তরঙ্গ ও শব্দ
Wave and Sound

ইউনিট ৮

ভূমিকা (Introduction)

নবম-দশম শ্রেণির পদার্থবিজ্ঞান মড্যুলে আমরা জেনেছি বস্তুর কম্পনে তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। শব্দ তরঙ্গ আমাদের জীবনের একটি অপরিহার্য বিষয়। শব্দ তরঙ্গের পর্যাপ্ত এবং সুষ্ঠু ব্যবহার নিশ্চিত করতে হলে তরঙ্গ বিশেষ করে শব্দ তরঙ্গ সম্পর্কে আমাদের আরও বিস্তারিত জানা দরকার। যেমন আড় তরঙ্গ, দীঘল তরঙ্গ, অগ্রগামী তরঙ্গ, স্থির তরঙ্গ, তরঙ্গ সম্পর্কীয় বিভিন্ন রাশিমালা– স্পন্দন, কপাঙ্ক, বিস্তার, দশা, তরঙ্গ মুখ, কৌণিক কম্পাঙ্ক, ইত্যাদি। তরঙ্গ সম্পর্কীয় বিভিন্ন গাণিতিক প্রকাশ বা সমীকরণ, শব্দের তীব্রতা, তীব্রতার লেভেল, বিট, ইত্যাদি বিষয়ের প্রাথমিক ধারণাও গুরুত্বপূর্ণ।

এ ইউনিটে প্রথমে তরঙ্গ সম্পর্কীয় কিছু মৌলিক বিষয় নিয়ে এবং পরে শব্দ ও শব্দের বৈশিষ্ট্য, সুর, স্বর, হারমোনিক, স্বরগ্রাম, সংগীতগুণ বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান এবং দৈনন্দিন জীবনে সোরগোল ও সংগীতগুণের প্রভাব ব্যাখ্যা করা হবে।

এই ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ - ৮.১ : তরঙ্গ ঃ আড় তরঙ্গ ও দীঘল তরঙ্গ
পাঠ - ৮.২ : অগ্রগামী তরঙ্গ ও স্থির তরঙ্গ
পাঠ - ৮.৩ : শব্দ, শব্দের তীব্রতা ও তীব্রতার লেভেল
পাঠ - ৮.৪ : বিট
পাঠ - ৮.৫ : তারের কম্পন
পাঠ - ৮.৬ : হারমোনিক ও স্বরগ্রাম
পাঠ - ৮.৭ : ব্যবহারিক ৮ : মেলডির পরীক্ষার সাহায্যে সুর শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়

পাঠ-৮.১ তরঙ্গ ঃ আড় তরঙ্গ ও দীঘল তরঙ্গ
Wave: Transverse and Longitudinal

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তরঙ্গ সংশ্লিষ্ট বিভিন্ন রাশি বর্ণনা করত পারবেন।
- আড় তরঙ্গ ও দীঘল তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

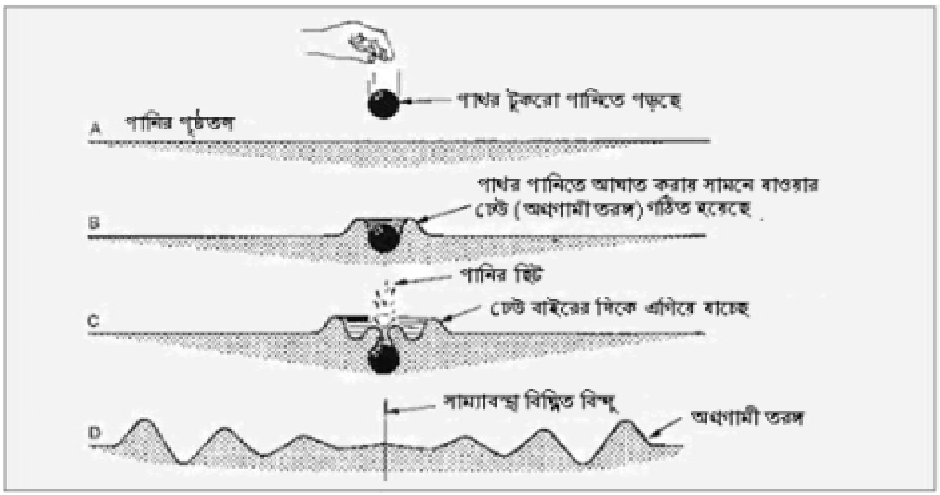
৮.১.১ তরঙ্গ ও তার বৈশিষ্ট্য (Wave and its Properties)

পুকুরের মধ্যে স্থির পানিতে ঢিল ছুড়েছেন কখনও? কি পাশের ৮.১ চিত্রটি চোখে ভাসছে তাই তো? তরঙ্গ বলতে এ দৃশ্যটাই ভেসে ওঠে আমাদের মনে। কিন্তু কখনও কি ভেবে দেখেছেন কেন এমন হয়?

চিত্র ৮.১-স্থির পানিতে সৃষ্ট তরঙ্গ

ঢিলটি পানিতে ফেললে ঐ স্থানের পানির কণাগুলোর উপর ধাক্কা বা চাপ পড়ে। ফলে পানির কণাগুলো নিচে নেমে যায়। আর চারপাশের কণাগুলো উপরেই থেকে যায়। চিত্র ৮.২ লক্ষ্য করুন, এই চিত্রে বিষয়টি সুস্পষ্টভাবে ব্যাখা করা হয়েছে। কিন্তু এ অবস্থা খুবই অল্প সময়ের জন্য, মুহূর্তের মধ্যে নিম্নগামী কণাগুলোর উপর থেকে ঢিলের চাপ সরে যায় কণাগুলো আগের জায়গায় ফিরে আসার জন্য বিপরীত অর্থাৎ ঊর্ধমুখী ধাক্কা দেয়। কিছু কণা আগের সাম্যাবস্থা থেকে উপরে উঠে যায়।

এভাবে পানির কণাগুলোর মধ্যে এক ধরণের উপর নিচে গতিশীল সরল ছন্দিত স্পন্দন সৃষ্টি হয়। ক্রমশ এই স্পন্দন তার পার্শ্ববর্তী কণার মধ্যে সঞ্চারিত হয়। এভাবে পানির কণার উঠা নামা থেকেই পানি তলের ওঠা নামা তথা ঢেউ বা তরঙ্গ সৃষ্টি হয়।



চিত্র ৮.২ পানির ঢেউ যেভাবে এগিয়ে যায়

আপনি অবশ্য লক্ষ্য করেছেন পুকুরের মাঝখানে উৎপন্ন এই তরঙ্গ ধীরে ধীরে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং এক সময় পাড়ে গিয়ে আছড়ে পড়ে। এতে শক্তি এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সঞ্চারিত হয়।

শুধু পানি নয় যে কোন তরল, বায়বীয় এমনকি কঠিন পদার্থে-কণাসমষ্টি মধ্যের কোনো একটি কণাকে তার স্থির অবস্থান থেকে সামান্য স্থানচ্যুত করলে মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা এবং কণাটির গতি জড়তার জন্য তার সাম্য অবস্থার উভয় দিকে আন্দোলিত হতে থাকে। আবার মাধ্যমের প্রত্যেকটি কণার সাথে অপর কণার সংসক্তি জনিত এমন একটি বন্ধন থাকে যে, একটি কণা আন্দোলিত হলে পার্শ্ববর্তী কণাও তাকে অনুসরণ করে এদিক ওদিক দুলতে বা আন্দোলিত হতে বাধ্য হয়। এভাবে মাধ্যমের কোনো একটি কণার আন্দোলন শুরু হলে তা এক কণা থেকে অন্য কণায় সঞ্চারিত হয় এবং মাধ্যমের মধ্য দিয়ে বিস্তৃত হতে থাকে। এই গতিশীল আন্দোলনই তরঙ্গ। বিভিন্ন কণার কম্পন থেকেই তরঙ্গ উৎপত্তি হয়। অর্থাৎ তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য জড় মাধ্যম প্রয়োজন হয়। জড় মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের ফলে সৃষ্ট যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলন ঐ মাধ্যমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চারিত করে কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলো স্থানান্তরিত হয় না, সেই পর্যাবৃত্ত আন্দোলনকে তরঙ্গ বলে।

জড় মাধ্যমের কণার আন্দোলন ছাড়াও তরঙ্গ সৃষ্টি হতে পারে। জড় মাধ্যমের কণার আন্দোলনে সৃষ্ট তরঙ্গকে বলা হয় যান্ত্রিক তরঙ্গ। আমরা কথা বলি, বিভিন্ন উপায়ে শব্দ সৃষ্টি করি বা শব্দসৃষ্টি হয় তা বিভিন্ন জড় পদার্থের কম্পন থেকে। তাই পানির তরঙ্গ, শব্দ তরঙ্গ, ভূমি কম্পনের ফলে সৃষ্ট ভূ-তরঙ্গ ইত্যাদি যান্ত্রিক তরঙ্গ।

আমরা সূর্য থেকে আলো এবং তাপ পাই। সূর্য থেকে পৃথিবীতে আলো এবং তাপ আসে তরঙ্গাকারে। সূর্য এবং পৃথিবীর মধ্যে মহাশূন্য, কোনো জড় মাধ্যম নেই। আলো, তাপ মাধ্যম ছাড়াই বিশেষ ধরণের তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হয়। এ তরঙ্গকে বলা হয় তাড়িতচুম্বকীয় তরঙ্গ। তাড়িতচুম্বকীয় তরঙ্গের উদাহরণ– বেতার তরঙ্গ, এক্সরশ্মি, গামারশ্মি ইত্যাদি। এ বিষয়ে ভিন্ন ইউনিটে আলোচনা করা হবে, এই ইউনিটে আমরা কেবল যান্ত্রিক তরঙ্গ নিয়ে আলোচনা করব।

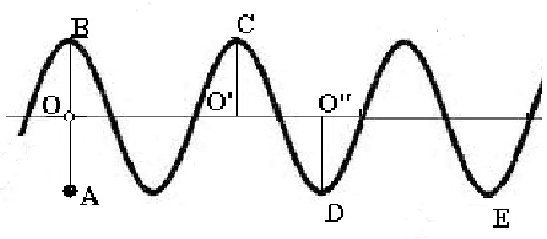
যান্ত্রিক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য

১. তরঙ্গ সৃষ্টি ও সঞ্চালনের জন্য অবিচ্ছিন্ন স্থিতিস্থাপক জড় মাধ্যম প্রয়োজন।
২. মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের বা স্পন্দন গতির ফলে তরঙ্গ উৎপন্ন হয়।
৩. মাধ্যমের কণাগুলো সাম্য অবস্থান থেকে উপর নিচে অথবা সামনে পেছনে স্পন্দিত হতে থাকে। মাধ্যমের মধ্য দিয়ে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে স্থানান্তরিত হয় না।
৪. তরঙ্গ মাধ্যমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি ও তথ্য সঞ্চারণ বা স্থানান্তর করে।
৫. এক স্থান থেকে অন্য স্থানে তরঙ্গ সঞ্চারণের জন্য সময় প্রয়োজন হয়।
৬. তরঙ্গের কণাগুলোর বিভিন্ন বেগে স্পন্দিত হয়। স্পন্দনের বেগ পর্যায়ক্রমে কমে বাড়ে। কিন্তু তরঙ্গ সুষম বেগে সঞ্চারিত হয়। অর্থাৎ কণাগুলোর স্পন্দন গতি এবং তরঙ্গ বেগ এক নয়।
৭. তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণাগুলোর স্পন্দনের দিক এবং তরঙ্গ সঞ্চারণের দিক এক নাও হতে পারে।
৮. তরঙ্গের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার , অপবর্তন ঘটে।

৮.১.২ তরঙ্গ বিষয়ক কতিপয় সংজ্ঞা (Few definitions related to Wave)

১. **পূর্ণ কম্পন বা স্পন্দন** (Complete Vibration) ঃ তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণা কোন বিন্দু থেকে যাত্রা শুরু করে একই দিক থেকে পুনরায় ঐ বিন্দুতে ফিরে এলে তাকে একটি পূর্ণ স্পন্দন বলে।

৮.৩ চিত্রে একটি বস্তুকণা A ও B বিন্দুর মধ্যে নির্দিষ্ট সময় পর পর ওঠা নামা করছে। O বিন্দু বস্তুকণাটির সাম্যাবস্থান। ধরা যাক A বিন্দু থেকে কণাটি ঊর্ধ্বমুখী, O বিন্দু হয়ে B পর্যন্ত উঠে নিম্নমুখী হল, কণাটি O বিন্দুর মধ্য দিয়ে A বিন্দু পর্যন্ত নেমে গেল। এভাবে A বিন্দু থেকে O হয়ে পুনরায় A বিন্দুতে ফিরে আসা হল একটি পূর্ণ স্পন্দন।



চিত্র ৮.৩ তরঙ্গের লেখচিত্র

২. **পর্যায়কাল** (Time period) : তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণার একটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে তাকে ঐ তরঙ্গের পর্যায় কাল বলে। পর্যায়কালকে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যায়কালের একক সেকেন্ড (s) ।

৩. **কম্পাঙ্ক** (Frequency) : তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণা এক সেকেন্ডে যতগুলো পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন করে তাকে ঐ কণার বা তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বলে। কম্পাঙ্ককে সাধারণত f দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

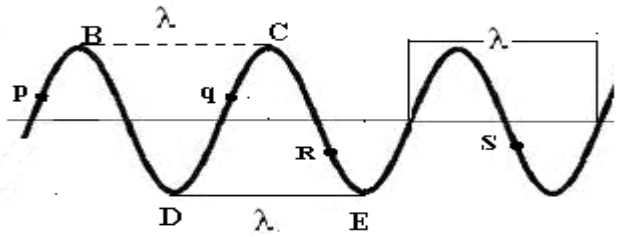
কোনো বস্তু বা কণা t সময়ে N সংখ্যক কম্পন বা স্পন্দন করলে তার কম্পাঙ্ক, $f = \frac{N}{t}$ । কম্পাঙ্কের একক হার্জ। সংক্ষেপে লেখা হয়, Hz।

৪. **বিস্তার** (Amplitude) : তরঙ্গ সঞ্চারকারী কোনো কণা সাম্য অবস্থান থেকে যেকোনো একদিকে সর্বাধিক যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গের বিস্তার বলে। ৮.৩ চিত্রে কণাটি সাম্যাবস্থান O থেকে সর্বোচ্চ বিন্দু B পর্যন্ত উপরে উঠছে অথবা সাম্যাবস্থান O" থেকে সর্বনিম্ন বিন্দু D পর্যন্ত O"D দূরত্ব অতিক্রম করছে। এই তরঙ্গের বিস্তার OB বা O'C বা O"D।

৫. **দশা** (Phase) **:** তরঙ্গ সঞ্চারকারী কোনো কণার যে কোনো মুহূর্তের গতির সম্যক অবস্থাকে তার দশা বলে। কোনো একটি মুহূর্তের গতির অবস্থা বলতে ঐ বিশেষ মুহূর্তে কণাটির সরণ, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি বুঝায়।

৮.৪ নং চিত্রে p ও q বিন্দুতে দুটি কণার সাম্য অবস্থান থেকে সরণ, বেগ, ত্বরণ সমান। এদের গতির বা সরণের দিকও একই। অর্থাৎ কণা দুটি সমদশায় অবস্থিত বা সমদশা সম্পন্ন।

অনুরূপভাবে চিত্রে R, S বিন্দুর কণা দুটি সমদশা সম্পন্ন। চিত্রে আপনি এরূপ আরও অনেক সমদশা সম্পন্ন বিন্দু চিহ্নিত করতে পারেন।



চিত্র ৮.৪ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও দশা

৬. **তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ** (crest and trough) **:** তরঙ্গের সাম্যাবস্থান থেকে সর্বোচ্চ (ধনাত্মক) বিস্তারের বিন্দুটিকে তরঙ্গ শীর্ষ এবং সর্বনিম্ন (ঋণাত্মক) বিস্তারের বিন্দুটিকে তরঙ্গ পাদ বলা হয়। ৮.৪ নং চিত্রে B, C তরঙ্গ শীর্ষ এবং D, E তরঙ্গ পাদ। অসংখ্য তরঙ্গ পাদ এবং তরঙ্গ শীর্ষ নিয়ে তরঙ্গ সৃষ্টি হয়।

৭. **তরঙ্গ দৈর্ঘ্য** (Wave length) **:** একটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন হতে যে সময় লাগে, সেই সময়ে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে। তরঙ্গের উপর পরপর দুটি সমদশা সম্পন্ন কণার মধ্যবর্তী দূরত্বই তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। ৮.৪ চিত্রে B ও C বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব BC, D ও E এর মধ্যের দূরত্ব, DE তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। একে গ্রীক বর্ণ λ (ল্যামডা) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আপনি সুবিধামতো দুটি সমদশা সম্পন্ন বিন্দু নিয়ে তাদের মধ্যের দূরত্ব চিহ্নিত করে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্দেশ করতে পারেন। পর পর দুটি তরঙ্গ শীর্ষ বা পরপর দুটি তরঙ্গ পাদের মধ্যবর্তী দূরত্বও একটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য।

৮. **তরঙ্গ মুখ** (Wave front) : কোনো তরঙ্গের উপর অবস্থিত সমদশা সম্পন্ন কণাগুলোর গতি পথকে তরঙ্গ মুখ বলে।

৯. **তরঙ্গ বেগ** (Wave velocity) **:** তরঙ্গ নির্দিষ্ট দিকে একক সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ তরঙ্গের বেগ বা সংক্ষেপে তরঙ্গ বেগ বলে।

১০. **কৌণিক কম্পাঙ্ক** (Angular velocity) : সময়ের সাথে তরঙ্গের উপর অবস্থিত কোনো কণার দশার পরিবর্তনের হারকে কৌণিক কম্পাঙ্ক বলে। একটি পূর্ণ কম্পনে T সময়ে দশার পরিবর্তন হয় 2π, সুতরাং কৌণিক কম্পাঙ্ক,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

কৌণিক কম্পাঙ্কের একক rad s^{-1} বা রেডিয়ান/সেকেন্ড।

১১. তীব্রতা (Intencity) : তরঙ্গ গতির মাধ্যমে শক্তি এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সঞ্চারিত হয়। তরঙ্গ সঞ্চালনের পথে লম্বভাবে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শক্তি প্রবাহিত হয় তাকে ঐ তরঙ্গের তীব্রতা বলে । একে I দ্বারা সূচিত করা হয়।

৮.১.৩ কম্পাঙ্ক ও পর্যায়কালের সম্পর্ক (Relation between frequency and time period)

তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণা বা কম্পনশীল বস্তু প্রতি সেকেন্ডে যতটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন করে তাকে কম্পাঙ্ক বলে। ধরা যাক, কোনো বস্তু t সেকেন্ডে N সংখ্যক স্পন্দন সম্পন্ন করে তা হলে কম্পাঙ্ক, $f = \frac{N}{t}$, আবার একটি কণার একটি পূর্ণ

স্পন্দন সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে তাকে পর্যায়কাল বলে। পর্যায়কাল T সেকেন্ড অর্থাৎ T সেকেন্ড সময়ে 1 টি কম্পন সম্পন্ন হয়। আবার 1 সেকেন্ডে সম্পন্ন কম্পন সংখ্যা হল কম্পাঙ্ক। অতএব 1 সেকেন্ডে সম্পন্ন কম্পন সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক হবে $f = \frac{1}{T}$ ।

কম্পাঙ্ক f এবং সময় t হলে, $f = \frac{N}{t}$ ... ... (৮.১)

পর্যায়কাল T এবং কম্পাঙ্ক f হলে, $f = \frac{1}{T}$ ... ... (৮.২)

৮.১.৪ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও বেগের সম্পর্ক (Relation between wave length and velocity)

তরঙ্গ সৃষ্টিকারী মাধ্যমের স্পন্দনশীল একটি কণা একটি পূর্ণ স্পন্দন হতে যে সময় লাগে, সেই সময়ে তরঙ্গ সামনের দিকে এগিয়ে যায়। তরঙ্গের অতিক্রান্ত এ দূরত্বই তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, λ। আর পূর্ণ স্পন্দনের সময়কে বলা হয় পর্যায়কাল। পর্যায়কালকে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অর্থাৎ T সেকেন্ডে তরঙ্গের অতিক্রান্ত দূরত্ব λ।

অতএব এক সেকেন্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব হবে $\frac{\lambda}{T}$

কোনো বস্তুর একক সময়ে অর্থাৎ 1 সেকেন্ডে অতিক্রান্ত দূরত্বকে বেগ বলে। অতএব এক্ষত্রে তরঙ্গের বেগ $v = \frac{\lambda}{T}$

বা, $v = \frac{1}{T} \times \lambda = f\lambda$ [যেহেতু, পর্যায়কাল T এবং কম্পাঙ্ক f হলে, $f = \frac{1}{T}$]

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ, পর্যায়কাল T হলে, তরঙ্গ বেগ, $v = \frac{\lambda}{T}$ ... .(৮.৩)

কম্পাঙ্ক f, পর্যায়কাল T হলে, তরঙ্গ বেগ, $v = f\lambda$ ....(৮.৪)

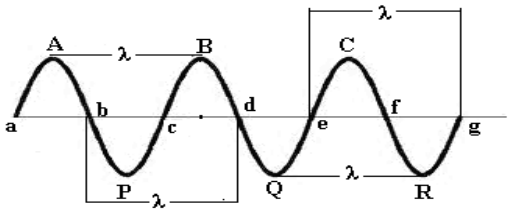
৮.১.৫ তরঙ্গের প্রকারভেদ : আড় তরঙ্গ ও দীঘল তরঙ্গ (Types of waves : Transverse and Longitudinal)

৮.১.১ অনুচ্ছেদে আমরা জেনেছি এক ধরণের তরঙ্গ সঞ্চারণের জন্য জড় মাধ্যম প্রয়োজন হয়। অন্য এক ধরণের তরঙ্গের জন্য কোনো মাধ্যম প্রয়োজন হয় না। প্রথম প্রকার তরঙ্গকে যান্ত্রিক তরঙ্গ এবং দ্বিতীয় প্রকার তরঙ্গকে তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বলে। মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের ফলে যে যান্ত্রিক তরঙ্গ সৃষ্ট হয় তা দু'ধরণের। যথা (১) অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বা আড় তরঙ্গ ও (২) অনুদৈর্ঘ্য বা দীঘল তরঙ্গ।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বা আড় তরঙ্গ (Transverse wave) :

পানির মধ্যে তরঙ্গ সৃষ্টি হয় সে ক্ষেত্রে পানির কণাগুলো সাম্য অবস্থান পানির তল থেকে উপর-নিচে ওঠা-নামা করে। কিন্তু তরঙ্গ পানি পৃষ্ঠ বা পানির তলের উপর দিয়ে সামনে ছড়িয়ে পড়ে। এধরণের তরঙ্গ অনুপ্রস্থ বা আড় তরঙ্গ। অর্থাৎ যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের দিকের সাথে সমকোণে অগ্রসর হয়, তাকে আড় তরঙ্গ বলে।

চিত্র ৮.৫ আড় তরঙ্গের দিক



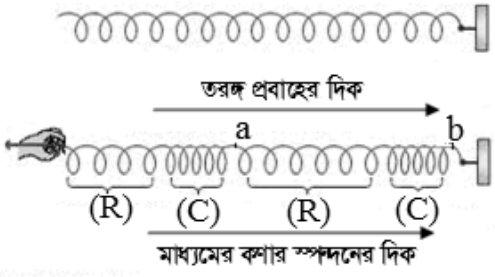
চিত্র ৮. ৬ আড় তরঙ্গের দৈর্ঘ্য

চিত্র ৮.৫ এ একটি আড় তরঙ্গের মাধ্যমের কণার কম্পন এবং তরঙ্গ প্রবাহের দিক দেখান হয়েছে। ৮.৬ চিত্রে তরঙ্গের A, B, C বিন্দুগুলো তরঙ্গ শীর্ষ। আবার P, Q, R বিন্দুগুলো তরঙ্গ পাদ। এখানে পর পর দুটি তরঙ্গ শীর্ষ A, B বা পরপর দুটি তরঙ্গ পাদ Q, R অথবা একই দশার পরপর দুটি বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব, যেমন bd অথবা e g নিয়ে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ গঠিত হয়।

এ তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের দিকের সাথে সমকোণে বা আড়াআড়ি অগ্রসর হয় বলে একে অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বা আড় তরঙ্গ বলে। আলোক তরঙ্গ, বেতার তরঙ্গ, পানির তরঙ্গ অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।

অনুদৈর্ঘ্য বা দীঘল তরঙ্গ (Longitudinal wave) :

একটি নমনীয় স্প্রিং এর এক প্রান্ত দেয়ালে বেঁধে অন্য প্রান্ত টান করে ধরে যেকোন প্রান্তে মৃদু আঘাত করলে দেখতে পাবেন স্প্রিংটির কিছু কুন্ডলীকৃত অংশ সংকুচিত হয়েছে। কিন্তু পরবর্তি অংশ প্রসারিত রয়েছে এবং অতি দ্রুত এ সংকুচিত অংশ সামনে সরে যেয়ে পেছনের কুন্ডলীতে প্রসারিত অংশ সৃষ্টি হচ্ছে। এভাবে সংকোচন-প্রসারণ পর্যায়ক্রমে এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তের দিকে এগিয়ে যাচ্ছে। লক্ষ্য করলে দেখবেন, স্প্রিং এর কুন্ডলীগুলো নিজ নিজ অবস্থানের থেকে সামনে পেছেনে আন্দোলিত বা স্পন্দিত হচ্ছে কিন্তু কম্পন এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে সঞ্চারিত হচ্ছে। এটি পর্যাবৃত্ত আন্দোলন। এই আন্দোলন জড় মাধ্যমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চারিত করে, কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলো স্থানান্তরিত হয় না, এটি এক প্রকার তরঙ্গ। এটি অনুদৈর্ঘ্য বা দীঘল তরঙ্গ।



চিত্র ৮.৭ দীঘল তরঙ্গ

তাই যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের দিকের সাথে সমান্তরালে অগ্রসর হয়, সেই তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বা দীঘল তরঙ্গ বলে।

দীঘল তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর সংকোচন ও প্রসারণের মাধ্যমে অগ্রসর হয়। একটি সংকোচন এবং একটি প্রসারণ অংশ নিয়ে একটি তরঙ্গ গঠিত হয়। ৮.৭ চিত্রে (R) এবং (C) অংশগুলো যথাক্রমে প্রসারিত এবং সংকুচিত অংশ। এক্ষেত্রে কোনো তরঙ্গ শীর্ষ বা তরঙ্গ পাদ থাকে না। চিত্রে a থেকে b পর্যন্ত দৈর্ঘ্য λ।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১: কোন কম্পনশীল শব্দ উৎসের 100 টি স্পন্দন সম্পন্ন হতে যে সময় লাগে সেই সময়ে ঐ উৎস দ্বারা উৎপন্ন শব্দ 140 m দূরত্ব অতিক্রম করে । উৎসটির কম্পাঙ্ক 245 Hz হলে, বাতাসে শব্দের বেগ কত?

সমাধান :

আমরা জানি,

$$v = f\lambda$$

$$\therefore v = 1.4 \times 245$$

বা, $v = 343 \text{ ms}^{-1}$

উত্তর: 343 ms^{-1}

দেয়া আছে,

100 টি স্পন্দনে অতিক্রান্ত দূরত্ব $= 140$ m

$\therefore$ 1 টি স্পন্দনে অতিক্রান্ত দূরত্ব $= \frac{140}{100} = 1.4$ m

অতএব তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 1.4$ m

কম্পাঙ্ক $f = 245$ Hz

শব্দের বেগ, $v = ?$

সার-সংক্ষেপ :

- **পূর্ণ স্পন্দন** ঃ তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণা কোনো বিন্দু থেকে যাত্রা শুরু করে একই দিক থেকে পুনরায় ঐ বিন্দুতে ফিরে এলে তাকে একটি পূর্ণস্পন্দন বলে।
- **পর্যায়কাল :** তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণার একটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে তাকে ঐ তরঙ্গের পর্যায়কাল বলে। পর্যায়কালকে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যায়কালের একক সেকেন্ড।
- **কম্পাঙ্ক :** তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণা এক সেকেন্ডে যতগুলো স্পন্দন সম্পন্ন করে তাকে ঐ কণার বা তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বলে। কম্পাঙ্ককে f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কম্পাঙ্কের একক হার্জ। সংক্ষেপে লেখা হয়, Hz।
- **বিস্তার :** তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণা সাম্য অবস্থান থেকে যেকোনো একদিকে সর্বাধিক যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ তরঙ্গের বিস্তার বলে।
- **দশা :** তরঙ্গ সঞ্চারকারী কোনো কণার যেকোনো মুহূর্তের গতির সম্যক অবস্থা (ঐ বিশেষ মুহূর্তে কণাটির সরণ, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি) কে তার দশা বলে।
- **তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ:** তরঙ্গের সাম্যাবস্থান থেকে সর্বোচ্চ (ধনাত্মক) বিস্তারের বিন্দুটিকে তরঙ্গ শীর্ষ এবং সর্বনিম্ন (ঋণাত্মক) বিস্তারের বিন্দুটিকে তরঙ্গ পাদ বলা হয়।
- **তরঙ্গ দৈর্ঘ্য :** তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণার একটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন হতে যে সময় লাগে, সেই সময়ে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে। তরঙ্গ দৈর্ঘ্যকে λ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।
- **তরঙ্গ বেগ :** তরঙ্গ নির্দিষ্ট দিকে একক সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ তরঙ্গের বেগ বা সংক্ষেপে তরঙ্গ বেগ বলে।
- কম্পাঙ্ক f, সময় t এবং পর্যায়কাল T হলে, $f = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}$
- তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ, পর্যায়কাল T হলে, কম্পাঙ্ক f, তরঙ্গ বেগ, $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$
- **আড় তরঙ্গ :** যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের দিকের সাথে সমকোণে অগ্রসর হয়, তাকে আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলে।
- **দীঘল তরঙ্গ :** যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর স্পন্দনের দিকের সাথে সমান্তরালে অগ্রসর হয় , তাকে দীঘল তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। তরঙ্গ সঞ্চারণকারী কোনো কণা এক সেকেন্ডে যতগুলো স্পন্দন সম্পন্ন করে তাকে কি বলে?

(ক) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (খ) তরঙ্গ বেগ

(গ) বিস্তার (ঘ) কম্পাঙ্ক

২। পর পর কয়টি তরঙ্গ শীর্ষ বা তরঙ্গপাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব নিয়ে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হয়?

(ক) একটি (খ) দুটি

(গ) তিনটি (ঘ) চারটি

৩। তরঙ্গ বেগ, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক কোনটি?

(ক) $v = f\lambda$ (খ) $v = \frac{1}{f}$

(গ) $v = \frac{f}{t}$ (ঘ) $v = \frac{t}{f}$

৪। কম্পাঙ্ক 300 Hz এবং শব্দ তরঙ্গের দৈর্ঘ্য 1.15 m হলে বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের বেগ/দ্রুতি কত?

(ক) 300 ms^{-1} (খ) 345 ms^{-1}

(গ) 260.87 ms^{-1} (ঘ) 3.45 ms^{-1}

৫। শব্দ সম্পর্কে কোন তথ্যটি সঠিক ?

(ক) এটি একটি আড় তরঙ্গ (খ) এটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ

(গ) এটি একটি দীঘল তরঙ্গ (ঘ) শব্দ কোনো তরঙ্গ নয়।

পাঠ-৮.২ অগ্রগামী তরঙ্গ ও স্থির তরঙ্গ
Progressive wave and Stationary wave

উদ্দেশ্য

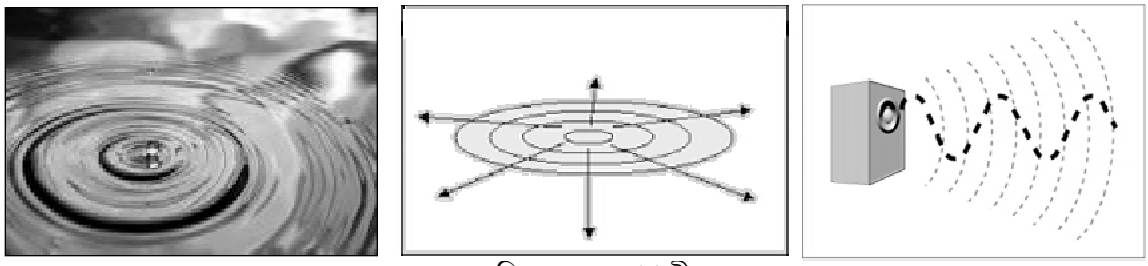
এ পাঠ শেষে আপনি-

- অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবেন।
- স্থির তরঙ্গের সমীকরণ প্রতিপাদন করে সুস্পন্দ বিন্দু ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান চিহ্নিত করতে পারবেন।

৮.২.১ অগ্রগামী তরঙ্গ ও স্থির তরঙ্গ (Progressive wave and Stationary wave)

অগ্রগামী তরঙ্গ

যখন কোনো মাধ্যমের ভিতর দিয়ে আন্দোলন এক স্তর থেকে অন্য স্তরে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হতে হতে নির্দিষ্ট বেগে কেবল সামনের দিকে অগ্রসর হয় তখন তাকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে। পানিতে ঢিল ফেললে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি হয়, তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং কেবলই সামনের দিকে অগ্রসর হয়।



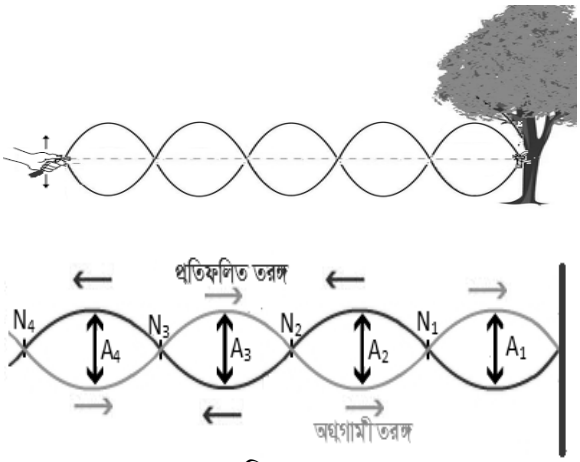
চিত্র ৮.৮ অগ্রগামী তরঙ্গ

বাতাসের মধ্যে কোনো এক বিন্দুতে সৃষ্ট শব্দ দীঘল তরঙ্গাকারে সবদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং কেবলই সামনের দিকে চলতে থাকে । এগুলো অগ্রগামী তরঙ্গ।

স্থির তরঙ্গ

একই রকম দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে সমভাবে অগ্রসর হয়ে একে অপরের উপর আপতিত হলে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।

একটি তারের বা মোটা দড়ির এক প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে বেঁধে অন্য প্রান্ত ধরে উপর নিচে দোলালে একটি তরঙ্গ তার বেয়ে অগ্রসর হবে এবং বন্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে আবার ফিরে আসবে।এই প্রতিফলিত তরঙ্গ যখন নতুন অগ্রগামী তরঙ্গের উপর আপতিত হবে তখন স্থির তরঙ্গ উদ্ভব হবে।



চিত্র ৮.৯

এই তরঙ্গ তার বা দড়ি বেয়ে অগ্রসর না হয়ে বরং তার বা দড়ির ঐ অংশের মধ্যে উৎপন্ন ও লুপ্ত হবে। তরঙ্গের উদ্ভবের সময় দেখা যাবে (চিত্র ৮.৯) তারের কোনো কোনো বিন্দুতে কোনো স্পন্দন নাই, যেমন N_1, N_2, N_3 ইত্যাদি।

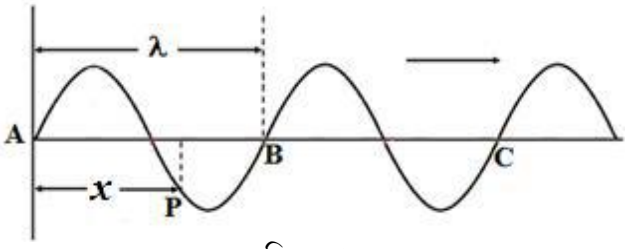
আবার কোনো কোনো বিন্দুতে সব সময় সর্বাধিক স্পন্দন হতে থাকবে। যেমন A_1, A_2, A_3 ইত্যাদি। প্রথমোক্ত বিন্দুগুলোকে নিস্পন্দ বিন্দু (Node) এবং শেষোক্ত বিন্দুগুলোকে সুস্পন্দ বিন্দু (Antinode) বলে। নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুগুলোর অবস্থানগুলো সব সময় স্থির। পরপর দুটো সুস্পন্দ বিন্দু বা দুটো নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হয়। গীটার, একতারা, সেতার ইত্যাদি বাদ্য যন্ত্রের তারে স্থির তরঙ্গ উৎপন্ন হয়।

৮.২.২ অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ

যখন কোনো মাধ্যমের ভিতর আন্দোলন এক স্তর থেকে অন্য স্তরে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হতে হতে নির্দিষ্ট বেগে কেবল সামনের দিকে অগ্রসর হয় তখন তাকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে। মাধ্যমের কণাগুলো সরল দোলন গতিতে আন্দোলিত হয়ে তরঙ্গ সৃষ্টি করে এবং সময়ের সাথে সাথে তরঙ্গ সামনের দিকে এগিয়ে যায়। এক্ষেত্রে একটি কণা থেকে আন্দোলন অন্য কণায় সঞ্চারিত হতে কিছু সময় লাগে। সুতরাং তরঙ্গের অভিমুখ বরাবর কণাগুলোর দশার পরিবর্তন ঘটতে থাকে।

তরঙ্গ যদি বাম থেকে ডান দিকে যায় তবে প্রথম বাম দিকের কণা আন্দোলিত হবে। পরক্ষণে ডান দিকের কণা আন্দোলিত হবে। ফলে তাদের মধ্যে দশার পার্থক্য ঘটবে।

ধরা যাক, একটি অগ্রগামী তরঙ্গ A থেকে C বরাবর এগুচ্ছে (চিত্র ৮. ১০)। যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলো সরল দোলন গতিতে আন্দোলিত হচ্ছে সেহেতু A বিন্দুতে অবস্থিত কণাটির গতিকে নিচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাবে।



চিত্র ৮.১০

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

এখানে, $y = t$ সময়ে ABC রেখা বা সাম্য অবস্থান থেকে কণাটির সরণ।

a = কণাটির তরঙ্গের বিস্তার

ω = কণার কৌণিক কম্পাঙ্ক

যদি কণাটির কম্পাঙ্ক f হয় তা হলে $\omega = 2\pi f$

$$\therefore \quad y = a \sin 2\pi f t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots$$

..... (৮.৫)

- আবার A কণাটি যখন সাম্য অবস্থান অতিক্রম করে তখন B কণাটিও একই দিকে সাম্য অবস্থান অতিক্রম করে। অর্থাৎ এরা একই দশায় অবস্থান করে। এরূপ একই দশা সম্পন্ন পরপর দুটি কণার মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, λ । অতএব এখানে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, λ = AB ।

তরঙ্গ A বিন্দু থেকে B বিন্দুতে গেলে কণাটির দশার পরিবর্তন হবে 2π । অতএব A বিন্দু থেকে x দূরত্বে P বিন্দুতে গেলে দশার পরিবর্তন হবে ,

$$\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda}$$

এখন, P বিন্দুতে অবস্থিত কণার সরণ y হলে,

$$y = a \sin(\omega t - \varphi)$$

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

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

$= a\sin(\omega t - kx)$ ....(৮.৬)

[এখানে, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ = তরঙ্গ সংখ্যা]

আবার, $y = a\sin\left(2\pi ft - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

$= a\sin\left(\frac{2\pi vt}{\lambda} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \qquad \left[\because v = f\lambda, \ \therefore f = \frac{v}{\lambda}\right]$

$y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ .... (৮.৭)

A কণা থেকে অপর যে কোনো কণার দূরত্ব x জানা থাকলে উপরের সমীকরণের সাহায্যে যেকোনো মুহূর্তের (t সময়ে) কণাটির সরণ নির্ণয় করা যায়। তাই এই সমীকরণটিকে মাধ্যমের কণাগুলোর সরণের সাধারণ সমীকরণ বলে। এটি অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ। তরঙ্গ ডান দিক থেকে বাম দিকে গেলে সমীকরণটির ($-x$ স্থলে $+x$) হবে, তখন সমীকরণটি হবে–

$y = a\sin(\omega t + kx)$ ....(৮.৮)

বা, $y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$ .... (৮.৯)

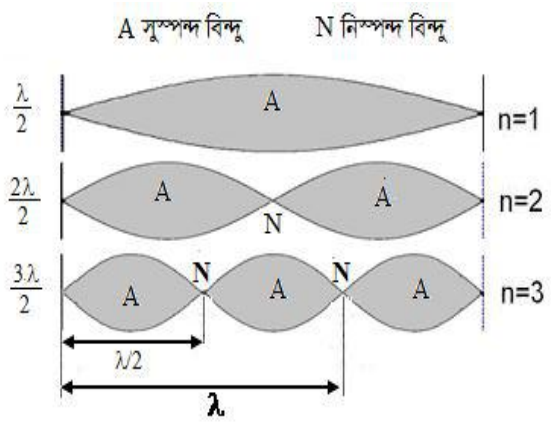
অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য

১. মাধ্যমের প্রত্যেকটি কণাই পর্যাবৃত্ত গতি লাভ করে।
২. প্রত্যেক কণার বিস্তার সমান কিন্তু একই নির্দিষ্ট সময়ে এদের সরণ সমান হয় না।
৩. তরঙ্গ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে নির্দিষ্ট বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়।
৪. মাধ্যমের কণাগুলোর দশা এক কণা থেকে অন্য কণাতে সঞ্চারিত হয়।
৫. মাধ্যমের কণাগুলো কখনই স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হয় না।
৬. অগ্রগামী তরঙ্গ অনুপ্রস্থ এবং অনুদৈর্ঘ্য উভয় প্রকারেরই হতে পারে।

: WWW: You tube.com/ Progressive wave

৮.২.৩ স্থির তরঙ্গের সমীকরণ

একই রকম দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে সমভাবে অগ্রসর হয়ে একে অপরের উপর আপতিত হলে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।



চিত্র ৮.১১

দুই প্রান্তে বাঁধা একটি টান টান করা তারের যেকোনো স্থানে টোকা দিলে বা সামান্য টেনে ছেড়ে দিলে অগ্রগামী তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। তরঙ্গটি তার বেয়ে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। এবং অপর প্রান্ত হতে প্রতিফলিত হয়ে মূল তরঙ্গের উপর আপতিত হয়। মূল তরঙ্গ এবং প্রতি ফলিত তরঙ্গ দুটির বিস্তার এবং কম্পাঙ্ক অভিন্ন।

এদের মধ্যে দশার পার্থক্য $180°$, এরা সম বেগে বিপরীত দিক থেকে এসে একে অপরের উপর আপতিত হয়ে স্থির তরঙ্গ সৃষ্টি করেছে (চিত্র ৮.১১)।

ধরা যাক সমান বিস্তার a, সমান তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ এবং সমান বেগ v বিশিষ্ট দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ একই অক্ষ বরাবর পরস্পর বিপরীত মুখে অগ্রসর হচ্ছে তা হলে সমীকরণ (৮.৭) এবং সমীকরণ (৮.৯) অনুসারে -

যেকোনো দিকে অগ্রগামী তরঙ্গটির সরণের সমীকরণ হবে, $y_1 = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ এবং

বিপরীত মুখী অগ্রগামী তরঙ্গটির সরণের সমীকরণ হবে, $y_2 = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$

মূল এবং প্রতফলিত দুটি তরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে এসে একে অপরের উপর আপতিত হয়, ফলে লব্ধি তরঙ্গের সরণ যদি y হয় তাহলে

$$y = y_1 + y_2$$

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

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

$$= a\left(2\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$; [$\because sinA + sinB = 2sin\frac{A+B}{2}cos\frac{A-B}{2}$ এবং cos(-θ) =cos θ]

$$= 2a\sin 2\pi ft\cos\frac{2\pi x}{\lambda} \quad [\ \because f = \tfrac{v}{\lambda}\ ]$$

$$= 2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\sin 2\pi ft$$

$$= 2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\sin\omega t \quad [\ \because 2\pi f = \omega,\ \text{কৌণিক কম্পাঙ্ক}\ ]$$

$\therefore y = A\sin\omega t$ ....(৮.১০)

এখানে তরঙ্গের উপর x দূরত্বে অবস্থিত কণার লব্ধি বিস্তার, $A = 2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda} = 2a\cos kx$ ধরা হয়েছে।

(৮.১০) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে , সমপাতিত তরঙ্গ দুটি সরল দোলন গতি উৎপন্ন করে যার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ, এবং বিস্তার $A= 2a\cos k\,x$, ফলে এটির বিস্তার x এর মানের উপর নির্ভর করে। সরল দোলন গতিটি অগ্রগামী তরঙ্গ নয়। কারণ এক্ষেত্রে দশার কোনো পার্থক্য নাই। অর্থাৎ এই সমীকরণে দশা পার্থক্য প্রকাশক $(vt - x)$ জাতীয় কোনো রাশি অন্তর্ভুক্ত নাই। সুতরাং এই সমীকরণটি স্থির তরঙ্গ প্রকাশ করে। এই তরঙ্গের উপরস্থ প্রতিটি কণা A পরিমাণ বিস্তার বিশিষ্ট সরল ছন্দিত স্পন্দন বা দোলন সম্পন্ন করছে। নির্দিষ্ট বিন্দুতে এই বিস্তার ধ্রুব, কিন্তু বিভিন্ন বিন্দুতে x এর মানের বিভিন্নতার উপর বিস্তারের মান বিভিন্ন হয় ।

সুস্পন্দ বিন্দু

যে সকল বিন্দুতে আন্দোলন সর্বাধিক সেই সব বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার সর্বোচ্চ অর্থাৎ, $A = \pm 2a$, সেই সব বিন্দুতে সুস্পন্দ তৈরি হবে।

আমরা জানি $\cos\theta$ এর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান যথাক্রমে $+1$ এবং -1। অতএব $\cos kx$ বা $\cos\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1$ সর্বোচ্চ হলে, বিস্তার সর্বোচ্চ অর্থাৎ $A = \pm 2a$ হবে। আবার যে সকল বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার সর্বোচ্চ, $A = \pm 2a$, সেই সকল বিন্দুতে আন্দোলন সর্বাধিক ফলে সেই সব বিন্দুতে সুস্পন্দ তৈরি হবে। সুতরাং যে সকল বিন্দুতে,

$\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, 3\pi \ldots\ldots\ldots\ldots n\pi$, হবে (যখন, n= 0. 1, 2, 3, ...)

বা, $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{n\lambda}{2}$, হবে (যখন, n= 0. 1, 2, 3, ...)

এই সব বিন্দুকে সুস্পন্দ বিন্দু (antinode) বলে।

নিস্পন্দ বিন্দু

যে সকলবিন্দুতে $\cos kx$ বা $\cos\frac{2\pi x}{\lambda} = 0$ সে সকল বিন্দুতে $A = 0$ হবে, অর্থাৎ সে সকল বিন্দুতে তরঙ্গেও বিস্তার $A= 0$ বা তরঙ্গের কোন স্পন্দন নাই। ঐ বিন্দুগুলিতে নিস্পন্দ তৈরি হবে। সুতরাং যে সকল বিন্দুতে

$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots\ldots\ldots\ldots \left(2m+1\right)\frac{\pi}{2}$, হবে (যখন, m= 0, 1, 2, 3, ...)

বা, $x = 0, \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{\left(2m+1\right)\lambda}{4}$, হবে (যখন, m= 0, 1, 2, 3, ...)

এই সব বিন্দুকে নিস্পন্দ বিন্দু (node) বলে।

স্থির তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য

১. মাধ্যমের স্থির বিন্দুগুলি ছাড়া অন্য সকল কণাই পর্যাবৃত্ত গতি লাভ করে। স্থির বিন্দুগুলি নিস্পন্দ বিন্দু।
২. স্থির বিন্দু ছাড়া অন্যান্য বিন্দুর কণাগুলির দোলন কাল বা স্পন্দন সমান হলেও বিস্তার সমান নয়।
৩. যে বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক তাদের সুস্পন্দ বিন্দু বলে। স্থির বিন্দুগুলিকে নিস্পন্দ বিন্দু বলে।
৪. পাশাপাশি দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী সকল কণা একই দশায় থাকে।

৫. প্রত্যেক পূর্ণ কম্পনে কণাগুলো দু'বার সাম্য অবস্থানে আসে।

৬. পরপর তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু বা তিনটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্বই স্থির তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য।

WWW: You tube.com/ stationary wave and prograssivewave /standing

গাণিতিক উদাহরণ ৮.২: কোনো তরঙ্গের বিস্তার 0.4m হলে, $t=\frac{T}{4}$ সময় কম্পনের উৎস হতে $x=\frac{\lambda}{8}$ দূরত্বে অবস্থিত বিন্দুর সাম্য অবস্থান হতে দূরত্ব কত হবে ?

সমাধান :

আমরা জানি,

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

$$= a\sin\left(2\pi\times\frac{1}{T}\times t - \frac{2\pi}{\lambda}.x\right) \quad [\because \quad f=\frac{1}{T} \quad]$$

$$= 0.4\times\sin\left(2\pi\times\frac{1}{T}\times\frac{T}{4} - \frac{2\pi}{\lambda}\times\frac{\lambda}{8}\right)$$

$$= 0.4\times\sin\left(\frac{2\pi}{4}-\frac{2\pi}{8}\right) = 0.4\times\sin\frac{\pi}{4}$$

$$= 0.4\times\left(\sin 45^\circ\right) = 0.4\times 0.7071 = 0.28284\text{m}$$

এখানে,

বিস্তার, $a = 0.4\text{m}$

সময়, $t=\frac{T}{4}$

দূরত্ব, $x=\frac{\lambda}{8}$

সরণ, y = ?

উত্তর ঃ 0.28 m

সার-সংক্ষেপ :

- **অগ্রগামী তরঙ্গ ঃ** যখন কোনো মাধ্যমের ভিতর আন্দোলন এক স্তর থেকে অন্য স্তরে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হতে হতে নির্দিষ্ট বেগে কেবল সামনের দিকে অগ্রসর হয় তখন তাকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে।
- **স্থির তরঙ্গ ঃ** একই রকম দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে সমভাবে অগ্রসর হয়ে একে অপরের উপর আপতিত হলে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।
- **অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ ঃ** যেকোনো বিন্দুতে t সময়ে সাম্য অবস্থান থেকে কণার সরণ y হলে

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

  এখানে a = কণাটির তরঙ্গের বিস্তার , v = তরঙ্গ বেগ, λ= তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং x = নির্দিষ্ট কণা বা বিন্দু থেকে কণাটির দূরত্ব।
- **স্থির তরঙ্গের সমীকরণ ঃ** যেকোনো বিন্দুতে t সময়ে সাম্য অবস্থান থেকে কণার সরণ y হলে,

  $y = A\sin\omega t$

  এখানে A = ঐ বিন্দুতে তরঙ্গের বিস্তার এবং ω = কৌণিক কম্পাঙ্ক
- **সুস্পন্দ বিন্দু ঃ** স্থির তরঙ্গের যে বিন্দুগুলিতে বিস্তার সর্বাধিক তাদের সুস্পন্দ বিন্দু বলে।
- **নিস্পন্দ বিন্দু ঃ** স্থির তরঙ্গের যে বিন্দুগুলিতে বিস্তার শূন্য অর্থৎ যে বিন্দুগুলি সর্বক্ষণ স্থির তাদের নিস্পন্দ বিন্দু

বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। পানিতে ঢিল ফেললে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি সেটি কোন শ্রেণির তরঙ্গ?

(ক) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (খ) অগ্রগামী তরঙ্গ
(গ) স্থির তরঙ্গ (ঘ) দীঘল তরঙ্গ

২। কোন ধরনের তরঙ্গ সুস্পন্দ বিন্দু ও নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি করে?

(ক) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (খ) অগ্রগামী তরঙ্গ
(গ) স্থির তরঙ্গ (ঘ) দীঘল তরঙ্গ

৩। যখন একটি স্পন্দনশীল কণার তরঙ্গের বিস্তার A, কৌণিক কম্পাঙ্ক ω, সাম্য অবস্থান থেকে কণার সরণ y, এবং সময় t তখন কোনটি স্থির তরঙ্গের সমীকরণ ?

(ক) $y = \mathrm{a}\sin\omega t$ (খ) $y = A\cos\omega t$
(গ) $A = y\cos\omega t$ (ঘ) $y = A\sin\omega t$

৪। নিস্পন্দ বিন্দুর জন্য কোনটি সঠিক?

(ক) তরঙ্গের বিস্তার শূন্য (খ) তরঙ্গের বিস্তার খুব সামান্য
(গ) তরঙ্গ বিস্তার সর্বোচ্চ (ঘ) লব্ধি বিস্তার $A = \pm 2a$,

৫। স্থির তরঙ্গের স্থির বিন্দু ছাড়া অন্যান্য বিন্দুর কণাগুলির–

(ক) দোলন কাল সমান নয় (খ) স্পন্দন সমান নয়
(গ) বিস্তার সর্বাধিক হয় (ঘ) বিস্তার সমান নয়

পাঠ-৮.৩ শব্দ, শব্দের তীব্রতা ও তীব্রতার লেভেল
Sound, Intensity and Intensity Level of Sound

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- শব্দের উৎপত্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- শব্দ যে একটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- শব্দের তীব্রতা ও তীব্রতার লেভেল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৩.১ শব্দ ও শব্দের উৎপত্তি (Sound and production of sound)

শব্দ এক প্রকার শক্তি, যা আমাদের শ্রবণ ইন্দ্রিয়ে শোনার অনুভূতি জাগায়। শব্দ শক্তি তরঙ্গাকারে এক স্থান বা বিন্দু থেকে অন্য স্থানে বা বিন্দুতে সঞ্চালিত হয়। আমরা আগেই জেনেছি শব্দ এক প্রকার যান্ত্রিক এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।

শব্দ কিভাবে সৃষ্টি বা উৎপন্ন হয় জানার এবং বুঝার জন্য একটি ছোট্ট পরীক্ষা করুন। এজন্য আপনার দরকার হবে একটি কাসা বা স্টিলের তৈরি পাত্র (থালা, বাটি, প্লেট বা গামলা), একটি যেকোনো সাইজের ছোট চামচ এবং একটি ঘড়ি। (ঘড়ি না থাকলেও চলবে সেক্ষেত্রে আন্দাজ করে সময় হিসেব করতে হবে)। লক্ষ্য রাখবেন পাত্রটি যেন ভিজা না হয়।

চিত্র ৮.১২ উৎসের স্পন্দন থেকে শব্দের সৃষ্টি

এবার টেবিল বা মেঝের উপর পাত্রটি রেখে, চামচটি দিয়ে মৃদুভাবে পাত্রটির গায়ে আঘাত করুন (চিত্র ৮.১২)। একটি শব্দ শুনবেন ঝন-ন-ন-ন.....। শব্দের রেশ ২০ থেকে ৩০ সেকেন্ড বা তারও বেশিক্ষণ থাকবে। কয়েক বার এভাবে শব্দ করুন। এবং কতক্ষণ শব্দের রেশ থাকে তা লিখে রাখুন।

এবার শব্দ শুরু হওয়ার ২ সেকেন্ডের মধ্যে পাত্রটি হাত দিয়ে চেপে ধরুন। কি দেখছেন? হাত দিয়ে ধরার সাথে সাথে শব্দ থেমে যাবে। শব্দ থেমে গেল কেন?

এবার থালা বা পাত্রটি বাম হাতের তালুর উপর নিন (বাসন কোসনের দোকানী যেমন করে (চিত্র:৮.১৩)। চামচটি ডান হাতে ধরে পাত্রটিকে আগের মতো মৃদুভাবে আঘাত করুন।

শব্দ শুনবেন। হাতের তালুতে কম্পন অনুভব করবেন। ডান হাত দিয়ে পাত্রটি চেপে ধরুন। হাতের তালুতে কম্পন অনুভূতি থেমে যাবে। শব্দ থেমে যাবে। এ পরীক্ষা থেকে প্রমাণ হয় বস্তুর কম্পন থেকে শব্দ উপন্ন হয়।

চিত্র ৮.১৩ হাতের তালুর উপর কম্পনের অনুভূতি

শব্দের উৎস যে বস্তুর কম্পন তার অনেক অনেক প্রমাণ আছে। একটি পাতলা কাগজের টুকরো মুখের সামনে খাড়া করে ধরে জোরে ফুঁ দিলে পাতাটি কাঁপে, শব্দ হয়। ফুঁ দেয়া বন্ধ করলে কাগজের কাঁপা থেমে যায়, শব্দও থেমে যায়। অনেকে গাছের পাতা দিয়ে বাঁশির সুর বাজায়।

আগের পাঠে আমরা জেনেছি পুকুরের পানিতে ঢিল ফেললে একটি বিন্দুতে সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হয়। এতে পানির কণাগুলোর মধ্যে আন্দোলন সৃষ্টি হয়, তরঙ্গের উদ্ভব হয়। এবং পানির মধ্য দিয়ে তা চারিদিকে সঞ্চালিত হয়। তেমনি বাতাস বা

কোনো জড় মাধ্যমের মধ্যে কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো বস্তুর কম্পন হলে বা মাধ্যমের কোনো বিন্দুতে বিঘ্ন সৃষ্টি করলে মাধ্যমের কণাগুলো আন্দোলিত হয়ে তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই তরঙ্গ জড় মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়, মাধ্যমের সংলগ্ন কণাকেও আন্দোলিত করে। অত:পর এই আন্দোলন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়ে আমাদের কানে প্রবেশ করে। কানের মধ্যে বিভিন্ন যান্ত্রিক কৌশলের মাধ্যমে মস্তিকে শব্দের অনুভূতি সৃষ্টি হয়। আমরা শব্দ শুনতে পাই।

৮.৩.২ শব্দ একটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ

অনুচ্ছেদ ৮.২.২ এ অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য এবং অনুচ্ছেদ ৮.১.৫ এ দীঘল তরঙ্গ সম্পর্কে জেনেছি। আমরা জানি জড় মাধ্যমের মধ্যে বস্তুর কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয় এবং মাধ্যমের কণাগুলোর সংকোচন ও প্রসারণের মাধ্যমে তরঙ্গ আকারে সবদিকে ছড়িয়ে পড়ে বা অগ্রসর হয়। একটি সংকোচন এবং একটি প্রসারণ অংশ নিয়ে একটি তরঙ্গ গঠিত হয়। শব্দ এধরণের একটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ। এ প্রসঙ্গে নিচের যুক্তিগুলো বিবেচনা করা যায়।

১. দীঘল তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য জড় মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পন প্রয়োজন। শব্দ সৃষ্টির জন্য বস্তুর কম্পন প্রয়োজন।

২. তরঙ্গ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সঞ্চারণের জন্য সময় প্রয়োজন, অর্থাৎ তরঙ্গের নির্দিষ্ট বেগ থাকে। শব্দ সঞ্চারণের জন্য সময় প্রয়োজন বা শব্দেরও নির্দিষ্ট বেগ আছে।

৩. দীঘল তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যমের কণাগুলো সামনে পেছনে স্পন্দিত হয়, কিন্তু সাম্য অবস্থান থেকে এগিয়ে যায় না, কেবল শক্তি সঞ্চারণ ঘটায়। শব্দের ক্ষেত্রেও শব্দ সৃষ্টিকারী জড় মাধ্যমের কণাগুলো সাম্য অবস্থানে থেকে সামনে পেছনে স্পন্দিত হয় এবং শব্দ শক্তিকে উৎস থেকে শ্রোতার কানে পৌঁছে দেয়।

৪. অগ্রগামী তরঙ্গের ক্ষেত্রে কোনো মাধ্যমের ভিতর আন্দোলন এক স্তর থেকে অন্য স্তরে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হতে হতে নির্দিষ্ট বেগে কেবল সামনের দিকে অগ্রসর হয়, শব্দ তরঙ্গও তেমনি উৎসের কম্পনে দীঘল তরঙ্গাকারে গোলকীয় তলে সবদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং বাধা না পাওয়া পর্যন্ত কেবলই সামনের দিকে অগ্রসর হয়।

৫. সকল ধরণের তরঙ্গ যেমন প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার ও অপবর্তন হয়, শব্দের বেলাতেও তা দেখা যায়। অতএব বলা যায়, শব্দ এক ধরণের একটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ।

৮.৩.৩ শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা (Intensity of Sound)

আমাদের সাধারণ এবং দৈনন্দিন জীবনের অভিজ্ঞতা হলো শব্দের উৎসের যত কাছে থাকবেন, শব্দ তত জোরালো শুনবেন। যত দূরে থাকবেন তত মৃদু শুনবেন। আবার উৎস ভেদে একই দূরত্বে থেকেও কোনো শব্দ জোরালো কোনো শব্দ আস্তে শুনবেন। আবার কোনোটি হয়তো শুনতেই পাবেন না। একই উৎস থেকে বিভিন্ন দূরত্বে অথবা বিভিন্ন উৎস থেকে একই দূরত্বে থেকে যদি একই শব্দ অপেক্ষাকৃত কম বা বেশি জোরে শুনা যায় তাই শব্দের আপেক্ষিক প্রাবল্য বা তীব্রতা। অর্থাৎ শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা বলতে শব্দ কতটা জোরে হচ্ছে তা বুঝায়।

শব্দ বিস্তারের অভিমুখে লম্বভাবে কল্পিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শব্দ শক্তি প্রবাহিত হয় তাকে শব্দের তীব্রতা বলে। শব্দের তীব্রতার একক $Js^{-1}m^{-2}$ (জুল/ সেকেন্ড-বর্গ মিটার) বা Wm^{-2} (ওয়াট/বর্গমিটার)। শব্দের প্রাবল্য যত বাড়বে শব্দ তত জোরালো হবে। শব্দ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, বিস্তার, উৎসের আকার, মাধ্যমের ঘনত্ব, উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব বিভিন্ন বিষয়ের ওপর শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা নির্ভরশীল।

(ক) বিস্তার ঃ কোনো বস্তুকে মৃদু আঘাত করলে বিস্তার কম হয়। কিন্তু জোরে আঘাত করলে বিস্তার বেশি হয় শব্দ আগের থেকে প্রবল হয়। এক্ষেত্রে শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। অথাৎ তীব্রতা I এবং বিস্তার a হলে,

$I \propto a^2$

(খ) কম্পাঙ্ক ঃ কোনো বস্তুকে মৃদু আঘাত করলে কম্পন কম হয়। কিন্তু জোরে আঘাত করলে কম্পন বেশি হয় শব্দ আগের থেকে প্রবল হয়। এক্ষেত্রে শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা কম্পাঙ্কের বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ তীব্রতা I এবং কম্পাঙ্ক f হলে, $I \propto f^2$

(গ) মাধ্যমের ঘনত্ব ঃ আমরা জানি বায়ু থেকে কাঠ বা ধাতুর মধ্যে শব্দ জোরাল হয়। বায়ু থেকে কাঠের ঘনত্ব বেশি। অতএব কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত শব্দের প্রাবল্য মাধ্যমের ঘনত্বের সমানুপাতিক। অর্থাৎ তীব্রতা I এবং মাধ্যমের ঘনত্ব ρ হলে, $I \propto \rho$

(ঘ) শব্দের উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব ঃ উৎস যত দূরে হয় শব্দের তীব্রতা তত কম হয়। কোনো বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা উৎস থেকে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ শব্দের তীব্রতা I এবং শ্রোতা ও উৎসের দূরত্ব r হলে, $I \propto \frac{1}{r^2}$

(ঙ) মাধ্যমে শব্দের বেগ ঃ বিভিন্ন কারণে শব্দের বেগ পরিবর্তিত হয়। সেক্ষেত্রে শব্দের তীব্রতারও পরিবর্তন হয়। কোনো মাধ্যমে শব্দের তীব্রতা ঐ মাধ্যমের শব্দের বেগের সামানুপাতিক। অর্থাৎ শব্দের তীব্রতা I এবং বেগ v হলে

$I \propto v$

ক থেকে ঙ পর্যন্ত সম্পর্কগুলি একত্রিত করলে আমরা পাই, $I \propto \frac{a^2 f^2 \rho v}{r^2}$

এছাড়া শব্দের উৎসের আকার ও ধরন, শব্দ সৃষ্টিকারী বস্তুর পারিপার্শিক অবস্থা, শ্রোতা ও মাধ্যমের গতি প্রকৃতি ইত্যাদি নিয়ামকের উপরেও শব্দের তীব্রতা নির্ভর করে।

কোনো বিন্দু উৎস থেকে শব্দ উৎপন্ন হলে তা গোলকীয় (spherical) তরঙ্গাকারে উৎসের চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। বিন্দু উৎসটিকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের গোলক পৃষ্ঠে যদি প্রতি সেকেন্ডে আপতিত শব্দ শক্তির পরিমাণ P হয় তা হলে A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট গোলক পৃষ্ঠের কোনো বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা হবে,

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{... ... .} \quad (৮.১১)$$

কোন গোলকীয় তরঙ্গের (spherical wave) যে কোনো উৎস দ্বারা সৃষ্ট শব্দের জন্য কোনো বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা নির্ণয় করা যায়। তীব্রতা পরিমাপের একক $Js^{-1}m^{-2}$ বা Wm^{-2} ।

৮.৩.৪ শব্দের তীব্রতার লেভেল (Sound Intensity level)

শব্দের তীব্রতা হচ্ছে একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত শব্দ শক্তির পরিমাণ। সাধারণ ক্ষেত্রে বাতাসের মধ্যে শ্রোতার অবস্থানের সাপেক্ষে তীব্রতা পরিমাপ করা হয়। এর মূল একক W/m^2 । শব্দের তীব্রতা ও পরিমাপ আপেক্ষিক শ্রাব্যতার সর্ব নিম্ন ধাপ থেকে শুরু হয়। এই সর্ব নিম্ন তীব্রতাকে বলা হয় প্রমিত বা প্রমাণ তীব্রতা I_0। এর মান 10^{-12} Wm^{-2} বেছে নেয়া হয়েছে। এটি হচ্ছে 1000Hz কম্পাঙ্কের একটি শব্দ তরঙ্গের তীব্রতা যাকে **শ্রাব্যতার সূচনা সীমা** (threshold of audibility) হিসাবেও ধরা হয়।

তীব্রতা যদি এই সূচনা সীমা থেকে 10^{12} গুণ বাড়ানো হয় তবে সেটাও কোনোরকম অসুবিধার সৃষ্টি না করেই আমাদের কানে শ্রবণ অনুভূতি সৃষ্টি করে অর্থাৎ আমাদের কানের শ্রব্যতা সীমা অত্যন্ত ব্যাপক।

শব্দের তীব্রতা 10^{-3} Wm^{-2} থেকে 10^{-2} Wm^{-2} তে অর্থাৎ 10 গুণ বাড়ালে শব্দ যত জোরালো শোনাবে, তীব্রতা 10^{-3} Wm^{-2} থেকে 10^{-1} Wm^{-2} অর্থাৎ 100 গুণ বাড়ালে শব্দ তার থেকে দ্বিগুণ জোরালো শোনাবে। আবার তীব্রতা 10^{-3} Wm^{-2} থেকে 10 Wm^{-2} অর্থাৎ 1000 গুণ বাড়ালে শব্দ তার থেকে তিন গুণ জোরালো শোনাবে। এখন আমরা জানি $\log_{10}1000 = 3$, $\log_{10}100 = 2$ এবং $\log_{10}10 = 1$ হয়। এ ক্ষেত্রে দেখা যায় শব্দের পরিবর্তনে আমাদের শ্রবণের তীব্রতার পার্থক্যের অনুভূতি লগ স্কেল মেনে চলে।

তাই সাধারণভাবে একটি শব্দের তীব্রতার লেভেল বা স্তরকে নিম্ন লিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়:

শব্দের তীব্রতার লেভেল বা Sound Intensity Level (SIL), $\beta = \log_{10}\frac{I}{I_0}$ বেল ... . (৮.১২)

এখানে, I = শব্দের পরম তীব্রতা। বেল নামটি নেওয়া হয়েছে টেলিফোনের আবিষ্কারক গ্রাহাম বেলের নামানুসারে।
এবং I_0 = শব্দের প্রমিত বা প্রমাণ তীব্রতা = 10^{-12} Wm^{-2}

শব্দের তীব্রতার লেভেল বা স্তরের এই সংজ্ঞা অনুসারে বেল এককে তীব্রতার স্তর পরিমাপ করা হয়। যদি $\frac{I}{I_0} = 10$ হয় তবে তীব্রতার লেভেল 1 বেল। $\frac{I}{I_0} = 100$ হয় তবে তীব্রতার লেভেল 2 বেল ইত্যাদি।

বাস্তব ক্ষেত্রে বেল একটি বড় একক তাই ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ডেসিবেল (dB) একক ব্যবহার করা হয়।
এক ডেসিবেল = এক বেলের এক দশমাংশ $(1\ \text{dB} = \frac{1}{10}\text{B})$।

ডেসিবেল এককে শব্দের তীব্রতার লেভেল, $\beta = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$ dB ... . (৮.১৩)

100 কম্পাঙ্কের শব্দ তরঙ্গের শ্রাব্যতার সূচনা বা প্রমিত তীব্রতা 10^{-12} Wm^{-2}। (0 dB)
সাধারণ কথাবার্তার তীব্রতা 10^{-5} Wm^{-2}। ডেসিবেল স্কেলে এর লেভেল হবে,

$$10\log_{10}\frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 10\log_{10}10^{7} = 10\times 7 = 70\text{dB}$$

কানের জন্য পীড়াদায়ক বা শ্রবণ যন্ত্রে যন্ত্রণা দায়ক শব্দের তীব্রতার সূচনা সীমা হচ্ছে 1 Wm^{-2}। ডেসিবেল স্কেলে এর তীব্রতার লেভেল হবে, $10\log_{10}\frac{1}{10^{-12}} = 10\log_{10}10^{12} = 10\times 12 = 120\text{dB}$

৮.১ সারণিতে বিভিন্ন শব্দ উৎসের তীব্রতা, আপেক্ষিক তীব্রতা ও তীব্রতার লেভেলসহ মন্তব্য দেয়া হলো।

সারণি ৮.১ বিভিন্ন শব্দ উৎসের তীব্রতা ও তীব্রতার লেভেল

শব্দ উৎস	তীব্রতা (Wm^{-2})	আপেক্ষিক তীব্রতা I/I_0	তীব্রতার লেভেল (dB)	মন্তব্য
বাতাসে পাতা স্বাভাবিক নড়া	1×10^{-12}	10^0	0	শ্রাব্যতার প্রারম্ভিক সীমা
স্বাভাবিক শ্বাস-প্রশ্বাস	1×10^{-11}	10^1	10	সামান্য শোনা যায়
ফিস ফিস শব্দ	1×10^{-10}	10^2	20	
দেয়াল ঘড়ির টিক টিক	1×10^{-9}	10^3	30	অতি প্রশান্ত
পাঠাগার	1×10^{-8}	10^4	40	
অফিস/ ক্লাস রুম	1×10^{-7}	10^5	50	প্রশান্ত
স্বাভাবিক কথোপকথন	1×10^{-6}	10^6	60	
হাট বাজার	1×10^{-5}	10^7	70	সামান্য উচ্চ
কল কারখানার মেশিন	1×10^{-4}	10^8	80	উচ্চ; সার্বক্ষণিক শ্রবণে শ্রুতি ক্ষতিকর

চলন্ত মোটর বাইক বা স্ক্রুটার	1×10^{-3}	10^{9}	90	
	1×10^{-2}	10^{10}	100	
	1×10^{-1}	10^{11}	110	
মাইকে ব্যান্ড সঙ্গীত	1×10^{0}	10^{12}	120	অতি উচ্চ; শ্রুতি যন্ত্রণা আরম্ভ

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৩: কোনো শ্রেণিকক্ষের শব্দের তীব্রতা 2×10^{-8} Wm^{-2}। (ক) শব্দের তীব্রতা লেভেল নির্ণয় করুন। (খ) শব্দের তীব্রতা তিনগুণ হলে নতুন তীব্রতা লেভেল কত হবে?

সমাধান :

আমরা জানি,

$$\beta_1 = 10\log_{10}\frac{I_1}{I_0}$$

$$= 10\log_{10}\frac{2\times10^{-8}}{10^{-12}}$$

$$= 10\log(2\times10^{4})$$

$$= 43 \text{ dB}$$

আবার,

$$\beta_2 = 10\log_{10}\frac{I_2}{I_0}$$

$$= 10\log_{10}\frac{6\times10^{-8}}{10^{-12}}$$

$$= 10\log(6\times10^{4})$$

$$= 47.78 \text{ dB}$$

এখানে,
প্রমাণ তীব্রতা, $I_0 = 10^{-12}$ Wm^{-2}

১ম ক্ষেত্রে,
শ্রেণিকক্ষের তীব্রতা, $I_1 = 2\times10^{-8}$ Wm^{-2}
তীব্রতা লেভেল, $\beta_1 = ?$

২য় ক্ষেত্রে,
শ্রেণিকক্ষের তীব্রতা, $I_2 = 3\ I_1$
$= 6\times10^{-8}$ Wm^{-2}
তীব্রতা লেভেল, $\beta_2 = ?$

উত্তর ঃ 43 dB এবং 47.78 dB

সার-সংক্ষেপ :

- **শব্দঃ** শব্দ এক প্রকার শক্তি। বস্তুর কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। এটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ আকারে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়।
- **শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা** ঃ শব্দ বিস্তারের অভিমুখে লম্বভাবে কল্পিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শব্দ শক্তি প্রবাহিত হয় তাকে শব্দের তীব্রতা বলে।
- **শব্দের তীব্রতার একক ঃ** $Js^{-1}m^{-2}$ (জুল/ সেকেন্ড-বর্গ মিটার) বা Wm^{-2} (ওয়াট/বর্গমিটার)।
- **শব্দের তীব্রতার নিয়ামক সমূহ ঃ** শব্দ তরঙ্গের বিস্তার, কম্পাঙ্ক,মাধ্যমের ঘনত্ব,শব্দের উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব, মাধ্যমে শব্দের বেগ, শব্দ উৎসের আকার ও ধরন, শ্রোতা ও মাধ্যমের গতি প্রকৃতি শব্দের তধব্রতার নিয়ামক।

- **শব্দের তীব্রতার লেভেল** বা স্তর ঃ সংক্ষেপে (SIL), $\beta = \log_{10}\frac{I}{I_0}$ বেল এবং $\beta = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$dB।
- এখানে, I = শব্দের পরম তীব্রতা এবং I_0 = শব্দের প্রমিত তীব্রতা।
- **শব্দের প্রমিত বা প্রমাণ তীব্রতা** = 10^{-12} Wm^{-2} ; এটি শ্রাব্যতার প্রারম্ভিক সীমা।
- **শব্দের তীব্রতার লেভেলের একক ঃ** বেল (B) এবং ব্যবহারিক একক ডেসিবেল (dB)।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। শব্দ তরঙ্গের তীব্রতার একক কোনটি ?

(ক) Wm^{-2} (খ) $Js^{-2}m^{-2}$
(গ) $Js^{-1}m^{-1}$ (ঘ) ডেসিবেল

২। শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা (I) এবং কম্পাঙ্ক (f) হলে,তীব্রতা ও কম্পাঙ্কের সম্পর্ক কী ?

(ক) $I = f$ (খ) $I \propto f$
(গ) $I \propto f^2$ (ঘ) $I = f^2$

৩। শ্রাব্যতার সূচনা সীমা কত?

(ক) 2000 Hz (খ) 10^{-12} Wm^{-2}
(গ) 10^{-2} Wm^{-2} (ঘ) 10^{-3} Wm^{-2}

৪। কত কম্পাঙ্কের শব্দ তরঙ্গের শ্রাব্যতার প্রমিত তীব্রতা 10^{-12} Wm^{-2} ?

(ক) 2000 Hz (খ) 1000 Hz
(গ) 100 Hz (ঘ) 10 Hz

৫। স্বাভাবিক কথোপকথনের শব্দের তীব্রতা লেভেল কত ?

(ক) 10 dB (খ) 60 dB
(গ) 100 dB (ঘ) 110 dB

পাঠ-৮.৪ বিট
Beats

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

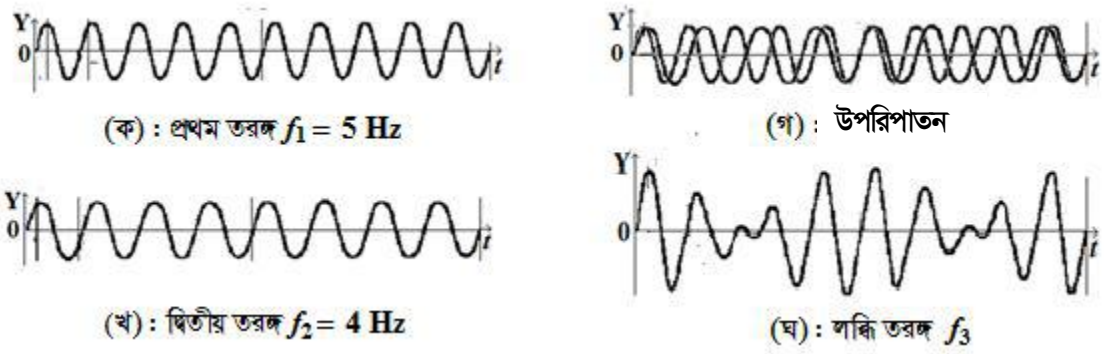
- বিট কী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে বিট সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কয়েকটি ক্ষেত্রে বিটের ব্যবহারিক প্রয়োগ বর্ণনা করতে পারবেন।

৮.৪.১ বিট ও বিট গঠনের কৌশল (Beats and mechanism of formation of beats)

আমরা জানি জড় মাধমের কম্পনের ফলে তরঙ্গাকারে শব্দ সঞ্চারিত হয়। মাধ্যমের কণাগুলির স্পন্দন বা তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের উপর শব্দের বা তরঙ্গের তীব্রতা কম বেশি হয়। অতএব সব তরঙ্গের কম্পাঙ্ক সমান নয়। প্রায় সমান কম্পাঙ্ক ও সমান বিস্তারের দুটি উৎস থেকে একই সময়ে দুটি শব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন হয়ে একই দিকে অগ্রসর হলে এরা পরস্পরের সাথে মিলে একটি লব্ধি শব্দ তরঙ্গ সৃষ্টি করে। এই লব্ধি তরঙ্গ বা শব্দের তীব্রতা কোনো মুহূর্তে হ্রাস পায় আবার পরবর্তী মুহূর্তে বৃদ্ধি পায়। শব্দের তীব্রতার এরূপ পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধিকে স্বরকম্প বা বীট বলে।

বিটের গঠন কৌশল

প্রায় সমান কম্পাঙ্কের দুটি শব্দ উৎসের কথা ভাবা যাক। এখন একই সঙ্গে এদের কম্পন সৃষ্টি করলে শব্দ উৎপন্ন হয়ে বাতাসের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হবে। ধরা যাক প্রথম তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক f_1, এবং দ্বিতীয় তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক f_2। ৮.১৪(গ) চিত্রে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতন দেখান হয়েছে।



চিত্র ৮.১৪ বিট গঠনের কৌশল

উপরিপাতিত দুটি তরঙ্গ লক্ষ্য করলে দেখা যায় এরা কখনও সমদশায় কখনও বিপরীত দশায় মিলিত হয়েছে। মাধ্যমের যে বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি একই দশায় মিলিত হয় সেখানে উপরিপাতনের ফলে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার আদি তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তারের যোগফলের সমান হয়। ফলে শব্দের প্রবল্য বেড়ে যায়। আবার যে যে বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় মিলিত হয় সেখানে লব্দি তরঙ্গের বিস্তার আদি তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তারের বিয়োগ ফলের সমান হয়। ফলে শব্দের প্রাবল্য কমে যায়। ৮.১৪(ঘ) চিত্রে লব্ধি তরঙ্গ দেখানো হয়েছে। যেহেতু সময়ের সাথে সাথে শব্দ তরঙ্গ এগিয়ে চলে তাই প্রতিনিয়ত তরঙ্গদ্বয়ের দশার পরিবর্তন হতে থাকে এবং লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার পর্যায়ক্রমে কমতে ও বাড়তে থাকে অর্থাৎ লব্দি শব্দের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। এভাবেই বিট গঠিত হয়।

৮.৪.২ বিটের গাণিতিক বিশ্লেষণ (Mathatical Analysis of Beat)

ধরা যাক, অভিন্ন a বিস্তার কিন্তু সামান্য পার্থক্যের f_1 এবং f_2 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট দুটি শব্দ তরঙ্গ একই সময়ে একই দিকে অগ্রসর হচ্ছে। t সময় পরে কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরঙ্গ দুটির সরণ যথাক্রমে y_1 এবং y_2 হলে,

$$y_1 = a\sin 2\pi f_1 t$$
$$y_2 = a\sin 2\pi f_2 t$$

ধরা যাক এক্ষেত্রে, $f_1 > f_2$ এবং তরঙ্গদ্বয়ের উপরিপাতনের ফলে লব্ধি তরঙ্গের সরণ y হলে,

$$y = y_1 + y_2$$
$$y = a\sin 2\pi f_1 t + a\sin 2\pi f_2 t$$
$$= a\left(\sin 2\pi f_1 t + \sin 2\pi f_2 t\right)$$
$$= a\left\{2\sin\left(\frac{2\pi f_1 t + 2\pi f_2 t}{2}\right)\cos\left(\frac{2\pi f_1 t - 2\pi f_2 t}{2}\right)\right\}$$

$$[\because sinA + sinB = 2sin\tfrac{A+B}{2}cos\tfrac{A-B}{2}]$$

$$= 2a\left\{\sin\frac{(2\pi f_1 + 2\pi f_2)t}{2}\cos\frac{(2\pi f_1 - 2\pi f_2)t}{2}\right\}$$
$$= \left\{2a\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t\right\}.\left\{\sin 2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t\right\} \quad \text{.. .. ..(৮.১৪)}$$

তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ ৮.৫ [$y = a\sin 2\pi f t$] এর সাথে তুলনা করে বলা যায় উপরের (৮.১৪) নং সমীকরণটি একটি সরল ছন্দিতস্পন্দন বা দোলনগতি সম্পন্ন তরঙ্গের সমীকরণ যার বিস্তার

$A = 2a\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$ এবং কম্পাঙ্ক $f = \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)$

অর্থাৎ দুটি তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে যে নতুন লব্দি তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তার বিস্তার $A = 2a\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t$

এবং কম্পাঙ্ক $f = \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)$, যা তরঙ্গ দুটির কম্পাঙ্কের গড়।

লব্ধি তরঙ্গটির বিস্তারের মান সময় t এর সাথে পরিবর্তিত হয়। A এর মান কখনো সর্বাধিক কখনো সর্বনিম্ন হয়। আমরা ৮.৩.৩ পাঠে জেনেছি শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। সুতরাং বিস্তারের হ্রাস বৃদ্ধির জন্য শব্দের হ্রাস বৃদ্ধি শোনা যায়।

বিটের পরিমাণ নিরূপনের সমীকরণ

A এর মান সর্বাধিক হল লব্ধি তরঙ্গটির তীব্রতা সবচেয়ে বেশি হবে। অর্থাৎ যখন

$\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = \pm 1$ হবে

বা, $2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = 0,\ \pi,\ 2\pi,\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ n\pi$ হবে। [$n = 0, 1, 2, 3 \ldots\ \ldots\ \ldots$ ইত্যাদি]

অথবা, $t = 0,\ \frac{1}{f_1 - f_2},\ \frac{2}{f_1 - f_2},\ \ldots\ \ldots\ \ldots \frac{n}{f_1 - f_2}$ হবে।

এ ক্ষেত্রে বিস্তার সর্বাধিক $2a$ এর সমান হয় ফলে। প্রবল শব্দ শোন যায়। অতএব পরপর দুটি প্রবল শব্দ শোনার

সময়ের ব্যবধান $= \frac{1}{f_1 - f_2}$ সেকেন্ড .... (৮.১৫)

আবার A এর মান সর্বানিম্ন হলে লব্ধি তরঙ্গটির তীব্রতা সবচেয়ে কম হবে। অর্থাৎ যখন

$\cos 2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = 0$ হবে

বা, $2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t = \frac{\pi}{2},\ \frac{3\pi}{2},\ \ldots\ldots\ (2n+1)\frac{\pi}{2}$ হবে। [$n = 0, 1, 2, 3$ .. . ইত্যাদি]

অথবা, $t = \frac{1}{2(f_1 - f_2)},\ \frac{3}{2(f_1 - f_2)},\ \ldots\ldots\ \frac{(2n+1)}{2(f_1 - f_2)}$ হবে।

t এসব মানের জন্য বিস্তার শূন্য হয়। ফলে কোন শব্দ শোনা যায় না। অতএব

পরপর দুটি নিঃশব্দের সময়ের ব্যবধান $= \frac{1}{f_1 - f_2}$ সেকেন্ড ... . (৮.১৬)

(৮.১৫) এবং (৮.১৬) সমীকরণ দুটি থেকে দেখা যায়, পরপর দুটি প্রবল শব্দ বা পরপর দুটি নিঃশব্দ পেতে একই সময় লাগে। এবং একটি প্রবল শব্দের পরে একটি নিঃশব্দ আবার একটি নিঃশব্দের পরে একটি প্রবল শব্দ পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন হতে থাকে। সুতরাং দুটি প্রবল শব্দ বা দুটি নিঃশব্দের মধ্যে সময়ের ব্যবধান $\frac{1}{f_1 - f_2}$ সেকেন্ড । এটিই একটি বিট অর্থাৎ,

$\frac{1}{f_1 - f_2}$ সেকেন্ডে নিঃস্পন্ন বিটের সংখ্যা $= 1$ টি

$\therefore$ 1 সেকেন্ডে নিঃস্পন্ন বিটের সংখ্যা $= (f_1 - f_2)$ টি

সুতরাং প্রতি সেকেন্ডে সৃষ্ট বিটের সংখ্যা উৎস দুটির কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান। বা বিট সংখ্যা N হলে,

$N = (f_1 \sim f_2)$ ... .(৮.১৭)

এক্ষেত্রে $f_1 > f_2$ ধরা হয়েছে । কিন্তু $f_2 > f_1$ হলে, উপরের সূত্রটি $N = (f_2 - f_1)$ হবে।

যদি প্রারম্ভিক তরঙ্গ দুটির বিস্তার সমান না হয় তা হলে নিঃশব্দের পরিবর্তে মৃদু শব্দ শোনা যাবে। কারণ তখন বিস্তারদ্বয়ের বিয়োগফল শূন্য হবে না। উৎস দুটির কম্পাঙ্কের পার্থক্য বেশি হলে প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন বিটের সংখ্যাও বেশি হবে। ফলে শব্দ তীব্রতার হ্রাস বৃদ্ধি এতো দ্রুত হবে যে তা উপলব্ধি করা সম্ভব হবে না। পরীক্ষা করে দেখা গেছে সেকেন্ডে বিটের সংখ্যা সর্বোচ্চ 15 টি হলে তা মানুষের পক্ষে উপলব্ধি করা সম্ভব।

WWW: You tube.com/ Beat formation by sound wave

৮.৪.৩ বিটের ব্যবহারিক প্রয়োগ

শব্দ তরঙ্গের সৃষ্ট বিটের নানাবিধ ব্যবহারিক প্রয়োগ বিদ্যমান । এখানে গুরুত্বপূর্ণ তিনটি প্রয়োগ উল্লেখ করা হলো।

১) **শব্দ উৎসের অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয় ঃ** বিটের সাহায্যে কোনো শব্দ উৎস যেমন একটি সুর শলাকার অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে অজানা সুর শলাকার কম্পাঙ্কের খুব কাছাকাছি জানা কম্পাঙ্কের আর একটি সুর শলাকা প্রয়োজন হয়।

ধরা যাক f_1 অজানা কম্পাঙ্কের সুর শলাকাকে f_2 জানা কম্পাঙ্কের সুর শলাকার সাথে এক সঙ্গে কাঁপিয়ে বিট সৃষ্টি করা হলো । ধরা যাক প্রতি সেকেন্ডে বিটের সংখ্যা N টি। অতএব, $N = f_1 \sim f_2$ ।

এখন অজানা সুরশলাকার কমাঙ্ক f_1 জানা কম্পাঙ্ক f_2 থেকে ছোট অথবা বড় হতে পারে। অর্থাৎ $f_1 = f_2 \pm N$

f_1 -এর কম্পাঙ্ক বেশি হলে হবে $f_2 + N$, কম হলে হবে $f_2 - N$।

কোনটি হবে তা নির্ণয়ের জন্য আমরা অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকার বাহুটিকে সামান্য ভারি করার জন্য এতে একটু মোম লাগিয়ে দেব। ফলে এটির কম্পাঙ্ক কমে যাবে। এখন আবার বিট সৃষ্টি করলে বিটের সংখ্যা আগের (N) থেকে বাড়তেও পারে আবার কমতেও পারে। বিটের সংখ্যা বেড়ে গেলে

$f_1 < f_2$ হবে, অর্থাৎ $f_1 = f_2 - N$ । আবার যদি বিটেরসংখ্যা কমে যায় তা হলে $f_1 > f_2$ হবে, সেক্ষেত্রে $f_1 = f_2 + N$ হবে।

কম্পাঙ্কের সুর শলাকায় মোম লাগালে যদি বিট সংখ্যা বাড়ে তা হলে অজানা কম্পাঙ্কের মান জানা কম্পাঙ্কের চেয়ে কম হবে। আর যদি বিটের সংখ্যা কমে যায় তা হলে অজানা কম্পাঙ্কের মান জানা কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি হবে।

২) **খনিতে দূষিত বায়ু বা গ্যাসের অস্তিত্ব সনাক্ত করা**

বিটের সাহায্যে খনিতে দূষিত বায়ু আছে কিনা তা জানা যায়। এজন্য একটি অর্গান নলে বিশুদ্ধ বাতাস নেয়া হয় এবং অনুরূপ অন্য একটি নলে খনির বাতাস নেয়া হয়। এর পরে দুটি অর্গান নলে এক সঙ্গে শব্দ উৎপন্ন করা হয়। খনির বাতাস বিশুদ্ধ হলে দুটি নলের শব্দের মধ্যে কোনো বিট সৃষ্টি হবে না। কিন্তু নল দুটি একত্রে বাজালে যদি বিট সৃষ্টি হয় তা হলে বুঝতে হবে খনির বায়ু দূষিত। কারণ বায়ু দূষিত হলে তার ঘনত্ব বিশুদ্ধ বায়ু থেকে কম বা বেশি হবে। ফলে নল দুটি থেকে সৃষ্ট শব্দ বিট সৃষ্টি করবে। তাই এক্ষেত্রে বিট শোনা গেলে খনির বাতাস বিশুদ্ধ নয় তা প্রমাণিত হবে। এভাবে খনিতে দূষিত বায়ুর অস্তিত্ব সনাক্ত করা যায়।

৩) **বাদ্য যন্ত্রের সুর মিলানো**

কোনো সঙ্গীতানুষ্ঠানের শুরুতে দেখা যায় বিভিন্ন যন্ত্রের তান বা সুর মেলানো হয় এটি একটি নিয়মিত দৃষ্ট ঘটনা। একাধিক বাদ্য যন্ত্রকে একই সুরে আনতে হলে এদের এক সাথে বাজিয়ে বিটের উপস্থিতি লক্ষ্য করা হয়। যতক্ষণ বিট শোনা যাবে বুঝতে হবে যন্ত্রগুলি এক সুরে নাই। বিট সৃষ্টি না হলে বুঝতে হবে সবগুলি যন্ত্রের সুর মিলে গেছে। এভাবে বিটের ব্যবহারিক প্রয়োগের মাধ্যমে বাদ্য যন্ত্রের সুর মেলানো একটি নৈমিত্তিক ঘটনা।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৪: দুটি সুর শলাকা A ও B একই সময়ে শব্দায়িত হলে 3 সেকেন্ডে 9 টি বিট দেয়, কিন্তু A-তে কিছুটা মোম লাগালে বিটের সংখ্যা কমে যায়। B-এর কম্পাঙ্ক 512 Hz হলে A –এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

সমাধান :

আমরা জানি, $f_A = f_B \pm N$

$= 512 \pm 3 = 515$ Hz বা 509 Hz

যেহেতু A- তে মোম লাগালে কম্পাঙ্ক কমে যায় এবং বিটের সংখ্যা কমে যায় বা কম্পাঙ্কের পার্থক্য কমে, কাজেই A-এর কম্পাঙ্ক B-এর কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি হবে।

এখানে

প্রতি সেকেন্ডে বিটের সংখ্যা, $N = \frac{9}{3} = 3$

B সুর শলাকটির কম্পাঙ্ক, $f_B = 512$ Hz

A সুর শলাকটির কম্পাঙ্ক, $f_A = ?$

$\therefore f_A = 515$ Hz

উত্তর : 515 Hz

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৫: দুটি সুর শলাকা একত্রে স্পন্দিত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি বিট শোনা যায় প্রথমটির বাহুতে সামান্য সুতো পেঁচিয়ে বা জড়িয়ে দিলে বিট বাড়ে। প্রথম সুর শলাকটির কম্পাঙ্ক 300 Hz হলে দ্বিতীয় সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

সমাধান : আমরা জানি, $f_2 = f_1 \pm N$

প্রথম সুশলাকাটিতে ভর বাড়ালে বিট বাড়ে অর্থাৎ কম্পাঙ্ক কমে যায় অতএব অজানা কম্পাঙ্কটি বেশি

অতএব, $f_1 < f_2$

$\therefore \quad f_2 = f_1 + N$

বা, $f_2 = 300 + 5 = 305$ Hz

উত্তর ঃ 305 Hz

এখানে

প্রতি সেকেন্ডে বিটের সংখ্যা, $N = 5\ s^{-1}$

প্রথম সুর শলাকটির কম্পাঙ্ক, $f_1 = 300$ Hz

দ্বিতীয় সুর শলাকটির কম্পাঙ্ক, $f_2 =$?

সার-সংক্ষেপ :

- **বিট ঃ** প্রায় সমান কম্পাঙ্ক ও সমান বিস্তারের দুটি উৎস থেকে একই সময়ে দুটি শব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন হয়ে একই দিকে অগ্রসর হলে এরা পরস্পরের সাথে মিলে একটি লব্ধি শব্দ তরঙ্গ সৃষ্টি করে। এই লব্ধি তরঙ্গ বা শব্দের তীব্রতা কোনো মুহূর্তে হ্রাস পায় আবার পরবর্তী মুহূর্তে বৃদ্ধি পায়। শব্দের তীব্রতার এরূপ পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধিকে স্বরকম্প বা বীট বলে।
- **বিট নির্ণয়ের সূত্রঃ** প্রতি সেকেন্ডে সৃষ্ট বিটের সংখ্যা উৎস দুটির কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান, অর্থাৎ বিট সংখ্যা N হলে, $N = (f_1 \sim f_2)$, এখানে দুটি উৎসের কম্পন সংখ্যা যথাক্রমে f_1 ও f_2 ।
- **বিটের ব্যবহারিক প্রয়োগঃ** শব্দ উৎসের অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয়, খনিতে দূষিত বায়ু বা গ্যাসের অস্তিত্ব শনাক্ত করা এবং বাদ্য যন্ত্রের সুর মিলানো কাজে বিটের প্রয়োগ করা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক ($\surd$) চিহ্ন দিন ।

১। দুটি উৎসের কম্পাঙ্ক f_1 ও f_2 এবং প্রতি সেকেন্ডে বিটের সংখ্যা N হলে, নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) $N = f_1 - f_2$ (খ) $N = f_1 + f_2$

(গ) $N = f_1 \sim f_2$ (ঘ) $N = f_1 \pm f_2$

২। নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের সুর শলাকায় মোম লাগালে কি হয়?

(ক) কম্পাক বেড়ে যায় (খ) কম্পাঙ্ক কমে যায়

(গ) বিট সংখ্যা বাড়ে (ঘ) কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে

৩। নিচের কোন কোন ক্ষেত্রে বিটের ব্যবহার হয়?

(ক) শব্দ উৎস নির্ণয়ে (খ) খনিতে দূয়িত গ্যাস সনাক্ত করণে

(গ) বাদ্য যন্ত্রের সুর মিলাতে (ঘ) উপরের সবগুলি

৪। দুটি সুর শলাকা একত্রে শব্দায়িত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি বিট সৃষ্টি হয়। যদি একটির কম্পাঙ্ক 256 হয় তা হলে অন্যটির কম্পাঙ্ক কত?

(ক) 250 Hz (খ) 261 Hz

(গ) 251 Hz (ঘ) 251 Hz অথবা 261 Hz

পাঠ-৮.৫ তারের কম্পন
Vibration of String

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- মুক্ত কম্পন, পরবশ কম্পন ও অনুনাদ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- টানা তারের আড় কম্পনের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৫.১ তারের কম্পন (Vibration of String)

যেসব বস্তুর কম্পনে শব্দের সৃষ্টি হয় তাদের শব্দের উৎস বলে। অথবা বলতে হয় উৎসের কম্পনে শব্দ উৎপন্ন হয়। শব্দ যন্ত্রসমূহের একটি বিশেষ উপাদান তার। টান টান করা তারে আঘাত করলে বা একটু টেনে ছেড়ে দিলে তারটি আড়াআড়ি ভাবে কাঁপতে থাকে। এই কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। আবার তারটিকে দৈর্ঘ্য বরাবর ভেজা ফ্লানেল (তুলটে কাপড়) বা নরম চামড়ায় রজন লাগিয়ে ঘর্ষণ করলেও তারের দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পন সৃষ্টি হয় ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। প্রথম ক্ষেত্রে আড় তরঙ্গ এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দীঘল তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। শব্দ উৎস বা বস্তুর কম্পনের সৃজন কৌশল ও বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে কম্পনকে দু ভাগে ভাগ করা হয়, মুক্ত কম্পন ও পরবশ কম্পন।

মুক্ত কম্পন (Free Vibration)

কোনো বস্তুকে বাইরের থেকে আঘাত করলে বা বল প্রয়োগ করে সামান্য আন্দোলিত করলে দেখা যায় বস্তুটি একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে স্পন্দিত বা আন্দোলিত হয়। এই কম্পাঙ্ক বস্তুর আকৃতি, ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার গুণের উপর নির্ভর করে। এ ধরণের কম্পন স্বাভাবিকভাবে সম্পন্ন হয় বলে এদের মুক্ত কম্পন বলা হয়। অর্থাৎ, যে কোনো আকার, গঠন বা আকৃতির বস্তুকে আন্দোলিত করলে তা একটি নির্দিষ্ট নিজস্ব কম্পাঙ্কে কম্পিত বা স্পন্দিত হয়, এই কম্পনকে মুক্ত কম্পন বলে। যেমন একটি সরল দোলককে সাম্য অবস্থা থেকে সামান্য সরিয়ে নিয়ে ছেড়ে দিলে দেখা যায় এটি প্রতি সেকেন্ডে সমান সংখ্যক দোলন দিয়ে দুলছে। অর্থাৎ, একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হচ্ছে। গীটার বা একতারার তারকে সামান্য টেনে ছেড়ে দিলে তারটি অবিরাম একই কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হতে থাকে। এসবই মুক্ত কম্পনের উদাহরণ। আঘাত বা টান অপেক্ষাকৃত জোরে হলে স্পন্দনের বিস্তার বৃদ্ধি পায়, শব্দ জোরালো হয়, কিন্তু কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত বা একই থাকে। বাদ্যযন্ত্রসমূহ এবং অন্যান্য বস্তুকে কেউ আঘাত করলে বা আন্দোলিত করলে এটি নিজস্ব কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হয়। উদাহরণ স্বরূপ একটি গিটারের তারে এলোমেলো আঘাত করলে বা একটি পিয়ানোর রিডে আঘাত করলে বা সুর শলাকায় রাবার হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করলে বস্তু বা যন্ত্রের মধ্যে সরাসরি শক্তি সরবরাহ করা হয়। এই শক্তি বস্তুর কণাগুলিকে আন্দোলিত বা স্পন্দিত করে। এটি স্বাভাবিক বা মুক্ত কম্পন।

পরবশ কম্পন (Forced Vibration)

কোনো বস্তুকে বাইরের থেকে নিদিষ্ট সময়ের ব্যবধানে বা পর্যায়ক্রমিকভাবে আঘাত করলে বা বল প্রয়োগ করতে থাকলে বস্তুটি প্রথমে তার নিজস্ব স্বাভাবিক (মুক্ত) কম্পাঙ্কে কম্পিত হবার চেষ্টা করে, কিন্তু ধীরে ধীরে দেখা যায় বস্তুটি পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্ক অনুযায়ী স্পন্দিত হচ্ছে। বস্তুটির স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক যাই হোক না কেন, পর্যাবৃত্ত বল যতক্ষণ ক্রিয়াশীল থাকবে বস্তুটিও ততক্ষণ পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্ক অনুসারে কম্পিত হবে। এ ধরনের কম্পন আরোপিত বা পরবশ কম্পন। অর্থাৎ কোনো বস্তুরও উপর পর্যাবৃত্ত স্পন্দনের কম্পাঙ্ক আরোপিত হলে বস্তুটি আরোপিত কম্পনের কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হয়। এ ধরণের স্পন্দন বা কম্পনকে আরোপিত কম্পন বা পরবশ কম্পন বলে।

বেহালা, এস্রাজ, সেতার, গিটার ইত্যাদি বাদ্য যন্ত্রে ফাঁপা কাঠের খোলের উপর তার টান টান করে বাঁধা থাকে। তারে পর্যাবৃত্ত কম্পন সৃষ্টি করলে সেই কম্পন সঞ্চারিত হয়ে খোলকের ভেতরের বায়ুকে কম্পিত করে এবং পরবশ কম্পনের সৃষ্টি

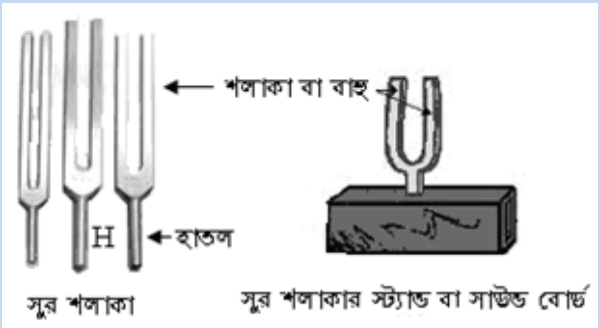
হয়। গিটারের তার এ ক্ষেত্রে সংযুক্ত কাঠের খোলের মধ্যের বদ্ধ বায়ুকে স্পন্দিত করে। এতে শব্দের বিস্তার এবং তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

সুরশলাকা ব্যহার করে পরবশ কম্পন প্রদর্শন করা যায়। সুর শলাকাটিকে হাতে ধরে রাবার হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করলে শব্দ শোনা যায়। সুর শলাকার কম্পনে সৃষ্ট তরঙ্গ সংলগ্ন বাতাসের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত হয়। কিন্তু এই শব্দ বেশ মৃদু হয়। দূর থেকে শোনা যায় না। যদি সুর শলাকাটিকে হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করে সাথে সাথে (স্পন্দনরত অবস্থায়) টেবিলের উপর বা কাচের পাতের উপর ধরা যায় তাহলে শব্দ আগের থেকে জোরাল হয় এবং দূর থেকে শোনা যায়। সুর শলাকার কাচ বা কাঠের কণাকে আন্দোলিত করে এদের কম্পন সুর শলাকার কম্পনের সাথে মিলে লব্ধি কম্পন সৃটি করে। এই লব্ধি কম্পনের প্রভাবে আশে পাশের সংলগ্ন বাতাসের মধ্য দিয়ে সঞ্চারিত লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার এবং শব্দের তীব্রতা বাড়িয়ে দেয়। সুর শলাকাটিকে একটি সাউন্ড বক্সের উপর বসালে শব্দ আরও জোরালো হয়। এ থেকে স্পষ্টত বুঝা যায় বাণিজ্যিকভাবে প্রস্তুত বাদ্য যন্ত্রে আবদ্ধ বাতাসের খোল (সাউন্ড বক্স) কেন ব্যবহার হয়। পিয়ানো, গিটার, সেতার, একতারা ইত্যাদি সব ধরণের যন্ত্রে বদ্ধ বায়ুর বাক্স (সাইন্ড বক্স) যুক্ত করা হয়। যখন সংযুক্ত তলের ক্ষেত্র বড় হলে বদ্ধ বাতাসকে মুক্ত কম্পনে বাধ্য করে। ফলে সৃষ্ট পরবশ কম্পন সবসময় জোরালো শব্দ উৎপন্ন করে।

নবম দশম শ্রেণির পাঠ্য পদার্থবিজ্ঞান মড্যুলে (ইউনিট-৭) সুর শলাকা সম্পর্কে বিস্তারিত বর্ণনা দেয়া হয়েছে। আপনার পাঠের সুবিধার জন্য এখানে তা পুনরুল্লেখ করা হলো।

সুর বা টিউন সংক্রান্ত পরীক্ষা নিরীক্ষার জন্য এটি এক ধরনের সরল যন্ত্র। একটি আয়তাকার প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট চতুষ্কোণ বার দিয়ে তৈরি U আকৃতির ধাতব (স্টেনলেস স্টিল) দন্ড যার নিচে বাঁকানো অংশে একটি সোজা হাতল H সংযুক্ত আছে। U আকৃতির বাহু দুটিকে সুর শলাকার বাহু বা কাঁটা বলে। শলাকার যেকোনো স্থানে আঘাত করলে বাহু দু'টি কম্পিত হয় এবং শব্দ উৎপন্ন হয় (চিত্র ৮.১৫)।

এটি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের তৈরি হয়। সাধারণত গবেষণাগারে ব্যবহারের জন্য ১০ থেকে ২০ সেমি পর্যন্ত লম্বা এবং বাহু দুটির মধ্যের দূরত্ব ১ থেকে ১.৫ সেমি পর্যন্ত হয়। পরীক্ষার সময় হাতলটি হাতে ধরে রাখা হয় বা একটি কাঠের বাক্সের উপর দাঁড় করানো হয়। কাঠের বাক্সটির মধ্যে বাতাস আবদ্ধ থাকে। এক বলা হয় সাইন্ড বোর্ড। শলাকা বা বাহু দুটির যে কোন একটিতে রাবারের হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করলে বাহু দুটি কাঁপতে (সামনে পেছেনে স্পন্দিত হতে) থাকে এবং সুরেলা শব্দ উৎপন্ন হয়। সাইজ অনুসারে এর কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হয়। সচরাচর প্রস্তুতকারী প্রতিষ্ঠান এর গায়ে কম্পাঙ্ক লিখে দেয়। কম্পনরত অবস্থায় এটিকে সাউন্ড বোর্ডের উপর (চিত্রের মতো করে) বসালে শব্দ জোরালো হয়।



চিত্র ৮.১৫

অনুনাদ (Resonance)

যদি পরবশ কম্পন বিশিষ্ট কোনো বস্তুর উপর বাইরে থেকে পর্যাবৃত্ত বল প্রয়োগ করলে প্রযুক্ত পর্যায়কাল বা কম্পাঙ্ক স্পন্দিত বস্তুটির পর্যায়কাল থেকে ভিন্ন হয় তা হলে বস্তুটি খুব অল্প বিস্তারে স্পন্দিত হয় এবং অল্প ক্ষণের মধ্যে স্পন্দন থেমে যায়। কিন্তু উভয়ের পর্যায়কাল বা কম্পাঙ্ক যদি অভিন্ন হয় তা হলে কম্পাঙ্কের বিস্তার এবং স্থায়িত্ব অনেক বেড়ে যায়। এই ধরণের কম্পনকে বলা হয় অনুনাদ । অর্থাৎ কোনো বস্তুর নিজস্ব কম্পাঙ্ক এবং তার উপর আরোপিত পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক সমান হলে বস্তুটির সর্বোচ্চ বিস্তার সহকারে কম্পিত হতে থাকে। এই ধরনের কম্পনকে অনুনাদ বলে। সুতরাং, অনুনাদ একটি বিশেষ ধরনের পরবশ কম্পন।

সুরশলাকাকে একটি ফাঁকা কাঠের বাক্সের উপর বসানো হয় (চিত্র ৮.১৫)। একে সুর শালাকার স্ট্যান্ড বা সাউন্ড বোর্ড বলে। এই বাক্সের আকার এমন করা হয় যেন এর ভেতরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক কম্পন সুর শলাকার কম্পাকের সমান হয়। এতে সুর শলাকা কম্পিত হলে বাক্সের ভেতরের বায়ুও কম্পিত হয়। ফলে অনুনাদ সৃষ্টি করে, শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়। এই ধরণের বাক্সে শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি করে বলে একে সাউন্ড বক্স বা অনুনাদী বাক্সও বলা হয়।

গিটার, বেহালা, সেতার প্রভৃতি বাদ্য যন্ত্রের তারগুলো একটি বায়ুপূর্ণ বাক্সে বা খোলের উপর টানানো থাকে এতে কম্পনশীল তার বায়ুকে সমান কম্পাঙ্কে স্পন্দিত করে। পরবশ কম্পনে বায়ুর কম্পন হয়। এতে শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

You tube.com/ Resonance

৮.৫.২ টানা তারের আড় কম্পনের সূত্রাবলি (Laws of Transverse Vibration of Stretched String)

তার বলতে আমরা বুঝি ধাতব উপাদানের একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের সরু নমনীয় অংশ (String)। যার প্রস্থেচ্ছেদের তুলনায় দৈর্ঘ্য অসীম বলা যায়। আমরা আগেই জেনেছি, এ রকম একটি তারকে দৈর্ঘ্য বরাবর ঘর্ষণ করলে তারের পদার্থের অণু কণাগুলোর মধ্যে ঘর্ষণের প্রভাবে আন্দোলন তথা তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ তারের দৈর্ঘ্য বরাবর হয় বলে এক অনুদৈর্ঘ্য বা দীঘল তরঙ্গ। আবার এক টুকরো তারের উভয় প্রান্ত কোন দৃঢ় অবলম্বনের সাথে টান টান করে বেঁধে, তারটিকে মাঝখানে থেকে এর দৈর্ঘ্যের সাথে সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারটি তার দৈর্ঘ্যর সাথে লম্বভাবে আন্দোলিত হতে থাকবে। এভাবে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। উৎপন্ন তরঙ্গ তারের আবদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসবে। ফলে স্থির তরঙ্গ উৎপন্ন হবে। স্থির তরঙ্গ উৎপন্ন হওয়ার ফলে তারটি অবিরত কাঁপতে থাকে। তারের দুই প্রান্ত বাঁধা থাকায় প্রান্ত বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়। এবং তারটির উঠানামার তারতম্য অনুসারে মধ্যবর্তী স্থলে এক বা একাধিক নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হতে পারে। একটি মাত্র সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হলে যে স্পন্দন বা শব্দ সৃষ্টি হয় তাকে **মূল সুর** বলা হয়। একাধিক সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হলে তাদের প্রত্যেকটির জন্য উৎপন্ন সুরকে উপসুর বলে।

একটি তারকে দুই প্রান্তে দৃঢ়ভাবে বেঁধে নির্দিষ্ট বলে টান টান করে রেখে তারটিকে দৈর্ঘ্যের সাথে লম্বভাবে টেনে ছেড়ে দিলে আড় তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। এ ক্ষেত্রে সৃষ্ট কম্পনের ফলে যে মূল সুর উৎপন্ন হয় তার কম্পাঙ্ক কতগুলো সূত্র মেনে চলে। ফরাসী বিজ্ঞানী ও গণিতবিদ মার্সেন ১৬৩৬ সালে এই সূত্রগুলো আবিষ্কার করনে। এই সূত্রগুলোকে টানা তারের আড় কম্পনের সূত্রাবলী নামে অভিহিত করা হয়েছে । সূত্র গুলো হলো:

১) দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of Length)

কোনো কম্পমান তারের টান (T) ও তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) তারের দৈর্ঘ্য (l)-এর ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ, $f \propto \frac{1}{l}$; যখন T ও m স্থির থাকে।

২) টানের সূত্র (Law of Tension)

কোনো কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য (l) ও তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) টানের (T) বর্গমূলের সামানুপাতিক।

অর্থাৎ, $f \propto \sqrt{T}$; যখন l ও m স্থির থাকে।

৩) ভরের সূত্র (Law of Mass)

কোনো কম্পমান তারের টান (T) ও দৈর্ঘ্য (l) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m)-এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক ।

অর্থাৎ, $f \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$; যখন l ও T স্থির থাকে।

সমানুপাতের নিয়মে তিনটি সূত্রকে একত্রিত করে পাওয়া যায়,

$$f \propto \frac{1}{l}\sqrt{T}\frac{1}{\sqrt{m}} \qquad [\text{ যখন } l,\ T \text{ ও } m \text{ সবগুলো রাশি পরিবর্তিত হয় }]$$

বা, $f = K\frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ [এখানে K সমানুপাতিক ধ্রুবক]

মূল সুরের পরীক্ষার সাহায্যে এর মান পাওয়া যায় $\frac{1}{2}$ । সুতরাং টানা তারের আড় কম্পণের কম্পাঙ্কের রাশিমালা,

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{..... ....} \quad (৮.১৮)$$

মূল সুরের ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 2l$

$$\therefore f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{..... ....} \quad (৮.১৯)$$

বা, $f\lambda = \sqrt{\frac{T}{m}}$

অতএব তরঙ্গ বেগ, $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$ $[\because v = f\lambda]$ ....(৮.২০)

সূত্রাবলীর ব্যাখ্যা

প্রথম সূত্র ঃ এই সূত্রানুসারে একটি টানা দেয়া তারের টান যদি স্থির থাকে এবং তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর যদি অপরিবর্তিত থাকে তাহলে ঐ তারে সৃষ্ট আড় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক তারের দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক হবে। টান ও একক দৈর্ঘ্যের ভর স্থির রেখে তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করলে কম্পাঙ্ক অর্ধেক ($\frac{1}{2}$) হবে। আবার দৈর্ঘ্য তিন গুণ করলে কম্পাঙ্ক এক তৃতীয়াংশ ($\frac{1}{3}$) হবে ।

অর্থাৎ, l_1, l_2, l_3 .... দৈর্ঘ্যের তারের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f_1, f_2, f_3 .... ইত্যাদি হলে,

$f_1 l_1 = f_2 l_2 = f_3 l_3$ .... = ধ্রুব ।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ এই সূত্রানুসারে একটি টানা দেয়া তারের দৈর্ঘ্য এবং তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর যদি অপরিবর্তিত থাকে তাহলে ঐ তারের সৃষ্ট আড় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক তারের উপর টানের বর্গমূলের সামানুপাতিক হবে। টান 4 গুণ বাড়লে কম্পাঙ্ক 2 গুণ বাড়বে, টান 9 গুণ বাড়লে কম্পাঙ্ক 3 গুণ বাড়ে।

অর্থাৎ, T_1, T_2 , T_3 .... টানের জন্য তারের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f_1, f_2, f_3 .... ইত্যাদি হলে,

$$\frac{f_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{f_2}{\sqrt{T_2}} = \frac{f_3}{\sqrt{T_3}} \quad \text{.... ... .} \quad = \text{ধ্রুব} \ .$$

তৃতীয় সূত্র ঃ এই সূত্রানুসারে ভিন্ন ভিন্ন একক দৈর্ঘ্য ও ভর বিশিষ্ট তারের দৈর্ঘ্য ও টান অপরিবর্তিত থাকলে ঐ তারের সৃষ্ট আড় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক তারের একক দৈর্ঘ্য ও ভরের বর্গমূলের ব্যস্থানুপাতে পরিবর্তিত হবে। একক দৈর্ঘ্যের ভর 4 গুণ হলে কম্পাঙ্ক $\frac{1}{2}$ গুণ হবে। দৈর্ঘ্যের ভর 9 গুণ হলে কম্পাঙ্ক $\frac{1}{3}$ গুণ হবে।

অর্থাৎ, m_1, m_2 , m_3 .... একক দৈর্ঘ্যের ভরের জন্য তারের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f_1, f_2, f_3 .... ইত্যাদি হলে,

$$f_1\sqrt{m_1} = f_2\sqrt{m_2} = f_3\sqrt{m_3} \quad \text{.... ... .} \quad \text{... = ধ্রুব} \ .$$

বা, $f_1^2 m_1 = f_2^2 m_2 = f_3^2 m_3$ .... = ধ্রুব ।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৬: 0.5m লম্বা একটি তারকে 50 N বল দ্বারা টানা হলো যদি তারের ভর 0.005 kg হয় তবে মূল কম্পাঙ্ক কত হবে ? নির্ণয় করুন।

সমাধান :

আমরা জানি, $f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

$$= \frac{1}{2 \times 0.5} \times \sqrt{\frac{50}{0.01}}$$

$$= \frac{1}{1} \times \sqrt{\frac{50}{0.01}}$$

$$= \frac{1}{1}\sqrt{5000}$$

$$= \sqrt{5000}\ \text{s}^{-1}$$

$$= 70.71\ \text{Hz}$$

এখানে,
তারের দৈর্ঘ্য, $l = 0.5$ m
মোট ভর = 0.005 kg
$\therefore$ তারের একক দৈর্ঘ্যে ভর, $m = \frac{0.005}{0.5}$
$= 0.01\ \text{kgm}^{-1}$
টান, $T = 50$ N
কম্পাঙ্ক, $f =$?

উত্তর ঃ 70.71 Hz

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৭: একটি টানা তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন না করে এর উপর প্রযুক্ত টান চারগুণ করা হল। তারের কম্পাঙ্কের কত পরিবর্তন হবে?

সমাধান:
আমরা জানি তারের দৈর্ঘ্য এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর অপরিবর্তিত থাকলে, $f \propto \sqrt{T}$

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{T}{4T}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore f_2 = 2f_1$$

এখানে
প্রাথমিক টান, $T_1 = T\,\mathrm{N}$ (ধরা যাক)
$\therefore$ চূড়ান্ত টান, $T_2 = 4T\,\mathrm{N}$
প্রাথমিক কম্পাঙ্ক $= f_1$
চুড়ান্ত কম্পাঙ্ক $= f_2$

উত্তর ঃ কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হবে।

সার-সংক্ষেপ :

- **মুক্ত কম্পন** ঃ যেকোনো আকার, গঠন বা আকৃতির বস্তুকে আন্দোলিত করলে তা একটি নির্দিষ্ট নিজস্ব কম্পাঙ্কে কম্পিত বা স্পন্দিত হয়, এই কম্পনকে মুক্ত কম্পন বলে।
- **পরবশ কম্পন** ঃ কোনো বস্তুর উপর পর্যাবৃত্ত স্পন্দনের কম্পাক আরোপিত হলে বস্তুটি আরোপিত কম্পনের কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হয়। এ ধরণের স্পন্দন বা কম্পনকে আরোপিত কম্পন বা পরবশ কম্পন বলে।
- **অনুনাদ ঃ** কোনো বস্তুর নিজস্ব কম্পাঙ্ক এবং তার উপর আরোপিত পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক সমান হলে বস্তুটির সর্বোচ্চ বিস্তার সহকারে কম্পিত হতে থাকে। এই ধরনের কম্পনকে অনুনাদ বলে।

টানা তারের আড় কম্পনের সূত্রাবলি

- **১ম সূত্র :** কোনো কম্পমান তারের টান (T) ও তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) তারের দৈর্ঘ্য (l)-এর ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ, $f \propto \frac{1}{l}$; যখন T ও m স্থির ।
- **২য় সূত্র :** কোনো কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য (l) ও তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) টানের (T) বর্গমূলের সামানুপাতিক। অর্থাৎ, $f \propto \sqrt{T}$; যখন l ও m স্থির ।
- **৩য় সূত্র :** কোনো কম্পমান তারের টান (T) ও দৈর্ঘ্য (l) অপরিবর্তিত থাকলে তারের কম্পাঙ্ক (f) প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m)-এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক । অর্থাৎ, $f \propto \frac{1}{\sqrt{\mathrm{m}}}$; যখন l ও T স্থির ।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। গিটারের ফাঁপা কাঠের খোলের উপর টান টান করে তার বাঁধা থাকে। গিটার বাজানোর সময় এই তারে কোন ধরণের কম্পন সৃষ্টি করা হয়?

(ক) পর্যাবৃত্ত কম্পন (খ) পরবশ কম্পন
(গ) আরোপিত কম্পন (ঘ) লব্ধি কম্পন

২। একই কম্পাকের দুটি শব্দ উৎস একই সাথে স্পন্দিত হলে কি ঘটে ?

(ক) লব্ধি কম্পন দ্বিগুণ হয় (খ) লব্ধি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হয়
(গ) লব্ধি বিস্তার দ্বিগুণ হয় (ঘ) বিট সৃষ্টি হয়

৩। কোনো বস্তুর নিজস্ব কম্পাঙ্ক এবং তার উপর আরোপিত পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক সমান হলে কি হয়?

(ক) বস্তুটির কম্পন বেড়ে যায় (খ) কম্পনের বিস্তার হ্রাস পায়
(গ) অনুনাদ সৃষ্টি হয় (ঘ) বিট সৃষ্টি হয়

৪। কোনটি অনুনাদের বৈশিষ্ট্য নয়?

(ক) শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি করা (খ) বস্তুর কম্পন বৃদ্ধি করা
(গ) কম্পনের বিস্তার বৃদ্ধি করা (ঘ) পরবশ কম্পন বৃদ্ধি করা

৫। এক টুকরো তারের উভয় প্রান্ত কোন দৃঢ় অবলম্বনের সাথে টান টান করে বেঁধে, তারটিকে মাঝখানে থেকে এর দৈর্ঘ্যের সাথে সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে স্থির তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। এই স্থির তরঙ্গটিতে সর্বোচ্চ কতটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকবে।

(ক) ১ টি (খ) ২টি
(গ) ৩টি (ঘ) তারের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে।

পাঠ-৮.৬ হারমোনিক ও স্বরগ্রাম
Harmonic & Musical Scale

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- হারমোনিক ও স্বরগ্রাম ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সঙ্গীতগুণ বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- দৈনন্দিন জীবনে সোরগোল ও সঙ্গীতগুণের প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৮.৬.১ হারমোনিক ও স্বরগ্রাম

যদি কোনো শব্দের একটি মাত্র কম্পাঙ্ক থাকে, তবে তাকে সুর বলে। একটি সুর শলাকা থেকে যে শব্দ নিঃসৃত হয় তা একটি সুর। কোনো শব্দের মধ্যে যদি একাধিক কম্পাঙ্ক থাকে তবে তাকে স্বর বলে। সুতরাং স্বর একাধিক সুরের সমন্বয়ে গঠিত হয়। আমরা যখন কথা বলি, সেটি স্বর; কারণ এখানে অনেকগুলো কম্পাঙ্ক সম্মিলিতভাবে কাজ করে। এদের যৌগিক শব্দও বলা যায়। কোনো স্বরের মধ্যে যে সব বিভিন্ন সুর থাকে তাদের মধ্যে যে সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম, তাকে বলা হয় মূল সুর (Fundamental tone)। অন্যন্য সুর যাদের কম্পাঙ্ক মূল সুরের থেকে বেশি তাদের বলা হয় উপসুর (Over tone)। উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক যদি মূল সুরের কম্পাঙ্কের অখন্ড বা সরল গুণিতক হয় তবে সেসব উপসুরগুলোকে সমমেল বা সুর সঙ্গতি বা হারমোনিক (Harmonic) বলে। উপসুরগুলোর কোনোটির কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হলে তাকে দ্বিতীয় সমমেল (second harmonic) বা অষ্টক (Octave) বলে। তিন গুণ হলে তৃতীয় সমমেল এবং চারগুণ হলে চতুর্থ সমমেল ইত্যাদি বলে। ধরা যাক কোনো যৌগিক স্বরে নিচের কম্পাঙ্কগুলো আছে। 10, 12, 18, 20, 28, 30, 32, 40, 42, 48 Hz। এখানে কম্পাঙ্ক 10 Hz হল মূল সুর। 20, 30, 40 হল যথাক্রমে দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ সমমেল। এরা 10 এর সরল গুণিতক। অন্যান্য কম্পাঙ্কগুলি 12, 18, 28, 32, 42, 48 HZ এরা হলো উপসুর।

আমরা অর্থবহ যে সব শব্দ শুনি তা আসলে অনেকগুলো সুর বা কম্পাঙ্কের সমষ্টি। এই কম্পাঙ্কগুলি যদি পরস্পর সরল গুণিতক হয় তা হলে এদের দ্বারা উৎপন্ন শব্দ আমাদের কানে শ্রুতি মধুর বা সঙ্গীতগুণ সম্পন্ন হয়। আর সমন্বিত সুর বা কম্পাঙ্কগুলি যদি পরস্পরের সাথে কোন সরল অনুপাতে সম্পর্কিত না হয় তা হলে সৃষ্ট শব্দ শুনতে কষ্ট হয়, আমাদের কাছে এগুলো নয়েজ বা কোলাহল বলে গণ্য হয়।

দুটি সুরের কম্পাঙ্কের পার্থক্য থেকে তাদের তীক্ষতার পার্থক্য বুঝা যায়। এ জন্য দুটি সুরের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের অনুপাতকে সুরানুপাত বাা সুর বিরাম বলে। ধরা যাক সেতার, গিটার, হারমোনিয়াম তবলার সুরের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে f_S, f_G, f_H এবং f_T তাহলে,

গিটারের সাথে সেতারের সুরানুপাত বা সুর বিরাম = $\frac{f_S}{f_G}$

হারমোনিয়ামের সাথে গিটারের সুরানুপাত বা সুর বিরাম = $\frac{f_G}{f_H}$

তবলার সাথে হারমোনিয়ামের সুরানুপাত বা সুর বিরাম = $\frac{f_H}{f_T}$

তবলার সাপেক্ষে সেতারের সুরানুপাত বা সুর বিরাম $= \frac{f_s}{f_T} = \frac{f_S}{f_G} \times \frac{f_G}{f_H} \times \frac{f_H}{f_T}$

দেখা যাচ্ছে কোনো দুটি সুরের সুর বিরাম এদের মধ্যবর্তী সুর বিরামগুলোর গুণফলের সমান।

হারমোনিয়াম এবং পিয়ানোর কতগুলো চাবি বা রীড থাকে। প্রত্যেকটির একটি করে নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক থাকে।এই কম্পাঙ্কগুলোর সুর বিরামের মধ্যে এমন একটি সামঞ্জস্য থাকে যে এগুলো বাজালে কতগুলো নির্দিষ্ট কপাঙ্কের সুর সৃষ্টি হয়। এই সুরগুলো মিলে স্বরের উৎপত্তি হয়। নির্দিষ্ট অনুপাতের কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট দুই বা ততোধিক স্বর এক সাথে বাজলে তাদের মিলিত শব্দকে স্বর সঙ্গতি (Chord) বলে। স্বরের সঙ্গতি শ্রুতি মধুর হলে তাদের স্বর সমতা বা সম সঙ্গতি (Concord) এবং শ্রুতি কটু হলে তাদের স্বর বিষমতা বা বিষম সংঙ্গতি (Discord) বলে।

যেসব স্বরের বিরামগুলো সরল অনুপাতে অর্থাৎ 1, 2, 3 ইত্যাদি ছোট পূর্ণ সংখ্যার অনুপাতে হয় সেগুলোরই স্বর সঙ্গতি থাকে। বিভিন্ন সুর বিরামকে বিভিন্ন নামে অভিহিত করা হয়। নিচে কয়েকটি সুর বিরামের নামের তালিকা দেয়া হলো। এগুলো কণ্ঠস্বরের উপযোগী।

সুর বিরাম	নাম	সুর বিরাম	নাম
1 : 1	সমায়ন (Unison)	3:2	গুরু পঞ্চক (Major Fifth)
2 : 1	অষ্টক (Octave)	5:3	গুরু ষষ্ঠক (Major sixt)
3 : 1	পঞ্চম (Fifth)	8:5	লঘু ষষ্ঠক (Minor (sfx)
4 : 3	চতুর্থক (Fourth)	8:9	গুরু সুর (Major tone
5 : 4	গুরু তিস্রক (Major Third)	10:9	লঘু সুর (Minor Tone)
6 : 5	লঘু তিস্রক (Minor third)	16:15	অর্ধ সুর (Semi tone)

স্বরগ্রাম

সঙ্গীতের ক্ষেত্রে স্বরগ্রাম একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। আগেই উল্লেখ করা হয়েছে, দুই বা ততোধিক সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত যদি সরল পূর্ণ সংখ্যার অনুপাতে হয়, তাহলে তাদের সম্মেলনে শ্রুতিমধুর শব্দের উৎপত্তি হয়। এই ঘটনার উপর ভিত্তি করে স্বরগ্রাম তৈরি হয়ছে। স্বরগ্রাম মূলত নিদিষ্ট কম্পাঙ্কের কয়েকটি সাজানো সুর বা সুরের ক্রমিক বিন্যাস।

যেকোনো সুর ও তার অষ্টক (দ্বিগুণ কম্পাঙ্কের) সুরের মধ্যে কয়েকটি নির্দিষ্ট সুর আমাদের কানে সহজে সাড়া দেয়। এই সুরগুলির মধ্যে সমসঙ্গতি বজায় থাকে বলে এরা সঙ্গীত গুণ সম্পন্ন হয়। এই রূপ সমসঙ্গতির সুর সমষ্টিকে স্বরগ্রাম (Musical Scale) বলে। স্বরগ্রামের সবচেয়ে ছোট কম্পাঙ্কের সুরকে সূচনা সুর বা প্রধান সুর (Tonic or key Tone) বলে।

কোনো নির্দিষ্ট সুর এবং এর অষ্টকের মধ্যবর্তী ছয়টি বিশেষ সুরকে সাজিয়ে একটি স্বরগ্রাম তৈরি করা হয় যাতে শ্রুতিমধুর সুরের সৃষ্টি হয়। এই স্বরগ্রামে ৮টি ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কের সমসঙ্গতিপূর্ণ সুর থাকে বলে এক ডায়াটোনিক স্বরগ্রাম বলে।

ডায়াটোনিক স্বরগ্রামের বিভিন্ন সুরের কম্পাঙ্ক ও সুর বিরাম নিচের ছকে দেখান হলো ।

সুর	টোনিক	উপসুর						অষ্টক
ভারতীয় (বাংলাদেশী)	সা	রে	গা	মা	পা	ধা	নি	সা′
পাশ্চাত্য (ইংলিশ)	do	re	mi	fa	sol	la	si	do′
প্রতীক	C	D	E	F	G	A	B	C′
সুরের কম্পাঙ্ক	256	288	320	341	384	427	480	512
আপেক্ষিক কম্পাঙ্ক	24	27	30	32	36	40	45	48
টোনিক সাপেক্ষে কম্পাঙ্কেও অনুপাত	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
পর পর দুটি সুরের সুর বিরাম		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

তালিকা থেকে দেখা যায় স্বরগ্রামে তিন ধরনের সুরবিরাম বিদ্যমান: তা হলো $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, এবং $\frac{16}{15}$ । এদের যথাক্রমে মেজর টোন, মাইনর টোন এবং সেমিটোন বলে। সুর বিরামের এই ব্যবধানের জন্য স্বরগ্রামে সব সময় **সা** কে প্রধান সুর ধরতে হয়। শিল্পী বা গায়ক গলার স্বরের সাথে মিল রেখে স্বরগ্রামের যে কোনো একটা সুরকে প্রধান সুর (Key tone) হিসাবে বেছে নেন। ফলে অনেক সময় মাত্র সাতটি সুর দিয়ে কাজ চলে না, শ্রুতি মাধুর্য এবং কণ্ঠের উপযোগী করার জন্য তাঁরা অষ্টকের মধ্যে ফাঁকে ফাঁকে আরও পাঁচটি সুরকে সংযুক্ত করেন বা স্বরগ্রামভুক্ত করে নেন। এই নতুন স্বরগ্রামকে সমীকৃত স্বরগ্রাম (Tempered Scale) বলে। তাহলে সমীকৃত পূর্ণ স্বরগ্রামটি হলো এরূপ :

সা, ঋ, রে , জ্ঞা, গা , মা, ক্ষ, পা, ধা, দ, ণি, নি, সা′

৮.৬..২ সঙ্গীতগুণ সৃষ্টি এবং বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান

সঙ্গীতগুণ সৃষ্টিতে পদার্থবিজ্ঞান

ছন্দ, মেলোডি, হারমোনি, এক বা একাধি কণ্ঠস্বর বা যন্ত্র অথবা উভয়ের মাধ্যমে সৃষ্ট সুরেলা শ্রুতিমধুর শব্দমালার সমন্বয় যা কোনো মানবিক চেতনা ও আবেগকে প্রকাশ বা প্রভাবিত করে তাকে সঙ্গীত বলে। সঙ্গীত সৃষ্টির ক্ষেত্রে শব্দের সুর, স্বর এবং কম্পাঙ্ক গুরুত্বপূর্ণ।

কম্পাঙ্ক শব্দের কারণ, তীক্ষতা এর ফল। সুরযুক্ত শব্দের বিশেষত্বের জন্য ভিন্ন ভিন্ন উৎস থেকে একই তীক্ষতা ও প্রাবল্যের স্বরগুলোর মধ্যে পার্থক্য নিরূপন করা যায়। যদি সেতার, গিটার, বাঁশি ইত্যাদি কয়েকটি বাদ্য যন্ত্র একসাথে বাজানো হয় এবং নিঃসৃত সুরগুলোর তীক্ষতা ও প্রাবল্য যদি এক হয় তখন দূর থেকে কোন সুরটি কোন যন্ত্রের তা বলা যায়। এটি উৎসের বা বিভিন্ন বাদ্য যন্ত্রের একটি নিজস্ব বিশেষত্ব একে বলা হয় জাতি বা গুণ। সুর বিরাম বা সুরানুপাত সঠিক না হলে তা যেমন গায়ক কণ্ঠের সাথে সমসংগতিতে থাকে না তেমনি স্বরগ্রাম অনুসরণ মূল সুর ও উপসুরের সমন্বয় ঘটে না ফলে সংগীত সম্পূর্ণভাবে পদার্থবিজ্ঞান নির্ভর। সঙ্গীতে ব্যবহারিক শব্দসমূহ বিচার করলে এটি আরও সুস্পষ্ট হবে।

সংগীতে কয়েকটি ব্যবহারিক শব্দ

১) **ত্রয়ী** (Triad) : তিনটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 হলে এদের সমন্বয়ে যে স্বর বা শব্দের উৎপত্তি হয় তাকে ত্রয়ী বলে। সা-গা-পা সুর তিনটির কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 256, 320, ও 384 Hz । কম্পাঙ্ক তিনটির অনুপাত 256 : 320 : 384 অর্থাৎ– 4 : 5 : 6 এবং মা-ধা-সা′ সুর তিনটির কম্পাঙ্কের অনুপাতও অনুরূপভাবে (341.33 : 426.66 : 512) = 4 : 5 : 6 । কাজেই এরা আলাদা আলাদা ভাবে এক একটি ত্রয়ী।

২) **স্বর সংগতি** (Cord) : চারটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 : 8 হলে এদের সমন্বয়ে শ্রুতি মধুর শব্দ উৎপত্তি হয়। এরূপ সমন্বয়কে বলা হয় স্বরসংগতি। অর্থাৎ ত্রয়ীর সঙ্গে ত্রয়ীর প্রথম কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ কম্পাঙ্ক মিলে স্বরসংগতি সৃষ্টি হয়। (পাঠ ৮.৬.১)

৩) সমতান (Harmony) : একই সময়ে কতগুলো সুর মিলে যদি একটি ঐক্যতানের সৃষ্টি করে তাকে সমতান বা হারমোনি বলে।

৪) স্বরমাধুর্য (Melody): কতগুলো স্বর একের পর এক উৎপন্ন হয়ে যদি একটি সুরযুক্ত শব্দমালা সৃষ্টি করে তবে তাকে স্বর মাধুর্য বা মেলোডি বলে।

৫) একক সঙ্গীত (Solo Music) : একটি মাত্র বাদ্য যন্ত্র বা উৎস থেকে যে স্বর সৃষ্টি হয় তা একক সঙ্গীত বা সলো। একটি বেহালা বা একটি পিয়ানো থেকে উৎপন্ন স্বর একক সঙ্গীত।

৬) অর্কেস্ট্রা (Orchesrta) : যখন একাধিক শব্দ যন্ত্র একই সাথে বাজিয়ে একটি সমতান বা স্বর মাধুর্য অথবা উভয়ই উৎপন্ন করে তখন তাকে অর্কেস্ট্রা বলে।

মূল সুরের সাথে কিছু সংখ্যক উপ সুর মিশ্রিত থাকে, উপসুরগুলোর কম্পাঙ্কের বিভিন্নতা এবং বিস্তারের আপেক্ষিক মানের উপর স্বরের গুণ বা জাতি নির্ভর করে। কোনো বাদ্য যন্ত্র একটিমাত্র কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ সুর উৎপন্ন করে না। মূল সুরের সাথে উপসুরও থাকে উপসুরগুলির মধ্যে কোনোটির সাথে মূল সুরের মিল থাকে কোনোটির মিল থাকে না যাদের মিল থাকে তাদের সুরমেলক উপসুর, যাদের মিল থাকে না তাদে সুরবিরোধী উপসুর বলে। এসব কিছু বৈশিষ্ট্য মিলে সঙ্গীতকে উপভোগ্য করে তোলে।

সঙ্গীতগুণ বিশ্লেষণে পদার্থ বিজ্ঞানের অবদান

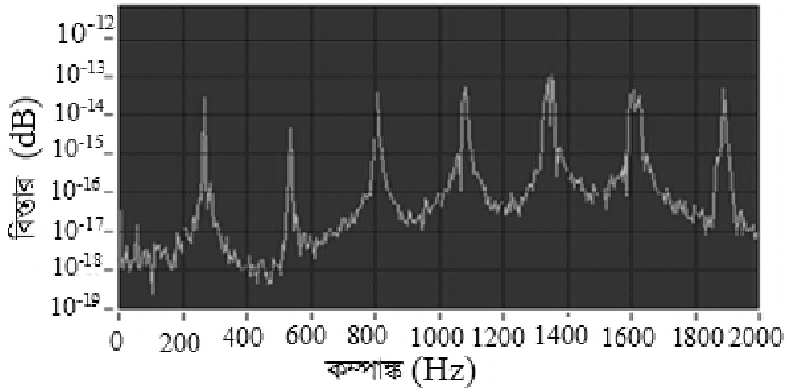
শব্দ একটি দীঘল তরঙ্গ। বাদ্যযন্ত্র, লাউড স্পিকার বা কারও কণ্ঠ থেকে নির্গত শব্দ তরঙ্গ বাতাসকে সামনে পেছনে ধাক্কা দেয় ফলে চতুর্দিকে শব্দ সঞ্চারিত হয়। এই ধাক্কা বা চাপে বাতাসের সংকোচন এবং প্রসারণের পরিমাণ অতি সামান্য। কিন্তু এই সামান্য সংকোচন-প্রসারণ কানের সূক্ষ্ম ও সংবেদী পর্দা অনুভব করতে পারে এবং মস্তিষ্কে প্রেরণ করে। মস্তিষ্ক এটি বিশ্লেষণ করে এর গুণগত মান বিচার করে। অনুরূপভাবে মাইক্রোফোনের পর্দাও বাতাসের এই সংকোচন-প্রসারণ প্রভাব সনাক্ত করতে পারে এবং তড়িৎ সংকেতে রূপান্তর করে অসিলস্কোপ (Oscilloscope) নামক যন্ত্রে প্রেরণ করে। এটি ক্যথোড রে টিউব দ্বারা তৈরি ইলেকট্রনিক্স যন্ত্র (টিভি সদৃশ), যার পর্দায় বিদ্যুৎ প্রবাহের তারতম্য তরঙ্গিত রেখার আকারে দৃশ্যমান হয়। এভাবে মাইক্রোফোনের সৃষ্ট ভোল্টেজ পরিবর্তন বনাম সময় লেখ চিত্রে রূপান্তরিত তরঙ্গ চিত্র বিশ্লেষণ করে শব্দ, স্বর, সুর এর তীব্রতা, তীক্ষতা সমমেল অনুনাদ স্বরগ্রাম ইত্যাদি সকল বৈশিষ্ট্য বিচার করা যায়। বা সংগীতের গুণগত মান বিচার করা যায়। সম্প্রতি ডিজিটাল কম্পিউটার আবিষ্কারের পরে অসিলস্কোপ এর বদলে এ কাজে কম্পিউটার ব্যবহৃত হয়। এতে বিশ্লেষণ আরও সহজ ও দ্রুত হয়।

ধরা যাক, দুটো ভিন্ন কম্পাঙ্ক বা তীক্ষতা বিশিষ্ট শব্দ উৎস থেকে এক সাথে দুটি সুর বাজান হলো। তাদের একটির শব্দ তরঙ্গের সাথে অন্যটির মিথস্ক্রিয়া ঘটবে। ফলে একটি আলাদা লব্ধি তরঙ্গ সৃষ্টি হবে। শব্দ তরঙ্গটি সাইন তরঙ্গ হবে না এবং এর কম্পাঙ্ক বর্ণালী (Frequency spectrum) অন্য রকম হবে। মানুষের শ্রবণ যন্ত্র কান এবং মস্তিষ্ক দিয়ে গঠিত। মানুষের শ্রবণ যন্ত্র স্বাভাবিক ভাবে এই সুর দুটিকে আলাদা করতে পারবে এবং স্পষ্টভাবে শুনতে পারবে।

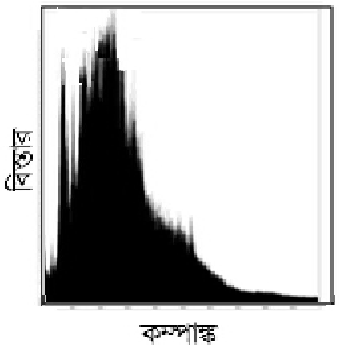
দুই বা ততোধিক সুর এক সাথে বাজলে শ্রবণ ইন্দ্রিয়ে প্রত্যেকটির তীক্ষতা অনুভূত হয় এবং মস্তিষ্ক এদের আলাদা করে নেয়। যখন মূল শব্দটি যথাযথভাবে পর্যাবৃত্ত হয় স্বরগুলোর সংশ্লিষ্ট সাইন তরঙ্গগুলি পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়।এতে মৌলিক সুর, অর্ধসুর এবং উপসুর মিলে **এই শব্দের সুরসঙ্গতি-কম্পাঙ্ক বর্ণালী সমূহ (**harmonic frequency spectra) তৈরি করে। শুদ্ধ স্বর একটি সাইন রেখা (sine curve) সৃষ্টি করবে।

এসব তরঙ্গ একটির সাথে আরেকটির সম্মেলন ঘটে কিন্তু সংঘর্ষ হয় না এরা পাশাপাশি চলে, ব্যাতিচার ঘটে । ব্যাতিচারের ফলে তরঙ্গের উপরি পাতন হয় ফলে জটিল তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এসব তরঙ্গ পৃথক পৃথক সাইন এবং কোসাইন তরঙ্গ সৃষ্টি করে । আবিষ্কারক ফরাসী গণিতবিদ ও পদার্থবিজ্ঞানী যোসেফ ফুরিয়রের নাম অনুসারে এই বিশ্লেষণকে বলা হয় শব্দ

বর্ণালী বিশ্লেষণ বা ফুরিয়ার বিশ্লেষণ (Fourier Analysis)। ১৯৬০ এর দশকে কম্পিউটার বিজ্ঞানীরা Fast Fourier Transforms, FFT সূত্রের সাহায্যে শব্দ বর্ণালী বিশ্লেষণ পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন।



চিত্র ৮.১৬ এক জন নারী কণ্ঠের শব্দ বর্ণালী



চিত্র ৮.১৭ তুমুল হাত তালির শব্দ

৮.১৬ নং চিত্রে এক জন নারী কণ্ঠের শব্দ বর্ণালী প্রদর্শন করা হয়েছে । এখানে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের অনেক ধরনের সৃষ্ট শব্দ লেখ দেখা যাচ্ছে। কোনো কোনোটি অন্যটির তুলনায় অত্যন্ত তীক্ষ্ণ। আবার কোনো কোনোটি খুব মোটা স্বর। চিত্র ৮.১৭ তে একটি কনসার্টে দর্শক শ্রোতাদের তুমুল হাত তালির শব্দ বর্ণালীর অংশ দেখান হয়েছে।

এভাবে পদার্থবিজ্ঞানের প্রায়োগিক জ্ঞান এবং উদ্ভাবিত যন্ত্রপাতিসমূহ একদিকে সংগীতের কম্পাঙ্ক সীমা নির্ধারণ, কম্পাঙ্ক ও বিস্তার বিশ্লেষণ, সুরেলা শব্দসমূহের সংশ্লেষণ, মান নির্ধারন ও সংগীতগুণ বিশ্লেষণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখছে। সঙ্গীতবোধ সম্পর্কীয় মনোশ্রুতি বিজ্ঞানের (Psychoacoustics) এর ভিত্তিও পদার্থবিজ্ঞান।

৮.৬.৩ দৈনন্দিন জীবনে সোরগোল ও সঙ্গীতগুণের প্রভাব

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে শব্দের প্রভাব অপরিসীম। আমাদের সব রকমের যোগাযোগ, মনোভাব বিনিময়ের প্রধান মাধ্যম শব্দ। বিনোদন ও সাংস্কৃতির বিকাশের শ্রেষ্ট মাধ্যম শব্দ। কিন্তু এই শব্দ নিদিষ্ট স্বরগ্রামের মধ্যে থাকা একান্ত বাঞ্ছনীয়। শব্দ যখন বিষম সংগতিতে সঞ্চারিত হয় তা কানে শ্রুতিকটু এবং যন্ত্রণাদায়ক হয়। এতে দেহ ও মনের উপর বিরূপ প্রভাব ফেলে। শব্দের তীব্রতা বা প্রাবল্যও একটি গুরুত্বপূর্ণ বিবেচ্য বিষয়। 1dB থেকে 60 dB পর্যন্ত শব্দ আমাদের কানে সহনীয় এর উপরের তীব্রতার শব্দ ক্রমশ অসহনীয় হয় বিশেষ করে 110 dB বা 120 dB শব্দ অত্যন্ত যন্ত্রণাদায়ক। মানুষকে বধির করে ফেলে।

শ্রবণানুভূতির দিক থেকে বিচার করলে শব্দকে দুইভাগে ভাগ করা যায় সুর যুক্ত শব্দ (Musical Sound এবং সুর বর্জিত শব্দ বা কোলাহল বা সোরগোল (Noise)। যে সব শব্দ শ্রুতি মধুর সেগুলোকে সুরেলা বা সুরসমৃদ্ধ শব্দ এবং যে সব শব্দ শ্রুতি কটু বা বিরক্তিকর সেগুলোকে সুর বর্জিত শব্দ বা কোলাহল বলে। সাধারণ ভাবে বলা যায়, যে শব্দের কম্পন নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত এবং নিরবিচ্ছিন্ন তা শ্রুতি মধুর হয়। অপর দিকে উৎসের কম্পন যদি অনিয়মিত, অপর্যাবৃত্ত এবং আকস্মিক হয় তা শ্রুতি কটু বলে মনে হয়।

সুর যুক্ত ও সুর বর্জিত শব্দের মধ্যে সুস্পষ্ট সীমা রেখা চিহ্নিত করা কঠিন। যেমন যুবক কিশোর সম্প্রদায় উচ্চ নাদের ব্যান্ড সঙ্গীত পছন্দ করে কিন্তু বয়স্ক ব্যক্তিরা এটি একে বারে সহ্য করতে পারেন না। তাছাড়া মন ও মানসিকতার উপরেও এটি নির্ভরশীল।

আমরা জানি মানুষ 20 Hz থেকে 20, 000 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পারে। মানুষের কণ্ঠস্বর, পাতার মর্মর, পাখির কাকলী থেকে বিভিন্ন বাদ্য যন্ত্রের শব্দ, যানবাহনের শব্দ আরও কত শব্দ। কোনো কোনো শব্দ কানে পৌঁছালে আমাদের খুব ভাল লাগে, আমরা বলি শ্রুতিমধুর শব্দ। আবার কোনো কোনো শব্দ কানে গেলে অত্যন্ত বিরক্তিকর অনুভূতি হয় আমরা বলি শ্রুতিকটু শব্দ। যে সমস্ত শব্দ শ্রুতি মধুর সেগুলোকে সুরযুক্ত বা সুরেলা শব্দ (Musical sound) এবং যেগুলো বিরক্তিকর, শ্রুতিকটু সেগুলোকে সুরবর্জিত শব্দ কোলাহল (Noise) বলে।

সুর যুক্ত শব্দের তিনটি বৈশিষ্ট্য : তীক্ষতা, প্রাবল্য ও জাতি বা গুণ। যে শব্দের কম্পাঙ্ক যত বেশি তা তত তীক্ষ হয় তীক্ষতা শ্রবণ ইন্দ্রিয়ের একটি বিশেষ অনুভূতি, অধিক তীক্ষ শব্দ শ্রবণ ইন্দ্রিয়ে যন্ত্রণা দেয় এবং ক্ষতি কারক। জাতি বা গুণ শব্দের একটি অন্যতম বৈশিষ্ট্য। সুরযুক্ত শব্দের যে বিশেষত্বের জন্য ভিন্ন ভিন্ন উৎস থেকে উৎপন্ন শব্দের প্রাবল্য ও তীক্ষতার পার্থক্য করা যায় তাকে স্বরের জাতি বা গুণ বলে সুরের জাতি বা গুণ সঙ্গীত গুণকে প্রভাবিত করে।

WWW : You tube. Com/ Musical sound spectrum

সার-সংক্ষেপ :

- **সুর ও স্বর ঃ** যদি কোনো উৎস থেকে উৎপন্ন শব্দের একটি মাত্র কম্পাঙ্ক থাকে, তবে তাকে সুর বলে। কোনো শব্দের মধ্যে যদি একাধিক কম্পাঙ্ক থাকে তবে তাকে স্বর বলে।
- **মৌলিক সুর ও উপসুর ঃ** কোনো স্বরের মধ্যে যে সব বিভিন্ন সুর থাকে তাদের মধ্যে যে সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম , তাকে মৌলিক সুর বলে। বাকি সকল সুরই উপসুর।
- **হারমোনিক ঃ** উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক যদি মূলসুরের কম্পাঙ্কের অখন্ড বা সরল গুণিতক হয় তবে সেসব উপসুরগুলোকে সমমেল বা সুর সঙ্গতি বা হারমোনিক বলে।
- **অষ্টক ঃ** উপসুরগুলোর কোনোটির কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হলে তাকে অষ্টক বলে।
- **সঙ্গীত গুণ শব্দ ও কোলাহল ঃ** আমরা অর্থবহ যে সব শব্দ শুনি তা আসলে অনেকগুলো সুর বা কম্পাঙ্কের সমষ্টি। এই কম্পাঙ্কগুলি যদি পরস্পর সরল গুণিতক হয় তা হলে এদের দ্বারা উৎপন্ন শব্দ আমাদের কানে শ্রুতি মধুর বা সঙ্গীতগুণ সম্পন্ন হয়। আর সমন্বিত সুর বা কম্পাঙ্কগুলি যদি পরস্পরের সাথে কোন সরল অনুপাতে সম্পর্কিত না হয় তা হলে সৃষ্ট শব্দ শুনতে কষ্ট হয়, আমাদের কাছে এগুলো নয়েজ বা কোলাহল বলে গণ্য হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৮.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। একটি সুরে কতটি কম্পাঙ্ক থাকতে পারে ?

(ক) ১টি (খ) ২টি
(গ) ১ এর অধিক (ঘ) কমপক্ষে ২টি

২। স্বরের মধ্যে একাধিক সুর থাকে। এদের মধ্যে কোনটি মূল সুর ?

(ক) যেটির বিস্তার সর্বাধিক (খ) যেটিরতীব্রতা সর্বাধিক
(গ) যেটির কম্পাঙ্ক সর্বনিম্ন (ঘ) যেটির তীব্রতা সর্বনিম্ন

৩। একটি যৌগিক স্বরের কম্পাঙ্কগুলো যথাক্রমে 15, 18, 20, 28, 30, 32, 40, 42, 45, 48 Hz। এর মূলসুরের দ্বিতীয় অষ্টক কোনটি?

(ক) 18 Hz (খ) 18 Hz
(গ) 30 Hz (ঘ) 45 Hz

৪। একটি যৌগিক স্বরের কম্পাঙ্কগুলো যথাক্রমে 15, 18, 20, 28, 30, 32, 40, 42, 45, 48 Hz। স্বরটির উপসুরের সংখ্যা কত?

(ক) 10 টি (খ) 7 টি (গ) 3 টি (ঘ) ১ টি

৫। একটি যৌগিক স্বরের কম্পাঙ্কগুলো যথাক্রমে 15, 18, 20, 28, 30, Hz। স্বরটির কতটি উপসুর হবে?

(ক) 5 টি (খ) 4 টি (গ) 2 টি (ঘ) ১ টি

পাঠ-৮.৭ ব্যবহারিক-৮ : মেলডির পরীক্ষার সাহায্যে সুর শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- মেলডির যন্ত্র ব্যবহার করে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবেন।

তত্ত্ব ঃ একটি সুর শলাকার একটি বাহুর সাথে একগাছি সরু সুতো টান টান তো বেধে সুর শলাকাটিকে স্পন্দিত করলে সুতোর মধ্য কম্পন সৃষ্টি হয় এবং এর মধ্য দিয়ে তরঙ্গ প্রবাহিত হয়। এই তরঙ্গের বেগ, $V = \sqrt{\left(\frac{T}{\mu}\right)}$ এখানে T তারের টান, μ তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর।

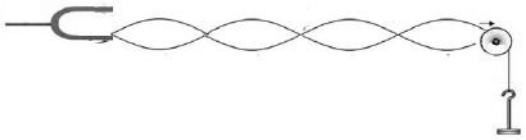
সুর শলাকার আনুভূমিক এবং উলম্ব অবস্থানের জন্য দুধরনের ঘটনা ঘটে। তাহল,

ক. আড় কম্পন ব্যবস্থা

খ. দীঘল তরঙ্গ ব্যবস্থা

আড় কম্পন ব্যবস্থাঃ

সুরশলাকার বাহু আনুভূমিক এবং সুতোটি বাহুর দৈর্ঘ্য বরাবর আনুভূমিক থাকলে সুরশলাকার কম্পনে সুতোর মধ্যে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি হবে যা সুতা বরাবর সঞ্চালিত হয়ে বদ্ধ প্রান্তে বাধা প্রাপ্ত হয়ে প্রতিফলিত হবে, এতে তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে সুতায় স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হবে এবং



চিত্র ৮: ১৮- আড় কম্পন ব্যবস্থা

সুতার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে বেশ কয়েকটি লুপ তৈরি করবে। এক্ষেত্রে সুতার কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের সমান হয়। যদি L দৈর্ঘ্যের সুতায় s টি লুপ সৃষ্টি হয় তা হলে পর পর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{L}{s} \quad \text{বা, } \lambda = \frac{2L}{s} \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad (৮.২১)$$

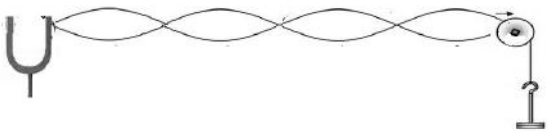
আবার সুতা তথা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক, $f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ .... (৮.২২)

এখানে, T= সুতার উপর টান এবং $\mu =$ সুতার একক দৈর্ঘ্যের ভর। সুতার এক প্রান্ত সুরশলাকার সাথে বাধা থাকে, অন্য প্রান্ত একটি পুলির উপর দিয়ে নিয়ে একটি ওজন পাল্লার প্যানের সাথে বেধে দেয়া হয়। ওজন প্যানের উপর প্রযুক্ত ভর M হলে সুতার উপর টান $T = Mg$ এখানে (g = অভিকর্ষজ ত্বরণ)। উপরের সমীকরণে λ এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়,-

$$f = \frac{1}{\frac{2L}{s}}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{s}{2L}\sqrt{\frac{Mg}{\mu}} \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad (৮.২৩)$$

খ. দীঘল তরঙ্গ ব্যবস্থা

সুরশলাকার বাহু উল্লম্ব এবং সুতোটি বাহুর দৈর্ঘ্য বরাবর লম্বভাবে থাকলে সুরশলাকার কম্পনে সুতোর মধ্যে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি হবে যা সুতা বরাবর সঞ্চালিত হয়ে বদ্ধ প্রান্তে বাধা প্রাপ্ত হয়ে প্রতিফলিত হবে, এতে তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে সুতায় স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হবে।



চিত্র ৮: ১৯- দীঘল কম্পন ব্যবস্থা

এক্ষেত্রেও সুতার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে বেশ কয়েকটি লুপ তৈরি করবে। এক্ষেত্রে যে সময়ে সুরশলাকা একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করবে সে সময়ে সুতাটির অর্ধেক কম্পন হবে বা সুতার কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হবে। যদি L দৈর্ঘ্যের সুতায় s টি লুপ সৃষ্টি হয় তা হলে পর পর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$\frac{\lambda}{2} = \frac{L}{s}$ বা, $\lambda = \frac{2L}{s}$ .... (৮.২৪)

কিন্তু সুর শলাকা কম্পাঙ্ক $f = 2 \times$ সুতার কম্পাঙ্ক $= 2 \times \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ .... (৮.২৫)

$f = 2 \times \frac{1}{\frac{2L}{s}}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{s}{L}\sqrt{\frac{Mg}{\mu}}$ ....(৮.২৬)

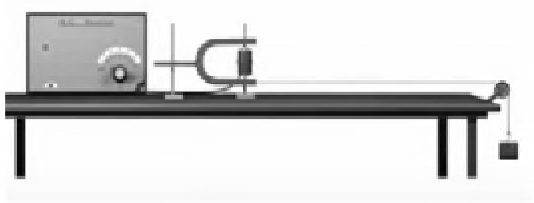
আলোচিত যেকোনো একটি ব্যবস্থায় পরীক্ষণ প্রাপ্ত ডেটা সংশ্লিষ্ট সমীকরণে বসিয়ে সুরশলাকার অজানা কম্পাঙ্ক গণনা করা যায়। এখানে আড় কম্পন ব্যবস্থায় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা হবে।

যন্ত্রপাতি ঃ মেল্‌ডির যন্ত্র, সরু সুতা, মিটার স্কেল, ওজন বাক্স, নিক্তি, কপিকল সংযুক্ত টেবিল, ওজন প্যান এবং বিভিন্ন মানের ওজন।

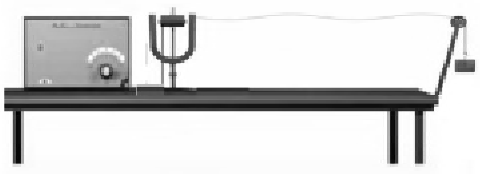
কাজের ধারা ঃ

১. নিক্তির সাহায্যে সুতার টুকরাটির ভর এবং মিটার স্কেলের সাহায্য এর দৈর্ঘ্য পরিমাপ করে একক দৈর্ঘ্যের ভর নির্ণয় করুন।

২. মেলডি যন্ত্রে সুরশলাকাটিকে অনুভূমিক অবস্থানে স্থাপন করুন। এর এক বাহুর সাথে সুতার একটি প্রান্ত সুন্দর ভাবে বেধে নিন। সুতার অন্য প্রান্তটিকে টেবিলের প্রান্তে সংলগ্ন পুলির উপর দিয়ে টানিয়ে স্কেল প্যানের সাথে বেঁধে দিন চিত্র ৮.২০(ক)।



চিত্র ৮.২০(ক) আড় কম্পন ব্যবস্থা



চিত্র ৮.২০(খ) দীঘল কম্পন ব্যবস্থা

৩. স্কেল প্যানের ভর গায়ে লেখা না থাকলে তা নির্ণয় করুন। প্যানের উপর একটি 0.5 কেজি ভরের বাটখাড়া বসিয়ে সুতাটিকে ভালভাবে টান টান করে রাখুন।

৪. রাবার প্যাডের সাহায্যে বা ভাইব্রেটর যন্ত্রের সুইচ অন করে (আপনার ল্যাবরেটরির মেল্‌ডির যন্ত্রেটিতে যেমন ব্যবস্থা আছে সে ভাবে) সুর শলাকাটিকে স্পন্দিত করুন বা কম্পন সৃষ্টি করুন। লক্ষ্য করুন সুতাটি কাঁপছে। সুরশলাকার বাহুর সাথে বাধা অবস্থান এবং পুলির শীর্ষ বিন্দু পর্যন্ত সুতার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য ভাবে স্থির তরঙ্গ সৃষ্টি হয়েছে। এবং সুরশলাকাটি অথবা পুলিটি সামনে পেনে সরিয়ে লক্ষ্য করুন কখন সুস্পষ্ট লুপ দেখা যায়। এ অবস্থায় সুর শলাকা এবং পুলির সংযোগ পর্যন্ত তারের মধ্যে উৎপন্ন লুপের সংখ্যা, s গণনা করুন।

৫. সুতার টান অপরিবর্তিত রেখে সুতার দৈর্ঘ্য কমিয়ে বাড়িয়ে লক্ষ্য করুন নিয়ন্ত্রিত বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের সুতায় কয়েকটি সুস্পষ্ট লুপ সৃষ্টি হবে। লুপের সংখ্যা গণনা করুন এবং খাতায় লিখুন।

৬. ব্রিজ দুটির মধ্যবর্তি অর্থাৎ লুপ সৃস্টিকারি সুতার দৈর্ঘ্য মেপে খাতায় লিখুন।

৭. প্যানের ভর পরিবর্তন করে একইভাবে ৪, ৫, ৬ নং ধারা তিনটি অনুসরণ করে ভিন্ন ভিন্ন সংখ্যক লুপ সৃষ্টি করুন এবং প্যানের উপর প্রদত্ত ভর, সুতার দৈর্ঘ্য ও লুপের সংখ্যার তিনটি ভিন্ন ভিন্ন পাঠ নিন এবং খাতায় লিখে রাখুন।

৮. সারণিতে সাজিয়ে লেখা পরীক্ষণ ডেটা নিয়ে ৮.২৩ নং সমীকরণে s, L, μ, এবং g এর মান বসিয়ে সুর শলাকার কম্পাঙ্ক f হিসাব করুন।

পরীক্ষা প্রাপ্ত ডেটা এবং সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের সারণি ঃ আড় কম্পন ব্যবস্থা

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্কেল প্যানের ভর m_1	স্কেল প্যানে চাপানো ভর m_2	মোট ভর $M = \frac{m_1 + m_2}{2}$	লুপ সংখ্যা s	লুপগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব L	সুরমলাকার কম্পাঙ্ক $f = \frac{s}{2L}\sqrt{\frac{Mg}{\mu}}$	গড় কম্পাঙ্ক f
	kg	kg	kg		m	Hz	Hz
1							
2							
3							

ফলাফল ঃ ----------

সতর্কতা ঃ

১। সতর্কতার সাথে সুতার দৈর্ঘ্য ও ভর মাপতে হবে।

২। অত্যন্ত সতর্কতার সাথে লুপের সংখ্যা পর্যবেক্ষণ ও গণনা করতে হবে।

৩। ব্যবহৃত সুতা অবশ্য সরু কিন্তু শক্ত এবং সুষম হতে হবে।

৪। স্কেল প্যানে অতিরিক্ত ভর দেয়া ঠিক নয় তাতে সুতা ছিড়ে যেতে পার।

বিশেষ জ্ঞাতব্য আপনি উপরে বর্ণিত পরীক্ষণে মেলডির যন্ত্রে সুর শলাকাটিকে আনুভূমিভাবে রেখে সুতাটিকে সুরশলাকার বাহু বরাবর টানিয়ে আড় কম্পন ব্যবস্থায় কম্পাঙ্ক নির্ণয় করেছেন। আবার সুর শলাকাটিকে উল্লম্বভাবে রেখে সুতাকে এর সাথে লম্বভাবে স্থাপন করে দীঘল কম্পণ ব্যবস্থা সৃষ্টি করেও একইভাবে কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যাবে। সে ক্ষেত্রে f নির্ণয়ের ৮.২৬ সূত্রটিকে ব্যবহার করতে হবে। আপনি দীঘল কম্পন ব্যবস্থায় নিজে পরীক্ষাটি সম্পাদন করুন। এবং দুই ব্যবস্থায় প্রাপ্ত ফলাফলের তুলনা করুন।

নিচের লিংকটি দেখা যেতে পারে।

https://www.youtube.com/watch?v=fqhek1wT5-s

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। কোন তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন নাই ?

(ক) শব্দ তরঙ্গ (খ) বেতার তরঙ্গ (গ) পানি তরঙ্গ (ঘ) ভূ-তরঙ্গ

২। দুটি শব্দ উৎসের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 256 Hz এবং 512 Hz। বাতাসে এই উৎস দুটি থেকে সৃষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অনুপাত কত?

(ক) 1 : 2 (খ) 1 : 3 (গ) 2 : 1 (ঘ) 3 : 1

৩। কোনো বস্তু t সেকেন্ডে N সংখ্যক স্পন্দন সম্পন্ন করে তা হলে কম্পাঙ্ক, f =?

(ক) $f = Nt$ (খ) $f = Nt^2$ (গ) $f = \frac{t}{N}$ (ঘ) $f = \frac{N}{t}$

৪। টানা তারের আড় কম্পনের টানের সূত্রানুসারে তারের টান ৪ গুণ করলে কম্পাঙ্ক কত গুণ হবে?

(ক) দ্বিগুণ (খ) অর্ধেক (গ) চারগুণ (ঘ) আটগুণ

খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ

১। যান্ত্রিক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো-

i. তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণাগুলোর স্পন্দনের দিক এবং তরঙ্গ সঞ্চারণের দিক সব সময় একই থাকে।
ii. তরঙ্গ সৃষ্টি ও সঞ্চালনের জন্য অবিচ্ছিন্ন স্থিতিস্থাপক জড় মাধ্যম প্রয়োজন ।
iii. তরঙ্গ মাধ্যমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি ও তথ্য সঞ্চারণ বা স্থানান্তর করে।

কোনটি সঠিক?

ক) i ও ii খ) ii ও iii গ) iii ও i ঘ) i, ii ও iii

২। সুর যুক্ত শব্দের ক্ষেত্রে -

i. অধিক তীক্ষ্ণ শব্দ শ্রবণ ইন্দ্রিয়ে যন্ত্রণা দেয়
ii. সুর যুক্ত শব্দের সুস্পষ্ট সীমা রেখা চিহ্নিত করা যায় না
iii. শব্দের কম্পন নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত এবং নিরবিচ্ছিন্ন হয়

কোনটি সঠিক ?

ক) i ও ii খ) ii ও iii গ) iii ও i ঘ) i, ii ও iii

৩। চারটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 : 8 হলে-

i. এদের সমন্বয়ে শ্রুতি মধুর শব্দ উৎপত্তি হয়
ii. এরূপ সমন্বয়কে বলা হয় স্বরসংগতি
iii. ত্রয়ীর সঙ্গে ত্রয়ীর প্রথম কম্পাঙ্কে দ্বিগুণ কম্পাঙ্ক সংযুক্ত হয়

কোনটি সঠিক ?

ক) i ও ii খ) ii ও iii গ) iii ও i ঘ) i, ii ও iii

গ. অভিন্ন তথ্য ভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন ঃ

নিচের বক্সের তথ্যগুলো পড়ুন এবং ১-৪ নম্বর প্রশ্নের সঠিক উত্তরটিতে টিক দিন।

প্রত্যেক সঙ্গীত অনুষ্ঠানের শুরুতে দেখা যায় বিভিন্ন বাদ্য যন্ত্র নিয়ে যন্ত্রবিদেরা সুর বাঁধার কাজ করেন। এক এক শিল্পী এক এক স্কেলে গান করেন। বাদ্য যন্ত্রগুলোর সুর বাঁধা না হলে সঙ্গীত বেসুরো হয়। বিভিন্ন কম্পাঙ্কের কয়েকটি নির্দিষ্ট সুর আমাদের কানে সহজে সাড়া দেয়। এই সুরগুলির মধ্যে সমসঙ্গতি বজায় থাকে বলে এরা সঙ্গীত গুণ সম্পন্ন হয়।

১। সমসঙ্গতি বিশিষ্ট সুর সমষ্টিকে কী বলে ?

(ক) অষ্টক (খ) মেলোডি (গ) স্বরগ্রাম (ঘ) প্রধান স্বর

২। স্বরগ্রামের প্রধান সুর কোনটি ?

(ক) সঙ্গীত শুরুর আগে যেটি বাজানো হয় (খ) স্বরগ্রামের সবচেয়ে ছোট কম্পাঙ্কের সুর

(গ) যেটি সংগীত গুণসম্পন্ন (ঘ) যেটি অন্য সুরগুলির মধ্যে সমন্বয় সাধন করে

৩। স্বরগ্রামের যেকোনো একটি সুরের দ্বিগুণ কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট সুরটির নাম কী

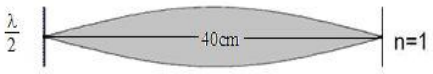
(ক) অষ্টক (খ) টোনিক (গ) উপসুর (ঘ) সম সুর

৪। দুই বা ততোধিক বাদ্য যন্ত্র থেকে এক সাথে সমতান সৃষ্টি করা হয় তখন তাকে কী বলে ?

(ক) হারমোনি (খ) অর্কেস্ট্রা (গ) সলো (ঘ) সম সুর

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ ১

চিত্রে এক টুকরো তারের উভয় প্রান্ত দুটি দৃঢ় অবলম্বনের সাথে টান টান করে বাঁধা, তারটিকে মাঝখানে থেকে এর দৈর্ঘ্যের সাথে সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারটি তার দৈর্ঘ্যর সাথে লম্বভাবে আন্দোলিত হতে থাকবে। এভাবে স্থির তরঙ্গ সৃষ্টি হবে।



প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন।

(ক) স্থির তরঙ্গ কাকে বলে? ১

(খ) স্থির তরঙ্গ ও আড় তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কী? ২

(গ) তারটির কম্পাঙ্ক 420 Hz এবং দুই প্রান্তের দূরত্ব 40 cm হলে উৎপন্ন শব্দ তরঙ্গের বেগ কত হবে? ৩

(ঘ) উৎপন্ন স্থির তরঙ্গটি কী অনুদের্ঘ্য তরঙ্গ না অনুপ্রস্থ তরঙ্গ? আপনার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দিন। ৪

সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ ২

নিচের অনুচ্ছেদটি পড়ুন

সৌম্য ও সাথী দুজনের হাতে দুটি সুর শলাকা নিয়েছে। সৌম্যের সুর শলাকাটিতে কম্পাঙ্কের মান লেখা আছে 512 Hz। সাথীর সুর শলাকার কম্পাঙ্কের মান লেখা নাই। তারা এটির মান জানতে চায়। এজন্য দুজনে একসাথে তাদের নিজ নিজ সুর শলাকাটি শব্দায়িত করল। 10 সেকেন্ডে তারা 20টি বিট শুনতে পেল। এর পর সাথী তার সুরশলাকার একটি বাহুতে এ ফোঁটা গলিত মোম লাগিয়ে নিল। এবং পুনরায় এক সাথে দুজনে শলাকা দুটি শব্দায়িত করল। এবার 10 সেকেন্ডে 15 টি বিট শুনতে পেল।

প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন।

(ক) বিট কী ? ১

(খ) কার সুরশলাকার কম্পাঙ্ক বেশি হবে কেন ব্যাখ্যা করুন। ২

(গ) সাথীর সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন। ৩

(ঘ) এ ক্ষেত্রে সাথীর সুরশলাকার পরিবর্তে সৌম্যের সুর শলাকায় মোম লাগিয়ে পরীক্ষণটি করলে সাথীর সুর শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় সম্ভব কী? উত্তরের স্বপক্ষে ব্যাখ্যা দিন। ৪

ঙ. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন ঃ

১। তরঙ্গ কী ? কত প্রকার ও কী কী, লিখুন।
২। যান্ত্রিক তরঙ্গের সংজ্ঞা লিখুন।
৩। সংজ্ঞা লিখুন ঃ স্পন্দন, পর্যায়কাল, কম্পাঙ্ক, বিস্তার, দশা , তরঙ্গ শীর্ষ , তরঙ্গ পাদ, তরঙ্গ মুখ, তরঙ্গ বেগ, তরঙ্গ তীব্রতা, সুস্পন্দ বিন্দু, নিস্পন্দ বিন্দু, ত্রয়ী, সমতান, সলো, অর্কেস্ট্রা।
৪। কম্পাঙ্ক ও পর্যায়কালের সম্পর্কটি লিখুন।
৫। কম্পাঙ্ক, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও বেগের সম্পর্কটি লিখুন।
৬। তরঙ্গ কত প্রকার ও কী কী, লিখুন।
৭। অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কী, লিখুন।
৮। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কী, লিখুন।
৯। অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণটি লিখুন
১০। অনুপ্রস্থ তরঙ্গের সমীকরণটি লিখুন।
১১। শব্দের প্রাবল্য বলতে কি বুঝায়, লিখুন।
১২। শব্দের তীব্রতার পরিমাপের আদর্শ কী, লিখুন।
১৩। ডেসিবেল কী, লিখুন।
১৪। হারমোনিক বলতে কি বুঝায়, লিখুন।
১৫। মূল সুর বা মৌলিক সুর কী, লিখুন।
১৬। উপসুর কী, লিখুন।
১৭। অষ্টক কী, লিখুন।
১৮। স্বরসংগতি বলতে কী বোঝায়, লিখুন।
১৯। বিট কী, লিখুন।
২০। স্বরগ্রাম কী, লিখুন।

চ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন ঃ

১। যান্ত্রিক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখুন।
২। উদাহরণসহ অনুদৈর্ঘ্য ও অনুপ্রস্থ তরঙ্গের ব্যাখ্যা দিন।
৩। অগ্রগামী ও স্থির তরঙ্গ কাকে বলে। এদের মধ্য পার্থক্য কী, লিখুন।
৪। অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণটি প্রতিপাদন করুন।
৫। অনুপ্রস্থ তরঙ্গের সমীকরণটি প্রতিপাদন করুন।
৬। অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখুন।
৭। স্থির তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখুন।
৮। শব্দ যে একটি অগ্রগামী দীঘল তরঙ্গ তা ব্যাখ্যা করুন।
৯। টানা তারের আড় কম্পনের সূত্রগুলো বিবৃত করুন।
১০। আমাদের জীবনে নয়েজ ও সঙ্গীতগুণের প্রভাব বর্ণনা করুন।

ছ. গাণিতিক সমস্যা ঃ

১। বায়ু মাধ্যমে একটি শব্দ তরঙ্গ 3 সেকেন্ডে 1020 মিটার দূরত্ব অতিক্রম করে, এই শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 50 সেমি হলে, কম্পাঙ্ক কত?
২। কোনো শ্রেণিকক্ষের শব্দের তীব্রতা 1×10^{-7} Wm^{-2}। শব্দের তীব্রতা লেভেল কত? শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ করা হলে নতুন তীব্রতা লেভেল নির্ণয় করুন।

৩। A ও B দুটি সুর শলাকাকে একত্রে শব্দায়িত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি বিট শোনা যায়। A-এর ভর কমালে বিট কমে যায়। B-এর কম্পাঙ্ক 380 Hz হলে A-এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

৪। 0.8 m লম্বা একটি ধাতব তারকে 64 N বল দ্বারা টান টান করে রাখা আছে। তারের ভর 0. 032 kg হলে তারটি থেকে উৎপন্ন মূল সুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করুন।

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.১ ঃ ১। (ঘ) ২। (খ) ৩। (ক) ৪। (খ) ৫। (গ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.২ ঃ ১। (খ) ২। (গ) ৩। (ঘ) ৪। (ক) ৫। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.৩ ঃ ১। (ক) ২। (গ) ৩। (খ) ৪। (গ) ৫। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.৪ ঃ ১। (গ) ২। (খ) ৩। (গ) ৪। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.৫ ঃ ১। (ক) ২। (গ) ৩। (গ) ৪। (খ) ৫। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৮.৬ ঃ ১। (ক) ২। (গ) ৩। (ঘ) ৪। (ঘ) ৫। (ঘ)

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (খ) ২। (গ) ৩। (ঘ) ৪। (ক)
খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (খ) ২। (খ) ৩। (ঘ)
গ. অভিন্ন তথ্য ভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (গ) ২। (খ) ৩। (ক) ৪।(খ)
ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ-১ (ক) অনুচ্ছেদ ৮.২.২ (খ) অনুচ্ছেদ ৮.১.৩ এবং ৮.২.২
(গ) বেগ 336 ms^{-1} (ঘ) নিজে ব্যাখ্যা করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।
সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ-২ (ক) অনুচ্ছেদ ৮.৪.১ (খ) অনুচ্ছেদ ৮.৪.২
(গ) 514 Hz (ঘ) নিজে ব্যাখ্যা করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।
ছ. গাণিতিক সমস্যা ঃ ১। 680 Hz২। 50 dB; 54.77 dB ৩। 375 Hz ৪। 25 Hz