৈর্ঘ্য সঠিক হয়।
- ৪। সর্ব তার ব্যবহার করা হয় এবং সূতার টান এমন বেশি না হয় যেন সূতা ছিঁড়ে যায়।

মুক্ত কম্পন: যে কোন আকার, গঠন বা আকৃতির বস্তুকে আন্দোলিত করলে তা একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক রক্ষা করে স্পন্দিত হয়। এই স্পন্দনকে নির্বাহ বা মুক্ত কম্পন বলে।

আরোপিত বা পরবশ কম্পন: কোন বস্তুর উপর আরোপিত পর্যাবৃত্ত স্পন্দনের কম্পাঙ্ক বস্তুর স্বাভাবিক কম্পনের কম্পাঙ্কের চেয়ে ভিন্নতর হলে বস্তুটি প্রথমে অনিয়মিতভাবে কম্পিত হয় পরে আরোপিত কম্পনের কম্পাঙ্কে কম্পিত হতে থাকে। এই ধরনের কম্পনকে আরোপিত বা পরবশ কম্পন বলে।

অনুনাদ বায়ুস্তম্ভ (Resonance Air Column): কোন একটি একমুখ খোলা নলের মধ্যে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের একটি স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক থাকে। এই কম্পাঙ্ক বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। এরূপ একটি খোলা নলের মুখে একটি কম্পমান টিউনিং ফর্ক ধরলে ফর্কের কম্পন বায়ুস্তম্ভে পরবশ কম্পন সৃষ্টি করে। ফর্কের কম্পাঙ্ক যদি বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্কের সমান হয় তবে বায়ুস্তম্ভ প্রবলভাবে কাঁপতে থাকে। একে অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ বলে।

শব্দের তীব্রতা (Intensity of Sound):

শব্দ সঞ্চালনের পথে লম্বভাবে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত শব্দ শক্তির পরিমাণ কে শব্দের তীব্রতা বলে। A ক্ষেত্রফলে প্রতি সেকেন্ডে শব্দ শক্তির পরিমাণ P হলে শব্দের তীব্রতা $I = \frac{P}{A}$ । এর একক Wm^{-2}

প্রমাণ তীব্রতা (Standard Intensity):

1000 Hz কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট $10^{-12} Wm^{-2}$ তীব্রতাকে প্রমাণ তীব্রতা বলে।

তীব্রতা লেবেল (Intensity Level):

কোন শব্দের তীব্রতা ও প্রমাণ তীব্রতার অনুপাতের লগারিদমকে বেল এককে এই শব্দের তীব্রতা লেবেল বলে। কোন শব্দের তীব্রতা I এবং প্রমাণ তীব্রতা I_0 হলে বেল এককে তীব্রতা লেবেল হবে, $\beta = \log \frac{I}{I_0}$ Bell
তীব্রতা লেবেলের একক বেল বা ডেসিবেল।

বেল বা ডেসিবেল (Bel or Desibel):

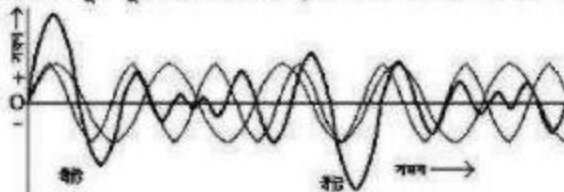
কোন শব্দের তীব্রতা ও প্রমাণ তীব্রতার অনুপাতের লগারিদমকে বেল এককে এই শব্দের তীব্রতা লেবেল বলে। তীব্রতা লেবেলের একক বেল বা ডেসিবেল। প্রমাণ তীব্রতা থেকে 10 গুন তীব্রতা সম্পন্ন কোন শব্দের তীব্রতা লেবেল কে 1 বেল বলে। এক বেলের দশ ভাগের এক ভাগকে এক ডেসিবেল বলে। কোন শব্দের তীব্রতা I এবং প্রমাণ তীব্রতা I_0 হলে ডেসিবেল এককে তীব্রতা লেবেল হবে, $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$ dB

বীট (Beat):

প্রায় সমান তীব্রতা এবং কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট দুটি উৎস থেকে একই সময় শব্দ উৎপন্ন করলে এরা পরস্পরের সাথে মিলে একটি লব্ধি শব্দ সৃষ্টি করে। এই লব্ধি শব্দের তীব্রতা কোন মুহূর্তে হ্রাস পায় এবং কোন মুহূর্তে বৃদ্ধি পায়। শব্দের তীব্রতার এই পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধিকে বীট বা স্বরকম্প বা অধিকম্প বলে। বীটকে N দ্বারা প্রকাশ করা হয়। দুটি কম্পনশীল বস্তুর কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 হলে এবং $n_1 > n_2$ হলে বীট $N = n_1 - n_2$ হবে। আর যদি $n_2 > n_1$ হয় তবে বীট $N = n_2 - n_1$ হবে। অর্থাৎ বীট $N = n_1 \sim n_2$ । দুটি কম্পনশীল বস্তুর কম্পাঙ্কের পার্থক্যই বীট।

বীট গঠনের কৌশল (Formation of Beat):

প্রায় সমান তীব্রতা ও কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট দুটি সুরশলাকা নেওয়া হয়। এখন এদেরকে রাবার প্যাডদ্বারা আঘাত করলে শব্দ



[চিত্র নং - ১]

উৎপন্ন হয়ে মাধ্যমের ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হতে থাকবে। এর ফলে মাধ্যমের কোন এক বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি কোন এক সময় সমদশায় মিলিত হবে [চিত্র নং - ১]। মাধ্যমের যে বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি একই দশায় মিলিত হয় সেখানে উপরি পাতনের ফলে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তরঙ্গ দুয়ের বিস্তারের যোগ ফলের সমান হবে ফলে শব্দের প্রাবল্য বেড়ে যাবে। চিত্রে তরঙ্গ দুটিকে সরু রেখা দ্বারা ও লব্ধি তরঙ্গকে মোটা রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে। যেহেতু সময়ের সাথে সাথে তরঙ্গদ্বয় এগিয়ে যায় তাই প্রতিনিয়ত তরঙ্গদ্বয়ের দশার পরিবর্তন হয়। তাই যখন বিপরীত দশায় মিলিত হবে তখন লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তরঙ্গ দুয়ের বিস্তারের বিয়োগ ফলের সমান হবে ফলে শব্দের প্রাবল্য কমে যাবে। এভাবে লব্ধি তরঙ্গের পর্যায় ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধি ঘটে বীট উৎপন্ন হয়।

গাণিতিক বিশ্লেষণের দ্বারা বীট সৃষ্টির ব্যাখ্যা (Mathematical Analysis of Beat):

মনেকরি সমান বিস্তার ও কম্পাঙ্কের সামান্য পার্থক্য বিশিষ্ট দুটি তরঙ্গ একই দিকে অগ্রসর হচ্ছে। t সময় পরে কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের সরণ যথাক্রমে Y_1 ও Y_2 হলে,

$$Y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$$

$$Y_2 = a \sin 2\pi n_2 t$$

এখানে, a = তরঙ্গের বিস্তার, n_1 ও n_2 হলো তরঙ্গ দুটির কম্পাঙ্ক ($n_1 > n_2$)

উপরিপাতনের নীতি অনুসারে, সময় t তে লব্ধি সরণ

$$Y = Y_1 + Y_2$$

$$\Rightarrow Y = a \sin 2\pi n_1 t + a \sin 2\pi n_2 t$$

$$\Rightarrow Y = a (\sin 2\pi n_1 t + \sin 2\pi n_2 t)$$

$$\Rightarrow Y = 2a \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right) t \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t$$

$$\Rightarrow Y = A \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right) t \dots\dots\dots (1)$$

(1) নং সমীকরণ সরল হ্রদিত স্পন্দন তরঙ্গের সমীকরণ যার বিস্তার $A = 2a \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t$

এখন লব্ধি বিস্তার A এর মান সর্বাধিক হবে অর্থাৎ $A = \pm 2a$ হবে যখন $\cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t = \pm 1$ হবে।

$$\Rightarrow 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t = 0, \pi, 2\pi, \dots\dots\dots m\pi \text{ ইত্যাদি}$$

$$\Rightarrow t = 0, \frac{1}{n_1 - n_2}, \frac{2}{n_1 - n_2}, \dots\dots\dots \frac{m}{n_1 - n_2} \text{ ইত্যাদি}$$

এ সময় শব্দ তরঙ্গের বিস্তার সবচেয়ে বেশী হবে অর্থাৎ $\pm 2a$ হবে।

আবার লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার সবচেয়ে কম হবে অর্থাৎ $A = 0$ হবে, যখন $\cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t = 0$ হবে।

$$2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots\dots\dots (2m+1) \frac{\pi}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3 \text{ ইত্যাদি})$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{2(n_1 - n_2)}, \frac{3}{2(n_1 - n_2)}, \frac{5}{2(n_1 - n_2)}, \dots\dots \text{ ইত্যাদি।}$$

এ সময় শব্দ তরঙ্গের বিস্তার সব চেয়ে কম হবে অর্থাৎ শূন্য হবে এবং শব্দ কানে শোনা যাবে না।

অতএব পরপর দুটি নিঃশব্দ অবকাশ = $\frac{3}{2(n_1 - n_2)} - \frac{1}{2(n_1 - n_2)} = \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড।

আবার পরপর দুটি প্রবল শব্দের অবকাশ = $\frac{1}{n_1 - n_2} - 0 = \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড।

অর্থাৎ $\frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ডে হয় 1 টি বীট

$\therefore \frac{1}{1} \quad " \quad " \quad (n_1 - n_2) \text{ টি বীট। অর্থাৎ বীট সংখ্যা কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান।}$

বীটের প্রয়োগ:**(ক) বীট গননা করে সুরশলাকার অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Determination of unknown frequency by counting Beat):**

অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের জন্য দুটি সুরশলাকা নেওয়া হয়। এদের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 । n_2 জানা আছে। n_1 অজানা কম্পাঙ্ক। n_1 নির্ণয় করতে হবে।

 $n_1 = \text{অজানা কম্পাঙ্ক}$  $n_2 = \text{জানা কম্পাঙ্ক}$ **পরীক্ষা পদ্ধতি (Procedure):**

প্রথমে সুরশলাকা দুটিকে একই সাথে আঘাত করে টেবিলের উপর ধরা হয়। বীট বা স্বরকম্প সৃষ্টি হলে প্রতি সেকেন্ডে বীট গননা করা হয়।

হিসাব ও গননা (Calculation):

মনেকরি প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন বীটের সংখ্যা = N

$$\therefore \text{আমরা পাই, } N = n_1 - n_2$$

এখন অজানা কম্পাঙ্ক n_1 জানা কম্পাঙ্ক n_2 অপেক্ষা ছোট বা বড় হতে পারে। সুতরাং অজানা কম্পাঙ্ক

$$n_1 = n_2 \pm N$$

এখন অজানা কম্পাঙ্ক n_1 এর মান $n_2 - N$ বা $n_2 + N$ কোনটি হবে তা নির্ণয়ের জন্য ভার বাড়ানো পদ্ধতি নিম্নে বর্ণিত হইল।

ভার বাড়িয়ে বা মোম লাগিয়ে: পরীক্ষাধীন সুরশলাকার গায়ে কিছু মোম লাগিয়ে শলাকা দুটিকে একত্রে শব্দায়িত করে প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন বীটের সংখ্যা গননা করা হয়। মোম লাগানোর ফলে সুর শলাকার ভার বাড়বে ফলে এর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক কমবে। এতে বীট N এর চেয়ে কমতেও পারে বাড়তেও পারে। এই পরীক্ষায় বীটের সংখ্যা N এর চেয়ে বাড়লে বুঝতে হবে অজানা কম্পাঙ্ক n_1 আগেই কম ছিল এখন মোম লাগানোর ফলে কম্পাঙ্ক আরও কমে যাওয়ায় দুই সুরশলাকার কম্পাঙ্কের পার্থক্য বৃদ্ধি পায়। ফলে $n_1 < n_2$ অতএব $n_1 = n_2 - N$ হবে। আবার মোম লাগানোর ফলে বীটের সংখ্যা N এর চেয়ে কমলে বুঝতে হবে অজানা কম্পাঙ্ক n_1 আগে বেশী ছিল এখন মোম লাগানোর ফলে কম্পাঙ্ক কমে যাওয়ায় দুই সুরশলাকার কম্পাঙ্কের পার্থক্য কমে যায়। ফলে $n_1 > n_2$ অতএব $n_1 = n_2 + N$ হবে।

সিদ্ধান্ত : অজ্ঞাত কম্পাঙ্কের সুর শলাকার গায়ে ভার যুক্ত করলে যদি বীটের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় তবে অজানা কম্পাঙ্ক জানা কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম হবে এবং বীটের সংখ্যা কম হলে অজানা কম্পাঙ্ক জানা কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশী হবে।

(খ) খনিতে দূষিত গ্যাসের অস্তিত্ব নির্ণয়: খনির দূষিত বায়ু এবং বিতৃষ্ণ বায়ু দ্বারা দুটি অর্গান নল পূর্ণ করে সুর উৎপন্ন করা যায়। দূষিত বায়ুর ঘনত্ব ভিন্ন হওয়ায় দুই অর্গান নল হতে সৃষ্ট সুরের কম্পাঙ্কের সামান্য পার্থক্য হবে। ফলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হবে। কিন্তু বায়ু বিতৃষ্ণ বায়ু হলে কোন স্বরকম্পের সৃষ্টি হবে না।

সুর (Tone) : কোন উৎস থেকে নিঃসৃত শব্দে যদি একটি মাত্র কম্পাঙ্ক থাকে তাহলে সেই শব্দকে সুর (Tone) বলে। যেমন, সুরশলাকা থেকে নিঃসৃত শব্দ, কারণ এর একটিই কম্পাঙ্ক।

স্বর (Note) :

কোন উৎস থেকে নিঃসৃত শব্দের মধ্যে যদি একাধিক কম্পাঙ্ক থাকে তাহলে সেই শব্দকে স্বর (Note) বলে। অর্থাৎ স্বর হচ্ছে একাধিক সুরের সমষ্টি। আমরা যে গান বাজনা শুনি তা স্বর, কারণ তা অনেকগুলো সুরের সমষ্টি।

মেলডি বা স্বরমাদুর্য (Melody):

যদি কয়েকটি শব্দ একের পর এক উচ্চারিত হয়ে একটি সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি করে তবে তাকে মেলডি বা স্বরমাদুর্য বলে।

শব্দের গুণ বা জাতি: (Quality or Timbre of sound):

যে বৈশিষ্ট্যের দ্বারা একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতার দুটি শব্দকে পরস্পর থেকে আলাদা করা যায় তাকে শব্দের গুণ বা জাতি বলে। এক সাথে কয়েকটি বাদ্যযন্ত্র যেমন বেহালা, গিটার, বাঁশি ইত্যাদি যদি একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতায় বাজানো হয় তাহলেও আমরা কোন সুরটি কোন্ যন্ত্রের তা আমরা সহজেই বুঝতে পারি। শব্দের গুণ বা জাতির জন্য এটা হয়ে থাকে।

মৌলিক সুর (Fundamental Tone):

কোন শব্দের মধ্যে বিদ্যমান সুর গুলোর মধ্যে যার কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম তাকে মূল সুর বা মৌলিক সুর বলে। যেমন কোন অর্গান থেকে নিঃসৃত নিম্নোক্ত কম্পাঙ্ক গুলো যথাক্রমে 256, 268, 502, 512, 620, 768, 1280 Hz। এর মধ্যে 256 Hz মূল সুর।

উপসুর ও হারমোনিক (Overtone and Harmonic):

কোন শব্দের মধ্যে বিদ্যমান সুর গুলোর মধ্যে যার কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম তাকে মূল সুর বা মৌলিক সুর বলে। অন্য সকল সুর যার কম্পাঙ্ক মূল সুরের চেয়ে বেশী তাদেরকে উপসুর বলে। যেমন কোন অর্গান থেকে নিঃসৃত নিম্নোক্ত কম্পাঙ্ক গুলো যথাক্রমে 200, 250, 400, 475, 600, 720, 800, 1280 Hz। এর মধ্যে 200 Hz মূল সুর। 200 Hz কম্পাঙ্ক ছাড়া অন্য সকল কম্পাঙ্ক যেমন 250, 400, 475, 600, 720, 800, 1280 Hz কম্পাঙ্ক উপসুর। আবার উপ সুর গুলোর কম্পাঙ্ক যদি মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হয়, তাহলে সেই সকল উপসুরকে সম্মেল বা হারমোনিক বলে, যেমন 200 Hz এর দ্বিগুন 400 Hz, ত্রিগুন 600 Hz, চার গুন 800 Hz, কাজেই 400 Hz, 600 Hz ও 800 Hz কম্পাঙ্ক গুলি হারমোনিক। ফলে সকল হারমোনিক উপসুর কিন্তু সকল উপসুর হারমোনিক নয়। উপসুর যদি মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুন হয় তবে দ্বিতীয় হারমোনিক, ত্রিগুন হলে তৃতীয় হারমোনিক, চারগুন হলে চতুর্থ হারমোনিক ইত্যাদি বলে। আবার কোন সুরের কম্পাঙ্ক যদি অন্য একটি সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুন হয় তাহলে দ্বিতীয়টিকে প্রথমটির অষ্টক (Octave) বলে যেমন, 400 Hz, 200 Hz এর অষ্টক, 800 Hz, 400 Hz এর অষ্টক।

সুর যুক্ত ও সুর বর্জিত শব্দ (Musical Sound and Noise):

যে সমস্ত শব্দ আমাদের শ্রবণে ভাল লাগে তাদেরকে আমরা সুশ্রাব্য বা সুসমৃদ্ধ শব্দ বলে। আবার যে গুলো আমাদের কাছে বিরক্তিকর অবস্থার সৃষ্টি করে তাদেরকে কলরব বা সুর বর্জিত শব্দ বলে।

সুর বিরাম (Musical Interval): দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাতকে সুর বিরাম বলে। ধরা যাক, A, B, ও C তিনটি সুরের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f_1, f_2 ও f_3 ইত্যাদি। তা হলে, B ও A এর মধ্যে সুর বিরাম = $\frac{f_2}{f_1}$ C ও B এর মধ্যে সুর বিরাম = $\frac{f_3}{f_2}$ এই অবস্থায় C ও A এর

মধ্যে সুর বিরাম হবে, $\frac{f_3}{f_1} = \frac{f_3}{f_2} \times \frac{f_2}{f_1}$ সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, দুটি শব্দের সুর বিরাম এদের মধ্যবর্তী সুর বিরাম গুলোর গুন ফলের সমান।

সমতান (Harmony): কতগুলো শব্দ যদি এক সঙ্গে উৎপাদন হয়ে একতানের সৃষ্টি করে, তবে তাকে সমতান বলে।

স্বরধাম (Musical Scale): স্বরধাম বলতে আমরা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক বা তীক্ষ্ণতার কয়েকটি সাজানো সুরকে বুঝি। যে কোন সুর ও তার অষ্টক বা দ্বিগুন কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরের মধ্যে কয়েকটি নির্দিষ্ট সুর আমাদের কানে সহজে সাড়া দেয়। এই সুর গুলোর মধ্যে সমসংগতি বজায় থাকে বলে এরা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন হয়। এরূপ সমসংগতিপূর্ণ সুরসমষ্টিকে স্বরধাম বলে। স্বরধামের সবচেয়ে ছোট কম্পাঙ্কের সূচনা সুরকে টোনিক বা প্রধান সুর বলে। এই স্বরধামে আটটি ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কের সমসংগতিপূর্ণ সুর থাকে বলে একে ডায়াটোনিক স্বরধাম বলে। বাংলায় গুলো যথাক্রমে সা রে গা মা পা ধা নি সা।

আড় বাঁশির কম্পনের মূল নীতি বা দুই মুখ খোলা নলের একটি খোলা মুখে আলোড়ন সৃষ্টি করলে এর মধ্যস্থ বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি (Vibration of Air Column in a Open Pipe):

উভয় মুখ খোলা নলের এক প্রান্তে ফুঁ দিলে বা আলোড়ন সৃষ্টি করলে নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভের মধ্যদিয়ে শব্দ লম্বিক তরঙ্গাকারে অন্য প্রান্তে সঞ্চারিত হয়। অন্য প্রান্তে উপস্থিত হলে এই তরঙ্গ হঠাৎ প্রসারিত হওয়ার সুযোগ পায়। এই কারণে নলের খোলা মুখে সর্বদা সুস্পন্দ বিন্দু (A) এবং কম্পন ভেদে নলের মাঝখানে এক বা একাধিক নিস্পন্দ বিন্দু (N) চিত্রানুযায়ী সৃষ্টি হবে। বায়ুস্তম্ভের সহজতর কম্পনে [চিত্র নং-(ক)] দুই মুক্ত প্রান্তে সুস্পন্দ বিন্দু এবং দুই

সুস্পন্দ বিন্দুর মাঝে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকবে। এক্ষেত্রে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_0 এবং

নলের দৈর্ঘ্য l ও হলে কম্পাঙ্ক N_0 হলে $l = \frac{\lambda}{2} \therefore \lambda_0 = 2l \dots\dots(1)$

এবং $N_0 = \frac{V}{\lambda_0} = \frac{V}{2l} \dots\dots\dots(2)$ [$\because V = \lambda N$]

এখানে V শব্দের বেগ। নলের এই সুরই মূল সুর বা প্রথম হারমোনিক।

এই নলে আরও জোরে ফুঁ দিলে নলের বায়ুস্তম্ভে স্ট্র লম্বিক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

হ্রাস পাবে এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পন বৃদ্ধি পাবে। বায়ুস্তম্ভের ২য় সম্ভাব্য কম্পনে

[চিত্র নং-(খ)] মোট তিনটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং মাঝ খানে দুটি নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। ধরি বায়ু স্তম্ভের এই কম্পনে স্ট্র সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_1 এবং কম্পাঙ্ক N_1 , তাহলে $l = \lambda_1 \therefore \lambda_1 = \frac{2l}{2} = \frac{\lambda_0}{2}$ এবং $N_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V}{\lambda_0/2} = \frac{2V}{\lambda_0} = 2N_0$ এই-সুরকে প্রথম উপসুর

বা দ্বিতীয় হারমোনিক বলে।

তৃতীয় সম্ভাব্য কম্পনে [চিত্র নং-(গ)] মোট চারটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং মাঝ খানে তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। কাজেই এই

কম্পনে স্ট্র সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_2 এবং কম্পাঙ্ক N_2 , হলে $l = \frac{3\lambda_2}{2} \therefore \lambda_2 = \frac{2l}{3} = \frac{\lambda_0}{3}$ এবং $N_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{V}{\lambda_0/3} = \frac{3V}{\lambda_0} = 3N_0$ এই

সুরকে দ্বিতীয় উপসুর বা তৃতীয় হারমোনিক বলে।

উপরোক্ত সমীকরন থেকে দেখা যায় যে, দুই মুখ খোলা নলে যে সমস্ত সুর সৃষ্টি হয় তাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda_n = \frac{2l}{n+1} = \frac{\lambda_0}{n+1}$ এবং

কম্পাঙ্ক $N_n = \frac{V}{\lambda_n} = \frac{V(n+1)}{2l} = (n+1)N_0$ হবে। এখানে $n = 0, 1, 3, \dots\dots$ ইত্যাদি যে কোন পূর্ণ সংখ্যা। দুই মুখ খোলা নলে

বেজোড় ও জোড় সকল প্রকার হারমোনিক উৎপন্ন হতে পারে।

বদ্ধ অগুন নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি বা এক মুখ বদ্ধ নলের খোলা মুখে আলোড়ন সৃষ্টি করলে এর মধ্যস্থ বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি (Vibration of Air Column in a Closed Pipe):

এক মুখ বদ্ধ নলের খোলা মুখে ফুঁ দিলে বা আলোড়ন সৃষ্টি করলে নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভের মধ্যদিয়ে শব্দ লম্বিক তরঙ্গাকারে বদ্ধ

মুখের দিকে সম্বলিত হবে এবং বদ্ধ মুখ থেকে প্রতিফলিত হয়ে খোলা মুখের দিকে অগ্রসর হবে। ফুঁ এর মূল স্পন্দন ও বায়ুস্তম্ভের

কম্পনের মধ্যে অনুনাদ হলে বায়ুস্তম্ভ অধিক বিস্তারে কাঁপতে থাকে এবং সুর জোরালো হবে। এই অবস্থায় নলের খোলা মুখে সর্বদা

একটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) এবং বদ্ধ মুখে একটি নিস্পন্দ বিন্দু (N) চিত্রানুযায়ী সৃষ্টি হবে। বায়ুস্তম্ভের কম্পন অনুসারে নলের ভিতর

একাধিক সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হতে পারে। বায়ুস্তম্ভের সহজতর কম্পনে [চিত্র নং-(ক)] শুধুমাত্র বদ্ধ মুখে একটি নিস্পন্দ

বিন্দু ও খোলা মুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। কিন্তু পরস্পর সংলগ্ন

একটি নিস্পন্দ বিন্দু ও একটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব তরঙ্গ

দৈর্ঘ্যের $\frac{1}{4}$ অংশের সমান। সুতরাং নলের দৈর্ঘ্য l এবং কম্পনে স্ট্র

শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_0 ও কম্পাঙ্ক N_0 হলে $l = \frac{\lambda}{4} \therefore \lambda_0 = 4l \dots\dots(1)$

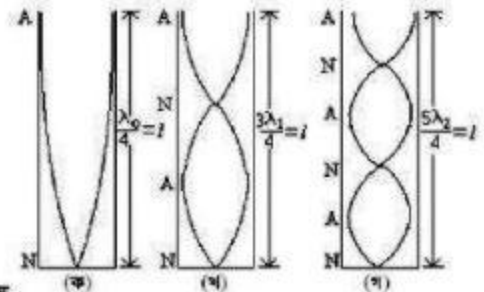
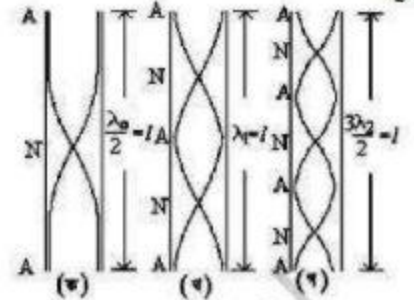
এবং $N_0 = \frac{V}{\lambda_0} = \frac{V}{4l} \dots\dots\dots(2)$ [$\because V = \lambda N$]

এখানে V শব্দের বেগ। নলের এই সুরই মূল সুর বা প্রথম হারমোনিক।

এই নলে আরও জোরে ফুঁ দিলে নলের বায়ুস্তম্ভে স্ট্র লম্বিক তরঙ্গের দৈর্ঘ্য হ্রাস

পাবে এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পন বৃদ্ধি পাবে। বায়ুস্তম্ভের ২য় সম্ভাব্য কম্পনে [চিত্র নং-(খ)] খোলা মুখের সুস্পন্দ বিন্দু এবং বদ্ধ মুখের

নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ও একটি নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। ধরি বায়ু স্তম্ভের এই



তরঙ্গ

১৭

কম্পনে সৃষ্ট সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_1 এবং কম্পাঙ্ক N_1 , তাহলে $l = \frac{3\lambda_1}{4} \therefore \lambda_1 = \frac{4l}{3} = \frac{\lambda_0}{3}$ এবং $N_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V}{\lambda_0/3} = \frac{3V}{\lambda_0} = 3N_0$ এই

সুরকে প্রথম উপসুর বা তৃতীয় হারমোনিক বলে।

নলের সম্ভাব্য কম্পনে [চিত্র নং-(গ)] খোলা মুখের সুস্পন্দ বিন্দু এবং বন্ধ মুখের নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ও দুটি নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। কাজেই এই কম্পনে সৃষ্ট সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_2 এবং কম্পাঙ্ক N_2 , হলে $l = \frac{5\lambda_2}{4} \therefore \lambda_2 = \frac{4l}{5} = \frac{\lambda_0}{5}$

এবং $N_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{V}{\lambda_0/5} = \frac{5V}{\lambda_0} = 5N_0$ এই সুরকে দ্বিতীয় উপসুর বা পঞ্চম হারমোনিক বলে।

উপরোক্ত সমীকরন থেকে দেখা যায় যে, একমুখ বন্ধ নলে যে সমস্ত সুর সৃষ্টি হয় তাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda_0 = \frac{4l}{(2n+1)}$ এবং কম্পাঙ্ক

$N_n = \frac{V}{\lambda_0} = \frac{V(2n+1)}{4l} = (2n+1)N_0$ এখানে $n = 0, 1, 3, \dots$ ইত্যাদি যে কোন পূর্ণ সংখ্যা। এক মুখ বন্ধ নলে শুধুমাত্র

বেজোড় হারমোনিক গুলি উৎপন্ন হতে পারে অর্থাৎ ২য়, ৪র্থ, ৬ষ্ঠ ইত্যাদি হারমোনিক গুলি অনুপস্থিত থাকে।