প্যারালাল TEXT

(For HSC & Pre-Admission)

পদার্থবিজ্ঞান প্রথম পত্র

অধ্যায়-০৯ : তরঙ্গ

সার্বিক ব্যবস্থাপনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

প্রচ্ছদ
মোঃ রাকিব হোসেন

অক্ষর বিন্যাস
মোহাম্মদ মিঠুন, হৃদয় ও শাওন

অনুপ্রেরণা ও সহযোগিতায়
মাহমুদুল হাসান সোহাগ
মুহাম্মদ আবুল হাসান লিটন

কৃতজ্ঞতা
উদ্ভাস-উন্মেষ-উত্তরণ
শিক্ষা পরিবারের সকল সদস্য

প্রকাশনায়
উদ্ভাস একাডেমিক এন্ড এডমিশন কেয়ার

প্রকাশকাল
প্রথম প্রকাশ: জানুয়ারি, ২০২৩ ইং
সর্বশেষ সংস্করণ: সেপ্টেম্বর, ২০২৩ ইং

অনলাইন পরিবেশক
rokomari.com

কপিরাইট © উদ্ভাস

সমস্ত অধিকার সংরক্ষিত। এই বইয়ের কোনো অংশই প্রতিষ্ঠানের লিখিত অনুমতি ব্যতীত ফটোকপি, রেকর্ডিং, বৈদ্যুতিক বা যান্ত্রিক পদ্ধতিসহ কোনো উপায়ে পুনরুৎপাদন বা প্রতিলিপি, বিতরণ বা প্রেরণ করা যাবে না। এই শর্ত লঙ্ঘিত হলে উপযুক্ত আইনি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হবে।

প্রিয় শিক্ষার্থী বন্ধুরা,

তোমরা শিক্ষা জীবনের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপে পদার্পণ করেছো। মাধ্যমিকের পড়াশুনা থেকে উচ্চ মাধ্যমিকের পড়াশুনার ধাঁচ ভিন্ন এবং ব্যাপক। মাধ্যমিক পর্যন্ত যেখানে 'বোর্ড বই'-ই ছিল সব, সেখানে উচ্চ-মাধ্যমিকে বিষয়ভিত্তিক নির্দিষ্ট কোন বই নেই। কিন্তু বাজারে বোর্ড অনুমোদিত বিভিন্ন লেখকের অনেক বই পাওয়া যায়। একারণেই শিক্ষার্থীরা পাঠ্যবই বাছাইয়ের ক্ষেত্রে দ্বিধায় ভোগে। এছাড়া, মাধ্যমিকের তুলনায় উচ্চ-মাধ্যমিকে সিলেবাস বিশাল হওয়া সত্ত্বেও প্রস্তুতির জন্য খুবই কম সময় পাওয়া যায়। জীবনের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ এই ধাপের শুরুতেই দ্বিধা-দ্বন্দ্ব থেকে মুক্তি দিতে আমাদের এই Parallel Text। উচ্চ মাধ্যমিক পর্যায়ে শিক্ষার্থীদের হতাশার একটি মুখ্য কারণ থাকে পাঠ্যবইয়ের তাত্ত্বিক আলোচনা বুঝতে না পারা। এজন্য শিক্ষার্থীদের মাঝে বুঝে বুঝে পড়ার প্রতি অনীহা তৈরি হয়। তারই ফলস্বরূপ শিক্ষার্থীরা HSC ও বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি পরীক্ষায় ভালো ফলাফল করতে ব্যর্থ হয়।

তোমাদের লেখাপড়াকে আরও সহজ ও প্রাণবন্ত করে তোলার বিষয়টি মাথায় রেখে আমাদের Parallel Text বইগুলো সাজানো হয়েছে সহজ-সাবলীল ভাষায়, অসংখ্য বাস্তব উদাহরণ, গল্প, কার্টুন আর চিত্র দিয়ে। প্রতিটি টপিক নিয়ে আলোচনার পরেই রয়েছে গাণিতিক উদাহরণ; যা টপিকের বাস্তব প্রয়োগ এবং গাণিতিক সমস্যা সমাধান সম্পর্কে ধারণা দেয়ার পাশাপাশি পরবর্তী টপিকগুলো বুঝতেও সাহায্য করবে। তোমাদের বোঝার সুবিধার জন্য গুরুত্বপূর্ণ সংজ্ঞা, বৈশিষ্ট্য, পার্থক্য ইত্যাদি নির্দেশকের মাধ্যমে আলাদা করা হয়েছে। এছাড়াও যেসব বিষয়ে সাধারণত ভুল হয়, সেসব বিষয় 'সতর্কতা' এর মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।

তবে শুধু বুঝতে পারাটাই কিন্তু যথেষ্ট নয়, তার পাশাপাশি দরকার পর্যাপ্ত অনুশীলন। আর এই বিষয়টি আরও সহজ করতে প্রতিটি অধ্যায়ের কয়েকটি টপিক শেষে যুক্ত করা হয়েছে 'টপিকভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান'। যার মধ্যে রয়েছে বিগত বোর্ড পরীক্ষার প্রশ্নের পাশাপাশি বুয়েট, রুয়েট, কুয়েট, চুয়েট, মেডিকেল ও ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়সহ বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভর্তি পরীক্ষার প্রশ্ন ও সমাধান। এভাবে ধাপে ধাপে অনুশীলন করার ফলে তোমরা বোর্ড পরীক্ষার শতভাগ প্রস্তুতির পাশাপাশি ভর্তি পরীক্ষার প্রস্তুতিও নিতে পারবে এখন থেকেই। এছাড়াও অধ্যায় শেষে রয়েছে 'গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম' ও 'গাণিতিক সমস্যাবলি' যা অনুশীলনের মাধ্যমে তোমাদের প্রস্তুতি পূর্ণাঙ্গ হবে।

আশা করছি, আমাদের এই Parallel Text একই সাথে উচ্চ মাধ্যমিকে তোমাদের বেসিক গঠনে সহায়তা করে HSC পরীক্ষায় A+ নিশ্চিত করবে এবং ভবিষ্যতে বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তিযুদ্ধের জন্য প্রস্তুত রাখবে।

তোমাদের সার্বিক সাফল্য ও উজ্জ্বল ভবিষ্যত কামনায়-

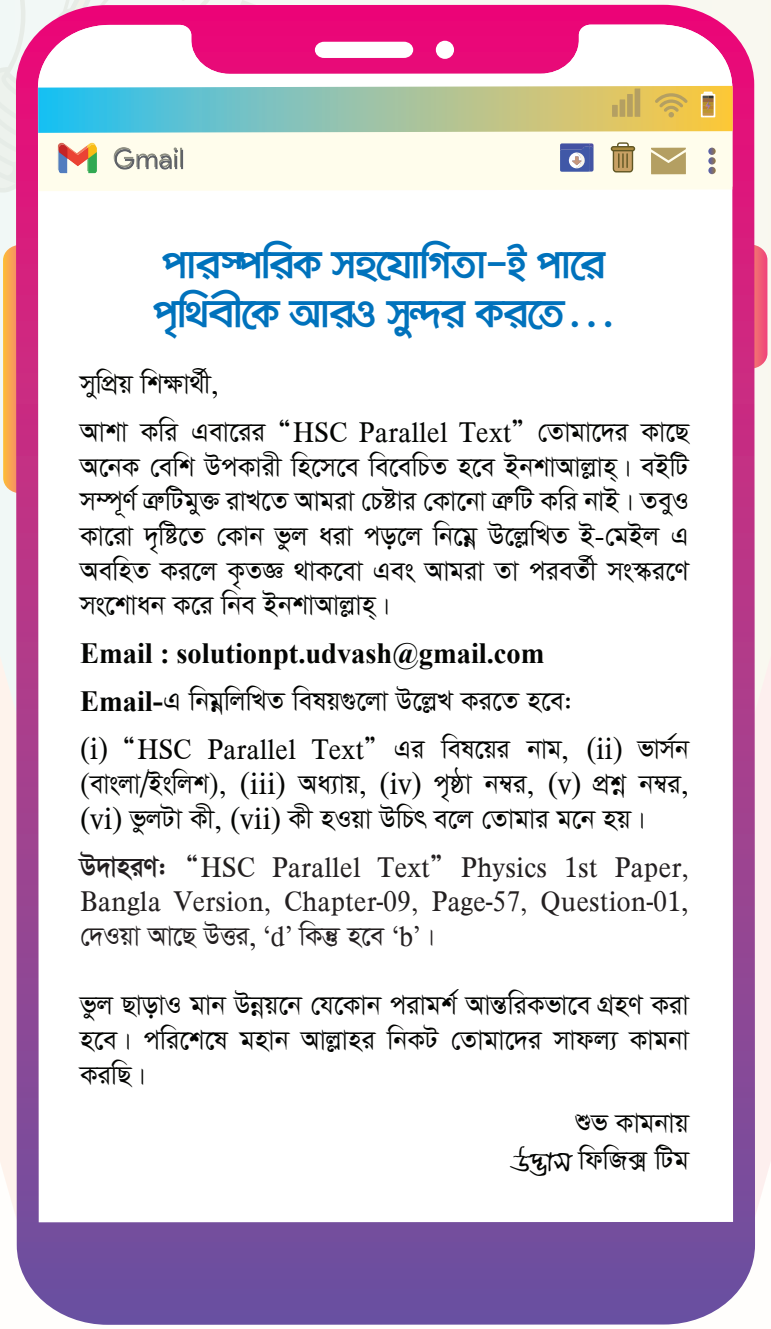
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

সূচিপত্র

পদার্থবিজ্ঞান প্রথম পত্র

অধ্যায়-০৯ : তরঙ্গ

ক্র.নং	বিষয়বস্তু	পৃষ্ঠা
০১	তরঙ্গ	০১
০২	তরঙ্গ ও শক্তি	০৫
০৩	তরঙ্গের বিভিন্ন রাশি ও সমীকরণ	০৬
০৪	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	১৪
০৫	অগ্রগামী তরঙ্গ	১৭
০৬	অগ্রগামী তরঙ্গের দশা ও পথ পার্থক্য ব্যতিচার	২২
০৭	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	২৪
০৮	তরঙ্গের উপরিপাতন	২৭
০৯	মুক্ত কম্পন ও পরবশ কম্পন	৩৬
১০	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	৩৭
১১	তরঙ্গের তীব্রতা	৪৩
১২	হারমোনিক ও স্বরগ্রাম	৫১
১৩	টানা তারে কম্পন	৫২
১৪	বায়ুস্তম্ভের কম্পন	৫৪
১৫	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	৫৭
১৬	একত্রে সব গুরুত্বপূর্ণ সূত্র	৬২
১৭	গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম	৬৩
১৮	গাণিতিক সমস্যাবলি	৬৮



পারস্পরিক সহযোগিতা–ই পারে পৃথিবীকে আরও সুন্দর করতে...

সুপ্রিয় শিক্ষার্থী,

আশা করি এবারের "HSC Parallel Text" তোমাদের কাছে অনেক বেশি উপকারী হিসেবে বিবেচিত হবে ইনশাআল্লাহ্। বইটি সম্পূর্ণ ত্রুটিমুক্ত রাখতে আমরা চেষ্টার কোনো ত্রুটি করি নাই। তবুও কারো দৃষ্টিতে কোন ভুল ধরা পড়লে নিম্নে উল্লেখিত ই-মেইল এ অবহিত করলে কৃতজ্ঞ থাকবো এবং আমরা তা পরবর্তী সংস্করণে সংশোধন করে নিব ইনশাআল্লাহ্।

Email : solutionpt.udvash@gmail.com

Email-এ নিম্নলিখিত বিষয়গুলো উল্লেখ করতে হবে:

(i) "HSC Parallel Text" এর বিষয়ের নাম, (ii) ভার্সন (বাংলা/ইংলিশ), (iii) অধ্যায়, (iv) পৃষ্ঠা নম্বর, (v) প্রশ্ন নম্বর, (vi) ভুলটা কী, (vii) কী হওয়া উচিৎ বলে তোমার মনে হয়।

উদাহরণ: "HSC Parallel Text" Physics 1st Paper, Bangla Version, Chapter-09, Page-57, Question-01, দেওয়া আছে উত্তর, 'd' কিন্তু হবে 'b'।

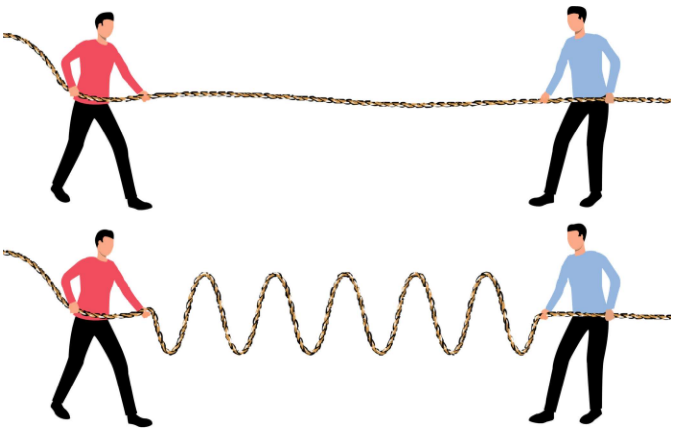
ভুল ছাড়াও মান উন্নয়নে যেকোন পরামর্শ আন্তরিকভাবে গ্রহণ করা হবে। পরিশেষে মহান আল্লাহর নিকট তোমাদের সাফল্য কামনা করছি।

শুভ কামনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

অধ্যায় ০৯

তরঙ্গ

রিফাত-সিফাত দুই বন্ধু স্কিপিং দড়ি দিয়ে দড়িলাফ খেলছিল। রিফাত সিফাতকে বলল সে দড়ি দিয়ে মজার একটি খেলা দেখাবে। সিফাতকে সে দড়ির এক প্রান্ত ধরে রাখতে বলল। এরপর রিফাত অপর প্রান্ত ধরে ক্রমাগত উপর নিচ করতে থাকলো। এতে দড়িতে ঢেউয়ের মত একটি প্যাটার্ন তৈরি হলো। সিফাত এই দৃশ্য দেখে অবাক হলো। রিফাত বললো, এই ঘটনাটিকে বলা হয় তরঙ্গ। আমরা পানিতে ঢিল ছুঁড়লে যে তরঙ্গ তৈরি হয়, সেই ঘটনা আর দড়িতে তরঙ্গ তৈরি হওয়ার ঘটনা আসলে একই। এই অধ্যায়ে আমরা তরঙ্গ কখন, কেন কীভাবে তৈরি হয়, তরঙ্গের কনসেপ্টগুলো ব্যবহার করে আর কী কী করা যায়, সে বিষয়ে আলোচনা করবো।



তরঙ্গ

তরঙ্গ কী, এই বিষয়ে বুঝতে হলে আমাদেরকে স্কিপিং দড়ির উদাহরণটিই ভালোভাবে পর্যবেক্ষণ করতে হবে। এই উদাহরণটি তরঙ্গের সব থেকে সুন্দর এবং সহজ উদাহরণ। স্কিপিং দড়িতে তরঙ্গ তৈরি করার জন্য আসলে কী করা হচ্ছে বলো তো? ক্রমাগতভাবে রিফাতকে এক প্রান্ত ধরে উপর নিচে করতে হয়েছে। আমরা জানি, কোনো ঘটনা বারবার ঘটাকে পর্যায়বৃত্ততা বলে। তাহলে, এই ক্রমাগত ওঠানামাকে আমরা পর্যায়ক্রমিক আন্দোলন বলতে পারি।

আবার, যে ঢেউগুলো তৈরি হচ্ছে, ঢেউগুলো সামনে এগিয়ে যাচ্ছে, এই সামনে এগিয়ে যাওয়ার জন্য নিশ্চয়ই শক্তি প্রয়োজন। দড়িতে এই শক্তি সরবরাহ করছে রিফাত। রিফাত হাত দিয়ে শক্তি প্রয়োগ করছে, এই শক্তি দড়িতে ঢেউ তৈরি করতে করতে রিফাত পর্যন্ত যাচ্ছে। তাহলে আমরা বলতে পারি, তরঙ্গের মাধ্যমে আসলে শক্তির স্থানান্তর হয়।

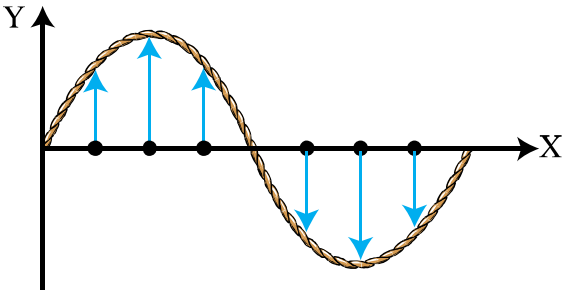


Fig 9.01: তরঙ্গের উৎপত্তি

একটু চিন্তা করে বলো তো, ঢেউগুলো সামনে এগিয়ে গেলেও, দড়িটা কি সামনে এগিয়ে যায়?

না, তা হয় না। দড়ির প্রতিটি কণা শুধু উপর নিচ হতে থাকে, হতে হতেই উৎপন্ন ঢেউগুলো সামনে এগিয়ে যায়। তোমরা নিজেরা যদি দড়ি নিয়ে এই কাজটি করে দেখো, তাহলে আরও সুন্দরভাবে বিষয়টি বুঝতে পারবে। তাহলে, এই যে বৈশিষ্ট্যগুলো আমরা দেখলাম, তরঙ্গ বলতে আমরা এই বৈশিষ্ট্যগুলোকেই একত্রে তরঙ্গ বলি।

তরঙ্গ: যে পর্যাবৃত্ত আলোড়নের মাধ্যমে কণাগুলোর পর্যাবৃত্ত কম্পনের সাহায্যে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়ে একস্থান থেকে অন্যস্থানে শক্তি সঞ্চারিত করে কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলোকে স্থানান্তরিত করে না তাকে তরঙ্গ বলে।

আমাদের চারপাশে তরঙ্গের বিভিন্ন ঘটনা ছড়িয়ে আছে। পানিতে ঢিল ছুঁড়ে মারলে তরঙ্গ তৈরি হয়। আমরা কথা বলার সময় শব্দ উৎপন্ন করি; শব্দ এক প্রকার তরঙ্গ। মজার ব্যাপার হচ্ছে, সূর্য থেকে যে আলো আমাদের পৃথিবীতে আসে, এটিও এক প্রকার তরঙ্গ, যদিও এই উদাহরণটি একটু জটিল। একটি স্প্রিংকে এক প্রান্ত ধরে সংকোচন-প্রসারণ করলে, সেখানে ক্রমাগত সংকোচন-প্রসারণ হতে থাকবে। এটিও এক প্রকার তরঙ্গ। আমরা পানির তরঙ্গকে তরঙ্গের উদাহরণ হিসেবে খুব সহজেই কল্পনা করতে পারলেও, বাকি উদাহরণগুলোকে তরঙ্গ হিসেবে কল্পনা করা একটু কঠিন। এর জন্য আমাদেরকে তরঙ্গের প্রকারভেদ সম্পর্কে জানতে হবে।

তরঙ্গ প্রধানত দুই প্রকার।

(i) যান্ত্রিক তরঙ্গ

(ii) তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ।

যান্ত্রিক তরঙ্গ

রিফাত-সিফাতের স্কিপিং দড়ির উদাহরণে যদি আবার আমরা ফিরে যাই, দড়িতে তরঙ্গ তৈরি করার মাধ্যমে শক্তি একস্থান থেকে অন্যস্থানে গিয়েছে। যদি দড়ি না থাকতো, তাহলে কি রিফাত এভাবে তরঙ্গ তৈরি করতে পারতো? পারতো না। এখান থেকে আমরা বলতে পারি, তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য একটা মাধ্যম প্রয়োজন। সব তরঙ্গের ক্ষেত্রে না, বিশেষ কিছু তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যম প্রয়োজন পড়ে। এই ধরনের তরঙ্গগুলোকে বলা হয় যান্ত্রিক তরঙ্গ।

যান্ত্রিক তরঙ্গ: যে তরঙ্গ সঞ্চালনের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন হয়, তাকে যান্ত্রিক তরঙ্গ বলে।

আমরা আমাদের চারপাশে যে ধরনের তরঙ্গ দেখি, তাদের বেশিরভাগই যান্ত্রিক তরঙ্গ। যেমন: পানি তরঙ্গ, শব্দ তরঙ্গ, দড়িতে উৎপন্ন তরঙ্গ, স্প্রিং তরঙ্গ ইত্যাদি সবই যান্ত্রিক তরঙ্গ।

যান্ত্রিক তরঙ্গ সম্পর্কে আরও ভালোভাবে বুঝতে চলো আমরা দেখার চেষ্টা করি, তরঙ্গগুলো কীভাবে উৎপন্ন হয়।

Fig 9.02: বিভিন্ন প্রকার তরঙ্গ

বিভিন্ন যান্ত্রিক তরঙ্গের উৎপত্তি

পানিতে তরঙ্গ সৃষ্টি করা

Fig 9.03

বাথটাবে বা পুকুরের স্থির পানির উপর বড় পাথরের টুকরা ফেল। এতে যে ঢেউয়ের সৃষ্টি হবে সেটি এক প্রকার তরঙ্গ। এই তরঙ্গের মাঝে ছোট কচুরিপানা বা শোলা রাখলে দেখবে তা একই স্থানে থেকে উপরে নিচে আলোড়িত হচ্ছে। অর্থাৎ, পানির কণা স্থানান্তরিত না হয়ে তরঙ্গ সঞ্চালনের দিকের সাথে সমকোণে কম্পিত হচ্ছে আর শক্তি সঞ্চালিত হচ্ছে। তবে মনে রাখতে হবে, বাস্তব জগতে পানির ঢেউ সবসময় পর্যায়বৃত্ত গতিতে স্পন্দিত হয় না। তাই, সব রকমের ঢেউ-ই তরঙ্গ নয়।

লক্ষ্য করার মত বিষয় হচ্ছে, পানির তরঙ্গে কণাগুলো কাঁপে উপরে-নিচে, কিন্তু তরঙ্গ যাচ্ছে ডানে কিংবা বামে।

টানা তারে তরঙ্গ সৃষ্টি করা

একটি শক্ত দড়ি বা তারের দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকিয়ে বা বাড়িতে কাপড় শুকানোর জন্য ব্যবহৃত এরূপ টানটান দড়িকে অনুভূমিক এর দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে এরপর ছেড়ে দাও। তাতে উত্থান-পতনের মাধ্যমে একটি তরঙ্গের সৃষ্টি হবে। এক্ষেত্রে দড়ির প্রতিটি কণা উপরে-নিচে কম্পিত হচ্ছে, কিন্তু তরঙ্গ এই কম্পনের দিকের সাথে সমকোণে অগ্রসর হচ্ছে। এই বিষয়টি আমাদের খেয়াল রাখতে হবে।

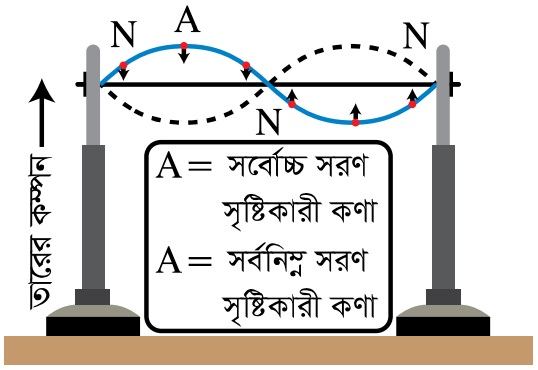


Fig 9.04

স্প্রিংয়ে তরঙ্গ সৃষ্টি করা

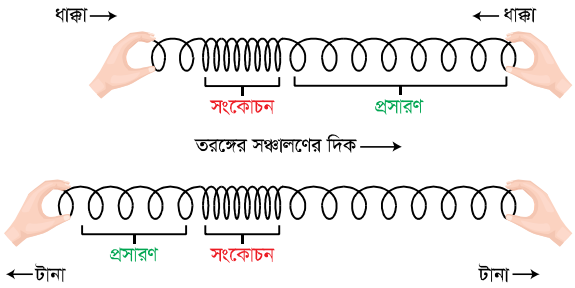


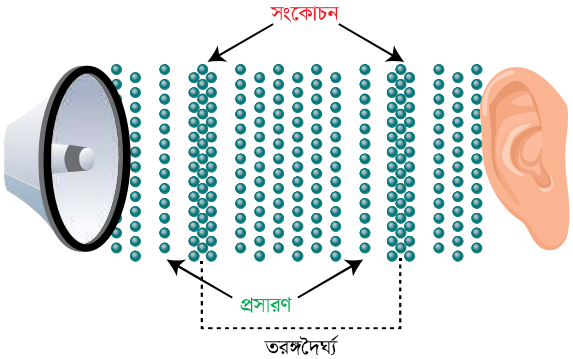
Fig 9.05

এবার একটা স্প্রিং বিবেচনা করা যাক। একটি লম্বা আদর্শ স্প্রিং এর এক প্রান্ত এক হাতে ও অপর প্রান্ত হাত দিয়ে টানা হয়। তারপর একে ক্রমাগত পর্যাবৃত্ত গতিতে টানলে এবং ছেড়ে দিলে দেখা যাবে, স্প্রিং এর কোনো কোনো স্থানে প্যাঁচগুলো খুব কাছাকাছি আসছে, আবার কোনো কোনো স্থানে প্যাঁচগুলো অনেক দূরে সরে যাচ্ছে। কিছুক্ষণ পর দেখা যাবে যে, কাছাকাছি আসা প্যাঁচগুলো দূরে সরে যাচ্ছে। দূরে সরে যাওয়া প্যাঁচগুলো কাছাকাছি আসছে। এভাবে, স্প্রিং এর তারে পর্যায়ক্রমে প্যাঁচগুলো প্রসারিত ও সংকুচিত হতে থাকবে।

এই কম্পনের জন্য স্প্রিং এর দৈর্ঘ্য বরাবর যে আলোড়ন সৃষ্টি হয় তা স্প্রিং এর মধ্যে দৈর্ঘ্য বরাবরই সঞ্চালিত হয়। এটিও এক প্রকার তরঙ্গ। কিন্তু এই তরঙ্গে সংকোচন-প্রসারণ ঘটছে ডানে-বামে, এবং তরঙ্গ অগ্রসরও হচ্ছে ডানে-বামে **(Fig 9.05)**।
অর্থাৎ, কণাগুলোর কম্পনের দিক এবং তরঙ্গের অগ্রসর হওয়ার দিক একই।

সুর শলাকায় শব্দ তরঙ্গ তৈরি হওয়া

শব্দ এক প্রকার তরঙ্গ। উৎসের কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। কোনো উৎস পর্যায়ক্রমিকভাবে কম্পিত হতে থাকলে, তার সামনে যদি বায়ু মাধ্যম থাকে, উৎস সেই বায়ু মাধ্যমের কণাগুলোকে স্প্রিংয়ের মত সংকুচিত-প্রসারিত করে। ক্রমাগত সংকোচন-প্রসারণের ফলে যে তরঙ্গ উৎপন্ন হচ্ছে, এটিই শব্দ তরঙ্গ। এই কম্পন আমাদের কানে এসে কানের পর্দাকে কম্পিত করলে আমরা শব্দ শুনতে পাই। **(Fig 9.06)** এ শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রেও আমরা দেখতে পাচ্ছি, কণাগুলোর ঘনত্বের সংকোচন-প্রসারণ হচ্ছে ডানে-বামে, তরঙ্গ অগ্রসরও হচ্ছে একই দিকে বা সমান্তরালে। অর্থাৎ, কণার কম্পন ও তরঙ্গের দিক সমান্তরাল।



তরঙ্গদৈর্ঘ্য

Fig 9.06

আমরা দেখতে পাচ্ছি, বিভিন্ন রকমের তরঙ্গ বিভিন্নভাবে কম্পিত হয়ে সামনের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। তরঙ্গ কীভাবে সঞ্চালিত হচ্ছে, সেই প্রক্রিয়ার উপর নির্ভর করে যান্ত্রিক তরঙ্গকে দুই ভাগে ভাগ করা হয়। যথা:

(i) অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বা আড় তরঙ্গ
(ii) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বা দীঘল তরঙ্গ

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ

একটু আগে আমরা পানিতে ঢিল ছোঁড়া, টানা তারে তরঙ্গ তৈরি করা, ইত্যাদি ক্ষেত্রে একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য দেখেছি যে, মাধ্যমের কণাগুলো যে দিকে গতিশীল থাকে, তরঙ্গ তার সাথে লম্বদিকে গতিশীল থাকে।

Fig 9.07

আমাদের সবচেয়ে পরিচিত তরঙ্গ, দড়িতে উৎপন্ন তরঙ্গ যদি আমরা খেয়াল করি, তাহলে আমরা দেখব দড়ির প্রতিটি কণা উপরে অথবা নিচে যাচ্ছে। আমরা বলতে পারি, মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিক উপরে-নিচে অর্থাৎ, Y অক্ষ। কিন্তু, তরঙ্গ বা দড়িতে দেখা যাওয়া ঢেউ কোনদিকে আগাচ্ছে বলো তো? তরঙ্গ আগাচ্ছে ডানদিকে বা X অক্ষ বরাবর। আমরা বলতে পারি, মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে লম্বদিকে তরঙ্গ অগ্রসর হচ্ছে। এই ধরনের তরঙ্গকে বলা হয় অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ: যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে লম্বভাবে অগ্রসর হয়, সেই তরঙ্গকে অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলে।

পানি তরঙ্গ, টানা তারের তরঙ্গ, ইত্যাদি আড় তরঙ্গের উদাহরণ।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ

স্প্রিংয়ে তরঙ্গ তৈরির ঘটনা আমরা আগেই দেখেছি। স্প্রিংয়ে যদি হাত দিয়ে x-অক্ষ বরাবর সংকোচন-প্রসারণ হয়, তাহলে তরঙ্গ অগ্রসরও হয় x-অক্ষ বরাবর। অর্থাৎ, কণার কম্পনের দিক ও তরঙ্গ সঞ্চালনের দিক একই দিকে বা সমান্তরালে থাকে। এই ধরনের তরঙ্গকে বলা হয় অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বা দীঘল তরঙ্গ।

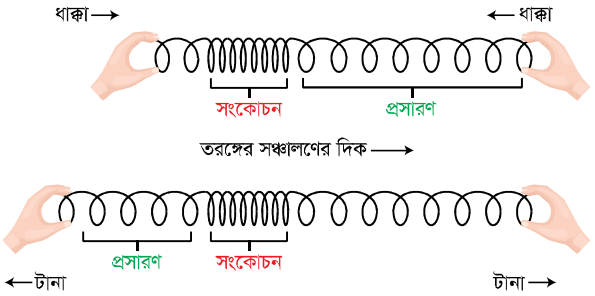


Fig 9.08

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ: যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর গতির অভিমুখের সমান্তরালে অগ্রসর হয়, সেই তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলে।

আমাদের চারপাশে সবথেকে বেশি অনুভব করা তরঙ্গ হচ্ছে শব্দ তরঙ্গ। শব্দ এক প্রকার অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।

অনুদৈর্ঘ্য আর অনুপ্রস্থ তরঙ্গের মাঝে বেশকিছু পার্থক্য বিদ্যমান।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ	অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ
(i) যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে সমকোণে অগ্রসর হয় তাই আড় তরঙ্গ।	(i) যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলোর কম্পনের দিকের সাথে সমান্তরালে অগ্রসর হয় তাই লম্বিক তরঙ্গ।
(ii) মাধ্যমে তরঙ্গ চূড়া ও তরঙ্গখাঁজ উৎপন্ন করে সঞ্চালিত হয়।	(ii) সংকোচন ও প্রসারণের মাধ্যমে তরঙ্গ সঞ্চালিত হয়।
(iii) একটি তরঙ্গ চূড়া ও তরঙ্গপাদ নিয়ে তরঙ্গদৈর্ঘ্য গঠিত।	(iii) একটি সংকোচন ও প্রসারণ নিয়ে তরঙ্গদৈর্ঘ্য গঠিত।
(iv) কঠিন পদার্থে এ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। তবে তল টানের জন্য প্রবাহীতেও সৃষ্টি হতে পারে।	(iv) কঠিন, তরল ও গ্যাসে এ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়।
(v) সমবর্তন ঘটে।	(v) সমবর্তন ঘটে না।

তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ

তাড়িতচুম্বক তরঙ্গের নাম থেকে আমরা বুঝতে পারছি এর সাথে তড়িৎ এবং চুম্বকের কিছু একটা সম্পর্ক আছে। তড়িৎক্ষেত্র যদি পরিবর্তনশীল হয়, তখন সেটিকেও একটি তরঙ্গ হিসেবে বিবেচনা করা যায়। চুম্বকক্ষেত্রের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটে। এই তড়িৎক্ষেত্র-তরঙ্গ আর চুম্বকক্ষেত্র তরঙ্গ একসাথে পরস্পর লম্বভাবে অগ্রসর হলে সেটিকে একত্রে বলা হয় তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ। এই বিষয়ে পদার্থবিজ্ঞান ২য় পত্রের ৭ম অধ্যায়ে আমরা বিস্তারিত জানবো। আমাদের এই অধ্যায়ে আমরা আমাদের আলোচনা যান্ত্রিক তরঙ্গতেই সীমাবদ্ধ রাখবো।

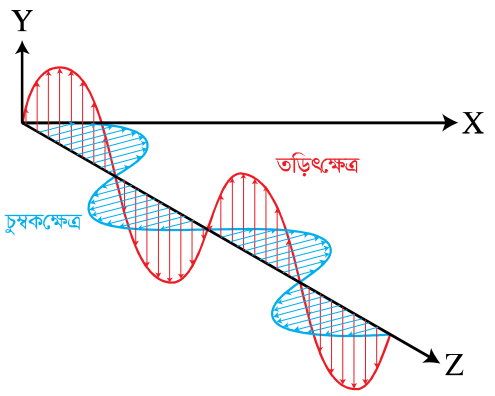


Fig 9.09

তাড়িতচুম্বক তরঙ্গকে যান্ত্রিক তরঙ্গ থেকে আলাদা করার সবচেয়ে বড় কারণ হলো, যান্ত্রিক তরঙ্গ চলাচলের জন্য মাধ্যমের প্রয়োজন হলেও, তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ চলাচলের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। আলো এক প্রকার তাড়িতচুম্বক তরঙ্গ। সূর্য থেকে আমাদের পৃথিবীতে যে আলো আসে, তা এক প্রকার তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। গামা রশ্মি, এক্সরে, বেতার তরঙ্গ এসবই তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ। শূন্যস্থানে সকল তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বেগ $299,792,458\ ms^{-1}$ বা $3 \times 10^8 ms^{-1}$(প্রায়)।

তৃতীয় আর এক ধরনের তরঙ্গ আছে যাকে বলা হয় বস্তু তরঙ্গ (Matter Wave)। পদার্থ সৃষ্টিকারী কণা যথা ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন, পরমাণু, অণু ইত্যাদির সাথে বস্তু তরঙ্গ সংশ্লিষ্ট। এ তরঙ্গ সম্পর্কেও তোমরা পরবর্তীতে জানতে পারবে। পদার্থের কোয়ান্টাম প্রকৃতির সাথে এ তরঙ্গ সম্পর্কযুক্ত।

তরঙ্গ ও শক্তি

আমরা জানি, তরঙ্গের মাধ্যমে শক্তি একস্থান থেকে আরেক স্থানে সঞ্চালিত হয়। শক্তি কীভাবে সঞ্চালিত হয়, সে সম্পর্কে আমরা একটা ধারণা লাভ করার চেষ্টা করব।

আমরা যদি শব্দ তরঙ্গের কথা চিন্তা করি, কোনো উৎসের কম্পনের ফলে শব্দ উৎপন্ন হয়। উৎস হিসেবে একটি সুরশলাকা নেওয়া হলো। সুরশলাকায় শব্দ উৎপন্ন হয়ে বায়ুর কণাগুলো মাধ্যমে সামনের দিকে অগ্রসর হবে।

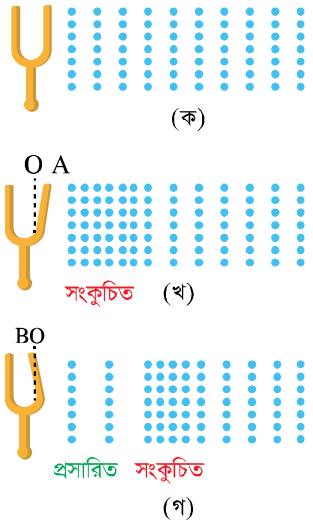


Fig 9.10

ধরা যাক, সুরশলাকার সামনের বায়ুমণ্ডল কতগুলো উল্লম্ব স্তরে বিভক্ত। স্বাভাবিক অবস্থায় স্তম্ভের সর্বত্র বায়ুর ঘনত্ব সমান। **(Fig 9.10-ক)** সমান দূরত্বে উলম্ব রেখা তাই নির্দেশ করছে।

এবার, **(Fig 9.10-খ)** সুরশলাকাকে আঘাত করে কম্পন সৃষ্টি করা হলে এর বাহু সামনে-পিছনে আসা যাওয়া করতে থাকবে। তখন সুরশলাকার বাহু সাম্যাবস্থান O থেকে A এর দিকে অগ্রসর হবে এবং সামনের বায়ুকে ধাক্কা দেবে। ফলে সামনের বায়ুর স্তর সংকুচিত হবে। স্থিতিস্থাপকতার জন্য সংকোচন যেখানে হয়েছে, তার একটু সামনের বায়ু প্রসারিত হবে।

আবার সুরশলাকার বাহু যখন O থেকে B এর দিকে অগ্রসর হবে তখন এর পশ্চাতে একটি শূন্যতার সৃষ্টি হবে। এ ধরনের শূন্যতা পূরণের জন্য বায়ুস্তর প্রসারিত হবে। ফলে, সুর-শলাকার ঠিক সামনে একটি প্রসারণ থাকবে, কিন্তু আগ মুহূর্তের সংকোচন একটু সামনে চলে যাবে **(Fig 9.10-গ)**। এভাবে সুর-শলাকা যতবার সামনে-পিছনে গতিশীল হতে থাকবে, তত সংকোচণ-প্রসারণ একস্তর থেকে অন্যস্তরে সঞ্চালিত হয়ে সামনে অগ্রসর হতে থাকবে। সুরশলাকার প্রতিটি কম্পনের জন্য একটি সংকোচন ও প্রসারণ সৃষ্টি হবে।

এভাবে বায়ুর কণাগুলোকে সংকুচিত ও প্রসারিত করার জন্য প্রয়োজন শক্তি। সুরশলাকা এই শক্তি পায় এটিকে আঘাত করার ফলে এবং এই শক্তিই সংকোচন-প্রসারণের মাধ্যমে সামনের দিকে অগ্রসর হতে থাকে। এভাবেই তরঙ্গের মাধ্যমে শক্তি সঞ্চালিত হয়।

একই ঘটনা ঘটে যখন পানিতে ঢিল ছোঁড়া হয়। কচুরিপানাযুক্ত পুকুরে ঢিল ছুঁড়লে তোমরা দেখবে, পানিতে ঢেউ সৃষ্টি হচ্ছে, ঢেউ সামনের দিকে এগিয়ে যাচ্ছে ঠিকই, কিন্তু কচুরিপানাগুলো একই স্থানে থেকে শুধু উপরে-নিচে নামছে। অর্থাৎ, ঢিলের মাধ্যমে ছুঁড়ে দেওয়া শক্তি ঢেউয়ের মাধ্যমে ছড়িয়ে যাচ্ছে, কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলোর সরণ হচ্ছে না। এভাবেই তরঙ্গ শক্তি সঞ্চালন করে থাকে।

তরঙ্গের বিভিন্ন রাশি ও সমীকরণ

আমাদের আগের আলোচনায় আমরা তরঙ্গ কী, তা জেনেছি। তরঙ্গের বিভিন্ন প্রকারভেদ সম্পর্কে জেনেছি, তরঙ্গ কীভাবে উৎপত্তি হয় এবং শক্তি সঞ্চালিত করে, সেটিও জেনেছি। তরঙ্গ যেহেতু একটি গতিশীল ঘটনা, তরঙ্গের গতির প্রক্রিয়া সম্পর্কেও আমাদের জানতে হবে।

দড়িতে উৎপন্ন তরঙ্গ যদি বিবেচনা করা হয়, তাহলে তরঙ্গের উপর একটি কণা C বিবেচনা করি। C বিন্দুটি এক পর্যায়ে সর্বোচ্চ উচ্চতায় উঠে আবার সাম্যাবস্থানে ফেরত আসে। তারপর আবার সর্বনিম্ন বিন্দুতে নামে।

শুধুমাত্র একটি কণার কথা যদি বিবেচনা করি, তাহলে দেখা যাচ্ছে, কণাটি তার গতিপথের অর্ধেক সময় সাম্যবস্থার একদিকে, আর বাকি অর্ধেক সময় তার বিপরীত দিকে গতিশীল থাকে। অর্থাৎ, কণাগুলোর গতিকে আমরা স্পন্দন গতি বলতে পারি।

আবার কণাটি যখন উপরের দিকে উঠতে উঠতে সর্বোচ্চ বিন্দুতে উঠে, তারপর নিচের দিকে নামা শুরু করে স্থিতিস্থাপকতার কারণে। বস্তুটি সাম্যাবস্থা থেকে যখন উপরে উঠতে থাকে, তখন নিচের দিকে প্রত্যয়নী বল(Restoring Force) লাভ করে সাম্যাবস্থায় ফেরত আসার জন্য। ফলে বেগ কমতে কমতে সর্বোচ্চ বিন্দুতে বেগ 0 হয়। এরপর সেটি নিচে নামা শুরু করে। নামতে নামতে সাম্যাবস্থায় বেগ সর্বোচ্চ হয়। যখন সাম্যাবস্থারও নিচে যাওয়া শুরু করে, তখন উপরের দিকে বল লাভ করতে থাকে এবং সর্বনিম্ন বিন্দুতে বেগ 0, ত্বরণ সর্বোচ্চ হয়। এরপর আবার উপরে ওঠা শুরু করে। আমরা বুঝতে পারছি, একটি কণার সরণের বিপরীত দিকে সবসময় ত্বরণ কাজ করে; যা সরল ছন্দিত স্পন্দনের বৈশিষ্ট্য। এখান থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে, তরঙ্গের কণাগুলোর গতি হচ্ছে সরল ছন্দিত স্পন্দন।

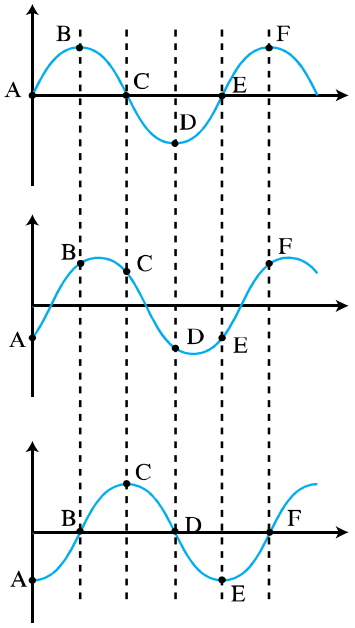


Fig 9.11

তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য:

আমাদের এ পর্যন্ত আলোচনা থেকে আশা করি তরঙ্গ নিয়ে একটা সার্বিক ধারণা পেয়েছো। তাহলে, আমরা তরঙ্গের বেশকিছু বৈশিষ্ট্য চিহ্নিত করতে পারি:

(i) যান্ত্রিক তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য মাধ্যম প্রয়োজন।

(ii) তরঙ্গ সঞ্চালনের সময় মাধ্যমের অণুগুলো সরলছন্দিত স্পন্দন গতিতে গতিশীল থাকে। আর মাধ্যমের সবগুলো কণার সম্মিলিত কম্পনই তরঙ্গ। এজন্য মাধ্যম স্থিতিস্থাপক হতে হয়।

(iii) যেহেতু তরঙ্গের কণাগুলো সরল ছন্দিত স্পন্দন গতিতে গতিশীল, তাই কণাগুলো অর্থাৎ তরঙ্গস্থিত মাধ্যমের কণাগুলো বিস্তার পর্যায়কাল, কম্পাঙ্ক, বেগ ত্বরণ আছে। আবার তরঙ্গের নিজস্ব বেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক আছে। তরঙ্গের কণাগুলোর স্পন্দনের ত্বরণ থাকলেও তরঙ্গের গতির দিকে কোনো ত্বরণ নেই। তাই তরঙ্গ ধ্রুববেগে সামনের দিকে সঞ্চালিত হয়।

(iv) তরঙ্গ একস্থান থেকে অন্যস্থানে শক্তি সঞ্চালিত করে।

(v) তরঙ্গ এক কণা থেকে অন্য কণায় সামনের দিকে এগিয়ে চলে।

তরঙ্গ সংশ্লিষ্ট রাশি

পূর্ণ কম্পন বা পূর্ণ স্পন্দন (Complete Oscillation)

সাধারণভাবে, কোনো কম্পমান বস্তু তার কম্পনের সম্পূর্ণ পথ ঘুরে এলে তাকে একটি পূর্ণ কম্পন বা পূর্ণ স্পন্দন বলে। তরঙ্গের পূর্ণ স্পন্দন নির্ণয়ের ক্ষেত্রে, আমরা যদি একটি কণার কথা বিবেচনা করি, **(Fig 9.12)** এর A বিন্দুর কথাই যদি চিন্তা করো, বিন্দুটি সাম্যাবস্থানে আছে। এটি উপরে উঠবে, আবার সাম্যাবস্থানে নামবে, তারপর নিচে নামবে, আবার উঠে সাম্যাবস্থানে আসবে। এই পুরো প্রক্রিয়াটিকে বলা হয় একটি পূর্ণ স্পন্দন। আর A বিন্দুটি সম্পূর্ণ একটি স্পন্দন সম্পন্ন করার সময় মূল তরঙ্গটি কতদূর যাবে বলতো? মূল তরঙ্গটিও A বিন্দু থেকে ঠিক তার পরবর্তী সমদশা সম্পূর্ণ কণায় গিয়ে পৌঁছাবে। অর্থাৎ, তরঙ্গ A বিন্দু থেকে E বিন্দু পর্যন্ত যাবে। এটিকেই পূর্ণ স্পন্দন বলে।

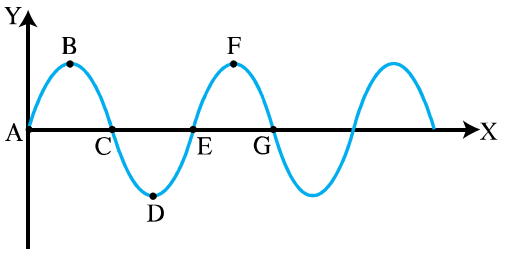


Fig 9.12

পূর্ণ স্পন্দন: কোনো কম্পমান বস্তু একটি বিন্দু হতে যাত্রা করে আবার একই দিক থেকে সেই বিন্দুতে ফিরে এলে যে কম্পন সম্পন্ন হয় তাকে পূর্ণ স্পন্দন বলে।

একটু খেয়াল করলে দেখবে, A বিন্দু আর E বিন্দু দুটো একই দশায় আছে। দুটি বিন্দুর অবস্থান, গতি-প্রকৃতি সব মিলিয়ে একটি সামগ্রিক অবস্থাকে দশা বলে। দশা সম্পর্কে আমরা বিস্তারিত একটু পরেই জানবো।
আবার, B বিন্দু আর F বিন্দু দুটোই সর্বোচ্চ বিন্দুতে অবস্থিত এবং B বিন্দু থেকে F এ যেতেও তরঙ্গ সম্পূর্ণ একটি স্পন্দন সম্পন্ন করবে। তাহলে আমরা পূর্ণস্পন্দনকে এভাবেও বলতে পারি যে, পর পর সমদশা সম্পন্ন দুটি কণার মাঝে তরঙ্গ একটি পূর্ণস্পন্দন সম্পন্ন করে। B থেকে F একটি পূর্ণস্পন্দন, C থেকে G বিন্দু একটি পূর্ণস্পন্দন।

দোলনকাল/পর্যায়কাল (Time Period)

এর আগের আলোচনায় আমরা পূর্ণস্পন্দন সম্পর্কে জেনেছি। এই একটি পূর্ণস্পন্দন সম্পন্ন করতে মাধ্যমের কণার যত সময় লাগে, তাকে বলা হয় দোলনকাল বা পর্যায়কাল।

পর্যায়কাল: তরঙ্গ সঞ্চালনকারী মাধ্যমের কোনো কণা একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে যে সময় নেয় তাকে দোলনকাল বলে।

পর্যায়কালকে প্রকাশ করা হয় T দিয়ে। পর্যায়কাল যেহেতু এক প্রকার সময়, তাই এর একক সেকেন্ড (s)।
কম্পনশীল বস্তু যদি N সংখ্যক পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে t সময় নেয়,
তাহলে একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে সময় লাগবে $\frac{t}{N}$
সুতরাং, $\boxed{\text{পর্যায়কাল, } T = \frac{t}{N}}$

কম্পাঙ্ক (Frequency)

কম্পাঙ্ক: তরঙ্গায়িত মাধ্যমের কোনো কম্পনশীল কণা এক সেকেন্ডে যতগুলো পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাকে কম্পাঙ্ক বলে।

কম্পাঙ্ককে প্রকাশ করা হয় f দ্বারা। কম্পাঙ্কের একক হল s^{-1}(per second) বা হার্জ (Hz)। অনেক সময় Cycle/s এককও ব্যবহার করা হয়। তরঙ্গ এক সেকেন্ডে একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করলে তার কম্পাঙ্ক এক হার্টজ। $1s^{-1} = 1$ Hz।
কম্পনশীল বস্তু t সময়ে যদি N সংখ্যক পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে,
তাহলে, একক সময়ে পূর্ণ কম্পন দিবে $\frac{N}{t}$ সংখ্যক।

$$\therefore \boxed{\text{কম্পাঙ্ক } f = \frac{N}{t}}$$

বিষয়টি এভাবেও নির্ণয় করা যায় যে, পর্যায়কাল T হলে,
T সেকেন্ডে পূর্ণস্পন্দন দেয় 1টি
$\therefore$ 1 সেকেন্ডে পূর্ণস্পন্দন দেয় $\frac{1}{T}$ টি

$$\boxed{\text{কম্পাঙ্ক } f = \frac{1}{T}}$$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wavelength)

একটি পূর্ণস্পন্দনে তরঙ্গটি কত দূরত্ব অতিক্রম করলো, সেই দূরত্বটিকে একটি আলাদা রাশি হিসেবে নাম দেওয়া হয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য। **(Fig 9.13)** এর AE অংশের দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

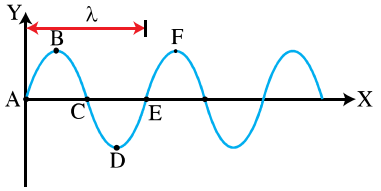


Fig 9.13

তরঙ্গদৈর্ঘ্য: তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কোনো কম্পনশীল বস্তুর একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে হলে যে সময় লাগে সেই সময়ে ঐ বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট তরঙ্গ যে সরল রৈখিক দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ মাধ্যমের জন্য ঐ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে λ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এটি যেহেতু এক প্রকার দূরত্ব, এর একক হচ্ছে m (মিটার)।

তরঙ্গবেগ (Wave velocity)

আগের আলোচনাতেই আমরা দেখেছি, তরঙ্গ যে দিক বরাবর অগ্রসর হয়, সেই দিক বরাবর তরঙ্গের কোনো ত্বরণ থাকে না। তাই, তরঙ্গ একটি নির্দিষ্ট বেগে চলে। সেই বেগই হলো তরঙ্গবেগ।

তরঙ্গবেগ: কোনো মাধ্যমে তরঙ্গ নির্দিষ্ট দিকে একক সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গবেগ বলে।

তরঙ্গবেগকে v দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোনো একটি তরঙ্গ T সময়ে λ দূরত্ব অতিক্রম করে

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

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

আবার, $v = f\lambda \left[f = \frac{1}{T}\right]$

$\therefore$ তরঙ্গবেগ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\times$ কম্পাঙ্ক

$\boxed{v = f\lambda}$

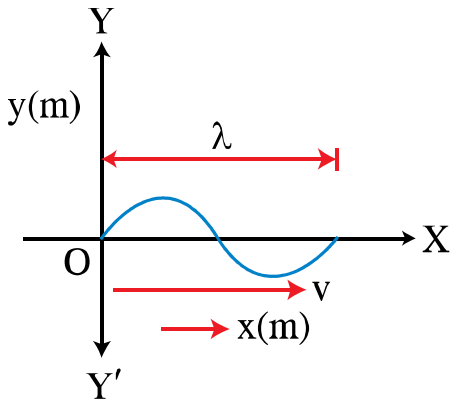


Fig 9.14

যদি তরঙ্গ মাধ্যমে পরিবর্তন না করে তবে তরঙ্গের বেগ v_0 পরিবর্তন হবে না। সেক্ষেত্রে, $f\lambda =$ ধ্রুবক $\therefore f \propto \frac{1}{\lambda}$

আবার যদি তরঙ্গ সৃষ্টিকারী উৎস অপরিবর্তিত থাকে তবে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ধ্রুবক হয়। সেক্ষেত্রে, $\frac{v}{\lambda} =$ ধ্রুবক $\therefore v \propto \lambda$

উদাহরণ-০১: কোনো একটি তরঙ্গ $330\,m^{-1}$ বেগে সামনে আগাচ্ছে তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3×10^{-9} m হলে, এর কম্পাঙ্ক ও পর্যায়কাল নির্ণয় কর।

সমাধান: এইক্ষেত্রে আমরা সরাসরি বেগের সূত্র ব্যবহার করলেই হয়ে যাবে।

$$v = f\lambda$$
$$\Rightarrow 330 = f \times (3 \times 10^{-9})$$
$$\Rightarrow f = 1.1 \times 10^{11}\ \text{Hz}$$

এটিই হচ্ছে এই তরঙ্গের কম্পাঙ্ক।

আবার, কম্পাঙ্কের সাথে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সম্পর্ক হচ্ছে, $f = \frac{1}{T}$

$$\therefore 1.1 \times 10^{11} = \frac{1}{T}$$
$$\Rightarrow T = 9.09 \times 10^{-12}\ \text{s}$$ **(Ans.)**

তরঙ্গশীর্ষ (Crest)

আমরা জানি, পানিতে সৃষ্ট তরঙ্গ হলো অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বা আড় তরঙ্গ। এ ধরনের তরঙ্গে কণার গতিপথের ধনাত্মক দিকে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গশীর্ষ বলে। পরপর দুইটি তরঙ্গশীর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান। চিত্রে A, A′ বিন্দুগুলো হল তরঙ্গশীর্ষ।

তরঙ্গপাদ (Trough)

আড় তরঙ্গের ক্ষেত্রে এর ঋণাত্বক দিকে সর্বাধিক সরণের বিন্দুকে তরঙ্গপাদ বলে। পরপর দুইটি তরঙ্গপাদের মধ্যবর্তী দূরত্বকেও তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। চিত্রে B, B′ তরঙ্গপাদ।

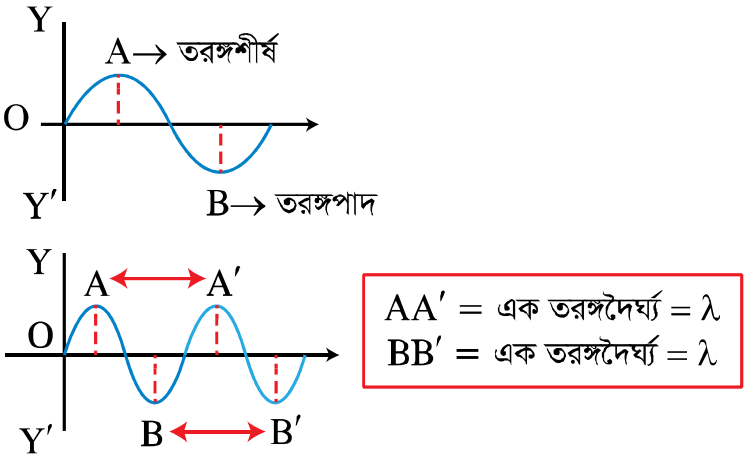


Fig 9.15

বিস্তার (Amplitude)

বিস্তার: তরঙ্গের উপর অবস্থিত কোনো কম্পনশীল কণার সাম্যাবস্থান থেকে যেকোনো একদিকে সর্বাধিক যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ কণার বা তরঙ্গের (রৈখিক) বিস্তার বলে।

বিস্তার প্রকাশ করা হয় a দিয়ে। এটি যেহেতু এক প্রকার দৈর্ঘ্য, এটির এককও m। **(Fig 9.16)** এ AB অংশের দৈর্ঘ্য হচ্ছে একটি বিস্তার। আবার, CD অংশের দৈর্ঘ্যও বিস্তার।

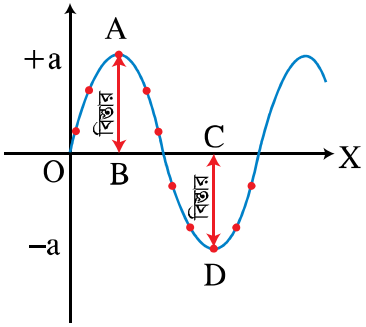


Fig 9.16

দশা (Phase)

তরঙ্গের কোনো একটি কণা যেকোনো মুহূর্তে যে অবস্থায় থাকে, তাকেই ঐ বিন্দুর দশা বলে। **(Fig 9.17)** এর দিকে যদি আমরা A বিন্দুতে লক্ষ্য করি, কণাটি পরের মুহূর্তে নিচের দিকে যেতে চাচ্ছে। এমন বৈশিষ্টের আরেকটি কণা আছে E বিন্দু। খেয়াল করলে দেখতে পাবে, E বিন্দুও এখন যে অবস্থায় আছে, পরের মুহূর্তে সেখান থেকে নিচে নামতে চাচ্ছে। এই কারণে আমরা বলে থাকি, A বিন্দু ও E বিন্দু দুটি একই দশায় অবস্থিত। একইভাবে, C ও G বিন্দু, B ও F বিন্দু একই দশায় আছে।

আরেকটি ব্যাপার লক্ষ্য করার মত হচ্ছে, পর পর উপস্থিত প্রতিটি সমদশা সম্পন্ন কণার মধ্যবর্তী দূরত্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (λ) সমান।

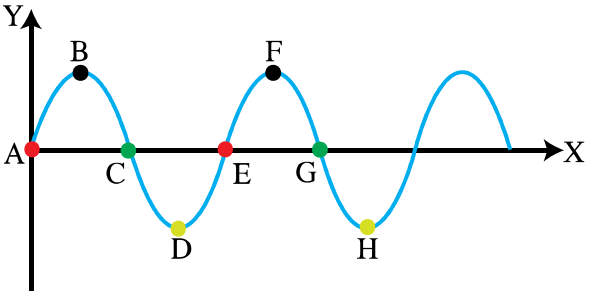


Fig 9.17

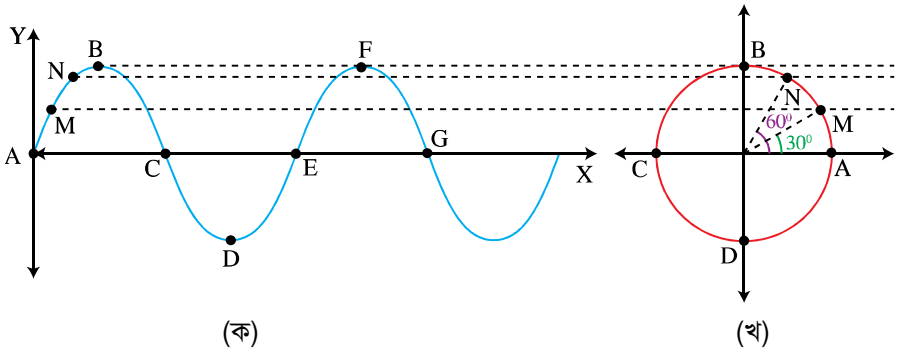
অর্থাৎ আমরা বলতে পারি, একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দূরত্ব পর পর একই দশাবিশিষ্ট আরেকটি বিন্দু পাওয়া যায়। অর্থাৎ, প্রতি λ দূরত্ব পর পর দুটি বিন্দুর দশা একই হয়।

যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলোর সরল ছন্দিত স্পন্দনের ফলে তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। সেহেতু তরঙ্গের দশা বলতে তরঙ্গস্থিত কণাগুলোর দশাই বুঝে থাকি। সুতরাং যা দ্বারা তরঙ্গস্থিত সরল ছন্দিত স্পন্দন সম্পন্ন কোনো কণার অবস্থান, বেগ ও ত্বরণ ইত্যাদি বুঝা যায় তাকে ঐ কণার দশা (phase) বলে।

দশা: তরঙ্গের কোনো কণার যেকোনো মুহূর্তের অবস্থা, অবস্থান, গতির দিকসহ সামগ্রিক অবস্থাকে দশা বলে।

তরঙ্গের যেসকল কণা একই দশায় থাকে, তাদের বেগ, ত্বরণ, সাম্যাবস্থা থেকে অবস্থান-ইত্যাদি সব বৈশিষ্ট্য একই হয়। তাই কোনো কণার দশা জানা থাকলে, ঐ কণার গতির প্রকৃতিও জানা যায়।

আমরা বুঝতে পারলাম, দশা বলতে আসলে কী বোঝায়। কিন্তু প্রশ্ন হচ্ছে, আমরা দশা প্রকাশ করবো কীভাবে? দশা প্রকাশের জন্য কোনো কণা যে অবস্থানে আছে, সে অবস্থানটি সাম্যাবস্থানের সাথে কত কোণে আছে সেটি দিয়ে প্রকাশ করি। এটি করার জন্য আমাদেরকে পর্যায়বৃত্ত গতির সাথে বৃত্তীয় গতির সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করতে হবে, যা আমরা অধ্যায়-৮ এ দেখেছি।



(ক) (খ)

Fig 9.18

(Fig 9.18) তে মনে করি, একটি তরঙ্গ চলছিল এবং সেই চলন্ত অবস্থার যেকোনো মুহূর্তে আমরা একটি ছবি তুলেছি যা **(Fig 9.18 (ক))** তে দেখানো হয়েছে। আবার, একই গতির লেখচিত্রটিকে **(Fig 9.18 (খ))** এর মত বৃত্তীয় গতির সাথেও তুলনা করা যায়।

(Fig 9.18 (ক)) তে আমরা আমাদের হিসাব-নিকাশ বর্ণনার সুবিধার্থে, A, M, N, B, C, D, E, F, G বিন্দুগুলো নিয়েছি। একই বিন্দুগুলো যদি আমরা **(Fig 9.18 (খ))** তে স্থাপন করি, তাহলে আমরা প্রতিটি বিন্দু সাম্যাবস্থার সাথে কত কোণ উৎপন্ন করেছে, তা দেখতে পাচ্ছি। এই কোণগুলোকেই দশা বা দশা কোণ বলা হয়।

কণা	দশা কোণ
A	0°
M	30°
N	60°
B	90°
C	180°
D	270°
E	360°
F	450°
G	540°

এক্ষেত্রে, খেয়াল করলে দেখতে পাবে, B ও F বিন্দু দুটি **(Fig 9.18 (খ))** তে একই বিন্দুতে অবস্থান করছে। তাই এদের দশা কোণও একই বলা যায়। এভাবে, বাকি সব বিন্দুগুলোর দশাও নির্ণয় করা যায়। এখন যদি আমরা বিন্দুগুলোর দশার পার্থক্য দেখতে চাই, সেগুলো নিচের ছকে দেওয়া হল:

একই দশা যুক্ত কণা	দশা কোণ	দশা কোণের পার্থক্য
A ও E	0° ও 360°	360°
B ও F	90° ও 450°	360°
C ও G	180° ও 540°	360°

আমরা বুঝতে পারছি, দুটি একই দশাযুক্ত কণার মধ্যে দশার পার্থক্য থাকে 360°। অর্থাৎ, প্রতি 360° দশা পর পর একই দশার বিন্দু পাওয়া যায়। এবার চলো আমরা বিপরীত দশার কণাগুলোর দশার পার্থক্য দেখার চেষ্টা করি।

বিপরীত দশা যুক্ত কণা	দশা কোণ	দশা কোণের পার্থক্য
A ও C	0° ও 180°	180°
B ও D	90° ও 270°	180°
C ও E	180° ও 360°	180°
D ও F	270° ও 450°	180°
E ও G	360° ও 540°	180°

এবার আমরা দেখতে পাচ্ছি, পর পর দুটি বিপরীত দশাযুক্ত কণার মধ্যবর্তী দশা পার্থক্য 180°।

এভাবেই আমরা বিভিন্ন কণার দশা নির্ণয় করতে পারি এবং সমদশা ও বিপরীত দশাগুলো তুলনা করতে পারি। তোমাদের মনে নিশ্চয়ই প্রশ্ন জাগছে, যে কোণ দিয়ে কীভাবে আমরা একটি কণার বেগ, ত্বরণ, সাম্যবস্থা থেকে অবস্থান, ইত্যাদির তুলনা করতে পারি? আমরা যখন অগ্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ পড়বো, তখন আমরা এই বিষয়টি বিস্তারিত জানবো।

আদি দশা/দশা ধ্রুবক (Initial phase or phase constant)

তরঙ্গে অবস্থিত কণার দশা প্রতি মুহূর্তেই পরিবর্তিত হতে থাকে। আমরা যখন পর্যবেক্ষণ শুরু করবো, সেই মুহূর্তে কণার যে দশা থাকে তাকে আদি দশা বলে।

আদি দশা: পর্যবেক্ষণ শুরুর মুহূর্তে কোনো কণার যে দশা থাকে তাকে আদি দশা বলে।

অর্থাৎ, $t = 0$ সময়ের যে দশা, সেটিই হল আদি দশা। এটিকে দশা ধ্রুবকও বলা হয়।

দশা পার্থক্য ও পথ পার্থক্য

(Fig 9.19) এ আমরা বুঝতে পারছি, কোনো তরঙ্গ যদি এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিমাণ সামনে অগ্রসর হয়, তাহলে সেটি যাবে A থেকে E বিন্দু পর্যন্ত। তাহলে A থেকে E বিন্দু পর্যন্ত সরলরৈখিক পথ অতিক্রম করেছে λ পরিমাণ। তরঙ্গ একবিন্দু থেকে আরেক বিন্দুতে কতটুকু সরলরৈখিক পথ গেল, সেটিকে বলা হয় পথ পার্থক্য। এটিকে প্রকাশ করা হয় Δx দিয়ে। তাহলে A থেকে E বিন্দু পর্যন্ত পথ পার্থক্য $= \lambda$।

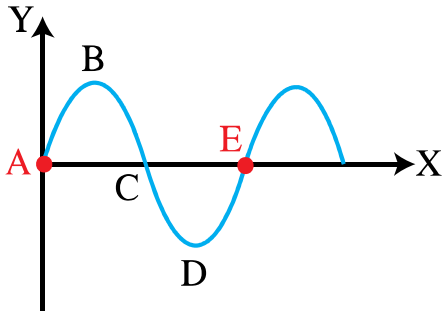


Fig 9.19

আবার, দশার আলোচনা থেকে আমরা জানি, A বিন্দুর দশা 0 rad এবং E বিন্দুর দশা 2π rad। তাহলে, দশার পার্থক্য হয় $(2\pi - 0) = 2\pi$ rad। দশা পার্থক্যকে প্রকাশ করা হয় $\Delta\varphi$ দিয়ে।

আমরা বলতে পারি, λ পথ পার্থক্যে দশা পার্থক্য হয় 2π

$\therefore$ যেকোনো পথ পার্থক্য Δx এর জন্য দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x$

সুতরাং, যেকোনো ক্ষেত্রে, $\boxed{\text{দশা পার্থক্য, } \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x}$

এই সূত্রটি দ্বারা কতটুকু পথ যাওয়ার জন্য কতটুকু দশা বা কোণ অতিক্রম করতে হবে সেটি নির্ণয় করা যায়।