

পদার্থের ধর্ম Properties of Matter



ভূমিকা (Introduction)

বহু আগে থেকে মানুষ পদার্থের গঠন সম্বন্ধে জানবার চেষ্টা করেছে। প্রাচীন ভারতীয় বিজ্ঞানী কণাদ এবং গ্রীক দার্শনিক ডেমোক্রিটাস বিশ্বাস করতেন যে পদার্থ অতি ক্ষুদ্র অদৃশ্য কণা দিয়ে গঠিত। কণাদ এর নাম দেন পরমাণু এবং ডেমোক্রিটাস নাম দেন অ্যাটম (Atom)। তাঁদের ধারণা ছিল বিচ্ছিন্ন বা অবিচ্ছিন্ন ভাবে পরমাণু সজ্জিত হয়ে পদার্থ গঠিত হয়। পরমাণুর আকার সম্বন্ধে ধারণা করা হতো যে এটি দৃশ্যমান ক্ষুদ্রতম কণার চেয়েও অতি ক্ষুদ্র এমনকি দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের চেয়েও ছোটো (দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সীমা 3.8×10^{-7} m থেকে 7×10^{-7} m এর মধ্যে)। ধারণাকৃত পরমাণুর আকার 10^{-10} m। প্রাচীন বিজ্ঞানীদের পরমাণুর প্রকৃতি ও আকার সম্বন্ধে এই মতামতগুলো ছিল ধারণা ও যুক্তি ভিত্তিক তবে কোনো পরীক্ষামূলক প্রমাণ ছিলনা। অনেকের ধারণা ছিল বিভিন্ন পদার্থের পরমাণুর আকার, আকৃতি ও ধর্ম ভিন্ন ভিন্ন এবং ভিন্ন ভিন্ন পরমাণু যুক্ত হয়ে ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের সৃষ্টি হয়। পরবর্তীতে এদের ধারণা সত্য বলে প্রমাণিত হয়।

গাঠনিক ধর্মের উপর ভিত্তি করে পদার্থের অবস্থাকে তিন ভাগে ভাগ করা যায়। এগুলো হচ্ছে কঠিন, তরল ও বায়বীয় অবস্থা। অতি উচ্চ তাপমাত্রায় বায়বীয় পদার্থ আয়নিত হয়ে একটি নতুন অবস্থার সৃষ্টি হয়। এই অবস্থাকে প্লাজমা অবস্থা বলে। এ অবস্থাগুলো প্রধানতঃ পদার্থের অণুগুলির আন্তঃআণবিক দূরত্বের উপর নির্ভর করে। পদার্থের অবস্থাগুলির উপর ভিত্তি করে এর ধর্মকে দু ভাগে ভাগ করা যায়। যথা- সাধারণ ধর্ম ও বিশেষ ধর্ম। কঠিন, তরল ও বায়বীয় অবস্থাতে পদার্থ যে ধর্ম মেনে চলে তাকে সাধারণ ধর্ম বলে। যেমন- স্থিতিস্থাপকতা পদার্থের সাধারণ ধর্ম। কারণ এই ধর্ম কঠিন, তরল ও বায়বীয় সকল অবস্থার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। আবার তরল পদার্থের একটি বিশেষ ধর্ম আছে যাকে পৃষ্ঠটান বলে। একইভাবে সান্দ্রতা কেবলমাত্র তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের বেলায় প্রদর্শন করে। কঠিন পদার্থের কোনো পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা থাকে না। অতএব, পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা পদার্থের বিশেষ ধর্ম। এ ইউনিটে আমরা আন্তঃআণবিক বল, স্থিতিস্থাপকতা, সান্দ্রতা, পৃষ্ঠটান ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করব। তাছাড়া পদার্থের এই সব ধর্ম আমরা কাজে লাগিয়ে কি কি সুবিধা পেতে পারি সেগুলোও এই অধ্যায়ের আলোচনার বিষয়বস্তু।

এই ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ - ৬.১ : স্থিতিস্থাপকতা

পাঠ - ৬.২ : হকের সূত্র ও স্থিতিস্থাপকতার বিভিন্ন গুণাঙ্ক

পাঠ - ৬.৩ : পৃষ্ঠটান

পাঠ - ৬.৪ : পৃষ্ঠ শক্তি

পাঠ - ৬.৫ : কৈশিকতা

পাঠ - ৬.৬ : প্রবাহী সান্দ্রতা

পাঠ - ৬.৭ : স্টোক্সের সূত্র ও অন্তবেগ

পাঠ - ৬.৮ : পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনা

পাঠ - ৬.৯ : ব্যবহারিক -৫ : ভার্গিয়ার পদ্ধতি ব্যবহার করে স্থিতিস্থাপকতার ইয়াং এর গুণাঙ্ক নির্ণয়।

পাঠ-৬.১

স্থিতিস্থাপকতা
Elasticity

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- স্থিতিস্থাপকতা সম্পর্কে বিভিন্ন রাশি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আন্তঃআণবিক বলের আলোকে পদার্থের স্থিতিস্থাপক আচরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

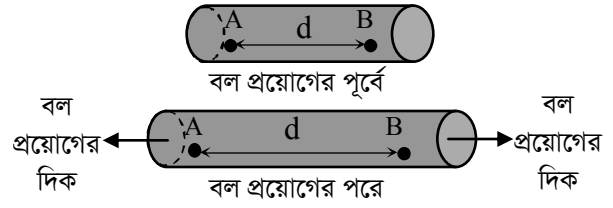


৬.১.১ স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) :

আমরা এটি দেখে অভ্যস্ত যে, একটি রবারের দড়ি টানলে সেটির দৈর্ঘ্য বেড়ে যায়। আবার রবারের দড়ির ক্ষেত্রে যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করতে হয় তার চেয়ে অনেক বেশি পরিমাণ বলের প্রয়োজন হয় একই দৈর্ঘ্যের ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারকে একই পরিমাণ বাড়াতে।

কোনো বস্তুর উপর বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করলেই বস্তুটির বিভিন্ন বিন্দুর মধ্যে আপেক্ষিক সরণ হয় অর্থাৎ বস্তুটি বিকৃত (deformed) হয়। এই ঘটনাটি হলো এই পাঠের মূল বিষয়। ধরা যাক, বাইরে থেকে কোনো বস্তুর উপর সমান ও বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করা হয়েছে (চিত্র ৬.১)। এর ফলে শুধুমাত্র বস্তুটির বিভিন্ন বিন্দুর মধ্যে আপেক্ষিক সরণ হয়। যেমনঃ A ও B বিন্দু দুটি মধ্যে দূরত্ব বল প্রয়োগের পরে বেড়ে গিয়েছে, অর্থাৎ A এর সাপেক্ষে B এর আপেক্ষিক সরণ ঘটেছে। এই কারণে বস্তুর আকার বা আয়তন বা উভয়েরই পরিবর্তন ঘটে। এ অবস্থায় বস্তুর ভিতরে একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয় যা এই পরিবর্তনকে বাধা দিতে চেষ্টা করে। এই পরিবর্তনের পরিমাণ যদি একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকে তবে প্রযুক্ত বল অপসারিত হওয়ার পরে বস্তুটি পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে। পরিবর্তনের প্রচেষ্টাকে বাধা দেওয়ার এই প্রবণতা কম বেশি সকল পদার্থের মধ্যেই বিদ্যমান। পদার্থের এই সাধারণ ধর্মকে স্থিতিস্থাপকতা (elasticity) বা স্থিতিস্থাপক ধর্ম বলা হয়। সুতরাং, বাহ্যিক বল প্রয়োগ করে কোনো বস্তুর আকার বা আয়তন বা উভয়েরই পরিবর্তনের চেষ্টা করলে, যে ধর্মের ফলে বস্তুটি এই পরিবর্তনের প্রচেষ্টাকে বাধা দেয় এবং বাহ্যিক বল অপসারিত হলে বস্তু তার পূর্বের আকার ও আয়তন ফিরে পায়, সেই ধর্মকে স্থিতিস্থাপকতা বলা হয়।

কঠিন, তরল, গ্যাসীয় সব পদার্থের মধ্যেই এই ধর্ম কম বেশী আছে।



চিত্র ৬.১



৬.১.২ স্থিতিস্থাপকতা সম্পর্কে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় :

১. কোনো ধাতুর সঙ্গে অপদ্রব্য মিশিয়ে দিলে ধাতুটির স্থিতিস্থাপক ধর্মের পরিবর্তন হয়।
২. কোনো ধাতুকে বারবার বিকৃত করলে ধাতুর স্থিতিস্থাপকতা কমে যায়। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, একটি পুরনো তামার তারকে বারবার বাঁকালে তারটি ক্রমশ কঠিন ও ভঙ্গুর হয়ে পড়ে।
৩. প্রথমে কোনো একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার থেকে বেশি উষ্ণতায় গরম করে পরে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে ধাতুর স্থিতিস্থাপকতা কমে।
৪. উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটলেও ধাতুর স্থিতিস্থাপকতার পরিবর্তন হয়। সাধারণত উষ্ণতা বাড়াতে স্থিতিস্থাপকতা কমে এবং উষ্ণতা কমালে স্থিতিস্থাপকতা বাড়ে। ব্যতিক্রম- ইনভার, যার স্থিতিস্থাপকতা উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না।

রবার ও ইস্পাতের স্থিতিস্থাপকতা : বাহ্যিক বলের বিরুদ্ধে যে বস্তুর বাধা প্রদানের ক্ষমতা বেশি তার স্থিতিস্থাপকতা বেশি। অর্থাৎ, নির্দিষ্ট পরিমাণ দৈর্ঘ্য বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটাতে যে পদার্থে যত বেশি বাহ্যিক বল প্রয়োগ করার প্রয়োজন হয় তাকে তত বেশি স্থিতিস্থাপক বলা হয়। সমান মাপের ইস্পাতের তার ও রবারের দড়ির মধ্যে নির্দিষ্ট পরিমাণ পরিবর্তন ঘটাতে রবার অপেক্ষা ইস্পাতে বেশি বল প্রয়োগ করতে হয়। তাই ইস্পাত রবার অপেক্ষা বেশি স্থিতিস্থাপক।



৬.১.৩ কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা (Some Useful Definitions)

পূর্ণ দৃঢ় বস্তু (perfectly rigid body) :

যেকোনো পরিমাণের বাহ্যিক বল প্রয়োগ করেও বস্তুটির মধ্যে যদি কোনোরূপ বিকৃতির সৃষ্টি করা যায় না তবে তাকে পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলা হয়। বাস্তবে কোনো বস্তুই পূর্ণ দৃঢ় নয়। তবে হীরা ও কাচকে অনেকটা পূর্ণ দৃঢ় বলে ধরা যেতে পারে।

পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু (perfectly elastic body) :

বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোনো বস্তু বিকৃত হওয়ার পর ঐ বল অপসারণ করলে বস্তুটি যদি অবিকল তার পূর্বের আকার ও আয়তন ফিরে পায় তবে ঐ বস্তুকে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু বলা হয়। কোনো বস্তুই যেকোনো পরিমাণ বাহ্যিক বলের জন্য পূর্ণ স্থিতিস্থাপক নয়।

স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic limit) :

বাহ্যিক বলের একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত প্রত্যেক বস্তুই পূর্ণ স্থিতিস্থাপক। এই সীমাকে বস্তুটির উপাদানের স্থিতিস্থাপক সীমা বলা হয়। বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমা বিভিন্ন। যেমন, ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক সীমা খুব বেশি আবার রবারের খুব কম।

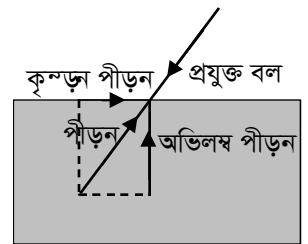
পূর্ণ প্লাস্টিক বা অস্থিতিস্থাপক বস্তু (perfectly plastic or inelastic body) :

বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোনো বস্তু বিকৃত হওয়ার পর সেই বল অপসারণ করলেও বস্তুটি যদি তার বিকৃত অবস্থাতেই থেকে যায় তবে সেই বস্তুকে পূর্ণ প্লাস্টিক বস্তু বলা হয়। বাস্তবে কোনো বস্তুই পূর্ণ প্লাস্টিক নয়।

পীড়ন (stress) : প্রযুক্ত বল দ্বারা কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য, আকার বা আয়তনের কোনোরূপ পরিবর্তন করলে অর্থাৎ বিকৃতি ঘটালে স্থিতিস্থাপকতার গুণে সেই বিকৃত বস্তুর ভিতর এক প্রকার বলের উদ্ভব হয়। ঐ প্রতিক্রিয়া বল প্রযুক্ত বলকে বাধা দেয় এবং বল অপসারিত হলে বস্তু পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে। বস্তুর ভিতর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে উদ্ভূত ঐ প্রতিক্রিয়া বলকে পীড়ন বলে। নিউটনের সূত্রানুসারে, ক্রিয়া বল ও প্রতিক্রিয়া বল পরস্পর সমান। কাজেই, বস্তুর উপর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বল দিয়ে পীড়ন পরিমাপ করা হয় এবং বস্তুর উপর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলকেও অনেক সময় পীড়ন বলে।

অতএব পীড়ন = $\frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{তলের ক্ষেত্রফল}}$, যদি প্রযুক্ত বল F এবং তলের ক্ষেত্রফল A হয় তবে, পীড়ন = $\frac{F}{A}$ । পীড়নের

একক Nm^{-2} এবং মাত্রা $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$ । পীড়ন অদিক রাশি। যদি বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল তলের সাথে অভিলম্ব না হয় তবে প্রযুক্ত বলকে দুটি অংশে ভাগ করতে হয়। একটি তলের সাথে অভিলম্ব বরাবর এবং অপরটি তলের সমান্তরাল (চিত্র ৬.২)। প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বলের অভিলম্ব উপাংশকে **অভিলম্ব পীড়ন** বলে এবং প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বলের সমান্তরাল উপাংশকে **কুন্তন পীড়ন** বলে। **অভিলম্ব পীড়ন**-এর ফলে বস্তুর দৈর্ঘ্য বা আয়তনের পরিবর্তন করে এবং **কুন্তন পীড়ন**-এর ফলে বস্তুর আকারের পরিবর্তন করে।



চিত্র ৬.২

পীড়ন মূলত তিন প্রকার, যথা-১। অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন, ২। কুন্তন পীড়ন এবং ৩। আয়তন পীড়ন।

১। **অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন :** দৈর্ঘ্য বিকৃতি ঘটাবার জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর দৈর্ঘ্য বরাবর প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন বলে।

যদি কোনো তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A এবং দৈর্ঘ্য বরাবর প্রযুক্ত বল F হয় তবে,

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{F}{A}$$

২। **কৃন্তন পীড়ন** : আকার বিকৃতি ঘটাবার জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর তলের স্পর্শক বরাবর প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে কৃন্তন পীড়ন বলে।

যদি কোনো বস্তুর তলের ক্ষেত্রফল A এবং তলের উপর স্পর্শক বরাবর প্রযুক্ত বল F হয় তবে,

$$\text{কৃন্তন পীড়ন} = \frac{F}{A}$$

আয়তন পীড়ন : আয়তন বিকৃতি ঘটাবার জন্য তলের উপর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে আয়তন পীড়ন বলে।

যদি কোনো আয়তাকার বস্তুর ক্ষেত্রফল A এবং বস্তুর উপর অভিলম্ব বরাবর সবদিক হতে প্রযুক্ত বল F হয় তবে,

$$\text{আয়তন পীড়ন} = \frac{F}{A}$$

বিকৃতি : কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে বস্তুর দৈর্ঘ্য পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তন দৈর্ঘ্যে, আকারে বা আয়তনে হতে পারে। কোন বস্তুর একক মাত্রায় যে পরিবর্তন ঘটে তাকে বিকৃতি বলে।

যদি কোনো বস্তুর আদি মাত্রা $= x$ এবং বল প্রযুক্ত হবার পর মাত্রা $= y$, মাত্রার পরিবর্তন $= x \sim y$

$$\text{তাহলে একক মাত্রার পরিবর্তন বা বিকৃতি} = \frac{x \sim y}{x}$$

বিকৃতি যেহেতু একই রাশির অনুপাত সেহেতু এর কোনো একক নাই।

বিকৃতি মূলত তিন প্রকার, যথা- (১) অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি, (২) কৃন্তন বিকৃতি এবং (৩) আয়তন বিকৃতি।

১। **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি** : দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করলে বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে। একক দৈর্ঘ্যের দৈর্ঘ্য পরিবর্তনকে অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি বলে (চিত্র ৬.৩ক)।

যদি কোনো বস্তুর আদি দৈর্ঘ্য L এবং দৈর্ঘ্য বরাবর F বল প্রযুক্ত করায় l দৈর্ঘ্য পরিবর্তন হয় তবে,

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{l}{L}$$

২। **কৃন্তন বিকৃতি** : তলের স্পর্শক বরাবর বল প্রয়োগ করায় যদি বস্তুর আয়তনের কোনো পরিবর্তন না ঘটে শুধু আকারের পরিবর্তন ঘটে তবে একক মাত্রার আকার পরিবর্তনকে কৃন্তন বিকৃতি বলে।

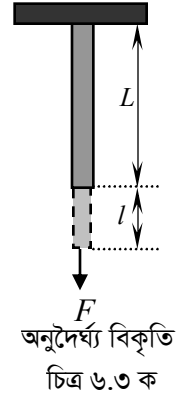
যেহেতু কৃন্তন পীড়নের ফলে বস্তুর মূলত কৌণিক বিচ্যুতি ঘটে সেহেতু কৌণিক বিকৃতি দিয়ে কৃন্তন বিকৃতি পরিমাপ করা হয় (চিত্র ৬.৩খ)।

মনে করি, $ABEC$ একটি বর্গক্ষেত্র। এর উচ্চতা D । এর AB বাহুর সমান্তরাল F বল প্রয়োগ করায় AB রেখা d দূরত্ব সরে $A'B'$ অবস্থানে গিয়ে $A'B'EC$ নতুন ক্ষেত্র গঠন করলো এবং $B'E$ রেখা BE রেখার সাথে θ কোণ উৎপন্ন করলো অর্থাৎ কৌণিক বিচ্যুতি θ । যদি এর ফলে বর্গক্ষেত্রের উচ্চতার পরিবর্তন না হয় তবে এই

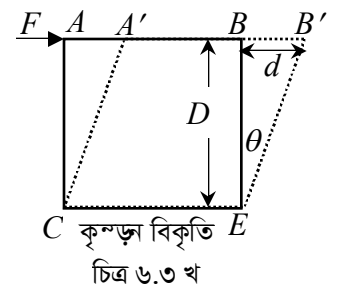
$$\text{ক্ষেত্রে } \theta \text{ খুব ছোট হওয়ায়, কৃন্তন বিকৃতি, } \theta = \tan \theta = \frac{d}{D}$$

৩। **আয়তন বিকৃতি** : বল প্রয়োগের ফলে যদি বস্তুর আয়তন পরিবর্তন ঘটে, তবে একক আয়তনে আয়তন পরিবর্তনকে আয়তন বিকৃতি বলে (চিত্র ৬.৩গ)।

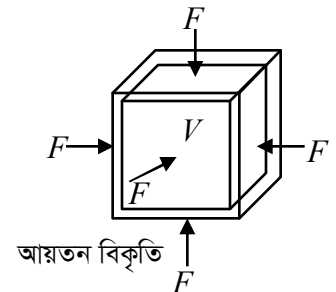
যদি কোনো বস্তুর আয়তন V হয় এবং এর উপর সকল দিক হতে F মানের বল প্রয়োগের ফলে যদি এর আয়তন v সঙ্কুচিত হয় তবে,



অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি
চিত্র ৬.৩ ক



কৃন্তন বিকৃতি
চিত্র ৬.৩ খ



আয়তন বিকৃতি
চিত্র ৬.৩ গ

$$\text{আয়তন বিকৃতি} = \frac{V}{V}$$

অসহ ভার ও অসহ পীড়ন (Breaking load and breaking stress) :

বাহ্যিক বল যদি স্থিতিস্থাপক সীমা ছাড়িয়ে যায় তবে বল অপসারণ করলেও বিকৃত বস্তু পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে না। কিছু বিকৃতি থেকে যায়। বাহ্যিক বলের পরিমাণ ক্রমাগত বাড়তে থাকলে বলের একটি নির্দিষ্ট মানে বস্তুটি ছিঁড়ে যায় বা ভেঙে যায়। যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করলে বা ভার চাপালে বস্তুটি ছিঁড়ে যায় বা ভেঙে পড়ে তাকে অসহ ভার বলা হয়। বস্তুটির প্রস্থচ্ছেদ বা তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত অসহ ভারকে অসহ পীড়ন বলা হয়। অসহ পীড়নের মান বস্তুর উপাদানের উপর নির্ভর করে।



৬.১.৪ কঠিন বস্তুর স্থিতিস্থাপক ব্যবহার; পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্র (Elastic Behaviour of a Solid; Stress-Strain Graph)

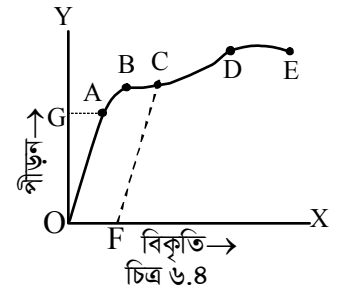
ধরা যাক, একটি স্টিলের তারের এক প্রান্ত ছাদের সাথে আটকানো আছে এবং অপর প্রান্তে ক্রমান্বয়ে ভার বাড়ানো হচ্ছে। বিভিন্ন ভারের (অর্থাৎ বিভিন্ন পীড়নের) জন্য তারের যে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি (বা বিকৃতি) হবে তা দিয়ে যদি পীড়ন বনাম বিকৃতির লেখচিত্র আঁকা হয় তা হলে ঐ লেখচিত্র দিয়ে বস্তুর স্থিতিস্থাপক আচরণ সহজেই বুঝা যাবে।

৬.৪ চিত্রে নমনীয় (ductile) ধাতব তারের পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। এই লেখচিত্রের বিভিন্ন অংশগুলি হলো :

O বিন্দুতে পীড়ন শূন্য তাই বিকৃতিও শূন্য। O হতে A পর্যন্ত রেখাটি একটি সরলরেখা হওয়ায় এই অংশে তারটির উপর প্রযুক্ত পীড়ন সেটির বিকৃতির সমানুপাতিক হয়, অর্থাৎ ধাতুটি হকের সূত্র মেনে চলে। তাই পীড়ন যত বৃদ্ধি করা হবে বিকৃতিও তত বৃদ্ধি পাবে। যতক্ষণ পর্যন্ত পীড়নের মান OG অপেক্ষা বেশী না হচ্ছে ততক্ষণ তারটি পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তুর মতো আচরণ করে। পীড়ন অপসারণ করলে তারটি আবার পূর্বের অবস্থায় ফিরে যাবে।

A বিন্দুটি আনুপাতিক সীমা (proportional limit) নির্দেশ করে। A বিন্দুর পর রেখাটি আর সরল রেখা থাকে না। পীড়নের মান OG অপেক্ষা বেশী হলেই পীড়ন বৃদ্ধির হার অপেক্ষা বিকৃতির হার বেশী হবে। অর্থাৎ AB অংশে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত অপেক্ষাকৃত কম হয়, অর্থাৎ ধাতুটি হকের সূত্র মেনে চলে না। কিন্তু বিকৃতি এই অংশে আসার পরে যদি পীড়ন অপসারিত করা হয় তবে তারটি আবার প্রাথমিক দৈর্ঘ্য ফিরে পায়, অর্থাৎ তারটির বিকৃতি আবার শূন্য হয়। B বিন্দুটি স্থিতিস্থাপক সীমা (elastic limit) নির্দেশ করে। বেশিরভাগ ধাতুর ক্ষেত্রেই A ও B বিন্দু দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থিত হয়।

কাচের ক্ষেত্রেই A ও B অভিন্ন বিন্দু এবং রবারের ক্ষেত্রে A ও B এর দূরত্ব কিছুটা বেশি। BC রেখাংশে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত আরও কমতে থাকে এমনকি পীড়ন প্রায় অপরিবর্তিত থাকলেও বিকৃতি বৃদ্ধি পেতে থাকে। এই অবস্থায় ধাতু ক্রমশ স্থিতিস্থাপক ধর্ম হারিয়ে প্লাস্টিক ধর্ম লাভ করতে থাকে। বিকৃতি এই অংশে আসার পরে যদি পীড়ন অপসারিত করা হয় তবে তারটি আর প্রাথমিক দৈর্ঘ্য ফিরে পায় না, অর্থাৎ তারটির বিকৃতি আর শূন্য হয় না। সুতরাং তারটির স্থায়ী বিকৃতি (permanent deformation) ঘটে। ৬.৪ চিত্রে OF হলো তারটির স্থায়ী বিকৃতি। C বিন্দুটিকে নতি বিন্দু (yield point) বলা হয় এবং এই বিন্দুতে পীড়নের মানকে নতি পীড়ন (yield stress) বলা হয়। বেশীর ভাগ পদার্থের নতি বিন্দু ঠিকমতো নির্ধারণ করা যায় না। কয়েক ধরনের ইস্পাত, প্লাস্টিক প্রভৃতির নতি বিন্দু নির্ধারণ করা সম্ভব। C বিন্দুটি অতিক্রম করার পর BC রেখাংশে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত আরও কমতে থাকে এমনকি পীড়ন অপরিবর্তিত থাকলেও বিকৃতি বৃদ্ধি পেতে থাকে। অর্থাৎ পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত সব থেকে কম হয় এবং ধাতুটির প্লাস্টিক ধর্মই বর্তমান থাকে। এই অংশে তারটির বিভিন্ন স্থানে প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষাকৃত বেশি সরু হয়ে যায়। D বিন্দুটি সহন সীমা (breaking point) নির্দেশ করে। এই বিন্দুতে তারটিতে উদ্ভূত পীড়নকে অসহ পীড়ন (breaking stress) বলা হয়। DE অংশে তারের বিভিন্ন জায়গায় প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল অত্যন্ত দ্রুত কমতে থাকে এবং E বিন্দুতে তারটির সর্বাপেক্ষা দুর্বল অংশ থেকে ছিঁড়ে যায়।

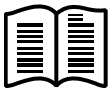


পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রে প্রয়োজনীয়তা (Necessity of stress-strain graph) :

যে কোনো ধাতব পদার্থকে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কাজে লাগাতে গেলে তার পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্র জানা দারকার। এই লেখচিত্র থেকে পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমা জানা যায়। যে কোনো যন্ত্র ব্যবহারের সময় যন্ত্রটির অক্ষদণ্ড বা অন্যান্য যন্ত্রাংশের উপর যে পীড়ন প্রযুক্ত হতে পারে তার মান অবশ্যই স্থিতিস্থাপক সীমার নিচে থাকতে হবে। এজন্যই পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রের প্রয়োজনীয়তা আছে।

স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি (Elastic fatigue) :

কোনো স্থিতিস্থাপক বস্তুর উপর প্রযুক্ত পীড়ন যদি দীর্ঘ সময় ধরে ক্রমাগত হ্রাস বৃদ্ধি করা যায় তাহলে প্রযুক্ত পীড়ন স্থিতিস্থাপক সীমার নিচে থাকা সত্ত্বেও বস্তুটির স্থিতিস্থাপক ধর্মের অবনতি ঘটে। অর্থাৎ প্রত্যেকবার পীড়ন অপসারণ করার পরেও বস্তুটিতে কিছু স্থায়ী বিকৃতি থেকে যায় এবং বস্তুটির কোনো কোনো অংশ সরু হয়ে যায়। তখন স্বাভাবিক অসহ পীড়নের চেয়ে কম পীড়নের বস্তুটি ভেঙে বা ছিঁড়ে যায়। পীড়নের দ্রুত হ্রাসবৃদ্ধির ফলে কোনো বস্তুর স্থিতিস্থাপক সামর্থ্য লোপ পাওয়াকে স্থিতিস্থাপক অবসাদ বা স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি বলা হয়।



৬.১.৫ আন্তঃপারমাণবিক ও আন্তঃআণবিক বল (Interatomic and Intermolecular forces):

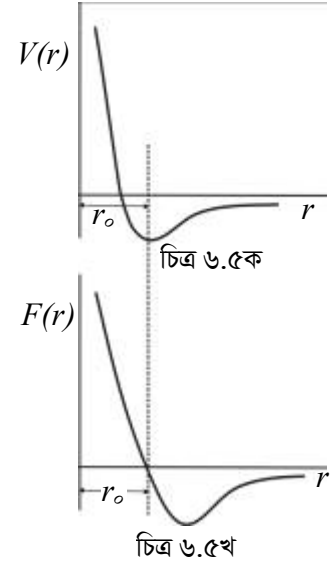
আন্তঃআণবিক বল (Intermolecular forces) :

একটি অণু একটি বা একাধিক এক বা ভিন্ন জাতীয় পরমাণু দ্বারা গঠিত। পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা এবং তার আচরণ ব্যাখ্যা করার জন্য পরমাণুর মধ্যে পারস্পরিক বল, অণুর মধ্যে পারস্পরিক বল এবং এদের সমষ্টিগত বল সম্বন্ধে অনুধাবন করা একান্ত প্রয়োজন।

একটি বিবেচ্য অণুর দুটি পরমাণুর মধ্যে পারস্পরিক বলটি (আন্তঃপারমাণবিক বল) মহাকর্ষীয় বল নয়। একথা অবশ্যই সত্য যে পরমাণু দুটির মহাকর্ষ বল বিদ্যমান, তবে এই বল এত দুর্বল যে এই বল দিয়ে দুটি পরমাণুকে একত্রে ধরে রাখা সম্ভব নয়। উদাহরণস্বরূপ 4×10^{-10} m দূরে অবস্থিত দুটি হিলিয়াম পরমাণু পরস্পরকে প্রায় 6×10^{-13} N বল প্রয়োগ করে অথচ এইরূপ দুটি হিলিয়াম পরমাণুর মধ্যে মহাকর্ষ বল মাত্র 7×10^{-42} N অর্থাৎ আন্তঃপারমাণবিক বলের চেয়ে মহাকর্ষ বল প্রায় 10^{-29} গুণ কম। সুতরাং, বলা যায় দুটি পরমাণুকে একত্রে ধরে রাখার জন্য অন্য কোনো বল কাজ করে যা মহাকর্ষ বলের চেয়ে অনেকগুণ শক্তিশালী। বর্তমানে এটি প্রতিষ্ঠিত যে পরমাণুগুলোর এবং অণুগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল তড়িৎ ধর্মী (Electrical in nature)। এই জাতীয় বলের উৎস নিচে ব্যাখ্যা দেয়া হলোঃ

আন্তঃপারমাণবিক বল (Interatomic forces) :

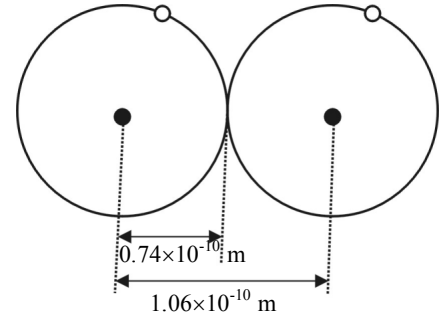
পরমাণুর কেন্দ্রে অবস্থিত ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট নিউক্লিয়াস (আকার $\approx 10^{-15}$ m) কে ঘিরে সমপরিমাণ ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট ইলেকট্রনগুলো প্রায় 10^{-10} m ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে আবর্তন করছে। পরমাণু তড়িৎ নিরপেক্ষ। যখন দুটি পরমাণু পরস্পরের খুব কাছে আনা হয় (10^{-10} m ক্রমে যা প্রায় পরমাণুর আকার) তখন পরমাণুর ধনাত্মক আধান এবং ঋণাত্মক আধান অর্থাৎ নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রন মেঘের দূরত্ব ভিন্ন হয়ে যায়। সে কারণে পরমাণু গুলোর মধ্যে পারস্পরিক বল এবং তার সাথে স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। দুটি পরমাণুর মধ্যে দূরত্ব r এর সাপেক্ষে স্থিতিশক্তি $V(r)$ এর পরিবর্তন ৬.৫ক চিত্রে দেখানো হলো। চিত্রটি নির্দেশ করে যে, r এর মান বেশী হলে অর্থাৎ বেশী দূরত্বে বিভব শক্তি ঋণাত্মক এবং দূরত্ব যত কমতে থাকে ঋণাত্মক বিভব শক্তি তত বাড়তে থাকে অর্থাৎ বিভব কমতে থাকে। বিভব ঋণাত্মক হওয়ায় পরমাণু দুটির মধ্যে বল আকর্ষণ ধর্মী। চিত্র ৬.৫খ-তে বল বনাম দূরত্বের লেখ দেখানো হয়েছে। r_0 দূরত্বে বিভবের মান সর্বনিম্ন অর্থাৎ সর্বোচ্চ ঋণাত্মক বিভব এবং বলের মান শূন্য। যদি দূরত্ব r_0 চেয়ে কমানো হয় তবে বিভব বাড়তে শুরু করে এবং পরবর্তিতে ধনাত্মক হয়ে যায়। এই অঞ্চলে দুটি পরমাণুর মধ্যে বল বিকর্ষণ ধর্মী।



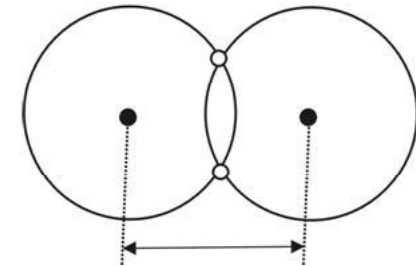
আমরা আগেই দেখেছি যে, দূরত্বের সাপেক্ষে বিভব শক্তিকে ঋণাত্মক ব্যবকলন বা অন্তরীকরণ করলে বল পাওয়া যায় অর্থাৎ $F(r) = -\frac{dV(r)}{dr}$ । সুতরাং, স্থিতিশক্তি $V(r)$ বনাম দূরত্ব r লেখচিত্রে প্রতিটি বিন্দুর ঢাল $\left(-\frac{dV}{dr}\right)$ থেকে দুটি

পরমাণুর মধ্যে বিভিন্ন দূরত্বে ক্রিয়াশীল বল পাওয়া যাবে। ৬.৫খ চিত্রে তাই দেখানো হয়েছে।

আমরা এখন দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্রিয়াশীল বল নিয়ে আলোচনা করব (চিত্র ৬.৬)। যখন তাদেরকে কাছে আনা হয় তখন যে দূরত্বে তাদের মধ্যে কোনো বল ক্রিয়া করে না তা হলো $0.74 \times 10^{-10} \text{m}$ অর্থাৎ $r_0 = 0.74 \times 10^{-10} \text{m}$ দূরত্বে দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু পরস্পরের প্রতি কোনো বল প্রয়োগ করে না এবং এই অবস্থায় বিভব শক্তি সর্বনিম্ন। যেহেতু বিভব শক্তি সর্বনিম্ন অবস্থাই হলো সাম্যাবস্থা (State of equilibrium) সেহেতু দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু পরস্পর থেকে $0.74 \times 10^{-10} \text{m}$ দূরত্বে সাম্যাবস্থায় থাকবে। হাইড্রোজেন পরমাণু ব্যাসার্ধ $0.53 \times 10^{-10} \text{m}$ । সুতরাং, দুটি পরমাণুর মধ্যবর্তী দূরত্ব কমপক্ষে $1.06 \times 10^{-10} \text{m}$ হওয়া উচিত (দুটি পরমাণুর ব্যাসার্ধের সমান)। কিন্তু সাম্যাবস্থায় দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুকে অবশ্যই $r_0 = 0.74 \times 10^{-10} \text{m}$ দূরে থাকতে হবে। এটি সম্ভব হবে তখন যখন দুটি পরমাণু তাদের ইলেকট্রন শেয়ার করবে। দুটি পরমাণু যখন ইলেকট্রন শেয়ার করে তখন এদের মধ্যে যে বন্ধন সৃষ্টি হয় তাকে সমযোজী বন্ধন বলে (চিত্র ৬.৭)।



চিত্র ৬.৬



$r_0 = 0.74 \times 10^{-10} \text{m}$

হাইড্রোজেন পরমাণুর
সমযোজী বন্ধন

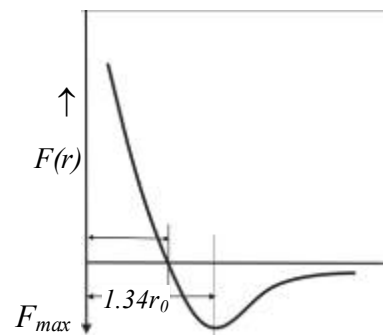
চিত্র ৬.৭

এখানে উল্লেখ্য যে, r এর সাপেক্ষে $V(r)$ এবং $F(r)$ পরিবর্তন প্রায় সকল পরমাণুর ক্ষেত্রে সমান। NaCl অণুর ক্ষেত্রে সোডিয়াম পরমাণু তার বহিঃস্থ কক্ষপথের একটি ইলেকট্রন ক্লোরিনকে দান করে। দান করার ফলে সোডিয়াম পরমাণু ধনাত্মক আধানে (Na^+) আহিত হয়ে ধনাত্মক আয়ন এবং ক্লোরিন ইলেকট্রন গ্রহণ করে ঋণাত্মক আধানে (Cl^-) আহিত হয়ে ঋণাত্মক আয়নে পরিণত হয়। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের মধ্যে স্থির তড়িৎ আকর্ষণ বলের ফলে একটি বন্ধন সৃষ্টি হয়। একরূপ বন্ধনকে আয়নিক বন্ধন বলে। আয়নিক বন্ধন সাধারণত ধাতু ও অধাতুর পরমাণুর মধ্যে হয়ে থাকে। একই মৌলের পরমাণুর মধ্যে কখনো আয়নিক বন্ধন হয় না। দুটি পরমাণুর মধ্যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন স্থানান্তরের মাধ্যমে যে বন্ধনের সৃষ্টি হয় তাকে আয়নিক বন্ধন বলে। সোডিয়াম এবং ক্লোরিন পরমাণু মধ্যে যখন দূরত্ব $r_0 = 4 \times 10^{-10} \text{m}$ তখন তারা ইলেকট্রন বিনিময় করে আয়নিক বন্ধনে আবদ্ধ হয়। যদি দূরত্ব $4 \times 10^{-10} \text{m}$ অপেক্ষা বেশী হয় তবে তারা ইলেকট্রন বিনিময় করে না এবং পরমাণু হিসাবে থেকে যায়।

সমযোজী বন্ধন বা আয়নিক বন্ধনের মাধ্যমে অণু গঠন করার সময় পরমাণুগুলো পরস্পরের সাথে নির্দিষ্ট r_0 দূরত্বে অবস্থান করে। সেই জন্য তাদের নির্দিষ্ট আকার থাকে এবং r_0 দূরত্বে তাদের বিভবের মান সর্বনিম্ন থাকায় তাদের আকৃতিও নির্দিষ্ট।

আন্তঃআণবিক বল (Intermolecular forces) :

পরমাণুর ন্যায় অণুও তড়িৎ নিরপেক্ষ। কিন্তু এদের মধ্যে ঋণাত্মক আধান ও ধনাত্মক আধানগুলো সুষমভাবে বন্টিত নাও থাকতে পারে। যে সব অণুর ঋণাত্মক ও ধনাত্মক আধানগুলোর ভরকেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থান করে তাদেরকে অমেরুবর্তী বা অপোলার (non-polar) অণু বলে। অপর দিকে যে সব অণুর ঋণাত্মক ও ধনাত্মক আধানগুলোর ভরকেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থান করে না তাদেরকে মেরুবর্তী বা পোলার (polar) অণু বলে। মেরুবর্তী অণুগুলো তড়িৎ ডাইপোল (electrical



চিত্র ৬.৮

dipole) এর ন্যায় আচরণ করে। যেমনঃ H_2O , NH_3 , HCl , CO ইত্যাদি মেরুবর্তী অণু। অপরদিকে CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 ইত্যাদি অমেরুবর্তী অণুর উদাহরণ। মেরুবর্তী অণুগুলো তার পার্শ্ববর্তী অণুগুলোকে আবেশ প্রক্রিয়ায় আবিষ্ট করে, ফলে এদের মধ্যে আকর্ষণ বলের সৃষ্টি হয়। এই বলই আণবিক বল। আণবিক বল খুব অল্প দূরত্বে ক্রিয়াশীল। সেজন্য এই বলকে ক্ষুদ্রসীমার বল (short range force) বলে।

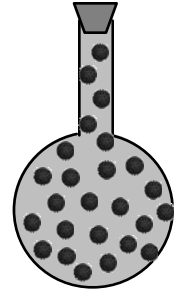
পাল্লাঃ দুটি অণুর মধ্যে আকর্ষণ বল, দুটি পরমাণুর মধ্যে আকর্ষণ বলের চেয়ে অনেক দুর্বল, প্রায় ৫০ থেকে ১০০গুণ। উদাহরণ স্বরূপ, দুটি অক্সিজেন পরমাণু পরস্পরের কাছে আসতে পারে $1.2 \times 10^{-10}m$ । অন্য দিকে দুটি অক্সিজেন অণু পরস্পরের কাছে আসতে পারে $2.9 \times 10^{-10}m$ । তাই দুটি পরমাণু কাছে এসে অণু গঠন করতে যে জায়গা দখল করে তার চেয়ে অনেক বেশী জায়গা দখল করে দুটি অণু একত্রিত হতে। তাই একটি অণু কেবলমাত্র একটি অণুকে আকর্ষণ করে না বরং বহু অণুকে তার দিকে আকর্ষণ করে জায়গা পূরণের জন্য। বরং বলা যায়, তার জায়গার কারণেই নির্দিষ্ট সংখ্যক অণু একত্রিত হবার পর আর অন্য অণুকে আসতে বাধা দেয়। আমরা আগেই জেনেছি যে, অণুর ধনাত্মক নিউক্লিয়াসগুলোর ও ঋণাত্মক ইলেকট্রন মেঘের ভরকেন্দ্রের ক্ষুদ্র সরণের জন্য সৃষ্টি হওয়া তড়িৎ ডাইপোল ভ্রামকের কারণে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের উদ্ভব ঘটে। এই আকর্ষণ বল অত্যন্ত দুর্বল। এই বলকে ভ্যানডার ওয়ালস্ বল (Van der Waals' force) বলে। ভ্যানডার ওয়ালস্ বলের পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট বন্ধনকে ভ্যানডার ওয়ালস্ বন্ধন বলে।

পদার্থের অবস্থা (State of matter) : পদার্থ সাধারণত তিনটি অবস্থায় থাকে। এগুলো হচ্ছে কঠিন, তরল ও বায়বীয় অবস্থা (চিত্র ৬.৯)। এই অবস্থায় থাকার কারণ আন্তঃপারমাণবিক ও আন্তঃআণবিক বলের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন আছে এবং তরলের নির্দিষ্ট আয়তন আছে কিন্তু আকার নেই। অপর দিকে বায়বীয় পদার্থের নির্দিষ্ট কোনো আকার ও আয়তন নাই। এই রূপ ভিন্ন ভিন্ন অবস্থার কারণ হলো এদের আন্তঃপারমাণবিক ও আন্তঃআণবিক বলের মান ভিন্ন এবং অণু ও পরমাণুর তাপীয় উত্তেজনার মাত্রা ভিন্ন হবার জন্য।

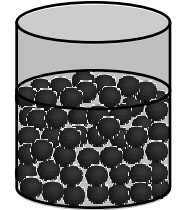
বায়বীয় অবস্থা (gas) : বায়বীয় অবস্থার ক্ষেত্রে এদের অণু বা পরমাণুগুলো পরস্পর থেকে অনেক দূরে অবস্থান করে। দুটি অণুর মধ্যবর্তী দূরত্ব তাদের অণুর ব্যাসের চেয়ে প্রায় দশগুণ দূরে থাকে। এই বিশাল দূরত্বের কারণে অণু বা পরমাণুগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বল অতি নগন্য বা নাই বললেই চলে। তাই এরা মুক্ত কণার ন্যায় আচরণ করে। তাপীয় উত্তেজনার কারণে তারা গতিশক্তি প্রাপ্ত হয়ে বিক্ষিপ্তভাবে ছুটাছুটি করে এবং পরস্পরের সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। সে কারণে এদের কোনো আকার বা আয়তন থাকে না এবং সমস্ত পাত্র দখল করে থাকে। তাপমাত্রা কমাতে তাদের গতি ধীর হয় এবং চাপ বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বৃদ্ধি পায়। ফলে অণুগুলো মধ্যে দূরত্ব কমে আসে। নির্দিষ্ট চাপ ও তাপমাত্রায় তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব এতো কমে আসে যে, অণুর গড় গতি শক্তি তাদের ঋণাত্মক (আকর্ষণ জনিত) বিভব শক্তির চেয়ে কমে যায়। এই ক্ষেত্রে ঘনীভূত হয়ে তরলে রূপান্তর হয়।

তরল অবস্থা (liquid) : তরল অবস্থার ক্ষেত্রে অণুর আন্তঃআণবিক দূরত্ব বেশ কম, তবে সেই দূরত্বটা সর্বনিম্ন বিভব শক্তি অর্থাৎ সর্বোচ্চ ঋণাত্মক বিভব শক্তির জন্য যে দূরত্ব হওয়া দরকার তার চেয়ে বড়। ফলে তরলে অণুগুলো খুব ধীর গতিতে চলাচল করে। উদাহরণ স্বরূপ, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি বায়বীয় অণু যে সময়ে $700 \times 10^{-10}m$ অতিক্রম করে সে তাপমাত্রায় সেই সময়ে একটি তরলের অণু অতিক্রম করে মাত্র $3 \times 10^{-10}m$ ।

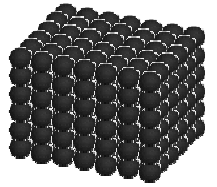
কঠিন অবস্থা (solid) : যখন তরলকে আরো শীতল করা হয় তখন তাদের আন্তঃআণবিক দূরত্ব আরো কমে প্রায় r_0 দূরত্বের কাছাকাছি চলে আসে ফলে তারা সর্বনিম্ন বিভব শক্তিতে থাকতে চেষ্টা করে। যখন তরলের অণুগুলো পরস্পরের সাপেক্ষে সর্বনিম্ন বিভব শক্তির কাছে চলে আসে তখন সুশৃঙ্খল বিন্যাসে সজ্জিত হতে থাকে। সজ্জিত হবার ফলে এরা আরো কাছে আসতে পারে এবং সর্বনিম্ন বিভব শক্তি প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় এসে তরল কঠিনে রূপান্তর হয়। কঠিন অবস্থা অণুগুলো আর স্থানচ্যুত হতে পারে না কিন্তু তাপীয় উত্তেজনায় সাম্য বিন্দুর সাপেক্ষে অল্প বিস্তারে



বায়বীয় অবস্থা



তরল অবস্থা



কঠিন অবস্থা

চিত্র -৬.৯

কাঁপতে থাকে। সে কারণে কঠিন অবস্থায় পদার্থ নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন ধরে রাখতে পারে। অণুগুলো সর্বনিম্ন বিভব শক্তি স্তরে থাকার কারণে কঠিন পদার্থ দৃঢ়, অসঙ্কোচনশীল ও ঘাতসহ হয়। এখানে আরো একটি কথা মনে রাখা প্রয়োজন যে, অণুর আকার যদি গোলাকার না হয়ে ভিন্ন আকার ধারণ করে যেমন দণ্ড আকারের অণু, তবে তারা ঘনীভূত হয়ে তরল কেলাস (liquide crystal) গঠন করে।

সকল কঠিন পদার্থই অণু ও পরমাণু দিয়ে গঠিত কিন্তু কঠিন পদার্থের অভ্যন্তরে অণুর বিন্যাসের কারণে তাদেরকে দুই শ্রেণিতে ভাগ করা যায়, যথা কেলাস (crystal) ও অকেলাস (amorphous)

কেলাসিত পদার্থ (crystilline solid) : যে সকল কঠিন বস্তুর অণু ও পরমাণুগুলো নির্দিষ্ট ও নিয়মিত ভাবে সুসজ্জিত থাকে, তাকে কেলাসিত কঠিন বস্তু বলে। কেলাসিত কঠিন বস্তুর কয়েকটি উদাহরণ হলোঃ কোয়ার্টজ, মাইকা, চিনি, তামা, সালফার, সোডিয়াম ক্লোরাইড ইত্যাদি।

কেলাসিত পদার্থের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিদ্যমান :

১. কেলাসিত পদার্থে অণু বা পরমাণুগুলো নির্দিষ্ট ক্রমে সুসজ্জিত থাকে।
২. কেলাসিত পদার্থগুলো সমতল তল দ্বারা আবদ্ধ থাকে।
৩. কেলাসিত পদার্থ হলো অসমসত্ত্বক (anisotropic)। কেলাসিত পদার্থের ভৌত ধর্ম অর্থাৎ তাপীয় পরিবাহিতা, তড়িৎ পরিবাহিতা, সঙ্কোচনশীলতা ইত্যাদি বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন।
৪. কেলাসিত পদার্থগুলো সুষম রাসায়নিক যৌগ দিয়ে গঠিত।
৫. কেলাসিত পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক আছে অর্থাৎ নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় হঠাৎ তরলে রূপান্তরিত হয়।

অকেলাসিত পদার্থ (amorphous solid) : যে সকল কঠিন বস্তুর অণু ও পরমাণুগুলো অনির্দিষ্ট ও অনিয়মিত ভাবে সজ্জিত থাকে তাকে অকেলাসিত কঠিন বস্তু বলে। অকেলাসিত কঠিন বস্তুর কয়েকটি উদাহরণ হলো, কাচ, রবার, সালফার ইত্যাদি।

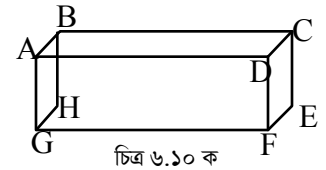
অকেলাসিত পদার্থের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিদ্যমান :

১. অকেলাসিত পদার্থে অণু বা পরমাণুগুলো অনির্দিষ্ট ক্রমে সজ্জিত থাকে।
২. যেহেতু অকেলাসিত পদার্থে অণু বা পরমাণুগুলো অনির্দিষ্ট ক্রমে ও অনিয়মিত ভাবে সজ্জিত থাকে সেহেতু এই জাতীয় পদার্থ সমতল তল দিয়ে আবদ্ধ থাকে না।
৩. অকেলাসিত পদার্থ হলো সমসত্ত্বক (isotropic)। তাদের সবদিকে একই ভৌত ধর্ম প্রদর্শন করে অর্থাৎ তাপীয় পরিবাহিতা, তড়িৎ পরিবাহিতা, সঙ্কোচনশীলতা ইত্যাদি সব দিকে একই থাকে।
৪. অকেলাসিত পদার্থের কোনো নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই।

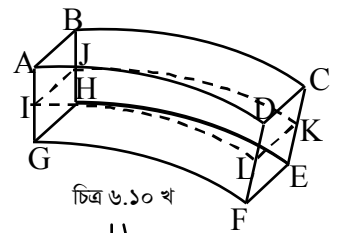


৬.১.৬ আন্তঃআণবিক বলের আলোকে পদার্থের স্থিতিস্থাপক আচরণ : (Explanation of Elasticity of Matter by Inter Molecular Force)

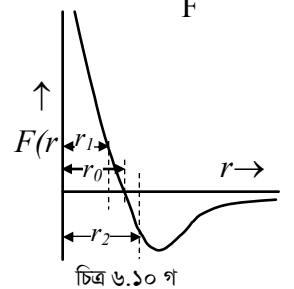
আন্তঃআণবিক বল সম্বন্ধে উপরে যে আলোচনা করা হয়েছে তার আলোকে পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা আচরণ এখানে আলোচনা করা হলো। ABCDEFGH একটি ধাতব বীম। এর ABCD তলটি কোনো দৃঢ় দেয়ালের সাথে অনুভূমিক ভাবে আটকানো আছে (চিত্র ৬.১০ক)। এই বীমের সকল অণুগুলো পরস্পরের সাথে সর্বনিম্ন বিভবে এবং শূন্য বলে পরস্পরের সাথে r_0 দূরত্বে অবস্থান করছে। ৬.১০গ চিত্রে সর্বনিম্ন দূরত্ব দেখানো হয়েছে। এখন বীমটির CDEF প্রান্তে একটি ভার চাপানো হলো, ফলে ধাতব বীমটি ৬.১০খ চিত্রের ন্যায় বেঁকে গেল। যদি বীমটিকে অসংখ্য পাতলা স্তর একটির উপর আর একটি রেখে তৈরী করা হয়েছে কল্পনা করা যায় তবে ABCD উপরের পৃষ্ঠের একটি স্তর এবং EFGH নিচের পৃষ্ঠের স্তর। ৬.১০খ চিত্র থেকে বলা যায় যে, ভার চাপানোর ফলে ABCD স্তরের মত উপরের স্তরগুলো প্রসারিত হয়েছে এবং EFGH স্তরের মত নিচের স্তরগুলো সংকুচিত হয়েছে। এই উপর নিচ স্তরগুলো মাঝে IJKL একটি স্তর পাওয়া যাবে যে স্তরের কোনো প্রসারণ বা সঙ্কোচন হয়নি। এই তলকে নিরপেক্ষ তল বলে। তাহলে



চিত্র ৬.১০ ক



চিত্র ৬.১০ খ



চিত্র ৬.১০ গ

নিরপেক্ষ তলের সাপেক্ষে উপরের স্তরগুলো প্রসারিত হয়েছে এবং নিচের স্তরগুলো সংকুচিত হয়েছে। উপরের স্তরগুলো প্রসারিত হওয়ার ফলে অণুগুলো পরস্পরের কাছে থেকে r_2 বিন্দুতে সরে গেছে (চিত্র নং ৬.১০গ) ফলে অণুগুলো পরস্পরের সাথে আকর্ষণ বল অনুভব করছে। একই ভাবে, নিচের স্তরগুলো সংকুচিত হওয়ার ফলে অণুগুলো পরস্পরের কাছে r_1 বিন্দুতে সরে এসেছে (চিত্র নং ৬.১০গ) ফলে অণুগুলো পরস্পরের সাথে বিকর্ষণ বল অনুভব করছে। এই আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল বীমের উপর চাপানো ভারকে সাম্যাবস্থায় রেখেছে। এই বলকে আমরা প্রতিক্রিয়া বল বলতে পারি। ভার অপসারণ করলে বীমের উপরের স্তরের অণুগুলো আকর্ষণ এবং নিচের স্তরের বিকর্ষণ বল বীমটিকে তার পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়ে আনে।

সুতরাং বলা যায়, আন্তঃআণবিক বলই পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার কারণ। প্রযুক্ত বলের মান বেশি হলে অণুগুলোর পুনর্বিন্যাসের ফলে স্থায়ী বিকার ঘটে। অণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব অত্যধিক বৃদ্ধি পেলে আন্তঃআণবিক বল লোপ পায়। এ কারণে অসহ পীড়নে বস্তু ছিড়ে বা ভেঙে যায়। বিভিন্ন পদার্থের আন্তঃআণবিক বলের মান বিভিন্ন, তাই বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতাও বিভিন্ন।



সার-সংক্ষেপ :

- **স্থিতিস্থাপকতা** : বাহ্যিক বল প্রয়োগ করে কোনো বস্তুর আকার বা আয়তন বা উভয়েরই পরিবর্তনের চেষ্টা করলে, যে ধর্মের ফলে বস্তুটি এই পরিবর্তনের প্রচেষ্টাকে বাধা দেয় এবং বাহ্যিক বল অপসারিত হলে বস্তু তার পূর্বের আকার ও আয়তন ফিরে পায়, সেই ধর্মকে স্থিতিস্থাপকতা বলা হয়।
- **পূর্ণ দৃঢ় বস্তু** : যেকোনো পরিমাণের বাহ্যিক বল প্রয়োগ করেও বস্তুটির মধ্যে যদি কোনোরূপ বিকৃতির সৃষ্টি করা যায় না তবে তাকে পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলা হয়।
- **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু** : বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোনো বস্তু বিকৃত হওয়ার পর ঐ বল অপসারণ করলে বস্তুটি যদি অবিকল তার পূর্বের আকার ও আয়তন ফিরে পায় তবে ঐ বস্তুকে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু বলা হয়।
- **পূর্ণ প্লাস্টিক বস্তু** : বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোনো বস্তু বিকৃত হওয়ার পর সেই বল অপসারণ করলেও বস্তুটি যদি তার বিকৃত অবস্থাতেই থেকে যায় তবে সেই বস্তুকে পূর্ণ প্লাস্টিক বস্তু বলা হয়।
- **পীড়ন** : বস্তুর ভিতর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে পীড়ন বলে।
- **অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন** : দৈর্ঘ্য বিকৃতি ঘটাবার জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর দৈর্ঘ্য বরাবর প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন বলে।
- **কৃন্তন পীড়ন** : আকার বিকৃতি ঘটাবার জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর তলের স্পর্শক বরাবর প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে কৃন্তন পীড়ন বলে।
- **আয়তন পীড়ন** : আয়তন বিকৃতি ঘটাবার জন্য তলের উপর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলের কারণে উদ্ভূত প্রতিক্রিয়া বলকে আয়তন পীড়ন বলে।
- **বিকৃতি** : কোনো বস্তুর একক মাত্রায় মাত্রায় যে পরিবর্তন ঘটে তাকে বিকৃতি বলে।
- **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি** : দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করলে বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে। একক দৈর্ঘ্যের দৈর্ঘ্য পরিবর্তনকে অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি বলে।
- **কৃন্তন বিকৃতি** : তলের স্পর্শক বরাবর বল প্রয়োগ করায় বস্তুর আয়তনের কোনো পরিবর্তন না ঘটে শুধু আকারের পরিবর্তন ঘটে তবে একক মাত্রায় আকার পরিবর্তনকে কৃন্তন বিকৃতি বলে।
- **অসহ ভার ও অসহ পীড়ন** : যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করলে বা ভার চাপালে বস্তুটি ছিড়ে যায় বা ভেঙে পড়ে তাকে অসহ ভার বলা হয়। প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত অসহ ভারকে অসহ পীড়ন বলা হয়।
- **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি** : পীড়নের দ্রুত হ্রাসবৃদ্ধির ফলে কোনো বস্তুর স্থিতিস্থাপক সামর্থ্য লোপ পাওয়াকে স্থিতিস্থাপক অবসাদ বা স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি বলা হয়।
- **কেলাসিত পদার্থ** : যে সকল কঠিন বস্তুর অণু ও পরমাণুগুলো নির্দিষ্ট ও নিয়মিত ভাবে সুসজ্জিত থাকে তাকে কেলাসিত কঠিন বস্তু বলে।
- **অকেলাসিত পদার্থ** : যে সকল কঠিন বস্তুর অণু ও পরমাণুগুলো অনির্দিষ্ট ও অনিয়মিত ভাবে সজ্জিত থাকে তাকে অকেলাসিত কঠিন বস্তু বলে।

- **বায়বীয় অবস্থা :** বায়বীয় অবস্থার ক্ষেত্রে এদের অণু বা পরমাণুগুলো পরস্পর থেকে অনেক দূরে অবস্থান করে। দুটি অণুর মধ্যবর্তী দূরত্ব তাদের অণুর ব্যাসের চেয়ে প্রায় দশগুণ দূরে থাকে। এই বিশাল দূরত্বের কারণে অণু বা পরমাণুগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বল অতি নগন্য বা নাই বললেই চলে। তাই এরা মুক্ত কণার ন্যায় আচরণ করে।
- **তরল অবস্থা :** তরল অবস্থার ক্ষেত্রে অণুর আন্তঃআণবিক দূরত্ব বেশ কম তবে সেই দূরত্বটা সর্বনিম্ন বিভব শক্তি অর্থাৎ সর্বোচ্চ ঋণাত্মক বিভব শক্তির জন্য যে দূরত্ব হওয়া দরকার তার চেয়ে বড়। ফলে তরলে অণুগুলো খুব ধীর গতিতে চলাচল করে।
- **কঠিন অবস্থা :** যখন তরলকে আরো শীতল করা হয় তখন তাদের আন্তঃআণবিক দূরত্ব আরো কমে প্রায় ১% দূরত্বের কাছাকাছি চলে আসে ফলে তারা সর্বনিম্ন বিভব শক্তিতে থাকতে চেষ্টা করে। যখন তরলের অণুগুলো পরস্পরের সাপেক্ষে সর্বনিম্ন বিভব শক্তির কাছে চলে আসে তখন সুশৃঙ্খল বিন্যাসে সজ্জিত হতে থাকে। সজ্জিত হবার ফলে এরা আরো কাছে আসতে পারে এবং সর্বনিম্ন বিভব শক্তি প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় এসে তরল কঠিনে রূপান্তর হয়। কঠিন অবস্থায় অণুগুলো আর স্থানচ্যুত হতে পারে না কিন্তু তাপীয় উত্তেজনায় সাম্য বিন্দুর সাপেক্ষে অল্প বিস্তারে কাঁপতে থাকে। সে কারণে কঠিন অবস্থায় পদার্থ নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন ধরে রাখতে পারে।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। কেলাসিত পদার্থের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি হলো-

- কেলাসিত পদার্থে অণু অনিয়মিত ভাবে সজ্জিত থাকে।
- কেলাসিত পদার্থগুলো সমতল তল দ্বারা আবদ্ধ থাকে।
- কেলাসিত পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক আছে।

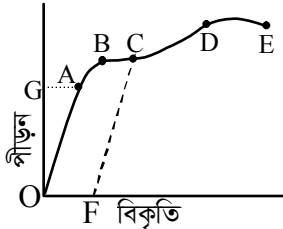
কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২। কোনটি বেশী স্থিতিস্থাপক?

- ক. রবার খ. কাচ গ. তামা ঘ. ইস্পাত

৩। নিচের লেখচিত্রে কোন অংশে স্থায়ী বিকৃত হয়?



- ক. AB খ. BC গ. CD ঘ. DE

৪। অসহ পীড়ন বলতে কোনটিকে বুঝায়?

- বল অপসারণ করলেও বিকৃত বস্তু পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে না।
- যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করলে বস্তুটি ছিড়ে যায় বা ভেঙে পড়ে।
- প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত অসহ ভার।
- পূর্ণ স্থিতিস্থাপকতার সর্বোচ্চ সীমায় চাপানো ভার।

পাঠ-৬.২

হকের সূত্র ও স্থিতিস্থাপকতার বিভিন্ন গুণাঙ্ক

Hook's law and different Moduli of Elasticity



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- হকের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- স্থিতিস্থাপকতার বিভিন্ন গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পয়সনের অনুপাত ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৬.২.১ হকের সূত্র (Hook's Law)

বিখ্যাত পদার্থবিজ্ঞানী রবার্ট হুক স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন ও বিকৃতির মধ্যে একটি নিবিড় সম্পর্ক লক্ষ্য করেন এবং একটি সূত্রাকারে প্রকাশ করেন। তাঁর নামানুসারে এই সূত্রকে হকের সূত্র বলা হয়।

হকের সূত্রঃ স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতিক।

গাণিতিক ভাবে লেখা যায়, পীড়ন \propto বিকৃতি

$$\text{বা, } \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \text{ধ্রুবক।}$$

এই ধ্রুবককে স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (modulus of elasticity) বলে। এর মান বস্তুর উপাদানের উপর নির্ভর করে।

পীড়নের একক Nm^{-2} এবং বিকৃতির কোনো একক নাই। সুতরাং স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের একক Nm^{-2} ।

ব্যাখ্যাঃ কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে তার বিকৃতি ঘটে। একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলকে পীড়ন বলে। বল স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম না করলে হকের সূত্রানুসারে পীড়ন যত বেশী হবে বিকৃতি তত বেশী হবে। অর্থাৎ স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বল যতগুণ বৃদ্ধি করা হবে, বস্তুর দৈর্ঘ্য, আকার বা আয়তনের বিকৃতিও ততগুণ হবে।



৬.২.২ বিভিন্ন প্রকার গুণাঙ্ক (Different Moduli of Elasticity) :

পীড়নের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে বস্তুর বিভিন্ন প্রকার বিকৃতি পাওয়া যায়।

পীড়ন তিন প্রকার। যথাঃ ১। অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন, ২। কৃন্তন পীড়ন ও ৩। আয়তন পীড়ন। তাই বিকৃতি ও পীড়ন উভয়ই তিন প্রকার, তাই স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কও তিন প্রকার। যথা:

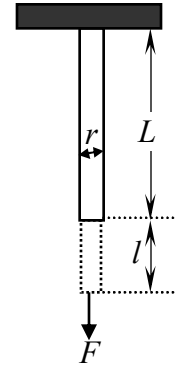
১. ইয়াং গুণাঙ্ক (Young's Modulus)
২. দৃঢ়তার গুণাঙ্ক (Modulus of Elasticity)
৩. আয়তন গুণাঙ্ক (Bulk Modulus)

ইয়াং গুণাঙ্ক : একটি বস্তুর তলের উপর অভিলম্ব বরাবর কোনো বল প্রয়োগ করা হলে বস্তুর দৈর্ঘ্যের কিছুটা হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটে। এক্ষেত্রে পীড়নকে বলা হয় অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন এবং আনুষঙ্গিক বিকৃতিকে বলা হয় অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি।

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে ইয়াং গুণাঙ্ক বলে।

ইয়াং গুণাঙ্ককে Y দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক Nm^{-2} ।

$$\text{অতএব, ইয়াং গুণাঙ্ক, } Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$



চিত্র ৬.১১

মনে করি, দৈর্ঘ্য L এবং r ব্যাসার্ধের একটি তারের এক প্রান্ত দৃঢ় অবলম্বন থেকে ঝুলিয়ে অপর প্রান্তে m ভর চাপানো হলো। ফলে তারটির l দৈর্ঘ্য প্রসারিত হলো। তাহলে, তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A = \pi r^2$ । দৈর্ঘ্য বরাবর প্রযুক্ত বল $F = mg$ ।

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{F}{A}$$

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{l}{L}$$

$$\text{তাহলে, } Y = \frac{F/A}{l/L}$$

$$\text{বা, } Y = \frac{FL}{Al} \dots \dots \dots (৬.১)$$

F এবং A এর মান বসালে,

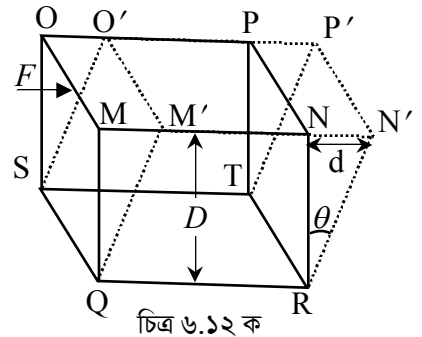
$$Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l} \dots \dots \dots (৬.২)$$

দৃঢ়তা গুণাঙ্ক : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বাহ্যিক বল প্রয়োগের ফলে যদি কোনো কঠিন বস্তুর আয়তনের কোনো পরিবর্তন না হয়ে শুধু আকৃতির পরিবর্তন ঘটে তখন বস্তুর সেই বিকৃতিকে কৃন্তন বিকৃতি বলে। বাহ্যিক বল যখন বস্তুর তলের সাথে সমান্তরালে প্রযুক্ত হয় তখন এইরূপ বিকৃতি ঘটে। প্রতি একক ক্ষেত্রফলে কৃন্তন বিকৃতি সৃষ্টিকারী বলের মানকে কৃন্তন পীড়ন বলে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কৃন্তন পীড়ন ও কৃন্তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক বলে।

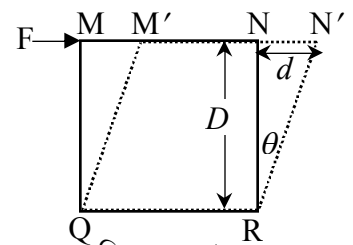
দৃঢ়তা গুণাঙ্ককে η দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক Nm^{-2} ।

$$\text{দৃঢ়তা গুণাঙ্ক, } \eta = \frac{\text{কৃন্তন পীড়ন}}{\text{কৃন্তন বিকৃতি}}$$

মনে করি, MNPOQRTS একটি ঘনক। এর সর্বনিম্ন তল QRTS দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। সর্বোচ্চ তল MNPO-এর উপর স্পর্শক বরাবর একটি বল F প্রয়োগ করা হয়েছে। এখন সমগ্র ঘনকটি যদি QRTS তলের সমান্তরাল অসংখ্য স্তরে বিভক্ত করা হয় তবে দেখা যাবে যে, প্রতিটি স্তর ঠিক তার নিচের স্তরের চেয়ে বলের অভিমুখে কিছুটা সরে গেছে কিন্তু সর্বনিম্ন স্তরটি আবদ্ধ থাকায় কোনরূপ সরণ হয়নি। এর ফলে MNPO তলটি সরে গিয়ে M'N'P'O' অবস্থানে গেছে। সুতরাং, ঘনকটি মোচড় খেয়ে M'N'P'O'QRTS আকার ধারণ করেছে কিন্তু আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয়নি। ঘনকটির সর্বনিম্ন স্তর থেকে সর্বোচ্চ স্তর পর্যন্ত যে পরিমাণ কৌণিক সরণ হবে তাকেই কৃন্তন বিকৃতি বলে। চিত্র সহজ করার জন্য এর একটি উলম্ব পার্শ্ব তল MNRQ-কে ৬.১২খ চিত্রে দেখানো হলো।



চিত্র ৬.১২ ক



চিত্র ৬.১২ খ

ধরা যাক, ৬.১২খ চিত্রে পার্শ্বতলের ক্ষেত্রের উচ্চতা D । এর MN বাহুর সমান্তরালে F বল প্রয়োগ করায় MN রেখা d দূরত্ব সরে গিয়ে $M'N'$ অবস্থানে গিয়ে $M'N'RQ$ নতুন ক্ষেত্র গঠন করলো এবং RN বাহু পার্শ্ব বল প্রয়োগ করায় নতুন অবস্থান RN' বাহুর সাথে θ কোণ উৎপন্ন করেছে। অর্থাৎ কৌণিক বিচ্যুতি θ । যদি এর ফলে ক্ষেত্রের উচ্চতার পরিবর্তন না হয় তবে এই ক্ষেত্রে θ খুব ছোট

$$\text{হওয়ায়, কৃন্তন বিকৃতি, } \theta = \tan \theta = \frac{d}{D}$$

যদি উপরিতল MNPO-এর (চিত্র ৬.১২ ক) ক্ষেত্রফল A হয় তবে ,

মনে করি, একটি তারের আদি দৈর্ঘ্য L এবং ব্যাসার্ধ r । দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করায় এর দৈর্ঘ্য dl বৃদ্ধি পেল এবং dr ব্যাসার্ধ হ্রাস পেল।

তাহলে, দৈর্ঘ্য বিকৃতি $\frac{dl}{L}$ এবং পার্শ্ব বিকৃতি $-\frac{dr}{r}$

এখানে, ঋণ চিহ্ন দ্বারা ব্যাসার্ধ হ্রাস নির্দেশ করে।

$$\frac{dr}{r}$$

তাহলে, পয়সনের অনুপাত, $\sigma = -\frac{r}{L} \frac{dl}{dr}$

বা, $\sigma = -\frac{Ldr}{r dl} \dots \dots \dots (৬.৬)$

যেহেতু, পয়সনের অনুপাত একই জাতীয় রাশির অনুপাত তাই এর কোনো মাত্রা ও একক নাই।

পয়সনের অনুপাতের মান -1 এর চেয়ে কম ও $+\frac{1}{2}$ এর চেয়ে বেশী হতে পারে না, অর্থাৎ পয়সনের অনুপাতের সীমাস্থ

মান, $-1 \leq \sigma \leq \frac{1}{2}$



৬.২.৪ স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তি (Elastic Potential Energy) :

আমরা জানি, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে ইয়াং-এর গুণাক্ষ বলে।

ধরি, A প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং L দৈর্ঘ্যের তারের উপর F বল প্রয়োগ করায় তারটি l দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেল।

অতএব, ইয়াং গুণাক্ষ $Y = \frac{FL}{Al}$,

এখানে, পীড়ন $= \frac{F}{A}$ এবং বিকৃতি $= \frac{l}{L}$

বা, $F = \frac{YAl}{L} \dots \dots \dots (৬.৭)$

এবং (৬.৭) সমীকরণ থেকে পাই,

পীড়ন, $\frac{F}{A} = \frac{Yl}{L} \dots \dots \dots (৬.৮)$

আমরা জানি, $dW = Fdl$,

(৬.৭) সমীকরণ থেকে F এর মান বসিয়ে, $dW = \frac{YAl}{L} dl$

০ থেকে l সীমার মধ্যে সমাকলন করে পাই, $W = \int_0^l \frac{YA}{L} l dl$

বা, $W = \frac{YA}{L} \left[\frac{l^2}{2} \right]_0^l$

বা, $W = \frac{YAl^2}{2L}$

এই কাজ সঞ্চিত বলের বিরুদ্ধে সংঘটিত হয়েছে। সুতরাং সঞ্চিত শক্তি,

$$E_p = \frac{YAl^2}{2L} \dots\dots\dots (৬.৯)$$

তারের দৈর্ঘ্য L এবং তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A হলে,
তারের আয়তন, $V = AL$

অতএব, একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি, $\varepsilon = \frac{E_p}{V}$

সমীকরণটিতে ৬.৯ নং সমীকরণের মান বসালে,

$$\varepsilon = \frac{YAl^2}{2LV}$$

বা,
$$\varepsilon = \frac{YAl^2}{2L \times AL}$$

বা,
$$\varepsilon = \frac{1}{2} \times \frac{Yl}{L} \times \frac{l}{L} \dots\dots\dots (৬.১০)$$

সুতরাং, একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি, $\varepsilon = \frac{1}{2} \times$ পীড়ন \times বিকৃতি।



৬.২.৫ স্থিতিস্থাপকতা সম্পর্কিত কয়েকটি আলোচনা (Some Phenomena Related to Elasticity):

১। স্থিতিস্থাপক বস্তুর ক্ষেত্রে পীড়ন ও বিকৃতির মধ্যে কোনটি মৌলিক?

বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোনো স্থিতিস্থাপক বস্তুর মধ্যে বিকৃতির সৃষ্টি হলে বস্তুর মধ্যে যে প্রতিক্রিয়া বলের উদ্ভব হয় তাকে পীড়ন বলা হয়। এই পীড়নই বস্তুকে পূর্বের অবস্থায় ফিরে যেতে সাহায্য করে। অর্থাৎ বিকৃতির সৃষ্টি হলে তবেই পীড়নের উদ্ভব হয়। সুতরাং, স্থিতিস্থাপক বস্তুর ক্ষেত্রে বিকৃতি হল মৌলিক।

২। একটি টান করা তার হঠাৎ ছিড়ে গেলে তার উষ্ণতার পরিবর্তন হয় কেন ?

কোনো তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি ঘটাতে যে কার্য করা হয় তা তারের মধ্যে স্থিতিশক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে। তারটি ছিড়ে গেলে সেই স্থিতিশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ফলে তারের উষ্ণতা বাড়ে।

৩। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কগুলির ভিত্তিতে কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে পার্থক্য কী?

আমরা জানি, স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক তিনটিঃ (ক) ইয়ং গুণাঙ্ক, (খ) আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক এবং (গ) দৃঢ়তা গুণাঙ্ক। কঠিন পদার্থ অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন, আয়তন পীড়ন এবং কৃত্তন পীড়ন তিন ধরনের পীড়ন সহ্য করতে পারে, তাই কঠিন পদার্থের তিন ধরনের গুণাঙ্কই বর্তমান। তরল পদার্থ ও গ্যাস শুধু আয়তন পীড়ন সহ্য করতে পারে, তাই তরল পদার্থ ও গ্যাসের কেবলমাত্র আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক আছে। তবে তরল পদার্থের তুলনায় গ্যাসের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্কের মান খুব কম। কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্কের মান কাছাকাছি।

৪। স্প্রিং সাধারণত ইস্পাতের তৈরি হয়, তামার হয় না কেন?

ইস্পাতের স্থিতিস্থাপকতা তামার তুলনায় বেশি। অর্থাৎ তামার তুলনায় ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক সীমার মান বেশি। ধরুন, একটি তামার তৈরি ও আর একটি ইস্পাতের তৈরি, একই আকারের দুটি স্প্রিং নেওয়া হল। এবার স্প্রিং দুটির উপর সমান বল প্রয়োগ করা হল। আন্তে আন্তে প্রযুক্ত বলের মান বাড়ানো হলে দেখা যাবে, যে বলের ক্রিয়ায় ইস্পাতের তৈরি স্প্রিংয়ের স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম বজায় থাকছে সেই বলের ক্রিয়ায় তামার তৈরি স্প্রিং এ স্থায়ী বিকৃতি ঘটছে। তাই স্প্রিং সাধারণত তামার পরিবর্তে ইস্পাত দিয়েই তৈরি হয়। তবে যেসব ক্ষেত্রে বেশি মানের বল প্রযুক্ত হওয়ার সম্ভাবনা নেই সেসব ক্ষেত্রে তামার তৈরি স্প্রিং ব্যবহার করা যেতে পারে। কিন্তু তামার দাম ইস্পাতের তুলনায় বেশি হওয়ায় সাধারণত

তামার তৈরি স্প্রিং ব্যবহার করা হয় না।

৫। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পয়সনের অনুপাত কেবলমাত্র পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, প্রযুক্ত পীড়নের উপর নয়। প্রযুক্ত পীড়ন বাড়লে অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি যেমন বাড়ে, পার্শ্বীয় বিকৃতি বাড়ে তার সমানুপাতে। ফলে পয়সনের অনুপাত ধ্রুবক থাকে কারণ পয়সনের অনুপাত, $\sigma = -\frac{Ldr}{rdl}$ তাই স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পয়সনের অনুপাত প্রযুক্ত পীড়নের উপর নির্ভরশীল নয়। শুধুমাত্র বস্তুর অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির উপর নির্ভর করে যা কেবলমাত্র পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

৬। একই দৈর্ঘ্যের একটি সরু লোহার তার এবং একটি মোটা লোহার তারের ইয়ং গুণাঙ্কের মান কি ভিন্ন হবে? একই দৈর্ঘ্যের একটি সরু লোহার তার এবং একটি মোটা লোহার তারের ইয়ং গুণাঙ্কের মান ভিন্ন হবে না; কারণ ইয়ং গুণাঙ্ক শুধুমাত্র তারের উপাদানের উপর নির্ভর করে।

৭। একটি ইস্পাতের তার থেকে ভার ঝুলিয়ে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা যায় কি? একটি ইস্পাতের তার থেকে ভার ঝুলিয়ে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা যায় না। তার আগেই অসহ ভার অতিক্রম করে তারটি ছিঁড়ে যায়।

৮। দীর্ঘদিন ধরে ব্যবহার করলে স্প্রিং নিক্তি ভুল পাঠ দেয় কেন? দীর্ঘদিন ধরে কোনো স্প্রিং নিক্তি ব্যবহার করলে নিক্তিটির স্থিতিস্থাপক ধর্মের অবনতি ঘটে অর্থাৎ নিক্তির স্থিতিস্থাপক অবসাদ এসে যায়। ফলে প্রযুক্ত ভরের জন্য স্প্রিংয়ের প্রসারণ যা হওয়ার উচিত তার থেকে বেশি হয়। অর্থাৎ স্প্রিং নিক্তি ভুল পাঠ দেয়।

৯। একটি তার ক্রমাগত এদিক ওদিক বাঁকাতে থাকলে সেটি উত্তপ্ত হয়ে ওঠে কেন? একটি তারকে ক্রমাগত এদিক ওদিক বাঁকানোর জন্য যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয়। এই যান্ত্রিক শক্তি তারটির অণুগুলি তুলনামূলকভাবে বেশি গতিশীল হয়। অণুগুলির এই গতিশীলতা তাপশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করে, অর্থাৎ তারটি উত্তপ্ত হয়ে ওঠে।

১০। একটি স্থিতিস্থাপক তারকে কেটে এর দৈর্ঘ্য অর্ধেক করা হলো। এর ফলে তারটি যে পরিমাণ সর্বোচ্চ ভার বহন করতে পারে তার কী পরিবর্তন হয়? কোনো তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য যদি অর্ধেক করে দেওয়া হয়, তবে একই পীড়নের জন্য সেটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণও অর্ধেক হয়ে যায়। অর্থাৎ কোনো তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য যাই হোক না কেন একই পীড়নের জন্য সেটির বিকৃতির পরিমাণ সবসময় একই হবে। এখন, কোনো একটি তার সর্বোচ্চ ভার বহন করার সময়ে সেটির বিকৃতি একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায়। এই নির্দিষ্ট মানটি যেহেতু তারটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল নয়, সেহেতু সেটির সর্বোচ্চ ভার বহন করার পরিমাণ পরিবর্তিত হয় না।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১: 20 m দৈর্ঘ্যের একটি তারে বল প্রয়োগের ফলে এর দৈর্ঘ্য 20.1 m হলো। দৈর্ঘ্য বিকৃতি নির্ণয় করুন।

সমাধান : আমরা জানি,

$$\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{l}{L}$$

$$\text{মান বসালে, } \frac{l}{L} = \frac{0.1 \text{ m}}{20 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} & \text{দেয়া আছে,} \\ & \text{আদি দৈর্ঘ্য, } L = 20 \text{ m} \\ & \text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, } l = 20 \text{ m} - 20.1 \text{ m} = 0.1 \text{ m} \\ & \text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি} = ? \end{aligned}$$

$$\text{বা, } \frac{l}{L} = 0.005$$

উত্তর: 0.005

গাণিতিক উদাহরণ ৬.২: 0.1 cm ব্যাসার্ধের একটি ইস্পাতের তারে 3 kg ভর ঝুলানো হলে পীড়ন কত হবে নির্ণয় করুন। ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

$$\text{সমাধান: আমরা জানি, পীড়ন} = \frac{F}{A} = \frac{mg}{\pi r^2}$$

$$\text{মান বসালে, } \frac{F}{A} = \frac{3 \times 9.8}{3.14 \times 0.001^2} = 9.36 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$$

উত্তর: $9.36 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ ।

দেয়া আছে,

চাপানো ভর, $m = 3 \text{ kg}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

ব্যাসার্ধ, $r = 0.001 \text{ m}$

পীড়ন = ?

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৩: 2 m দীর্ঘ 1 mm ব্যাসের একটি লোহার তারের এক প্রান্তে 8 kg ভর ঝোলানো হল। লোহার ইয়াং-গুণাঙ্ক $Y = 2.2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ হলে তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কত হবে? ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

$$\text{সমাধান: আমরা জানি, } Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$$

$$\text{বা, } l = \frac{mgL}{\pi r^2 Y}$$

$$\text{মান বসালে, } l = \frac{8 \times 9.8 \times 2}{3.14 \times (0.5 \times 10^{-3})^2 \times 2.2 \times 10^{11}}$$

$$\text{বা, } l = \frac{156.8}{1.727 \times 10^5}$$

$$\text{বা, } l = 9.1 \times 10^{-4} \text{ m}$$

উত্তর: $9.1 \times 10^{-4} \text{ m}$ ।

দেয়া আছে,

তারের দৈর্ঘ্য, $L = 2 \text{ m}$

তারের ব্যাসার্ধ, $r = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

ইয়াং-গুণাঙ্ক, $Y = 2.2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$

চাপানো ভর, $m = 8 \text{ kg}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $l = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৪ : $2 \times 10^5 \text{ kgm}^{-2}$ চাপে 10^{-3} m^3 গ্লিসারিনের আয়তন $0.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ কমে। গ্লিসারিনের আয়তন গুণাঙ্ক কত?

$$\text{সমাধান: আমরা জানি, } K = \frac{dp}{dv/V}$$

$$\text{মান বসালে, } K = \frac{2 \times 10^5 \times 9.8}{\frac{0.42 \times 10^{-3}}{10^{-3}}}$$

$$\text{বা, } K = \frac{2 \times 9.8 \times 10^5}{0.42} = 46.7 \times 10^5$$

$$\text{বা, } K = 4.67 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$$

উত্তর: $4.67 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ ।

দেয়া আছে,

চাপের পরিবর্তন, $dp = 2 \times 10^5 \text{ kgm}^{-2}$

বা, $dp = 2 \times 10^5 \times 9.8 \text{ Nm}^{-2}$

আয়তন, $V = 10^{-3} \text{ m}^3$

আয়তন পরিবর্তন, $dv = 0.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

আয়তন গুণাঙ্ক, $K = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৫ : যদি সাধারণ শিলার স্থিতিস্থাপকতার সীমা $3 \times 10^8 \text{ Nm}^{-2}$ এবং গড় ঘনত্ব $3 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ হয়, তবে পৃথিবীপৃষ্ঠে কোনো পর্বতের সর্বোচ্চ উচ্চতা কত হতে পারে ? ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$)

সমাধান : ধরা যাক, পাহাড়ের সর্বোচ্চ উচ্চতা h । পর্বতটিকে যদি শঙ্কু আকৃতির ধরে নেওয়া হয়, তবে পর্বতটির তলদেশের কেন্দ্রে সর্বোচ্চ চাপ $h\rho g$ ক্রিয়াশীল হবে।

প্রশ্নানুসারে,

তলদেশের কেন্দ্রে সর্বোচ্চ চাপ = শিলার স্থিতিস্থাপকতার সীমা = অসহ পীড়ন

$$\text{বা, } h\rho g = 3 \times 10^8$$

$$\text{বা, } h = \frac{3 \times 10^8}{\rho g} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^3 \times 10}$$

$$\text{বা, } h = 10^4 \text{ m}$$

উত্তর: 10^4 m ।

দেয়া আছে,

$$\text{অসহ পীড়ন} = 3 \times 10^8 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\text{ঘনত্ব, } \rho = 3 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\text{অভিকর্ষজ ত্বরণ, } g = 10 \text{ ms}^{-2}$$

$$\text{পাহাড়ের উচ্চতা, } h = ?$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৬ : যে কোনো তারের অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ঘটলে যদি তার আয়তন পরিবর্তন না হয় তবে পয়সনের অনুপাত কত হবে?

সমাধান : ধরা যাক, তারের আয়তন, $V = \pi r^2 l$

ব্যবকলন করে পাই, $dV = \pi r^2 dl + 2\pi r l dr$

এখানে, $dV =$ আয়তন, $dr =$ ব্যাসার্ধের পরিবর্তন এবং $dl =$ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন।

আয়তন অপরিবর্তিত থাকলে, $dV = 0$

$$\text{বা, } 0 = \pi r^2 dl + 2\pi r l dr$$

$$\text{বা, } 0 = rdl + 2ldr$$

$$\text{বা, } rdl = -2ldr$$

$$\text{বা, } \frac{dr}{r} = -\frac{1}{2} \frac{dl}{l}$$

$$\text{বা, } \frac{dr}{dl} = -\frac{1}{2} \frac{r}{l} \quad \text{এখানে, ঋণাত্মক চিহ্ন দিয়ে বোঝানো হয়েছে যে, দৈর্ঘ্য বৃদ্ধিতে ব্যাসার্ধ হ্রাস পায়।}$$

$$\text{আমরা জানি, পয়সনের অনুপাত, } \sigma = -\frac{r}{dl} \frac{dr}{L}$$

$$\text{অতএব, } \sigma = -\frac{Ldr}{rdl} = -\frac{1}{2}$$

বা, $\sigma = \frac{1}{2}$

উত্তর: $\frac{1}{2}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৭ : 1 mm^2 প্রস্থচ্ছেদ এবং 2 m দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি সূক্ষ্ম তারের 1 mm দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করতে 0.05 J কার্যের প্রয়োজন হলে, পদার্থের উপাদানের ইয়ং গুণাক্ষ নির্ণয় করুন।

সমাধান : আমরা জানি, $W = \frac{YAl^2}{2L}$

বা, $Y = \frac{2LW}{Al^2}$

মান বসালে, $Y = \frac{2 \times 2 \times 0.05}{10^{-6} \times (10^{-3})^2}$

বা, $Y = 2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$

উত্তর: $2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ ।

দেয়া আছে,
প্রস্থচ্ছেদ, $A = 1 \text{ mm}^2 = 10^6 \text{ m}^2$
দৈর্ঘ্য, $L = 2 \text{ m}$
দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $l = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$
কাজ, $W = 0.05 \text{ J}$
ইয়ং গুণাক্ষ, $Y = ?$



সার-সংক্ষেপ :

- হকের সূত্রঃ স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতিক।
- ইয়ং গুণাক্ষ : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে ইয়ং গুণাক্ষ বলে।
- দৃঢ়তা গুণাক্ষ : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কৃন্তন পীড়ন ও কৃন্তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে দৃঢ়তা গুণাক্ষ বলে।
- আয়তন গুণাক্ষ : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে আয়তন পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে আয়তন গুণাক্ষ বলে।
- পয়সনের অনুপাত : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পার্শ্ব বিকৃতি ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাতকে একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে পয়সনের অনুপাত বলে।
- একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি : $\varepsilon = \frac{1}{2} \times \text{পীড়ন} \times \text{বিকৃতি}$ ।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। তামার পরিবর্তে ইস্পাতকে স্প্রিং তৈরিতে ব্যবহার করা হয় কে?

ক. ইস্পাত সস্তা

খ. ইস্পাতে ঘনত্ব বেশী

গ. ইস্পাতের ইয়ং-গুণাক্ষ বেশী

ঘ. তামার ইয়ং-গুণাক্ষ বেশী

২। ইয়ং-গুণাক্ষ পরীক্ষার তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হলে পূর্বের তুলনায় ইয়ং-গুণাক্ষ হবে

ক. অর্ধেক

খ. সমান

গ. দ্বিগুণ

ঘ. চারগুণ

৩। ইয়ং-গুণাক্ষ পরীক্ষার উপাদান ও ব্যাসার্ধ অপরিবর্তিত রেখে তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলে পূর্বের তুলনায় বিকৃতির অনুপাত হবে

ক. 1:1

খ. 1:2

গ. 2:1

ঘ. 1:4

৪। একই ধাতুর চারটি তারকে একই ভর দ্বারা টান দেওয়া হল। এদের প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য ও ব্যাস নিচে দেওয়া হল। কোনটি দৈর্ঘ্য বেশি প্রসারিত হবে?

ক. 100 cm দৈর্ঘ্য 1 mm ব্যাস

খ. 200 cm দৈর্ঘ্য 2 mm ব্যাস

গ. 300 cm দৈর্ঘ্য 3 mm ব্যাস

ঘ. 400 cm দৈর্ঘ্য 0.5 mm ব্যাস

পাঠ-৬.৩

পৃষ্ঠটান

Surface Tension



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তরল পদার্থের পৃষ্ঠটান ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে পৃষ্ঠটান ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৬.৩.১ তরল পদার্থের পৃষ্ঠটান (Surface Tension of Liquids) :

সকল তরলেরই একটি বিশেষ ধর্ম আছে। তরলপৃষ্ঠ সর্বদা সংকুচিত হতে চায় যাতে তার ক্ষেত্রফল যতটা সম্ভব কম হয়। তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সংকোচনের এই প্রবণতাকে তরলের পৃষ্ঠটান বলা হয়। আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা থেকে জানি যে, পানির কণা, বৃষ্টির ফোটা বা অল্প পরিমাণ পানির সর্বদা গোলক আকার ধারণ করে। বাইরে থেকে অন্য বল ক্রিয়া না করলে অল্প পরিমাণ তরল সর্বদা গোলকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হয়। তাই কণার স্বাভাবিক প্রবণতা হলো গোলাকার ধারণ করে পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল কমানো।

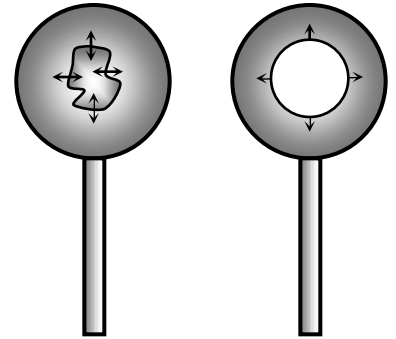
একটি পরিষ্কার তেলবিহীন সূচ পানির উপর সাবধানে রাখলে দেখা যায়, সূচটি পানির উপর ভাসছে, ডুবে যাচ্ছে না। যেখানে সূচটি ভাসে সেখানে পানির পৃষ্ঠতল একটু অবনত বা নিচু হয়ে থাকে, অর্থাৎ একটু দেবে যায়। টানটান করে রাখা রবারের পাতের উপর কিছু রাখলে সেটি যেমন একটু দেবে যায়, এটাও তাই।

মাকড়সা, মশা প্রভৃতি ছোটো ছোটো কীটপতঙ্গ পানির উপর দিয়ে হেঁটে গেলে দেখা যায়, যেখানে তাদের পা পড়ে সেখানে পানির পৃষ্ঠতল একটু দেবে যায়। মনে হয় যেন পানির তল রবারের পাতের মত টানটান অবস্থায় আছে।

নিম্নলিখিত পরীক্ষাটি দিয়েও তরলে পৃষ্ঠটান ধর্ম দেখানো যায়।

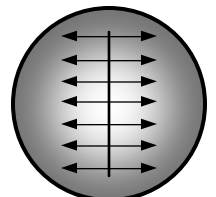
একটি তারের গোল আংটাকে সাবান পানিতে ডুবিয়ে তুলে আনলে আংটার ভিতরে একটি পাতলা সাবানের সর আটকে থাকে, এটি তরলের পৃষ্ঠতল বা মুক্তপৃষ্ঠ হিসেবে কাজ করে। এখন একটি ছোট সূতোর ফাঁস সাবান পানিতে ভিজিয়ে আংটার সরের উপর রাখা হল। ফাঁসটি যেভাবে রাখা হল দেখা যাবে সেটি সেভাবেই সরের উপর থাকছে (চিত্র ৬.১৫ক)। এবার একটি সর সূচের সাহায্যে ফাঁসের ভিতরের সরটিকে ফাটিয়ে দিলে ফাঁসটি টানটান হয়ে গোল আকার ধারণ করে (চিত্র ৬.১৫খ)। এর কারণ কী?

প্রথমে ফাঁসের ভিতরে ও বাইরে সর ছিল। এই অবস্থায় ফাঁসের প্রতিটি বিন্দুতে সরের পৃষ্ঠের সঙ্গে স্পর্শকীয়ভাবে দুটি সমান ও বিপরীতমুখী বল কাজ করে। এদের মধ্যে যে বলটি ফাঁসের ভিতরের দিকে কাজ করে সেটি ফাঁসের ভিতরে সরের উপস্থিতির জন্য ক্রিয়াশীল হয়। এই দুটি বল পরস্পরকে প্রশমিত করে। তাই ফাঁসের উপর এদের কোনো প্রভাব না থাকায় ফাঁসটি যেমন এলোমেলোভাবে পড়েছিল সেভাবেই থাকে। কিন্তু পরে যখন ফাঁসের অভ্যন্তরের সর অপসারিত হয় তখন ভিতরের বলটি থাকে না কিন্তু ফাঁসের বাইরের সরের জন্য বাইরের বলটি ফাঁসের প্রতি বিন্দুতে লম্বভাবে ক্রিয়া করে। আমরা জানি, সমান পরিসীমার বিভিন্ন আকৃতিবিশিষ্ট ক্ষেত্রের মধ্যে বৃত্তের ক্ষেত্রফল সবচেয়ে বেশি হয়। তাই ফাঁস দ্বারা তৈরি সরের ক্ষেত্রফল বেশি স্থান দখল করে। সূতরাং ফাঁস ও আংটার মধ্যবর্তী সরের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হয়ে যায়। এ থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় সরটি টানটান অবস্থায় আছে এবং এর



ক চিত্র ৬.১৫

মনে রাখুন
কণার স্বাভাবিক প্রবণতা হলো
গোলকার ধারণ করে পৃষ্ঠতলের
ক্ষেত্রফল কমানো।



চিত্র ৬.১৬

ক্ষেত্রফল হ্রাস করার প্রবণতা আছে।

উপরের আলোচিত উদাহরণ এবং পরীক্ষা থেকে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে তরলের মুক্তপৃষ্ঠে সর্বদা একটি টান কাজ করে এবং তরল পৃষ্ঠ টানটান করে রাখা পাতলা রবারের পাতের মতো ব্যবহার করে। তরলপৃষ্ঠে ত্রিযাশীল এই টানই হলো পৃষ্ঠটান।

তরলের মুক্ত পৃষ্ঠের উপর একটি রেখা টানা হলো (চিত্র ৬.১৬)। পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সঙ্কোচন প্রবণতার জন্য এই রেখার একপাশের অণুগুলি অপর পাশের অণুগুলি থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে দূরে সরে যেতে চায়। তাই পৃষ্ঠটানের নিম্নলিখিত সংজ্ঞাটি দেওয়া যায়,

কোনো তরলের মুক্তপৃষ্ঠের উপর একটি রেখা কল্পনা করা হলে ঐ রেখার সঙ্গে লম্বভাবে এবং পৃষ্ঠতলের সঙ্গে স্পর্শকীয়ভাবে রেখাটির প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর উভয়দিকে যে বল ক্রিয়া করে তাকে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান বলা হয়।

কোন তরলের পৃষ্ঠের উপর L দৈর্ঘ্যের রেখার সাথে লম্বভাবে এবং পৃষ্ঠের স্পর্শক রূপে রেখার উভয় দিকে F বল ক্রিয়া করলে পৃষ্ঠটান, $T = \frac{F}{L}$ । এর একক, Nm^{-1} এবং মাত্রা $\frac{\text{MLT}^{-2}}{\text{L}} = \text{MT}^{-2}$

কল্পিত রেখার উভয় দিকে বল ক্রিয়াশীল হলেও পৃষ্ঠটান হিসাবের সময় এক দিকের বল বিবেচনা করতে হয়।

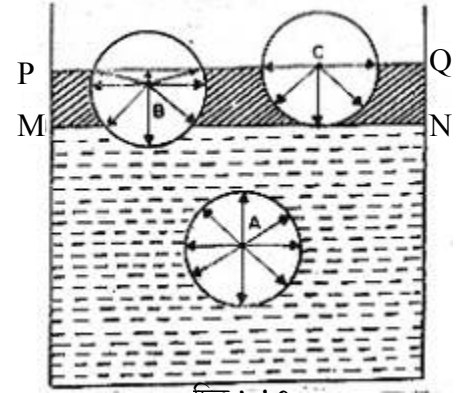


৬.৩.২ পৃষ্ঠটানের আণবিক তত্ত্ব (Molecular Theory of Surface Tension) :

বৈজ্ঞানিক ল্যাপ্লাস সর্বপ্রথম আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে নিম্নলিখিত ভাবে পৃষ্ঠটান ব্যাখ্যা করেন।

তরলের অণুগুলো পরস্পরকে সংসক্তি বলে আকর্ষণ করে। দুটি অণুর মধ্যে সংসক্তি বল এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর নির্ভর করে। এই আকর্ষণ বল একটি অণু থেকে আর একটি অণু সর্বাধিক যে নির্দিষ্ট দূরত্বে থেকে সংসক্তি বল অনুভব করে সেই দূরত্বকে আণবিক পাল্লা বলে। এই পাল্লার মান 10^{-9}m এর কাছাকাছি। এখন একটি অণুকে কেন্দ্র করে 10^{-9}m ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করলে কেন্দ্রস্থ অণুটি গোলকের অভ্যন্তরস্থ সব অণু দ্বারা আকৃষ্ট হবে। গোলকের বাইরের অণুর এর উপর কোন প্রভাব থাকবে না। এই গোলকটিকে অণুটির প্রভাব গোলক বলে।

(৬.১৭) চিত্রে A, B ও C তিনটি অণু বিবেচনা করা হয়েছে। A অণুটি তরলের ভিতরে, B অণুটি তরল পৃষ্ঠের ঠিক নিচে এবং C অণুটি তরলপৃষ্ঠে অবস্থিত। এখন এদের প্রত্যেকের প্রভাব গোলক আঁকা হলো। A অণুটি সম্পূর্ণভাবে তরলের ভিতরে আছে। তার প্রভাব গোলকের অভ্যন্তরস্থ সকল অণু দ্বারা চারিদিকে সমভাবে আকৃষ্ট হবে। ফলে A অণুটির উপর লব্ধি আকর্ষণ বল শূন্য। B অণুটি এমন এক অবস্থানে অবস্থিত যে এর প্রভাব গোলকের কিছু অংশ তলে এবং কিছু অংশ বাইরে পড়েছে। যে অংশ বাইরে পড়েছে সে অংশে তরলের অণু না থাকায় গোলকের উপরের অংশের চেয়ে নিচের অংশে অণুর সংখ্যা বেশী। ফলে অণুটির উপর উর্ধ্বমুখী আকর্ষণ অপেক্ষা নিম্নমুখী আকর্ষণ বল বেশী। তাই অণুটির উপর নিম্নমুখী একটি লব্ধিবল ক্রিয়া করবে এবং অণুটির নিম্নাভিমুখে যাবার প্রবণতা দেখা যাবে। C অণুটি তরলপৃষ্ঠে অবস্থিত হওয়ায় এর প্রভাব গোলকের অর্ধ অংশ তলের বাইরে পড়েছে। এ অংশে তরলের অণু না থাকায় অণুটির উপর কোনো উর্ধ্বমুখী বল নাই। কেবল প্রভাব গোলকের নিচের অর্ধেক অংশের অণুগুলোর জন্য নিম্নাভিমুখী আকর্ষণ বল অণুভব করবে। কাজেই C অণুটি সর্বাধিক লব্ধিবলে নিম্নাভিমুখে যাবার প্রবণতা দেখা যাবে।



চিত্র ৬.১৭

এবার তরলের মুক্তপৃষ্ঠ PQ থেকে আণবিক পাল্লার সমান দূরত্বে একটি সমান্তরাল তল MN কল্পনা করলে PQ এবং MN তলের ভিতরে অবস্থিত অণুগুলির সংসক্তি বলের জন্য নিম্নমুখী টান অণুভব করবে। এই টান MN তল থেকে যতই উপরে যাওয়া যাবে ততই বৃদ্ধি পেতে থাকবে এবং মুক্ত তলে এর মান সর্বাধিক। কোনো অণুকে তরলের অভ্যন্তর হতে MN তলের উপরে আনতে নিম্নমুখী সংসক্তি বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হবে এবং এই কাজ অণুটির বিভবশক্তি বৃদ্ধি করবে। সুতরাং MN তলের নিচের অণুর তুলনায় উপরের অণুর বিভবশক্তি বেশী। সকল বস্তুই সর্বনিম্ন বিভবশক্তিতে আসতে চায়। এখন MN তল হতে মুক্তপৃষ্ঠ পর্যন্ত অণুগুলোর বিভবশক্তি সর্বনিম্ন করতে হলে মুক্তপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হ্রাস

করতে হবে। কাজেই তরলের মুক্ততল সর্বদা ক্ষেত্রফল হ্রাস করতে চায় অর্থাৎ সঙ্কুচিত হতে চায়, ফলে মুক্তপৃষ্ঠ টান টান অবস্থায় থাকে। মুক্তপৃষ্ঠ সঙ্কুচিত হবার প্রয়াসে এর স্পর্শক বরাবর যে টান বল অনুভূত হয় তাকে পৃষ্ঠটান বলে। এটিই হলো আণবিক তড়ের সাহায্যে পৃষ্ঠটান ব্যাখ্যা।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৮ : 0.05 m লম্বা একটি চুল পানিতে ভাসছে। পানির পৃষ্ঠটান $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ হলে চুলটিকে পানি থেকে তুলতে কত বলের প্রয়োজন হবে বের করুন।

সমাধান : চুলের দুই পাশই পানির সাথে স্পর্শ করে থাকে।

তাই এখানে কার্যকর দৈর্ঘ্য, $l = 2 \times 0.05 \text{ m} = 0.1 \text{ m}$ ।

আমরা জানি, পৃষ্ঠটান, $T = \frac{F}{l}$

বা, $F = Tl$

মান বসালে, $F = 72 \times 10^{-3} \times 0.1$

বা, $F = 7.2 \times 10^{-3} \text{ N}$

উত্তর: $7.2 \times 10^{-3} \text{ N}$ ।

দেয়া আছে,

পানির পৃষ্ঠটান, $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

চুলের দৈর্ঘ্য, $l = 2 \times 0.05 \text{ m} = 0.1 \text{ m}$

বল, $F = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৯ : একটি পানির উপরে হাঁটাহাঁটি করা চার পা বিশিষ্ট পোকাক প্রতটি পায়ের 0.01 m পানির সাথে স্পর্শ করে থাকে। পানির পৃষ্ঠটান $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ হলে পোকাকটির সর্বোচ্চ ভর কত হতে পারে বের করুন। ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

সমাধান : আমরা জানি, পৃষ্ঠটান, $T = \frac{F}{l}$

বা, $F = Tl$

মান বসালে, $F = 72 \times 10^{-3} \times 0.08$

বা, $F = 0.576 \times 10^{-3} \text{ N}$

বা, $m = \frac{F}{g} = \frac{0.576 \times 10^{-3}}{9.8}$

বা, $m = 59 \times 10^{-5} \text{ kg}$

উত্তর: $m = 59 \times 10^{-5} \text{ kg}$

দেয়া আছে,

পানির পৃষ্ঠটান, $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

পানির স্পর্শে পায়ের দৈর্ঘ্য, $l = 4 \times 2 \times 0.01 \text{ m} = 0.08 \text{ m}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

ভর, $m = ?$



সার-সংক্ষেপ :

- পৃষ্ঠটান : কোনো তরলের মুক্তপৃষ্ঠের উপর একটি রেখা কল্পনা করা হলে ঐ রেখার সঙ্গে লম্বভাবে এবং পৃষ্ঠতলের সঙ্গে স্পর্শকীয়ভাবে রেখাটির প্রতি একক দৈর্ঘ্যের উপর উভয়দিকে যে বল ক্রিয়া করে তাকে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান বলা হয়।
- আণবিক তড়ের সাহায্যে পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা: পৃষ্ঠটান মুক্তপৃষ্ঠ সঙ্কুচিত হবার প্রয়াসে এর স্পর্শক বরাবর যে টান বল অনুভূত হয় তাকে পৃষ্ঠটান বলে। এটিই হলো আণবিক তড়ের সাহায্যে পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। পৃষ্ঠটানের একক কোনটি?

ক. Nm

খ. Nm^{-1}

গ. Nm^{-2}

ঘ. Nm^2

২। আণবিক তত্ত্ব অনুসারে তরলে পৃষ্ঠটান কোথায় সৃষ্টি হয়?

ক. তরলের তলদেশে খ. উপর থেকে 10^{-9} m নিচে গ. উপর থেকে 10^{-9} m মধ্যে ঘ. উপরে

পাঠ-৬.৪

পৃষ্ঠশক্তি

Surface Energy



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- □ তরল পৃষ্ঠ শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- □ তরলের পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠ শক্তির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন।
- □ তরলের পৃষ্ঠটানের উপর প্রভাব বিস্তারকারী বিভিন্ন বিষয় উল্লেখ করতে পারবেন।



৬.৪.১ পৃষ্ঠশক্তি (Surface Energy) :

আমরা জানি, তরলের মুক্তপৃষ্ঠে পৃষ্ঠটান পৃষ্ঠতলকে সংকুচিত করার চেষ্টা করে। এই কারণে পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বাড়াতে হলে বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করতে হয়। বহিষ্কৃত উৎস পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বাড়ানোর জন্য যে কাজ করে সেটি বিভবশক্তিরূপে তরলপৃষ্ঠে সঞ্চিত হয়। একে পৃষ্ঠশক্তি বলা হয়। তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তার দ্বারা তরলের পৃষ্ঠশক্তি পরিমাপ করা হয়। কোনো তরলের মুক্ততলের ক্ষেত্রফল ΔA পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যদি W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়,

তাহলে পৃষ্ঠশক্তি, $E = \frac{W}{\Delta A}$ । পৃষ্ঠশক্তির একক Jm^{-2} এবং মাত্রা MT^{-2} ।

পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠশক্তির সম্পর্ক (Relation between Surface Tension and Surface Energy) :

কোনো তরলপৃষ্ঠে যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় তবে ঐ রেখার উভয় পার্শ্বের তরলপৃষ্ঠ পরস্পর হতে বিচ্ছিন্ন হবার জন্য ঐ রেখার সাথে লম্বভাবে এবং এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে তরলপৃষ্ঠের স্পর্শক অভিমুখে যে বল প্রয়োগ করে তাকে পৃষ্ঠ টান বলে।

যদি তরল পৃষ্ঠে l দৈর্ঘ্য সহিত লম্বভাবে এবং তরল পৃষ্ঠের স্পর্শক অভিমুখে বল F

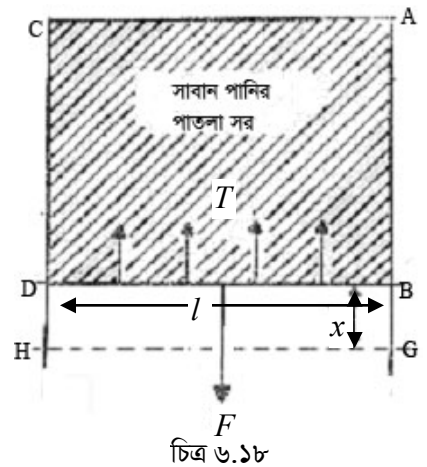
হয় তবে পৃষ্ঠ টান $T = \frac{F}{l} \text{Nm}^{-1}$

আমরা দেখলাম, তরলের মুক্তপৃষ্ঠে সর্বদা একটা টান ক্রিয়া করে এবং ঐ টানকে পৃষ্ঠটান বলে। পৃষ্ঠটান সর্বদা তরল পৃষ্ঠে ক্ষেত্রফল হ্রাস করতে চেষ্টা করে।

সুতরাং তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করতে হলে পৃষ্ঠটানের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয় এবং এই কাজ বিভবশক্তি রূপে তরল পৃষ্ঠে সঞ্চিত হয়। তরলের এই বিভবশক্তিকে পৃষ্ঠশক্তি বলে।

মনে করি, ৬.১৮ নং চিত্রে ABCD একটি তারের ফ্রেম। DB বাহুটি সম্মুখগামী অর্থাৎ এটি CD ও AB বাহুর উপর বাধাহীন ভাবে চলাচল করতে পারে। ফ্রেমটিকে সাবানের পানিতে ডুবিয়ে তুললে একটি সাবানের ফেনার দুই পৃষ্ঠ বিশিষ্ট একটি পর্দা তৈরী হবে। পৃষ্ঠ টানের জন্য ঐ পর্দার প্রতিটি বাহুকে ভিতর দিকে টানতে থাকবে। ফলে DB বাহুটি ভিতর দিকে যেতে চাইবে। DB বাহুটির

দৈর্ঘ্য l এবং সাবানের ফেনার পৃষ্ঠটান T হলে DB তারটি উপর প্রযুক্ত বল $2lT$ (এখানে মনে রাখতে হবে যে সাবান পানির সরের দুপাশে দুটি পৃষ্ঠ থাকায় অর্থাৎ সর ও বায়ুর দুটি স্পর্শতল থাকায় এবং উভয়পৃষ্ঠে একই পৃষ্ঠটান কাজ করায়



প্রযুক্ত বল দ্বিগুণ করা হয়েছে। সুতরাং তারটিকে স্থির রাখতে হলে পৃষ্ঠটানের বিরুদ্ধে $2lT$ বল প্রয়োগ করতে হবে। মনে করি, ঐ তারটিকে ধিরে ধিরে টেনে x দূরত্বে HG অবস্থানে আনা হলো। এর ফলে পর্দাটির ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেল, $\Delta A = 2lx$ ।

বলের বিরুদ্ধে ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করতে সম্পাদিত কাজ, $W = Fx = 2lTx$ ।

এই কাজ শক্তি রূপে সঞ্চিত হবে।

সুতরাং, প্রতি একক ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করতে সম্পাদিত কাজ = পৃষ্ঠ শক্তি।

$$\text{অতএব, পৃষ্ঠ শক্তি, } E = \frac{W}{\Delta A} = \frac{2lxT}{2lx} = T \dots \dots \dots (৬.১১)$$

সুতরাং, তরলের পৃষ্ঠশক্তি বা বিভবশক্তি সংখ্যাগতভাবে তরলের পৃষ্ঠটানের সমান। মনে রাখতে হবে এক্ষেত্রে তাপমাত্রা স্থির আছে। তাহলে নিম্ন উপায়েও পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা দেয়া যায়। তাপমাত্রা স্থির রেখে তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে কার্য করা হয় তাকে ঐ তাপমাত্রায় তরলের পৃষ্ঠটান বলা হয়।



৬.৪.২ তরলের পৃষ্ঠটানের উপর বিভিন্ন বিষয়ের প্রভাব (Factors Affecting Surface Tension of a Liquid) :

কোনো তরলের পৃষ্ঠটান নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে।

১। **তরলের তাপমাত্রা :** তাপমাত্রা বাড়লে সব তরলের পৃষ্ঠটান কমে। তাপমাত্রার পরিবর্তন অল্প হলে তাপমাত্রা ও পৃষ্ঠটানের মধ্যে সম্পর্ক হলো $T' = T[1 - \alpha(t' - t)]$ (এখানে T ও T' হলো যথাক্রমে t ও t' তাপমাত্রায় পৃষ্ঠটান)। নির্দিষ্ট তরলের জন্য স্থির রাশি α । একে পৃষ্ঠটান পরিবর্তনের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলা হয়। পরীক্ষা করে দেখা গেছে একটি বিশেষ তাপমাত্রায় তরলের পৃষ্ঠটান লোপ পায়। ঐ তাপমাত্রাকে ঐ তরলের সংকট তাপমাত্রা (Critical Temperature) বলা হয়।

২। **দূষণ :** তরলপৃষ্ঠ কোনো অপদ্রব্য দ্বারা দূষিত হলে সাধারণভাবে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান কমে যায়। যেমন, জলের উপর তেল বা চর্বিজাতীয় পর্দাখ ফেললে সেটি সরের মতো ভাসতে থাকে। এতে পৃষ্ঠটান আগের চেয়ে কমে যায়।

৩। **দ্রবীভূত বস্তু উপস্থিতি :** তরলে অজৈব বস্তু দ্রবীভূত থাকলে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান বেড়ে যায়। আবার জৈব বস্তু দ্রবীভূত থাকলে পৃষ্ঠটান কমে যায়। যেমন, বিশুদ্ধ পানির পৃষ্ঠটান প্রায় 0.072Nm^{-1} । কিন্তু পানিতে সাধারণ লবণ (অজৈব বস্তু) দ্রবীভূত থাকলে পৃষ্ঠটান হয় প্রায় 0.083Nm^{-1} এবং সাবানগোলা (জৈব বস্তু) পানির পৃষ্ঠটান প্রায় 0.030Nm^{-1} ।

৪। **তরলের উপরিস্থিত মাধ্যম :** তরলের মুক্তপৃষ্ঠের উপর যে মাধ্যম থাকে তার প্রকৃতির উপর তরলের পৃষ্ঠটান নির্ভর করে। যেমন, জলের উপর শুকনো বায়ু থাকলে পৃষ্ঠটানের মান হয় 0.072Nm^{-1} কিন্তু একই উষ্ণতায় জলীয় বাষ্প থাকলে পৃষ্ঠটানের মান হয় 0.070Nm^{-1} ।

৫। **তরলপৃষ্ঠে তড়িৎ আধানের উপস্থিতি :** তরলপৃষ্ঠে তড়িৎ আধান থাকলে তরলের পৃষ্ঠটান কমে যায়।



৬.৪.৩ তরল ফোঁটাকে বিভক্তকরণে কৃত কাজ :

একটি বড় ফোঁটাকে বিভক্ত করে কতগুলো ক্ষুদ্র ফোঁটায় পরিণত করা হলে পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পায়। যেহেতু তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করতে হলে কিছু কাজ করতে হয়, তাই একটি বড় ফোঁটাকে বিভক্ত করে কতগুলো ক্ষুদ্র ফোঁটায় পরিণত করতে অবশ্যই কিছু কাজ করতে হবে।

মনে করি, R ব্যাসার্ধের একটি তরলের ফোঁটাকে r ব্যাসার্ধের n সংখ্যক ফোঁটায় পরিণত করা হলো।

$$\text{ফোঁটার আয়তন, } V = \frac{4}{3} \pi R^3 = n \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\text{বা, } R^3 = nr^3$$

$$\text{বা, } R = n^{\frac{1}{3}} r$$

$$\text{বা, } r = n^{-\frac{1}{3}} R$$

$$\text{বড় ফোঁটার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল } A = 4\pi R^2$$

$$\text{বা, } A = 4\pi \left(n^{\frac{1}{3}} r \right)^2 = 4\pi n^{\frac{2}{3}} r^2$$

$$\text{ছোট ফোঁটার মোট ক্ষেত্রফল } A' = n \times 4\pi r^2 = 4\pi nr^2$$

সমীকরণ অণুসারে $A' > A$, অর্থাৎ ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেয়েছে।

$$\text{ক্ষেত্রফল বৃদ্ধির পরিমাণ, } \Delta A = A' - A = 4\pi nr^2 - 4\pi R^2$$

$$\text{বা, } \Delta A = 4\pi (nr^2 - R^2) \dots\dots\dots (৬.১২)$$

$$(৬.১২) \text{ নং সমীকরণে } R \text{ এর মান বসালে, } \Delta A = 4\pi \left[nr^2 - \left(n^{\frac{1}{3}} r \right)^2 \right] = 4\pi n^{\frac{2}{3}} r^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right)$$

আমরা জানি, একক ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি জনিত পৃষ্ঠ শক্তি তার পৃষ্ঠটানের সমান। তরলের পৃষ্ঠ টান T হলে, পৃষ্ঠ শক্তি,

$$E = \frac{W}{\Delta A} = T$$

$$\therefore T = W = \Delta AT$$

$$\therefore \text{কৃতকাজ, } W = \Delta AT = 4\pi n^{\frac{2}{3}} r^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right) T \dots\dots\dots (৬.১৩)$$

$$\text{আবার, } (৬.১২) \text{ নং সমীকরণে } r \text{ এর মান বসালে, } \Delta A = 4\pi \left[n \left(n^{-\frac{1}{3}} R \right)^2 - R^2 \right] = 4\pi R^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right)$$

$$\therefore W = \Delta AT = 4\pi R^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right) T \dots\dots\dots (৬.১৪)$$

(৬.১৩) ও (৬.১৪) সমীকরণ দুইটি হলো বড় ফোঁটাকে বিভক্ত করে কতগুলো ক্ষুদ্র ফোঁটায় পরিণত করতে সম্পাদিত কাজের রাশিমালা।

আবার কতগুলো ক্ষুদ্র ফোঁটাকে একত্রিত করে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত করলে পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হ্রাস পায়। এর ফলে শক্তি নির্গত হবে। নির্গত শক্তির পরিমাণও সমীকরণ (৬.১৩) ও (৬.১৪) এর সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১০ : 1 mm ব্যাসার্ধের একটি পানির বিন্দুকে সমান আকারের দশলক্ষ পানির বিন্দুতে ভাগ করা হল। নতুন পৃষ্ঠতল সৃষ্টিতে কী পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য করতে হবে? পানির পৃষ্ঠটান $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ ।

$$\text{সমাধান : আমরা জানি, কৃতকাজ, } W = 4\pi R^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right) T$$

<p>দেয়া আছে, পানির পৃষ্ঠটান, $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ বড় ফোঁটার ব্যাসার্ধ, $R = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ক্ষুদ্র ফোঁটায় সংখ্যা, $n = 10^6$ কৃত কাজ, $W = ?$</p>
--

মান বসালে, $W = 4 \times 3.14 \times (10^{-3})^2 \left[(10^6)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times 72 \times 10^{-3}$

বা, $W = 4 \times 3.14 \times 10^{-6} (10^2 - 1) \times 72 \times 10^{-3}$

বা, $W = 4 \times 3.14 \times 10^{-6} \times 99 \times 72 \times 10^{-3}$

বা, $W = 8.95 \times 10^{-5} \text{ J}$

উত্তর: $W = 8.95 \times 10^{-5} \text{ J}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১১ : 0.1 mm ব্যাসার্ধের 1000 টি পানির বিন্দু মিশে একট বড় পানির বিন্দু তৈরি করা হলো। শক্তির হ্রাস কত হবে? পানির পৃষ্ঠটান $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ ।

সমাধান : আমরা জানি, শক্তির হ্রাস = কৃতকাজ, $W = 4\pi n^{\frac{2}{3}} r^2 \left(n^{\frac{1}{3}} - 1 \right) T$

মান বসালে,

$$W = 4 \times 3.14 \times (10^3)^{\frac{2}{3}} \times (10^{-4})^2 \times \left[(10^3)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \times 72 \times 10^{-3}$$

বা, $W = 4 \times 3.14 \times 10^2 \times 10^{-8} \times [10 - 1] \times 72 \times 10^{-3}$

বা, $W = 4 \times 3.14 \times 9 \times 72 \times 10^{-9}$

বা, $W = 8139 \times 10^{-9}$

বা, $W = 8.139 \times 10^{-6} \text{ J}$

উত্তর: $W = 8.139 \times 10^{-6} \text{ J}$

দেয়া আছে,

পানির পৃষ্ঠটান, $T = 72 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

ক্ষুদ্র ফোঁটায় ব্যাসার্ধ, $r = 0.1 \text{ mm}$

$= 10^{-4} \text{ m}$

ক্ষুদ্র ফোঁটার সংখ্যা, $n = 1000 = 10^3$

কৃত কাজ, $W = ?$



সার-সংক্ষেপ :

- পৃষ্ঠশক্তি : বহিস্থ উৎস পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বাড়ানোর জন্য যে কাজ করে সেটি বিভবশক্তিরূপে তরলপৃষ্ঠে সঞ্চিত হয়। একে পৃষ্ঠশক্তি বলা হয়। প্রতি একক ক্ষেত্রফলে পৃষ্ঠশক্তি বা বিভবশক্তি সংখ্যাগতভাবে তরলের পৃষ্ঠটানের সমান।
- পৃষ্ঠশক্তির পরিবর্তনের কারণ : তাপমাত্রা বাড়লে সব তরলের পৃষ্ঠটান কমে। তরলপৃষ্ঠ কোনো অপদ্রব্য থাকলে তরলের পৃষ্ঠটান কমে যায়। তরলে অজৈব বস্তু দ্রবীভূত থাকলে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান বেড়ে যায় এবং জৈব বস্তু দ্রবীভূত থাকলে পৃষ্ঠটান কমে যায়। তরলপৃষ্ঠে তড়িৎ আধান থাকলে তরলের পৃষ্ঠটান কমে যায়।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। পৃষ্ঠশক্তির একক কোনটি?

ক. Jm

খ. Nm

গ. Jm⁻²

ঘ. Nm⁻²

২। তরল ফোঁটাকে বিভক্ত করতে শক্তির প্রয়োজন হয় কারণ

ক. ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পায়

খ. ক্ষেত্রফল হ্রাস পায়

গ. তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়

ঘ. তাপমাত্রা হ্রাস পায়

পাঠ-৬.৫

কৈশিকতা
Capillarity

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

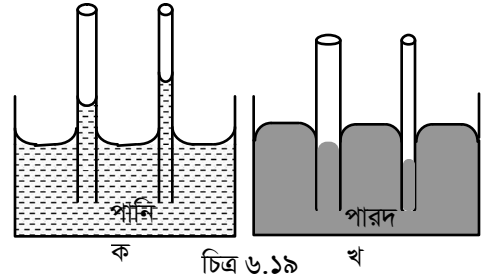
- কৈশিকতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- স্পর্শকোণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কৈশিক নলে তরলের অধিক্ষেপ ও অবক্ষেপের ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৬.৫.১ কৈশিকতা (Capillarity) :

খুব সরু রক্তবিশিষ্ট সুষম নলকে কৈশিক নল (capillary tube) বলা হয়। capillus থেকে capillary শব্দ এসেছে। capillus একটি ল্যাটিন শব্দ যার অর্থ কেশ বা চুল। তাই কেশের মত সরু রক্তবিশিষ্ট নলকে কৈশিক নল বা capillary tube বলা হয়।

এরূপ একটি কাচের কৈশিক নলকে খাড়াভাবে পানিতে ডোবানো হলে নলের মধ্যে পানি উঠে অর্থাৎ নলের ভিতরের পানির তল বাইরের পানির তল অপেক্ষা কিছু উপরে অবস্থান করে। এছাড়া নলের মধ্যে পানির তল অনুভূমিক না হয়ে অবতল হয় (চিত্র ৬.১৯ক)। অ্যালকোহল, তুঁতের দ্রবণ প্রভৃতি তরল যেহেতু কাচকে ভেজায় তাই এদের মধ্যে কাচের কৈশিক নল ডোবালে অনুরূপ ঘটনা ঘটে। আবার নল যত সরু হয় এই সব তরল তত উপরে ওঠে। আবার কাচের কৈশিক নলকে পারদে (অথবা কাচকে ভেজায় না এরূপ তরলে) ডোবালে নলের মধ্যে পারদ কিছুটা নেমে যায় অর্থাৎ নলের ভিতরের পারদতল বাইরের পারদতল অপেক্ষা কিছুটা নিচে অবস্থান করে। এ ছাড়া নলের মধ্যে পারদতল উত্তল আকার ধারণ করে (চিত্র ৬.১৯খ)। নল যত সরু হয়, পারদ তত নিচে নামে।



চিত্র ৬.১৯

কৈশিক নলের ভিতর তরলের উঠানামা-সংক্রান্ত ব্যাপারটিকে কৈশিকতা বলা হয়। কঠিনের সংস্পর্শে থাকা তরলপৃষ্ঠে বক্রতার কৈশিকতার অন্তর্গত। তরলের পৃষ্ঠটানের জন্য এই বিষয়টি ঘটে।



৬.৫.২ স্পর্শকোণ (Angle of Contact):

পদার্থ মাত্রই অসংখ্য অণু দ্বারা গঠিত। অণুগুলো পরস্পরকে $10^{-9}m$ এর মধ্যে আকর্ষণ করে। একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণকে সংসক্তি বল বলে। এই বলেই কঠিন বস্তুর অণুগুলো একত্রিত হয়ে থাকে। এর পালা খুব কম হওয়ায় কঠিন পদার্থ ভেঙ্গে গেলে বায়ুর অণু গায়ে লেগে যায় ফলে ভাঙ্গা অংশ কাছাকাছি আনলে তাদের অণুগুলো আর অত কাছে আসতে পারে না বিধায় পুনরায় একত্রিত হতে পারে না। এই বল কঠিনের ক্ষেত্রে সর্বাধিক। তাই কঠিন পদার্থ নিজের আকার ধারণ করে রাখতে পারে। তরলের ক্ষেত্রে সংসক্তি বল অপেক্ষাকৃত কম এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে নাই বললেই চলে। ভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণকে আসঞ্জন বল বলে। এই বলের



চিত্র ৬.২০

কারণে দুই ধরনের বস্তু একত্রে জোড়া লাগে। সংসক্তি ও আসঞ্জন বলের কারণে তরল এবং কঠিনের সংস্পর্শতলে কোণের সৃষ্টি হয়। এটাই স্পর্শ কোণ।

কোনো কঠিনের সংস্পর্শে থাকা কোনো তরলের উপরিতলের যেকোনো স্পর্শবিন্দুতে যদি ঐ বক্র তরল তলের উপর স্পর্শক টানা হয়, তাহলে সেই স্পর্শক তরলের অভ্যন্তরে থাকা কঠিনের সঙ্গে যে কোণে আনত হয় তাকে ঐ কঠিন ও তরলের মধ্যে স্পর্শকোণ বলা হয় (চিত্র ৬.২০)।

যে সব তরল কঠিন বস্তুকে ভেজায় তাদের স্পর্শকোণ 90° চেয়ে ছোট যেমন কাচ ও পানির স্পর্শকোণ 8° (তেলাক্তহীন কাচ ও বিশুদ্ধ পানির মধ্যে স্পর্শকোণ 0°) এবং যেসব তরল কঠিন বস্তুকে ভেজায় না তাদের স্পর্শকোণ 90° চেয়ে বড় যেমন কাচ ও বিশুদ্ধ পারদের স্পর্শকোণ 140° । (তেলাক্তহীন কাচ ও বিশুদ্ধ রূপার মধ্যে স্পর্শকোণ 90°)

বিভিন্ন বিষয়ের উপর স্পর্শকোণের নির্ভরতা :

১। স্পর্শকোণের মান নির্ভর করে কঠিন ও তরলের প্রকৃতির উপর :

পরীক্ষার কাচের প্লেটের উপর এক ফোটা বিশুদ্ধ পানি ফেললে তা কাচের উপর ছড়িয়ে পড়ে। এক্ষেত্রে স্পর্শকোণটি হয় খুবই ছোটো অর্থাৎ প্রায় শূন্য, অর্থাৎ $\theta \approx 0^\circ$ । অন্যদিকে, এক ফোটা পানি যদি পদ্মপাতার উপর পড়ে, তা হলে তা ছড়ায় না, বরং উত্তল পানির বিন্দুর আকারে পদ্মপাতার ওপরে গুটিয়ে থাকে। এক্ষেত্রে স্পর্শকোণটি হয় $\theta > 90^\circ$ । সাধারণভাবে বলা যায়, স্পর্শকোণ 90° অপেক্ষা কম হলে তরলটি কঠিনকে ভিজিয়ে দেয়, আবার 90° অপেক্ষা বেশী হলে কঠিনকে ভেজায় না। যেমন, বিশুদ্ধ পারদ কাচ ভেজায় না, কাচের সাপেক্ষে পারদের স্পর্শকোণ 140° , আবার রূপার সাপেক্ষে পানির স্পর্শকোণ 90° , অর্থাৎ কোনো রূপার পাত্রের পার্শ্বতল উল্লম্ব থাকলে তাতে রাখা পানির উপরিতল পুরোপুরি অনুভূমিক থাকে।

২। তরলের মুক্তপৃষ্ঠ সংলগ্ন মাধ্যমের উপর :

যেমন পারদপৃষ্ঠের উপর বায়ু থাকলে কাচ ও পারদের যে স্পর্শকোণ হয় (140°), বায়ুর পরিবর্তে পানি থাকলে কাচ ও পারদের সেই স্পর্শকোণ হয় না।

৩। তরলের মধ্যে মিশ্রিত অপদ্রব্যের উপর :

যেমন বিশুদ্ধ পানি ও পরিষ্কার কাচের ক্ষেত্রে স্পর্শকোণ প্রায় 0° কিন্তু সাধারণ পানি ও কাচের স্পর্শকোণ প্রায় 8° ।

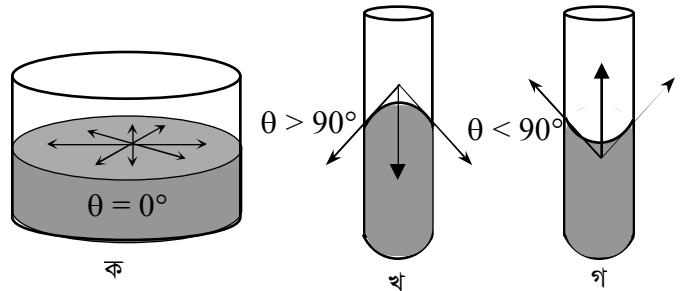


৬.৫.৩ বক্র তরলপৃষ্ঠের উভয় পার্শ্বে চাপের পার্থক্য :

১। ধরা যাক, একটি তরলের মুক্ত তলটি সমতল (চিত্র ৬.২১ক)। ওই তলের উপর অবস্থিত একটি তরলের অণু তরলপৃষ্ঠের অন্যান্য অণুগুলি দ্বারা সবদিকে সমানভাবে আকর্ষণ বল অনুভব করে। ফলে এই তরলের অণুটির উপর পৃষ্ঠটানজনিত লব্ধি বল শূন্য হয়।

২। যদি তরলের মুক্ততলটি উত্তল হয় তবে তরলপৃষ্ঠের প্রতিটি অণু পৃষ্ঠটানের জন্য একটি নিম্নমুখী নিট বল, F অনুভব করে (চিত্র ৬.২১খ)।

৩। যদি তরলের মুক্ততলটি অবতল হয় তবে তরলপৃষ্ঠের প্রতিটি অণু পৃষ্ঠটানের জন্য একটি উর্ধ্বমুখী F নিট বল অনুভব করে (চিত্র ৬.২১গ)।



চিত্র ৬.২১

স্পষ্টতই একটি বক্র তরলপৃষ্ঠ সাম্যাবস্থায় থাকবে,

অর্থাৎ একটি বক্র তরলপৃষ্ঠ বক্র অবস্থায় থাকবে যদি তার উভয় পার্শ্বে চাপের পার্থক্য থাকে। এই চাপের পার্থক্য অতিরিক্ত চাপ নামে পরিচিত। তরলের পৃষ্ঠটানের জন্য সৃষ্ট বল অতিরিক্ত চাপের জন্য সৃষ্ট বলকে প্রতিমিত করে। তরলপৃষ্ঠের যেকোনো চাপ বেশী থাকে সেদিকে অবতল অবস্থায় থাকে এবং যেকোনো চাপ অপেক্ষাকৃত কম থাকে সেদিক উত্তল অবস্থায় থাকে।

কৈশিক নলে তরলের উন্নতি :

আমরা জেনেছি অতি ক্ষুদ্র রক্তযুক্ত নলকে কৈশিক নল বলে। কৈশিক নলে ভিতরে তরলের উর্ধ্বারোহণ বা অবনমনকে কৈশিকতা বলে। দুইমুখ খোলা একটি কাচ নলকে পানি বা কাচ ভেজায় এমন তরলে খাড়াভাবে ডুবালে নলের ভিতরে তরল কিছুটা উপরে উঠে যায় এবং তরলের মুক্ততল অবতল আকার ধারণ করে। এই অবতল আকার ধারণ করার অর্থ হলো তলের ঠিক নিচে তরলের ভিতরের চাপ তার উপর বায়ুমন্ডলের চাপের চেয়ে কম, ফলে তরল উপরে উঠে আসে যতক্ষণ না নল মধ্যস্থ তরলস্তম্ভের ওজন চাপের পার্থক্যের সমান না হয়।

ধরা যাক, উল্লম্বভাবে রাখা একটি কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ r , আলোচ্য তরলের পৃষ্ঠটান T ও ঘনত্ব ρ এবং কৈশিক নলটিতে তরলটির উন্নতি h (চিত্র ৬.২২)। স্পষ্টতই তরলতল কাচের নলকে একটি বৃত্ত বরাবর স্পর্শ করে। এই বৃত্তকে স্পর্শবৃত্ত বলা হয়। তরলের পৃষ্ঠটান T স্পর্শবৃত্তের পরিধির প্রতি বিন্দুতে তরলতলের স্পর্শক বরাবর ভিতরের দিকে ক্রিয়া করে। ধরা যাক, T এর অভিমুখ নলের ভিতরের পৃষ্ঠের সঙ্গে θ কোণ করে (উল্লেখ্য, এই θ কোণ নলের উপাদান ও তরলের মধ্যে স্পর্শকোণ হবে যদি নলের উচ্চতা তরলের উন্নতি অপেক্ষা বেশি হয়)। তরলের এই পৃষ্ঠটানের ফলে কাচ একটি টান অনুভব করে। যেহেতু প্রত্যেক ক্রিয়ার সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে তাই কাচ তরলের উপর T মানের বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করে। এই টানের দুটি উপাংশ হল উল্লম্বভাবে উর্ধ্বমুখী উপাংশ $T \cos \theta$ এবং অনুভূমিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী উপাংশ $T \sin \theta$ । স্পর্শবৃত্তের কথা বিবেচনা করলে দেখা যায় যে অনুভূমিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী উপাংশগুলি পরস্পরকে প্রতিমিত করে, অর্থাৎ $\sum T \sin \theta = 0$ । তাই উল্লম্বভাবে উর্ধ্বমুখী উপাংশগুলি তরলকে নল বরাবর ওপরের দিকে উঠতে সাহায্য করে।

স্পর্শবৃত্তের পরিধির দৈর্ঘ্য $2\pi r$ ।

অতএব, তরলের উপর মোট উর্ধ্বমুখী বল,

$$2\pi r T \cos \theta \dots\dots\dots (৬.১৫)$$

ρ তরলের ঘনত্ব হলে h উচ্চতার তরলের ওজন, $\pi r^2 h \rho g$ ।

কিন্তু তরলের অবতল ABCD অংশে (চিত্র ৬.২২ ক) কিছুটা তরল থাকে।

ধরা যাক, ঐ তরলের আয়তন, V ।

তাহলে, অবতল অংশের তরলের ওজন, $V \rho g$

সুতরাং, মোট যে ওজনের তরল নল বরাবর ওপরে ওঠে তা হল,

$$(\pi r^2 h + V) \rho g \dots\dots\dots (৬.১৬)$$

সাম্যাবস্থায়, $2\pi r T \cos \theta = (\pi r^2 h + V) \rho g$

বা, $2\pi r T \cos \theta = (\pi r^2 h + V) \rho g$

$$\text{বা, } T = \frac{(\pi r^2 h + V) \rho g}{2\pi r \cos \theta} \dots\dots\dots (৬.১৭)$$

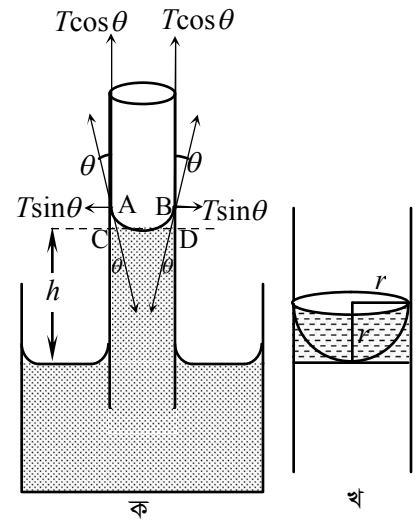
বিশেষ ক্ষেত্র :

১। যদি, h উচ্চতার তরলের আয়তন $\pi r^2 h$ এর তুলনায় অবতল ABCD অংশের (চিত্র ৬.২১ক) তরল আয়তন V

উপেক্ষণীয় হয় তবে, $T = \frac{\pi r^2 h \rho g}{2\pi r \cos \theta}$

$$\text{বা, } T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta} \dots\dots\dots (৬.১৮)$$

$$\text{বা, } h = \frac{2T \cos \theta}{r \rho g} \dots\dots\dots (৬.১৯)$$



চিত্র ৬.২২

তরলের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে T, ρ এবং θ ধ্রুবক থাকে।

সেক্ষেত্রে (৬.১৯) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$hr = \frac{2T \cos \theta}{\rho g}$$

বা, $hr =$ ধ্রুবক বা, $h \propto \frac{1}{r}$ (৬.২০)

(৬.২০) নং সমীকরণকে জুরিনের সূত্র (Jurin's Law) বলে।

জুরিনের সূত্র : কৈশিক নলে কোনো তরলের আরোহণ অথবা অবরোহণ কৈশিক নলের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক।

স্পর্শকোণ 90° চেয়ে ছোট হলে $\cos \theta$ ধনাত্মক হয়। ফলে (৬.১৯) নং সমীকরণ অনুসারে h ধনাত্মক হয়। এই ক্ষেত্রে কৈশিক নলে তরল উপরে উঠে।

স্পর্শকোণ 90° চেয়ে বড় হলে $\cos \theta$ ঋণাত্মক হয়। ফলে (৬.১৯) নং সমীকরণ অনুসারে h ঋণাত্মক হয়। এই ক্ষেত্রে কৈশিক নলে তরল নিচে নামে।

২। যদি, h উচ্চতার তরলের আয়তন $\pi r^2 h$ এর তুলনায় অবতল ABCD অংশের (চিত্র ৬.২২ক) তরল আয়তন V উপেক্ষণীয় না হয় তবে সেই তরলের আয়তন নির্ণয় করে সমীকরণে বসাতে হবে। (চিত্র ৬.২২খ)-এ আলাদা করে দেখানো হয়েছে।

অবতল অংশে তরলের আয়তন = r উচ্চতার ও r ব্যাসার্ধের একটি চোঙের আয়তন - r ব্যাসার্ধের অর্ধগোলকের আয়তন।

বা, $V = \pi r^2 \times r - \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \pi r^3$

বা, $V = \pi r^3 - \frac{2}{3} \pi r^3 = \frac{1}{3} \pi r^3$

৬.১৭ নং সমীকরণে মান বসালে,

$$T = \frac{\left(\pi r^2 h + \frac{1}{3} \pi r^3 \right) \rho g}{2\pi r \cos \theta}$$

বা, $T = \frac{r \rho g \left(h + \frac{1}{3} r \right)}{2 \cos \theta}$ (৬.২১)

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১২ : একটি কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ $8.4 \times 10^{-5} \text{ m}$ । এর একপ্রান্ত উলম্বভাবে তরলে ডুবালে তরল নলের ভিতর 0.0893 m উপরে উঠে। পানির তলটান কত? (ধরা হলো স্পর্শকোণ $\theta \approx 0^\circ$, তরলের ঘনত্ব, $\rho = 830 \text{ kgm}^{-3}$, অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$)

সমাধান: আমরা জানি,

তরলের পৃষ্ঠটান, $T = \frac{r \rho g \left(h + \frac{1}{3} r \right)}{2 \cos \theta}$ এখানে, $r \ll h$ । সেক্ষেত্রে, $h + \frac{1}{3} r \approx h$ ।

সুতরাং আমরা লিখতে পারি, $T = \frac{r \rho g h}{2 \cos \theta}$

মান বসালে, $T = \frac{8.4 \times 10^{-5} \times 830 \times 9.8 \times 0.0893}{2 \cos 0^\circ}$

দেয়া আছে,

নলের ব্যাসার্ধ, $r = 8.4 \times 10^{-5} \text{ m}$

পানির উচ্চতা, $h = 0.0893 \text{ m}$

স্পর্শকোণ, $\theta = 0^\circ$

পানির ঘনত্ব, $\rho = 830 \text{ kgm}^{-3}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

পানির পৃষ্ঠটান, $T = ?$

বা, $T = 3.05 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}$

উত্তর: $3.05 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}$



সার-সংক্ষেপ :

- কৈশিক নল : কেশের মত সরু রক্তবিশিষ্ট নলকে কৈশিক নল বলা হয়।
- সংসক্তি বল : একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণকে সংসক্তি বল বলে।
- আসঞ্জন বল : ভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণকে আসঞ্জন বল বলে।
- স্পর্শকোণ : কঠিনের সংস্পর্শে থাকা কোনো তরলের উপরিতলের যে-কোনো স্পর্শবিন্দুতে যদি ঐ বক্র তরল তলের উপর স্পর্শক টানা হয়, তাহলে সেই স্পর্শক তরলের অভ্যন্তরে থাকা কঠিনের সঙ্গে যে কোণে আনত হয় তাকে ঐ কঠিন ও তরলের মধ্যে স্পর্শকোণ বলা হয়।
- জুরিনের সূত্র : কৈশিক নলে কোনো তরলের আরোহণ অথবা অবরোহণ কৈশিক নলের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক।



পাঠ্যপুস্তক মূল্যায়ন-৬.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। নিচের কোনটি সঠিক নয় ?

- ক. গাছ মাটি থেকে রস সংগ্রহ করে কৈশিক নলের পদ্ধতিতে।
 খ. পাইপের মধ্য দিয়ে মুখে তরল আসে কৈশিক নলের পদ্ধতিতে।
 গ. ছোট পানির ফোঁটা গোলাকার হয় পৃষ্ঠটানের কারণে।
 ঘ. পৃষ্ঠটান একটি আণবিক পদ্ধতি।

২। যে তরল পৃষ্ঠ ভেজায় তার স্পর্শ কোণ

- ক. $\theta = 0^\circ$ খ. $\theta = 90^\circ$
 গ. $\theta < 90^\circ$ ঘ. $\theta > 90^\circ$

৩। পৃষ্ঠটান সংক্রান্ত পরীক্ষা একটি কৈশিক নলে পানি উঠে 0.1m। সেই পরীক্ষাটি পৃথিবীকে আবর্তনশীল একটি কৃত্রিম উপগ্রহে করা হলে সেই কৈশিক নলে পানি উঠবে।

- ক. 0.1m খ. 0.2m
 গ. 0.98m ঘ. নলের সমগ্র উচ্চতা।

পাঠ-৬.৬

প্রবাহী সান্দ্রতা

Viscosity of Fluid



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- প্রবাহীর গতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ঘর্ষণ ও সান্দ্রতার সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সান্দ্রতা গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৬.৬.১ প্রবাহী পদার্থ (Fluid) :

আমরা সকলেই দেখেছি যে, নদীতে পানি প্রবাহিত হয়, ঝড়ের সময় বায়ু প্রবাহিত হয়। যেসব পদার্থ প্রবাহিত হয় তাদেরকে প্রবাহী পদার্থ বলে। সাধারণত বায়বীয় পদার্থ অর্থাৎ গ্যাস এবং তরল এর অন্তর্ভুক্ত। যেমনঃ বায়বীয় পদার্থের মধ্যে-অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, কার্বনডাইঅক্সাইড, বাতাস ইত্যাদি এবং তরল পদার্থের মধ্যে পানি, যেকোনো তেল যেমনঃ পেট্রোল, ডিজেল, সোয়াবিন ইত্যাদি পদার্থকে প্রবাহী পদার্থ বলে। তরল বা বায়বীয় পদার্থের মধ্যে চাপের পার্থক্য থাকলেই উচ্চ চাপ থেকে নিম্ন চাপের দিকে প্রবাহিত হয় এবং যতক্ষণ এই চাপ সমান না হয় ততক্ষণ প্রবাহ চলতে থাকে। প্রবাহ হচ্ছে তরল বা বায়বীয় পদার্থের গতীয় অবস্থা। তরল বা বায়বীয় পদার্থের গতীয় অবস্থাকে প্রবাহ বলে। কঠিন পদার্থ প্রবাহিত হয় না। তাই এটি প্রবাহী পদার্থ নয়।



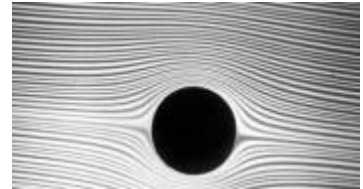
৬.৬.২ ধারারেখ প্রবাহ ও বিক্ষুব্ধ প্রবাহ (streamline and Turbulent Flow)

প্রবাহীর অর্থাৎ তরল ও গ্যাসের প্রবাহকে মোটামুটি দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়,

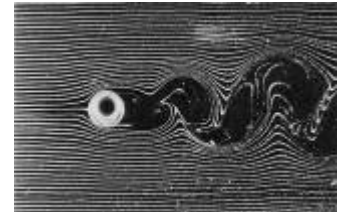
১। ধারারেখ বা শান্ত প্রবাহ (streamline or steady flow) এবং

২। বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ (turbulent flow)

ধারারেখ প্রবাহ : যদি প্রবাহী কতগুলি সুসংবদ্ধ স্তরে প্রবাহিত হয় এবং বিভিন্ন প্রবাহী কণার মধ্যে কোনো সংঘর্ষ না হয় তবে সেই প্রবাহকে ধারারেখ বা শান্ত প্রবাহ বলা হয়। (৬.২৩ক) চিত্রে ধারারেখা প্রবাহ দেখানো হয়েছে। প্রবাহ কালে প্রবাহ পথের প্রত্যেক বিন্দুতে প্রবাহের বেগের মান ও অভিমুখ সর্বদা অপরিবর্তিত থাকে। ধারারেখ প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রবাহীর কোনো কণা যে পথ বরাবর চলে তাকে ধারারেখ বলা হয়। এই রেখার যে কোনো বিন্দুতে স্পর্শক টানলে স্পর্শক ওই বিন্দুতে প্রবাহীর গতির অভিমুখ নির্দেশ করে।



ক ধারারেখ বা শান্ত প্রবাহ



খ বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ

চিত্র-৬.২৩

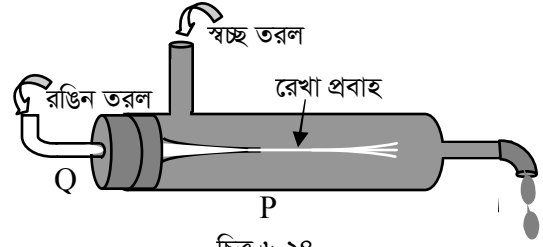
ধারারেখার বৈশিষ্ট্য : দুটি ধারারেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করে না। কারণ ছেদবিন্দুতে দুটি ধারারেখার উপর দুটি স্পর্শক টানা যায় অর্থাৎ ওই ছেদবিন্দুতে কণার সম্ভাব্য গতিপথ দুটি হতে পারে। কিন্তু ধারারেখা প্রবাহে যেকোনো কণা কেবলমাত্র একটি পথেই চলতে পারে। তাই দুটি ধারারেখা কখনোই পরস্পরকে ছেদ করে না।

প্রবাহনলে ধারারেখাগুলি ঘনসন্নিবিষ্ট হলে সেখানে প্রবাহের বেগ বৃদ্ধি পায় এবং রেখার ঘনত্ব কম হলে বেগ কমে।

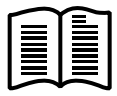
বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ : সাধারণত প্রবাহের বেগ একটি নির্দিষ্ট সীমা ছাড়িয়ে না যাওয়া পর্যন্ত প্রবাহ ধারারেখা থাকে। বেগের সেই সর্বোচ্চ সীমাকে সন্ধিবেগ বা ক্রান্তিবেগ বলা হয়। প্রবাহের বেগ সন্ধিবেগ ছাড়িয়ে গেলে প্রবাহ অশান্ত হয়ে পড়ে ফলে প্রবাহের ভিতর কিছু কিছু জায়গায় আবর্ত ও ঘূর্ণির সৃষ্টি হয়। এরূপ প্রবাহকে বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ বলা হয়। যে প্রবাহীর কণাগুলি অনবরতই মিশ্রিত হয় এবং প্রবাহীর অভ্যন্তরে যেকোনো বিন্দুতে কণার বেগের মান ও অভিমুখ

উভয়ই দ্রুত এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হয় সেই প্রবাহকে বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ বলা হয়। অশান্ত প্রবাহে কণার গতিপথ (৬.২৩খ) চিত্রে দেখানো হয়েছে।

রেনল্ডস (Reynolds) ধারারেখ ও অশান্ত প্রবাহের প্রভেদ একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে দেখিয়েছেন। ৬.২৪ চিত্রে মোটা নল P এর এক প্রান্তে একটি খাড়া নল। এই নলের মধ্য দিয়ে একটি স্বচ্ছ তরল P নলে প্রবাহিত হচ্ছে এবং পার্শ্ব নল দিয়ে নির্গত হচ্ছে। এক প্রান্ত বাঁকানো এবং অপর প্রান্ত সরু একটি কাচ নল Q। এ নলটি রবারের কর্কের সাহায্যে অপর প্রান্তে দিয়ে P নলে অনুভূমিক ভাবে প্রবেশ করানো আছে। যে পাত্রে স্বচ্ছ তরলটি রাখা আছে সেটিকে উঠিয়ে বা নামিয়ে প্রবাহের বেগ বাড়ানো বা কমানো যায়। অপর একটি পাত্রে কিছু গাঢ় রং রেখে রবারের নলের সাহায্যে Q নলে মধ্য দিয়ে প্রবেশ করানো হচ্ছে যেন ঐ তরলের মধ্যে P এর অক্ষ বরাবর ঐ রঙিন তরলকে সরু সূতোর মতো ছাড়া যায়। স্বচ্ছ তরলের বেগ কম হলে রঙিন তরল সূতোর মত অবিচ্ছিন্নভাবে প্রবাহিত হয় এবং তরলের বেগ বাড়তে থাকলে রঙিন তরলের ধারাটি কাঁপতে থাকে। পরে ধারাটি এলোমেলোভাবে চলতে থাকে, কিংবা ছিন্ন হয়ে আবর্তের সৃষ্টি করে। স্বচ্ছ তরলের যে বেগে এই বিশৃঙ্খলতা শুরু হয় তাকে সন্ধিবেগ বা সংকটবেগ বলা হয়। এটি তরলের প্রকৃতি, নলের প্রস্থচ্ছেদ ও দেয়ালের মসৃণতা প্রভৃতির উপর নির্ভর করে।

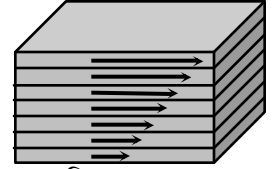


চিত্র ৬.২৪



৬.৬.৩ সান্দ্রতা ও সান্দ্রতা গুণাঙ্ক (Viscosity and Coefficient of Viscosity)

দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ কোনো অনুভূমিক তলের উপর দিয়ে যখন কোনো তরল ধীরে ধীরে প্রবাহিত হয় অর্থাৎ, তরলের যখন ধারারেখ প্রবাহ হয় তখন ওই কঠিন অনুভূমিক তলের সংস্পর্শে তরলের স্তরটি আসঞ্জননের জন্য স্থির থাকে। তার উপরের অনুভূমিক স্তর নিচের তরল স্তরের উপর দিয়ে অল্প বেগে চলে। আরও ওপরের স্তর আরও বেশি বেগে চলে। অনুভূমিক তল থেকে স্তরের দূরত্ব যত বাড়ে স্তরের গতিবেগও তত বেশি হয় (চিত্র-৬.২৫)।



চিত্র-৬.২৫

তরলের মধ্যে পরপর দুটি অনুভূমিক স্তরের কথা বিবেচনা করলে আমরা দেখি উপরের স্তরটি বেশি বেগে চলে এবং নিচের স্তরটি অপেক্ষাকৃত কম বেগে চলে। ফলে উপরের স্তরটি নিচের স্তরটিকে ত্বরান্বিত করার চেষ্টা করে এবং নিচের স্তরটি উপরেরটিকে মন্থর করার চেষ্টা করে। এভাবে দুটি স্তর পরস্পরের আপেক্ষিক বেগ কমাতে চায়—অর্থাৎ উপরের স্তরটির উপর স্পর্শকীয়ভাবে পিছনের দিকে একটি বল ক্রিয়া করে। সুতরাং এই পশ্চাত্বর্তী বলকে অতিক্রম করে উপরের স্তরের আপেক্ষিক গতি বজায় রাখার জন্য বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করতে হবে। বাহ্যিক বল প্রযুক্ত না হলে স্তর দুটির মধ্যে আপেক্ষিক গতি নষ্ট হয়ে যাবে এবং তরলের প্রবাহ বন্ধ হবে। যে ধর্মের জন্য তরল তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাকে তরলের সান্দ্রতা বলা হয়। এটি প্রবাহীর সাধারণ ধর্ম। বিভিন্ন তরলের সান্দ্রতা বিভিন্ন। একটি পাত্রে অ্যালকোহল এবং অনুরূপ একটি পাত্রে তেল নিয়ে দুটিকে একইভাবে নাড়িয়ে দিলে তেল তাড়াতাড়ি থামে কিন্তু অ্যালকোহলের থামতে দেরি হয়। তেলের সান্দ্রতা অ্যালকোহলের চেয়ে বেশি বলে এরূপ হয়।

যে তরলের সান্দ্রতা যত বেশি সেই তরলের সচলতা তত কম। যেমন পানি অপেক্ষা মধুর সান্দ্রতা বেশি। তাই মধু পানি অপেক্ষা খুব ধীরে প্রবাহিত হয়। সবচেয়ে কম সচলতা আলকাতরার। দুটি কঠিন তলের ভিতর ক্রিয়াশীল ঘর্ষণ বলের সঙ্গে তরলের সান্দ্রতার অনেক দিক দিয়ে মিল আছে। তাই সান্দ্রতাকে তরলের অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ বলা হয়। ঘর্ষণের মতই তরল স্থির থাকলে সান্দ্র বলের কোনো ক্রিয়া নেই। তবে কঠিনের ক্ষেত্রে যে ঘর্ষণ বল ক্রিয়া করে তার সঙ্গে সান্দ্রতার পার্থক্য হলো— সান্দ্র বল তরল তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে। কিন্তু কঠিনের ঘর্ষণ বল এই বিষয়টির উপর নির্ভর করে না।

সান্দ্রতা ও ঘর্ষণের পার্থক্য : পূর্বের আলোচনায় মনে হতে পারে যে, সান্দ্রতা এবং ঘর্ষণ অনেকটা একই। সান্দ্রতা শুধু প্রবাহী পদার্থের মধ্যে সংঘটিত হয় এবং ঘর্ষণ দুটি ভিন্ন কঠিন বস্তুর মধ্যে ঘটে থাকে। যদিও সান্দ্রতা ও ঘর্ষণ উভয়ই

গতিতে বাধা দান করে কিন্তু সান্দ্রতা ও ঘর্ষণ উভয়ে ধর্ম ও বৈশিষ্ট্য আলাদা। নিচে সান্দ্রতা ও ঘর্ষণের পার্থক্য দেখানো হলো।

সান্দ্রতা ও ঘর্ষণের পার্থক্য	
সান্দ্রতা	ঘর্ষণ
সান্দ্রতা প্রবাহীর অণুগুলির মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল অর্থাৎ সংসক্তি বলের জন্য সৃষ্টি হয়।	ঘর্ষণ দুটি ভিন্ন বস্তুর অণুগুলির মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল অর্থাৎ আসঞ্জন বলের জন্য সৃষ্টি হয়।
সান্দ্র বল তরল তলগুলির প্রকৃতি ও তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।	ঘর্ষণ সংস্পর্শ তলগুলির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে কিন্তু তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।
সান্দ্রতা প্রবাহীর স্তরগুলির গতিবেগের উপর নির্ভর করে।	ঘর্ষণ স্পর্শ তলগুলির গতিবেগের উপর নির্ভর করে না।
সান্দ্রতার কারণে প্রবাহীর প্রতিটি স্তর তার উপরের স্তরকে বেগ প্রাপ্ত হতে বাধা দান করে।	ঘর্ষণ শুধু মাত্র দুটি ভিন্ন বস্তুর সংস্পর্শতলে ক্রিয়া করে।



৬.৬.৪ সান্দ্রতা গুণক (Coefficient of Viscosity) :

ধরা যাক, PQ একটি অনুভূমিক তল (চিত্র ৬.২৬)। PQ তলের উপর দিয়ে তরল ধারারেখ প্রবাহে প্রবাহিত হচ্ছে। স্থির কঠিন তল থেকে x এবং $x+dx$ দূরে দুটি তরল স্তর CD ও MN বিবেচনা করা হল। CD স্তরের বেগ v এবং MN স্তরের বেগ $v+dv$ । তরলের সান্দ্রতার জন্য আপেক্ষিক গতিশীল এই দুই স্তরের মধ্যে একটি পার্শ্ববর্তী বল ক্রিয়া করে MN স্তরের গতি মছুর করার চেষ্টা করবে। কিন্তু স্তর দুটির মধ্যে আপেক্ষিক গতি বজায় রাখতে হলে MN স্তরের উপর উক্ত পশ্চাত্বর্তী বলের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী (অর্থাৎ সম্মুখবর্তী) একটি বল প্রয়োগ করতে হবে। এই বল সম্পর্ক নিউটন যে সূত্র দেন তাকে সান্দ্রতার সূত্র নামে পরিচিত।

নিউটনের সূত্র : প্রবাহীর দুটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকলে প্রবাহীর বিপরীত দিকে যে স্পর্শকীয় সান্দ্র বল ক্রিয়া করে স্থির তাপমাত্রায় তার মান প্রবাহীর ক্ষেত্রফলে এবং তাদের মধ্যকার বেগের নতির সমানুপাতিক।

যদি প্রবাহীর দুই স্তরের মধ্যকার দূরত্ব dx এবং এদের মধ্যে বেগের পার্থক্য dv হয় তবে বেগের নতি $\frac{dv}{dx}$ । প্রবাহীর

স্তরদ্বয়ের ক্ষেত্রফল A হলে নিউটনের সূত্রানুসারে,

$$F \propto \frac{dv}{dx} \text{ যখন প্রবাহীর স্তরদ্বয়ের ক্ষেত্রফল } A \text{ স্থির।}$$

এবং $F \propto A$ যখন বেগের গতি $\frac{dv}{dx}$ স্থির।

সমন্বয় করলে,

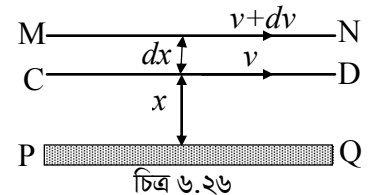
$$F \propto A \frac{dv}{dx} \quad \text{বা, } F = \eta A \frac{dv}{dx} \quad \dots \dots \dots (৬.২২)$$

এখানে η সমানুপাতিক ধ্রুব। একে তরলের সান্দ্রতা গুণক বা সান্দ্রতাক্ষ বলে। এর মান তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(৬.২২) নং সমীকরণকে সান্দ্র তরলের ধারারেখা প্রবাহ সংক্রান্ত নিউটনের সূত্র বলে। যে সব তরল এই সূত্র মেনে চলে তাদেরকে নিউটনীয় তরল বলে এবং যে সব তরল এই সূত্র মেনে চলে না তাদেরকে অনিউটনীয় তরল বলে।

(৬.২২) নং সমীকরণকে লেখা যায়,

$$\eta = \frac{F}{A \frac{dv}{dx}} ; \text{ যদি } A=1 \text{ এবং } \frac{dv}{dx}=1 \text{ হয়, তবে } \eta = F \text{। এর থেকে সান্দ্রতা গুণকের সংজ্ঞা পাওয়া যায়।}$$



চিত্র ৬.২৬

একক দূরত্বে অবস্থিত দুটি তরল স্তরের মধ্যে একক আপেক্ষিক গতিবেগ বজায় রাখতে অর্থাৎ একক গতিবেগের নতিমাত্রা বজায় রাখতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ স্পর্শকীয় বল প্রয়োজন সেই বলকেই সেই তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বলা হয়।

সান্দ্রতা গুণাঙ্কের একক Nsm^{-2} বা $Pa s$ (প্যাস্কেল সেকেন্ড) বলে।

কোনো তরলের সান্দ্রতাক $Pa s$ বলতে বুঝায়, ঐ তরলের মধ্যে যদি $1m$ দূরে অবস্থিত দুটি স্তর নেওয়া হয় এবং প্রতিটি স্তরের ক্ষেত্রফল যদি $1m^2$ হয় তবে, স্তর দুটির মধ্যে $1ms^{-1}$ আপেক্ষিক গতিবেগ বজায় রাখতে $1N$ বলের প্রয়োজন হয়।

$$\text{সান্দ্রতাকের মাত্রা : } [\eta] = \frac{[F]}{\left[A \frac{dv}{dx} \right]} = \frac{MLT^{-2}}{L^2 \frac{LT^{-1}}{L}} = ML^{-1}T^{-1} \quad \text{বা } [\eta] = ML^{-1}T^{-1} \dots \dots \dots (৬.২৩)$$



সান্দ্রতা গুণাঙ্কের উপর চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব (Effect of Pressure and Temperature on Coefficient of viscosity) :

চাপের প্রভাব : সাধারণত চাপ বাড়লে তরলের সান্দ্রতা বাড়ে। যেসব তরলের সান্দ্রতা কম তাদের ক্ষেত্রে এই বৃদ্ধির পরিমাণ কম। যেসব তরলের সান্দ্রতা বেশি, চাপ বাড়লে তাদের সান্দ্রতা দ্রুত হারে বাড়ে। তবে পানির আচরণ এর উলটো। এক্ষেত্রে চাপ বাড়লে সান্দ্রতা কমে।

গ্যাসের গভীরতত্ত্ব থেকে দেখা যায়, গ্যাসের সান্দ্রতার উপর চাপের প্রভাব নেই। অবশ্য খুব কম বা খুব বেশি চাপে সান্দ্রতার পরিবর্তন কিছুটা দেখা যায়।

তাপমাত্রার প্রভাব : সাধারণত তাপমাত্রা বাড়লে তরলের সান্দ্রতা কমে। তরলের সান্দ্রতা ও তাপমাত্রার সম্পর্ক খুবই

জটিল। অবশ্য যেসব সূত্র মোটামুটি প্রযোজ্য তার মধ্যে একটি হল, $\eta_t = \frac{A}{(1 + Bt)^C}$

এখানে η_t হল $t^\circ C$ তাপমাত্রায় তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক এবং A, B নির্দিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে ধ্রুবক। গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বাড়লে গ্যাসের সান্দ্রতা বাড়ে, এই আচরণ তরলের বিপরীত।



সার-সংক্ষেপ :

- **প্রবাহী পদার্থ :** যে সব পদার্থ প্রবাহিত হয় তাদেরকে প্রবাহী পদার্থ বলে।
- **ধাররেখা প্রবাহ :** যদি প্রবাহী কতগুলি সুসংবদ্ধ স্তরে প্রবাহিত হয় এবং বিভিন্ন প্রবাহী কণার মধ্যে কোনো সংঘর্ষ না হয় তবে সেই প্রবাহকে ধাররেখ বা শান্ত প্রবাহ বলা হয়।
- **বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ :** যে প্রবাহীর কণাগুলি অনবরতই মিশ্রিত হয় এবং প্রবাহীর অভ্যন্তরে যেকোনো বিন্দুতে কণার বেগের মান ও অভিমুখ উভয়ই দ্রুত এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হয় সেই প্রবাহকে বিক্ষুব্ধ বা অশান্ত প্রবাহ বলা হয়।
- **সান্দ্রতা :** যে ধর্মের জন্য তরল তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাকে তরলের সান্দ্রতা বলা হয়।
- **নিউটনের সূত্র :** প্রবাহীর দুটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকলে প্রবাহীর বিপরীত দিকে যে স্পর্শকীয় সান্দ্র বল ক্রিয়া করে স্থির তাপমাত্রায় তার মান প্রবাহীর ক্ষেত্রফলের এবং তাদের মধ্যকার বেগের নতির সমানুপাতিক।
- **সান্দ্রতা গুণাঙ্ক :** একক দূরত্বে অবস্থিত দুটি তরল স্তরের মধ্যে একক আপেক্ষিক গতিবেগ বজায় রাখতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ স্পর্শকীয় বল প্রয়োজন সেই বলকেই ঐ তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বলা হয়।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। সান্দ্রতা পদার্থের একটি ধর্ম নিম্নে কোনটির সাথে এটি তুলনীয়

- ক. স্থিতিস্থাপকতা খ. জড়তা গ. পৃষ্ঠটান ঘ. ঘর্ষণ
২। যে কারণে ঠান্ডা সিরাপ ধীরে প্রবাহিত হয়-
ক. আসঞ্জন বল খ. সংসক্তি বল গ. পৃষ্ঠটান ঘ. সান্দ্রতা

পাঠ-৬.৭

স্টোকসের সূত্র ও অন্তবেগ

Stokes' Law and Terminal Velocity



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

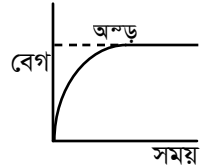
- স্টোকসের সূত্রটি বর্ণনা করতে পারবেন।
- অভিকর্ষের প্রভাবে সান্দ্র প্রবাহীর মধ্য দিয়ে পতনশীল বস্তুর অন্তবেগের রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পারবেন।



৬.৭.১ সান্দ্র মাধ্যমে বস্তুর অন্তবেগ এবং স্টোকসের সূত্র

(Terminal Velocity of a body in a Viscous Medium and Stokes' Law)

যখন কোনো বস্তু সান্দ্র মাধ্যমের (তরল বা গ্যাস) মধ্য দিয়ে অভিকর্ষের প্রভাবে নিচে পড়ে তখন আসঞ্জনের জন্য বস্তু সংলগ্ন মাধ্যমের স্তরটি বস্তুর সঙ্গে চলতে থাকে, কিন্তু বস্তুটি থেকে বেশ কিছুটা দূরে থাকা মাধ্যম স্থির থাকে। এর ফলে বস্তুটি থেকে বিভিন্ন দূরত্বে থেকে স্তরগুলির মধ্যে আপেক্ষিক গতি সৃষ্টি হয়। কিন্তু মাধ্যমের সান্দ্রতা ঐ আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধার সৃষ্টি করে। বস্তুর বেগ যত বাড়ে সান্দ্রতার দ্রবণ বাধার পরিমাণ তত বাড়ে। বস্তু ক্ষুদ্র হলে, ঐ উর্ধ্বমুখী সান্দ্রতাজনিত বিরুদ্ধ বল শীঘ্রই বস্তুর নিম্নাভিমুখী ত্বরণ সৃষ্টিকারী বলের সমান হয়। তখন বস্তুর উপর কার্যকর বল শূন্য হয় এবং বস্তু সমবেগে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে পড়তে থাকে। বস্তুর ঐ সমবেগকে অন্তবেগ বলা হয়। (৬.২৭) চিত্রে পতনশীল বস্তুর সময়ের সঙ্গে বেগ পরিবর্তনের লেখ দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৬.২৭

স্টোকসের সূত্র :

স্টোকস প্রমাণ করেছেন যে r ব্যাসার্ধের একটি ক্ষুদ্র গোলক η সান্দ্রতা গুণাক্ষয়ুক্ত কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে v অন্তবেগে পড়তে থাকলে (চিত্র ৬.২৮), গোলকের উপর সান্দ্রতাজনিত বিরুদ্ধ বল,

$$F = 6\pi\eta r v \dots \dots \dots (৬.২৪)$$

(৬.২৪) সমীকরণটি স্টোকসের সূত্র নামে পরিচিত। স্টোকস ঐ সূত্র প্রতিষ্ঠার জন্য নিম্নলিখিত স্বীকার্যগুলির সাহায্য নেন।

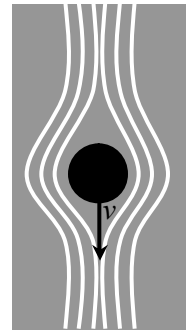
- প্রবাহীর বিস্তৃতি সীমাহীন হবে এবং প্রবাহী সমসত্ত্ব হবে।
- গোলকটি দৃঢ় হবে এবং এর তল মসৃণ হবে।
- মাধ্যমের মধ্য দিয়ে পড়ার সময় গোলকটি যেন পিছলে না যায়।
- পতনশীল গোলকটির পাশ দিয়ে প্রবাহীর গতি ধারারেখ হবে।
- মাধ্যমের আন্তঃআণবিক দূরত্বের তুলনায় পতনশীল বস্তুর আকার অনেক ছোটো হবে।

(৬.২৪) সমীকরণটিকে মাত্রা সমীকরণ ব্যবহার করে প্রমাণ করা যায়।

কোনো প্রবাহীর মধ্য দিয়ে গতিশীল গোলকের উপর ত্রিঘাতীল সান্দ্রতা বল F , গোলকটির ব্যাসার্ধ r ও বেগ v এবং প্রবাহীর সান্দ্রতা গুণাক্ষ η -এর উপর নির্ভরশীল। ধরা যাক, এ বল r , v এবং η -এর যথাক্রমে x , y ও z ঘাতের সমানুপাতিক। অর্থাৎ,

$$F = k\eta^x v^y r^z \dots \dots \dots (৬.২৫)$$

যেখানে, k একটি মাত্রাহীন প্রবক। যেহেতু সমীকরণটির উভয় পক্ষের মাত্রা সমান হতে হবে। সেহেতু,



চিত্র-৬.২৮

$$[F] = [\eta^x] [v^y] [r^z]$$

$$\text{বা, } MLT^{-2} = [ML^{-1}T^{-1}]^x [LT^{-1}]^y [L]^z$$

$$\text{বা, } MLT^{-2} = M^x \times L^{-x+y+z} \times T^{-x-y}$$

M, L ও T-এর উভয় পক্ষের সূচক সমীকৃত করে পাওয়া যায়-

$$x=1, -x+y+z=1 \text{ এবং } -x-y=-2$$

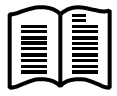
$$x \text{ এর মান তৃতীয় সমীকরণে বসালে, } y=1$$

$$x \text{ এবং } y \text{ এর মান দ্বিতীয় সমীকরণে বসালে, } z=1$$

$$x, y \text{ এবং } z \text{ এর মান (৬.২৫) সমীকরণে বসালে, } F = krv\eta$$

স্টোকস পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন, $k = 6\pi$

$$\therefore F = 6\pi\eta vr \text{ এটাই স্টোকস-এর সূত্র।}$$



৬.৭.২ অন্তবেগের রাশিমালা (Expression for Terminal Velocity):

মনে করি, η সান্দ্রতা গুণাঙ্ক, ρ' ঘনত্ব বিশিষ্ট প্রবাহীর ভিতর দিয়ে r ব্যাসার্ধের এবং ρ ঘনত্ব বিশিষ্ট কোনো গোলক v অন্তবেগে পতনশীল।

$$\text{গোলকের আয়তন, } V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\text{গোলকের ঘনত্ব } \rho \text{ হলে এর উপর অভিকর্ষ জনিত নিম্নমুখী বল, } F = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$\text{প্রবাহীর ঘনত্ব } \rho' \text{ হলে বস্তুর উপর প্লবতা জনিত উর্ধ্বমুখী বল, } F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g$$

$$v \text{ অন্তবেগে পতনশীল বস্তুর জন্য প্রবাহীর সান্দ্রতা জনিত উর্ধ্বমুখী বল, } F_2 = 6\pi\eta vr$$

তখন অন্তবেগের প্রাপ্ত হয় যখন বস্তু উপর নিম্নমুখী বল এবং উর্ধ্বমুখী লব্ধি বল সমান হয়।

$$\text{অতএব, অন্তবেগের শর্তানুসারে, } F = F_1 + F_2$$

$$\text{বা, } \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta vr$$

$$\text{বা, } 6\pi\eta vr = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho')g$$

$$\text{বা, } v = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9\eta} \dots \dots \dots (৬.২৬)$$

এটাই অন্তবেগের রাশিমালা।

অতএব (৬.২৬) সমীকরণ থেকে অন্তবেগ সম্পর্কে আমরা বলতে পারি অন্তবেগঃ

১। গোলকের ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

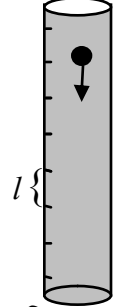
২। গোলকের উপাদানে ঘনত্ব এবং মাধ্যমের ঘনত্বের পার্থক্যের সমানুপাতিক, গোলকের উপাদানের ঘনত্ব বেশি হলে অন্তবেগ বেশি হয়। আবার মাধ্যমের ঘনত্ব বাড়লে অন্তবেগ কম হয়।

৩। মাধ্যমের সান্দ্রতা গুণাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক। বেশি সান্দ্র মাধ্যমে গোলকের অন্তবেগ কম হয়।



৬.৭.৩ কোনো প্রবাহীর সান্দ্রতা গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the Coefficient of Viscosity of a Fluid) :

যে প্রবাহী পদার্থের সান্দ্রতা গুণাক্ষ η নির্ণয় করতে হবে তার ঘনত্ব ρ' জানা থাকতে হবে। একটি দাগকাটা সিলিন্ডার আকৃতির মাপচোঙ নিয়ে নির্ণয় প্রবাহী পদার্থ দ্বারা পূরণ করতে হবে। এবার মাপচোঙের গায়ে উল্লম্ব বরাবর নির্দিষ্ট l দূরত্ব নিয়ে দাগ দিয়ে কয়েকটি অংশে ভাগ করতে হবে (চিত্র ৬.২৯)। জানা ρ ঘনত্বের এবং একই আয়তনের ছোট ছোট কয়েকটি গোলক নিয়ে স্লাইড ক্যালিপার্স দিয়ে ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করতে হবে। এখন ধাতব গোলকগুলোকে প্রবাহী তরলে ভিজিয়ে একটি গোলককে মাপচোঙের তরলের উপর আন্তে করে ছাড়তে হবে যেন গোলকটি তরল স্পর্শের পূর্বে কোনো বেগ প্রাপ্ত না হয়। এবার স্টপওয়াচের সাহায্যে গোলকের জন্য চোঙের উপর দিকে (প্রবাহীর মধ্যে) l দূরত্ব অতিক্রমের সময় নির্ণয় করতে হবে। অপর একটি গোলক একই ভাবে তরলের উপর ছেড়ে দিয়ে আগের পরিমাপকৃত দূরত্ব অতিক্রমের পর থেকে l দূরত্ব অতিক্রমের সময় নির্ণয় করতে হবে। এই ভাবে করতে থাকলে দেখা যাবে নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রমের পর গোলকগুলি নিচের দিকে এসে একই l দূরত্ব সমান সময়ে অতিক্রম



চিত্র ৬.২৯

করছে। অর্থাৎ গোলকটি অন্তবেগ প্রাপ্ত হয়েছে। এই সময় t হলে অন্তবেগ, $v = \frac{l}{t}$

(৬.২৬) সমীকরণ থেকে লেখা যায়, $\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9v}$

এই সমীকরণের সকল রাশি জানা থাকায় সান্দ্রতা গুণাক্ষ নির্ণয় করা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১৩ : $0.95 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ ঘনত্ব ও 10^{-6} m ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট একটি তেলের বিন্দু বায়ুর মাধ্যমে পড়ছে। বায়ুর ঘনত্ব 1.293 kgm^{-3} এবং সান্দ্রতা গুণাক্ষ $1.81 \times 10^{-3} \text{ Pas}$ হলে তেল বিন্দুর অন্তবেগ নির্ণয় করুন। ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

সমাধান : আমরা জানি,

অন্তবেগ, $v = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9\eta}$

মান বসালে, $v = \frac{2 \times (10^{-6})^2 \times (950 - 1.293) \times 9.8}{9 \times 1.81 \times 10^{-3}}$

বা, $v = \frac{2 \times 948.707 \times 9.8}{9 \times 1.81} \times 10^{-9}$

বা, $v = \frac{2 \times 948.707 \times 9.8}{9 \times 1.81} \times 10^{-9}$

বা, $v = 1141 \times 10^{-9}$

বা, $v = 1.141 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$

উত্তরঃ $1.141 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$

দেয়া আছে,

তেলের ঘনত্ব, $\rho = 0.95 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3} = 950 \text{ kgm}^{-3}$

তেল বিন্দুর ব্যাসার্ধ, $r = 10^{-6} \text{ m}$

বায়ুর ঘনত্ব, $\rho' = 1.293 \text{ kgm}^{-3}$

বায়ুর সান্দ্রতা গুণাক্ষ, $\eta = 1.81 \times 10^{-3} \text{ Pas}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

অন্তবেগ, $v = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১৪ : 1cm ব্যাসার্ধে একটি বায়ুর বুদবুদ একটি দীর্ঘ তরল স্তরের নিচ থেকে উপরে উঠছে। এর অন্তবেগ 0.21 cms^{-1} হলে তরলের সান্দ্রতা গুণাক্ষ নির্ণয় কর। দেয়া আছে তরলের ঘনত্ব 1.47 gcm^{-3} এবং বায়ুর ঘনত্ব উপেক্ষা করা হয়েছে।

সমাধান : আমরা জানি,

সান্দ্রতা গুণাক্ষ, $\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9v}$

পদার্থের ধর্ম

দেয়া আছে,

বুদবুদের ব্যাসার্ধ, $r = 10^{-2} \text{ m}$

বায়ুর ঘনত্ব, $\rho = 0 \text{ kgm}^{-3}$

তরলের ঘনত্ব, $\rho' = 1.47 \text{ gcm}^{-3}$

$= 1.47 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$

অন্তবেগ, $v = -0.21 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

তরলের সান্দ্রতা গুণাক্ষ, $\eta = ?$

এখানে, বুদ্ধবুদ্ধ উপর দিকে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে উপর দিকে উঠছে তাই এর বেগ ঋণাত্মক।

$$\text{মান বসালে, } \eta = \frac{2 \times (10^{-2})^2 \times (0 - 1.47 \times 10^3) \times 9.8}{9 \times (-0.21 \times 10^{-3})}$$

$$\text{বা, } \eta = \frac{2 \times 9.8 \times 1.47 \times 10^{-4} \times 10^3}{9 \times 0.21 \times 10^{-3}}$$

$$\text{বা, } \eta = \frac{2 \times 9.8 \times 1.47}{9 \times 0.21} \times 10^{-4}$$

$$\text{বা, } \eta = \frac{2 \times 9.8 \times 1.47}{9 \times 0.21} \times 10^{-4}$$

$$\text{বা, } \eta = 15.29 \times 10^{-3} \text{ Pas}$$

উত্তর: $15.29 \times 10^{-3} \text{ Pas}$



সার-সংক্ষেপ :

- স্টোক্সের সূত্র : স্টোক্স প্রমাণ করেছেন যে r ব্যাসার্ধের একটি ক্ষুদ্র গোলক η সান্দ্রতাক্ষয়ুক্ত কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে v অন্ত বেগে পড়তে থাকলে, গোলকের উপর সান্দ্রতাজনিত বিরুদ্ধ বল, $F = 6\pi\eta vr$
- অন্তবেগ : বস্তুর উপর সান্দ্রতা জনিত উর্দ্ধমুখী বল এবং অভিকর্ষ জনিত নিম্নমুখী বল সমান হলে বস্তুটি সমবেগে পড়তে থাকে। বস্তুর এই সমবেগকে অন্তবেগ বলে।
- অন্তবেগের রাশিমালা : η সান্দ্রতা গুণাক্ষ, ρ' ঘনত্ব বিশিষ্ট প্রবাহীর ভিতর দিয়ে r ব্যাসার্ধের এবং ρ ঘনত্ব বিশিষ্ট কোনো গোলকের অন্তবেগ, $v = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9\eta}$



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৬.৭

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক ($\sqrt{\quad}$) চিহ্ন দিন।

১। পতনশীল বৃষ্টির ফোঁটা অন্তবেগ লাভ করে-

- ক. পানির পৃষ্ঠটানের জন্য।
- খ. বায়ুর সান্দ্রতা বলের জন্য।
- গ. বায়ু প্রবাহের বলের জন্য।
- ঘ. বায়ু ও পানির ফোঁটার ঘর্ষণের জন্য।

২। একই ভরের r_1 ও r_2 ব্যাসার্ধের দুটি গোলক একটি সান্দ্র মাধ্যমে অবাধে পড়ছে। গোলক দুটির অন্তবেগের অনুপাত-

- ক. 1:1
- খ. $r_1 : r_2$
- গ. $r_2 : r_1$
- ঘ. $\sqrt{r_1} : \sqrt{r_2}$

পাঠ-৬.৮

পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনা

Few Phenomena Regarding Surface Tension and Viscosity



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

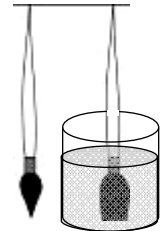
- পৃষ্ঠটান সংক্রান্ত কয়েকটি সাধারণ ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সান্দ্রতা সংক্রান্ত কয়েকটি সাধারণ ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৮.১ পৃষ্ঠটান সম্পর্কিত কয়েকটি ঘটনা :

১। পানিতে একখন্ড কর্পূর ফেললে তাকে ইতস্তত নড়াচড়া করতে দেখা যায়। কর্পূর পানিতে দ্রবণীয়। কর্পূর পানির সংস্পর্শে এলে কর্পূরের খন্ডের কোনো কোনো জায়গা অপর জায়গার চেয়ে বেশি দ্রবীভূত হয়। যে জায়গায় কর্পূর বেশি দ্রবীভূত হয় সেখানকার পানি কর্পূর দ্বারা দূষিত হওয়ায় সেখানকার পৃষ্ঠটান অন্য জায়গার চেয়ে বেশি কমে যায়। পৃষ্ঠটানের পার্থক্যের জন্য একটি অসম বল কর্পূরের উপর ক্রিয়া করে। তাই কর্পূরের খন্ডটি এলোমেলোভাবে ইতস্তত নড়াচড়া করে।

২। একটি রং করার তুলি পানিতে ডুবিয়ে বাইরে আনলে তুলির আঁশগুলি পরস্পরের সঙ্গে জড়িয়ে যায়। পানিতে ডোবানো অবস্থায় আঁশগুলি ফাঁক ফাঁক অবস্থায় থাকে। কারণ পানির ভিতরে পৃষ্ঠটান থাকে না, তাই আঁশগুলিকে কাছাকাছি টানার বল ক্রিয়া করে না। বাইরে আনলে আঁশগুলির মধ্যে পানির যে পাতলা সর আটকে থাকে, পৃষ্ঠটানে কাছে সরে আসে এবং নিজেদের মধ্যে জড়িয়ে যায় (চিত্র ৬.৩০)।



চিত্র ৬.৩০

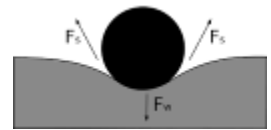
৩। উত্তাল সমুদ্রের উপর তেল ছড়িয়ে দিলে বড় বড় ঢেউ থেমে যায়। বিশুদ্ধ পানির পৃষ্ঠটান তৈলাক্ত পানির পৃষ্ঠটান অপেক্ষা অনেক বেশি। সমুদ্রে তেল ছড়িয়ে পড়ে। পিছনে বিশুদ্ধ পানি থেকে যায়। তাই ঢেউ এর সামনের দিকের পানির পৃষ্ঠটান পিছনের পানির পৃষ্ঠটান অপেক্ষা হ্রাস পায়। পিছনের উচ্চ পৃষ্ঠটানযুক্ত পানি সামনের নিম্ন পৃষ্ঠটানযুক্ত পানিকে পিছনে টানে। ফলে ঢেউ এর উচ্চতা কমে যায়।

৪। পানিতে তেল ঢাললে তেল পানির উপর ছড়িয়ে পড়ে। বিশুদ্ধ পানির পৃষ্ঠটান তেলের পৃষ্ঠটান অপেক্ষা বেশি হওয়ায় তেলের উপর একটি টান বল কাজ করে। এই টানের ফলে তেল সমস্ত পানির তলের উপর ছড়িয়ে পড়ে।

৫। পরিষ্কার পানিতে মিহি চকের গুঁড়ো ফেলার পর এতে দু-এক ফোঁটা অ্যালকোহল ফেললে গুঁড়োগুলি দ্রুত পানির পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। অ্যালকোহল পানির সংস্পর্শে এলে সেখানকার পৃষ্ঠটান কমে যায় কিন্তু অন্যদিকের পৃষ্ঠটান বেশি থাকায় গুঁড়োগুলি অসম বলের অধীনে পড়ে। ফলে তারা দ্রুত পানির পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে।

৬। ছাতার কাপড়, বর্ষাতি (rain coat) বা তাঁবুর কাপড়ের মধ্য দিয়ে বৃষ্টির পানি ঢুকতে পারে না। এই ধরনের কাপড়ে যে সূক্ষ্ম ছিদ্র থাকে তার মধ্যে বায়ু সহজে চলে যেতে পারে। কিন্তু বৃষ্টির পানি ঐ ছিদ্র দিয়ে গলে যায় না। কারণ পৃষ্ঠটানের জন্য বৃষ্টির পানি ছোটো ছোটো গোল বিন্দুর আকার ধারণ করে এবং কাপড়ের উপর দিয়ে গড়িয়ে পড়ে যায়।

৭। একটি লোহার সূচকে আড়াআড়িভাবে সাবধানে পানির পৃষ্ঠে শুইয়ে দিয়ে সূচটি পানিতে না ডুবে ভাসতে থাকে। পানির পৃষ্ঠটান ধর্মের জন্য এরূপ হয়। যেখানে সূচটি ভাসে সেখানকার পানির তল একটু অবনমিত হয়। এজন্য সূচ ও পানির বিভেদতলে ক্রিয়াশীল পৃষ্ঠটান উর্ধ্বমুখে ক্রিয়া করে সূচের ওজনকে প্রতিমিত করে (চিত্র ৬.৩১)। তাই সূচ পানিতে ভেসে থাকে।



চিত্র ৬.৩১

৮। মশা ও অন্যান্য কীট পতঙ্গকে পানির উপর দিয়ে হেটে যেতে দেখা যায়। পানির উপরিতল পৃষ্ঠটানের কারণে একটি টান করা পাতলা পর্দার ন্যায় আচরণ করে। তাই হালকা কীট পতঙ্গের পা পানির উপরিতলে যে স্থানে থাকে সেখানের পানির তল একটু অবনমিত হয়ে তার ওজনের সমান পৃষ্ঠটান উর্ধ্বমুখে ক্রিয়া করে ওজনকে প্রতিমিত করে (চিত্র ৬.৩২)। তাই পা না ভিজিয়ে এবং না ডুবে স্বাভাবিক ভাবে চলাচল করতে পারে।



চিত্র ৬.৩২

৯। ময়লা কাপড় পরিস্কার করার জন্য পানিতে ডিটারজেন্ট মেশানো হয়। পানির পৃষ্ঠটান অপেক্ষাকৃত বেশি হওয়ায় কাপড়ের ছিদ্রগুলিতে সহজে ঢুকতে পারে না। পানিতে ডিটারজেন্ট মেশালে পানির পৃষ্ঠটান কমে যায়। ফলে কাপড়ের ছিদ্রগুলিতে পানি বেশি গভীরে প্রবেশ করতে পারে এবং ময়লা সহজেই দূর করতে পারে।

১০। একটি কাচের নলকে উত্তপ্ত করলে নলের উত্তপ্ত প্রান্তটি গোলাকার হয়ে যায়। কাচকে উত্তপ্ত করলে কাচ গলে তরলে পরিণত হয়। পৃষ্ঠটানের জন্য তরল কাচ পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ন্যূনতম রাখার চেষ্টা করে। যেহেতু গোলকের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন তাই কাচনলের যে প্রান্তটি গরম করা হয় সেই প্রান্তটি গলে গিয়ে গোলাকার হয়ে যায়।



৮.২ কৈশিকতা সম্পর্কিত কয়েকটি ঘটনা :

কৈশিকতার জন্য ব্লাটিং কাগজ কালি শুষে নেয়, স্পঞ্জ পানি শোষণ করে, পলতে তেল টানে, তোয়ালে দ্রুত গায়ের পানি শোষণ করে। এদের প্রত্যেকেরই অসংখ্য সরু রন্ধ আছে এবং তরলের সংস্পর্শে এলেই তরল রন্ধের মধ্যে ঢুকে পড়ে। মাটির সরু ছিদ্র দিয়ে নিচের ভেজা মাটি থেকে পানি এই কারণে ওপরে উঠে ওপরের মাটিকে সরস রাখে। বেলেমাটির ছিদ্রগুলি বড়ো বলে নিচের পানি বেশি ওপরে উঠতে পারে না, সেজন্য বেলেমাটির উপরটা শুকনো হয়। কংক্রিট ও ইটের মধ্যে অসংখ্য সরু রন্ধ আছে। তাই ভেজা মাটি থেকে পানি শোষণ করে দেয়াল যেন সিক্ত বা ড্যাম্প না হয় সেই জন্য মাটির কাছে ড্যাম্প-প্রুফের একটি স্তর দেয়া হয়।

অভিকর্ষহীন স্থানের কোনো কৈশিক নলে পৃষ্ঠটানের জন্য তরলের উন্নতি রোধ করার জন্য কোনো বল ক্রিয়া করে না। তাই নলের দৈর্ঘ্য সসীম হলে নলাটি ভর্তি হয়ে যাওয়ার পরে পানি আর উঠবে না। এর কারণ পানি অপর প্রান্ত দিয়ে বেরিয়ে যাওয়ার চেষ্টা করলে পৃষ্ঠটানের জন্য পানি আবার নলে ঢুকে আসবে। উল্লেখ্য, এক্ষেত্রে নলের প্রান্তে তরলপৃষ্ঠ সমতল থাকবে।



৮.৩ সান্দ্রতা সম্পর্কিত কয়েকটি ঘটনা :

১। বায়ুর মধ্য দিয়ে বারিবিন্দুর পতন সান্দ্রতা বিষয়ের একটি সুন্দর উদাহরণ। ক্ষুদ্র বারিবিন্দুর ব্যাসার্ধ প্রায় $10^{-5}m$ এবং বায়ুর সান্দ্রতাক $1.8 \times 10^{-5}Pas$ ধরলে বারিবিন্দুর অন্তবেগ হয় প্রায় $12 \times 10^{-2}ms^{-1}$ এজন্য ক্ষুদ্র বারিবিন্দুগুলি না পড়ে মেঘের আকারে ভেসে বেড়ায়। কিন্তু বারিবিন্দুগুলি আকারে বড় হলে অন্তবেগ বৃদ্ধি পায়। তখন আর সেগুলো ভেসে বেড়াতে পারে না, বৃষ্টিরূপে নিচে নেমে আসে।



চিত্র ৬.৩৩

২। যদি বস্তুর ঘনত্ব মাধ্যমের ঘনত্ব অপেক্ষা কম হয় হয় তবে স্পষ্টই বোঝা যায় অন্তবেগ ঋণাত্মক হবে অর্থাৎ বস্তুর বেগ উর্ধ্বমুখী হবে। এজন্য বায়ু বা যেকোনো গ্যাসের বুদবুদ পানির নিচে থেকে ওপরে ওঠে।

৩। প্যারাসুট নিয়ে উচু থেকে লাফ দেয়ার ঘটনার সাথে সান্দ্রতা জড়িত। নির্দিষ্ট বেগ প্রাপ্ত হবার পর যখন প্যারাসুট খুলে দেয়া হয় তখন প্যারাসুটের সাথে লেগে থাকে বায়ু প্যারাসুটের বেগ প্রাপ্ত হয় কিন্তু তার পাশের বায়ু স্থির থাকে ফলে বায়ুর দুই স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ সৃষ্টি হয়। এর কারণে একটি উর্ধ্বমুখী সান্দ্রতা বলের সৃষ্টি হয়। বেগ বৃদ্ধির সাথে সাথে সান্দ্রতা বলও বৃদ্ধি পায়। যখন প্যারাসুটারের ওজন এবং সান্দ্রতা বল সমান হয়ে যায় তখন অন্ত বেগে ধীরে ধীরে নিরাপদে নিচে নেমে আসে (চিত্র ৬.৩৩)।

৪। বয়াম (কাচের পাত্র) যখন চামচ দিয়ে সিরাপ তোলা হয় তখন সিরাপের একটি চিকন ধারা চামচ থেকে বয়ামে পড়ে। অপর পক্ষে মধুর বয়াম থেকে তোলা হয় তখন মধুর একটি মোট



ধারা চামচ থেকে বয়ামে পড়ে। এর কারণ হলো মধুর সান্দ্রতা গুণাক্ষ সিরাপের সান্দ্রতা গুণাক্ষ অপেক্ষ বেশী। তাই মধুর আপেক্ষিক বেগ সিরাপের আপেক্ষিক বেগ অপেক্ষা কম। তাই সিরাপের তুলনায় মধুর অনেক ধীরে ধীরে মোটা ধারায় চামচ থেকে বয়ামে পড়ে (৬.৩৪)।

পাঠ-৬.৯

ব্যবহারিক-৫ : ভার্নিয়ার পদ্ধতি ব্যবহার করে স্থিতিস্থাপকতার ইয়াং এর গুণাক্ষ নির্ণয়।

Determination of Young's Modulus of the material of a wire by Vernier Method



তত্ত্বঃ- আমরা জানি, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে ইয়াং গুণাক্ষ বলে।

অতএব, ইয়াং গুণাক্ষ, $Y = \frac{\text{দৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$

$$Y = \frac{F/A}{l/L} = \frac{FL}{Al}$$

বা, $Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$

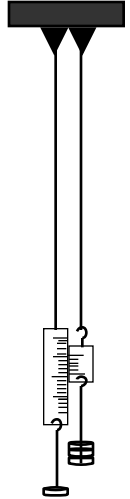
বা, $Y = \frac{gL}{\pi r^2} \times \frac{m}{l} \dots \dots \dots (৬.২৭)$

এখানে,

$m =$ প্রযুক্ত (চাপানো) ভর, $L =$ তারের আদি দৈর্ঘ্য, $r =$ তারের ব্যাসার্ধ, এবং $l =$ তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি।

যন্ত্রের বর্ণনা :

যে উপাদানের তারের ইয়াং-এর গুণাক্ষ নির্ণয় করতে হবে সেই উপাদানের তার থেকে সমান দৈর্ঘ্যের দুটি তার কেটে নিয়ে সুদৃঢ় কোন অবলম্বন থেকে উলম্ব ভাবে ঝুলিয়ে দেয়া হয় (চিত্র ৬.৩৫)। এর একটিকে পরীক্ষণীয় তার এবং অপরটি সাপেক্ষ তার বলে। পরীক্ষণীয় তারের নিচ প্রান্তে ভার্নিয়ার স্কেল এবং সাপেক্ষ তারের নিচ প্রান্তে প্রধান স্কেল এমন ভাবে যুক্ত করা হয় যেন স্কেল দুটি গায়ে গায়ে লাগা থাকে এবং ঘর্ষণবিহীন ভাবে চলাচল করতে পারে। স্কেল দুটির নিচে দুটি ভর চাপানোর জন্য দুটি হুক ঝুলানো হয় এবং প্রয়োজনীয় ভর চাপিয়ে তার দুটিক টান টান করে রাখা হয় এই ভরকে প্রারম্ভিক বা শূন্য ভর বলে।



চিত্র ৬.৩৫

কার্যপদ্ধতি :

- ১। প্রথমে মিটার স্কেল দিয়ে ঝুলন বিন্দু থেকে ভার্নিয়ার স্কেলের হুক পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য L পরিমাপ করতে হবে।
- ২। স্ত্র গজের সাহায্যে তারের বিভিন্ন স্থানে ব্যাস পরিমাপ করে গড় ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করতে হবে।
- ৩। r নির্ণয়ের পর তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রল $A = \pi r^2$ নির্ণয় করে এর সাথে অসহ পীড়ন দিয়ে গুণ করে অসহ ভার নির্ণয় করতে হবে।
- ৪। এবার প্রধান স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নিয়ে শূন্য ওজন অবস্থায় পাঠ x_0 হুকে লিপিবদ্ধ করতে হবে।
- ৫। ভার্নিয়ার স্কেলের হকের ০.৫ kg ভর চাপিয়ে দুই স্কেল থেকে পাঠ x_1 নিয়ে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $x_1 - x_0$ নির্ণয় করে হুকে লিপিবদ্ধ করতে হবে।
- ৬। আবার ভার্নিয়ার স্কেলের হকের আরো ০.৫ kg ভর চাপিয়ে দুই স্কেল থেকে পাঠ x_2 নিয়ে মোট ১ kg চাপানো ভরের জন্য দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $x_2 - x_0$ নির্ণয় করতে হবে।
- ৭। একই ভাবে প্রতিবার ০.৫ kg ভর চাপিয়ে দুই স্কেল থেকে পাঠ নিয়ে মোট চাপানো ভরের জন্য দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি নির্ণয় করতে হবে। এখানে লক্ষ্যণীয় যে, চাপানো ভর যেন অসহ ভরের অর্ধেকের বেশী না হয়।

লেখচিত্র অংকনঃ-

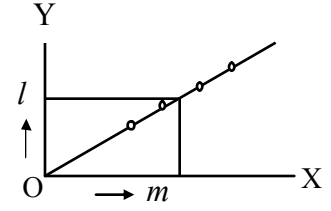
এখন X অক্ষ বরাবর ভর m এবং Y অক্ষ বরাবর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি l লেখচিত্র অঙ্কন করতে হবে।

(৬.২৭) সমীকরণে $m = x$ এবং $l = y$ বসিয়ে পাই,

$$Y = \frac{gL}{\pi r^2} \times \frac{x}{y}$$

$$\text{বা, } y = \frac{gL}{\pi r^2 Y} x$$

$$\text{বা, } y = mx + 0 \dots\dots\dots (৬.২৮)$$



চিত্র ৬.৩৬

$$\text{এখানে, } m = \frac{gL}{\pi r^2 Y}$$

(৬.২৮) সমীকরণটি মূল বিন্দুগামী সরল রেখার সমীকরণ। অতএব $m - l$ লেখচিত্রটি মূল বিন্দুগামী সরল রেখা হবে।

ছক হতে প্রাপ্ত পাঠ লেখ কাগজে বসিয়ে $m - l$ লেখচিত্র অঙ্কন করি (চিত্র ৬.৩৬)।

লেখচিত্রের পছন্দনীয় বিন্দু হতে X ও Y অক্ষের উপর লম্ব অঙ্কন করে $\frac{m}{l}$ এর অনুপাত নির্ণয় করে (৬.২৭) সমীকরণে বসাতে হবে। যেহেতু সমীকরণের অন্যান্য রাশিগুলো জানা ও পরিমাপকৃত সেহেতু Y এর মান পাওয়া যাবে।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন :

স্ক্রু গজের লম্বিত গণন, C mm. ভার্নিয়ার ধ্রুবক, V mm.

ছক - ১: স্ক্রু গজের সাহায্যে তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ, M	বৃত্তাকার স্কেলে ভাগ সংখ্যা, S	লম্বিত গণন, C	আপাত ব্যাস, $M + S \times C$	গড় আপাত ব্যাস,	যান্ত্রিক ত্রুটি, $\pm e$	প্রকৃত ব্যাস $d =$ গড় আপাত ব্যাস $- (\pm e)$	প্রকৃত ব্যাস d	ব্যাসার্ধ $r = \frac{m}{l}$
	mm		mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm
1.									
2.									
3.									

ছক - ২: দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ভর m kg	ভর বৃদ্ধির সময় পাঠ				ভর হ্রাসের সময় পাঠ				গড় দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$		
		রৈখিক স্কেল পাঠ, M	ভার্নিয়ার স্কেলে ভাগ সংখ্যা, N	ভার্নিয়ার ধ্রুবক C	মোট পাঠ, $x = M + N \times V$	দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $l_1 = x_1 - x_0$	রৈখিক স্কেল পাঠ, M	ভার্নিয়ার স্কেলে ভাগ সংখ্যা N	ভার্নিয়ার ধ্রুবক C		মোট পাঠ $M + N \times V$	দৈর্ঘ্য হ্রাস $l_2 = x_2 - x_0$
		mm		mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	m
1	0											
2	0.5											
3	1.0											
4	1.5											
5	2.0											
6	2.5											

হিসাব : পরীক্ষণীয় তারের উপাদানের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, $Y = \dots\dots\dots Nm^{-2}$

ফলাফল : পরীক্ষণীয় তারের উপাদানের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, $Y = \dots\dots\dots Nm^{-2}$


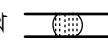
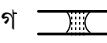
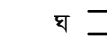
সর্তকতা :

- ১। স্ক্রু পিচ, বৃত্তাকার স্কেলের ভাগ সংখ্যা এবং লঘিষ্ঠ গণন সতর্কতার সাথে নির্ণয় করা হলো।
- ২। সর্তকতার সাথে স্ক্রু গজের সাহায্যে তারের বিভিন্ন স্থানে ব্যাস নির্ণয় করে তার গড়কে অর্ধেক করে ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয়েছে।
- ৩। হুক দুটিতে প্রয়োজনীয় ভর চাপিয়ে তার দুটিকে সোজা করা হয়েছে এবং এই ভরকে শূন্য ভর ধরা হয়েছে।
- ৪। হুকের উপর ভর চাপানোর সময় সর্তকতার সাথে ভর রাখা হয়েছে যেন তার দুটি দুলতে শুরু না করে।
- ৫। অসহ ওজনের অর্ধেকের বেশী ওজন চাপানো হয়নি।
- ৬। সমস্ত ভর চাপানোর পর এবার একটি একটি করে ভর নামিয়ে দৈর্ঘ্যহ্রাসের পাঠ নেয়া হয়েছে।

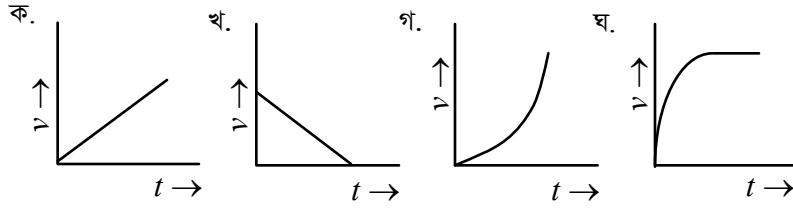


চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. বহুনির্বাচনি প্রশ্নঃ

- ১। একটি তারকে কেটে সমান দুই টুকরা করা হলো। এখন এটি যে সর্বোচ্চ ভার সহ্য করতে পারবে তা হলো
ক. পূর্বের এক চতুর্থাংশ খ. পূর্বের অর্ধেক গ. পূর্বের সমান ঘ. পূর্বের দ্বিগুণ
- ২। তরল বা কঠিনের তুলনায় গ্যাসীয় পদার্থের
ক. আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক ক্ষুদ্রতম খ. আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক সর্বোচ্চ
গ. কৃন্তন গুণাঙ্ক সর্বোচ্চ ঘ. আয়তন ও কৃন্তন গুণাঙ্ক সর্বোচ্চ
- ৩। একটি তারের এক প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকিয়ে অপর প্রান্তে M ভর ঝুলানো হলে যদি দৈর্ঘ্য বিকৃতি l হয় তবে কৃত কাজ
ক. শূন্য খ. $\frac{1}{2}Mgl$ গ. Mgl ঘ. $2Mgl$
- ৪। টান করা তারে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি
ক. $\frac{Yl}{2L^2}$ খ. $\frac{Yl}{2L}$ গ. $\frac{Y^2l}{2L^2}$ ঘ. $\frac{Yl^2}{2L^2}$
- ৫। পয়সনের অনুপাত কখনই কোন মানের সমান হতে পারে না?
ক. 0.01 খ. 0.1 গ. 0.3 ঘ. 0.6
- ৬। একই পদার্থের তৈরি দুইটি তার A এবং B । তার দুটির দৈর্ঘ্য ও ব্যাসের অনুপাত যথাক্রমে 1:2 এবং 2:1। একই বলে তার দুটিকে টানা হয়ে এদের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির অনুপাত
ক. 2:1 খ. 1:4 গ. 1:8 ঘ. 8:1
- ৭। তরলের পৃষ্ঠটানের উদ্ভবের কারণ হলো
ক. সংসক্তি বল খ. আসঞ্জন বল
গ. অণুগুলোর মধ্যে মহাকর্ষ বল ঘ. অণুগুলোর পারস্পরিব বিকর্ষণ বল
- ৮। একটি নির্দিষ্ট আয়তনের কোনো পদার্থকে বিভিন্ন আকার দেয়া হলো। কোন আকৃতির ক্ষেত্রে ঐ আয়তনের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হবে?
ক. শঙ্কু খ. চোঙ গ. গোলক ঘ. ঘনক
- ৯। দুই মুখ খোলা একটি কাচের কৈশিক নলে কিছু পারদ আছে। নলে পারদ তলের আকৃতি কোনটি হবে?
ক.  খ.  গ.  ঘ. 
- ১০। একটি পানির পাত্রে একটি কৈশিক নল উলম্বভাবে আংশিক ডুবানো আছে। পানির পাত্রসহ কৈশিক নল লিফটে রাখা আছে। কখন নলে পানির উচ্চতা সর্বাধিক হবে? যখন লিফট-

- ক. স্থির আছে খ. সমবেগে উঠছে বা নামছে গ. সমত্বরণে উঠছে ঘ. সমত্বরণে নামছে
- ১১। নিম্নোক্ত কোনটির উপর স্পর্শকোণ নির্ভর করে না?
ক. তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল খ. তাপমাত্রা গ. কঠিনের প্রকৃতি ঘ. তরলের প্রকৃতি
- ১২। একটি কাপড়কে মোম দিয়ে ঘষলে কাপড়টি পানি নিরোধক হিসাবে কাজ করে। এর কারণ হলো মোম দিয়ে ঘষার ফলে স্পর্শকোণের পরিবর্তিত মান (θ)-
ক. $\theta > 90^\circ$ খ. $\theta = 90^\circ$ গ. $\theta < 90^\circ$ ঘ. $\theta < 0^\circ$
- ১৩। একটি কৈশিক নলে পানি 10cm উচ্চতায় উঠে। যদি নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল পূর্বের তুলনায় এক চতুর্থাংশ করা হয় তবে নলে পানির উচ্চতা হবে-
ক. 2.5cm খ. 5cm গ. 10cm ঘ. 20cm
- ১৪। চাপ বৃদ্ধিতে তরলের সান্দ্রতা সাধারণত
ক. বৃদ্ধি পায় খ. হ্রাস পায় গ. অপরিবর্তিত থাকে ঘ. তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল
- ১৫। সান্দ্রতা ধর্ম পরিলক্ষিত হয় কেবল মাত্র
ক. তরলের ক্ষেত্রে খ. কঠিনের ক্ষেত্রে গ. কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে ঘ. গ্যাসের ক্ষেত্রে
- ১৬। অসীম বিস্তারের একটি সান্দ্র মাধ্যমে গোলাকাকৃতি একটি বল উপর থেকে ছেড়ে দেয়া হলো। নিচের কোন লেখচিত্রটি সময়ের সঙ্গে বলটির দ্রুতির পরিবর্তন সূচিত করে?

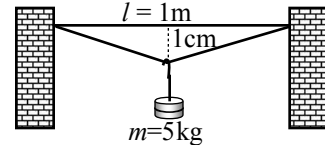


- ১৭। একই ব্যাসাধের দুটি পানির বিন্দু বায়ু মাধ্যমে 10cms^{-1} অন্তবেগে পড়ছে। পানির বিন্দু দুটি মিশে একটি বিন্দুতে পরিণত হলে নতুন অন্তবেগ কত হবে?
ক. 5cms^{-1} খ. 10cms^{-1} গ. $10 \times 2^{\frac{2}{3}}\text{cms}^{-1}$ ঘ. $10\sqrt{3}\text{cms}^{-1}$
- ১৮। M এবং $8M$ ভরের একই ধাতুর দুটি নিরেট গোলক একই সাথে সান্দ্রতায়ুক্ত তরলে ফেললে তাদের অন্তবেগ v এবং nv হয়। তবে n এর মান হবে
ক. 2 খ. 4 গ. 8 ঘ. 16

খ. সৃজনশীল প্রশ্ন :

১। $3 \times 10^{-5}\text{m}^2$ প্রস্থচ্ছেদেও ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি 1m লম্বা ধাতব তারকে সুদৃঢ় দুটি বিন্দুতে অনুভূমিক ভাবে টান টান করে টাঙ্গানো আছে। এর সাথে 5kg ভরের একটি বস্তুকে মসৃণ হকের সাহায্যে ঝুলিয়ে দেয়া হলো। ফলে তারটি 1cm নিচে নেমে এলো।

উপাদান	$Y \text{ Nm}^{-2}$
রূপা	0.78×10^{11}
তামা	1.3×10^{11}
ইস্পাত	2.1×10^{11}
অ্যালুমিনিয়াম	0.7×10^{11}



- ক. পয়সনের অনুপাত কাকে বলে? ১
- খ. বল প্রয়োগে প্রসারিত তার হঠাৎ ছিড়ে গেলে তারটি গরম হয় কেন ব্যাখ্যা করুন। ২

- গ. তারের টান নির্ণয় করুন। ৩
- ঘ. উল্লেখিত পরীক্ষার মাধ্যমে তারটি কি উপাদানের তৈরি তা নিরূপণ করা সম্ভব কিনা গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ করুন। ৪
- ২। একটি কৈশিক নলে পানি 10cm উপরে উঠে। একই নলে পারদের অবনতি 3.42cm। পারদ ও পানির ঘনত্ব যথাক্রমে $13.6 \times 10^3 \text{kgm}^{-3}$ এবং 10^3kgm^{-3} । পানির স্পর্শকোণ 0° এবং পারদের স্পর্শকোণ 135°
- ক. পৃষ্ঠটান বলতে কি বুঝায়? ১
- খ. কোন শর্তে তরল পাত্র ভেজায় বা ভেজায় না? ব্যাখ্যা করুন। ২
- গ. পারদ ও পানির পৃষ্ঠটানের অনুপাত নির্ণয় করুন। ৩
- ঘ. উপরে বর্ণিত পরীক্ষাটি কোনো কৃত্রিম উপগ্রহে সম্পন্ন করলে ফলাফল কিরূপ হতো? আপনার উত্তরের যথার্থতা দেখান। ৪
- ৩। ঘরের মেঝেতে $15.29 \times 10^{-3} \text{Pas}$ সান্দ্রতা গুণাঙ্কের একটি তরল ঢালা হলো। তার উপর একটি কাচ প্লেট রাখা হলো। প্লেটটির দৈর্ঘ্য প্রস্থ ও উচ্চতা যথাক্রমে 15cm, 10cm এবং 0.5cm। কাচের ঘনত্ব $2.5 \times 10^3 \text{kgm}^{-3}$ । কাচটি তরলের উপর রাখার পর মেঝে এবং কাচের মাঝে 0.5mm পুরু একটি তরলের স্তর তৈরি হলো।
- ক. সান্দ্রতা গুণাঙ্ক কাকে বলে? ১
- খ. সাগরে যখন জাহাজ চলে তখন পানির সংস্পর্শে থাকা দুইপার্শ্বে ফেনা মত অসংখ্য বুদবুদ তৈরি করা হয় কেন ব্যাখ্যা করুন। ২
- গ. কাচ খন্ডটিকে 10ms^{-1} বেগে গতিশীল রাখতে কত মানের ধ্রুব বল প্রয়োগ করতে হবে বের করুন। ৩
- ঘ. প্রযুক্তি বল বন্ধ করলে কেন এবং কখন কাচ খন্ডটি থেমে যাবে গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ করুন। ৪

গ. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন :

- ১। অসহ ভার ও অসহ পীড়ন কাকে বলে, লিখুন।
- ২। অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি কাকে বলে, লিখুন।
- ৩। ইয়ং গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখুন। ইয়ং গুণাঙ্কের একক কী, লিখুন।
- ৪। আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক কাকে বলে, লিখুন।
- ৫। কৃন্তন পীড়ন ও কৃন্তন বিকৃতি কাকে বলে, লিখুন।
- ৬। দৃঢ়তা গুণাঙ্ক কাকে বলে, লিখুন।
- ৭। কৃন্তন কোণ বলতে কী বোঝায়, লিখুন।
- ৮। পয়সন অনুপাতের সংজ্ঞা লিখুন। এর সীমাস্থ মান কী, লিখুন।
- ৯। পয়সন অনুপাতকে স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলা যায় কি না আলোচনা করুন।
- ১০। পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা লিখুন।
- ১১। সাবান পানিতে কিছু গ্লিসারিন মিশালে বুদবুদের আকার বড় করা যায় কেন।
- ১২। পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা দিন।
- ১৩। পৃষ্ঠশক্তি কাকে বলে, লিখুন।

ঘ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন :

- ১। স্পর্শকোণ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে, লিখুন।
- ২। কৈশিকতা কী? কৈশিকতার দুটি উদাহরণ দিন।
- ৩। পানিতে কৈশিক নল ডোবালে পানি ওপরে ওঠে কিন্তু সেই নল পারদে ডোবালে পারদ নিচে নামে কেন, লিখুন।
- ৪। সান্দ্রতাক্ষের মাত্রা লিখুন।
- ৫। কোনো নলে তরল প্রবাহিত হলে তরলের যে স্তরটি নলের সংস্পর্শে থাকে তার বেগ কী হয় এবং কেন, লিখুন।
- ৬। দ্রুতগামী ট্রেনের পাশে দণ্ডায়মান কোনো ব্যক্তি ট্রেনের দিকে টান অনুভব করে কেন? ব্যাখ্যা করুন।
- ৭। সান্দ্র মাধ্যমে বস্তুর অন্তর্বেগ মাধ্যমের সান্দ্রতাক্ষের সমানুপাতিক না ব্যস্তানুপাতিক, লিখুন।
- ৮। কোনো বস্তু তরলের মধ্য দিয়ে পড়ার সময় কখন অন্তর্বেগ লাভ করে, লিখুন।
- ৯। শীতকালে মেশিনের যন্ত্রাংশ আটকে যায় কেন ব্যাখ্যা করুন।

ঙ. গাণিতিক সমস্যা :

- ১। 4 mm ব্যাসের একটি তারে 50 kg ভরের একটি বস্তু ঝুলিয়ে দেওয়া হলো। তারের 1 m দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে 1.02 m হলো। তারের বিকৃতি ও পীড়ন নির্ণয় করুন।
- ২। 2 m দৈর্ঘ্যের ও 1 cm² প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি তারের দৈর্ঘ্য বরাবর 10⁴ N বল প্রয়োগ করা হলে এর দৈর্ঘ্য 0.1 cm বৃদ্ধি পায়। তারের উপাদানের ইয়ং গুণক নির্ণয় করুন।
- ৩। একটি ইস্পাতের তারের দৈর্ঘ্য 2 m, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 1 mm²। তারটির প্রান্তে 20 N বল প্রয়োগ করলে এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি নির্ণয় করুন।
- ৪। 1 বর্গমিলিমিটার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারের দৈর্ঘ্য 5% বৃদ্ধি করতে হলে কত বল প্রয়োগ করতে হবে? ইস্পাতের ইয়ং গুণক 2×10¹¹ Nm⁻²।
- ৫। 2 m দীর্ঘ ও 1 mm ব্যাসের একটি তারের দৈর্ঘ্য 0.05 cm হলে তারের ব্যাস কতটুকু হ্রাস পাবে? পয়সনের অনুপাত, $\sigma = 0.25$ ।
- ৬। 50 cm দীর্ঘ ও 0.01 cm ব্যাসার্ধের একটি ইস্পাতের তারকে টেনে 0.1 cm বৃদ্ধি করা হলো। কাজের পরিমাণ নির্ণয় করুন। ইস্পাতের ইয়ং গুণক 2×10¹¹ Nm⁻²।
- ৭। পানির উপরিতলে আলতোভাবে রাখা 3 cm দীর্ঘ একটি সুচকে টেনে তুলতে সর্বাধিক যে বলের প্রয়োজন তা নির্ণয় করুন। পানির পৃষ্ঠটান 72×10⁻³ Nm⁻¹।
- ৮। পানির উপরিতলে রাখা 0.75 m দীর্ঘ একখণ্ড তারকে টেনে তুলতে 10.9×10⁻² N বল প্রয়োজন হয়। পানির পৃষ্ঠটান নির্ণয় করুন।
- ৯। একটি ধাতব পাতের ক্ষেত্রফল 10⁻² m²। এটি 2×10⁻³ m পুরু তেলের আন্তরণের উপর রাখা আছে। পাতকে 3×10⁻² ms⁻¹ বেগে গতিশীল করতে কী পরিমাণ অনুভূমিক বল প্রয়োগ করতে হবে? তেলের সান্দ্রতা সহগ 1.55 Nsm⁻²।
- ১০। 20 cm ব্যাসার্ধের একটি ধাতব গোলক একটি তরলের মধ্য দিয়ে 2.1×10⁻² ms⁻¹ প্রান্ত বেগে পড়ছে। তরলের সান্দ্রতাক 0.003 kgm⁻¹s⁻¹। তরলের সান্দ্র বল নির্ণয় করুন।



উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.১ :	১। (খ)	২। (ঘ)	৩। (খ)	৪। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.২ :	১। (গ)	২। (গ)	৩। (ক)	৪। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.৩ :	১। (ক)	২। (গ)		
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.৪ :	১। (ক)	২। (গ)		
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.৫ :	১। (ক)	২। (গ)	৩। (ঘ)	
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.৬ :	১। (গ)	২। (খ)		
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৬.৭ :	১। (খ)	২। (গ)		

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন :	১। (গ)	২। (ক)	৩। (খ)	৪। (ঘ)	৫। (ঘ)
	৬। (গ)	৭। (ক)	৮। (গ)	৯। (খ)	১০। (গ)
	১১। (গ)	১২। (ক)	১৩। (ঘ)	১৪। (গ)	১৫। (গ)
	১৬। (ঘ)	১৭। (গ)	১৮। (খ)		

খ. সৃজনশীল প্রশ্ন ৪-১ নিজে করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।

সৃজনশীল প্রশ্ন ৪-২ নিজে করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।

সৃজনশীল প্রশ্ন ৪-৩ নিজে করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।

ঙ. গাণিতিক সমস্যা : ১। 0.2; $3.9 \times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$ ২। $2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ ৩। $2 \times 10^{-4} \text{ m}$ ৪। 10^4 N
৫। $6.25 \times 10^{-8} \text{ m}$ ৬। $6.28 \times 10^{-3} \text{ J}$ ৭। $4.32 \times 10^{-3} \text{ N}$ ৮। 0.073 Nm^{-1}
৯। 0.2325 N ১০। $2.37 \times 10^{-4} \text{ N}$