

তরঙ্গ/শব্দ

প্রশ্ন→(১) শব্দ কি? শব্দের উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর। শ্রাব্যতা সীমা কি।

উত্তর: শব্দ (Sound) : শব্দ এক প্রকার শক্তি যা কোন কম্পমান বস্তু হতে উৎপন্ন হয়ে জড় মাধ্যমের সাহায্যে আমাদের কানে শ্রবনের অনুভূতি জন্মায় বা জন্মাতে চেষ্টা করে।

শব্দের উৎপত্তিঃ শব্দ উৎপত্তির মূল কারণ হল বস্তুর কম্পন। কম্পমান বস্তু তার চারপাশের মাধ্যমে তরঙ্গ সৃষ্টি করে অতঃপর এই তরঙ্গ মাধ্যমে সঞ্চালিত হয়ে কানে শ্রবণের অনুভূতি জন্মায়। তবে সকল কম্পন বা তরঙ্গ আমাদের কানে শ্রবণের অনুভূতি জন্মাতে পারে না। বস্তুর কম্পাঙ্ক $20Hz$ থেকে $20.000Hz$ এর মধ্যে থাকলে যে শব্দ উৎপন্ন হয়, তা আমরা শুনতে পাই। কম্পনের এই সীমাকে শ্রাব্যতা সীমা বলে। এই কম্পনের শব্দকে শ্রব্য শব্দ বলে।

কম্পাঙ্ক $20Hz$ এর কম হলে আমরা শব্দ শুনতে পাই না, এই কম্পনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গকে শব্দের তরঙ্গ বা ইনফ্রাসনিক তরঙ্গ বা অবশ্রব্য বলে। আবার বস্তুর কম্পন $20.000Hz$ এর বেশী হলে সে শব্দও আমরা শুনতে পাই না, এই কম্পনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গকে শব্দের তরঙ্গ বা সুপারসনিক বা আলট্রাসনিক তরঙ্গ বলে।

প্রশ্ন→(২) সংজ্ঞাসহ ব্যাখ্যা কর: (i) শব্দের তীব্রতা (ii) প্রমাণ তীব্রতা (iii) শব্দোচ্চতা (iv) তীব্রতা লেভেল (v) বেল ও ডেসিবেল।

উত্তর: (i) শব্দের তীব্রতা (Intensity of sound) : শব্দ সঞ্চালনের পথে লম্বভাবে স্থাপিত বা কল্পিত কোন তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শব্দ শক্তি প্রবাহিত হয় তাকে শব্দের তীব্রতা বলে। একে I দ্বারা প্রকাশ করা হয়। শব্দের তীব্রতার একক $Js^{-1}m^{-2}$ বা $wattm^{-2}$ ।

(ii) প্রমাণ তীব্রতা (Standard Intensity): যে শব্দের তীব্রতা $10^{-12} watt m^{-2}$ সেই শব্দের তীব্রতাকে বলা হয় প্রমাণ তীব্রতা। প্রমাণ তীব্রতাকে I_0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই শব্দের কম্পাঙ্ক $1000Hz$ । এর সাপেক্ষে অন্যান্য শব্দের তীব্রতা লেভেল মাপা হয়।

(iii) শব্দোচ্চতা (Loudness): যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা একটি শব্দ অন্য একটি শব্দ অপেক্ষা কত বেশী জোড়ালো তা বুঝা যায় তাকে শব্দোচ্চতা বলে। ইহা ব্যক্তি নির্ভর। ইহা শব্দের তীব্রতার উপর নির্ভর করে। কোন শব্দের শব্দোচ্চতা S এবং তীব্রতা I হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হবে, $S \propto \log_{10} I$ বা, $S = k \log_{10} I$ ।

(iv) শব্দের তীব্রতা লেভেল (Level of sound): কোন শব্দের শব্দোচ্চতা এবং প্রমাণ তীব্রতা বিশিষ্ট শব্দের শব্দোচ্চতার পার্থক্যকে ঐ শব্দের তীব্রতা লেভেল বলে। যদি কোন একটি শব্দের শব্দোচ্চতা = S এবং প্রমাণ তীব্রতা বিশিষ্ট শব্দের শব্দোচ্চতা = S_0 হয় তাহলে উক্ত শব্দের তীব্রতা লেভেল, $\beta = S - S_0$ ।

এখন যদি আলোচ্য শব্দটির তীব্রতা = I এবং প্রমাণ তীব্রতা = I_0 হয় তাহলে $S = k \log_{10} I$ এবং $S_0 = k \log_{10} I_0$ । অতএব, শব্দটির তীব্রতা লেভেল, $\beta = k \log_{10} I - k \log_{10} I_0 = k \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$ । $k = 1$ হলে তীব্রতা লেভেল β এর একক হবে বেল (B)।

(v) বেল ও ডেসিবেল : কোন শব্দের তীব্রতা ও প্রমাণ তীব্রতার অনুপাতের দশ ভিত্তিক লগারিদম নিলে যে তীব্রতা লেভেল পাওয়া যায় তাকে বেল এককে উক্ত শব্দের তীব্রতা লেভেল বলে। অর্থাৎ $\beta = \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) B$ ।

‘আবার বলা যায়, শব্দের তীব্রতা 10 গুণ বৃদ্ধি পেলে শব্দোচ্চতা যে পরিমাণ বাড়ে তাকে এক বেল বলে।

ডেসিবেল: শব্দের তীব্রতা 10^{-1} গুণ বৃদ্ধি পেলে শব্দোচ্চতা যে পরিমাণ বাড়ে তাকে এক ডেসিবেল বলে। অর্থাৎ $\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) dB$ ।

প্রশ্ন→(৩) সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দ বলতে কি বুঝ? এদের মধ্যে পার্থক্য কর।

উত্তর: সুরযুক্ত শব্দ (Musical sound) : নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত এবং নিরবিচ্ছিন্ন কম্পনের ফলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাকে সুরযুক্ত শব্দ বা সুশ্রাব্য বলে। ইহা কানে আনন্দের অনুভূতি জন্মায়। যেমন-সুরশলাকা, পিয়ানো, বেহালা, বাঁশি ইত্যাদি হতে নির্গত শব্দ।

সুরবর্জিত শব্দ (Noise): অনিয়মিত, অপার্যাবৃত্ত এবং ক্ষণস্থায়ী কম্পনের ফলে যে শব্দের সৃষ্টি হয় তাকে সুরবর্জিত শব্দ বা অপসুর বা শ্রুতিকটু শব্দ বলে। ইহা বিরক্তিকর ও পীড়াদায়ক। যেমন-হাতুড়ির শব্দ, গাড়ির হর্ণ ইত্যাদি।

সুরযুক্ত ও সুর বর্জিত শব্দের মধ্যে পার্থক্যঃ

সুরযুক্ত শব্দ	সুরবর্জিত শব্দ
১। ইহা শ্রুতিমধুর ও আরামদায়ক।	১। ইহা বিরক্তিকর ও পীড়াদায়ক।
২। শব্দ উৎসের নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত এবং নিরবিচ্ছিন্ন কম্পনের ফলে ইহা সৃষ্টি হয়।	২। শব্দ উৎসের অনিয়মিত, অপার্যাবৃত্ত এবং ক্ষণস্থায়ী কম্পনের ফলে ইহা সৃষ্টি হয়।
৩। এই শব্দের তিনটি বৈশিষ্ট্য রয়েছে।	৩। এই শব্দের এরূপ কোন বৈশিষ্ট্য নেই।
৪। সুরশলাকা, পিয়ানো, বেহালা, বাঁশি ইত্যাদির শব্দ হল সুরযুক্ত শব্দ।	৪। হাতুড়ি, গাড়ির হর্ণ, হাট বাজারের কোলাহল ইত্যাদির শব্দ হল সুর বর্জিত শব্দ।

প্রশ্ন→সুরযুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্য গুলি লিখ।

উঃ সুরযুক্ত শব্দের তিনটি বৈশিষ্ট্য রয়েছে। যথা (i) তীব্রতা (ii) তীক্ষ্ণতা (iii) গুণ বা জাতি

প্রশ্ন→(৪) স্বরকম্প বা বীট কি? এর উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর। স্বরকম্প বা বীটের গাণিতিক রাশি মালা বের কর। ইহা থেকে দেখাও যে, প্রতি সেকেন্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা ব্যতিচারী তরঙ্গ দ্বয়ের (বা বীট সৃষ্টিকারী তরঙ্গদ্বয়ের) কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান। ($N = n_1 \sim n_2$)

উত্তর: বীট বা স্বরকম্প : প্রায় সমান কম্পাঙ্ক ও তীব্রতা বিশিষ্ট দুটি উৎস হতে একই সময়ে শব্দ উৎপন্ন করলে এদের মিলিত ক্রিয়ায় সৃষ্ট লব্ধি শব্দের তীব্রতার পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। এ ঘটনাকে স্বরকম্প বা অধিকম্প বা বীট বলে।

স্বরকম্পের উৎপত্তি ব্যাখ্যা: সমান কম্পাঙ্কের দুটি সুর শলাকা নিয়ে একই সাথে শব্দায়িত করে পাশাপাশি স্থাপন করলে দেখা যাবে লব্ধি শব্দের তীব্রতার পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধি হবে না। এবার একটি সুর শলাকার বাহুতে কিছু মোম লাগিয়ে এর বাহুকে কিছুটা ভারী করি। এতে সুর শলাকাটির কম্পাঙ্ক কিছু হ্রাস পাবে। এমতাবস্থায় সুর শলাকাদ্বয়কে আবার একই সাথে শব্দায়িত করলে দেখা যাবে লব্ধি শব্দের তীব্রতার পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধি হচ্ছে অথবা বীট হচ্ছে। লব্ধি শব্দের তীব্রতার একটি বৃদ্ধি ও একটি হ্রাস নিয়ে একটি বীট গঠিত হয়। শব্দ উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য যত হবে, প্রতি

সেকেন্ডে বীটের সংখ্যাত ঠিকতত হবে। প্রতি সেকেন্ডে স্বরকম্প বা বীট সংখ্যাকে সাধারণত N দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, একটি শব্দের কম্পাঙ্ক $= n_1$ এবং অপর একটি শব্দের কম্পাঙ্ক n_2 হলে প্রতি সেকেন্ডে বীট, $N = n_1 \sim n_2$ হবে।

স্বরকম্প বা বীটের গাণিতিক রাশিমালা: ধরি দুটি শব্দ উৎস হতে নির্গত শব্দের কম্পাঙ্কের মধ্যে সামান্য পার্থক্য রয়েছে, এদের উভয়ের বিস্তার $= a$ । t সময়পর তরঙ্গদ্বয়ের সরণ যথাক্রমে y_1 ও y_2 এবং দশা যথাক্রমে $\omega_1 t$ ও $\omega_2 t$ হলে আমরা পাই, $y_1 = a \sin \omega_1 t$ এবং $y_2 = a \sin \omega_2 t$

এখন যদি তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 হয় (যেখানে $n_1 > n_2$) তবে, $\omega_1 = 2\pi n_1$ এবং $\omega_2 = 2\pi n_2$ । অতএব, তরঙ্গদ্বয়ের সরণ হবে, $y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$(1) এবং $y_2 = a \sin 2\pi n_2 t$(2)

এখন, উপরিপাতের নিয়ম অনুসারে লব্ধি সরণ, $y = y_1 + y_2 = a \sin 2\pi n_1 t + a \sin 2\pi n_2 t$ বা, $y = a[\sin 2\pi n_1 t + \sin 2\pi n_2 t]$

$$\text{বা, } y = a[2 \sin 2\pi t \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right) \cos 2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right)] \text{ বা, } y = 2a \cos \pi(n_1 - n_2)t \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2} \right)t$$

$$\text{বা, } y = A \sin 2\pi M t \dots\dots\dots(3)$$

সমীকরণ (3) ই বীটের গাণিতিক রাশিমালা। যেখানে $A = 2a \cos \pi(n_1 - n_2)t =$ বিস্তার এবং $M = \frac{n_1 + n_2}{2} =$ তরঙ্গদ্বয়ের গড় কম্পাঙ্ক।

[বীটের গাণিতিক রাশিমালা থেকে দেখা যাচ্ছে যে, এর বিস্তার সময় t এর উপর নির্ভরশীল। এজন্যই লব্ধি শব্দের তীব্রতা সময়ের সাথে পর্যায়ক্রমিক ভাবে হ্রাসবৃদ্ধি হয়।]

দুটি তীব্রতা বৃদ্ধির মধ্যবর্তী সময় নির্ণয়: আমরা জানি, লব্ধি শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধির ক্ষেত্রে বিস্তার, $A = \pm 2a$

$$\text{বা, } 2a \cos \pi(n_1 - n_2)t = \pm 2a \text{ বা, } \cos \pi(n_1 - n_2)t = \pm 1 \text{ বা, } \pi(n_1 - n_2)t = n\pi \text{ যেখানে, } n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots\dots\dots$$

$$\text{বা, } t = \frac{n}{n_1 - n_2} \text{। এখন } n \text{ এর মান বসাই } \therefore t = 0, \frac{1}{n_1 - n_2}, \frac{2}{n_1 - n_2}, \frac{3}{n_1 - n_2}, \frac{4}{n_1 - n_2} \dots\dots\dots$$

সময় t এর এই মান গুলিতে লব্ধি শব্দের তীব্রতা সর্বাধিক হবে। সুতরাং দুটি তীব্র শব্দের মধ্যবর্তী সময় $= \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড। অনুরূপভাবে দেখানো

যায়, দুটি নিঃশব্দের মধ্যবর্তী সময় $= \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড। অতএব লব্ধি শব্দের তীব্রতার একটি বৃদ্ধি ও একটি হ্রাসের জন্য প্রয়োজনীয় সময় তথা একটি

বীটের জন্য প্রয়োজনীয় সময় $= \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড।

$$\text{অবশ্য, বলা যায়, } \frac{1}{n_1 - n_2} \text{ সেকেন্ডে বীট হয়} = 1 \text{টি}$$

$$\therefore 1 \quad " \quad " \quad " = 1 \times \frac{n_1 - n_2}{1} \text{টি} = n_1 - n_2 \text{টি অর্থাৎ, প্রতি সেকেন্ড বীট বা স্বরকম্প } N = n_1 - n_2$$

যেখানে $n_1 > n_2$ । সুতরাং প্রতি সেকেন্ডে বীটের সংখ্যা = ব্যতিচারী তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান। ($N = n_1 \sim n_2$)। (প্রমানিত)

প্রশ্ন→(৫) স্বরকম্প বা বীটের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর। ইহার সাহায্যে কোন শব্দের অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের কৌশল বর্ণনা কর।

উত্তর: নিম্নে স্বরকম্পের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার উল্লেখ করা হল। যথা-(i) অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয়ে (ii) বাদ্য যন্ত্রের সুর মিলাতে এবং (iii) খনিতে দূষিত বাতাসের অস্তিত্ব নির্ণয়ে।

(i) স্বরকম্পের সাহায্যে অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয়ে : মনেকরি, স্বরকম্পের সাহায্যে একটি সুরশলাকার অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে। এজন্য জানা কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আরও একটি সুর শলাকা নিতে হবে যা প্রথম সুর শলাকার সাথে বীট সৃষ্টি করে। ধরি, অজানা কম্পাঙ্ক $= n_1$ এবং জানা কম্পাঙ্ক $= n_2$ । এখন সুর শলাকাদ্বয়কে একই সাথে শব্দায়িত করে বীট সৃষ্টি করা হলো। ধরি প্রতি সেকেন্ডে বীট পাওয়া গেল $= N$ । অতএব, আমরা পাই, $N = n_1 \sim n_2 \dots\dots\dots(1)$ এখন, অজানা কম্পাঙ্ক n_1 এবং জানা কম্পাঙ্ক n_2 এর মধ্যে কোনটি বড় এবং কোনটি ছোট তা নির্ণয় করতে হবে। এজন্য n_1 কম্পাঙ্কের সুর শলাকার বাহুতে কিছু মোম লাগিয়ে পুনরায় শলাকাদ্বয়কে শব্দায়িত করতে হবে। এবারের বীট সংখ্যা যদি পূর্বের বীট সংখ্যা N অপেক্ষা কম হয়, তাহলে বুঝতে হবে $n_1 > n_2$ । সুতরাং (1) থেকে ই পাই, $N = n_1 - n_2$ $\therefore n_1 = n_2 + N \dots\dots\dots(2)$

আবার যদি দেখা যায় যে, মোম লাগানোর পরে প্রতি সেকেন্ডের বীট সংখ্যা পূর্বের বীট সংখ্যা N অপেক্ষা বেশী হয়, তাহলে বুঝতে হবে, $n_1 < n_2$ । অতএব, সমীকরণ (1) থেকে পাই, $N = n_2 - n_1 \therefore n_1 = n_2 - N \dots\dots\dots(3)$

প্রশ্ন→(৬) শব্দের স্বরকম্প ও ব্যতিচারের মধ্যে পার্থক্য কর।

স্বরকম্প বা বীট	ব্যতিচার
১। স্বরকম্প সৃষ্টির ক্ষেত্রে ব্যতিচারী তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের সামান্য পার্থক্য থাকতে হবে।	১। ব্যতিচার সৃষ্টির ক্ষেত্রে তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্ক সমান হতে হবে।
২। তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়।	২। তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় না।
৩। লব্ধি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বীট সৃষ্টিকারী তরঙ্গদ্বয়ের গড় কম্পাঙ্কের সমান।	৩। লব্ধি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ব্যতিচারী তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের সমান।
৪। বীটের ক্ষেত্রে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার বা তীব্রতা সময়ের সাথে পর্যায়ক্রমিক ভাবে পরিবর্তিত হয়।	৪। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার বা তীব্রতা সময়ের সাথে পর্যায়ক্রমিক ভাবে পরিবর্তিত হয় না।
৫। ইহার সাহায্যে অজানা কম্পাঙ্ক গ্যাসের বিশুদ্ধতা ইত্যাদি নির্ণয় করা যায়।	৫। ইহার সাহায্যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও তরঙ্গের বেগ নির্ণয় করা যায়।

প্রশ্ন→(৭) টানা তারের আড় তরঙ্গ কি? একটি টানা তারের আড় কম্পনের বেগের রাশিমালা বের কর এবং ইহা থেকে মূল সুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

অথবা: একটি টানা তারের আড় কম্পন কিভাবে এর দৈর্ঘ্য, একক দৈর্ঘ্যের ভর এবং টানের উপর নির্ভর করে?

অথবা: দেখাও যে, টানা তারের আড় তরঙ্গের বেগ $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$ যেখানে T = তারের টান এবং m = একক দৈর্ঘ্যের ভর। অথবা:

দেখাও যে, টানা তারের আড় কম্পাঙ্ক $n = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{m}}$ এবং উহা হতে দেখাও যে,

$$\text{মূল সুরের কম্পাঙ্ক } n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad [\text{বা, } n = \frac{1}{2lr} \sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}]$$

উত্তর: টানা তারের আড় তরঙ্গ : একটি তারের দু'প্রান্তকে কোন শক্ত অবলম্বনের সাথে টান টান করে বেঁধে তারটির মাঝে উহার দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে আড় কম্পনের সৃষ্টি হয়। এই আড় কম্পনের ফলে তারে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাকে টানা তারের আড় তরঙ্গ বলে।

টানা তারের আড় তরঙ্গের বেগ: কোন একটি টানা তারের মাঝে কোন বিন্দুতে তারটির দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারটিতে হাম্পের (কুঁজের) সৃষ্টি হয়। এই হাম্প স্থির না থেকে একটি নির্দিষ্ট বেগে উভয় দিকে অগ্রসর হয়। এই হাম্পের বেগই টানা তারের আড় কম্পনের বা আড় তরঙ্গের বেগ।

টানা তারের আড় তরঙ্গের বেগের রাশিমালা: মনেকরি, একটি তারের দু'প্রান্ত দুটি শক্ত অবলম্বনের সাথে টান টান করে বাধা আছে। ধরি তারটির একক দৈর্ঘ্যের ভর = m এবং টান = T । তারটিতে আড় তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য যে হাম্পের সৃষ্টি হয় চিত্রে সেরূপ একটি হাম্প কে দেখানো হয়েছে। হাম্পটি যে বেগে দুই

দিকে অগ্রসর হয় সেই বেগই হবে আড় তরঙ্গের বেগ।

এখন AB হাম্পের অতি ক্ষুদ্র অংশ PQ বিবেচনা করি।

তাহলে PQ একটি বৃত্তচাপ হবে। ধরি PQ এর কেন্দ্র =

O , ব্যাসার্ধ = r এবং PQ কর্তৃক কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণ = 2θ ।

P ও Q বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক তারের টান T এর দিকে নির্দেশ করে।

স্পর্শকদ্বয় PQ এর মধ্যবিন্দু C বিন্দুতে ছেদ করে। CO রেখাটি 2θ

কোণকে সমান দুইভাগে বিভক্ত করে। C বিন্দু দিয়ে একটি অনুভূমিক

রেখা MN টানা হল। C বিন্দুতে উভয় দিকের টান T কে MN

বরাবর ও CO বরাবর বিভাজিত করা যায়। কিন্তু MN বরাবর $T \cos \theta$

ও $T \cos \theta$ বলদ্বয় পরস্পরকে নিষ্ক্রিয় করে। CO বরাবর ক্রিয়ারত

$T \sin \theta + T \sin \theta = 2T \sin \theta$ বল তারটিকে সাম্যাবস্থায় ফিরে আনে

এবং উহাকে পর্যায়বৃত্ত গতিতে গতিশীল রাখে। অতএব, PQ অংশে কার্যকরী কেন্দ্রমুখী বল = $2T \sin \theta = 2T\theta$(1) (θ এর মান খুব কম বলে $\sin \theta = \theta$ লেখা হয়েছে) এখন, টানা তারের আড় তরঙ্গের বেগ = V এবং PQ অংশের ভর = M হয়।

তাহলে, PQ অংশে কার্যকরী কেন্দ্রমুখী বল = $\frac{MV^2}{r}$(2)

\therefore (1) ও (2) থেকে পাই $\frac{MV^2}{r} = 2T\theta$(3) PQ অংশের দৈর্ঘ্য = $2\theta r$ ।

$\therefore PQ$ অংশের ভর $M = 2\theta r m$ । এখন M এর মান (3)-এ বসাই, $\frac{2\theta r m v^2}{r} = 2T\theta$ বা, $2\theta m v^2 = 2T\theta$

$$\text{বা, } V^2 = \frac{T}{m} \quad \therefore V = \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{.....(4)}$$

সমীকরণ(4) টানা তারের আড় তরঙ্গের বেগের রাশিমালা নির্দেশ করে।

কম্পাঙ্কের রাশিমালা: ধরি তারটির কম্পাঙ্ক = n এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ । তাহলে, $V = n\lambda$ । অতএব (4) হতে পাই,

$$n\lambda = \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \therefore n = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{.....(5)}$$

মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা: মূল সুর সৃষ্টির জন্য তারের ঠিক মধ্যবিন্দুতে আঘাত করতে হয়। এক্ষেত্রে সমগ্র তারটি একযোগে উঠানামা করে এবং তারের দুইপ্রান্তে দুটি নিস্পন্দ এবং মাঝে একটিমাত্র সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। অতএব, তারের দৈর্ঘ্য l হলে আমরা

$$\text{পাই, } l = \frac{\lambda}{2} \quad \therefore \lambda = 2l \quad \text{এখন (5) থেকে পাই, } n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{.....(6)}$$

ইহাই টানা তারে সৃষ্ট মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা।

টানা তারটির ঘনত্ব = ρ এবং ব্যাসার্ধ r হলে, তারটির একক দৈর্ঘ্যের ভর, $m = \text{একক দৈর্ঘ্যের আয়তন} \times \text{ঘনত্ব} = \pi r^2 \times 1 \times \delta = \pi r^2 \delta$ ।

$$\text{অতএব, সমীকরণ (6) থেকে পাই, } n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\pi r^2 \rho}} = \frac{1}{2lr} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}}$$

প্রশ্ন→(৮) একটি টানা তারে সৃষ্টি আড় (বা তীর্যক) কম্পনের সূত্রগুলি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

$$\text{উঃ টানা তারের মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা } n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{বা, } n \propto \frac{1}{l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

এখানে থেকে তিনটি সূত্র পাওয়া যায়। নিম্নে টানা তারে সৃষ্টি আড় কম্পনের সূত্রগুলি বিবৃত ও ব্যাখ্যা করা হলঃ

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্রঃ “কোন কম্পমান টানা তারের টান ও একক দৈর্ঘ্যের ভর স্থির থাকলে তারে সৃষ্ট কম্পাঙ্ক উহার দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।”

ব্যাখ্যাঃ কোন কম্পমান টানা তারের দৈর্ঘ্য l ও কম্পাঙ্ক n হলে দৈর্ঘ্যের সূত্রানুসারে, $n \propto \frac{1}{l}$

(যখন টান T ও একক দৈর্ঘ্যের ভর m ধ্রুবক) অর্থাৎ T ও m কে স্থির রেখে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে কম্পাঙ্ক হ্রাস পায় এবং দৈর্ঘ্য হ্রাস করলে কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

(ii) টানের সূত্রঃ “কোন কম্পমান টানা তারের দৈর্ঘ্য ও একক দৈর্ঘ্যের ভর স্থির থাকলে তারে সৃষ্টি কম্পাঙ্ক উহার টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক।”

ব্যাখ্যাঃ কোন তারের টান T এবং কম্পাঙ্ক n হলে টানের সূত্রানুসারে, $n \propto \sqrt{T}$ (যখন l ও m স্থির)

অর্থাৎ l ও m স্থির রেখে টান চারগুন করলে কম্পাঙ্ক দ্বিগুন হয় আবার টান চারগুন কমালে কম্পাঙ্ক দ্বিগুন হ্রাস পাবে।

(iii) ভরের সূত্রঃ “কোন টানা তারের দৈর্ঘ্য ও টান স্থির থাকলে তারে সৃষ্ট কম্পাঙ্ক উহার একক দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।”

ব্যাখ্যাঃ কোন টানা তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর m এবং কম্পাঙ্ক n হলে ভরের সূত্রানুসারে, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ (যখন l ও T স্থির) অর্থাৎ,

টানা তারের দৈর্ঘ্য ও টান স্থির রেখে একক দৈর্ঘ্যের ভর বৃদ্ধি করলে কম্পাঙ্ক হ্রাস পায় আবার একক দৈর্ঘ্যের ভর হ্রাস করলে কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পায় ভরের সূত্রকে আবার দুটি অংকে বিভক্ত করা যায়। তারের ব্যাসার্ধ = r এবং ঘনত্ব = ρ হলে, একক দৈর্ঘ্যের ভর

$$m = \pi r^2 \times l \times \rho = \pi r^2 \rho \quad \text{। অতএব ভরের সূত্রটিকে লেখা যায়, } n \propto \frac{1}{\sqrt{\pi r^2 \rho}} \quad \text{বা, } n \propto \frac{1}{r\sqrt{\pi \rho}} \quad \text{বা, } n \propto \frac{1}{r\sqrt{\rho}} \quad (l \text{ ও } T \text{ স্থির})$$

(a) ব্যাসার্ধের সূত্রঃ “কোন টানা তারের দৈর্ঘ্য, টান ও ঘনত্ব স্থির থাকলে তারে সৃষ্ট কম্পাঙ্ক উহার ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক।” অর্থাৎ, $n \propto \frac{1}{r}$ (যখন l, T ও ρ স্থির)

(b) ঘনত্বের সূত্রঃ “কোন টানা তারের দৈর্ঘ্য, টান ও ব্যাসার্ধ স্থির থাকলে তারে সৃষ্ট কম্পাঙ্ক উহার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।” অর্থাৎ, $n \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ (যখন l, T ও r স্থির)

প্রশ্ন→(৯) একমুখ বন্ধ আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভে কিভাবে সুর সৃষ্টি হয়? ব্যাখ্যা কর। এরূপ নলে সৃষ্টি বিভিন্ন সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা বের কর। উহা থেকে দেখাও যে, উপসুরগুলোর কম্পাঙ্কে মূল সুরের কম্পাঙ্কের বিজোড় গুণিতক।

উঃ একমুখ বন্ধ নলের খোলামুখে ফু-দিলে বা কম্পমান সুর শলাকা ধরলে নলের ভিতরে একটি লম্বিক তরঙ্গ সঞ্চারিত হয়। এই তরঙ্গ নলের বন্ধ প্রান্তে বাধা প্রাপ্ত হয়ে প্রতিফলিত হয়। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ এবং মূল তরঙ্গ পরস্পর বিপরীত মুখী হওয়ায় নলের মধ্যে একটি স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই স্থির তরঙ্গের জন্যই একমুখ বন্ধ নলে সুর সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে নল থেকে মূল সুর এবং উপসুর বা যৌগিক সুর উভয়ই সৃষ্টি হতে পারে।

মূল সুর বা মৌলিক সুরের কম্পাঙ্কঃ যদি নলের বন্ধ প্রান্তে একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়া নলের ভিতর অন্য কোন নিস্পন্দ বা সুস্পন্দ বিন্দু না থাকে তখন নল থেকে যে সুর পাওয়া যায় তাকে মূল সুর বা মৌলিক সুর বলে। আমরা জানি, পাশাপাশি একটি সুস্পন্দ ও একটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব = $\frac{\lambda}{4}$ । অতএব, নলের দৈর্ঘ্য = l এবং মূল সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ_0 হলে আমরা পাই,

$$l = \frac{\lambda_0}{4} \therefore \lambda_0 = 4l \dots \dots \dots (1)$$

এখন শব্দের বেগ = V এবং মূল সুরের কম্পাঙ্ক = n_0 হলে আমরা পাই, $V = n_0 \lambda_0 \therefore n_0 = \frac{V}{\lambda_0}$

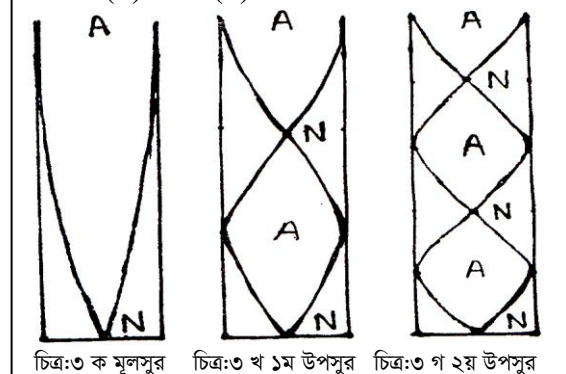
$$[\text{এখন } \lambda_0 \text{ এর মান বসাই}] \quad n_0 = \frac{V}{4l} \dots \dots \dots (2)$$

সমীকরণ (2) মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা নির্দেশ করে।

উপসুর বা যৌগিক সুর : নলের বন্ধ প্রান্তে একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলা প্রান্তে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলের মধ্যে যদি আরও এক বা একাধিক নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু থাকে তখন যে সুর পাওয়া যায় তাকে উপসুর বা যৌগিক সুর বলে। উপসুর বিভিন্ন প্রকারের হতে পারে। যথা প্রথম উপসুর, দ্বিতীয় উপসুর, তৃতীয় উপসুর ইত্যাদি। চিত্র ৩(খ) ও ৩(গ) তে যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় উপসুর দেখানো হয়েছে।

(i) প্রথম উপসুর : নলের বন্ধ প্রান্তে নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলের মধ্যে যদি আরও একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং একটি সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয় সেক্ষেত্রে নল থেকে যে সুর পাওয়া যায় তাকে বলা হয় প্রথম উপসুর। প্রথম উপসুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ_1

$$\text{এবং নলের দৈর্ঘ্য } l \text{ হলে পাই, } l = \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} = \frac{3\lambda_1}{4} \therefore \lambda_1 = \frac{4l}{3}$$



চিত্র: ৩ ক মূল সুর চিত্র: ৩ খ ১ম উপসুর চিত্র: ৩ গ ২য় উপসুর

এখন শব্দের বেগ = V এবং প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক = n_1

$$\text{হলে পাই, } V = n_1 \lambda_1 \therefore n_1 = \frac{V}{\lambda_1} = V \times \frac{3}{4l} = 3 \frac{V}{4l} \text{ বা, } n_1 = 3n_0 \dots \dots \dots (3)$$

$$[\therefore \lambda_1 = \frac{4l}{3} \text{ এবং } \frac{V}{4l} = n_0] \text{ সমীকরণ (3) প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা।}$$

দেখা যাচ্ছে যে, প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের 3 গুণ।

(iii) দ্বিতীয় উপসুর : নলের বন্ধ প্রান্তে একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলা প্রান্তে একটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলের মধ্যে যদি আরও দুটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং দুটি সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয় সেক্ষেত্রে নল থেকে যে সুর পাওয়া যায় তাকে দ্বিতীয় উপসুর বলে। চিত্র ৩ (গ)। দ্বিতীয়

$$\text{উপসুরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য} = \lambda_2 \text{ হলে আমরা পাই, } l = \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} = \frac{5\lambda_2}{4} \therefore \lambda_2 = \frac{4l}{5}$$

এখন, শব্দের বেগ = V এবং দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক = n_2 হলে পাই,

$$V = n_2 \lambda_2 \therefore n_2 = \frac{V}{\lambda_2} = V \times \frac{5}{4l} = 5 \times \frac{V}{4l} \text{ বা, } n_2 = 5n_0 \dots \dots \dots (4)$$

সমীকরণ (4) ই দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা। সমীকরণ (3) এবং (4) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, প্রথম এবং দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের যথাক্রমে 3 গুণ ও 5 গুণ। অতএব বলা যায়, সকল উপসুরের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের বিজোড় গুণিতক। (প্রমাণিত)

প্রশ্ন→(১০) দুইমুখ খোলা নলে কিভাবে সুর সৃষ্টি হয়? এই নলে সৃষ্টি মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা বের কর। দেখাও যে, উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের বিজোড় এবং জোড় উভয় গুণিতক হতে পারে।

উ: দুই মুখ খোলা নলের একমুখে ফুঁ দিলে বা কম্পমান সুরশলাকা ধরলে নলের মধ্যে বায়ুস্তম্ভ একটি লম্বিক তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ নলের অন্যপ্রান্তে পৌঁছিলে তরঙ্গের এক অংশ উন্মুক্ত বায়ুমণ্ডলে প্রসারণের সুযোগ পায় কিন্তু অন্য অংশ বিপরীতদিকে প্রতিফলিত হয়ে মূল তরঙ্গের সাথে উপরিপাতনের ফলে স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এভাবেই দুইমুখ খোলা নলে সুর সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে নলের দুই খোলামুখে সর্বদা দুটি সুস্পন্দ বিন্দুর (A) সৃষ্টি হয়।

(i) মূল সুর : নলের দুই খোলা মুখে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলের ভিতরে একটি নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হলে যে সুর পাওয়া যায় তাকে মূল সুর বলা হয়। চিত্র 4 (ক)। মূলসুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ_0 এবং নলের দৈর্ঘ্য = l

$$\text{হলে পাই, } l = \frac{\lambda_0}{4} + \frac{\lambda_0}{4} = \frac{\lambda_0}{2} \therefore \lambda_0 = 2l$$

$$\text{শব্দের বেগ} = V \text{ এবং মূল সুরের কম্পাঙ্ক} = n_0 \text{ হলে পাই, } V = n_0 \lambda_0 \therefore n_0 = \frac{V}{\lambda_0}$$

$$\text{বা, } n_0 = \frac{V}{2l} \dots \dots \dots (1)$$

সমীকরণ (1) দুইমুখ খোলা নলের ক্ষেত্রে মূল সুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা। [ইহা থেকে দেখা

যাচ্ছে যে, দুই মুখ খোলা নলের মূল সুরের কম্পাঙ্ক এক মুখ খোলা নলের মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুন]

(ii) প্রথম উপসুর : প্রথম উপসুরের ক্ষেত্রে নলের দুই খোলামুখে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলে মধ্যে আরও একটি সুস্পন্দ বিন্দু

$$\text{এবং দুটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে। এই সুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য} = \lambda_1 \text{ হলে চিত্র (8 খ) হতে নলের দৈর্ঘ্য, } l = \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{4} \text{ বা, } l = \lambda_1$$

$$\text{এখন শব্দের বেগ } V \text{ এবং প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের } n_1 \text{ হলে পাই, } V = n_1 \lambda_1 \therefore n_1 = \frac{V}{\lambda_1} \text{ বা, } n_1 = \frac{V}{l} = 2 \cdot \frac{V}{2l}$$

$$\therefore n_1 = 2n_0 \dots \dots \dots (2)$$

সমীকরণ (2) দুইমুখ খোলা নলের ক্ষেত্রে প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা।

(iii) দ্বিতীয় উপসুর : এক্ষেত্রে নলের খোলা দুই মুখে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও নলের মধ্যে তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু N ও দুটি সুস্পন্দ বিন্দু A সৃষ্টি হয়। অতএব, দ্বিতীয় উপসুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ_2 হলে পাই,

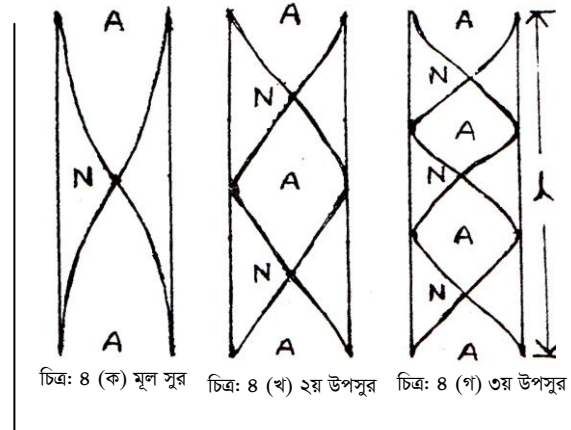
$$l = \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} + \frac{\lambda_2}{4} = \frac{6\lambda_2}{4} \therefore l = \frac{6\lambda_2}{4} = \frac{3\lambda_2}{2} \text{ বা, } \lambda_2 = \frac{2l}{3} \text{ চিত্রঃ 8 এর (গ)}$$

$$\text{দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক} = n_2 \text{ হলে পাই, } V = n_2 \lambda_2 \therefore n_2 = \frac{V}{\lambda_2} \text{ বা, } n_2 = V \times \frac{3}{2l} = 3 \cdot \frac{V}{2l} = 3n_0 \therefore n_2 = 3n_0 \dots \dots \dots (3) \text{ সমীকরণ}$$

(3) দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্কের রাশিমালা। সমীকরণ (2) ও (3) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, দুইমুখ খোলা নলের উপসুর গুলোর কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের জোড় এবং বিজোড় উভয় ধরনের গুণিতক হতে পারে। (প্রমাণিত)

প্রশ্ন→(১১) সংজ্ঞা লিখ (i) মুক্ত কম্পন (ii) পরবশ কম্পন (iii) অনুনাদ (iv) সমসঙ্গতি (v) বিষম সঙ্গতি (vi) অষ্টক (vii) সুর বিরাম (viii) স্বরগ্রাম (ix) মেলডি (x) ত্রয়ী (xi) তীক্ষ্ণতা (xii) গুণ বা জাতি (xiii) সলো (xiv) অর্কেস্ট্র।

(i) **মুক্ত কম্পন (Free or Natural vibration):** কোন কম্পন ক্ষম বস্তুকে আঘাত করে ছেড়ে দিলে বস্তুটি তার নিজস্ব নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে কাঁপতে থাকে। বস্তুর এই কম্পনকে মুক্ত কম্পন (বা স্বাভাবিক/নির্বাধ কম্পন) বলে। যেমন একটি সুর শলাকাকে আঘাত করে ছেড়ে দিলে উহা তার স্বাভাবিক কম্পনে কম্পিত হয়।



(ii) **পরবশ কম্পন (Forced vibration)** : একটি পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে (বা কম্পমান বস্তুর প্রভাবে) কোন বস্তুকে কম্পিত করতে চাইলে যদি পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্ক এবং বস্তুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক ভিন্ন হয় তাহলে প্রথমে বস্তুটি তার নিজস্ব স্বাভাবিক কম্পাঙ্কে কম্পন দিতে চায়, কিন্তু পরমুহুর্তেই পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্কে কম্পন দিতে বাধ্য হয়। বস্তুর এ ধরনের কম্পনকে পরবশ কম্পণ বা আরোপিত কম্পন বলে।

(iii) **অনুনাদ (Resonance)**: একটি পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে (বা কম্পমান বস্তুর প্রভাবে) কোন বস্তুকে কম্পিত করতে চাইলে যদি পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্ক এবং বস্তুর নিজস্ব স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক অভিন্ন হয় তাহলে বস্তুটি বৃহত্তর বিস্তারে কাঁপতে থাকে এবং শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়। এ ঘটনাকে অনুনাদ বলে।

(iv) **সমসঙ্গতি (concord)** : দুই বা ততোধিক শব্দের সমন্বয়ে যদি একটি সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি হয় তাহলে এরূপ সমন্বয়কে সমসঙ্গতি বা স্বর সমতা বলে। শব্দগুলোর কম্পাঙ্কের অনুপাত পূর্ণ সংখ্যা হলে তাদের দ্বারা সমসঙ্গতি সৃষ্টি করা যায়।

(v) **বিষম সঙ্গতি (Discord)** : দুটি বা ততোধিক শব্দের সমন্বয়ে একটি সুরবর্জিত শব্দের সৃষ্টি হলে এ সমন্বয়কে বিষম সঙ্গতি বলে।

(vi) **অষ্টক (One-octave)**: কোন একটি সুরের কম্পাঙ্ক অপর একটি সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হলে প্রথমটির কম্পাঙ্ক দ্বিতীয়টির এক অষ্টক উপরে বা দ্বিতীয়টির কম্পাঙ্ক প্রথমটির এক অষ্টক নিচের বলা হয়। কোন একটি অষ্টকের অন্তর্গত আটটি সমসঙ্গতি সম্পন্ন সুরকে সুরাষ্টক বলে।

(vii) **সুর বিরাম (Musical Interval)**: দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত একটি পূর্ণ সংখ্যা হলে এদের মিলিত ক্রিয়ায় সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি হয়। এরূপ দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাতকে সুরবিরাম বা সুরবিভেদ বলে।

(viii) **স্বরগ্রাম (Musical Scale)** : নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের কতকগুলো সাজানো সুরকে স্বরগ্রাম বলে। যে সকল সুর আমাদের কানে সহজে সাড়া দেয় এবং কণ্ঠস্বরের উপযোগী হয় এই সকল সুরকে ঢেলে সাজিয়ে স্বরগ্রাম সৃষ্টি করা হয়। হারমোনিয়ামে নির্দিষ্ট স্বরগ্রামে চাবি সাজানো থাকে, বেহালায় হাতের কায়দায় বিভিন্ন স্থানে আঙ্গুল চেপে স্বরগ্রাম সৃষ্টি করা হয়।

(ix) **মেলডি (Melody)** : কতকগুলো শব্দ একের পর এক ধ্বনিত হয়ে যদি একটি সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি করে তবে একে মেলোডি বা স্বর মাধুর্য বলে।

(x) **ত্রয়ী (Triad)**: তিনটি শব্দের কম্পাঙ্কে অনুপাত 4:5:6 হলে এদের সমন্বয়ে যে সুরযুক্ত বা শ্রুতি মধুর শব্দের সৃষ্টি হয় তাকে ত্রয়ীবলে। যেমন-সা: গা: পা= 256:320:384=4:5:6। সুতরাং এই কম্পাঙ্কগুলির সমন্বয়ে একটি ত্রয়ী হবে।

(xi) **তীক্ষ্ণতা (Pitch)** : ইহা সুরযুক্ত শব্দের একটি বৈশিষ্ট্য। যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা অভিন্ন তীব্রতার দুটি সুরের মধ্যে কোনটি চড়া এবং কোন মোটা বা খাদের তা বুঝা যায় তাকে তীক্ষ্ণতা বলে। শব্দের কম্পাঙ্ক বাড়লে তীক্ষ্ণতা বাড়ে এবং কম্পাঙ্ক কমলে তীক্ষ্ণতা কমে।

(xii) **গুণ বা জাতি (Quality or Timbre)**: ইহা সুরযুক্ত শব্দের একটি বৈশিষ্ট্য। যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা ভিন্ন ভিন্ন বাদ্যযন্ত্র হতে নির্গত একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতার স্বরগুলোর মধ্যে পার্থক্য বুঝা যায় তাকে গুণ বা জাতি বলা হয়। এই বৈশিষ্ট্য দ্বারা একই গান একটি বাঁশি ও একটি সেতার থেকে বাজালে কোনটি বাঁশির শব্দ বা কোনটি সেতারের শব্দ তা শোনামাত্র বুঝা যায়।

(xiii) **সলো (Solo)** : একটি মাত্র বাদ্য যন্ত্র বাজালে যে স্বর সৃষ্টি হয় তাকে সলো বা একক সঙ্গীত বলে। যেমন-একটি বেহালা হতে সৃষ্ট স্বরই হলো সলো।

(xiv) **অর্কেস্ট্রা (Orchestra)** : যদি একাধিক বাদ্যযন্ত্র একই সাথে বেজে একটি সমতান বা স্বরমাধুর্য বা উভয়ই সৃষ্টি হয়, তাহলে তাকে অর্কেস্ট্রা বলে।

প্রশ্ন→(১২) সুর ও স্বর বলতে কি বুঝ? অথবা: সুর ও স্বরের মধ্যে পার্থক্য কর।

উ: সুর: কোন উৎস থেকে নিঃসৃত শব্দে যদি একটি মাত্র কম্পাঙ্ক থাকে তাহলে সেই শব্দকে সুর বলে। এক্ষেত্রে শব্দ সৃষ্টিকারী বস্তু সরলদোল গতিতে কাঁপতে থাকে। যেমন-সুরশলাকা হতে নির্গত শব্দ হলো সুর।

স্বর: বিভিন্ন কম্পাঙ্কের একাধিক শব্দ মিশ্রিত হয়ে যে সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি হয় তাকে স্বর বলে। প্রকৃতিপক্ষে একাধিক সুরের সমষ্টিই হলো স্বর। স্বর সৃষ্টি কারী বস্তু জটিল পর্যাবৃত্ত গতিতে কাঁপতে থাকে। যেমন-গীটার, বেহালা, সেতার ইত্যাদি উৎস থেকে নির্গত শব্দ হলো স্বর।

প্রশ্ন→(১৩) হারমোনিক বা সমমেল কি? দেখাও যে, সকল সমমেলই উপসুর কিন্তু সকল উপসুর সমমেল নয়।

অথবা: সকল হারমোনিকই উপসুর কিন্তু সকল উপসুর হারমোনিক নয় ব্যাখ্যা কর।

উ: আমরা জানি, স্বর সৃষ্টিকারী সুরগুলোর মধ্যে যার কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম তাকে মূল সুর বা মৌলিক সুর বলে। মূলসুর অপেক্ষা বেশী কম্পাঙ্কের সুরকে উপসুর বা যৌগিক সুর বলে। আবার যে সকল উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক তাদেরকে হারমোনিক বা সমমেল বলা হয়। (উদাহরণ স্বরূপ কোন মূল সুরের কম্পাঙ্ক 20 হার্টজ। তাহলে 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, ইত্যাদি হার্টজ কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট সুরগুলো সবই উপসুর। আবার 40 হার্টজ, 60হার্টজ, 80 হার্টজ কম্পাঙ্ক গুলো মূল সুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক বলে এদেরকে হারমোনিকও বলা হয় অতএব, সকল হারমোনিকই উপসুর কিন্তু সকল উপসুর হারমোনিক বা সমমেল নয়। (প্রমানিত)

প্রশ্ন→(১৪) বীট বা স্বরকম্প সৃষ্টির শর্তগুলো লিখ।

উ: (i) বীট সৃষ্টির জন্য দুটি শব্দ তরঙ্গ প্রয়োজন। এই শব্দ তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য 1 থেকে $10H_z$ এর মধ্যে থাকতে হবে।

(ii) তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হতে হবে।

(iii) তরঙ্গদ্বয়কে একই সময়ে সৃষ্টি করতে হবে এবং এদের গতির অভিমুখ একই হতে হবে।

তরংগ/শব্দ (গাণিতিক সমস্যাবলী)

সমস্যা→(১) : কোন জন সভায় শব্দের তীব্রতা $10^{-8} \text{ wattm}^{-2}$ । শব্দের তীব্রতা লেভেলের (i) বেল এককে এবং ডেসিবেল এককে নির্ণয় কর।
উ: (i) 4 bel (ii) 40 dB

[সংকেত: শব্দের তীব্রতা $I = 10^{-8} \text{ wattm}^{-2}$, আমরা জানি, প্রমাণ তীব্রতা $I_0 = 10^{-12} \text{ wattm}^{-2}$ (i) বেল এককে তীব্রতা লেভেল $\beta = ?$ এবং (ii) ডেসিবেল এককে তীব্রতা লেভেল $\beta = ?$ (i) আমরা জানি,

$$\beta = \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \log_{10} \left(\frac{10^{-8}}{10^{-12}} \right) = \log_{10}(10^4) = 4 \log_{10} 10 = 4 \text{ bel. (ii) } \beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 40 \text{ dB}$$

সমস্যা→(২) : একটি শ্রেনী কক্ষে শব্দের তীব্রতা $10^{-8} \text{ wattm}^{-2}$ । ঐ কক্ষে ছাত্র সংখ্যা তিনগুণ হলে (বা শব্দের তীব্রতা তিনগুণ হলে) নতুন তীব্রতা লেভেল কত?
উ: 44.77 dB।

[সংকেত: ১ম ক্ষেত্রে তীব্রতা $I = 10^{-8} \text{ wattm}^{-2}$, ২য় ক্ষেত্রে তীব্রতা $I' = 3I = 3 \times 10^{-8} \text{ wattm}^{-2}$, ডেসিবেল এককে তীব্রতা লেভেল, $\beta = ?$ আমরা জানি শব্দের প্রমাণ তীব্রতা, $I_0 = 10^{-12} \text{ wm}^{-2}$, আমরা জানি, $\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I'}{I_0} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{3 \times 10^{-8}}{10^{-12}} \right)$

$$= 10 \log_{10}(3 \times 10^4) = 10(\log_{10} 3 + \log_{10} 10^4) \text{ বা } \beta = 10(\log_{10} 3 + 4 \log_{10} 10) = 10(0.477 + 4) = 44.77 \text{ dB}]$$

সমস্যা→(৩) : কোন শব্দের তীব্রতা প্রমাণ তীব্রতার 100 গুণ হলে ঐ শব্দের তীব্রতা লেভেল বেল এবং ডেসিবেল এককে নির্ণয় কর।
উ: 2 bel, 20 dB।

সমস্যা→(৪) : দুটি সুর শলাকা A ও B একই সময়ে শব্দায়িত হওয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 6 টি বীট উৎপন্ন করে। কিন্তু A তে খানিকটা মোম লাগালে বীটের সংখ্যা হ্রাস পায়। B এর কম্পাঙ্ক 320 Hz হলে A এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
উ: 326 Hz

[সংকেত প্রতিসেকেন্ডে বীট, $N = 6$ টি, $n_B = 320 \text{ Hz}$, $n_A = ?$ আমরা জানি, $N = n_A - n_B \dots\dots\dots(1)$

এখন যেহেতু A এর বাহুতে মোম লাগালে বীট সংখ্যা হ্রাস পায় অর্থাৎ কম্পাঙ্কের পার্থক্য কমে যায়, অতএব $n_A > n_B$ । অতএব (1) থেকে পাই $N = n_A - n_B$ । এখন মান বসায়।

সমস্যা→(৫) : দুটি সুর শলাকা A ও B একই সাথে শব্দায়িত হওয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট উৎপন্ন হয়। কিন্তু A তে খানিকটা মোম লাগালে ওজন বাড়ালে বীট সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। B এর কম্পাঙ্ক 256 Hz হলে A এর কম্পাঙ্ক কত?
উ: 251 Hz

সমস্যা→(৬) : দুটি সুরেলী কাটাকে একই সময়ে শব্দায়িত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট শোনা যায়। প্রথম সুর শলাকার বাহুকে একটু ঘষলে বীট উৎপত্তির হার হ্রাস পায়। দ্বিতীয়টির কম্পাঙ্ক 252 Hz হলে প্রথমটির কম্পাঙ্ক কত?
উ: 507 Hz ।

[সংকেত: এখানে $N = 5$, $n_2 = 252 \text{ Hz}$, $n_1 = ?$ আমরা পাই, $N = n_1 - n_2 \dots\dots\dots(1)$ যেহেতু, ১মটির বাহুকে ঘষলে বীট সংখ্যা কমে (অর্থাৎ পার্থক্য কমে) অতএব, $n_2 > n_1$ । \therefore (1) থেকে পাই, $N = n_2 - n_1$ বা, $n_1 = n_2 - N$ । এখন মান বসায়।

সমস্যা→(৭) : দুটি সুর শলাকা A ও B এক সাথে শব্দায়িত হলে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট উৎপন্ন করে। A এর এক বাহুতে তার জড়িয়ে দিলে পুনরায় প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট উৎপন্ন করে। B এর কম্পাঙ্ক 384 Hz হলে তার জড়ানোর পূর্বে ও পরে A এর কম্পাঙ্ক কত?
উ: তার জড়ানোর পূর্বে 389 Hz ও পরে 379 Hz ।

[সংকেত: A এর বাহুতে তার জড়ানোর পূর্বে বীট $N = 5$, তার জড়ানোর পরে বীট $N' = 5$, B এর কম্পাঙ্ক $n_B = 384 \text{ Hz}$ । তার জড়ানোর পূর্বে A এর কম্পাঙ্ক $n_A = ?$ এবং তার জড়ানোর পর A এর কম্পাঙ্ক $n'_A = ?$ এখন আমরা পাই, $N = n_A - n_B \dots\dots\dots(1)$ এবং $N' = n'_A - n_B \dots\dots\dots(2)$ যেহেতু, A এর বাহুতে তার জড়ানোর পূর্বের বীট সংখ্যা এবং তার জড়ানোর পরের বীট সংখ্যা পরস্পর সমান, অতএব, $n_A > n_B$ এবং $n_B > n'_A$ । সুতরাং সমীকরণ (1) ও (2) হতে পাই $N = n_A - n_B$ এবং $N' = n_B - n'_A$ এখন মান বসিয়ে n_A ও n'_A এর মান বের কর।

সমস্যা→(৮) : দুটি সুর শলাকা A ও B কে একসঙ্গে বাজালে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট উৎপন্ন হয়। A এর কম্পাঙ্ক 512 Hz ; B কে একটু ঘষা হলে এরা পুনরায় প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বীট উৎপন্ন করে। ঘষার পূর্বে ও পরে B এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

উ: ঘষার পূর্বে $n_B = 507 \text{ Hz}$ এবং ঘষার পর $n'_B = 517 \text{ Hz}$ ।

সমস্যা→(৯) : 24 টি সুর শলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্ক হিসেবে পরপর সাজানো আছে। যে কোন একটি সুর শলাকা এর পূর্ববর্তী শলাকার সাথে 4 টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে। আবার শেষ সুরশলাকাটি প্রথমটির অষ্টক। প্রথম, দশম ও শেষ সুর শলাকা তিনটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
উ: $n_1 = 92 \text{ Hz}$, $n_{10} = 128 \text{ Hz}$ ও $n_{24} = 184 \text{ Hz}$ ।

[সংকেত: ধরি ১মটির কম্পাঙ্ক $= n_1$ । \therefore 24 তম টির কম্পাঙ্ক $n_{24} = 2n_1$ । আবার যেহেতু যে কোন শলাকা তার পূর্ববর্তী শলাকার সাথে 4 টি বীট উৎপন্ন করে: অতএব আমরা পাই, $n_2 = n_1 + 4 = n_1 + 4 \times 1$, $n_3 = n_1 + 4 + 4 = n_1 + 4 \times 2$, $n_4 = n_1 + 4 + 4 + 4 = n_1 + 4 \times 3$, অনুরূপভাবে, $n_{10} = n_1 + 4 \times 9 = n_1 + 36$ এবং $n_{24} = n_1 + 4 \times 23 = n_1 + 92$ । শর্তানুযায়ী, $2n_1 = n_1 + 92$ বা, $n_1 = 92 \text{ Ans}$: দশম শলাকার কম্পাঙ্ক, $n_{10} = 92 + 36 = 128 \text{ Hz Ans}$: এবং $n_{24} = 92 + 92 = 184 \text{ Hz Ans}$]

সমস্যা→(১০) : দুটি সুর শলাকা একটি গ্যাসে 0.50 m এর 0.505 m দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করে। যদি প্রতি সেকেন্ডে 6 টি বীট উৎপন্ন হয় তবে উক্ত গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর।
উ: 303 ms^{-1}

[সংকেত : $\lambda_1 = 0.50 \text{ m}$, $\lambda_2 = 0.505 \text{ m}$, বীট $N = 6$ টি, শব্দের বেগ, $V = ?$ ধরি শলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে, n_1 ও n_2 । যেহেতু

$$\lambda_2 > \lambda_1 \text{ সেহেতু } n_1 > n_2 \text{। অতএব, } N = n_1 - n_2 \text{ বা, } 6 = \frac{V}{\lambda_1} - \frac{V}{\lambda_2}]$$

সমস্যা→(১১) : 25cm দৈর্ঘ্যের একটি তারকে 5kg ওজনের বলে টানা হল। তারটির 1m দৈর্ঘ্যের ভর 4.9gm । তারটি হতে নির্গত মৌলিক সুরের কম্পাঙ্ক কত? $g = 9.8\text{ms}^{-2}$ । উ: 200Hz ।

[সংকেত: এখানে, তারের দৈর্ঘ্য, $l = 25\text{cm} = 0.25\text{m}$, $T = Mg = 5 \times 9.8\text{N}$, 1m দৈর্ঘ্যের ভর অর্থাৎ একক দৈর্ঘ্যের ভর

$$m = 4.9\text{g} = 4.9 \times 10^{-3}\text{kg}$$

মূল সুরের কম্পাঙ্ক, $n = ?$ এখন $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$

সমস্যা→(১২) : 15N বলে টানা একটি তারের কম্পাঙ্ক 160Hz । তারের টান কত হলে কম্পাঙ্ক 400Hz হবে? উ: 93.75N ।

[সংকেত: $T_1 = 15\text{N}$, $n_1 = 160\text{Hz}$, $n_2 = 400\text{Hz}$, টান, $T_2 = ?$ ধরি তারের দৈর্ঘ্য $= l$ এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর $= m$ । আমরা পাই,

$$n_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T_1}{m}} \dots (1) \text{ এবং } n_2 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T_2}{m}} \dots (2) \text{ এখন সমীকরণ (2) } \div (1) \text{ কর}$$

সমস্যা→(১৩) : 60cm দীর্ঘ একটি টানা তার একটি সুরেলী কাটার সাথে ঐক্যতানে আছে। টান অর্ধেক করলে একই সুরেলী কাটার সাথে ঐক্যতানে আনতে কত দৈর্ঘ্য করতে হবে? উ: 42cm ।

[সংকেত: দৈর্ঘ্য $l_1 = 60\text{cm} = 0.6\text{m}$ ধরি ১ম ও ২য় ক্ষেত্রে টান যথাক্রমে T_1 ও T_2 । তাহলে, $T_2 = \frac{T_1}{2}$ $\therefore T_1 = 2T_2$ আবার যেহেতু

উভয় ক্ষেত্রে একই সুরেলী কাটার সাথে ঐক্যতানে আছে। সেহেতু $n_1 = n_2$ হবে। তারটির ২য় ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য $l_2 = ?$ এখন তারের দৈর্ঘ্যের

$$\text{ভর} = m \text{ হলে পাই, } n_1 = \frac{1}{2l_1} \sqrt{\frac{T_1}{m}} \dots (1) \text{ এবং } n_2 = \frac{1}{2l_2} \sqrt{\frac{T_2}{m}} \dots (2) \text{ এখন (1) ও (2) সমান দেখাও।}$$

সমস্যা→(১৪) : 60cm দৈর্ঘ্যের একটি টানা তার কোন সুরেলী কাটার সহিত ধ্বনি সমন্বয় করে/ঐক্যতানে থাকে। টান দ্বিগুন করে ঐ সুরেলী কাটার সাথে ধ্বনি সমন্বয় করতে হলে দৈর্ঘ্যের কি পরিবর্তন করতে হবে? উ: 24.85cm দৈর্ঘ্য বাড়তে হবে।

সমস্যা→(১৫) : 0.5m লম্বা একটি তারকে 50N বল দ্বারা টানা হল। যদি তারের ভর 0.01kg হয় তবে তারটির মৌলিক কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

সমস্যা→(১৬) : দুটি সুরেলী কাটা প্রতি সেকেন্ডে ৫টি বীট উৎপন্ন করে। একটি কাটা কোন সনোমিটারের তারের 1.28m দৈর্ঘ্যের সাথে এবং অপরটি একই তারের 1.30m দৈর্ঘ্যের সাথে ধ্বনি সমন্বয় করে। সুরেলী কাটাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

$$\text{উ: } n_1 = 325\text{Hz ও } n_2 = 320\text{Hz}।$$

[সংকেত: এখানে $N = 5$, ধরি সুরশলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 । আবার ধরি, n_1 কম্পাঙ্ক $l_1 = 1.28\text{m}$ দৈর্ঘ্যের সাথে এবং n_2 কম্পাঙ্ক $l_2 = 1.30\text{m}$ দৈর্ঘ্যের সাথে ধ্বনি সমন্বয় করে। যেহেতু $l_2 > l_1$ সেহেতু $n_1 > n_2$ । $N = n_1 - n_2$ বা,

$$n_1 - n_2 = 5 \dots (1) \text{ এখন তারের টান } = T \text{ এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর } = m \text{ হলে আমরা পাই, } n_1 = \frac{1}{2l_1} \sqrt{\frac{T}{m}} \dots (2) \text{ এবং}$$

$$n_2 = \frac{1}{2l_2} \sqrt{\frac{T}{m}} \dots (3)। \text{ এখন (2) } \div (3) \text{ কর এবং } n_1 \text{ এর মান বের করে (1) এ বসাও।}$$

সমস্যা→(১৭) : একমুখ বন্ধ নলের বায়ুস্তম্ভের মৌলিক কম্পাঙ্ক 256Hz হলে নলটির দৈর্ঘ্য কত? বায়ুতে শব্দের বেগ প্রতি সেকেন্ডে

$$332\text{m}। \text{ [সংকেত: } n_o = \frac{V}{4l} \text{ সূত্র ব্যবহার কর]}$$

$$\text{উ: } 32.42\text{m}।$$

সমস্যা→(১৮) : একটি দুইমুখ খোলা নলের মূল সুরের (বা প্রথম হারমোনিকের) কম্পাঙ্ক 512Hz । বায়ুতে শব্দের বেগ 345.6ms^{-1} হলে

$$\text{নলের দৈর্ঘ্য কত? } [n_o = \frac{V}{2l}]$$

$$\text{উ: } 0.675\text{m}।$$

সমস্যা→(১৯) : একটি সনোমিটারের তার ২০০ কম্পাঙ্কযুক্ত একটি টিউনিং ফর্কের সাথে ঐক্যতানে আছে। তারের টান ঠিক রেখে দৈর্ঘ্য ১% বৃদ্ধি করলে প্রতি সেকেন্ডে কয়টি বীট শোনা যাবে? উ: ২টি।

সমস্যা→(২০) : 50cm দৈর্ঘ্যের একটি তারকে 10kg-wt -এ টানলে 256Hz কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন হয়। কম্পাঙ্ক 384Hz এ বৃদ্ধি করতে তারের দৈর্ঘ্যের কত পরিবর্তন করতে হবে? উ: 16.47cm কমাতে হবে।

সমস্যা→(২১) : একটি সুর 512Hz কম্পাঙ্কের একটি সুর শলাকার সাথে প্রতি সেকেন্ডে ৪টি বীট এবং 514Hz কম্পাঙ্কের অপর

শলাকার সাথে ৬ টি বীট উৎপন্ন করে। সুরটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

$$\text{উ: } 508\text{Hz}।$$