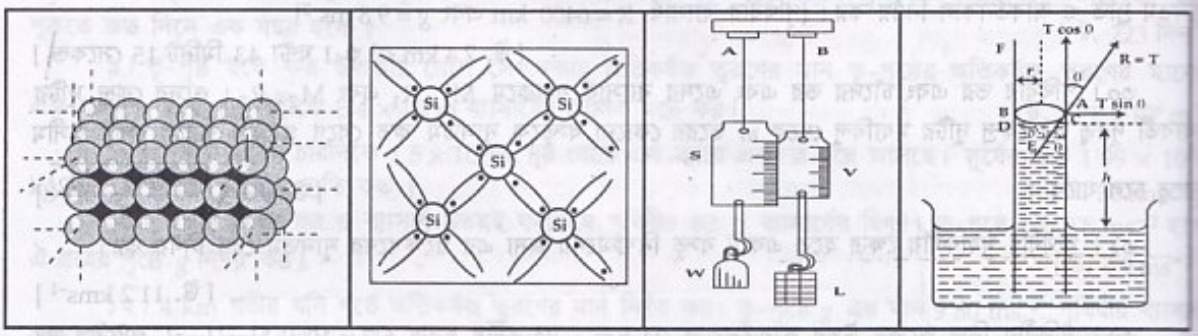
৭

পদার্থের গাঠনিক ধর্ম
STRUCTURAL PROPERTIES OF MATTER

প্রধান শব্দ (Key Words) : আয়নিক বন্ধন, সমযোজী বন্ধন, ধাতব বন্ধন, ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন, স্থিতিস্থাপকতা, স্থিতিস্থাপক সীমা, অসহ ভার বা ওজন, অসহ পীড়ন, বিকৃতি, পীড়ন, হুকের সূত্র, স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, সংনম্যতা, পয়সনের অনুপাত, সান্দ্রতা, সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বা সান্দ্রতাঙ্ক, পৃষ্ঠটান, সংশক্তি বল, আসঞ্জন বল, পৃষ্ঠশক্তি, স্পর্শকোণ।



সূচনা
Introduction

কঠিন, তরল ও বায়বীয় এই তিনটি শ্রেণিতে পদার্থ সাধারণত বিভক্ত। পদার্থ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণু দিয়ে গঠিত। অণুর মধ্যে ক্রিয়াশীল আন্তঃআণবিক বলের বিভিন্নতার কারণে পদার্থ উপরিউক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত। কঠিন পদার্থে আন্তঃআণবিক বল অনেক বেশি। কঠিন পদার্থকে বাহ্যিক বল প্রয়োগে বিকৃত করা কষ্টকর। বল প্রয়োগে আন্তঃআণবিক স্থানের পরিবর্তনে বস্তুর আকার, আকৃতির পরিবর্তন ঘটে যা তরল বা বায়বীয় পদার্থে ঘটে না। সকল কঠিন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা নামে একটি সাধারণ ধর্ম রয়েছে। এই অধ্যায়ে আন্তঃআণবিক বল এবং এই বলের সাহায্যে স্থিতিস্থাপকতার ব্যাখ্যা, হুকের সূত্র, স্থিতিস্থাপকতার বিভিন্ন গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা, স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয়, স্থিতিস্থাপক স্থিতিশক্তি, প্রবাহীর প্রবাহ, পৃষ্ঠটান, পৃষ্ঠশক্তি ইত্যাদি আলোচনা করা হয়েছে।

এই অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- পদার্থের আন্তঃআণবিক বলের প্রকৃতি ও এই বলের আলোকে পদার্থের স্থিতিস্থাপক আচরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পদার্থের বিভিন্ন প্রকার বন্ধন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- হুকের সূত্র, স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, পয়সনের অনুপাত ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক :**
  ইয়ং এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয়।
- প্রবাহী পদার্থ ব্যাখ্যাসহ প্রান্তিক বেগ, সান্দ্রতা, সান্দ্রতা গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পৃষ্ঠটান, পৃষ্ঠশক্তি, সংসক্তি বল, আসঞ্জন বল, স্পর্শ কোণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ঘর্ষণ ও সান্দ্রতার মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনসহ তরল পদার্থে স্টোক্স-এর সূত্র, প্রান্তিক বেগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৭.১ পদার্থের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল
Inter Molecular Attractive and Repulsive Force of Matter

সকল পদার্থই অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা তথা পরমাণু ও অণুর সমন্বয়ে গঠিত। এসব পরমাণু ও অণুসমূহের অভ্যন্তরে বা তাদের পরস্পরের মধ্যে বিভিন্ন প্রকার আকর্ষণ বল কার্যকর রয়েছে। বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে অথবা

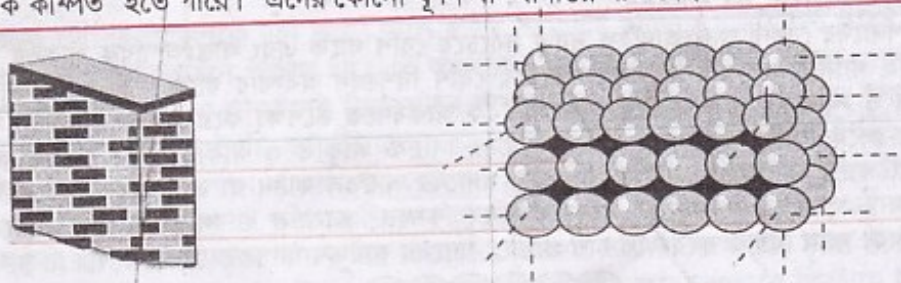
একই পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলের কারণে পৃষ্ঠটানের উদ্ভব ঘটে। তবে বিভিন্ন পদার্থের মধ্যে আকর্ষণ বলের বৈশিষ্ট্য ও প্রকৃতির ভিন্নতা পরিলক্ষিত হয়।

অণুগুলো নিজেরা কীভাবে যুক্ত হয় যার ফলে কঠিন, তরল বা গ্যাস গঠিত হয় ? প্রকৃতপক্ষে অণুগুলো এক প্রকার বল দ্বারা পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে। একে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বলে। অর্থাৎ পদার্থের অণুগুলো পরস্পর যে বল দ্বারা যুক্ত হয়ে বিভিন্ন ভৌত কাঠামো গঠন করে তাকে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বলে।

নিম্নের আলোচনায় কঠিন, তরল এবং বায়বীয় পদার্থের ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বলের বৈশিষ্ট্য ও আচরণ সম্পর্কে জানতে সক্ষম হব।

কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক বল
Inter Atomic Force in Solids

কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন আছে। শক্তিশালী আকর্ষণ বলের কারণে কণাসমূহ খুব কাছাকাছি অবস্থান করে। কঠিন পদার্থের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ সবচেয়ে বেশি থাকে এবং আন্তঃআণবিক দূরত্ব সবচেয়ে কম থাকে। উচ্চ আন্তঃকণা আকর্ষণ বল দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে কণাসমূহ দৃঢ় সংবন্ধ ও ঘন সন্নিবিষ্ট অবস্থায় থাকে। এই অবস্থায় পদার্থের কণাসমূহের মধ্যে আন্তঃকণা ফাঁকা স্থান নেই বললেই চলে। সর্বোচ্চ আন্তঃকণা আকর্ষণ বল দ্বারা দৃঢ়ভাবে আকৃষ্ট হয়ে থাকায় কঠিন পদার্থ নির্দিষ্ট পরিমাণ স্থান দখল করে থাকে। তাই এ অবস্থায় পদার্থের আয়তন নির্দিষ্ট থাকে। আবার কণাসমূহের মধ্যে আন্তঃকণা ফাঁকা স্থান না থাকায় কণাগুলো স্থান পরিবর্তন করতে পারে না। এজন্য পদার্থের আকৃতিও নির্দিষ্ট থাকে। কঠিন পদার্থের কণাগুলো স্থান পরিবর্তন করতে না পারলেও একই অবস্থানে থেকে কম্পিত হতে পারে। এদের কোনো ঘূর্ণন বা স্থানান্তর গতি নেই। আন্তঃকণা ফাঁকা স্থান নেই বলে



(ক) (খ)

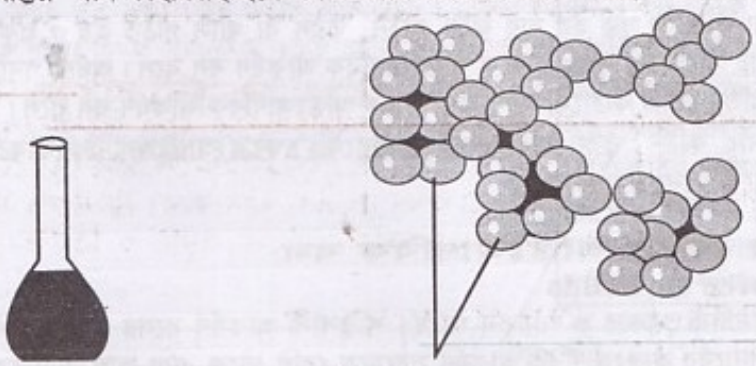
চিত্র ৭·১

চাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের আয়তন সংকুচিত হয় না। পদার্থের অন্তর্নিহিত এ বলকে আন্তঃকণা আকর্ষণ বল বলে [চিত্র ৭·১ (ক) ও (খ)]। এই বলের মাত্রা সাধারণত ক্ষুদ্রতম কণাগুলোর দূরত্ব এবং বিন্যাসের উপর নির্ভর করে। দূরত্ব বেশি হলে বলের মাত্রা কমে যায় এবং দূরত্ব কম হলে আন্তঃকণা আকর্ষণ বল বেশি হয়। তবে নির্দিষ্ট মাত্রার নিচে দূরত্ব কমে গেলে আন্তঃকণা বিকর্ষণ সৃষ্টি হয়। কঠিন পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণাগুলো পরম শূন্য তাপমাত্রার উর্ধ্বে যেকোনো তাপমাত্রায় নড়াচড়া অথবা চলাফেরা করে এবং গতিশক্তি লাভ করে। তাপ প্রয়োগে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান গতিশক্তির চেয়ে বেশি হলে পদার্থ কঠিন অবস্থায় থাকে। এই অবস্থায় ছোট ছোট কণাগুলো একে অপরকে ছেড়ে যেতে পারে না, শুধুমাত্র নিজেদের মধ্যে কম্পনের সৃষ্টি করে।

তরল পদার্থের ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক বল
Inter Atomic Force in Liquids

তরল অবস্থায় পদার্থের গঠনকারী কণাসমূহের মধ্যে আন্তঃকণা আকর্ষণ বল তুলনামূলকভাবে কম থাকে। এজন্য কণাসমূহ ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে না। তবে পরস্পরের মোটামুটি কাছাকাছি অবস্থানে এগুলো ছোট ছোট গুচ্ছের আকারে একটি নির্দিষ্ট পরিসীমার মধ্যে থাকে। তাই তরল অবস্থায় পদার্থের আয়তন নির্দিষ্ট থাকে। কণাসমূহের মধ্যে সামান্য আন্তঃকণা ফাঁকা স্থান সৃষ্টি হয় বলে কণাগুলো একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থেকেও নড়াচড়া করতে পারে। এ কারণে তরল ভৌত অবস্থায় আয়তন নির্দিষ্ট থাকলেও আকৃতি নির্দিষ্ট থাকে না। যে পাত্রে রাখা হয় সে পাত্রের আকৃতি লাভ করে। তরল অবস্থায় পদার্থের কণাসমূহ কম্পিত, আবর্তিত এবং নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে স্থানান্তরিত হতে পারে। আন্তঃকণা ফাঁকা স্থান খুব সামান্য বলে চাপ প্রয়োগে তরল পদার্থের উল্লেখযোগ্য সংকোচন ঘটে না [চিত্র ৭·২]। অপরপক্ষে তরল পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণাগুলো পরম শূন্য তাপমাত্রার উর্ধ্বে নড়াচড়া ও চলাফেরার

জন্য গতিশক্তি লাভ করে এবং কঠিন পদার্থের ন্যায় তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে অধিক গতিশক্তি প্রাপ্ত হয়। কিন্তু আন্তঃকণা আকর্ষণ বল এবং গতিশক্তির মান কাছাকাছি হলে পদার্থ তরল অবস্থায় থাকে। এই অবস্থায় কণাগুলো একটি নির্দিষ্ট



চিত্র ৭·২

পরিধির মধ্যে চলাচল করতে পারলেও গ্যাসের মতো অসীম দূরত্বে সরে যেতে পারে না। আন্তঃকণার পারস্পরিক দূরত্ব বেশি হলে বলের মাত্রা কমে যায় এবং দূরত্ব কম হলে আন্তঃকণা আকর্ষণ বল বেশি হয়। তবে নির্দিষ্ট মাত্রার নিচে দূরত্ব কমে গেলে আন্তঃকণা বিকর্ষণ বলের সৃষ্টি হয়।

বায়বীয় পদার্থের ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক বল
Inter Atomic Force in Gases

গ্যাসীয় পদার্থের বেলায় আন্তঃআণবিক দূরত্ব সবচেয়ে বেশি থাকে এবং আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল সবচেয়ে কম থাকে। তাই গ্যাসীয় অবস্থায় অণুসমূহ সবচেয়ে বেশি বিশৃঙ্খল অবস্থায় থাকে। তখন অণুসমূহ অধিকতর কম্পন, আবর্তন ও স্থানান্তর গতিসহকারে আন্তঃআণবিক আকর্ষণকে উপেক্ষা করে মুক্তভাবে চলাচল করে। তখন অণুসমূহ পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ে। তাই গ্যাসের নির্দিষ্ট আকৃতি ও আকার নেই। যেহেতু অণুসমূহ আর পরস্পরের নিকটে থাকে না, সেহেতু গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থের আয়তন কঠিন বা তরল অবস্থা থেকে অনেক বেশি হয়। এই অবস্থায় পদার্থের অণুসমূহের মধ্যে সর্বাধিক কম্পন, আবর্তন ও স্থানান্তর গতি রয়েছে। সর্বোচ্চ আন্তঃআণবিক ফাঁকা স্থান বিরাজ করে বলে চাপ প্রয়োগে গ্যাসের আয়তন ব্যাপকভাবে হ্রাস পায় [চিত্র ৭·৩]।

চিত্র ৭·৩

অপরপক্ষে যদি গতিশক্তির মান আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল-এর চেয়ে অনেক বেশি হয় তবে পদার্থ গ্যাসীয় অবস্থা লাভ করে। এ অবস্থায় কণাগুলো খুব সহজে একস্থান থেকে অন্যস্থানে যেতে পারে। গ্যাসের পরমাণুসমূহের মধ্যকার দূরত্ব হ্রাস পেলে এবং পজিটিভ চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াসসমূহও পরস্পরকে বিকর্ষণ করলে তখনই বিকর্ষণ বল উদ্ভূত হয়। তখন সিস্টেমের বিভবশক্তি বৃদ্ধি পায়।

নিজে কর : আন্তঃআণবিক দূরত্বের পরিবর্তনে আন্তঃআণবিক বলের কীরূপ পরিবর্তন ঘটে—ব্যাখ্যা কর।

আন্তঃআণবিক বল আন্তঃআণবিক দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। দুটি অণু খুব কাছাকাছি হলে এদের মধ্যে বিকর্ষণ বল কাজ করে। অণুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব একটু বেশি হলে আকর্ষণ বল কাজ করে। আন্তঃআণবিক দূরত্বের একটি নির্দিষ্ট মান আছে যার জন্য আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বলের মান সমান হয় অর্থাৎ ঐ দূরত্বে অণুদ্বয়ের মধ্যে লব্ধিবল শূন্য হয়।

৭·২ পদার্থের বন্ধন
Bonding of Matter

আমাদের চারপাশে আমরা যা কিছু দেখি না কেন সবই মৌলিক বা যৌগিক পদার্থ। সকল পদার্থে থাকে অসংখ্য অণু। আবার অণু গঠিত হয় এক বা একাধিক পরমাণু দিয়ে। এই আকর্ষণ শক্তি যা দ্বারা দুটি একই বা ভিন্ন মৌলের পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে অণু গঠন করে তাকে পারমাণবিক বন্ধন বলে। সকল পদার্থের অণু গঠিত হয়

পারমাণবিক বন্ধনের মাধ্যমে। যেমন অক্সিজেনের দুটি পরমাণুর রাসায়নিক বন্ধন দিয়ে আবদ্ধ হয়ে অক্সিজেন মৌলের একটি মৌল গঠন করে। এই মৌলগুলি একত্রিত হয়ে পানি গঠিত হয়। কিন্তু প্রশ্ন হলো, কেন দুটি পরমাণুর মধ্যে বন্ধন গঠিত হয় ? কারণ মৌল যখন পারমাণবিক অবস্থায় থাকে তখন তা অস্থিতিশীল অবস্থায় থাকে। ফলে তার জন্য বিপুল স্থিতিশক্তি প্রয়োজন। কিন্তু বন্ধন দ্বারা গঠিত অণুতে পরমাণু স্থিতিশীল অবস্থায় থাকে। আর স্থিতিশীল অবস্থায় স্থিতিশক্তি থাকে খুবই কম। সুতরাং পরমাণুসমূহের মধ্যে তখনই বন্ধন গঠিত হয় যখন পরমাণুসমূহের সংযোগের ফলে সিস্টেমের স্থিতিশক্তি হ্রাস পায়। কোনো কোনো ক্রিস্টালের যোজনী ইলেকট্রনগুলো এক পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে স্থানান্তরিত হয়ে বন্ধন (bond) গঠন করে। ক্রিস্টালের মধ্যকার ইলেকট্রনিক মিথস্ক্রিয়া বা বন্ধনগুলো নানা ধরনের হয়ে থাকে। পদার্থের গঠনের প্রকৃতি ও মিথস্ক্রিয়া অনুসারে পদার্থের রাসায়নিক বন্ধন প্রধানত পাঁচ প্রকার যথা—

(১) আয়নিক বন্ধন (Electrovalent bond or Ionic bond)
(২) সমযোজী বন্ধন (Covalent bond)
(৩) হাইড্রোজেন বন্ধন (Hydrogen bond)
(৪) ধাতব বন্ধন (Metallic bond)
(৫) ভ্যানডার ওয়াল বলজনিত বন্ধন (Bonds due to Vander Waals forces)

আয়নিক বন্ধন
Ionic Bond

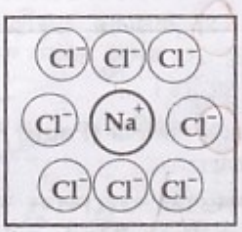
একটি ধাতু এবং একটি অধাতু পরস্পরের সাথে মিলিত হওয়ার সময় সাধারণত ধাতব পরমাণু থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন অধাতুর পরমাণুকে দান করে। ফলে ধাতব পরমাণুটি ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট আয়ন এবং অধাতব পরমাণুটি ঋণাত্মক চার্জবিশিষ্ট আয়নে পরিণত হয়। এই আয়নদ্বয় বিপরীতধর্মী চার্জবিশিষ্ট হওয়ায় এদের মধ্যে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণের সৃষ্টি হয়। এ আকর্ষণেই উভয় আয়ন আবদ্ধ হয়। অপরপক্ষে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সমন্বয়ে একটি আয়নিক ক্রিস্টাল তৈরি হয়। আয়নগুলোর সমাবেশ এমনভাবে ঘটে যেন বিপরীতধর্মী আয়নের মধ্যকার কুলম্বের বিকর্ষণ বল অপেক্ষা আকর্ষণ বল বেশি হয়। আয়নিক বন্ধন সার্বিকভাবে বিপরীতধর্মী আয়নের পারস্পরিক ক্রিয়ার ফসল। একটি আয়ন তার চারদিকে যতগুলো সম্ভব (maximum) বিপরীতধর্মী আয়ন সমাবেশ ঘটাতে চায়। উক্ত আয়নকে ঘিরে থাকা আয়নগুলির সমজাতীয় হওয়ায় তাদের পরস্পরের মধ্যে বিকর্ষণ বল কাজ করে এবং শেষ পর্যন্ত একটি সমঝোতায় পৌঁছে প্রকৃত কেলাস গঠন সম্পন্ন করে। এভাবে ক্রিস্টালে আয়নিক বন্ধন গঠিত হয়।

ধাতব ও অধাতব মৌলের রাসায়নিক বিক্রিয়াকালে ধাতুর পরমাণুর বহিস্তর থেকে অধাতু পরমাণুর বহিস্তরে এক বা একাধিক ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হওয়ার মাধ্যমে সৃষ্ট ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নের মধ্যে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ দ্বারা যে বন্ধন গঠিত হয়, তাকে আয়নিক বন্ধন বলে। আয়নিক বন্ধন দ্বারা সৃষ্ট যৌগকে আয়নিক যৌগ বলে।

উদাহরণ : সোডিয়াম ক্লোরাইড (NaCl) এর আয়নিক বন্ধন দেখানো হলো [চিত্র ৭·৪]।

আয়নিক বন্ধন গঠনের জন্য নিম্নোক্ত তিনটি শর্ত প্রয়োজন :

(১) প্রথম মৌলের নিম্ন আয়নীকরণ শক্তি।
(২) দ্বিতীয় মৌলের উচ্চ ইলেকট্রন আসক্তি।
(৩) গঠিত যৌগের উচ্চ ল্যাটিস শক্তি।

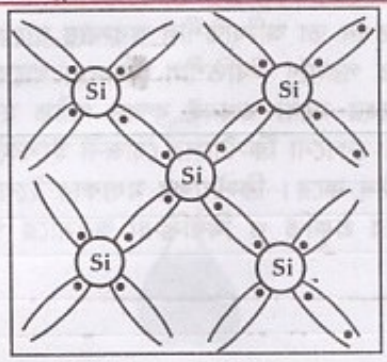


চিত্র ৭·৪ : আয়নিক বন্ধন।

সমযোজী বন্ধন
Covalent Bond

পদার্থের দুটি একই বা ভিন্ন মৌলের পরমাণুর মধ্যে রাসায়নিক সহযোগের সময় যদি ইলেকট্রন আদান-প্রদান সম্ভব না হয় তখন দুটি পরমাণু নিজের মধ্যে জোড়ায় জোড়ায় ইলেকট্রন শেয়ার দ্বারা বহিস্তরে স্থিতিশীল ইলেকট্রনীয় কাঠামো গঠন করে। সৃষ্ট এ বন্ধন সমযোজী বন্ধন নামে পরিচিত। সুতরাং অণু গঠনের সময় যদি পরমাণু নিজ নিজ বহিস্তরে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের স্থিতিশীল ইলেকট্রন কাঠামো অর্জনের উদ্দেশ্যে সমান সংখ্যক অযুগল ইলেকট্রন সরবরাহ করে এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি করে এবং উভয় পরমাণু তা সমানভাবে শেয়ার করে, তবে পরমাণুদ্বয়ের মধ্যে যে বন্ধন গঠিত হয় তাকে সমযোজী বন্ধন বলে। এই বন্ধন যোজনী বন্ধন (valence

bond) নামে পরিচিত। ইলেকট্রন ভাগাভাগির ফলে দুটি পরমাণুর মধ্যবর্তী এলাকায় ইলেকট্রনের ঘনত্ব বেশি হয়। এ ধরনের বন্ধন সুস্পষ্টভাবে দিকবর্তী হয়। সমযোজী বন্ধন বেশি শক্তিশালী হয়ে থাকে।



চিত্র ৭·৫ : সমযোজী বন্ধন।

উদাহরণ : হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, সিলিকন। Si এর সমযোজী বন্ধন দেখানো হলো [চিত্র ৭·৫]।

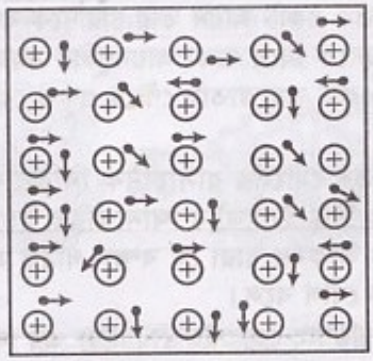
সমযোজী বন্ধনের শর্ত :

(১) দুটি অধাতব পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন ঘটে।

(২) উভয় অধাতব পরমাণু সমসংখ্যক ইলেকট্রন যোগান দিয়ে এক বা একাধিক ইলেকট্রন যুগল সৃষ্টি করে তা উভয় পরমাণু সমভাবে শেয়ার করে থাকে।

ধাতব বন্ধন
Metallic Bond

ধাতব অণুতে সাধারণত এ বন্ধন দেখা যায়। ধাতব অণু এমন গঠনকে প্রাধান্য দেয় যাতে একটি পরমাণুর চারপাশে অধিক সংখ্যক পরমাণু থাকে। ধাতব পদার্থের পরমাণুর শেষ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াস থেকে দূরে অবস্থান করায় ইলেকট্রন-নিউক্লিয়াস আকর্ষণ বল কম থাকে; ফলে কেলাসের মধ্যে এই ইলেকট্রনগুলো কোনো নির্দিষ্ট পরমাণুর সঙ্গে সংযুক্ত না থেকে মুক্তভাবে কেলাসের মধ্যে বিচরণ করে। ইলেকট্রন হারিয়ে ধাতব পরমাণুগুলো ধনাত্মক আয়নে পরিণত হয় এবং ত্রিমাত্রিক কেলাসে পরস্পর হতে নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থান করে। ধনাত্মক আয়নগুলো কেলাসে মুক্ত ইলেকট্রন দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে; ফলে আয়নের মধ্যে বিকর্ষণ বল দুর্বল থাকে। পক্ষান্তরে আয়নসমূহ প্রত্যেকে এদের মধ্যে অবস্থিত মুক্ত ইলেকট্রনকে আকর্ষণ করে। এর ফলে দুটি আয়নের মধ্যে এক ধরনের বন্ধন তৈরি হয়। এই বন্ধনকে ধাতব বন্ধন বলে। আয়নিক ও সমযোজী বন্ধনের তুলনায় ধাতব বন্ধন দুর্বল। চিত্র ৭·৬ এ ধাতব বন্ধন দেখানো হলো।



চিত্র ৭·৬ : ধাতব বন্ধন।

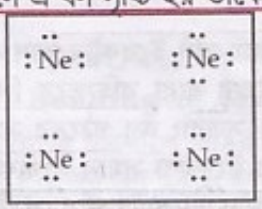
এ জন্য ধাতুর গলন তাপমাত্রা কম। উচ্চ তাপ ও বিদ্যুৎ পরিবাহিতা, যান্ত্রিক দৃঢ়তা প্রভৃতি ধাতুর বৈশিষ্ট্য। বিদ্যুৎক্ষেত্রের আওতায় যোজ্য ইলেকট্রনগুলো খুব সহজে চলাচল করতে পারার কারণেই ধাতুর বিদ্যুৎ পরিবাহিতা খুব বেশি। তাপ পরিবহনের জন্য যোজন ইলেকট্রনগুলোর অবাধ গতিই দায়ী। বাইরের শক্তি প্রয়োগ করে ধাতুকে বাঁকানোর সময় আয়নগুলো সহজে খাপ খাইয়ে নিতে পারে। ধাতব বন্ধনের বৈশিষ্ট্য নিম্নরূপ :

(১) বন্ধনের প্রকৃতি সমযোজী ধরনের কিন্তু অসম্পৃক্ত এবং অধিক সংখ্যক পরমাণুর সাথে আবদ্ধ থাকার সুযোগ রয়েছে।

(২) পাউলির (Pauli) বর্জন নীতি অনুসারে যতটি সুযোগ রয়েছে পরমাণুগুলোর মাঝে ইলেকট্রন ঘনত্ব তার চেয়ে কম।

ভ্যানডার ওয়ালস বন্ধন
Vander Waals Bond

কাছাকাছি অবস্থিত পরমাণুসমূহের মধ্যে একটি সর্বজনীন দুর্বল আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। যে পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে এ বল সৃষ্টি হয় তাকে ভ্যানডার ওয়াল পারস্পরিক ক্রিয়া বলে এবং এ বলকে ভ্যানডার ওয়াল বল বলে।



চিত্র ৭·৭ : নিয়ন ক্রিস্টাল।

কোনো শক্তিশালী বন্ধনের শর্তগুলো যখন পূরণ না হয় তখন অণু গঠনে এ বল অত্যন্ত কার্যকরী ভূমিকা পালন করে। ভ্যানডার ওয়াল পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট এ বন্ধনকে ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন বলা হয়। সাধারণত এ ধরনের বন্ধনে বন্ধন শক্তি খুব দুর্বল। নিষ্ক্রিয় গ্যাসের অণু ভ্যানডার ওয়াল বন্ধনের ফল। [চিত্র ৭·৭]।

৭·৩ আন্তঃআণবিক বল ও পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা
Intermolecular Force and Elasticity of Matter

স্থিতিস্থাপকতা আলোচনা করার আগে পদার্থের গঠন এবং কেন এই ধর্মের সৃষ্টি হয় তা জানা আবশ্যক। সাধারণত সমযোজী যৌগের অণুসমূহের মধ্যকার আকর্ষণ বল দুর্বল এবং তাপীয় কম্পন অতি সহজেই এ আকর্ষণ বলকে অতিক্রম করতে পারে। সমযোজী অণুসমূহের মধ্যবর্তী দুর্বল আকর্ষণ শক্তিকে আন্তঃআণবিক বল বা শক্তি বলা হয়। অন্য কথায় সমযোজী যৌগসমূহের একটি অণু অন্যান্য অণু কর্তৃক যে দুর্বল বল দ্বারা আকৃষ্ট হয় তাকে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বলা হয়। পদার্থ গঠনের সময় অণুগুলো পরস্পরের পাশাপাশি থাকে এবং তাদের মধ্যে অতি ক্ষুদ্র পরিমাণ ফাঁকা স্থান থাকে। আন্তঃআণবিক দূরত্বের পরিমাণ প্রায় 10^{-9} m থেকে 10^{-19} m। অণুগুলো এ পরিমাণ দূরত্বে থেকে পরস্পরকে একটি বলে আকর্ষণ করে। এটাই আন্তঃআণবিক বল (Intermolecular force)। এ আন্তঃআণবিক বল যা কঠিন পদার্থের অণুগুলোকে পরস্পরের সঙ্গে আবদ্ধ রাখে তা মূলত তাড়িত (electrical) বল। অণুগুলো যেসব আহিত (charged) মৌলিক কণার সমন্বয়ে সৃষ্ট তাদের মিথস্ক্রিয়ার ফলে এই তাড়িত বলের উদ্ভব হয়। আমরা জানি যে, সকল পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে আন্তঃআণবিক বল ক্রিয়া করে। কঠিন পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল এই বলকে সংসক্তি বল বলে। এটা ঠিক যে, স্বাভাবিক অবস্থায় কেলাসের অণুগুলো নিম্ন বিভবশক্তি অবস্থানে অবস্থান করে। এই অবস্থা এদের সাম্যাবস্থা। এরকম অবস্থানে কোনো অণুর ওপর ক্রিয়াশীল নিট আন্তঃআণবিক বল শূন্য।

বল প্রয়োগ করে কোনো একটি পদার্থকে প্রসারিত করতে চাইলে, আন্তঃআণবিক স্থানের পরিসর বেড়ে যায় এবং নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে কিংবা জড়তার দরুন অণুগুলো তাদের পূর্বাবস্থায় ফিরে আসার চেষ্টা করে। অনুরূপভাবে বল প্রয়োগে কোনো বস্তুকে সংকুচিত করতে চাইলে আন্তঃআণবিক স্থানের পরিসর কমে যায় এবং পদার্থ সংকুচিত হয়। জড়তা কিংবা নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে অণুগুলো তাদের আদি স্থানে ফিরে যাবার চেষ্টা করে। এর ফলেই পদার্থে স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের সৃষ্টি হয়।

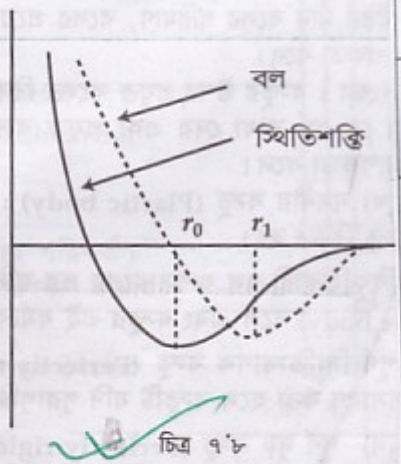
আন্তঃআণবিক স্থানের উপর ভিত্তি করে পদার্থকে দুই ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা— (১) **কঠিন** (solid) এবং (২) **প্রবাহী** (fluid)। প্রবাহীকে আবার দুই ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা— **অসংকোচনীয় প্রবাহী**, যেমন তরল (liquid) এবং **সংকোচনীয় প্রবাহী**, যেমন গ্যাস (Gas)।

উপরন্তু অত্যধিক তাপমাত্রায় বায়বীয় পদার্থ আয়নিত হয়। এক্ষেত্রে সমান সংখ্যক ধন ও ঋণ আয়ন সৃষ্টি হয়। পদার্থের এই অবস্থাকে **প্লাজমা অবস্থা** (plasma state) বলা হয়।

আন্তঃআণবিক বলের প্রকৃতি
Nature of intermolecular force

দুটি অণুর মধ্যে দূরত্বের পরিবর্তনের সঙ্গে আন্তঃআণবিক বল এবং স্থিতিশক্তির পরিবর্তন কিরূপ হয় তা আলোচনা করা হলো।

ধরা যাক, দুটি অণুর মধ্যে আন্তঃআণবিক বল F এবং আন্তঃআণবিক দূরত্ব r। F এবং r-এর মধ্যে গভীর সম্পর্ক রয়েছে। ৭·৮নং চিত্রে আন্তঃআণবিক বল এবং দূরত্বের ও স্থিতিশক্তি বনাম দূরত্বের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। যখন অণুগুলোর আন্তঃআণবিক দূরত্ব অনেক বেশি হয় (যেমন গ্যাস অণুগুলোর ক্ষেত্রে) তখন এদের মধ্যে খুব সামান্য পরিমাণ আকর্ষণ বল ক্রিয়াশীল থাকে। অণুগুলো যত কাছাকাছি আসে অর্থাৎ এদের মাঝে দূরত্ব কমতে থাকে আকর্ষণ বলের মানও বাড়তে বাড়তে সর্বোচ্চ মানে পৌঁছায়। এর পর দূরত্ব আরও কমলে আকর্ষণ বলের মান কমতে থাকে, অর্থাৎ তখন আন্তঃআণবিক বিকর্ষণ বলও ক্রিয়াশীল হয়। r-এর মান কমে যখন r_0 মানে পৌঁছায় তখন বলের মান শূন্য হয়। এই অবস্থায়



চিত্র ৭·৮

আন্তঃআণবিক আকর্ষণ এবং বিকর্ষণ বল সমান হয়। স্থিতিশক্তির লেখচিত্র লক্ষ করলে দেখা যাবে আন্তঃআ দূরত্ব কমার সঙ্গে সঙ্গে স্থিতিশক্তিও কমতে থাকে এবং $r = r_0$ হয় তখন স্থিতিশক্তি সর্বনিম্ন হয়। প্রকৃতির স্বাভ নিয়ম হলো যে কোনো ব্যবস্থা (system) তখনই সাম্য বা সুস্থির হবে যখন এর স্থিতিশক্তি সর্বনিম্ন হবে। সু

বন্ধনের ধরন	শক্তি	প্রকৃতি	উদাহরণ
আয়নিক	সবল	ইলেকট্রন স্থানান্তর	খাবার লবণ
সমযোজী	সবল	ইলেকট্রন অংশগ্রহণ	হীরক
ধাতব	বেশ সবল	ইলেকট্রন অংশগ্রহণ	তামা
ভ্যানডারওয়ালস	দুর্বল	দ্বিমেরু মিথস্ক্রিয়া	কঠিন নিওন

$r = r_0$ অবস্থানকে সাম্যাবস্থান বলে এবং r_0 দূরত্বকে সাম্যাবস্থা বা সুস্থিতি দূরত্ব বলা হয়। বিভিন্ন বস্তুর অণুগুলোর মাঝে r_0-এর মান ভিন্নতর হয়।

আন্তঃআণবিক বলের আলোকে স্থিতিস্থাপকতার ব্যাখ্যা
Explanation of elasticity in the light of intermolecular force

কোনো কেলাসিত জড় পদার্থের উপর বল প্রয়োগ করা হলে সে বল বস্তুর অণুগুলোকে সাম্য দূরত্ব r_0 থেকে খানিকটা সরিয়ে দেয়। কিন্তু অণুগুলো সর্বদাই সাম্য বা স্বাভাবিক দূরত্বে ফিরে যেতে চায়। ফলে সরণের বিপরীত দিকে একটি **প্রত্যায়ন বল** (restoring force) সৃষ্টি হয়। প্রযুক্ত বল বস্তুটিকে টেনে প্রসারিত করতে চাইলে অণুসমূহের পারস্পরিক দূরত্ব বেড়ে যায় এবং প্রত্যায়ন বল হয় **আকর্ষিক** (attractive); অপরপক্ষে প্রযুক্ত বল বস্তুটিকে সঙ্কুচিত করতে চাইলে প্রত্যায়ন বল হবে **বিকর্ষিক** (repulsive)। বস্তুর সাম্যাবস্থানের জন্য প্রযুক্ত বল এবং প্রত্যায়ন বল পরস্পর বিরোধী এবং পরিমাণে সমান হতে হবে। এই প্রত্যায়ন বলকে **স্থিতিস্থাপক বল** (elastic force) বলা হয়। সমপরিমাণ সরণের জন্য বিভিন্ন বস্তুর স্থিতিস্থাপক বল সমান হয় না। সে কারণে বিভিন্ন বস্তুর স্থিতিস্থাপকতাও ভিন্ন ভিন্ন হয়।

বস্তুকে সঙ্কোচন বা প্রসারণের জন্য প্রযুক্ত বলের মান যদি খুব বেশি না হয় তবে এই বলের জন্য সরণ রৈখিক (linear) হয়। ৭·৮ চিত্রে r_0 অবস্থানের সামান্য উপরে বা নিচের কিছু অংশকে আমরা রৈখিক ধরতে পারি। এই অবস্থায় স্থিতিস্থাপক বল সরণের সমানুপাতিক। প্রযুক্ত বল তুলে নিলে বস্তুটি স্থিতিস্থাপক বলের কারণে সাম্যাবস্থানে ফিরে যাবে।

চিত্র ৭·৮ হতে দেখা যায় যে আন্তঃআণবিক দূরত্ব r_1 এর বেশি হলে বলের মান কমতে থাকে অর্থাৎ আকর্ষণ বল লোপ পেতে থাকে। এই অবস্থায় প্রযুক্ত বল তুলে নিলে বস্তুটি আর পূর্বের সাম্যাবস্থানে ফিরে যায় না। বস্তুর মাঝে তখন **স্থায়ী বিকৃতি** ঘটেছে বলা হয়। অর্থাৎ বস্তুটির স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম লোপ পেয়েছে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে প্রযুক্ত বলের একটা সর্বোচ্চ সীমা আছে। সে সীমা পর্যন্ত বল প্রয়োগ করলে বস্তুটি স্থিতিস্থাপক থাকে অর্থাৎ প্রযুক্ত বল সরিয়ে নিলে বস্তুটি পূর্বের অবস্থায় ফিরে যায়; কিন্তু সীমা অতিক্রম করলে বস্তুটি আর স্থিতিস্থাপক থাকে না। এই সীমাকেই বলা হয় **স্থিতিস্থাপক সীমা** (elastic limit)।

৭·৪ স্থিতিস্থাপকতা সম্পর্কিত রাশিমালা
Terms relating to Elasticity

(ক) স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) : আমরা জানি কোনো একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে তার কায়িক পরিবর্তন ঘটে অর্থাৎ বস্তু বিকৃত হয় এবং প্রযুক্ত বল অপসারণ করলে বস্তু পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে। একখণ্ড রাবার বা স্প্রিংকে দুই পাশ হতে টানলে তার দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায় এবং টান ছেড়ে দিলে তা পূর্বের অবস্থায় চলে যায়। বল প্রযুক্ত হওয়ার ফলে নিউটনের তৃতীয় গতি সূত্র অনুসারে বস্তুর মধ্যে একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয়। প্রযুক্ত বল অপসারিত হলে এই প্রতিক্রিয়া বল বিকৃত বস্তুকে তার পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসতে সাহায্য করে। অর্থাৎ এই বিকৃতির মান বলের পরিমাণ, বলের প্রয়োগ বিন্দু এবং বস্তুর ধর্মের উপর নির্ভর করে। বস্তুর এই ধর্মকে স্থিতিস্থাপকতা বলে।

সংজ্ঞা : বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় তার আকার বা আয়তন বা উভয়েরই পরিবর্তনের প্রচেষ্টাকে পদার্থের যে ধর্ম বাধা দেয় এবং প্রযুক্ত বল অপসারিত হলে পূর্বের আকার বা আয়তন ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপকতা বলে।

(খ) নমনীয় বস্তু (Plastic body) : আমরা জানি, বল প্রয়োগে বস্তুর বিকার (deformation) ঘটে, অর্থাৎ বস্তু বিকৃত হয়।

বিকৃতিকারী বল অপসারণের পর যদি বস্তুর অবস্থার পুনঃ প্রাপ্তি না ঘটে তবে তাকে নমনীয় বস্তু (Plastic body) **বলে এবং বস্তুর এই ধর্মকে নমনীয়তা বলে। এই বস্তুকে অস্থিতিস্থাপক বস্তুও বলা হয়।**

পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু (Perfectly elastic body) : কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করার পর ঐ বল অপসারণ করা হলে বস্তুটি যদি পুরাপুরি পূর্বের অবস্থা ফিরে পায় তবে তাকে পূর্ণস্থিতিস্থাপক বলে।

(গ) পূর্ণ দৃঢ় বস্তু (Perfectly rigid body) : কোনো বস্তুর উপর যে কোনো পরিমাণ বল প্রয়োগ করে যদি তার বিকৃতি বা কায়িক পরিবর্তন ঘটানো না যায়, তবে ঐ বস্তুকে পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলে। কিন্তু প্রকৃতিতে কোনো বস্তুই পূর্ণ দৃঢ় নয়। কারণ বল প্রযুক্ত হলে তার কিছু না কিছু বিকৃতি ঘটবেই। তবে কোনো কোনো ব্যবহারিক কাজের জন্য কাচ, ইস্পাত প্রভৃতি বস্তুকে সাধারণত পূর্ণ দৃঢ় বস্তু হিসেবে গ্রহণ করা হয়।

(ঘ) **স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic limit) :** আমরা জানি বল প্রয়োগে প্রত্যেক বস্তুরই অল্পবিস্তর বিকৃতি ঘটে। বল অপসারণ করলে স্থিতিস্থাপকতার দরুন বস্তু পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসে, প্রযুক্ত বলের পরিমাণ বেশি হলে বিকৃতিও বেশি হয়। তবে প্রত্যেক বস্তুই বলের একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে। অতএব, **প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের যে সর্বোচ্চ বা ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কোনো বস্তু পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে তাকে ঐ বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমা বলে।** বিভিন্ন বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমা বিভিন্ন। ইস্পাত ও হীরার স্থিতিস্থাপক সীমা খুব বেশি আবার দস্তার স্থিতিস্থাপক সীমা খুব কম।

(ঙ) **অসহ ভার এবং অসহ পীড়ন (Breaking weight and breaking stress) :** স্থিতিস্থাপক সীমা পর্যন্ত কোনো একটি বস্তু পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে। প্রযুক্ত বল ঐ সীমা অতিক্রম করলে বস্তু পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকবে না। বল অপসারিত হলে কিছু বিকৃতি থেকে যাবে। যদি প্রযুক্ত বলের মান ক্রমশ বৃদ্ধি করা যায় তবে বস্তুটির এমন এক অবস্থা আসবে যখন ভার সহ্য করতে না পেরে ভেঙ্গে বা ছিঁড়ে যাবে। অতএব **ন্যূনতম যে নির্দিষ্ট ভারের ক্রিয়ায় কোনো বস্তু ভেঙ্গে বা ছিঁড়ে যায় তাকে অসহ ভার বা অসহ ওজন বলে।** একে **ভঙ্গক-ভারও** বলা হয়।

আর **কোনো একটি বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত অসহ ভারকে অসহ পীড়ন বলে।**

$$\text{অসহ পীড়ন} = \frac{\text{অসহ ভার}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$$

(চ) **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি (Elastic fatigue) :** পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো বস্তু বা তারের উপর ক্রমাগত পীড়নের হ্রাস-বৃদ্ধি করলে সাথে সাথে পীড়নের বিকৃতি হয় না; বিকৃতি ধীর গতিতে সংঘটিত হয় এবং বস্তুর স্থিতিস্থাপক ধর্মের অবনতি ঘটে। এই অবস্থায় বস্তু যেন খানিকটা ক্লান্তিতে ভোগে। এমতাবস্থায় অসহ ভার অপেক্ষা কম ভারে তারটি ছিঁড়ে যেতে পারে। বিখ্যাত বিজ্ঞানী **কেলভিন** (Kelvin) পদার্থের এই ধর্মকে **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি** আখ্যা দিয়েছেন।

(ছ) **বিকৃতি (Strain) :** আমরা জানি, কোনো একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে বস্তুর দৈহিক বা কায়িক পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তনকে বিজ্ঞানের ভাষায় বিকৃতি বলে। এই বিকৃতি দৈর্ঘ্যে হতে পারে, আকারে হতে পারে বা আয়তনেও হতে পারে। **কোনো একটি বস্তুর একক মাত্রায় যে পরিবর্তন ঘটে তা দ্বারা বিকৃতি পরিমাপ করা যায়।**

মনে করি, কোনো একটি বস্তুর আদি মাত্রা = x

বল প্রযুক্ত হবার পর মাত্রা = y

$\therefore$ মাত্রার পরিবর্তন = $x \sim y$

$\therefore$ একক মাত্রায় পরিবর্তন অর্থাৎ **বিকৃতি** = $\frac{x \sim y}{x}$

বিকৃতির প্রকারভেদ : বিকৃতি মূলত তিন প্রকার, যথা—

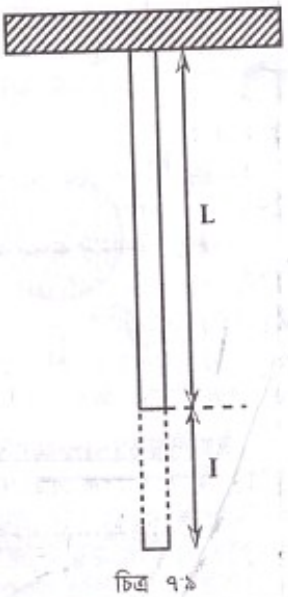
(১) দৈর্ঘ্য বিকৃতি বা অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি (Longitudinal strain),

(২) কৃন্তন বিকৃতি বা আকার বিকৃতি বা মোচড় বিকৃতি (Shearing strain) এবং

(৩) আয়তন বিকৃতি (Volume strain)

দৈর্ঘ্য বিকৃতি : বল প্রয়োগের ফলে যদি বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে, তবে তাকে দৈর্ঘ্য বিকৃতি বলে। একক দৈর্ঘ্যের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন দ্বারা বস্তুর দৈর্ঘ্য বিকৃতি পরিমাপ করা যায়।

মনে করি কোনো একটি বস্তুর আদি দৈর্ঘ্য = L; বল প্রয়োগে এর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন = l [চিত্র ৭·৯]

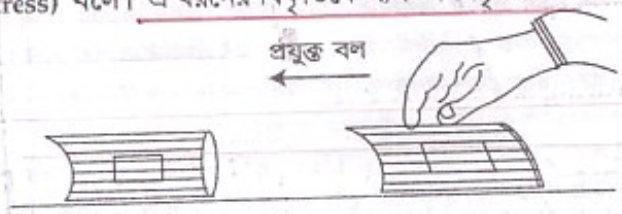


চিত্র ৭·৯

$\therefore$ দৈর্ঘ্য বিকৃতি = l/L ... ... (7.1)

কৃন্তন বা মোচড় বিকৃতি (Shearing strain) : যদি প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের ক্রিয়ায় বস্তুর আয়তন অপরিবর্তিত থেকে কেবলমাত্র এর আকৃতির পরিবর্তন হয় বা বস্তুটি মোচড় খায় তবে ঐ ধরনের বিকৃতিকে

কৃন্তন বা মোচড় বিকৃতি বলা হয়। ফলে বস্তুর অভ্যন্তরে যে পীড়ন সৃষ্টি হয় তাকে কৃন্তন পীড়ন (shearing stress) বলে। এ ধরনের বিকৃতিকে ব্যবর্তন বিকৃতিও বলে।

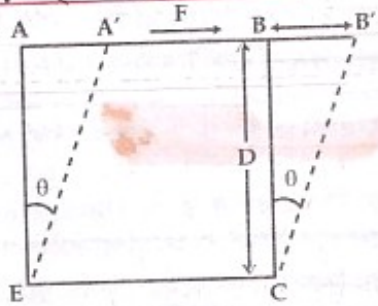


চিত্র ৭·১০

উদাহরণ : একটি মোটা বইকে টেবিলের উপরে চেপে ধরে উপরের মলাটের স্পর্শক বরাবর হাত দিয়ে অনুভূমিকভাবে ঠেললে দেখা যাবে যে বইটির আকৃতি পরিবর্তিত হয়েছে [চিত্র ৭·১০]। প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় বইটির প্রত্যেক পাতা ঠিক নিচের পাতার সাপেক্ষে অল্প পরিমাণে সরে যায়। এটাই কৃন্তন বিকৃতি। চিত্রে বইটির পার্শ্বতলে একটি আয়তক্ষেত্র আঁকলে এই বিকৃতির ফলে তা একটি সামান্তরিকে পরিণত হবে [চিত্রের ভিতরের অংশে দেখানো হয়েছে]।

আকার পরিবর্তনে সৃষ্ট কৌণিক বিকৃতি দ্বারা কৃন্তন বা মোচড় বিকৃতি পরিমাপ করা যায়।

ব্যাখ্যা : মনে করি ABCE একটি বর্গক্ষেত্র [চিত্র ৭·১১]। এর CE বাহু স্থির রেখে AB বাহুর উপর F পরিমাণ স্পর্শনী বল প্রয়োগ করায় A বিন্দু A′ এবং B বিন্দু B′-এ স্থানান্তরিত হলো এবং বস্তু A′B′CE আকার ধারণ করল। কিন্তু A′B′CE একটি **রম্বস**। তা হলে দেখা যায় যে, বল প্রযুক্ত হওয়ায় বস্তুর আকারের পরিবর্তন ঘটেছে। এর নাম কৃন্তন বিকৃতি।



চিত্র ৭·১১

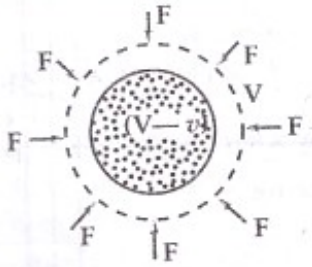
এই কৃন্তন বিকৃতি বস্তুর কৌণিক বিচ্যুতি দ্বারা পরিমাপ করা হয়। মনে করি কৌণিক বিচ্যুতি = θ এবং θ খুবই ছোট।

$$\therefore \text{কৃন্তন বিকৃতি} = \theta = \frac{d}{D} \qquad \left[\because \theta = \tan\theta = \frac{d}{D}\right]$$

এখানে, $AA' = BB' = d$ এবং $BC = AE = D$

কাজেই, $$\text{কৃন্তন বিকৃতি} = \frac{\text{আপেক্ষিক সরণ}}{\text{ব্যবধান দূরত্ব}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.2)$$

আয়তন বিকৃতি : বল প্রয়োগের ফলে যদি বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তবে তাকে আয়তন বিকৃতি বলে এবং একক আয়তনের আয়তন পরিবর্তন দ্বারা আয়তন বিকৃতি পরিমাপ করা হয়।



চিত্র ৭·১২

মনে করি কোনো একটি বস্তুর আদি আয়তন = V [চিত্র ৭·১২] এবং বল প্রয়োগের ফলে আয়তনের পরিবর্তন = v

$$\therefore \text{আয়তন বিকৃতি} = \frac{\text{আয়তনের পরিবর্তন}}{\text{আদি আয়তন}} = \frac{v}{V} \quad \ldots (7.3)$$

বিকৃতির একক এবং মাত্রা সমীকরণ (Unit and dimension of strain) : বিকৃতি একই জাতীয় দুটি রাশির অনুপাত। সুতরাং এর একক এবং মাত্রা সমীকরণ নেই।

(জ) **পীড়ন (Stress) :** বাহ্যিক বল প্রয়োগে কোনো একটি বস্তুকে বিকৃত করলে নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে স্থিতিস্থাপকতার দরুন বস্তুর মধ্যে একটি প্রতিক্রিয়ামূলক বলের সৃষ্টি হয়। এই ক্রিয়ামূলক ও প্রতিক্রিয়ামূলক বলের মান সমান ও বিপরীতমুখী। অতএব, **কোনো একটি বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর ক্রিয়ামূলক বা প্রতিক্রিয়ামূলক বলের মানকে পীড়ন বলে।** আরও সহজভাবে বলা যায় যে, **কোনো একটি বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলকে পীড়ন বলে।**

মনে করি কোনো একটি বস্তুর ক্ষেত্রফল = A এবং প্রযুক্ত বল = F

$$\therefore \text{পীড়ন} = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{F}{A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.4)$$

• পীড়ন ও স্থিতিস্থাপক গুণাংকের, একক ও মাত্রা সমীকরণ একই।

1. F.P.S পদ্ধতিতে উভয়ের একক পাউন্ডাল/ বর্গ ফুট
2. C.G.S পদ্ধতিতে উভয়ের একক ডাইন / বর্গ সে.মি.
3. C.K.S পদ্ধতিতে উভয়ের একক নিউটন / বর্গ মিটার

এবং উভয়ের মাত্রা সমীকরণ = $[ML^{-1}T^{-2}]$

পদার্থে

পীড়নের প্রকারভেদ (Kinds of stress) : পীড়ন তিন প্রকার;

(১) দৈর্ঘ্য পীড়ন (Longitudinal stress);

(২) আকার বা কৃন্তন বা মোচড় পীড়ন (Shearing stress) এবং

(৩) আয়তন পীড়ন (Volume stress)।

দৈর্ঘ্য পীড়ন : দৈর্ঘ্য বিকৃতি ঘটাবার জন্য প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর দৈর্ঘ্য বরাবর প্রযুক্ত বলকে দৈর্ঘ্য পীড়ন বলে। মনে করি কোনো একটি তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A। যদি তার দৈর্ঘ্য বরাবর F পরিমাণ বল প্রয়োগ করা হয়, তবে দৈর্ঘ্য পীড়ন $= \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{F}{A}$

আকার বা কৃন্তন বা মোচড় পীড়ন : আকার বিকৃতি ঘটাবার জন্য যে পীড়ন প্রয়োগ করতে হয় তাকে আকার বা কৃন্তন বা মোচড় পীড়ন বলে। যদি কোনো একটি বস্তুর A ক্ষেত্রফলের উপর Fপরিমাণ স্পর্শক বল প্রয়োগ করে আকার বিকৃতি ঘটানো হয় তবে, কৃন্তন পীড়ন $= \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = F/A$

আয়তন পীড়ন : আয়তন বিকৃতি ঘটাবার জন্য যে পীড়ন প্রয়োগ করতে হয় তাকে আয়তন পীড়ন বলে। মনে করি কোনো একটি বস্তুর চারদিক হতে F পরিমাণ বল অভিলম্বভাবে প্রয়োগ করে আয়তন বিকৃতি ঘটানো হয়েছে। যদি তার তলের ক্ষেত্রফল A হয়, তবে আয়তন পীড়ন $= \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = F/A$

পীড়নের একক (Unit of stress) : এম. কে. এস. পদ্ধতিতে ও এস. আই. পদ্ধতিতে পীড়নের পরম বা নিরপেক্ষ একক নিউটন/বর্গমিটার সংক্ষেপে Nm^{-2}।

পীড়নের মাত্রা সমীকরণ (Dimension of stress)

$$\text{পীড়ন} = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{ভর} \times \text{ত্বরণ}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} = \left[\frac{MLT^{-2}}{L^{-2}}\right] = [ML^{-1}T^{-2}]$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি তারের দৈর্ঘ্য 3m, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 2 mm^2 এবং অসহ পীড়ন $2{\cdot}45 \times 10^8$ Nm^{-2}। তারটির অসহ ওজন ও অসহ ভর নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

অসহ ওজন = অসহ পীড়ন × প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল

$= 2{\cdot}45 \times 10^8 \times 2 \times 10^{-6}$

$= 4{\cdot}90 \times 10^2$ N

$\therefore$ অসহ ভর $= \frac{\text{অসহ ওজন}}{\text{অভিকর্ষীয় ত্বরণ}}$

$= \frac{4{\cdot}90 \times 10^2}{9{\cdot}8} = 50$ kg

এখানে,

দৈর্ঘ্য, $L = 3$ m

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = 2\ mm^2$

$= 2 \times 10^{-6}\ m^2$

অসহ পীড়ন $= 2{\cdot}45 \times 10^8\ Nm^{-2}$

অসহ ওজন = ?

অসহ ভর = ?

৭·৫ হুকের সূত্র
Hooke's Law

বিখ্যাত বিজ্ঞানী রবার্ট হুক পীড়ন ও বিকৃতির মধ্যে একটি নিবিড় সম্পর্ক লক্ষ করেন। এই সম্পর্ককে তিনি 1678 খ্রিস্টাব্দে একটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন। এর নাম হুকের সূত্র। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো :

"স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর উপর প্রযুক্ত পীড়ন তার বিকৃতির সমানুপাতিক।" গাণিতিকভাবে লেখা যায়, পীড়ন $\propto$ বিকৃতি।

বা, পীড়ন = ধ্রুবক × বিকৃতি

বা, $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$ = ধ্রুবক (constant)

এই ধ্রুবককে **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক** বা **স্থিতিস্থাপক মানাঙ্ক** (Co-efficient of elasticity) বলে। একে **স্থিতিস্থাপক ধ্রুবকও** (Elastic constant) বলা হয়।

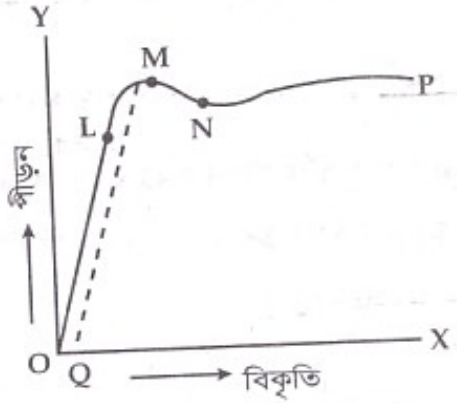
ব্যাখ্যা : কোনো বস্তুর উপর যখন বল প্রয়োগ করা হয় তখন তার বিকৃতি ঘটে। বল স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম না করলে হুকের সূত্রানুসারে কোনো বস্তুর বিকৃতি যত বেশি হবে, পীড়নও তত বেশি হবে। অর্থাৎ বিকৃতি প্রতিরোধকারী বলের মানও তত বেশি হবে। পীড়নের সংজ্ঞা থেকে আমরা জানি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলই হলো পীড়ন। তাই, একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বল যত বেশি হবে বস্তুটিও তত বেশি বিকৃত হবে। অর্থাৎ তার দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকার তত বেশি পরিবর্তিত হবে। একক ক্ষেত্রফলের উপর যতগুণ বল প্রযুক্ত হবে বিকৃতিও ততগুণ হবে।

৭·৬ পীড়ন-বিকৃতির সম্পর্ক
Relation Between Stress-Strain

কোনো একটি বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর ক্রিয়ামূলক বা প্রতিক্রিয়ামূলক বলের মানকে পীড়ন বলে। অর্থাৎ বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বল দ্বারা পীড়ন পরিমাপ করা হয়। অপরদিকে কোনো একটি বস্তুর একক মাত্রার যে পরিবর্তন ঘটে তা দ্বারা বিকৃতি পরিমাপ করা যায়। এই বিকৃতি দৈর্ঘ্য, আকার, আয়তন যে কোনোটিরই হতে পারে। পীড়ন বিকৃতির মধ্যে সম্পর্ক লেখচিত্র ও গাণিতিক পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়।

লেখচিত্রের সাহায্যে পীড়ন ও বিকৃতির সম্পর্ক
Graphical Representation for Stress-Strain Relationship

কোনো একটি তারের এক প্রান্ত কোথাও বেঁধে অপর প্রান্তে ক্রমবর্ধমান কয়েকটি ভার পর পর ঝুলাই এবং প্রত্যেক ভারের জন্য দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ বের করি। তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং আদি দৈর্ঘ্য হতে ভিন্ন ভিন্ন পীড়নের জন্য ভিন্ন ভিন্ন বিকৃতি বের করি এবং **পীড়ন ও বিকৃতির** একটি লেখচিত্র অঙ্কন করি। পীড়নের সাথে বিকৃতি কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা লেখচিত্র হতে পরিষ্কার বুঝতে পারা যায়। এই লেখচিত্রে পীড়নকে Y-অক্ষে এবং বিকৃতিকে X-অক্ষে স্থাপন করি [চিত্রে ৭·১৩]।



চিত্র ৭·১৩

O বিন্দুতে পীড়ন শূন্য, সুতরাং বিকৃতিও শূন্য। O বিন্দু হতে L বিন্দু পর্যন্ত লেখটি একটি সরলরেখা হওয়ায় ঐ বিন্দু পর্যন্ত পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পরের সমানুপাতিক অর্থাৎ পীড়ন যত বাড়বে বিকৃতিও ততই বাড়বে। পীড়নের LQ মান পর্যন্ত তারটি পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তুর ন্যায় আচরণ করবে অর্থাৎ পীড়ন তুলে নিলে তারটি পুনরায় পূর্বাবস্থায় ফিরে আসবে। অতএব এই পীড়নের জন্য প্রযুক্ত বলই তারটির **স্থিতিস্থাপক সীমা**। পীড়ন LQ অপেক্ষা একটু বাড়ালে তারটি আর পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকবে না।

এখন পীড়ন আরও বাড়াতে থাকলে পীড়ন বৃদ্ধির হার অপেক্ষা বিকৃতি বৃদ্ধির হার বেশি হবে অর্থাৎ বিকৃতি দ্রুত তালে সংঘটিত হবে। এমতাবস্থায় পীড়ন তুলে নিলেও তারটি আর পূর্বাবস্থায় ফিরে আসবে না এবং তারে একটি **স্থায়ী বিকৃতি** দেখা দিবে [চিত্রে OQ বস্তুর স্থায়ী বিকৃতি নির্দেশ করছে]। এই অবস্থা M বিন্দু পর্যন্ত চলতে থাকবে। এই M বিন্দুকে **নতি বিন্দু** (yield point) বলে। এর পর পীড়ন আর না বাড়ালেও তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি চলতে থাকবে এবং এই ঘটনা N বিন্দু পর্যন্ত চলবে। N বিন্দুর পর পীড়ন আরও বাড়াতে থাকলে তারের বিভিন্ন স্থান সরু হতে থাকবে এবং পরিশেষে কোনো এক স্থান হতে ছিঁড়ে যাবে। যে বিন্দুতে তারটি ছিঁড়ে যাবে তাকে **সহন সীমা** (breaking point) বলে। লেখচিত্রে P হচ্ছে সেই সহন সীমা। P বিন্দুতে পীড়নের মানকে **অসহ পীড়ন** (breaking stress) বলে।

সুতরাং, অসহ পীড়নের সংজ্ঞা লেখা যায়— **প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলে ন্যূনতম যে বলের ক্রিয়ায় তারটি ছিঁড়ে যায়, তাকে ঐ তারের অসহ পীড়ন বলে।** অসহ পীড়নকে তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল দিয়ে গুণ করে অসহ ভার (breaking weight) বা অসহ বল পাওয়া যায়। উল্লেখ্য পীড়ন স্থিতিস্থাপক সীমা অপেক্ষা কম হলেও তা যদি বস্তুর উপর দীর্ঘক্ষণ যাবত ক্রিয়াশীল থাকে তবে সেক্ষেত্রে বস্তুর বিকৃতি স্থায়ী হবে।

কাজ : একই আকৃতির রাবার ও ইস্পাতে বল প্রয়োগ করে বিকৃতি ঘটাও। কী দেখবে ? ইস্পাতকে বিকৃতি ঘটাতে অনেক বেশি বলের প্রয়োজন হচ্ছে। এখানে ইস্পাত রাবারের চেয়ে বেশি স্থিতিস্থাপক কেন ? ব্যাখ্যা কর।

নিজে কর : ইস্পাত রাবারের চেয়ে বেশি স্থিতিস্থাপক কেন ?

মনে করি একই দৈর্ঘ্য L এবং একই প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ইস্পাত ও একটি রাবারের তারের এক প্রান্ত কোনো দৃঢ় কাঠামোয় আটকিয়ে অপর প্রান্তে একটি টানা বল F প্রয়োগ করা হলো। এতে এদের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি যথাক্রমে L_s ও l_r হয়।

$$\therefore \quad \text{ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, } Y_s = \frac{FL}{Al_s} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.5)$$

$$\text{আবার } Y_r = \frac{FL}{Al_r} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.6)$$

$$\therefore \quad \frac{Y_s}{Y_r} = \frac{FL}{Al_s} \times \frac{Al_r}{FL} = \frac{l_r}{l_s} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7.7)$$

কিন্তু বাস্তবে $l_r > l_s$ অতএব $Y_s > Y_r$। অর্থাৎ ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক Y_s, রাবারের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক Y_r এর চেয়ে বেশি হবে। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বেশি হলে বিকৃতির বিরুদ্ধে প্রতিরোধ ক্ষমতা বেশি হবে। সুতরাং ইস্পাত রাবার অপেক্ষা বেশি স্থিতিস্থাপক।

অনুশীলনটি যাচাই কর : কোনো স্থিতিস্থাপকতার টান প্রয়োগ করে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে ওতে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয়। টান অপসারণ করলে পৃষ্ঠের দৈর্ঘ্য ফিরে পায় তখন ওতে এই শক্তির কী পরিবর্তন হয় ?

গাণিতিক উদাহরণ

১। 2×10^{-4} m² প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারে কত বল প্রয়োগ করলে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হবে ? [$Y = 2 \times 10^{11}$ Pa] [চ. বো. ২০০৪]

মনে করি, প্রযুক্ত বল = F

আমরা জানি,

$$Y = \frac{F}{A} \times \frac{L}{l}$$

বা, $F = YAl/L$

$$= 2 \times 10^{11} \text{Pa} \times 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{L}{L}$$

$$= 4 \times 10^7 \text{ Pa m}^2$$

$$= 4 \times 10^7 \text{ N} \quad [\because 1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2}]$$

এখানে,

$Y = 2 \times 10^{11}$ Pa

$A = 2 \times 10^{-4}$ m²

আদি দৈর্ঘ্য L হলে,

দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $l = 2L - L = L$

২। 1 mm² প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি ইস্পাত তারের দৈর্ঘ্য 5% বৃদ্ধি করলে কত বল প্রয়োগ করতে হবে? [ইস্পাতের $Y = 2 \times 10^{11}$ Nm^{-2}]

আমরা জানি,

$$Y = \frac{F}{A} \times \frac{L}{l}$$

বা, $F = \frac{YAl}{L}$

$$= \frac{2 \times 10^{11} \times 1 \times 10^{-6} \times 0.05\,L}{L}$$

$$= 1 \times 10^4 \text{ N}$$

ধরি,

আদি দৈর্ঘ্য = L

$\therefore$ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $l = \frac{5\,L}{100} = 0.05L$

ক্ষেত্রফল, $A = 1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

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

বল, F = ?

৩। একটি তারের উপাদানের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক $2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$। তারটির দৈর্ঘ্য 15% বৃদ্ধি করতে প্রযুক্ত পীড়ন নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$Y = \frac{\text{দৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{F/A}{l/L}$$

$\therefore$ দৈর্ঘ্য পীড়ন, $\frac{F}{A} = Y \times$ দৈর্ঘ্য বিকৃতি

$$= Y \times l/L$$

$$\therefore \frac{F}{A} = 2 \times 10^{11} \times \frac{15}{100}$$

$$= 3 \times 10^{10}\ Nm^{-2}$$

এখানে,

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

$\frac{l}{L} = 15\% = \frac{15}{100}$

পীড়ন $= F/A = ?$

৪। 1 বর্গ সেমি প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি তারে কত বল প্রয়োগ করা হলে এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি আদি দৈর্ঘ্যের সমান হবে ? ($Y = 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$)

আমরা জানি,

$$Y = \frac{FL}{Al}$$

বা, $F = \frac{YAl}{L} = \frac{2 \times 10^{11} \times 10^{-4} \times L}{L}$

$$= 2 \times 10^{7}\ N$$

এখানে,

ইয়ং এর গুণাঙ্ক, $Y = 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$

ধরি আদি দৈর্ঘ্য, $L = L$

$\therefore$ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $l = L$

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = 10^{-4}\ m^2$

বল, $F = ?$

৭·৭ স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক
Moduli of Elasticity

হুকের সূত্র থেকে আমরা পাই স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলে।

সংজ্ঞা : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোনো বস্তুর পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে বস্তুর উপাদানের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলে।

$$\therefore \text{স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, } E = \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$$

পীড়ন ও বিকৃতি স্কেলার রাশি। কাজেই স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কও স্কেলার রাশি।

মাত্রা : স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, $[E] = ML^{-1}T^{-2}$

একক : স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের একক Nm^{-2} বা Pa.

পীড়ন ও বিকৃতির আলোচনা থেকে আমরা দেখতে পাই যে, পীড়ন ও বিকৃতির বিভিন্নতার জন্য স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক তিন প্রকার হয়। যথা— (১) ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (২) দৃঢ়তার গুণাঙ্ক (৩) আয়তনের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক।

ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক
Young's modulus

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। এই ধ্রুব রাশিকে বস্তুর উপাদানের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক বলে। ইয়ং-এর গুণাঙ্ককে Y দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\text{ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, } Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

ব্যাখ্যা : L আদি দৈর্ঘ্যের ও r ব্যাসার্ধের একটি তারকে কোনো দৃঢ় অবলম্বন থেকে এক প্রান্ত ঝুলিয়ে অপর প্রান্তে m ভর অর্থাৎ $F = mg$ বল প্রয়োগ করলে তারটির দৈর্ঘ্য যদি l পরিমাণ বৃদ্ধি পায় তাহলে,

তারটির অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= \frac{F}{A}$ এবং অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= \frac{l}{L}$

অতএব, ইয়ং-এর গুণাঙ্ক, $Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{F/A}{l/L}$

$$\therefore Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.8)$$

(A = তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$)

যদি $Y = \frac{FL}{Al}$ সমীকরণে, $A = l$ একক এবং $l = L$ হয়, তবে $Y = F$ হবে।

সুতরাং, একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো তারের দৈর্ঘ্য বরাবর স্থিতিসথাপক সীমার মধ্যে যে বল প্রয়োগ করলে তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি আদি দৈর্ঘ্যের সমান হয় তাকে ইয়ং-এর গুণাঙ্ক বলে।

ইস্পাতের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$ বলতে বুঝায় যে, $1\ m^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো ইস্পাতের তারের স্থিতিস্থাপক সীমার দৈর্ঘ্য বরাবর 2×10^{11} N বল প্রয়োগ করা হলে তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি আদি দৈর্ঘ্যের সমান হয়।

ইয়ং এর গুণাঙ্ক Y এর মাত্রা : [স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক] $= \left[\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}\right]$

$$[Y] = [ML^{-1}T^{-2}]$$

Y এর একক : নিউটন/বর্গমিটার (Nm^{-2})।

কাজটি অনুসন্ধান কর : ইস্পাতের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক আছে; কিন্তু পানির ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নাই কেন ?

কৃন্তন বা দৃঢ়তা বা কাঠিন্যের গুণাঙ্ক
Rigidity modulus

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর কৃন্তন পীড়ন ও কৃন্তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এ ধ্রুব সংখ্যাকে দৃঢ়তার বা কাঠিন্যের বা কৃন্তন গুণাঙ্ক বলে। একে n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কাঠিন্যের গুণাঙ্ক, $n = \frac{\text{কৃন্তন পীড়ন}}{\text{কৃন্তন বিকৃতি}}$

ব্যাখ্যা : কোনো বস্তুর উপরিতলে স্পর্শী বল F প্রয়োগ করলে যদি কৃন্তন বিকৃতি θ হয় এবং পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল A হয়, তাহলে,

$$n = \frac{F/A}{\theta} \quad \text{বা,} \quad n = \frac{F}{A\theta} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.9)$$

কাঠিন্যের গুণাঙ্কের একক ও মাত্রা ইয়ং-এর গুণাঙ্কের একক ও মাত্রার অনুরূপ।

লোহার কাঠিন্যের গুণাঙ্ক $7{\cdot}7 \times 10^{10}\ Nm^{-2}$ বলতে আমরা বুঝি যে, একটি লোহার ঘনকের আকৃতি পরিবর্তন করে এক রেডিয়ান ব্যবর্তন কোণ উৎপন্ন করতে এর উপরিতলের প্রতি বর্গমিটার ক্ষেত্রফলের উপর $7{\cdot}7 \times 10^{10}$ N বল প্রয়োগ করতে হবে।

যাচাই কর : স্প্রিং সাধারণত ইস্পাতের তৈরি হয়, তামার হয় না কেন ?

আয়তন গুণাঙ্ক
Bulk modulus

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর আয়তন পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এ ধ্রুব সংখ্যাকে বস্তুর উপাদানের আয়তন গুণাঙ্ক বলে। একে K দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\text{অতএব, আয়তন গুণাঙ্ক, } K = \frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$$

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, V আয়তনের কোনো বস্তুর উপর লম্বভাবে চারদিক থেকে F বল প্রয়োগ করা হলো। ফলে বস্তুর আয়তন v হ্রাস পায়। তাহলে আয়তন বিকৃতি $= v/V$। যদি বস্তুটির পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল A হয় তাহলে আয়তন পীড়ন $= F/A$.

$$\text{আয়তন গুণাঙ্ক, } K = \frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}} = \frac{F/A}{v/V} = \frac{FV}{Av} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.10)$$

আয়তন গুণাঙ্কের একক ও মাত্রা ইয়ং-এর গুণাঙ্কের একক ও মাত্রার অনুরূপ। পানির আয়তন গুণাঙ্ক $= 0{\cdot}2 \times 10^{10}\ \text{Nm}^{-2}$ বলতে বুঝায় যে, পানির আদি আয়তনের সমান আয়তন হ্রাসের জন্য এর প্রতি বর্গমিটার ক্ষেত্রফলের উপর লম্বভাবে চারদিক থেকে $0{\cdot}2 \times 10^{10}$ N বল প্রয়োগ করতে হবে।

সংনম্যতা (Compressibility) : কোনো বস্তুর চারদিক থেকে সমান চাপ প্রয়োগ করলে বস্তুটির আয়তন কমে যায়। বস্তুর এ ধর্মকে সংনম্যতা বলে।

পদার্থের অণুসমূহের মধ্যে ফাঁকা থাকে বলেই এরূপ ঘটে। কঠিন ও তরল পদার্থের তুলনায় গ্যাসের সংনম্যতা অনেক বেশি।

গাণিতিক সংজ্ঞা : আয়তন গুণাঙ্কের বিপরীত রাশিকে সংনম্যতা বলে।

[দ্রষ্টব্য : আয়তন গুণাঙ্ককে কখনও কখনও অসংনম্যতা (Incompressibility) বলা হয়। কঠিন পদার্থের Y; K এবং n এই তিন প্রকার গুণাঙ্কের সবগুলোই আছে। তরল ও বায়বীয় পদার্থের শুধু আয়তন গুণাঙ্ক K আছে।]

৭·১ সারণিতে বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক দেখান হলো।

সারণি ৭·১

পদার্থ	Y (Nm^{-2})	n (Nm^{-2})	K (Nm^{-2})
তামা	$12{\cdot}6 \times 10^{10}$	4×10^{10}	14×10^{10}
লোহা (ঢালাই)	11×10^{10}	$4{\cdot}4 \times 10^{10}$	9×10^{10}
ইস্পাত	20×10^{10}	$8{\cdot}4 \times 10^{10}$	18×10^{10}
অ্যালুমিনিয়াম	7×10^{10}	$2{\cdot}6 \times 10^{10}$	$7{\cdot}5 \times 10^{10}$
পানি	—	—	$0{\cdot}2 \times 10^{10}$
পারদ	—	—	$2{\cdot}6 \times 10^{10}$

গাণিতিক উদাহরণ

১। $0{\cdot}1$ m বাহুবিশিষ্ট অ্যালুমিনিয়ামের তৈরি একটি ঘনকের কোন তলে $89{\cdot}67 \times 10^5$ N আকার পীড়ন সৃষ্টিকারী স্পর্শক বল প্রয়োগ করলে বিপরীত স্থির তলের সাপেক্ষে তলটির $3{\cdot}05 \times 10^{-3}$ m সরণ ঘটে। আকার পীড়ন, আকার বিকৃতি ও দৃঢ়তার স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

প্রশ্নানুসারে, আকার পীড়ন $= \dfrac{F}{A} = \dfrac{89{\cdot}67 \times 10^5\ \text{N}}{0{\cdot}1\ \text{m} \times 0{\cdot}1\ \text{m}} = 89{\cdot}67 \times 10^7\ \text{Nm}^{-2}$

আকার বিকৃতি $= \dfrac{x}{y} = \dfrac{3{\cdot}05 \times 10^{-3}\ \text{m}}{0{\cdot}1\ \text{m}} = 3{\cdot}05 \times 10^{-2}$

এবং দৃঢ়তার স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, $\eta = \dfrac{\text{আকার পীড়ন}}{\text{আকার বিকৃতি}}$

$= \dfrac{89{\cdot}67 \times 10^7\ \text{Nm}^{-2}}{3{\cdot}05 \times 10^{-2}} = 2{\cdot}94 \times 10^{10}\ \text{Nm}^{-2}$

২। স্থির তাপমাত্রায় 20 বায়ুমণ্ডলীয় চাপের পরিবর্তনে একটি বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন 0·01% হলো। এর আয়তনের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ = $1{\cdot}013 \times 10^5\ \mathrm{Nm^{-2}}$]।

ধরি নির্ণেয় গুণাঙ্ক = K

আমরা পাই, $K = \frac{F}{A} \times \frac{V}{v}$ ... ... (1)

সমীকরণ (1)-এ মানগুলো বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$K = \frac{20 \times 1{\cdot}013 \times 10^5\ \mathrm{Nm^{-2}}}{\frac{1}{10000}} = 2{\cdot}026 \times 10^{10}\ \mathrm{Nm^{-2}}$$

এখানে, $F/A = 20$ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

$= 20 \times 1{\cdot}013 \times 10^5\ \mathrm{Nm^{-2}}$

$\frac{v}{V} = 0{\cdot}01\% = \frac{0{\cdot}01}{100} = \frac{1}{10000}$

৭·৮ পয়সনের অনুপাত

Poisson's Ratio

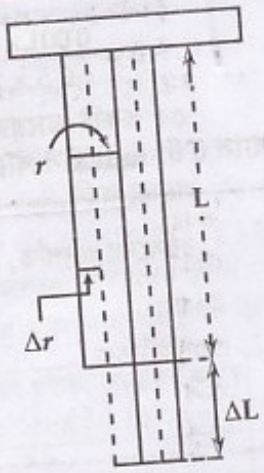
পূর্বে আলোচিত তিনটি স্থিতিস্থাপক ধ্রুবক ছাড়া আরও একটি বিশেষ ধরনের স্থিতিস্থাপক ধ্রুবক আছে। এটি আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী পয়সন। তাঁর নামানুসারে এই ধ্রুবকের নাম দেওয়া হয়েছে **পয়সন-এর অনুপাত।**

কোনো একটি তারের এক প্রান্ত দৃঢ় অবলম্বনের সাথে আটকিয়ে অন্য প্রান্তে বল প্রয়োগ করে টানলে **দৈর্ঘ্য বিকৃতির** সঙ্গে সঙ্গে **পার্শ্ব বিকৃতি** ঘটে অর্থাৎ তারের ব্যাস বা ব্যাসার্ধ কমে যায়। পয়সন-এর পরীক্ষা এবং প্রাপ্ত ফলাফল অনুসারে, **স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর পার্শ্ব বিকৃতি ও দৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি।**

অর্থাৎ, $\frac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$ = ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে 'σ' দ্বারা সূচিত করা হয়। এর নাম **পয়সন-এর অনুপাত।**

$$\therefore \sigma = \frac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

ব্যাখ্যা : মনে করি, একটি তারের আদি দৈর্ঘ্য 'L' এবং ব্যাসার্ধ 'r' [চিত্র ৭·১৪]। তারটির এক প্রান্ত দৃঢ় অবলম্বনের সাথে আটকিয়ে নিম্ন প্রান্তে বল প্রয়োগ করে টানলে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাবে এবং পার্শ্ব হ্রাস পাবে। মনে করি দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে L′ হলো এবং ব্যাসার্ধ হ্রাস পেয়ে r' হলো।



চিত্র ৭·১৪

অতএব, দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি = $L' - L = \Delta L$

এবং ব্যাসার্ধ হ্রাস = $r - r' = \Delta r$

সুতরাং, পার্শ্ব বিকৃতি = $\frac{\Delta r}{r}$ এবং দৈর্ঘ্য বিকৃতি = $\frac{\Delta L}{L}$

$$\therefore \text{পয়সন-এর অনুপাত, } \sigma = \frac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{\Delta r/r}{\Delta L/L} = \frac{L}{r}\frac{\Delta r}{\Delta L} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.11)$$

ΔL ধনাত্মক হলে Δr ঋণাত্মক হয়। আবার ΔL ঋণাত্মক হলে Δr ধনাত্মক হয়।

$$\therefore \sigma = -\frac{L}{r}\frac{\Delta r}{\Delta L} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.12)$$

পয়সন-এর অনুপাত কেবলমাত্র কঠিন পদার্থেরই বৈশিষ্ট্য।

σ-এর মান : কোনো পদার্থের পয়সন-এর অনুপাত -1 হতে $\frac{1}{2}$ এর মধ্যবর্তী, অর্থাৎ $-1 < \sigma < \frac{1}{2}$।

মাত্রা ও একক : পয়সনের অনুপাত দুটি বিকৃতির অনুপাত, তাই এর কোনো মাত্রা ও একক নেই।

তাৎপর্য : তামার পয়সনের অনুপাত 0·33 বলতে বুঝায় যে স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করলে পার্শ্ব বিকৃতি ও দৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত 0·33 হয়।

σ এর মান -1 অপেক্ষা কম এবং $\frac{1}{2}$ অপেক্ষা বেশি হতে পারে না। অর্থাৎ σ এর মান -1 হতে $\frac{1}{2}$ এর মধ্যে অবস্থিত। প্রকৃতপক্ষে দেখা যায় σ-এর মান 0·2 থেকে 0·4 এর মধ্যে থাকে।

Prob. 01: 2 m লম্বা ও 1 mm ব্যাস বিশিষ্ট একটি তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 0.05 cm হলে তারটির ব্যাস কতটুকু হ্রাস পাবে? (পয়সনের অনুপাত $\sigma = 0.25$)

[Ref: শাহজাহান তপন; এহসানুল কবির]

Solve: $\sigma = \dfrac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \dfrac{d/D}{l/L} = \dfrac{dL}{Dl} \quad \therefore d = \dfrac{\sigma Dl}{L}$

...রখে অপর প্রান্তে ভার ঝুলালে 2 mm ... 1 mm এবং তারের উপাদানের পয়সনের অনুপাত 0.24 হলে প্রসারিত অবস্থায় তারটির ব্যাসের পরিবর্তন নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\sigma = \dfrac{\Delta d/d}{\Delta l/L}$

$\therefore$ তারের ব্যাসের পরিবর্তন, $\Delta d = \dfrac{\sigma \times \Delta l \times d}{l}$

$= \dfrac{0.24 \times 0.2 \times 0.1}{150}$

$= 3.2 \times 10^{-5}$ cm

এখানে,
তারের দৈর্ঘ্য, $l = 150$ cm
দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $\Delta l = 2$ mm $= 0.2$ cm
তারের ব্যাস, $d = 1$ mm $= 0.1$ cm
$\Delta d = ?$

২। 1m দীর্ঘ কোনো তারের ব্যাস 5 mm। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বল প্রয়োগ করায় এর ব্যাস 0.01 mm হ্রাস পায় এবং দৈর্ঘ্য 2 cm বৃদ্ধি পায়। পয়সনের অনুপাত নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

পয়সনের অনুপাত, $\sigma = \dfrac{\text{ব্যাস বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$

$= \dfrac{\frac{d}{D}}{\frac{l}{L}} = \dfrac{d \times L}{D \times l}$

$\therefore \sigma = \dfrac{0.001 \times 100}{0.5 \times 2} = 0.1$

এখানে,
$L = 1\text{m} = 100$ cm
$l = 2$ cm
$D = 5$ mm $= 0.5$ cm
$d = 0.01$ mm $= 0.001$ cm
$\sigma = ?$

৩। একটি তারের দৈর্ঘ্য 2 m এবং ব্যাস 5 mm। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বল প্রয়োগ করায় এর ব্যাস 0.01 mm হ্রাস পায় এবং দৈর্ঘ্য 5% বৃদ্ধি পায়। পয়সনের অনুপাত কত হবে ?

আমরা জানি,

পয়সনের অনুপাত, $\sigma = \dfrac{dL}{Dl}$

$= \dfrac{1 \times 10^{-5} \times 2}{5 \times 10^{-3} \times 0.1}$

$= \dfrac{2 \times 10^{-5}}{0.5 \times 10^{-3}}$

$= 4 \times 10^{-2} = .04$

এখানে,
আদি দৈর্ঘ্য, $L = 2$ cm
ব্যাস, $D = 5\text{ mm} = 5 \times 10^{-3}$ m
হ্রাসকৃত ব্যাস, $d = 0.01\text{ mm} = 1 \times 10^{-5}$ m
দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $l = L \times 5\% = \dfrac{L \times 5}{100} = \dfrac{2}{20} = 0.1$ m
পয়সনের অনুপাত, $\sigma = ?$

৭.৯ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয়।
পিরিয়ড : ২	**Determination of Young's Modulus.**

মূলতত্ত্ব (Theory) : ইয়ং গুণাঙ্ক বলতে স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে দৈর্ঘ্য পীড়ন এবং দৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাতকে বুঝায়। একে Y দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

L দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং A প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তারের নিম্ন প্রান্তে m ভরবিশিষ্ট একটি বোঝা চাপিয়ে তাকে টেনে l পরিমাণ বর্ধিত করলে,

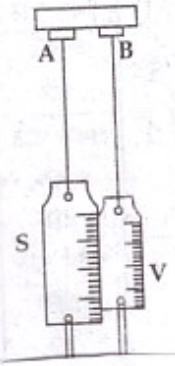
দৈর্ঘ্য পীড়ন $= \dfrac{F}{A} = \dfrac{mg}{A}$ এবং দৈর্ঘ্য বিকৃতি $= \dfrac{l}{L}$ এখানে g = অভিকর্ষজ ত্বরণ

$\therefore$ ইয়ং গুণাঙ্কের সূত্রানুসারে, $Y = \dfrac{\text{দৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \dfrac{F/A}{l/L}$ বা, $Y = \dfrac{mg/A}{l/L} = \dfrac{mgL}{Al}$

যদি প্রযুক্ত বল এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল C. G. S. পদ্ধতিতে প্রকাশ করা হয় তবে, $Y = \frac{mgL}{Al}$ ডাইন/বর্গ সেমি। আবার, তারটির ব্যাসার্ধ r হলে $A = \pi r^2$ $\therefore Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$ নিউটন/মিটার (Nm^{-2}) ... ... (i)

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : (১) ভার্নিয়ার যন্ত্র, (২) মিটার স্কেল, (৩) স্ক্রু গজ এবং (৪) প্রয়োজনীয় বাটখারা।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Procedure) :



(১) প্রথমত যন্ত্রের ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। এর পর পরীক্ষণীয় তারের ওজন ঝুলকে বা অঙ্কুশে একটি ভার চাপিয়ে একে টান টান করা হয়। প্রয়োজনবোধে সাহায্যকারী তারেও এ ব্যবস্থা নেয়া হয়। এ ভারকে প্রাথমিক ভার বা মৃত ভার (Dead load) বলে অভিহিত করা হয়। পরিশেষে ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে মূল স্কেলে একটি পাঠ নেয়া হয়।

(২) স্ক্রু-গজের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারের বিভিন্ন স্থানের ব্যাস বের করে গড় মান নির্ণয় করা হয়। গড় মানকে 2 দ্বারা ভাগ করে ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করা হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A = \pi r^2$ বের করা হয়।

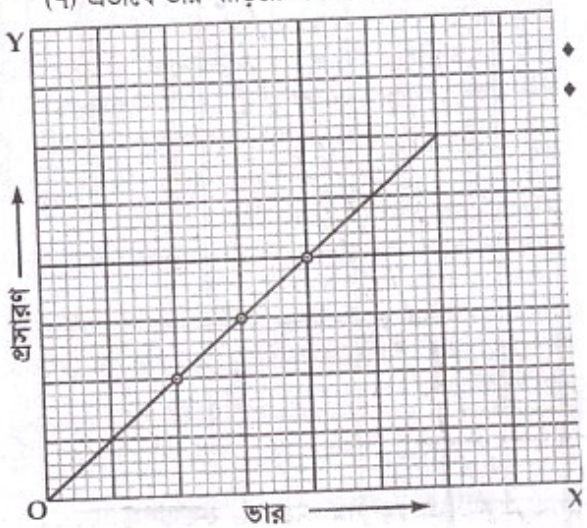
(৩) পরীক্ষণীয় তারের অসহ পীড়নকে (Breaking stress) তার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল দ্বারা গুণ করে অসহ ভার (Breaking weight) নির্ণয় করা হয়।

(৪) মিটার স্কেলের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারের ঝুল পর্যন্ত দূরত্ব পরিমাপ করা হয়। এটাই তারের আদি দৈর্ঘ্য L

(৫) এবার অর্ধ কিংবা এক কিলোগ্রাম করে ভার চ ভার্নিয়ার স্কেল হতে নেয়া হয়।

(৬) এভাবে ভার ক্রমাগত নির্দিষ্ট হারে বাড়িয়ে (লক্ষ হয়) মূল স্কেল এবং ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ হতে তারের প্রসা প্রদত্ত ভারের জন্য তারের প্রসারণ বের করা হয়।

(৭) এভাবে ভার বাড়িয়ে এবং পরে একই হারে ভার



চিত্র ৭·১৬

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন (Observation and M

স্ক্রু-গজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = ... মিমি = ...

ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক = ... মিমি = ... সেমি

◆ একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি = $\frac{1}{2} \times (F/A) \times (l/L)$

◆ স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয়ের পদ্ধতিঃ
A. ভার্নিয়ার পদ্ধতি, B. সার্লির পদ্ধতি।

◆ রাবার অপেক্ষা ইস্পাত অধিক স্থিতিস্থাপক।

□ স্থিতিস্থাপকতার শর্তঃ
A. আঘাত : আঘাতের ফলে স্থিতিস্থাপকতা বৃদ্ধি পায়।
B. খাদ : খাদের উপস্থিতি স্থিতিস্থাপকতা বৃদ্ধি করে।
C. তাপমাত্রা : তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা হ্রাস পায়।

◆ 50°C তাপমাত্রায় পানির আয়তন স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক সর্বাধিক।

◆ ইস্পাত, ইনভার ও কোয়ার্টজ এ তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে স্থিতিস্থাপকতা বৃদ্ধি পায়

পদার্থ	ইয়ং গুণাঙ্ক $10^{10}\ Nm^{-2}$	আয়তন গুণাঙ্ক $10^{10}\ Nm^{-2}$	দৃঢ়তার গুণাঙ্ক $10^{10}\ Nm^{-2}$
অ্যালুমিনিয়াম	7.0	7.7	2.6
পিতল (60%তামা)	10	11	3.5
তামা	13	14	4.8
কাঁচ	6.0	3.7	3.1
লোহা (পেটা)	20	17	8.0
লোহা (ঢালাই)	11.5	90	4.6
সীসা	1.6	4.6	0.56
নিকেল	20	16	7.9
ইস্পাত	20	17	8.4
পানি		0.21	
পারদ		2.8	
পেট্রোলিয়াম		0.14	
গ্লিসারিন		0.40	
ইথাইল অ্যালকোহল		011	

ছক নম্বর 1 (তারের ব্যাসার্ধের জন্য)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা		প্রধান স্কেল পাঠ = M মিমি	চক্রাকার স্কেল পাঠ = C	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = K মিমি	খণ্ড অংশ F = C × K মিমি	মোট = M + F মিমি	গড় ব্যাস = d মিমি	যান্ত্রিক ত্রুটি $\pm x$ মিমি	সংশোধিত ব্যাস = $d-(\pm x)$ মিমি	ব্যাসার্ধ $r=\frac{}{2}$ মিমি
1	প্রথম পাঠ									
	লম্বিক পাঠ									
2	প্রথম পাঠ									
	লম্বিক পাঠ									
3	প্রথম পাঠ									
	লম্বিক পাঠ									

∴ ব্যাসার্ধ, $r=\frac{d}{2}$ মিমি = ... সেমি

∴ $A=\pi r^2$ বর্গ সেমি

ছক নম্বর 2 (প্রসারণের এবং সঙ্কোচনের জন্য)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কিলোগ্রামে ভার	ভার বাড়ানোর সময় পাঠ						ভার কমানোর সময় পাঠ							
		প্রধান স্কেল পাঠ = M মিমি	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ = V	ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক K মিমি	খণ্ড অংশ F = V × K মিমি	মোট = M + F মিমি	প্রসারণ মিমি	প্রধান স্কেল পাঠ = M মিমি	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ = V মিমি	ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক K মিমি	খণ্ড অংশ F = V × K মিমি	মোট = M + F মিমি	সঙ্কোচন মিমি	প্রসারণ এবং সঙ্কোচনের গড় মিমি	
1															
2															
3															
4															
5															
6															

তারের আদি দৈর্ঘ্য, L = ... সেমি

লেখচিত্র হতে ... = ... কিলোগ্রাম

প্রসারণ, l = ... সেমি।

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

$Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$ = ... ডাইন/বর্গ সেমি = ... Nm^{-2}

∴ নির্ণেয় ইয়ং গুণাঙ্ক, Y = ... Nm^{-2}

ফলাফল (Result) : প্রদত্ত তারের নির্ণেয় ইয়ং গুণাঙ্ক, $Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}$

= ... ... Nm^{-2}

সতর্কতা (Precautions) : এই পরীক্ষায় নিম্নলিখিত সতর্কতা অবলম্বন করা প্রয়োজন।

(১) তার দুটিকে একটি দৃঢ় অবলম্বন হতে ঝুলান উচিত।

(২) তার দুটি একই পরীক্ষাধীন পদার্থের হওয়া উচিত।

(৩) ব্যাস নিরূপণের সময় পরীক্ষণীয় তারে পরস্পর লম্বিক পাঠ নেয়া প্রয়োজন।

(৪) পরীক্ষণীয় তার স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে থাকা উচিত।

(৫) অসহ পীড়ন ও অসহ ভার সর্বাগ্রে বের করা উচিত।

(৬) দ্রুত ভার কমানো ঠিক নয়, কিছু সময় অপেক্ষা করতে হবে।

আলোচনা (Discussions) :

(১) পরীক্ষাধীন তার আগাগোড়া সমান প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট না হলে ফলাফল ত্রুটিপূর্ণ হবে।

(২) তার দুটি একই পদার্থের না হলে ফলাফল সঠিক হবে না।

(৩) দৈর্ঘ্য প্রসারণ ও সঙ্কোচন সতর্কতার সাথে পরিমাপ করা না হলে ফলাফল নির্ভুল হবে না।

৭·১০ প্রবাহীর প্রবাহ
Flow of Fluids

আমরা জানি পদার্থ দুই প্রকার। একটি কঠিন (solid) অপরটি প্রবাহী (fluid)। প্রবাহী আবার দুই প্রকার; যথা— তরল (liquid) এবং গ্যাস (gas)। যেকোনো প্রবাহী এক স্থান হতে অন্য স্থানে গমন করে। মেঝের উপর পানি ফেলে দেখবে তা এক স্থানে স্থির থাকে না। মেঝের ওপর দিয়ে গড়িয়ে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যায়। আবার গ্যাস ভর্তি বেলুনের মুখ খুলে দিলে তা সাথে সাথে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। গ্যাস ছড়িয়ে পড়ল কিনা আমরা বুঝতে পারি না। তবে H_2S বা কটু গন্ধযুক্ত কোনো গ্যাস বেলুন থেকে ছেড়ে দিলে দেখব মুহূর্তের মধ্যে তা চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং আশপাশের স্থান দুর্গন্ধময় হয়ে পড়ে। এ থেকে আমরা সহজে বুঝতে পারি গ্যাস এক স্থান থেকে অন্য স্থানে ধাবিত হয়েছে। **প্রবাহীর এক স্থান থেকে অন্য স্থানে গমন করাকে প্রবাহীর প্রবাহ বলে।**

প্রবাহ যদি অসংনম্য (incompressible) হয় এবং এর মধ্যে কোনো অভ্যন্তরীণ বা সান্দ্রতা (viscosity) না থাকে তবে তাকে আদর্শ প্রবাহী বলে। কার্যত সকল তরলই অসংনম্য, কাজেই তরল পদার্থ প্রবাহীর মতো ক্রিয়া করে। গ্যাস একটি উচ্চ সংনম্য প্রবাহী। কারণ গ্যাসকে সহজে বন্ধ পাত্রে প্রবেশ করানো যায়। প্রবাহীর প্রবাহ অবিচল বা স্থিতিশীল বা অস্থিতিশীল হতে পারে। যেকোনো বিন্দুতে প্রবাহীর বেগ যদি সময়ের সাথে অপরিবর্তিত থাকে তবে প্রবাহীর এই গতিকে স্থিতিশীল বা অবিচল (steady) গতি বলে। যেমন আস্তে প্রবাহিত স্রোত। অপরপক্ষে প্রবাহীর বেগ সময়ের সাথে যদি অপেক্ষক হয় অর্থাৎ সময় থেকে সময়ে ও বিন্দু থেকে বিন্দুতে পরিবর্তিত হয় তাকে অস্থিতিশীল প্রবাহ বলে। যেমন সমুদ্রে সৃষ্ট পানির প্রবাহ। প্রবাহী সান্দ্র ও অসান্দ্র দুইই হতে পারে। প্রবাহীর সান্দ্রতা ধর্ম কঠিন বস্তুর গতিতে ঘর্ষণ ধর্মের মতো।

প্রবাহীর প্রবাহ বিভিন্ন প্রকার হতে পারে—

(ক) সম-প্রবাহ (Uniform motion) : যদি সর্বক্ষণ প্রবাহীর বেগ ধ্রুব থাকে, তবে তাকে সম-প্রবাহ বলে।

(খ) অসম প্রবাহ (Non-uniform motion) : যদি সর্বক্ষণ প্রবাহীর বেগ একই না থাকে, তবে তাকে অসম প্রবাহ বলে।

(গ) স্থির প্রবাহ (Steady motion) : যদি সর্বত্র প্রবাহীর বেগ সমান থাকে, তবে তাকে স্থির প্রবাহ বলে।

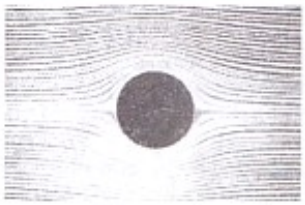
(ঘ) অস্থির প্রবাহ (Unsteady motion) : যদি সর্বত্র প্রবাহীর বেগ সমান না থাকে, তবে তাকে অস্থির প্রবাহ বলে।

(ঙ) ধারারেখ বা সমরেখ বা স্রোতরেখ প্রবাহ (Streamline motion) : যদি প্রবাহীর বিভিন্ন স্তর পরস্পরের সমান্তরালে চলে তবে তাকে ধারারেখ বা সমরেখ বা স্রোতরেখ প্রবাহ বলে।

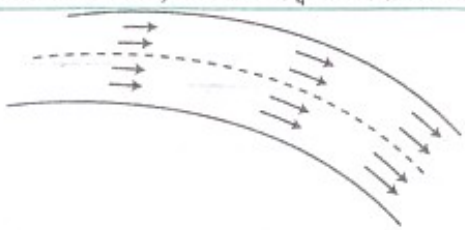
(চ) বিক্ষিপ্ত প্রবাহ (Turbulent motion) : যদি প্রবাহীর স্তর পরস্পরের সমান্তরালে না চলে, বরং গতিতে আবর্ত ও ঘূর্ণীর সৃষ্টি করে তবে তাকে বিক্ষিপ্ত প্রবাহ বলে।

ধারারেখ প্রবাহ বা স্রোতরেখ প্রবাহ
Streamline Motion

আমরা জানি, অবিচল প্রবাহে কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে বেগ সময়ের সাথে অপরিবর্তিত থাকে। প্রবাহী বস্তু যদি এমনভাবে প্রবাহিত হয় যে, গতিপথের যেকোনো বিন্দুতে সবসময় এর বেগ, চাপ ও ঘনত্ব অপরিবর্তিত থাকে তবে



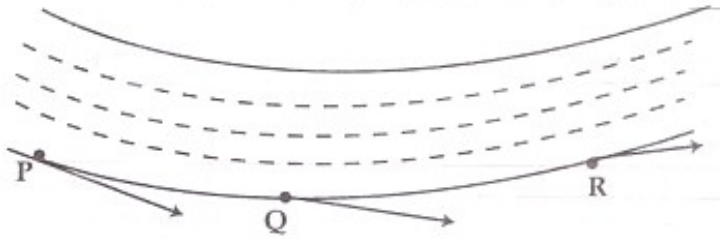
চিত্র ৭·১৭



চিত্র ৭·১৮

ঐ প্রবাহকে ধারারেখ বা স্থির প্রবাহ বলে। প্রবাহী বস্তুর স্থির প্রবাহের সময় এর প্রত্যেকটি কণার গতিপথ সামগ্রিক তরলের গতিপথের অভিমুখের সাথে মিশে যায়, অর্থাৎ কণাগুলির গতিপথ পরস্পরের সমান্তরাল হয়। ৭.১৭ চিত্রে একটি গ্যাস সিলিন্ডারের মধ্যে গ্যাসের ধারারেখ প্রবাহ দেখানো হলো এবং ৭·১৮ চিত্রে একটি পাইপ-এর মধ্য দিয়ে পানির ধারারেখ প্রবাহ দেখানো হলো।

অন্যভাবে বলা যায়, যে প্রবাহীর প্রতি বেগের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রবাহীর কণিকাগুলোর গতিবেগ সময়ের সাথে অপরিবর্তিত থাকে তাকে ধারারেখ প্রবাহ বলে। ধারারেখ প্রবাহে প্রবাহিত কোনো প্রবাহী এর অন্তর্গত যেকোনো একটি ক্ষুদ্র কণা যে পথ অনুসরণ করে চলে এবং যার যেকোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক প্রবাহীর বেগের দিক নির্দেশ করে তাই ধারারেখ প্রবাহ। সুষম প্রস্থচ্ছেদের একটি নল বিবেচনা কর। মনে কর এই



চিত্র ৭·১৯

নলের মধ্য দিয়ে সুষম বেগে পানি প্রবাহিত হচ্ছে। এক্ষেত্রে পানির স্রোত নলের অক্ষের সমান্তরাল হয়। এখন যদি বিভিন্ন বিন্দুতে কোনো একটি কণার বেগের মান বা দ্রুতি নির্ণয় কর তাহলে দেখবে প্রত্যেক বিন্দুতে এই মান সমান হবে অথবা অন্যভাবে আমরা ভাবতে পারি সকল কণা P, Q, R বিন্দুকে একই দ্রুতিতে অতিক্রম করে [চিত্র ৭·১৯]। তীর চিহ্ন দ্বারা ঐ বিন্দুতে বেগের দিক দেখানো হয়েছে। আমাদের শরীরে ধমনীতে রক্ত সঞ্চালন প্রবাহও একটি ধারারেখ প্রবাহ।

কোনো ধারারেখ প্রবাহে কোনো একটি ক্ষুদ্রতল নিয়ে তলের পরিসীমা বরাবর ধারারেখগুলো টানলে এরা অপরকে ছেদ করে না। ফলে স্রোতরেখার সকল স্থানে স্রোতরেখার বিন্যাস সময়ের সাথে স্থির থাকে। এ রকম প্রবাহ নলের বিন্যাস সময়ের সাথে স্থির থাকে। এ রকম প্রবাহ নলের সীমান্তরেখা ধারারেখ দিয়ে তৈরি এবং সকল প্রবাহ কণিকার বেগের সমান্তরাল হয় [চিত্র ৭·১৯]। সুতরাং, কোনো প্রবাহই প্রবাহ নলের সীমান্ত অতিক্রম করতে পারে না। ফলে এ প্রবাহ প্রবাহ নলের মধ্যে এক প্রান্ত দিয়ে প্রবেশ করবে অপর প্রান্ত দিয়ে তা বের হয়ে যাবে। **সর্বাধিক যে বেগ পর্যন্ত কোনো তরলের প্রবাহ ধারারেখ প্রবাহ বজায় রাখে সে বেগকে সংকট বেগ (critical velocity) বলে।**

ধারারেখ প্রবাহের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of Streamline motion

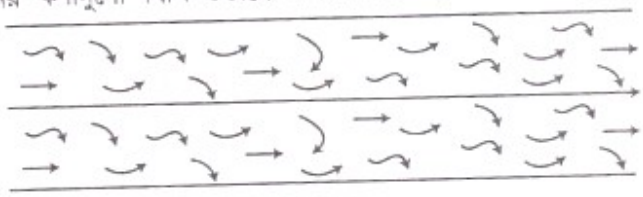
(i) ধারারেখ প্রবাহে কণার গতিপথ সরল বা বক্ররেখা হতে পারে। বক্ররেখার কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক প্রবাহী বস্তুর দিক নির্দেশ করে।

(ii) কণাগুলির গতিরেখা পরস্পর ছেদ করতে পারে না।

(iii) বেগ বেশি হলে গতিরেখাগুলি ঘন হয়ে যায়।

বিক্ষিপ্ত প্রবাহ
Turbulent Motion

নদীতে চলার সময় মাঝে মাঝে ঘূর্ণীচক্র দেখা যায়। আবার সমুদ্রের জলোচ্ছ্বাসও কেউ কেউ দেখে থাকতে পার। দেখা যায় যে, পানির কণাগুলো বিক্ষিপ্তভাবে উপরে-নিচে বা ডানে-বামে ছুটাছুটি করে। এক্ষেত্রে প্রবাহীর



চিত্র ৭·২০

স্তর পরস্পরের সমান্তরাল হয় না। অর্থাৎ **যদি প্রবাহীর স্তর পরস্পরের সমান্তরালে না চলে, বরং গতিতে আবর্ত ও ঘূর্ণীর সৃষ্টি হয়, তবে তাকে বিক্ষিপ্ত প্রবাহ বা বিশৃঙ্খল প্রবাহ বলে।** বিক্ষিপ্ত প্রবাহে চলমান প্রবাহীর কণাগুলি তার পূর্ববর্তী কণার বেগ ও গতিপথ অনুসরণ করে না [চিত্র ৭·২০]।

তরল কণাগুলি অনবরতই মিশ্রিত হয় এবং কোনোও এক স্থানে তরলের বেগ এর মান ও অভিমুখ দুইই দ্রুত এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হয়। এরূপ প্রবাহকে বিক্ষিপ্ত প্রবাহ বলে। বিক্ষিপ্ত প্রবাহ মূলত দ্রুত পরিবর্তনশীল এবং সেজন্য একে কোনো সময়ই ঠিক শান্ত বা অপরিবর্তিত বলা চলে না।

বিক্ষিপ্ত প্রবাহের বৈশিষ্ট্য :

(i) প্রবাহীর স্তরগুলি পরস্পর সমান্তরাল হয় না।

(ii) বিক্ষিপ্ত প্রবাহে চলমান প্রবাহীর কণাগুলির বেগ বিভিন্ন।

(iii) বেগ বেশি হলে গতিরেখাগুলি ঘূর্ণীপাকের মতো হয়।

(iv) বিক্ষিপ্ত প্রবাহ সর্বদা অশান্ত হয়।

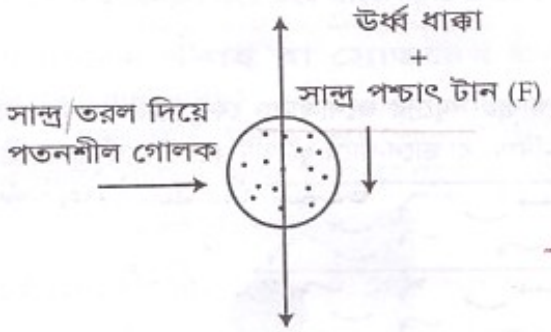
৭·১১ প্রান্তিক বেগ
Terminal Velocity

আমরা জানি পড়ন্ত বস্তু অভিকর্ষ বলের প্রভাবে নিচের দিকে পড়ে। সুতরাং যখন কোনো বস্তু তরল বা গ্যাসের মধ্য দিয়ে নিচে পড়তে থাকে, তখন তরল বা গ্যাসের যে স্তরগুলো বস্তুর সংস্পর্শে আসে, তাদেরকেও তা নিজের সাথে টেনে নিয়ে চলে। ফলে তরল বা গ্যাসের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ সৃষ্টি হয়। কিন্তু তরল বা গ্যাসের সান্দ্রতা ঐ আপেক্ষিক গতিকে মন্দীভূত করার চেষ্টা করে। পড়ন্ত বস্তুর আকার যদি ছোট হয় তাহলে পড়ার স্বল্প সময়ের মধ্যে অভিকর্ষ বল এবং সান্দ্রতাজনিত বিপরীতমুখী বলের মান সমান হবে। তখন আর বস্তুর কোনো ত্বরণ থাকবে না। কিন্তু গতি জড়তার দরুন বস্তু স্থির বেগে পড়তে থাকবে। এই বেগকে প্রান্তিক বেগ (Terminal velocity) বলে।

কোনো প্রবাহীর ভেতর দিয়ে পড়ার সময় কোনো বস্তু সংলগ্ন প্রবাহীকে সঙ্গে বয়ে নিয়ে যায় ও এর ফলে প্রবাহীর বিভিন্ন স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক গতি সৃষ্টি করতে চেষ্টা করে। এই আপেক্ষিক গতি সান্দ্র বল দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হয়। এই বিপরীত বল বস্তুটির গতিবেগের সঙ্গে বৃদ্ধি পায় ও বস্তুটি ছোট হলে শীঘ্রই গতি

সৃষ্টিকারী বলের সমান হয়। এই অবস্থায় বস্তুটি স্থির গতিবেগ নিয়ে নামতে থাকে। এই স্থির বেগকে প্রান্তিক বেগ বলে। অর্থাৎ কোনো তরলের মধ্য দিয়ে গতিশীল কোনো বস্তুর স্থির বেগকে প্রান্তিক বেগ বলে।

স্টোক্‌সের সূত্র থেকে দেখা যায় যে, কোনো বস্তুর ওপর বাধাদানকারী বল এর বেগের সমানুপাতিক। যদি $v = 0$ হয় তাহলে $F = 0$ হবে। আবার v বাড়লে F এর মানও বাড়বে। এ থেকে বলা যায় যে, কোনো সান্দ্র প্রবাহ দিয়ে যদি কোনো গোলক অভিকর্ষের প্রভাবে পতিত হয় তাহলে শুরুতে অভিকর্ষজ ত্বরণের জন্য এর বেগ বৃদ্ধি পেতে থাকে কিন্তু যুগপৎভাবে এর ওপর বাধাদানকারী বল F বৃদ্ধি পায় ফলে বস্তুটির নিট ত্বরণ কমতে থাকে [চিত্র ৭·২১]। এক পর্যায়ে বস্তুর নিট ত্বরণ শূন্য হয়। বস্তুটি তখন ধ্রুব বেগ নিয়ে পতিত হতে থাকে। তখন এই বেগকে প্রান্তিক বেগ বা অন্ত্য বেগ বলে।



চিত্র ৭·২১

সান্দ্র প্রবাহীর মধ্যে কোনো ধাতব গোলককে পতিত হতে দিলে তার উপর নিম্নমুখী বল তথা ওজন W, ঊর্ধ্বমুখী বল $U + F$ এর চেয়ে বড় হয়। এখানে U = ঊর্ধ্বমুখী বল তথা প্লবতা, F = ঊর্ধ্বমুখী বাধাদানকারী তথা সান্দ্র পশ্চাৎ টান, ফলে গোলকটি নিম্নমুখী ত্বরণ লাভ করে। তখন গোলকটি নিচের দিকে চলতে থাকে। এর উপর কোনো নিট বল কাজ করে না ফলে বেগ একটি ধ্রুব সর্বোচ্চ মান লাভ করে, ইহাই প্রান্তিক বেগ v।

প্রান্তিক বেগের নির্ভরশীলতা :

(ক) প্রান্তিক বেগ কোনো নির্দিষ্ট স্থানে তরলের সান্দ্রতাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক।
(খ) বস্তু ও তরলের ঘনত্বের সমানুপাতিক।
(গ) পড়ন্ত গোলকের ব্যাসার্ধের বর্গের সমানুপাতিক।
নিচের উদাহরণটি অনুধাবন করার চেষ্টা কর।

উপরের আলোচনা থেকে নিশ্চয় বুঝতে সক্ষম হবে যে, পতনশীল কোনো বস্তুর বেগ অভিকর্ষজ ত্বরণের জন্য বৃদ্ধি পেয়ে উচ্চ বেগ প্রাপ্ত হওয়ার কথা কিন্তু বাস্তবে তা হয় না কেন ?

কাজ : পতনশীল বৃষ্টির ফোঁটা পতনের সময় এর বেগও বৃদ্ধি পাওয়ার কথা, কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তা হয় না কেন?

বৃষ্টির ফোঁটা বায়ুমণ্ডলের ভেতর দিয়ে পতনের সময় অভিকর্ষের কারণে এর বেগ বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং সান্দ্রতার কারণে এর ওপর বায়ুমণ্ডলের বাধাদানকারী বলও বৃদ্ধি পায়। একসময় ফোঁটাটির নিট ত্বরণ শূন্য হয়। ফোঁটাটি তখন ধ্রুব বেগে পড়তে থাকে। এই বেগই অন্ত্যবেগ। সুতরাং অন্ত্যবেগ প্রাপ্তির কারণে অবাধে পতনশীল বৃষ্টির ফোঁটা উচ্চ বেগ প্রাপ্ত হয় না।

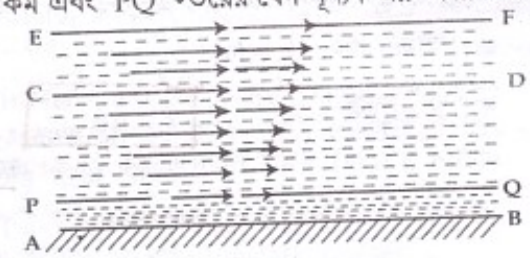
৭·১২ সান্দ্রতা ও সান্দ্রতা গুণাঙ্ক
Viscosity and Co-efficient of Viscosity

সান্দ্রতা (Viscosity)

সান্দ্রতা পদার্থের একটি বিশেষ ধর্ম। কেবল তরল ও বায়বীয় পদার্থেরই এই ধর্ম আছে। অতএব এটি তরল ও বায়বীয় পদার্থের সাধারণ ধর্ম। তবে এটি কী রকমের ধর্ম তাই আলোচ্য বিষয়।

কোনো একটি স্থির অনুভূমিক তলের উপর দিয়ে কোনো একটি প্রবাহী ধারারেখ প্রবাহে চলতে থাকলে প্রবাহীর যে স্তর স্থির তল হতে অধিক দূরে অবস্থিত এর বেগ বেশি, যে স্তর স্থির তলের সাথে সংলগ্ন এর বেগ শূন্য। মনে করি AB একটি স্থির তল। এর উপর দিয়ে একটি প্রবাহী ধারারেখ প্রবাহে চলছে। PQ, CD এবং EF

প্রবাহীর তিনটি স্তর [চিত্র ৭·২২]। PQ স্থির তল সংলগ্ন, CD একটু দূরে এবং EF অধিক দূরে অবস্থিত। তাদের মধ্যে EF স্তরের বেগ বেশি, CD স্তরের বেগ এটি অপেক্ষা কম এবং PQ স্তরের বেগ শূন্য। এর কারণ উপরের স্তর নিচের স্তরগুলোকে তাদের সাথে সমবেগে টেনে নিয়ে যাবার চেষ্টা করে। অর্থাৎ গতিশীল প্রবাহীর পাশাপাশি দুটি স্তরের মধ্যে এক ধরনের অভ্যন্তরীণ বল সৃষ্টি হয়। এই বল পাশাপাশি দুটি স্তরের মধ্যে বেশি বেগসম্পন্ন স্তরের বেগ কমিয়ে এবং কম বেগসম্পন্ন স্তরের বেগ বাড়িয়ে স্তর দুটির মধ্যে আপেক্ষিক বেগ কমাতে চেষ্টা করে। স্তর দুটির পৃষ্ঠদেশের সমান্তরালে ক্রিয়াশীল এই বলকে **সান্দ্রতা বল** (Viscous force) বলা হয় এবং প্রবাহীর এই ধর্মকে **সান্দ্রতা** (Viscosity) বলে।



চিত্র ৭·২২

সংজ্ঞা : যে ধর্মের দরুন প্রবাহী তার অভ্যন্তরস্থ বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক বেগ রোধ করার চেষ্টা করে তাকে ঐ প্রবাহীর সান্দ্রতা বলে।

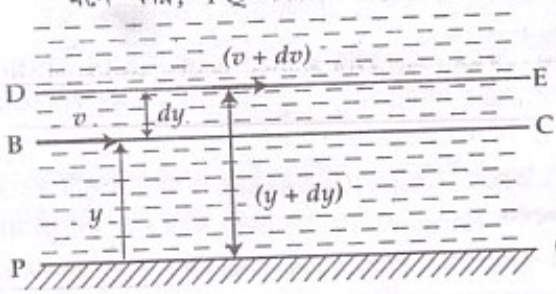
অথবা, যে ধর্মের ফলে তরল তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে তাকে তরলের সান্দ্রতা বলে।

বিভিন্ন প্রবাহীর সান্দ্রতা বিভিন্ন। যেমন দুধ, তেল এবং আলকাতরার সান্দ্রতা এক নয়। এদের মধ্যে আলকাতরার সান্দ্রতা সর্বাপেক্ষা বেশি, তারপর তেল এবং সর্বাপেক্ষা কম দুধের।

তরলকে যদি অনুভূমিক বা কাত করে রাখা নলের মধ্য দিয়ে গতিশীল করার চেষ্টা করা হয় তাহলেও প্রবাহের বিপরীত দিকে সান্দ্র বলের উদ্ভব হবে। সান্দ্রতাকে কখনও কখনও প্রবাহীর আঠাত্বতা বলা হয়।

আমরা জানি একটি বস্তু যখন অন্য একটি বস্তুর উপর দিয়ে গতিশীল হয় বা গতিশীল হতে চেষ্টা করে তখন বস্তু দুটির মিলন তলে বস্তুর গতির বিপরীত দিকে একটি বাধাদানকারী বল ক্রিয়া করে। এই বলের নাম ঘর্ষণ বা ঘর্ষণ বল। তেমনি কোনো একটি প্রবাহী তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে যে বল প্রয়োগ করে তাকে ঐ প্রবাহীর সান্দ্রতা বলে। ঘর্ষণের ক্ষেত্রে একটি গুণাঙ্ক রয়েছে তার নাম ঘর্ষণ গুণাঙ্ক যা ঘর্ষণ বল এবং অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার অনুপাত অর্থাৎ, $\mu = \frac{F}{R}$, এখানে F = ঘর্ষণ বল এবং R = অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া। তেমনি সান্দ্রতার ক্ষেত্রে একটি গুণাঙ্ক রয়েছে। তার নাম সান্দ্রতা গুণাঙ্ক (η) যা প্রবাহীর একক ক্ষেত্রের উপর সান্দ্রতা বল (F) এবং বেগ অবক্রমের (dv/dy) অনুপাত অর্থাৎ, $\eta = \frac{F/A}{dv/dy}$

মনে করি, PQ একটি স্থির তল। এর উপর দিয়ে একটি প্রবাহী ধারারেখ প্রবাহে চলছে। এই প্র
স্তর বিবেচনা করি। একটি BC এবং অপ
মনে করি স্থির তল হতে BC স্তর y এবং
$(y + dy)$ দূরে অবস্থিত। ধরি BC স্তরের
DE স্তরের বেগ $(v + dv)$ [চিত্র ৭·২৩]।



চিত্র ৭·২৩

দুই স্তরের বেগের পার্থক্য $= v + dv -$
$= dv$ এবং দূরত্বের পার্থক্য $= y + dy -$
তা হলে দেখা যাচ্ছে যে, dy দূরত্ব পার্থক্যের
পার্থক্য dv।

∴ দূরত্ব সাপেক্ষে বেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{dv}{dy}$। একে **বেগ অবক্রম বা গতিবেগের নতিমাত্রা** (velocity gradient) বলে। বিজ্ঞানী নিউটনের অভিমত অনুসারে ধারারেখ প্রবাহের ক্ষেত্রে,

(i) সান্দ্রতা বল ক্ষেত্রফলের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $F \propto A$

□ কয়েকটি তরলের সান্দ্রতার গুণাংক:

তরল	সান্দ্রতার গুণাংক
পানি	11×10^{-3}
পারদ	1.5×10^{-3}
ইথার	0.2×10^{-3}
গ্লিসারিন	1.5×10^{-3}

(ii) সান্দ্রতা বল বেগ অবক্রমের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $F \propto \frac{dv}{dy}$

∴ আমরা পাই, $F \propto A \times \frac{dv}{dy}$

বা, $F = \text{ধ্রুবক} \times A\frac{dv}{dy}$ বা, $\boxed{F = \eta A \frac{dv}{dy}}$ ... ... (7.13)

এখানে η (eta) একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে **সান্দ্রতা গুণাঙ্ক** বলে। এখন, ভাষায় এর সংজ্ঞা দিতে, ধরি, $A = 1$ (একক) এবং বেগ অবক্রম, $\frac{dv}{dy} = 1$

∴ সমীকরণ (7.13) হতে পাই, $F = \eta$

সান্দ্রতা গুণাঙ্ক
Co-efficient of viscosity

সংজ্ঞা : একক বেগ অবক্রমে কোনো একটি প্রবাহীর একক ক্ষেত্রফলের উপর যে পরিমাণ সান্দ্রতা বল ক্রিয়া করে, তাকে ঐ প্রবাহীর সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বলে। এই বল প্রবাহীর স্তরের স্পর্শক বরাবর ক্রিয়া করে।

অথবা, তরলে গতিবেগের একক নতিমাত্রা বজায় রাখতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে স্পর্শিনী বল প্রয়োজন তাকে ঐ তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বা সান্দ্রতাঙ্ক বা সান্দ্রতা সহগ বলে।

সান্দ্রতা গুণাঙ্কের মাত্রা সমীকরণ ও একক (Dimension and unit of co-efficient of viscosity)

আমরা জানি, $\boxed{\eta = \frac{F}{A}\frac{dy}{dv}}$

∴ মাত্রা সমীকরণ, $[\eta] = \left[\frac{\text{বল} \times \text{দূরত্ব}}{\text{ক্ষেত্রফল} \times \text{বেগ}}\right] = \left[\frac{MLT^{-2} \times L}{L^2 \times L/T}\right] = \left[\frac{MLT^{-2} \times L \times T}{L^3}\right] = [ML^{-1}T^{-1}]$

এম. কে. এস. এবং এস. আই. (S.I.) পদ্ধতিতে সান্দ্রতা গুণাঙ্কের একক নিউটন-সে./মিটার^2 (Nsm^{-2})।

অনেক ক্ষেত্রে সান্দ্রতার একক হিসেবে পয়েজ (Poise) ব্যবহার করা হয়। 10 poise = 1 নিউটন-সে./ মিটার^2।

সান্দ্রতা গুণাঙ্ক 1 Nsm^{-2} বলতে বুঝা যায় যে, 1 m^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি প্রবাহী স্তর পরস্পর হতে 1 m দূরে অবস্থিত হলে তাদের মধ্যে 1 ms^{-1} আপেক্ষিক বেগ বজায় রাখতে 1 N বল প্রযুক্ত হয়।

সান্দ্রতাঙ্ককে অনেক সময় **গতীয় সান্দ্রতাঙ্ক** (dynamic viscosity) বলা হয়।

সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব (২৩–২৪)
Effect of temperature on viscosity

(১) তরল পদার্থ (Liquid)

সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে। তরল পদার্থের ক্ষেত্রে পরীক্ষালব্ধ ফলাফলে দেখা যায় যে তাপমাত্রা বাড়ালে সান্দ্রতা হ্রাস পায়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় 80°C তাপমাত্রায় পানির সান্দ্রতা গুণাঙ্ক 0°C তাপমাত্রার পানির সান্দ্রতার গুণাঙ্কের এক-তৃতীয়াংশ মাত্র।

আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা : আমরা জানি যে তরলে বিভিন্ন বেগে প্রবহমান পাশাপাশি দুটি স্তরের মধ্যে এক ধরনের বিপরীতমুখী বা পশ্চাদ্বর্তী (dragging) স্পর্শক (tangential) বল ক্রিয়া করে। এ বলকে সান্দ্র বল বলা হয়। দুটি স্তরের অণুর মধ্যে আন্তঃআণবিক বলের কারণে এই সান্দ্র বলের সৃষ্টি হয়। সান্দ্র বল আন্তঃআণবিক দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে আন্তঃআণবিক দূরত্ব বাড়ে, ফলে আন্তঃআণবিক বলের মান কমে। এর ফলে সান্দ্র বল কমে। সান্দ্র বল কম হলে সমীকরণ (7.15) অনুসারে সান্দ্রতার গুণাঙ্কও কম হবে। তাপমাত্রার এবং সান্দ্রতার গুণাঙ্কের মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক রয়েছে :

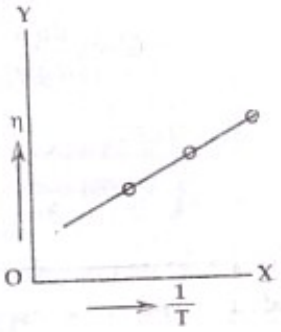
$$\log \eta = A + \frac{B}{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.14)$$

এখানে A ও B ধ্রুবক এবং T কেলভিন তাপমাত্রা। এখন $\log \eta$ বনাম $\frac{1}{T}$-এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সরলরেখা হবে [চিত্র ৭·২৪]।

(২) গ্যাস (Gas)

তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের সান্দ্রতার উপর যে প্রভাব পরিলক্ষিত হয়, গ্যাসের ক্ষেত্রে তার বিপরীত প্রভাব দেখা যায়। গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে **যে গ্যাসের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক তার পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক।** অর্থাৎ $\eta \propto \sqrt{T}$

গতিতত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা : গ্যাসের গতিতত্ত্ব (Kinetic theory of gases) থেকে এর ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। আমরা জানি যে, গ্যাসের অণুগুলো সবদিকেই এলোমেলোভাবে চলাচল করতে পারে এবং এদের মধ্যে সংঘর্ষ ঘটে। গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে দূরত্ব তরলের তুলনায় অনেক বেশি হওয়ায় আন্তঃআণবিক বল নেই বললেই চলে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে অণুসমূহের গড় বেগ বৃদ্ধি পায়, ফলে সংঘর্ষও বাড়ে। সংঘর্ষ বাড়ার কারণে বিভিন্ন স্তরের প্রবাহে বাধার পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়। গড়বেগ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নিম্নরূপ :



চিত্র ৭.২৪

$$c \propto \sqrt{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.15)$$

গ্যাসের গতিতত্ত্ব অনুসারে গ্যাসের সান্দ্রতা গ্যাস অণুগুলোর গড় বেগের সমানুপাতিক। অর্থাৎ

$$\eta \propto c \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.16)$$

সমীকরণ (7.15) ও সমীকরণ (7.16) থেকে আমরা পাই,

$$\eta \propto c \propto \sqrt{T} \quad \therefore \eta \propto \sqrt{T}$$

$$\text{বা, } \eta = K\sqrt{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.17)$$

এখানে T, কেলভিন তাপমাত্রা এবং K, ধ্রুবক।

সান্দ্রতার উপর চাপের প্রভাব
Effect of pressure on viscosity

তরলের সান্দ্রতার উপর চাপের প্রভাব দেখা যায়। চাপ বৃদ্ধি পেলে সান্দ্রতা বাড়ে।

ব্যাখ্যা : চাপ বৃদ্ধি পেলে আন্তঃআণবিক দূরত্ব কমে ফলে আন্তঃআণবিক বল বৃদ্ধি পায়। এর ফলে তরলের পাশাপাশি দুটি স্তরের আপেক্ষিক বেগ কমে যায়। অর্থাৎ সান্দ্রতা বেড়ে যায়।

কিন্তু গ্যাসের সান্দ্রতার উপর চাপের কোনো প্রভাব নেই।

সান্দ্রতার প্রয়োজনীয়তা
Necessity of viscosity

গতিশীল নৌকা, স্টীমার, লঞ্চ, জাহাজের উপর পানির এবং গতিশীল মোটর গাড়ি ও বিমানের উপর

(১) বায়ুর সান্দ্রতাজনিত বাধা লক্ষ করেই এ সমস্ত যন্ত্রের নক্সা তৈরি হয়।

(২) ফাউনটেন পেন কালির সান্দ্রতা ধর্মের উপর ভিত্তি করেই প্রস্তুত করা হয়।

(৩) শিরা-উপশিরা দিয়ে রক্তের চলাচল এই ধর্মের উপর হয়ে থাকে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 1×10^{-3} m² ক্ষেত্রফলের একটি চ্যাপ্টা প্লেট অপর একটি বড় প্লেট হতে 0·1 cm পুরু গ্লিসারিন স্তর দ্বারা পৃথক করা আছে। ঐ প্লেটকে 1×10^{-2} ms⁻¹ বেগে চালনা করতে $1·5 \times 10^{-5}$ N বলের প্রয়োজন হলে গ্লিসারিনের সান্দ্রতাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $F = \eta A \dfrac{dv}{dy}$

বা, $\eta = \dfrac{F dy}{A dv}$

$\therefore \quad \eta = \dfrac{1·5 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-2}}$

$= 1·5 \times 10^{-3}$ Ns m⁻²

এখানে,

$A = 1 \times 10^{-3}$ m²

$F = 1·5 \times 10^{-5}$ N

$dv = 1 \times 10^{-2}$ ms⁻¹

$dy = 0·1$ cm $= 1 \times 10^{-3}$ m

সান্দ্রতার উদাহরণ:

A. আকাশে ঘুড়ি উড়ানো

B. শিরা-উপশিরা দিয়ে রক্তের চলাচল এই ধর্মের উপর হয়ে থাকে।

C. ফাউন্টেন পেন কালির সান্দ্রতা ধর্মের উপর ভিত্তি করে প্রস্তুত করা হয়।

২। 0·01 বর্গমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি পাত 2 মি.মি. পুরু গ্লিসারিনের একটি স্তরের উপর রাখা রয়েছে। পাতটিকে 0·05 ms^{-1} বেগে চালনা করতে 0·4 নিউটন অনুভূমিক বলের প্রয়োজন হলে সান্দ্রতা গুণাঙ্কের মান নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৭]

আমরা জানি,

$$F = \eta A \frac{dv}{dy}$$

বা, $$\eta = \frac{F}{A}\frac{dy}{dv}$$

$$\therefore \quad \eta = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}01} \times \frac{2 \times 10^{-3}}{0{\cdot}05}$$

$$= 1{\cdot}6 \text{ N s m}^{-2}$$

এখানে, $A = 0{\cdot}01 \text{ m}^2$

$dv = 0{\cdot}05 \text{ ms}^{-1}$

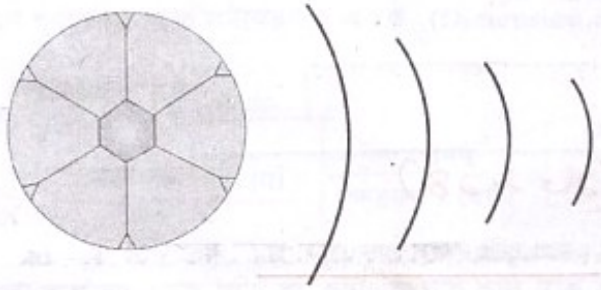
$dy = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$

$F = 0{\cdot}4 \text{ N}$

$\eta = ?$

৭·১৩ ঘর্ষণ ও সান্দ্রতা
Collision and Viscosity

নিচের ছবি দুটি লক্ষ কর দেখবে যে, উভয়ক্ষেত্রে এদের গতি বাধাগ্রস্ত হচ্ছে [চিত্র ৭·২৫(ক) ও (খ)]।



(ক)

(খ)

চিত্র ৭·২৫

একটি বলকে মেঝের উপর দিয়ে গড়িয়ে দিলে বলটি খানিকটা এগিয়ে গিয়ে থেমে যায়। এর কারণ বস্তুর কোনো তলই পুরাপুরি মসৃণ নয়। তা খানিকটা উঁচু-নিচু। যখন একটি বস্তু অপর একটি বস্তুর সংস্পর্শে থেকে চলবার চেষ্টা করে তখন একটির উঁচু অংশ অপরটির নিচু অংশে ঢুকে যায় এবং তাদের মিলনতলে গতিরোধকমূলক একটি বল উৎপন্ন হয়। অনুরূপভাবে একটি লোহার বলকে পানির মধ্যে পতিত হতে দিলে তাও পানির বিভিন্ন স্তরে আপেক্ষিক গতির জন্য বাধাগ্রস্ত হয়। এখানেও ঘর্ষণের ন্যায় সান্দ্র বল লোহার বলের গতি মন্থর করে দেয়। আবার একজন ডুবুরি যখন সিলিন্ডার পিঠে নিয়ে পানির তলদেশে যেতে থাকে তখন পানির ভিন্ন ভিন্ন স্তরে ডুবুরির গতি বাধাগ্রস্ত হয়। একটি বন্ধ পাত্রে তরলের ক্ষেত্রে কিন্তু গতি বাধাগ্রস্ত হয় না। ডুবুরির গতি বাধাপ্রাপ্তির কারণ হলো তরলের সান্দ্রতা প্রবাহীর বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতিকে বাধাগ্রস্ত করার জন্য ডুবুরির গতি বাধাপ্রাপ্ত হয়। এই দুটি ঘটনার প্রথমটি হলো ঘর্ষণ এবং দ্বিতীয়টি হলো সান্দ্রতা। এই দুটি বিষয়ের সংজ্ঞা আমরা পূর্বেই জেনেছি। তবে ঘর্ষণ ও সান্দ্রতা রাশি দুটি উভয়েই স্পর্শকীয় বল। ঘর্ষণ হলো দুটি সংলগ্ন তলের মধ্যে সম্পর্কীয় বল। অনুরূপভাবে সান্দ্রতা দুটি তরল তলের আপেক্ষিক গতি বজায় রাখার জন্য প্রয়োজনীয় স্বকীয় বল। এভাবে দুটি তরল স্তরের মাঝে তলের স্পর্শক করে একটি বলের উদ্ভব হয় যা এ দুটি স্তরের মধ্যকার আপেক্ষিক গতি নষ্ট করার চেষ্টা করে। প্রবাহীর যে ধর্মের জন্য এর অভ্যন্তরীণ বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতি রোধ করতে প্রয়াস পায় তাকে সান্দ্রতা বলে। সান্দ্রতা সকল প্রবাহীর সাধারণ ধর্ম। এখন আমরা দেখব ঘর্ষণের সাথে সান্দ্রতার পার্থক্য কোথায় ?

উপরের আলোচনা থেকে ঘর্ষণের এবং সান্দ্রতার মধ্যে যেমন সাদৃশ্য পাওয়া যায় তেমনি এদের মধ্যে পার্থক্যও দেখতে পাওয়া যায়। পার্থক্যগুলি লক্ষ কর—

(i) ঘর্ষণ কেবলমাত্র সংস্পর্শ তরলগুলির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, কিন্তু সান্দ্রতা সংস্পর্শ তলগুলির প্রকৃতি ছাড়াও তলগুলির আপেক্ষিক গতির উপর নির্ভর করে।

(ii) গতীয় ঘর্ষণ গুণাঙ্ক সংস্পর্শ তলগুলির আপেক্ষিক বেগের নিরপেক্ষ। কিন্তু সান্দ্রতাঙ্ক আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভর করে।

(iii) অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া বলের কোনো পরিবর্তনের জন্য ঘর্ষণের কোনো পরিবর্তন হয় না। সাধারণত চাপ প্রয়োগে তরলের সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়।

সান্দ্রতাকে কখনও কখনও প্রবাহীর আঠাত্বতা বলা হয়। আবার কেউ কেউ সান্দ্রতাকে প্রবাহীর অন্তরীণ ঘর্ষণ বলে। কারণ সান্দ্রতা বলের স্বরূপ অনেকটা ঘর্ষণের ন্যায়। ঘর্ষণ দুটি কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গতিকে বাধা দেয় আর সান্দ্রতা প্রবাহীর বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতিকে বাধা দেয়। স্থির প্রবাহীর ক্ষেত্রে এটি ক্রিয়া করে না। ঘর্ষণ স্পর্শ-তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না, তবে সান্দ্রতা প্রবাহীর তলদ্বয়ের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে। অধিকন্তু সান্দ্রতা প্রবাহীর স্তরের বেগ এবং স্থির তল হতে তার দূরত্বের উপর নির্ভর করে।

৭·১৪ স্টোক্স-এর সূত্র
Stokes's Law

স্টোক্স এর সূত্র (Stokes's Law) : বিজ্ঞানী স্টোক্স প্রমাণ করেন যে, r ব্যাসার্ধের ক্ষুদ্রাকার গোলক η সান্দ্রতা গুণাঙ্কের কোনো তরল বা গ্যাসের মধ্য দিয়ে v প্রান্তিক বেগে পড়তে থাকলে বস্তুর উপর সান্দ্রতাজনিত ঊর্ধ্বমুখী বল ক্রিয়া করে। ধরি এই বল F। এই বল

$F \propto$ সান্দ্রতা গুণাঙ্ক, η

$F \propto$ বস্তুর ব্যাসার্ধ, r

এবং $F \propto$ প্রান্তিক বেগ, v

$\therefore \quad F \propto \eta r v$

বা, $F = K \eta r v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.18)$

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। তরল গতিবিজ্ঞানের সাহায্যে স্টোক্স প্রমাণ করেন যে $K = 6\pi$

$\therefore$ সমীকরণ (7.18) হতে পাই

$F = 6\pi\eta r v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.19)$

এই সমীকরণটি তরলে পতনশীল স্টোক্স-এর সূত্র নামে খ্যাত। মাত্রিক পদ্ধতিতে এই সমীকরণ প্রতিপাদন করা যায়।

মাত্রিক পদ্ধতিতে স্টোক্স-এর সূত্র প্রতিপাদন : ধরি r ব্যাসার্ধের একটি ক্ষুদ্র গোলাকার বস্তু η সান্দ্রতা গুণাঙ্কবিশিষ্ট একটি সান্দ্র মাধ্যমের মধ্যে ছেড়ে দেয়ায় বস্তুটি কোনো এক মুহূর্তে v প্রান্তিক বেগ লাভ করলে সান্দ্রতার জন্য পশ্চাৎমুখী বল বা ঘর্ষণ বল F হবে

$F = K\eta^x r^y v^z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.20)$

এখানে K = একটি মাত্রিক ধ্রুব। x, y ও z-এর মান বের করতে হবে।

সমীকরণ (7.21)-এ F, η, r ও v-এর মাত্রিক মান বসিয়ে পাওয়া যায়

$[MLT^{-2}] = K[ML^{-1}T^{-1}]^x . [L]^y . [LT^{-1}]^z$

বা, $[M^1][L^1][T^{-2}] = K[M]^x \; [L]^{y+z-x} \; [T]^{-(x+z)}$

উভয় পক্ষের [M], [L] ও [T]-এর ঘাত সমান হবে হেতু তুলনা করে লেখা যায়,

$x = 1, y + z - x = 1$ ও $x + z = 2$

সমীকরণ তিনটি সমাধান করে পাওয়া যায়, $x = 1, y = 1$ ও $z = 1$।

সমীকরণ (7.20)-এ x, y ও z-এর মান বসিয়ে লেখা যায়, $F = K\eta r v$

স্টোকস গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন যে, $K = 6\pi$

$\therefore \quad F = 6\pi\eta r v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.21)$

এটিই হলো মাত্রিক পদ্ধতিতে পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে স্টোক্স সূত্রের প্রতিপাদন।

স্টোক্‌স-এর প্রান্তিক বেগের সমীকরণ :

মনে করি, গোলকটির উপাদানের ঘনত্ব ρ এবং মাধ্যমের ঘনত্ব σ। তাহলে গোলকের উপর অভিকর্ষ বল,

F = বস্তুর ওজন = ভর × অভিকর্ষজ ত্বরণ = আয়তন × ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ

$= V \times \rho \times g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ (এখানে V = গোলকের আয়তন)

আর্কিমিডিস-এর সূত্রানুসারে গোলক কর্তৃক হারানো ওজন = মাধ্যম কর্তৃক প্রযুক্ত ঊর্ধ্বমুখী বল $= \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$

$\therefore$ গোলকের উপর কার্যকরী নিম্নমুখী বল অর্থাৎ কার্যকরী ওজন,

$$F = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^2 \sigma g = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \sigma) g \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.22)$$

যখন সান্দ্রতাজনিত ঊর্ধ্বমুখী বল এবং গোলকের কার্যকরী ওজন সমান হবে তখনই বস্তু প্রান্তিক বেগে পড়তে থাকবে।

$\therefore$ আমরা পাই, $6\pi\eta r v = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \sigma) g$, F = সান্দ্র বল $= 6\pi\eta r v$ (স্টোক্‌স এর সূত্র)

বা, $$v = \frac{2r^2 (\rho - \sigma) \times g}{9 \quad \eta} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.23)$$

একেই **স্টোক্‌সের প্রান্তিক বেগের সমীকরণ** বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 200 mm ব্যাসার্ধের একটি গোলক কোনো তরলের ভেতর দিয়ে $2{\cdot}1 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$ প্রান্ত বেগ নিয়ে পড়ছে। তরলের সান্দ্রতাঙ্ক $0{\cdot}003\ Nsm^{-2}$ হলে সান্দ্র বল নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০৭; সি. বো. ২০০২]

মনে করি সান্দ্রতা বল = F

আমরা জানি, $F = 6\pi\eta r v$

$= 6 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}003 \times 0{\cdot}2 \times 2{\cdot}1 \times 10^{-2}$

$= 2{\cdot}374 \times 10^{-4}\ N$

এখানে, $r = 200\ mm = 0{\cdot}2\ m$

$v = 2{\cdot}1 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$

$\eta = 0{\cdot}003\ N\,sm^{-2}$

$F = ?$

২। 2×10^{-4} m ব্যাসার্ধের একটি লোহার বল তার্পিন তেলের ভেতর দিয়ে $4 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$ প্রান্ত বেগ নিয়ে পড়ছে। যদি লোহা ও তার্পিন তেলের ঘনত্ব যথাক্রমে $7{\cdot}8 \times 10^3$ এবং $0{\cdot}87 \times 10^3\ kgm^{-3}$ হয় তবে তার্পিন তেলের সান্দ্রতাঙ্ক বের কর।

মনে করি তার্পিন তেলের সান্দ্রতাঙ্ক = η

আমরা জানি, $\eta = \frac{2r^2 (\rho - \sigma) g}{9v}$

$$= \frac{2 \times (2 \times 10^{-4})^2 \ (7{\cdot}8 \times 10^3 - 0{\cdot}87 \times 10^3) \times 9{\cdot}8}{9 \times 4 \times 10^{-2}}$$

$$= \frac{2 \times 4 \times 10^{-8} \times 6{\cdot}93 \times 10^3 \times 9{\cdot}8}{9 \times 4 \times 10^{-2}}$$

$$= \frac{8 \times 6{\cdot}93 \times 9{\cdot}8 \times 10^{-3}}{36} = 1{\cdot}5\,1 \times 10^{-2}\ kgm^{-1}s^{-1}$$

$= 1{\cdot}51 \times 10^{-2}\ Nsm^{-2}$

এখানে, ব্যাসার্ধ $r = 2 \times 10^{-4}$ m

প্রান্ত বেগ, $v = 4 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$

লোহার ঘনত্ব, $\rho = 7{\cdot}8 \times 10^3\ kg^{-3}$

তার্পিন তেলের ঘনত্ব,

$\sigma = 0{\cdot}87 \times 10^3\ kgm^{-3}$

$g = 9{\cdot}8\ ms^{-2}$

৭·১৫ পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠশক্তি

Surface Tension and Surface Energy

পৃষ্ঠ টান

Surface Tension

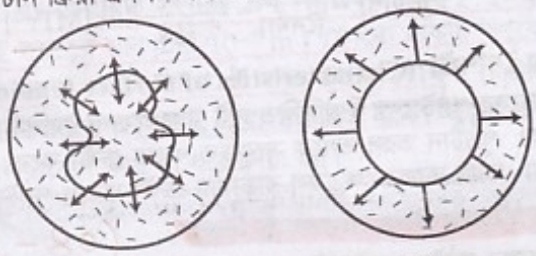
তরল মাত্রেরই একটি ধর্ম আছে—তরল পৃষ্ঠ সর্বদাই সঙ্কুচিত হয়ে সর্বনিম্ন ক্ষেত্রফলে আসতে চায়। তরলের মধ্যে যে বলের প্রভাবে এই বিশেষ ধর্ম প্রকাশ পায় সেই বলকেই পৃষ্ঠ টান বলে।

আমরা সকলেই লক্ষ করেছি যে মশা, মাকড়সা ইত্যাদি কীটপতঙ্গ পানির উপরে হেঁটে চলতে পারে। একটু পর্যবেক্ষণ করলেই দেখা যাবে যে, যেখানে এদের পা পড়ে তরলের সেই স্থানটুকু একটু নিচু বা অবনমিত (depressed) হয়—কিছুটা যেন রবারের পর্দাকে চাপ দিলে যেরূপ হয়। এ ছাড়া কোনো সিরিঞ্জের সূচের মাথা দিয়ে

খুব আস্তে আস্তে তরল ওষুধ বা পানি নির্গত করলে দেখা যায় যে তরল বা পানি নিরবচ্ছিন্নভাবে বের না হয়ে ফোঁটায় ফোঁটায় বের হচ্ছে এবং ফোঁটাগুলো সম্পূর্ণ গোলাকার। আমরা জানি একই আয়তনের সর্বনিম্ন ক্ষেত্রফল হলো গোলাকার আকৃতির। তরলের মুক্ত পৃষ্ঠে নিশ্চয়ই কোনো বল ক্রিয়াশীল রয়েছে যা ফোঁটাগুলো গোলাকার রাখছে। কাজেই তরলের মুক্ত পৃষ্ঠে স্থিতিস্থাপক পর্দার টানের ন্যায় একটা টান ক্রিয়া করে। উক্ত টান তরল পৃষ্ঠের স্পর্শক অভিমুখী। তরল পৃষ্ঠ যেখানে এসে শেষ হয় সেখানেই পৃষ্ঠের সীমারেখায় পৃষ্ঠ টান ক্রিয়া করে।

নিচে বর্ণিত একটি পরীক্ষার সাহায্যে সহজেই পৃষ্ঠটান ক্রিয়া প্রদর্শন করা যায়।

ধাতব তারের একটি গোল আংটা সাবান পানিতে ডুবিয়ে তুলে আনলে আংটার ভেতরে সাবান পানির একটি পাতলা সর (Thin film) আটকে থাকে। এবার একটি সুতা দিয়ে ছোট ফাঁস (loop) তৈরি করে সাবান পানিতে ভিজিয়ে আংটার সরের উপর বসালে দেখা যাবে ফাঁসটি এলোমেলোভাবে অবস্থান করছে [চিত্র ৭·২৬(ক)]।



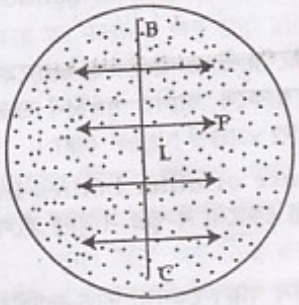
(ক) (খ)

চিত্র ৭·২৬

এবার একটি সুঁচ বা আলপিন দিয়ে ফাঁসের ভেতরের অংশ ছিদ্র করে দিলে দেখা যাবে ফাঁসটি এলোমেলো অবস্থা ত্যাগ করে বৃত্তাকার হয়েছে [চিত্র ৭·২৬(খ)]।

উপরের ঘটনা দুটো ব্যাখ্যায় বলা যায়, যখন ফাঁসের ভেতরে সর ছিল তখন ফাঁসের প্রতিটি বিন্দুতে পৃষ্ঠের স্পর্শক বরাবর সমান ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করে। ফলে প্রতিটি বিন্দুতে বলদ্বয় পরস্পরকে প্রশমিত করে। তাই ফাঁসটি এলোমেলো থাকে। পরবর্তীতে ফাঁসটি ছিদ্র করায় ফাঁসের ভেতরের দিকের বল না থাকায় প্রতিটি বিন্দুতে শুধু সরের বাইরের দিকে বল ক্রিয়া করে, ফলে বাইরের দিকে টান অনুভূত হয় এবং বাইরের দিকের সর সংকুচিত হয়ে টান টান হয়ে যায়। উপরের পরীক্ষা থেকে স্পষ্ট যে তরল পদার্থের মুক্ত পৃষ্ঠে এক ধরনের টান ক্রিয়াশীল। এই টানই পৃষ্ঠটান। অতএব পৃষ্ঠটানের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

কোনো তরলের পৃষ্ঠে একটি সরলরেখা কল্পনা করলে উক্ত রেখার প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ঐ রেখার দুই পার্শ্বে তরলের পৃষ্ঠ তলে এক অংশ অন্য অংশের উপরে যে স্পর্শক বল (tangential force) প্রয়োগ করে তাকেই পৃষ্ঠটান বলে।



চিত্র ৭·২৭

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো একটি তরল তলের মুক্ত পৃষ্ঠের উপর অঙ্কিত একটি রেখার (BC) দৈর্ঘ্য L [চিত্র ৭·২৭]। ঐ সরলরেখার উভয় পার্শ্বের তরলপৃষ্ঠ সংকুচিত হতে চাইবে এবং পরস্পর হতে দূরে সরে যাওয়ার প্রবণতা পরিলক্ষিত হবে। কাজেই BC রেখার উপর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে একটা টান পড়বে। মনে করি ঐ রেখার অভিলম্বভাবে ও পৃষ্ঠের স্পর্শকরূপে রেখার উভয় পার্শ্বে বিদ্যমান বল F।

$$\therefore \text{পৃষ্ঠটান} = \frac{\text{বল}}{\text{দৈর্ঘ্য}}$$

$$\text{বা, } T = \frac{F}{L} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.24)$$

পৃষ্ঠটানের আরো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে :

কোনো একটি তরল তলের ক্ষেত্রফল এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ঐ তরলের পৃষ্ঠটান বলে এবং $T = \frac{W}{A}$

এখানে তরল তলের ক্ষেত্রফল A, একক বৃদ্ধিতে কাজের পরিমাণ = W।

পৃষ্ঠটানের একক (Unit of surface tension)

পৃষ্ঠটান একটি প্রাকৃতিক রাশি। অতএব এর একক আছে।

এম. কে. এস. ও এস. আই. বা আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটানের নিরপেক্ষ একক নিউটন/মিটার (Nm^{-1})।

পৃষ্ঠটানের মাত্রা সমীকরণ (Dimension of surface tension) (০২-০২)

$$\text{পৃষ্ঠটান} = \frac{\text{বল}}{\text{দৈর্ঘ্য}}$$

∴ এর মাত্রা সমীকরণ,

$$[\text{পৃষ্ঠটান}] = \frac{[\text{বল}]}{[\text{দৈর্ঘ্য}]} = \frac{[MLT^{-2}]}{[L]} = [MT^{-2}]$$

পৃষ্ঠটানের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of surface tension)

তরলের পৃষ্ঠটানের নিম্নলিখিত দুটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য রয়েছে, যথা—

(ক) পৃষ্ঠটান তরল তলকে সংকুচিত করার চেষ্টা করে।

(খ) তরল তলের ক্ষেত্রফল বাড়াবার চেষ্টা করলে পৃষ্ঠটান তা প্রতিরোধ করার চেষ্টা করে।

তরলের পৃষ্ঠটানের উপর প্রভাবকারী বিষয় : (০৪-০৫)

তরলের পৃষ্ঠটান মোটামুটিভাবে নিম্নলিখিত বিষয়গুলো দ্বারা প্রভাবিত হয়।

(i) দূষিতকরণ (Contamination) : তরল যদি চর্বি, তেল প্রভৃতি দ্বারা দূষিত হয়, তবে তরলের পৃষ্ঠটান হ্রাস পায়।

(ii) দ্রবীভূত বস্তুর উপস্থিতি (Presence of dissolved substances) : তরলে কোনো বস্তু দ্রবীভূত থাকলে তরলের পৃষ্ঠটান পরিবর্তিত হয়। তরলে **অজৈব** পদার্থ দ্রবীভূত থাকলে পৃষ্ঠটান বৃদ্ধি পায়, কিন্তু **জৈব** পদার্থ দ্রবীভূত থাকলে পৃষ্ঠটান হ্রাস পায়।

(iii) তাপমাত্রা (Temperature) : তরলের পৃষ্ঠটান প্রভূতভাবে তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। সাধারণভাবে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তরলের পৃষ্ঠটান হ্রাস পায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে তরলের পৃষ্ঠটান বৃদ্ধি পায়। শুধু গলিত তামা ও ক্যাডমিয়ামের ক্ষেত্রে ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। তাপমাত্রা পরিবর্তনের পাল্লা কম হলে পৃষ্ঠ টান এবং তাপমাত্রার মধ্যকার সম্পর্ক নিম্নলিখিত সমীকরণে ব্যক্ত করা যায়।

$$T_t = T_0(1 - \alpha t) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.25)$$

এখানে $T_t = t°C$ তাপমাত্রায় তরলের পৃষ্ঠটান, $T_0 = 0°C$ তাপমাত্রায় তরলের পৃষ্ঠটান এবং α = তরলের পৃষ্ঠটানের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক।

উল্লেখ্য, **যে তাপমাত্রায় কোনো একটি তরলের পৃষ্ঠটান শূন্য হয়, তাকে সঙ্কট তাপমাত্রা** (Critical temperature) **বলে।**

(iv) তরলের উপর অবস্থিত মাধ্যম (Medium above the liquid) : তরলের উপর অবস্থিত মাধ্যমের প্রকৃতির উপর তরলের পৃষ্ঠটান নির্ভর করে। পানির সাথে জলীয় বাষ্পের সংস্পর্শ থাকলে পানির পৃষ্ঠটান প্রায় $70 \times 10^{-3}\ Nm^{-1}$ হয়, আর পানির সাথে বায়ুর সংস্পর্শ থাকলে, পানির পৃষ্ঠটান প্রায় $72 \times 10^{-3}\ Nm^{-1}$ হয়।

(v) তরলের মুক্ত তলের সাথে অন্য কোনো বস্তুর উপস্থিতি (Presence of other bodies in contact with the free surface of the liquid) : তরলের মুক্ত তলের সাথে অন্য কোনো বস্তুর সংযুক্তি হলে পৃষ্ঠটান হ্রাস পায়।

(vi) তড়িতাহিতকরণ (Electrification) : তরল তড়িতাহিত হলে পৃষ্ঠটান হ্রাস পায়। কেননা তড়ি-তাহিত হবার ফলে তরল পৃষ্ঠে বহির্মুখী চাপ ক্রিয়া করে। এর ফলে তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পায় যা পৃষ্ঠটান জনিত সঙ্কোচন প্রবণতার বিপরীতে ক্রিয়া করে। কাজেই পৃষ্ঠটান হ্রাস পায়।

পৃষ্ঠটান সংক্রান্ত কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা :

পৃষ্ঠটানের তত্ত্ব ব্যাখ্যা করার পূর্বে কয়েকটি রাশি জানা দরকার। রাশিগুলো হলো—

(ক) সংসক্তি বা সংযুক্তি বল (Cohesive force),

(খ) আসঞ্জন বল (Adhesive force) এবং

(গ) আণবিক পাল্লা (Molecular range)

সংসক্তি বা সংযুক্তি বল : আমরা জানি কোনো একটি পদার্থ কতকগুলো অণুর সমষ্টি। **একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে সংসক্তি বা সংযুক্তি বল বলে।** যেমন লোহার বিভিন্ন অণুর মধ্যে যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল আছে, তার নাম সংসক্তি বল। এই বল দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে।

আসঞ্জন বল : একটি পদার্থকে অন্য একটি পদার্থের সংস্পর্শে রেখে দিলে পদার্থ দুটির অণুগুলোর মধ্যে একটি পারস্পরিক আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। **বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে এই পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে আসঞ্জন বল বলে।** একটি পাত্রে পানি রাখলে পাত্রের অণু ও পানির অণুর মধ্যে যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে তাই আসঞ্জন বল।

আণবিক পাল্লা : আমরা জানি সংসক্তি বল অণু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। দূরত্ব বৃদ্ধি পেতে থাকলে বল দ্রুত হ্রাস পেতে থাকে। **দুটি অণুর মধ্যে ক্রিয়ারত সংসক্তি বল সর্বাধিক যতটুকু দূরত্ব পর্যন্ত অনুভূত হয়, তাকে আন্তঃআণবিক পাল্লা বলে।** এই দূরত্বের মান প্রায় 10^{-9} m। কোনো একটি অণুকে কেন্দ্র করে আণবিক পাল্লার সমান ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি গোলক কল্পনা করলে তাকে ঐ অণুর **প্রভাব গোলক** (sphere of attraction) বলে। ঐ অণুটি কেবল প্রভাব গোলকের ভিতরের অণুগুলোর দ্বারা প্রভাবিত হবে। প্রভাব গোলকের বাইরের কোনো অণু এই অণুটির উপর কোনো সংসক্তি বল প্রয়োগ করে না ধরে নেয়া হয়।

নিজ হাতে কর : একটি তুলি পানিতে বা রং এ ডুবালে আঁশগুলি পরস্পর থেকে আলাদা হয়ে যায়। আবার পানি থেকে তুলে আনলে আঁশগুলি পরস্পরের সাথে লেগে থাকে কেন?

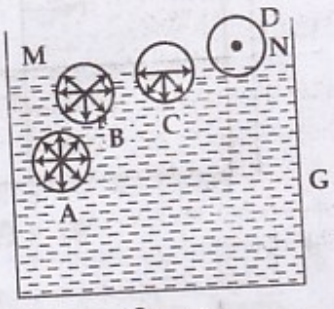
পানিতে ডুবিয়ে তুলিকে বাইরে আনলে তুলির প্রত্যেক দুটি আঁশের মধ্যে পানির একটি পাতলা ঝিল্লি আটকে যায়। পানির পৃষ্ঠটানের জন্য এই ঝিল্লির ক্ষেত্রফল সংকুচিত হতে চায়। ফলে আঁশগুলি পরস্পরের সঙ্গে আটকে থাকে। পানির ভেতরে ডুবানো অবস্থায় পৃষ্ঠটান না থাকায় আঁশগুলি ফাঁক হয়ে যায়।

ল্যাপ্লাসের পৃষ্ঠটানের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা

Explanation of Surface Tension by Laplace's molecular theory of surface tension

তরলের পৃষ্ঠটানকে ব্যাখ্যা করার জন্য বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন তত্ত্ব প্রদান করেন। সর্বাপেক্ষা নির্ভরযোগ্য তত্ত্ব প্রদান করেন বিজ্ঞানী ল্যাপ্লাস। ল্যাপ্লাস-এর নামানুসারে এই তত্ত্বকে **ল্যাপ্লাসের আণবিক তত্ত্ব** বলে। ল্যাপ্লাস আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা করেন বলে তত্ত্বের এরূপ নামকরণ হয়েছে।

মনে করি, A, B, C এবং D তরলের চারটি অণু [চিত্র ৭·২৮]। এদের মধ্যে A তরলের গভীর অভ্যন্তরে, B তরল তলের একটু নিচে, C ঠিক তরল তলে এবং D তরলের বাইরে অবস্থিত। তাদের চারদিকে প্রভাব গোলক অঙ্কন করি।



চিত্র ৭·২৮

'A' অণুটির প্রভাব গোলক তরলের অভ্যন্তরে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকায় তা অন্যান্য অণু দ্বারা চারদিকে সমভাবে আকৃষ্ট হবে এবং তার উপর লব্ধি সংসক্তি বলের মান শূন্য হবে। ফলে তা যে অবস্থায় আছে সেই অবস্থায় থাকবে।

'B' অণুর প্রভাব গোলকের কিছু অংশ তরলের বাইরে থাকায় ঐ গোলকের নিচের অংশের অণুর সংখ্যা উপরের অংশের অণুর সংখ্যা অপেক্ষা অধিক হওয়ায় 'B' অণুর উপর একটি নিম্নমুখী লব্ধি সংসক্তি বল ক্রিয়া করবে।

পুনঃ 'C' অণু ঠিক তরল পৃষ্ঠের উপরে থাকায় এর প্রভাব গোলকের অর্ধেক ভাগ তরলের ভিতরে এবং অর্ধেক ভাগ তরলের বাইরে থাকবে। অতএব এটি কেবল গোলকের নিচের অংশের অণু দ্বারা আকৃষ্ট হবে এবং এটি সম্পূর্ণ-ভাবে একটি নিম্নমুখী সর্বাধিক লব্ধি সংসক্তি বল অনুভব করবে।

তরল তলে অবস্থিত সকল অণুর ক্ষেত্রে এই ঘটনা পরিলক্ষিত হবে। তরল তলের ঠিক উপরের D অণুর প্রভাব গোলক সম্পূর্ণ রূপে তরলের উপরে থাকায় তার উপর তরলের টান "শূন্য"। ফলে অণুটি গ্যাস অণুর ন্যায় মুক্তভাবে বিচরণ করবে। অতএব MN তরল তল একটি নিম্নমুখী বল বা টান অনুভব করে এবং সঙ্কুচিত হতে প্রয়াস পায়। অর্থাৎ MN তলের ক্ষেত্রফল কমাতে চায়, যার ফলে স্থিতিশক্তি কমে। সকল বস্তুই সুস্থির বা সাম্যাবস্থায় থাকার জন্য সর্বনিম্ন স্থিতিশক্তিতে আসতে চায়। যেমন একটি রাবারের টান দেয়া পর্দা নিজ পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হ্রাস করতে চায়। এই সঙ্কোচনের প্রবণতা হতেই তরলের পৃষ্ঠ টানের উৎপত্তি হয়। এই টান তরল তলের স্পর্শক বরাবর ক্রিয়া করে। **ইহাই ল্যাপ্লাস কর্তৃক তরলের পৃষ্ঠটানের সরল আণবিক ব্যাখ্যা।**

পৃষ্ঠশক্তি
Surface Energy

আমরা জানি কোনো একটি তরল তলে একটি টান বা বল সর্বদা ক্রিয়া করে এবং এই বল তরল তলের ক্ষেত্রফল হ্রাস করতে চেষ্টা করে। সুতরাং এ অবস্থায় তরল তলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করতে হলে ঐ বলের বিরুদ্ধে কিছু কাজ করতে হবে। এ কাজ স্থিতিশক্তি হিসেবে তরল তলে সঞ্চিত থাকবে। তরল পৃষ্ঠের এই স্থিতিশক্তিকে আপাতভাবে পৃষ্ঠশক্তি বা তল শক্তি বলে। তবে সঠিকভাবে বলা যায়— **কোনো একটি তরল তলের ক্ষেত্রফল এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয়, তাকে ঐ তলের পৃষ্ঠশক্তি বলে। একে সাধারণত E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।**

কোনো মুক্ত তলের ক্ষেত্রফল ΔA পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যদি W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাহলে পৃষ্ঠশক্তি,

$$E = \frac{W}{\Delta A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.26)$$

পৃষ্ঠশক্তির একক ও মাত্রা সমীকরণ (Unit and Dimension of Surface energy) :

পৃষ্ঠশক্তির এম. কে. এস. বা এস. আই. একক হল জুল/মিটার² (Jm^{-2})। কিন্তু Jm^{-2} হচ্ছে Nmm^{-2} বা Nm^{-1}। কাজেই কোনো তরলের পৃষ্ঠশক্তির একক এবং পৃষ্ঠটানের একক অভিন্ন।

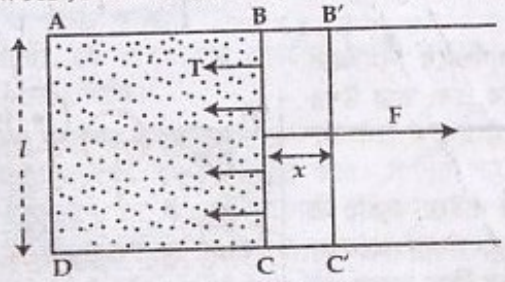
$$[\text{পৃষ্ঠশক্তি}] = \left[\frac{\text{কাজ}}{\text{ক্ষেত্রফল}}\right] = \left[\frac{\text{বল} \times \text{সরণ}}{\text{ক্ষেত্রফল}}\right] = \left[\frac{MLT^{-2} \times L}{L^2}\right] = [MT^{-2}]$$

হিসাব : একটি গোলীয় পানির ফোঁটার ব্যাসার্ধ 1 mm। পানির পৃষ্ঠটান 73×10^{-3} Nm^{-1} হলে ফোঁটাটির ভিতরের ও বাইরের চাপের পার্থক্য নির্ণয় কর।

পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠশক্তির সম্পর্ক
Relation between Surface Tension and Surface Energy

এখন তরলের পৃষ্ঠটান এবং পৃষ্ঠশক্তির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে মনে করি ABCD একটি হাল্কা আয়তকার ফ্রেম যার AB, AD এবং DC বাহু স্থির [চিত্র ৭'২৯]। কেবল BC বাহু AB এবং DC বরাবর বাধাহীনভাবে চলাচল করতে পারে। তরলের একটি পর্দা এই ফ্রেমের উপর স্থাপন করি। পৃষ্ঠটানের দরুন এই পর্দা BC বাহু ছাড়া অন্য সকল বাহু আটকানো থাকায় তারা স্থির থাকবে, কিন্তু BC বাহুটি ভিতরের দিকে যেতে চাইবে। যদি তরলের পৃষ্ঠটান T হয় এবং BC বাহুর দৈর্ঘ্য l হয়, তবে পৃষ্ঠটানের দরুন BC বাহুর উপর ভিতরমুখী বল

চিত্র ৭'২৯



$$F = 2l \times T \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.27)$$

যেহেতু পর্দার দুটি তল আছে, একটি উপরের দিকে এবং অপরটি নিচের দিকে, সেহেতু BC বাহুর দৈর্ঘ্য = 2l। BC-কে স্থির রাখতে হলে তার উপর পৃষ্ঠটানের বিপরীতমুখী সম পরিমাণের একটি বল প্রয়োগ করতে

16. পানির পৃষ্ঠটান 72×10^{-3} Nm^{-1} হলে 4 mm ব্যাসের কোনো পানির বিন্দুর ভিতরের ও বাইরের চাপের পার্থক্য হবে- [12-13]

A. 144 Nm^{-2} B. 100 Nm^{-2}
C. 180 Nm^{-2} D. 110 Nm^{-2}

$$\therefore\ p = \frac{4T}{r} = \frac{4 \times 72 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 144\ N/m^2 \quad \textbf{Ans.A}$$

সরিয়ে B′C′ অবস্থানে আনতে ঐ বলের বিরুদ্ধে কিছু ... বৃদ্ধি = $2l \times x$, যেহেতু পর্দার দুটি তল আছে। এই

17. কলের পানি ও পরিষ্কার গ্লাসের মধ্যবর্তী স্পর্শ কোণ কত? [12-13]

A. 0° B. 90°
C. 140° D. 8°

Note: কিন্তু পানি ও পরিষ্কার গ্লাসের মধ্যবর্তী স্পর্শ কোণ প্রায় 0°।

কিন্তু একক ক্ষেত্রফল বৃদ্ধিতে কাজের পরিমাণ = একক ক্ষেত্রফলে সঞ্চিত স্থিতি শক্তি। পুনঃ একক ক্ষেত্রফলে সঞ্চিত স্থিতি শক্তি =পৃষ্ঠশক্তি। অতএব আমরা এই সিদ্ধান্ত করতে পারি যে, কোনো তরলের পৃষ্ঠশক্তি সংখ্যাগতভাবে তরলের পৃষ্ঠটানের সমান।

যদি পৃষ্ঠশক্তিকে E এবং পৃষ্ঠটানকে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তবে

$$E = T \quad \ldots \quad \ldots \qquad (7.28)$$

পৃষ্ঠটানের বৈশিষ্ট্য:

A. পৃষ্ঠটান তরল তলকে সংকুচিত করার চেষ্টা করে।

B. তরল তলের ক্ষেত্রফল বাড়াবার চেষ্টা করলে পৃষ্ঠটান তা প্রতিরোধ করার চেষ্টা করে

C. এই বৈশিষ্ট্যের কারণে তরল পদার্থের বিভাজন সম্ভব।

কোন তরলের পৃষ্ঠশক্তি সংখ্যাগতভাবে তরলের পৃষ্ঠটানের সমান E = T

- পানির পৃষ্ঠশক্তি $E = 72 \times 10^{-3}$ Jm^{-2} Or Nm^{-1}
- দুইটি অণুর মধ্যে ক্রিয়ারত সংসক্তি বল সর্বাধিক যতটুকু দূরত্ব পর্যন্ত অনুভূত হয়, তকে আন্তঃআণবিক পাল্লা বলে।
- প্রভাব গোলকের দূরত্ব ব্যাস 10^{-3}m
- ল্যাপ্লাস তরলের পৃষ্ঠটানের সরল আণবিক ব্যাখ্যা দেন।
- স্পর্শকোণ দুই প্রকার– ক. সুক্ষ্ম স্পর্শকোণ ও খ. স্থুল স্পর্শকোণ।
- স্পর্শকোণ 30° অপেক্ষা কম হলে সুক্ষ্ম স্পর্শকোণ হবে। যে তরলের ঘনত্ব কঠিনের ঘনত্ব অপেক্ষা কম সে সব তরল সাধারণত কঠিনকে ভিজায়।
- পানির ঘনত্ব কাঁচের ঘনত্ব অপেক্ষা কম বলে পানি কাঁচকে ভিজায়।
- পানি ও কাঁচের স্পর্শকোণ 8°

বিশুদ্ধ পানি ও পরিষ্কার কাঁচের স্পর্শকোণ 0°

রূপা ও পানির স্পর্শকোণ 90°

পারদ ও কাঁচের স্পর্শকোণ 140°

ক্রিয়াকর্ম : একটি তারের রিং তৈরি করে সাবান ... ভিতর সাবানের একটি সর দেখতে পাবে। এখন একটি ... দেখবে ? ফাঁসটি সরের উপর কীভাবে অবস্থান করবে ...

ফাঁসটি সরের উপর স্থাপন করলে ফাঁসের প্র... সমান বল ক্রিয়া করে। এই বলদ্বয় পরস্পরকে প্রশমিত ...

গাণিতিক উদাহরণ

১। পানির উপরিতল হতে 0·05 m লম্বা ... সর্বাধিক $7·28 \times 10^{-3}$ N বলের প্রয়োজন হয়। প...

মনে করি পৃষ্ঠ টান = T

আমরা পাই, $T = \frac{F}{L} \quad \ldots \quad \ldots$

∴ সমীকরণ (1) হতে মানগুলোর সাপেক্ষে ...

$$T = \frac{7·28 \times 10^{-3}\,N}{2 \times 0·05\,m} = 7·28 \times 10^{-2}\ldots$$

২। একটি সূচের ওজন নগণ্য ধরে 28°C ... সূচকে অনুভূমিকভাবে সর্বাধিক $7·30 \times 10^{-3}$ N ...

আমরা জানি,

$$T = \frac{F}{2l} = \frac{7·30 \times 10^{-3}}{2 \times 0·05}$$

$$= 0·073\ Nm^{-1}$$

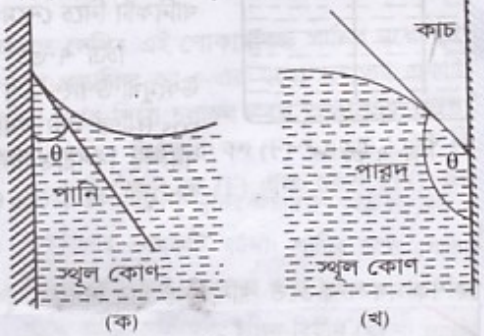
[যেহেতু সূচটির দুই পাশেই পানি আছে তাই ... হয়েছে।]

৭·১৬ স্পর্শ কোণ
Angle of Contact

তরল পদার্থ যখন কোনো কঠিন পদার্থের সংস্পর্শে আসে, তখন তাদের মধ্যে একটি কোণ উৎপন্ন হ... আপাতভাবে স্পর্শ কোণ বলে। প্রকৃতভাবে স্পর্শ কোণ কি তা-ই এখন ব্যাখ্যা করব।

কোনো একটি কঠিন বস্তু খাড়াভাবে পানিতে বা অন্য কোনো তরলে আংশিকভাবে ডুবালে তাদে... স্থানে তরল তল কিছুটা বেঁকে যায়। তরলের বিভিন্ন অণুর মধ্যে সংসক্তি বল ছাড়াও কঠিন ও তরলের অণুর ... বল আছে। এক্ষেত্রে একই পদার্থের বিভিন্ন অণুগুলোর মধ্যে পারস্পারিক আকর্ষণ বলই সংশক্তি বল। এই বল দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে। অন্যদিকে বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলই আসঞ্জন বল। সংসক্তি বল তরল তলকে অনুভূমিকভাবে রাখার চেষ্টা করে। পক্ষান্তরে আসঞ্জন বল তরল তলকে উপরে উঠাতে চেষ্টা করে। এই দুটি বলের সম্মিলিত ক্রিয়ায় তরল তল কঠিন পদার্থের গা বেয়ে উপরে ওঠে কিংবা

চিত্র ৭·৩০



For Practice:

01. 2 cm ব্যাসার্ধের একটি সাবান পানির বুদবুদকে 3 cm ব্যাসার্ধের বুদবুদে পরিণত করা হল। সাবান পানির পৃষ্ঠটান 4×10^{-2} N/m হলে কৃতকাজ নির্ণয় কর। [Ref: ...]

Hint: সাবান পানির বুদবুদের তল দুটি তাই $W = 2T\Delta A$

Ans. 5.028×10^{-4} J

নিচে নেমে আসে এবং কঠিন পদার্থের দেয়ালের সাথে একটি কোণ উৎপন্ন করে। ৭·৩০ চিত্রে স্পর্শ কোণ θ দেখানো হয়েছে।

কঠিন ও তরলের স্পর্শ বিন্দু হতে বক্র তরল তলে অঙ্কিত স্পর্শক কঠিন বস্তুর সাথে তরলের মধ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে উক্ত কঠিন ও তরলের মধ্যকার স্পর্শ কোণ বলে। চিত্রে θ হলো স্পর্শ কোণ।

স্পর্শ কোণ দুই প্রকার, যথা—

১। সূক্ষ্ম স্পর্শ কোণ (Acute angle of contact) এবং

২। স্থূল স্পর্শ কোণ (Obtuse angle of contact)।

স্পর্শ কোণ 90° অপেক্ষা কম হলে সূক্ষ্ম স্পর্শ কোণ হবে। যে সব তরলের ঘনত্ব কঠিনের ঘনত্ব অপেক্ষা কম সে সব তরল সাধারণত কঠিনকে ভিজায়। এসব ক্ষেত্রে স্পর্শ কোণ সূক্ষ্ম কোণ হবে [চিত্র ৭·৩১ (ক)]। যেমন পানির ঘনত্ব কাচের ঘনত্ব অপেক্ষা কম। পানি কাচকে ভিজায়। এক্ষেত্রে স্পর্শ কোণ সূক্ষ্ম কোণ হবে। সাধারণ পানি এবং কাচের ভিতরকার স্পর্শ কোণ প্রায় 8°। বিশুদ্ধ পানি ও পরিষ্কার কাচের ভিতরকার স্পর্শ কোণ প্রায় শূন্য এবং রূপা ও পানির ভিতরকার স্পর্শ কোণ প্রায় 90°।

আর স্পর্শ কোণ 90° অপেক্ষা বড় হলে স্থূল স্পর্শ কোণ হয়। যে সব তরলের ঘনত্ব কঠিনের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি, সেসব তরল সাধারণত কঠিনকে ভিজায় না। এক্ষেত্রে স্পর্শ কোণ স্থূলকোণ হবে [চিত্র ৭·৩০ (খ)]। যেমন পারদের ঘনত্ব কাচের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি। পারদ কাচকে ভিজায় না। এক্ষেত্রে স্পর্শ কোণ স্থূল কোণ হবে। পারদ এবং কাচের ভিতরকার স্পর্শ কোণ প্রায় 140°।

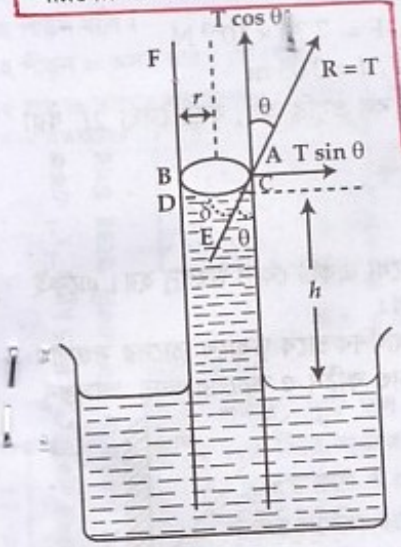
স্পর্শ কোণ যে যে বিষয়ের উপর নির্ভর করে (Factors on which angle of contact depends)

নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর উপর স্পর্শ কোণ নির্ভর করে—

(ক) কঠিন ও তরলের প্রকৃতি।

(খ) তরলের উপরিস্থিত মাধ্যম। যেমন পারদের উপর বায়ু থাকলে কাচ ও পারদের স্পর্শ কোণ যা হবে, পারদের উপর পানি থাকলে কাচ ও পারদের স্পর্শ কোণ ভিন্নতর হবে।

(গ) কঠিন ও তরলের বিশুদ্ধতা। যদি তরল বিশুদ্ধ না হয় এবং কঠিন পরিষ্কার না হয় তবে স্পর্শ কোণ পরিবর্তিত হয়। বিশুদ্ধ পানি ও পরিষ্কার কাচের ভিতরকার স্পর্শ কোণ প্রায় শূন্য। কিন্তু কাচ সামান্য তৈলাক্ত হলে স্পর্শ কোণ বৃদ্ধি পায়; এমন কি 90°-এর বেশি হতেও দেখা যায়।



চিত্র ৭·৩১

স্পর্শ কোণের উপর নির্ভর করে কৈশিক নলে পানির আরোহণের ঘটনা :

কৈশিক নল হলো সরু সুষম যুগ্ম ছিদ্রবিশিষ্ট নল। নিম্নে কৈশিক নলে পানির আরোহণের ঘটনা ব্যাখ্যা করা হলো :

পরীক্ষায় দেখা যায় যে কৈশিক নল পানিতে ডুবালে পানি খানিকটা উপরে ওঠে যায়। আবার কৈশিক নলটিকে পারদে ডুবালে নলের ভেতরে পারদ খানিকটা নিচে নেমে যায়। এর কারণ নিম্নরূপ :

চিত্র ৭·৩১ হতে কাচ ও পানির ক্ষেত্রে প্রতিক্রিয়া বল T-এর ঊর্ধ্বমুখী উপাংশ = T cos θ। স্পর্শ কোণ θ সূক্ষ্মকোণ ($0 < \theta < 90°$) হওয়ায় cos θ-এর মান ধনাত্মক। এছাড়া অনুভূমিক উপাংশ T sin θ নলের দুই পাশে পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়াশীল হওয়ায় পরস্পরের ক্রিয়া নাকচ করে দেয়। ঊর্ধ্বমুখী বল T cos θ এর ক্রিয়ায় পানি কৈশিক নলের ভেতর দিয়ে উপরে ওঠে।

কৈশিক নল পদ্ধতিতে পানির পৃষ্ঠ টান নির্ণয়ের মূল তত্ত্ব হলো $T = \frac{r\rho g\left(h + \frac{1}{3}\right)}{2\cos\theta}$ ... ... (7.29)

এখানে, r = নলের ব্যাসার্ধ, ρ = পানির ঘনত্ব, h = নলের মধ্যে পানি স্তরের উচ্চতা, θ = স্পর্শ কোণ।

কাচ ও পানির ক্ষেত্রে $\theta = 0°$ ধরা যায় এবং কৈশিক নলের ব্যাস ক্ষুদ্র হলে,

$$T = \frac{hr\rho g}{2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.30)$$

চিত্র ৭·৩২-এ কৈশিক নল পারদে ডুবানো দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে স্পর্শকোণ স্থূলকোণ ($90° < \theta < 180°$)। পৃষ্ঠটান ও প্রতিক্রিয়া বলের অভিমুখ থেকে দেখা যায়, যে প্রতিক্রিয়া বলের খাড়া উর্ধ্বমুখী কোনো উপাংশ নেই। খাড়া নিম্নমুখী উপাংশ রয়েছে। এই নিম্নমুখী বলের ক্রিয়ায় কাচনলে পারদ নিচের দিকে খানিকটা নেমে যায়। পারদ নিচে নামার কারণ নিম্নোক্তভাবেও ব্যাখ্যা করা যায়।

যেহেতু θ স্থূলকোণ, সুতরাং $\cos\theta$ ঋণাত্মক। এখন পৃষ্ঠ টানের সমীকরণ (7.29) হতে দেখা যায় যে, $\cos\theta$ ঋণাত্মক হলে সমীকরণের ডানপক্ষ ঋণাত্মক হয়; কিন্তু বামপক্ষের পৃষ্ঠ টান T ধনাত্মক। তাই $\cos\theta$ ঋণাত্মক হলে h ঋণাত্মক হয়। এর অর্থ হল পারদ কাচনলের মধ্যে নিচে নেমে যায়।

- দুই অণুর ভিতর সংসক্তি বল যতদূর পর্যন্ত অনুভূত হয়, তাকে আণবিক পাল্লা বলে।
- কঠিন ও তরলের স্পর্শ বিন্দু হতে বক্র তরল তলে অঙ্কিত স্পর্শক কঠিন বস্তুর সাথে তরলের মধ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে স্পর্শ কোণ বলে।
- পৃষ্ঠটান ও পৃষ্ঠশক্তি উভয়ের মাত্রা সমীকরণ $[MT^{-2}]$
- কৈশিক নলের মধ্যে তরলের উত্থান বা পতনকে কৈশিকতা বলে।
- সান্দ্রতার দরুণ প্রবাহী তার অভ্যন্তরস্থ বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক বেগ রোধ করার চেষ্টা করে।
- ছাতার কাপড়ে বৃষ্টি পড়া, তোয়ালে দিয়ে গা মুছা, চোষ কাগজ দিয়ে পানি শুকানো ইত্যাদি পৃষ্ঠটানের উদাহরণ।
- S.T.P. তে পানির পৃষ্ঠশক্তি বা তল শক্তি $E = 72 \times 10^{-3}\ Jm^{-2}$
- $0 < \theta < 90°$ হলে তরল পদার্থ কোন কঠিন পদার্থকে ভিজাবে

নিজে কর : দুটি বাটির একটিতে পানি এবং অপরটিতে পারদ নাও। এবার হাতে এ... কৈশিক নলে পানি উপরে ওঠে কিন্তু... পারদে প্রবেশ করাও পরে পানিতে প্রবেশ করাও।

কৈশিক নল সাধারণত কাচ জাতীয় পদার্থ দ্বারা তৈরি হয়। কাচ ও পানির অণুসমূহের মধ্যকার সংশক্তি বল অপেক্ষা বৃহত্তর। অপরপক্ষে, কাচ ও পারদের আ... মধ্যকার সংশক্তি বল অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর। তাই কৈশিক নলে পানির আরোহণ ঘটে কিন্তু প...

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কৈশিক নলের ব্যাস 0·2 mm। একে $72 \times 10^{-3}\ Nm^{-1}$ পৃষ্ঠটা... পানিতে ডুবালে নলের কত উচ্চতায় পানি উঠবে?

আমরা জানি,

$$\text{পৃষ্ঠটান}, T = \frac{hr\rho g}{2}$$

$$\text{বা}, h = \frac{2T}{r\rho g} = \frac{2 \times 72 \times 10^{-3}}{10^{-4} \times 10^{3} \times 9·8}$$

$$= 0·1469 \text{ m}$$

এখানে

$r = \frac{0·2}{2} = 0·1 \text{ mm} = 10^{-4}$ m

$T = 72 \times 10^{-3}\ Nm^{-1}$

$\rho = 10^{3}\ kgm^{-3}$

$g = 9·8\ ms^{-2}$

৭·১৭ পৃষ্ঠটানের ব্যবহার
Uses of Surface Tension

দৈনন্দিন জীবনের কতগুলো বাস্তব ঘটনা যা পৃষ্ঠটান দ্বারা প্রভাবিত হয়। তরলের পৃষ্ঠ টানের সাহায্যে এই সকল ঘটনা ব্যাখ্যা করা যায়।

১. পানির তলে পোকামাকড়ের চলাচল :

আমরা পানির উপরিতলে পোকামাকড় চলাফেরা করতে দেখি। এই পোকামাকড় পানির মধ্যে ডুবে না কেন ? এর কারণ কিন্তু পৃষ্ঠটান। আমরা জানি পৃষ্ঠটান নানা কারণে প্রভাবিত হয়—এর মধ্যে অন্যতম একটি কারণ হলো পৃষ্ঠটানজানত পানির উর্ধ্বমুখী বল। পোকামাকড় যখন পানির উপর দিয়ে চলাচল করে তখন এর ওজন (W) নিচের দিকে ক্রিয়াশীল হয়, অপরদিকে পোকামাকড়ের উপর পৃষ্ঠটানজনিত উর্ধ্বমুখী বল (F) উপরের দিকে ক্রিয়াশীল হয়। ...উর্ধ্বমুখী বল (F) এবং ওজন (W) এর মান সমান পৃষ্ঠটানের দরুন পানির উপরিতল নিচের দিকে বেঁকে... হওয়ার কারণেই পোকামাকড় পানির উপরে ভেসে থা...

- নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বুদবুদের অভ্যন্তরীণ অতিরিক্ত চাপ এর ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক।
- **পৃষ্ঠটানের কয়েকটি ঘটনা:** পানির তলে পোকামাকড়ের চলাচল, সাবানের ফেনা, কৈশিকতা, তরলের পৃষ্ঠে সুইয়ের ভেসে থাকা, কর্পূরের পানিতে নাচা, গাছে পানির পরিবহন, ইঞ্জিন বিহীন খেলনা লঞ্চের পানিতে চলা, তেল ঢেলে সমুদ্রের পানিকে শান্ত করা, কলমের নিবে কালির প্রবাহ, পানির পৃষ্ঠে তেলের ছড়িয়ে পড়া, ব্লটিং পেপারের কালি শুষে নেওয়া, তোয়ালে দিয়ে গা মুছা, ছাতার কাপড়ে বৃষ্টি পড়া।

খ. সাবানের ফেনা : ফাঁপা একটি কাঁচনলে... বুদবুদ সৃষ্টি হয়। অথবা কাপড় কাচার সময় কাপ... হতে দেখা যায়। এক্ষেত্রে সাবান পানির পাতলা ও... বুদবুদ ওঠে। এই সাবান বুদবুদের দুটি পৃষ্ঠ থাকে...

বাইরের চাপ অপেক্ষা বেশি বলে বুদ্‌বুদ্‌ প্রসারিত হতে চায়। কিন্তু পর্দার পৃষ্ঠটান একে সঙ্কুচিত করতে চায়। বুদ্‌বুদের সাম্যাবস্থায় এই দুটি বিপরীতমুখী বলের মান সমান হয়। পৃষ্ঠটান অপেক্ষা ভেতরের চাপ বেশি হলে তা ফেটে যাবে।

গ. গাছে পানির পরিবহন : গাছে পানির পরিবহন ব্যাখ্যা করার আগে আমরা কৈশিক নল ও কৈশিকতা কী তা বোঝার চেষ্টা করব। কৈশিক নল হলো সুষম, সূক্ষ্ম ছিদ্রবিশিষ্ট সরু নল। আর কৈশিকতা বলতে এই নলের মধ্যে তরলের ঊর্ধ্বারোহণ বা অবনমনকে বোঝায়। গাছের মূল থেকে শুরু করে কাণ্ড ও শাখা প্রশাখাতে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্র থাকে। এই সকল ছিদ্র কৈশিক নল হিসেবে ক্রিয়া করে। ফলে মাটি থেকে পানি বা জলীয় অংশ এই সরু ছিদ্র পথে কৈশিকতার কারণে মূল থেকে কাণ্ড ও গাছের অন্যান্য অংশে পানির পরিবহন হয় বা পানি ছড়িয়ে পড়ে।

ঘ. তরলের পৃষ্ঠে সূঁচের অবস্থান : পানির উপরিতলে একটি পাতলা কাগজ রেখে তার উপর গ্রিজ মাখানো একটি সূঁচ স্থাপন করলে দেখা যাবে যে, কাগজ পানিতে ডুবে গেছে, কিন্তু সূঁচ পানিতে ভাসছে, তবে পানির তল নিচের দিকে কিছু বেঁকে গেছে। তরলে পৃষ্ঠটান (T) এর দরুন সূঁচের উপর মোট ঊর্ধ্বমুখী বল (F) সূচের ওজন (W)-এর সমান হয় অর্থাৎ $F = W$ হয় এই কারণে সূঁচকে পানিতে ভাসতে দেখা যায়।

হাতে কলমে কর : একটি সরু কাচনল নাও। এরপর কাচনলটিকে একটি বার্নারের উপর ধর। নলের প্রান্ত গলে যাবে এবং প্রান্ত গলে গিয়ে গোলাকার আকার ধারণ করে কেন ?

সরু কাচ নলের প্রান্তে তাপ দিলে প্রান্তটি গোলাকার হয়ে যায়। কাচ নলের প্রান্তকে যখন উত্তপ্ত করা হয় ঐ প্রান্তের কাচ তখন গলে যায়। গলে যাওয়া কাচ তরলের মতো আচরণ করে এবং পৃষ্ঠটানের কারণে ন্যূনতম পৃষ্ঠ ক্ষেত্রফল অর্জন করতে চায়। ফলে নলের প্রান্ত গোলাকার হয়ে যায়।

উচ্চতর দক্ষতাভিত্তিক নমুনার গাণিতিক উদাহরণ

১। নন্দন পার্কের একটি দোলনায় ঝুলতে লোহার তার ব্যবহার করা হয়েছে। কয়েকজন ছেলে-মেয়ে দোলনায় যখন দোল খাচ্ছিল তখন এক বাচ্চার অভিভাবক লক্ষ করেন যে, ঝুলন তার 1 মিটার থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 1·01 মিটার হচ্ছে এবং তারটির ব্যাস পরিমাপ করে দেখে ব্যাস হ্রাস পেয়েছে।

(ক) পয়সনের অনুপাত 0·2 হলে দোলনার তারের ব্যাস কতখানি হ্রাস পায় ?

(খ) স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে দেড়গুণ হলে ব্যাসটি কীরূপ পরিবর্তন হবে—বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি, $\sigma = \dfrac{\Delta r\, L_0}{r\, \Delta L}$

বা, $\dfrac{\Delta r}{r} = \dfrac{\sigma \times \Delta L}{L_0} = \dfrac{0{\cdot}2 \times 0{\cdot}01}{1} = 0{\cdot}002$

$\therefore \quad \Delta r = 0{\cdot}002 \times r$

যদি তারের ব্যাসটি আদি ব্যাসার্ধের 0·2% হ্রাস পাবে।

এখানে, $L_0 = 1\,m$

$\Delta l = 1{\cdot}01 - 1 = 0{\cdot}01\,m$

$\sigma = 0{\cdot}2$

$\dfrac{\Delta r}{r} = ?$

(খ) স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে 1·5 হলে ব্যাসার্ধ হ্রাস পাবে।

যদি তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেয়ে 1·5 গুণ হয় তাহলে

$\Delta L = 1{\cdot}5\, L_0 - L_0 \quad \therefore \quad \Delta L = 0{\cdot}5\, L_0$

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পয়সনের অনুপাত

$\sigma = \dfrac{\Delta r\, L_0}{r\, \Delta L}$

বা, $\dfrac{\Delta r}{r} = \dfrac{\sigma \Delta L}{L_0} = \sigma \times \dfrac{0{\cdot}5 L_0}{L_0}$

$\therefore \quad \dfrac{\Delta r}{r} = \sigma \times 0{\cdot}5 = \sigma \times \dfrac{1}{2}$

$\therefore$ তারের ব্যাসার্ধ $\dfrac{\sigma}{2}$ অনুপাতে হ্রাস পাবে।

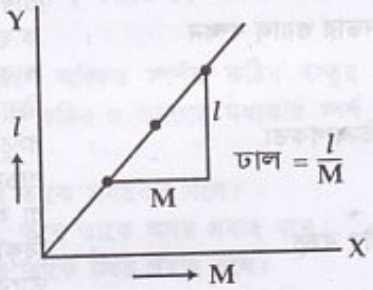
২। সোমা পদার্থবিজ্ঞান ব্যবহারিক ক্লাসে ভার্নিয়ার পদ্ধতিতে একটি তারের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নির্ণয় করছিল। সে দেখল 1 বর্গ মিমি প্রস্থচ্ছেদের একটি ইস্পাতের তারে স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে 2×10^5 N বল প্রয়োগে তারের দৈর্ঘ্য আদি দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ হলো। পরীক্ষা শেষে তার শিক্ষক গ্রাফ কাগজে পরীক্ষণটি উপস্থাপন করতে বলেন।

সোমা কীভাবে গ্রাফ কাগজটি কাজে লাগিয়েছিল ? ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : সোমা গ্রাফটি ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নির্ণয় পরীক্ষা কাজে ব্যবহার করতে পারে। তারটিতে M ভরের ভার দেবার ফলে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি (l) পেয়েছে।

কাজেই ইয়ং-এর গুণাঙ্ক $Y = \frac{MgL}{\pi r^2 l}$ ... ... (1)

সমীকরণ $\frac{M}{l}$ এর মান নির্ণয়ের জন্য গ্রাফ কাগজে x অক্ষে M এবং Y অক্ষে l নিয়ে লেখচিত্র অংকন করলে লেখচিত্রটি মূল বিন্দুগামী একটি সরলরেখা হবে। এই সরলরেখার ঢাল থেকে $\frac{M}{l}$ নির্ণয় করা যায়।



এভাবে সে গ্রাফ কাগজটি কাজে লাগিয়েছিল।

৩। দুইটি তারের দৈর্ঘ্য সমান কিন্তু ব্যাস যথাক্রমে 2 mm ও 5 mm। তার দুইটিকে সমান বলে টানলে প্রথমটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি দ্বিতীয়টির তিনগুণ হয়। প্রথম তারের পয়সনের অনুপাত 0·5। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) যখন প্রথম তারের 10% দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি ঘটে তখন তারের ব্যাসার্ধ কতটুকু হ্রাস পায় ?

(খ) উদ্দীপকের তার দুইটির মধ্যে কোনটি বেশি স্থিতিস্থাপক? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

(ক) আমরা জানি, পয়সনের অনুপাত,

$$\sigma = \frac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{d/D}{l/L} = \frac{dL}{Dl}$$

বা, $d = \frac{\sigma D l}{L}$

প্রথম তারের ক্ষেত্রে,

$$d_1 = \frac{\sigma_1 D_1 l_1}{L} = \frac{0{\cdot}5 \times 2 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}1\,L}{L}$$

$$= 1 \times 10^{-4}\,\text{m}$$

এখানে,

$L_1 = L_2 = L$

$D_1 = 2\,\text{mm} = 2 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$D_2 = 5\,\text{mm} = 5 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$l_1 = 3l_2$

$l_1 = 10\%\,L = 0{\cdot}1L$

$d_1 = ?$

$\sigma_1 = 0{\cdot}5$

(খ) আবার, ইয়ং-এর গুণাঙ্ক

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

$\therefore$ ১ম তারের ক্ষেত্রে, $Y_1 = \frac{F_1/A_1}{l_1/L_1} = \frac{F_1 \times L_1}{A_1 l_1} = \frac{FL}{A_1 l_1}$

এবং ২য় তারের জন্য, $Y_2 = \frac{F_2/A_2}{l_2/L_2} = \frac{F_2 \times L_2}{A_2 l_2} = \frac{FL}{A_2 l_2}$

$\therefore \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{FL/A_1 l_1}{FL/A_2 l_2} = \frac{A_2 l_2}{A_1 l_1} = \frac{\pi r_2^2 \times l_2}{\pi r_1^2 \times 3l_2}$

বা, $\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{(2{\cdot}5 \times 10^{-3})^2}{(1 \times 10^{-3})^2 \times 3} = 2{\cdot}08$

এখানে,

$L_1 = L_2 = L$

$F_1 = F_2 = F$

$l_1 = 3l_2$

$r_1 = \frac{2 \times 10^{-3}}{2}\,\text{m} = 1 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$r_2 = \frac{5 \times 10^{-3}}{2}\,\text{m} = 2{\cdot}5 \times 10^{-3}\,\text{m}$

অর্থাৎ, $Y_1 > Y_2$. সুতরাং প্রথম তার দ্বিতীয় তার অপেক্ষা অধিক স্থিতিস্থাপক।

সার-সংক্ষেপ

আয়নিক বন্ধন	:	ধাতব ও অধাতব মৌলের রাসায়নিক বিক্রিয়াকালে ধাতুর পরমাণুর বহিস্তর থেকে অধাতু পরমাণুর বহিস্তরে এক বা একাধিক ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হওয়ার মাধ্যমে সৃষ্ট ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের মধ্যে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ দ্বারা যে বন্ধন গঠিত হয়, তাকে আয়নিক বন্ধন বলে।
সমযোজী বন্ধন	:	দুটি পরমাণুর মধ্যকার ইলেকট্রন শেয়ারের দ্বারা যে বন্ধন গঠিত হয়, তাকে সমযোজী বন্ধন বলে।
ধাতব বন্ধন	:	ধাতুর অণুতে যে বন্ধন দেখা যায়, তাই ধাতব বন্ধন। ধাতব অণু এমন গঠনকে প্রাধান্য দেয় যাতে একটি পরমাণুর চারপাশে অধিক সংখ্যক পরমাণু থাকে।
ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন	:	কাছাকাছি অবস্থিত পরমাণুসমূহের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে একটি দুর্বল আকর্ষণ বল সৃষ্টি হয়। এই ক্রিয়াকে ভ্যানডার ওয়াল ক্রিয়া বলে। ভ্যানডার ওয়াল ক্রিয়ার ফলে যে বন্ধন সৃষ্টি হয় তাকে ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন বলে।
স্থিতিস্থাপকতা	:	বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় তার আকার বা আয়তন বা উভয়েরই পরিবর্তনের প্রচেষ্টাকে পদার্থের যে ধর্ম বাধা দেয় এবং প্রযুক্ত বল অপসারিত হলে পূর্বের আকার বা আয়তন ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপকতা বলে।
নমনীয় বস্তু	:	বিকৃতিকারী বল অপসারণের পর যদি বস্তুর অবস্থার পুনঃপ্রাপ্তি না ঘটে তবে তাকে নমনীয় বস্তু বলে।
পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু	:	কোনো বস্তুর ওপর বল প্রয়োগ করার পর ঐ বল অপসারণ করা হলে বস্তুটি যদি পুরাপুরি পূর্বের অবস্থা ফিরে পায় তবে তাকে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু বলে।
পূর্ণ দৃঢ় বস্তু	:	কোনো বস্তুর উপর যে কোনো পরিমাণ বল প্রয়োগ করে যদি তার বিকৃতি বা কায়িক পরিবর্তন ঘটানো না যায়, তবে ঐ বস্তুকে পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলে।
স্থিতিস্থাপক সীমা	:	প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের যে সর্বোচ্চ বা উর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কোনো বস্তু পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে তাকে ঐ বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমা বলে।
অসহ ভার বা ওজন	:	ন্যূনতম যে নির্দিষ্ট ভরের ক্রিয়ায় কোনো বস্তু ভেঙ্গে বা ছিঁড়ে যায় তাকে অসহ ভার বা ওজন বলে।
অসহ পীড়ন	:	কোনো একটি বস্তু একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত অসহ ভারকে অসহ পীড়ন বলে।
বিকৃতি	:	বল প্রয়োগে কোনো একটি বস্তুর একক মাত্রায় যে পরিবর্তন ঘটে তাকে বিকৃতি বলে।
পীড়ন	:	কোনো একটি বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের ওপর লম্বভাবে ক্রিয়ারত (ক্রিয়ামূলক বা প্রতিক্রিয়ামূলক) বিকৃতি সৃষ্টিকারী বলের মানকে পীড়ন বলে।
হুকের সূত্র	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর উপর প্রযুক্ত পীড়ন তার বিকৃতির সমানুপাতিক।
স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোনো বস্তুর পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে বস্তুর উপাদানের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলে।
ইয়ং-এর গুণাঙ্ক	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। এ ধ্রুব রাশিকে বস্তুর উপাদানের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক বলে।
কৃন্তন বা দৃঢ়তা বা কাঠিন্যের গুণাঙ্ক	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর কৃন্তন পীড়ন ও কৃন্তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। এই ধ্রুব রাশিকে দৃঢ়তার বা কাঠিন্যের বা মোচড় গুণাঙ্ক বলে।
আয়তন গুণাঙ্ক	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর আয়তন পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। এ ধ্রুব রাশিকে বস্তুর উপাদানের আয়তন গুণাঙ্ক বলে।
সংনম্যতা	:	কোনো বস্তুর চারদিক থেকে সমান চাপ প্রয়োগ করলে বস্তুটির আয়তন কমে যায়। বস্তুর এ ধর্মকে সংনম্যতা বলে।
পয়সনের অনুপাত	:	স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর পার্শ্ব বিকৃতি ও দৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। একে পয়সনের অনুপাত বলে।
সান্দ্রতা	:	যে ধর্মের ফলে তরল তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে তাকে তরলের সান্দ্রতা বলে।

সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বা সান্দ্রতাঙ্ক	:	তরলে গতিবেগের একক নতিমাত্রা বজায় রাখতে প্রতি একক ক্ষেত্রেফলে যে স্পর্শিনী বল প্রয়োজন তাকে ঐ তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক বা সান্দ্রতাঙ্ক বলে।
পৃষ্ঠ টান	:	কোনো একটি তরলের তলের ক্ষেত্রফল এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ঐ তরলের পৃষ্ঠ টান বলে।
সংশক্তি বল	:	একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে সংশক্তি বা সংযুক্তি বল বলে।
আসঞ্জন বল	:	বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে আসঞ্জন বল বলে।
পৃষ্ঠ শক্তি	:	কোনো একটি তরলের ক্ষেত্রফল এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে ঐ তলের পৃষ্ঠ শক্তি বলে।
স্পর্শ কোণ	:	কঠিন ও তরলের স্পর্শ বিন্দু হতে তরল তলে অঙ্কিত স্পর্শক কঠিন বস্তুর সাথে তরলের মধ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে ঐ কঠিন ও তরলের মধ্যকার স্পর্শ কোণ বলে।
সমপ্রবাহ	:	যদি সর্বক্ষণ প্রবাহীর বেগ ধ্রুব থাকে, তবে তাকে সমপ্রবাহ বলে।
অসম প্রবাহ	:	যদি সর্বক্ষণ প্রবাহীর বেগ সমান না থাকে, তবে তাকে অসম প্রবাহ বলে।
স্থির প্রবাহ	:	যদি সর্বত্র প্রবাহীর বেগ সমান থাকে, তবে তাকে স্থির প্রবাহ বলে।
অস্থির প্রবাহ	:	যদি সর্বত্র প্রবাহীর বেগ সমান না থাকে, তবে তাকে অস্থির প্রবাহ বলে।
সমরেখ প্রবাহ	:	যদি প্রবাহীর বিভিন্ন স্তর পরস্পরের সমান্তরালে চলে তবে তাকে সমরেখ প্রবাহ বলে।
বিক্ষিপ্ত প্রবাহ	:	যদি প্রবাহীর স্তর পরস্পরের সমান্তরালে না চলে, বরং গতিতে আবর্ত বা ঘূর্ণন সৃষ্টি করে তবে তাকে বিক্ষিপ্ত প্রবাহ বলে।
প্রান্তিক বেগ	:	কোনো তরলের মধ্য দিয়ে গতিশীল কোনো বস্তুর স্থির বেগকে প্রান্তিক বেগ বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। কোনো পদার্থের অণুগুলির মধ্যে নিট বল শূন্য হয় যখন— [ঢা. বো. ২০১৫]

ক $r = r_0$
খ $r < r_0$
গ $r > r_0$
ঘ $r \gg r_0$

২। আন্তঃআণবিক বল সবচেয়ে বেশি—

ক তরলের অণুর মধ্যে
খ গ্যাসের অণুর মধ্যে
গ কঠিন পদার্থের অণুর মধ্যে
ঘ কঠিন, তরল ও গ্যাসের মধ্যে একই মানের হয়

৩। বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে কী বল বলে ?

ক আসঞ্জন বল
খ সংসক্তি বল
গ পৃষ্ঠ টান
ঘ পৃষ্ঠ শক্তি

৪। কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) উচ্চ আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে কঠিন পদার্থের অণুগুলো দৃঢ় সংবন্ধ ও ঘন সন্নিবিষ্ট অবস্থায় থাকে
(ii) তরল অবস্থায় পদার্থের কণাসমূহ কম্পিত, আবর্তিত ও নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে স্থানান্তরিত হতে পারে
(iii) গ্যাসীয় অবস্থায় অণুসমূহ সুশৃঙ্খল অবস্থায় থাকে

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

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

৫। পরমাণুর মধ্যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন স্থানান্তরণের দ্বারা যে বন্ধন তৈরি হয় তাকে কী বলে?

ক ধাতব বন্ধন
খ সমযোজী বন্ধন
গ আয়নিক বন্ধন
ঘ ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন

৬। পদার্থের রাসায়নিক বন্ধনের মধ্যে সবচেয়ে দুর্বল বন্ধন—
ⓚ আয়নিক বন্ধন
ⓛ সমযোজী বন্ধন
ⓜ ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন
ⓝ ধাতব বন্ধন

৭। নিষ্ক্রিয় গ্যাসের অণুর মধ্যকার বন্ধন—
ⓚ আয়নিক বন্ধন
ⓛ সমযোজী বন্ধন
ⓜ ভ্যানডার ওয়ালস বন্ধন
ⓝ ধাতব বন্ধন

৮। সিলিকন অণুর মধ্যে কী ধরনের বন্ধন রয়েছে?
ⓚ আয়নিক বন্ধন
ⓛ সমযোজী বন্ধন
ⓜ ধাতব বন্ধন
ⓝ ভ্যানডার ওয়ালস বন্ধন

৯। সংশক্তি বল হচ্ছে—
ⓚ বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল
ⓛ একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল
ⓜ একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণ বল
ⓝ বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণ বল

১০। সোডিয়াম ক্লোরাইডের মধ্যে কোন বন্ধন রয়েছে?
(ক) ধাতব বন্ধন
(খ) সমযোজী বন্ধন
(গ) আয়নিক বন্ধন
(ঘ) ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন

১১। দুটি পরমাণুর মধ্যে সমসংখ্যক ইলেকট্রন শেয়ার করে যে বন্ধন সৃষ্টি হয় তাকে কী বলে ?
(ক) আয়নিক বন্ধন
(খ) সমযোজী বন্ধন
(গ) ধাতব বন্ধন
(ঘ) হাইড্রোজেন বন্ধন

১২। পীড়নের মাত্রা সমীকরণ—
(ক) $[MLT^2]$
(খ) $[ML^{-1}T^{-1}]$
(গ) $[ML^{-1}T^{-2}]$
(ঘ) $[MLT^3]$

১৩। বিকৃতির একক—
(ক) Nm^{-1}
(খ) Nm^{-2}
(গ) $Nkg^{-2}m^2$
(ঘ) একক নেই

একটি তারের দৈর্ঘ্য 3m, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $2mm^2$ এবং অসহ পীড়ন $2.45 \times 10^8\ Nm^{-2}$। নিচের ১৪ ও ১৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৪। তারটির অসহ ওজন কোনটি ?
(ক) $3.6 \times 10^3\ N$
(খ) $4.9 \times 10^5\ N$
(গ) $4.9 \times 10^{-2}\ N$
(ঘ) $4.9 \times 10^2\ N$

১৫। একই উপাদানের তৈরি ২য় তারের দৈর্ঘ্য ১ম তারের দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ কিন্তু ব্যাসার্ধ ১ম তারের অর্ধেক হলে ও সমান ভার প্রয়োগ করলে ২য় তার ১ম তারের দৈর্ঘ্য প্রসারণের অনুপাত হবে—
ⓚ $\frac{1}{2}$
ⓛ 2
ⓜ 8
ⓝ 10

১৬। স্থিতিস্থাপকতার সীমার মধ্যে সুষম প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট কোনো একটি তারের—
(i) দৈর্ঘ্য বিকৃতি বাড়লে পার্শ্ব বিকৃতি বাড়ে
(ii) দৈর্ঘ্য বিকৃতি বাড়লে পার্শ্ব বিকৃতি কমে
(iii) পার্শ্ব বিকৃতি দৈর্ঘ্য বিকৃতির সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক?
ⓚ i
ⓛ ii
ⓜ i ও iii
ⓝ ii ও iii

১৭। একক দৈর্ঘ্যের দৈর্ঘ্য পরিবর্তনকে কী বলে ?
(ক) কৃন্তন বিকৃতি
(খ) দৈর্ঘ্য বিকৃতি
(গ) দৈর্ঘ্য পীড়ন
(ঘ) কৃন্তন পীড়ন

১৮। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে আকার পীড়ন ও আকার বিকৃতির অনুপাত হচ্ছে— [ঢা. বো. ২০১৫]
ⓚ ইয়ং-এর গুণাঙ্ক
ⓛ আয়তন গুণাঙ্ক
ⓜ দৃঢ়তার গুণাঙ্ক
ⓝ পয়সনের অনুপাত

1m দীর্ঘ কোনো তারের ব্যাস 5 mm। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বল প্রয়োগ করায় এর ব্যাস 0.01 mm হ্রাস পায় এবং দৈর্ঘ্য 2 cm বৃদ্ধি পায়।
নিচের কোনটি সঠিক?

১৯। পয়সনের অনুপাত হলো—
ⓚ 0.1
ⓛ 0.2
ⓜ 0.5
ⓝ 0.3

২০। পয়সনের অনুপাতের ক্ষেত্রে—

(i) $\sigma = \frac{-L_0 \Delta r}{r \Delta L}$

(ii) পয়সন অনুপাতের মান -1 থেকে $\frac{1}{2}$ এর মধ্যে

(iii) পয়সন অনুপাতের কোনো মাত্রা ও একক নেই

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i
ⓚ i ও ii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২১। পয়সনের অনুপাতের সীমা কোনটি ?

ⓚ 1 হতে 2 এর মধ্যে
ⓚ -1 হতে $+1$ এর মধ্যে
ⓖ -1 হতে $\frac{1}{2}$ এর মধ্যে
ⓖ $-\frac{1}{2}$ হতে 1 এর মধ্যে

২২। সান্দ্রতা গুণাঙ্কের ক্ষেত্রে—

(i) $\eta = \frac{\text{বল} \times \text{দূরত্ব}}{\text{ক্ষেত্রফল} \times \text{বেগ}}$

(ii) একক = নিউটন-সে./মিটার^2

(iii) $[\eta] = [ML^{-2}T^{-2}]$

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i
ⓚ i ও ii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৩। কোনো বস্তুর চারদিক থেকে সমান চাপ প্রয়োগ করলে বস্তুটির আয়তন কমে যায়। বস্তুর এ ধর্মকে কী বলে ?

(ক) আয়তন পীড়ন
(খ) আয়তন বিকৃতি
(গ) সংনম্যতা
(ঘ) আয়তন গুণাঙ্ক

২৪। যদি প্রবাহীর বিভিন্ন স্তর পরস্পর সমান্তরালে চলে তবে তাকে — বলে।

(ক) স্থির প্রবাহ
(খ) বিক্ষিপ্ত প্রবাহ
(গ) সম প্রবাহ
(ঘ) সমরেখ প্রবাহ

২৫। বিক্ষিপ্ত প্রবাহের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) প্রবাহীর স্তরগুলি পরস্পর সমান্তরাল হয় না
(ii) বেগ বেশি হলে গতিরেখাগুলি ঘন হয়ে যায়
(iii) বিক্ষিপ্ত প্রবাহে চলমান প্রবাহীর কণাগুলির বেগ ভিন্নতর

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৬। 200 mm ব্যাসার্ধের একটি গোলক কোনো তরলের ভেতর দিয়ে $2.1 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$ প্রান্ত বেগ নিয়ে পড়ছে। তরলের সান্দ্রতাঙ্ক $0.003\ Nm^{-2}$ হলে সান্দ্র বল কত ?

(ক) 2.37×10^{-4} N
(খ) 3.37×10^{-4} N
(গ) 2.37×10^{4} N
(ঘ) 3.37×10^{4} N

২৭। যে ধর্মের ফলে তরল তার বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে তাকে তরলের কী বলে ?

(ক) সান্দ্রতা বল
(খ) সান্দ্রতা
(গ) সান্দ্রতাঙ্ক
(ঘ) পৃষ্ঠ টান

২৮। তাপমাত্রা ও চাপের সঙ্গে সান্দ্রতার সম্পর্ক হলো—

(i) চাপ বৃদ্ধি পেলে তরলের সান্দ্রতা বাড়ে
(ii) তাপমাত্রা বাড়লে তরলের সান্দ্রতা কমে
(iii) গ্যাসের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক তার পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৯। প্রান্তিক বেগের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য—

(i) প্রান্তিক বেগ কোনো স্থানে সান্দ্রতাঙ্কের সমানুপাতিক
(ii) এই বেগ বস্তু ও তরলের ঘনত্বের সমানুপাতিক
(iii) পড়ন্ত গোলকের ব্যাসার্ধের বর্গের সমানুপাতিক

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

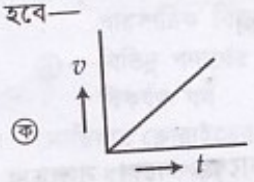
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

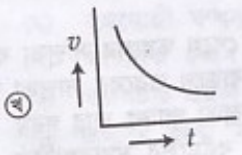
উদ্দীপকটি পড়ে পরবর্তী দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও :
2×10^{-4} m ব্যাসার্ধের একটি লোহার বল কোনো তরলের ভিতর দিয়ে কিছুক্ষণ পড়ার পর 4×10^{-2} ms^{-1} ধ্রুববেগ নিয়ে পড়তে থাকে। লোহা ও তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে 7.8×10^3 kgm^{-3} এবং 10^3 kgm^{-3}।

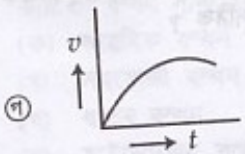
৩০। তরলের সান্দ্রতাংক হবে— [ঢা. বো. ২০১৫]
ক 1.5×10^{-2} Nsm^{-2}
খ 1.5×10^{-2} $Ns^{-1}m^{-2}$
গ 6.7×10^{-2} Nsm^{-2}
ঘ 6.7×10^{-2} $Ns^{-1}m^{-2}$

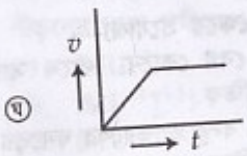
৩১। 1.87×10^3 kg m^{-3} ঘনত্বের তরলের মধ্য দিয়ে লোহার বলটি পড়লে দ্বিতীয় তরলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক প্রথম তরলের কত গুণ হবে ? [ঢা. বো. ২০১৫]
ক 4
খ 3
গ 2
ঘ প্রায় সমান

৩২। একটি তরলের মধ্যে নিরেট গোলাকার বস্তুকে ফেলে দিলে সময়ের সাথে বেগের পরিবর্তন হবে—

ক 

খ 

গ 

ঘ 

৩৩। নিচের কোনটি সঠিক নয় ?
(ক) পৃষ্ঠ টানের কারণে বৃষ্টির ফোঁটা গোলাকার হয়
(খ) পৃষ্ঠ টানের কারণে কৈশিক নলে পানি উপরে ওঠে
(গ) পৃষ্ঠ টানে তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করে
(ঘ) পৃষ্ঠ টান তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সংকুচিত করে

৩৪। যদি স্পর্শ কোণ 90° এর কম হয়, তবে কৈশিক নলে তরলের অবস্থা কেমন হবে ?
(ক) উপরে উঠবে
(খ) নিচে নামবে
(গ) উপরে উঠবে বা নিচে নামবে
(ঘ) অপরিবর্তিত থাকবে

৩৫। স্পর্শ কোণ নির্ভর করে—
(i) কঠিন ও তরলের প্রকৃতির ওপর
(ii) তরলের উপরিস্থিত মাধ্যমের ওপর
(iii) কঠিন ও তরলের বিশুদ্ধতার ওপর
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i
খ i ও ii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩৬। কাচের একটি কৈশিক নলে পানি ভরা হলো। কৈশিক নলে পানির উপর কাচ কর্তৃক প্রযুক্ত টানের উপাংশসমূহের ক্ষেত্রে—
(i) অনুভূমিক উপাংশগুলো একটি বৃত্তের কেন্দ্র হতে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখে ক্রিয়া করে
(ii) উর্ধ্বমুখী উল্লম্ব উপাংশগুলো পরস্পরকে নাকচ করে না
(iii) অনুভূমিক উপাংশগুলো পরস্পরকে নাকচ করে দেয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩৭। 25°C তাপমাত্রায় কোন তরলের উপরিতল থেকে 0.08 m লম্বা একটি হালকা অনুভূমিক তারকে 4.32×10^{-3} N বলে টেনে উঠানো হলে। তরলের পৃষ্ঠটান কত নিউটন/ মিটার হবে?
ক 1.79×10^{-5}
খ 17.9×10^{-5}
গ 1.89×10^{-5}
ঘ 2.7×10^{-2}

৩৮। যখন পানিতে কিছু ডিটারজেন্ট মেশানো হয় তখন এর পৃষ্ঠ টান—
ক অপরিবর্তিত থাকে
খ বৃদ্ধি পায়
গ হ্রাস পায়
ঘ হ্রাসও পেতে পারে, বৃদ্ধিও পেতে পারে

৩৯। দেওয়া আছে—

(i) পৃষ্ঠ টান প্রবাহীর একটি বিশেষ ধর্ম

(ii) সান্দ্রতা প্রবাহীর একটি বিশেষ ধর্ম

(iii) কোনো তরলের পৃষ্ঠ শক্তি পৃষ্ঠ টানের সমান

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚ ii ও iii

ⓖ i ও iii

ⓖ i, ii ও iii

৪০। যদি স্পর্শ কোণ 90°-এর কম হয়, তবে তরলের পৃষ্ঠ কেমন হবে ?

(ক) উত্তল

(খ) অবতল

(গ) সমতলাবতল

(ঘ) সমতলোত্তল

পৃষ্ঠ হবে—

(ক) উত্তল

(খ) অবতল

(গ) সমতলাবতল

(ঘ) সমতলোত্তল

৪২। পৃষ্ঠ টানের ক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য হলো—

(i) পৃষ্ঠ টান তরল পৃষ্ঠকে সংকুচিত করে

(ii) সংকট তাপমাত্রায় পৃষ্ঠ টান শূন্য হয়

(iii) তরলের মুক্ত তলের সাথে অন্য কোনো বস্তুর সংযুক্তি হলে পৃষ্ঠ টান বৃদ্ধি পায়

নিচের কোন্‌টি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚ i ও iii

ⓖ ii ও iii

ⓖ i, ii ও iii

৪৩। পৃষ্ঠ টানের মাত্রা সমীকরণ হলো—

(ক) $[ML^{-1}T^{-1}]$

(খ) $[ML^{-1}]$

(গ) $[MT^{-1}]$

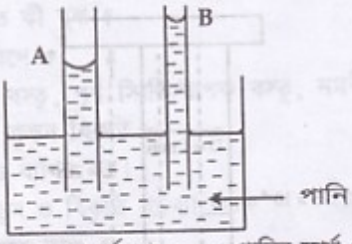
(ঘ) $[MT^{-2}]$

উত্তর :

১। ক	২। গ	৩। ক	৪। ক	৫। গ	৬। গ	৭। গ	৮। খ	৯। খ	১০। গ
১১। খ	১২। গ	১৩। ঘ	১৪। ঘ	১৫। ক	১৬। খ	১৭। খ	১৮। গ	১৯। ক	২০। ঘ
২১। গ	২২। খ	২৩। গ	২৪। ঘ	২৫। গ	২৬। ক	২৭। খ	২৮। ঘ	২৯। গ	৩০। ক
৩১। ঘ	৩২। ঘ	৩৩। গ	৩৪। ক	৩৫। ঘ	৩৬। খ	৩৭। ঘ	৩৮। গ	৩৯। ঘ	৪০। খ
৪১। ক	৪২। ক	৪৩। ঘ							

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১।



[চিত্রে A নলের ব্যাসার্ধ 0·4 mm এবং B নলের ব্যাসার্ধ 0·2 mm। পানির স্পর্শ কোণ 2°]

(ক) কৈশিকতা কী ?

(খ) নলের মধ্য দিয়ে পানি ওপরে ওঠে কেন ?

(গ) B নলে পানির উচ্চতা বের কর।

(ঘ) A ও B নলে পানির পৃষ্ঠ টান কি আলাদা ? নল দুটিতে পানির উচ্চতার তারতম্যের কারণ বিশ্লেষণ কর।

২। একটি কাঁচের লম্বা সিলিন্ডারে 0·004 $kgm^{-1}s^{-1}$ সান্দ্রতাঙ্কবিশিষ্ট তরল আছে। 3 mm ব্যাসার্ধের একটি রাবারের বলকে সিলিন্ডারের তলদেশ থেকে ছেড়ে দেয়ায় সেটি 22×10^{-2} ms^{-1} প্রান্ত বেগে ওপরে উঠল।

(ক) সান্দ্রতা কী ?

(খ) রাবারের বলটি কী ছেড়ে দেয়ার সঙ্গে সঙ্গে প্রান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে ? ব্যাখ্যা কর।

(গ) তরলটির সান্দ্র বল নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকের আলোকে প্রান্ত বেগের সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

৩। একই উপাদান দিয়ে তৈরি সমান ব্যাসবিশিষ্ট দুটি কাঁচের টিউবে দুটি ভিন্ন তরল নেয়া হলো। তরল ভর্তি টিউব দুটি উপুড় করায় ১ম তরলের ১ম ফোঁটা নিচে পড়তে সময় নিল 1 সেকেন্ড এবং ২য় তরলের ১ম ফোঁটা পড়তে সময় নিল 3 সেকেন্ড।

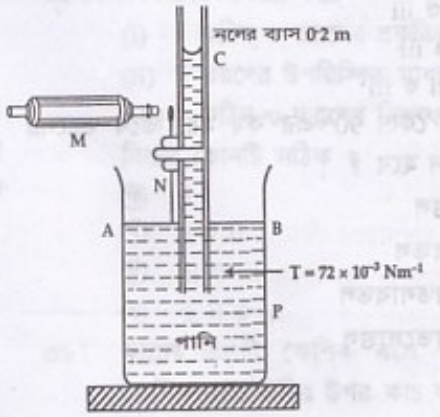
(ক) সংশক্তি বল কী ?

(খ) সান্দ্রতা কেন প্রবাহী পদার্থে সৃষ্টি হয় ?

(গ) স্টোক্‌সের সূত্রের সাহায্যে সান্দ্রতা সহগ নির্ণয় কর।

(ঘ) ১ম তরলের তুলনায় ২য় তরল নিচে পড়তে কেন বেশি সময় নিচ্ছে—ব্যাখ্যা কর।

৪।



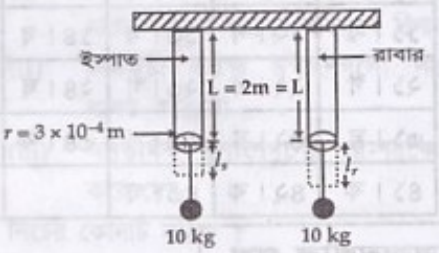
(ক) প্রান্তিক বেগ কী ?

(খ) সান্দ্রতা গুণাঙ্ক 1 Nsm^{-2} বলতে কী বোঝায় ?

(গ) চিত্রের নলটির কত উচ্চতায় পানি উঠবে ? নির্ণয় কর।

(ঘ) পানির পরিবর্তে অন্য যে কোনো তরল ব্যবহার করে কীভাবে উক্ত তরলের পৃষ্ঠ টান নির্ণয় করা যায় ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৫। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক = $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$



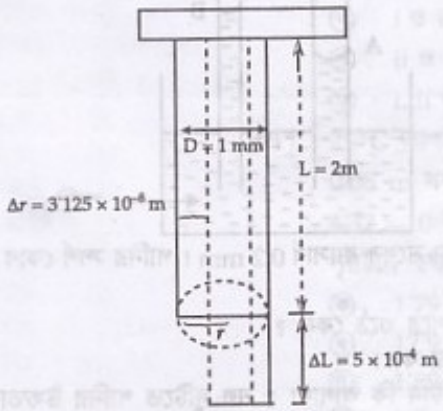
(ক) পয়সনের অনুপাত কী ?

(খ) হুকের সূত্রটি ব্যাখ্যা কর।

(গ) চিত্রে প্রদত্ত উপাত্ত থেকে ইস্পাত তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

(ঘ) "ইস্পাত রাবারের চেয়ে বেশি স্থিতিস্থাপক"—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও।

৬।



পয়সনের অনুপাত, $\sigma = -\frac{L_0 \Delta r}{r \Delta L}$ ..... (1)

(ক) স্থিতিস্থাপক সীমা কী ?

(খ) ইস্পাতের ইয়ং-এর মানাঙ্ক 2×10^{11} Nm^{-2} বলতে কী বোঝায় ?

(গ) চিত্রের তারটির উপাদানের পয়সনের অনুপাত নির্ণয় কর।

(ঘ) পয়সনের অনুপাত $\sigma = -\frac{L_0 \Delta r}{r \Delta L}$। সমীকরণটির গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও।

৭। ল্যাবরেটরীতে সার্লির পদ্ধতিতে দুইজন ছাত্রকে যথাক্রমে 0·6 mm ও 0·5mm ব্যাসের এবং L দৈর্ঘ্যের দুটি ইস্পাতের তারের ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে বলা হলো। যথাযথ সতর্কতা অবলম্বনসহ ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নির্ণয় করার পর তারা দেখল তাদের ফলাফল অভিন্ন।

(ক) পীড়ন কী ?

(খ) পয়সনের অনুপাত 0·3 বলতে কী বুঝায় ?

(গ) তার দুটির ইয়ং-এর গুণাঙ্ক 2×10^{11} Nm^{-2}। ১ম তারের দৈর্ঘ্য 15% বৃদ্ধি করতে প্রযুক্ত পীড়ন নির্ণয় কর।

(ঘ) যেহেতু তার দুটির ব্যাস ভিন্ন সেহেতু ছাত্র দুইজন কর্তৃক নির্ণীত ইস্পাতের তার দুটির ইয়ং-এর গুণাঙ্ক কী আলাদা হওয়া উচিত ছিল—তোমার উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দেখাও।

৮। 10^{-6} m^2 প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং 1m দৈর্ঘ্যের একটি ইস্পাতের তারে 10^4 N বল প্রয়োগ করায় তারের দৈর্ঘ্য 5% বৃদ্ধি পেল।

(ক) স্থিতিস্থাপক বিভব শক্তি কী ?

(খ) পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু বলতে কী বুঝায় ?

(গ) ইস্পাতের তারটির ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(ঘ) ইস্পাতের পরিবর্তে একই ব্যাসার্ধের এবং একই দৈর্ঘ্যের তামার তার ব্যবহার করলে ইয়ং-এর গুণাঙ্কের মান পরিবর্তন হবে কী—গাণিতিক বিশ্লেষণ করে মতামত দাও।

(গ) কাঠামোবন্ধ ও রচনামূলক প্রশ্ন

১। আন্তঃআণবিক বল কাকে বলে ?

২। অণুর মধ্যে দূরত্বের পরিবর্তনের সাথে আন্তঃআণবিক বল ও স্থিতিশক্তির পরিবর্তন চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর।

৩। আন্তঃআণবিক বলের প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর।

৪। আন্তঃআণবিক বলের আলোকে স্থিতিস্থাপকতা ব্যাখ্যা কর।

৫। পদার্থের গঠনের প্রকৃতি ও মিথস্ক্রিয়া অনুসারে পদার্থের রাসায়নিক বন্ধন কত প্রকার ও কী কী ?

৬। পদার্থের আয়নিক বন্ধন ব্যাখ্যা কর।

৭। আয়নিক বন্ধন গঠনের শর্তগুলি কী কী ?

৮। সমযোজী বন্ধন কাকে বলে ? সমযোজী বন্ধনের শর্ত ব্যাখ্যা কর।

৯। ভ্যানডার ওয়াল বন্ধন কাকে বলে ? আয়নিক ও সমযোজী বন্ধনের তুলনায় এ বন্ধনের শক্তি কীরূপ ?

১০। ধাতব বন্ধন ব্যাখ্যা কর। ধাতব বন্ধনের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর।

১১। স্থিতিস্থাপক সীমা বলতে কী বুঝ ? [ঢা. বো. ২০১৫]

১২। স্থিতিস্থাপকতা কাকে বলে ?

১৩। সংজ্ঞা দাও— নমনীয় বস্তু, পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু, নমনীয়তা, অসহ পীড়ন, অসহভার, স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি, বিকৃতি, পীড়ন, কৃন্তন বিকৃতি।

১৪। হুকের সূত্র বিবৃত কর ও ব্যাখ্যা কর।

১৫। লেখচিত্রের সাহায্যে পীড়ন ও বিকৃতি ব্যাখ্যা কর।

১৬। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক কাকে বলে ?

১৭। স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের মাত্রা ও একক লিখ।

১৮। সংনম্যতা কাকে বলে ?

১৯। ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বলতে কী বুঝ ? এর একক ও মাত্রা লিখ।

২০। দৃঢ়তা বা কৃন্তন গুণাঙ্ক কাকে বলে ? লোহার দৃঢ়তার গুণাঙ্ক $7·7 \times 10^{10}$ Nm^{-2} ব্যাখ্যা কর।

২১। আয়তন গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর।

২২। পয়সনের অনুপাত কাকে বলে ? তামার পয়সনের অনুপাত 0·33 ব্যাখ্যা কর।

২৩। প্রবাহীর প্রবাহ বলতে কী বুঝ ?

২৪। সমপ্রবাহ ও অসম প্রবাহের সংজ্ঞা দাও।

২৫। সমরেখ প্রবাহ বলতে কী বুঝ ?

২৬। ধারারেখ ও অশান্ত প্রবাহীর সংজ্ঞা দাও।
২৭। ধারারেখ প্রবাহের বৈশিষ্ট্যগুলি কী কী ?
২৮। বিক্ষিপ্ত প্রবাহের বৈশিষ্ট্যগুলি ব্যাখ্যা কর।
২৯। প্রান্তিক বেগ বলতে কী বুঝ ?
৩০। সংশক্তি বল কাকে বলে ?
৩১। আসঞ্জন বল ব্যাখ্যা কর।
৩২। সান্দ্রতা গুণাঙ্ক কী ? এর মাত্রা সমীকরণটি লিখ।
৩৩। সান্দ্রতা ও ঘর্ষণের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
৩৪। ঘর্ষণ ও সান্দ্রতার মধ্যে পার্থক্য লিখ।
৩৫। সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা কর।
৩৬। সান্দ্রতার প্রয়োজনীয়তা কী ?
৩৭। স্টোকসের সূত্রের গাণিতিক রাশিটি লিখ।
৩৮। স্পর্শ কোণ কাকে বলে ? স্পর্শ কোণ কয় প্রকার ও কী কী ?
৩৯। স্পর্শ কোণ কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
৪০। পৃষ্ঠ টান ও পৃষ্ঠ শক্তির মধ্যে সম্পর্ক লিখ।
৪১। পৃষ্ঠ টানের উপর তাপমাত্রার প্রভাব আলোচনা কর।
৪২। কৈশিক নলে পানি ওঠে কেন ?
৪৩। ছাতার কাপড়ে ছোট ছোট ছিদ্র থাকা সত্ত্বেও বৃষ্টির পানি গড়িয়ে বাইরে পড়ে কেন ?
৪৪। সমুদ্রের প্রবল ঢেউকে তেল ঢেলে শান্ত করা যায় কীভাবে ?
৪৫। আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে পৃষ্ঠ টান ব্যাখ্যা কর।
৪৬। গাছে পানির পরিবহন ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন তৈরি : তোমার ক্লাসের ছাত্রদের মধ্য থেকে দুটি দলে বিভক্ত হয়ে কলেজের পুকুরে সাঁতারের আয়োজন কর। প্রথমে পানির উপরি তল দিয়ে (বাটার ফ্লাই) সাঁতার এবং পরে পানির ভেতরে (ডুব) সাঁতারে অংশগ্রহণ কর। কোন ধরনের সাঁতারে পুকুরের এপার থেকে ওপারে যেতে বেশি সময় লাগবে এবং বেশি পরিশ্রম হবে ? এর কারণের উপর একটি প্রতিবেদন তৈরি কর এবং তা ক্লাসে উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। একটি তারের অসহ পীড়ন $4{\cdot}9 \times 10^8\ Nm^{-2}$ এবং প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল $1 \times 10^{-6}\ m^2$ হলে এর অসহ ওজন কত ? [উ. 490N]

২। 1 m লম্বা ও 1 mm ব্যাসের একটি তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 0·025 cm হলে তারটির ব্যাস কতটুকু হ্রাস পাবে ? [রা. বো. ২০০৬] [উ. 2×10^{-5} cm]

৩। একটি 3 m দীর্ঘ ও 1 mm^2 প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট কোনো তারকে 2 kg ওজন দ্বারা সম্প্রসারিত করা হলো। তারের সম্প্রসারণ নির্ণয় কর। [$Y = 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$] [উ. $2{\cdot}94 \times 10^{-4}$ m]

৪। একটি ইস্পাতের তারের প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল $1 \times 10^{-6}\ m^2$ ও অসহ বিকৃতি $4{\cdot}9 \times 10^{-3}$। তারটিতে দৈর্ঘ্য বরাবর সর্বোচ্চ কত বল প্রয়োগ করা যাবে ? [ইস্পাতের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$] [উ. 980 N]

৫। 2 m লম্বা ও $2{\cdot}1 \times 10^{-7}\ m^2$ প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তার একটি ছাদ হতে ঝুলিয়ে অপর প্রান্তে 2·5 kg ভর যুক্ত করলে তারের দৈর্ঘ্য $1{\cdot}5 \times 10^{-3}$ m বৃদ্ধি পায়। তারের উপাদানের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. $1{\cdot}555 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$]

৬। দুটি সমান দৈর্ঘ্যের তার A ও B-এর ব্যাস যথাক্রমে 1×10^{-3} m ও 4×10^{-3} m। উভয়কে সমান বল দ্বারা টানলে A-এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি B-এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির 4 গুণ হয়। A ও B-এর উপাদানের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের তুলনা কর। [উ. 4 : 1]

৭। $1 \times 10^{-4}\ m^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারে কত বল প্রয়োগ করলে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হবে ? [$Y = 2 \times 10^{11}$ Pa] [উ. 2×10^7 N]

৮। একটি ইস্পাত তারের দৈর্ঘ্য 2 m এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 1 mm^2। তারটির প্রান্তে 20N বল প্রয়োগ করলে এর বৃদ্ধি নির্ণয় কর। ($Y = 2 \times 10^{11} Nm^{-2}$) [উ. 2×10^{-4} m]

৯। একটি ইস্পাতের তারের প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল $1 \times 10^{-6} m^2$ ও অসহ বিকৃতি 4.9×10^{-3}। তারটিতে দৈর্ঘ্য বরাবর সর্বোচ্চ কত বল প্রয়োগ করা যাবে ? [ইস্পাতের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{11} Nm^{-2}$] [উ. 980 N]

১০। 2 m লম্বা ও $2.1 \times 10^{-7} m^2$ প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তার একটি ছাদ হতে ঝুলিয়ে অপর প্রান্তে 2.5 kg ভর যুক্ত করলে তারের দৈর্ঘ্য 1.5×10^{-3} m বৃদ্ধি পায়। তারের উপাদানের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. $1.555 \times 10^{11} Nm^{-2}$]

১১। দুটি সমান দৈর্ঘ্যের তার A ও B-এর ব্যাস যথাক্রমে 1×10^{-3} m ও 4×10^{-3} m। উভয়কে সমান বল দ্বারা টানলে A-এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি B-এর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির 4 গুণ হয়। A ও B-এর উপাদানের ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের তুলনা কর। [উ. 4 : 1]

১২। 3 m দীর্ঘ ও 0.3 mm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি তারকে 90 N বল দ্বারা টানা হলে, তারটি কতটুকু বৃদ্ধি পাবে ? [উ. 4.78×10^{-3} m] [$Y = 2 \times 10^{11} Nm^{-2}$]

১৩। একটি 3 m দীর্ঘ ও 1 mm^2 প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট কোনো তারকে 2 kg ওজন দ্বারা সম্প্রসারিত করা হলো। তারের সম্প্রসারণ নির্ণয় কর। [$Y = 2 \times 10^{11} Nm^{-2}$] [উ. 2.94×10^{-4} m]

১৪। একটি তারের দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করায় যদি দৈর্ঘ্যে 6% বৃদ্ধি পায়, তাহলে ব্যাস 4% হ্রাস পাওয়া কি সম্ভব? [উ: এক্ষেত্রে $\sigma = 0.67$; কিন্তু σ-এর মান 0.5 এর বেশি হতে পারে না। তাই এটি সম্ভব নয়।]

১৫। $1 \times 10^{-4} m^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারে কত বল প্রয়োগ করলে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হবে ? [$Y = 2 \times 10^{11} Pa$] [রা. বো. ২০০১] [উ. 2×10^7 N]

১৬। 10 cm বাহুবিশিষ্ট একটি ধাতব ঘনকের উপর 8.82×10^5 N কৃন্তন বল প্রয়োগ করায় ঘনকটির উপরের তল নীচের তল সাপেক্ষে 0.3 mm সরে গেল। কৃন্তন পীড়ন, কৃন্তন বিকৃতি ও ধাতুর দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. $8.82 \times 10^7 Nm^{-2}$; 3×10^{-3} ; $2.94 \times 10^{10} Nm^{-2}$]

১৭। একটি ইস্পাত তারের দৈর্ঘ্য 2 m এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 1 mm^2। তারটির প্রান্তে 20N বল প্রয়োগ করলে এর বৃদ্ধি নির্ণয় কর। ($Y = 2 \times 10^{11} Nm^{-2}$) [কু. বো. ২০০০] [উ. 2×10^{-4} m]

১৮। 1.5 m দীর্ঘ ও 1 mm ব্যাসবিশিষ্ট একটি ধাতব তারের এক প্রান্ত আবদ্ধ রেখে অপর প্রান্তে ভার চাপালে 2 mm দৈর্ঘ্য প্রসারণ এবং 3.2×10^{-4} বব ব্যাস সংকোচন হয়। তারের উপাদানের পয়সন-এর অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 0.24]

১৯। 1.5m দীর্ঘ ও 1mm ব্যাসবিশিষ্ট একটি ধাতব তারের এক প্রান্ত আবদ্ধ রেখে অপর প্রান্তে ভার চাপালে 2 mm দৈর্ঘ্য প্রসারণ এবং 3.2×10^{-4} mm ব্যাস সংকোচন হয়। তারের উপাদানের পয়সন-এর অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 0.24]

২০। $3 \times 10^7 Nm^{-2}$ আয়তন পীড়নে একটি পদার্থের আয়তন বিকৃতি 1.5×10^{-4} হলে, পদার্থটির আয়তনের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. $2 \times 10^{11} Nm^{-2}$]

২১। 1 লিটার আয়তনের গ্লিসারিন $98 \times 10^4 Nm^{-2}$ চাপে $0.245 \times 10^{-6} m^3$ সংকুচিত হয়। গ্লিসারিনের আয়তনের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। ($1 lit = 10^{-3} m^3$) [উ. $4 \times 10^9 Nm^{-2}$]

২২। 1.5 mm গভীরতার স্থির তরল পৃষ্ঠের উপর $2 \times 10^{-2} m^2$ ক্ষেত্রফলের একটি ধাতব প্লেট রক্ষিত আছে। ঐ ধাতব প্লেটকে তরলের উপর 4.5 cms^{-1} বেগে সরাতে অনুভূমিকভাবে কত বল প্রয়োগ করতে হবে ? তরলের সান্দ্রতাঙ্ক $2 Nsm^{-2}$। [উ. 1.2 N]

২৩। সয়াবিন তেলের সান্দ্রতা গুণাঙ্ক $5.2 \times 10^{-2} Nsm^{-2}$। সয়াবিন তেলের মধ্য দিয়ে 0.2 mm ব্যাসের একটি ধাতব গোলক 1 ms^{-1} প্রান্তিক বেগে পড়ছে। সয়াবিনের সান্দ্রতাজনিত বল নির্ণয় কর। [উ. 0.98×10^{-5}N]

২৪। 200 mm ব্যাসার্ধের একটি গোলক কোনো তরলের ভেতর দিয়ে $2.1 \times 10^{-2} ms^{-1}$ প্রান্ত বেগ নিয়ে পড়ছে। তরলের সান্দ্রতাঙ্ক $0.003 Nsm^{-2}$ হলে সান্দ্র বল নির্ণয় কর। [উ. 2.37×10^{-4} N]

২৫। 2×10^{-4} m ব্যাসার্ধের একটি লোহার বল তার্পিন তেলের ভেতর দিয়ে 4×10^{-2} ms^{-1} প্রান্ত বেগ নিয়ে পড়ছে। যদি লোহা ও তার্পিন তেলের ঘনত্ব যথাক্রমে 7.8×10^3 এবং 0.87×10^3 kgm^{-3} হয় তবে তার্পিণ তেলের সান্দ্রতাঙ্ক বের কর। [উ. $1.5 \times 10^{-2} Nsm^{-2}$]

২৬। 1.5 mm গভীরতার স্থির তরল পৃষ্ঠের উপর $2 \times 10^{-2} m^2$ ক্ষেত্রফলের একটি ধাতব প্লেট রক্ষিত আছে। ঐ ধাতব প্লেটকে তরলের উপর 4.5 cms^{-1} বেগে সরাতে অনুভূমিকভাবে কত বল প্রয়োগ করতে হবে ? তরলের সান্দ্রতাঙ্ক $2 Nsm^{-2}$। [উ. 1.2 N]

২৭। $10^{-2}\ m^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি পাত 2×10^{-3} m পুরু একটি তরলের উপর স্থাপিত। ঐ প্লেটকে $0{\cdot}03\ ms^{-1}$ বেগে চালনা করতে $0{\cdot}235$ N অনুভূমিক বলের প্রয়োজন হলে তরলের সান্দ্রতাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. $1{\cdot}57\ Nsm^{-2}$]

২৮। 1×10^{-2} m ব্যাসবিশিষ্ট একটি গ্যাসের বুদবুদ $1{\cdot}5 \times 10^3\ kgm^{-3}$ ঘনত্ববিশিষ্ট কোনো তরলের মধ্য দিয়ে $4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ ms^{-1}$ স্থির বেগে উপরে উঠছে। তরলের সান্দ্রতাঙ্ক নির্ণয় কর। গ্যাসের ঘনত্ব উপেক্ষা কর। [উ. $18{\cdot}15\ Nsm^{-2}$]

২৯। $9{\cdot}5 \times 10^2\ kgm^{-3}$ ঘনত্ব ও 1×10^{-6} m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি তেল বিন্দু বায়ুর মধ্য দিয়ে পড়ছে। বায়ুর ঘনত্ব $1{\cdot}3\ kgm^{-3}$ এবং সান্দ্রতাঙ্ক $1{\cdot}81 \times 10^{-5}\ Nsm^{-2}$ হলে তেল বিন্দুর প্রান্তিক বেগ নির্ণয় কর। $(g = 9{\cdot}8\ ms^{-2})$ [উ. $1{\cdot}14 \times 10^{-4}\ ms^{-1}$]

৩০। পানির একটি ফোঁটা বায়ুর মধ্য দিয়ে পতিত হচ্ছে। ফোঁটাটির প্রান্তিক বেগ $1{\cdot}2 \times 10^{-2}\ ms^{-1}$ এবং বায়ুর জন্য $\eta = 1{\cdot}8 \times 10^{-5}\ Nsm^{-2}$ হলে পানির ফোঁটাটির ব্যাস কত ? [উ. $1{\cdot}99 \times 10^{-5}$ m]

৩১। একটি গোলাকার তেলের ফোঁটার ঘনত্ব 800 $kg\ m^{-3}$ ও বাসার্ধ 1×10^{-4} m। তেলের ফোঁটাটি $1{\cdot}72 \times 10^{-5}$ $kgm^{-1}s^{-1}$ সান্দ্রতা গুণাঙ্কবিশিষ্ট বায়ুর ভিতর দিয়ে পড়তে থাকলে চূড়ান্ত গতিবেগ কত হবে ? [বায়ুর ঘনত্ব $1{\cdot}3\ kg\ m^{-3}$] [উ. $1{\cdot}01127\ ms^{-1}$]

৩২। পারদের পৃষ্ঠ টান $4{\cdot}7 \times 10^{-1}\ Nm^{-1}$ এবং ঘনত্ব $13{\cdot}6 \times 10^3\ kgm^{-3}$, কাঁচের সাথে পারদের স্পর্শ কোণ 140°। $1{\cdot}8 \times 10^{-3}$ m ব্যাসের একটি কৈশিক কাঁচ নল পারদে ডুবালে নলের মধ্যের পারদের অবনমন নির্ণয় কর। [উ. $-6{\times}10^{-3}$ m]

৩৩। একটি কৈশিক নলের ব্যাস $0{\cdot}04 \times 10^{-4}$ m। এর এক প্রান্ত পানিতে ডুবালে পানি নলের ভেতর $0{\cdot}082$ m উপরে ওঠে। পানির পৃষ্ঠ টান নির্ণয় কর। (স্পর্শ কোণ = 0°, পানির ঘনত্ব $= 1{\cdot}0 \times 10^3\ gm^{-3}$) [উ. $80{\cdot}36 \times 10^{-3}\ Nm^{-1}$]

৩৪। 2×10^{-4} m ব্যাসার্ধের একটি কাঁচের নলে কোনো তরলের স্পর্শ কোণ 135° এবং তরলের পৃষ্ঠ টান $0{\cdot}547$ Nm^{-1} হলে নলে তরলের অবনমন নির্ণয় কর। (তরলের ঘনত্ব $= 13{\cdot}6 \times 10^3\ kgm^{-3}$ ও অভিকর্ষজ ত্বরণ $= 9{\cdot}81\ ms^{-2}$)। [উ. $0{\cdot}029$ m]

৩৫। পারদের পৃষ্ঠ টান $4{\cdot}7 \times 10^{-1}\ Nm^{-1}$ এবং ঘনত্ব $13{\cdot}6 \times 10^3\ kgm^{-3}$। $0{\cdot}8 \times 10^{-3}$ m ব্যাসার্ধের একটি কৈশিক কাঁচ নল পারদে ডুবালে পারদের স্পর্শ কোণ নির্ণয় কর। [উ. 140°]

৩৬। 1×10^{-4} m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট কাঁচ নলের পানির আরোহণ নির্ণয় কর। [পানির পৃষ্ঠ টান $= 0{\cdot}07\ Nm^{-1}$] [উ. $0{\cdot}2857$m]