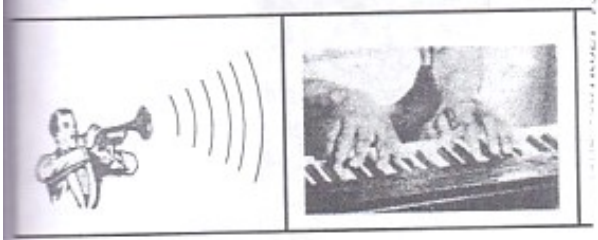
৯

তরঙ্গ
WAVE



সূচনা
Introduction

তরঙ্গ ও তরঙ্গ গতি পদার্থবিজ্ঞানের একটি গু
করা যায়। প্রথমত, মাধ্যমের আলোড়ন বা স্পন্দন
সঞ্চালনের বিষয়। আমরা যে শব্দ শুনি তা তরঙ্গ আ
তরঙ্গ গতি সম্পর্কে আমাদের স্পষ্ট ধারণা থাকা আ
শ্রুতিমধুর আবার কোনোটি শ্রুতিকটু। এ অধ্যায়ে স
সংগীতগুণ সম্পর্কে আলোচনা করা হবে।

এই অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তরঙ্গের উৎপত্তি এবং মাধ্যমে শব্দ সঞ্চালন
- তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য, তীব্রতার গাণিতিক রাশি
- উপরিপাতন নীতি এবং স্থির তরঙ্গের গাণি
- **ব্যবহারিক :**
  মেলডির পরীক্ষার সাহায্যে সুর কম্পাঙ্কের
- শব্দের তীব্রতা লেভেল, বীটের গাণিতিক র
- স্বরগ্রাম, হারমোনিক ব্যাখ্যা করতে, সং
  শোরগোল ও সংগীত সুরের প্রভাব ব্যাখ্যা

৯·১ তরঙ্গের উৎপত্তি
Propagation of Wave

হাত থেকে একটি ধাতব পাত্রকে ফেলে দি
আঘাত করলে শব্দ উৎপন্ন হয়। লক্ষ করলে দেখা
হয়। আবার কম্পন থেমে গেলে শব্দ বা তরঙ্গ
কম্পনশীল কোনো বস্তুকে হাত দিয়ে চেপে ধরলে
দুই থেমে যায়। আমরা যখন কথা বলি তখন শব্দ
মধ্য দিয়ে তরঙ্গ আকারে এক স্থান থেকে অন্য স্থ
হয় [চিত্র ৯·১]। সুতরাং বলা যায়—কোনো ব
ফলে শব্দের সৃষ্টি হয়। শব্দ মাধ্যমকে আন্দোলি
মাধ্যমের এ আন্দোলন তরঙ্গ আকারে এক স্থ
স্থানে সঞ্চালিত হয়। এভাবেই তরঙ্গের
কম্পনশীল এই বস্তুই হলো শব্দ উৎস বা স্বনক।

যাচাই কর : হাতে একটি হ্যান্ড মাইক সেট নাও। এবার জোরে ডাক দাও।

পুকুরের স্থির পানিতে ঢিল ছুড়লে ঢিলটি পানির যেখানে পতিত হয় সেখানে কম্পনের সৃষ্টি হয়। এই কম্পন এক কণা থেকে অপর কণায় স্থানান্তরিত হতে হতে এক সময় সমগ্র পুকুরে ছড়িয়ে পড়ে। এই কম্পনের ফলে কোনো

- স্বরগ্রামের সর্বাপেক্ষা কম কম্পাংকের সূচনা সুরকে টোনিক বলে।
- ডায়াটনিক গ্রাম মূলত বিশেষ ধরনের স্বরগ্রাম। এবং সূচনা সুরের কম্পাংক সাধারণত 256 গণ্য করা হয়। বাংলাদেশী নামানুসারে সুরাষ্টকের টোনিক হল 'সা'।
- গ্রামোফোন এক প্রকার উন্নত ধরনের ফনোগ্রাফ।
- অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ে,
  i. অজানা কম্পাঙ্কের বাহুর ভর বাড়ালে অর্থাৎ কম্পাঙ্ক কমালে যদি বীট বাড়ে তাহলে তার কম্পাঙ্ক কম।
  ii. অজানা কম্পাঙ্কের বাহুর ভর বাড়ালে অর্থাৎ, কম্পাঙ্ক কমালে বীট কমলে অজানা কম্পাঙ্ক জানা কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি
  iii. অজানা কম্পাঙ্কের বাহুর ভর কমলে অর্থাৎ কম্পাঙ্ক বাড়ালে বীট বাড়লে অজানা কম্পাঙ্ক জানা কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি
  iv. অজানা কম্পাঙ্কের বাহুর ভর কমলে অর্থাৎ কম্পাঙ্ক বাড়ালে বীট কমলে অজানা কম্পাঙ্ক জানা কম্পাঙ্কের কম।

বিজ্ঞানী ও আবিষ্কার:

আবিষ্কার	বিজ্ঞানী
মেডলির	মেলডি
ফনোগ্রাফ	টমাস আলভা এডিসন
সুরশলাকা	ডিকনিং

তীব্রতার বৈশিষ্ট্য:

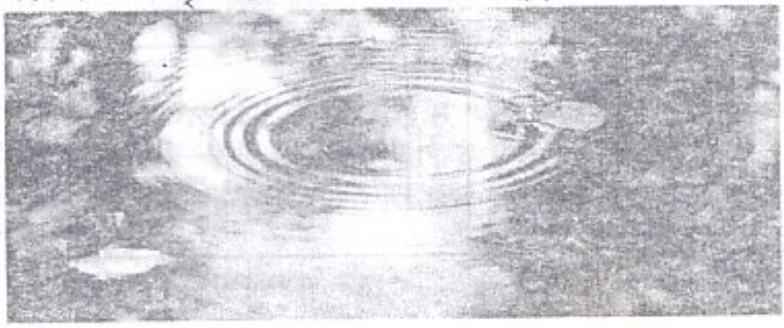
i. তীব্রতা মাধ্যমের ঘনত্বের সমানুপাতিক।
ii. তীব্রতা মাধ্যমের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।
iii. তীব্রতা উৎসের কম্পাঙ্কের বর্গের সমানুপাতিক।
iv. তীব্রতা মাধ্যমের ত্রুতির সমানুপাতিক।
iv. তীব্রতা মাধ্যমের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

- **ফন (Phon):** 1000 Hz কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট প্রমাণ তীব্রতার এক ডেসিবেল এর একটি বিশুদ্ধ সুর যে প্রাবল্য সৃষ্টি করে তাকে ফন বলে।

শ্রবণের নিম্নতম সীমা: 10^{-12} W/m^2

PUBLICATIONS • DHAKA

পানির কণাই তার সাম্যাবস্থান থেকে দূরে সরে যায় না। শুধু সাম্যাবস্থানকে কেন্দ্র করে উপরে নিচে পর্যায়বৃত্ত গতিতে কম্পিত হতে থাকে এবং প্রত্যেকটি কণাই তার পার্শ্ববর্তী কণায় শক্তির স্থানান্তর ঘটায় চিত্র ৯·২]। কিন্তু কোনো এক মুহূর্তে পানির কণাগুলো বিভিন্ন বিন্দুতে অবস্থান করায় এগুলো দেখতে ঢেউয়ের মতো মনে হয়। এই ঢেউই হলো তরঙ্গ। তোমরা নিশ্চয় খেয়াল করেছ সবুজ ধান ক্ষেতে মৃদুমন্দ বাতাস বয়ে গেলে ধানের পাতার পর্যায়বৃত্ত কম্পনের ফলে ঢেউয়ের সৃষ্টি হয়। আবার পানিতে ঢিল ছুড়ে কোনো পাতা বা কাগজের টুকরাকে ফেলে



চিত্র ৯·২

লক্ষ করলে দেখা যায় যে, পানির তরঙ্গগুলি একে একে পেরিয়ে যাবার সময় পাতা বা কাগজের টুকরো তরঙ্গের সঙ্গে এগিয়ে না গিয়ে একই জায়গায় থেকে উপর নিচে দুলতে থাকে। এ ঘটনা থেকে বোঝা যায় যে, ঢিলটি যেখানে পানিকে আঘাত করে সেখানে পানির কণাগুলিতে আলোড়ন (disturbance) সৃষ্টি হয়ে কণাগুলো উপর নিচে দুলতে শুরু করে। মাধ্যমের অর্থাৎ পানির কণাগুলোর সংসক্তির জন্য এই গতি পাশের পানির কণাগুলোর মধ্যে সঞ্চালিত হয়। ফলে এই কণাগুলিও একই ধরনের গতিতে দুলতে শুরু করে। এরা আবার পাশের পানি কণাগুলিকে আন্দোলিত করে। এভাবে স্থির পানির উপর কোনো স্থানে আলোড়ন সৃষ্টি করলে ঐ আলোড়ন পানির উপরিতল ধরে এগিয়ে যায়। একেই তরঙ্গ বলে। এখানে কেবলমাত্র আলোড়নের রূপ তরঙ্গ আকারে এগিয়ে যায়; পানির কণাগুলো একই জায়গায় থেকে উপরে নিচে আন্দোলিত হতে থাকে, কিন্তু কণাগুলো তরঙ্গের সঙ্গে এগিয়ে যায় না। পানিতে ভাসমান পাতা বা কাগজের টুকরোর গতি থেকে এই কথা স্পষ্ট বোঝা যায়। আবার তরঙ্গ এগিয়ে যাবার সাথে সাথে স্থির পানির কণাগুলি দুলতে শুরু করে— এই কথার অর্থ হলো তরঙ্গ প্রতিটি পানিকণায় কিছু পরিমাণ শক্তি সঞ্চালিত করে। সুতরাং বলা যায় যে— ঢিলটি পানিতে পড়ে সেই জায়গার পানিকণাগুলিকে যে শক্তি দিয়েছিল, সেই শক্তি তরঙ্গ আকারে এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় ছড়িয়ে পড়েছে [চিত্র ৯·২]।

শব্দ তরঙ্গের উৎপত্তি

Production of Sound Wave

তোমরা যদি কখনও পুকুরে বা লেকের পানিতে ঢিল নিক্ষেপ কর তাহলে দেখবে যেখানে ঢিলটি পানিকে স্পর্শ করেছে সেখানে একটি আলোড়ন সৃষ্টি হয়েছে। এই আলোড়ন এক বিন্দুতে স্থির না থেকে চারদিকে ছড়িয়ে পরছে। ঢিলটি যখন পানি স্পর্শ করে তখন ঐ স্থানের পানি আন্দোলিত হয়। এই কণাগুলো আবার পাশের কণাগুলোকে আন্দোলিত করে। এভাবে আন্দোলন এক কণা থেকে অন্য কণায় ছড়িয়ে পরে এবং কিনারা পর্যন্ত বিস্তৃতি হয়। এ আন্দোলনই হলো তরঙ্গ। সুতরাং বলা যায়, **কোনো পর্যায়বৃত্ত আন্দোলন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলোর স্থানান্তর দ্বারা এক স্থান হতে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চালিত করে তাকে তরঙ্গ বলে।** ৯·৩ চিত্রে পর্যায়বৃত্ত আন্দোলন দ্বারা তরঙ্গের উৎপত্তি দেখান হলো। **শব্দ উৎপত্তির মূল উৎসই বস্তুর কম্পন।** বস্তুতে যতক্ষণ কম্পন থাকে ততক্ষণই এর শব্দ নিঃসরণ হয়। এ শব্দ নিরবচ্ছিন্ন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আমাদের কানে পৌঁছে শ্রবণের অনুভূতি জন্মায়।

চিত্র ৯·৩

আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা থেকেও শব্দের উৎপত্তি ও প্রকৃতি বুঝতে পারি। যেমন কোনো ধাতব পদার্থ মেঝেতে পড়ে গেলে বা ধাতব পদার্থকে কোনো ধাতব দণ্ড দিয়ে আঘাত করলে শব্দের সৃষ্টি হয়; কিন্তু হাত বা শক্ত কিছু দিয়ে চেপে ধরলে শব্দ বন্ধ হয়ে যায়। বাঁশিতে ফুঁ দিয়ে কিংবা বাদ্যযন্ত্রের তারে টান দিয়ে বা ঢাক-ঢোলের চামড়ার পর্দা কাঁপিয়ে শব্দ সৃষ্টি করা হয়। সুতরাং বুঝা যাচ্ছে যে কম্পন থেকেই শব্দ সৃষ্টি হয়। এই কম্পন মাধ্যমে তরঙ্গের সৃষ্টি করে যা আমাদের কানের পর্দাকেও আন্দোলিত করে এবং আমরা শব্দ শুনতে পাই।

সিদ্ধান্ত : কোনো বস্তুর কম্পনের দরুন শব্দ উৎপন্ন হয়। সর্বপ্রকার শব্দ উৎপত্তির মূল উৎস বস্তুর কম্পন। কম্পনের ফলে যান্ত্রিক শক্তি হতে শব্দ উৎপন্ন হয়।

নিজে কর : শব্দের বিস্তারের জন্য জড় মাধ্যমের প্রকৃতি কেমন হওয়া দরকার ?

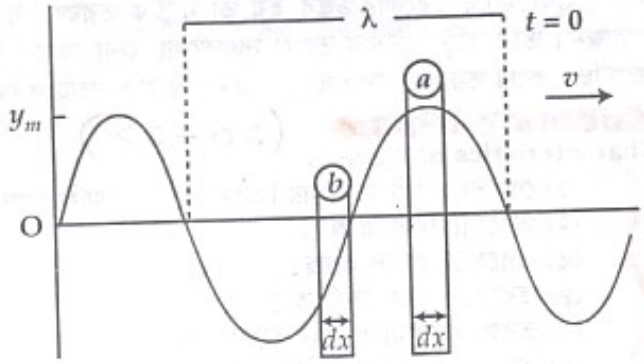
শব্দের বিস্তারের জন্য জড় মাধ্যমকে স্থিতিস্থাপক এবং অবিচ্ছিন্ন হতে হবে। অস্থিতিস্থাপক মাধ্যম অধিক দূরত্বে শব্দকে সঞ্চালিত করতে পারে না, যেহেতু খুব দ্রুত শক্তির অবক্ষয় হয়। তাছাড়া বিচ্ছিন্ন বস্তু যেমন ধুলো, পশম ইত্যাদি শব্দ প্রেরণের পক্ষে অত্যন্ত কুপরিবাহী।

৯·২ তরঙ্গ ও শক্তি
Wave and Energy

কম্পনশীল বস্তুর আঘাতে এর সংলগ্ন মাধ্যমের কণা নিজ মধ্য অবস্থানের দুদিকে এদিক-ওদিক (to and fro) সরল দোলন গতিতে কাঁপতে থাকে। ঐসব বায়ুকণা তাদের পাশের কণাকে একই জাতীয় কম্পনে কম্পিত করে। এভাবেই পরপর কণা থেকে কণাতে কম্পন স্থানান্তর হতে থাকে, অর্থাৎ শব্দ উৎস থেকে তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখে কম্পনরত কণার একটি শৃঙ্খল তৈরি হয় এবং শেষ পর্যন্ত শ্রোতার কানে কম্পন আঘাত করে।

সুতরাং শব্দ উৎস হতে প্রাপ্ত শক্তি কণা থেকে কণাতে স্থানান্তরিত হয়ে অবশেষে শ্রোতার কানে পৌঁছায়; কিন্তু মাধ্যমের কণার কোনো স্থায়ী স্থানচ্যুতি ঘটে না।

জড় মাধ্যমের ভেতর দিয়ে তরঙ্গের বিস্তারের সময় মাধ্যমের কণাগুলি আন্দোলিত হয়, ফলে শক্তির স্থানান্তর ঘটে। ঐ শক্তির কিছু অংশ গতিশক্তি ও বাকী অংশ স্থিতিশক্তি; যদিও মোট শক্তি সর্বত্র সমান। তরঙ্গ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হলে মাধ্যমের কণাগুলো সরল দোলন গতি লাভ করে [চিত্র ৯·৪]। শক্তি সঞ্চালনে কণাগুলো সরাসরি ভূমিকা পালন করে না এবং কণাগুলো স্থায়ীভাবে স্থানচ্যুতও হয় না। পক্ষান্তরে তরঙ্গ সঞ্চালনে মাধ্যমের প্রয়োজন না হলে শক্তি স্থানান্তরে কণার কোনো ভূমিকাই থাকে না। পানির উপর একটি শোলা বা পাটকাঠি থাকলে দেখা যাবে যে, শোলা বা কাঠিটি একই স্থানে থেকে উপরে-নিচে উঠানামা করছে। এর অর্থ হলো মাধ্যমের কণাগুলো স্থান ত্যাগ করে না, যদি করত তবে শোলা বা কাঠিটি সরে পাড়ে চলে আসত। মাধ্যমের কণাগুলোর মধ্যে সংসক্তি বলের কারণে এগুলো স্থান ত্যাগ করে না; তবে আন্দোলনের দ্বারা পার্শ্ববর্তী কণাগুলোতে শক্তি সঞ্চালিত হয় বলে পাশের কণাগুলো আন্দোলিত হয়। এভাবে শক্তি তরঙ্গাকারে এক স্থান হতে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয়। সুতরাং তরঙ্গের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যায় :



চিত্র ৯·৪

কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলোর স্থানান্তর ছাড়া যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলনের দ্বারা এক স্থান হতে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চালিত হয় তাকে তরঙ্গ বলে।

তরঙ্গ শক্তির এক প্রকার রূপ তাই পানিতে ঢিল নিক্ষেপের সময় হাত থেকে শক্তি ঢিলে স্থানান্তরিত হয়। আবার যখন টানা দেয়া তারে একটি তরঙ্গকে স্থাপন করা হয় তখন প্রকৃতপক্ষে তারে তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য শক্তি সরবরাহ করা হয়। সুতরাং দেখা যায় যে, মাধ্যমে আন্দোলনের ফলে মাধ্যমের কণাসমূহে যে যান্ত্রিক শক্তির সৃষ্টি হয় তা কম্পনের মাধ্যমে এক স্থান হতে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয়। তরঙ্গ দ্বারা শক্তি এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয়। এই তরঙ্গ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে চলাচলের সময় গতিশক্তি ও স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি স্থানান্তরিত হয়।

গতিশক্তি (Kinetic energy) : মনে করি তারের একটি কণার ভর dm, যা আড় তরঙ্গরূপে সরল ছন্দিত গতিতে কম্পিত হচ্ছে। যখন তরঙ্গ এই কণাকে অতিক্রম করে তখন তা গতিশক্তি প্রাপ্ত হয় যার বেগ v। $y = 0$ অবস্থানে কণার অবস্থানের জন্য আড় কম্পনের বেগ তথা গতিশক্তি সর্বাধিক হয় [চিত্র ৯.৪]। আবার কণাটির চূড়ান্ত অবস্থান $y = y_m$ অবস্থানে আড় কম্পনের বেগ তথা গতিশক্তি শূন্য বা সর্বনিম্ন হয়।

স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি (Elastic potential energy) : এখন একটি সাইন-তরঙ্গ পূর্বের টানা তারে সঞ্চালনের জন্য প্রয়োগ করা হলে তা তারটিতে চাপ (stretch) প্রয়োগ করে। (৯·৪) চিত্র অনুযায়ী ধরি তারের ক্ষুদ্র dx অংশ আড়াআড়িভাবে কম্পিত হচ্ছে; কাজেই এই দৈর্ঘ্য dx বরাবর পর্যায়ক্রমিকভাবে সংকুচিত ও প্রসারিত হয়।

সেক্ষেত্রে বলা যায় তারটি স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি লাভ করার জন্য দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হচ্ছে যেমনটি লক্ষ করা যায় একটি স্প্রিং এর ক্ষেত্রে। যখন তারে কণার অবস্থান $y = y_m$ হয় তখন ক্ষুদ্রতম দৈর্ঘ্য dx অপরিবর্তিত থাকে এবং এই অবস্থানে স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি শূন্য হয়। আবার $y = 0$ অবস্থানে স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি সর্বাধিক হয়। এভাবে কম্পিত তার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি লাভ করে।

সম্প্রসারিত ক্রিয়াকর্ম : সরণ-সময় কিংবা সরণ-দূরত্ব লেখচিত্র তরঙ্গ আকৃতি দেখায়। এ থেকে মন্তব্য করা যায় যে শব্দ তরঙ্গ পথে বিস্তার লাভ করে।

আমরা যখন কথা বলি তখন উৎপন্ন শব্দ তরঙ্গ আকারে ছড়িয়ে পড়ে। প্রকৃতপক্ষে, একটি শব্দসৃষ্টিকারী উৎসের কম্পনে পর্যায়ক্রমে মাধ্যমে সংকোচন ও প্রসারণ সৃষ্টি হয় এবং তরঙ্গ সমবেগে চারদিকে ছড়িয়ে যায়। একটি পূর্ণ কম্পনকালের মধ্যে মাধ্যমের কোনো কণার সরণ-সময় লেখচিত্র কিংবা তরঙ্গের বিস্তারের অভিমুখে নির্দিষ্ট সময় বিভিন্ন কণার সরণ-দূরত্ব লেখচিত্র অঙ্কন করলে লেখচিত্রগুলি তরঙ্গ আকারের হবে।

৯·৩ তরঙ্গ
Wave

পূর্বের আলোচনা থেকে জেনেছি, যে পর্যাবৃত্ত আন্দোলন কোনো জড় মাধ্যমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চালিত করে, কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলো স্থায়ীভাবে স্থানান্তরিত করে না তাই তরঙ্গ। তরল বা গ্যাসীয় এবং কঠিন মাধ্যমে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তা যান্ত্রিক তরঙ্গ। যান্ত্রিক তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের প্রয়োজন। তবে তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। তরঙ্গ ও শক্তি কী ? তাও জেনেছি। এবার তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি জানা দরকার। তাহলে আমরা বিভিন্ন প্রকার তরঙ্গের প্রকৃতি জানতে সক্ষম হব।

তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of Wave

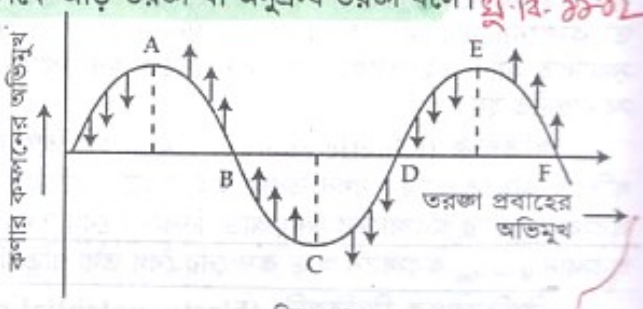
(১) কোনো একটি মাধ্যমের বিভিন্ন কণার সম্মিলিত কম্পনের ফলশ্রুতিই হলো তরঙ্গ।
(২) তরঙ্গের বিস্তার আছে।
(৩) তরঙ্গের কম্পন আছে।
(৪) তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আছে।
(৫) তরঙ্গ অগ্রগামী ও স্থির হতে পারে।
(৬) তরঙ্গ আড় কিম্বা লম্বিক হতে পারে।
(৭) তরঙ্গের তরঙ্গমুখ আছে।
(৮) তরঙ্গ প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার এবং অপবর্তন ঘটায়।
(৯) তরঙ্গ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি সঞ্চালিত করে।

তরঙ্গের প্রকারভেদ
Types of Waves

মাধ্যমের কণাগুলো সরল দোল গতিতে কম্পিত হলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাকে **সরল দোল তরঙ্গ** (Simple harmonic wave) বা **সাইন তরঙ্গ** (Sine wave) বলে। সরল দোল তরঙ্গ আবার দুই প্রকারের। যথা—(১) আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (Transverse wave) এবং (২) লম্বিক তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal wave)।

(১) আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (Transverse wave) : মাধ্যমের কণাগুলো তরঙ্গ গতির অভিমুখের সমকোণে কম্পিত হতে থাকলে সেই তরঙ্গকে আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলে।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৯·৫-এ একটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ দেখান হয়েছে। তরঙ্গের উপর ছোট ছোট তীর চিহ্ন দ্বারা কণার কম্পনের অভিমুখ দেখানো হয়েছে। তরঙ্গের উপরের দিকে A ও E বিন্দুতে কণার সর্বোচ্চ সরণ ঘটেছে। তরঙ্গের এই বিন্দুগুলোকে **তরঙ্গ শীর্ষ** বা **তরঙ্গ চূড়া** (Crest) বলে। আবার নিচের দিকে C বিন্দুতে সর্বোচ্চ সরণ ঘটেছে। একে **তরঙ্গ পাদ** বা **তরঙ্গ খাঁজ** (Trough) বলে।



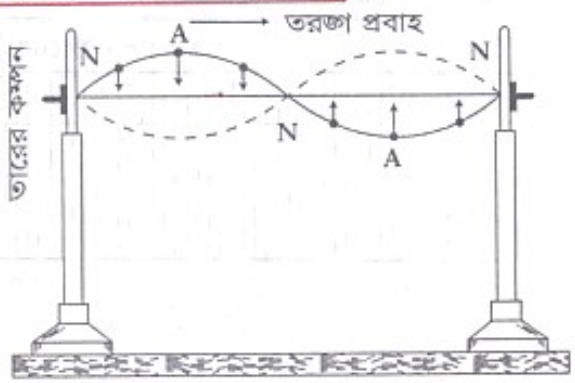
চিত্র ৯·৫

এক্ষেত্রে কণার স্পন্দনের অভিমুখ তরঙ্গ প্রবাহের অভিমুখের সমকোণে ঘটেছে। অতএব এটা আড় তরঙ্গ।

উদাহরণ :

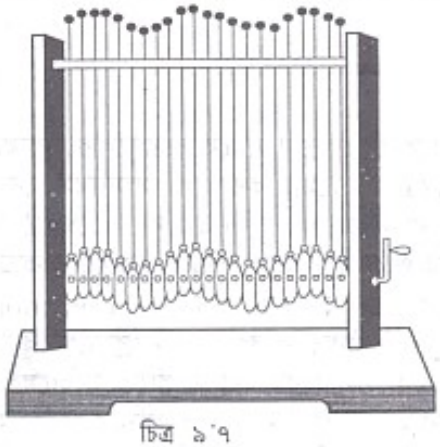
(১) পুকুরের পানিতে ঢিল ছুঁড়লে দেখা যায় যে পানির কণাগুলো উপরে-নিচে দুলতে থাকে এবং এই আন্দোলন কিনারার দিকে অগ্রসর হতে থাকে। সৃষ্ট এরূপ আন্দোলনই আড় তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।

(২) একটি তার টান করে বেঁধে এর দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারে একটি তরঙ্গের সৃষ্টি হবে [চিত্র ৯·৬]। লক্ষ করলে দেখা যাবে যে, তারটি এর দৈর্ঘ্যের সাথে সমকোণে আন্দোলিত হচ্ছে। এই আন্দোলন তারের দৈর্ঘ্য বরাবর প্রবাহিত হচ্ছে। সুতরাং টানা তারের এরূপ কম্পন হতে স্পষ্ট যে, এই তরঙ্গ আড় তরঙ্গ।



চিত্র ৯·৬

পরীক্ষণ : আড় তরঙ্গ প্রদর্শন (Demonstration of Transverse wave) : পরীক্ষায় সমান দৈর্ঘ্যের কতকগুলো দন্ড নেয়া হয় যাদের প্রত্যেকের এক মাথায় একটি করে বল এবং অপর মাথায় একটি করে চাকা যুক্ত আছে [চিত্র ৯·৭]। চাকাগুলো একটি হাতলযুক্ত ঘূর্ণনক্ষম দন্ডের সাথে এমনভাবে লাগানো আছে যে চাকাগুলো কম-বেশি উৎকেন্দ্রিক (eccentric) অবস্থায় থাকে অর্থাৎ দন্ডগুলো এক এক চাকার এক এক স্থান দিয়ে পরানো থাকে এবং দন্ডগুলো খাড়াভাবে অবস্থান করে।


চিত্র ৯·৭

হাতল ঘুরালে চাকাগুলোও ঘুরতে থাকে এবং দন্ডগুলো উঠা-নামা করে। চাকাগুলো কম-বেশি উৎকেন্দ্রিক হওয়ায় বিভিন্ন দন্ডের উপরের প্রান্তের বলগুলো একসঙ্গে উপরে উঠে না বা নিচে নামে না— পর্যায়ক্রমে উঠা-নামা করে। ভালভাবে লক্ষ করলে দেখা যাবে যে বলগুলো যে দিকে উঠা-নামা করে তার সমকোণে তরঙ্গ প্রবাহিত হচ্ছে। সুতরাং এস্থলে উদ্ভূত তরঙ্গ আড় তরঙ্গ।

আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of transverse wave)

আড় তরঙ্গের মধ্যে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হয়—

১। যে তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সমকোণী হয়, তাকে আড় তরঙ্গ বলে।

২। তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমে তরঙ্গ শীর্ষ এবং তরঙ্গ পাদ সৃষ্টি হয়।

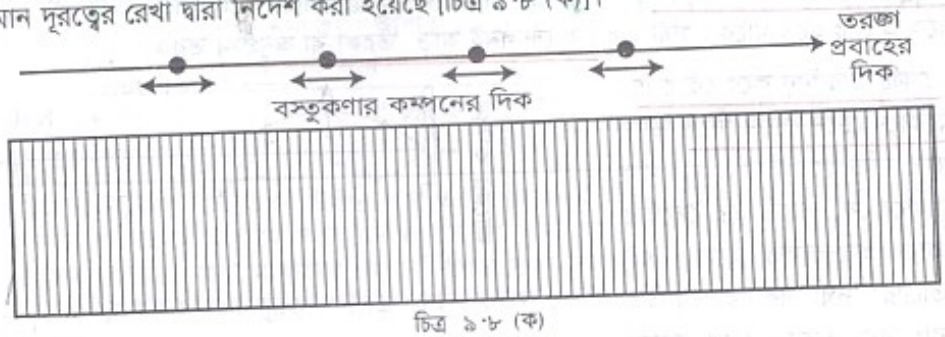
৩। পর পর দুটি তরঙ্গ শীর্ষ বা পর পর দুটি তরঙ্গ পাদের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

৪। মাধ্যমে এর সমবর্তন বা পোলারণ ঘটে।

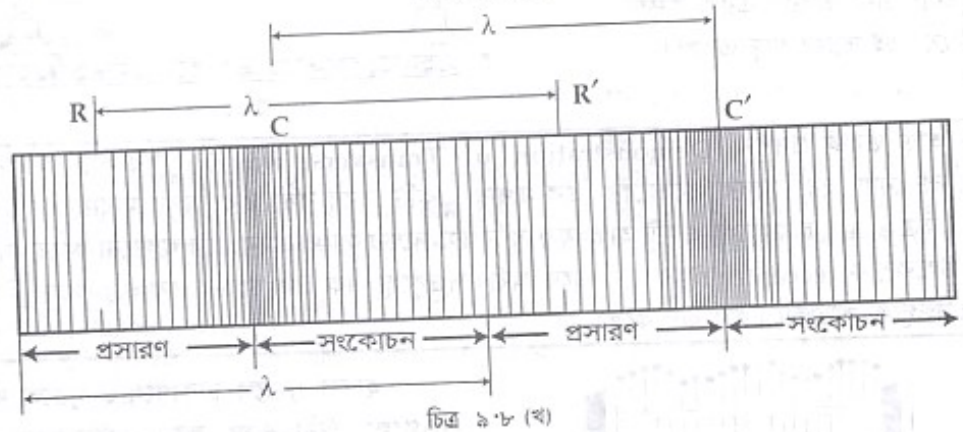
৫। অনম্যতার বা আকৃতির স্থিতিস্থাপক ধর্মসম্পন্ন মাধ্যমে (কঠিন) এই তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। প্রবাহীতে পৃষ্ঠ টানের দরুন আড় তরঙ্গের সৃষ্টি হয়।

(২) লম্বিক তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal wave) : মাধ্যমের কণাগুলো তরঙ্গের গতির অভিমুখের সমান্তরালে কম্পিত হতে থাকলে, সেই তরঙ্গকে লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলে।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৯·৮-এ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রবাহ দেখানো হয়েছে। মাধ্যমের বিভিন্ন স্তরের সাম্যাবস্থান কতগুলো সমান দূরত্বের রেখা দ্বারা নির্দেশ করা হয়েছে [চিত্র ৯·৮ (ক)]।



চিত্র ৯·৮ (ক)



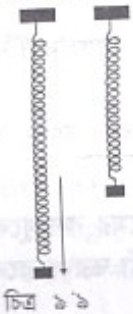
চিত্র ৯·৮ (খ)

তরঙ্গ সঞ্চালন প্রক্রিয়া :

মাধ্যমের ভেতর দিয়ে লম্বিক তরঙ্গ প্রবাহিত হতে থাকলে যে কোনো সময়ে স্তরগুলোর অবস্থান কিরূপ হবে তা ৯·৮(খ) চিত্রে দেখানো হয়েছে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যমের কণাগুলো সাম্যাবস্থানের উভয় পার্শ্বে তরঙ্গের গতিপথের সমান্তরালে কম্পিত হয়, ফলে তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদ সৃষ্টি হয় না। এক্ষেত্রে কম্পনের সময় কিছু কিছু স্থানে কণাগুলো কাছাকাছি চলে আসে আবার কোথাও দূরে সরে যায়। কণাগুলো কাছাকাছি আসায় মাধ্যমের সংকোচন (compression) হয় এবং কণাগুলো সরে গেলে মাধ্যমের প্রসারণ (rarefaction) হয়। চিত্রে রেখাগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব কম দ্বারা সংকোচন এবং রেখাগুলোর দূরত্ব বৃদ্ধি দ্বারা সম্প্রসারণ বুঝানো হয়েছে। সংকোচনের স্থানগুলোতে মাধ্যমের ঘনত্ব ও চাপ বেড়ে যায় এবং প্রসারণের স্থানগুলোতে মাধ্যমের ঘনত্ব ও চাপ কমে যায়। এভাবে মাধ্যমের কণাগুলোর সংকোচন ও প্রসারণের মধ্য দিয়ে অনুদৈর্ঘ্য ও লম্বিক তরঙ্গ সঞ্চালিত হয়। **পাশাপাশি একটি সংকোচন ও একটি প্রসারণ নিয়ে একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য গঠিত হয়।**

উদাহরণ :

(১) কথা বলার সময় আমরা জিহ্বার সাহায্যে মুখের মধ্যকার বায়ু কণাতে কম্পন সৃষ্টি করি। বায়ুকণাগুলোর কম্পনের দিক শব্দ তরঙ্গের গতির অভিমুখে সংঘটিত হয়। অতএব শব্দ লম্বিক তরঙ্গ। বক্তা বা গায়কের মুখ হতে শব্দ বায়ু মাধ্যমে সঙ্কোচন ও প্রসারণ সৃষ্টি করে লম্বিক তরঙ্গের আকারে শ্রোতার কানে পৌঁছায়।



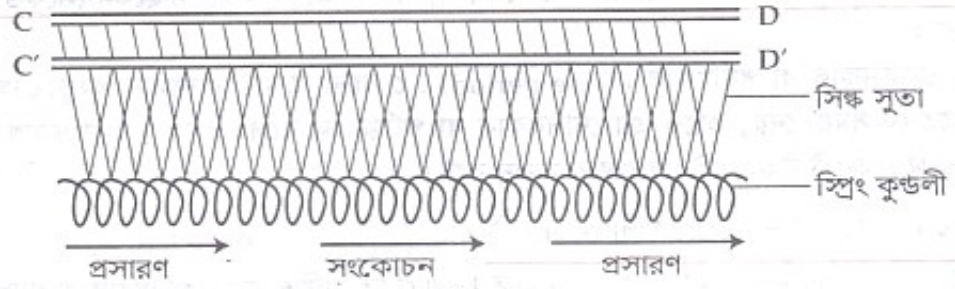
চিত্র ৯·৯

(২) একটি স্প্রিং খাড়াভাবে ঝুলিয়ে দিয়ে এর নিচের প্রান্ত খানিকটা নিচের দিকে টেনে ছেড়ে দিলে দেখা যাবে যে স্প্রিং-এর কুণ্ডলী পর্যায়ক্রমে সংকুচিত ও প্রসারিত হতে থাকে [চিত্র ৯·৯] এবং এই স্পন্দন তারের দৈর্ঘ্য বরাবর প্রবাহিত হয়।

অর্থাৎ, কুণ্ডলীগুলো সরল দোলন গতিতে তরঙ্গের গতির সমান্তরালে আন্দোলিত হচ্ছে। সুতরাং স্প্রিং-এ সৃষ্ট এই তরঙ্গ লম্বিক তরঙ্গ।

অনুশীলন : একটি স্প্রিংকে খাড়াভাবে ঝুলিয়ে দাও। এবার স্প্রিংটিকে টেনে ছেড়ে দাও। কী দেখতে পাচ্ছ? স্প্রিংটি কি আগের অবস্থায় আছে, না কি কোনো পরিবর্তন লক্ষ করতে পারছ ?

পরীক্ষণ : লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রদর্শন (Demonstration of longitudinal wave) : পরীক্ষায় একটি সরু তারের স্প্রিং নিয়ে এর প্রত্যেক কুণ্ডলীকে দুটি অনুভূমিক দণ্ড CD ও C′D′ হতে V-আকারে সিল্ক সুতা দ্বারা এমনভাবে ঝুলাও যাতে তারটি অনুভূমিক থাকে [চিত্র ৯·১০]।



চিত্র ৯·১০

এই স্প্রিং-এর এক প্রান্ত ধরে হঠাৎ অনুভূমিকভাবে ধাক্কা দিলে দেখা যাবে যে, তারের কুণ্ডলীগুলো পর্যায়ক্রমে সঙ্কুচিত ও প্রসারিত হচ্ছে এবং এই স্পন্দন ক্রমে ক্রমে তার বরাবর এগিয়ে যাচ্ছে। অর্থাৎ কুণ্ডলীগুলো তরঙ্গ প্রবাহের দিকেই সরল দোল গতিতে আন্দোলিত হচ্ছে। সুতরাং উদ্ভূত তরঙ্গই লম্বিক তরঙ্গ।

লম্বিক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of longitudinal wave)

১। যে তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সমান্তরাল হয় তাকে লম্বিক তরঙ্গ বলে।

২। তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমে সংকোচন ও প্রসারণ সৃষ্টি হয়।

৩। পর পর দুটি সংকোচন বা পর পর দুটি প্রসারণের মধ্যবর্তী দূরত্বকে বা একটি প্রসারণ ও একটি সংকোচনের মিলিত দৈর্ঘ্যকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

৪। মাধ্যমে এর সমবর্তন বা পোলারণ ঘটে না। ঢা.বি. ১১-১২ , কু.বি.বি. ০৯-১০ , চ.বি. ১২-১৩, ১১-১২ জ.বি. ১৪-১৫

৫। স্থিতিস্থাপক ধর্মসম্পন্ন মাধ্যমে এই তরঙ্গ উৎপন্ন হয়।

তরঙ্গ সংক্রান্ত কয়েকটি সংজ্ঞা
Some definitions relating waves

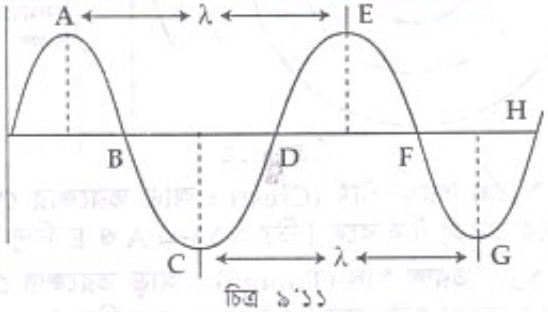
তরঙ্গ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা নিম্নে দেয়া হলো :

(১) পূর্ণ কম্পন (Complete oscillation) : কম্পমান বস্তু একটি বিন্দু হতে যাত্রা শুরু করে আবার একই দিক হতে সে বিন্দুতে ফিরে এলে একে পূর্ণ কম্পন বলে।

(খ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wavelength) : তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কোনো কম্পনশীল কণার একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে, ঐ সময়ে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। তরঙ্গের উপরিস্থিত পরপর দুটি সমদশাসম্পন্ন কণার ন্যূনতম দূরত্বই হলো তরঙ্গদৈর্ঘ্য। একে λ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে পরপর দুটি তরঙ্গশীর্ষ বা পরপর দুটি তরঙ্গ পাদ-এর মধ্যবর্তী দূরত্বকে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে। চিত্র ৯·১১-এ AE বা BF বা CG আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং চিত্র ৯·৮(খ)-এ RR′ বা CC′ লম্বিক তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

কোনো একটি মাধ্যমে বিভিন্ন শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। একই শব্দের তরঙ্গ বিভিন্ন মাধ্যমেও বিভিন্ন।



চিত্র ৯·১১

(গ) কম্পাঙ্ক বা স্পন্দন সংখ্যা (Frequency) : কোনো একটি কম্পমান বস্তু বা কণা এক সেকেন্ডে যতগুলো পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাকে তার কম্পাঙ্ক বা স্পন্দন সংখ্যা বলে।

কম্পাঙ্ক n বা f দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোনো বস্তু বা কণা t সময়ে N সংখ্যক কম্পন সম্পন্ন করলে কম্পাঙ্ক, f বা $n = \frac{N}{t}$

কম্পাঙ্কের এককে হার্টজ (Hertz সংক্ষেপে Hz) বলে। অনেক সময় সাইকেল/সেকেন্ড (cs^{-1}) এককও ব্যবহার করা হয়।

(ঘ) দোলনকাল বা পর্যায়কাল (Time period) : কোনো একটি কম্পমান বস্তু একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে যে সময় নেয়, তাকে এর দোলনকাল বা পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। মনে করি t সেকেন্ডে একটি উৎস Nটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে।

$\therefore$ দোলন কাল, $T = \frac{t}{N}$ এবং কম্পাঙ্ক, $n = \frac{N}{t}$

চিত্র ৯·১১-এ তরঙ্গের B হতে F বা D হতে H-এ যেতে ব্যয়িত সময়ই পর্যায়কাল বা দোলনকাল।

বিভিন্ন তরঙ্গের পর্যায়কাল বা কম্পাঙ্ক একই মাধ্যমে বিভিন্ন। কিন্তু একই তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বা পর্যায়কাল বিভিন্ন মাধ্যমে সমান।

(ঙ) বিস্তার (Amplitude) : কোনো একটি কম্পমান বস্তু তার সাম্যাবস্থান হতে ডানে বা বামে অথবা উপরে বা নিচে যে সর্বাধিক দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে এর বিস্তার বলে। বিস্তার দুই প্রকার, যথা—(ক) রৈখিক বিস্তার; একে সাধারণত 'a' দ্বারা সূচিত করা হয় এবং (খ) কৌণিক বিস্তার; একে সাধারণত 'θ' দ্বারা সূচিত করা হয়। চিত্র ৯·১১-এ BF হতে E বা C বা A-এর লম্ব দূরত্বই রৈখিক বিস্তার 'a'।

কোনো শব্দের প্রাবল্য I বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $I \propto a^2$

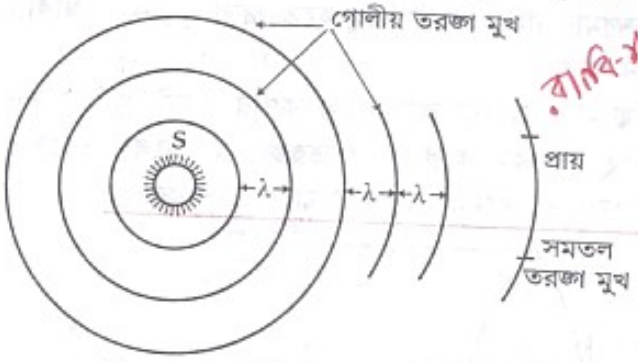
(চ) দশা (Phase) : দশা কোনো একটি কম্পমান বস্তুর কোনো মুহূর্তের দোলনের অবস্থা প্রকাশ করে। আরও বিস্তারিতভাবে বলা যায়—**তরঙ্গস্থিত কোনো একটি কণার কোনো মুহূর্তের অবস্থান এবং তার গতির অবস্থা ও দিক যার দ্বারা নির্দেশ করা হয় তাকে দশা বলে।**

(ছ) আদি দশা (Epoch) : কোনো একটি কম্পমান বস্তু যে দশা নিয়ে কম্পন শুরু করে, তাকে আদি দশা বলে।

(জ) তরঙ্গ বেগ (Wave velocity) : কোনো একটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমে এক সেকেন্ডে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে সেই মাধ্যমের তরঙ্গ বেগ বলে। একে v দ্বারা সূচিত করা হয়।

$V = \frac{\lambda}{t}$

মাধ্যম ভেদে একই শব্দের বেগ বিভিন্ন। কিন্তু বিভিন্ন শব্দের বেগ একই মাধ্যমে সমান।



চিত্র ৯·১২

(ঝ) তরঙ্গ মুখ (Wave front) : কোনো তরঙ্গের উপরিস্থিত সমদশাসম্পন্ন সব বিন্দুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত তলকে তরঙ্গ মুখ বলে। যেমন পানির তরঙ্গ শীর্ষে অবস্থিত সব কণার দশা একই। তেমনি এর তরঙ্গ পাদে অবস্থিত সব কণার দশাও একই। কাজেই তরঙ্গ শীর্ষ বরাবর অঙ্কিত তল হবে একটি তরঙ্গ মুখ এবং তরঙ্গ পাদ বরাবর অঙ্কিত তল হবে আর একটি তরঙ্গ মুখ। পরপর দুটি তরঙ্গ শীর্ষ বা তরঙ্গপাদ বরাবর অঙ্কিত তলের তরঙ্গ মুখের মধ্যবর্তী দূরত্ব এক তরঙ্গ দৈর্ঘ্য [চিত্র ৯·১২]।

(ঞ) তরঙ্গ শীর্ষ (Crest) : আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে এর ধনদিকে এক তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গ শীর্ষ বলে [চিত্র ৯·১১-এ A ও E বিন্দু]।

(ট) তরঙ্গ পাদ (Trough) : আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে এর ঋণদিকে এক তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গ পাদ বলে [চিত্র ৯·১১-এ C বিন্দু]

(ঠ) তরঙ্গের তীব্রতা (Intensity of wave) : কোনো তরঙ্গের সমকোণে একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে এক সেকেন্ডে যে পরিমাণ শক্তি প্রবাহিত হয় তাকে ঐ তরঙ্গের তীব্রতা বলে। একে মাধ্যমের শক্তি প্রবাহও (energy current or energy flux) বলা হয়। একে I দ্বারা সূচিত করা হয়।

তরঙ্গের তীব্রতা, I = শক্তি ঘনত্ব × তরঙ্গ বেগ

গাণিতিকভাবে দেখানো যায় যে,

$$I = 2\rho\pi^2 a^2 n^2 v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.1)$$

এখানে,

ρ মাধ্যমের ঘনত্ব

n তরঙ্গের কম্পাঙ্ক

a তরঙ্গের বিস্তার এবং

v তরঙ্গের বেগ।

উপরের সমীকরণ হতে দেখা যায় যে,

$$I \propto a^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.2)$$

বা, $I = Ka^2$, এখানে K ধ্রুবক।

অর্থাৎ তীব্রতা (I) বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।

এস. আই. পদ্ধতিতে তীব্রতার একক $Jm^{-2}s^{-1}$ বা Wm^{-2}।

তরঙ্গ বেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক

Relation among wavelength, frequency and wave velocity or speed

মনে করি, কোনো মাধ্যমে কোনো একটি তরঙ্গের বেগ = v, তরঙ্গ উৎসের কম্পাংক = n এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য = λ। তাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে হবে। যেহেতু v তরঙ্গ বেগ,

অতএব আমরা পাই,

v = তরঙ্গ কর্তৃক এক সেকেন্ডের অতিক্রান্ত দূরত্ব ... ... (9.3)

পুনঃ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য = λ, সুতরাং শব্দ উৎসের একটি পূর্ণ কম্পনে তরঙ্গ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব = λ। কম্পাঙ্ক n হওয়ায় প্রতি সেকেন্ডে nটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন হয়। অতএব nটি পূর্ণ কম্পনের জন্য অতিক্রান্ত দূরত্ব = $n\lambda$

$\therefore$ $n\lambda$ = তরঙ্গ কর্তৃক এক সেকেন্ডের অতিক্রান্ত দূরত্ব ... ... (9.4)

সমীকরণ (9.3) এবং (9.4) হতে পাই,

$$v = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5)$$

অর্থাৎ তরঙ্গ বেগ = কম্পাঙ্ক × তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

এটিই হলো তরঙ্গ বেগ, কম্পাঙ্ক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো মাধ্যমে 480 Hz এবং 320 Hz কম্পাঙ্কের দুটি শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য 2m হলে মাধ্যমে শব্দের বেগ কত হবে ? [দি. বো. ২০১০; ব. বো. ২০১০, ২০০৮; রা. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৪; ঢা. বো. ২০০৩]

এখানে,

$n_1 = 480$ Hz

$n_2 = 320$ Hz

$\lambda_2 - \lambda_1 = 2$ m

$\therefore$ $\lambda_2 = 2 + \lambda_1$

$v = ?$

আমরা জানি,

$v = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$

বা, $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$

বা, $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{320}{480}$ বা, $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + 2} = \frac{320}{480}$

বা, $480\lambda_1 = 320\lambda_1 + 640$ বা, $480\lambda_1 - 320\lambda_1 = 640$

বা, $160\lambda_1 = 640$

বা, $\lambda_1 = \frac{640}{160} = 4$ m

$\therefore$ $v = n_1\lambda_1 = 480 \times 4 = 1920$ ms^{-1}

২। তিনটি সুর শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 123, 369 এবং 615 Hz। এরা বায়ুতে যে তরঙ্গ সৃষ্টি করে তাদের দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৯]

মনে করি, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_1, λ_2 ও λ_3

আমরা পাই,

$$v = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2 = n_3\lambda_3$$

বা, $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$ এবং $\frac{\lambda_1}{\lambda_3} = \frac{n_3}{n_1}$

$\therefore \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{369}{123} = \frac{3}{1} = \frac{3\times5}{1\times5} = \frac{15}{5}$ (উপরে নিচে 5 দ্বারা গুণ করে)

বা, $\lambda_1 : \lambda_2 = 15 : 5$ ... ... (i)

আবার, $\frac{\lambda_1}{\lambda_3} = \frac{615}{123} = \frac{5}{1} = \frac{5\times3}{1\times3} = \frac{15}{3}$ (উপরে নিচে 3 দ্বারা গুণ করে)

বা, $\lambda_1 : \lambda_3 = 15 : 3$ ... ... (ii)

অতএব, $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 = 15 : 5 : 3$

এখানে,
$n_1 = 123$ Hz
$n_2 = 369$ Hz
$n_3 = 615$ Hz

৩। বায়ু ও পানিতে 300 Hz কম্পাঙ্কের একটি শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য 4·16 m। বায়ুতে শব্দের বেগ 352 ms^{-1} হলে, পানিতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০১১; ঢা. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮, ২০০১; সি. বো. ২০০৭, ২০০১; চ. বো. ২০০৬]

মনে করি, পানিতে ও বাতাসে শব্দ তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_w ও λ_a.

আমরা জানি,

$$\lambda_a = \frac{v_a}{n} = \frac{352}{300}$$

$$\lambda_w = \frac{v_w}{n} = \frac{v_w}{300}$$

প্রশ্নানুসারে,

$$\lambda_w - \lambda_a = \frac{v_w}{300} - \frac{352}{300}$$

বা, $4{\cdot}16 = \frac{1}{300}(v_w - 352)$

বা, $v_w - 352 = 300 \times 4{\cdot}16$

$\therefore v_w = 300 \times 4{\cdot}16 + 352 = 1600\ ms^{-1}$

এখানে,
$\lambda_w - \lambda_a = 4{\cdot}16$ m
$n = 300$ Hz
$v_a = 352\ ms^{-1}$

৪। 0·325m ব্যবধানে অবস্থিত তরঙ্গের দুটি কণার মধ্যে দশা পার্থক্য 3·14 rad। তরঙ্গ উৎসের কম্পাঙ্ক 512 Hz হলে মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০১০]

ধরি মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ $= v$

$\therefore$ আমরা পাই, দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য ... (1)

কাজেই সমীকরণ (1) অনুসারে,

$$3{\cdot}14\ \text{rad} = \frac{2\times3{\cdot}14\ \text{rad}}{\lambda} \times 0{\cdot}325\ \text{m}$$

$$\therefore \lambda = 2\times0{\cdot}325\ \text{m} = 0{\cdot}65\ \text{m}$$

$\therefore$ নির্ণেয় বেগ, $v = n\lambda = 512\ \text{Hz} \times 0{\cdot}65\ \text{m}$

$= 332{\cdot}8\ ms^{-1}$

এখানে,
পথ পার্থক্য $= 0{\cdot}325$ m
দশা পার্থক্য $= 3{\cdot}14$ rad
$n = 512$

৫। একটি শব্দ তরঙ্গ বায়ুতে 3 মিনিটে 1020 মিটার দূরত্ব অতিক্রম করে। এই শব্দ তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 50 cm হলে তরঙ্গের পর্যায়কাল কত ? [কু. বো. ২০০৩]

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1020}{3 \times 60} = 5{\cdot}67 \text{ ms}^{-1}$$

আবার, $v = n\lambda$

বা, $n = \frac{v}{\lambda} = \frac{5{\cdot}67}{0{\cdot}5}$

$= 11{\cdot}34 \text{ Hz}$

পর্যায়কাল, $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{11{\cdot}34} = 0{\cdot}09 \text{ s}$

এখানে,

$t = 3 \text{ মি.} = 3 \times 60 \text{ সে.}$

$s = 1020 \text{ মি.}$

$\lambda = 50 \text{ cm} = 0{\cdot}5 \text{ m}$

$T = ?$

৬। কোনো একটি সীমাবদ্ধ মাধ্যমে সৃষ্ট স্থির তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 480 Hz। তরঙ্গস্থ পরপর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব 0·346 m। মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ নির্ণয় কর। [দি. বো. ২০১১; য. বো. ২০১০; রা. বো. ২০০৯]

আমরা জানি,

পরপর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2}$

$\therefore \quad \frac{\lambda}{2} = 0{\cdot}346 \text{ m}$

বা, $\lambda = 0{\cdot}346 \times 2 = 0{\cdot}692 \text{ m}$

তরঙ্গের বেগ, $v = n\lambda$

$\therefore \quad v = 480 \times 0{\cdot}692 \text{ ms}^{-1} = 332{\cdot}2 \text{ ms}^{-1}$

এখানে,

$n = 480 \text{ Hz}$

পরপর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব,

$\frac{\lambda}{2} = 0{\cdot}346$

$v = ?$

৭। P ও Q দুটি মাধ্যমে শব্দের বেগ যথাক্রমে 300 ms^{-1} এবং 350 ms^{-1}। মাধ্যম দুটিতে শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য = 0·1 m হলে সুর শলাকার 50 কম্পনে শব্দ Q মাধ্যমে কত দূর যাবে ? [য. বো. ২০০৬ ; কু. বো. ২০০৬; ঢা. বো. ২০০০]

যেহেতু 'Q' মাধ্যমে শব্দের বেগ বেশি তাই 'Q' মাধ্যমে সৃষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 'P' মাধ্যমে সৃষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের চেয়ে বড় হবে। অর্থাৎ $\lambda_Q > \lambda_P$

$\therefore \quad \lambda_Q - \lambda_P = 0{\cdot}1 \quad \cdots \quad \cdots \quad$ (i)

আবার, $v_P = n\lambda_P$

বা, $300 = n\lambda_P \quad \cdots \quad \cdots \quad$ (ii)

আবার, $v_Q = n\lambda_Q$

বা, $350 = n\lambda_Q \quad \cdots \quad \cdots \quad$ (iii)

(iii) হতে (ii) বিয়োগ করলে পাই,

$n(\lambda_Q - \lambda_P) = 50$

বা, $n = \frac{50}{\lambda_Q - \lambda_P} = \frac{50}{0{\cdot}1} = 500 \text{ Hz}$

এখানে, $t = \frac{N}{n} = \frac{50}{500} = 0{\cdot}1 \text{ s}$

$\therefore$ Q মাধ্যমে 50 কম্পনে অতিক্রান্ত দূরত্ব ,

$s = vt = 350 \times 0{\cdot}1 = 35 \text{ m}$

এখানে,

$v_P = 300 \text{ ms}^{-1}$

$v_Q = 350 \text{ ms}^{-1}$

$\lambda_Q - \lambda_P = 0{\cdot}1 \text{ m}$

$N = 50$

(iii)

❐ অনুদৈর্ঘ্য ও অনুপ্রস্থ তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য:

অনুপ্রস্থ/আড় তরঙ্গ	অনুদৈর্ঘ্য/ দীঘল তরঙ্গ
১. যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে সমকোণে অগ্রসর হয় তাই আড় তরঙ্গ।	১. যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে সমান্তরালে অগ্রসর হয় তাই দীঘল তরঙ্গ।
২. মাধ্যমে তরঙ্গচূড়া ও তরঙ্গখাজ উৎপন্ন করে সঞ্চালিত হয়।	২. সংকোচন ও প্রসারণের মাধ্যমে তরঙ্গ সঞ্চালিত হয়।
৩. একটি তরঙ্গচূড়া ও তরঙ্গখাজ নিয়ে তরঙ্গদৈর্ঘ্য গঠিত।	৩. একটি সংকোচন ও প্রসারণ নিয়ে তরঙ্গদৈর্ঘ্য গঠিত।
৪. সমবর্তন ঘটে।	৪. সমবর্তন ঘটে না।

থম পত্র

বাতাসে শলাকা দুটি যে তরঙ্গ উৎপন্ন করে রঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান। শলাকাদ্বয়ের কমাঙ্ক নির্ণ

[চ. বো. ২০০৯

দ্বিতীয় সুরশলাকার

এখানে,

$n_2 - n_1 = 218$ m

প্রথম সুরশলাকার কম্পাঙ্ক,

$n_1 = ?$

দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক,

$n_2 = ?$

বাতাসে শব্দের বেগ, v হলে,

$$v = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

$$\therefore \quad n_1 \times \frac{3}{2}\lambda_2 = n_2\lambda_2$$

বা, $n_1 = \frac{2}{3}n_2$ ... ... (i)

আবার, $n_2 - n_1 = 218$ Hz ... ... (ii)

বা, $n_2 - \frac{2}{3}n_2 = 218$

$$n_2 = 218 \times 3 = 654 \text{ Hz}$$

$$\therefore \quad n_1 = 654 - 218 = 436 \text{ Hz}$$

৯.৪ অগ্রগামী তরঙ্গ
Progressive wave

পূর্বের উদাহরণ থেকে জেনেছি পুকুরের স্থির পানিতে ঢিল ছুড়লে অগ্রগামী আড় তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং এই তরঙ্গ ক্রমাগতভাবে পানির মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়ে কিনারায় পৌঁছায়। কোনো উন্মুক্ত খোলা প্রান্তরে শব্দ তৈরি করলে অগ্রগামী লম্বিক তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং এই তরঙ্গ ক্রমাগতভাবে বায়ুর মধ্য দিয়ে অগ্রসর হতেই থাকে। মাধ্যমের সকল কণাগুলো সরল ছন্দিত স্পন্দনে কাঁপতে থাকলে চলমান তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। কম্পনের উৎস থেকে কোনো কম্পন বা আন্দোলন পরবর্তী কোনো কণাতে স্থানান্তরিত হতে কিছু সময়ের প্রয়োজন হয় ফলে পার্শ্ববর্তী দুটি কণার মধ্যে দশার পার্থক্য সৃষ্টি হয়। যদি তরঙ্গ বাম থেকে ডান দিকে যায় তাহলে স্বাভাবিকভাবেই বাম থেকে ডান দিকের কণার দশা কম হয়। সুতরাং প্রথম কণার দশা ও দূরবর্তী কণার দশা পার্থক্য বৃদ্ধি পেতে থাকবে। তবে পাশাপাশি দুটি কণার দশা পার্থক্য একই হবে।

কোনো তরঙ্গ যদি কোনো বিস্তৃত মাধ্যমের এক স্তর হতে অন্য স্তরে সঞ্চালিত হয়ে ক্রমাগত সম্মুখের দিকে অগ্রসর হতে থাকে, তবে তাকে অগ্রগামী বা চলমান তরঙ্গ বলে।

উদাহরণ : (ক) পুকুরের পানিতে ঢিল ছুঁড়লে আড় তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই ঢেউ বা তরঙ্গ পানির মধ্য দিয়ে কিনারার দিকে ক্রমাগত অগ্রসর হতে থাকে। সুতরাং পানির ঢেউ অগ্রগামী আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।

(খ) বক্তা কথা বললে শব্দ উৎপন্ন হয়। শব্দ লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। এই শব্দ বক্তার মুখ হতে বাতাসের মধ্য দিয়ে ক্রমাগত সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয়ে শ্রোতার কানে পৌঁছায়। অতএব শব্দ অগ্রগামী লম্বিক তরঙ্গ।

অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of progressive wave) : অগ্রগামী তরঙ্গের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হয়, যথা—

(ক) কোনো মাধ্যমের একই প্রকার কম্পনে এই তরঙ্গের উৎপত্তি হয়।
(খ) এটি একটি সুষম মাধ্যমের মধ্য দিয়ে একটি নির্দিষ্ট দ্রুতি বা বেগে প্রবাহিত হয়।
(গ) অগ্রগামী তরঙ্গের বেগ মাধ্যমের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভর করে।
(ঘ) মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পন তরঙ্গ প্রবাহের সাপেক্ষে আড় ও লম্বিক হতে পারে।
(ঙ) মাধ্যমের কণাগুলো কখনও স্থির থাকে না।
(চ) তরঙ্গ মুখের অভিলম্ব বরাবর শক্তি বহন করে এ তরঙ্গ প্রবাহিত হয়।

(ছ) তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমের বিভিন্ন অংশের চাপ ও ঘনত্বের একই প্রকার পরিবর্তন ঘটে।

(জ) মাধ্যমের প্রতিটি কণার কম্পাঙ্ক ও বিস্তার একই হয় এবং তারা একই ধরনের কম্পনে কম্পিত হয়।

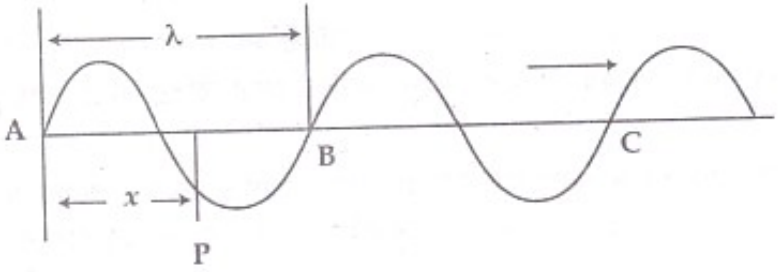
(ঝ) তরঙ্গ প্রবাহের দরুন মাধ্যমের কণার দশা পরবর্তী কণাতে স্থানান্তরিত হয়। এরূপ দুটি কণার দশা বৈষম্য তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক।

(ঞ) মাধ্যমের যে কোনো কণার বিভিন্ন ধর্ম—যেমন বেগ, ত্বরণ, শক্তি প্রভৃতি একইরূপ পরিবর্তনের মধ্য দিয়ে যায়।

অগ্রগামী তরঙ্গের গাণিতিক রাশিমালা
Mathematical Expression for Progressive Wave

ধরি একটি চলমান তরঙ্গ A থেকে C বরাবর এগুচ্ছে [চিত্র ৯·১৩]। যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলো ছন্দিত স্পন্দনে কম্পিত হয়, সেহেতু A বিন্দুস্থ কণার সরণকে নিচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$y = a \sin \omega t \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.6)$$



চিত্র ৯·১৩

এখানে, y = t সময়ে সাম্যাবস্থান থেকে কণাটির সরণ

a = কণাটির বিস্তার

ω = কণাটির কৌণিক কম্পাংক

যদি কণাটির কম্পাংক n হয়, তাহলে $\omega = 2\pi n$ [n = কম্পাঙ্ক]

$$\therefore\ y = a \sin 2\pi nt \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.7)$$

আমরা জানি, সমদশাসম্পন্ন পরপর দুটি কণার মধ্যবর্তী দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ, চিত্রে, λ = AB। এখন বলা যায়, B বিন্দুস্থ কণার দশা A বিন্দুস্থ কণার দশার চেয়ে 2π পরিমাণ কম। A থেকে x দূরত্বে P একটি বিন্দু লই।

অতএব, P বিন্দুস্থ কণার দশা A বিন্দুস্থ কণার দশার চেয়ে $\frac{2\pi x}{\lambda}$ পরিমাণ কম।

[যেহেতু λ দূরত্বের জন্য দশা পার্থক্য $= 2\pi$

$\therefore$ 1 " " " " $= \frac{2\pi}{\lambda}$

বা, x " " " " $= \frac{2\pi}{\lambda} \times x$]

এখন, P বিন্দুস্থ কণার সরণ,

$$y = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.8)$$

* দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য

বা, $y = a \sin(\omega t - kx)$ $\left(\text{এখানে, } k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{তরঙ্গ সংখ্যা}\right)$

বা, $y = a \sin\left(2\pi n\, t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

বা, $y = a \sin\left(\frac{2\pi\, vt}{\lambda} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ $\left[\text{এখানে, } v = n\lambda \ \therefore\ n = \frac{v}{\lambda}\right]$

বা, $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ $\quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.9)$

এটি হলো A বিন্দু থেকে x দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুস্থ কণার সরণের সমীকরণ। একে মাধ্যমের যেকোনো সরণের সাধারণ সমীকরণ বলে। যেহেতু এটি কোনো মাধ্যমের যেকোনো কণার সরণের সমীকরণ নির্দেশ করে তাই (9·9) **সমীকরণ চলমান বা অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ** বলা হয়।

X অক্ষের ঋণাত্মক দিকে অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ হবে, $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$ ... (9.10)

দ্রষ্টব্য : যেহেতু সরল ছন্দিত গতিসম্পন্ন কোনো কণার সরণ সাইন বা কোসাইনের অপেক্ষক তাই উপরিউক্ত সমীকরণগুলোতে সাইন এর জায়গায় কোসাইন বসালেও অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ পাওয়া যাবে।

অগ্রগামী তরঙ্গ থেকে আমরা যা জানতে পারি তা তোমার পঠিত জ্ঞানের সাথে মিলাও।

(১) x এর নির্দিষ্ট মান বসালে এই সমীকরণ থেকে ঐ বিন্দুতে অবস্থিত কণার গতির সমীকরণ পাওয়া যায়।

(২) t এর নির্দিষ্ট মানে এই সমীকরণ থেকে ঐ মুহূর্তে তরঙ্গের আকার জানা যায়।

(৩) অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, নির্দিষ্ট সময়ে বিভিন্ন কণার সরণের লেখচিত্র অর্থাৎ স্থান-সরণ লেখ $(y - x)$ সাইন বক্র হয়। আবার কোনো নির্দিষ্ট কণার বিভিন্ন সময়ে সরণের লেখচিত্র $(y - t)$ সাইন বক্র হয়।

(৪) এই সমীকরণ থেকে সহজে প্রমাণ করা যায় যে, কণার সরণ y সময় T পরপর অথবা λ দূরত্ব চাপের পুনরাবৃত্ত হয়। অতএব তরঙ্গ দ্বি-পর্যাবৃত্ত হয়। সময়ের সাথে এই পর্যায় T এবং দূরত্বের সঙ্গে পর্যায় λ।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ, $Y = 5 \sin (200\pi t - 1{\cdot}57 x)$, এখানে সব কয়টি রাশি S. I. এককে প্রদত্ত। তরঙ্গটির বিস্তার, কম্পাঙ্ক, বেগ ও পর্যায়কাল নির্ণয় কর।

দেওয়া আছে,

$y = 5 \sin (200\pi t - 1{\cdot}57 x)$ ... ... (i)

আমরা জানি, অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ

$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) = A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} vt - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) তুলনা করে পাই,

$A = 5\,m$ এবং $\frac{2\pi}{\lambda} v = 200\pi$

বা, $2\pi n = 200\pi$ $\left[\because \frac{v}{\lambda} = n\right]$

$\therefore \quad n = 100\ Hz$

আবার, $\frac{2\pi}{\lambda} = 1{\cdot}57 \quad \therefore \quad \lambda = \frac{2\pi}{1{\cdot}57} = 4m$

এখন, $\frac{v}{\lambda} = n$

বা, $v = \lambda n = 4 \times 100 = 400\ ms^{-1}$

$T = \frac{1}{n} = \frac{1}{100} = 0{\cdot}01s$

উত্তর : বিস্তার 5m ; কম্পাঙ্ক = 100 Hz ; বেগ = 400 ms^{-1} এবং পর্যায়কাল = 0·01s

২। কোনো তরঙ্গের বিস্তার 0·2 m হলে $t = \frac{T}{3}$ সময়ে কম্পনের উৎস হতে $x = \frac{\lambda}{6}$ দূরত্বে অবস্থিত বিন্দুর সাম্যাবস্থান হতে সরণ কত হবে ? [ব. বো. ২০০৯]

আমরা জানি,

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

বা, $y = A \sin\left(\frac{2\pi vt}{\lambda} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

$\therefore \quad y = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad [\because \frac{1}{T} = \frac{v}{\lambda}]$

$= 0{\cdot}2 \sin\left(\frac{2\pi T}{T \times 3} - \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{6}\right)$

$= 0{\cdot}2 \sin\left(\frac{2\pi}{3} - \frac{2\pi}{6}\right)$

$= 0{\cdot}2 \sin\left(\frac{4\pi - 2\pi}{6}\right)$

$= 0{\cdot}2 \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = 0{\cdot}173 \text{ m}$

এখানে,

তরঙ্গের বিস্তার, $A = 0{\cdot}2 \text{ m}$

সময়, $t = T/3$

উৎস হতে দূরত্ব, $x = \frac{\lambda}{6}$

সরণ, $y = ?$

৯·৫ তরঙ্গের তীব্রতা

Intensity of Waves

প্রাবল্য বলতে শব্দ কতটা জোরে হচ্ছে তা বোঝায়। শব্দের প্রাবল্য নির্ধারিত হয় শব্দের তীব্রতা দিয়ে। তীব্রতা যত বাড়ে অর্থাৎ শব্দ তরঙ্গ যত বেশি হারে শব্দ শক্তি আমাদের কানে পৌঁছে দেয়, শব্দের প্রাবল্য তত বেশি হয়। আবার তীব্রতা কমলে প্রাবল্য কমে। অতএব, তীব্রতা হলো কারণ এবং প্রাবল্য তার ফল।

প্রাবল্যের এই সংজ্ঞা ব্যক্তি নির্ভর। কম্পাঙ্কের পার্থক্য খুব বেশি হলে একই তীব্রতার বিভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ শ্রোতার কাছে কমবেশি জোরে মনে হতে পারে। অতএব, শব্দের প্রাবল্য কম্পাঙ্কের উপরও নির্ভর করে। স্পষ্টত প্রাবল্য ও তীব্রতা পুরোপুরি এক নয়। তীব্রতা শব্দের একটি ভৌত ধর্ম, কিন্তু প্রাবল্য একটি অনুভূতি।

তীব্রতা যেকোনো ধরনের শব্দের বৈশিষ্ট্য। সুরবর্জিত শব্দেরও তীব্রতা আছে। শব্দের তীব্রতা নির্ভর করে এর বিস্তারের উপর। আমাদের কানে সহনীয় শব্দের জোরালো তীব্রতার বিস্তার হলো 10^{-5} m। অন্যদিকে ক্ষীণতম শব্দের তীব্রতার বিস্তার প্রায় 10^{-11} m। শব্দ তরঙ্গের তীব্রতার একটি বড় পাল্লা (range) মানুষের কানের জন্য সংবেদনশীল।

শব্দ বিস্তারের অভিমুখের সঙ্গে লম্বভাবে রাখা একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শব্দ শক্তি প্রবাহিত হয়, তাকে ঐ শব্দের তীব্রতা বলে।

বিভিন্ন বিষয়ের উপর তীব্রতার নির্ভরতা

শব্দের তীব্রতা নিচের বিষয়গুলোর উপর নির্ভর করে—

১। উৎসের কম্পনের বিস্তার : শব্দের তীব্রতা উৎসের কম্পনের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ, শব্দের তীব্রতা I এবং উৎসের কম্পনের বিস্তার a হলে $I \propto a^2$।

২। উৎসের আকার : উৎসের আকার যত বড় হয় উৎপন্ন শব্দের তীব্রতা তত বাড়ে। যেমন, তবলার শব্দের চেয়ে ঢাকের শব্দ অনেক বেশি জোরালো।

৩। উৎস থেকে দূরত্ব : উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব যত বেশি হয় শব্দের তীব্রতা তত কমে। অর্থাৎ শব্দের তীব্রতা I এবং উৎস থেকে শ্রোতার দূরত্ব r হলে, $I \propto 1/r^2$। ঢা.বি.১৪-১৫

৪। মাধ্যমের ঘনত্ব : শব্দ যে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে যায় তার ঘনত্ব যত বেশি হয় শব্দের তীব্রতাও তত বেশি হয়। যেমন, উষ্ণতা কমলে বায়ুর ঘনত্ব বাড়ে বলে শীতের রাতে অনেক দূরের শব্দ স্পষ্ট শোনা যায়। রা.বি.০৭-০৮

৫। মাধ্যমের গতি : মাধ্যমের গতির অভিমুখে গেলে শব্দের তীব্রতা বাড়ে এবং বিপরীত দিকে গেলে শব্দের তীব্রতা কমে। যেমন, বায়ু প্রবাহের দিকে শব্দ অগ্রসর হলে জোরে শব্দ শোনা যায়।

৬। অন্যান্য বস্তুর উপস্থিতি : শব্দের কম্পমান উৎসের নিকটে কোনো বস্তু থাকলে উৎসের কম্পনের প্রভাবে ঐ বস্তুটিও একই কম্পাঙ্কে কম্পিত হতে শুরু করে। একে পরবশ কম্পন বলে। বস্তুটির ক্ষেত্রফল অনেক বেশি হলে পরবশ কম্পন সৃষ্টির জন্য শব্দের তীব্রতা বেড়ে যায়। এই কারণে সেতার, বেহালা, গীটার প্রভৃতি তারের বাদ্যযন্ত্রে ফাঁপা খোল থাকে। যন্ত্রটি বাজালে তারগুলো কাঁপে, ফলে ঐ খোল এবং খোলের মধ্যের বায়ুতে পরবশ কম্পন সৃষ্টি হয়। তাই জোরে শব্দ শোনা যায়।

তরঙ্গের তীব্রতার গাণিতিক রাশিমালা

Mathematical Expression for Intensity of Wave

পূর্বের অনুচ্ছেদে আমরা বিভিন্ন বিষয়ের উপর তীব্রতার নির্ভরতা আলোচনা করেছি। এখন আমরা যেকোনো প্রকার চল তরঙ্গের জন্য তীব্রতার একটি রাশিমালা নির্ণয় করব। স্পষ্টত এই আলোচনা শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হয়।

মনে করি, একটি চল তরঙ্গ ধনাত্মক x অভিমুখে স্থির বেগ v নিয়ে চলছে। তরঙ্গগতির জন্য মাধ্যমের কণাগুলো ওদের সাম্যাবস্থান সাপেক্ষে সরল দোলগতিতে কম্পিত হবে। যেকোনো সময় t-তে কোনো কণার সরণ y হলে কণার গতির সমীকরণ হয়, $y = a \sin \omega t$; এখানে a বিস্তার বোঝায়। তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n হলে $\omega = 2\pi n$।

সরল দোলগতিযুক্ত কণার শক্তির এক অংশ গতিশক্তি এবং বাকি অংশ স্থিতিশক্তি হয়। কিন্তু কণার সাম্যাবস্থানে স্থিতিশক্তি শূন্য হয়; অতএব কণার শক্তির পুরোটাই গতিশক্তি হয়। সুতরাং সাম্যাবস্থানে m ভরের কণার বেগ v_0 হলে ঐ কণার মোট শক্তি $\frac{1}{2} m v_0^2$ হয়। কিন্তু $v_0 = a\omega = 2\pi n a$।

অতএব কম্পনরত কণার মোট শক্তি হয়

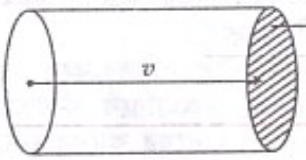
$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m a^2 \omega^2 = 2\pi^2 n^2 a^2 m$$

যে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ অগ্রসর হচ্ছে সেই মাধ্যমের একক আয়তনে কণার সংখ্যা, ধরি N। সুতরাং একক আয়তনের জন্য সব কণার মোট শক্তি অর্থাৎ তরঙ্গের শক্তি ঘনত্ব (energy density) হয়,

$$E = N\left(\frac{1}{2} m v_0^2\right) = 2\pi^2 n^2 a^2 mN \quad \text{কিন্তু } mN = \rho, \text{ মাধ্যমের ঘনত্ব।}$$

$\therefore$ মোট শক্তি, $E = 2\pi^2 n^2 a^2 \rho$ ... ... (9.11)

একক সময়ে তরঙ্গ v দূরত্ব অগ্রসর হয়। সুতরাং তরঙ্গের গতির অভিমুখের সঙ্গে লম্বভাবে রাখা একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে একক সময়ে প্রবাহিত শক্তির পরিমাণ অর্থাৎ তরঙ্গের তীব্রতা (I), একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং v দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট C চোঙের মধ্যে যে পরিমাণ শক্তি আছে তার সমান হয় [চিত্র ৯·১৪]।



চিত্র ৯·১৪

অতএব তরঙ্গের তীব্রতা

I = শক্তির ঘনত্ব × C চোঙের আয়তন

$= E \times v = 2\pi^2 n^2 a^2 \rho v$ ... ... (9.12)

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে তরঙ্গের তীব্রতা (i) এর বিস্তারের বর্গের, (ii) এর কম্পাঙ্কের বর্গের (iii) এর বেগের এবং (iv) মাধ্যমের ঘনত্বের সমানুপাতিক হয়।

পরীক্ষণ (বিপরীত বর্গীয় সূত্র প্রমাণ কর) : শব্দ তরঙ্গ কোনো বিন্দু উৎস থেকে নির্গত হলে তরঙ্গ মুখগুলো গোলাকার হয়। উৎস থেকে পর্যবেক্ষকের দূরত্ব উৎসের আকারের তুলনায় খুব বড় হলে আমরা উৎসটিকে বিন্দু উৎস হিসেবে ধরে নিতে পারি। মনে কর, উৎস থেকে প্রতি সেকেন্ডে P পরিমাণ শব্দ শক্তি নির্গত হচ্ছে। উৎসকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা কর। উৎস থেকে নির্গত শক্তি ঐ গোলকের পৃষ্ঠতলে সুষমভাবে বণ্টিত হয়।

গোলকের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে শক্তি প্রবাহের হার $= \frac{P}{4\pi r^2}$; এখানে $4\pi r^2$ = গোলকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল। সংজ্ঞানুযায়ী এটি গোলক থেকে r দূরত্বে তীব্রতা I বোঝায়, অর্থাৎ $I = \frac{P}{4\pi r^2}$।

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{... ... ...} \quad (9.13)$$

সুতরাং, নির্দিষ্ট উৎসের ক্ষেত্রে $I \propto \frac{1}{r^2}$। অতএব ব্যস্ত বর্গীয় সূত্র প্রমাণিত হলো।

তীব্রতার একক : সংজ্ঞানুযায়ী তীব্রতা হলো একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে শক্তি প্রবাহের হার। অতএব এর S.I. একক হলো Joule s^{-1} m^{-2} বা, Wm^{-2} (watt per square metre)। কিন্তু এই এককটি খুব বড় বলে সাধারণত microwatt per square metre অর্থাৎ μWm^{-2} এককটি ব্যবহৃত হয়।

আমাদের কান তীব্রতার একটি বিরাট পাল্লা জুড়ে শব্দ শুনতে পায়। 1000 Hz কম্পাঙ্কে আমাদের কান সবচেয়ে মৃদু যে শব্দ শুনতে পায় তার তীব্রতা হলো প্রায় 10^{-12} Wm^{-2}। একে শ্রাব্যতার সীমা (threshold of hearing or audibility) বলে। সবচেয়ে জোরালো যে শব্দ কান সহ্য করতে পারে তার প্রাবল্য প্রায় 1 Wm^{-2}। শব্দের প্রাবল্য এর চেয়ে বেশি হলে কানে যন্ত্রণা হয়। তীব্রতার এই ঊর্ধ্ব সীমাকে সহন বা অনুভূতি সীমা (threshold of pain or feeling) বলে। শ্রাব্য তীব্রতার পাল্লা এত বড় বলে বিভিন্ন তীব্রতার তুলনা করতে হলে আপেক্ষিক তীব্রতাকে লগারিদমে প্রকাশ করলে সুবিধা হয়। তীব্রতা I একটি ভৌতরাশি বলে এর নির্দিষ্ট মাত্রা আছে, সুতরাং এর লগারিদম নেয়া যায় না। কিন্তু দুটি তীব্রতার অনুপাত $\frac{I}{I_0}$ একটি মাত্রাহীন রাশি বলে এর লগারিদম নেয়া যায়।

কাজ : সেতার, বেহেলা, গীটার প্রভৃতি তারের বাদ্যযন্ত্রে ফাঁপা খোল রাখা হয় কেন ?

যন্ত্রটি বাজালে তারগুলি কাঁপে ফলে ঐ খোল এবং খোলের মধ্যস্থ বায়ুতে পরবশ কম্পন সৃষ্টি হয়। তাই জোরে শব্দ শোনা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। বায়ুতে একটি শব্দ তরঙ্গের উৎসের কম্পাঙ্ক 412 Hz এবং বিস্তার 0·25 cm, বায়ুর ঘনত্ব 1·29 kg m^{-3} হলে উৎসের তীব্রতা কত হবে ?

আমরা জানি,
শব্দের তীব্রতা,

$$I = 2\pi^2 n^2 a^2 \rho v$$
$$= 2 \times 9{\cdot}87 \times (412)^2 \times (0{\cdot}25 \times 10^{-2})^2 \times 1{\cdot}29 \times 330$$
$$= 8915{\cdot}08 \ Wm^{-2}$$

এখানে,
$n = 412$ Hz
$a = 0{\cdot}25$ cm $= 0{\cdot}25 \times 10^{-2}$ m
$\rho = 1{\cdot}29$ kg m^{-3}
$v = 330$ ms^{-1}
$I = ?$

২। একটি উৎস 40 W ক্ষমতার শব্দ উৎপন্ন করে। উৎসটিকে বিন্দু উৎস ধরে নিয়ে ওর থেকে 2 km দূরত্বে তীব্রতা নির্ণয় কর। সংশ্লিষ্ট তীব্রতা স্তর ডেসিবেল এককে গণনা কর।

একটি বিন্দু উৎস থেকে নিঃসৃত ক্ষমতা P হলে বিপরীত বর্গীয় সূত্রানুযায়ী উৎস থেকে r দূরত্বে তীব্রতা হয়

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$\therefore \quad I = \frac{40}{4\pi \times (2 \times 10^3)^2} \ Wm^{-2}$$
$$= \frac{40}{4\pi \times 4 \times 10^6}$$
$$= 7{\cdot}962 \times 10^{-7} \ Wm^{-2}$$

এখানে, $P = 40$ W,
$r = 2$ km $= 2 \times 10^3$ m

৯·৬ উপরিপাতন নীতি
Principle of Superposition

আগের অনুচ্ছেদগুলোতে আমরা মাধ্যমের ভেতর দিয়ে শুধুমাত্র একটি তরঙ্গের গতি সম্পর্কে আলোচনা করেছি। এবার আমরা একই মাধ্যমের ভেতর দিয়ে দুটি বা তার বেশি তরঙ্গ একই সঙ্গে চলতে থাকলে কী ঘটবে তা আলোচনা করব। এই বিষয়ে বিজ্ঞানী হাইগেনস্ (Huygens) একটি সহজ সূত্র আবিষ্কার করেছিলেন। সূত্রটি নিম্নরূপ :

উপরিপাতনের নীতি : যখন দুটি বা তার বেশি তরঙ্গ একই সঙ্গে একই মাধ্যমের ভেতর দিয়ে এগোতে থাকে তখন এরা একটি অপরটি সাপেক্ষে স্বাধীনভাবে সঞ্চালিত হয়। মাধ্যমের যে অংশে তরঙ্গগুলো উপরিপাতিত হয়, সেই অংশে যেকোনো কণার লব্ধি সরণ প্রতিটি তরঙ্গ পৃথকভাবে ঐ কণার যে সরণ সৃষ্টি করে তাদের বীজগাণিতিক সমষ্টির সমান হয়। এই সূত্রকে তরঙ্গের উপরিপাতনের সূত্র বা উপরিপাতনের নীতি (principle of superposition) বলে।

মনে করি, কোনো মাধ্যমের ভেতর দিয়ে দুটি তরঙ্গ একসাথে অগ্রসর হচ্ছে। প্রথম তরঙ্গের জন্য মাধ্যমের কোনো কণার সরণ যদি y_1 হয় এবং দ্বিতীয় তরঙ্গের জন্য যদি ঐ কণার সরণ y_2 হয়, তবে এই সূত্র অনুযায়ী কণার লব্ধি সরণ হবে

$$\vec{y} = \vec{y_1} + \vec{y_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.14)$$

$$y = y_1 \pm y_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.15)$$

যদি সরণ দুটি একই সরলরেখা বরাবর একই অভিমুখে হয়, তবে যোগ চিহ্ন এবং যদি সরণ দুটি একই সরলরেখা বরাবর কিন্তু বিপরীতমুখী হয়, তবে বিয়োগ চিহ্ন দিতে হয়। উপরিপাতন নীতির নিম্নের প্রায়োগিক দিকগুলি লক্ষ কর।

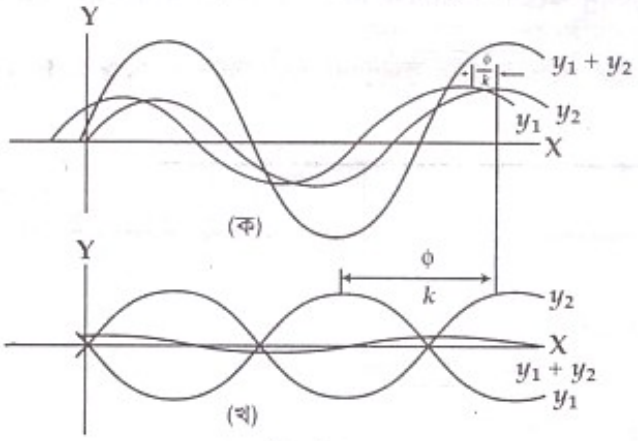
(i) একই মাধ্যমের ভেতর দিয়ে বিভিন্ন তরঙ্গ যে স্বাধীনভাবে সঞ্চালিত হয়, তা আমরা দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা থেকেও সহজে বুঝতে পারি। পুকুরের পানিতে একসঙ্গে দুটি ঢিল ফেললে যে দুটি বৃত্তাকার তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, তারা একে অপরের মধ্য দিয়ে অপরিবর্তিত আকার, অভিমুখ এবং বেগ নিয়ে এগিয়ে যায়। একসঙ্গে কথা বললেও আমরা দু-তিন জন লোকের কথাবার্তা অবিকৃতভাবে শুনতে পাই। ছবি তোলার সময় বিভিন্ন বস্তু থেকে আগত আলোর তরঙ্গগুলি ক্যামেরার সাটারের ছিদ্রের মধ্য দিয়ে একই সঙ্গে ভেতরে ঢোকে, কিন্তু একে অপরকে প্রভাবিত করে না। ফলে প্রতিটি বস্তুর পরিষ্কার ছবি পাওয়া যায়।

(ii) পানির তরঙ্গ, শব্দ তরঙ্গ প্রভৃতি যেসব তরঙ্গ জড় মাধ্যমের ভেতর দিয়ে চলে তাদের ক্ষেত্রে যদি উপরিপাতিত তরঙ্গগুলোর বিস্তার কম হয়, শুধুমাত্র তখনই এই সূত্রটি প্রযোজ্য হয়।

(iii) উপরিপাতের সূত্রটি একটি সাধারণ সূত্র। বিভিন্ন তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বা গতির অভিমুখ যাহোক না কেন, ওদের উপরিপাতের ক্ষেত্রে সূত্রটি সব সময় প্রযোজ্য হয়। কিন্তু আমরা আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র সমান বা কাছাকাছি কম্পাঙ্কের তরঙ্গের ক্ষেত্রে সীমাবদ্ধ রাখব।

উপরিপাতনের ফলে সৃষ্ট লব্ধি তরঙ্গ (Resultant wave due to superposition of two waves) :

নিচের লেখচিত্র দুটি লক্ষ কর কীভাবে দুটি তরঙ্গের উপরিপাতনে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার পরিবর্তিত হয়।



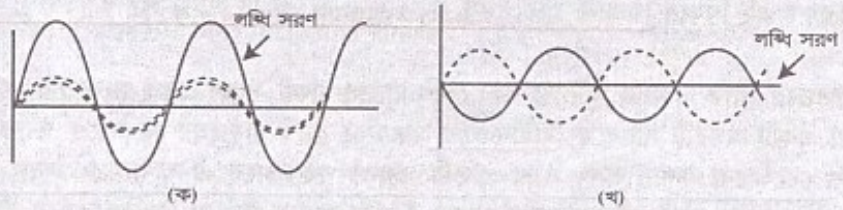
চিত্র ৯·১৫

৯.১৫(ক) চিত্র দুটি সমান কম্পাঙ্ক, বিস্তার এবং প্রায় একই দশা সম্পন্ন কণার উপরিপাতনের ফলে সৃষ্ট লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তরঙ্গদ্বয়ের যেকোনো একটির বিস্তারের প্রায় দ্বিগুণ।

৯.১৫(খ) চিত্রে দুটি সমান কম্পাঙ্ক, বিস্তার এবং বিপরীত দশায় অর্থাৎ 180° দশা পার্থক্যে দুটি তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে সৃষ্ট লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার প্রায় শূন্য।

উভয় ক্ষেত্রে লব্ধি কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত আছে।

যাচাই কর : ৯.১৬ (ক), (খ) চিত্র দুটি পর্যবেক্ষণ কর এবং লব্ধি তরঙ্গ সম্বন্ধে তোমার মতামত প্রদান কর।



চিত্র ৯·১৬

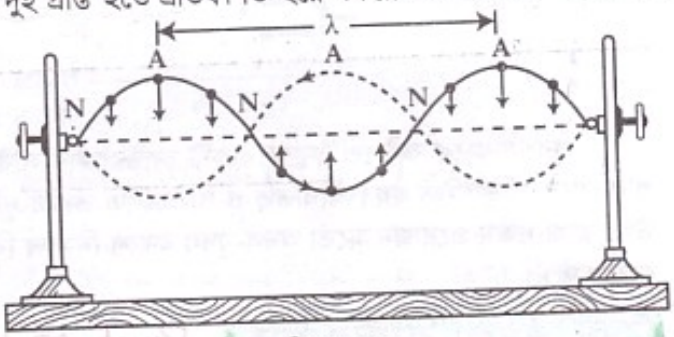
৯·৭ স্থির তরঙ্গ
Stationary Wave

আড় বা লম্বিক উভয় প্রকার তরঙ্গের ক্ষেত্রেই স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি হতে পারে। একটি তারের উভয় প্রান্তকে টান টান করে বেঁধে যেকোনো বিন্দুতে দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে আড় তরঙ্গ তারের উভয় দিকে প্রবাহিত হবে। বন্ধ দুই প্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে তরঙ্গ বিপরীত দিকে এসে মূল তরঙ্গের উপর আপতিত হবে। কিছুক্ষণ পরে এই তরঙ্গ দুটি আবার থেমেও যাবে। এই ধরনের তরঙ্গ স্থির তরঙ্গ।

কোনো মাধ্যমের একটি সীমিত অংশে পরস্পর বিপরীতমুখী সমান বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ একে অপরের উপর আপতিত হলে যে নতুন তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।

এই তরঙ্গ মাধ্যমের ঐ অংশে সীমাবদ্ধ থাকে, মাধ্যমের ভেতর দিয়ে অগ্রসর হয় না। সাধারণভাবে বলা যায় যে, এ স্থলে সীমাবদ্ধ থেকে পর্যায়ক্রমে গতিশক্তি (স্থিতিস্থাপক) স্থিতি বা বিভব শক্তিতে পরিবর্তিত হয়।

উদাহরণ : একটি টানা তারের কোথাও আঘাত করলে একটি তরঙ্গ সৃষ্টি হয় [চিত্র ৯·১৭]] এবং এই তরঙ্গ তার বেয়ে দুই প্রান্তের দিকে অগ্রসর হয় এবং পরিশেষে দুই প্রান্ত হতে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ ও মূল তরঙ্গের প্রকৃতি অভিন্ন থাকলেও তাদের মধ্যে দশা বৈষম্য 180° হয়। ফলে তারে প্রতিফলিত তরঙ্গ ও এর বিপরীত দিকে গতিশীল (নতুন) মূল তরঙ্গ মিলে স্থির তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ তারের বাইরে যায় না—তারের মধ্যেই পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন ও বিলুপ্ত হয়। তারটি ভালোভাবে লক্ষ করলে দেখা যাবে যে, তারের সকল বিন্দুর বিস্তার সমান নয়।



চিত্র ৯·১৭

সুস্পন্দ বিন্দু : স্থির তরঙ্গের উপরস্থ কোনো কোনো বিন্দুতে বস্তুকণার বিস্তার শূন্য এবং কোনো কোনো বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক। যে বিন্দুগুলোতে বিস্তার সর্বাধিক (চিত্রে A চিহ্নিত বিন্দুগুলো) তাদেরকে সুস্পন্দ বিন্দু (Antinode) বলে।

নিস্পন্দ বিন্দু : স্থির তরঙ্গের উপরস্থ যে সকল বিন্দুতে বিস্তার শূন্য (চিত্রে N চিহ্নিত বিন্দুগুলো) তাদেরকে নিস্পন্দ বিন্দু (Node) বলে।

হিসাব : কোনো স্থির তরঙ্গের উপরস্থ পরপর দুটি নিষ্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব 0·52 m। স্থির তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 320 Hz।

পরপর দুটি নিস্পদ বিন্দুর দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2} = 0{\cdot}52 \quad \therefore \quad \lambda = 1{\cdot}04 \text{ m}$

আবার, $V = n\lambda = 320 \times 1{\cdot}04 = 332{\cdot}8 \text{ ms}^{-1}$.

স্থির তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of Stationary Wave

স্থির তরঙ্গের কতকগুলো ধর্ম বা বৈশিষ্ট্য রয়েছে। বৈশিষ্ট্যগুলো নিম্নে উল্লেখ করা হলো :

(ক) এই তরঙ্গ কোনো একটি মাধ্যমের সীমিত অংশে উৎপন্ন হয়।

(খ) অগ্রগামী তরঙ্গের ন্যায় অগ্রসর না হয়ে একই স্থানে সীমাবদ্ধ থাকে।

(গ) তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে কম্পনের বিস্তার সমান নয়।

(ঘ) তরঙ্গের যে বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক তাকে 'সুস্পন্দ' বিন্দু বলে এবং তরঙ্গের যে বিন্দুতে বিস্তার শূন্য তাকে 'নিস্পন্দ' বিন্দু বলে।

(ঙ) তরঙ্গের সুস্পন্দ বিন্দুর বিস্তার তরঙ্গ সৃষ্টিকারী মূল তরঙ্গের বিস্তারের দ্বিগুণ-এর সমান।

(চ) দুটি পর পর নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী কণার সরণ একই দিকে হয় এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব $\lambda/2$। পর পর নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী অংশকে লুপ (Loop) বলে।

(ছ) পর পর দুটি লুপের সরণ পরস্পর বিপরীত দিকে হয়।

(জ) নিস্পন্দ বিন্দুতে চাপ ও ঘনত্বের পরিবর্তন সর্বাধিক, কিন্তু সুস্পন্দ বিন্দুতে চাপ ও ঘনত্বের পরিবর্তন শূন্য।

(ঝ) পর পর তিনটি সুস্পন্দ বিন্দু বা পর পর তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু বা দুটি লুপের মধ্যবর্তী দূরত্বই স্থির তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য।

(ঞ) স্থির তরঙ্গের স্থির বিন্দুস্থ কণাগুলো ছাড়া সকল কণার গতি সরল ছন্দিত গতি।

(ট) কোনো মাধ্যমে স্থির তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (λ) বা কম্পাঙ্ক (n) তরঙ্গ সৃষ্টিকারী যে কোনো একটি মূল তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (λ) বা কম্পাঙ্ক (n)-এর সমান।

স্থির তরঙ্গ সৃষ্টির পরীক্ষণ : একটি তারকে একটি কপিকলের উপর দিয়ে নিয়ে এর এক প্রান্তে একটি স্কেল প্যান যুক্ত কর। তারের অন্য প্রান্ত একটি সুরশলাকার যেকোনো বাহুর সাথে আটকাও। স্কেল প্যানে ওজন চাপাও। দেখতে পাবে তারটি টান টান হয়ে আছে। এখন সুরশলাকাকে আঘাত কর।

চিত্র ৯·১৮

সুরশলাকাকে কম্পিত করলে একটি চলতরঙ্গের সৃষ্টি হয় [চিত্র ৯·১৮] এবং তার বরাবর অগ্রসর হয়ে অপর প্রান্ত থেকে প্রতিফলিত হয়। আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গ দুটির উপরিপাতনের জন্য স্থির তরঙ্গ গঠিত হয়। প্যানের উপর রাখা ওজন প্রয়োজন মতো অদল-বদল করলে নিস্পন্দ বিন্দু ও সুস্পন্দ বিন্দুগুলিসহ স্থির তরঙ্গটি পরিষ্কারভাবে দেখা যায়।

স্থির তরঙ্গ সৃষ্টির শর্ত Buet-09-10

Conditions for propagation of Stationary Wave

নিম্নলিখিত শর্ত সাপেক্ষে স্থির তরঙ্গ উৎপন্ন করা হয় :

(১) দুটি অভিন্ন চল তরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে অগ্রসর হয়ে একে অন্যের উপর উপরিপাতিত হতে হবে।

(২) তরঙ্গ দুটি একই বেগে বিপরীত দিক থেকে আসতে হবে।

(৩) তরঙ্গ পৃষ্ঠ অনুভূমিক অবস্থানে সংকুচিত হয়।

(৪) তরঙ্গ শীর্ষ তরঙ্গ অবস্থানে প্রসারিত হয়।

(৫) প্রতিটি বিন্দুতে তরঙ্গ দুটির জন্য সরণ সমান ও বিপরীত হতে হবে।

(৬) তরঙ্গ দুটির বিস্তার সমান হতে হবে।

(৭) তরঙ্গ দুটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সমান হতে হবে।

গাণিতিক রাশিমালা

Mathematical Expression

ধরি, সমান বিস্তার ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের দুটি চলমান তরঙ্গ একটি তার বেয়ে একই মানের বেগে পরস্পর বিপরীত দিকে অগ্রসর হয়। এদের উপরিপাতনের ফলে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তা কোনো দিকে অগ্রসর হয় না। তাই একে স্থির তরঙ্গ বলে। সৃষ্ট স্থানেই এ তরঙ্গ পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন ও বিলুপ্ত হয়। ধরি, a বিস্তার ও λ তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট দুটি তরঙ্গ পরস্পর বিপরীত দিকে v মানের বেগে অগ্রসর হচ্ছে।

+ X অক্ষের দিকে অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ,

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.16)$$

এবং − X অক্ষের দিকে প্রতিফলিত অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ,

$$y_2 = a \sin \left\{\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x) + \pi\right\}$$

বা, $$y_2 = -a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt + x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.17)$$

লব্ধি তরঙ্গের জন্য,

$$y = y_1 + y_2$$

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

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

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

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

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

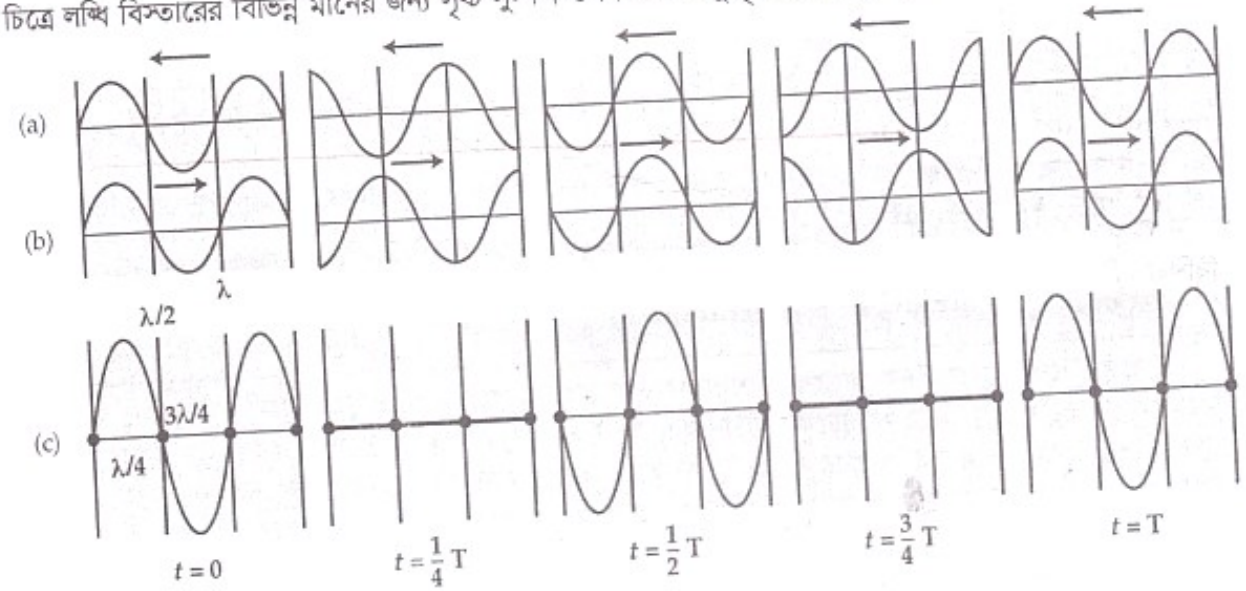
$$= -2a \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt) \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$y = -2a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.18)$$

বা, $y = A \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt)$ $\cdots$ $\cdots$ $\cdots$ (9.19)

যেহেতু (9.19) নং সমীকরণে অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণের ন্যায় দশা কোণের ভেতর $(vt - x)$ জাতীয় কোনো রাশি অন্তর্ভুক্ত নাই তাই এটি অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ নয়। এটি **স্থির তরঙ্গের সমীকরণ।**

এখানে, লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার, $A = -2a \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$। লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার x এর উপর নির্ভরশীল। ৯.১৯ চিত্রে লব্ধি বিস্তারের বিভিন্ন মানের জন্য সৃষ্ট সুস্পন্দ ও নিষ্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি দেখানো হলো।



চিত্র ৯.১৯

সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টির শর্ত :

লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার সর্বাধিক হবে অর্থাৎ সুস্পন্দ বিন্দু তৈরি হবে যখন,

$$\sin\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1$$

বা, $\sin\frac{2\pi x}{\lambda} = \sin\frac{\pi}{2}, \sin\frac{3\pi}{2}, \sin\frac{5\pi}{2} \ldots \sin(2n+1)\frac{\pi}{2}$ (এখানে, $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$)

বা, $\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \ldots (2n+1)\frac{\pi}{2}$

বা, $\frac{2x}{\lambda} = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \cdots \frac{(2n+1)}{2}$

বা, $2x = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \ldots (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

বা, $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4} \ldots (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ ... ... (9.20)

সুতরাং দেখা যায় যে, x-এর মান যদি $\frac{\lambda}{4}$ এর বেজোড় গুণিতক হয় তাহলে সুস্পন্দ বিন্দু তৈরি হবে।

নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টির শর্ত :

লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার সর্বনিম্ন হবে অর্থাৎ নিস্পন্দ বিন্দু তৈরি হবে যখন,

$$\sin\frac{2\pi x}{\lambda} = 0$$

বা, $\sin\frac{2\pi x}{\lambda} = \sin 0, \sin\pi, \sin 2\pi \ldots \sin n\pi$ (এখানে, $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$)

বা, $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi \ldots n\pi$ বা, $\frac{2x}{\lambda} = 0, 1, 2 \ldots n$

বা, $2x = 0, \lambda, 2\lambda \ldots n\lambda$ বা, $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda \ldots n\frac{\lambda}{2}$

বা, $x = 0, \frac{2\lambda}{4}, 4\frac{\lambda}{4} \ldots 2n\frac{\lambda}{4}$ ... ... (9.21)

সুতরাং দেখা যায় যে, x এর মান যদি $\frac{\lambda}{4}$ এর জোড় গুণিতক হয় তাহলে নিস্পন্দ বিন্দু তৈরি হবে।

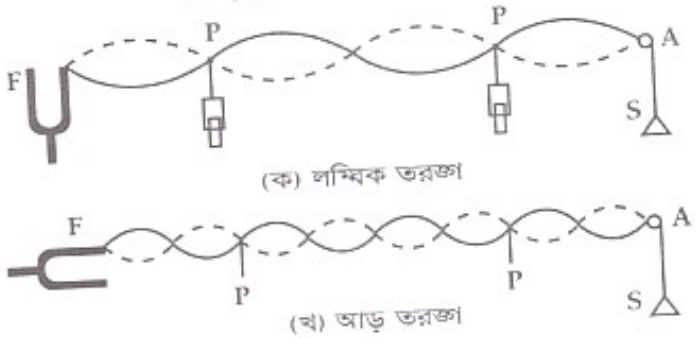
৯·৮ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	মেলডির পরীক্ষা
পিরিয়ড : ২	Melde's Experiment

তত্ত্ব : একটি সুতার এক প্রান্তকে সুরশলাকার এক বাহুতে বেঁধে অপর প্রান্তকে একটি কপিকলের উপর দিয়ে নিয়ে কোনো ভর ঝুলিয়ে দিয়ে সুতাটিকে টানটান রাখা হয়। এখন সুরশলাকাকে কম্পিত করলে এর কম্পনের দিকের উপর নির্ভর করে সুতায় দুই ধরনের তরঙ্গ সৃষ্টি হতে পারে। যদি সুরশলাকার কম্পনের দিক সুতার দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল হয় তখন সুতায় লম্বিক তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং সুরশলাকার কম্পাঙ্ক, N সুতার কম্পাঙ্ক, n এর দ্বিগুণ হয়। যদি সুরশলাকার কম্পনের দিক সুতার দৈর্ঘ্যের লম্বদিকে হয় তখন সুতায় আড় তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং সুরশলাকার কম্পাঙ্ক, N সুতার কম্পাঙ্ক, n এর সমান হয়।

আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে, $N = n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ... ... (i)

লম্বিক তরঙ্গের ক্ষেত্রে, $N = 2n = \frac{2}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ... ... (ii)



(ক) লম্বিক তরঙ্গ

(খ) আড় তরঙ্গ

চিত্র ৯·২০

উভয় ক্ষেত্রেই, N = সুরশলাকার কম্পাঙ্ক
n = সুতার কম্পাঙ্ক
λ = সুতায় সৃষ্ট স্থির তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য
T = সুতার টান
m = সুতার একক দৈর্ঘ্যের ভর

যন্ত্রপাতি : (১) মেলডির যন্ত্র (২) সুতা (৩) মিটার স্কেল (৪) ওজন-বাক্স (৫) ক্লাম্প

কার্যপদ্ধতি :

(১) প্রথমে সুরশলাকাকে আড়াআড়ি বা লম্বিক ব্যবস্থায় রাখা হয়।

(২) নিক্তির সাহায্যে মেলডির যন্ত্রের পাল্লার ভর নির্ণয় করা হয়।

(৩) পরীক্ষণীয় সুতার এক প্রান্তকে সুর শলাকার সাথে এবং অপর প্রান্তকে কপিকলের উপর দিয়ে নিয়ে পাল্লার সাথে আটকানো হয়।

(৪) পাল্লায় সামান্য ওজন চাপিয়ে সুতাটিকে টান টান অবস্থায় রাখা হয়।

(৫) সুর শলাকাটিকে একটি রাবারের হাতুড়ি দ্বারা হালকা আঘাত করা হয়।

(৬) কপিকলের অবস্থান অনুভূমিকভাবে পরিবর্তন করে এবং পাল্লায় ওজন কম-বেশি করে স্থির তরঙ্গের লুপ এবং নিস্পন্দ বিন্দুগুলো সুস্পষ্ট করা হয়।

(৭) দুটি পিন স্ট্যান্ড নিয়ে এদেরকে দুটি সুস্পষ্ট নিস্পন্দ বিন্দুর নিচে রাখা হয়। একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে পিন দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় করা হয় এবং লুপের সংখ্যাও গণনা করা হয়। যদি পিন দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব d হয় এবং লুপের সংখ্যা k হয় তাহলে, $\frac{\lambda}{2} = \frac{d}{k}$। এখান থেকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(৮) পাল্লায় একই ওজন রেখে একই প্রক্রিয়ায় আরও দুবার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করে গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(৯) পাল্লায় এবার ওজন দুবার পরিবর্তন করে প্রতিবারের জন্য ১-৮ ধাপ অনুসরণ করে আরও দুবার গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(১০) সুরশলাকাকে যদি আগে আড়াআড়ি ব্যবস্থায় রাখা হয়ে থাকে তাহলে এবার লম্বিক ব্যবস্থায় রাখা হয় এবং পূর্বের পদ্ধতি অনুসরণ করে গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(১১) এবার সম্পূর্ণ সুতার দৈর্ঘ্য ও ভর নির্ণয় করে ভরকে দৈর্ঘ্য দ্বারা ভাগ করে একক দৈর্ঘ্যের ভর m নির্ণয় করা হয়।

এখন প্রতিবারের গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য, প্রতিবারের ওজন ও m এর মান বসিয়ে আড়াআড়ি বা লম্বিক ব্যবস্থায় সুর শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

হিসাব ও উপাত্ত সংগ্রহ :

(ক) স্কেল প্যানের ভর, W = ... g (খ) সুতার ভর, M = ... g (গ) সুতার দৈর্ঘ্য, L = ... cm

(ঘ) সুতার প্রতি একক দৈর্ঘের ভর, $m = \frac{M}{L}$ g = ... g/cm

ডাটা ছক-১ (লম্বিক তরঙ্গের জন্য)

লম্বিক অবস্থানের জন্য :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দুই প্রান্তের মাঝে লুপ সংখ্যা	স্কেলে চাপানো ভর (W_1) g	সুতার টান, T = Wg = $(W + W_1)$ g dyne	নির্ধারিত দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী দূরত্ব, D	নির্ধারিত দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী লুপ সংখ্যা, N	সেগমেন্টের দৈর্ঘ্য, $l = \frac{D}{N}$	$\frac{T}{l}$	তারের কম্পাঙ্ক, $n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$	টিউনিং ফর্কের কম্পাঙ্ক, $n = n'$ (Hz)

ডাটা ছক-২

আড়াআড়ি অবস্থানের জন্য :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	দুই প্রান্তের মাঝে লুপ সংখ্যা	স্কেলে চাপানো ভর (W_1) g	সুতার টান, T = Wg = $(W + W_1)$ g dyne	নির্ধারিত দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী দূরত্ব, D	নির্ধারিত দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী লুপ সংখ্যা, N	সেগমেন্টের দৈর্ঘ্য, $l = \frac{D}{N}$	$\frac{T}{l}$	তারের কম্পাঙ্ক, $n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$	টিউনিং ফর্কের কম্পাঙ্ক, $n = n'$ (Hz)

সতর্কতা ও আলোচনা :

(১) সুরশলাকাকে হাতুরি (hammer)-এর সাহায্যে একটিমাত্র স্ট্রোকে কম্পন সৃষ্টি করতে হবে।

(২) প্যানে ভর বৃদ্ধি বা কমিয়ে লুপ সংখ্যা বৃদ্ধি বা কমাতে হবে।

(৩) লুপ যথাসম্ভব স্পষ্ট করতে হবে।

(৪) সরু সুতা ব্যবহার করতে হবে।

(৫) পাল্লায় অত্যন্ত বেশি ভর ব্যবহার করা যাবে না।

মুক্ত কম্পাঙ্ক নির্ভর করে
— বস্তুর ঘনত্ব
— " আকৃতি ও
— স্থিতিস্থাপকতার উপর।

৯·৯ অনুনাদ
Resonance

মা যখন বাচ্চাকে দোলনায় রেখে দোল দেয় তখন বাচ্চা কখনো ঘুমিয়ে পড়ে আবার কখনো ঘুমায় না। দোলনার কম্পন এবং বায়ুতে অবস্থিত কণাসমূহের কম্পন সমান হলেই বাচ্চা আরাম অনুভব করে এবং অল্পক্ষণের মধ্যে ঘুমিয়ে পড়ে। আবার সৈনিকেরা যখন একটা পুল বা কালভার্টের উপর পা মিলিয়ে ডবল মার্চ করতে থাকে তখন যদি সেখানে অবস্থান কর তাহলে বুঝতে পারবে পুল বা কালভার্ট এত জোরে কম্পিত হয় যে ভেঙ্গে যাবার উপক্রম হয় বা কোনো কোনো ক্ষেত্রে ভেঙ্গেও যেতে পারে। উপরের দুটি ক্ষেত্রেই অনুনাদের জন্য এ ঘটনা ঘটে। অনুনাদ নলের বায়ুস্তম্ভের উপর একটি কম্পমান সুর শলাকা স্পন্দনে কম্পিত করে ধরলে এবং নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য কম-বেশি করলে এক পর্যায়ে জোরালো শব্দ সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে উৎসের কম্পন ও নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পন সমান হবে। ফলে অনুনাদ সৃষ্টি হয় এবং জোরালো শব্দ শোনা যায়।

আবার একটি কম্পমান বস্তুকে অন্য একটি বস্তুর নিকট ধরলে দ্বিতীয় বস্তুটি কাঁপতে শুরু করে; একে **পরবশ কম্পন** বলে। যদি বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল ও প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল ভিন্ন হয় তবে বস্তু ক্ষুদ্র বিস্তারে কাঁপবে। কিন্তু বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল ও তার উপর প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল সমান হলে বস্তুটি বৃহত্তর বিস্তারে

কাঁপতে বাধ্য হয় এবং শব্দের প্রাবল্য বৃদ্ধি পায়। এ প্রক্রিয়াকে অনুনাদ বলে। সুতরাং, অনুনাদ পরবশ কম্পনের একটি বিশেষ অবস্থা। এখন আমরা দেখব পরবশ কম্পন ও অনুনাদ বলতে কী বোঝায় ?

পরবশ কম্পন : স্পন্দনক্ষম বস্তুর উপর আরোপিত পর্যাবৃত্ত স্পন্দনের জন্য বস্তুটি তার স্বাভাবিক কম্পাঙ্কে কম্পিত হওয়ার পরিবর্তে যখন আরোপিত কম্পনের কম্পাঙ্ক স্পন্দিত হতে থাকে, তখন এ কম্পনকে আরোপিত বা পরবশ কম্পন বলে।

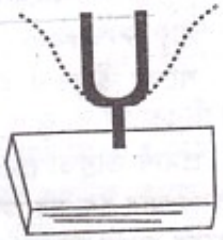
কোনো বস্তুর উপর আরোপিত পর্যাবৃত্ত স্পন্দনের কম্পাঙ্ক বস্তুটির স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হলে বস্তুটি সর্বোচ্চ বিস্তারে কম্পিত হয়। এ ধরনের কম্পনকে অনুনাদ বলে।

অন্যভাবে বলা যায় উৎসের কম্পন এবং উৎসের দ্বারা সৃষ্ট শব্দ যে মাধ্যম দিয়ে চলাচল করে তার কণার কম্পন সমান হলে একটি জোরালো শব্দ সৃষ্টি হয় বা কণাগুলি সর্বাধিক বিস্তারে কম্পিত হয়। এই ঘটনাকে অনুনাদ বলে।

পরবশ কম্পন ও অনুনাদের সংজ্ঞা থেকে এটি স্পষ্ট যে **সকল অনুনাদই পরবশ কম্পন কিন্তু সকল পরবশ কম্পন অনুনাদ নয়।**

উদাহরণ :

১। একটি সুরশলাকাকে কম্পিত করে তা বায়ুতে স্থাপন করলে খুব ক্ষীণ শব্দ উৎপন্ন হয়। কিন্তু এই কম্পিত সুরশলাকা টেবিলের উপর চেপে ধরলে জোরে শব্দ শোনা যায়। এক্ষেত্রে সুরশলাকার কম্পনের ফলে টেবিল পরবশ কম্পনে স্পন্দিত হয় এবং টেবিলের চারপাশের বায়ু স্পন্দিত হয়। এক্ষেত্রে স্পন্দনের মাত্রা বৃদ্ধি পায় বলে শব্দের প্রাবল্যও বেড়ে যায়। এভাবে স্পন্দন সৃষ্টি হয় [চিত্র ৯.২১]।


চিত্র ৯·২১

২। একটি ঝুলন্ত ব্রীজের উপর দিয়ে সৈন্যদল যখন মার্চ করে যায় তখন সৈন্যদলের পা মিলিয়ে যাবার কারণে আরোপিত কম্পনের সৃষ্টি হয়। ফলে ব্রীজের লোহা বা অন্যান্য উপাদানের কণাগুলোও কম্পিত হয়। যখন আরোপিত কম্পন এবং ব্রীজের উপাদানের কণাগুলোর কম্পন সমান হয় তখন ব্রিজটি সর্বোচ্চ বিস্তারে কম্পিত হয়। এক পর্যায়ে ব্রিজটি ভেঙ্গেও পড়তে পারে। এভাবে ব্রিজে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। ধু. বি. ১০-১১

কাজ : অনুনাদ বায়ুস্তম্ভ নলের মুখে একটি কম্পমান সুরশলাকা ধর। কী দেখতে পাবে ? অনুনাদ নলে পানির দৈর্ঘ্য উঠানামা কর এবং সুরশলাকাকে কম্পিত করে নলের মুখে ধর। দেখবে কোনো এক সময় জোরে শব্দ উৎপন্ন হবে। —কারণ ব্যাখ্যা কর।

অনুনাদের বৈশিষ্ট্য:

১। কোনো একটি বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল যদি এর উপর আরোপিত পর্যায় বলের পর্যায়কালের সমান হয়, তখন বস্তুটির কম্পনে অনুনাদ হয়।

২। সকল অনুনাদী কম্পন পরবশ কম্পন।

৩। অনুনাদী কম্পনে বিস্তার সবচেয়ে বেশি হবে।

৪। অনুনাদে বস্তুর কম্পন শুরু হওয়ার অল্প সময় পরই নিয়মিত হয়।

৯·১০ শব্দের তীব্রতা ও তীব্রতা লেভেল
Intensity and Intensity Level of Sound

মানুষের কান একটি স্বাভাবিক শব্দগ্রাহক যন্ত্র। উৎস হতে শব্দ তরঙ্গ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়ে আমাদের কানের পর্দায় কম্পন সৃষ্টি করে। এই কম্পন সংকেত অনুসারে মস্তিষ্কে অনুভূতি সৃষ্টি করে এবং মস্তিষ্ক শব্দের প্রকৃতি বিশ্লেষণের মাধ্যমে শব্দ জোরালো না ক্ষীণ তা চিহ্নিত করে। মানুষের কান এত সংবেদনশীল (sensitive) যে অতি ক্ষীণ এবং অত্যন্ত জোরালো শব্দ শুনতে পায়। ক্ষীণ এবং জোরালো শব্দের অনুপাত 10^{13}। এই সীমার মধ্যে সৃষ্ট শব্দ আমরা শুনতে পাই।

শব্দোচ্চতা হচ্ছে মূলত কর্ণের অনুভূতি। এটি শারীরবৃত্তীয় বিষয় (physiological phenomenon), ভৌত বিষয় নয়। শব্দোচ্চতা শ্রবণের মাত্রা প্রকাশ করে। শব্দোচ্চতা বলতে শব্দ কতটা জোরে হচ্ছে তা বুঝায়। সুতরাং, শব্দোচ্চতার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা একটি শব্দ অন্য একটি শব্দ হতে কত বেশি জোরালো তা বুঝা যায় তাকে শব্দোচ্চতা বলে। লক্ষণীয় যে, শব্দোচ্চতার সংজ্ঞা ব্যক্তি নির্ভর। একই তীব্রতার বিভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ শ্রোতার

কাছে কম-বেশি জোরে মনে হতে পারে। শব্দোচ্চতা শব্দের তীব্রতা দ্বারা নির্ধারিত হয়। তীব্রতা যত বাড়ে শব্দোচ্চতা তত বেশি জোরালো হয়। তবে শব্দোচ্চতা শব্দের তীব্রতার সাথে সমানুপাতিক হারে বাড়ে না। শব্দোচ্চতা ও শব্দের তীব্রতার সম্পর্ক নিচে আলোচনা করা হলো।

তীব্রতা : শব্দের তীব্রতা একটি সুনির্দিষ্ট ভৌত রাশি। তীব্রতার সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

শব্দ সঞ্চালনের অভিমুখের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ শক্তি প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত হয় তাকে তীব্রতা বলে। একে I দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তীব্রতার একক $Js^{-1}\ m^{-2}$ বা Wm^{-2}।

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে শব্দোচ্চতা তীব্রতার সাথে বাড়ে তবে সমানুপাতিক হারে নয়। ওয়েবার ফেচনার (Weber Fechner)-এর সূত্র অনুসারে শব্দোচ্চতা শব্দের তীব্রতার লগারিদম (Logarithm)-এর সমানুপাতিক। এই সূত্রানুসারে শব্দোচ্চতা S এবং শব্দের তীব্রতা I হলে, এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো,

$$S \propto \log_{10} I$$

বা, $S = K \log_{10} I$ ... ... (9.22)

শব্দের তীব্রতার একক Wm^{-2} হলেও ব্যবহারিক ক্ষেত্রে প্রমাণ তীব্রতার সাপেক্ষে একে পরিমাপ করা হয়। প্রমাণ তীব্রতা কী তা জানা দরকার।

প্রমাণ তীব্রতা (Standard intensity) : 1000 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট শব্দের শ্রাব্যতার সীমা $10^{-12}\ Wm^{-2}$ তীব্রতার সমান ধরা হয় এবং একেই প্রমাণ বা আদর্শ তীব্রতা বলে। অর্থাৎ **1000 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট $10^{-12}\ Wm^{-2}$ তীব্রতাকে প্রমাণ তীব্রতা বলে।** একে I_0 দ্বারা সূচিত করা হয়। I_0 এর সাপেক্ষে সকল তীব্রতা পরিমাপ করা হয়।

তীব্রতা লেভেল (Intersity level) : যে কোনো শব্দের তীব্রতা এবং আদর্শ বা প্রমাণ তীব্রতার শব্দের শব্দোচ্চতার পার্থক্যকে তীব্রতা লেভেল বলে। অন্যভাবে বলা যায়, কোনো শব্দের তীব্রতা ও প্রমাণ তীব্রতার অনুপাতের লগারিদমকে ঐ শব্দের তীব্রতা লেভেল বলে। তীব্রতা লেভেলকে ডেসিবেল (dB) এককে প্রকাশ করা হয়।

ঢা.বি.'১২-১৩

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, দুটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের শব্দের তীব্রতা I ও I_0 এবং শব্দোচ্চতা যথাক্রমে S ও S_0। এখন সমীকরণ (9.22) হতে পাই,

$$S \propto \log_{10} I \quad \text{বা,} \quad S = K \log_{10} I$$

আবার, $S_0 \propto \log_{10} I_0$ বা, $S_0 = K \log_{10} I_0$

$\therefore$ শব্দোচ্চতার পার্থক্য, $\beta = S - S_0 = K(\log_{10} I - \log_{10} I_0)$

$$= K \log_{10} \left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.23)$$

এখানে K হচ্ছে ধ্রুবক। এটি এককের উপর নির্ভর করে। শব্দোচ্চতার পার্থক্য β-কে তীব্রতা লেভেল বলা হয়। এখন I_0 যদি প্রমাণ তীব্রতা হয়, তবে যে কোনো শব্দের তীব্রতা লেভেল এবং ঐ প্রমাণ তীব্রতা লগারিদম অনুপাতে নির্দেশিত হবে এবং একক বিহীন হবে।

এখন $K = 1$ এবং I_0 প্রমাণ তীব্রতা হলে শব্দোচ্চতার পার্থক্যকে বেল (bel) বলা হয়। টেলিফোনের আবিষ্কারক আলেকজান্ডার গ্রাহাম বেলের নামকরণে এই এককের নামকরণ করা হয়েছে। শব্দোচ্চতার একক বেল খুবই বড় একক, তাই ডেসিবেল ব্যবহার করা হয়। 1 বেলের 1 দশমাংশকে 1 ডেসিবেল (dB) বলা হয়। এই ডেসিবেলই শব্দের তীব্রতার আদর্শ একক।

সমীকরণ (9.23)-কে ডেসিবেলে লেখা যায়,

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0}\right) dB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.24)$$

যদি, $\beta = 1\ dB$ হয়, তবে

$$1 = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{বা,} \quad \log_{10} \left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{1}{10}$$

$$\therefore \quad \frac{I}{I_0} = 1{\cdot}26$$

এর অর্থ হলো শব্দের তীব্রতার 26% পরিবর্তনের জন্য তীব্রতার লেভেল 1 dB পরিবর্তিত হয়। উল্লেখ্য, মানুষের কান 1dB এর কম শব্দোচ্চতার পার্থক্য বুঝতে পারে না।

সমীকরণ (9.24) হতে দেখা যায়—

(i) যখন $I = 100\ I_0$, তখন $\beta = 10 \log_{10}(100) = 10 \log_{10} 10^2 = 20\ d$B

(ii) যখন $I = 1000\ I_0$, তখন $B = 10 \log_{10}(1000) = 10 \log_{10} 10^3 = 30\ d$B

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে দুটি শব্দের শব্দোচ্চতার পার্থক্য 20 dB হলে জোরালো শব্দ ক্ষীণ শব্দের চেয়ে 100 গুণ তীব্র বুঝায়। আবার পার্থক্য 30 dB হলে জোরালো শব্দ 1000 গুণ বেশি তীব্র বুঝায়।

এখন $I = I_0$ হলে, সমীকরণ (9.24) হতে পাই, $\beta = 10 \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = 0$

শব্দোচ্চতার পার্থক্য বা তীব্রতা লেভেল শূন্যকে নিম্নতর প্রান্তীয় সীমা বা শ্রাব্যতার সীমা বলে।

শব্দোচ্চতার সর্বোচ্চ সীমা, $L = 10 \log_{10} 10^{12} = 120\ d$B। এর চেয়ে বেশি তীব্রতার শব্দ কানে জ্বালা বা অস্বস্তির উদ্রেক করে।

উপরের আলোচনা থেকে বেল ও ডেসিবেলের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

বেল : শব্দের তীব্রতা যখন 10 গুণ বৃদ্ধি পায় তখন শব্দোচ্চতা যে পরিমাণ বাড়ে তাকে 1 বেল বলে।

ডেসিবেল : শব্দের তীব্রতা যখন $10^{0.1}$ গুণ বৃদ্ধি পায় তখন শব্দোচ্চতা যতটুকু বাড়ে তাকে 1 ডেসিবেল বলে। অন্যভাবে বলা যায়, **1 বেলের দশভাগের এক ভাগকে 1 ডেসিবেল বলে।**

কোনো শব্দ উৎসের তীব্রতা I_1 হতে I_2-তে পরিবর্তিত হলে তীব্রতা লেভেলের পরিবর্তন হবে,

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 = 10 \log_{10}\left(\frac{I_2}{I_1}\right) d\text{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.25)$$

অনুরূপভাবে, শব্দ উৎসের ক্ষমতা P_1 হতে P_2-তে পরিবর্তিত হলে তীব্রতা লেভেল বা ক্ষমতা লেভেলের পরিবর্তন হবে,

$$\Delta\beta = 10 \log_{10}(P_2 / P_1)\ d\text{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.26)$$

1000 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট প্রমাণ তীব্রতার এক ডেসিবেল-এর একটি বিশুদ্ধ সুর যে প্রাবল্য সৃষ্টি করে তাকে **ফন** বলে। শব্দ প্রাবল্যের আরও একটি একক আছে। এর নাম **সোন** (Sone)। শ্রোতার শ্রাব্যতার সীমার 40 ডেসিবেল উর্ধ্বে 1000 Hz কম্পাঙ্কের একটি বিশুদ্ধ সুর যে প্রাবল্য সৃষ্টি করে তাকে 'সোন' বলে।

সারণি ৯.১ : কয়েকটি শব্দের তীব্রতা ও তীব্রতা লেভেল

শব্দ	তীব্রতা, I (Wm^{-2})	আপেক্ষিক তীব্রতা, I/I_0	তীব্রতা লেভেল (dB)
সর্বনিম্ন শ্রাব্য শব্দ	1×10^{-12}	10^0	0
পাতার মর্মর শব্দ	1×10^{-11}	10^1	10
ফিসফিসানী	1×10^{-9}	10^3	30
শ্রেণিকক্ষের শব্দ	1×10^{-7}	10^5	50
স্বাভাবিক কথাবার্তা	1×10^{-6}	10^6	60
ব্যস্ততম রাস্তার শব্দ	1×10^{-5}	10^7	70
কারখানার কোলাহল	1×10^{-3}	10^9	90
মাথার উপরের জেট প্লেনের শব্দ	1×10^{-2}	10^{10}	100
তীব্র বজ্রনির্ঘোষের শব্দ	1×10^{-1}	10^{11}	110
কানে বেদনা দানকারী সূচন শব্দ	1×10^{0}	10^{12}	120

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো জনসভায় শব্দের তীব্রতা 10^{-8} watt m^{-2}। শব্দের তীব্রতা লেভেল ডেসিবেলে নির্ণয় কর। শব্দের তীব্রতা তিনগুণ হলে নতুন তীব্রতা লেভেল কত হবে ? [দি. বো. ২০১১, ২০০৯; চ. বো. ২০১০; রা. বো. ২০০৭, ২০০৩; কু. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$= 10 \log \frac{10^{-8}}{10^{-12}} = 10 \log (10^4) = 40\ dB$$

আবার, $\beta' = 10 \log \frac{I'}{I_0} = 10 \log \frac{3 \times 10^{-8}}{1 \times 10^{-12}}$

$$= 10 \log 3 \times 10^4 = 44.77\ dB$$

এখানে,

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

জনসভায় শব্দের তীব্রতা, $I = 10^{-8}\ Wm^{-2}$

তীব্রতা লেভেল, $\beta = ?$

আবার, $I' = 3I = 3 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}$

$\beta' = ?$

২। কোনো শ্রেণিকক্ষের শব্দের তীব্রতা $1 \times 10^{-6}\ Wm^{-2}$ হলে শব্দের তীব্রতা লেভেল ডেসিবেলে নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০১১; ২০০৮; ব. বো. ২০১০; ঢা. বো. ২০০৬, ২০০১; য. বো. ২০০৪, ২০০২; চ. বো. ২০০৩]

আমরা জানি,

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$= 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 10 \log 10^6$$

$$= 60\ dB$$

এখানে,

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

শ্রেণিকক্ষের শব্দ তীব্রতা, $I = 10^{-6}\ Wm^{-2}$

তীব্রতা লেভেল, $\beta = ?$

৩। একটি ক্যাসেট প্লেয়ার হতে নিঃসৃত শব্দের ক্ষমতা 30mW হতে 60mW-এ পরিবর্তিত হলে শব্দের তীব্রতা লেভেলের কত পরিবর্তন হবে ? [সি. বো. ২০০৯, ২০০৭]

মনে করি, শব্দের তীব্রতা লেভেলের পরিবর্তন = $\Delta\beta$

আমরা জানি,

$$\Delta\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)$$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{60 \times 10^{-3}\ W}{30 \times 10^{-3}\ W} \right)$$

$$= 10 \log_{10} (2)$$

$$= 3dB$$

এখানে,

নিঃসৃত শব্দের প্রাথমিক ক্ষমতা,

$\beta_1 = 30\ mW = 30 \times 10^{-3}\ W$

নিঃসৃত শব্দের পরিবর্তিত ক্ষমতা,

$\beta_2 = 60\ mW = 60 \times 10^{-3}\ W$

$\Delta\beta = ?$

৪। কোনো শ্রেণিকক্ষে শব্দের তীব্রতা $10^{-7} Wm^{-2}$। শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ হলে নতুন তীব্রতা লেভেল কত হবে ? [ব. বো. ২০০৬ ; রা. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{10^{-7}}{10^{-12}}$$

$$= 10 \log 10^5$$

$$= 50\ dB$$

আবার, আমরা জানি,

$$\beta' = 10 \log \frac{I'}{I_0} = 10 \log \frac{2I}{I_0}$$

$$= 10 \log \frac{2 \times 10^{-7}}{10^{-12}} = 10 \log 2 \times 10^5$$

$$= 53.01\ dB$$

এখানে,

তীব্রতা, $I = 10^{-7}\ Wm^{-2}$

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

তীব্রতা লেবেল, $\beta = ?$

আবার,

$I' = 2I = 2 \times 10^{-7}\ Wm^{-2}$

$\beta' = ?$

৯·১১ বীট বা স্বরকম্প
Beats

সমান বা প্রায় সমান তীব্রতা ও প্রায় সমান কম্পাঙ্কের দুটি শব্দ তরঙ্গ একসঙ্গে উৎপন্ন করলে দেখা যাবে যে, শব্দ একটানা হচ্ছে না—একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর একবার বাড়ছে ও একবার কমছে। শব্দের তীব্রতার এরূপ পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধিকে বীট বা স্বরকম্প বলে। প্রতি সেকেন্ডে শব্দের তীব্রতার পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বা বৃদ্ধির দ্বারা স্বরকম্পের সংখ্যা (বা কম্পাঙ্ক) নির্ণয় করা হয়।

সংজ্ঞা : সমান বা প্রায় সমান তীব্রতা এবং প্রায় সমান কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একই দিকে অগ্রগামী দুটি শব্দ তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে শব্দের লব্ধি প্রাবল্যের হ্রাস-বৃদ্ধির ঘটনাকে বীট বা স্বরকম্প বলে।

উৎস	তীব্রতা লেভেল β(db)	শব্দ উৎস	তীব্রতা লেভেল β(db)
স্বাভাবিক শ্বাস-প্রশ্বাস	10	স্বাভাবিক কথা	60
পাতার মর্মর ধ্বনি	20	ফিসফিস কথা	30
লাইব্রেরি	40		

Note:

সুর	টৌনিক			উপসুর				
বাংলাদেশী	সা	রে	গা	মা	পা	ধা	নি	সা
পাশ্চাত্য ইংরেজী নাম	do	re	mi	fa	sol	la	ti	do
পাশ্চাত্য ইংরেজী প্রতীক	C	D	E	F	G	A	B	C
সুরের কম্পাংক	256	288	320	341-33	384	420-66	480	512

পরীক্ষাটি করে দেখ :

সমান কম্পাঙ্কের দুটি সুর শালাকা লও এবং স্থাপন কর। এখন সুর শলাকা দুটির একটিকে এ হাতুড়িতে আঘাত কর। দেখা যাবে তারা প্রায় একই একই সাথে আঘাত করলে দেখা যাবে এখনও তারা বৃদ্ধি পাচ্ছে। এখন একটি সুর শলাকার এক বাহুতে যাবে এবং সুর শলাকা দুটির কম্পাঙ্কের মধ্যে কিছুটা আঘাত করে শব্দ উৎপন্ন করলে একটানা শব্দ শোনা কাছাকাছি ভিন্ন কম্পাঙ্কের দুটি সুর শলাকা হতে উৎ রকম হ্রাস-বৃদ্ধির নাম বীট বা স্বরকম্প এবং শব্দ তী

দুইটি শব্দ উৎসের ক্রিয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 5

এটি বলতে নিম্নলিখিত বিষয়গুলো বুঝা যায় :

১। উৎসদ্বয়ের ক্রিয়ায় শব্দের তীব্রতা প্রতি সে

২। উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য N = 5 H

৩। উৎসদ্বয় হতে আগত শব্দ কোনো বিন্দুতে দশায় মিলিত হয়।

৪। পর পর একটি সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তীব্রতা

বীট উৎপত্তির শর্ত :

১। বীট সৃষ্টিকারী শব্দ তরঙ্গ দুটি একই সম

২। তরঙ্গ দুটির কম্পাঙ্ক ও তীব্রতা প্রায় সমা

৩। তরঙ্গ দুটির দরুন মাধ্যমের কোনো একটি

৪। মাধ্যমের কোনো একটি কণার উপর তরঙ্গ পরিবর্তিত হবে।

৫। তরঙ্গ দুটির মিলিত ক্রিয়ার বিস্তার সময়ে

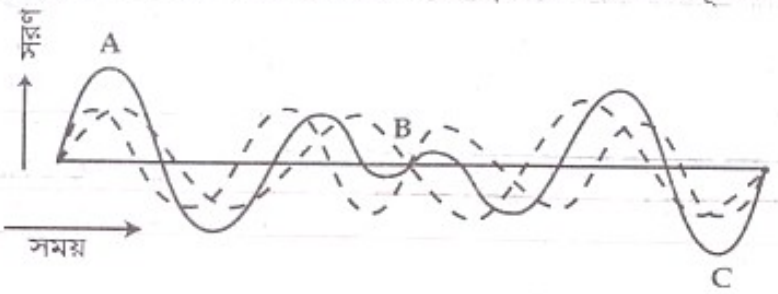
- কোন মাধ্যমে শব্দের বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কর বর্গমূলের সমানুপাতিক এবং ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতিক।
- তাপমাত্রা ও আদ্রতা বৃদ্ধি পেলে বাতাসে শব্দের বেগ বৃদ্ধি পায়।
- অনুনাদ পরবশ কম্পনের একটি বিশেষ অবস্থা।
- শব্দ অগ্রগামী অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।
- শব্দের বেগ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।
- নিউটনের সূত্র হতে প্রাপ্ত শব্দের বেগের ত্রুটি প্রায় 16% , 0^0C তাপ মাত্রার বাতাসে শব্দের বেগ = 332.26 ms^{-1}
- হাইড্রোজেন গ্যাসে শব্দের বেগ অক্সিজেন গ্যাসের তুলনায় চার গুণ বেশী।
- বায়ু, পানি ও লোহার মধ্যে শব্দের বেগ (0°C তাপমাত্রায়) যথাক্রমে 332 m/s, 1433 m/s ও 5300 m/s।
- শব্দের বেগ বৃদ্ধি তাপমাত্রা বৃদ্ধির বর্গমূলের সমানুপাতিক।
- নিউটনের মতে শব্দ বায়ু মাধ্যমে চলাচল করে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায়।
- ল্যাপ্লাসের মতে শব্দ বায়ু মাধ্যমে চলাচল করে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায়।
- শব্দ সঞ্চালনের জন্য স্থিতিস্থাপক অবিছিন্ন মাধ্যমের প্রয়োজন।
- ডপলার নীতির উপরে ভিত্তি করেই বেগ নির্ণয়ের জন্য আলট্রাসনোগ্রাম তৈরী হয়েছে।
- বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকলে শব্দের বেগ বেড়ে যায়।
- বায়ু বা গ্যাসের ক্ষেত্রে 1^0C উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য বেগ 2ft/sec বা 0.61 m/s বা 61cm/s বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

বীট বা স্বরকম্প গঠনের কৌশল
Mechanism of Formation of Beats

প্রায় সমান কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দুটি শব্দ তরঙ্গ মধ্যে দশা বৈষম্য সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয় পরবর্তী মুহূর্তে তরঙ্গদ্বয় বিপরীত দশায় ক্রিয়া করে অন্তর কণাটির সরণ তথা শব্দের তীব্রতা একবার স তীব্রতার এই পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধিই স্বরকম্প।

প্রায় সমান কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দুটি সুর শলাকা লই। তাদেরকে আঘাত করে শব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন করি। এ তরঙ্গ দুটি মাধ্যমের মধ্য দিয়ে চলতে থাকবে। এতে মাধ্যমের এক বিন্দুতে শব্দ তরঙ্গ দুটি কোনো এক সময় সমদশায় এবং পরবর্তী অপর এক সময় বিপরীত দশায় মিলিত হবে। ৯·২২ চিত্রে A বিন্দুতে দুটি শব্দ তরঙ্গ একই দশায়

মিলিত হওয়ায় লব্ধি শব্দের বিস্তার তরঙ্গ দুটির বিস্তারের যোগফলের সমান হবে। ফলে লব্ধি শব্দের তীব্রতা বে হবে। এখানে তরঙ্গ দুটিকে সরু রেখা এবং লব্ধি শব্দ তরঙ্গকে অবিচ্ছিন্ন মোটা রেখা দ্বারা সূচিত করা হয়েছে।



চিত্র ৯·২২

যতই সময় অতিবাহিত হবে ততই একটি তরঙ্গ অপরটিকে অতিক্রম করার চেষ্টা করবে। B বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় থাকায় লব্ধি শব্দের বিস্তার তরঙ্গ দুটির বিস্তারের বিয়োগফলের সমান হবে। অতএব লব্ধি শব্দের তীব্রতা কম হবে। পুনরায় C বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি একই দশায় থাকায় লব্ধি শব্দের বিস্তার তরঙ্গ দুটির বিস্তারের যোগফলের সমান হবে। ফলে লব্ধি শব্দের তীব্রতা অধিক হবে। এভাবে লব্ধি শব্দের তীব্রতার পর্যায়ক্রমে হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটবে। **প্রতি সেকেন্ডে শব্দের পর্যায়ক্রমে হ্রাস বা বৃদ্ধি দ্বারা স্বরকম্পের সংখ্যা নির্ণীত হবে।**

বীটের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of beat

১। সমান বা প্রায় সমান তীব্রতা এবং প্রায় সমান কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একই দিকে অগ্রগামী দুটি শব্দতরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে শব্দের লব্ধি প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে বীট সৃষ্টি হয়।

২। বীটের ক্ষেত্রে কোনো বিন্দুতে তরঙ্গ দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়।

৩। শব্দের তীব্রতা সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়।

৪। লব্ধি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বীট উৎপন্নকারী তরঙ্গদ্বয়ের গড় কম্পাঙ্কের সমান হয়।

বীট বা স্বরকম্পের প্রয়োগ
Application of Beats

স্বরকম্পের তিনটি প্রয়োগ আছে ; যথা—

(১) **স্বরকম্পের সাহায্যে সুর শলাকার অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।**

(২) **স্বরকম্পের সাহায্যে খনিতে দূষিত বাতাসের অস্তিত্ব নির্ণয় করা যায়।**

(৩) **বাদ্যযন্ত্রাদির সুর নির্ণয় করা যায়।**

১। **অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় :** স্বরকম্পের সাহায্যে কোনো স্বনকের অজানা কম্পাঙ্ক n_1 পরিমাপ করা যায়। এই স্বনকের সঙ্গে স্বরকম্প উৎপন্ন করে—এরূপ একটি জানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে বাছাই করা হয়। সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক n হলে স্পষ্টত n অপেক্ষা n_1 প্রায় সমান হয়। এবার প্রতি সেকেন্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা m গণনা করা হয়; সংজ্ঞানুযায়ী $m = n_1 - n$। এরপর n অপেক্ষা n_1 বড় না ছোট তা নির্ণয় করার জন্য সুরশলাকাটির যে কোনো বাহুতে এক ফোঁটা মোম লাগিয়ে ওর কম্পাঙ্ক সামান্য কমান হয়। এর ফলে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়লে স্পষ্টত n অপেক্ষা n_1 বড়; অতএব $m = n_1 - n$ বা $n_1 = n + m$। কিন্তু স্বরকম্পের সংখ্যা কমে গেলে $m = n - n_1$ বা $n_1 = n - m$। এভাবে অজানা কম্পাঙ্ক n_1 নির্ণয় করা যায়।

২। **খনিতে দূষিত বাতাসের অস্তিত্ব নির্ণয় :** খনিতে দূষিত বাতাসের অস্তিত্ব নির্ণয় করতে গিয়ে দুটি অভিন্ন প্রকৃতির অর্গান নল লই। একটি অর্গান নলে খনির বাতাস এবং অপরটিতে বিশুদ্ধ বাতাস নিয়ে নল দুটিতে একই সঙ্গে শব্দ উৎপন্ন করি। খনির বাতাস বিশুদ্ধ না হলে নল দুটিতে সৃষ্ট শব্দের কম্পাঙ্কের প্রভেদ থাকবে। ফলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হবে। কিন্তু খনির বাতাস বিশুদ্ধ হলে কম্পাঙ্কের প্রভেদ থাকবে না। ফলে স্বরকম্প শোনা যাবে না।

সিদ্ধান্ত : স্বরকম্পের সৃষ্টি হলে বুঝতে হবে যে, খনির বাতাস দূষিত।

৩। **বাদ্যযন্ত্রাদির সুর নির্ণয় :** দুটি বাদ্যযন্ত্রকে এক সুরে আনতে হলে তাদেরকে একই সঙ্গে বাজিয়ে স্বরকম্পের উপস্থিতি লক্ষ করতে হয়। সুর মিললে স্বরকম্প আর শোনা যাবে না। এমনিভাবে বীটের সাহায্যে বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রের সুর মিলানো এবং নির্ণয় করা যায়।

❐ বীট সংক্রান্ত:

- বীট বা স্বরকম্প, $N = f_1 \sim f_2$ [ভর বাড়ালে যদি বীট বাড়ে (–) হবে]

$f_1 = f_2 \pm N$

f_1 অজানা ও f_2 জানা কম্পাঙ্ক হলে :অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকায় মোম(ভর বাড়ালে) লাগালে বীট সংখ্যা যদি বেড়ে যায় তাহলে অজানা কম্পাঙ্কের মান ছোট হবে আর , বীট সংখ্যা যদি কমে যায় অজানা কম্পাঙ্কের মান বড় হবে ।

গাণিতিক উদাহরণ

১। দুটি সুরশলাকা A ও B একই সাথে শব্দ তে খানিকটা মোম লাগিয়ে ওজন বাড়ালে বীট কম্পাঙ্ক কত ? [দি. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৮; ব. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$n_A = n_B \pm N$

যেহেতু A সুর শলাকার বাহুতে মোম লাগানোর ফলে বীট সংখ্যা হ্রাস পায় ; কাজেই $n_A > n_B$ হবে। অতএব,

$n_A = n_B + N$

$= 256 + 5 = 261$

$\therefore \quad n_A = 261$ Hz

এখানে,

$N = 5$

$n_B = 256$ Hz

$n_A = ?$

২। A ও B দুটি সুরেলী কাঁটা একত্রে শব্দায়িত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি বীট শোনা যায়। A-এর বাহুর ভর কিছু কমালে বীট উৎপত্তির হার বৃদ্ধি পায়। B-এর কম্পাঙ্ক 512 Hz হলে A-এর প্রকৃত কম্পাঙ্ক কত ? [ঢা. বো. ২০০৮]

আমরা পাই, $N = n_1 \sim n_2$

প্রশ্নানুসারে ভর হ্রাসে A-এর কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। এতে বীট উৎপত্তির হার বৃদ্ধি পায় হেতু তাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্যও বৃদ্ধি পায়।

$\therefore$ A-এর কম্পাঙ্ক, $n_1 >$ B-এর কম্পাঙ্ক, n_2

সুতরাং, $n_1 - n_2 = N$

এখানে, $N = 5$ বীট/সে. ও $n_2 = 512$ Hz

$\therefore \quad n_1 = N + n_2 = (512 + 5)$ Hz $= 517$ Hz

৩। দুটি সুর শলাকা A ও B একই সময় শব্দায়িত হওয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 6টি বীট উৎপন্ন হয়। কিন্তু A-তে খানিকটা মোম লাগালে বীটের সংখ্যা হ্রাস পায়। B-এর কম্পাঙ্ক 320 Hz হলে, A-এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০০৮]

আমরা পাই, $N = n_1 \sim n_2$

প্রশ্নানুসারে ভরের বৃদ্ধিতে A-এর কম্পাঙ্ক হ্রাস পায়।

কাজেই A-এর কম্পাঙ্ক,

$n_1 >$ B-এর কম্পাঙ্ক, n_2

কাজেই, $N = n_1 - n_2$

এখানে, $N = 6$ বীট/সে. ও $n_2 = 320$ Hz

$\therefore \quad n_1 = n_2 + N = (320 + 6)$ Hz

$= 326$ Hz

৪। 64টি সুর শলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কে সাজানো আছে। তাদের শেষটির কম্পাঙ্ক প্রথমটির দ্বিগুণ এবং পর পর যে কোনো দুটি শলাকা প্রতি সেকেন্ডে 4টি বীট উৎপন্ন করে। প্রথম সুর শলাকার কম্পাঙ্ক কত ?

ধরি প্রথমটির কম্পাঙ্ক $= n$

তা হলে শেষটির কম্পাঙ্ক $= 2n$

আবার পর্যায়ক্রমিক দুটি সুর-শলাকার কম্পাঙ্কের পার্থক্য $= 4$ Hz

$\therefore$ দ্বিতীয় সুর শলাকার কম্পাঙ্ক $= n + 4$

$= n + (2 - 1)4$

তৃতীয় সুর শলাকার কম্পাঙ্ক $= n + 4 + 4 = n + (3 - 1)4$

চতুর্থ সুর শলাকার কম্পাঙ্ক $= n + (4 - 1)4$

64-তম সুর শলাকার কম্পাঙ্ক $= n + (64 - 1)\,4$

কিন্তু, $n + (64 - 1)\,4 = 2n$

$\therefore \quad n = (64 - 1)4 = 252$ Hz

৫। A ও B দুটি সুরেলী কাঁটা একত্রে ধ্বনিত করলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি বীট উৎপন্ন হয়। A-কে এক ঘষে পুনরায় ধ্বনিত করলে একই সংখ্যক বীট উৎপন্ন হয়। B-এর কম্পাঙ্ক 510 Hz। ঘষার পূর্বে ও পরে A এর কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

মনে করি, A ও B সুর শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_A ও n_B

এখানে, n_A অজানা কম্পাঙ্ক, $n_B = 510$ Hz এবং বীট সংখ্যা, $N = 5$

$\therefore \quad n_A = n_B \pm N \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

ঘষার পর A-এর কম্পাঙ্ক

$n_A = 510 + 5$

এবং ঘষার পূর্বে A-এর কম্পাঙ্ক

$n_A = 510 - 5 = 505$ Hz

যেহেতু A সুর শলাকাকে ঘষা হয়েছে তাই ঘষার পর এর কম্পাঙ্ক পূর্বের তুলনায় বেড়ে যাবে। কাজেই ঘষার পূর্বে A এর সম্ভাব্য কম্পাঙ্ক, $n_A = 515$ Hz বিবেচনা করলে ঘষার পর বীট সংখ্যা একই হবার সম্ভাবনা নেই। তাই ঘষার পূর্বে A-এর কম্পাঙ্ক = 505 Hz হবে এবং ঘষার পর A-এর কম্পাঙ্ক $n_A = 515$ Hz.

বীটের গাণিতিক রাশিমালা
Mathematical Expression of Beat

ধরা যাক দুটি শব্দায়িত সুর শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 $(n_1 > n_2)$ এবং কম্পাঙ্ক দুটির পার্থক্য খুব বেশি নয়। আরও ধরা যাক শলাকা দুটি হতে আগত শব্দ তরঙ্গ মাধ্যমের কোনো একটি কণার উপর সমদশায় আপতিত হবার t সেকেন্ড পরে তরঙ্গ দুটির দরুন কণাটির পৃথক সরণ যথাক্রমে,

$$y_1 = a \sin 2\pi n_1 t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.27)$$

ও $$y_2 = b \sin 2\pi n_2 t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.28)$$

উপরিপাতনের নীতি অনুসারে লব্ধি সরণ,

$$y = y_1 + y_2 = a \sin 2\pi n_1 t + b \sin 2\pi n_2 t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.29)$$

যদি তরঙ্গ দুটির বিস্তার সমান অর্থাৎ $a = b$ হয়, তবে

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

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

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

ধরা যাক, $A = 2a \cos 2\pi \dfrac{(n_1 - n_2)t}{2}$ এবং $n = (n_1 + n_2)/2$

$\therefore \quad y = A \sin 2\pi n t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.30)$

এটি সমীকরণ (9.27) ও (9.28)-এর ন্যায় লব্ধি তরঙ্গের সমীকরণ। এর কম্পাঙ্ক n ও বিস্তার A। এই বিস্তার সময় ভেদে বিভিন্ন হবে। কারণ, শব্দ তরঙ্গ দুটি কোনো একটি কণার উপর মিলিত হলে তাদের মধ্যে দশা বৈষম্য সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়। কোনো এক মুহূর্তে কণাটির উপর তরঙ্গদ্বয় সমদশায় আবার পরবর্তী মুহূর্তে বিপরীত দশায় ক্রিয়া করে। এতে তরঙ্গদ্বয়ের মিলিত ক্রিয়ায় একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর কণাটির সরণ তথা শব্দের তীব্রতা একবার সবচেয়ে বেশি হয় এবং আর একবার সবচেয়ে কম হয়। শব্দের এ পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধিতে স্বরকম্পের উৎপত্তি হয়। যেমন—

$t = 0, \left(\dfrac{1}{n_1 - n_2}\right), \left(\dfrac{2}{n_1 - n_2}\right), \left(\dfrac{3}{n_1 - n_2}\right)$ ইত্যাদি হলে,

$A = 2a, -2a, 2a, -2a$ ইত্যাদি হবে।

সুতরাং এসব মুহূর্তে বিস্তার সর্বাধিক হবে এবং শব্দ সবচেয়ে জোরে শোনা যেতে পারে। কেননা শব্দের তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।

আবার, $t = \frac{1}{2(n_1 - n_2)}$, $\frac{3}{2(n_1 - n_2)}$, $\frac{5}{2(n_1 - n_2)}$ ইত্যাদি হলে, A = 0 হবে। সুতরাং এসব মুহূর্তে কোনো শব্দ শোনা যাবে না। অতএব দেখা যাচ্ছে যে, পর পর দুটি প্রবল শব্দ বা নিঃশব্দের মধ্যে সময়ের ব্যবধান $T = \frac{1}{(n_1 - n_2)}$ এবং এটিই শব্দের হ্রাস বা বৃদ্ধির তথা স্বরকম্পের পর্যায়কাল।

∴ **1 সেকেন্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক = $\frac{1}{T} = (n_1 - n_2)$ = শব্দ দুটির কম্পাঙ্কের পার্থক্য।**

সাধারণভাবে লেখা যায়, $N = (n_1 \sim n_2)$

এ সমীকরণ অনুযায়ী বীটের একক হবে "/ সেকেন্ড" বা "সেকেন্ড$^{-1}$"

৯·১২ স্বরগ্রাম ও হারমোনিক্স
Musical Scale and Harmonics

স্বরগ্রাম
Musical Scale

আমরা জানি একটি সুরের মধ্যে নিম্ন ও উচ্চ কম্পাঙ্ক বিদ্যমান থাকে। সর্বনিম্ন কম্পাঙ্কের সুর হলো সূচনা সুর বা মূল সুর (Key note)। উচ্চতর কম্পাঙ্কগুলোর মান সূচনা-সুরের সঙ্গে নির্দিষ্ট অনুপাতে থাকে। সর্বোচ্চ কম্পাঙ্কটি সূচনা-সুরের অষ্টক হয়। যদি একটি কম্পাঙ্ক ক্রমের কম্পাঙ্কগুলি পরপর ধ্বনিত হলে খুব শ্রুতিমধুর শব্দ শোনা যায় তাহলে তখন স্বরগ্রাম সৃষ্টি হয়েছে বলে থাকি। সবচেয়ে সরল স্বরগ্রাম হলো ডায়াটনিক স্বরগ্রাম (diatonic scale)। তাহলে স্বরগ্রাম বলতে আমরা কী বুঝি ?

স্বরগ্রাম বলতে নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের কতকগুলো সাজানো সুর বুঝায়। যে সব সুর আমাদের কানে সহজে সাড়া দেয় এবং কণ্ঠস্বরের উপযোগী হয় স্বরগ্রামে ঐ সব সুরকে ঢেলে সাজানো হয়। পরীক্ষায় দেখা যায় যে, কোনো নির্দিষ্ট সুর ও তার দ্বিগুণ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট অপর একটি সুরের মধ্যে প্রথম সুরের কম্পাঙ্ক অনুযায়ী, বিভিন্ন কম্পাঙ্কের কতকগুলো সুর সন্নিবেশ করলে সমসঙ্গতি বজায় থাকে। এরূপ সমসঙ্গতিপূর্ণ কতকগুলো সুরের সমষ্টিকে স্বরগ্রাম বলে। সর্বাপেক্ষা কম কম্পাঙ্কের সূচনা সুরকে টোনিক (tonic or key tone) বলে।

হারমোনিয়াম ও পিয়ানোতে কতকগুলো চাবি এবং বাঁশিতে কতকগুলো ছিদ্র আছে। এ চাবি বা ছিদ্রগুলো একটি নির্দিষ্ট স্বরগ্রামে সাজানো থাকে। বেহালায় হাতের কায়দায় তারের বিভিন্ন স্থানে আঙ্গুল চেপে সুরযুক্ত শব্দ সৃষ্টি করা হয়। সেতার ও এস্রাজে কতকগুলো ঘাট থাকে যাদের সাহায্যে ইচ্ছেমত স্বরগ্রামের সুরগুলোর সুরবিভেদ পরিবর্তন করা যায়।

সাধারণত সূচনা-সুরের কম্পাঙ্ক 256 Hz এবং সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক 512 Hz হয়। নিচের তালিকায় এই স্বরগ্রামের বিভিন্ন কম্পাঙ্কগুলি তাদের বাংলাদেশ ও পাশ্চাত্যে নামসহ ৯.২ সারণিতে দেখানো হলো।

সারণি ৯.২

প্রতীক	বাংলাদেশী নাম	পাশ্চাত্য নাম	কম্পাঙ্ক	কম্পাঙ্কের অনুপাত (সূচনা-সুরের)
C	সা	Do	256	1
D	রে	Re	288	9/8
E	গা	Mi	320	5/4
F	মা	Fa	$341\frac{1}{3}$	4/3
G	পা	Sol	384	3/2
A	ধা	La	$426\frac{2}{3}$	5/3
B	নি	Ti	480	15/8
C	সা	do	512	2

হারমোনিক্স বা সমমেল
Harmonics

আমরা জানি কোনো স্বরে যেসব বিভিন্ন সুর থাকে, তাদের মধ্যে যে সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম, তাকে মূল সুর (Fundamental tone) বলে। অন্যান্য সুর, যাদের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি, তাদের উপসুর (overtones) বলে। আবার উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক যদি মূল সুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হয়, তাহলে সেই সকল উপসুরকে সমমেল বা হারমোনিক (Harmonic) বলে। উপসুরের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হলে, তাকে দ্বিতীয় সমমেল বা অষ্টক (Second harmonic or octave) বলে। তিনগুণ হলে তৃতীয় সমমেল (Third harmonic) এবং চারগুণ হলে চতুর্থ সমমেল (Fourth harmonic) বলে। মূলসুরকে প্রথম সমমেলও (First harmonic) বলা হয়। যেমন, কোনো আর্গন থেকে নিঃসৃত নিচের কম্পাঙ্কগুলো হলো :

256, 268, 502, 512, 620, 768, 1020, 1280 Hz.

এখানে 256 Hz মূলসুর। 512 Hz হচ্ছে মূলসুরের অষ্টক বা দ্বিতীয় হারমোনিক এবং 768 Hz ও 1280 Hz হচ্ছে যথাক্রমে তৃতীয় ও পঞ্চম হারমোনিক। 256 Hz ছাড়া অন্যান্য কম্পাঙ্কের সুর হচ্ছে উপসুর। বেহালার ছড় টেনে কোনো শব্দ উৎপন্ন করলে তাকে স্বর বলে। কারণ এতে একাধিক কম্পাঙ্কের শব্দ মিশ্রিত থাকে। স্বরগ্রামের প্রথম সা'র কম্পাঙ্কের চেয়ে শেষ সা'র কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হওয়ায় শেষ সা-কে প্রথম সা'র অষ্টক বলে।

উপরোক্ত আলোচনা থেকে আমরা বলতে পারি, "সকল সমমেল উপসুর, কিন্তু সকল উপসুর সমমেল নয়"—এ কথার অর্থ কী ? একাধিক কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরের সমন্বয়ে স্বর সৃষ্টি হয়। স্বরের মধ্যে উপস্থিত কম্পাঙ্কগুলোর মধ্যে যেটি সর্বনিম্ন সেই কম্পাঙ্কের সুরকে মূলসুর বলে। বাকি সব কম্পাঙ্ক হলো উপসুর। উপসুরগুলোর মধ্যে যাদের কম্পাঙ্ক মূলসুরের সরল গুণিতক তাদের সমমেল বা harmonic বলে। সুতরাং সমমেলগুলো উপসুরেরই অংশ। সেজন্য বলা হয়, **সব সমমেল উপসুর কিন্তু সব উপসুর সমমেল নয়।**

আমরা অর্থবহ যেসব শব্দ শুনি তার বেশির ভাগ অনেকগুলো কম্পাঙ্কের সমন্বয়ে সৃষ্টি। এই কম্পাঙ্কগুলো পরস্পরের সরল গুণিতক হওয়ার জন্য এদের দ্বারা সৃষ্ট শব্দ আমাদের কাছে সঙ্গীত গুণসম্পন্ন মনে হয়। কোনো স্বরের বেশির ভাগ শক্তি মূল সুরে বর্তমান থাকে বাকি শক্তি উপসুরগুলোর মধ্যে থাকে। শক্তির এই বণ্টনের উপর স্বরের বৈশিষ্ট্য নির্ভর করে। কোনো স্বরে সমমেল উপসুরের সংখ্যা যত বেশি হবে এবং অসমমেল উপসুরের সংখ্যা যত কম হবে, শব্দ তত শ্রুতিমধুর হবে।

দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত একটি পূর্ণসংখ্যা হলে এদের মিলিত প্রভাবে শ্রুতিমধুর শব্দের উৎপত্তি হয় এবং এদের তীক্ষ্ণতার পার্থক্য ভালোভাবে বুঝা যায়। এই কারণে **দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাতকে সুরবিরাম বা সুরানুপাত বলে।**

সঙ্গীতে নিম্নলিখিত শব্দগুলোর বহুল প্রচলন দেখা যায় :

(১) **ত্রয়ী (Triad)** : তিনটি শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 হলে তাদের সমন্বয়ে যে সুরযুক্ত শব্দের উৎপত্তি হয় তাকে ত্রয়ী বলে। সা : গা : পা = 256 : 320 : 384 = 4 : 5 : 6 এবং মা : ধা : সা' = 341·33 : 426·66 : 512 = 4 : 5 : 6 ; কাজেই 256, 320 ও 384 কম্পাঙ্ক এবং 341·33, 426·66 ও 512 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট সুরের সমন্বয়ে উৎপন্ন শব্দ ত্রয়ী।

(২) **স্বর-সঙ্গতি (Chord)** : চারটি শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 : 8 হলে তাদের সমন্বয়ে এক প্রকার শ্রুতিমধুর শব্দের উৎপত্তি হয়। এরূপ সমন্বয়কে স্বর-সঙ্গতি বা সমসঙ্গতি বলে। সুতরাং ত্রয়ী ও ত্রয়ীর নিম্নতম কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট শব্দের সমন্বয় স্বর-সঙ্গতি। কিন্তু সমন্বয় যদি শ্রুতিমধুর না হয় অর্থাৎ শ্রুতিকটু হয় তবে ঐ সমন্বয়কে **বিষম সঙ্গতি** বলে।

(৩) **সমতান বা হারমোনি (Harmony)** : একই সময় কতকগুলো শব্দ উৎপন্ন হলে যদি তাদের মধ্যে একটি ঐকতানের সৃষ্টি হয় তবে তাকে সমতান বলে।

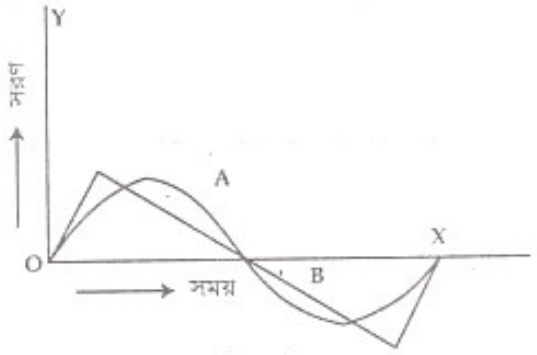
(৪) **স্বরমাধুর্য বা মেলডি (Melody)** : কতকগুলো শব্দ একের পর এক উৎপন্ন হয়ে যদি একটি সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি করে তবে তাকে স্বরমাধুর্য বা মেলডি বলে।

(৫) সলো (Solo) : একটি মাত্র বাদ্যযন্ত্র হতে যে স্বর সৃষ্টি হয় তাকে সলো বা একক সঙ্গীত বলে। একটি বেহালা বা পিয়ানো হতে উৎপন্ন স্বরই সলো।

(৬) অর্কেস্ট্রা (Orchestra) : যখন একাধিক বাদ্যযন্ত্র একত্রে বাজিয়ে একটি সমতান অথবা মেলডি অথবা সমতান মেলডি উভয়ই উৎপন্ন করে তখন তাকে অর্কেস্ট্রা বলে।

৯·১৩ সঙ্গীত গুণ বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান
Contribution of Physics in the Analysis of Musical Sound

পদার্থবিজ্ঞানের শব্দ অধ্যায়ে আমরা শব্দের উৎপত্তি, মাধ্যমে শব্দ সঞ্চালন, বীট সৃষ্টি, শব্দের তীব্রতা, তীক্ষ্ণতা এবং এই সকল শব্দের গুণ বা জাতিসহ কোন্‌টি সঙ্গীত গুণসম্পন্ন কোন্‌টি নয়েজ (noise) যুক্ত শব্দ ইত্যাদি বিষয়ে আলোচনা করে থাকি। সকল বাদ্য যন্ত্র পদার্থবিজ্ঞানের কোনো না কোনো বিষয়ের উপর ভিত্তি করে তৈরি করা হয়েছে। সকল বাদ্যযন্ত্রে কম্পনের মাধ্যমে সুর সৃষ্টি করা হয়। এমনকি পানিতে কম্পন সৃষ্টি করে জলতরঙ্গের সুর তোলা যায়। সকল যন্ত্র দ্বারা সৃষ্ট শব্দই পদার্থবিজ্ঞানের তত্ত্ব দ্বারা বিশ্লেষণ করা যায়। আমরা জানি যে সকল বৈশিষ্ট্য দ্বারা দুটি উৎস হতে নির্গত শব্দের তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতা এক হলেও তাদের একটিকে অন্যটি হতে পৃথক করা যায় তাই জাতি বা গুণ (quality)। এই বৈশিষ্ট্য দ্বারা একই গান বাঁশি ও সেতার হতে বাজালে ঐ গানের শব্দগুলো বাঁশির না সেতারের তা শোনামাত্র বুঝা যায়। একটি সংযুক্ত বা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দ যেসব সুরের মিশ্রণে সৃষ্টি হয় তাদের মধ্যে সুরের কম্পাঙ্ক দ্বারা তার তীব্রতার পরিচয় পাওয়া যায়। কোনো একটি সুরযুক্ত শব্দে উপস্থিত উপসুরের প্রভাবে শব্দ তরঙ্গের সরণ-সময় রেখার আকার ও সাথে সাথে জাতি বদলায়। ৯·২৩ চিত্রে জাতি ভিন্ন অন্য কোনো প্রভেদ নেই এরূপ দুটি সুরযুক্ত শব্দ তরঙ্গের সময়-সরণ রেখা AB দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৯·২৩

আবার কোনো সুরযুক্ত শব্দের বা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন (musical sound) শব্দের জাতি ঐ শব্দে উপস্থিত উপসুরের সংখ্যার উপর এবং উপসুরগুলির বিস্তারের আপেক্ষিক মানের উপর নির্ভর করে। একটি কম্পনরত বস্তু থেকে নির্গত শব্দে কোন কোন উপসুর উপস্থিত থাকে তা তারটিকে কোনো বিন্দুতে উদ্দীপিত করা হচ্ছে তার উপর নির্ভর করে। যেমন— একটি তারকে মধ্যবিন্দুতে টেনে ছেড়ে দিলে (plucking) এই বিন্দুটি নিস্পন্দ বিন্দু হতে পারে না। কাজেই তারের মধ্যবিন্দুতে দ্বিতীয়, চতুর্থ ইত্যাদি যেসব সমমেলের নিস্পন্দ বিন্দু থাকে তারা উপস্থিত থাকে না। বস্তুত সব যুগ্ম সমমেলই অনুপস্থিত থাকে। সুতরাং সাধারণভাবে বলা যায় যে, তারের উদ্দীপক বিন্দুতে (point of excitation) যেসব উপসুরের একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে তা তার থেকে নিঃসৃত শব্দে উপস্থিত থাকে না। বেহালা ও এই জাতীয় অন্যান্য বাদ্যযন্ত্রে যন্ত্রীরা এই নীতিকে কাজে লাগিয়ে নিঃসৃত স্বরের জাতি নিয়ন্ত্রণ করে, ফলে এই সুর সঙ্গীত গুণ সমৃদ্ধ হয়।

কম্পনরত তারের কোনো বিন্দুকে আলতোভাবে ছুঁলে ঐ বিন্দুতে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। ফলে সেসব উপসুরের এই বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু আছে সেগুলি ছাড়া অন্য উপসুরগুলি অবদমিত (suppressed) হয়ে যায়। যেমন— একটি কম্পনরত তারকে দৈর্ঘ্যের এক তৃতীয়াংশ দূরত্বে স্পর্শ করলে তৃতীয়, ষষ্ঠ, নবম, দ্বাদশ, পঞ্চদশ ইত্যাদি যেসব সমমেল ঐ বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু আছে সেগুলি ছাড়া অন্যসব সমমেল অবদমিত হয়ে যায়। তারের যন্ত্র বাজাবার সময় যন্ত্রীরা তারের বিশেষ বিশেষ জায়গায় আঙ্গুল ছোঁয়ান, ফলে অবাঞ্ছিত সমমেলগুলি অবদমিত হয়ে নিঃসৃত স্বরের জাতি পাল্টে দেয়। সুতরাং দেখা যায় যে, সঙ্গীত গুণ, জাতি, সমমেল উপসুর সবকিছুর ধারণা ও জ্ঞান আমরা পদার্থবিজ্ঞানের শব্দ অধ্যায় থেকে নিতে পারি। আর এই লব্ধজ্ঞান দ্বারা সঙ্গীত গুণ যাচাই ও সঙ্গীত গুণের তীব্রতা, তীক্ষ্ণতা এবং মানসহ নানাবিধ বিষয়ের ব্যাখ্যা ও বিশ্লেষণ করতে পারি।

সাধারণত বাদ্যযন্ত্রে উৎপন্ন শব্দ বিশুদ্ধ সুর হয় না, বিভিন্ন সুরের মিশ্রণে গঠিত স্বর হয়। মূলসুরের তীব্রতা অপেক্ষাকৃত বেশি থাকে এবং এর কম্পন দিয়ে স্বরের তীক্ষ্ণতা নির্ধারিত হয়। উপসুরগুলির উপস্থিতির উপর এদের জাতি নির্ভর করে। এই জাতি সম্বন্ধে জানতে হলে অবশ্যই পদার্থবিজ্ঞানের শব্দবিজ্ঞান বিষয়ে অধ্যায়ের প্রয়োজন।

আর এই জ্ঞানই সঙ্গীত গুণকে সমৃদ্ধ করে। দুটি স্বরের জাতির পার্থক্য নির্ভর করে : (i) ওদের মূল সুরের সঙ্গে উপস্থিত উপসুরের সংখ্যার উপর (ii) উপসুরগুলির কম্পাঙ্কের বিভিন্নতার উপর এবং (iii) উপসুরগুলির বিস্তারের আপেক্ষিক মানের উপর।

৯.২৪ চিত্রে বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র থেকে উৎপন্ন শব্দের তরঙ্গ রূপ দেখানো হলো। তরঙ্গগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) এবং বিস্তার সমান। শব্দের প্রাবল্য তরঙ্গের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক বলে প্রতিটি ক্ষেত্রে উৎপন্ন শব্দের প্রাবল্য সমান হবে। এই বিষয়াবলি পদার্থবিজ্ঞানের অবদান। আবার তীক্ষ্ণতা তরঙ্গদৈর্ঘ্য দিয়ে নির্ধারিত হয় বলে প্রতিটি

(ক)

(খ)

(গ)

(ঘ)

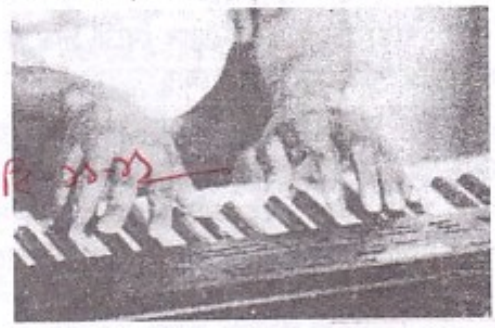
চিত্র ৯.২৪ : বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রের দ্বারা উৎপন্ন শব্দ।

শব্দের তীক্ষ্ণতাও সমান হবে। এই উদাহরণে তিনটি যন্ত্রে উৎপন্ন তিনটি স্বরের প্রাবল্য ও তীক্ষ্ণতা সমান। কিন্তু তরঙ্গরূপ এক নয়। তাই এদের জাতি ভিন্ন। এ সকল বিষয়ে জ্ঞানলাভ অতীব জরুরি যা শব্দ বিজ্ঞান অধ্যয়নের মাধ্যমে জানা সম্ভব। সুতরাং উপরিউক্ত বিষয়ের আলোকে আমরা বলতে পারি সঙ্গীত গুণ বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে জড়িত।

৯·১৪ সোরগোল ও সঙ্গীতগুণ এবং এদের প্রভাব
Noise and Musical Sound and Their Effect

আমাদের চারপাশে আমরা নানারকম শব্দ শুনি। যেমন বৃষ্টির রিমঝিম শব্দ, বেহালার সুর, গিটারের সুর ইত্যাদি শব্দ আমাদের শুনতে ভালো লাগে; আবার চিৎকার, হৈ চৈ, গাড়ির শব্দ আমাদের পীড়া দেয়। এসব শব্দকে মোটামুটি দুই ভাগে ভাগ করতে পারি— সুরসমৃদ্ধ শব্দ ও সুরবর্জিত শব্দ। যে সকল শব্দ শ্রুতিমধুর তাদের সুরযুক্ত শব্দ বা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন বা সুশ্রাব্য বলা হয়। আর যেসব শব্দ শ্রুতিকটু তাদের সোরগোল বা সুরবর্জিত শব্দ বা অপসুর বলা হয়। এই শ্রেণিবিভাগ অনুভূতির ভিত্তিতে করা হয়েছে। কিন্তু অনুভূতির ভিত্তিতে শ্রেণিবিভাগ ঠিক বিজ্ঞানসম্মত নয়। এইজন্য এই শ্রেণিবিভাগ ভৌত ধর্মের ভিত্তিতেও করা হয়। একজনের কাছে যে শব্দ সুরযুক্ত মনে হবে অপরের নিকট তা সুরবর্জিতও মনে হতে পারে। শ্রোতার মানসিকতা, পরিবেশ ইত্যাদি অনেক কিছুর মিলিত প্রভাবই সুরযুক্ত বা সঙ্গীত গুণবিশিষ্ট শব্দকে সোরগোল বা সুরবর্জিত আবার সুরবর্জিত শব্দকে শ্রুতিমধুর মনে হতে

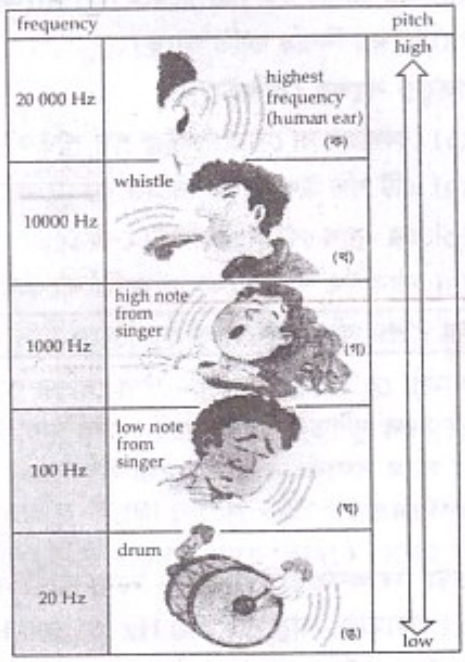
পারে। অন্যভাবে বলা যায় সুশ্রাব্য বা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দ ও সোরগোল বা অপসুর শব্দের মধ্যে কোনো সুস্পষ্ট বিভেদ রেখা টানা যায় না। শ্রোতার আপেক্ষিক পছন্দের দ্বারা সাধারণত এই দুই প্রকার শব্দের বিভেদ করা যায়। যেমন একজনের কাজে রবীন্দ্র সঙ্গীত ভালো লাগে কিন্তু ব্যান্ড সঙ্গীত ভালো লাগে না কিন্তু অপর একজনের নিকট ব্যান্ড সঙ্গীত ভালো লাগে কিন্তু রবীন্দ্র সঙ্গীত ভালো লাগে না।



চিত্র ৯.২৫ : হারমোনিয়ামের শব্দ।

কম্পন নিয়মিত বা পর্যায়বৃত্ত হলে যে শব্দ সৃষ্টি হয় এবং যা আমাদের শ্রুতিমধুর লাগে তাই সঙ্গীত গুণবিশিষ্ট শব্দ। আবার স্বনকের উৎসের কম্পন অনিয়মিত বা অপর্যাবৃত্ত হলে যে শব্দ সৃষ্টি হয় এবং যা আমাদের শ্রুতিকটু লাগে তা সোরগোল শব্দ। তাহলে দেখা যায় হারমোনিয়াম [চিত্র ৯·২৫], গীটার, সেতার, বাঁশির শব্দে সঙ্গীত গুণ বিদ্যমান, অপরদিকে পটকার আওয়াজ, বাজারের কোলাহল, হাতুড়ি দ্বারা পেরেক পোতার শব্দে সোরগোল বা নয়েজ বিদ্যমান। বলা যায় শব্দে উপস্থিত উপসুরের সংখ্যার উপর এবং উপসুরগুলোর বিস্তারের আপেক্ষিক মানের উপর সঙ্গীত গুণ নির্ভর করে। সোরগোলে এই আপেক্ষিক মান কোনো গাণিতিক নিয়ম মানে না।

চিত্র ৯.২৬



চিত্র ৯.২৭

কোলাহল বা সোরগোল সুরবর্জিত শব্দ; কিন্তু অনেক সময় দূর থেকে ঐ শব্দের গুণগুণ ধ্বনি শুনতে ভালোই লাগে। আবার অনেক সুরযুক্ত বা সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দের সঙ্গে সুর বর্জিত শব্দও মিশে থাকে। যেমন হাতুড়ি দিয়ে ঘণ্টায় আঘাত করলে সোরগোল ও সঙ্গীত গুণ উভয় প্রকার শব্দের সৃষ্টি হয়। এই দুই ধরনের শব্দের মধ্যে পার্থক্য অনেকটা ব্যক্তিনির্ভর। অবস্থা বিশেষে একই শব্দ একই লোকের কাছে কখনও শ্রুতিমধুর অথবা কখনও শ্রুতিকটু বলে মনে হয়।

৯·২৬ চিত্রে দুই জন গায়ক জোরে শব্দ করে গান গাইতে দেখা যাচ্ছে। এ শব্দ জোরালো হওয়ায় এর মধ্যে সংগীত গুণ না থাকায় শ্রোতার নিকট তা শ্রুতিকটু বা সোরগোল মনে হবে।

৯·২৭ চিত্রে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ দেখানো হয়েছে। ৯·২৭(ক) চিত্র 20000 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ কানে এসে পৌছাবার পর শ্রুতিকটু ও অস্বস্তি বোধ হবে। ৯·২৭(খ) 10000 Hz কম্পাঙ্কের গাড়ির হুইসেল যা সুর বর্জিত সোরগোল যুক্ত শব্দ কানে এসে পৌছাবার পর শ্রুতিকটু এবং অস্বস্তি বোধ হবে।

৯·২৭(গ) 1000 Hz কম্পাংকের শব্দ কানে এসে পৌছাবার পর শ্রুতিকটু মনে হবে।

৯·২৭(ঘ) চিত্রে একজন গায়কের গানের নিম্ন কম্পাঙ্কের (100 Hz) সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দ কানে এসে পৌঁছাবার পর তা শ্রুতিমধুর লাগবে।

৯·২৭(ঙ) চিত্রে একটি ড্রাম থেকে নিম্ন কম্পাঙ্কের (20 Hz) শব্দ নির্গত হচ্ছে, এই শব্দে কিছু সংগীত গুণ থাকায় এ শব্দ শ্রুতিমধুর মনে হবে।

আবার কম্পাঙ্কের গুণাগুণ বিবেচনা করেও সোরগোল ও সঙ্গীত গুণযুক্ত শব্দের প্রভেদ খুঁজে পাওয়া যায়। আমরা যেসব অর্থবহ শব্দ শুনি তার বেশির ভাগ অনেকগুলো কম্পাঙ্কের সমন্বয়ে সৃষ্টি। এই কম্পাঙ্কগুলো যদি পরস্পরের সরল গুণিতক হয় তাহলে এদের দ্বারা সৃষ্ট শব্দ আমাদের কাছে **সঙ্গীত গুণসম্পন্ন** মনে হবে। আর যদি পরস্পরের সাথে সম্পর্কবিহীন অনেকগুলো কম্পাঙ্কের সমন্বয়ে শব্দ সৃষ্টি হয় তাহলে সে শব্দ আমাদের কাছে **সোরগোল বা নয়েজ** মনে হবে। নিম্নে সঙ্গীত গুণ ও সোরগোল যুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্য আলোচনা করা হলো।

সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দের বৈশিষ্ট্য :

(১) সঙ্গীত গুণবিশিষ্ট শব্দ শ্রুতিমধুর ও আরামদায়ক।

(২) এই শব্দ উৎসের নিয়মিত ও পর্যায় কম্পনের ফলে সৃষ্টি হয়।

(৩) এর তিনটি বৈশিষ্ট্য রয়েছে। ① শব্দোচ্চতা ও তীব্রতা বা প্রাবল্য ② তীক্ষ্ণতা ও জাতি বা ধ্বনি

(৪) শব্দের নিজস্ব জাতি আছে।

সোরগোলযুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্য :

(১) কোলাহল বা সোরগোলযুক্ত শব্দ শ্রুতিকটু ও বিরক্তিকর।

(২) এটি শব্দ উৎসের অনিয়মিত কম্পাঙ্কের ফলে সৃষ্টি হয়।

(৩) এর এরূপ কোনো বৈশিষ্ট্য নেই।

(৪) সুরবর্জিত শব্দের কোনো জাতি থাকে না।

নিজে কর : শব্দ কখন নয়েজ বা গোলমেলে মনে হয় ?

আমরা যে অর্থবহ শব্দ শুনি তার বেশির ভাগ অনকগুলো বাদ্যযন্ত্রের সমন্বয়ে সৃষ্টি। এই কম্পাঙ্কগুলো যদি পরস্পরের সরল গুণিতক হয় তাহলে এদের দ্বারা সৃষ্ট শব্দ আমাদের কাছে সঙ্গীত গুণসম্পন্ন মনে হয়। আর যদি পরস্পরের সাথে সম্পর্কহীন অনেকগুলো কম্পাঙ্কের সমন্বয়ে শব্দ সৃষ্টি হয় তাহলে সে শব্দ আমাদের কাছে নয়েজ বা গোলমেলে মনে হয়।

উচ্চতর দক্ষতাভিত্তিক নমুনার গাণিতিক উদাহরণ

১। কামাল বায়ুতে 400 Hz ও 500 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দটি সরশলাকা হতে সমঃ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের

* টানা তারের অনুনাদ :

(a) দৈর্ঘ্যের জন্য : $n \propto \frac{1}{l}$

(b) টানের জন্য : $n \propto \sqrt{T}$

(c) ভরের জন্য : $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$

$\therefore n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2lr}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$

২য় তরঙ্গের জন্য Q বিন্দুর দশা কোণ δ_2 হলে

$$\delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2'} \times x = \frac{2\pi}{3{\cdot}2} \times 3 = \frac{6\pi}{3{\cdot}2}$$

দশা পার্থক্য $= \delta_1 - \delta_2 = \frac{3\pi}{2} - \frac{6\pi}{3{\cdot}2} = \frac{3{\cdot}2 \times 3\pi - 2 \times 6\pi}{2 \times 3{\cdot}2} = \frac{9{\cdot}6\pi - 12\pi}{6{\cdot}4} = -\frac{2{\cdot}4}{6{\cdot}4}\pi$

২। অনিকের মোবাইল সেটে FM ব্যান্ড আছে। সে একদিন তার সেট অন করে BBC বেতারের বাংলা খবর শুনছিল। উৎপন্ন শব্দের তীব্রতা ছিল 10^{-7}Wm^{-2}। কিছুক্ষণ পর সে নিজেই আবার সাউন্ড বাড়িয়ে দিল ফলে শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ হয়ে গেল।

(ক) উদ্দীপকে উল্লিখিত শেষ ক্ষেত্রে শব্দের তীব্রতা লেভেল কত ছিল ?

(খ) অনিক যদি ধারাবাহিকভাবে তার সেটের সাউন্ড বৃদ্ধি করতেই থাকে তাহলে তীব্রতা লেভেলের কী পরিবর্তন হবে ?— বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি প্রমাণ তীব্রতা, $I_0 = 10^{-12}\ \text{Wm}^{-2}$

দেওয়া আছে, প্রথম ক্ষেত্রে শব্দের তীব্রতা, $I_1 = 10^{-7}\ \text{Wm}^{-2}$

$\therefore$ ২য় ক্ষেত্রে তীব্রতা, $I_2 = 2 \times 10^{-7}\ \text{Wm}^{-2}$

আমরা জানি, শব্দের তীব্রতা লেভেল, $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$

শেষ ক্ষেত্রে তীব্রতা লেভেল, $\beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{2 \times 10^{-7}}{10^{-12}} = 53\ dB$

(খ) আমরা জানি তীব্রতা লেভেল, $\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$ ... ... (i)

এবং $\beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$ ... ... (ii)

তীব্রতা লেভেলের পরিবর্তন $\beta_2 - \beta_1 = \Delta\beta = 10 \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) dB$ ... ... (iii)

এরপর যদি এভাবে ধারাবাহিকভাবে সাউন্ড বাড়াতে থাকে তাহলে তীব্রতা লেভেল সমীকরণ (iii) অনুযায়ী বাড়তে থাকবে। অর্থাৎ অনিক যদি ধারাবাহিকভাবে রেডিও সেটের সাউন্ড বাড়াতে থাকে তাহলে শব্দের তীব্রতা লেভেলও ধারাবাহিকভাবে পরিবর্তন হবে।

সার-সংক্ষেপ

তরঙ্গ	:	কোনো স্থিতিস্থাপক জড় মাধ্যমের বিভিন্ন কণার সমষ্টিগত পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে মাধ্যমে যে আলোড়ন সৃষ্টি হয়, তাকে তরঙ্গ বলে।
তরঙ্গের প্রকারভেদ	:	কম্পনের সাথে তরঙ্গ প্রবাহের দিকের তারতম্য ভেদে তরঙ্গকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—(১) আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ ; (২) লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।
আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ	:	যে সব তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সমকোণী হয়, তাদেরকে আড় বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলে।
লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ	:	যে সব তরঙ্গের ক্ষেত্রে জড় মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিক এবং তরঙ্গ প্রবাহের দিক একই দিকে হয় তাদেরকে লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলে।
শব্দ	:	শব্দ এক প্রকার শক্তি যা একটি স্থিতিস্থাপক নিরবচ্ছিন্ন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আমাদের কানে পৌঁছে শ্রুতির অনুভূতি জন্মায় বা জন্মাতে চেষ্টা করে।
শব্দের উৎপত্তি	:	কোনো বস্তুর কম্পনের দরুন শব্দ উৎপন্ন হয়। সর্ব প্রকার শব্দ উৎপত্তির মূল উৎস বস্তুর কম্পন।
পূর্ণ কম্পন	:	তরঙ্গস্থিত কোনো একটি কম্পমান বস্তু একটি বিন্দু হতে যাত্রা শুরু করে আবার একই দিক হতে সেই বিন্দুতে ফিরে এলে তাকে পূর্ণ কম্পন বলে।

তরঙ্গ বেগ : কোনো একটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমে এক সেকেন্ডে যতটুকু দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গ দ্রুতি বলে।

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য : কোনো মাধ্যমে কোনো একটি কম্পমান বস্তু একটি পূর্ণ কম্পনে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বলে। একে λ দিয়ে সূচিত করা হয়।

কম্পাঙ্ক বা স্পন্দন সংখ্যা : কোনো একটি কম্পমান বস্তু এক সেকেন্ডে যত সংখ্যক পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে, তাকে উক্ত বস্তুর কম্পাঙ্ক বলে। একে n দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

দোলনকাল বা পর্যায়কাল : কোনো একটি কম্পমান বস্তুর একটি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করতে যে সময় লাগে তাকে ঐ বস্তুর দোলন বা পর্যায়কাল বলে। একে T দিয়ে সূচিত করা হয়।

বিস্তার : কোনো একটি কম্পমান বস্তু তার সাম্যাবস্থান থেকে ডানে বা বামে যে সর্বাধিক দূরত্ব অতিক্রম করে, তাকে ঐ বস্তুর বিস্তার বলে।

দশা : দশা কোনো একটি কম্পমান বস্তুর কোনো মুহূর্তের দোলনের অবস্থা প্রকাশ করে।

আদি দশা : কোনো একটি কম্পমান বস্তু যে দশা নিয়ে কম্পন শুরু করে, তাকে আদি দশা বলে।

তরঙ্গ মুখ : কোনো একটি তরঙ্গের উপরিস্থিত সমদশাসম্পন্ন সকল বিন্দুর মধ্য দিয়ে অংকিত তলকে তরঙ্গ মুখ বলে।

তরঙ্গ শীর্ষ : আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে এর ধনদিকে এক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গ শীর্ষ বলে।

তরঙ্গ পাদ : আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে এর ঋণদিকে এক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গ পাদ বলে।

তরঙ্গ রেখা : কোনো এক মুহূর্তে মাধ্যমের কণাগুলো তরঙ্গের উপর যে রেখায় আপনা-আপনি অবস্থান করে সে রেখাকে তরঙ্গ রেখা বলে।

অগ্রগামী তরঙ্গ : কোনো তরঙ্গ যদি কোনো বিস্তৃত মাধ্যমের এক স্তর হতে অন্য স্তরে সঞ্চালিত হয়ে সামনের দিকে অগ্রসর হতে থাকে, তবে তাকে অগ্রগামী তরঙ্গ বলে।

তরঙ্গের উপরিপাতন : দুটি শব্দ তরঙ্গ একই সঙ্গে কোনো মাধ্যমের একটি কণাকে অতিক্রম করলে ঐ কণা তরঙ্গ দুটির সম্মিলিত প্রভাবে আলোড়িত হবে। কোনো মুহূর্তে কণাটির লব্ধি সরণ প্রত্যেকটি তরঙ্গ পৃথকভাবে ঐ বিন্দুতে যে সরণ সৃষ্টি করে তাদের ভেক্টর যোগফলের সমান। এর নাম তরঙ্গের উপরিপাতন।

স্থির তরঙ্গ : কোনো মাধ্যমের একটি সীমিত অংশে পরস্পর বিপরীতমুখী সমান বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি অগ্রগামী তরঙ্গ একে অপরের উপর আপতিত হলে যে নতুন তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তাকে স্থির তরঙ্গ বলে।

সুস্পন্দ বিন্দু : স্থির তরঙ্গের ক্ষেত্রে কোনো কোনো বিন্দুতে বস্তুকণার বিস্তার শূন্য এবং কোনো কোনো বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক। যে বিন্দুগুলোতে বিস্তার সর্বাধিক তাদেরকে সুস্পন্দ বিন্দু বলে।

নিস্পন্দ বিন্দু : যে সকল বিন্দুতে বিস্তার শূন্য তাদেরকে নিস্পন্দ বিন্দু বলে।

শব্দোচ্চতা : যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা একটি শব্দ অন্য একটি শব্দ হতে যত বেশি জোরালো তা বুঝা যায় তাকে শব্দোচ্চতা বলে।

তীব্রতা : শব্দ সঞ্চালনের অভিমুখের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ শক্তি প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত হয় তাকে তীব্রতা বলে।

প্রমাণ তীব্রতা : 1000 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট শব্দের শ্রাব্যতার সীমা 10^{-12} Wm^{-2} তীব্রতার সমান ধরা হয় এবং একেই প্রমাণ বা আদর্শ তীব্রতা বলে।

তীব্রতা লেভেল : যে-কোনো শব্দের তীব্রতা এবং আদর্শ বা প্রমাণ তীব্রতার শব্দের শব্দোচ্চতার পার্থক্যকে তীব্রতা লেভেল বলে।

বেল : শব্দের তীব্রতা যখন 10 গুণ বৃদ্ধি পায় তখন শব্দোচ্চতা যে পরিমাণ বাড়ে তাকে 1 বেল বলে।

ডেসিবেল : শব্দের তীব্রতা যখন $10^{0.1}$ গুণ বৃদ্ধি পায় তখন শব্দোচ্চতা যতটুকু বাড়ে তাকে 1 ডেসিবেল বলে।

বীট বা স্বরকম্প : সমান বা প্রায় সমান তীব্রতা এবং প্রায় সমান কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একইদিকে অগ্রগামী দুটি শব্দ তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে শব্দের লব্ধি প্রাবল্যের হ্রাস-বৃদ্ধির ঘটনাকে বীট বা স্বরকম্প বলে।

স্বরগ্রাম : সমসঙ্গতিপূর্ণ কতগুলো সুরের সমষ্টিকে স্বরগ্রাম বলে।

মূল সুর	:	কোনো স্বরের মধ্যে যে সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম, তাকে মূল সুর বলে।
উপসুর	:	অন্যান্য সুর, যাদের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি, তাদের উপসুর বলে।
অষ্টক	:	উপসুরের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হলে, তাকে অস্টক বা দ্বিতীয় সমমেল বলে।
সমমেল	:	উপসুরগুলোর কম্পাঙ্ক যদি মূল সুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হয়, তাহলে সেই সকল উপসুরকে সমমেল বা হারমোনিক বলে।
সুর বিরাম বা সুরানুপাত	:	দুটি সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাতকে সুর বিরাম বা সুরানুপাত বলে।
ত্রয়ী	:	তিনটি শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 হলে তাদের সমন্বয়ে যে সুরযুক্ত শব্দের উৎপত্তি হয় তাকে ত্রয়ী বলে।
স্বর-সঙ্গতি	:	চারটি শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 : 8 হলে তাদের সমন্বয়ে এক প্রকার শ্রুতিমধুর শব্দের উৎপত্তি হয়। এরূপ সমন্বয়কে স্বর-সঙ্গতি বা সমসঙ্গতি বলে।
সমতান বা হারমনি	:	একই সময় কতগুলো শব্দ উৎপন্ন হলে যদি তাদের মধ্যে একটি ঐক্যতানের সৃষ্টি হয় তবে তাকে সমতান বা হারমনি বলে।
মেলডি বা স্বর মাধুর্য	:	কতগুলো শব্দ একের পর এক উৎপন্ন হয়ে যদি একটি সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি করে তবে তাকে স্বর মাধুর্য বা মেলডি বলে।
সলো	:	একটিমাত্র বাদ্যযন্ত্র হতে যে স্বর সৃষ্টি হয় তাকে সলো বা একক সঙ্গীত বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) তরঙ্গদৈর্ঘ্য আছে
(ii) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক আছে
(iii) শব্দ তরঙ্গ আড় তরঙ্গ
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২। শব্দ বিস্তারের জন্য জড় মাধ্যমের প্রকৃতি কেমন হওয়া উচিত?
ক স্থিতিস্থাপক ও অবিচ্ছিন্ন
খ অস্থিতিস্থাপক ও অবিচ্ছিন্ন
গ স্থিতিস্থাপক ও বিচ্ছিন্ন
ঘ অস্থিতিস্থাপক ও বিচ্ছিন্ন

৩। শব্দ যখন বায়ু থেকে গ্লিসারিনে প্রবেশ করে তখন পরিবর্তন হয়—
(i) বেগ
(ii) কম্পাঙ্ক
(iii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪। লম্বিক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সমান্তরাল হয়
(ii) মাধ্যমে এর সমবর্তন বা পোলারণ ঘটে না
(iii) স্থিতিস্থাপক ধর্মসম্পন্ন মাধ্যমে এ তরঙ্গ সৃষ্টি হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৫। আড় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের দিক তরঙ্গ প্রবাহের দিকের সমান্তরাল হয়
(ii) তরঙ্গ প্রবাহে মাধ্যমে তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ সৃষ্টি হয়
(iii) মাধ্যমে এর সমবর্তন বা পোলারণ ঘটে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

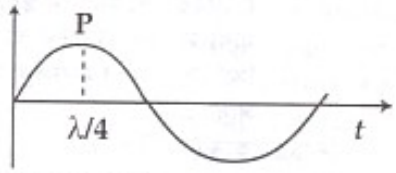
৬। কোনো একটি কম্পমান বস্তুর কোনো মুহূর্তের দোলনের অবস্থা যে রাশি প্রকাশ করে তাকে কী বলে ?
ক বিস্তার
খ প্রাবল্য
গ দশা
ঘ কম্পাঙ্ক

৭। কোনো তরঙ্গের উপর সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর গতিপথকে বলে—
ক তরঙ্গদৈর্ঘ্য
খ কম্পাঙ্ক
গ বিস্তার
ঘ তরঙ্গমুখ

৮। নিম্নোক্ত তরঙ্গের কোনটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ নয়?
ক পানি তরঙ্গ
খ শব্দ তরঙ্গ
গ আলোক তরঙ্গ
ঘ বেতার তরঙ্গ

৯। 1 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি তরঙ্গের বেগ 200 ms^{-1} হলে এর কম্পাঙ্ক—
ক 150 Hz
খ 200 Hz
গ 100 Hz
ঘ 20 Hz

১০। একটি তরঙ্গের সমীকরণ $y = 100 \sin (500 \pi t)$ হলে কণাটির কম্পাঙ্ক কত ?
ক 250π Hz
খ 250 Hz
গ 300π Hz
ঘ 500π Hz

১১।


চিত্রে P বিন্দুর দশা কত ?
ক 45°
খ 90°
গ 180°
ঘ 270°

একটি অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ
$y = \sin 2\pi (vt - 5)$ মিটার।
নিচের ১২ ও ১৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১২। তরঙ্গটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
ক 2m
খ 3m
গ 1m
ঘ 0·1 m

১৩। তরঙ্গটির বিস্তার কত?
ক 0m
খ 1m
গ 2m
ঘ 3m

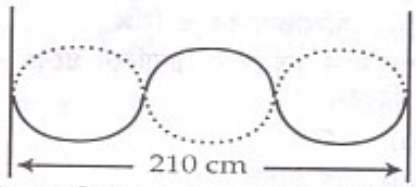
১৪। কোনো চলমান তরঙ্গের সমকোণে একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ শক্তি লম্বভাবে প্রবাহিত হয় তাকে বলে ঐ তরঙ্গের—
ক দশা
খ তীব্রতা
গ তরঙ্গমুখ
ঘ অগ্রগামী তরঙ্গ

১৫। পথ পার্থক্য বা দূরত্ব λ-এর জন্য দশা পার্থক্য—
ক 2π
খ π
গ $\frac{\pi}{2}$
ঘ $\frac{\pi}{4}$

১৬। যখন দুটি সদৃশ অগ্রগামী তরঙ্গ পরস্পরের উপর উপরিপাতিত হয়, তখন লব্ধি তরঙ্গের বেগ—
ক বৃদ্ধি পায়
খ হ্রাস পায়
গ শূন্য হয়
ঘ অপরিবর্তিত থাকে

১৭। উৎসের কম্পাঙ্কের সাথে তীব্রতার সম্পর্ক—
ক $E \propto f$
খ $I \propto f^2$
গ $I \propto \frac{1}{f}$
ঘ $I \propto \frac{1}{f^2}$

১৮। স্থির তরঙ্গের ক্ষেত্রে—
(i) পর পর দুটি লুপের সরণ পরস্পর বিপরীত দিকে হয়
(ii) তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে কম্পনের বিস্তার সমান হয়
(iii) মাধ্যমের সীমিত অংশে উৎপন্ন হয়
নিম্নের কোনটি সঠিক?
ক i
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৯।


চিত্রানুযায়ী 80 Hz কম্পাঙ্কের একটি স্থির তরঙ্গ সৃষ্টি করা হলো। এই স্থির তরঙ্গ সৃষ্টিকারী তরঙ্গগুলির বেগ কত ? [ঢা. বো. ২০১৫]
ক 56 ms^{-1}
খ 112 ms^{-1}
গ 1120 ms^{-1}
ঘ 5600 ms^{-1}

২০। স্থির তরঙ্গের পরপর দুইটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব—

ক $\frac{\lambda}{4}$

খ $\frac{\lambda}{2}$

গ $\frac{3\lambda}{4}$

ঘ λ

২১। শব্দের তীব্রতা—

(i) উৎসের কম্পাঙ্কের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক

(ii) উৎসের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক

(iii) মাধ্যমে ঘনত্বের সমানুপাতিক

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i ও ii

খ ii ও iii

গ i ও iii

ঘ i, ii ও iii

২২। বিট ব্যবহার করা হয়—

(i) অজানা কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে

(ii) শব্দের বেগ নির্ণয় করতে

(iii) বাদ্যযন্ত্রের সুর মিলাতে

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i ও ii

খ ii ও iii

গ i ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৩। প্রতি সেকেন্ডে 5টি বীট উৎপন্ন হয় কথাটির অর্থ হলো—

(i) শব্দের তীব্রতা সেকেন্ডে 5 বার হ্রাস-বৃদ্ধি হয়

(ii) উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য 5 Hz

(iii) পরপর 1টি সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তীব্রতার মধ্যকার সময়ের পার্থক্য 0·1 s.

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ক i

খ i ও ii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৪। কোনটি সত্য নয়?

ক শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ করলে শব্দোচ্চতা দ্বিগুণ হয়

খ শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ করলে শব্দোচ্চতা দ্বিগুণ হয় না

গ শব্দের তীব্রতা দ্বিগুণ করলে শব্দোচ্চতা বৃদ্ধি পায়

ঘ শব্দের তীব্রতার সাথে শব্দোচ্চতার সম্পর্ক আছে

২৫। দুইটি শব্দ উৎসের ক্রিয়ায় লব্ধি শব্দের তীব্রতা প্রতি সেকেন্ডে চারবার পর্যায়ক্রমিক হ্রাস-বৃদ্ধি পায়। এ থেকে বুঝা যায় প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন বীট সংখ্যা— [ঢা. বো. ২০১৫]

ক 0

খ 2

গ 4

ঘ 8

২৬। বীট সৃষ্টির শর্ত হলো—

(i) বীট সৃষ্টিকারী শব্দ তরঙ্গ দুটি একই সময়ে উৎপন্ন হতে হবে

(ii) তরঙ্গ দুটির কম্পাঙ্ক ও তীব্রতা প্রায় সমান হতে হবে

(iii) তরঙ্গ দুটির মিলিত ক্রিয়ার বিস্তার সময়ের সাথে পরিবর্তিত হবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৭। অনুনাদের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) সকল অনুনাদী কম্পন পরবশ কম্পন

(ii) অনুনাদী কম্পনে বিস্তার সবচেয়েবেশি হয়

(iii) সকল পরবশ কম্পনই অনুনাদী কম্পন

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৮। শব্দের তীব্রতা পরিমাপের একক কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৫]

ক $Js^{-2}m^{-2}$

খ $\frac{J}{sm^2}$

গ $J^{-1}s^2m^{-2}$

ঘ $\frac{Js^{-2}}{m^2}$

২৯। কোনো শব্দের তীব্রতা প্রমাণ তীব্রতার 100 গুণ হলে ঐ শব্দের তীব্রতার লেভেল কত ডেসিবেল?

ক 20 dB

খ 2·0 dB

গ 0·20 dB

ঘ 0·02 dB

৩০। সুস্পন্দ বিন্দুর শর্ত কোনটি?

ক $\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$ .....

খ $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi$.....

গ $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$.....

ঘ $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \frac{\pi}{2}, \pi$.....

৩১। কোনো শ্রেণিকক্ষের শব্দের তীব্রতা 1×10^{-6} Wm^{-2} হলে শব্দের তীব্রতা লেভেল ডেসিবেলে কত ?
ক 20 dB
খ 30 dB
গ 50 dB
ঘ 60 dB

৩২। আমাদের কান সবচেয়ে মৃদু যে শব্দ শুনতে পায় তার তীব্রতা কত ?
ক 10^{-6} Wm^{-2}
খ 10^{-8} Wm^{-2}
গ 10^{-10} Wm^{-2}
ঘ 10^{-12} Wm^{-2}

৩৩। যে বৈশিষ্ট্য দ্বারা একটি শব্দ অন্য একটি শব্দ হতে কত বেশি জোরালো তা বুঝা যায়, তাকে কী বলে?
ক তীব্রতা
খ স্বরকম্প
গ স্বরগ্রাম
ঘ শব্দোচ্চতা

৩৪। দুই সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাতকে কী বলা হয়?
ক সুর বিরাম
খ স্বরগ্রাম
গ ডায়াটেনিক স্বরগ্রাম
ঘ স্বর-সঙ্গতি

৩৫। কোনো স্বরের বিদ্যমান সুরগুলোর মধ্যে মৌলিক সুরের কম্পাঙ্ক—
ক সবচেয়ে বেশি
খ সবচেয়ে কম
গ সবচেয়ে কম কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ
ঘ সবচেয়ে বেশি কম্পাঙ্কের অর্ধেক

৩৬। হারমোনিক বা সমমেল হচ্ছে যে উপসুরের কম্পাঙ্ক মৌলিক সুরের কম্পাঙ্কের—
ক সরল গুণিতক
খ 1·5 গুণ
গ দ্বিগুণ
ঘ অর্ধেক

কোনো অর্গান থেকে নিসৃত কম্পাঙ্কগুলো হলো : 256, 268, 502, 512, 620, 768, 1020, 1280 Hz
নিচের ৩৮ ও ৩৯নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

৩৭। এখানে মূল সুর কোনটি ?
ক 256 Hz
খ 620 Hz
গ 1020 Hz
ঘ 1280 Hz

৩৮। মূল সুরের অষ্টক বা দ্বিতীয় হারমোনিক কোনটি?
ক 256 Hz
খ 268 Hz
গ 512 Hz
ঘ 768 Hz

৩৯। তিনটি শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত 4 : 5 : 6 হলে তাদের সমন্বয়ে যে সুরযুক্ত শব্দের উৎপত্তি হয় তাকে কী বলে ?
ক স্বরসঙ্গতি
খ ত্রয়ী
গ সমতান
ঘ সমমেল

৪০। সঙ্গীত গুণসম্পন্ন শব্দের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) শ্রুতিমধুর ও আরামদায়ক
(ii) শব্দের নিজস্ব কোনো জাতি থাকে না
(iii) এই শব্দ উৎসের নিয়মিত ও পর্যায় কম্পনের ফলে সৃষ্টি হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

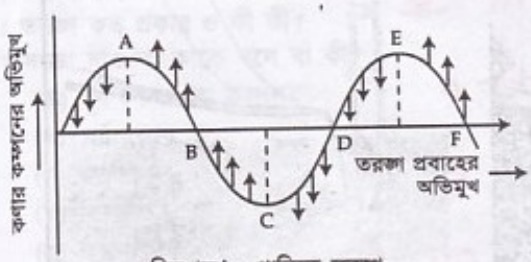
৪১। একমুখ বন্ধ একটি নলে একটি শব্দতরঙ্গ সৃষ্টি করা হলো। নলের দৈর্ঘ্য এমনভাবে ঠিক করা হলো যেন নলের ভেতরে শব্দ সর্বোচ্চ জোরালো হয়। নলের ভেতরে শব্দ তরঙ্গের প্রকৃতি কিরূপ?
ক লম্বিক এবং স্থির [ঢা. বো. ২০১৫]
খ লম্বিক এবং অগ্রগামী
গ আড় এবং অগ্রগামী
ঘ আড় এবং স্থির

উত্তর :

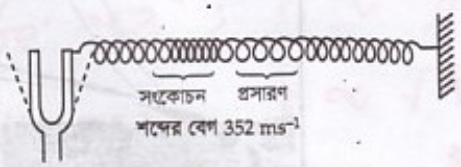
১। ক	২। ক	৩। খ	৪। ঘ	৫। গ	৬। গ	৭। ঘ	৮। খ	৯। খ	১০। খ
১১। খ	১২। গ	১৩। খ	১৪। খ	১৫। ক	১৬। ঘ	১৭। খ	১৮। খ	১৯। খ	২০। খ
২১। খ	২২। ঘ	২৩। ঘ	২৪। ক	২৫। গ	২৬। ঘ	২৭। ক	২৮। খ	২৯। ক	৩০। ক
৩১। ঘ	৩২। ঘ	৩৩। ঘ	৩৪। ক	৩৫। খ	৩৬। ক	৩৭। ক	৩৮। গ	৩৯। খ	৪০। খ
৪১। ক									

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১।



চিত্র 'ক' : পানিতে তরঙ্গ



চিত্র 'খ' : বায়ুতে তরঙ্গ

(ক) তরঙ্গমুখ কী ?

(খ) তরঙ্গের উপরিপাতন নীতি ব্যাখ্যা কর।

(গ) চিত্র থেকে প্রাপ্ত তথ্যাদি ব্যবহার করে বায়ুতে সৃষ্ট তরঙ্গটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(ঘ) একটি তরঙ্গের বেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্কের মধ্যকার সম্পর্কের গাণিতিক প্রমাণ দাও।

২। রাফি তার বন্ধুদের সাথে ফুটবল খেলার সময় হঠাৎ তাদের বলটি খেলার মাঠের পার্শ্বের পুকুরের পানিতে পড়ল। ফলে পানিতে ঢেউয়ের সৃষ্টি হলো। রাফি লক্ষ করল বলটি যে স্থানে পড়েছিল সেখান থেকে ধীরে ধীরে ঢেউগুলো চারদিকে ছড়িয়ে পড়ল। [ঢেউয়ের শীর্ষবিন্দু থেকে অপর ঢেউয়ের শীর্ষবিন্দুর দূরত্ব 10 cm এবং পানিতে 3 s-এ 6টি ঢেউয়ের সৃষ্টি হয়।]

(ক) অগ্রগামী তরঙ্গ কী ?

(খ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলতে কী বুঝায় ?

(গ) পানিতে সৃষ্ট ঢেউয়ের বেগ নির্ণয় কর।

(ঘ) রাফির সৃষ্ট এ ধরনের অগ্রগামী তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ $y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$। এর গাণিতিক বিশ্লেষণ দেখাও।

৩। কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে ধ্রুব বেগে ধাবমান অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ, $y = 5\sin(200\,\pi t - 1{\cdot}57\,x)$। এখানে সবকটি রাশি S. I. এককে প্রদত্ত।

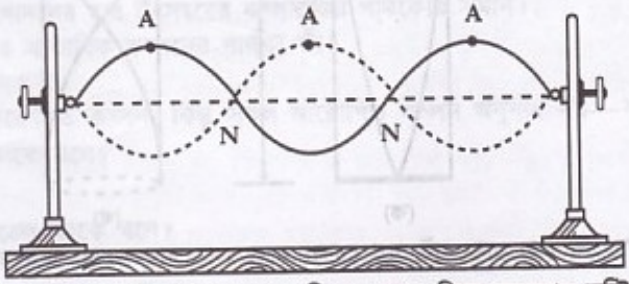
(ক) অগ্রগামী তরঙ্গ কী ?

(খ) শব্দের ব্যতিচার বলতে কী বুঝায় ?

(গ) তরঙ্গটির বিস্তার, কম্পাঙ্ক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(ঘ) যেহেতু তরঙ্গের বেগ ধ্রুব সেহেতু তরঙ্গের উপরিস্থিত মাধ্যমের কণার ত্বরণ কী সর্বদা শূন্য হবে ? বিশ্লেষণ কর।

৪।



দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকানো টানা তারে আঘাত করায় চিত্রের ন্যায় স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি হলো।

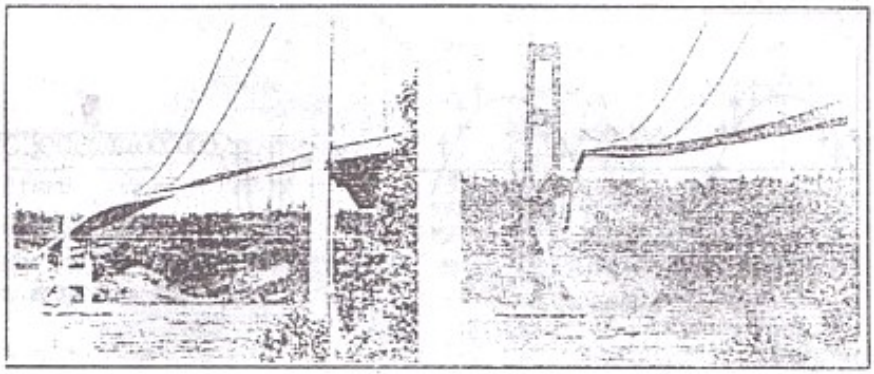
(ক) তরঙ্গের উপরিপাতন নীতি কী ?

(খ) উপরিপাতনের নীতির সাহায্যে কী কী ব্যাখ্যা করা যায় ?

(গ) আঘাতের ফলে সৃষ্ট অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ $y = A_0\sin\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$ হলে স্থির তরঙ্গের সমীকরণ নির্ণয় কর।

(ঘ) তরঙ্গের উপরিস্থিত সকল কণার গতি কী সরল ছন্দিত গতি ? তোমার উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দাও।

৫।



চিত্রের ওয়াশিংটনের টাকোমা ন্যারোজ ব্রিজটি 1940 সালের 1 জানুয়ারি চলাচলের জন্য খুলে দেওয়া হয়। একটি হালকা বাতাসে অনুনাদ সৃষ্টির কারণে খুলে দেওয়ার চার মাসের মধ্যেই ব্রিজটি ভেঙ্গে যায়।

(ক) পরবশ কম্পন কী ?

(খ) সব অনুনাদই পরবশ কম্পন কিন্তু সব পরবশ কম্পন অনুনাদ নয় কেন ?

(গ) সৈন্যদল ব্রিজের উপর দিয়ে মার্চ করে চললে ব্রিজ ভেঙ্গে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকার কারণ অনুসন্ধান কর।

(ঘ) উদ্দীপকের ঘটনাটি থেকে কীভাবে পরবশ কম্পন ও অনুনাদের মধ্যে পার্থক্য করা যায় বিশ্লেষণ কর।

৬। পদার্থবিজ্ঞান ক্লাসে শব্দের তীব্রতা 1×10^{-8} Wm^{-2}। বিজ্ঞানী গ্রাহাম বেলের নাম অনুসারে তীব্রতার লগ মানকে বেল বলা হয়। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে এক বেলের দশ ভাগের এক ভাগকে একটি একক ধরে শব্দোচ্চতা পরিমাপ করা হয় এবং একে 1 ডেসিবেল বলে।

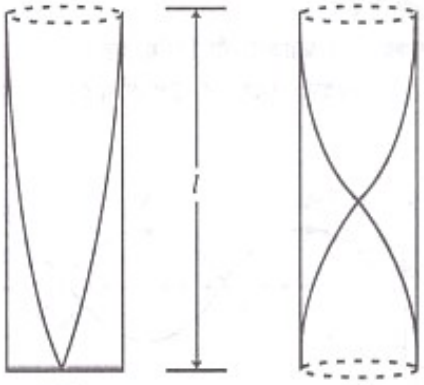
(ক) বীট কী ?

(খ) সকল হারমোনিকই উপসুর কিন্তু সকল উপসুর হারমোনিক নয়। ব্যাখ্যা কর।

(গ) পদার্থবিজ্ঞান ক্লাসের শব্দের তীব্রতা লেভেল ডেসিবেলে নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত শব্দের তীব্রতা লেভেলের গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

৭।



(ক) (খ)

চিত্রে একমুখ খোলা নল (ক) এবং দুই মুখ খোলা নলে (খ) বায়ুস্তরের কম্পন দেখানো হয়েছে। নল দুটির প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য l।

(ক) মূল সুর কী ?

(খ) 'দুটি শব্দ উৎসের ক্রিয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 5টি বীট উৎপন্ন হয়'—এটি বলতে কী বুঝায় ?

(গ) (খ) নং চিত্রে ১ম উপসুরের কম্পাঙ্ক 448 Hz হলে নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। বায়ুতে শব্দের বেগ 345 ms^{-1}।

(ঘ) উদ্দীপকের নল দুটি কী একই কম্পাঙ্কের মূল সুর তৈরি করতে পারবে ? যদি না পারে তাহলে কীভাবে একই কম্পাঙ্কের মূল সুর তৈরি করা সম্ভব বিশ্লেষণ কর।

(গ) কাঠামোবন্ধ ও রচনামূলক প্রশ্ন

১। তরঙ্গ কী?
২। তরঙ্গ কত প্রকার ও কী কী?
৩। সংজ্ঞা দাও বা কাকে বলে বা কী?
(ক) পূর্ণ স্পন্দন বা কম্পন
(খ) পর্যায়কাল
(গ) কম্পাঙ্ক
(ঘ) বিস্তার
(ঙ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য
(চ) তরঙ্গ বেগ
(ছ) কৌণিক কম্পাঙ্ক
(জ) দশা
(ঝ) আদি দশা
(ঞ) তরঙ্গ শীর্ষ
(ট) তরঙ্গ পাদ
(ঠ) তরঙ্গের তীব্রতা
৪। তরঙ্গদৈর্ঘ্য, তরঙ্গ বেগ ও কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক লিখ।
৫। $v = n\lambda$ সম্পর্কটি প্রতিপাদন কর।
৬। অনুপ্রস্থ তরঙ্গ ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কী?
৭। শব্দ কী ? বায়ুতে শব্দ সঞ্চালিত হয় কী কী প্রক্রিয়ায় ?
৮। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
৯। অগ্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
১০। অগ্রগামী তরঙ্গের রাশিমালা প্রতিপাদন কর।
১১। অগ্রগামী তরঙ্গ ও স্থির তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ কর।
১২। একটি স্থির তরঙ্গ অঙ্কন কর এবং এতে $\frac{\lambda}{2}$ চিহ্নিত কর।
১৩। স্থির তরঙ্গের গাণিতিক রাশিমালা প্রতিপাদন কর।
১৪। উপরিপাতন নীতি কী ? ব্যাখ্যা কর।
১৫। স্থির তরঙ্গের ক্ষেত্রে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টির শর্তের গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও।
১৬। বীট গণনা করে অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কীভাবে নির্ণয় করবে ?
১৭। সুস্পন্দ বিন্দু ও নিস্পন্দ বিন্দু কাকে বলে? চিত্র অঙ্কন করে দেখাও।
১৮। সুস্পন্দ বিন্দু ও নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টির শর্তগুলো আলোচনা কর।
১৯। বীট কাকে বলে?
২০। দেখাও যে বীট উৎপাদনের হার উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান।
২১। আরোপিত কম্পন ও স্বাভাবিক কম্পনের পার্থক্য কী?
২২। অনুনাদ কাকে বলে?
২৩। সকল অনুনাদই আরোপিত কম্পন; কিন্তু সকল আরোপিত কম্পন অনুনাদ নয়—ব্যাখ্যা কর।
২৪। তরঙ্গের তীব্রতা কাকে বলে?
২৫। প্রমাণ তীব্রতা কী?
২৬। শব্দের তীব্রতা লেভেল কাকে বলে?
২৭। ডেসিবেল কী?
২৮। বীট সৃষ্টির শর্তগুলি লিখ।
২৯। সকল হারমোনিক উপসুর ? কিন্তু সকল উপসুর হারমোনিক তরঙ্গের ?
৩০। সঙ্গীত মানসম্পন্ন শব্দের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
৩১। সোরগোল যুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
৩২। সুর ও স্বর কাকে বলে?
৩৩। মূল সুর কাকে বলে?
৩৪। হারমোনিক কী?

* টানা তারের অনুভূমিক —
i) দৈর্ঘ্যের সূত্র ; $n \propto \frac{1}{l}$
ii) টানের সূত্র ; $n \propto \sqrt{T}$
iii) ভরের সূত্র ; $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$
$\therefore n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2lr}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$

৩৫। সংজ্ঞা দাও :
(ক) অষ্টক
(খ) সুর বিরাম
(গ) স্বর সঙ্গতি
(ঘ) ত্রয়ী
(ঙ) ডায়াটোনিক স্বর
(চ) মেলডি

৩৬। নয়েজ ও সঙ্গীত গুণের পার্থক্য আলোচনা কর।

৩৭। সঙ্গীত গুণ বিশ্লেষণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

পোস্টার তৈরি কর। উচ্চ কম্পাঙ্কের একটি ঢোলের শব্দ এবং একটি হারমোনিয়ামের শব্দ। এই দুই শব্দের প্রথমটি নয়েজ সৃষ্টিকারী এবং দ্বিতীয়টি সঙ্গীত গুণসম্পন্ন যা দৈনন্দিন জীবনে প্রভাব বিস্তার করে। ক্লাস রুমে উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। দুটি সুর শলাকায় কম্পাঙ্কের পার্থক্য 118 Hz। বাতাসে শলাকা দুটি যে তরঙ্গ উৎপন্ন করে তাদের একটির দুটি পূর্ণ তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপরটির তিনটি পূর্ণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান। শলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
[উ. 354 Hz ও 236 Hz]

২। একটি সুর শলাকা A মাধ্যমে 0·1 m ও B মাধ্যমে 0·15 m দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তরঙ্গ উৎপন্ন করে। A মাধ্যমে শব্দের বেগ 3 ms^{-1} হলে B মাধ্যমে শব্দ 6 s-এ কতদূর যাবে নির্ণয় কর। [উ. 27 m]

৩। বায়ু ও পানিতে 320 Hz কম্পাঙ্কের একটি শব্দ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য 3·9 m। বায়ুতে শব্দের বেগ 345 ms^{-1} হলে পানিতে শব্দের বেগ কত ?
[উ. 1593 ms^{-1}]

৪। একটি শব্দ উৎস হতে সৃষ্ট শব্দ তরঙ্গ উৎসটির 30 বার কম্পনের সময়ে বায়ুতে 24 m দূরত্ব অতিক্রম করে। উৎসটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [বায়ুতে শব্দের বেগ = 332 ms^{-1}] [উ. 415 Hz]

৫। P ও Q দুটি মাধ্যমে শব্দের বেগ যথাক্রমে 300 ms^{-1} ও 340 ms^{-1}। মাধ্যম দুটিতে শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 0·2m হলে সুরশলাকার 50 কম্পনে শব্দ Q মাধ্যমে কতদূর যাবে ? [উ. 85m]

৬। দুটি সুর শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 128 Hz এবং 384 Hz। বায়ুতে শলাকা দুটি হতে সৃষ্ট শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর।
[উ. 3 : 1]

৭। 500 s^{-1} কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একটি তরঙ্গের বেগ কোনো মাধ্যমে 350 ms^{-1}। তরঙ্গস্থিত 60° দশা পার্থক্যে অবস্থিত দুটি বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর। কোনো বিন্দুতে 10^{-3} s সময়ের ব্যবধানে দুটি সরণের মাঝে দশা পার্থক্য কত হবে ?
[উ. 0·116 m ও π rad]

৮। 0·65 m ব্যবধানে অবস্থিত তরঙ্গের দুটি কণার মধ্যে দশা পার্থক্য 6·28 rad। মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ 332·8 ms^{-1} হলে তরঙ্গ উৎসের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 512 Hz]

৯। দুটি সুর শলাকার কম্পাঙ্কের পার্থক্য 32 Hz। বায়ুতে শলাকা দুটির একটির শব্দ তরঙ্গ 9টি ও অপরটির শব্দ তরঙ্গ 10টি পূর্ণ কম্পন দিয়ে একই দূরত্ব অতিক্রম করলে কম্পাঙ্কদ্বয় নির্ণয় কর। [উ. 288 Hz ও 320 Hz]

১০। কোনো একটি মাধ্যমে 640 Hz এর 480 Hz কম্পাঙ্কের দুটি শব্দ তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 1m হলে শব্দের বেগ কত ?
[উ. 1920 ms^{-1}]

১১। একটি সুর শলাকা যে সময়ে 200 বার কম্পন দেয় সে সময়ে এটি দ্বারা সৃষ্ট শব্দ তরঙ্গ বাতাসে 140 m দূরত্ব অতিক্রম করে। সুর শলাকার কম্পাঙ্ক 500 Hz হলে বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [উ:.350 ms^{-1}]

১২। একটি তরঙ্গের দুটি কণা 0·175 m ব্যবধানে অবস্থিত। কণাদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য 1·57 রেডিয়ান। তরঙ্গ উৎসের কম্পাঙ্ক 470 Hz হলে তরঙ্গের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 329 ms^{-1}]

১৩। $y = 1{\cdot}15 \sin (2000\, t + 0{\cdot}01\, x)$, যেখানে সকল রাশি SI এককে প্রকাশিত। তরঙ্গের বিস্তার, কম্পাঙ্ক, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং তরঙ্গ বেগ নির্ণয় কর। [উ:.1·15m, 318·5 Hz, 6·28m, 2×10^5 ms^{-1}]

১৪। $y = 10 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0{\cdot}02} - \frac{x}{15}\right)$ সমীকরণটি একটি অগ্রগামী তরঙ্গ প্রকাশ করছে। এক্ষেত্রে দৈর্ঘ্যের একক সেন্টিমিটার এবং সময়ের একক সেকেন্ডে দেয়া হয়েছে। এ তরঙ্গের বিস্তার, কম্পাঙ্ক, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং তরঙ্গ বেগ নির্ণয় কর।
[উ. 10 cm, 50 Hz, 15 cm, 75 cms^{-1}]

১৫। A মাধ্যমে শব্দের বেগ B মাধ্যমে শব্দের বেগের 5 গুণ। মাধ্যম দুটিতে একটি শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য 4 m। B মাধ্যমে শব্দের বেগ 380 ms^{-1} হলে শব্দ উৎসের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 380 Hz]

১৬। বায়ুতে শব্দ প্রবাহে সৃষ্ট তরঙ্গের পরপর দুটি বিপরীত দশাগ্রস্ত কণার মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·6 m। তরঙ্গ উৎসের কম্পাঙ্ক 300 Hz হলে বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 360 ms^{-1}]

১৭। একটি সুর শলাকা A মাধ্যমে 0·1 m ও B মাধ্যমে 0·15 m তরঙ্গ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তরঙ্গ উৎপন্ন করে। A মাধ্যমে শব্দের বেগ 330 ms^{-1} হলে B মাধ্যমে শব্দ 6s-এ কতদূর যাবে নির্ণয় কর। [উ. 2970 m]

১৮। কোনো একটি মাধ্যমে 640 Hz ও 480 Hz কম্পাঙ্কের দুটি শব্দ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য 1 m হলে শব্দের বেগ কত ? [উ. 1920 ms^{-1}]

১৯। একটি সুর শলাকার কম্পাঙ্ক 264 Hz। সুর শলাকা হতে 42·5 m দূরে শব্দ যাওয়ার সময় অবকাশে শলাকাটি কতটি কম্পন সম্পন্ন করবে ? [বায়ুতে শব্দের বেগ = 340 ms^{-1}] [উ. 33 বার]

২০। তিনটি সুর শলাকার কম্পনের পর্যায়কাল যথাক্রমে 0·008, 0·0025 ও 0·00125 s। বায়ুতে এদের শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 32 : 10 : 5]

২১। দুটি সুর শলাকার কম্পাঙ্কের পার্থক্য 118 Hz। বাতাসে শলাকা দুটি যে তরঙ্গ উৎপন্ন করে তাদের একটির দুটি পূর্ণ তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপরটির তিনটি পূর্ণ তরঙ্গদৈর্ঘের সমান। শলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 118 Hz, 236 Hz]

২২। একটি সুর শলাকা যে সময়ে 200 বার কম্পন দেয় সে সময়ে এটি দ্বারা সৃষ্ট শব্দ তরঙ্গ বাতাসে 140 m দূরত্ব অতিক্রম করে। সুর শলাকার কম্পাঙ্ক 500 Hz হলে বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 350 ms^{-1}]

২৩। দুটি সুর শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 128 Hz ও 384 Hz। বায়ুতে শলাকা দুটি হতে সৃষ্ট শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 3 : 1]

২৪। কোনো শব্দের তীব্রতা প্রমাণ তীব্রতার 100 গুণ হলে ঐ শব্দের তীব্রতার লেভেল কত ডেসিবেল? [উ. 20 dB]

২৫। বায়ুতে একটি শব্দ তরঙ্গের উৎসের তীব্রতা 500 Wm^{-2} এবং বিস্তার 0·15 m। বায়ুর ঘনত্ব 1·29 kgm^{-3} হলে শব্দ উৎসের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। (শব্দের বেগ, $v = 330\ ms^{-1}$) [উ. 162 Hz]

২৬। একটি শব্দ উৎস হতে 1 km দূরে শব্দের তীব্রতা $5·5 \times 10^{-6}$ Wm^{-2} হলে উৎসের ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 69 W]

২৭। একটি স্থির তরঙ্গের সমীকরণ $y = 8 \sin\frac{\pi x}{6} \cos 64\ \pi t$; এখানে x ও y সেন্টিমিটারে ও t সেকেন্ডে দেয়া হয়েছে। যে দুটি তরঙ্গের মিলিত ক্রিয়ায় স্থির তরঙ্গটির উৎপত্তি হয়েছে তাদের বিস্তার, কম্পাঙ্ক ও বেগ নির্ণয় কর। [উ. 0·04 m, 32 Hz ও 3·84 ms^{-1}]

২৮। দুটি সুর শলাকা একটি গ্যাসে 0·50 m এবং 0·505 m দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করে। যদি প্রতি সেকেন্ডে 6টি বীট উৎপন্ন হয় তবে উক্ত গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 303 ms^{-1}]

২৯। এমন দুটি শব্দের তীব্রতার অনুপাত নির্ণয় কর যার একটি অপরটি অপেক্ষা 6 dB বড়। [উ. 3·98]

৩০। কত তীব্রতার শব্দ 1×10^{-9} Wm^{-2} তীব্রতার শব্দ অপেক্ষা 17 dB বড় হবে ? [উ. 5×10^{-8} Wm^{-2}]

৩১। একটি কক্ষের শব্দের তীব্রতা 10^{-7} Wm^{-2}। শব্দের তীব্রতা তিনগুণ হলে নতুন তীব্রতা লেভেল নির্ণয় কর। [উ. 54·77 dB]

৩২। 24টি সুর শলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কে সাজানো আছে। যে কোনো একটি সুর শলাকা এর পূর্ববর্তী শলাকার সাথে সেকেন্ডে 4টি বীট উৎপন্ন করে এবং শেষ সুর শলাকা যদি প্রথমটির অষ্টক হয় তাহলে প্রথম ও শেষ শলাকা দুটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 92 Hz; 184 Hz]

৩৩। কোনো একটি সীমাবদ্ধ মাধ্যমে সৃষ্ট দুটি স্থির তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 320 Hz। তরঙ্গের পরপর দুটি নিঃশব্দ বিন্দুর দূরত্ব 0·50 m। মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 320 ms^{-1}]

৩৪। 1 m ও 1·01 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি শব্দ তরঙ্গ কোনো গ্যাসীয় মাধ্যমে 6টি বীট উৎপন্ন করে। উক্ত গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। [উ. 336·67 ms^{-1}]

৩৫। একটি সুর 512 Hz কম্পাঙ্কের সুর শলাকার সাথে প্রতি সেকেন্ডে 4টি বীট এবং 514 Hz কম্পাঙ্কের অপর একটি সুর শলাকার সাথে প্রতি সেকেন্ডে 6টি বীট উৎপন্ন করে। সুরটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 508 Hz]