

# ফলিত পদার্থবিদ্যা-।

(ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

লেখক:

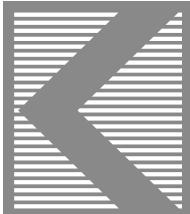
মিনা তালাটি,  
বিনোদ কুমার ঘাদব

অনুবাদক:

ডঃ এ বি ভট্টাচার্য

পর্যালোচক:

ডঃ মঞ্জুলা দাস



**KHANNA BOOK PUBLISHING CO. (P) LTD.**

PUBLISHER OF ENGINEERING AND COMPUTER BOOKS

4C/4344, Ansari Road, Darya Ganj, New Delhi-110002

Phone: 011-23244447-48

Mobile: +91-99109 09320

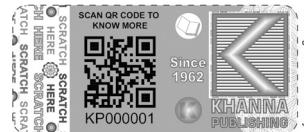
E-mail: contact@khannabooks.com

Website: www.khannabooks.com

Dear Readers,

To prevent the piracy, this book is secured with HIGH SECURITY HOLOGRAM on the front title cover. In case you don't find the hologram on the front cover title, please write us to at contact@khannabooks.com or whatsapp us at +91-99109 09320 and avail special gift voucher for yourself.

Specimen of Hologram on front Cover title:



Moreover, there is a SPECIAL DISCOUNT COUPON for you with EVERY HOLOGRAM.

How to avail this SPECIAL DISCOUNT:

Step 1: Scratch the hologram

Step 2: Under the scratch area, your "coupon code" is available

Step 3: Logon to [www.khannabooks.com](http://www.khannabooks.com)

Step 4: Use your "coupon code" in the shopping cart and get your copy at a special discount

Step 5: Enjoy your reading!

**ISBN:** 978-93-5538-134-7

**Book Code:** DIP198BE

### **Applied Physics-I**

by Mina Talati, Vinod Kumar Yadav  
[Bengali Edition]

**First Edition:** 2025

*Published by:*

**Khanna Book Publishing Co. (P) Ltd.**  
CIN: U22110DL1998PTC095547

Visit us at: [www.khannabooks.com](http://www.khannabooks.com)  
Write us at: [contact@khannabooks.com](mailto:contact@khannabooks.com)

To view complete list of books,  
Please scan the QR Code:



*Printed in India.*

### **Copyright © Reserved**

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission of the publisher.

This book is sold subject to the condition that it shall not, by way of trade, be lent, re-sold, hired out or otherwise disposed of without the publisher's consent, in any form of binding or cover other than that in which it is published.

**Disclaimer:** The website links provided by the author in this book are placed for informational, educational & reference purpose only. The Publisher do not endorse these website links or the views of the speaker/ content of the said weblinks. In case of any dispute, all legal matters to be settled under Delhi Jurisdiction only.



প্রো. টি. জি. সীতারাম  
অধ্যক্ষ  
Prof. T. G. Sitharam  
Chairman



অধিল ভারতীয় তকনীকী শিক্ষা পরিষদ  
(ভারত সরকার কা এক সাংবিধিক নিকায়)  
(শিক্ষা মন্ত্রালয়, ভারত সরকার)  
নেলসন মেডলা মার্গ, বসন্ত কুণ্ড, নর্থ হিল্স-১১০০৭০  
ফোন : ০১১-২৬১৩১৪৯৮  
ইমেইল : chairman@aicte-india.org

**ALL INDIA COUNCIL FOR TECHNICAL EDUCATION**  
(A STATUTORY BODY OF THE GOVT. OF INDIA)  
(Ministry of Education, Govt. of India)  
Nelson Mandela Marg, Vasant Kunj, New Delhi-110070  
Phone : 011-26131498  
E-mail : chairman@aicte-india.org

## পূর্বকথা

ন্যাশনাল এডুকেশন পলিসি (NEP) 2020 এর সাথে সারিবদ্ধভাবে, অল ইন্ডিয়া কাউন্সিল ফর টেকনিক্যাল এডুকেশন (AICTE) প্রাথমিকভাবে হিন্দি, তামিল, গুজরাটি, কন্নড়, মারাঠি, বাংলা, তেলেঙ্গ, পাঞ্জাবি, এবং ওডিয়া এই ৯ টি ভাষায় কারিগরি বই লেখার পরিকল্পনা শুরু করেছে। পরবর্তীকালে, এতে আরও ৩টি ভাষা অসমীয়া, মালয়ালম এবং উর্দু যোগ করা হয়েছে। NEP-2020-এর প্রধান গুরুত্ব হল মাতৃভাষায় শিক্ষা প্রদান যাতে শিক্ষার্থীদের মধ্যে সৃজনশীলতা, সমালোচনামূলক চিন্তাভাবনা বৃদ্ধি পায়।

২০টি কোর্স, ১১টি ডিপ্লোমা স্তরে এবং ৭টি ডিপ্রি স্তরে শনাক্ত করে প্রথম বর্ষের প্রকৌশল বই লেখার যাত্রা শুরু হয়েছিল। পরবর্তীকালে, ইংরেজি ভাষায় মূল বই লেখার জন্য বিভিন্ন প্রতিষ্ঠান থেকে লেখককে চিহ্নিত করা হয়। একই সময়ে ভারতজুড়ে প্রযুক্তিগত বিশ্ববিদ্যালয়গুলিকে সম্পৃক্ত করে অনুবাদক ও পর্যালোচকদের চিহ্নিত করার জন্য একটি সমান্তরাল অনুশীলন শুরু করা হয়েছিল। প্রতিটি চিহ্নিত ভাষার জন্য, কাজটি বিশ্ববিদ্যালয়গুলিকে দেওয়া হয়েছিল যাতে বিভিন্ন স্টেকহোল্ডারদের কাছে মানসম্পন্ন পাঠ্য বই সরবরাহ করা যায়।

বইটির অনন্য বৈশিষ্ট্য হল:

- বইয়ের বিষয়বস্তু কোর্সের ফলাফল, প্রোগ্রামের ফলাফল এবং ইউনিট ফলাফলের ম্যাপিংয়ের সাথে সারিবদ্ধ।
- প্রতিটি ইউনিটের শুরুতে শিক্ষার ফলাফল তালিকাভুক্ত করা হয় যাতে শিক্ষার্থী বুঝতে পারে যে ইউনিটটি শেষ করার পরে তার কাছ থেকে কী আশা করা হচ্ছে।
- বইটি ই-রিসোর্সের জন্য সাম্প্রতিক অনেক তথ্য, আকর্ষণীয় খোঁজখবর, QR কোড প্রদান করা হয়েছে। আইসিটি, প্রকল্প, গ্রন্থ আলোচনা ইত্যাদি ব্যবহারের জন্য QR কোড অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে।
- ভারসাম্যপূর্ণ এবং কালানুক্রমিক পদ্ধতিতে ছাত্র ও শিক্ষক কেন্দ্রিক বিষয়বস্তু বইয়ের অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে।
- বিষয়গুলির স্বচ্ছতা উন্নত করতে চিত্র, টেবিল এবং সফটওয়্যার স্ট্রিন শট সন্নিবেশ করা হয়েছে।

আমরা যথেষ্ট আশাবাদী যে লেখক, অনুবাদক এবং পর্যালোচকদের অবদান দেশের কারিগরি শিক্ষাকে শক্তিশালী করার দিকে অনেক দূর এগিয়ে যাবে।

(প্রফেসর টি জি সীতারাম)



## কৃতিজ্ঞতাস্বীকার

লেখকরা ডিপ্লোমা ছাত্রদের জন্য প্রযুক্তিগত বই প্রকাশ করার জন্য তাদের সূক্ষ্ম পরিকল্পনা এবং বাস্তবায়নের জন্য AICTE-এর কাছে কৃতজ্ঞ।

আমরা আন্তরিকভাবে বইটির পর্যালোচনাকারী মিসেস মেধা শিরীয় গিজারের মূল্যবান অবদানকে স্বীকার করছি, এটিকে শিক্ষার্থীদের জন্য বন্ধুত্বপূর্ণ করে তোলা এবং একটি শৈলিক পদ্ধতিতে আরও ভাল আকার দেওয়ার জন্য।

এছাড়াও আমরা অত্যন্ত সম্মানের সাথে বলেছি যে এই বইটি AICTE মডেল পাঠ্যক্রমের সাথে এবং জাতীয় শিক্ষা নীতি (NEP)-2020-এর নির্দেশিকাগুলির সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। আগ্রহিক ভাষায় শিক্ষার প্রসারের দিকে, এই বইটি নির্ধারিত ভারতীয় আগ্রহিক ভাষায় অনুবাদ করা হচ্ছে।

বাংলা ভাষা অনুবাদে তাঁর অবদানের জন্য আমরা ডঃ এ বি ভট্টাচার্যকে ধন্যবাদ জানাতে চাই।

আমরা শ্রী বুদ্ধ চন্দ্রশেখর, CCO NEAT AICTE- কে আমাদের আন্তরিক শুভেচ্ছা জানাতে চাই; যার AI ভিত্তিক অনুবাদক টুল অনুবাদের উদ্দেশ্যে ব্যবহার করা হয়েছিল।

পরিশেষে, আমরা প্রকাশনা সংস্থাকে আমাদের আন্তরিক ধন্যবাদ জানাতে চাই। মেসার্স খান্না বুক পাবলিশিং কোম্পানি প্রাইভেট লিমিটেড, নিউ দিল্লি, যার পুরো টিম প্রকাশনার সমস্ত দিকগুলিতে সহযোগিতা করার জন্য সর্বদা প্রস্তুত ছিল।

মিনা তালাটি  
বিনোদ কুমার যাদব



## মুখ্যবন্ধ

ত্যাগ্নাইড ফিজিক্স-। এবং ল্যাব' শিরোনামের বইটি ডিপ্লোমা ইঞ্জিনিয়ারিং স্তরে মৌলিক পদার্থবিজ্ঞান কোর্সের আমাদের শিক্ষার অভিজ্ঞতার ফল। আমরা ডিপ্লোমা ইঞ্জিনিয়ারিং কোর্সের সাথে সম্পর্কিত পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক বিষয়গুলি অন্তর্ভুক্ত করেছি এবং AICTE-এর প্রথম বর্ষের ডিপ্লোমা ইঞ্জিনিয়ারিং এবং নতুন শিক্ষানীতি (NEP) 2020 এর জন্য ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষা (OBE) মডেল পাঠ্যক্রমের প্রয়োজনীয়তা অনুসারে অন্তর্ভুক্ত করেছি। আন্তরিক প্রচেষ্টা করা হয়েছে এই বইয়ের বিষয়বস্তু আকর্ষণীয় এবং একই সাথে প্রকৌশল শিক্ষার্থীদের কাছে পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক ধারণাগুলি প্রকাশ এবং ব্যাখ্যা করার জন্য। এই বইয়ের পাণ্ডুলিপি তৈরির সময়, আমরা বিভিন্ন মানসম্মত পাঠ্যপুস্তক, গবেষণাপত্র এবং প্রতিবেদন বিবেচনা করেছি এবং সেই অনুযায়ী আমরা প্রশ্না, সমাধান এবং পরিপূরক সমস্যা অন্তর্ভুক্ত করেছি। বইটি বিভিন্ন অসুবিধা স্তরের সমস্যাগুলি অন্তর্ভুক্ত করেছে যা অবশ্যই কিছু চিন্তাশীল প্রচেষ্টার মাধ্যমে সমাধান করা যেতে পারে। এই বইয়ে, মৌলিক নীতির দ্রুত পুনর্বিবেচনার জন্য পাঠ্যক্রমের সাথে সম্পর্কিত ঘটনা এবং সংজ্ঞা, পদার্থবিজ্ঞানের নীতি এবং বিভিন্ন পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রের উপর জোর দেওয়া হয়েছে। আমরা প্রতিটি ইউনিটে বিভিন্ন দৃষ্টিক্ষেত্র এবং উদাহরণ প্রদান করার চেষ্টা করেছি যাতে একজন শিক্ষার্থী পদার্থবিজ্ঞানের ধারণাগুলি সঠিকভাবে বুঝতে পারে। ধারণাগুলির আরও স্পষ্টীকরণের জন্য, আমরা ব্যবহার নীতি এবং ড্রিয়েটিভ কমন্স লাইসেন্সের অধীনে উপলব্ধ পরিসংখ্যান এবং চিত্রগুলি ব্যবহার করেছি।

এটি লক্ষ করা গুরুত্বপূর্ণ যে, আমরা প্রতিটি ইউনিটের শেষে প্রতি পাঠ্যক্রমের জন্য প্রাসঙ্গিক বারোটি পরীক্ষাগারের ব্যবহারিক পরীক্ষা (laboratory practicals) অন্তর্ভুক্ত করেছি। উপরন্তু, আমরা সংযোজন বিভাগে ইউনিটগুলির কিছু প্রয়োজনীয় সূত্র এবং রূপান্তর একত্রিত করেছি। প্রতিটি ইউনিটে, পাঠ্যক্রমের সীমার মধ্যে বিষয়গুলির স্ব-শিক্ষার জন্য ব্যবহারকারীর আকাঙ্ক্ষাকে সমর্থন এবং বৃদ্ধি করার জন্য ভিডিও এবং / সিমুলেশন লিঙ্ক দেওয়া হয়েছে।

আমরা আন্তরিকভাবে আশা করি বইটি কৌতুহল তৈরি করবে এবং শিক্ষার্থীদের তাদের মূল শাখার সাথে সম্পর্কিত সমস্যার সমাধানের জন্য পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক নীতিগুলি শিখতে, আলোচনা করতে এবং ব্যবহার করতে অনুপ্রাণিত করবে। পাঠকের উপকারী মন্তব্য এবং পরামর্শ বইটির ভবিষ্যত সংস্করণ উন্নত করতে প্রধান ভূমিকা পালন করবে। ১ম বর্ষের ডিপ্লোমা ইঞ্জিনিয়ারিং-এর জন্য ‘টেকনিক্যাল বুক রাইটিং স্কীম’-এর অধীনে লেখা এই বইটি শিক্ষক ও ছাত্র-ছাত্রীদের হাতে তুলে দিতে পেরে আমরা অত্যন্ত আনন্দিত।

মিনা তালাটি,  
বিনোদ কুমার যাদব



## ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষা

একটি ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষা বাস্তবায়নের জন্য প্রথম প্রয়োজন একটি ফলাফল ভিত্তিক পাঠ্যক্রম তৈরি করা এবং শিক্ষা ব্যবস্থায় একটি ফলাফল ভিত্তিক মূল্যায়ন অন্তর্ভুক্ত করা। ফলাফল ভিত্তিক মূল্যায়নের মাধ্যমে, মূল্যায়নকারীরা মূল্যায়ন করতে সক্ষম হবেন যে শিক্ষার্থীরা রূপরেখার মান, নির্দিষ্ট এবং পরিমাপযোগ্য ফলাফল অর্জন করেছে কিনা। ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষার যথাযথ সংযোজনের সাথে কোন স্তরে হাল ছেড়ে না দিয়ে সকল শিক্ষার্থীর জন্য একটি ন্যূনতম মান অর্জনের একটি নির্দিষ্ট অঙ্গীকার থাকবে। ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষার সাহায্যে এই প্রোগ্রামের শেষে, একজন শিক্ষার্থী নিম্নলিখিত ফলাফলগুলিতে পৌঁছাতে সক্ষম হবে (NBA নির্দেশিকা অনুসারে):

- PO-1:** মৌলিক এবং শৃঙ্খলা নির্দিষ্ট জ্ঞান: ইঞ্জিনিয়ারিং সমস্যা সমাধানের জন্য মৌলিক গণিত, বিজ্ঞান এবং ইঞ্জিনিয়ারিং মৌলিক বিষয় এবং প্রকৌশল বিশেষীকরণের জ্ঞান প্রয়োগ করা।
- PO-2:** সমস্যা বিশ্লেষণ: কোডিফাইড স্ট্যান্ডার্ড পদ্ধতি ব্যবহার করে ভাল-সংজ্ঞায়িত ইঞ্জিনিয়ারিং সমস্যাগুলি সনাক্ত করা এবং বিশ্লেষণ করা।
- PO-3:** সমাধানের নকশা/উন্নয়ন: সুনির্দিষ্ট প্রযুক্তিগত সমস্যার জন্য সমাধান এবং নির্দিষ্ট চাহিদা মেটাতে সিস্টেমের উপাদান বা প্রক্রিয়াগুলির নকশায় সহায়তা করে।
- PO-4:** ইঞ্জিনিয়ারিং সরঞ্জাম, পরীক্ষা এবং পরীক্ষা: প্রমিত পরীক্ষা এবং পরিমাপ পরিচালনার জন্য আধুনিক প্রকৌশল সরঞ্জাম এবং উপযুক্ত কোশল প্রয়োগ করা।
- PO-5:** সমাজ, স্থায়িত্ব এবং পরিবেশের জন্য ইঞ্জিনিয়ারিং অনুশীলন: সমাজ, স্থায়িত্ব, পরিবেশ এবং নেতৃত্ব অনুশীলনের প্রেক্ষাপটে উপযুক্ত প্রযুক্তি প্রয়োগ করা।
- PO-6:** প্রকল্প ব্যবস্থাপনা: প্রজেক্টগুলি পরিচালনা করতে এবং ভাল-সংজ্ঞায়িত প্রকৌশল ক্রিয়াকলাপগুলি সম্পর্কে কার্যকরভাবে যোগাযোগ করতে দলের সদস্য বা নেতা হিসাবে পৃথকভাবে ইঞ্জিনিয়ারিং পরিচালনার নীতিগুলি ব্যবহার করা।
- PO-7:** জীবনব্যাপী শিক্ষা: ব্যক্তিগত চাহিদা বিশ্লেষণ করার এবং প্রযুক্তিগত পরিবর্তনের পরিপ্রেক্ষিতে আধুনিক করার স্ফুরণ।

## কোর্সের ফলাফল

কোর্স শেষ হওয়ার পর শিক্ষার্থীরা পারবে:

CO-1: প্রকৌশল সমস্যার সঠিক এবং সুনির্দিষ্ট পরিমাপের জন্য ভৌত পরিমাণ নির্বাচন এবং পরিমাপের ত্রুটিগুলি অনুমান করতে;

CO-2: ভেক্টরের যোগ, বিয়োগ, গুণ (ক্লেলার এবং ভেক্টর) সম্পাদন এবং প্রাসঙ্গিক প্রয়োগের জন্য ভেক্টরের রেজেলিউশন; প্রকৌশল প্রয়োগগুলি সমাধান করার জন্য গতিগুলির ধরন বিশ্লেষণ এবং প্রয়োগ।

CO-3: কাজ, ক্ষমতা এবং শক্তি এবং তাদের ইউনিট, প্রকৌশল সমস্যা সমাধানের জন্য তাদের মধ্যে সম্পর্ক তৈরি; বিভিন্ন পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণ কমানোর জন্য ঘর্ষণের ধরন এবং পদ্ধতি বর্ণনা; শক্তি সংরক্ষণের নীতি এবং বিভিন্ন ধরণের ক্ষমতা এবং শক্তি রূপান্তর চিহ্নিতকরণ করতে।

CO-4: লিনিয়ার মোশন এবং রোটেশনাল মোশনের সাথে সম্পর্কিত ভৌত বৈশিষ্ট্যের তুলনা ও সম্পর্ক এবং পরিচিত সমস্যাগুলিতে কৌণিক ভরবেগ নীতি প্রয়োগ।

CO-5: ব্যাপক ভিত্তিক প্রকৌশল সমস্যার সমাধানের জন্য কঠিন এবং তরল পদার্থের ভৌত বৈশিষ্ট্য বিশ্লেষণ করে শিল্পে প্রাসঙ্গিক উপকরণ নির্বাচন।

CO-6: তাপের মৌলিক নীতি ব্যাখ্যা এবং বিভিন্ন থার্মোমিটার ব্যবহার করে তাপমাত্রা পরিমাপ; সংশ্লিষ্ট ইঞ্জিনিয়ারিং প্রয়োগগুলিতে উপাদানগুলির সম্প্রসারণ এবং তাপীয় পরিবাহিতা সহগের গুণাগুণ জেনে তাপ স্থানান্তরের পদ্ধতিগুলির প্রয়োগ করতে।

কোর্সের ফলাফল	প্রোগ্রামের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং (1-দুর্বল সম্পর্ক; 2-মাঝারি সম্পর্ক; 3-শক্তিশালী সম্পর্ক)						
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7
CO-1	3	2	1	1	2	1	1
CO-2	3	2	1	1	3	2	1
CO-3	3	2	1	1	2	1	1
CO-4	3	2	1	1	1	3	2
CO-5	3	3	1	1	2	2	2
CO-6	3	2	1	1	2	2	2

## সংক্ষিপ্ত বিবরণ এবং প্রতীক

---

সাধারণ শর্তাবলী			
শব্দ সংক্ষেপ	সম্পূর্ণ ফর্ম	শব্দ সংক্ষেপ	সম্পূর্ণ ফর্ম
amu	Atomic Mass Unit	PO	Programme Outcome
AU	Astronomical Units	PRT	Platinum Resistance Thermometer
CO	Course Outcome	TME	Total Mechanical Energy
KE	Kinetic Energy	UO	Unit Outcome
LC	Least Count	UTS	Ultimate Tensile Strength
PE	Potential Energy		
ব্যবহৃত ইউনিট			
শব্দ সংক্ষেপ	সম্পূর্ণ ফর্ম	শব্দ সংক্ষেপ	সম্পূর্ণ ফর্ম
Å	angstrom	kW-h	kilowatt-hour
BTU	British Thermal Unit	m	Meter
°C	degree Celsius	mm of Hg	millimeters of Hg
cal	calorie	N	Newton
eV	electron volt	P	Poise
°F	Fahrenheit	Pa	Pascal
Hz	hertz	PI	Poiseuille
J	joule	°R	Rankine
K	kelvin	St	Stokes
kg	kilogram	W	Watt

**প্রতীকগুলির তালিকা**

প্রতীক	বর্ণনা	প্রতীক	বর্ণনা
$\text{\AA}$	angstrom	$h$	Coefficient of viscosity OR modulus of rigidity
B	Bulk Modulus	$\lambda$	wavelength
$R_e$	Reynolds number	$\mu_k$	Coefficient of kinetic friction
T	time period	$\mu_s$	Coefficient of static friction
Y	Young's modulus	$\rho$	Density
a	Coefficient of linear expansion	$\omega$	angular velocity
b	Coefficient of surface expansion	f	Frequency
g	Coefficient of volume expansion	$f_k$	Kinetic friction
v	velocity	$f_s$	Static friction

## চিত্রের তালিকা

---

<b>ইউনিট 1: ভৌত জগত, একক এবং পরিমাপ</b>	
চিত্র 1.1: ভার্নিয়ার ক্যালিপার	18
চিত্র 1.2: শূন্য ত্রুটি; চিত্র	20
চিত্র 1.3: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের ডানদিকে	20
চিত্র 1.4: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের বাম দিকে	20
চিত্র 1.5: (a) শূন্য ত্রুটি; (b) ধনাত্মক ত্রুটি; (c) ঋণাত্মক ত্রুটি	23
চিত্র 1.6: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের বাম দিকে	24
চিত্র 1.7: h পরিমাপ	28
চিত্র 1.8: দুই পায়ের মধ্যে গড় দূরত্ব খুঁজে বের করতে	29
<b>ইউনিট 2: বল এবং গতি</b>	
চিত্র 2.1: ভেস্টের A এর চিত্র	35
চিত্র 2.2: ত্রিভুজ নীতি	36
চিত্র 2.3: সমান্তরালগ্রাম নীতি	36
চিত্র 2.4: ভেস্টের বিয়োগ	36
চিত্র 2.5: ভেস্টের রেজেলিউশন	37
চিত্র 2.6: নততলে রেক	38
চিত্র 2.7: ওজনের উপাদান	38
চিত্র 2.8: লন বেলন	39
চিত্র 2.9: দুটি ভেস্টেরের ডট প্রোডাক্ট	39
চিত্র 2.10: ভেস্টেরের ক্রস প্রোডাক্ট	40
চিত্র 2.11: দুটি ভেস্টের ক্রস প্রোডাক্ট	40
চিত্র 2.12: অক্ষের সাথে ইউনিট ভেস্টের	41
চিত্র 2.13: রকেট নীতি	44
চিত্র 2.14: রকেট প্রপালশন	44
চিত্র 2.15: ওজন স্থগিত চিত্র	46
চিত্র 2.16: কোণিক স্থানচ্যুতি সহ বৃত্তাকার গতি	48

চিত্র 2.17: অভিযন্ন বৃত্তাকার গতিতে ত্বরণ	50
চিত্র 2.18: ব্যাংকিং	51
চিত্র 2.19: সাইক্লিস্ট নমন	51
চিত্র 2.20: GRAVESANDS ঘন্টা ও পরীক্ষা ব্যবস্থা	57
চিত্র 2.21: ড্রিভুজ নীতি প্রমান করতে	58
চিত্র 2.22: প্যারালেলোগ্রাম নীতি প্রমান করতে	59
<b>ইউনিট 3: কাজ, ক্ষমতা এবং শক্তি</b>	
চিত্র 3.1: (a) শূন্য কাজ (b) নেগেটিভ কাজ এবং (c) ইতিবাচক কাজের উদাহরণ	65
চিত্র 3.2: (i) স্থির ঘর্ষণ ( $f_s$ ) (ii) একটি পৃষ্ঠে স্থির করা একটি বাল্কে ঘর্ষণকে স্লাইড করে ( $f_{sliding}$ ) এবং (iii) ঘূর্ণায়মান ঘর্ষণ ( $f_{rolling}$ ) যখন একটি বাল্ক পৃষ্ঠের উপর চলে	67
চিত্র 3.3: ঘর্ষণ ( $ f $ ) বনাম প্রয়োগকৃত বল ( $ F_A $ ) এবং সীমিত ঘর্ষণ	67
চিত্র 3.4: নততলে একটি ব্লক	69
চিত্র 3.5: একটি বলের মুক্ত পতন	72
চিত্র 3.6: সীমিত ঘর্ষণ গুণাঙ্ক নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা	78
চিত্র 3.7: ডাবল ইনক্লাইড প্লেন এবং গোলাকার স্টিলের বল ব্যবহার করে যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের	82
<b>ইউনিট 4: ঘূর্ণন গতি</b>	
চিত্র 4.1: ঘূর্ণন গতি	91
চিত্র 4.2: টক	92
চিত্র 4.3: কোণিক ভরবেগ	92
চিত্র 4.4: জড়তা আমক	93
চিত্র 4.5: লম্ব অক্ষের উপপাদ্য	95
চিত্র 4.6: সমান্তরাল অক্ষের উপপাদ্য	95
চিত্র 4.7: ফ্লাইইলের জড়তা আমক বের করার পরীক্ষা ব্যবস্থা	102
<b>ইউনিট 5: বস্তুর ধর্ম</b>	
চিত্র 5.1: প্রসার্য চাপ চিত্র	109
চিত্র 5.2: সংকোচনশীল চাপ চিত্র	109
চিত্র 5.3: আয়তন পীড়ন	109
চিত্র 5.4: অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি	110

<b>চিত্র 5.5: আয়তন বিকৃতি</b>	110
<b>চিত্র 5.6: শিয়ার পীড়ন</b>	111
<b>চিত্র 5.7: শিয়ার বিকৃতি</b>	111
<b>চিত্র 5.8: পীড়ন এবং বিকৃতি লেখচিত্র</b>	112
<b>চিত্র 5.9: উচ্চতা ডায়াগ্রাম সহ তরল চাপ</b>	115
<b>চিত্র 5.10: টারিসেলি ব্যারোমিটার</b>	115
<b>চিত্র 5.11: ম্যানোমিটার</b>	116
<b>চিত্র 5.12: ফোর্টেনের ব্যারোমিটার</b>	116
<b>চিত্র 5.13: হাইড্রোস্ট্যাটিক্স প্যারাডক্স ডায়াগ্রাম</b>	117
<b>চিত্র 5.14: পৃষ্ঠের টান ব্যাখ্যা</b>	118
<b>চিত্র 5.15: প্লাস-জলের জন্য স্পর্শকোণ</b>	119
<b>চিত্র 5.16: প্লাস-পারদের জন্য স্পর্শকোণ</b>	119
<b>চিত্র 5.17 : সংস্কৃতি বল (<math>F_a</math>) &gt; আসক্তি বল (<math>F_c</math>)</b>	119
<b>চিত্র 5.18 : সংস্কৃতি বল (<math>F_a</math>) &lt; আসক্তি বল (<math>F_c</math>)</b>	119
<b>চিত্র 5.19: (a) একটি বিকারে (b) একটি পাইপে তরল প্রবাহের বেগ বিতরণ</b>	122
<b>চিত্র 5.20: ক্রস-সেকশনের একটি ভিন্ন এলাকার নালীর মাধ্যমে তরল পদার্থের স্থির প্রবাহ</b>	128
<b>চিত্র 5.21: বার্নোলির উপপাদ্য ব্যবহার করে একটি উঁচু নল দিয়ে তরল প্রবাহ ব্যাখ্যা</b>	128
<b>চিত্র 5.22: ছকের নীতি ব্যবহার করে একটি স্পিংয়ের বল ধ্রুবক নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা</b>	134
<b>চিত্র 5.23: স্টেকসের নীতি ব্যবহার করে প্রদত্ত তরলের সান্দুতা পরিমাপের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা</b>	139
<b>চিত্র 5.24: একটি কৈশিক নল মধ্যে তরলের উত্থান</b>	147
 <b>ইউনিট 6: তাপ এবং থার্মোম্যাট্রি</b>	
<b>চিত্র 6.1: তাপ স্থানান্তরের পদ্ধতি: (a) পরিবহন, (b) পরিচলন এবং (c) বিকিরণ</b>	151
<b>চিত্র 6.2: তাপমাত্রা স্কেল</b>	153
<b>চিত্র 6.3: দিমাত্রিক থার্মোমিটারের পরিকল্পিত চিত্র</b>	154
<b>চিত্র 6.4: প্ল্যাটিনাম রেজিস্ট্যান্স থার্মোমিটারের পরিকল্পিত চিত্র</b>	155
<b>চিত্র 6.5: অপটিক্যাল বা রেডিয়েশন পাইরোমিটারের ব্লক ডায়াগ্রাম</b>	155
<b>চিত্র 6.6: ধাতব রডের রৈখিক তাপ বিস্তার নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা</b>	163

## সারণী তালিকা

---

ইউনিট 1: ভৌত জগত, ইউনিট এবং পরিমাপ	
সারণী 1.1: সাতটি মৌলিক একক	3
সারণী 1.2: প্রাপ্তি একক	3
সারণী 1.3: পরিপূরক পরিমাণ	3
সারণী 1.4: এসআই এককের উপসর্গ, দশের ক্ষমতা (power of 10) এবং শব্দাব্দে সংযুক্ত শব্দাব্দের প্রতীক	4
সারণি 1.5: বেস পরিমাণের মাত্রিক প্রতীক	4
সারণি 1.6: পর্যবেক্ষণে উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যানের সংখ্যা	14

## শিক্ষকদের জন্য নির্দেশিকা

ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষা (Outcome Based Education - OBE) বাস্তবায়নের জন্য শিক্ষার্থীদের জ্ঞানের স্তর এবং দক্ষতা বৃদ্ধি করতে হবে। OBE এর যথাযথ বাস্তবায়নের জন্য শিক্ষকদের একটি বড় দায়িত্ব নিতে হবে। OBE সিটেমের শিক্ষকদের জন্য কিছু দায়িত্ব (সীমাবদ্ধ নয়) নিম্নরূপ হতে পারে:

- যুক্তিসঙ্গত সীমাবদ্ধতার মধ্যেই সমস্ত শিক্ষার্থীদের সর্বোত্তম ফললাভের জন্য, তাদের সময়কে কৌশলে ব্যবহার করা উচিত।
- তাদের বৈষম্যমূলক অন্য কোন সম্ভাব্য অযোগ্যতা বিবেচনা না করে শুধুমাত্র নির্দিষ্ট সংজ্ঞায়িত মানদণ্ডের ভিত্তিতেই শিক্ষার্থীদের মূল্যায়ন করা উচিত।
- প্রতিষ্ঠান ছাড়ার আগে শিক্ষার্থীদের শেখার ক্ষমতা একটি নির্দিষ্ট মাত্রায় বাড়ানোর চেষ্টা করা উচিত।
- পড়াশোনা শেষ করার পর সব শিক্ষার্থী যেন গুণগত জ্ঞান এবং যোগ্যতার সাথে নিজেকে তৈরি করতে পারে তা নিশ্চিত করার চেষ্টা করা উচিত।
- তাদের সর্বদা শিক্ষার্থীদের চূড়ান্ত কর্মক্ষমতা বিকাশের জন্য উত্সাহিত করা উচিত।
- নতুন পদ্ধতির একাত্মিকরণের জন্য তাদের প্রতিপের কাজ এবং দলগত কাজকে সহজতর করা এবং উৎসাহিত করা উচিত।
- তাদের মূল্যায়নের প্রতিটি অংশে বুরের শ্রেণীবিন্যাস অনুসরণ করা উচিত।

### বুরের শ্রেণীবিন্যাস

স্তর	শিক্ষকের পরীক্ষা করা উচিত	শিক্ষার্থীকে সক্ষম হওয়া উচিত	মূল্যায়নের সম্ভাব্য পদ্ধতি
সৃজন (Creating) মূল্যায়ন (Evaluating) বিশ্লেষণ (Analyzing) প্রয়োগ (Applying) বোধ (Understanding) স্মরণ (Remembering)	শিক্ষার্থীদের সৃজন করার ক্ষমতা	ডিজাইন বা সৃজন করা	মিনিপ্রজেক্ট
	শিক্ষার্থীদের বিচার করার ক্ষমতা	তর্ক করণ বা রক্ষা করা	অ্যাসাইনমেন্ট
	শিক্ষার্থীদের পার্থক্য করার ক্ষমতা	পার্থক্য করণ বা পার্থক্য করা	প্রকল্প/ল্যাবপদ্ধতি
	শিক্ষার্থীদের তথ্য ব্যবহার করার ক্ষমতা	পরিচালনা বা প্রদর্শন	প্রযুক্তিগত উপস্থাপনা/প্রদর্শন
	শিক্ষার্থীদের ধারণা ব্যাখ্যা করার ক্ষমতা	ব্যাখ্যা বা শ্রেণীবদ্ধ করণ	উপস্থাপনা/সেমিনার
	শিক্ষার্থীদের মনে রাখার ক্ষমতা	সংজ্ঞায়িত করণ বা প্রত্যাহার করণ	কুইজ

## শিক্ষার্থীদের জন্য নির্দেশিকা

---

OBE বাস্তবায়নের জন্য শিক্ষার্থীদের সমান দায়িত্ব নিতে হবে। OBE সিস্টেমে শিক্ষার্থীদের জন্য কিছু দায়িত্ব (সীমাবদ্ধ নয়) নিম্নরূপ:

- প্রতিটি কোর্সে ইউনিট শুরুর আগে শিক্ষার্থীদের প্রতিটি UO সম্পর্কে ভালভাবে অবগত হওয়া উচিত।
- কোর্স শুরুর আগে শিক্ষার্থীদের প্রতিটি CO সম্পর্কে ভালভাবে সচেতন হওয়া উচিত।
- প্রোগ্রাম শুরুর আগে শিক্ষার্থীদের প্রতিটি PO সম্পর্কে ভালভাবে সচেতন হওয়া উচিত।
- শিক্ষার্থীদের উচিত সঠিক প্রতিফলন এবং কর্মের সাথে সমালোচনা মূলক এবং যুক্তিসঙ্গত ভাবে চিন্তা করা।
- শিক্ষার্থীদের শেখার ব্যবহারিক এবং বাস্তবজীবনের পরিণতির সাথে সংযুক্ত এবং একীভূত হওয়া উচিত।
- OBE এর প্রতিটি স্তরে শিক্ষার্থীদের তাদের দক্ষতা সম্পর্কে ভালভাবে সচেতন হওয়া উচিত।

## সূচীপত্র

---

পূর্বকথা	iii
কৃতজ্ঞতাস্থীকার	v
মুখবন্ধ	vii
ফলাফল ভিত্তিক শিক্ষা	ix
কোর্সের ফলাফল	x
সাংক্ষিপ্ত বিবরণ এবং প্রতীক	xi
চিত্রের তালিকা	xiii
সারণী তালিকা	xvi
শিক্ষকদের জন্য নির্দেশিকা	xvii
শিক্ষার্থীদের জন্য নির্দেশিকা	xviii
<b>ইউনিট 1: ভৌত জগত, একক এবং পরিমাপ</b>	<b>1-32</b>
ইউনিট বিশেষ	1
যুক্তি	1
পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	1
ইউনিট আউটকার্ম	1
1.1 ভৌত মান	2
1.1.1 ভৌত পরিমাণ	2
1.1.2 মৌলিক এবং প্রাপ্ত একক	2
1.1.3 একক পদ্ধতি	3
1.1.4 ভৌত পরিমাণের মাত্রা এবং মাত্রিক সূত্র	4
1.2 মাত্রিক বিশ্লেষণ	5
1.2.1 মাত্রার এককতার নীতি	6
1.2.2 মাত্রিক বিশ্লেষণের সীমা	7
1.3 পরিমাপ প্রক্রিয়া	9
1.3.1 পরিমাপ	9
1.3.2 পরিমাপ যন্ত্র	9
1.3.3 পরিমাপ যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধূরক এবং শূন্য ত্রুটি	9
1.3.4 পরিমাপের প্রকার	9

1.4	পরিমাপে ত্রুটি	10
1.4.1	ত্রুটি এবং ত্রুটির ধরন	10
1.4.2	পরিমাপে ত্রুটির অনুমান	11
1.4.3	গাণিতিক ক্রিয়াকলাপে ত্রুটির প্রচার	11
1.4.4	উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান বা সংখ্যা	12
	সারসংক্ষেপ	14
	অনুশীলন	14
	ব্যবহারিক	17
	আরো জ্ঞাতব্য	31
	ব্যবহারিক জন্য প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ	31
<b>ইউনিট 2:</b>	<b>বল এবং গতি</b>	<b>33-62</b>
	ইউনিট বিশেষ	33
	যুক্তি	33
	পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	33
	ইউনিট আউটকার্ম	34
2.1	স্কেলার এবং ভেস্টের পরিমাণ	34
2.1.1	স্কেলার এবং ভেস্টের	34
2.1.2	ভেস্টের যোগ এবং বিয়োগ	35
2.1.3	ভেস্টেরের বিশ্লেষণ	37
2.1.4	ভেস্টেরের প্রয়োগ	38
2.1.5	দুটি ভেস্টেরের স্কেলার এবং ভেস্টের গুণ	39
2.2	বল এবং ভরবেগ	42
2.2.1	বল	42
2.2.2	রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি	43
2.2.3	রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি প্রয়োগ	43
2.2.4	আবেগ এবং এর প্রয়োগ	45
2.3	বৃত্তাকার গতি	47
2.3.1	কৌণিক পরিমাণ	47
2.3.2	রৈখিক বেগ এবং কৌণিক বেগের মধ্যে সম্পর্ক	49
2.3.3	কেন্দ্রমুখী বল এবং অপকেন্দ্র বল	50
2.3.4.	অভিকেন্দ্র এবং অপকেন্দ্র বলের প্রয়োগ	50

সারসংক্ষেপ	53
অনুশীলন	53
ব্যবহারিক	56
আরো জ্ঞাতব্য	61
ব্যবহারিক জন্য প্রস্তাবিত শেখার সম্পাদ	62
<b>ইউনিট 3: কাজ, ক্ষমতা এবং শক্তি</b>	<b>63-87</b>
ইউনিট বিশেষ	63
যুক্তি	63
পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	63
ইউনিট আটকাম	63
3.1 কাজ	64
3.1.1 কাজ - ভূমিকা এবং সংজ্ঞা	64
3.1.2 কাজ - উদাহরণ	65
3.2 ঘর্ষণ	66
3.2.1 ঘর্ষণ - ধারণা এবং প্রকার	66
3.2.2 ঘর্ষণ সীমিত করার নীতি এবং ঘর্ষণ গুণাঙ্ক	67
3.2.3 ঘর্ষণ এবং এর প্রয়োগ	67
3.2.4 সম্পর্কিত এপ্লিকেশনের সাথে ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ	68
3.3 ক্ষমতা এবং শক্তি	70
3.3.1 শক্তি-ভূমিকা গতিশক্তি এবং স্থির শক্তি	70
3.3.2 মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি	70
3.3.3 যান্ত্রিক শক্তি এবং যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণ	71
3.3.4 শক্তির রূপান্তর	72
3.3.5 ক্ষমতা এবং এর একক	73
3.3.6 ক্ষমতা এবং কাজের সম্পর্ক	74
সারসংক্ষেপ	75
অনুশীলন	76
ব্যবহারিক	77
আরো জ্ঞাতব্য	86
তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং	86

<b>ইউনিট 4: ঘূর্ণন গতি</b>	<b>89-106</b>
ইউনিট বিশেষ	89
যুক্তি	89
পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	89
ইউনিট আউটকাম	89
4.1   ঘূর্ণন গতি	90
4.1.1 উদাহরণ সহ চলন এবং ঘূর্ণন গতি	90
4.1.2 টর্ক এবং কৌণিক গতিবেগের সংজ্ঞা	91
4.1.3 জড়তা ভাষক	93
4.1.4 কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ এবং এর প্রযোগ	94
4.1.5 চক্রগতির ব্যাসার্ধ	95
4.1.6 সমান্তরাল এবং লম্ব অক্ষের উপপাদ্য	95
4.1.7 বিভিন্ন বস্তুর জড়তা ভাষক	95
সারসংক্ষেপ	98
অনুশীলন	98
ব্যবহারিক	100
আরো জ্ঞাতব্য	105
তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং	106
<b>ইউনিট 5: বস্তুর ধর্ম</b>	<b>107-148</b>
ইউনিট বিশেষ	107
যুক্তি	107
পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	107
ইউনিট আউটকাম	107
5.1   স্থিতিস্থাপকতা	108
5.1.1 পীড়ন এবং বিকৃতির সংজ্ঞা	108
5.1.2 হকের নীতি এবং স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক	111
5.1.3 স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের প্রকার	111
5.1.4 পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রের গুরুত্ব	112
5.2   চাপ	114
5.2.1 চাপের সংজ্ঞা	114
5.2.2 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ	115

5.2.3 গেজ চাপ এবং পরম চাপ	115
5.2.4 ফট্টনের ব্যারোমিটার	116
<b>5.3 পৃষ্ঠটান</b>	<b>118</b>
5.3.1 পৃষ্ঠটান ধারণা	118
5.3.2 সংস্কৃতি এবং আসন্ন বল	118
5.3.3 স্পর্শকোণ	119
5.3.4 কৈশিক টিউবে তরলের উখানের সূত্র	120
5.3.5 পৃষ্ঠটানের প্রয়োগ	120
5.3.6 পৃষ্ঠটানকে প্রভাবিত করার কারণ	120
<b>5.4 সান্দ্রতা এবং সান্দ্রতার গুণাঙ্ক</b>	<b>121</b>
5.4.1 সান্দ্রতা সান্দ্রতার গুণাঙ্ক এবং প্রাণ্তিক বেগ	121
5.4.2 স্টোকসের নীতি এবং সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব	123
5.4.3 জলবাহী সিস্টেমে সান্দ্রতার প্রয়োগ	124
<b>5.5 জলবিদ্যুৎবিদ্যা</b>	<b>125</b>
5.5.1 তরল গতি	125
5.5.2 ধারারেখ এবং অশান্ত প্রবাহ	126
5.5.3 রেনল্ডস সংখ্যা	126
5.5.4 ধারাবাহিকতার সমীকরণ	127
5.5.5 বার্নেলির উপপাদ্য এবং এর প্রয়োগ	128
সারসংক্ষেপ	130
অনুশীলন	131
ব্যবহারিক	133
আরো জ্ঞাতব্য	147
তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং	148
<b>ইউনিট 6: তাপ এবং থার্মোম্যাট্রি</b>	<b>149-171</b>
ইউনিট বিশেষ	149
যুক্তি	149
পূর্ব প্রয়োজনীয়তা	149
ইউনিট আউটকার্ম	149
<b>6.1 তাপ স্থানান্তর এবং তাপমাত্রা পরিমাপ</b>	<b>150</b>
6.1.1 তাপ এবং তাপমাত্রার ধারণা	150

6.1.2 তাপ স্থানান্তরের ধরন	150
6.1.3 আপেক্ষিক তাপ	151
6.1.4 তাপমাত্রার স্ফ্রেল এবং তাদের সম্পর্ক	152
6.1.5 থার্মোমিটারের ধরন এবং তাদের ব্যবহার	153
6.2 কঠিন তরল এবং গ্যাসের উপর তাপমাত্রার প্রভাব	156
6.2.1 কঠিন তরল এবং গ্যাসের বিস্তার	156
6.2.2 রেখিক পৃষ্ঠ এবং ঘনক সম্প্রসারণ এবং তাদের মধ্যে সম্পর্কের সহগ	157
6.2.3 তাপ পরিবাহিতা সহগ	159
6.2.4 প্রকৌশল অ্যাপ্লিকেশন	159
সারসংক্ষেপ	161
অনুশীলন	161
ব্যবহারিক	162
আরো জ্ঞাতব্য	170
তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং	171
<b>সংযোজন</b>	<b>173-179</b>
সংযোজন-I: গুরুত্বপূর্ণ সূত্র	173
সংযোজন-II: রূপান্তর ফ্যাক্টর	177
সংযোজন-III: পরীক্ষাগারে কাজ করার সময় কিছু সাধারণ এবং সুনির্দিষ্ট নির্দেশনা	178
<b>পরিশিষ্ট</b>	<b>180-183</b>
পরিশিষ্ট - A: অনুশীলনের জন্য প্রস্তাবিত টেমপ্লেট	180
পরিশিষ্ট - B: ব্যবহারিক / প্রকল্প / গোষ্ঠীর কার্যক্রমের জন্য নির্দেশমূলক মূল্যায়ন নির্দেশিকা	181
পরিশিষ্ট - C: মূল্যায়নগুলি বুমের স্তরের সংযুক্ত	182
পরিশিষ্ট - D: ব্যবহারিক জন্য রেকর্ড	182
আরও শিক্ষার জন্য রেফারেন্স	184
CO এবং PO প্রাপ্তি টেবিল	185
<b>সূচক</b>	<b>186-187</b>

# 1

# ভৌত জগত, একক এবং পরিমাপ

## ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করেছে:

- মৌলিক এবং প্রাপ্তি বস্তুর পরিমাণ এবং একক
- ইউনিট পদ্ধতি
- বস্তুর মাত্রার মাত্রিক বিশ্লেষণ তার সীমাবদ্ধতা
- পরিমাপের প্রত্যক্ষ এবং পরোক্ষ পদ্ধতি এবং পরিমাপ যন্ত্রের ন্যূনতম গণনা
- ক্রটিগুলির অনুমান
- উল্লেখযোগ্য পরিসর্থ্যান

## যুক্তি

ইঞ্জিনিয়ারিং, শিল্প এবং দৈনন্দিন জীবনে পরিমাণের পরিমাপ প্রয়োজন। ভৌত পরিমাণ পরিমাপের জন্য পরিমাণের একক সংজ্ঞায়িত করা উচিত। মূল ভৌত রাশিগুলো স্বাধীন এবং বাকিগুলো মূল রাশিগুলোর উপর নির্ভরশীল। একটি ভৌত রাশির মাত্রিক সূত্রটি মৌলিক পরিমাণের পরিপ্রেক্ষিতে পাওয়া যায়। মাত্রার পদ্ধতি সমীকরণের সঠিকতা যাচাই এবং পরিমাণের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য ব্যবহৃত হয়। পরিমাপের ক্রটি নির্ধারণ করে একটি ভৌত রাশির সঠিক মান পাওয়া যাবে। এই সমস্ত বিষয়গুলি এই পাঠ্যে অধ্যয়ন করা হবে।

## পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- গণিত: মৌলিক বীজগণিত
- বিজ্ঞান: মৌলিক বিজ্ঞান
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

## ইউনিট আউটকাম

U1-O1: যথাযথ একক দিয়ে ভৌত রাশিকে চিহ্নিত করন এবং প্রদত্ত ভৌত রাশির মাত্রা নির্ধারণ

U1-O2: মাত্রা এবং তাদের সীমাবদ্ধতার পদ্ধতি প্রয়োগ

U1-O3: প্রদত্ত পরিমাপ যন্ত্র এবং এর প্রয়োগ বর্ণনা

U1-O4: একটি ভৌত পরিমাণের প্রদত্ত পরিমাপে ক্রটি যুক্তিসংস্কৃতভাবে নির্ধারণ

## ২ | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

### কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং

ইউনিট-১ ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং (1-দুর্বল পারম্পরিক সম্পর্ক, 2-মাঝারি সম্পর্ক, 3-শক্তিশালী পারম্পরিক সম্পর্ক)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U1-O1	3	3	3	3	3	3
U1-O2	3	2	2	2	2	2
U1-O3	2	1	1	1	2	2
U1-O4	3	2	2	1	3	2

### 1.1 ভৌত মান

#### মজার ঘটনা

একক এবং মাত্রার কিছু আকর্ষণীয় তথ্য রয়েছে; যেমন একটি নীল তিমি 30 টি হাতির মতো ওজন করতে পারে, একটি বিড়াল তাদের দৈর্ঘ্যের 7 গুণ পর্যন্ত লাফাতে পারে। কুমির পাথরযখন জল জমে যায় তখন তা 9% প্রসারিত হয়, কুমির তাদের আরও গভীরে ডুব দিতে সাহায্য করার জন্য পাথর গিলে ফেলে।

#### 1.1.1 ভৌত পরিমাণ

পদার্থবিজ্ঞানের অধ্যয়ন পরিমাপের উপর ভিত্তি করে। তাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য বিভিন্ন পরিমাণ পরিমাপ করা প্রয়োজন। যে পরিমাণগুলি পরিমাপ করা যায় সেগুলি ভৌত পরিমাণ হিসাবে পরিচিত। যেমন- দৈর্ঘ্য, ভর, সময়, আয়তন, গতি ইত্যাদি। অন্যদিকে, উচ্চস্বরে পিচটি অ-ভৌত পরিমাণ কারণ এটি পরিমাপ করা সম্ভব নয়।

একটি ভৌত পরিমাণ পরিমাপ করতে, আমাদের একটি স্ট্যাটার্ড একক প্রয়োজন। প্রতিটি পরিমাপ দুটি অংশ নিয়ে গঠিত, প্রথমটি সাংখ্যিক অংশ ( $n$ ) এবং দ্বিতীয়টি ভৌত পরিমাণের একক ( $u$ )। ধর, একটি ব্লকের ভর 5kg, তখন  $n = 5$  হল সাংখ্যিক অংশ যা একক ভরের 5 গুণ এবং  $u$  হল ভরের একক kg; এইভাবে,  $n_1u_1 = n_2u_2$ ;  $n_1 = 5$ ,  $u_1 = \text{kg}$ ,  $n_2 = 5000$  এবং  $u_2 = \text{gm}$

#### 1.1.2 মৌলিক এবং প্রাপ্ত একক

বৈজ্ঞানিক কাজে এবং দৈনন্দিন জীবনে ভৌত পরিমাণের সংখ্যা পরিমাপ করা হয় এবং প্রতিটি পরিমাপকৃত পরিমাণের জন্য একটি একক সংজ্ঞায়িত করা প্রয়োজন। উদাহরণস্বরূপ, আয়তন দৈর্ঘ্যের সাথে সম্পর্কিত এবং গতি দৈর্ঘ্যের অনুপাত। সূতরাং, সমস্ত পরিমাণকে স্বাধীন পরিমাণ হিসাবে বেছে নেওয়ার দরকার নেই। মৌলিক পরিমাণগুলি স্বাধীন এবং বাকি পরিমাণগুলি মৌলিক পরিমাণের পরিপ্রেক্ষিতে প্রকাশ করা যেতে পারে। সাতটি মৌলিক পরিমাণ আছে এবং এই মৌলিক রাশিগুলো থেকে উদ্ভৃত পরিমাণ পাওয়া যায়।

যে পরিমাণগুলি স্বাধীন তাদের মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের পরিমাণ বলা হয়। মৌলিক পরিমাণের এককগুলিকে মৌলিক একক বলা হয়। মৌলিক পরিমাণগুলিকে মৌলিক পরিমাণও বলা হয়। অন্যান্য সকল পরিমাণ যা মৌলিক পরিমাণ থেকে উদ্ভৃত হতে পারে তাদের বলা হয় প্রাপ্ত একক। গতি, চাপ, কাজ এবং আয়তন প্রাপ্ত পরিমাণের কিছু উদাহরণ।

**SI একক:** SI ফরাসি নাম Le Système International d'Unités থেকে সংক্ষিপ্ত। 1971 সালে সিজিপিএম এর একটি সভা অনুষ্ঠিত হয় এবং এককগুলির সিস্টেমের বিষয়ে সিদ্ধান্ত নেয় যাকে আন্তর্জাতিক একক পদ্ধতি বলা হয়।  
এসআই একক এবং সাতটি মৌলিক পরিমাণের নাম নীচে সারণীতে দেওয়া হয়েছে।

সারণী 1.1: সাতটি মৌলিক একক

ভৌত পরিমাণ	এসআই একক	প্রতীক
দৈর্ঘ্য	মিটার	m
ভর	কিলোগ্রাম	kg
প্রবাহ	অ্যাম্পিয়ার	A
সময়	সেকেন্ড	s
থার্মোডাইনামিক তাপমাত্রা	কেলভিন	K
আলোকিত তীব্রতা	ক্যাডেলা	cd
পদার্থের পরিমাণ	মোল	mol

সারণী 1.2: প্রাপ্তি একক

ভৌত পরিমাণ	SI একক	সংক্ষেপ
আয়তন	$m^3$	$m^3$
বল	newton	$kg\ m\ s^{-2} = N$
কাজ	joule	$kg\ m^2\ s^{-2} = J$
ক্ষমতা	watt	$kg\ m^2\ s^{-3} = W$

সাতটি মৌলিক একক ছাড়াও দুটি সম্পূরক একক সংজ্ঞায়িত করা হয়েছে।

সারণী 1.3: পরিপূরক পরিমাণ

পরিপূরক পরিমাণ	একক	প্রতীক
সমতল কোণ	রেডিয়ান	rad
কঠিন কোণ	steradian	sr

### 1.1.3 একক পদ্ধতি

পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত এককের তিনটি পদ্ধতি রয়েছে :

- F.P.S:** (ফুট, পাউন্ড এবং সেকেন্ড) এখানে দৈর্ঘ্যের একক ফুট, ভরের একক পাউন্ড এবং সময়ের একক সেকেন্ড
- C.G.S:** সেন্টিমিটার, গ্রাম, সেকেন্ড (সেন্টিমিটারে দৈর্ঘ্য, গ্রামে ভর এবং সেকেন্ডে সময়)
- M.K.S:** মিটার, কিলোগ্রাম, সেকেন্ড (এই এককের পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য মিটারে, কিলোগ্রামে ভর এবং সেকেন্ডে সময় পরিমাপ করা হয়)

## 4 | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

এককের এসআই পদ্ধতিতে, সাতটি মৌলিক পরিমাণ পরিমাপ করা হয় এককগুলির M.K.S পদ্ধতির বর্ধিত আকারে। এককগুলির দৈর্ঘ্য SI পদ্ধতিতে পরিমাপ করা হয়, সেকেন্ডে সময়, ভর কিলোগ্রামে, কেলভিনে তাপমাত্রা, অ্যাম্পিয়ারে বৈদ্যুতিক শ্রেত, ক্যান্ডেলায় আলোকিত তীব্রতা এবং পদার্থের পরিমাণ মৌলে পরিমাপ করা হয়।

সারণি 1.4: এসআই এককের উপসর্গ, দশের ক্ষমতা (power of 10) এবং শব্দাংশে সংযুক্ত শব্দাংশের প্রতীক

দশের ক্ষমতা (Power of ten)	12	9	6	3	2	1	-1	-2	-3	-6	-9	-12
শব্দাংশে সংযুক্ত শব্দাংশ (Prefix)	tera	giga	mega	Kilo	hecto	deca	deci	centi	milli	micro	nano	pico
প্রতীক (Symbol)	T	G	M	K	H	da	d	c	m	μ	n	p

### ১.১.৪ ভৌত পরিমাণের মাত্রা এবং মাত্রিক সূত্র

এখানে সাতটি মৌলিক পরিমাণ এবং দুটি পরিপূরক পরিমাণ রয়েছে এবং বাকি সমস্ত পরিমাণগুলি প্রাপ্ত পরিমাণ। মৌলিক পরিমাণের গুণ এবং বিভাজনের দ্বারা প্রাপ্ত পরিমাণগুলি উদ্ভৃত হতে পারে। আমরা মৌলিক পরিমাণের পরিপ্রেক্ষিতে একটি ভৌত পরিমাণ প্রকাশ করতে পারি। একটি বেস পরিমাণের ক্ষমতা (বা এক্সপোনেন্ট) যা অভিব্যক্তিতে প্রবেশ করে তাকে সেই বেসের পরিমাণের মাত্রা বলে।

সারণি 1.5: বেস পরিমাণের মাত্রিক প্রতীক

পরিমাণ	দৈর্ঘ্য	ভর	সময়	তাপমাত্রা	প্রবাহ	আলোকিত তীব্রতা	পদার্থের পরিমাণ
প্রতীক	L	M	T	K	I	cd	mol

### ভৌত পরিমাণের মাত্রিক সূত্র

$$\text{বল} = \text{ভর} \times \text{ত্বরণ} = \text{ভর} \times [\text{দৈর্ঘ্য}/\text{সময়}^2] = [MLT^{-2}]$$

(মাত্রা হল ভর 1, দৈর্ঘ্য 1 এবং সময়-2)

$$\text{আয়তন} = \text{দৈর্ঘ্য} \times \text{প্রস্থ} \times \text{উচ্চতা} = [L][L][L] = [M^0L^3T^0]$$

(মাত্রিক সূত্র আয়তনের মাত্রা দৈর্ঘ্য 3 এবং বাকি শূন্য)

$$\text{ঘনত্ব} = \text{ভর}/\text{আয়তন} = M/L^3 = [ML^{-3}T^0]$$

দৃষ্টব্য- ভৌত পরিমাণের মাত্রিক সূত্র খুঁজে বের করার জন্য মাত্রা বিবেচিত হয় না। এটা নির্ভর করে যে পরিমাণ প্রবেশ করে তার সমতার উপর। এইভাবে, বেগের পরিবর্তন, প্রাথমিক বেগ, গড় বেগ এবং চূড়ান্ত বেগ সবই একই মাত্রিক সূত্র অর্থাৎ  $LT^{-1}$ ।

### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন/ শিল্প)

দৈনন্দিন জীবনে, দোকানদার গুণফলের ওজন করে। যখন কেউ কাপড় কিনতে যায়, তখন কাপড়ের দৈর্ঘ্য মাপতে হয়। যখন একজন সিভিল ইঞ্জিনিয়ার একটি বাড়ি তৈরি করেন, তখন তিনি প্লটের দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ পরিমাপ করে বাড়ির মানচিত্র এবং নকশা করেন। দুই শহরের মধ্যে দূরত্ব কিলোমিটারে এবং বাস বা বিমান ভ্রমণের জন্য ভাড়ায় রূপালীতে তথ্য প্রয়োজন। প্রকোশল এবং শিল্পে বিভিন্ন ভৌত পরিমাণের পরিমাপ প্রয়োজন।

### কেস স্টাডি (পরিবেশ / স্থায়িত্ব / সামাজিক / নেতৃত্বিক / সমস্যা)

15 এপ্রিল, 1999-এ, একটি কোরিয়ান এয়ার কার্গো ফ্লাইট নং 6316 সাংহাই থেকে সিউল যাচ্ছিল। এয়ার ট্রাফিক কন্ট্রোল (এটিসি) টাওয়ার থেকে ফ্লাইটের ক্রস সদস্যরা ভূমি থেকে বিমানের দূরত্ব মিটারে পেয়েছিলেন যেখানে বিমানের অলিটিমিটার ফুট ইউনিটে দূরত্ব নির্দেশ করে। ফলে বিমানটি পথভৰ্ত হয়ে মাটিতে পড়েছিল। দুর্ঘটনায় তিনজন ক্রু সদস্য এবং 5 জন নিহত এবং 37 জন আহত হন। এই কেস স্টাডি দেখায়, যে কোন ভৌত পরিমাণ পরিমাপের ক্ষেত্রে এককের মান সহ তার যত্ন নেওয়া প্রয়োজন।

### সৃজনশীল অনুসন্ধান এবং কৌতুহল

$$\text{পর্যায়ক্রমিক গতির সমীকরণ, } y = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

এই সমীকরণে মুদ্রণ ক্রটি বের কর। এখানে  $a$  হল সর্বাধিক স্থানচ্যুতি।

### সমাধানকৃত সমস্যা

**P-1:** নিম্নলিখিত পরিমাণের মাত্রিক সূত্র বের কর : কাজ, ক্ষমতা, টর্ক।

#### সমাধান :

$$(a) \text{ কাজ} = \text{বল} \times \text{স্থানচ্যুতি}$$

$$W = F \times \text{দৈর্ঘ্য} = [MLT^{-2}] [L] = [ML^2T^{-2}]$$

$$(b) \text{ ক্ষমতা, } P = \text{কাজ}/\text{সময়} = \frac{ML^2T^{-2}}{T} = ML^2T^{-3}$$

$$(c) \text{ টর্ক} = \text{বল} \times \text{বল থেকে লম্ব দূরত্ব}$$

$$T = F \times \text{দৈর্ঘ্য} = [MLT^{-2}] [L] = [ML^2T^{-2}]$$

**P-2:** নিম্নলিখিত পরিমাণের মাত্রিক সূত্রগুলি বের কর :

$$(a) \text{ স্থিতিস্থাপকতার ইয়ং গুণাঙ্ক } Y$$

$$(b) \text{ সান্দ্রতার গুণাঙ্ক } (\eta)$$

$$(c) \text{ মহাকর্মের সার্বজনীন প্রক্রিয়া } G$$

#### সমাধান :

$$(a) Y = \frac{mgL}{\pi r^2 \ell}$$

$$[Y] = \frac{MLT^{-2}L}{L^2L} = ML^{-1}T^{-2}$$

$$(b) \text{ সান্দ্রতাজনিত বল, } F = 6\pi r v \eta$$

$$[\eta] = \frac{MLT^{-2}}{LLT^{-1}} = ML^1T^{-1}$$

$$(c) \text{ } F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$$

$$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2} = \frac{MLT^{-2}L^2}{M^2} = M^{-1}L^3T^{-2}$$

## 1.2 মাত্রিক বিশ্লেষণ

### মজার ঘটনা

আলোকবর্ষ হল এক বছরে শুন্যতায় আলো দ্বারা অমণ করা দূরত্বের একক। মাইনাস  $40^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রা মাইনাস  $40^{\circ}\text{F}$  এর সমান।

### 1.2.1 মাত্রার এককতার নীতি

এই নীতিটি বলে যে একই মাত্রার যে কোন ভৌত পরিমাণ যোগ এবং বিয়োগ করতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, ভর দৈর্ঘ্যে বিয়োগ করা যাবে না এবং কাজের গতিতে যোগ করা যাবে না। অন্য কথায়, সমীকরণের সমস্ত পদ অবশ্যই মাত্রিকভাবে সমান (বা সমজাতীয়) হতে হবে। সুতরাং, প্রদত্ত সমীকরণের সঠিকতা যাচাই করার জন্য কেউ একত্রের এই নীতি ব্যবহার করতে পারে।

#### A. মাত্রিক সমীকরণ এবং তাদের প্রয়োগ

মাত্রিক সমীকরণের সঠিকতা পরীক্ষা করা: মাত্রার পদ্ধতি ব্যবহার করে কেউ একটি সমীকরণের সঠিকতা যাচাই করতে পারে যেহেতু এটি মাত্রিকভাবে সঠিক বা ভুল হতে পারে।

#### উদাহরণ:

সমীকরণটি মাত্রিকভাবে সঠিক কিনা পরীক্ষা কর:  $v^2 = u^2 + 2ax$

#### সমাধান:

এখানে,  $v$  হল একটি বস্তুর চূড়ান্ত বেগ যা একটি প্রারম্ভিক বেগ  $u$  দিয়ে শুরু হয় এবং গতির দিক বরাবর একটি ত্বরণ থাকে,  $x$  হল বস্তুর দ্বারা অর্পণ করা স্থানচ্যুতি।

$$[v^2] = (\text{চূড়ান্ত বেগ})^2$$

$$= (\text{দৈর্ঘ্য}/\text{সময়})^2 = L^2 T^{-2}$$

$$[u^2] = (\text{প্রারম্ভিক বেগ})^2 = (\text{দৈর্ঘ্য}/\text{সময়})^2 = L^2 T^{-2}$$

$$ax = \text{ত্বরণ} \times \text{স্থানচ্যুতি}$$

$$= \text{বেগ}/\text{সময়} \times \text{স্থানচ্যুতি}$$

$$= (\text{দৈর্ঘ্য}/\text{সময়})/\text{সময়} \times \text{দৈর্ঘ্য} = L^2 T^{-2}$$

এখানে, তিনটি পদের মাত্রা একই রকম তাই সমীকরণটি মাত্রার উপর ভিত্তি করে সঠিক।

#### উদাহরণ:

$$\text{সূত্রের সঠিকতা পরীক্ষা কর}, F = \frac{mv^2}{r}$$

যেখানে  $F$  বল,  $m$  ভর,  $v$  কণার বেগ এবং  $r$  বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

#### সমাধান:

বেগের মাত্রা হল,  $LT^{-1}$

$$\text{সুতরাং, ডান হাতের মাত্রা হল}, \frac{M \cdot (LT^{-1})^2}{L} = MLT^{-2}$$

বাম দিক একটি বল তাই মাত্রা,  $MLT^{-2}$

উভয় পক্ষের মাত্রা সমান; সুতরাং, সূত্র সঠিক।

#### B. এককের একটি পদ্ধতি থেকে অন্যটিতে রূপান্তর

মাত্রা ব্যবহার করে কেউ একটি ভৌত রাশির এককের সাংখ্যিক অংশকে একটি পদ্ধতিথেকে অন্য পদ্ধতিতে রূপান্তর করতে পারে।

#### উদাহরণ:

এক joule কাজকে erg (CGS) এ রূপান্তর কর।

### সমাধান:

প্রথমে কাজের মাত্রিক সূত্র লিখি,  $[W] = [F][x] = [MLT^{-2}] [L] = ML^2T^{-2}$

এখানে  $n_1 = 1$ ,  $u_1 = \text{joule (MKS)}$ ,  $u_2 = \text{CGS unit}$ ,  $n_2 = ?$

$$n_1 u_1 = n_2 u_2, \text{ অতএব, } n_2 = \frac{n_1 u_1}{u_2} = 1 \left( \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ g}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ cm}} \right)^2 \left( \frac{1 \text{ s}}{1 \text{ s}} \right)^2 = \left( \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ g}} \right) \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ cm}} \right)^2 \left( \frac{1 \text{ s}}{1 \text{ s}} \right)^{-2} = 10^3 \times 10^4 = 10^7 \text{ erg}$$

অতএব, 1 joule =  $10^7$  erg

যদি একটি প্রাপ্ত পরিমাণের মাত্রিক সূত্র জানা থাকে তাহলে একটি পদ্ধতি থেকে অন্য পদ্ধতিতে একটি ভৌত পরিমাণ রূপান্তর করা যায়।

### C. ভৌত পরিমাণের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন

কখনও কখনও প্রদত্ত ভৌত পরিমাণের মধ্যে সম্পর্ক মাত্রা পদ্ধতি ব্যবহার করে বের করা যায়। প্রদত্ত পরিমাণের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের এই পদ্ধতিতে, কেউ ধরে নিতে পারে যে ভৌত রাশির মধ্যে নির্ভরতা গুণফল ধরণের। মাত্রার এই প্রয়োগ একটি উদাহরণ প্রাপ্ত করে বোঝা যায়।

### উদাহরণ:

ধর স্ট্রিংয়ে টান (F) এর কারণে কম্পনযুক্ত একটি প্রসারিত স্ট্রিং এর কম্পাক্ষিতির জন্য আমাদের অভিযন্তা বের করতে হবে। সুতরাং, কম্পাক্ষে প্রয়োগ করা টান (F), স্ট্রিং এর দৈর্ঘ্য (l) এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরের ( $\mu$ ) উপর নির্ভর করতে পারে।

### সমাধান:

আমরা অনুমান করি যে পরিমাণগুলির উপর কম্পাক্ষ নির্ভরতা এই ধরনের, অর্থাৎ

$$n = k L^a F^b \mu^c \quad \dots (1.1)$$

যেখানে, k হল মাত্রাইন ফ্রেক্ষ এবং a, b, এবং c হল সূচক যা আমরা নির্ধারণ করতে চাই। উভয় দিকের মাত্রা বিবেচনা করে, আমাদের আছে,

$$T^{-1} = k L^a (MLT^{-2})^b (ML^{-1})^c = k L^{a+b-c} M^{b+c} T^{-2b}$$

যেহেতু উভয় দিকের মাত্রা সমান হতে হবে তাই,

$$a + b - c = 0; \quad b + c = 0; \quad -2b = -1$$

এবং সমাধান করার পর

$$b = \frac{1}{2}, c = \frac{1}{2}, a = -1$$

এই মানগুলিকে সমীকরণ (1.1) রাখলে আমরা পাই

$$n = \frac{K}{l} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \dots (1.2)$$

### 1.2.2 মাত্রিক বিশ্লেষণের সীমা

যদিও মাত্রিক সমীকরণের প্রয়োগ দরকারী তবে সেখানে মাত্রিক বিশ্লেষণের কিছু সীমাবদ্ধতা রয়েছে।

- একটি সম্পর্ক প্রদত্ত ভৌত পরিমাণের মধ্যে কেবল তখনই অনুমান করতে পারে যদি নির্ভরশীলতা প্রকারের উপর নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ,  $v^2 = u^2 - 2ax$ , নির্ধারণ করা যাবে না।

## 8 | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

2. যদি কোন নির্দিষ্ট ভৌত পরিমাণ তিনটির বেশি পরিমাণের উপর নির্ভর করে তবে এই পদ্ধতিটি ব্যবহার করা যাবে না কারণ সেখানে আরো আজানা রাশি কিন্তু কম সমীকরণ থাকবে। সূতরাং, সূচকগুলি অন্যভাবে পাওয়া যাবে না।
3. মাত্রিক বিশ্লেষণের পদ্ধতি দ্বারা মাত্রাবিহীন সংখ্যাসূচক ধৰ্বক নির্ধারণ করা যায় না।
4. সমীকরণগুলি বের করা যায় না যার মধ্যে ত্রিকোণমিতিক পদ ( $\sin x, \cos x, \tan x$  ইত্যাদি), সূচকীয় ফাংশন ( $e^x, a^x$  ইত্যাদি) এবং লগারিদমিক পদ ( $\log x$ ) থাকে।

### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন। শিল্প)

ভৌত পরিমাণ এক একক থেকে অন্য এককে রূপান্তর করা প্রয়োজন; যেমন 1 kg চিনি  $\approx$  40 টাকা, তখন 250 থাম চিনির দাম নির্ধারণ করতে হবে। যদি প্লিটের দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ ফুটে দেওয়া হয় তবে এটিকে মিটারে রূপান্তর করা প্রয়োজন। সিভিল ইঞ্জিনিয়ার লোহার ওজনকে টনে দিয়েছেন এবং এটিকে কিলোগ্রামে রূপান্তর করা প্রয়োজন।

### কেস স্টাডি (পরিবেশগত স্থায়িত্ব সামাজিক নৈতিক সমস্যা)

নাসা মার্স ক্লাইমেট অরবিটার 1999 সালের সেপ্টেম্বরে কক্ষপথে প্রবেশের পরিবর্তে মঙ্গল গ্রহের একটি মিশনে দুর্ঘটনাক্রমে ধ্বংস হয়ে যায়। মিশনের ব্যর্থতার কারণ ছিল শক্তির এককের ভুল যোগাযোগ যা বিভিন্ন কম্পিউটার প্রোগ্রামে ভিন্নভাবে (নিউটন বানাম পাউন্ড-ফোর্স) ব্যবহার করা হয়েছিল। ফলে প্রচুর পরিশ্রম, অর্থ ও সময় নষ্ট হয়েছিল।

### সৃজনশীল অনুসন্ধান এবং কৌতুহল

মৌলিক পরিমাণ হতে বল, ভর এবং সময় গ্রহণ করে (a) টক (b) চাপ (c) ত্বরণ এর মাত্রা নির্ধারণ করে।

### সমাধানকৃত সমস্যা

P-1: মাত্রিক বিশ্লেষণের ভিত্তিতে  $x = ut + (\frac{1}{2})a t^2$  সমীকরণের সঠিকতা পরীক্ষা কর।

#### সমাধান:

$$[x] = \text{দৈর্ঘ্য} = L; [ut] = \text{বেগ} \times \text{সময়} = LT^{-1} T = L \text{ এবং } [at^2] = \text{ত্বরণ} \times \text{সময়}^2 = LT^{-2} \cdot T^2 = L$$

সমস্ত পদগুলির মাত্রা সমান, তাই প্রদত্ত সমীকরণটি সঠিক।

P-2: একটি সাধারণ পেন্ডুলামে (m) ভরের একটি বব (1) দৈর্ঘ্যের একটি স্ট্রিংয়ের সাথে সংযুক্ত থাকে এবং সময়কাল T এর সাথে মাধ্যাকর্ষণের অধীনে দোলা দেয়। মাত্রিক বিশ্লেষণের পদ্ধতি ব্যবহার করে প্রদত্ত পরিমাণের সাথে সময়কালের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

#### সমাধান:

মানের উপর নির্ভর করে l, m এবং g গুণফলের ধরন হতে পারে যা এভাবে লেখা যেতে পারে

$$T = k l^a m^b g^c \dots \dots (1) \text{ যেখানে, } k \text{ হল মাত্রাবিহীন ধৰ্বক এবং } a, b, c \text{ হল সূচক।}$$

মাত্রা নিয়ে আমরা লিখতে পারি,

$$T = [L]^a [M]^b [LT^{-1}]^c \therefore L^a M^b T^c = L^{a+c} M^b T^{-c}$$

উভয় পক্ষের M, L এবং T এর সমান ক্ষমতায়, আমাদের  $a + c = 0; b = 0$ ; এবং  $-c = 1$

সূতরাং,  $a = 1, b = 0, c = -1$ । সমীকরণ (1) এ  $a, b$  এবং  $c$  এই মানগুলি প্রতিস্থাপন করে,

$$T = kl^{1/2} g^{-1/2} \text{ i.e., } T = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

ধৰ্বক k এর মান অন্য কোন পদ্ধতি দ্বারা নির্ধারিত হয় যা  $2\pi$ , এখানে k এর মান মাত্রিক বিশ্লেষণ দ্বারা পাওয়া যাবে না।

### 1.3 পরিমাপ প্রক্রিয়া

#### মজার ঘটনা

হাতের তালুর আকার একটি একক হিসেবেও কাজ করতে পারে যদিও মান পরিমাপের যন্ত্রের মতো নির্ভুল নয়। পাম ইউনিটে বাড়ির ফ্রিজের মাত্রা পরীক্ষা কর এবং স্ট্যান্ডার্ড এককের সাথে তুলনা কর।

#### 1.3.1 পরিমাপ

পরিমাপ হল একটি প্রক্রিয়া বা ক্রিয়াকলাপ যা দুটি ভৌত পরিমাণের সাথে তুলনা করে। যার একটি অপরটির সাথে অজানা মাত্রা রয়েছে এবং একটি পূর্বনির্ধারিত মান (বা একক) পরিমাণ। পরিমাপ উদ্দৃবিত যন্ত্র বা নিজের যন্ত্রের কারণে বিকশিত হয়েছে এবং এর অগ্রগতি আশেপাশের পরিবেশকে আয়ত্ত করার প্রয়োজনীয়তা দ্বারা উদ্দীপিত হয়েছে; ঠান্ডা আবহাওয়া বজায় রাখার জন্য কিছু ব্যবস্থা করার জন্য প্রতিদিনের খাদ্য আনার জন্য উৎপাদনের মাধ্যম আয়ত্ত করা; অর্থতেরি এবং বাণিজ্য গতিশীলতা সরানো; বিভিন্ন ফর্মের শক্তিকে আয়ত্ত করা এবং নিয়ন্ত্রণ করা এবং বর্তমানে সর্বশেষ ডিভাইস ব্যবহার করে তথ্য আয়ত্ত করে।

#### 1.3.2 পরিমাপ যন্ত্র

এটি এমন একটি যন্ত্র যা আমাদের চারপাশের যে কোন জিনিসের মাত্রা বা পরিমাণ দেখায়। ভার্নিয়ার ক্যালিপার, মাইক্রোমিটার স্কুলেজ, ডায়াল গেজ, রেডিয়াস গেজ, সার্ভেরিং কম্পাস, মাল্টিমিটার, ইলেকট্রনিক সেন্সর, ফ্রেমিটার ইত্যাদি বিভিন্ন ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাপ্লিকেশনের জন্য অসংখ্য পরিমাপ যন্ত্র রয়েছে।

#### 1.3.3 পরিমাপ যন্ত্রের লঘিষ্ট ধ্রুবক এবং শূন্য ত্রুটি

যেকোনো পরিমাপ যন্ত্রের মাধ্যমে যে ক্ষুদ্রতম পরিমাপ সঠিকভাবে নেওয়া যায় তাকে তার লঘিষ্ট ধ্রুবক(L.C.) বলা হয়। এটি একটি পরিমাপ যন্ত্রের বিশ্লেষণ দেয়।

উদাহরণ স্বরূপ,

- সাধারণ রূলার 0.1 সেমি বা 1 মিমি সঠিকভাবে পরিমাপ করতে পারে, যা তার সর্বনিম্ন গণনা, বা অন্য কথায়, এর বিশ্লেষণ।
- ভার্নিয়ার ক্যালিপারের লঘিষ্ট ধ্রুবক সাধারণত  $0.01\text{cm} = 0.1\text{ mm}$ । সুতরাং, সাধারণ রূলার এবং ভার্নিয়ার ক্যালিপারের লঘিষ্ট ধ্রুবক তুলনা করলে, কেউ বলতে পারে যে পরবর্তীটির আরও ভাল বিশ্লেষণ রয়েছে।

ভার্নিয়ার ক্যালিপার্সের লঘিষ্ট ধ্রুবক (L.C.) নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা দেওয়া হয়েছে:

$$\text{লঘিষ্টধ্রুবক} = \frac{\text{Smallest division on main scale}}{\text{Total number of divisions on Veriner scale}} = \frac{\text{SDMS}}{\text{TDVS}} = \frac{1\text{ MSD}}{n}$$

- ল্যাবগুলিতে সাধারণত মাইক্রোমিটার স্কুল গেজ 0.001 সেমি বা 0.01 মিমি বা তারও কম পরিমাপ করে। মাইক্রোমিটার স্কুল গেজের লঘিষ্ট ধ্রুবক(L.C.) নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা দেওয়া হয়েছে:

$$\text{মাইক্রোমিটার স্কুল গেজের লঘিষ্ট ধ্রুবক(L.C.)} = \text{স্কুল গেজের পিচ}/\text{বৃত্তাকার স্কেলে বিভাগের সংখ্যা}$$

এখানে, একটি স্কুল গেজের পিচ একটি স্কুল পরপর দুটি শ্রেণের মধ্যে দূরত্ব হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

#### 1.3.4 পরিমাপের প্রকার

দুটি মাত্রিক পরিমাপ আছে: (a) প্রত্যক্ষ এবং (2) পরোক্ষ বা অনুমানমূলক। পরিমাপ যন্ত্র যেমন ভার্নিয়ার ক্যালিপার, মাইক্রোমিটার স্কুল গেজ এবং সমষ্টি পরিমাপ যন্ত্রগুলি সরাসরি পরিমাপ যন্ত্র এবং এগুলি সরাসরি পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়। সরাসরি পরিমাপ

প্রায় সোজা এবং অর্থনেতিক। পরোক্ষ পরিমাপ তুলনামূলক পরিমাপ হিসাবেও পরিচিত কারণ রেফারেন্স ডিভাইসের মানক মাত্রার সাথে লক্ষ্যগুলির তুলনা প্রয়োজন। এই পদ্ধতিটি দূরবর্তী প্রক্রিয়াকরণের জন্য আউটপুট উত্পাদন করে এবং এর পরিমাপে সর্বাধুনিক প্রযুক্তি ব্যবহার করে।

#### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন / শিল্প)

রাসায়নিক শিল্পে, উদ্ভিদ অপারেটর রাসায়নিক উদ্ভিদের মসৃণ কার্যকলাপের জন্য সঠিক এবং প্রয়োজনীয় পদক্ষেপ নেয় ও বিভিন্ন তাপমাত্রা এবং চাপ পরিমাপ করে যা রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির অগ্রগতি দেখায়।

#### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নেতৃত্বিক সমস্যা)

যদি আপনার ঘড়ির একটি টায়ার 5 psi (পাউন্ড প্রতি বর্গ ইঞ্চি) দ্বারা কম স্ফীত হয় তবে এটি তার জীবন প্রায় 25% কমিয়ে দিতে পারে। নিম্ন-স্ফীত টায়ার জ্বালানি খরচ প্রায় 5% বৃদ্ধি করতে পারে যা প্রকৃতি, পরিবেশ এবং অর্থনেতিক ক্ষতি করে।

#### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল

হাত ঘড়ির ন্যূনতম সংখ্যা এবং পরিসীমা কত? বহুদের প্রস্তুতি মধ্যে ফলাফল তুলনা কর।

#### সমাধানকৃত সমস্যা

P-1: যদি মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজের L.C. 0.01 mm হয় এবং বৃত্তাকার স্কেলে 50 টি বিভাগ থাকে এবং শূন্য ত্রুটি +0.02 mm হয়, তাহলে A4 আকারের কাগজের পুরুষের জন্য মোট সংশোধিত মান কত? প্রধান স্কেল পাঠ 0.70 mm এবং বৃত্তাকার স্কেল পাঠ 7 বিভাগ।

#### সমাধান:

এখানে, L.C. মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজ = 0.01 mm এবং শূন্য ত্রুটি (e) = + 0.02 mm

অতএব, সংশোধন (c) = -0.02 mm

প্রধান স্কেল পাঠ (MSR) = 0.70 mm; সার্কুলার স্কেল পাঠ (CSR) = 7 div।

মোট পাঠ (TR) mm = (MSR + CSR × LC) = [0.70 + (7 × 0.01)] mm = 0.77 mm

সংশোধন ± পর্যবেক্ষণের সঠিক মান = মোট পাঠ

সূতরাং, সংশোধিত মান = (0.77 - 0.02) = 0.75 mm

### 1.4 পরিমাপে ত্রুটি

#### মজার ঘটনা

আপনি যদি ফুটবল খেলছেন এবং আপনি গোল করার পরিবর্তে সর্বদা সঠিক গোলপোস্টে আঘাত করেন, তাহলে আপনি সঠিক নন তবে আপনি সুনির্দিষ্ট! আপনি যদি ডার্ট খেলছেন এবং লক্ষ্যবস্তু (অর্থাৎ কেন্দ্রে) হারিয়ে যাওয়ার সময় আপনি সর্বদা বাইরের রিং এর ভিতরে বিভিন্ন জায়গায় আঘাত করেন, আপনি সঠিক কিন্তু সুনির্দিষ্ট নন।

#### 1.4.1 ত্রুটি এবং ত্রুটির ধরন

ত্রুটি হ'ল কোনও পরিমাপ যন্ত্র দ্বারা প্রতিটি পরিমাপের ফলাফলের অনিশ্চয়তা। পরিমাপ ত্রুটি প্রায়ই পর্যবেক্ষণগত ত্রুটি বলা হয়। পরিমাপের নির্ভুলতা দেখায় যে পরিমাপ করা মান পরিমাপের প্রকৃত মানের কতটা কাছাকাছি। যথার্থতা আমাদের বিশ্লেষণ বা সীমা দেয় যার পরিমাণ পরিমাপ করা হয়। পরিমাপের ত্রুটির কারণে প্রতিটি পরিমাপ আনুমানিক মান দেয়। সাধারণভাবে, পরিমাপ ত্রুটিগুলি ব্যাপকভাবে শ্রেণীবদ্ধ করা যেতে পারে (1) পদ্ধতিগত ত্রুটি এবং (2) এলোমেলো ত্রুটি।

- (1) পদ্ধতিগত ত্রুটি: পদ্ধতিগত ত্রুটিগুলি একমুখী, ইতিবাচক বা নেতিবাচক। এগুলি আরও ৩ টি শ্রেণীতে শ্রেণিবদ্ধ করা হয়েছে: (ক) যন্ত্রগত ত্রুটি (খ) পরীক্ষামূলক কৌশল বা পদ্ধতিতে অসম্পূর্ণতা (গ) ব্যক্তিগত ত্রুটি।
- (ক) যন্ত্রগত ত্রুটি : এগুলি ত্রুটি থেকে উদ্ভূত হয় ত্রুটিপূর্ণ এবং অসম্পূর্ণ নকশা বা পরিমাপ যন্ত্রের ক্রমাঙ্কন, যন্ত্রের শূন্য ত্রুটি ইত্যাদির কারণে।
- (খ) পরীক্ষামূলক কৌশল বা পদ্ধতিতে অসম্পূর্ণতা: অসংগঠিত পদ্ধতি বা কৌশল বা অন্যান্য বাহ্যিক অবস্থার (যেমন তাপমাত্রা, আর্দ্রতা, চাপ, উচ্চতা, বায়ুর বেগ ইত্যাদি পরিবর্তন) পরিমাপকে প্রভাবিত করতে পারে।
- (গ) যথাযথ পরীক্ষামূলক এবং যন্ত্রপাতি স্থাপনের অভাব, সঠিক সতর্কতা অবলম্বন না করে পর্যবেক্ষণ প্রহণে ব্যক্তির অনিবজ্ঞতা বা অসাবধানতার কারণে ব্যক্তিগত ত্রুটি দেখা দেয়।, এবং যতদূর সম্ভব ব্যক্তিগত ত্রুটি অপসারণ করা দরকার।
- (2) এলোমেলো ত্রুটি: এলোমেলো ত্রুটিগুলি সেই ত্রুটিগুলি, যা অনিয়মিত সময়ে ঘটে এবং তাই, সাইন এবং আকারের জন্য এলোমেলো। পরীক্ষামূলক অবস্থায় এলোমেলো এবং অনির্দেশ্য ওঠানামার কারণে এই ত্রুটিগুলি দেখা দিতে পারে (যেমন, তাপমাত্রার অনির্দেশ্য ওঠানামা, চাপ, ভোল্টেজ সরবরাহ ইত্যাদি), পাঠ নেওয়ার ক্ষেত্রে পর্যবেক্ষকের ব্যক্তিগত ত্রুটি ইত্যাদি।

#### 1.4.2 পরিমাপে ত্রুটির অনুমান

- (a) পরম ত্রুটি ( $|\Delta a|$ ): ধর ভৌত পরিমাণের বারবার পরিমাপে, প্রাপ্ত মান হল  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ । তারপর এই মানগুলির গাণিতিক গড় হিসাবে দেওয়া হল:

$$\bar{a} = a_{\text{mean}} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

সত্যিকারের মানের অনুপস্থিতিতে, গাণিতিক গড় প্রকৃত মান হিসাবে বিবেচিত হয়। তারপর পৃথক পরিমাপের ত্রুটিগুলি হিসাবে লেখা হয়;  $\Delta a_1 = \bar{a} - a_1$ ;  $\Delta a_2 = \bar{a} - a_2$ ;  $\Delta a_3 = \bar{a} - a_3$  .....  $\Delta a_n = \bar{a} - a_n$

পৃথক পর্যবেক্ষণে ত্রুটিগুলি ইতিবাচক বা নেতিবাচক হতে পারে তবে তাদের পরম ত্রুটি সর্বদা ইতিবাচক হবে।

- (b) গড় পরম ত্রুটি ( $|\overline{\Delta a}|$ ): এটি  $\overline{\Delta a}$  or  $\Delta a_{\text{mean}}$  দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয়। এইভাবে,  $|\overline{\Delta a}| = \overline{\Delta a}_{\text{mean}} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + |\Delta a_3| + \dots + |\Delta a_n|}{n}$ । মানচিত্র একক পরিমাপের জন্য,  $a = a_{\text{mean}} \pm \Delta a_{\text{mean}}$  হিসাবে লেখা যেতে পারে।

- (c) আপেক্ষিক ত্রুটি (বা ভগ্নাংশের ত্রুটি) ( $\delta a$ ) এবং শতকরা ত্রুটি ( $\delta a\%$ ):

$$\text{আপেক্ষিক ত্রুটি } (\delta a) = \frac{|\overline{\Delta a}|}{\bar{a}} = \frac{\Delta a_{\text{mean}}}{a_{\text{mean}}} \text{ এবং শতকরা ত্রুটি, } \delta a = \frac{\Delta a_{\text{mean}}}{a_{\text{mean}}} \times 100\%$$

#### 1.4.3 গাণিতিক ক্রিয়াকলাপে ত্রুটির প্রচার

ধর দুটি ভৌত পরিমাণ  $X$  এবং  $Y$  তাদের মাপা মান এবং ত্রুটি সহ যথাক্রমে  $X \pm \Delta X$ ,  $Y \pm \Delta Y$  হিসাবে লেখা হয়েছে। এখানে,  $\Delta X$  এবং  $\Delta Y$  হল তাদের পরম ত্রুটি। ধর,  $Z$  লক্ষ পরিমাণ এবং  $\Delta Z$  এর পরম ত্রুটি।

- (a) একটি সমষ্টিতে ত্রুটি ( $Z = X + Y$ ) অথবা একটি বিয়োগে ত্রুটি ( $Z = X - Y$ ): সমষ্টি বা বিয়োগের জন্য  $Z$ - এর সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ত্রুটি,  $\Delta Z = \Delta X + \Delta Y$  দ্বারা দেওয়া হয়। যোগফল বা পরিমাণের পার্থক্যের চূড়ান্ত ফলাফলে পরম ত্রুটি সর্বদা যোগ করা হয়।

(b) একটি গুণ ( $Z = XY$ ) এবং একটি ভাগে ত্রুটি ( $Z = X/Y$ ): গুণ বা বিভাজনে সর্বাধিক আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ত্রুটি

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y} \text{ দ্বারা দেওয়া হয়। সংখ্যা বা গুণের চূড়ান্ত ফলাফলে আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ত্রুটি সবসময় যোগ করা হয়।}$$

(c) পাওয়ারের সাথে একটি পরিমাণে ত্রুটি: ধর,  $Z = k \frac{X^n Y^m}{C^q}$  যেখানে,  $k$  = ধ্রুবক। তখন আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ত্রুটি

হিসাবে লেখা যেতে পারে,  $\frac{\Delta Z}{Z} = n \frac{\Delta X}{X} + m \frac{\Delta Y}{Y} + q \frac{\Delta C}{C}$ । কিছু পরিমাণে উৎপন্ন ভৌত পরিমাণে আপেক্ষিক ত্রুটি বা ভগ্নাংশের ত্রুটি হল প্রথক পরিমাণে আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ত্রুটি। ধ্রুবক গুণাঙ্ক আপেক্ষিক ত্রুটির মূল্যায়নের জন্য বিবেচিত হয় না।

#### 1.4.4 উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান বা সংখ্যা

একটি রিপোর্ট পরিমাপে, নির্ভরযোগ্য সংখ্যা এবং প্রথম অনিশ্চিত অঙ্কগুলি উল্লেখযোগ্য সংখ্যা বা উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান হিসাবে পরিচিত। গুরুত্বপূর্ণ পরিসংখ্যান পরিমাপের নির্ভুলতা পরিমাপ যদ্বের ন্যূনতম গণনার উপর নির্ভর করে। উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান নির্ধারণের নিয়ম

- সমস্ত অ-শূন্য সংখ্যা (অর্থাৎ, যে সংখ্যাগুলি [1-9] আছে) তাৎপর্যপূর্ণ।
- দশমিক বিন্দু যেখানেই থাকুক না কেন দুটি শূন্য অক্ষের মধ্যে সমস্ত শূন্য গুরুত্বপূর্ণ।
- 1 (এক) এর চেয়ে কম হয়, দশমিক বিন্দুর ভানাদিকে শূন্য (গুলি) উল্লেখযোগ্য কিন্তু প্রথম শূন্য অক্ষের বাম দিকের শূন্য (গুলি) তাৎপর্যপূর্ণ নয়। এছাড়াও, দশমিক বিন্দু সহ একটি সংখ্যার পিছনে শূন্য (গুলি) উল্লেখযোগ্য।
- যদি সংখ্যাটি দশমিক বিন্দু ছাড়া পিছনে শূন্য (গুলি) থাকে, তবে এই শূন্য (গুলি) তাৎপর্যপূর্ণ নয়। [যেমন, 139 m = 13900 cm = 139000 mm এর তিনটি উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান রয়েছে, পিছনের শূন্য (গুলি) তাৎপর্যপূর্ণ নয়।]
- পিছনে শূন্য (গুলি) সহ মানগুলির জন্য উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যানের সংখ্যা নির্ধারণে বিভ্রান্তি দূর করতে, বৈজ্ঞানিক নোটেশন (10 এর ক্ষমতায়) প্রতিটি পরিমাপের প্রতিবেদন করার সবচেয়ে নিরাপদ উপায়। [যেমন, 100.0 =  $1.0 \times 10 E+3$ ]

#### উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান সহ গাণিতিক ক্রিয়াকলাপের নিয়ম

গুণ বা ভাগে, সমস্ত মূল সংখ্যার মধ্যে উপস্থিত সর্বনিম্ন উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান চূড়ান্ত ফলাফলে বিবেচনা করা উচিত। সারাংশ বা পার্থক্য, চূড়ান্ত ফলাফল সমস্ত মূল সংখ্যার মধ্যে উপস্থিত সর্বনিম্ন দশমিক স্থান ধরে রাখে।

#### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন / শিল্প)

প্রায় প্রতিটি মানুষের কার্যকলাপে কিছু পরিমাপ এবং ত্রুটি জড়িত। উদাহরণস্বরূপ, পরিমাপ এবং ত্রুটি বিশ্লেষণের প্রয়োগগুলি GPS বা GNSS প্রযুক্তিতে, চিকিৎসা ও স্বাস্থ্য খাতে, বিভিন্ন অলিম্পিক স্তরের ক্রীড়া কার্যক্রম, উত্পাদন এবং উত্পাদন শিল্পে উপলব্ধি করা হয়।

#### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নেতৃত্ব সমস্যা)

23 জুলাই, 1983 তারিখে এয়ার কানাডা ফ্লাইট 143 মন্টিল থেকে এডমন্টন পর্যন্ত তার গন্তব্যের সমস্ত জালানি অর্ধেক পথে 41,000 ফুট উচ্চতায় ব্যবহার করে ফেলেন, যার ফলে এটি নিরাপদে জরুরি অবতরণ করতে হয়। ফ্লাইটের জালানি প্রয়োজনের পরিমাপে একটি রাপান্তর ত্রুটির কারণে ঘটনাটি ঘটে। kg/lit ব্যবহার করার জায়গায়, একটি ইম্পেরিয়াল একক পদ্ধতিব্যবহার করা হয়েছিল।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল

নির্ভুলতার মাত্রা হল পরিমাপ এককের প্রতিটি পাশে অর্থেক একক। একটি কাঠ যা 5.5 মিটার লম্বা, সঠিক বা 0.1 মিটারের কাছাকাছি মানে এটি 5.45 মিটার এবং 5.55 মিটার লম্বা হতে পারে। সমাধান করা সমস্যা (ক্রমবর্ধমান অসুবিধার মাত্রা সহ)

**P-1:** বলপয়েন্ট কলমের একটি বলের ব্যাস ( $0.70 \pm 0.01$ ) mm | এর মানে কী?

সমাধান: এর অর্থ হল বলপয়েন্ট কলমের একটি বলের ব্যাসের প্রকৃত মান  $0.69$  mm এবং  $0.71$  mm এর মধ্যে রয়েছে।

**P-2:** যদি একটি পরীক্ষায় সমস্ত পরিমাপের কারণে সর্বাধিক ত্রুটি ঘটে? সমাধান: ফর্মুলায় সর্বাধিক ক্ষমতার সাথে প্রদর্শিত পরিমাণের পরিমাপের কারণে সর্বাধিক ত্রুটি ঘটে। যদি সুত্রের সমস্ত পরিমাণের একই ক্ষমতা থাকে, তবে পরিমাণের পরিমাপের কারণে সর্বাধিক ত্রুটি ঘটে যার মাত্রা সর্বনিম্ন।

**P-3:** যদি গোলকের ব্যাসার্ধ মাইকেড্রোমিটার দ্বারা গেজ দিয়ে পরিমাপ করা হয় এবং পর্যবেক্ষণগুলি নিম্নরূপ হয়, তাহলে গোলকের ব্যাসার্ধ পরিমাপে শতকরা ত্রুটি খুঁজে বের কর:  $R_1 = 2.46$  cm,  $R_2 = 2.40$  cm,  $R_3 = 2.48$  cm,  $R_4 = 2.43$  cm,  $R_5 = 2.42$  cm |

$$\text{সমাধান: } (i) \text{ পর্যবেক্ষণের গড়} = \bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}$$

$$= (2.46 + 2.40 + 2.48 + 2.43 + 2.42)/5 = (12.19)/5 = 2.438 \text{ cm}$$

(ii) পৃথক পর্যবেক্ষণে পরম ত্রুটি:

$$\Delta a_1 = \bar{a} - a_1; \Delta a_2 = \bar{a} - a_2; \Delta a_3 = \bar{a} - a_3; \Delta a_4 = \bar{a} - a_4; \Delta a_5 = \bar{a} - a_5;$$

$$|\Delta a_1| = |2.438 - 2.46| = |-0.022| \text{ cm} = 0.022 \text{ cm}$$

$$|\Delta a_2| = |2.438 - 2.40| = |+0.038| \text{ cm} = 0.038 \text{ cm}$$

$$|\Delta a_3| = |2.438 - 2.48| = |-0.042| \text{ cm} = 0.042 \text{ cm}$$

$$|\Delta a_4| = |2.438 - 2.43| = |+0.008| \text{ cm} = 0.008 \text{ cm}$$

$$|\Delta a_5| = |2.438 - 2.42| = |+0.018| \text{ cm} = 0.018 \text{ cm}$$

(iii) পরম ত্রুটির গড়

$$= \Delta \bar{a} = \frac{|a_1| + |a_2| + |a_3| + |a_4| + |a_5|}{5}$$

$$= (0.022 + 0.038 + 0.042 + 0.008 + 0.018)/5 = 0.128/5 = 0.256 \text{ cm}$$

(iv) আপেক্ষিক ত্রুটি

$$\delta a = \frac{\Delta \bar{a}}{\bar{a}} \cdot \frac{\text{Mean Absolute Error}}{\text{Means of the observations}} = (0.256 \text{ cm} / 2.438 \text{ cm}) = 0.105$$

(v) শতকরা ত্রুটি

$$\delta a \% = \frac{\Delta \bar{a}}{a} \times 100\% = (0.105 \times 100)\% = 10.5\%$$

**P-4:** নিম্নলিখিত পর্যবেক্ষণে উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যানের সংখ্যা বের কর :

- |                                |                                 |                 |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| (a) 0.001 sec                  | (b) $4.34 \times 10^4$ m/s      | (c) 0.5250 kg   |
| (d) 6.0780 N/m <sup>2</sup>    | (e) 31.052 calorie              | (f) 0.0009012 m |
| (g) $1.0203 \times 10^{12}$ Hz | (h) $1.5 \times 10^{-9}$ Ampere |                 |

সমাধান: নিম্নলিখিত পর্যবেক্ষণে উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যানের সংখ্যা হল:

## সারণি 1.6: পর্যবেক্ষণে উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যানের সংখ্যা

ক্রমিক সংখ্যা	পর্যবেক্ষণ	উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান
(a)	0.00 <u>1</u> sec	1 (one)
(b)	<u>4.34</u> × 10 <sup>4</sup> m/s	3 (three)
(c)	0.5 <u>250</u> kg	4 (four)
(d)	6.0780 N/m <sup>2</sup>	5 (five)
(e)	<u>31.052</u> calorie	5 (five)
(f)	0.0009 <u>012</u> m	4 (four)
(g)	<u>1.0203</u> × 10 <sup>12</sup> Hz	5 (five)
(h)	<u>1.5</u> × 10 <sup>-9</sup> Ampere	2 (two)

## সারসংক্ষেপ

- পরিমাপযোগ্য এবং পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিমাণকে ভৌত পরিমাণ বলা হয়।
- সাতটি মৌলিক পরিমাণ স্বাধীন। দুটি সম্পূরক পরিমাণ সমতল কোণ এবং কর্তিন কোণ আছে। যার একক যথাক্রমে রেডিয়ান (rad) এবং steradian (sr)।
- প্রাপ্ত পরিমাণগুলি মূল পরিমাণ থেকে প্রাপ্ত হয় এবং প্রাপ্ত পরিমাণের এককগুলিকে প্রাপ্ত একক বলা হয়। ভৌত রাশির মাত্রা হল সেই ক্ষমতা যার ভিত্তিতে সেই পরিমাণের একক পাওয়ার জন্য মৌলিক পরিমাণ বৃদ্ধি করা হয়।
- একটি ভৌত রাশির মাত্রিক সূত্র হল সাতটি মূল পরিমাণের পরিপ্রেক্ষিতে একটি অভিব্যক্তি।
- একক থেকে অন্য সিস্টেমে একক রূপান্তর, মাত্রিক সমীকরণ এবং সমীকরণের উৎপত্তি যাচাই করার জন্য মাত্রা পদ্ধতি ব্যবহার করা যেতে পারে।
- লঘিষ্ঠ ধূঁধক হল ক্ষুদ্রতম মান যা কোন পরিমাপ যন্ত্র দ্বারা পরিমাপ করা যায়। পরিমাপ করা মানগুলি শুধুমাত্র এই মান পর্যন্ত সঠিক।
- পরিমাপ যন্ত্রের পছন্দ নির্ভর করে নির্ভুলতার ডিগ্রির উপর।
- সঠিকতা মানে সঠিক মান যথার্থতা মানে পুনরাবৃত্তি (যেমন, একই স্পট আঘাত করা, কিন্তু সম্ভবত সঠিক স্পট না।)
- উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান পরিমাপের নির্ভুলতা দেখায় যা পরিমাপ যন্ত্রের ন্যূনতম গণনার উপর নির্ভর করে।

## অনুশীলন

## (A) বিষয়গত প্রশ্ন

Q.1 মাত্রা বের কর:

[LOD1]

(a) বল

(b) বৈদ্যুতিক বিভব

(c) রৈখিক ভরবেগ

Q.2 মাত্রাগুলির এককতার নীতি উল্লেখ কর এবং মাত্রিক বিশ্লেষণ ব্যবহার করে ভর 'm' এর একটি বস্তুর উপর প্রয়োগ করা  
বলের সাথে বস্তুর ভরণ (a) এর সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর। [LOD3]

Q.3 ধৰ্বক  $h$  এর মাত্রাগুলি সন্ধান কর, যখন প্রদত্ত শক্তি,  $E = hf$  এবং  $f$  হল কম্পাঙ্ক। [LOD1]

Q.4 মাত্রিক বিশ্লেষণের উপর ভিত্তি করে নিম্নলিখিত সমীকরণের সঠিকতা পরীক্ষা কর:

$$(a) S = \frac{\rho r h g}{2 \cos \theta}$$

$$(b) v = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$(c) F = 6\pi r v \eta.$$

যেখানে  $h$  উচ্চতা,  $S$  পৃষ্ঠের টান,  $\rho$  ঘনত্ব,  $T$  টান,  $m$  প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর এবং  $\eta$  সান্দুতার সহগ। [LOD2]

Q.5 সিজিএস ইউনিটে 1500 ওয়াটের একটি মোটরের শক্তি রূপান্তর কর। [LOD2]

Q.6 প্রগতিশীল তরঙ্গের সমীকরণ  $y = A \sin(-kx)$  থেকে  $A$  এবং  $k$  এর মাত্রা নির্ধারণ কর, যেখানে,  $y$  = স্থানচ্যুতি,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$   
= কৌণিক বেগ,  $t$  = সময়। [LOD3]

Q.7 সুনির্দিষ্ট পরিমাপের জন্য একটি ভার্নিয়ার ক্যালিপারের উপর একটি মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজ ব্যবহার করার কারণ দাও।  
[LOD1]

Q.8 যদি মূল স্কেল পাঠ 1.3 cm এবং ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ 21 ডিভিশন হয়, তাহলে ভার্নিয়ার ক্যালিপারদের মোট পাঠ এবং  
সংশোধিত পাঠ কত হবে যাদের ন্যূনতম সংখ্যা 0.02 mm (ভার্নিয়ার ক্যালিপার্স নেতৃত্বাচক শূন্য অংশ 2 টি বিভাগ))।  
[LOD1]

Q.9 একটি ভোল্টমিটার 0 - 250 ভোল্টের পরিসীমা সহ একটি সার্কিটে একটি কম্পোনেন্ট জুড়ে ভোল্টেজ ড্রপ পরিমাপ করার  
জন্য সংযুক্ত থাকে এবং কয়েকবার এটি চালু এবং বন্ধ করার পর এটি ধারাবাহিকভাবে 5 ভোল্ট প্রদর্শন করে। যতটা সম্ভব  
সঠিকভাবে ডেটা পরিমাপ করার জন্য কিভাবে এই পরিস্থিতি মোকাবেলা করবে? [LOD2]

Q.10 আমার 10 cm দৈর্ঘ্যের একটি সুতার টুকরা, একই ব্যাসের একটি তামার বড় এবং একটি রূলার স্কেল আছে। আমার যা  
নেই তা হল ভারনিয়ার ক্যালিপার্স বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজের মতো পরিমাপ করার যন্ত্র। আমি কিভাবে 1 mm নির্ভুলতার  
জন্য একটি রডের ব্যাস পরিমাপ করতে পারি? (রূলার স্কেলের পরিসীমা 0-30 cm)। [LOD3]

### (B) বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন

Q.1 আবেগের (impulse) মাত্রা হল : [LOD1]

- (a)  $ML^2T^{-2}$       (b)  $MLT^{-1}$       (c)  $M^2L^2T^{-1}$       (d)  $ML^3T^{-2}$

Q.2  $ML^{-1}T^{-2}$  এর মাত্রা প্রকাশ করে না: [LOD2]

- (a) পীড়ন      (b)  $Y$  (ইয়ং গুণাঙ্ক)      (c) চাপ      (d) ক্ষমতা

Q.3 নিচের কোনটি ভৌত রাশি এবং এককগুলো মিলছে না: [LOD-1]

- (a) ফোর্স - নিউটন      (b) ক্যাপাসিট্যান্স - ফ্যারাড      (c) পাওয়ার - ওয়াট      (d) কৌণিক ভরবেগ - জুল

Q.4 শক্তির ঘনত্বের সমান মাত্রা আছে [LOD2]

- (a) বল      (b) চাপ      (c) বেগ      (d) বৈরিক ভরবেগ

**16 | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)**

Q.5 একটি মাত্রাহীন পরিমাণ: [LOD3]

- (a) একক থাকতে পারে (b) কখনো একক নেই (c) সবসময় একক থাকে (d) অস্তিত্ব নেই

Q.6 শূন্যস্থান পূরণ কর: [LOD3]

একটি বাস্তব গ্যাসের সমীকরণ  $(p + \frac{a}{v^2})(v - b) = RT$  দ্বারা দেওয়া হয়। যেখানে,  $p, v$  এবং  $T$  হল যথাক্রমে চাপ, আয়তন এবং তাপমাত্রা এবং  $R$  হল সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক। উপরের সমীকরণে ধ্রুবক  $a$  এর মাত্রা হল \_\_\_\_\_।

Q.7 নিম্নলিখিতগুলি মেলাও [LOD1]

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| (1) স্পেরোমিটার                 | (a) তারের টুকরোর পুরুষ                  |
| (2) রঙ্গার                      | (b) একটি বিকারের ব্যাস                  |
| (3) ভার্নিয়ার ক্যালিপার        | (c) অপটিক্যাল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ |
| (4) মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজ এবং | (d) স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য                |

Q.8  $(1.0305 \times 10^{23}) + (0.011 \times 10^{23})$  এর জন্য উল্লেখযোগ্য সংখ্যার নিয়ম অনুসরণ করে, আমরা \_\_\_\_\_ পাই।

$(1.0415 \times 10^{23}, 1.042 \times 10^{23}, 1.041 \times 10^{23}, 1.04 \times 10^{23})$  [LOD1]

Q.9 যদি  $R_1, R_2$  এবং  $R_3$  একটি সিরিজ সার্কিটে সংযুক্ত থাকে এবং শতকরা ত্রুটির সাথে তাদের মান হয় যথাক্রমে,  $10 \pm 1\%$  ohms,  $12 \pm 0.8\%$  ohms and  $20 \pm 2\%$  ohms, সেক্ষেত্রে তাদের সমতুল্য প্রতিরোধের শতাংশ ত্রুটি \_\_\_\_\_ ( $\pm 3.6\%, \pm 3.8\%, \pm 3.3\%, \pm 3.5\%$ ) [LOD2]

Q.10 একটি স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য 6 inch। একটি স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য ইউনিটে একটি টেবিলের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করে, \_\_\_\_\_ স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য এককগুলি একটি টেবিলের 91.44 cm দৈর্ঘ্যের সমান হবে। (9, 6, 11, 15) [LOD2]

**উত্তর :**

**(A) বিষয়গত প্রশ্ন**

A1. (a)  $MLT^{-2}$  (b)  $ML^2T^{-3}I^{-1}$  (c)  $MLT^{-1}$

A2.  $F = Kma$   $K = 1$  (পরীক্ষা দ্বারা ধ্রুবক মান নির্ধারণ)

A3.  $[h] = ML^2T^{-1}$

A4. (a) সঠিক হতে পারে (b) সঠিক হতে পারে (c) সঠিক হতে পারে

A5.  $1.5 \times 10^{10} \text{ erg/s}$  (CGS unit)

A6.  $[A] = L, [K] = L^{-1}$

A8.  $13.44 \text{ mm} = 1.344 \text{ cm}$  [ মোট পাঠ =  $MSR + (VSR \times LC)$  মোট পাঠ =  $MSR + (VSR \times LC)$ ]  $= [13 + (21 \times 0.02)]$   
 $mm = 13.42 \text{ mm}$  or  $1.342 \text{ cm}$ ; Corrected reading = Total reading + correction =  $13.42 + (2 \times 0.02) = 13.42 + 0.04 = 13.44 \text{ mm}$ ]

**(B) বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন**

Q.N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
বিকল্প	(b)	(d)	(d)	(b)	(a)	$ML^5T^{-2}$	*	$1.0415 \times 10^{23}$	$\pm 3.8\%$	6

A1. (b) আবেগের মাত্রা হল: আবেগ = বল  $\times$  সময় =  $ML^{-2} \cdot T = MLT^{-2}$

A2. (d) পীড়ন = বল/ক্ষেত্রফল =  $\frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$

ইয়ৎ গুণাক্ষ

$$Y = \frac{mgl}{\pi r^2 l} = \frac{MLT^{-2}L}{L^3} = ML^{-1}T^{-2}$$

চাপ = বল/ক্ষেত্রফল =  $ML^{-1}T^{-2}$

শ্ফমতা = কাজ/সময় =  $ML^2T^{-1}$

A3. (d) কোণিক ভরবেগ = রৈখিক ভরবেগ  $\times$  দৈর্ঘ্য =  $kg\ m/s \times m = kg\ m^2s^{-1}$

A4. (b) শক্তির ঘনত্ব = শক্তি / আয়তন =  $ML^{-1}T^{-2}$ , বল = ভর  $\times$  ঘনত্ব =  $MLT^{-2}$

চাপ = বল/ক্ষেত্রফল =  $ML^{-1}T^{-2}$ , বেগ =  $LT^{-1}$ ,

রৈখিক ভরবেগ = ভর  $\times$  বেগ =  $MLT^{-1}$

A5. (a) মাত্রিক পরিমাণে একক থাকতে পারে।

উদাহরণস্বরূপ, সমতল কোণ = চাপ/ব্যাসার্ধ =  $M^0L^0T^0$  মাত্রাবিহীন কিন্তু কোণের একক হল রেডিয়ান।

A6.  $p + a/v^2$  মানে দুটি পদ যোগ করা, তাই এই দুটি পদগুলির মাত্রা একই হওয়া উচিত:

$$p = a/v^2, a = pv^2 = ML^5T^{-2}$$

A7. 1-c; 2-d; 3-b; 4-a

A8.  $1.042 \times 10^{23} [(1.0305 + 0.011) \times 10^{23} = 1.0415 \times 10^{23}]$  [কিন্তু উপরন্তু আমরা মূল সংখ্যায় সর্বনিম্ন দশমিক স্থান প্রহণ করি, তাই উত্তর হল  $1.042 \times 10^{23}$ .]

A9.  $\pm 3.8\%$  [ $R_{eq} \pm R_{eq} = (R_1 \pm R_1) + (R_2 \pm R_2) + (R_3 \pm R_3) = (10 \pm 1\%) + (12 \pm 0.8\%) + (20 \pm 2\%) = (10+12+20) \pm (1+0.8+2)\% = 42 \pm 3.8\%$  ohms]

A10. 6 [একটি টেবিলের দৈর্ঘ্য  $91.44\ cm$ ; যেহেতু  $2.54\ cm = 1\ inch$ ,  $91.44\ cm = 36\ inch$ । এখানে,  $6\ inch = 6$  স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য,  $\therefore 36\ inch = 6$  স্মার্টফোনের দৈর্ঘ্য]

## ব্যবহারিক

1. ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার করে দৈর্ঘ্য, প্রদত্ত সিলিন্ডারের ব্যাসার্ধ, একটি টেস্ট টিউব এবং একটি বিকার পরিমাপ করা এবং প্রতিটি বস্তুর আয়তন নির্ণয়

**ব্যবহারিক গুরুত্ব**

শিক্ষার্থীরা তাদের কর্মজীবনেও ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার করতে পারবে। এর দ্বারা, তারা একটি গোলক বা সিলিন্ডারের ব্যাস খুঁজে পেতে পারে এবং যখন তারা পরিমাপের জন্য প্রয়োজন হবে তখন বিকারের গভীরতা পরিমাপ করতে সক্ষম হবে।

**প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব**

ভার্নিয়ার ক্যালিপার একটি সাধারণ যন্ত্র যার দ্বারা এক মিলিমিটারের এক-দশমাংশ বা এক সেন্টিমিটারের শতভাগ পর্যন্ত সঠিকভাবে কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা যায়।

### ব্যবহৃত সূত্র

ভার্নিয়ার ক্যালিপারের লম্বিষ্ট ধ্রুবক

লম্বিষ্ট ধ্রুবক (L.C.) = প্রধান স্কেলে ক্ষুদ্রতম বিভাগের মাত্রা/ভার্নিয়ার স্কেলে বিভাগের সংখ্যা

$$= 1 \text{ mm}/10 = 0.1 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm}$$

a. পর্যবেক্ষিত পাঠ = প্রধান স্কেল পাঠ + (ভার্নিয়ার বিভাগ প্রধান স্কেল L.C এর সাথে মিলে যায়)

b. সঠিক পাঠ = পর্যবেক্ষণ করা পাঠ- ( $\pm$  শূন্য ত্রুটি)

c. একটি নলাকার বস্তুর আয়তন  $V = \pi r^2 h$

যেখানে  $h$  তার দৈর্ঘ্য,  $r$  হল একটি নলাকার বস্তুর অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ।

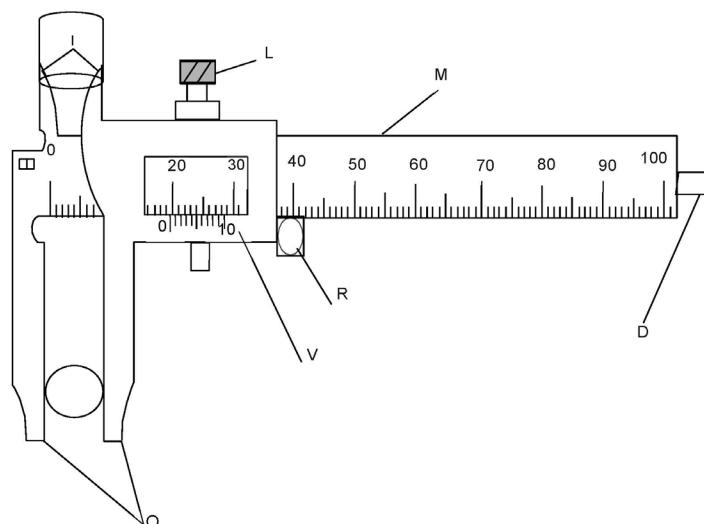
### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

**PRO1:** শিক্ষার্থীরা ভার্নিয়ার ক্যালিপার এর লম্বিষ্ট ধ্রুবক (L.C.) এবং শূন্য ত্রুটি নির্ধারণ করতে সক্ষম হবে;

**PRO2:** দৈর্ঘ্য, অভ্যন্তরীণ ব্যাস এবং গভীরতার পরিমাপে ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার করতে সক্ষম হবে;

**PRO3:** প্রদত্ত বস্তুর আয়তন নির্ধারণ করতে সক্ষম হবে।

ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন/স্কেচ/সার্কিট ডায়াগ্রাম/কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 1.1: ভার্নিয়ার ক্যালিপার

### প্রয়োজনীয় সম্পদ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন। টুল। যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদ প্রয়োজন যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ (ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)	মন্তব্য (যদি থাকে)
1.	ভার্নিয়ার ক্যালিপার	1		

2.	নলাকার বস্তু	1			
3.	টেস্ট টিউব	1			
4.	কাচের পাত্রবিশেষ (beaker)	1			
5.	ঙ্কেল	1			

### সতর্কতা

- যদি ভার্নিয়ার ঙ্কেল প্রধান ঙ্কেলের উপর মসৃণভাবে স্লাইড না হয়, মেশিন তেল/থীস প্রয়োগ করো।
- স্ক্রু এর থেডের কোন ক্ষতি এড়াতে অযোক্ষিক চাপ প্রয়োগ না করে ভার্নিয়ার স্ক্রু আঁটসাঁট করো।
- লম্বনের কারণে কোন ত্রুটি এড়ানোর জন্য সরাসরি বিভাগ চিহ্নের উপর চোখ রাখো। প্রতিটি পর্যবেক্ষণে উল্লেখযোগ্য পরিসংখ্যান লক্ষ্য করো এবং একক সংশোধন করো।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

#### (A) একটি নলাকার দেহের ব্যাস পরিমাপ করা

- ভার্নিয়ার ক্যালিপারের প্রতিটি অংশ চিহ্নিত করো।
- প্রাসঙ্গিক তত্ত্বে উপরের সূত্র অনুসারে ভার্নিয়ার ক্যালিপারের ন্যূনতম সংখ্যা নির্ধারণ করো।
- প্রদত্ত পদ্ধতি অনুসারে শূন্য ত্রুটি গণনা করো।
- এখন বাইরের ব্যাস O পরিমাপের জন্য চোয়ালের মধ্যে নলাকার বস্তুটি ধরে রাখো। ভার্নিয়ার ঙ্কেলের শূন্য বিন্দুর বাম দিকে অবিলম্বে মূল ঙ্কেলটি পাঠর বিষয়টি লক্ষ্য করো।
- একটি ভার্নিয়ার ঙ্কেল বিভাজনের সাথে মিলয়ে দেখো একটি প্রধান ঙ্কেল বিভাজন ভার্নিয়ার উইন্ডোতে বাম প্রান্ত (শূন্য) থেকে ডানদিকে (চোখটি সরাসরি ডিভিশন চিহ্নের উপরে রাখো যাতে কোন লম্বন ত্রুটি এড়ানো যায়)। এটি একটি ভার্নিয়ার ঙ্কেল পঠন যা n দ্বারা চিহ্নিত।
- মোট পাঠ= প্রধান ঙ্কেল পাঠ+ n L.C.
- উপরের পজিশনের লম্ব অবস্থানে বস্তুর ব্যাস পেতে 4 থেকে 6 ধাপ পুনরাবৃত্তি করো। প্রতিটি ক্ষেত্রে তিন সেট পাঠ নাও।
- প্রদত্ত নলাকার বস্তুর ব্যাসের সংশোধিত পাঠগুলির গড় দেখো এবং পরিশেষে প্রদত্ত সূত্রে মানগুলি রেখে উপরের আয়তন গণনা করো।

#### (B) আয়তন বের করার জন্য প্রদত্ত বিকার এবং টেস্ট টিউবের অভ্যন্তরীণ ব্যাস এবং গভীরতা পরিমাপ করা

- ভার্নিয়ার ক্যালিপার I এর উপরের চোয়ালগুলি সামঞ্জস্য করো যাতে ভিতরের থেকে বীকারের দেয়াল স্পর্শ করতে পারে। অবস্থান ঠিক করতে আলতো করে স্ক্রু আঁটো।
- বীকারের অভ্যন্তরীণ ব্যাসের মান পেতে 4 থেকে 6 বার পুনরাবৃত্তি করো; এটি করো বীকারের তিনটি ভিন্ন অবস্থানে।
- বীকারের গভীরতা নির্ধারণ করতে, ভার্নিয়ার ক্যালিপারের মূল ঙ্কেলের প্রান্তটি প্রান্তস্থ প্রান্তে রাখো।
- ভার্নিয়ার ক্যালিপারের চলন্ত চোয়াল স্লাইড করতে থাকো যতক্ষণ না ধাতব স্ট্রিপ বা স্টেম D স্পর্শ করে। বিকারের নীচে এবং এটি নিচের পৃষ্ঠের পুরোপুরি লম্ব হওয়া উচিত। এখন ভার্নিয়ার ক্যালিপারের স্ক্রু শক্ত করো।
- এখন আবার প্রধান ঙ্কেল পঠো এবং ভার্নিয়ার ঙ্কেলের বিভাজন মেলাও।

৬. তারপর মোট পাঠ = মেইন স্কেল পাঠ + n X L.C.

বিকারের বিভিন্ন অবস্থানে গভীরতার জন্য পাঠগুলি লও।

৭. পর্যবেক্ষণ রেকর্ড করো এবং প্রয়োজন হলে শূন্য সংশোধন প্রয়োগ করো। অভ্যন্তরীণ ব্যাস এবং বিকারের গভীরতার সঠিক পাঠগুলির গড় গণনা করো এবং অবশ্যে প্রদত্ত সূত্রে মানগুলি রেখে উপরের আয়তন গণনা করো।  
 ৮. উপরের টিউবটির জন্য [(b) ১ থেকে ৭] পর্যন্ত একই প্রক্রিয়া পুনরাবৃত্তি করো।

**পর্যবেক্ষণ এবং গণনা**

**পর্যবেক্ষণ :**

- (1) ভার্নিয়ার ক্যালিপারের লম্বিষ্ট ধূঢ়বক (ভার্নিয়ার ধূঢ়বক)

প্রধান স্কেলে সবচেয়ে ছোট বিভাগ (MSD) = x cm

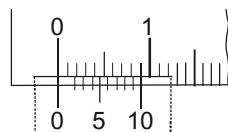
ভার্নিয়ার স্কেলে মোট বিভাগের সংখ্যা = N

$$\text{লম্বিষ্ট ধূঢ়বক} = \frac{\text{MSD}}{N} = \frac{x}{N} = \text{--- cm}$$

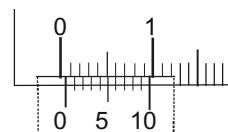
- (2) নলাকার বস্তুর দৈর্ঘ্য = ..... সেমি

- (3) শূন্য ত্রুটি এবং তার সংশোধন

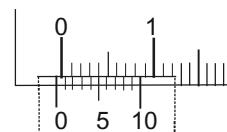
যখন বাইরের ব্যাস পরিমাপকারী চোয়ালগুলি একে অপরকে স্পর্শ করে, তখন ভার্নিয়ারের শূন্যটি মূল স্কেলের শূন্যের সাথে মিলিত হওয়া উচিত, যখন যন্ত্রটিতে কোনও ত্রুটি নেই (চিত্র 1.2) যদি এটি না হয় তবে যন্ত্রটি বলা হয় শূন্য ত্রুটি রয়েছে (এটি একটি উত্পাদন ত্রুটির কারণে বা রুক্ষ হ্যান্ডলিংয়ের কারণে ঘটে থাকতে পারে)।



চিত্র 1.2: শূন্য ত্রুটি; চিত্র



চিত্র 1.3: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান  
স্কেলের শূন্যের ডানদিকে



চিত্র 1.4: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান  
স্কেলের শূন্যের বাম দিকে

শূন্য ত্রুটি ইতিবাচক বা নেতিবাচক হতে পারে, তার উপর নির্ভর করে ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্যটি মূল স্কেলের শূন্যের ডান বা বামে অবস্থিত (চিত্র 1.3 এবং চিত্র 1.4)। এই অবস্থায়, পর্যবেক্ষণকৃত পাঠের জন্য একটি সংশোধন আবশ্যিক।

a. ইতিবাচক শূন্য ত্রুটি: যখন উভয় চোয়াল একে অপরকে স্পর্শ করছে, তখন ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের ডানদিকে স্থানান্তরিত হয়েছে (চিত্র 1.3)। এই অবস্থায়, পরিমাপের সময়, নেওয়া পাঠপ্রকৃত পাঠের চেয়ে বেশি হবে। অতএব, এই ক্ষেত্রে শূন্য ত্রুটি ইতিবাচক এবং একটি সংশোধন প্রয়োগ করা প্রয়োজন। যে কোনও পরিমাপের জন্য, শূন্য ত্রুটিটি পর্যবেক্ষণ করা পাঠ থেকে 'বিয়োগ' করা উচিত। এইভাবে, সংশোধিত পাঠ = পর্যবেক্ষণ পাঠ - (+ শূন্য ত্রুটি)

b. নেতিবাচক শূন্য ত্রুটি: যখন উভয় চোয়াল একে অপরকে স্পর্শ করছে, তখন ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের বাম দিকে স্থানান্তরিত হয়েছে (চিত্র 1.3)। এই পরিস্থিতি স্পষ্ট করে তোলে যে পরিমাপ নেওয়ার সময়, নেওয়া পাঠপ্রকৃত পাঠের চেয়ে কম হবে। অতএব, এই ক্ষেত্রে শূন্য ত্রুটি নেতিবাচক এবং একটি সংশোধন প্রয়োগ করা প্রয়োজন। সুতরাং, সঠিক পাঠ = পর্যবেক্ষণ করা পাঠ - (- শূন্য ত্রুটি)

## a. পর্যবেক্ষণ টেবিল:

একটি নলাকার বস্তুর ব্যাস পরিমাপ করা

ক্রমিক সংখ্যা	একদিকে				লম্ব দিকে				গড় পাঠ	সংশোধিত পাঠ	
	মূল স্কেল পাঠ (cm)	ভার্নিয়ার স্কেলের সমান ভাগের সংখ্যা (n)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ = $n \times L.C$ (cm)	মোট পাঠ	মূল স্কেল পাঠ	ভার্নিয়ার স্কেলের সমান ভাগের সংখ্যা (n)	ভার্নিয়ার স্কেলের সমান ভাগের সংখ্যা (n)	মোট পাঠ = $n \times$ L.C (in cm)	মোট পাঠ	গড় পাঠ $= \frac{(d + d')}{2}$ cm	সংশোধিত পাঠ = গড় পাঠ ( $\pm$ শূন্য)
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a')	(b')	(c')	(d')	(e)	(f)	
1. থেকে 3.	টেস্ট টিউবের অভ্যন্তরীণ ব্যাস এবং গভীরতা পরিমাপ করা										

টেস্ট টিউবের অভ্যন্তরীণ ব্যাস এবং গভীরতা পরিমাপ করা

ক্রমিক সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ (a) cm	ভার্নিয়ার স্কেলের সমান ভাগের সংখ্যা n (b)	ভার্নিয়ার স্কেল পাঠ = (n × LC) (c) cm	মোট পাঠ = (MS + VS) = (a + c) cm (d)	সংশোধিত পাঠ = গড় পাঠ ( $\pm$ শূন্য সংশোধন) cm (e) cm
অভ্যন্তরীণ ব্যাস	1. to 3.				
গভীরতা	1. to 3.				

দ্রষ্টব্য: একটি বিকারের ব্যাস এবং গভীরতার জন্য আবার একই টেবিল আঁকো।

ফলাফল এবং অথবা ব্যাখ্যা

- নলাকার বস্তুর দৈর্ঘ্য (l) = ... cm
- নলাকার বস্তুর গড় সংশোধিত ব্যাস (D) = ... .cm
- নলাকার বস্তুর গড় সংশোধিত ব্যাসার্ধ (R) =  $D/2 = \dots$  cm
- নলাকার বস্তুর আয়তন ( $V_1$ ) =  $\pi R^2 l = \dots$   $cm^3$
- টেস্ট টিউবের গড় সংশোধন করা অভ্যন্তরীণ ব্যাস (D) = ..... cm
- টেস্ট টিউবের গড় সংশোধিত ব্যাসার্ধ (r) =  $D/2 = \dots$  cm
- টেস্ট টিউবের গভীরতা ( $l_1$ ) = ... cm
- টেস্ট টিউবের আয়তন ( $V_2$ ) =  $\pi r^2 l_1 = \dots$   $cm^3$
- বিকারের গড় সংশোধন করা অভ্যন্তরীণ ব্যাস (d') = ... cm
- বিকারের গড় সংশোধিত ব্যাসার্ধ (r') =  $d'/2 = \dots$  cm

k. বিকারের গভীরতা ( $l_2$ ) = ... cm

l. বিকারের আয়তন ( $V_3$ ) =  $\pi r^2 l_2$

উপসংহার এবং অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

- ভার্নিয়ার ধূবক সংজ্ঞায়িত করো।
- একটি ভার্নিয়ার ক্যালিপারের স্লাইডিং স্ট্রিপ বা স্টেমের ব্যবহার লিখ।
- ভার্নিয়ার ক্যালিপারে শূন্য ত্রুটি খুঁজে বের করার পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
- ভার্নিয়ার ক্যালিপারের নীতি সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর।



### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত কর্মক্ষমতা সূচকগুলি মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা

(প্রক্রিয়া সম্পর্কিত)

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60	
1	ভার্নিয়ার ক্যালিপারের সর্বনিম্ন গণনা (L.C.) খুঁজে পেতে	15	
2	ভার্নিয়ার ক্যালিপারের শূন্য ত্রুটির পরিমাপ	15	
3	প্রদত্ত বস্তুর দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসের সঠিক পরিমাপ	15	
4	গণনা এবং ফলাফল	15	
উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40. %)			
5	ত্রুটির অনুমান	10	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10	
7	উপসংহার এবং বৈধতা	10	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10	
মোট		100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্তি মার্ক্স		তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

## 2. একটি স্ক্রু গেজ ব্যবহার করে শক্ত বল, তারের এবং কার্ডবোর্ডের বেধের ব্যাস নির্ধারণ

### ব্যবহারিক গুরুত্ব

- শিক্ষার্থীরা স্ক্রু গেজের সাহায্যে তারের ব্যাস খুঁজে বের করতে পারবে;
- ভবিষ্যতে স্ক্রু গেজের ব্যবহার জ্ঞানের পর তারা কোনকিছুর বেধ নির্ধারণ করতে পারবে;
- সমতল বিল্ডার বেধ নির্ধারণ করতে পারবে।

### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

পিচ: স্ক্রুকে একটি সম্পূর্ণ ঘূর্ণন দেওয়া হয়; তারপর এর টিপ দ্বারা মেইন স্কেলে অমণ দূরত্বকে স্ক্রু গেজের পিচ বলা হয়। স্ক্রু গেজের পিচ 1 mm এর সমান।

স্ক্রু গেজের লিঘ্রিষ্ট ধ্রুবক: একটি স্ক্রু গেজ দ্বারা সঠিকভাবে পরিমাপ করা সর্বনিম্ন দূরত্বকে বলা হয় স্ক্রু গেজের লিঘ্রিষ্ট ধ্রুবক।

স্ক্রু গেজের পিচ = স্ক্রু দ্বারা প্রদত্ত দূরত্ব/স্ক্রুতে প্রদত্ত ঘূর্ণনের সংখ্যা

লিঘ্রিষ্ট ধ্রুবক = পিচ/বৃত্তাকার স্কেলে মোট বিভাগের সংখ্যা =  $1 \text{ mm}/100 = 0.01 \text{ mm} = 0.001 \text{ cm}$

ব্যাসের মোট পাঠন = প্রধান স্কেল পাঠ + মিলে যাওয়া, বৃত্তাকার স্কেলের বিভাজন  $\times L.C.$

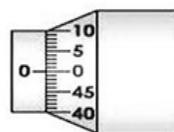
কার্ডবোর্ডের পুরুত্বের মোট পাঠন = প্রধান স্কেল পাঠ + বৃত্তাকার স্কেল বিভাজন ( $L.C.$ ) =  $X + (n \times L.C.)$

ব্যাসের সঠিক পাঠ = ব্যাসের মোট পাঠ - ( $\pm$  শূন্য ত্রুটি)

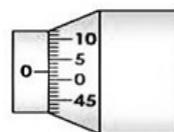
কার্ডবোর্ডের পুরুত্বের সঠিক পাঠ = কার্ডবোর্ডের বেধের মোট পাঠ - ( $\pm$  শূন্য ত্রুটি)

### স্ক্রু গেজের শূন্য ত্রুটি

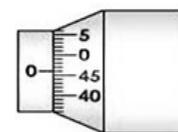
যখন স্ক্রুর শেষ এবং স্থুলশীর্ষ পোরেক পৃষ্ঠ একে অপরের সাথে সংযোগ করা হয়, তখন রৈখিক স্কেল (বা প্রধান স্কেল) এবং বৃত্তাকার স্কেল পাঠশূন্য হওয়া উচিত। যদি এটি না দেখায়, তখন স্ক্রু গেজে একটি ত্রুটি আছে বলা হয়। যখন মুখ A এবং B সংযোগ থাকে তখন কোন ত্রুটি নেই কারণ রৈখিক স্কেল এবং বৃত্তাকার স্কেলের শূন্য চিহ্ন একে অপরের সাথে মিলে যায় (চিত্র 1.5a)। যখন রৈখিক স্কেল জুড়ে বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ ধনাত্মক হয়, তখন স্ক্রু গেজে ধনাত্মক ত্রুটি থাকে (চিত্র 1.5b)। যখন রৈখিক স্কেল জুড়ে বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ শূন্যের চেয়ে কম বা নেতৃত্বাত্মক হয়, তখন যন্ত্রটিতে ঋণাত্মক ত্রুটি রয়েছে।



চিত্র 1.5: (a) শূন্য ত্রুটি



চিত্র 1.5: (b) ধনাত্মক ত্রুটি



চিত্র 1.5: (c) ঋণাত্মক ত্রুটি

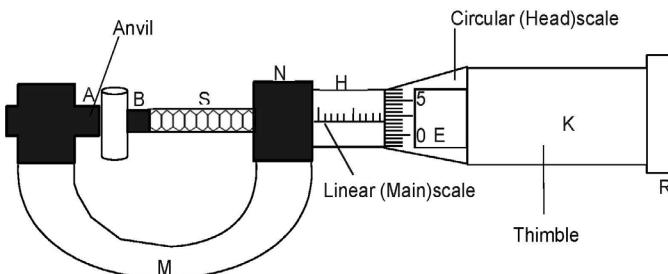
### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

PRO1: শিক্ষার্থীরা স্ক্রু গেজের লিঘ্রিষ্ট ধ্রুবক এবং শূন্য ত্রুটি নির্ধারণ করতে সক্ষম হবে;

**PRO2:** স্কু. গেজ ব্যবহার করে বল এবং তারের ব্যাস খুঁজে বের করার জন্য জ্ঞান অর্জন করতে সক্ষম হবে

**PRO3:** একটি স্কু. গেজ ব্যবহার করে কার্ডবোর্ডের পুরুত্ব খুঁজে বের করতে সক্ষম হবে

ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অঙ্কন।স্কেচ।সার্কিট ডায়াগ্রাম।কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 1.6: ভার্নিয়ার স্কেলের শূন্য প্রধান স্কেলের শূন্যের বাম দিকে

#### প্রয়োজনীয় সম্পদ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদ প্রয়োজন যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ (ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)	মন্তব্য (যদি কিছু থাকে)
1.	স্কু. গেজ	1		
2.	তার	1		
3.	কঠিন বল	1		
4.	পিচবোর্ড	1		

#### সতর্কতা

- স্কু. ঘর্ষণ ছাড়া অবাধে সরানো উচিত।
- স্কু. ব্যাক-ল্যাশ ত্রুটি এড়াতে একই দিকে সরানো উচিত।
- অতিরিক্ত ঘূর্ণন এড়ানো উচিত।

#### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- প্রধান স্কেলে প্রদত্ত পাঁচটি পূর্ণ আবর্তনে স্কু.র ডগায় ভ্রমণ করা দূরত্বটি দেখো তারপর এই দূরত্বকে 5 দিয়ে ভাগ করো যা স্কু. গেজের পিচের সমান।
- বৃত্তাকার স্কেলে বিভাজনের সংখ্যা গণনা করো এবং বৃত্তাকার স্কেলে বিভাজনের মোট সংখ্যা দ্বারা বিভক্ত করো যা স্কু. গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবকের (L.C.) সমান।
- স্কু. গেজের দান্তাল চাকা ঘোরাও যেন স্কু. গেজের শেষ A এবং চলমান টিপ B একে অপরকে স্পর্শ করে এবং এরপর আর ঘোরানো সম্ভব নয়।
- বৃত্তাকার স্কেল এবং প্রধান স্কেলের সমান বিভাজন নোট করো তারপর শূন্য ত্রুটি খুঁজে বের করো।

5. এখন স্থির প্রান্ত A এবং অস্থাবর স্ক্রু B এর টিপের মধ্যে তারের সন্নিবেশ করাও তারপর দান্তাল চাকা টি ঘোরাও যাতে A এবং B উভয়ই তারকে স্পর্শ করে এবং আর কোন ঘূর্ণন সম্ভব না হয়।
6. তারপর মূল স্কেলের পঠন দেখ যখন বৃত্তাকার স্কেলের বিভাজন মিলে যায়।
7. তারের লম্বালম্বি রাখা পূর্ববর্তী অবস্থানে আবার পাঠনোট করো।
8. ধাপ 5, 6 এবং 7 পুনরাবৃত্তি করো এবং 4 থেকে 5 টি পাঠ লও এবং তারের গড় ব্যাস দেখো।
9. তারের ব্যাসের সঠিক মান পেতে, প্রয়োজনে ( $\pm$ ) চিহ্ন দিয়ে শূন্য ত্রুটি বিয়োগ করো।
10. স্টাড A এবং টিপ B এর মধ্যে কার্ডবোর্ড পাঁচটি ভিন্ন অবস্থানে বেধ নির্ধারণ করো।
11. স্ক্রু এবং স্ক্রু গেজের স্টাডের মধ্যে প্রদত্ত কঠিন বলটি সন্নিবেশ করাও এবং পাঁচটি ভিন্ন অবস্থানে ব্যাস নির্ধারণ করো।
12. শুক্র বলের গড় ব্যাস এবং কার্ডবোর্ডের বেধ দেখো; শূন্য ত্রুটি বিয়োগ করো।

**পর্যবেক্ষণ এবং গণনা**

**পর্যবেক্ষণ:**

পিচ নির্ধারণ করতে: 5 টি সম্পূর্ণ ঘূর্ণনে স্ক্রুর ডগায় ভ্রমণ করা দূরত্ব হল X

সূতরাং, পিচ =  $x/5 = \dots\dots\dots$  cm, মোট বৃত্তাকার স্কেলে বিভাজন সংখ্যা (N) =  $\dots\dots\dots$

স্ক্রু গেজের লম্ফিষ্ট প্রতিক (L.C.) =  $1/100 = 0.01\text{mm} = 0.001\text{ cm}$

শূন্য ত্রুটি: শূন্য ত্রুটি পাঠ =  $X \pm n \times L_1 = \pm \dots\dots\text{ cm}$

ক্রমিক সংখ্যা	এক দিক দিয়ে পাঠ				লম্ব দিক দিয়ে পাঠ				পরিমাপ ব্যাস = $= \frac{(d + d')}{2}$ (cm)	গড় ব্যাস (cm)
	প্রধান স্কেল পাঠ (cm)	বৃত্তাকার স্কেল বিভাজন (n)	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ × = n L.C. (cm)	মোট পাঠ (a + c) cm	প্রধান স্কেল পাঠ (cm)	বৃত্তাকার স্কেল বিভাজন (n)	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ × = nL.C. (cm).	মোট পাঠ (a' + c) (cm)		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a')	(b')	(c')	(d')	(e)	(f)
1. to 5.										

**কঠিন বল এবং তারের ব্যাস নির্ধারণ**

ক্রমিক সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ (cm)	বৃত্তাকার স্কেল বিভাজন (n)	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ = n X LC (cm).	মোট পাঠ (a + c) (cm)	গড় ব্যাস (cm)
	(a)	(b)	(c)	(d)	(f)
1. to 5.					

**ফলাফল এবং অথবা ব্যাখ্যা**

- a. তারের ব্যাসের সঠিক মান ( $D_1$ ) = তারের ব্যাস - শূন্য ত্রুটি (চিহ্ন সহ) = ..... cm
- b. বলের ব্যাসের সংশোধিত মান ( $D_2$ ) = বলের ব্যাস - জিরো ত্রুটি (চিহ্ন সহ) = ..... cm
- c. কার্ডবোর্ডের বেধের সঠিক মান (টি) = কার্ডবোর্ডের গড় মান - (শূন্য ত্রুটি) = ..... cm

## উপসংহার এবং অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

## ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

- স্কুল গেজের পিচ সম্পর্কে লিখ।
- ধনাত্মক এবং নেতিবাচক শূন্য ত্রুটির অবস্থান ব্যাখ্যা কর।
- স্কুল গেজের ব্যাকল্যাশ ত্রুটি কমানোর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
- স্কুল গেজের সর্বোচ্চ পরিসীমা নির্ধারণের পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

## প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

Virtual lab on  
Micrometer  
Screw Gauge

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	স্কুল গেজের লাইষ্ট ধূবক খুঁজে পেতে	15%	
2	শূন্য ত্রুটির পরিমাপ	15%	
3	বল এবং তারের ব্যাস এবং কার্ডবোর্ডের বেধের সঠিক পরিমাপ	15%	
4	গণনা এবং ফলাফল	15%	
উৎপাদিত বন্দু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)			
5	ত্রুটির অনুমান	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	উপসংহার এবং বৈধতা	10%	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
মোট		100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস আসেসমেন্টের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক্স	তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর		
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বন্দু সম্পর্কিত	প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বন্দু সম্পর্কিত

### 3. স্পেরোমিটার ব্যবহার করে একটি উত্তল এবং অবতল আয়নার পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ধারণ

#### ব্যবহারিক গুরুত্ব

স্পেরোমিটার দ্বারা, বাঁকা পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ খুঁজে বের করতে বাঁকা পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ খুঁজে পেতে এটি ব্যবহার করতে সক্ষম হবে।

#### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

পিচ: প্রধান স্কেলে একটি সম্পূর্ণ আবর্তনে বৃত্তাকার স্কেল দ্বারা দূরত্ব পরিভ্রমণ।

লম্বিষ্ঠ ধ্রুবক =  $1\text{mm} / 100 = 0.01$  মিমি = 0.001 সেমি

$$\text{বক্র পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধের সূত্র (R)} = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

এখানে 'a' হল স্পেরোমিটারের দুই পায়ের মধ্যে গড় দূরত্ব এবং 'h' হল গড় সমতল পৃষ্ঠ থেকে একটি বাঁকা পৃষ্ঠের উচ্চতা।

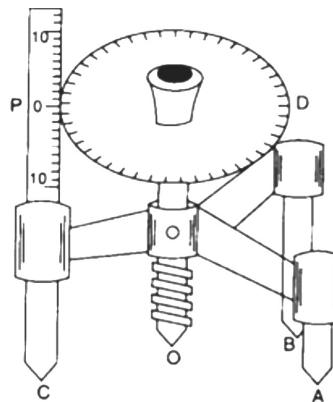
#### ব্যবহারিক ফলাফল

PRO1: শিক্ষার্থীরা স্পেরোমিটারের লম্বিষ্ঠ ধ্রুবক এবং শূন্য ত্রাণ শিখতে সক্ষম হবে;

PRO2: উত্তল এবং অবতল দর্পণ/পৃষ্ঠের জন্য স্পেরোমিটার ব্যবহার শিখতে সক্ষম হবে;

PRO3: স্পেরোমিটার ব্যবহার করে উত্তল এবং অবতল আয়না/পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ বের করতে সক্ষম হবে।

#### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন/স্কেচ/সার্কিট ডায়াগ্রাম/কাজের পরিস্থিতি)



#### সম্পদ আবশ্যিক

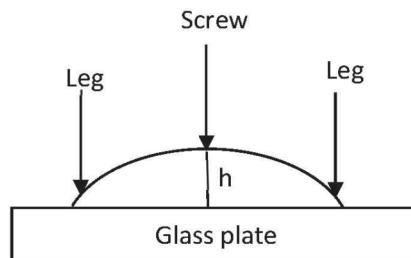
ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তুতিত সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদ প্রয়োজন যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ (ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)	মন্তব্য (যদি কিছু থাকে)
1.	স্পেরোমিটার	1		
2.	উত্তল আয়না	1		
3.	অবতল আয়না	1		
4.	প্লেনের কাচের স্ল্যাব	1		

### সতর্কতা

- স্ক্রু ঘর্ষণ ছাড়া অবাধে সরানো উচিত।
- স্ক্রু ব্যাক-ল্যাশ ক্রটি এড়াতে একই দিকে সরানো উচিত।
- অতিরিক্ত ঘূর্ণন এড়ানো উচিত।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- স্পেরোমিটারের কেন্দ্রীয় স্ক্রু তোলো এবং তিনটি পায়ের ছিদ্র পেতে ব্যবহারিক নোটবুকে স্পেরোমিটারটি আলতো করে চাপ দাও। এগুলি A, B এবং C হিসেবে চিহ্নিত করো।
- একটি ত্রিভুজ ABC গঠনের জন্য প্রিঞ্চ (পয়েন্ট) এর মধ্যে দূরত্ব পরিমাপ করো।
- নোটবুকে এই দূরত্বগুলি (AB, BC, AC) নোট করো এবং তাদের গড় মানে  $a$  লও।
- পিচ এবং স্পেরোমিটারের লম্বিষ্ট ধ্রুবকনির্ধারণ করো এবং এটি ধাপে ধাপে রেকর্ড করো।
- উভোলন পৃষ্ঠের উপর স্পেরোমিটার রাখো এবং আস্তে আস্তে, স্ক্রুটি নীচের দিকে ঘূরিয়ে যাও যতক্ষণ না কেন্দ্রীয় স্ক্রুটির টিপ কেবল উভল পৃষ্ঠকে স্পর্শ করে (স্ক্রুটির টিপটি কেবল উভল কাচের পৃষ্ঠে তার চিত্রটি স্পর্শ করবে) এবং তিনটি পায়ে স্পেরোমিটারেরও সেই উভল পৃষ্ঠের সংস্পর্শে থাকবে।
- মূল স্কেল (বা উল্লম্ব স্কেল) পাঠ লক্ষ্য করো এবং বৃত্তাকার স্কেলের বিভাগগুলি পড়ো যা উল্লম্ব স্কেলের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ; তারপর মোট পাঠ = মূল স্কেল পাঠ +  $n \times L.C.$  উভল পৃষ্ঠে একটি পাঠ নেওয়ার সময় মূল স্কেল পাঠ সেই উল্লম্ব স্কেলের শূন্যের উপরে মাপা হয়।
- উভল পৃষ্ঠের তিনটি ভিন্ন স্থানে স্পেরোমিটারের পাঠ নিতে 6 এবং 7 ধাপ পুনরাবৃত্তি করো। স্পেরোমিটারের উভল পৃষ্ঠে নেওয়া পাঠগুলির গড় হল  $h_1$ ।

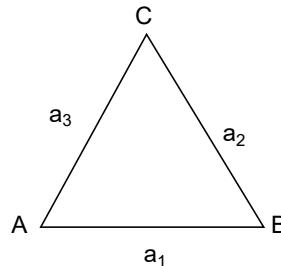


চিত্র: 1.7 h পরিমাপ

- অবতল পৃষ্ঠে পাঠ নিতে একই ধাপ 6 এবং 7 পুনরাবৃত্তি করো, অবতল পৃষ্ঠের মূল স্কেল পাঠের ক্ষেত্রে সেই উল্লম্ব স্কেলের শূন্যের নিচে মাপা হয়। একটি অবতল পৃষ্ঠে তিনটি ভিন্ন স্থানে নেওয়া পাঠগুলির গড় হল  $h_3$ ।
- এখন একটি সমতল কাচের প্লেটে স্পেরোমিটার পড়ো এবং তার উপর তিনটি ভিন্ন স্থানে 6 এবং 7 ধাপ পুনরাবৃত্তি করো এবং সমতল পৃষ্ঠের পাঠগুলির গড় নির্ধারণ করো যা  $h_1$ ।
- গণনা করো ( $h_2 - h_1$ ) =  $h$  (অথবা সমতল পৃষ্ঠ থেকে উভল পৃষ্ঠের উচ্চতা) এর মান (চিত্র 1.8)। একইভাবে ( $h_3 - h_1$ ) =  $h'$  এর মান (বা সমতল পৃষ্ঠ থেকে অবতল পৃষ্ঠের গভীরতা)। উভল এবং অবতল পৃষ্ঠের জন্য বক্রতার ব্যাসার্ধ R এবং R' দেখো।

### পর্যবেক্ষণ এবং গণনা

স্পেরোমিটারের দুই পায়ের মধ্যে গড় দূরত্ব খুঁজে বের করতে দেখানো হয়েছে ত্রিভুজ ABC (চিত্র 1.8) যা স্পেরোমিটারের পা দ্বারা চিহ্নিত  $AB = a_1 = \dots\text{cm}$ ,  $BC = a_2 = \dots\text{cm}$ ,  $CA = a_3 = \dots\text{cm}$



চিত্র 1.8: দুই পায়ের মধ্যে গড় দূরত্ব খুঁজে বের করতে

সুতরাং, স্পেরোমিটারের পাঞ্জলির মধ্যে গড় দূরত্ব

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \dots\text{cm}$$

পিচের জন্য: বৃত্তাকার ক্ষেলের 5 টি সম্পূর্ণ ঘূর্ণনে কেন্দ্রীয় স্তু দ্বারা অমগ করা দূরত্ব X

পিচ =  $x/5 = \dots\text{cm}$ , মোট বৃত্তাকার ক্ষেলে বিভাজন নং (N) = .....

স্পেরোমিটারের লিখিষ্ঠ ধ্রুবক (LC) = ..... cm

### স্পেরোমিটার পাঠ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রধান ক্ষেল পাঠ (cm)	সমতুল্য, বৃত্তাকার ক্ষেলের বিভাজন (n)	বৃত্তাকার ক্ষেল পাঠ = $n \times LC$ (cm)	মোট পাঠ (a + c) (cm)	গড় পাঠ
		(a)	(b)	(c)	
সমতল পৃষ্ঠ	1. to 3.				$h_1 = \dots\text{cm}$
উত্তল পৃষ্ঠ	1. to 3.				$h_2 = \dots\text{cm}$
অবতল পৃষ্ঠ	1. to 3.				$h_3 = \dots\text{cm}$

### ফলাফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা

সমতল পৃষ্ঠ থেকে উত্তল পৃষ্ঠের উচ্চতা  $h = h_2 - h_1 = \dots\text{cm}$

সমতল পৃষ্ঠ থেকে অবতল পৃষ্ঠের গভীরতা  $h' = h_3 - h_1 = \dots\text{cm}$ .

$$\text{উত্তল পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ } R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2} = \dots\text{cm}$$

$$\text{অবতল পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ } R' = \frac{a^2}{6h'} + \frac{h'}{2} = \dots\text{cm}$$

## উপসংহার এবং/অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

- স্পেরোমিটারের শূন্য সংশোধন ব্যাখ্যা কর।
- উন্তল দর্পণের ফোকাল দৈর্ঘ্য এবং বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক লিখ।
- স্পেরোমিটারের ব্যাকল্যাশ ত্রুটি কমানোর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।
- একটি যন্ত্রের লিঘষ্ট ধ্রুবক ব্যাখ্যা কর।



### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	স্পেরোমিটারের লিঘষ্ট ধ্রুবক খুঁজে পেতে	15%	
2	শূন্য ত্রুটির পরিমাপ	15%	
3	উন্তল এবং অবতল পৃষ্ঠের যথাত্রমে $h$ এবং $h'$ সঠিক পরিমাপ	15%	
4	গণনা এবং ফলাফল	15%	
উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)			
5	ত্রুটির অনুমান	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	উপসংহার এবং বৈধতা	10%	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
মোট		100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেসমেন্টের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....: প্রাপ্ত মার্ক্স	তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর	
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

## আরো জ্ঞাতব্য

সৌরজগতের বাইরের জ্যোতির্বিজ্ঞান বস্তুর দৈর্ঘ্যের একক হল পার্সেক (parsec), আলোকবর্ষ বা জ্যোতির্বিজ্ঞান একক (AU)। অগু বা পরমাণুর ধাতু পরমাণু ভর amu ইউনিটে পরিমাপ করা হয় যখন ছায়াপথ বা ব্ল্যাকহোলের মতো জ্যোতির্বিজ্ঞান বস্তুর ভর সৌর ভরে পরিমাপ করা হয়। সময়ের অনানুষ্ঠানিক একক যা 10 ন্যানোসেকেন্ড বা  $10^{-8}$  সেকেন্ড পরিমাপ করে তা 1 শেক হিসাবে পরিচিত। নিউটন বিক্রিয়ার মতো ঘটনার সময় প্রকাশের জন্য সময়ের এই এককের প্রয়োগ ক্ষেত্রটি পারমাণবিক বিক্রিয়ায় দেখা যায়।

### পরিমাপের নির্ভুলতা এবং নির্ভরযোগ্যতা

জ্ঞান, নির্ভুলতা এবং ভুল হিসাবের অভাব বিপর্যয় ঘটাতে পারে। এরকম একটি উদাহরণ হল থ্রেট কারস্টেন ব্লাস্টার। তার ভুলটি মিলিমিটার থেকে ইঞ্চিতে রূপান্তরিত হয়েছিল যা সরকারের 2 বিলিয়ন ডলারেরও বেশি খরচ করেছিল। 25.4 এর মান নির্ধারণ করার পরিবর্তে, তিনি 24.5 সেট করেছিলেন; যার ফলে ভিগর মহাকাশ অনুসন্ধানে শুক্র গ্রহ অনুপস্থিত ছিল ফলে তা মহাকাশে হারিয়ে গিয়েছিল।

### উক্তাবনী ব্যবহারিক / প্রকল্প / কার্যক্রম

- বিভিন্ন কম সংখ্যার Vernier Caliper ব্যবহার করে বস্তুটি পরিমাপ কর।
- একটি মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজ ব্যবহার করে বস্তুটি পরিমাপ কর, বিভিন্ন নূন্যতম গণনার জন্য।
- বিভিন্ন গণনার একটি গোলক যন্ত্র ব্যবহার করে বৃত্তাকার বস্তুটি পরিমাপ কর।
- মূল প্রোগ্রামে বিভিন্ন পরিমাপ যন্ত্রের তালিকা দাও।

## তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিভিউ

### রেফারেন্স

- H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
- J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
- M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2019.
- E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
- Beiser, Schaum's Outline Of Applied Physics, 4<sup>th</sup> Edition, Mc-Graw-Hill, 2009.
- Beiser, Schaum's Easy Outline Of Applied Physics, Revised Edition, McGraw-Hill, 2011.
- PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
- OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MeitY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
- Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/>

**ব্যবহারিক জন্য প্রস্তুতিত শেখার সম্পদ**

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
3. <https://selflearning.io/study-material/physics/physics/physics-and-mathematical-calculation/absolute-error-relative-error-and-percentage-error>

# 2

## বল এবং গতি

### ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করেছে:

- স্কেলার এবং ভেক্টর বস্তুর পরিমাণ এবং তাদের উদাহরণ
- ভেক্টরের পরিমাণ এবং একটি ভেক্টরের বিশ্লেষণ প্রয়োগের গাণিতিক ক্রিয়াকলাপ
- ত্রিভুজ এবং সমান্তরালগাম নীতি (শুধুমাত্র বিবৃতি)
- রৈখিক গতিবেগ এবং এর প্রয়োগ সংরক্ষণ
- বস্তুর বৃত্তাকার গতি
- রৈখিক এবং কৌণিক বেগ, রৈখিক ত্বরণ এবং কৌণিক ত্বরণের মধ্যে সম্পর্ক
- উদাহরণ সহ কেন্দ্রীভূত এবং কেন্দ্রাতিগ বল
- রাস্তার ব্যাংকিং এবং সাইক্লিস্টের বাঁক

### যুক্তি

যে কোনো পরিমাপযোগ্য পরিমাণ হয় একটি স্কেলার বা একটি ভেক্টর। একটি স্কেলার পরিমাণ শুধুমাত্র তার মাত্রা দ্বারা বর্ণনা করা যেতে পারে এবং দিকনির্দেশের প্রয়োজন নেই। একটি ভেক্টর পরিমাণ পরিমাপ এবং দিক উভয় দ্বারা বর্ণনা করা হয় এবং এটি অবশ্যই ভেক্টর সংযোজন নীতি মেনে চলতে হবে। ভেক্টর সংযোজনের জন্য ত্রিভুজ নীতি এবং সমান্তরালগাম নীতি ব্যবহার করা হয়। দুটি ভেক্টরের উৎপাদন এবং ভেক্টরের বিশ্লেষণউদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করা হয়েছে। কৌণিক ভরবেগ এবং আবেগ সংরক্ষণ নীতি উদ্ভৃত হয়, বন্দুক এবং রকেটের পুনরঁদারের মতো অ্যাপ্লিকেশনগুলি বর্ণনা করা হয়েছে। কৌণিক স্থানচ্যুতি, কৌণিক বেগ, কৌণিক ত্বরণ এবং রৈখিক পরিমাণের সাথে তাদের সম্পর্ক উদ্ভৃত হয়। কেন্দ্রীভূত এবং কেন্দ্রাতিগ বল যেমন ব্যাঙ্কিং ইনরোড, সাইক্লিস্টের বাঁকানোর মতো অ্যাপ্লিকেশনগুলির সাথে পাঠ্যে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

### পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- পদার্থবিজ্ঞান: এককের মৌলিক বিষয় এবং ভৌত পরিমাণের পরিমাপ
- গণিত: রৈখিক বীজগাণিতের মূল বিষয়
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

## ইউনিট আউটকাম

**U2-O1:** ভেষ্টর এবং ক্ষেলার পরিমাণের মধ্যে পার্থক্য ; ভেষ্টর যোগ নীতি, বিয়োগ প্রয়োগ এবং ভেষ্টর রেজল্যুশন ব্যবহার করণ

**U2-O2:** গতি এবং আবেগের সাথে শক্তির সম্পর্ক স্থাপন; এর সংরক্ষণ প্রয়োগ; রকেট প্রপালশন এবং বন্দুকের পুনরুৎসাহের রৈখিক গতি

**U2-O3:** কৌণিক গতি এবং সংক্ষিপ্ত বন্দুর পরিমাণ নির্ধারণ; কেন্দ্রীভূত বল সনাক্ত এবং উদাহরণ এবং রাস্তার ব্যাখ্যিঃ

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং

ইউনিট-২: ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং					
	(1-দুর্বল পারম্পরিক সম্পর্ক, 2-মাঝারি সম্পর্ক, 3-শক্তিশালী পারম্পরিক সম্পর্ক)	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5
U1-O1	2	3	2	2	1	1
U1-O2	2	3	2	1	3	1
U1-O3	2	3	1	2	-	-

### 2.1 ক্ষেলার এবং ভেষ্টর পরিমাণ

#### মজার ঘটনা

একটি ভেষ্টর সমতলে (যেমন একটি সাধারণ কাগজ বা একটি সাধারণ শীট বা দিমাত্রিক স্থানে) দুটি রৈখিক স্বাধীন ভেষ্টর যোগ করে বর্ণনা করা হয়েছে। 3-মাত্রিক স্থানগুলিতে ভেষ্টরগুলি তিনটি ভেষ্টর উপাদানগুলির সমষ্টি হিসাবে লেখা যেতে পারে। ভেষ্টর হল গাণিতিক হাতিয়ার যা পদার্থবিজ্ঞানের সমীকরণ সমাধান করতে এবং গণনা সহজ করতে ব্যবহার করা যেতে পারে।

#### 2.1.1 ক্ষেলার এবং ভেষ্টর

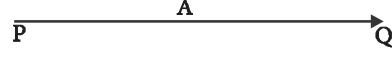
কিছু ভৌত পরিমাণ সম্পূর্ণরূপে বর্ণনা করা হয় শুধুমাত্র তাদের মাত্রার দ্বারা; এই পরিমাণগুলি ক্ষেলার নামে পরিচিত। এই পরিমাণগুলি শুধুমাত্র বীজগণিতের নিয়ম দ্বারা যোগ করা হয়। ভর, আয়তন, ঘনত্ব এবং তাপমাত্রা ক্ষেলার পরিমাণের কয়েকটি উদাহরণ।

কিছু ভৌত রাশির বিবরণের জন্য প্রয়োজন পরিমাপ, পাশাপাশি দিক এবং এই পরিমাণগুলি, ভেষ্টর সংযোজন নীতি দ্বারা যুক্ত করা হয়, এই পরিমাণগুলিকে ভেষ্টর বলে। বেগ, ত্বরণ, রৈখিক ভরবেগ এবং বল ভেষ্টর পরিমাণের কিছু উদাহরণ।

কিছু ক্ষেত্রে, একটি ভৌত রাশির দিকের পাশাপাশি পরিমাপ থাকে কিন্তু ভেষ্টর সংযোজন নীতি দ্বারা যোগ করা যায় না, সেই পরিমাণটি ভেষ্টর নয়। উদাহরণস্বরূপ- বৈদ্যুতিক শ্রেতের একটি তারের মাত্রা এবং দিক উভয়ই আছে কিন্তু ভেষ্টর সংযোজন নীতি দ্বারা প্রবাহ যোগ করা যায় না, এইভাবে, প্রবাহ হল একটি ক্ষেলার পরিমাণ।

#### ভেষ্টর A এর প্রতিনিধিত্ব

জ্যামিতিকভাবে, একটি ভেষ্টরকে একটি তীরচিহ্ন সহ একটি সরল রেখা দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয়, লাইনের দৈর্ঘ্য সেই পরিমাণের মাত্রার সমানুপাতিক এবং তীরচিহ্নটি সেই ভেষ্টরের দিক দেখায়।

চিত্রে (2.1), ভেক্টর  $\vec{A}$  দ্বারা  $\vec{PQ}$  প্রতিনিধিত্ব করা হয়েছে, দৈর্ঘ্য  $PQ$  

ভেক্টরের মাত্রা দেয় এবং তারচিহ্ন ভেক্টরের দিক দেখায়। প্রতীক  $\vec{PQ}$ ,  $\vec{AB}$  ইত্যাদির উপর তার লাগিয়ে ভেক্টর লেখা হয়। কখনও কখনও আমরা একক

চিত্র 2.1: ভেক্টর A এর চিত্র

অক্ষরের চিহ্ন  $\vec{r}$ ,  $\vec{f}$ ,  $\vec{v}$  ইত্যাদি ব্যবহার করি। কিছু বইতে, ভেক্টরগুলি  $PQ$ ,  $AB$ ,  $F$ ,  $V$  ইত্যাদি বোল্ড অক্ষর দ্বারা উপস্থাপন করা হয়। ভেক্টরের মাত্রা  $|A|$  দ্বারা বা  $A$  অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

#### ভেক্টরের প্রকার

- শূন্য ভেক্টর:** যখন একটি ভেক্টরের প্রাথমিক এবং শেষ বিন্দু মিলে যায়, তখন ভেক্টরের মাত্রা শূন্য হয় সেই ভেক্টরকে শূন্য ভেক্টর বলা হয়।
- একক ভেক্টর:** যদি একটি ভেক্টরের মাত্রা এক হয়, তাহলে একে একক ভেক্টর বলা হয়। একক ভেক্টরকে  $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$  হিসাবে চিহ্নিত করা হয়;  $\hat{A}$  কে ক্যাপ বলা হয়।
- সমান ভেক্টর:** দুটি ভেক্টরকে সমান বলা হয়,  $\vec{A} = \vec{B}$ , যদি তারা একই মাত্রা এবং দিক দিয়ে একই ভৌত পরিমাণের প্রতিনিধিত্ব করে।
- ঝণাঞ্জক ভেক্টর:** যখন দুটি ভেক্টরের সমান মাত্রা পরস্পরের বিপরীত দিকে থাকে তখন তাকে ঝণাঞ্জক বা বিপরীত ভেক্টর বলে। ঝণাঞ্জক  $\vec{A} = -\vec{B}$  হিসাবে লেখা যেতে পারে।

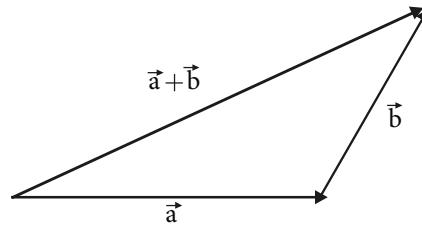
#### প্রাথমিক বিন্দুর উপর নির্ভর করে ভেক্টরের প্রকারভেদ

- মুক্ত ভেক্টর:** যদি কোনো ভেক্টরের প্রাথমিক বিন্দুটি স্থানচিহ্ন যেকোনো বিন্দুতে স্থানচ্যুত হতে পারে, তাহলে তাকে মুক্ত ভেক্টর বলা হয়।
- স্লাইডিং ভেক্টর:** যখন একটি ভেক্টরের প্রাথমিক বিন্দুটি শুধুমাত্র তার ক্রিয়ার রেখা বরাবর স্থানচ্যুত হতে পারে তখন তাকে স্লাইডিং ভেক্টর বলা হয়।
- আবদ্ধ ভেক্টর:** যদি কোনো ভেক্টরের প্রাথমিক বিন্দুটি স্থানের মধ্যে স্থির থাকে এবং পরিবর্তন করা না যায় তাহলে তাকে আবদ্ধ ভেক্টর বলা হয়।
- পোলার ভেক্টর:** যদি রেফারেন্স ফ্রেম থেকে স্বাধীন কোনো ভেক্টরের দিকনির্দেশ হয়, তাহলে তাকে পোলার ভেক্টর বলা হয়। মেরু ভেক্টরের দিকটি তাদের বর্ণনা দ্বারা দেখানো হয়: যেমন বেগ, ত্বরণ, বল ভেক্টর।
- অক্ষীয় ভেক্টর:** যদি একটি ভেক্টরকে ঘূর্ণন প্রভাব উপস্থাপন করা হয় এবং ঘূর্ণনের অক্ষ বরাবর কাজ করা হয় তবে তাকে অক্ষীয় ভেক্টর বলা হয়। অক্ষীয় ভেক্টরের দিকটি রেফারেন্স ফ্রেমের হাতের উপর নির্ভর করে।
- টর্ক ট' =  $\vec{r} \times \vec{F}$**  এবং কৌণিক ভরবেগ  $\vec{J} = \vec{r} \times \vec{p}$  অক্ষীয় ভেক্টরের কিছু উদাহরণ।
- কোণ্যানার ভেক্টর:** যদি দুটি ভেক্টর একই সমতলে থাকে তবে তাদের কোণ্যানার ভেক্টর বলা হয়।

#### 2.1.2 ভেক্টর যোগ এবং বিয়োগ

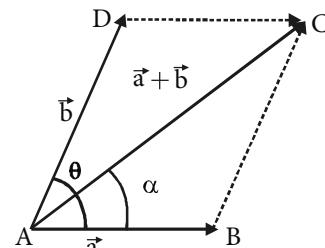
##### A দুটি ভেক্টরের সংযোজন

**ত্রিভুজ নীতি:** ভেক্টর সংযোজনের ত্রিভুজ নীতি বলে যে যখন দুটি ভেক্টরকে পরিমাপ এবং দিকের ক্রম দিয়ে ত্রিভুজের দুটি দিক হিসাবে উপস্থাপন করা হয়, তখন ত্রিভুজটির তৃতীয় দিকটি ফলাফল ভেক্টরের মাত্রা এবং দিক নির্দেশ করে। এই নিয়মটি দুটি ভেক্টরের সংযোজনের ত্রিভুজ নীতি হিসাবে পরিচিত।



চিত্র 2.2: ত্রিভুজ নীতি

**প্যারালেলগ্রাম নীতি:** ভেক্টর সংযোজনের সমান্তরাল নীতি অনুসারে যদি দুটি ভেক্টর একটি সমান্তরালথামের দুটি পার্শ্ব বরাবর কাজ করে (উভয় দিকের দৈর্ঘ্যের সমান মাত্রা) উভয়ই সাধারণ শীর্ষবিন্দু থেকে দূরে নির্দেশ করে, তাহলে ফলাফলটি সমান্তরালগ্রাম কর্ণ দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয়। যদি দুটি ভেক্টর সমান্তরাল চক্রের দুটি সংলগ্ন পাশ দিয়ে তাদের সাধারণ প্রান্ত দিয়ে উপস্থাপন করা হয় তাহলে দুই ভেক্টরের ছেদ দিয়ে আঁকা কণ্ঠি ভেক্টরের যোগফল দেয়।



চিত্র 2.3: সমান্তরালগ্রাম নীতি

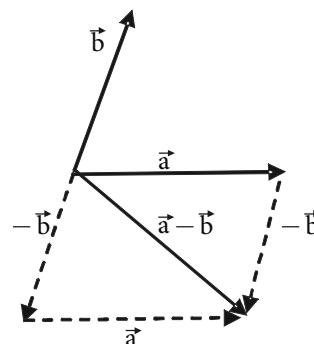
$$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{AC} \quad \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DC} = \overrightarrow{AC}$$

$(\vec{a} + \vec{b})$  এর মাত্রা  $|\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \theta}$  হিসাবে দেওয়া হয়েছে;  $\theta$  ভেক্টর দুটির মধ্যে একটি ছোট কোণ।

যদি  $(\vec{a} + \vec{b})$  ভেক্টর দিয়ে একটি কোণ  $\alpha$  তৈরি হয়  $\vec{a}$  সাথে তাহলে,  $\tan \alpha = \frac{b \sin \theta}{a + b \cos \theta}$

### B দুটি ভেক্টরের বিয়োগ

দুটি ভেক্টরের বিয়োগকে বিপরীত ভেক্টর হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা যেতে পারে। ভেক্টর  $b$  কে  $a$  থেকে বিয়োগ করতে হলে, ভেক্টর  $(-b)$  পেতে দিকটি অবশ্যই ভেক্টর  $b$  এর বিপরীত হতে হবে।



চিত্র 2.4: ভেক্টর বিয়োগ

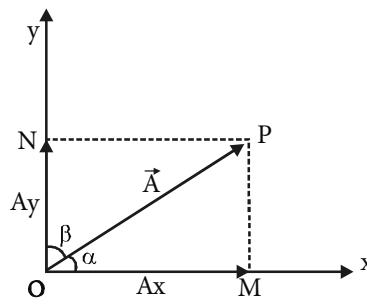
$$\vec{b} - \vec{a} = \vec{b} + (-\vec{a})$$

$(\vec{b} - \vec{a})$  ভেক্টর  $(\vec{a} - \vec{b})$  এর বিপরীত দিকে;

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

### 2.1.3 ভেক্টরের বিশ্লেষণ

ধরি, একটি ভেক্টর  $\vec{A} = \overrightarrow{OP}$ , X-Y সমতলে O থেকে বিন্দু P যুক্ত হয়েছে (চিত্র 2.5). আমরা মনে করি  $\vec{A}$  ভেক্টর X-অক্ষ দিয়ে একটি কোণ  $\alpha$  তৈরি করে এবং Y-অক্ষ দিয়ে কোণ  $\beta = (90 - \alpha)$  তৈরি করে; PM এবং PN হল যথাক্রমে P বিন্দু থেকে X এবং Y অক্ষের উপর টানা লম্ব।



চিত্র 2.5: ভেক্টর রেজোলিউশন

$OM = X$ - অক্ষে ভেক্টরের অভিক্ষেপ  $= X$ - অক্ষ বরাবর ভেক্টরের উপাদান

এবং  $ON = Y$ - অক্ষের উপর একটি ভেক্টরের অভিক্ষেপ  $= Y$ - অক্ষ বরাবর একটি ভেক্টরের উপাদান ভেক্টর সংযোজনের ত্রিভুজ নিয়ম দ্বারা

$$\vec{A} = \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{MP} = \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{ON} \quad (\text{here } \overrightarrow{MP} = \overrightarrow{ON} \text{ opposite sides of a rectangle})$$

এখানে  $\overrightarrow{MP} = \overrightarrow{ON}$  (একটি আয়তক্ষেত্রের বিপরীত দিক)

$$\Delta OMP \text{ তে } \cos \alpha = \frac{OM}{OP} \text{ বা } OM = OP \cos \alpha = A \cos \alpha$$

$$\Delta ONP \text{ তে } \cos \beta = \frac{ON}{OP} \text{ বা } ON = OP \cos \beta = A \cos \beta$$

যদি  $\vec{i}$  এবং  $\vec{j}$  যথাক্রমে X এবং Y অক্ষ বরাবর একক ভেক্টর হয়

তখন, আমরা পাই  $\overrightarrow{OM} = (A \cos \alpha) \vec{i}$  এবং  $\overrightarrow{ON} = (A \cos \beta) \vec{j}$

$$\text{সুতরাং, ভেক্টর } \vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} = (A \cos \alpha) \vec{i} + (A \cos \beta) \vec{j}$$

$$|\vec{A}|^2 = OP^2 = OM^2 + MP^2 = A_x^2 + A_y^2$$

$$\text{সুতরাং, ভেক্টরের মাত্রা } |\vec{A}| = |\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \text{ এবং } \tan \alpha = \frac{A_y}{A_x}$$

একইভাবে, আমরা X, Y এবং Z অক্ষ বরাবর ত্রিমাত্রিক স্থানে  $\vec{A}$  ভেক্টরকে সমাধান করতে পারি।

যদি ভেক্টর  $\vec{A}$  যথাক্রমে তিনটি অক্ষ X, Y এবং Z দিয়ে  $\alpha, \beta$  and  $\gamma$  কোণ তৈরি করে, তাহলে আমরা পাই

$$\vec{A} = (A \cos \alpha) \vec{i} + (A \cos \beta) \vec{j} + (A \cos \gamma) \vec{k}$$

এখানে,  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  একক ভেস্টের যথাক্রমে X-, Y- এবং Z- অক্ষ বরাবর

$$\text{ধরি, } \vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}, \vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}$$

$$\text{তখন, } \vec{A} \pm \vec{B} = (A_x \pm B_x) \vec{i} + (A_y \pm B_y) \vec{j} + (A_z \pm B_z) \vec{k}$$

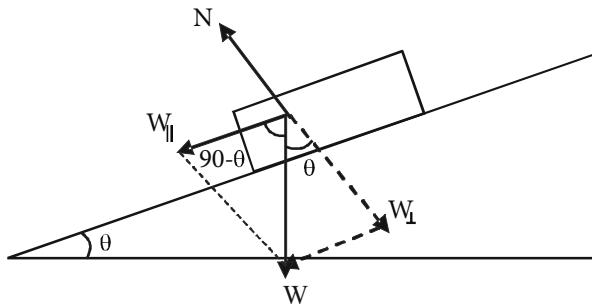
$$\text{মাত্রা } |\vec{A} \pm \vec{B}| = \sqrt{(A_x \pm B_x)^2 + (A_y \pm B_y)^2 + (A_z \pm B_z)^2}$$

#### 2.1.4 ভেস্টেরের প্রয়োগ

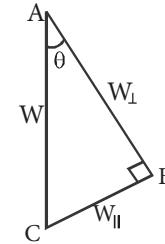
##### A. নততল

আমরা নততলে একটি বল ভেস্টের প্রদর্শন করতে পারি:

ধরি নততলে একটি বল  $m$  ভরের রাখা যা অনুভূমিক দিক দিয়ে  $\theta$  কোণ তৈরি করে।



চিত্র 2.6: নততলে বল



চিত্র 2.7: ওজনের উপাদান

বল এর ওজন  $W = mg$  কে দুটি উপাংশে বিভাজিত করা যায়

একটি নততলের সমান্তরাল  $W_{\parallel}$  এবং অন্যটি নততলের লম্ব  $W_{\perp}$ ।

$$\sin \theta = \frac{BC}{AC} = \frac{W_{\parallel}}{W} \text{ বা } W_{\parallel} = W \sin \theta$$

অথবা  $W = N$  (লম্ব বিক্রিয়া) একটি উল্লম্ব উপাদান

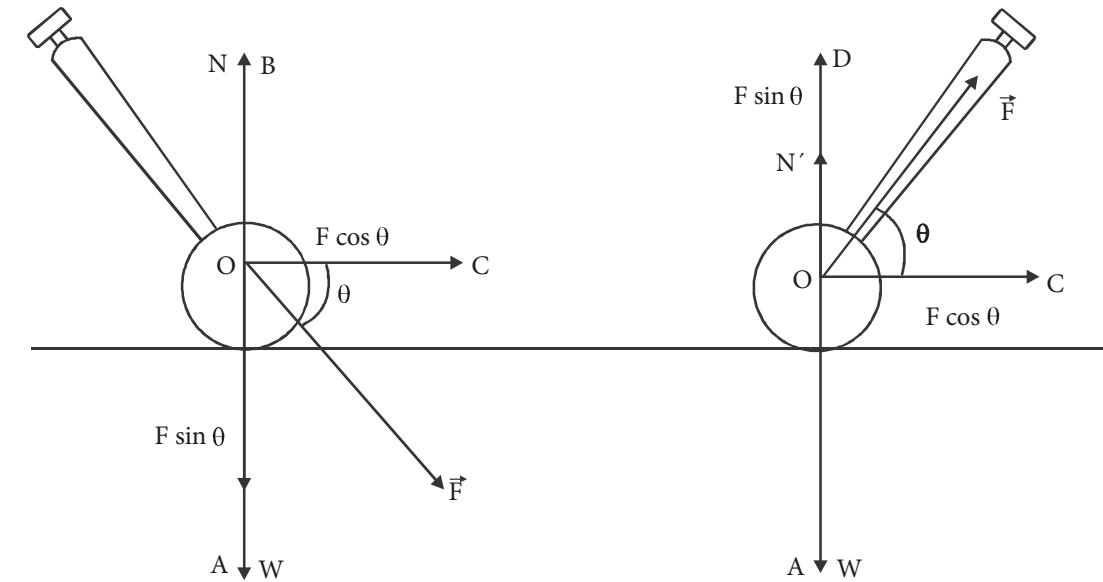
##### B. লন রোলার

আমরা মনে করি একটি লন রোলারের প্রকৃত ওজন  $W$ ।

ধাক্কা দেওয়ার ক্ষেত্রে: লন রোলার বাহ্যিক  $F$  বলের সাহায্যে অনুভূমিক দিক দিয়ে একটি কোণ  $\theta$  তৈরি করে ধাক্কা দেয়। এই  $F$  বলটি O বিন্দুতে দুটি উপাংশে সমাধান করা যেতে পারে। বলের অনুভূমিক উপাংশ  $F \cos \theta$  এবং বলের উল্লম্ব উপাংশ  $F \sin \theta$ ; অনুভূমিক উপাংশের কারণে F রোলার সামনের দিকে এগিয়ে যায়। যদি রোলারের লম্ব প্রতিক্রিয়া  $N$  হয়, তাহলে,

$$N = W + F \sin \theta$$

এইভাবে, রোলারের আপাত ওজন বৃদ্ধি পায়, তাই রোলারটিকে ধাক্কা দেওয়া কঠিন।



চিত্র 2.8: লন বেলন

টানার ক্ষেত্রে: এখন, এই রোলারটি  $\vec{F}$  বাহ্যিক বলের সাহায্যে অনুভূমিক দিক দিয়ে একটি কোণ  $\theta$  তৈরি করে একজন টেনে আনে। এই বলটি আবার দুটি উপাংশে O বিন্দুতে সমাধান করা যেতে পারে। কিন্তু এই বলের বলের অনুভূমিক উপাংশ  $F\cos\theta$  এবং এটি OC এর সাথে কাজ করছে এবং বলের উল্লম্ব উপাংশ  $F\sin\theta$  এবং এটি OD এর সাথে কাজ করছে। যদি লম্ব প্রতিক্রিয়া  $N'$  হয়,

$$N' = W - F\sin\theta$$

এইভাবে, রোলারের আপাত ওজন হ্রাস পায়, তাই বেলনটি টানতে সহজ হয়।

### 2.1.5 দুটি ভেক্টরের ক্ষেলার এবং ভেক্টর গুণ

যখন একটি ভেক্টর  $\vec{A}$  কে একটি সংখ্যা K দিয়ে গুণ করা হয় তখন আমরা  $K\vec{A}$  কে পাই যা একই দিকের একটি ভেক্টর কিন্তু ভেক্টরের মাত্রার K গুণের গুণান। যদি ভেক্টরকে -K দ্বারা গুণ করা হয় তাহলে আমরা  $(-K\vec{A})$  বিপরীত দিকে একটি ভেক্টর পাই কিন্তু ভেক্টরের মাত্রা K গুণ।

#### A. ক্ষেলার বা ডট গুণ

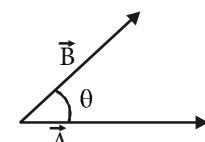
দুটি ভেক্টরের ডট গুণফল,

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$$

এখানে, A এবং B যথাক্রমে  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  ভেক্টরের পরিমাপ এবং  $\theta$  তাদের মধ্যে কোণ।

যদি  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  ভেক্টরের মধ্যে কোণ  $\theta$  হয় বা এরা পারস্পরিকভাবে লম্ব হয় তাহলে ডট গুণফল  $\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = 0$  যেহেতু ( $\cos 90^\circ = 0$ )

ডট গুণফল ভেক্টরের ক্রমের উপর নির্ভর করে না, তাই এটি বিনিময় নীতি এবং বিতরণ নীতি অনুসরণ করে।

চিত্র 2.9: দুটি ভেক্টরের  
ডট প্রোডাক্ট

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad (\text{বিনিময় নীতি})$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C} \quad (\text{বিতরণ নীতি})$$

**উদাহরণ:**  $A = 10$  এবং  $B = 20$  মাত্রার দুটি ভেক্টর এবং তাদের মধ্যে কোণ  $120^\circ$ । এই দুই ভেক্টরের ডট গুণফল নির্ণয় কর

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = 10 \times 20 \times \cos 120^\circ = -100 \text{ ইউনিট}$$

দুটি ভেক্টরের ডট গুণফল একটি স্কেলার পরিমাণ।

সমন্বয় অক্ষ বরাবর উপাংশ আকারে ভেক্টর দেওয়া হলে দুটি ভেক্টরের ডট গুণফল পাওয়া যাবে। ধরা যাক, দুটি ভেক্টর  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  কে একক ভেক্টর  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  এবং  $\vec{k}$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়,

$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}, \quad \vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}$$

$$\begin{aligned} \text{তখন, } \vec{A} \cdot \vec{B} &= (A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) \cdot (B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}) \\ &= A_x B_x (\vec{i} \cdot \vec{i}) + A_x B_y (\vec{i} \cdot \vec{j}) + A_x B_z (\vec{i} \cdot \vec{k}) + A_y B_x (\vec{j} \cdot \vec{i}) + A_y B_y (\vec{j} \cdot \vec{j}) + A_y B_z (\vec{j} \cdot \vec{k}) + A_z B_x (\vec{k} \cdot \vec{i}) \\ &\quad A_z B_y (\vec{k} \cdot \vec{j}) + A_z B_z (\vec{k} \cdot \vec{k}) \end{aligned}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

এখানে, আমরা  $X$ ,  $Y$  এবং  $Z$  অক্ষ বরাবর একক ভেক্টরের স্কেলার গুণফল লিখতে পারি:

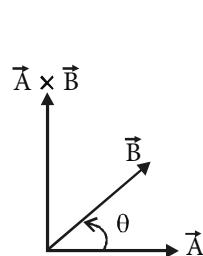
$$(\vec{i} \cdot \vec{i}) = (\vec{j} \cdot \vec{j}) = (\vec{k} \cdot \vec{k}) = 1 \cdot 1 \cos 0^\circ = 1 \quad \text{এবং} \quad (\vec{i} \cdot \vec{j}) = (\vec{j} \cdot \vec{k}) = (\vec{k} \cdot \vec{i}) = 1 \cdot 1 \cos 90^\circ = 0$$

### B. ভেক্টর গুণফল বা দুটি ভেক্টরের ক্রস গুণফল

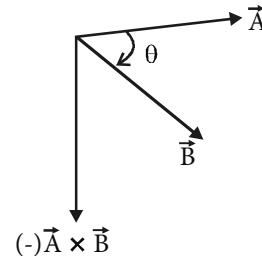
ভেক্টর গুণফল বা দুটি ভেক্টরের  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  ক্রস গুণফল  $\vec{A} \times \vec{B}$  দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং এটি নিজেও একটি ভেক্টর।

তখন এই ভেক্টরের পরিমাপ  $|\vec{A} \times \vec{B}| = AB \sin \theta$  হিসাবে দেওয়া হয়েছে

এখানে  $A$  এবং  $B$  যথাক্রমে ভেক্টরের মাত্রা এবং  $\theta$  এই দুটি ভেক্টরের মধ্যে কোণ।



চিত্র 2.10: ভেক্টরের ক্রস প্রোডাক্ট



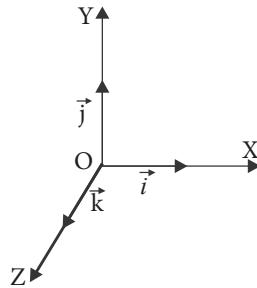
চিত্র 2.11: দুটি ভেক্টরের ক্রস প্রোডাক্ট

$\vec{A} \times \vec{B}$  ভেক্টরের দিক ভেক্টর  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  উভয়েরই লম্ব। এইভাবে,  $\vec{A} \times \vec{B}$  ভেক্টর  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  সম্পূর্ণ সমতলের লম্ব এবং  $(\vec{A} \times \vec{B})$  এর দিকটি ডান হাতের থাম্ব রুলের সাহায্যে পাওয়া যাবে। এটি বলে যে, তোমার প্রসারিত ডান হাতের তালু  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  ভেক্টরের সমতলে লম্ব করে রাখ যাতে আঙুলগুলি  $\vec{A}$  ভেক্টর বরাবর থাকে। যদি আঙুলগুলি ভেক্টর  $\vec{A}$  থেকে  $\vec{B}$  কার্ল করা হয়; তখন তোমার থাম্ব  $\vec{A} \times \vec{B}$  নির্দেশ করবে।

**দ্রষ্টব্য:**  $\vec{A} \times \vec{B} \neq \vec{B} \times \vec{A}$  সুতরাং, ক্রস-গুণফল পরিবর্তনশীল নয়। কারণ  $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$

କ୍ରମ ବନ୍ଦୁର କ୍ଷେତ୍ରେ ବିତରଣ ନୀତି ପ୍ରୟୋଗ କରା ଯେତେ ପାରେ  $\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \times \vec{B} + \vec{A} \times \vec{C}$

କ୍ରମ ବନ୍ଦୁର ସହ୍ୟୋଗୀ ନୀତି ପ୍ରୟୋଗ କରା ଯାବେ ନା  $\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) \neq (\vec{A} \times \vec{B}) \times \vec{C}$



ଚିତ୍ର 2.12: ଅନ୍ଧର ସାଥେ ଇଉନିଟ ଭେଟ୍ରେ

$$\text{ଇଉନିଟ ଭେଟ୍ରେର କ୍ରମ ଗୁଣଫଳ ନିଚେ ଦେଓୟା ହଲ: } \vec{i} \times \vec{j} = (1.1. \sin 90^\circ) \vec{k} = \vec{k} = -\vec{j} \times \vec{i}$$

$$\vec{j} \times \vec{k} = -\vec{k} \times \vec{j} = \vec{i}, \vec{k} \times \vec{i} = -\vec{i} \times \vec{k} = \vec{j}$$

$$\text{ଏବଂ } \vec{i} \times \vec{i} = (1.1. \sin 0^\circ) = 0 \text{ similarly } \vec{j} \times \vec{j} = \vec{k} \times \vec{k} = 0$$

ଯଦି ଭେଟ୍ରେର  $\vec{A}$  ଏବଂ  $\vec{B}$  ଉପାଂଶେର ପରିପ୍ରେକ୍ଷିତେ ପ୍ରକାଶ କରା ହୁଏ ତବେ ଦୁଟି ଭେଟ୍ରେର କ୍ରମ ଗୁଣଫଳକେ ନିର୍ଧାରକ ଆକାରେ ଓ ପ୍ରକାଶ କରା ଯେତେ ପାରେ:

$$\begin{aligned} \vec{A} \times \vec{B} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = \vec{i} \begin{vmatrix} A_y & A_z \\ B_y & B_z \end{vmatrix} - \vec{j} \begin{vmatrix} A_x & A_z \\ B_x & B_z \end{vmatrix} + \vec{k} \begin{vmatrix} A_x & A_y \\ B_x & B_y \end{vmatrix} \\ &= (A_y B_z - A_z B_y) \vec{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \vec{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \vec{k} \end{aligned}$$

#### ପ୍ରୟୋଗ (ବାନ୍ତବ ଜୀବନ ଶିଳ୍ପ)

- ସଖନ ଏକଟି ଗାଡ଼ି ଚଲିବାକୁ, ଟାଯାରେର ପ୍ରାଥମିକ ବେଗ, ତ୍ଵରଣ, ଟାଯାର ଏବଂ ରାନ୍ତାର ମଧ୍ୟେ ସର୍ବଣ ବଳ ଥାକେ। ମହାକର୍ଷୀୟ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଟାଯାରେ ଓ ପ୍ରୟୋଜ୍ୟ। ସୁତରାଂ, ଏହି ସମସ୍ତ ଭେଟ୍ରେର ଏକଟି ଗାଡ଼ିର ଗତିର ବର୍ଣନାୟ ବ୍ୟବହାତ ହୁଏ।
- ସଖନ ଏକଜନ ନୌକାର ମାବି ନଦୀର ଅନ୍ୟ ତୀରେ ସୋଜା ପୋଂଛାନୋର ଜନ୍ୟ ନଦୀ ପାର ହୁଏ ତଥନ ତାର ଉଚିତ ନଦୀର ଗତି ଏବଂ ନୌକା ଉତ୍ତରାଂ ମନେ ରାଖା।
- ପଦାର୍ଥବିଜ୍ଞାନ ଏବଂ ପ୍ରକୋଶଳ ଭେଟ୍ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମ୍ୟାଗନୋଟିକ ଏବଂ ମହାକର୍ଷୀୟ କ୍ଷେତ୍ରେର ବର୍ଣନାୟ ବ୍ୟବହାତ ହୁଏ।

#### କେସ-ସ୍ଟାଡ଼ି (ପରିବେଶ ଆନ୍ତରିକ ସାମାଜିକ ନୈତିକ ସମସ୍ୟା)

ବଳ ବାହୁ ଏବଂ ପ୍ରୟୋଗ ବାହିକ ବଲେର ଭେଟ୍ରେ ଗୁଣଫଳ ଦାରା ଟର୍କ ଦେଓୟା ହୁଏ। ଦରଜାର କ୍ଷେତ୍ରେ, ହ୍ୟାନ୍ଡେଲଟି ଦରଜାର ଶେଷେର କାହେଁ ସଂୟୁକ୍ତ ଥାକେ ଯାତେ ଦରଜା ବନ୍ଧ ବା ଖୋଲାର ଜନ୍ୟ ସେଇ କମ ବଲେର କାରଣେ ବାହୁ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବେଶି ଥାକେ। ଦୁଟି ଭେଟ୍ରେର କ୍ରମ-ଗୁଣଫଳାଂଶ୍ୱ ଏକଟି ଭେଟ୍ରେର। ସୁତରାଂ, ଟର୍କେର ଏକଟି ଦିକ ଆଛେ। ଦରଜାଟି ସ୍ଥାପିତ ହୁଏ ଉଲ୍ଲଙ୍ଘ ରେଖାଟି ଟର୍କେର ଦିକ ଦିଯେ ଏବଂ ସମତଳେର ଲଞ୍ଚେର ଉପର ଦିଯେ।

#### ଅନୁସନ୍ଧାନ ଏବଂ କୌତୁଳ ତୈରି କର

ମାତ୍ରା ଏବଂ ଦିକ ଉତ୍ତରାଂ ଆଛେ ଏମନ ପରିମାଣେର ଦୁଟି ଉଦାହରଣ ଆଲୋଚନା କର, କିନ୍ତୁ ଭେଟ୍ରେର ନଯ। ବ୍ୟାଖ୍ୟା କର କ୍ଷମତା ଏକଟି କ୍ଷେଲାର, ଭେଟ୍ରେର ନଯ। ଆଲୋଚନା କର, ଏକଟି କ୍ଷେଲାର ପରିମାଣ ଭେଟ୍ରେ ରାଶିର ସାଥେ ଯୋଗ କରା ଯାବେ ନା। ଏକଟି ଭେଟ୍ରେର ମାତ୍ରା ଧାରାତ୍ମକ ହତେ ପାରେ ନା ବ୍ୟାଖ୍ୟା କର। ତିନଟି ଭେଟ୍ରେର ଯୋଗଫଳ ଶୂନ୍ୟ ହଲେ ସେଇ ଜ୍ୟାମିତିକ ଅବଶ୍ଵା ବ୍ୟାଖ୍ୟା କର।

### সমস্যার সমাধান

**সমস্যা-1:** একটি বল  $F = 20\text{N}$ ; এর অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাদানগুলির মধ্যে সমাধান কর যা অনুভূমিক দিয়ে একটি কোণ  $60^\circ$  তৈরি করছে।

সমাধান: অনুভূমিক উপাদান,  $F_x = F \cos 60^\circ = 20 \times \frac{1}{2} = 10\text{N}$ ,

উল্লম্ব উপাদান,  $F_y = F \cos 30^\circ = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3} \text{ N}$

**সমস্যা-2:** মাত্রা নির্ধারণ কর,  $\vec{A} - 2\vec{B}$ , যদি  $\vec{A} = 2\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}$  and  $\vec{B} = 3\vec{i} + \vec{j} + 4\vec{k}$

সমাধান:  $\vec{A} - 2\vec{B} = (2\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}) - 2(3\vec{i} + \vec{j} + 4\vec{k}) = -4\vec{i} - 3\vec{j} - 6\vec{k}$

সুতরাং, এর মাত্রা  $|\vec{A} - 2\vec{B}| = \sqrt{(-4)^2 + (-3)^2 + (-6)^2} = \sqrt{16 + 9 + 36} = \sqrt{61}$

**সমস্যা-3:** যদি  $\vec{A} = 4\vec{i} - 6\vec{j} + 8\vec{k}$  and  $\vec{B} = 2\vec{i} + 4\vec{j} - 6\vec{k}$  দুটি ভেক্টর হয় তবে নির্ধারণ কর  $\vec{A} \times \vec{B}$ .

সমাধান:

$$\begin{aligned}\vec{A} \times \vec{B} &= (4\vec{i} - 6\vec{j} + 8\vec{k}) \times (2\vec{i} + 4\vec{j} - 6\vec{k}) = 4 \times 2(\vec{i} \times \vec{i}) + 4 \times 4(\vec{i} \times \vec{j}) + 4 \times (-6)(\vec{i} \times \vec{k}) + \\ &\quad (-6) \times 2(\vec{j} \times \vec{i}) + (-6) \times 4(\vec{j} \times \vec{j}) + (-6) \times (-6)(\vec{j} \times \vec{k}) + 8 \times 2(\vec{k} \times \vec{i}) + 8 \times 4(\vec{k} \times \vec{j}) + \\ &\quad 8 \times (-6)(\vec{k} \times \vec{k}) = 0 + 16\vec{k} - 24(-\vec{j}) - 12(-\vec{k}) - 0 + 36\vec{i} + 16\vec{j} + 32(-\vec{i}) - 0 \\ \vec{A} \times \vec{B} &= 4\vec{i} + 40\vec{j} + 28\vec{k}\end{aligned}$$

**সমস্যা-4:** যদি  $\vec{A} = \vec{A} = 2\vec{i} + 5\vec{j}$  এবং  $\vec{B} = 10\vec{i} - 4\vec{j}$  দুটি ভেক্টরের মধ্যে (1)  $\vec{A} \cdot \vec{B}$  মাত্রা এবং (2) এর মধ্যে কোণ নির্ণয় কর।

সমাধান:  $\vec{A} \cdot \vec{B} = (2\vec{i} + 5\vec{j}) \cdot (10\vec{i} - 4\vec{j}) = 2 \times 10(\vec{i} \cdot \vec{i}) + 5 \times (-4)(\vec{j} \cdot \vec{j}) = 20 - 20 = 0$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = 0 \text{ অথবা, } \cos \theta = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{AB} = 0 \text{ বা } \theta = 90^\circ$$

## 2.2 বল এবং ভরবেগ

### মজার ঘটনা

যখন একজন ব্যক্তি ফুটবলকে লাই মারে, কিছুক্ষণ পরে এটি গতির বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করার কারণে স্থির অবস্থায় আসে। একটি বস্তুর মোট গতি রৈখিক গতি দ্বারা সংজ্ঞায়িত করা হয়। যদি নেট বল শূন্য হয় তাহলে সিস্টেমের মোট রৈখিক ভরবেগ স্থির থাকে। বিষয়বস্তুতে এই সত্যগুলি অধ্যয়ন করা হবে।

#### 2.2.1 বল

বল হল একটি ধাক্কা বা টান যা কোন বস্তুর স্থির অবস্থায় অবস্থা বা অভিন্ন গতি পরিবর্তন করতে পারে বা প্রবণ হতে পারে। বল বস্তুর গতি, দিকের গতি পরিবর্তন করতে পারে এবং বস্তুর আকার এবং আকৃতি পরিবর্তন করতে পারে। S.I বলের একক হল নিউটন (N)। বল একটি ভেক্টর পরিমাণ এবং একটি বস্তুর উপর নিট বল ভেক্টর সংযোজনের নিয়ম দ্বারা পাওয়া যাবে। চারটি প্রাকৃতিক শক্তি আছে (1) মহাকর্ষীয় (2) তড়িৎচুম্বকীয় (3) পারমাণবিক (4) দুর্বল বল। বল দুটি শ্রেণীতে বিভক্ত

- (a) **সংস্পর্শ বল:** যখন কোনো বলের উৎস কোনো বস্তুর সংস্পর্শে থাকে তখন তাকে বলা হয় সংস্পর্শ বল; যেমন পেশীবহুল বল, টান
- (b) **দূরবর্তী বল:** এই ধরনের বলের ক্ষেত্রে কোনো বলের উৎসকে আসতে হবে না; যেমন মাধ্যকর্ষণ এবং ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক বল।

**রৈখিক ভরবেগ:** এটি বস্তুর মোট গতি। একটি বস্তুর রৈখিক ভরবেগ ভর  $m$  এবং তার  $\vec{v}$  বেগের গুণমানের সমান। রৈখিক গতিবেগ  $\vec{p} = m \vec{v}$ । এটি একটি ডেক্টর পরিমাণ এবং এর দিকটি বস্তুর বেগের দিক বরাবর।

**নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্র:** বস্তুর গতিবেগ পরিবর্তন সেই বস্তুতে নিহিত বাহ্যিক বলের সমানুপাতিক।

যদি বাহ্যিকভাবে  $\vec{F}$  প্রয়োগ করা হয় তাহলে

$$\vec{F} \propto \left( \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{\Delta t} \right) \text{ or } \vec{F} = k \frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t} \text{ or } \vec{F} = m\vec{a},$$

$$k \text{ ধৰ্মৰক এবং } k = 1, (\text{এখানে ত্বরণ } \vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1})$$

$p_1 = mv_1$  এবং  $p_2 = mv_2$  হল বস্তুর প্রাথমিক এবং চূড়ান্ত রৈখিক ভরবেগ।

**নিউটনের গতির তৃতীয় সূত্র :** যখন একটি বস্তু A, B- এর উপর একটি বল প্রয়োগ করে, তখন তাত্ক্ষণিকভাবে সমান বল B দ্বারা A- তে উল্লেখ দিকে প্রয়োগ করা হয়। একে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া নীতিও বলা হয়। এখানে, বল হতে পারে ক্রিয়া এবং অন্যটি হল প্রতিক্রিয়া। ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া দুটি ভিন্ন বস্তুতে প্রয়োগ করা হয়।

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

### 2.2.2 রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণের নীতি

যদি একটি বস্তুর (বা সিস্টেম) উপর নিযুক্ত নিট বল শূন্য হয়,

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{\Delta t} = 0 \quad (\text{নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্র দ্বারা})$$

$$\text{বা } \vec{p}_1 = \vec{p}_2$$

$\vec{p}$  = ধৰ্মৰক সুতরাং, যদি সিস্টেমে কোন বল প্রয়োগ করা না হয়, তাহলে সিস্টেমের মোট রৈখিক ভরবেগ স্থির বা সংরক্ষিত থাকে। এই সত্যকে রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি বলা হয়।

### 2.2.3 রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি প্রয়োগ

#### A. বন্দুক এর উত্তোলন

ভর M এর একটি বন্দুক থেকে ভর m এর একটি বুলেট বের করা যাক, যদি বন্দুক দ্বারা বুলেটের উপর বল প্রয়োগ করা হয়, তাহলে নিউটনের তৃতীয় নীতি অনুযায়ী বন্দুকের বুলেট দ্বারা সমান এবং বিপরীত বল (-) প্রয়োগ করা হয়। অভ্যন্তরীণ শক্তির যোগফল (বন্দুক + বুলেট) শূন্য। কোন বাহ্যিক শক্তি প্রয়োগ করা হয় না তাই সিস্টেমে নিট বল (বন্দুক + বুলেট) শূন্য।

সুতরাং, গুলি চালানোর আগে (বন্দুক + বুলেট) এর প্রাথমিক মোট ভরবেগ = গুলি চালানোর পরে (বন্দুক + বুলেট) এর মোট ভরবেগ

$$0 = m\vec{v} + M\vec{V}$$

প্রাথমিকভাবে বুলেট এবং বন্দুক উভয়ই স্থির অবস্থায় আছে তাই মোট রৈখিক ভরবেগ শূন্য। এখানে,  $\vec{v}$  এবং  $\vec{V}$  যথাক্রমে বুলেট এবং বন্দুকের বেগ, গুলি চালানোর ঠিক পরে।

$$M\vec{V} = -m\vec{v}$$

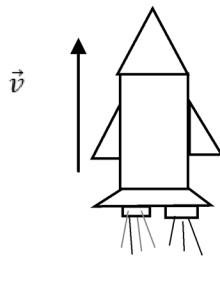
অথবা বন্দুকের পুনরুদ্ধার বেগ

$$\vec{V} = -m\vec{v} / M$$

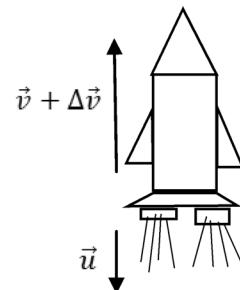
বন্দুকের বেগ পিছিয়ে যাওয়াকে বলা হয় রিকোয়েল বেগ এবং নেগেটিভ সাইন বুলেটের বিপরীত দিক নির্দেশ করে।

### B. রকেট

রকেট গতিবেগ রৈখিক গতি সংরক্ষণের একটি উদাহরণ। রকেটে রয়েছে তরল জ্বালানিতে ভরা একটি দহন চেম্বার যেখানে জ্বালানি পুড়ে যায় এবং তাপ চেম্বারের ভিতরে চাপ বাড়ায়। অতএব, গরম গ্যাসগুলি রকেটের গতির বিপরীত দিকে খুব উচ্চ গতির জেট আকারে অগ্রভাগের মাধ্যমে নিঃসৃত হয়। সিস্টেমে কোন বাহ্যিক শক্তি নেই (রকেট + গ্যাস), মাধ্যাকর্যণের কারণে বল উপেক্ষা কর। সুতরাং, (রকেট + গ্যাস) রৈখিক গতি সংরক্ষিত থাকে। গরম গ্যাসগুলি একটি পশ্চাদপদ দিকে নিষ্কাশন করে এবং রকেট সমান রৈখিক গতি সহ সামনের দিকে এগিয়ে যায়।



চিত্র 2.13: রকেট নীতি



চিত্র 2.14: রকেট প্রপালশন

ধর,  $t$  সময়ে জ্বালানী সহ রকেটের ভর  $m$  এবং  $\vec{v}$  রকেটের প্রাথমিক বেগ। সুতরাং, (রকেট + জ্বালানী) এর প্রাথমিক রৈখিক ভরবেগ

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad \dots(1)$$

$\Delta t$  সময়ের ব্যবধানে রকেটের গতিবেগ বৃদ্ধি পায়  $\Delta \vec{v}$  এবং ভর হ্রাস পায়  $\Delta m$ । যেখানে  $\Delta m$  হল গ্যাসের ভর যা জ্বালানি পোড়ানোর পর নিশেষ হয়ে যায়। রকেটের ক্ষেত্রে গ্যাসের গতিবেগ  $\vec{u}$  ধর। তখন রকেটের ক্ষেত্রে গ্যাসের গতি

$$\vec{v}_{GR} = \vec{v}_G - \vec{v}_R$$

$$\text{সুতরাং, গ্যাসের বেগ } \vec{v}_G = \vec{v}_R + \vec{v}_{GR} = (\vec{v} + \Delta \vec{v} - \vec{u})$$

(এখানে  $\vec{v}_{GR} = -\vec{u}$  রকেটের বিপরীত দিক থেকে গ্যাস নিষ্কাশন)

(রকেট + গ্যাস) এর চূড়ান্ত ভরবেগ = রকেটের ভরবেগ + গ্যাসের ভরবেগ

$$\vec{p}' = (m - \Delta m)(\vec{v} + \Delta \vec{v}) + \Delta m(\vec{v} + \Delta \vec{v} - \vec{u})$$

$$= m\vec{v} + m(\Delta \vec{v}) - (\Delta m)\vec{v} - (\Delta m)(\Delta \vec{v}) + (\Delta m)\vec{v} + (\Delta m)(\Delta \vec{v}) - (\Delta m)\vec{u}$$

$$= m\vec{v} + m(\Delta \vec{v}) - (\Delta m)\vec{u} \quad \dots(2)$$

রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ নীতি দ্বারা  $\vec{p} = \vec{p}'$

$$m\vec{v} = m\vec{v} + m(\Delta \vec{v}) - (\Delta m)\vec{u}$$

$$m(\Delta \vec{v}) = (\Delta m)\vec{u} \quad \dots(3)$$

আমরা সমীকরণের উভয় দিককে  $\Delta t$  সময়ের ব্যবধান দ্বারা ভাগ করি, এইভাবে,

$$\frac{(\Delta \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$$

$$\vec{F} = m \frac{(\Delta \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$$

রকেটের ঘাত = ভর X রকেটের ত্বরণ = গ্যাসের বেগ X ভর এর হার হ্রাস

$$\text{রকেটের ত্বরণ } \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{u}}{m} \left( \frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

$$\Delta \vec{v} = \vec{u} \left( \frac{\Delta m}{m} \right) \text{ সমীকরণ (3) থেকে}$$

রকেটের বেগের সমীকরণ: -

$$d\vec{v} = \vec{u} \left( \frac{dm}{m} \right) \text{ (ছোট মানের জন্য } \Delta \vec{v} \rightarrow d\vec{v}, \Delta m \rightarrow dm \text{ and } \Delta t \rightarrow dt \text{ )}$$

যদি  $t = 0$  তে রকেটের ভর  $m_i$  এবং বেগ  $\vec{v}_i$ , হয়, তাহলে রকেটের চূড়ান্ত ভর  $m_f$  এবং চূড়ান্ত বেগ হল  $\vec{v}_f$   
তখন, ইন্টিগ্রেশন দ্বারা

$$\int_{v_i}^{v_f} d\vec{v} = \vec{u} \int_{m_i}^{m_f} \frac{dm}{m}$$

$$[\vec{v}]_{v_i}^{v_f} = \vec{u} [\log m]_{m_i}^{m_f} = \vec{u} [\log m_f - \log m_i] = -\vec{u} \log \frac{m_i}{m_f}$$

$$\vec{v}_f - \vec{v}_i = -\vec{u} \log \frac{m_i}{m_f}$$

$$\vec{v}_f = \vec{v}_i + \vec{v}_r \log \frac{m_i}{m_f} \quad (\vec{v}_r = -\vec{u} \text{ রকেটের ক্ষেত্রে গ্যাসের আপেক্ষিক বেগ})$$

যদি রকেটের প্রাথমিক বেগ শূন্য হয় ( $\vec{v}_i = 0$ ), রকেটের চূড়ান্ত বেগ  $\vec{v}_f = \vec{v}_r \log \frac{m_i}{m_f}$

#### 2.2.4 আবেগ এবং এর প্রয়োগ

ইম্পালস (আবেগ) একটি বস্তুর রৈখিক ভরবেগ পরিবর্তনের সমান। অন্য রূপে, আবেগকে বল এবং সময়ের উৎপাদন হিসাবেও সংজ্ঞায়িত করা হয় যার জন্য বাহ্যিক শক্তি বস্তুতে কাজ করে। নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্র দ্বারা,

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{\Delta t} \text{ বা } \vec{F}\Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

আবেগ  $\vec{I} = \vec{F}\Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$  [ $\Delta t = (t_2 - t_1)$  সময় ব্যবধান যার জন্য বল কাজ করে]

### আবেগ-ভরবেগ উপপাদ্য

একটি বস্তুতে প্রয়োগ করা বলের আবেগ সেই বস্তুর রৈখিক ভরবেগ পরিবর্তনের সমান। ইমপালস একটি ভেস্টের; এর SI ইউনিট হল ( $N\cdot s$ ) এবং মাত্রা  $MLT^{-1}$ ।

### আবেগের প্রয়োগ

- একজন ক্রিকেটার যখন বলটি ধরেন, তখন তিনি তার হাতগুলো একটু পিছন দিকে টানেন। এটি করতে আরও কিছু সময় লাগে যা বলের গতি আরও কমিয়ে দেয়। সময়  $t$  তুলনামূলকভাবে ছোট বল  $F$  দ্বারা প্রয়োগ করা হয়, তাই হাত নিরাপদ থাকে বা আঘাত পায় না।
- ক্রিকেট বলের চেয়ে টেনিস বল ধরা সহজ। একটি ক্রিকেট বলের টেনিস বলের চেয়ে বড় ভর থাকে। যদি উভয় বলই একই গতিতে চলতে থাকে, তবে ক্রিকেটের বলের ক্ষেত্রে গতিবেগের একটি বড় পরিবর্তন জড়িত থাকে তাই ক্রিকেট বল দ্বারা একটি বৃহত্তর শক্তি প্রয়োগ করা হয়।

### অ্যাপ্লিকেশন (বাস্তুর জীবন শিল্প)

- যখন একটি বাস হঠাতে শুরু করে তখন যাত্রী পিছন দিকে ঝাঁকুনি অনুভব করে।
- বাসে হঠাতে ব্রেক লাগলে যাত্রীরা সামনের দিকে ঝাঁকুনি অনুভব করে।
- যখন একজন মানুষ মাটিতে হাঁটে, তখন সে মাটিকে পিছন দিকে ধাক্কা দেয় এবং মাটি মানুষটিকে এগিয়ে দেয়। নিউটনের গতির তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী একজন মানুষ হাঁটতে পারে।
- ইঞ্জিনিয়ারিংয়ে, রাকেট প্রপালশন হল গতিবেগ এবং নিউটনের তৃতীয় সূত্রের সম্মিলিত প্রভাবের একটি উদাহরণ।

### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নৈতিক সমস্যা)

ইমপালস হল শক্তি এবং সময়ের একটি গুণফল যার জন্য এটি কাজ করে। আবেগ,  $\vec{I} = \vec{F} \times \Delta t = \vec{p}_f - \vec{p}_i$

ভর  $m_1 = 20\text{gm}$  এবং  $m_2 = 50\text{gm}$  এর দুটি বল একই উচ্চতা থেকে নেমে যায় এবং ভর 50gm এর বল রিবাউন্ড হয় কিন্তু 20gm এর বল রিবাউন্ড হয় না। এই উদাহরণে দ্বিতীয় বলের আবেগ =  $mv_f - (-mv_i)$  প্রথম বলের আবেগের চেয়ে বেশি হবে =  $\{0 - (-mv_i)\}$

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

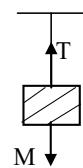
- আলোচনা কর যে অ-জড় ফ্রেমে এমনকি বস্তুর উপর কোন বাহ্যিক শক্তি প্রয়োগ করা হয় না কিন্তু বস্তুর ভরণ শূন্য হয় না।
- ব্যাখ্যা কর যে রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতিতে এমনকি সিস্টেমের মোট ভরবেগ  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots =$  ধ্রুবক বা একই থাকে কিন্তু  $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3$  পৃথক বস্তুর রৈখিক ভরবেগ পরিবর্তন করা যেতে পারে।

### সমাধানকৃত সমস্যা

সমস্যা-১: 20 kg ভরের একটি রেল স্ট্রিংয়ের সঙ্গে বোলানো দেখানো হয়েছে (চিত্র 2.15)। স্ট্রিং এ টান বের কর। ( $g = 10\text{m/s}^2$ )

সমাধান: স্থির রেলকে নেট বল শূন্য, এইভাবে,

$$T - mg = 0 \text{ অথবা } T = mg = 20 \times 10 = 200\text{N}$$



চিত্র 2.15: ওজন স্থগিত চিত্র

সমস্যা-2: 200 m/s প্রাথমিক বেগ সহ বন্দুক থেকে 40 g ভরের একটি বুলেট ছোড়া হয়। বন্দুকের ভর 5 kg হলে বন্দুকের গতিবেগ নির্ণয় কর।

সমাধান: বন্দুকের পুনরুদ্ধার বেগ,  $\vec{V} = -m \vec{v} / M$  এখানে, বুলেটের ভর,  $m = 40 \text{ gm} = 40 \times 10^{-3} \text{ kg}$   
(বুলেটের বেগ,  $\vec{v} = 200 \text{ m/s}$  এবং বন্দুকের ভর  $M = 5 \text{ kg}$ )

$$\text{বন্দুকের পুনরুদ্ধার বেগ}, \vec{V} = -\frac{40 \times 10^{-3} \times 200}{5} = -\frac{8}{5} = -1.6 \text{ m/s}$$

একটি বন্দুকের রিকোয়েল বেগ গুলি চালানোর বিপরীত দিকে থাকে।

সমস্যা-3: একটি রকেটের জ্বালানি পোড়ার হার  $2 \times 10^4 \text{ kg/s}$  এবং জেট আকারে গ্যাসের নিষ্কাশন বেগ  $3 \times 10^3 \text{ m/s}$ ।  
রকেটের ঘাত কত?

সমাধান: এখানে, গ্যাসের নিষ্কাশন গতি  $v_r = 3 \times 10^3 \text{ m/s}$  এবং প্রতি সেকেন্ডে দহনের দরুণ ভর হ্রাস =  $2 \text{ kg/s}$

$$\text{রকেটের ঘাত } F = v_r \frac{\Delta m}{\Delta t} = 3 \times 10^3 \times 2 \times 10^4 = 6 \times 10^7 \text{ N}$$

সমস্যা-4: একটি ভবনের জানালা থেকে 300 g ভরের একটি রাবার বল ফেলে দেওয়া হয়। এটা নীচে ফুটপাথকে 40 m/s বেগে  
আঘাত করে এবং 30 m/s বেগে ফিরে আসে। ফুটপাথের সাথে সংঘর্ষের কারণে আবেগ কত?

সমাধান: আবেগ ভরবেগে পরিবর্তনের সমান

আবেগ  $I = \vec{p}_f - \vec{p}_i = m \vec{v}_f - m \vec{v}_i = m [\vec{v}_f - \vec{v}_i]$  প্রাথমিক বেগ চূড়ান্ত বেগের বিপরীত দিকে,  $m = 300 \text{ gm}$ ,  $v_f = 30 \text{ m/s}$ ,  
 $v_i = 40 \text{ m/s}$

$$I = 0.3 \times [30 - (-40)] = 0.3 \times 70 = 21 \text{ kg m/s} \text{ তাই, ফুটপাথে আবেগ } 21 \text{ kg m/s}$$

## 2.3 বৃত্তাকার গতি

### মজার ঘটনা

যখন একটি বস্তু বৃত্ত বরাবর চলে তখন বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে বৃত্তাকার গতি বজায় রাখার জন্য বল প্রয়োজন হয়। উদাহরণস্বরূপ,  
পৃথিবী সূর্যের চারদিকে ঘোরে তখন পৃথিবী এবং সূর্যের মধ্যে মহাকর্ষীয় শক্তির দ্বারা কেন্দ্রবিন্দু শক্তি প্রদান করা হয়। কেন্দ্রের  
দিকে যে বল কাজ করে তাকে বলা হয় কেন্দ্রীভূত বল এবং বাহ্যিকভাবে কাজ করা সমান ও বিপরীত বলকে অপকেন্দ্র বল  
বলে।

#### 2.3.1 কৌণিক পরিমাণ

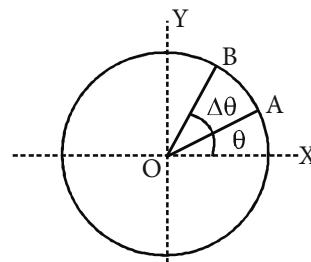
যখন একটি কণা বৃত্তাকার পথ ধরে চলে তখন তার গতিকে বৃত্তাকার গতি বলে।

##### a. কৌণিক অবস্থান

একটি কণা A ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথ বরাবর চলছে। বৃত্তাকার পথের কেন্দ্রটি O এবং X- অক্ষ বরাবর OX অবস্থিত। কণা A  
এর প্রাথমিক অবস্থান কোণ  $AOX = \theta$  দিয়ে দেওয়া হয়,  $\theta$  কোণটি কণার কৌণিক অবস্থান হিসাবে পরিচিত।

##### b. কৌণিক স্থানচ্যুতি

কণা যেমন A থেকে B পর্যন্ত  $\Delta t$  সময়ের ব্যবধানে চলে যায়, কোণ  $\Delta\theta = (\theta + \Delta\theta - \theta)$  দ্বারা বৃদ্ধি পায়। সময়ের ব্যবধানে একে  
কণার কৌণিক স্থানচ্যুতি বলে। কৌণিক স্থানচ্যুতি একটি ভেক্টর পরিমাণ; এটি ধনাত্মক যখন এটি পরিমাপ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত  
দিক এবং ঘড়ির কাঁটার দিক থেকে ঝগাত্মক।



চিত্র 2.16: কৌণিক স্থানচ্যুতি সহ বৃত্তাকার গতি

### c. কৌণিক বেগ ( $\omega$ )

কৌণিক অবস্থানের পরিবর্তনের হার কৌণিক বেগ নামে পরিচিত।

$$\text{সূতরাং, গড় কৌণিক বেগ, } \omega_{\text{avg}} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\text{তাত্ক্ষণিক কৌণিক বেগ, } \omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

$\omega$  একটি ডেস্ট্র পরিমাণ, এর দিকটি বৃত্তাকার গতির অভিলম্বের সমতলে ডান হাতের থান্ত নিয়ম দ্বারা দেওয়া। এর ইউনিট হল  $\text{rad s}^{-1}$ .

### d. কৌণিক ত্বরণ ( $\alpha$ )

কৌণিক বেগ পরিবর্তনের হার কৌণিক ত্বরণ নামে পরিচিত।

$$\text{গড় কৌণিক ত্বরণ } \alpha_{\text{avg}} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\text{তাত্ক্ষণিক কৌণিক ত্বরণ } \alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

এটি একটি ডেস্ট্র পরিমাণ, এর দিকনির্দেশ ডান হাতের থান্ত রূল দ্বারা দেওয়া হয়, যা বৃত্তাকার গতির সমতলে অভিলম্ব। এর ইউনিট হল  $\text{rad s}^{-2}$ .

ধূরক কৌণিক ত্বরণের সমীকরণ নিচে দেওয়া হল

$$(1) \omega = \omega_0 + at \quad (2) \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (3) \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

এখানে  $\omega_0$  প্রারম্ভিক কৌণিক বেগ  $t = 0$ , যে কোন সময়ে,  $\omega$  চূড়ান্ত কৌণিক বেগ  $t$  সময়ে,  $\theta$  কৌণিক স্থানচ্যুতি।

### e. কম্পাক্ষ (f) এবং সময়কাল (T)

কম্পাক্ষ (f): বৃত্তাকার গতিতে প্রতি সেকেন্ডে ঘূর্ণন বা চক্রের সংখ্যাকে কম্পাক্ষবলে। কম্পাক্ষএকক হল c/s বা হার্টজ (Hz)।

সময়কাল (T): একটি বৃত্তাকার পথ বরাবর কণা দ্বারা নেওয়া একটি সম্পূর্ণ ঘূর্ণনের মোট সময়কে সময়কাল বলে। কম্পাক্ষ  $f = 1/T$

### 2.3.2 রৈখিক বেগ এবং কৌণিক বেগের মধ্যে সম্পর্ক

আমরা অনুমান করি যে একটি বৃত্তাকার পথ বরাবর একটি কণা দ্বারা আচ্ছাদিত রৈখিক স্থানচ্যুতি AB হল সময়ের ব্যবধানে  $\Delta t$  তখন  $\Delta s = r\Delta\theta$  উভয় পক্ষকে  $\Delta t$  দ্বারা ভাগ করে পাই  $\left( \frac{\Delta s}{\Delta t} = r \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right)$   
or  $v = r\omega$  ... (4)

এখানে  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  কণার রৈখিক বেগ, r হল একটি বৃত্তের ব্যাসার্ধ এবং ( $\text{কোণ } \Delta\theta = \frac{\Delta s}{r}$ ),  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \omega$  কণার কৌণিক বেগ।

ভেক্টর আকারে, এই সম্পর্কটি  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}$  লেখা যেতে পারে,  $\vec{R}$  কণার অবস্থান ভেক্টর।

### B. রৈখিক ত্বরণ এবং কৌণিক ত্বরণ এর মধ্যে সম্পর্ক

কণার রৈখিক ত্বরণ বেগ পরিবর্তনের হার দ্বারা দেওয়া হয়। একটি বৃত্তাকার গতিতে, এটিকে স্পর্শীয় ত্বরণও বলা হয় যা বৃত্তের স্পর্শক বরাবর কাজ করে,

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(r\omega)}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha \quad (v = r\omega) \text{ এবং } \text{কণার কৌণিক ত্বরণ } \frac{d\omega}{dt} = \alpha$$

$a_t$  বৃত্তাকার গতির যেকোনো বিন্দুতে স্পর্শক বরাবর মোট ত্বরণের একটি উপাদান। এই সম্পর্কের ভেক্টর ফর্ম লেখা যেতে পারে,  $\vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{R}$ , এখানে,  $\vec{R}$  কণার অবস্থান ভেক্টর।

**উদাহরণ:** 5 m/s রৈখিক গতি সহ 40cm ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথ ধরে চলা একটি কণার কৌণিক বেগ নির্ণয় কর।

**সমাধান:** কৌণিক বেগ

$$\omega = \text{linear velocity/radius} = \frac{v}{r} = \frac{5}{40 \times 10^{-2}} = 12.5 \text{ rad/s}$$

**উদাহরণ:** 40cm ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথ ধরে চলা কণার কৌণিক ত্বরণ নির্ণয় কর। কণার গতি 5.0 সেকেন্ডে 10 m/s থেকে 20 m/s পরিবর্তিত হয়।

**সমাধান:** একটি কণার স্পর্শীয় ত্বরণ

$$a_t = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{20 - 10}{5} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$\text{কৌণিক ত্বরণ, } \alpha = \frac{a_t}{r} = \frac{2}{40 \times 10^{-2}} = \frac{200}{40} = 5 \text{ rad/s}^2$$

### বৃত্তাকার গতির প্রকারভেদ

1. **অভিন্ন বৃত্তাকার গতি:** যখন একটি কণার গতি বৃত্তাকার পথ ধরে স্থির থাকে তখন কণার গতিকে বলা হয় অভিন্ন বৃত্তাকার

গতি। এই ক্ষেত্রে স্পর্শক একটি কণার ত্বরণ  $a_t = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = 0$  এখানে  $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$  = ধ্রুবক

এইভাবে, একটি কণার ত্বরণ শুধুমাত্র কেন্দ্রের দিকে থাকলে বলা হয় কেন্দ্রবিন্দু ত্বরণ। কেন্দ্রবিন্দু ত্বরণের মাত্রা নিম্নরূপ

$$a_r = \omega^2 r = \frac{v^2}{r^2} r = v^2 / r \quad (\omega = \frac{v}{r})$$

অভিন্ন বৃত্তাকার গতিতে কণার গতি স্থির থাকে কিন্তু গতিবেগ পরিবর্তনের কারণে বৃত্তাকার পথে প্রতিটি বিন্দুতে দিক পরিবর্তন হয় এবং এটি ভরণের কারণ।

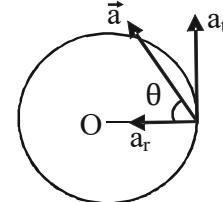
2. অ-অভিন্ন বৃত্তাকার গতি: যখন একটি কণা পরিবর্তনশীল গতিতে একটি বৃত্ত বরাবর চলে তখন তাদের স্থানের রেডিয়াল এবং স্পর্শক উভয় অংশই বিবেচনা করা হয়।

$$\text{স্পর্শীয় স্থরণ}, a_t = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{রেডিয়াল বা সেন্ট্রিপেটাল স্থরণ}, a_r = -\omega^2 r = -\frac{v^2}{r} r = -v^2/r$$

$$\text{মোট স্থরণের মাত্রা}, |\vec{a}| = \sqrt{a_r^2 + a_t^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{r}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dt}\right)^2}$$

যদি মোট স্থরণ  $\vec{a}$  একটি কোণ  $\theta$  তৈরি করে, তাহলে  $\tan\theta = a_t/a_r$



চিত্র 2.17: অভিন্ন বৃত্তাকার গতিতে স্থরণ

### 2.3.3 কেন্দ্রমুখী বল এবং অপকেন্দ্র বল

#### (a) কেন্দ্রমুখী বল

যখন একটি কণা একটি বৃত্ত বরাবর ধ্রুব গতিতে চলে তখন কণার কেন্দ্রের দিকে অন্য ধরনের কিছু বাহ্যিক উৎস (যেমন টান, ঘর্ষণ বল ইত্যাদি) কাজ করে। কেন্দ্রের দিকে একটি কণার স্থরণ  $v^2/r$  দ্বারা দেওয়া হয়। সুতরাং, কেন্দ্রের দিকে কণার উপর বলের কাজ হল

$F = ma = mv^2/r = m\omega^2 r$ , (এখানে  $v = r\omega$ ) কেন্দ্রের দিকে এই বলকে বলা হয় কেন্দ্রিয় বল।

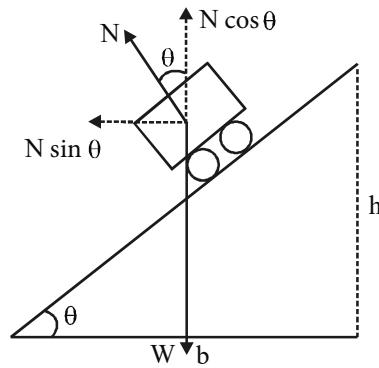
#### (b) অপকেন্দ্র বল

অ-জড় (ঘূর্ণমান বা স্থানিক) ফ্রেমে, নিউটনের গতির নিয়ম মানা হয় না। এই ধরণের ফ্রেমে, ছদ্ম বল ( $-m\vec{a}$ ) ভর  $m$  এর কণা দ্বারা অভিজ্ঞ হয় এবং এটি ফ্রেমের স্থরণ  $\vec{a}$ ; যদি একটি রেফারেন্স ফ্রেম ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথ ধরে  $\omega$  ধ্রুবক কৌণিক বেগের সাথে আবর্তিত হয়, তাহলে ঘূর্ণয়মান অবস্থায়, ফ্রেম স্থরণ বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে  $\omega^2 r = v^2/r$  মাত্রার সাথে কাজ করে। এখন এই অ-জড় রেফারেন্স ফ্রেমে যদি ভর  $m$  এর একটি কণা স্থাপন করা হয় তাহলে এই কণার উপর একটি ছদ্ম বল ( $-m\omega^2 r$ ) প্রয়োগ করতে হবে এবং ছদ্ম বলের দিকটি কেন্দ্র থেকে দূরে হবে। সেই ছদ্ম বলটি কেন্দ্রীভূত বল হিসাবে পরিচিত যা কেন্দ্রবিন্দু বলের সমান এবং বিপরীত।

### 2.3.4 অভিকেন্দ্র এবং অপকেন্দ্র বলের প্রয়োগ

#### (a) রাস্তার ব্যাখ্যা

রাস্তার একটি বৃত্তাকার অংশে, যখন উচ্চ গতি এবং তীক্ষ্ণ বাঁকগুলি জড়িত থাকে তখন ঘর্ষণ সবসময় নির্ভরযোগ্য হয় না। ঘর্ষণ নির্ভরতা এড়ানোর জন্য, রাস্তাগুলি এমন একটি বাঁকে বাঁকানো হয় যেখানে রাস্তার বাইরের প্রান্তটি অভ্যন্তরীণ প্রান্তের তুলনায় কিছু উচ্চতায় উখাপিত হয়। এই সত্যটি রাস্তার ব্যাখ্যিঃ হিসাবে পরিচিত। সড়ক কেন্দ্রীক বলের মাধ্যমে বাহনগুলিকে নিরাপদে মোড় দিয়ে যেতে দেওয়া হয়। ধর ব্যাখ্যক কোণ  $\theta$  (যে কোণে রাস্তার বাইরের প্রান্তটি ভেতরের প্রান্তের তুলনায় উত্তোলন করা হয়) এবং গাড়ির ওজন  $W = mg$ । ধর গাড়ির উপর বলের লম্ব প্রতিক্রিয়া  $N$ ।



চিত্র 2.18: ব্যাখ্যা

$N$  এর অনুভূমিক উপাংশ হল  $N \sin \theta$  এবং উল্লম্ব উপাংশ  $N \cos \theta$

এখন,  $N \sin \theta = \sin \theta = mv^2/r$  এবং  $N \cos \theta = mg$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

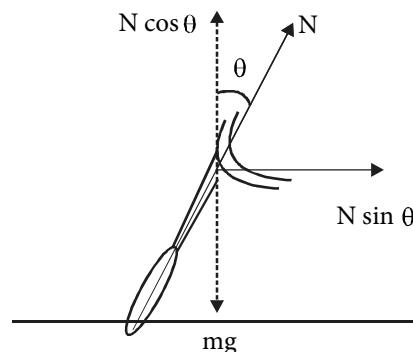
$$\text{বা } v = \sqrt{rg \tan \theta}$$

$v$  হল একটি গাড়ির (গাড়ি বা বাস) গতি যার সাথে এটি মসৃণ বাঁকানো রাস্তায়ও স্লাইড করে না।

$= h/b$  ( $h$  হল রাস্তার বাইরের প্রান্তের উচ্চতা ভেতরের প্রান্তের তুলনায় এবং  $b$  রাস্তার প্রশস্ততা)

### (b) সাইক্লিস্টের বাঁক

একজন সাইক্লিস্টকে তার উল্লম্ব অবস্থান থেকে ক্ষুদ্র  $\theta$  কোণে ঝুঁকতে হয় রাস্তা পার হওয়ার সময়। সাইক্লিস্ট এর টায়ারে লম্ব প্রতিক্রিয়া  $N$  হলে, তখন  $N$  এর অনুভূমিক উপাংশ  $N \sin \theta$  কেন্দ্রীভূত বল প্রদান করে এবং উল্লম্ব উপাংশ  $N \cos \theta$  সাইক্লিস্টের ওজনকে প্রতিমিত করে।



চিত্র 2.19: সাইক্লিস্ট নমন

$$N \sin \theta = mv^2/r \text{ এবং } N \cos \theta = mg$$

$$\text{এভাবে, } \tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

### অ্যাপ্লিকেশন (বাস্তুর জীবন / শিল্প)

- যখন একটি বৃত্তাকার পথের চারপাশে গাড়ি চালানো হয় তখন রাস্তায় ব্যাংকিং এবং টায়ার এবং রাস্তার মধ্যে ঘর্ষণের মাধ্যমে সেন্ট্রিপিটাল ফোর্স প্রদান করা হয়।
- একটি ওয়াশিং মেশিনের ড্রায়ার বৈদ্যুতিক মোটর দ্বারা কেন্দ্রিয় বল অনুভব করছে।
- নিউক্লিয়াসের চারপাশে একটি ইলেকট্রনের ঘোরার জন্য যে কেন্দ্রিয় বল প্রয়োজন তা ইলেকট্রন এবং প্রোটনের মধ্যকার ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক বল দ্বারা প্রদান করা হয়।
- যখন একটি চলন্ত বাস হঠাতে বাম দিকে মোড় নেয়, তখন বাসে থাকা একজন যাত্রী কেন্দ্রীভূত বলের কারণে ডান দিকে বাহ্যিক ধাক্কা অনুভব করে।
- একটি মিক্সারের মধ্যে মিশ্রিত করার সময়, কেন্দ্রীভূত বল বাহ্যিক অনুভূত হয়।

### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নেতৃত্ব সমস্যা)

একটি কৃত্রিম উপগ্রহ যখন পৃথিবীর চারপাশে ঘূরছে তখন পৃথিবী এবং উপগ্রহের মধ্যে মহাকর্ষীয় শক্তি দ্বারা প্রয়োজনীয় কেন্দ্রীভূত শক্তি সরবরাহ করা হয়।

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\text{স্যাটেলাইটের বেগ } \text{ এভাবে লেখা যেতে পারে } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

যেখানে, G = মহাকর্ষীয় ধ্রুবক, M হল পৃথিবীর ভর এবং r হল একটি উপগ্রহের বৃত্তাকার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ। কৌণিক বেগ  $\omega = \frac{v}{r}$

এক ব্যক্তি স্ট্রিং এর শেষের দিকে বাঁধা একটি পাথর অনুভূমিক বৃত্তে স্ট্রিং এর অন্য প্রান্তে প্রদত্ত অভিকেন্দে বল দ্বারা আবর্তন করে। স্ট্রিং হঠাতে ব্রেক করা হলে পাথরের গতি আলোচনা কর।

### সমস্যার সমাধান

**সমস্যা-১:** একটি কণা অভিন্ন গতিতে 40 cm ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তে চলে যাচ্ছে এবং এটি 10s এ একটি ঘূর্ণন সম্পন্ন করে। কণার হ্ররণের মাত্রা নির্ণয় কর।

সমাধান: কৌণিক বেগ  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10} \text{ (সময়কাল } = 10s, r = 40\text{cm} = 0.40\text{m)}$

$$\text{কেন্দ্রীয় ত্বরণ, } a_r = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{10}\right)^2 \times 0.4 = 0.16 \text{ m/s}^2$$

**সমস্যা-২:** 1.5 কেজি ভরের একটি ব্লক 50 cm দৈর্ঘ্যের একটি স্ট্রিংয়ের সাথে আবদ্ধ, যার অন্য প্রান্তটি স্থিত। যদি 4m/s এর ধ্রুব গতিতে একটি বৃত্তে একটি মসৃণ অনুভূমিক টেবিলে ব্লকটি সরানো হয় তবে স্ট্রিংয়ের টান নির্ধারণ কর।

সমাধান: এই ক্ষেত্রে, স্ট্রিং এর টান দ্বারা কেন্দ্রবিন্দু বল প্রদান করা হয়

$$T = \frac{mv^2}{r} = \frac{1.5 \times 4 \times 4}{0.5} = 48\text{N}$$

সমস্যা-3: একটি ফ্যান 20rev/sec এর কম্পাক্ষ দিয়ে ঘুরছে। যদি ফ্যান বন্ধ থাকে এবং থামতে 2 মিনিট সময় লাগে (1) কৌণিক প্রতিবন্ধক তার মান নির্ধারণ করুন (2) স্থির অবস্থায় আসার আগে তৈরি আবর্তনের মোট সংখ্যা নির্ণয় কর।

সমাধান: (1)  $\omega = \omega_0 + at$  এবং  $\omega_0 = 2\pi n = 2 \times 3.14 \times 20 = 125.6 \text{ rad/s}$

$$0 = 125.6 + \alpha(2 \times 60)$$

$$\text{thus, } \alpha = \frac{-125.6}{120} = -1.05 \text{ rad/s}^2$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = \left(\frac{\omega_0 + \omega}{2}\right) t$$

$$= \left(\frac{125.6 + 0}{2}\right) \times 2 \times 60 = 125.6 \times 60 = 7536 \text{ rad}$$

$$\theta = 7536 / 2\pi = 7537 / 6.28 = 1200 \text{ revolutions}$$

সমস্যা-4: একটি গাড়ি বাঁকানো রাস্তায় (বা বৃত্তাকার ট্র্যাক) গড় গতিতে 90 km/hr যায় এবং বৃত্তাকার ট্র্যাকের ব্যাসার্ধ 250 m। ব্যাকিং কোণ নির্ধারণ কর (রাস্তায় কোন ঘর্ষণ নেই)।

সমাধান:  $\tan \theta = \frac{v^2}{rg} = \frac{25 \times 25}{250 \times 10} = \frac{1}{4}$  ( $v = 90 \times 1000 / 60 \times 60 = 25 \text{ m/s}$ )

$$\theta = \tan^{-1}(0.25) = 14^\circ$$

## সারসংক্ষেপ

- ক্ষেত্রের পরিমাণ প্রয়োজন মাত্রা এবং ভেক্টর পরিমাণ উভয় মাত্রা এবং দিক দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয়। ত্রিভুজ নীতি দ্বারা ভেক্টর যুক্ত করা হয়।
- ভেক্টর বীজগণিত ভেক্টর যোগ, বিয়োগ, গুণফল এবং বিশ্লেষণ নিয়ে গঠিত।
- বল একটি বস্তুর স্থিতি অবস্থার পরিবর্তনের জন্য দায়ী।
- একটি ভর এবং বেগের উৎপাদনের জন্য মোমেন্টাম দেওয়া হয়।
- ইম্পালসকে বল এবং সময়ের ব্যবধানের ফল হিসেবে দেওয়া হয় যার জন্য বল কাজ করে। এটি বৈধিক ভরবেগের পরিবর্তনের দ্বারাও পরিমাপ করা হয়।
- একটি বস্তু একটি বৃত্ত বরাবর চলে তখন কৌণিক স্থানচ্যুতি, কৌণিক বেগ এবং কৌণিক ত্বরণ সংজ্ঞায়িত করা হয়।  $v = r\omega$  এবং  $a = r\alpha$  হল বৈধিক এবং কৌণিক পরিমাণের মধ্যে সম্পর্ক।
- কেন্দ্রবিন্দু বল কেন্দ্রের দিকে কাজ করে এবং একটি বৃত্তের কেন্দ্র থেকে দূরে কেন্দ্রীভূত বল উভয়ই একই মাত্রার  $mv^2/r$  থাকে।

## অনুশীলন

### A. বিষয়গত প্রশ্ন

Q.1 ত্রিভুজ এবং দুটি ভেক্টর সংযোজনের সমান্তরাল নীতি উল্লেখ কর।

[LOD1]

Q.2 यदि  $\vec{A} = 2\vec{i} + 3\vec{j}$      $\vec{B} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$ .

[LOD2]

তখন, এর মাত্রা নির্ধারণ কর।

- $$(a) \vec{A} + \vec{B} \quad (b) \vec{A} - \vec{B} \quad (c) \vec{A} \times \vec{B}$$

Q.3 একটি রকেট তার প্রাথমিক ভরের  $1/100$  গ্যাস নির্গত করে যার আপেক্ষিক গতি  $2 \text{ m/s}$ ; এটি চালু করার ঠিক এক সেকেন্ড পরে। রকেটের প্রাথমিক ত্বরণ নির্ধারণ কর। [LOD3]

#### ০.৪ বৈধিক গতিবেগ সংরক্ষণের নীতি বল।

[LOD1]

০.৫ বাঁকানো রাস্তায় সর্বাধিক গতির অভিবাহন নির্ধারণ কর

[LOD1]

Q.6 যদি দুটি ভেক্টর  $\vec{A} = 2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k}$ ,  $\vec{B} = \vec{j} - 4\vec{k}$ . হয় তবে দেখাও যে  $\vec{A} \times \vec{B}$  ডট গুণফল  $\vec{A}$  এর সাথে এবং  $\vec{B}$  এর সাথে শন হয়; ফলাফলের উপস্থার লিখ। [LOD3]

Q.7 একটি বস্তু 10 m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পথ বরাবর ঘূরছে। যদি কণার ভর 200 g হয় এবং ঘূর্ণনের কম্পাক্ষ 10 Hz হয় তবে কত কেন্দ্রীভূত বল প্রয়োজন? [LOD2]

০.৪ সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রদান

১. কেন্দ্রিয় বলের সংজ্ঞা দাও।
  ২. গতিবেগ সংজ্ঞায়িত কর।
  ৩. আবেগের একক লিখ।

## B. বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন

6. 4 kg ভর একটি বস্তু 240 m/s বেগে গতিশীল এবং 2 মিনিটের মধ্যে স্থির অবস্থায় আসে। তখন তার উপর প্রয়োগ করা বলের মাত্রা হল [LOD2]  
 a. 4N                    b. 240N                    c. 10N                    d. 8N
7. একটি বন্দুক 300 m/s বেগের বুলেট ছুড়েছে। বন্দুক এবং গুলির ভর যথাক্রমে 10 kg এবং 8 g। তখন, বন্দুকের গতিবেগের মাত্রা হল। (m/s) [LOD1]  
 a. 0.24                    b. 0.30                    c. 0.48                    d. 0.20
8. কোণিক বেগ 150 rad/s দিয়ে ঘোরানো একটি ফ্যান বন্ধ করা হল। 10 s পরে এর কোণিক বেগ 50 rad/sec, তখন কোণিক হ্রাস (rad/s<sup>2</sup>) [LOD2]  
 a. 20                    b. 40                            c. 10                            d. 5
9. রাস্তার একটি বৃত্তাকার অংশের বক্রতার ব্যাসার্ধ 40 m এবং একটি গাড়ি 36 km/h এর গড় গতি দিয়ে তার উপর দিয়ে যায়, ব্যাংকিং এর কোণ তখন  $\tan^{-1} x$ ; x এর মান হয় [LOD2]  
 a. 1/2                    b. 1/4                            c. 1/8                            d. 1/10
10. সত্য/মিথ্যা [LOD3]  
 1. অ-জড় ফ্রেমে, যখন  $F = 0$  কিন্তু  $a \neq 0$   
 2. দুটি ভেস্টেরের ক্রস গুণফলও একটি ভেস্টের  
 3. যদি কোন বাহ্যিক শক্তি কোন বস্তুতে প্রয়োগ করা না হয়, তাহলে রৈখিক ভরবেগ স্থির থাকে না  
 4. রৈখিক বেগ এবং কোণিক বেগের সম্পর্ক  $v = \omega r$  হিসাবে দেওয়া হয়
11. শূন্যস্থান পূরণ করুন [LOD3]  
 ভর 4g এর একটি কণা যা স্থির অবস্থায় আছে, তিনটি টুকরোতে বিস্ফোরিত হয় প্রতিটি ভর 1g এর দুটি টুকরোকে 10m/s গতিতে পারস্পরিক লম্ব নির্দেশে চলতে দেখা যায়, তৃতীয় অংশের বেগ হল (m/s) \_\_\_\_\_  
 a.  $5\sqrt{2}$                     b. 5                            c. 10                            d.  $3\sqrt{2}$

### উত্তর

#### (A) বিষয়গত প্রশ্ন

A2. a)  $\sqrt{74}$       b)  $\sqrt{2}$       c) 1

A3.  $a = 20 \text{ m/s}^2$  (ইঙ্গিত  $a = v_{\text{rel.}}/m \times \frac{dm}{dt} = \frac{2 \times 10^3 m_0}{m_0 \cdot 100} = 20 \text{ m/s}^2$ ] যেখানে  $m$ ° রকেটের প্রাথমিক ভর ( $t = 1s$ )

A6.  $\vec{A} \times \vec{B}$ ,  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  উভয়ের জন্য লম্ব (কারণ  $(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot \vec{A} = (\vec{A} \times \vec{B}) \cdot \vec{B} = 0$  প্রমাণিত)

A7.  $F = 7888 \text{ N}; F = m \omega^2 r, = 2\pi f$

#### (B) বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন

Q.N.	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10(1)	2.10(2)	2.10(3)	2.10(4)	2.11
Option	a	b	a	B	d	d	a	c	b	T	T	F	F	a

A1.  $6 \sin 30^\circ = 6 \times 1/2 = 3$

A2.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = 0$  so  $p = 2;$

A3.  $\cos \theta = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{AB} = \frac{2}{15};$

A4.  $N = mg \cos \theta;$

A5.  $I = Ft$

A6.  $F = mv/t$

A7.  $V = mv/M$

A8.  $\omega = \omega_0 + at$

A9.  $\tan \theta = v^2 / rg$

A11.  $2v_3 = \sqrt{v^2 + v'^2} = (\sqrt{2})v$

## ব্যবহারিক

### ১. বলগুলির ত্রিভুজ এবং সমান্তরালোগ্রাম নীতি যাচাই করা

#### ব্যবহারিক গুরুত্ব

শিক্ষার্থীরা দুটি ভেস্টের রাশি যোগ করার জন্য ত্রিভুজ এবং সমান্তরালোগ্রাম নীতি ব্যবহার করতে পারে। তারা ভেস্টের সংযোজনের অক্ষবর্ধণ নীতিও যাচাই করতে পারে।

#### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

**ত্রিভুজ নীতি:** যখন দুটি বল P এবং Q দ্বারা ত্রিভুজের পাশ একই ক্রমে পরিমাপ এবং দিক নির্দেশ করা হয় তখন বিপরীত ক্রম তৃতীয় দিক তাদের ভেস্টের যোগফল দেখায়।

ধরি দুটি বল P এবং Q উভয়ই পরিমাপ এবং দিক নির্দেশ করে। সমান্তরালগ্রামের দুটি সংলগ্ন বাহু যদি তাদের ভেস্টের যোগফল ত্বরিক বাহু R দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করা হয় যা দুটি বলের ছেদ বিন্দু দিয়ে যায় তবে,

লামির উপপাদ্য  $\frac{P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \gamma}$  (ত্রিভুজ নীতির জন্য)  $\vec{P} + \vec{Q} + \vec{R} = 0$  যদি  $\vec{P}, \vec{Q}$  and  $\vec{R}$  একই ক্রমে ত্রিভুজের বাহুতে বল হয়।

$$\text{ফলাফল বলের মাত্রা } R_1 = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \theta} \text{ (সমান্তরাল নীতির জন্য)}$$

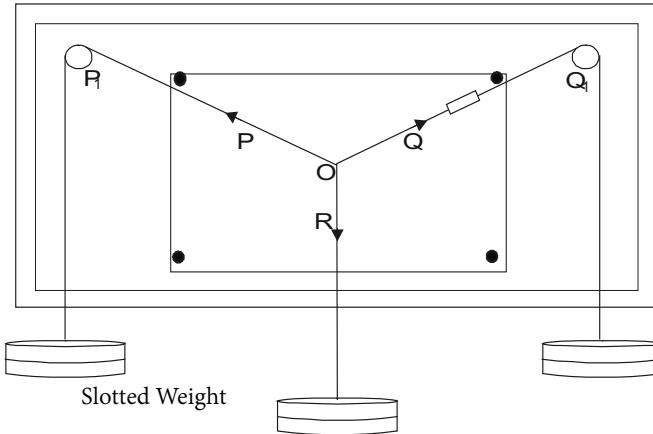
#### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

**PRO1:** ভেস্টের সংযোজনের ত্রিভুজ নীতি এবং সমান্তরালোগ্রাম নীতি প্রয়োগ কর।

**PRO2:** ভেস্টের সংযোজনের ত্রিভুজ নীতি যাচাই কর।

**PRO3:** ভেস্টের সংযোজনের সমান্তরালোগ্রাম নীতি যাচাই কর।

### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন।ঙ্কেচ।সার্কিট ডায়াগ্রাম।কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 2.20: GRAVESANDS যন্ত্র ও পরীক্ষা ব্যবস্থা

### প্রয়োজনীয় সম্পদ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	মথার্ফ সম্পদ প্রয়োজন গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র (ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)
1	সমান্তরালগ্রাম নীতি যন্ত্র	
2	আয়না ফালা	
3	হ্যাঙ্গার সঙ্গে মিটেড ওজন	
4	তুলোর সুতার টুকরা	
5	অক্ষন পিন	

### সতর্কতা

- হ্যাঙ্গার এবং ওজন উল্লম্ব বোর্ড এবং প্রাচীর স্পর্শ করা উচিত নয়।
- খেড়ে শুধুমাত্র একটি কেন্দ্রীয় গিঁট থাকা উচিত যা ছেট হওয়া উচিত।
- প্রতিটি ক্ষেত্রে মোট বল গণনা করার সময় হ্যাঙ্গারের ওজন যোগ করা উচিত।
- নিশ্চিত কর যে সব হ্যাঙ্গার স্থির আছে।
- সব পুলি ঘর্ষণ বা কম ঘর্ষণ থেকে মুক্ত হওয়া উচিত।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

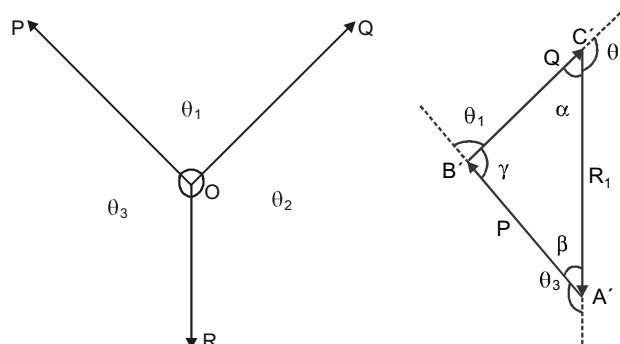
- প্যারালেলোগ্রাম যন্ত্রপাতির বোর্ড (বা প্রেভস্যাল্ডের যন্ত্র) চিত্র সমন্বয় দেখানো হয়েছে; উল্লম্ব রাখতে পুলি  $P_1$  এবং  $Q_1$  প্রয়োজন হলে ঘর্ষণহীন তেল ব্যবহার করা উচিত।
- অক্ষন পিনের সাহায্যে বোর্ডে একটি সাদা অক্ষন কাগজের শীট ঠিক কর।
- খেডের তিনটি টুকরার জংশন পয়েন্ট O তৈরি করতে তাদের প্রত্যেকটির এক প্রান্তকে একটি গিঁট দ্বারা বেঁধে দাও

4. দুটি ওজন হ্যাঙ্গার দুটি খেড়ের অন্য পাস্টে পুলি  $P_1$  এবং  $Q_1$  এর উপরে একই স্লিপেড ওজন পাস করে।
5. একটি ওজন (হ্যাঙ্গার+ স্লিপেড ওজন) তৃতীয় খেড়ের শেষের সাথে এবং যা  $R$  দ্বারা চিহ্নিত।
6. তিনটি ওজন  $P$ ,  $Q$  এবং  $R$  তিনটি সূত্রে  $O$  জংশনে ভারসাম্যপূর্ণ অবস্থানে তিনটি বল হিসেবে কাজ করে।
7. এমনভাবে সামঞ্জস্য কর যে তিনটি ওজনই অবাধে ঝুলে থাকে এবং তাদের কেউই বোর্ডকে স্পর্শ করে না।
8.  $P$  এবং  $Q$  এর ওজনকে সামান্য নাড়াও এবং স্থির অবস্থানে বসতে দাও। নিষ্পত্তি করার পর ওজনগুলি জংশন পয়েন্ট  $O$  এর অবস্থান নোট করে।
9. এখন প্রতিটি খেড়ে অধীনে দৈর্ঘ্য আয়না ফালা রাখো, এর শেষের অবস্থান তৈরি কর। এই নতুন অবস্থান হল:  $P_1$  এবং  $P_2$  খেড়ের জন্য যার ওজন  $P$  এবং  $Q_1$ ,  $Q_2$  খেড়ের জন্য ওজন  $Q$  এবং  $R_1$ ,  $R_2$  খেড়ের জন্য যার ওজন  $R$ ।
10. বোর্ড থেকে কাগজ সরাও এবং অর্ধমিটার ক্ষেত্রের সাহায্যে লাইন আঁকো।
- P প্রতিনিধিত্ব করার জন্য  $P_1$  এবং  $P_2$  বিন্দুর মাধ্যমে,  $Q_1$  এবং  $Q_2$  বিন্দুর মাধ্যমে Q প্রতিনিধিত্ব করার জন্য এবং  $R_1$  এবং  $R_2$  বিন্দুগুলির মাধ্যমে R প্রতিনিধিত্ব করে। এই লাইনগুলি হল ভারসাম্য বলের প্রতিনিধিত্ব করে।
11. একটি ক্ষেত্র অনুমান;  $OA = 4\text{cm}$  এবং  $OC = 5\text{cm}$ ;  $P = 200\text{g}$  এবং  $Q = 250\text{g}$
12. সেট স্কেয়ার ব্যবহার করে সমান্তরাল OABC সম্পূর্ণ কর। OB, প্রতিনিধিত্ব করে P এবং Q (বল) এর ভেক্টর যোগফল যা ওজন R এর সাথে মিলে যায়।
13. OB পরিমাপ কর এবং ক্ষেত্র ( $1\text{cm} = 50\text{g}$ ) দ্বারা গুণ কর; ওজনের ফলাফল মূল্য  $R_1$ , এটি ইতিমধ্যে পরিচিত ওজন R এর সমান হওয়া উচিত।
14. পর্যবেক্ষণের বিভিন্ন সেট নিতে P এবং Q যথাযথভাবে পরিবর্তন কর।

বলের ত্রিভুজ নীতি

গ্রাফিকাল পদ্ধতি

বল  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ -কে  $A'B'$ ,  $B'C'$ , এবং  $C'A'$  'নাম দেওয়ার জন্য Bow এর স্বরলিপি ব্যবহার কর। একটি উপযুক্ত ক্ষেত্র নির্বাচন কর এবং বলের  $P$  কে সমান্তরাল  $A'B'$ -রেখা আঁকো এবং A থেকে P এর মাত্রার সমান কেটে 'Q' বলের সমান্তরাল রেখা  $B'C$  আঁকো এবং Q এর মাত্রার সমান  $C'A'$  অর্থাৎ  $R_1$  এর মাত্রা গণনা কর যা তৃতীয় বল R এর সমান হবে যা বলের ত্রিভুজ নীতি প্রমাণ করে।



চিত্র 2.21: ত্রিভুজ নীতি প্রমাণ করতে

$R_1$  যদি R এর মূল মাত্রার থেকে আলাদা হয়, তাহলে শতাংশ ক্রটি নিম্নরূপ পাওয়া যায়:

$$\text{শতকরা ক্রটি} = \frac{(R - R_1)}{R} \times 100\%$$

#### বিশ্লেষণাত্মক পদ্ধতি

কোণ, P এবং পরিমাপ কর এবং লামির উপপাদ্য ব্যবহার করে নিচের সম্পর্কটি পরীক্ষা কর  $\frac{P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \beta} = \frac{R_1}{\sin \gamma}$

$$\text{এবং } R_1 \text{ নির্ধারণ কর, তখন শতাংশ ক্রটি} = \frac{(R - R_1)}{R} \times 100\%$$

#### বলের প্যারালেনোগ্রাম নীতি

##### গ্রাফিকাল পদ্ধতি

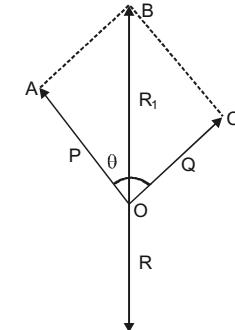
চিত্র 2.22-এ, উপর্যুক্ত ক্ষেত্রে  $OA = P$  এবং  $OC = Q$  ধর। A থেকে AB, OC এর সমান্তরাল এবং BC, OA এর সমান্তরাল।  $R_1$  বল P এবং Q- এর ফলস্বরূপ প্রতিনিধিত্ব করে, যেহেতু সিস্টেমটি ভারসাম্যপূর্ণ তাই এটি R- এর সমান হতে হবে। উল্লেখ্য যে R এবং  $R_1$  বিপরীত দিকে রয়েছে।

$$\text{শতকরা ক্রটি} = \frac{(R - R_1)}{R} \times 100\%$$

#### বিশ্লেষণাত্মক পদ্ধতি

বল P এবং Q এর মধ্যে  $\theta$  কোণ পরিমাপ কর, তখন প্রদত্ত ফলাফলের সূত্র ব্যবহার করে  $R_1$  গণনা কর:

$$R_1 = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \theta} \quad \text{এখানে বল P এবং Q এর মধ্যে কোণ } \theta$$



চিত্র 2.22: প্যারালেনোগ্রাম নীতি  
প্রমান করতে

#### পর্যবেক্ষণ এবং গণনা

##### পর্যবেক্ষণ টেবিল

নীতি	S.N.	মোট ওজন <b>P</b>	মোট ওজন <b>Q</b>	মোট ওজন <b>R</b>	গণনা করা ওজন <b>R<sub>1</sub></b>	গ্রাফিকাল % ক্রটি	বিশ্লেষণাত্মক % ক্রটি
ত্রিভুজ নীতি	(i)						
	(ii)						
	(iii)						
সমান্তরালগ্রাম নীতি	(i)						
	(ii)						
	(iii)						

### গণনা

লামির উপপাদ্য দ্বারা, ফলাফল বল  $R_1$  হিসাবে গণনা করা হয়

$$R_1 = \left( \frac{P}{\sin \alpha} \right) \times \sin \gamma \text{ অথবা } R_1 = \left( \frac{Q}{\sin \beta} \right) \times \sin \gamma$$

এবং প্যারালেলোগ্রাম নীতি ব্যবহার করে গণনা করা হয়। সূত্র:

$$R_1 = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \theta}$$

### ফলাফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা

এই পরীক্ষায় ত্রিভুজ নীতি এবং সমান্তরালোগ্রাম নীতির সাহায্যে, উভয়ই যাচাই করা হয়েছে এবং আমরা এই দুটি নীতি ব্যবহার করে যেকোন ভেষ্টের পরিমাণ যোগ করতে পারি। বিশ্লেষণাত্মক এবং গ্রাফিকাল উভয় পদ্ধতিতে শতকরা ত্রুটিগুলি প্রদত্ত সূত্র দ্বারা গণনা করা হয়।

$$\text{শতাংশ ত্রুটি} = \frac{(R - R_1)}{R} \times 100\%$$

এই ত্রুটিটি নগণ্য তাই ত্রিভুজ নীতি এবং সমান্তরালগ্রাম নীতি প্রমাণিত।

### উপসংহার এবং অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

- ত্রিভুজ নীতি এবং ভেষ্টের সংযোজনের সমান্তরালোগ্রাম নীতি ব্যাখ্যা কর।
- একটি ভেষ্টের আয়তক্ষেত্রাকার উপাদানের গড় ব্যাখ্যা কর।
- Gravesand এর যন্ত্রপাতি ব্যবহার করে পরীক্ষায় ত্রুটির প্রধান উৎস আলোচনা কর।
- স্কেলার এবং ভেষ্টের রাশির মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা কর।

### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত কর্মসূচিতা সূচকগুলি মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে পরিবেশন করা উচিত প্রক্রিয়া এবং গুণফল সম্পর্কিত চিহ্ন।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	সুতার টুকরো বেঁধে দিয়ে শ্লিটেড ওজন সমাঞ্জস্য কর	15%	
2	ত্রিভুজ নীতির জন্য সঠিক পরিমাপ পাঠ	15%	

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
3	সমান্তরালোগ্রাফ নীতির জন্য সঠিক পরিমাপ পাঠ	15%	
4	গণনা এবং ফলাফল	15%	
<b>উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স* (40 %)</b>			
5	ত্রিটির অনুমান	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	উপসংহার এবং বৈধতা	10%	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
	<b>মোট</b>	<b>100%</b>	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস আ্যাসেমেন্টের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক্স		তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

## আরো জ্ঞাতব্য

- নিউটনের গতির প্রথম সূত্র: যখন কোনো বস্তুতে নিট বল শূন্য হয় তখন সেই বস্তুর ত্বরণ শূন্য থাকে বা বস্তুর গতি স্থির বা শূন্য থাকে। এই নীতিকে কখনও কখনও জড়তার নীতি বলা হয়।
- নিক্ষিয় রেফারেন্স ফ্রেম: রেফারেন্স ফ্রেম হল এমন একটি ফ্রেম যেখানে একটি বস্তুর গতি বর্ণনা করা হয়। যদি নিউটনের গতির প্রথম সূত্রটি একটি ফ্রেমে বৈধ হয় (অথবা ত্বরণ  $a = 0$  যদি  $F = 0$ ) যাকে ইনকেরিয়াল ফ্রেম অফ রেফারেন্স বলা হয়।
- অ-জড়তা রেফারেন্স ফ্রেম: যদি জড়তার নীতি একটি রেফারেন্স ফ্রেমে না মানা হয় (অথবা  $a \neq 0$  এমনকি  $F = 0$ ) যা রেফারেন্সের একটি অ-জড় ফ্রেম বলা হয়।

### ডিজাইন উদ্ভাবনী ব্যবহারিক/প্রকল্প/কার্যক্রম

- ভেক্টরের সমান্তরালগ্রাফ নীতি ব্যবহার করে একটি ব্লকের ওজন নির্ধারণ করতে
- বলের বহুভুজ নীতি যাচাই কর
- লামির উপপাদ্য যাচাই কর

সমান্তরালগ্রামের অনুকরণ (আইসিটি ব্যবহার)



Simulation on  
parallelogram

### তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং

#### রেফারেন্স

1. H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
2. J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
3. M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, McGraw-Hill, 2019.
4. E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
5. Halpern, Schaum's 3,000 Solved Problems In Physics, McGraw-Hill, 2011.
6. B. Beiser, Schaum's Outline Of Applied Physics, 4<sup>th</sup> Edition, Mc-Graw-Hill, 2009.
7. G. Mase, Schaum's Outline Of Continuum Mechanics, McGraw-Hill, 1969.
8. M. R. Spiegel, S. Lipschutz, Schaum's Outline Of Vector Analysis, 2ed, McGraw-Hill, 2009.
9. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
10. OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MEITY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
11. Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/> <https://www.khanacademy.org/>

#### ব্যবহারিক জ্ঞান প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
3. <https://ophysics.com/k2.html>
4. <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Momentum-and-Collisions/Collision-Carts/Collision-Carts-Interactive>

# 3

## কাজ, ক্ষমতা এবং শক্তি

### ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করেছে :

- কাজের ধারণা এবং কাজের ধরনগুলির উদাহরণ
- ঘর্ষণ ধারণা, ঘর্ষণ সীমাবদ্ধ করার নীতি, ঘর্ষণ সহগ, ঘর্ষণ হ্রাস
- উচুনিচু এবং সমতল পৃষ্ঠ এবং অ্যাপ্লিকেশনের জন্য অনুভূমিক এবং নতুন নতুন উদাহরণ
- শক্তি এবং তার একক ধারণা
- অবাধে প্রতিত বস্তুর জন্য যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ এবং শক্তির রূপান্তরের উদাহরণ
- ক্ষমতা এবং তার একক, ক্ষমতা এবং কাজের সম্পর্ক, ক্ষমতার হিসাব

### যুক্তি

অনেক ইঞ্জিনিয়ারিং সমস্যার সমাধানের জন্য কাজ, ঘর্ষণ, ক্ষমতা এবং শক্তি গুরুত্বপূর্ণ পরামিতি। এখানে, তুমি এই পরিমাণগুলির ধারণা পাবে এবং তাদের প্রকারের মধ্যে পার্থক্য করতে সক্ষম হবে। নতুন নতুন উচুনিচু পৃষ্ঠে ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কাজ করতে হবে তা মূল্যায়ন করতে পারবে এবং ইঞ্জিনিয়ারিং সমস্যার জন্য তাদের সাথে সম্পর্কযুক্ত করতে পারবে। কিছু উদাহরণ ব্যবহার করে স্থির এবং গতিশক্তির ধারণা এবং যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ সম্পর্কেও বুঝতে পারবে। অবশ্যে, কাজ এবং ক্ষমতা সম্পর্ক অধ্যয়ন করবে এবং এই ধারণার উপর ভিত্তি করে সংখ্যাসূচক উদাহরণ সমাধান করতে সক্ষম হবে।

### পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- পদার্থবিজ্ঞান: উচ্চ বিদ্যালয় স্তরের পদার্থবিজ্ঞান
- গণিত: মৌলিক বীজগণিত
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

### ইউনিট আউটকাম

U3-O1: কাজ, ক্ষমতা, ঘর্ষণ শক্তি, তার একক এবং মাত্রা সহ শক্তি;

U3-O2: ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাপ্লিকেশনগুলির কাজের ভিত্তিতে সমস্যার;

**U3-O3:** অনুভূমিক এবং নততলের জন্য ঘর্ষণের সহগ নির্ধারণ;

**U3-O4:** উপযুক্ত উদাহরণ সহ শক্তি ও শক্তির বিভিন্ন রূপ বর্ণনা;

ইঞ্জিনিয়ারিং সমস্যা সমাধানে কাজের ক্ষমতার সম্পর্ক।

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং:

ইউনিট-3: ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
<b>U3-O1</b>	3	1	3	3	3	3
<b>U3-O2</b>	2	1	3	2	1	2
<b>U3-O3</b>	2	2	3	2	2	2
<b>U3-O4</b>	1	1	3	1	2	2

### 3.1 কাজ

#### মজার ঘটনা

যখন আমরা ধাঁধা সমাধান করি বা এক জায়গায় বসে e-লার্নিংয়ের জন্য আমাদের স্মার্টফোন ব্যবহার করি, আমাদের শরীরে জৈব-রাসায়নিক প্রক্রিয়া থেকে উৎপন্ন অভ্যন্তরীণ রাসায়নিক শক্তি ব্যতীত মন্তিক্ষে বৈদ্যুতিক সংকেতে রূপান্তরিত হয়, তখন শরীরিকভাবে কোন অতিরিক্ত কাজ করা হয় না।

#### 3.1.1 কাজ - ভূমিকা এবং সংজ্ঞা:

কাজ এবং শক্তি আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বিনিময়যোগ্যভাবে ব্যবহৃত হয়। পদার্থবিজ্ঞানে সঠিকভাবে এবং বৈজ্ঞানিকভাবে কাজ এবং শক্তি সংজ্ঞায়িত করা হয়। যখন কোনো বস্তুর উপর বল ধাক্কা বা টান প্রয়োগ করা হয়, তখন বলের প্রভাব প্রয়োগযোগ্য বলের দিক থেকে তার স্থানচ্যুতিতে দেখা যায়। উদাহরণস্বরূপ, ধাক্কা বা টানার দিকে একটি মসৃণ অনুভূমিক সমতল পৃষ্ঠে স্থাপন করা একটি বাস্তুর স্থানচ্যুতি। বল এবং স্থানচ্যুতি মধ্যে সম্পর্ক আমাদের বস্তুর পরিমাণ দেয়, যা কাজ হিসাবে পরিচিত (W)।

$$\text{কাজ (W)} = \text{বল (F)} \cdot \text{স্থানচ্যুতি (r)}$$

যেখানে, F বল এবং r স্থানচ্যুতির জন্য ভেক্টর পরিমাণ প্রতিনিধিত্ব করে এবং এই ভেক্টর রাশিগুলির গুণফল (বা ক্ষেত্রার গুণফল) আমাদের একটি ক্ষেত্রার পরিমাণ অর্থাৎ কাজ (W) দেয়।

**সংজ্ঞা:** কোন বস্তুর উপর বল দ্বারা যে কাজ (W) করা হয় তাকে বলের (F) ক্ষেত্রার গুণফলহিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয় এবং এই স্থানচ্যুতি (r) একটি গুণফলহিসাবে বস্তুর উপর কাজ করা শক্তির উপাদান।

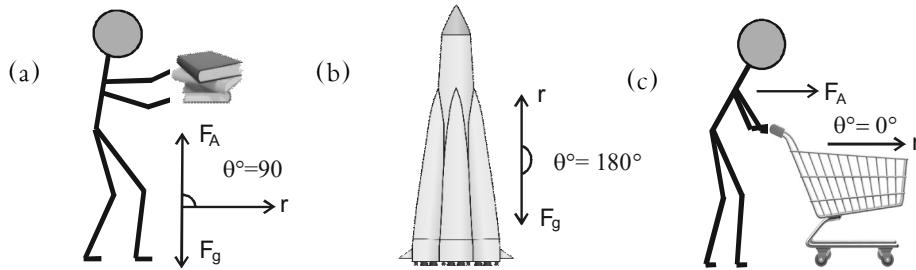
$$W = F \cdot r = Fr \cos$$

এখন, যদি সময়ের সাথে সাথে বল (F) বা স্থানচ্যুতি (r) পরিবর্তন হয়, তাহলে কাজটি সময় নির্ভর পরিমাণে পরিণত হয় এবং এটিকে এভাবে লেখা হয়,  $W = \int F \cdot dr$

এখনে, প্রয়োগকৃত বল নিউটনে পরিমাপ করা হয় এবং স্থানচ্যুতি মিটারে পরিমাপ করা হয়। কাজের SI ইউনিট হল joule (J), বিটিশ বিজ্ঞানী জেমস প্রেসকট Joule এর নামানুসারে। 1 joule হল 1 m স্থানচ্যুতের মাধ্যমে 1 N বল প্রয়োগ করার জন্য প্রয়োজনীয় কাজ, (যেমন,  $1 J = 1 N \cdot m$ )। কাজের অন্যান্য বিকল্প ইউনিট আছে, যেমন erg (CGS), calorie (CGS), ইলেকট্রন ভোল্ট, কিলোওয়াট-সেন্টা।

### 3.1.2 কাজ - উদাহরণ

**সম্পন্ন কাজের উদাহরণ:** (ক) শূন্য কাজ (খ) নেতিবাচক কাজ (গ) ইতিবাচক কাজ (a) শূন্য কাজ: যখন প্রয়োগ বল ( $F_A$ ) স্থানচ্যুতি ( $r$ ) এর উপর লম্ব ( $\perp$ ), তখন সম্পন্ন কাজ ( $W$ ) হয় শূন্য অথবা প্রয়োগ করা বল,  $F_A = 0$  অথবা নেট স্থানচ্যুতি,  $r = 0$ , এক্ষেত্রে কাজ ( $W$ ) শূন্য। উদাহরণস্বরূপ, কাজ করা হয় যখন (1) কিছু বস্তু উত্তোলনের সময় সামনের দিকে হাঁটা (2) কেবল হাত ব্যবহার করে একটি কঞ্চিটের প্রাচীর ঠেলা (3) একটি চলন্ত গাড়ি ব্রেক লাগিয়ে থামানো (4) পৃথিবী সূর্যের চারদিকে ঘোরা।



চিত্র 3.1: (a) শূন্য কাজ (b) নেগেটিভ কাজ এবং (c) ইতিবাচক কাজের উদাহরণ

(b) **নেতিবাচক কাজ:** যখন প্রয়োগ করা বল ( $F_A$ ) স্থানচ্যুতি ( $r$ ) এর বিপরীত হয়, তখন  $\theta = 0^\circ$  হয়  $180^\circ$  এবং ঋণাত্মক কাজ ( $W$ ) সম্পন্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ, (1) ঘর্ষণ বল দ্বারা সম্পন্ন কাজটি একটি ঘূর্ণায়মান বলের বিপরীত দিকে তার স্থানচ্যুতিতে কাজ করে (2) মাধ্যাকর্যগের কারণে একটি বলের উপর উল্লম্বভাবে নিষ্কিপ্ত একটি বলের উপর কাজ করে।

(c) **ধনাত্মক কাজ:** যখন প্রয়োগ বল ( $F_A$ ) স্থানান্তর ( $r$ ) এর সমান্তরাল ( $\parallel$ ) হয়, তখন ইতিবাচক কাজ ( $W$ ) সম্পন্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ, (1) মহাকর্ষের কারণে মাটিতে পড়া একটি বল (2) জমি টোল করার সময় মাটিতে লাঙল দ্বারা প্রয়োগ করা বল (3) ভারী বস্তু উত্তোলনের জন্য ক্রেন বা হেলিকপ্টার দ্বারা প্রয়োগ করা বল

### প্রয়োগ

এমন কোন একক ক্রিয়াকলাপ বা অ্যাপ্লিকেশন নেই যা কাজের অন্তর্ভুক্ত নয়, এটি মানুষের জীবনের অবিচ্ছেদ্য অংশ। যখন আমরা কিছু শারীরিক ক্রিয়াকলাপ করি যার মধ্যে অ-শূন্য বল বা স্থানচ্যুতি জড়িত থাকে, তখন এটিকে কাজ সম্পন্ন (ইতিবাচক বা নেতিবাচক) বলা হয়। যখন ইলেকট্রন এক ইলেকট্রনিক অবস্থা থেকে অন্য ইলেকট্রনে ঝাঁপ দেয়, তখন কাজ সম্পন্ন হয় এবং নিস্ত বা শোষিত শক্তি ইলেকট্রন ভোল্টে (ইভি) পরিমাপ করা হয়। স্থির পার্থক্যের কারণে আমরা কিলোওয়াট-সেন্টা বা ইউনিটে পরিমাপ করা চার্জের মাধ্যমে বিদ্যুৎ বিল পরিশোধ করি।

### কেস স্টাডি

যখন একজন বাক্সেটবল খেলোয়াড় বলটি একটি ঝুড়িতে ফেলে দেয়, সে একটি বলের উপর ইতিবাচক কাজ করে এবং যখন এটি নিচে পড়ে, তখন আবার একটি বলের মাধ্যাকর্য শক্তি দ্বারা ইতিবাচক কাজ করা হয়। একটি ফিল্ড হকি তে, যখন প্রতিপক্ষের খেলোয়াড় তার হকি স্টিক দিয়ে বল এক দিকে চলতে বাধা দেয়, তখন বলের উপর নেতিবাচক কাজ করা হয় যা সাময়িকভাবে তার গতিতে বাধা সৃষ্টি করে।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি

দেববানী তার গাড়িতে একটি সুপার মার্কেট থেকে আসছেন এবং তিনি তার পার্কিংয়ে গাড়ি থামিয়ে দিলেন। তারপরে তিনি তার গাড়ি থেকে মুদি জিনিসের একটি ব্যাগ তুলে চারতলা ভবনে তার বাড়ির দিকে হাঁটেন। তিনি মুদির ব্যাগ নিয়ে ১ ম তলা পর্যন্ত সিঁড়ি বেয়ে উপরে উঠে লিফটে পৌঁছান এবং তারপর চতুর্থ তলায় যাওয়ার জন্য লিফট ব্যবহার করেন। এই দৃশ্যটি বিশ্লেষণ কর এবং ধনাত্মক, নেতৃত্বাচক এবং শূন্য কাজ কোথায় এবং কীভাবে জড়িত তা সন্ধান কর।

### সমাধানকৃত সমস্যা

P-1: যদি কোন কুলি 45 N শক্তি ব্যবহার করে একটি স্যুটকেস উত্তোলন করে এবং 1250 J এর কাজ করার সময় হাঁটতে থাকে, তাহলে একটি কুলি দ্বারা আবৃত দূরত্ব গণনা কর।

সমাধান: এখানে,  $F = 45 \text{ N}$ ;  $W = 1250 \text{ J}$  এবং কোণ বল এবং পোর্টার এর স্থানচ্যুতি  $= 0^\circ$  এবং কাজটি ইতিবাচক। কাজের সংজ্ঞা অনুযায়ী,  $W = F \cos(0^\circ) \cdot r = F \cdot r$

$$\therefore r = W / F = 1250 / 45 = 27.77 \text{ m}$$

## 3.2 ঘর্ষণ

### মজার ঘটনা

লিওনার্দো দা ভিংচি প্রথম 1493 সালে ইলাইডিং ঘর্ষণের নীতি প্রবর্তন করেছিলেন কিন্তু সেগুলি নথিভুক্ত না করার কারণে সেগুলি অজানা ছিল। এই নীতিগুলি পরে 1699 সালে গিলুম অ্যামন্টন দ্বারা পুনরায় আবিক্ষুত হয়েছিল এবং এটি শুষ্ক ঘর্ষণের ৩ টি নীতি হিসাবে পরিচিত।

### 3.2.1 ঘর্ষণ-ধারণা এবং প্রকার

ঘর্ষণ বল হল একটি অবরুদ্ধ বল যা অন্য বস্তু বা পৃষ্ঠের উপর একটি বস্তুর আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে। ঘর্ষণ নেতৃত্বাচক কাজ করে এবং যোগাযোগের স্থানে তাপ সৃষ্টি করে। ঘর্ষণ বলের একক হল N বা  $\text{kgms}^{-2}$  এবং এর মাত্রা হল  $[\text{M}^1\text{L}^1\text{T}^{-2}]$ । ঘর্ষণ বলের প্রকারগুলি হল: (i) স্থির ঘর্ষণ (ii) গতিশীল ঘর্ষণ। এছাড়াও আছে, তরল পদার্থের পরপর দুটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক গতির কারণে একটি তরল ঘর্ষণ যা 'সান্দ্রতা' দ্বারা ব্যাখ্যা করা যেতে পারে।

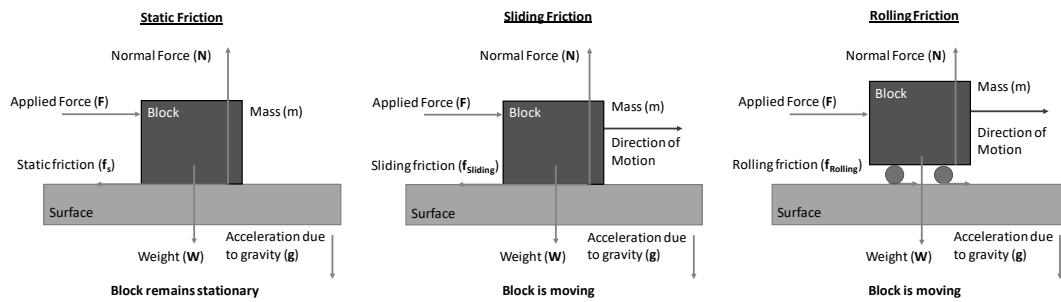
#### (1) স্ট্যাটিক ঘর্ষণ

স্ট্যাটিক ঘর্ষণ এর নিজস্ব অস্তিত্ব নেই। যখন বস্তুটি ভূপৃষ্ঠের সংস্পর্শে থাকে এবং কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা হয়, তখন স্থির ঘর্ষণ কাজ করে। এটি একটি বল ( $F$ ) যা একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত প্রয়োগকৃত বলের ( $F$ ) কারণে বস্তুর গতির বিরোধিতা করে এবং বস্তুকে বিশ্বামৈ রাখার চেষ্টা করে। অতএব, এটিকে স্থির ঘর্ষণ বল বলা হয়। প্রযোজ্য বলের প্রাথমিক ছোট মানগুলির ( $F$ ) জন্য, স্থির ঘর্ষণ বল ( $F$ ) বৃদ্ধি পায় যতক্ষণ না এটির প্রয়োগযোগ্য বল বৃদ্ধি পায় এবং যতক্ষণ না এটি সর্বোচ্চ মান পর্যন্ত পৌঁছায়, তবে বিপরীত দিকে। অতএব, একটি বস্তু এবং পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণকে কাটিয়ে উঠতে, প্রয়োগ করা বল ( $F$ ) স্থির ঘর্ষণের চেয়ে বড় হওয়া উচিত। যদি কোন ঘর্ষণ না হয় (আদর্শভাবে মসৃণ পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে), যখন প্রয়োগ করা বল ( $F$ ) কাজ করে (অর্থাৎ গতিতে বাধা দেয়) তখন বস্তুটি চলতে শুরু করবে। স্থির ঘর্ষণের উদাহরণ হল: (1) এই ঘর্ষণের কারণে একজন ব্যক্তি হাঁটা, দোড়ানো বা মাটিতে লাফানোর সময় পিছলে যায় না (2) একটি ভারী কাঠের আলমারি ছোট প্রয়োগ করা বলের জন্য নড়ে না।

#### (2) গতি ঘর্ষণ

গতিশীল ঘর্ষণ তখন কার্যকর হয় যখন পৃষ্ঠের সংস্পর্শে কোনো বস্তুর আপেক্ষিক গতি প্রয়োগকৃত বলের কারণে ঘটে, তবে এটি চলমান বস্তুর বেগের উপর নির্ভর করে না। কাইনেটিক ঘর্ষণকে ইলাইডিং এবং রোলিং ঘর্ষণে শ্রেণিবদ্ধ করা হয় বস্তুর পৃষ্ঠের

উপর কিভাবে চলাচল করে তার উপর নির্ভর করে। (b) ঘূর্ণয়মান ঘর্ষণ: যদি বস্তুটি ভূপৃষ্ঠের উপর দিয়ে গড়িয়ে যায়, যেমন একটি বেলন স্কেটার স্কেটিং রিকে থেমে আসে অথবা গলফ-বল ঘূর্ণয়মান হওয়ার আগে এটি বন্ধ হয়ে যায়, ঘূর্ণয়মান বস্তু এবং যোগাযোগের পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণ হয়; এগুলি ঘূর্ণয়মান ঘর্ষণ হিসাবে পরিচিত।



চিত্র 3.2: (i) স্থির ঘর্ষণ ( $f_s$ ) (ii) একটি পৃষ্ঠে স্থির করা একটি বাক্সে ঘর্ষণকে স্লাইড করে ( $f_{sliding}$ ) এবং (iii) ঘূর্ণয়মান ঘর্ষণ ( $f_{rolling}$ ) যখন একটি বাক্স পৃষ্ঠের উপর চলে

### 3.2.2 ঘর্ষণ সীমিত করার নীতি এবং ঘর্ষণ গুণাঙ্ক

ঘর্ষণকে সীমাবদ্ধ করা হল স্ট্যাটিক ঘর্ষণের সর্বাধিক মান যখন স্থির থেকে বস্তুটি সরাতে চলেছে। যেকোন মুহূর্তে, লম্ব বল এবং সীমিত ঘর্ষণ সরাসরি আনুপাতিক। এর গাণিতিক অভিব্যক্তি হল:

$$f_{limiting} = \mu_{limiting} N$$

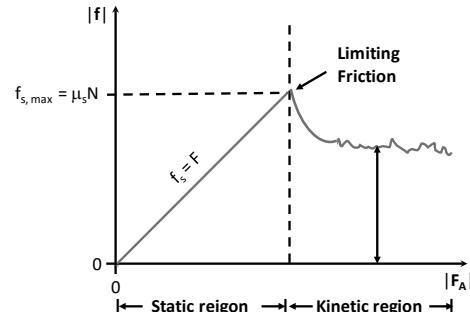
ঘর্ষণ সীমাবদ্ধ করা সবসময় বস্তুর গতির বিপরীত দিকে এবং এটি সরাসরি আনুপাতিক।

স্ট্যাটিক ঘর্ষণ বল ( $f_s$ ) এবং লম্ব বল ( $N$ ) এর মধ্যে সম্পর্ককে এভাবে লেখা যেতে পারে,  $f_s \leq \mu_s N$

$$\text{সর্বোচ্চ বা সীমিত স্ট্যাটিক ঘর্ষণের জন্য}, f_s = \mu_s N$$

$$\text{গতিশক্তি ঘর্ষণ এবং লম্ব বল (N) এর মধ্যে সম্পর্ক} f_s = \mu_s N$$

গতিশীল ঘর্ষণের সহগ স্ট্যাটিক ঘর্ষণের চেয়ে কম অর্থাৎ,  $\mu_k < \mu_s$ .



চিত্র 3.3: ঘর্ষণ ( $|f|$ ) বনাম প্রয়োগকৃত বল ( $|F_A|$ ) এবং সীমিত ঘর্ষণ

### 3.2.3 ঘর্ষণ এবং এর প্রয়োগ

ম্যাচের কাঠি ছালানো, মেঝেতে হাঁটা, কাগজে লেখা, বই, গাড়ির বেক ইত্যাদির উপর ভালো দখল থাকলে ঘর্ষণ প্রয়োজন কিন্তু এটি সবসময় কাম্য নয়। ঘর্ষণ করিয়ে আনার কিছু উপায় রয়েছে যেমন ঘর্ষণের কারণে অগ্নি দুর্ব্যৱস্থা, অবাঞ্ছিত শব্দ দূষণ, জুতা, অটো যন্ত্রাংশ ইত্যাদির মতো বেশ কিছু জিনিস পরা, বা মেশিনে দক্ষতা হ্রাস বা অনেক প্রক্রিয়া ধীর হওয়া। ঘর্ষণ কমানোর এই পদ্ধতিগুলির মধ্যে রয়েছে (1) পিয়ে মসৃণ পৃষ্ঠ তৈরি করা, বা রাসায়নিক এচিং (2) লুরিকেন্টের মতো আধা-কঠিন পেস্ট ব্যবহার করা (যেমন, ভারী যন্ত্রাংশ বা অটোমোবাইলগুলিতে ব্যবহৃত ধাতুর অংশগুলির জন্য) (3) সুগঠিত বা অ্যারোডাইনামিক বডি (যেমন, বুলেট ট্রেন বা গাড়ির) (4) বস্তুর চাপ বা ওজন কমানো (যেমন গাড়ির টায়ার পরিধান ও টিয়ার করাতে) (5) দুটি বস্তুর পৃষ্ঠের মধ্যে যোগাযোগ হ্রাস করা (যেমন, ম্যাগলেভ ট্রেনে ম্যাগনেটিক লেভিটেশন এফেক্ট ব্যবহার করে) (6) তরল ঘর্ষণ ব্যবহার করে (7) স্লাইডিং ঘর্ষণের পরিবর্তে ঘূর্ণয়মান ঘর্ষণ ব্যবহার করে (যেমন, বল বিয়ারিং ব্যবহার)।

### 3.2.4 সম্পর্কিত অ্যাপ্লিকেশনের সাথে ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ

#### (ক) অনুভূমিক পৃষ্ঠে ঘর্ষণ বল

টেবিল বা মেঝের অনুভূমিক পৃষ্ঠে থাকা 'm' ভরের একটি ব্লকের জন্য, আমরা ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ খুঁজে পেতে চাই। বিবেচনা কর যে বলটি ( $F_A$ ) ব্লকে প্রয়োগ করা হয় যা ব্লকটি সরানোর চেষ্টা করে। কিন্তু স্ট্যাটিক ঘর্ষণ বলের কারণে, ব্লক সরানো হয় না। স্ট্যাটিক ঘর্ষণের বল ( $f_s$ ) কে যেখানে লেখা যেতে পারে,

$$f_s = \mu_s N = \mu_s mg$$

এখানে,  $N$  হল ব্লকের পৃষ্ঠা দ্বারা প্রয়োগ করা লম্ব বল এবং নিউটনের তৃতীয় নীতি অনুযায়ী ব্লকের ওজনের সমান। অতএব, লম্ব বলকে  $N = mg$  হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

এখানে, আমরা কেবল বলের মাত্রা বিবেচনা করছি।

এখন, ধর ব্লকে প্রয়োগ করা বাহ্যিক বল ( $F_A$ ) স্ট্যাটিক ঘর্ষণ কাটিয়ে ওঠার জন্য যথেষ্ট বড় এবং ব্লককে স্থানচ্যুত করে। ব্লকটি তখন ত্বরণ 'a' দিয়ে চলতে শুরু করে এবং গতিশক্তি ঘর্ষণ ( $f_k$ ) বল অনুভব করে। তারপর নিউটনের গতির তৃতীয় সূত্র অনুসারে, যে ব্লকটি দিয়ে এটি চলাচল করে তার উপর নিট বল কাজ করে:

$$ma = F_A - f_k$$

ঘর্ষণের নীতি অনুযায়ী আমরা লিখতে পারি,

$$f_k = \mu_k N = \mu_k mg$$

এখানে,  $\mu_k$  হল গতি ঘর্ষণের সহগ। সুতরাং, ব্লকের নেট বল হল,

$$ma = F_A - f_k = F_A - \mu_k mg$$

$$\text{অতএব, ব্লকের ত্বরণ হল, } a = \frac{F_A}{m} - \mu_k g$$

এবং কাজের সংজ্ঞা দ্বারা, আমরা ঘর্ষণ বল দ্বারা সম্পূর্ণ কাজ লিখতে পারি

$$w = \vec{f}_k \cdot \vec{r} = f_k r \quad (\because \cos \theta = 1) \left( \vec{f}_k \parallel \vec{r} \right)$$

#### (b) নতুনে ঘর্ষণ বল:

এক্ষেত্রে বিবেচনা কর ব্লকটি একটি নতুনে গতিহীন রাখা হয় যা অনুভূমিকের সাথে একটি কোণ তৈরি করে। এখানে, ব্লকের ওজন দুটি উপাদান আছে - একটি নতুনের পৃষ্ঠের সমান্তরাল এবং অন্যটি নতুনের পৃষ্ঠের লম্ব।

$$\text{ওজনের লম্ব উপাদান} = W_L = mg \cos \theta = N \text{ (নিউটনের তৃতীয় নীতি অনুসারে)}$$

$$\text{এবং ঘর্ষণ নীতি থেকে, } f_s = \mu_s N = \mu_s mg \cos \theta$$

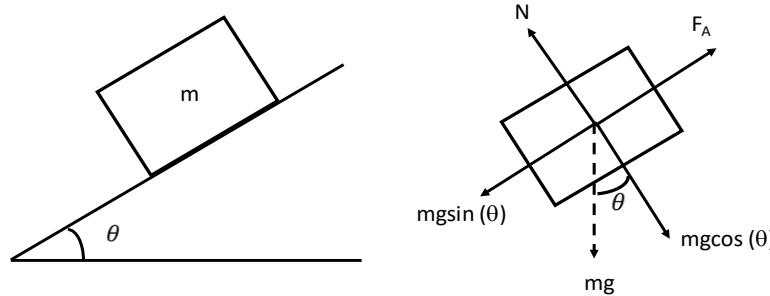
$$\text{ওজনের সমান্তরাল উপাদান} = W_{11} = Mg \sin \theta$$

এখন, ধর ব্লকটি ত্বরান্বিত 'a' দিয়ে ওয়েজের দিকে নামতে শুরু করে, তারপর আবার ঘর্ষণের নীতি থেকে, আমরা গতিবেগ ঘর্ষণ বলের ( $f_k$ ) অভিব্যক্তি লিখতে পারি

$$f_k = \mu_k N = \mu_k Mg \cos \theta$$

নিউটনের গতির ২য় সূত্র থেকে আমরা লিখতে পারি,

$$ma = mg \sin \theta - f_k$$



চিত্র 3.4: নততলে একটি বুক

$$\text{বা, } ma = mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta$$

$$\text{বা, } \mu_k = \frac{(g \sin \theta - a)}{g \cos \theta}$$

শূন্য ত্বরণের জন্য (যেমন, ধ্রুবক বেগ), গতিশক্তি ঘর্ষণের সহগ = স্থির ঘর্ষণের সহগ। অতএব,

$$\mu_k = \mu_s \frac{(g \sin \theta - 0)}{g \cos \theta} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

এর মানে হল যে বস্তুর স্লাইডিং শুরু হওয়ার ঠিক আগে কোণ পরিমাপ করা স্ট্যাটিক ঘর্ষণের সহগের মাত্রা দেয়। অনুভূমিক এবং নততলে ঘর্ষণের প্রয়োগগুলি সমাধান করা সমস্যাগুলিতে আলোচনা করা হয়েছে।

### অ্যাপ্লিকেশন

আমাদের কার্যক্রম যেমন দাঁত খাশ করা, হাঁটা, সাঁতার কাটা, স্লাইড করা, কাগজে লেখা, যে কোনো পৃষ্ঠের প্রেরেক ঠিক করা, পৃষ্ঠের মোপিং, দুটি কাঠ বা পাথর ঘষে স্থির বিদ্যুৎ উৎপাদন করা, টাচ স্ক্রিন স্ক্রেল করা, হাঁটার দিকে ঝুঁকে যাওয়া, আমাদের গাড়িতে ব্রেক লাগানো বা পুলি ইত্যাদি ব্যবহার করে জলের কুপ থেকে জল আনা সবই ঘর্ষণের কারণে করা সম্ভব।



### কেস স্টাডি

ঘর্ষণ আলোড়ন ঢালাই (Friction stir welding) ট্রেন, মহাকাশ অ্যাপ্লিকেশন এবং আধুনিক জাহাজ নির্মাণে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিটি ওয়ার্কপিসে গলে না দিয়ে যোগ দিতে ব্যবহৃত হয় এবং সুপারফাস্ট রোটেটিং টুল এবং ওয়ার্কপিসের মধ্যে ঘর্ষণের ফলে তাপ উৎপন্ন হয়। নাসা এই প্রক্রিয়াটিকে সবচেয়ে সক্ষমভাবে পাওয়ার রকেটে ব্যবহার করেছে; স্পেস লঞ্চ সিস্টেমে (SLS) এই পদ্ধতির প্রয়োগ উল্লেখযোগ্য যার প্রথম উৎক্ষেপণের সময়সূচি 4 নভেম্বর, 2021।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি

তোমার আঙুল এবং সেলফোনের টাচস্ক্রিনের মধ্যে কি ধরনের ঘর্ষণ বিদ্যমান?

### সমাধানকৃত সমস্যা

P-1: 60 kg স্কাইয়ারটি পাহাড়ের একটি নততলে থাকে। প্রবণতা কোণ  $\theta$  অনুভূমিকের সঙ্গে  $30^\circ$ , এবং স্কাইয়ারটি স্লাইড শুরু করে। স্কাইয়ার এবং পর্বতে পৃষ্ঠের মধ্যে স্থির ঘর্ষণের গুণক কত? যদি ঘর্ষণ বল 50 N হয়, গতিশক্তি ঘর্ষণের সহগ কত?

### সমাধান:

এখানে,  $\theta = \theta_{\max} = 30^\circ$ ; এটি সর্বাধিক স্ট্যাটিক ঘর্ষণের জন্য একটি কোণ।

$\theta_{\max}$  এর ঠিক উপরে স্কাইয়ারটি নিচে স্লাইড

গতিশীল ঘর্ষণের জন্য,  $f_k = \mu_k N$ .

$$\text{সুতরাং, } N = mg \cos \theta = \frac{f_k}{\mu_k}$$

$$\therefore \mu_k = \frac{f_k}{mg \cos \theta} = \frac{50}{60 \times 9.8 \times \cos(30^\circ)} = 0.19.$$

এখানে এটি উল্লেখ্য যে  $\mu_k < \mu_s$ .

## 3.3 ক্ষমতা এবং শক্তি

### মজার ঘটনা

রিখটার স্কেলে 9.0 মাত্রার একটি ভূমিকম্প যে শক্তি দেয় তা  $2.0 \times 10^{18}$  joule = 556 Tera Watt = 50 million TNTs। 1 মাত্রার বৃদ্ধির ফলে ভূমিকম্পের সময় মুক্তি পাওয়া সিসমিক এনার্জির প্রায় 30 গুণ বৃদ্ধি পায়।

### 3.3.1 শক্তি - ভূমিকা, গতিশক্তি এবং স্থির শক্তি

শক্তি হচ্ছে কাজ চালানোর ক্ষমতা। শক্তি হল একটি পরিমাণগত ভৌত সম্পত্তি যা কাজ করার জন্য কিছু বস্তুর কাছে স্থানান্তরিত হয়। শক্তি হল একটি স্কেলার পরিমাণ এবং এর SI ইউনিট হল joule বা N-m যা কাজের সমান। অন্যান্য পরিমাপ ইউনিট হল erg (বা dyne/cm), ক্যালোরি, কিলোওয়াট-ঘণ্টা (kwh), ইলেকট্রন ভোল্ট (eV) বা ব্রিটিশ থার্মাল ইউনিট (BTU)। শক্তি যেকোনো রাপে হয় গতিশক্তি (KE) অথবা স্থির শক্তি (PE)।

**গতিশক্তি (KE):** যখন 'm' ভরের কোনো বস্তু কিছু বেগ 'v' নিয়ে গতিশীল হয়, তখন বলা হয় গতিশক্তি  $KE = 1/2 Mv^2$ । এখানে লক্ষ্য কর, গতিশক্তি ভর (m) এবং বেগের বর্গ (v) দিয়ে পরিবর্তিত হয়। এটি একটি স্কেলার পরিমাণ এবং এটি চলমান বস্তুর কাজ সম্পাদন করার ক্ষমতা পরিমাপ করে। নিক্ষিপ্ত দ্রুতগতির বল, বন্দুক থেকে ছোড়া গুলি, 120 km গতিতে ছুটে চলা একটি গাড়ি, পাহাড়ি অঞ্চলে ভূমিধস বা হিমবাহের তুষারপাত এমন কিছু বস্তুর উদাহরণ যা উচ্চ গতিশীল শক্তির কারণে হয়।

**স্থির শক্তি (PE):** এটি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হলে কাজ সম্পাদনের ক্ষমতা লাভ করে। এটি একটি বস্তু বা বিভিন্ন বস্তুর সিস্টেমে সংযোগিত শক্তি। উদাহরণস্বরূপ, ঘড়িতে সংকুচিত স্প্রিং স্থির শক্তির আকারে তার শক্তি সংযোগ করে। PE একটি স্কেলার পরিমাণ। এখানে, আমরা শুধুমাত্র মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি বিবেচনা করব।

### 3.3.2 মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি

যখন কোনো বস্তুর ভরকে (m) অনন্ত থেকে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ভিতরে কোন বিন্দুতে নিয়ে আসা হয় কিছু উৎস ভর (M) এর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ভিতরে সঞ্চয় আকারে সঞ্চিত হয় এবং এটি মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি হিসাবে পরিচিত। এটি 'U' বা PE দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি,  $U = m g h$ , যেখানে  $m$  = বস্তুর ভর (kg),  $g$  = মহাকর্ষীয় ত্বরণ =  $9.8 \text{ m/s}^2$ , এবং  $h$  = মাটির উপরে বস্তুর উচ্চতা।

**মহাকর্ষীয় স্থির শক্তির উদাহরণ হল:** (1) 'h' উচ্চতায় বাঁধের জল সংরক্ষিত (3) নারকেল বা গাছের কোন ফল পড়ার আগে (2) নারকেল বা গাছের কোন ফল পড়ার আগে (3) হিমালয়ের চূড়ায় বরফের পুরু স্তর।

### মহাকর্ষীয় স্থির শক্তির উৎপত্তি

উৎস ভর 'M' কে X- অক্ষ বরাবর একটি বিন্দুতে স্থাপন করা যাক। প্রাথমিকভাবে পরীক্ষার ভর 'm' অনন্ত ( $\infty$ ) এ স্থাপন করা হয়। ধ্রুব মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র বা উৎস ভর (M) এর বলের (F) প্রভাবে, পরীক্ষার ভর (m) X- অক্ষ বরাবর খুব অল্প পরিমাণে ( $dx$ ) দ্বারা স্থানচ্যুত হয়। অর্থাৎ, পরীক্ষার ভর (m) তে অল্প পরিমাণ কাজ ( $dW$ ) করা হয়। এই হিসাবে লেখা যেতে পারে

$$dW = F dx.$$

এখানে লক্ষ্য কর, মহাকর্ষীয় বল (F) আকরণীয় এবং পরীক্ষার ভর (m) এর স্থানচ্যুতি উৎস ভর (M) অর্থাৎ ঋণাত্মক X- অক্ষের দিকে। এর মানে হল যে F এবং  $dx$  একে অপরের সমান্তরাল। এই হিসাবে,

$$dW = G \frac{mM}{x^2} dx$$

যদি আমরা উভয় পক্ষের এই সমীকরণকে সমাকলন করি, আমরা পাই

$$W = \int_{\infty}^r G \frac{mM}{x^2} dx = \left[ G \frac{mM}{x} \right]_{\infty}^r = \left[ G \frac{mM}{r} \right] - \left[ G \frac{mM}{\infty} \right] = \left[ G \frac{mM}{r} \right]$$

যেহেতু, পরীক্ষার ভর (m) একে কাজটি তার স্থির শক্তি (U) হিসাবে সংরক্ষিত থাকে, তাই আমরা উপরের সমীকরণটিকে আবার লিখতে পারি

$$U = - \left[ G \frac{mM}{r} \right]$$

এটি উৎস ভর (M) থেকে দূরত্ব (h) সহ একটি বিন্দুতে সংরক্ষিত একটি পরীক্ষা ভর (m) এর মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি।

এখন, ধর পরীক্ষার ভর (m) একটি উৎস ভর (M) এর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ভিতরে এক বিন্দু (A) থেকে অন্য বিন্দু (B) এ চলে যায়;  $r_i$  = উৎস ভরের দূরত্ব, A বিন্দু থেকে এবং  $r_f$  = উৎস ভরের দূরত্ব, B বিন্দু থেকে

এই পরীক্ষার ভর এর জন্য মহাকর্ষীয় স্থির শক্তির পরিবর্তন,

$$DU = - \left[ G \frac{mM}{r} \right]_{r_i}^{r_f} = - \left[ G \frac{mM}{r_i} \right] + \left[ G \frac{mM}{r_f} \right] = GmM \left[ \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right]$$

যদি  $r_i = R$  এবং  $r_f = R + h$ , যেখানে  $h =$  একই মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে পরীক্ষা ভর (m) এর ছোট স্থানচ্যুতি

$$DU = GmM \left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{R+h} \right] = GmM \left[ \frac{h}{R(R+h)} \right]$$

যেহেতু  $h \ll R$ ,  $(R + h) \sim R$ ,

$$DU = GmM \frac{h}{R^2} = mgh \quad \left( \because g = \frac{GM}{R^2} \right)$$

এখানে,  $g =$  মাধ্যিকবর্ণের কারণে ভূরণ। এর নেতৃত্বাচক চিহ্ন উৎস ভর (M) এর দিকে ভূরণের দিক নির্দেশ করে।

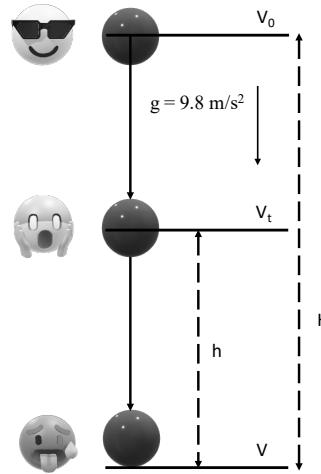
#### 3.3.3 যান্ত্রিক শক্তি এবং যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণ

কোন বস্তুর গতিশীল শক্তি এবং স্থির শক্তির সাথে মোট যান্ত্রিক শক্তি ( $1/2 mv^2 + mgh$ ) গতিশক্তি এবং স্থির শক্তির সমষ্টি হিসাবে লেখা হয়, অর্থাৎ এটি সেই শক্তি যা বস্তুর গতি বা অবস্থান বা উভয়ই বর্ণনা করে।

#### অবাধে পতিত বস্তুর জন্য যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণ

একটি সিস্টেমের মোট যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষিত থাকে অর্থাৎ, শক্তি তৈরি করা যায় না বা ধ্রংস করা যায় না; এটি শুধুমাত্র অভ্যন্তরীণভাবে একটি রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হতে পারে যদি সিস্টেমের উপর কাজ করার জন্য কাজ করা বলগুলি

রক্ষণশীল শক্তি হয়। এই সংরক্ষণ নীতিটি পৃথিবীর মহাকর্ষীয় শক্তির প্রভাবে নিম্নলিখিত উদাহরণ ব্যবহার করে বুঝতে পারি। 'g' হল মাধ্যাকর্ষণের কারণে ভুরণ।



চিত্র 3.5: একটি বলের মুক্ত পতন

আমরা বিবেচনা করি যে ভর 'm' এর একটি বল H উচ্চতা ফেলা হয়েছে, যেমনটি চিত্রে দেখানো হয়েছে। সুতরাং,

$$(a) \text{ H উচ্চতায়: স্থির শক্তি (PE) = } mgH \text{ এবং গতিশক্তি (KE) = } 0 \text{ ( } \because V_0 = 0 \text{ )}$$

$$\text{অতএব, মোট যান্ত্রিক শক্তি} = PE + KE = mgH + 0 = mgH$$

$$\text{অতএব, মোট যান্ত্রিক শক্তি} = PE + KE = mgH + 0 = mgH$$

$$(b) \text{ h উচ্চতায়: স্থির শক্তি (PE) = } mgh \text{ এবং গতিশক্তি } KE = 1/2 mV_t^2 \text{। গতির সমীকরণগুলি ব্যবহার করে, ভর 'm' বস্তুর জন্য 'h' উচ্চতায় বেগ } V_t = \sqrt{2g(H-h)} \text{। অতএব, গতিশক্তি,}$$

$$\frac{1}{2}mV_t^2 = \frac{1}{2}m\sqrt{2g(H-h)^2} = mgH - mgh$$

$$\text{মোট যান্ত্রিক শক্তি} = PE + KE = mgh + (mgH - mgh) = mgH$$

$$(c) \text{ উচ্চতা শূন্যে: স্থির শক্তি (PE) = } 0 \text{ ( } \because H = 0 \text{ ) এবং গতিশক্তি (KE) = } 1/2 Mv^2 \text{। আবার, গতির সমীকরণগুলি ব্যবহার করে, আমরা মাটি স্পর্শ করার ঠিক আগে নাচে একটি অবাধে পতিত নীতি বেগ পেতে পারি। অতএব, গতিশক্তি এইভাবে লেখা যেতে পারে,}$$

$$KE = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m(\sqrt{2gH})^2 = \frac{1}{2}m(2gH) = mgH$$

$$\text{অতএব, মোট যান্ত্রিক শক্তি} = PE + KE = 0 + mgH = mgH$$

সুতরাং, আমরা দেখছি যে মহাকর্ষীয় শক্তির প্রভাবে বস্তুর অবাধে পতনের জন্য সিস্টেমের মোট যান্ত্রিক শক্তি (TME) স্থির থাকে।



Simulation  
on potential  
energy

### 3.3.4 শক্তির রূপান্তর

শক্তির সংরক্ষণ নীতি অনুযায়ী, শক্তি শুধুমাত্র তার এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হতে পারে এবং ধৰ্মস বা সৃষ্টি করা যায় না। শক্তির রূপান্তরের কয়েকটি উদাহরণ নিচে দেওয়া হল:

1. গতিশীল শক্তির স্থির শক্তি: যেমন, জলপ্রপাত, স্কাইডাইভার
2. গতিশীল শক্তি থেকে মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি: যেমন, সময়ের সাথে সাথে উপগ্রহ
3. মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, জলবিদ্যুৎ বাঁধ
4. গতিশীল শক্তি / যান্ত্রিক থেকে তাপীয় / তাপ শক্তি: যেমন, উভয় হাত ঘষা
5. তাপ শক্তি থেকে যান্ত্রিক শক্তি: যেমন, বাষ্প ইঞ্জিন
6. তাপ শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, তাপবিদ্যুৎ, তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্র
7. বৈদ্যুতিক শক্তি থেকে তাপ শক্তি: যেমন, রুম হিটার, ওয়াটার হিটার, টোস্টার, ওভেন
8. যান্ত্রিক শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, বৈদ্যুতিক জেনারেটর
9. বৈদ্যুতিক শক্তি থেকে যান্ত্রিক শক্তি: যেমন, বৈদ্যুতিক মোটর, ব্লেন্ডার, জুসার-মিঞ্চার, ফ্যান
10. বৈদ্যুতিক শক্তি থেকে রাসায়নিক শক্তি: যেমন, ইলেক্ট্রোপ্লেটিং, লি-আয়ন ব্যাটারি চার্জ করা
11. রাসায়নিক শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, ব্যাটারি চালিত টর্চলাইট, জ্বালানী কোষ
12. রাসায়নিক শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক এবং যান্ত্রিক শক্তি: যেমন, মানবনীতি গতিবিধি
13. রাসায়নিক শক্তি থেকে তাপ শক্তি এবং উজ্জ্঳ল শক্তি: যেমন, কাঠ বা কয়লা পোড়ানো
14. সাউন্ড এনার্জি থেকে ইলেক্ট্রিক এনার্জি: যেমন, মাইক্রোফোন
15. বৈদ্যুতিক শক্তি থেকে সাউন্ড এনার্জি: যেমন, লাউড স্পিকার, সাউন্ড এস্প্লিফায়ার
16. বৈদ্যুতিক শক্তি থেকে তাপ শক্তি এবং উজ্জ্঳ল শক্তি: যেমন, একটি বৈদ্যুতিক বাল্ব
17. ইলাস্টিক স্ট্রেন এনার্জি থেকে ইলেকট্রিক এনার্জি: যেমন, পাইজোইলেক্ট্রিক (গ্যাস লাইটার)
18. বায়ু শক্তি থেকে যান্ত্রিক বা বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, উইন্ডমিলস
19. সৌর শক্তি (যেমন, ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক এনার্জি) থেকে কেমিক্যাল এনার্জি: যেমন, সালোকসংশ্লেষণ
20. সৌর শক্তি থেকে বৈদ্যুতিক শক্তি: যেমন, সৌর কোষ বা ফোটোভোল্টাইক কোষ

### 3.3.5 ক্ষমতা এবং এর একক

পদার্থবিজ্ঞানে, ক্ষমতা হল সেই সময়ের হার যেখানে কাজ করা হয় বা শক্তি স্থানান্তর করা হয়। এটি দেখায় যে কেবল কাজই সম্পন্ন হয় না বরং এটি কত দ্রুত সম্পন্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ, একটি পর্বত আরোহণ শারীরিক ফিটনেস দেখায় কিন্তু তুমি কত দ্রুত আরোহণ কর তা পেশীর শক্তিকে নির্দেশ করে, প্রতি মিনিটে হাদস্পন্দন দেখায় যে শরীরের রক্ত পাম্প করা হচ্ছে কিন্তু এটি কত দ্রুত বা ধীর গতিতে আঘাত হানে তা পেশীর চাপ সম্পর্কে ধারণা দেয়। এটি পাওয়ার আউটপুটের কারণে সহ্য করতে হয়। ক্ষমতা একটি স্কেলার পরিমাণ। এর মাত্রা হল  $[ML^2T^{-3}]$ । এর এসআই ইউনিট watt (W); জেমস ওয়াটের নামে নামকরণ করা হয়েছে, যিনি বাষ্প ইঞ্জিনের অন্যতম উদ্ভাবক ছিলেন।  $1 \text{ watt} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Js}^{-1}$ । ক্ষমতার আরেকটি ইউনিট যা এখনও অটোমোবাইল শিল্পে ব্যবহৃত হয় তা হস্পাওয়ার (HP)।  $1 \text{ HP} = 746 \text{ watt}$ ; একটি সাধারণ অটোমোবাইল যানবাহন  $80\text{km/h}$  গতিতে চলার জন্য প্রায়  $20 \text{ HP}$  বা  $15 \text{ kW}$  ক্ষমতা প্রয়োজন। বৈদ্যুতিক সামগ্রী এবং বাল্ব, ফিজ, ব্লেন্ডার, ওয়াটার হিটার ইত্যাদি যন্ত্রপাতি ওয়াটে পরিমাপ করা হয়।

### 3.3.6 ক্ষমতা এবং কাজের সম্পর্ক

কাজ করার জন্য নেওয়া মোট সময় ‘t’ এর সাথে কাজের অনুপাত নিয়ে আমরা গড় ক্ষমতা ( $P_{avg}$ ) খুঁজে পেতে পারি। তাত্ক্ষণিক ক্ষমতা হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়,

$$P_{avg} = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} \quad \left( \because W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} \text{ and } \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v} \right)$$

#### প্রয়োগ

উচ্চ শক্তি জল-জেট কাটিয়া শিল্পে নরম উপকরণ যেমন প্লাস্টিকের ফেনা, ফাইবার ফ্লাস বা মুদ্রিত সার্কিট বোর্ড, ডায়াপার, চামড়া ইত্যাদি কাটাতে ব্যবহৃত হয়। তদুপরি, যেখানেই কাজ সম্পাদন করা হোক না কেন মৌলিকভাবে তার বিভিন্ন রূপে শক্তি প্রয়োজন। সমস্ত বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি এবং ইলেকট্রনিক ডিভাইসগুলি বিদ্যুৎ ব্যবহারের ক্ষেত্রে রেটযুক্ত। অটোমোবাইল ইঞ্জিনগুলি পাওয়ার-রেটেড যা দেখায় যে গাড়িটি কয়েক সেকেন্ডের মধ্যে কত দ্রুত উঠতে পারে। কিক বঙ্গিং, ভারোত্তোলন, টেনিস, ক্রিকেট ইত্যাদির মতো ক্রীড়া সম্পর্কিত বেশিরভাগ কার্যক্রম ক্ষমতা, নির্ভুলতা এবং সময় নিয়ে।

#### কেস স্টাডি

বিটকয়েনের মতো ক্রিপ্টোকারেন্সির জন্য কম্পিউটারের প্রয়োজন হয় যা বিটকয়েন খনির জন্য তীব্র প্রক্রিয়াকরণ ক্ষমতা পরিচালনা করে। এই বিশেষ কম্পিউটারগুলি প্রতি বছর প্রায় 22 TWh থেকে 110 TWh শক্তি খরচ করে, যা মালয়েশিয়া, সুইডেন বা আয়ারল্যান্ডের মতো বার্ষিক শক্তি খরচ হিসাবে ভাল।

#### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি

একটি হার্টের হার যদি প্রতি মিনিটে 75 হয় তাহলে একজন প্রাপ্তবয়স্ক হার্টের কতটা ক্ষমতা প্রয়োজন?

#### সমাধানকৃত সমস্যা

**P-1:** 24.5 GeV কে joule এ রূপান্তর কর।  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

#### সমাধান:

$$1 \text{ GeV} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^9 \text{ J} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$24.5 \text{ GeV} = 24.5 \times 1.6 \times 10^{-10} \text{ J} = 39.2 \times 10^{-10} \text{ J}$$

**P-2:** 55 kg এবং 52 kg ক্রীড়াবিদ যথাক্রমে 19.19 s এবং 21.34 s এ 200 মিটার ট্র্যাক চালায়। কার পেশী ক্ষমতা বেশি?  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  বিবেচনা কর।

#### সমাধান:

$$m_1 = 55 \text{ kg}, m_2 = 52 \text{ kg}, g = 9.8 \text{ m/s}^2, r = 200 \text{ meters}, t_1 = 19.19 \text{ sec} \text{ and } t_2 = 21.34 \text{ sec.}$$

$$(P) = \frac{W}{t} = \frac{\mathbf{F} \cdot \mathbf{r}}{t} = \frac{mg \cdot r}{t}$$

আমরা উভয় ক্রীড়াবিদদের পেশী ক্ষমতা গণনা করতে পারি:

$$P_1 = \frac{mg \cdot r}{t} = \frac{55 \times 9.8 \times 200}{19.19} = 5617.51 \text{ W} = 5.617 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{mg.r}{t} = \frac{52 \times 9.8 \times 200}{21.34} = 4776.00 \text{ W} = 4.776 \text{ kW}$$

55 কেজি ক্রীড়াবিদ আরও পেশীবহুল ক্ষমতা ব্যবহার করেছিলেন।

**P-3:** যদি একটি জলবিদ্যুৎ কেন্দ্র, পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্র এবং তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্র সর্বোচ্চ 4.3 GW, 850 MW এবং 2100 MW যথাক্রমে 6 ঘন্টা/দিন, 12 ঘন্টা/দিনে পূর্ণ লোড উৎপন্ন করে, তাহলে উৎপাদিত শক্তির হিসাব কর প্রতিটি গাছের জন্য ঘন্টা।

**সমাধান:**

$$(P) = \frac{W}{t}, \text{ বা, } W = P \cdot t$$

(a) জলবিদ্যুৎ কেন্দ্রের জন্য:  $P = 4.3 \text{ GW} = 4300 \text{ MW}$  [6 ঘন্টা/দিনের জন্য]

সুতরাং, 1 ঘন্টা পাওয়ার আউটপুট হল,

$$P = \frac{4300}{6} \text{ MW} = 716.67 \text{ MW}$$

প্রতি ঘন্টায় শক্তি উৎপাদিত হয়,  $P \cdot t = 716.67 \times 1 = 716.67 \text{ MWh}$

(b) পারমাণবিক কেন্দ্রের জন্য:

1 ঘন্টায় পাওয়ার আউটপুট হল,

$$P = \frac{850}{12} \text{ MW} = 70.83 \text{ MW}$$

প্রতি ঘন্টায় শক্তি উৎপাদিত হয় =  $P \cdot t = 70.83 \times 1 = 141.67 \text{ MWh}$

(c) তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রের জন্য:

$$P = 2100 \text{ MW} [8 \text{ hrs/day}]$$

সুতরাং, 1 ঘন্টা পাওয়ার আউটপুট হল,

$$P = \frac{2100}{8} \text{ MW} = 262.5 \text{ MW}$$

প্রতি ঘন্টায় শক্তি উৎপাদিত হয়,  $P \cdot t = 262.5 \times 1 = 262.5 \text{ MWh}$

প্রদত্ত উদাহরণে, জলবিদ্যুৎ কেন্দ্র এক ঘন্টার মধ্যে বেশি শক্তি সরবরাহ করে।

## সারসংক্ষেপ

- উভয়, কাজ এবং শক্তির একই মাত্রা রয়েছে যেমন,  $[M^1 L^2 T^{-2}]$ .
- দূরত্বের ক্ষেত্রে গতিশক্তি এবং স্থির শক্তির কার্ড উভয়ই পরাবাস্তব।
- ঘর্ষণ তার কঠোরতার পরিবর্তে যোগাযোগ পৃষ্ঠের রঞ্জতার উপর নির্ভর করে।
- দুটি অপেক্ষাকৃত স্থির ব্যবস্থার জন্য যোগাযোগের মধ্যে একটি স্থির ঘর্ষণ ( $f_s$ ) আছে, যখন দুটি চলমান সিস্টেমের সংস্পর্শে, তাদের আপেক্ষিক গতির কারণে গতিশীল ঘর্ষণ ( $f_k$ ) বিদ্যমান।

- ঘর্ষণ সহগ মান 1.0 অতিক্রম করতে পারে না।
- গতিশক্তি ঘর্ষণের সহগ স্ট্যাটিক ঘর্ষণের সহগের চেয়ে কম বা সমান।
- নততলে স্থাপিত বস্তুর জন্য, নতকোণ পরিমাপ করে স্থির ঘর্ষণ সংজ্ঞায়িত করা যায়।
- কাজ হচ্ছে বলের দিকের স্থানচ্যুতি দ্বারা গুণিত প্রয়োগ করা বল।
- পাওয়ার হল একক সময়ে সম্পন্ন করা কাজ।
- শক্তি কাজ করার ক্ষমতা পরিমাপ করে এবং ক্ষমতা পরিমাপ করে কত দ্রুত কাজ সম্পন্ন হয়।
- কাজ এবং শক্তির জন্য অন্যান্য একক হল: (a)  $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne/cm} = 10^{-7} \text{ Joule (J)}$  (b)  $1 \text{ calorie (cal)} = 4.186 \text{ J}$   
(c)  $1 \text{ electron volt (eV)} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  (d)  $1 \text{ kilowatt-hour (kWh)} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$  (বাণিজ্যিক ইউনিট)।

## অনুশীলন

### (A) বিষয়গত প্রশ্ন

- Q.1 ইতিবাচক, নেতিবাচক এবং শুন্য কাজের উদাহরণ তালিকাভুক্ত কর। [LOD1]
- Q.2 স্ট্যাটিক ঘর্ষণ এবং গতিশীল ঘর্ষণ তুলনা কর। [LOD1]
- Q.3 যদি একজন ভনিবল খেলোয়াড় একটি ভলিবলে 24 N বল প্রয়োগ করে (i)  $30^\circ$  (ii)  $45^\circ$  (iii)  $60^\circ$  কোণ তৈরি করে, এবং একটি বলের উপর করা কাজ সব ক্ষেত্রে 2500 J হয়, প্রতিটি ক্ষেত্রে বলের স্থানচ্যুতি দেখ। [LOD2]
- Q.4 অ্যানি প্রতিদিন গৃহস্থালি কাজে 2 ইউনিট বিদ্যুৎ সরবরাহ ব্যবহার করে এবং বিদ্যুৎ বোর্ড 1.25 টাকা চার্জ করে প্রতি কিলোওয়াটে; প্রতি মাসে ব্যয় হওয়া মোট শক্তি এবং সংশ্লিষ্ট বিদ্যুৎ বিলের পরিমাণ গণনা কর। [LOD2]
- Q.5 10 কেজি ভরের একটি সোনার বার অনুভূমিক থেকে  $45^\circ$  নততলে আছে। নততলে সোনার বারের ওজনের উপাদান বের কর যা নততলের সমান্তরাল। [LOD2]
- Q.6 এই দৃশ্যকল্পের জন্য করা কাজের সাথে সম্পর্কিত ফলাফলগুলি বিশ্লেষণ কর এবং আলোচনা কর: কব্জির ঘড়ির সুচূণগুলি এক ঘন্টার মধ্যে সরে যায়, বৃষ্টির ফোঁটা মাটিতে পড়ে, মাটি থেকে কিছু উচ্চতায় শক্ত দড়িতে হাঁটা। [LOD3]

### (B) বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন

- Q.1  $25 \text{ kWh} = \text{_____ joules}$  [LOD 2]  
 [A] 25                   [B]  $90 \times 10^6$                    [C]  $40 \times 10^{-19}$                    [D]  $25 \times 10^7$
- Q.2 একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমের শক্তি সর্বদা সংরক্ষিত থাকে। [LOD1]  
 [A] সত্য                   [B] মিথ্যা
- Q.3 একটি অবাধে পতিত স্কাইডাইভার অভিজ্ঞতা  $\text{_____}$  ঘর্ষণ কারণে বায়ু টান [LOD2]  
 [A] স্থির                   [B] ঝাইড়ি                   [C] রোলিং                   [D] তরল
- Q.4 নিচের কোন পরিস্থিতিতে কম কাজ করতে হবে? [LOD3]  
 [A]  $20^\circ$  এর প্রবণতাযুক্ত একটি নততল থেকে একটি পাথর নিচের দিকে গড়াচ্ছে  
 [B] টার-রোডের মতো অনুভূমিক পৃষ্ঠে একটি পাথর গড়াচ্ছে।

[C] 20°এর প্রবণতা সম্বলিত একটি নততলে একটি পাথর উপরের দিকে ঘুরানো

[D] একটি পালিশ মার্বেল পৃষ্ঠের উপর একটি পাথর ঘূর্ণায়মান।

Q.5 মাটির 500 মিটার উচ্চতায় উত্থাপিত ভর 'm' এর একটি বস্তু মাটি থেকে 500 মিটার উঁচু হওয়ার চেয়ে বেশি স্থির শক্তি ধারণ করে। [LOD2]

[A] সত্য [B] মিথ্যা

Q.6 উইন্ডমিলস \_\_\_\_\_ শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তর করে। [LOD1]

[A] স্থির [B] রাসায়নিক [C] গতিশক্তি [D] সৌর

(A) বিষয়গত প্রশ্নের উত্তর:

A3. 20.2 মি, 147.31 মি, 208.33 মি

A4. এক মাসে মোট শক্তি = 160 ইউনিট এবং বিদ্যুৎ বিল 200 টাকা।

A5. 69.3 N

(B) উদ্দেশ্যমূলক প্রশ্নের উত্তর:

A1. B ( $\because 1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ )

A2. A (সত্য)

A3. D (তরল ঘর্ষণ)

A4. D (একটি পালিশ মার্বেল পৃষ্ঠে একটি পাথর গড়িয়ে দেওয়া)

A5. B (মিথ্যা)

A6. সি (গতিশক্তি)

## ব্যবহারিক

1. একটি অনুভূমিক বোর্ড ব্যবহার করে কাঠ এবং কাচের মধ্যে ঘর্ষণ গুণাঙ্ক নির্ধারণ করা।

**ব্যবহারিক গুরুত্ব**

দুটি পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণকে সীমাবদ্ধ করার গুণক হল স্থির ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান যখন স্থির থেকে বস্তুটি সরে যাচ্ছে। যদি এর মান বড় হয়, তবে বস্তুকে সরানোর জন্য প্রয়োজনীয় বল বেশি দরকার হবে। যে কোনো দুটি অপরিশোধিত অনুভূমিক পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণের এই গুণাঙ্ক সাধারণ পরীক্ষামূলক সংস্থাপন ব্যবহার করে নির্ধারণ করা যেতে পারে।

**প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব**

**সূত্র:**

যেখানে,  $f_{\text{limiting}} = \text{সীমিত ঘর্ষণ বল}; m_{\text{limiting}} = \text{সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক এবং } N = \text{লম্ব বল}$

### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

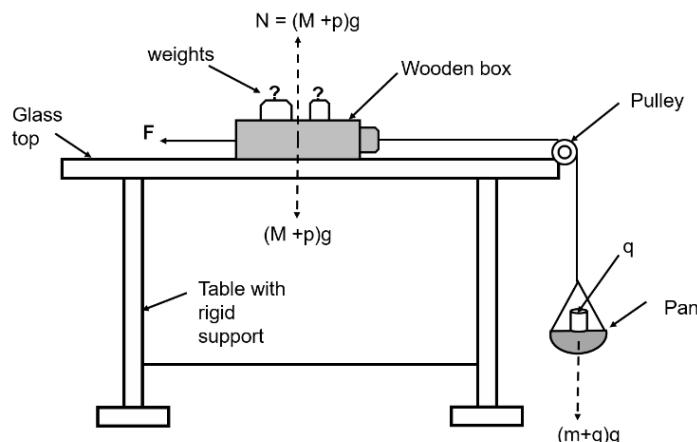
এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত ব্যবহারিক ফলাফল:

**PRO1:** কাঠের ব্লকটি ভর দিয়ে বা ছাড়া চলতে শুরু করলে তাত্ক্ষণিকভাবে পরীক্ষা এবং সুনির্দিষ্ট পরিমাপ স্থাপনের দক্ষতা অর্জন;

**PRO2:** সীমান্ত ঘর্ষণের বর্ণনা এবং একটি অনুভূমিক বোর্ড ব্যবহার করে কাচ এবং কাঠের মধ্যে ঘর্ষণ সীমিত করার সহগ নির্ণয়;

**PRO3:** সঙ্গবন্ধভাবে বা পৃথকভাবে সঠিক সতর্কতা সহ প্রয়োজনীয় সরঞ্জামগুলি পরিচালনা।

ব্যবহারিক সংস্থাপন (অক্ষন।স্কেচ।বর্তনী চিত্র।কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 3.6: সীমিত ঘর্ষণ গুণাঙ্ক নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা

### প্রয়োজনীয় সম্পদ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত প্রয়োজনীয় সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন / টুলস/ ইলেক্ট্রুমেটের বিস্তৃত প্রয়োজনীয় স্পেসিফিকেশন (ছাত্র দ্বারা পূরণ করতে হবে)	মন্তব্য (যদি থাকে)
1	হক সহ একটি কাঠের ব্লক	1	স্থাপন করা	বিস্তারিত
2	একটি লাইস বা স্টেরিত (laminated) টেবিল বা বোর্ড শীর্ষ (top) সহ একটি অনুভূমিক সমতল টেবিল (টেবিল শীর্ষকে একটি অনুভূমিক সমতল হিসাবে ব্যবহার করা যেতে পারে)	1		
3	একটি ঘর্ষণহীন পুলি যাকে অনুভূমিক টেবিলের সমতলের প্রাপ্তে স্থির করা যায়	5		
4	স্পিরিট লেভেল	1		

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত প্রয়োজনীয় সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রক্রিয়া সম্পদের জন্য মেশিন / টুলস/ ইন্সট্রুমেন্টের বিস্তৃত প্রয়োজনীয় স্পেসিফিকেশন (ছাত্র দ্বারা পূরণ করতে হবে)	মন্তব্য (যদি থাকে)
5	একটি স্কেল	1		
6	প্যান	1		
7	থ্রেড বা স্ট্রিং	1		
8	স্প্লিং দাঁড়িপাল্লা	1		
9	ওজন বাল্ক	1		
10	ভর বা ওজন 100 গ্রাম প্রতিটি	5		

### সতর্কতা

- বোর্ডের অনুভূমিক পৃষ্ঠ অবশ্যই ধুলামুক্ত রাখতে হবে।
- সংযোগকারী থ্রেড বা একটি স্ট্রিং অনুভূমিক রাখো। থ্রেডটি অবশ্যই পাতলা, হালকা, শক্তিশালী, অপ্রচলিত এবং আনস্পান হতে হবে।
- সঠিকভাবে তেল দিয়ে পুলির ঘর্ষণ বজায় রাখো।
- গ্লাস টপ (বা টেবিল টপ) আলতো করে চাপো।
- সবসময় কাঠের ব্লকের কেন্দ্রে ভর রাখো।
- অনুভূমিক সমতল পৃষ্ঠ (যেমন, কাচের শীর্ষ) এবং চলন্ত বস্তু শুক্র রাখা আবশ্যিক।
- ব্লকের আকার এবং ভর সঠিকভাবে নির্বাচন করা উচিত।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- স্প্লিং দাঁড়িপাল্লা ব্যবহার করে, প্রদত্ত কাঠের ব্লকের ভর (M) হক এবং স্কেল প্যান (m) সহ পরিমাপ করো।
- একটি অনুভূমিক বোর্ডে গ্লাস রাখো। বোর্ডের পৃষ্ঠাটি অনুভূমিক কিনা তা নিশ্চিত করার জন্য স্পিরিট লেভেল ব্যবহার করো। বোর্ড পৃষ্ঠ পরিষ্কার এবং শুক্র হতে হবে।
- এখন, বোর্ড-টপের এক প্রান্তে ঘর্ষণবিহীন পুলি ঠিক করো যেমনটি ছবিতে দেখানো হয়েছে।
- স্ট্রিং-এর একটি প্রান্ত একটি স্কেল প্যানের সাথে এবং অন্য প্রান্তটি কাঠের ব্লকের হকের সাথে বেঁধে দাও।
- স্কেল প্যানে কিছু ভর (q) রাখো। আঙুল দিয়ে আলতো করে গ্লাসে টোকা দাও এবং কাঠের ব্লকটি নড়তে শুরু করে কিনা তা পরীক্ষা করো।
- ধীরে ধীরে স্কেল প্যানে ভর (q) বৃদ্ধি করো যতক্ষণ না কাঠের ব্লকটি কাচের উপরের অংশে আলতো করে চাপ দেওয়া শুরু করো। স্কেল প্যানে রাখা মোট ভর লক্ষ্য করো।

## 80 | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

8. কাঠের ব্লকের মাঝখানে কিছু জ্বাত ভর (p) রাখো এবং স্কেল প্যানে ভর (q) সামঞ্জস্য করো যাতে ভর p সহ কাঠের ব্লকটি কাচের উপরের অংশে আলতো ঢাপ দিয়ে ছাইড করা শুরু করো। P এবং q এর মান লক্ষ্য করো।
9. p এর আরও পাঁচটি মানের জন্য পরীক্ষা পুনরাবৃত্তি করো এবং q এর সংশ্লিষ্ট মানগুলির সারণী করো।
10. সীমাস্থ ঘর্ষণ বল ( $f_{limiting}$ ) Y-অক্ষ বরাবর বনাম লম্ব বল ‘N’ কে X-অক্ষ বরাবর বসিয়ে একটি গ্রাফ প্লট করো এবং সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক গণনা করো।

**পর্যবেক্ষণ এবং গণনা:**

1. স্কেল প্যানের ভর, (m) = \_\_\_\_\_ g
2. কাঠের ব্লকের ভর (M) = \_\_\_\_\_ g
3. পরীক্ষার স্থানে মাধ্যাকর্ষণ এর কারণে ত্বরণ (g) = \_\_\_\_\_ m/s<sup>2</sup>

**পর্যবেক্ষণ টেবিল**

ক্রমিক নং	কাঠের ব্লকে ভর (p) (kg)		ভরের কারণে লম্ব বল ‘N’ = (M + p)		প্যানে ভর (q) (gm)	সীমাস্থ ঘর্ষণ বল $f_{limiting} = (m + q)$ (newton)	সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক $m_{limiting} =$	গড় $limiting = \frac{f_{limiting}}{N}$
	(gm)	(kg)	(newton)	(g)				
1								
2								

**হিসাব:**

তত্ত্ব থেকে: p এবং q ভরগুলির বিভিন্ন সংমিশ্রণের জন্য কাচ এবং কাঠের পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণ সীমিত করার সহগ গণনা করো এবং তারপরে তাদের গড় নাও।

**ফলাফল এবং/ অথবা ব্যাখ্যা**

সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্কের মান, কাঠের ব্লকের পৃষ্ঠ এবং কাচের শীর্ষের মধ্যে  $f_{limiting}$ :

1. তত্ত্ব (বা গণনা) থেকে = \_\_\_\_\_
2. গ্রাফ থেকে = \_\_\_\_\_

**উপসংহার এবং/ অথবা বৈধতা**

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

.....

.....

**ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন**

(উন্নরের জন্য আলাদা পত্র ব্যবহার করো)

1. কেন দুটি পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণ কখনও শূন্য হতে পারে না?

2. এই পরীক্ষায় অপরিশেষিত পৃষ্ঠ ব্যবহারের উদ্দেশ্য কি?
3. ঘর্ষণ বল ব্যবহার করা হয় যেখানে তেমন অ্যাপ্লিকেশন তালিকা তৈয়ারি কর।
4. স্ট্যাটিক ঘর্ষণ এবং গতি ঘর্ষণের মধ্যে পার্থক্য কি?
5. যদি আমরা দুটি পৃষ্ঠের মধ্যে সীমিত ঘর্ষণ অধ্যয়ন করার জন্য গোলাকার বস্তু নির্বাচন করি তাহলে কি হবে?

#### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিচিপ্ত হওয়া বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ করো:

বর্জ্যের ধরন		বিস্তারিত
জীবাণুবিয়োজ্য (বায়োডিগ্রেডেবল) বর্জ্য	সবুজ বিন	কোনটিই নয়
ই-বর্জ্য	কালো বিন	কোনটিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ্য	নীল বিন	কোনটিই নয়
অন্য কিছু		কোনটিই নয়

পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুনঃব্যবহার, হ্রাস এবং পুনর্ব্যবহার

এই ব্যবহারিক যন্ত্রপাতিগুলি পর্যাপ্ত দীর্ঘ সময়ের জন্য পুনর্ব্যবহারযোগ্য যদি সেগুলি যত্ন সহকারে পরিচালিত হয়

#### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত কর্মক্ষমতা সূচকগুলি প্রক্রিয়া এবং গুণফলসম্পর্কিত চিহ্নগুলির মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক	ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)	60%	
1 যত্নের হ্যান্ডলিং	20%	
2 তাৎক্ষণিক রেকর্ড করা যখন কাঠের খুক ভর দিয়ে বা ছাঢ়া চলতে শুরু করে	20%	
3 ঘর্ষণ সীমিত করার সহগ নির্ণয় করা	20%	
উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)	40%	
4 পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
5 সূত্র এবং গ্রাফ ব্যবহার করে ঘর্ষণ সীমিত করার সহগের গণনা	10%	
6 ফলাফল এবং উপসংহারের ব্যাখ্যা	10%	

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
7	পরীক্ষা সংক্রান্ত প্রশ্ন	10%	
	মোট	100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেণ্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক্স		তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

## 2. ব্যবহারিক বিবৃতি: যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের নীতি যাচাই করা (PE থেকে KE)

### ব্যবহারিক গুরুত্ব

একটি সিস্টেমের মোট যান্ত্রিক শক্তি সর্বদা সংরক্ষিত থাকে যার অর্থ শক্তি তৈরি করা যায় না বা ধ্বনি করা যায় না। এটি অভ্যন্তরীণভাবে এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হতে পারে। এই সহজ পরীক্ষা যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের এই নীতি যাচাই করে। স্টিল বলের স্থির শক্তি তার গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

তত্ত্বের জন্য ভিতর দেখো

### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

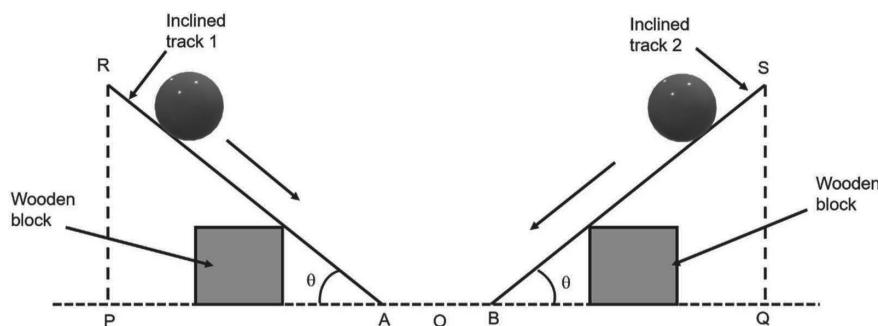
ব্যবহারিক ফলাফল এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত:

PRO1: রোলিং স্টিলের বলের অবস্থান ছিহের পরীক্ষা এবং সুনির্দিষ্ট পরিমাপ স্থাপনের দক্ষতা অর্জন

PRO2: মোট যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের নিয়ম বর্ণনা এবং যাচাই

PRO3: একটি গ্রুপে বা পৃথকভাবে সঠিক সর্তর্কতা সহ প্রয়োজনীয় সরঞ্জামগুলি পরিচালনা

### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন।ক্ষেচ।সার্কিট ডায়াগ্রাম।কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 3.7: ডাবল ইনক্লিনেড প্লেন এবং গোলাকার স্টিলের বল ব্যবহার করে যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের

### নীতি যাচাই করার জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত প্রয়োজনীয় সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন / টুলস/ ইলেক্ট্রনিকেসের বিস্তৃত প্রয়োজনীয় স্পেসিফিকেশন (ছাত্র দ্বারা প্ররূপ করতে হবে)	মন্তব্য (যদি থাকে)
1	একই মাত্রার একটি ডবল ট্র্যাক	1	স্থাপন করা	বিস্তারিত
2	10 cm ব্যাসের একটি ইস্পাত বল	1		
3	কাঠের ব্লক (দৈর্ঘ্য 2.5 সেমি)	2		
4	ওজন 1 কেজি	2		
5	স্টগওয়াচ	1		
6	ওলনদড়ি	1		
7	মিটার স্কেল	1		

### সতর্কতা

- স্টিলের বল এবং ঝুঁকে থাকা ট্র্যাকগুলি সম্পূর্ণ পরিষ্কার হতে হবে। ট্র্যাকগুলি পরিষ্কার করতে বেনজিনে আর্দ্র করা তুলো ব্যবহার করো।
- প্লেনগুলিকে একটি কোণে দাও যাতে তারা স্থির থাকে, যখন স্টিলের বল তাদের উপর রোল করে। উভয় ট্র্যাক একই উল্লম্ব সমতল হওয়া উচিত।
- ট্র্যাক বরাবর স্টিলের বল দ্বারা সরানো দূরত্বের তুলনায় দুটি ঝুঁকানো প্লেনের মধ্যে প্রস্থ খুবই ছোট হওয়া উচিত।
- ইস্পাত বলটি আলতো করে ট্র্যাকের উপর ছেড়ে দাও।
- অবিগম্ভে এবং সঠিকভাবে ঝুঁকে থাকা প্লেনে বলের চরম অবস্থান লক্ষ্য করো।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- একটি পরীক্ষাগার টেবিলের পর্যাপ্ত বড় অনুভূমিক পৃষ্ঠ লও। প্রয়োজনে স্প্রিট লেভেল ব্যবহার করে পৃষ্ঠের স্তর পরিমাপ করো।
- চিত্রে দেখানো টেবিলে ডাবল ইনকাইন্ড ট্র্যাক সাজাও এবং নিশ্চিত করো যে তারা স্থিতিশীল। পরীক্ষার সময় তাদের ডানাগুলিতে ওজন স্থিতিশীল রাখতে ব্যবহার করো।
- প্রতিটি ট্র্যাকের নিচে কাঠের ব্লক রাখো যাতে উভয় ট্র্যাক কোন কোণে ঝুঁকে থাকে।
- প্রতিটি ট্র্যাকের নিচে কাঠের ব্লকটি ঝুঁকে পড়ে। উভয় ট্র্যাক একই কোণে ঝুঁকে নাও থাকতে পারে।
- এখন, স্টিলের বলটি লও এবং এটিকে 'R' তে ঝুঁকানো ট্র্যাক 1 এ রাখো এবং আলতো করে ছেড়ে দাও।
- যখন স্টিলের বলটি উচ্চতর বিন্দু 'S' তে ঝুঁকে ট্র্যাক 2 এ পৌঁছায়, তখন সেই অবস্থানটি লক্ষ্য করো।
- একটি প্লাষ লাইন এবং একটি মিটার স্কেল ব্যবহার করে উল্লম্ব উচ্চতা 'PR' এবং 'QS' পরিমাপ করো।

## 84 | ফলিত পদার্থবিদ্যা-I (ল্যাব ম্যানুয়াল সহ)

8. ট্র্যাক 1 এর প্রবণতা কোণ পরিবর্তন করে 'R' এর অবস্থান পরিবর্তন করো এবং 5, 6, 7 পুনরাবৃত্তি করো।
9. সমস্ত পর্যবেক্ষণ রেকর্ড করো।

পর্যবেক্ষণ এবং গণনা:

পর্যবেক্ষণ

1. স্টপওয়াচের সময় গণনা = \_\_\_ সেকেন্ড
2. ইস্পাত বলের ব্যাস, D = \_\_\_ সেমি

ক্রমিক সংখ্যা	নত ট্র্যাকের উপরের প্রান্ত থেকে চিহ্নের অবস্থান		উল্লম্ব উচ্চতা		পার্থক্য (PR - QS) = ( $h_1 - h_2$ ) (cm)
	R ট্র্যাক 1 উপর (in cm) ট্র্যাক 1 এ R (cm)	S ট্র্যাক 2 উপর (in cm) ট্র্যাক 2 এ S (cm)	PR ( $h_1$ ) (cm)	QS ( $h_2$ ) (cm)	
1					
2					
3					

হিসাব:

পার্থক্য ( $h_1 - h_2$ ) = \_\_\_ প্রতিটি পর্যবেক্ষণের জন্য।

ফলাফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা

পার্থক্য ( $h_1 - h_2$ ) = \_\_\_

উপসংহার এবং অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

(উত্তরের জন্য আলাদা পত্রক ব্যবহার করো)

1. এই পরীক্ষার ফলাফলের ব্যাখ্যা কি?
2. শক্তি সংরক্ষণের নীতি যাচাই করার জন্য একটি বিকল্প পদ্ধতি প্রস্তাব করো।
3. শক্তি সংরক্ষণের উদাহরণগুলি তালিকাভুক্ত করো।
4. উক্তিটি ব্যাখ্যা কর: শক্তি সৃষ্টি হয় না ধ্বংস হয় না।
5. শক্তি পরিমাপের জন্য বিভিন্ন ইউনিট দাও।

### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিচিপ্ত হওয়া বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ কর :

বর্জ্যের ধরন		বিস্তারিত
বায়োডিপ্রেডেবল বর্জ্য	সবুজ বিন	কোনটিই নয়
ই-বর্জ্য	কালো বিন	কোনটিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ্য	নীল বিন	কোনটিই নয়
অন্য কিছু		কোনটিই নয়

পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুনর্ব্যবহার, ত্বাস এবং পুনর্ব্যবহার

এই ব্যবহারিক যন্ত্রপাতি পর্যাপ্ত সময় ধরে পুনরায় ব্যবহারযোগ্য যদি এটি যত্ন সহকারে পরিচালিত হয়।

### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক	ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)	60%	
1 যন্ত্রপাতি পরিচালনা	20%	
2 অবস্থান চিহ্ন সঠিকভাবে রেকর্ড করা	20%	
3 শক্তি সংরক্ষণের নীতি যাচাই করা	20%	
উৎপাদিত বন্ধু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)	40%	
4 পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
5 উল্লম্ব উচ্চতার গণনা এবং রোলিং স্টিলের বলের জন্য এর পার্থক্য	10%	
6 ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7 ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
মোট	100%	

\* প্রোটাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....: প্রাপ্তি মাঝ্		তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

### আরো জ্ঞাতব্য

ওয়ার্ক-এনার্জি থিওরেম: এটি সেই উপপাদ্য যা করা কাজ এবং ব্যয় করা শক্তির মধ্যে সম্পর্ক দেখায়। এই উপপাদ্যটি বলে যে বস্তুর উপর করা নিট কাজ বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তনের সমান। এটি গাণিতিকভাবে উপস্থাপন করা যেতে পারে:

$$K_{final} - K_{init} = W$$

কর্ম-শক্তির উপপাদ্য শক্তির সংরক্ষণ নির্দেশ করে যার মতে আমরা কেবলমাত্র এক রূপ থেকে অন্য রূপে শক্তি স্থানান্তর করতে পারি।

প্রকল্প / কার্যক্রম :

1. 10 টি শারীরিক ক্রিয়াকলাপের একটি তালিকা তৈরি কর এবং কোন কার্যকলাপের কাজ ইতিবাচক, নেতিবাচক বা শূন্য তা বের কর।
2. ঘর্ষণ এবং তার কাজ পরিমাপ করতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি বের কর। প্রতিবেদন বা উপস্থাপনার আকারে ফলাফলগুলি উপস্থাপন কর।
3. রক্ষক, 5 টাকার কয়েন এবং বই লাগবে। মুদ্রার সমতল অংশটি বইয়ের উপর রাখ এবং বইটিকে এমন একটি কোণে কাত কর যেখানে মুদ্রাটি চলতে শুরু করে। প্রবণতার কোণ পরিমাপ কর এবং গতিশক্তি ঘর্ষণ সহ-দক্ষ বের কর।

### তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং

#### রেফারেন্স

1. H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
2. J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
3. M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2019.
5. E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
6. Beiser, Schaum's Outline Of Applied Physics, 4<sup>th</sup> Edition, Mc-Graw-Hill, 2009.
7. Beiser, Schaum's Easy Outline Of Applied Physics, Revised Edition, McGraw-Hill, 2011.
8. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>

9. OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MeitY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
10. Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/>
11. <https://www.khanacademy.org/>

#### **ব্যবহারিক জ্ঞয় প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ**

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
3. <https://www.learnncbse.in/to-study-the-conservation-of-energy-of-a-ball-rolling-down-on-an-inclined-plane/>



# 4

## ঘূর্ণন গতি

### ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদাথবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করেছে :

- উদাহরণ সহ চলন এবং ঘূর্ণন গতি
- উদাহরণ সহ টর্ক এবং কৌণিক ভরবেগের ধারণা
- কৌণিক ভরবেগ এবং এর প্রয়োগ সংরক্ষণ
- জড়তা আমক এবং তার তাৎপর্য এবং একটি অনমনীয় বস্তুর জন্য চক্রগতির ব্যাসার্ধ
- সমান্তরাল এবং লম্ব অক্ষের উপপাদ
- রড, ডিস্ক, রিং এবং গোলকের জড়তা আমক (ফাঁপা এবং কঠিন)

### যুক্তি

গতি চলন, ঘূর্ণন এবং কম্পন তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত। চলন এবং ঘূর্ণন গতির বর্ণনা উদাহরণ, টর্ক এবং কৌণিক ভরবেগ দিয়ে দেওয়া হয়েছে এবং তাদের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করা হয়েছে। কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের ধারণা এবং এর ব্যবহার বর্ণনা করা হয়েছে। জড়তা আমক এবং এর গুরুত্ব আলোচনা করা হয়েছে। জড়তা আমকের উপপাদ্যগুলির বিবৃতি এবং কিছু বস্তুর M.I এর সূত্রগুলি ও এই পাঠ্যে দেওয়া আছে।

### পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- পদাথবিজ্ঞান: বল এবং গতির মূল বিষয়
- গণিত: ভেস্টের বীজগণিত এবং রৈখিক বীজগণিতের মূল বিষয়
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

### ইউনিট আউটকাম

U4-O1: চলন এবং ঘূর্ণন গতি সনাক্ত; জড়তা আমককে টর্ক এবং কৌণিক ভরবেগের সাথে সম্পর্ক; কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ প্রয়োগ; বিভিন্ন বস্তুর M.I ব্যবহার এবং জড়তা আমকের উপপাদ্যগুলি বর্ণনা।

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং :

ইউনিট-4 ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং (1-দুর্বল পারম্পরিক সম্পর্ক, 2-মাঝারি সম্পর্ক, 3-শক্তিশালী পারম্পরিক সম্পর্ক)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
<b>U4-O1</b>	2	2	-	3	-	-

## 4.1 ঘূর্ণন গতি

### মজার ঘটনা

একটি স্কেটার প্রসারিত বা একটি পায়ে টান দেয় তার ঘূর্ণনশীল জড়তা পরিবর্তিত হয় কিন্তু চলনমূলক গতিতে, এই ধরনের কোন প্রভাব নেই। স্পিনিং টপ বা জাইরোস্কোপে প্রয়োগ করা টর্ক দ্বারা কৌণিক ভরবেগ পরিবর্তন কৌণিক ভরবেগ ভেক্টরের দিক বরাবর নয় কিন্তু এটি ভিন্ন দিকে হবে। ঘূর্ণন গতিতে, টর্কে চলনমূলক গতিতে একটি শক্তির মতো ভূমিকা পালন করে।

#### 4.1.1 উদাহরণসহ চলন এবং ঘূর্ণন গতি

##### A চলন গতি

বস্তুর গতি হল বিশুদ্ধ চলনমূলক যদি বস্তুর সমস্ত কণার গতিবেগ গতির যেকোন মুহূর্তে একই হয়। এই ধরনের গতির সময়, সমস্ত কণার একই স্থানাঞ্চলি হয় ( বেগ এবং তাত্ক্ষণিকভাবে ত্বরণ)। উদাহরণ: একটি সরল রেখা বরাবর একটি গাড়ির গতি, ট্র্যাকের উপর একটি ট্রেনের গতি, এক ব্যক্তি রাস্তায় হাঁটছে, একটি উড়ন্ত আকাশে পাখি।

##### চলন গতি তিনটি প্রকার

১. **রৈখিক বা এক মাত্রিক গতি (1D):** যখন একটি বস্তু একটি সরলরেখা বরাবর চলতে থাকে তখন তার গতিকে রৈখিক গতি বলে। উদাহরণ: অবাধে বস্তু পড়া, সোজা রাস্তায় বাস চালানো।
২. **দ্বিমাত্রিক গতি (2D):** যখন একটি বস্তু সমতলে চলাচল করে তখন দুটি সমন্বয় পরিবর্তন হয় ( $x, y$ ) অথবা ( $y, z$ ) অথবা ( $z, x$ )। উদাহরণ : জিগ-জ্যাগ রাস্তায় গাড়ির গতি, প্রজেক্টাইল গতি।
৩. **ত্রিমাত্রিক গতি (3D):** যখন একটি বস্তু আকাশে নড়াচড়া করে তখন তিনটি স্থানাঙ্ক সেই গতি পরিবর্তন করে তাকে ত্রিমাত্রিক গতি বলে। উদাহরণ: উড়ন্ত পাখি, ঘূড়ি, আকাশে বিমান।

একটি সিস্টেমের ভর  $m_1, m_2, \dots, m_n$  এর  $n$ -কণা আছে। বস্তু বিশুদ্ধ চলন গতিতে চলছে। এভাবে,

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \vec{a}_3 = \dots = \vec{a}_n = \vec{a}$$

এবং  $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = \vec{v}_3 = \dots = \vec{v}_n = \vec{v}$

নিউটনের গতির সূত্র দ্বারা

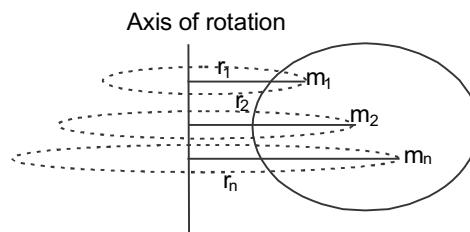
$$\vec{F}_{\text{net}} = m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + \dots = M \vec{a} \quad (M \text{ হল } \text{বস্তুর মোট ভর})$$

রৈখিক ভরবেগ,  $\vec{p} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots = M \vec{v}$

$$\text{বস্তুর গতিশক্তি, } K.E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \dots + \frac{1}{2} M v^2$$

### B. বিশুদ্ধ ঘূর্ণন গতি

একটি দৃঢ় বস্তু একটি নির্দিষ্ট অক্ষ সাপেক্ষে ঘূরতে দাও; সেই রেখাটিকে ঘূর্ণনের অক্ষ বলা হয় (চিত্র 4.1)। বস্তুর প্রতিটি বিন্দু একটি বৃত্তে চলে যার কেন্দ্র অক্ষের উপর অবস্থিত বিন্দু এবং নির্দিষ্ট কোণে চলে। এই ধরনের গতি বিশুদ্ধ ঘূর্ণন গতি বলে পরিচিত (যেহেতু বস্তু অনমনীয়)।



চিত্র 4.1: ঘূর্ণন গতি

#### ঘূর্ণনশীল গতির উদাহরণ:

- একটি সিলিং ফ্যানে, তার লেড এবং বডি কভারিং মোটরের প্রতিটি বিন্দু বৃত্তে ঘোরে এবং এই সমস্ত বৃত্তের কেন্দ্র বস্তুর কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে একটি উল্লম্ব রেখার উপর অবস্থিত ঘূর্ণনের অক্ষ।
- যখন আমরা দরজা খুলি বা বন্ধ করি দরজার প্রতিটি বিন্দু একটি বৃত্ত এবং এর কেন্দ্র চিহ্নিত করে বৃত্তগুলি একটি উল্লম্ব লাইনের উপর অবস্থিত যা দরজার কজ্জা দিয়ে যায়। সেই রেখার অক্ষ ঘূর্ণন পৃথিবীর অক্ষের উপর পৃথিবীর আবর্তন।
- পৃথিবীর অক্ষের উপর পৃথিবীর আবর্তন।
- যানবাহনে চাকার গতি।
- একটি ঘড়ির মিনিট এবং ঘন্টা গতি।

**কৌণিক স্থানচ্যুতি:** কণা দ্বারা চিহ্নিত কোণকে কৌণিক স্থানচ্যুতি বলে।

$$\theta = \frac{\text{arc}}{\text{radius}} \text{ বা } s = r\theta$$

**কৌণিক বেগ:** সময়ের সাথে সাথে কৌণিক অবস্থানে পরিবর্তনকে কৌণিক বেগ বলে।

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

**কৌণিক ত্বরণ:** কৌণিক বেগ পরিবর্তনের হারকে কৌণিক ত্বরণ বলে।

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

#### 4.1.2 টর্ক এবং কৌণিক গতিবেগের সংজ্ঞা

এটি বল এবং ঘূর্ণনের অক্ষ থেকে বলের লম্ব দূরত্ব এর গুণফল। একটি বলকে ( $\vec{F}$ ) একটি অনমনীয় বস্তুর P বিন্দুতে কাজ করতে দেওয়া হলো এবং এটি ঘূর্ণন অক্ষ উৎপন্নি O এর মধ্য দিয়ে যায়;  $\vec{r}$  হলো P বিন্দুর অবস্থান ভেক্টর (চিত্র 4.2)। বল দ্বারা টর্কের কারণে বস্তুর ঘূর্ণন,



Simulation  
on rotational  
motion

টক =  $F \times OM$  উৎপন্নি O থেকে একটি বলের ক্রিয়া রেখার উপর লম্ব আঁকা (ঘূর্ণন অক্ষ থেকে একটি বল রেখার লম্ব দূরত্ব)

ত্রিভুজ OMP তে,  $\sin\theta = (OM / OP)$  অথবা,  $OM = OP\sin\theta$  বা  $OM = r\sin\theta$

=  $F(OM)$  ( $OM$  কে লিভার আর্ম বা মোমেন্ট আর্ম অফ টক বলা হয়)

সুতরাং, টকের সমীকরণ  $\tau = r \cdot F \cdot \sin\theta$

টক এর ভেষ্টর ফর্ম  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

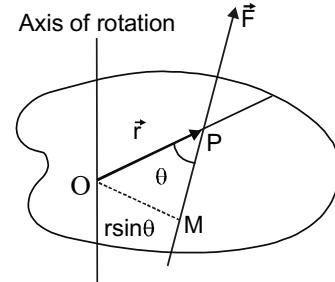
টকের S.I ইউনিট হল N-m এবং মাত্রা  $ML^2T^{-2}$

টককে বলের মুহূর্তও বলা হয়। তান হাতের থাম্ব কল দ্বারা প্রদত্ত টকের দিকনির্দেশনা হয়।

কেস (1) যদি  $\theta = 0^\circ$  বা  $180^\circ$  এভাবে,  $\sin\theta = 0$

$\therefore \tau = 0$ ; বলের ক্রিয়ার লাইন উৎপন্নির মধ্য দিয়ে যায়।

কেস (2) যদি  $\theta = 90^\circ$  হয়,  $\sin 90^\circ = 1$ ;  $\tau = rF$



চিত্র 4.2: টক

#### উদাহরণ:

- টেকিকল (See-saw) টকের একটি উদাহরণ। এক ব্যক্তি টেকিকলের এক প্রান্তে বসে আছে এবং অন্য প্রান্তে আরেকজন বসে আছে, যা অন্যটির চেয়ে ভারী। ভারী ব্যক্তি পিভটের কাছাকাছি বসে তাদের টক কমিয়ে দেয় কারণ বাহর দৈর্ঘ্য হালকা ব্যক্তির চেয়ে ছোট হবে। ভারী ব্যক্তির ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের সাথে, একটি হালকা ব্যক্তিকে ভারী জিনিস তুলতে দেওয়ার জন্য টকটি ছোট।
- জল পাম্পের একটি দীর্ঘ হ্যান্ডেল কাজ সম্পন্ন করার জন্য মানুষের দ্বারা প্রয়োগ করা বলের পরিমাণ হ্রাস করে। বাহু বড় হলে কম বলের প্রয়োজন হয়,  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

#### B. কোণিক ভরবেগ এবং এর উদাহরণ

এটি রৈখিক ভরবেগ এবং ঘূর্ণন অক্ষ থেকে রৈখিক ভরবেগের লম্ব দূরত্বের পণ্য হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়। একটি অনমনীয় বস্তুর বিন্দু P তে রৈখিক গতি প্রয়োগ করা যাক এবং বিন্দু P এর অবস্থান ভেষ্টরটি উৎপন্নি O থেকে দেখানো হয়েছে (চিত্র 4.3)। O সাপেক্ষে কণার কোণিক ভরবেগ,  $L = p(OM)$

( $OM$  উৎপন্নি O থেকে রৈখিক ভরবেগের ক্রিয়ার রেখা পর্যন্ত টানা লম্ব)

$\Delta OMP$  এ,  $\sin\theta = OM / OP$  অথবা  $OM = OP \sin\theta$  বা  $OM = r \sin\theta$

$L = p(r \sin\theta) = mv r \sin\theta$  (রৈখিক ভরবেগ  $p = mv$ )

কোণিক ভরবেগের ভেষ্টর রূপটি  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

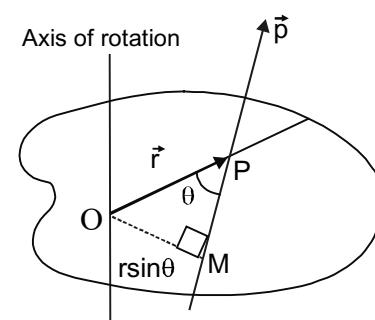
তান হাতের থাম্ব নিয়ম দ্বারা  $\vec{L}$  নির্দেশ দেওয়া হয়।

কোণিক ভরবেগের S.I একক হল  $k\text{gm}^2\text{s}^{-1}$  বা  $\text{J-s}$ ,

এবং এর মাত্রিক সূত্র হল  $ML^2T^{-1}$

কেস 1. যদি  $\theta = 0^\circ$   $\sin\theta = 0$  অথবা  $\vec{L} = 0$

কেস 2. যদি  $\theta = 90^\circ$  এভাবে  $\sin 90 = 1$  অথবা  $\vec{L} = mvr$



চিত্র 4.3: কোণিক ভরবেগ

**উদাহরণ:**

1. সূর্যের ঘূর্ণনের কারণে পৃথিবীর কক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ
2. পৃথিবীর অক্ষের দৈনন্দিন ঘূর্ণনের কারণে পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগ
3. তার অক্ষ সাপেক্ষে একটি ঘূর্ণন চেয়ারের ঘোরান কৌণিক ভরবেগ

#### 4.1.3 জড়তা আমক

##### (a) কণার জড়তা আমক

একটি কণার জড়তা আমক = ভরের গুণফল × ঘূর্ণন অক্ষ থেকে কণার দূরত্বের বর্গ।

$$I = mr^2$$

যদি একটি বস্তুতে  $n$ - কণা থাকে (চিত্র 4.4) তাহলে বস্তুর জড়তা আমক,

$$I = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots + m_nr_n^2 = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

এখানে,  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  হল ভর এবং

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  হল যথাক্রমে ঘূর্ণনের অক্ষ থেকে কণার দূরত্ব।

##### (b) M.I এর ভৌতিক তাৎপর্য

জড়তা আমক বস্তুর একটি ধর্ম যার কারণে এটি তার আবর্তনশীল গতির পরিবর্তনের বিরোধিতা করে। এটি চলনমূলক গতিতে ভর হিসাবে একই ভূমিকা পালন করে।

জড়তা আমক নির্ভর করে,

(1) বস্তুর ভর।

(2) ভর বিতরণ (বা ঘূর্ণনের অক্ষ থেকে কণার দূরত্ব)।

জড়তা আমকের S.I একক হল  $\text{kgm}^2$  এবং এর মাত্রিক সূত্র হল  $ML^2T^0$

##### (c) টর্ক এবং জড়তা আমকের সম্পর্ক

আমরা জানি যে টর্ক একটি বস্তুর উপর কাজ করে,  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

যদি বস্তুর অবস্থান ভেক্টর  $\vec{r}$  লম্ব হয়  $\vec{F}$  এর উপর, তখন  $\theta = 90^\circ$  বা  $\sin 90^\circ = 1$

$$\tau = rF \quad \dots(1)$$

ভর  $m$  এর একটি কণা  $r$  ব্যাসার্দের বৃত্তে ঘূর্ণন অক্ষের উপর ঘূর্ণিত হয়, তখন কণার উপর স্পর্শক বল

$$F = ma = mr\alpha \quad (a = r\alpha) \quad \dots(2)$$

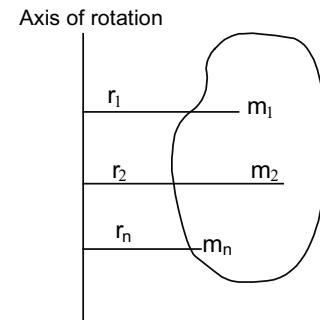
এখানে, স্পর্শক বল  $F = mra$

$$\tau = r(mr\alpha) = mr^2\alpha$$

যদি বস্তুর  $n$ -কণা থাকে তবে বস্তুর কণাগুলির উপর কাজ করা সমস্ত বলের কারণে টর্কের সংমিশ্রণ করে বস্তুর উপর নেট টর্ক পাওয়া যেতে পারে।

$$\tau_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \alpha = I\alpha$$

এখানে,  $I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$  ঘূর্ণন অক্ষ সাপেক্ষে বস্তুর জড়তা আমক এবং



চিত্র 4.4: জড়তা আমক

বস্তুর নেট টক্স

$$\vec{\tau}_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n \vec{\tau}_i + \vec{F}_1$$

**(d) কৌণিক ভরবেগ এবং জড়তা ভ্রামকের সম্পর্ক**

আমরা জানি যে একটি বস্তুর কৌণিক ভরবেগ,  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

যদি বস্তুর অবস্থান ভেক্টর  $\vec{r}$  লম্ব হয়  $\vec{p}$  এর উপর, তখন  $\theta = 90^\circ$  অথবা,  $\sin 90^\circ = 1$ , এইভাবে,  $L = rp$

ভর  $m$  এর একটি কণা  $r$  ব্যাসার্ধের বৃত্তে ঘূর্ণন অক্ষের উপর ঘূর্ণিত হয়, তখন কৌণিক ভরবেগ

$$L = rp = mvr = mr^2\omega \quad (\text{রৈখিক ভরবেগ } p = mv, v = r\omega)$$

যদি বস্তুর  $n$ -কণা থাকে, তাহলে বস্তুর সমস্ত কণার রৈখিক ভরবেগের কারণে সমস্ত কণার কৌণিক ভরবেগ যোগ করে বস্তুর মোট কৌণিক ভরবেগ পাওয়া যায়।

$$L_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \omega = I\omega \quad [I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2]$$

$$\text{মোট কৌণিক ভরবেগ } \vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{p}_i$$

#### 4.1.4 কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ এবং এর প্রয়োগ

**(a) কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ**

আমরা জানি যে একটি বস্তুর কৌণিক ভরবেগ,

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{p}_i$$

সময়ের সাথে কৌণিক ভরবেগের ( $\vec{L}$ ) অবকলন করে,

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{p}_i}{dt} = \sum_i^n \left[ \frac{d\vec{r}_i}{dt} \times \vec{p}_i + \vec{r}_i \times \frac{d\vec{p}_i}{dt} \right] = \sum_i^n \left[ \vec{v}_i \times m\vec{v}_i + \vec{r}_i \times \vec{F}_i \right] = \sum_i^n \left[ 0 + \vec{r}_i \times \vec{F}_i \right] = \sum_i^n \left[ \vec{r}_i \times \vec{F}_i \right] = \vec{\tau}_{\text{net}}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau}_{\text{net}}$$

$\vec{\tau}_{\text{net}}$  বস্তুর মোট বা নেট টক্স।

যদি  $\vec{\tau}_{\text{net}} = 0$  তবে,  $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$  এইভাবে,,  $L = I\omega = \text{ধ্রুবক}$

বা,  $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

যদি বস্তুর নেট বাহ্যিক টক্স শূন্য হয় (অথবা কোন টক্স প্রয়োগ করা না হয়) তাহলে বস্তুর মোট কৌণিক ভরবেগ স্থির থাকে।

এই ধারণাটিকে বলা হয় কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি।

**(b) কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের উদাহরণ**

1. **টার্নটেবিলের উদাহরণ:** যখন একজন ব্যক্তি প্রসারিত বাহু নিয়ে টার্নটেবিলের উপর দাঁড়িয়ে থাকে এবং প্রতিটি হাতে ওজন ধরে থাকে, টার্নটেবিলের নির্দিষ্ট কৌণিক ভরবেগের সাথে আবর্তিত হয়। এখন যদি সে তার বস্তুর দিকে ওজন টেনে নেয়, কৌণিক বেগের হঠাৎ বৃদ্ধি ঘটে। এটি যখন মানুষের ভিতরের দিকে টান দেয় তখন মানুষের জড়তা

আমকের কারণে এটি ঘটে। এখানে, কোন বহিরাগত ঘূর্ণন বল কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের ফলে নিপ্তিয়তার মুহূর্ত কমে গেলে, কৌণিক ভরবেগ বৃদ্ধি করতে হবে যাতে কৌণিক ভরবেগ স্থির থাকে।

- একইভাবে, ব্যালেন্টেড ডুবুরিয়া কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি ব্যবহার করছে।

#### 4.1.5 চক্রগতির ব্যাসার্ধ

$$\text{একটি বস্তুর জড়তা আমক } I = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 \dots = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

বস্তুর জড়তা আমককে  $I = M K^2$  হিসাবে লেখা যেতে পারে

এখানে  $M$  হল বস্তুর মোট ভর এবং  $K$  হল চক্রগতির ব্যাসার্ধ।

$$\text{অতএব, } MK^2 = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

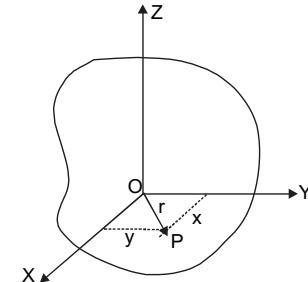
$$\text{বা, } K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i^2}{M}}$$

ঘূর্ণনশীল বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ  $K$  ঘূর্ণন অক্ষ থেকে রেডিয়াল দূরত্বের সমান, যার বর্গকে বস্তুর মোট ভর দ্বারা গুণ করলে সেই বস্তুর জড়তা আমক পাওয়া যায়।

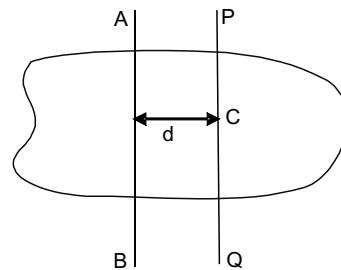
#### 4.1.6 সমান্তরাল এবং লম্ব অক্ষের উপপাদ্য

- লম্ব অক্ষের উপপাদ্য:** এই উপপাদ্যটি বলে যে তার সমতল ( $I_z$ ) এর একটি লম্ব অক্ষের একটি লামিনার জড়তা আমকটি তার দুটি সমান্তরাল লম্ব অক্ষ ( $I_x$  এবং  $I_y$ ) এর সমতল এবং ছেদকরে থাকা লামিনার জড়তা আমকের যোগফলের সমান, যেখানে লম্ব অক্ষ অতিক্রম করে; সুতরাং,  $I_z = I_x + I_y$
- সমান্তরাল অক্ষের উপপাদ্য:** এই উপপাদ্যটি বলে, যে কোন প্রদত্ত অক্ষ (AB) সাপেক্ষে একটি বস্তুর জড়তা আমক ( $I_{AB}$ ) এর সমান্তরাল অক্ষ সাপেক্ষে জড়তা আমকের যা বস্তুর ভর কেন্দ্র (C) দিয়ে যায় ( $I_C$ ) এবং বস্তুর ভর  $M$  এবং দুটি সমান্তরাল অক্ষের মধ্যে দূরত্ব 'd' এর বর্গের সমষ্টির সমান।

$$\text{সুতরাং, } I_{AB} = I_C + Md^2$$



চিত্র 4.5: লম্ব অক্ষের উপপাদ্য



চিত্র 4.6: সমান্তরাল অক্ষের উপপাদ্য

#### 4.1.7 বিভিন্ন বস্তুর জড়তা আমক

- রড:

- ঘূর্ণন অক্ষ সাপেক্ষে M.I, যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত এবং দৈর্ঘ্যের লম্ব

$$I = M \left( \frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right) [M = ভর, l = দৈর্ঘ্য, r = ব্যাসার্ধ] \text{ যদি } r \ll l \text{ হয়, } I = \frac{Ml^2}{12}$$

- (2) ঘূর্ণনের একটি অক্ষ সাপেক্ষে  $M.I$ , যা এক প্রান্ত দিয়ে অতিক্রান্ত এবং দৈর্ঘ্যের উপর লম্ব  $I' = M l^2 / 3$
- (3)  $M.I$  রডের একটি অক্ষ সাপেক্ষে  $I = 1/2Mr^2$

(b) ডিস্ক:

- (1)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং সমতলের উপর লম্ব  $= 1/2Mr^2$
- (2)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং তলের সমান্তরাল অথবা সমতল বা ব্যাসের উপর অবস্থান করে  $= 1/4Mr^2$
- (3) একটি অক্ষের সাপেক্ষে  $M.I$  যা স্পর্শক এবং সমতলের উপর লম্ব  $= 1/2Mr^2 + Mr^2 = 3/2Mr^2$
- (4) স্পর্শক সাপেক্ষে  $M.I$ , সমতলে অবস্থান করে  $= 1/4Mr^2 + Mr^2 = 5/4Mr^2$

(c) রিং:

- (1)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং সমতলের উপর লম্ব  $I = Mr^2$
- (2)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং তলের সমান্তরাল অথবা সমতল বা ব্যাসের উপর অবস্থান করে  $I = 1/2Mr^2$
- (3) একটি অক্ষের সাপেক্ষে  $M.I$  যা স্পর্শক এবং সমতলের উপর অবস্থান করে  $= 1/2Mr^2 + Mr^2 = 3/2Mr^2$
- (4) একটি অক্ষের সাপেক্ষে  $M.I$  যা স্পর্শক এবং সমতলের উপর লম্ব  $I = Mr^2 + Mr^2 = 2Mr^2$

(d) গোলক (কঠিন):

- (1)  $M.I$  অক্ষ যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় বা ব্যাসের উপর অবস্থান করে  $I = 2/5Mr^2$
- (2) স্পর্শক সাপেক্ষে  $M.I = 2/5Mr^2 + Mr^2 = 7/5Mr^2$

(e) ফাঁকা গোলক:

- (1)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় অথবা ব্যাসের সাপেক্ষে  $I = \frac{2}{5} M \left( \frac{r_2^5 - r_1^5}{r_2^3 - r_1^3} \right)$   
 $M = ভর, r_2 = বাইরের ব্যাসার্ধ এবং r_1 = ভিতরের ব্যাসার্ধ$

(f) গোলাকার শেল:

- (1)  $M.I$  অক্ষ সাপেক্ষে যা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় অথবা ব্যাসের সাপেক্ষে  $I = 2/3 Mr^2$

প্রয়োগ (বাস্তব জীবন/শিল্প)

- হাতের ময়দার প্রাইন্ডারটির রিমের কাছে হ্যান্ডেল দিয়ে দেওয়া হয় যাতে ভারক বাহ (বা বলের ক্রিয়া রেখা এবং মূল বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব) বৃদ্ধি পায়। সুতরাং, ঘূর্ণন বল বৃদ্ধি এবং ময়দা পিয়ে কম পরিশ্রমের সঙ্গে কাজ করা যেতে পারে।
- যখন প্রাণী সুর্যের চারদিকে ঘোরে তখন প্রাণী কৌণিক ভরবেগ ও সংরক্ষিত থাকে।
- আইস স্টেটারগুলি কৌণিক গতিবেগ সংরক্ষণ করে কৌণিক বেগ পরিবর্তন দ্বারা তার জড়তা ভারক পরিবর্তন করে।

### কেস-স্টাডি (পরিবেশ/স্থায়িত্ব/সামাজিক/নেতৃত্ব সমস্যা)

একটি বিড়াল যখন একটি উচ্চতা থেকে মাটিতে পড়ে, তখন এটি তার দেহকে লেজের সাথে প্রসারিত করে। বিড়ালের জড়তা আমক বেশি থাকে এবং কোন বাহ্যিক টর্ক প্রয়োগ করা হয় না। সুতরাং, মোট কোণিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে কারণ বিড়াল বৈধিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি অনুসরণ করে।

বিড়াল তার পা প্রসারিত করে, তাই জড়তা আমক বৃদ্ধি পায় তাই কোণিক বেগ হ্রাস পায়। এইভাবে, বিড়াল নিরাপদে মাটিতে তার পা অবতরণ করে (আঘাত না পেয়ে)।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

- বস্তুকে ঘড়ির কাঁটার দিকে এবং ঘড়ির কাঁটার বিপরীতে ঘোরানোর সময় কেন্দ্রিয় বলের দিক ব্যাখ্যা কর।
- টর্ক শূন্য থাকাকালীন একটি বস্তু ঘোরানো যায়; সেই পরিস্থিতি ব্যাখ্যা কর।
- একটি রিং এবং বিভিন্ন উপাদানের একটি ডিস্কের সমান ভর এবং সমান ব্যাসার্ধ থাকে। ডিস্কের এবং রিংটির জড়তা আমক ব্যাখ্যা কর।

### সমাধানকৃত সমস্যা

**সমস্যা -1:** ভর 200g এবং 20cm ব্যাসার্ধের একটি অভিন্ন বলয় 10rad/s এর কোণিক গতিতে তার ব্যাস সাপেক্ষে ঘোরানো হয়।  
রিং এর জড়তা আমক(1) বের করো। (2) প্রদত্ত অক্ষ সাপেক্ষে কোণিক ভরবেগ বে করো।

#### সমাধান:

- M.I. রিং  $I = (1/2) MR^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
- কোণিক ভরবেগ  $L = 4 \times 10^{-3} \times 10 = 4 \times 10^{-2} \text{ Js}$

**সমস্যা-2:** স্পর্শক সাপেক্ষে R ব্যাসার্ধের একটি ফাঁকা অভিন্ন গোলকের চক্রগতির ব্যাসার্ধ বের করো।

সমাধান: একটি ফাঁকা গোলকের ব্যাস সাপেক্ষে জড়তা আমক,  $I_{dia} = (2/3)MR^2$

সুতরাং, ফাঁকা গোলকের স্পর্শক সাপেক্ষে M.I. =  $I_{dia} + MR^2$  (সমান্তরাল অক্ষ উপপাদ্য দ্বারা)

$$I = (2/3)MR^2 + MR^2 = (5/3)MR^2$$

যদি K চক্রগতির ব্যাসার্ধ হয়, তাহলে,  $MK^2 = (5/3)MR^2$  বা  $K = R(5/3)^{1/2}$

**সমস্যা-3:** উৎপন্নি সাপেক্ষে  $F = 2I + 3j$  বলের ঘূর্ণন সন্ধান কর যখন এটি একটি কণার বিন্দুতে কাজ করে (1, 1, 0)।

সমাধান: টর্ক =  $r F$ , কণার অবস্থান ভেট্টের  $r = i + j + 0k$

$$\text{টর্ক} = r F = (i + j)(2i + 3j) = 2(i \cdot i) + 3(i \cdot j) + 2(j \cdot i) + 3(j \cdot j) = 3k - 2k = k \text{ Nm}$$

**সমস্যা-4:** ডিস্কের জড়তা আমক বের করো: এর ব্যাস বরাবর।

সমাধান:  $I_z = I_x + I_y = 2I_x = 2I_y$  বা

$$I_{dia} = I_x = I_y = (1/2) I_z = (1/2) [(1/2) MR^2] = (1/4) MR^2 (\text{লম্ব অক্ষ উপপাদ্য দ্বারা})$$

## সারসংক্ষেপ

- একটি বলের সমন্বয় কণা একই গতিতে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থানান্তরিত হয় তখন গতিকে চালন গতি বলা হয় এবং যদি বস্তুটি একটি অক্ষের উপর ঘোরানো হয়, তাহলে গতিকে ঘূর্ণন গতি বলে।
- বলের মুহূর্তকে টর্ক ( $= rF$ ) এবং রৈখিক ভরবেগের মুহূর্তকে কৌণিক ভরবেগ বলা হয়  $L = rp$
- যদি কোনো বস্তুর নেট টর্ক প্রয়োগ করা হয় শূন্য তাহলে বলের কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে  $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$ ; এই সত্যকে বলা হয় কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি।
- আবর্তনের অক্ষ থেকে ভর এবং দূরত্বের গুণফলকে জড়তা আমকবলা হয়  $I = Mr^2$ ।
- $I_z = I_x + I_y$  হল লম্ব অক্ষের উপপাদ্য এবং  $I_{AB} = I_C + Md^2$  হল সমান্তরাল অক্ষের উপপাদ্য।
- জড়তা আমক ভর এবং ভর বন্টনের উপর নির্ভর করে।
- রিং এর জড়তা আমক =  $Mr^2$  এবং ডিস্কের জড়তা আমক =  $(1/2)Mr^2$  কঠিন গোলকের ব্যাস বরাবর জড়তা আমক =  $(2/5)MR^2$ ।

## অনুশীলন

### A. বিষয়গত প্রশ্ন

- 4.1 (a) কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণের নীতি উল্লেখ কর।  
 (b) সমান্তরাল এবং লম্ব অক্ষের জড়তা আমক উপপাদ্য উল্লেখ কর।  
 (c) চক্রগতির ব্যাসার্ধের সংজ্ঞা দাও।
- 4.2 3 kg ভরের একটি কণা বেগ ( $3i + 4j$ ) m/s সাথে গতিশীল। কণার উৎপত্তি সাপেক্ষে কৌণিক ভরবেগ বের কর যখন এটি  $(2, 2, 0)$  বিন্দুতে অবস্থিত। [LOD2]
- 4.3 4 kg ভর 1.0 m ব্যাসার্ধে  $40 \text{ rad s}^{-1}$  এর একটি কৌণিক বেগের সাথে আবর্তিত হয়। যদি পথের ব্যাসার্ধ 2.0 m হয়, তবে বৃত্তের বর্ধিত ব্যাসার্ধে কৌণিক বেগ বের কর। [LOD2]
- 4.4 ঘূর্ণিত বলের কৌণিক ভরবেগ  $30 \text{ J s}$  এবং ফ্রিকোয়েন্সি (বা ঘূর্ণনের হার)  $30 \text{ rev/s}$ । বলের জড়তা আমক বের কর। [LOD3]
- 4.5 40 g ভরের একটি রিং এর ব্যাসার্ধ 20 cm। রিং এর জড়তা আমক বের কর যখন (1) একটি অক্ষ কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং এর সমতল লম্ব (2) স্পর্শক এবং রিং এর সমতল লম্ব। [LOD2]
- 4.6 একটি চাকা ঘোরানোর জন্য  $200 \text{ N-m}$  এর একটি বাহ্যিক টর্ক প্রয়োগ করা হয়। ঘূর্ণন অক্ষ সাপেক্ষে চাকার জড়তা আমক  $25 \text{ kgm}^2$  হয়। স্থির অবস্থা থেকে শুরু হওয়ার  $3 \text{ s}$  পরে (1) কৌণিক ত্বরণ (2) কৌণিক বেগ বের কর। [LOD2]
- 4.7 একটি বস্তুর জড়তা আমক  $2 \text{ kgm}^2$ । প্রযুক্ত টর্ক গণনা কর যা কৌণিক ত্বরণ  $5 \text{ rad s}^{-2}$  উত্পাদন করে। [LOD2]
- 4.8 একটি অক্ষ সাপেক্ষে রিং এর জড়তা আমক  $MR^2$  যখন তার কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং এর সমতলটির লম্ব হয়। এর ব্যাস সাপেক্ষে জড়তা আমক বের কর। [LOD2]

**B. বস্তুনিষ্ঠ প্রশ্ন**

- 4.1 দৈর্ঘ্য L এবং ভর M- এর তিনটি পাতলা রড X, Y এবং Z অক্ষের সাথে এমনভাবে রাখা হয় যাতে প্রতিটি রডের এক প্রান্ত উৎপন্নিতে থাকে। X-অক্ষ সাপেক্ষে এই সিস্টেমের জড়তা আমক হল: [LOD2]  
 (a)  $(1/3)ML^2$       (b)  $(2/3)ML^2$       (c)  $(1/6)ML^2$       (d)  $ML^2$
- 4.2 একটি রিং এর ভর  $20\text{ g}$  এবং ব্যাসার্ধ  $5\text{ cm}$ । তার ব্যাস সাপেক্ষে রিং এর জড়তা আমক ( $10^{-5}\text{ kgm}^2$  এর গুণিতক) হল: [LOD1]  
 (a) 5.0      (b) 2.5      (c) 25      (d) 4.0
- 4.3 বল একটি বস্তুর উপর এর অবস্থান ভেট্টেরের লম্বদিকে 2m মাত্রায় প্রয়োগ করা হয়। বস্তুর উপর টর্ক (Nm) হল: [LOD1]  
 (a) 10      (b) 5      (c) 20      (d) 40
- 4.4 স্থির টার্নটেবলের উপর বসা একজন পুরুষ তার হাত ভাঁজ করে রেখেছিল। যদি সে তার বাহু প্রসারিত করে তাহলে ঘূর্ণন অক্ষ সাপেক্ষে কৌণিক বেগ:  
 (a) বাড়ে      (b) অর্ধেক      (c) অপরিবর্তিত      (d) হ্রাস [LOD2]
- 4.5 প্রদত্ত অক্ষ সাপেক্ষে একটি ডিস্কের জড়তা আমক  $0.02\text{ kgm}^2$  এবং ডিস্কের কৌণিক ত্বরণ  $20\text{ rad/s}^2$ । তখন ডিস্কের টর্ক (Nm এ) হল:  
 (a) 0.2      (b) 4      (c) 2      (d) 0.4
- 4.6 সমতলে স্পর্শক সাপেক্ষে একটি অভিন্ন ডিস্কের জড়তা আমক: [LOD2]  
 (a)  $(5/4)MR^2$       (b)  $(1/4)MR^2$       (c)  $(3/2)MR^2$       (d)  $(1/2)MR^2$
- 4.7 সমতলে একটি স্পর্শকের লম্ব সাপেক্ষে বলয়ের জড়তা আমকহৰে: [LOD2]  
 (a)  $(1/2)MR^2$       (b)  $(1/4)MR^2$       (c)  $2MR^2$       (d)  $(3/2)MR^2$
- 4.8 স্পর্শক সাপেক্ষে একটি কঠিন গোলকের MI: [LOD2]  
 (a)  $(7/5)MR^2$       (b)  $(2/5)MR^2$       (c)  $(1/5)MR^2$       (d)  $(3/5)MR^2$
- 4.9 সিস্টেমের চক্রগতির ব্যাসার্ধ নির্ভর করে: [LOD1]  
 (a) ভর      (b) একটি অক্ষের আপেক্ষিক অবস্থান  
 (c) ভলিউম      (d) টর্ক
- 4.10 ঘূর্ণয়মান বস্তুর জড়তা আমক নির্ভর করে: [LOD1]  
 (a) শুধুমাত্র বস্তুর ভরের উপর      (b) শুধুমাত্র ভর বিতরণের উপর  
 (c) শুধুমাত্র ঘূর্ণনের অক্ষের অবস্থানে      (d) উভয় (b এবং (c))
- 4.11 সত্য মিথ্যা  
 (1) চক্রগতির ব্যাসার্ধের ইউনিট দৈর্ঘ্যের একক  
 (2) তার ব্যাস সাপেক্ষে একটি ফাঁকা গোলকের জড়তা আমক  $2/5MR^2$   
 (3) জড়তা আমক একটি ভেট্টের পরিমাণ

**A. বস্তুনির্ণ প্রশ্নের উত্তর**

$$A1. I_x = 0, I_y = \frac{1}{3} ML^2, I_z = \frac{1}{3} ML^2; I = 0 + \frac{1}{3} ML^2 + \frac{1}{3} ML^2 = \frac{2}{3} ML^2$$

$$A2. \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = 3(2\vec{i} + 2\vec{j}) \times (3\vec{i} + 4\vec{j}) = 6\vec{k} \text{ kgm}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$A3. I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \text{ or } I_1 = mr_1^2, I_2 = mr_2^2, \omega_2 = 10 \text{ rad/s}$$

$$A4. L = I\omega = I_2\pi n \text{ or } I = 0.16 \text{ kgm}^2$$

$$A5. I = MR^2 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2 \text{ & } I = MR^2 + MR^2 = 3.2 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

$$A6. \tau = I\alpha, \alpha = 8 \text{ rad/s}^2 \text{ and } \omega = \omega_0 + \alpha t = 0 + 8 \times 3 = 24 \text{ rad/s}$$

$$A7. \tau = I\alpha = 2 \times 5 = 10 \text{ Nm}$$

$$A8. I_z = I_x + I_y = 2I_x = 2I_y \text{ or } I_{dia} = I_x = I_y = \frac{1}{2} I_z = \frac{1}{4} MR^2$$

**B. বিষয়গত প্রশ্নের উত্তর**

Q.N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (1)	11 (2)	11 (3)
Option	b	b	c	d	d	a	c	a	b	d	T	F	F

**ব্যবহারিক****1. একটি ফ্লাইভুইলের জড়তা ভ্রমক বের করা****ব্যবহারিক গুরুত্ব**

এই পরীক্ষাটি ঘূর্ণনশীল গতিবিদ্যার ধারণার পরিচয় দেবে। এই পরীক্ষায় ফ্লাইভুইলের গতির বাস্তবসম্মত বিশ্লেষণ করা যেতে পারে। কিন্তু এটি ধরে নেবে যে ঘূর্ণনশীল ফ্লাইভুইলের মোট ঘৃণণীয় টর্ক স্থির থাকে। ঘূর্ণনশীল গতিবিদ্যা প্রয়োগ কর এবং পরিমাপের তত্ত্বগুলি নির্ধারণ করা হবে।

**প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব**

**জড়তা ভ্রমক:** এটির কারণে বস্তু তার স্থির বা অভিন্ন ঘূর্ণন গতির পরিবর্তনের বিরোধিতা করে। ঘূর্ণনের অক্ষ জড়ের ভর এবং ব্যবহৃত উপর নির্ভর করে। ধর, অক্ষের উপর স্ট্রিং ঘূরানোর সংখ্যা  $n_1$  এবং  $r$  হল অক্ষের ব্যাসার্ধ। ধর, ভর  $m$  স্ট্রিং এর মুক্তি প্রাপ্তের সাথে সংযুক্ত এবং এই ভরটি অক্ষ থেকে মুক্তির পরে উচ্চতা  $h$  এর মধ্যে পড়ে। বল সংরক্ষণের নীতি দ্বারা সম্ভাব্য শক্তি  $= mgh$ ; এই শক্তি তিনটি রূপে রূপান্তরিত হয় যেমনটি নীচে দেওয়া হয়েছে

$$mgh = m \text{ ভারের দারুন গতিশক্তি} + \text{হইলের ঘূর্ণন গতিশক্তি} + \text{ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ}$$

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + n_1 W_f \quad .... (1)$$

এখানে  $I$  জড়তা ভ্রমক এবং  $W_f$  হল অক্ষের ঘৰ্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করা, ( $v = r\omega$ ), ঘূর্ণন K.E. যা ঘূর্ণনের পরে স্থির আসার আগে ঘৰ্ষণের বিরুদ্ধে চাকা দ্বারা করা হয়,

$$\text{এভাবে, } \frac{1}{2} I \omega^2 = n_2 W_F$$

$$W_F = \frac{I \omega^2}{2n_2}$$

$$mgh = \frac{m\omega^2}{2r^2} + \frac{1}{2} I \omega^2 + n_1 \frac{I \omega^2}{2n_2}$$

$$\text{অথবা, } I = \frac{\left(2mgh - \frac{m\omega^2}{r^2}\right)n_2}{\omega^2(n_1 + n_2)} \text{ কিন্তু } \omega \text{ ছোট মান বলে } \frac{m\omega^2}{r^2} \text{ নগণ্য}$$

সুতরাং, ফ্লাইহিলের জড়তা আমক,

$$I = \frac{2mghn_2}{\omega^2(n_1 + n_2)} \quad \dots(2)$$

যদি ফ্লাইহিল  $n_2$  সংখ্যক ঘূর্ণনের জন্য সময়  $t$  নেয়, চাকার গড় কৌণিক বেগ

$$\omega_{avg} = \frac{2\pi n_2}{t}$$

যদি চাকাটির প্রাথমিক কৌণিক বেগ  $\omega$  হয় যখন ভর  $m$  স্থল স্পর্শ করে এবং চাকার চূড়ান্ত বেগ শূন্য হয় যখন চাকার ঘূর্ণন বন্ধ হয়, তাই, চাকার গড় কৌণিক বেগ হল

$$\omega_{avg} = \frac{\omega + 0}{2} = \frac{\omega}{2} \text{ বা } \frac{\omega}{2} = \frac{2\pi n_2}{t} \text{ বা } \omega = \frac{4\pi n_2}{t}$$

$$\text{সমীকরণ (2) এ } \omega \text{ মানটি রাখো, তখন } I = \frac{mght^2}{8\pi^2 n_2 (n_1 + n_2)} \quad \dots(3)$$

এখানে উচ্চতা  $h$  যার মাধ্যমে ভর  $m$  পতিত হয় যতক্ষণ না স্ট্রিং বিচ্ছিন্ন হয়

$$h = \text{অক্ষের উপর আবৃত } X \text{ স্ট্রিং এর অক্ষের সংখ্যার পরিধি} = (2\pi r) n_1$$

$$\text{সমীকরণ (3) এ } h \text{ বসালে, ফ্লাইহিলের জড়তা আমক } I = \frac{mg r n_1 t^2}{\theta \pi n_2 (n_1 + n_2)}$$

এখানে  $m$  = ভর, স্ট্রিং এর অন্য প্রান্তের সাথে সংযুক্ত,  $r$  = অক্ষের ব্যাসার্ধ,  $n_1$  = অক্ষের উপর আবৃত স্ট্রিং এরপাক সংখ্যা,  $n_2$  = ফ্লাইহিলের ঘূর্ণনের সংখ্যা বন্ধ হওয়ার আগে,  $t$  = সময় (স্টগওয়াচে পরিমাপ করা) এবং  $n_2$  গণনা শুরু হয় যখন স্ট্রিং বিচ্ছিন্ন হয় এবং ঘূর্ণন পর্যন্ত ফ্লাইহিল থামে।

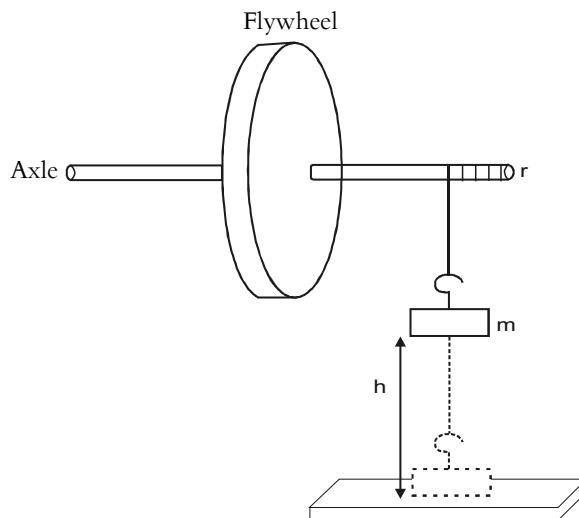
**ব্যবহারিক ফলাফল**

**PRO1:** জড়তা আমকের ধারণা প্রয়োগ;

**PRO2:** একটি ফ্লাইহিলের জড়তা আমক;

**PRO3:** ফ্লাইহিলের জড়তার আমক তুলনা MI এর তাত্ত্বিক মানের সাথে।

ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন। স্কেচ। সার্কিট ডায়াগ্রাম। কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 4.7: ফ্লাইইলের জড়তা অ। মক বের করার পরীক্ষা ব্যবস্থা

### প্রয়োজনীয় সম্পদ

সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ প্রয়োজন গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন। টুল। যন্ত্র	যথার্থ সম্পদ প্রয়োজন যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)
1	যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি	
2	বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ	
3	(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)	
4	যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি	
5	বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ	

### সতর্কতা

- কোন ওভারল্যাপিং বা স্ট্রিং এর পাক মধ্যে ফাঁক থাকা উচিত নয়।
- অক্ষের ব্যাসের তুলনায় স্ট্রিং বা থ্রেড পাতলা হওয়া উচিত।
- সতর্কতা অবলম্বন করা উচিত যাতে ফ্লাইইলের উপর কোন চাপ প্রয়োগ না করা হয়।
- ভর মুক্ত করার সময় যন্ত্রের ঠিক নিচে দাঁড়াবে না।
- সময় পরিমাপে গ্রান্টি এড়াতে স্টপওয়াচ অবশ্যই যন্ত্র সহকারে পরিচালনা করতে হবে।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- ফ্লাইইলে কম ঘর্ষণ হওয়া উচিত।

2.  $n_1$  হল অক্ষের উপর আবৃত স্ট্রিং এর পাক সংখ্যা; স্ট্রিং এর অন্য প্রান্তের সাথে সংযুক্ত একটি ভরের তিনটি রিডিংয়ের জন্য  $n_1 = 8, 9$  এবং  $10$  রাখো (প্রস্তাবিত)।
  3. স্ট্রিং বা থ্রেড অক্ষের উপর সমানভাবে আবৃত হওয়া উচিত।
  4. ফ্লাইইলের পরিধি চিহ্নিত কর যাতে চাকার ঘূর্ণন সংখ্যা গণনা করা উপযোগী হবে এবং শেষ অসম্পূর্ণ ঘূর্ণনে পরিধি দৈর্ঘ্যের অংশ পরিমাপ করা যায়।
  5. অক্ষ থেকে লোড করা স্ট্রিং বিচ্ছিন্ন করার পর স্টপওয়াচ শুরু করা উচিত এবং ফ্লাইইল থামলে এটি বন্ধ কর। এইভাবে সময়  $t$  পরিমাপ করা হয়।
  6. ফ্লাইইলের ঘূর্ণন  $n_2$  সংখ্যা  $t$  এর সাথে একযোগে গণনা করা উচিত। উপরের হিসাবে পরিমাপ করা হয় এবং শেষ অসম্পূর্ণ ঘূর্ণন ভগ্নাংশ  $x/y$  দ্বারা পরিমাপ করা হয়, যেখানে  $x$  শেষ অসম্পূর্ণ ঘূর্ণন দ্বারা আবৃত চাকার পরিধি অংশের দৈর্ঘ্য এবং  $y$  হল চাকার পরিধি; উভয় দৈর্ঘ্য  $x$  এবং  $y$  দ্বারা পরিমাপ করা হয় থ্রেড এবং মিটার ক্ষেলের সাহায্য।
  7. অক্ষের ব্যাসার্ধ ভার্নিয়ার ক্যালিপার দ্বারা পরিমাপ করা হয়, যেখানে ব্যাসার্ধ  $r = (\text{গড় } \text{ব্যাস})$ ।
  8. স্ট্রিং এর অন্য প্রান্তের সাথে সংযুক্ত ভরের জন্য স্লটেড ওজন হ্যাঙ্গারের সাথে ব্যবহার করা হয়।

## অক্ষের ব্যাসের জন্য পর্যবেক্ষণ টেবিল

ক্রমিক সংখ্যা	প্রধান স্কেল পার্ট (MSR)	মিলিত ভার্নিয়ার বিভাজন (VSD) n	ব্যাস $= MSR + n \times L.C.$
1. থেকে 3.			

জড়তা ভাগকের জন্য টেবিল

### হিসাব

অক্ষের গড় ব্যাস = .....cm

অক্ষের সঠিক ব্যাস  $d = \text{গড় ব্যাস} - (\pm \text{ভার্নিয়ার ক্যালিপারের শূন্য অংটি})$

অক্ষের সংশোধিত ব্যাসার্ধ,  $r = d/2 = .....cm$

$$\text{ফ্লাইহেলের জড়তা আমকটি সূত্র দ্বারা গণনা করা হয়, } I = \frac{mgrt^2 n_1}{4\pi n_2 (n_1 + n_2)}$$

ফ্লাইফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা

ফ্লাইহেলের জড়তা আমকটির গড় = .... Kg m<sup>2</sup>

উপসংহার এবং/অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

- জড়তা আমকটি সংজ্ঞায়িত কর।
- কৌণিক বেগ সংজ্ঞায়িত কর এবং ফ্রিকোয়েন্সি (প্রতি সেকেন্ডে চক্র) এর সাথে তার সম্পর্ক বর্ণনা কর।
- ফ্লাইহেলের দৈনন্দিন জীবনের প্রয়োগ বর্ণনা কর।
- বিভিন্ন আকারের পতনশীল ভর দ্বারা হারিয়ে যাওয়া স্ট্রিমিং রূপান্তর ব্যাখ্যা কর।
- একটি মেশিনে ফ্লাইহেলের কাজ ব্যাখ্যা কর।

### প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ



Simulation  
on flywheel

### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক	ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্যু * (60 %)	60%	
1 প্রয়োজনীয় সংখ্যক স্ট্রিং এবং স্লিটেড ওজনের পাল্লা দিয়ে যন্ত্রের সমন্বয়	15%	

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
2	ফাইভইলের ঘূর্ণনের সঠিক গণনা	15%	
3	স্টপওয়াচ ব্যবহার করে সময়ের সঠিক পরিমাপ	15%	
4	গণনা এবং ফলাফল	15%	
<b>উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স* (40 %)</b>			
5	ক্রটির অনুমান	10%	
5	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
6	উপসংহার এবং বৈধতা	10%	
7	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
	<b>মোট</b>	<b>100%</b>	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....: প্রাপ্ত মার্ক্স		তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

### আরো জ্ঞাতব্য

$$\text{আমরা জানি } K.E. = \frac{1}{2} I\omega^2 \\ = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m (\omega r)^2 = \frac{1}{2} mr^2\omega^2 = \frac{1}{2} I\omega^2 (v = r\omega)$$

ঘূর্ণন গতিতে সম্পন্ন কাজ,  $W = F.s = ma.s = m(ar).(rq) mr^2a.\theta = Ia.\theta = \tau.\theta$  ( $a = ar$ ), ( $s = r\theta$ ), ( $I = mr^2$ ), ( $I = mr^2$ )

ক্ষমতা = কাজ/সময় =  $\tau.\theta/t = \tau.\omega$ . প্রতীকগুলির স্বাভাবিক অর্থ রয়েছে।

### উদ্ভাবনী ব্যবহারিক/প্রকল্প/কার্যক্রম

১. রডের জড়তা আমক বের করা।
২. রিং এর জড়তা আমক বের করা।

## তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং

### রেফারেন্স

1. H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
2. J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
3. M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2019.
4. E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
5. Halpern, Schaum's 3,000 Solved Problems In Physics, McGraw-Hill, 2011.
6. Beiser, Schaum's Outline of Applied Physics, 4<sup>th</sup> Edition, Mc-Graw-Hill, 2009.
7. G. Mase, Schaum's Outline Of Continuum Mechanics, McGraw-Hill, 1969.
8. M. R. Spiegel, S. Lipschutz, Schaum's Outline of Vector Analysis, 2ed, McGraw-Hill, 2009.
9. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
10. OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MeitY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
11. Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/https://www.khanacademy.org/>

### ব্যবহারিক জ্ঞান প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
3. [https://ophysics.com/r4.html /](https://ophysics.com/r4.html/)

# 5

## বঙ্গুর ধর্ম

### ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করে :

- কঠিন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার ধারণা, পীড়ন এবং বিকৃতি, স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক, হকের নীতি, পীড়ন-বিকৃতিলেখচিত্রের তাৎপর্য;
- চাপের ধারণা, বায়ুমণ্ডলীয় চাপ, গেজ চাপ, পরম চাপ, ফর্টিনের ব্যারোমিটার এবং এর প্রয়োগ;
- পৃষ্ঠটান এবং এর প্রয়োগ, সংস্কৃতি এবং আসজ্জন বল, স্পর্শকোণ, আরোহ সূত্র, পৃষ্ঠের তাপমাত্রা এবং প্রভাব;
- সান্দ্রতা এবং এর প্রয়োগ, সান্দ্রতার গুণাঙ্ক, প্রাণ্তিক বেগ, স্টোকসের নীতি এবং সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব;
- হাইড্রোডায়নামিক্স, প্রবাহী গতি, ধারারেখ এবং অশান্ত প্রবাহ, ধারাবাহিকতার রেনল্ডস সমীকরণ, বানোলির তত্ত্ব এবং এর প্রয়োগের ধারণা।

### যুক্তি

স্থিতিস্থাপকতার পীড়ন, বিকৃতি এবং গুণাঙ্ক শ্রেণীবদ্ধ করা হয়। হকের নীতির বিবৃতি এবং পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করা হয়েছে। ফোর্টিনের ব্যারোমিটারের পদ্ধতি এবং তার পরিমাপ যন্ত্রের ধারণা বর্ণনা করা হয়েছে। পৃষ্ঠের টান এবং তাপমাত্রার প্রভাব, স্টোকের সান্দ্রতা নীতি এবং প্রাণ্তিক বেগ বর্ণনা করা হয়েছে। সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব এবং হাইড্রোলিক সিস্টেমে সান্দ্রতার প্রয়োগ দেওয়া হয়েছে। তরল গতির ধরন, বানোলির সমীকরণ, রেনল্ডের সংখ্যা এবং ধারাবাহিকতা সমীকরণ পাঠ্যের অন্তর্ভুক্ত।

### পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- পদার্থবিজ্ঞান: শক্তি, গতি এবং কাজের মূল বিষয়
- গণিত: বীজগণিতের মূল বিষয়
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

### ইউনিট আউটকাম

এই ইউনিট শেখার পর শিক্ষার্থীরা জানতে সক্ষম হবে:

U5-O1: বিকৃতি এবং স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক এবং হকের নীতি, চাপ-বিকৃতি বক্ররেখা;

- U5-O2:** বায়ুমণ্ডলীয় চাপকে একটি গেজ এবং পরম চাপের সাথে সম্পর্কযুক্ত করতে এবং বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পরিমাপে ব্যারোমিটার প্রয়োগ;
- U5-O3:** সংস্ক্রিত এবং আসঙ্গন বলের মধ্যে পার্থক্য, ইঞ্জিনিয়ারিংয়ে পৃষ্ঠটান প্রয়োগ এবং পৃষ্ঠের টান উপর তাপমাত্রার প্রভাব।
- U5-O4:** স্টোকের নীতি এবং জলবাহী সিস্টেমের প্রাণ্তিক বেগ, প্রভাব নির্ধারণ, সান্দুতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব
- U5-O5:** ধারারেখ এবং তরলের অশান্ত প্রবাহের মধ্যে পার্থক্য, রেইনল্ডের সংখ্যার ব্যাখ্যা এবং বার্নেলির উপগাদ্য এবং দৈনন্দিন জীবনে প্রয়োগ।

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং :

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফলের ম্যাপিং নীচে সারণীতে দেওয়া হয়েছে:

ইউনিট-5: ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং					
	(1-দুর্বল পারম্পরিক সম্পর্ক, 2-মাঝারি সম্পর্ক, 3-শক্তিশালী পারম্পরিক সম্পর্ক)	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5
<b>U5-O1</b>	2	2	-	1	2	1
<b>U5-O2</b>	2	1	-	-	2	1
<b>U5-O3</b>	1	2	1	-	1	1
<b>U5-O4</b>	2	2	-	-	1	1
<b>U5-O5</b>	1	2	1	-	1	2

## 5.1 স্থিতিস্থাপকতা

মজার ঘটনা

একটি বস্তুর ধর্ম যার কারণে বাহ্যিকভাবে প্রয়োগ করা বল অপসারণের পরে এটি তার মূল আকৃতি এবং আকার ফিরে পায় তাকে স্থিতিস্থাপকতা বলা হয়। যদি বাহ্যিক বল অপসারণের পরে বস্তু তার প্রাথমিক আকৃতি এবং আকার ফিরে না পায় তবে তাকে প্লাস্টিকের বস্তু বলা হয়।

**বিকৃত বস্তু:** এটি একটি বাহ্যিকভাবে প্রয়োগ করা বস্তু যার অধীনে বস্তুর মাত্রা পরিবর্তিত হয়। প্রতিটি উপাদানের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাগবিক বলগুলি অনুভব করা হয় যখন একটি বাহ্যিক বল বস্তুতে প্রয়োগ করা হয় এই আন্তরাগবিক বলগুলি পরিবর্তিত হয় এবং অণুগুলির উপর পুনরুদ্ধার বলগুলি বিকশিত হয়।

**পুনরুদ্ধার বল:** এটি বস্তুর অভ্যন্তরে উৎপাদিত বল যা পরিমাপে সমান কিন্তু তার উপর প্রয়োগ করা বাহ্যিক বলের দিকের বিপরীত। বিকৃত বল অপসারণের পরে বল পুনরুদ্ধার অণুগুলিকে তাদের মূল অবস্থানে নিয়ে আসে। সুতরাং, উপাদানগুলির স্থিতিস্থাপকতার ধর্ম জন্য আন্তরাগবিক বলগুলি দায়ী।

### 5.1.1 পীড়ন এবং বিকৃতির সংজ্ঞা

যখন বাহ্যিক বিকৃত বল প্রয়োগ করা হয় তখন বস্তুর অভ্যন্তরে সমান এবং বিপরীত বল উপস্থিত হয় যা বস্তুর আসল আকার বা আকৃতি পুনরুদ্ধারের চেষ্টা বা প্রবণতা রাখে। বাহ্যিকভাবে প্রয়োগ করা বলের কারণে বস্তুর অভ্যন্তরে উৎপাদিত প্রতি ইউনিট এলাকায় বল পুনরুদ্ধার করাকে পীড়ন বলে।

পীড়নের S.I একক হল  $N/m^2$  বা পাস্কাল (Pa)। পীড়নের মাত্রিক সূত্র হল  $ML^{-1}T^{-2}$ । এটি একটি টেন্সর পরিমাণ কারণ এটির বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন মান রয়েছে।

বস্তু যে পদ্ধতিতে কাজ করে তার উপর নির্ভর করে তিনি ধরনের পীড়ন রয়েছে:

- অনুদৈর্ঘ্য বা স্বাভাবিক পীড়ন: যখন বাহ্যিক বিকৃত বল বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর কাজ করে তখন প্রতি ইউনিট এলাকাতে সেই বলকে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন বলা হয়।

(a) প্রসার্য পীড়ন: ক্রস-সেকশনের প্রতি ইউনিট ক্ষেত্রের লম্ব বল যা তারে প্রসারণ ঘটায় তাকে প্রসার্য পীড়ন বলে। যখন সমান বল  $F$  তারের প্রান্তের ক্রস-সেকশনাল এলাকায় লম্বভাবে প্রয়োগ করা হয় বা রড থেকে দূরে সরানো হয় (চিত্র 5.1), তখন প্রসার্য পীড়ন =  $F/A$

(b) সংকোচন পীড়ন: ক্রস-সেকশনের প্রতি ইউনিট এলাকায় লম্ব বল যা বস্তুর সংকোচন সৃষ্টি করে তাকে সংকোচনমূলক পীড়ন বলা হয় (চিত্র 5.2)।

বস্তু যে পদ্ধতিতে কাজ করে তার উপর নির্ভর করে তিনি ধরনের পীড়ন রয়েছে:

- অনুদৈর্ঘ্য বা স্বাভাবিক পীড়ন: যখন বাহ্যিক বিকৃত বল বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর কাজ করে তখন প্রতি ইউনিট এলাকাতে সেই বলকে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন বলা হয়।



চিত্র 5.1: প্রসার্য চাপ চিত্র



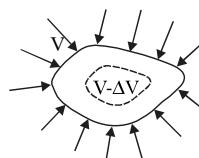
চিত্র 5.2: সংকোচনশীল চাপ চিত্র

বস্তু যে পদ্ধতিতে কাজ করে তার উপর নির্ভর করে তিনি ধরনের পীড়ন রয়েছে:

(a) প্রসার্য পীড়ন: ক্রস-সেকশনের প্রতি ইউনিট ক্ষেত্রের লম্ব বল যা তারে প্রসারণ ঘটায় তাকে প্রসার্য পীড়ন বলে। যখন সমান বল  $F$  তারের প্রান্তের ক্রস-সেকশনাল এলাকায় লম্বভাবে প্রয়োগ করা হয় বা রড থেকে দূরে সরানো হয় (চিত্র 5.1), তখন প্রসার্য পীড়ন =  $F/A$

(b) সংকোচন পীড়ন: ক্রস-সেকশনের প্রতি ইউনিট এলাকায় লম্ব বল যা বস্তুর সংকোচন সৃষ্টি করে তাকে সংকোচনমূলক পীড়ন বলা হয় (চিত্র 5.2)।

- আয়তন পীড়ন: যখন প্রতি ইউনিট এলাকাতে একই চাপ বা বল স্বাভাবিকভাবে বস্তুর প্রতিটি বিন্দুতে কাজ করে তখন প্রতি ইউনিট এলাকাতে বলকে ভলিউমেট্রিক পীড়নবা চাপ বলা হয়। যখন বস্তুর উপর চাপ  $P$  থেকে ( $P + \Delta P$ ) বাড়ানো হয় তখন বস্তুর আয়তন  $V$  থেকে ( $V - \Delta V$ ) কমে যায় (চিত্র 5.3) -এ দেখানো হয়েছে। চাপের পরিবর্তন  $\Delta P$  হল প্রতি ইউনিট ক্ষেত্রের বল যার কারণে বস্তুর আয়তন পরিবর্তিত হয়।



চিত্র 5.3: আয়তন পীড়ন

$$\text{ভলিউমেট্রিক পীড়ন} = \text{চাপের পরিবর্তন} = \Delta P = \frac{F}{A}$$

বস্তুর প্রতিসাম্যতার উপর নির্ভর করে বস্তুর আকৃতি পরিবর্তন হতে পারে বা নাও হতে পারে।



For more  
elasticity  
(simulation)

3. **কৃতন পীড়ন (Shear stress):** যখন কোনো বস্তুর পৃষ্ঠে স্পর্শকাতরভাবে বল প্রয়োগ করা হয় যার কারণে তার আকৃতি পরিবর্তিত হয় তখন প্রতি ইউনিট ক্ষেত্রের বল পৃষ্ঠের উপর কাজ করে। একে কৃতন পীড়ন বলে। যদি স্পর্শক বল প্রয়োগ করা হয়  $F$ , তাহলে, কৃতন পীড়ন =  $\frac{F}{A}$

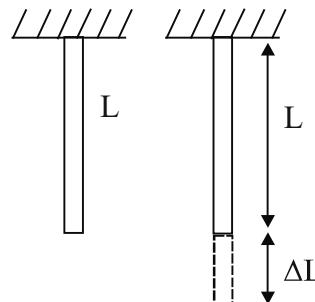
#### (b) বিকৃতি

বস্তুর মূল মাত্রার সাথে মাত্রার পরিবর্তনের অনুপাতকে (দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকৃতি) বিকৃতি বলা হয়। অর্থাৎ, বিকৃতি হল এককই এবং মাত্রাইন পরিমাণ।

**বিকৃতির ধরন :** উপরে সংজ্ঞায়িত প্রতিটি ধরণের বিকৃতির সাথে তিনটি ধরণের বিকৃতি যুক্ত রয়েছে:

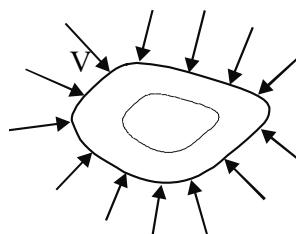
1. **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি:** যখন রড বা তারের উপর বিকৃত বল প্রয়োগ করা হয়; যদি তারের দৈর্ঘ্য  $L$  এবং পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য  $\Delta L$  হয়, তবে পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য ও মূল দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি বলা হয়।

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



চিত্র 5.4: অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি

2. **আয়তন বিকৃতি:** যখন আয়তন পীড়ন একটি বস্তুতে প্রয়োগ করা হয় এবং এর আয়তন পরিবর্তিত হয়, তখন মূল আয়তন ও আয়তনের পরিবর্তনের অনুপাতকে আয়তন বিকৃতি বলে। যদি বস্তুর মূল আয়তন হয়  $V$  এবং  $V + \Delta V$  বা  $V - \Delta V$  হল আয়তনের পরিবর্তন, তখন আয়তন বিকৃতি =  $\Delta V/V$

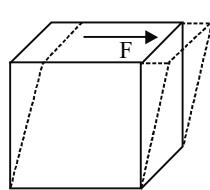


চিত্র 5.5: আয়তন বিকৃতি

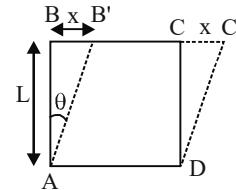
3. **কৃতন বিকৃতি:** যখন কৃতন পীড়ন প্রয়োগ করা হয় তখন বস্তুর আকৃতি পরিবর্তিত হয়। ধর স্পর্শক বল  $F$  একটি বস্তুর উপরের পৃষ্ঠ বরাবর প্রয়োগ করা হয় তাহলে ক্রস-সেকশনের আকৃতি একটি আয়তক্ষেত্র থেকে সমান্তরালগ্রামে পরিবর্তিত হয়। নিম্ন প্রান্ত AD স্থির থাকে এবং উপরের BC প্রান্ত x দ্বারা স্থানচ্যুত হয় (চিত্র 5.6)। তখন কৃতন বিকৃতিকে নির্দিষ্ট প্রান্ত থেকে তার লম্ব দূরত্বের উপরের প্রান্তের স্থানচ্যুতি অনুপাত হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

$$\text{কৃত্তন বিকৃতি} = \frac{BB'}{AB} \quad (\text{এখানে } \tan \theta \approx \theta = \frac{BB'}{AB} = \frac{x}{L})$$

$$\text{সূতরাং, কৃত্তন বিকৃতি} = \frac{x}{L}$$



চিত্র 5.6: শিয়ার পীড়ন



চিত্র 5.7: শিয়ার বিকৃতি

### 5.1.2 হকের নীতি এবং স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক

হকের নীতি: এই নীতিটি বলে যে একটি স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে, বস্তুর পীড়ন তার বিকৃতির সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, পীড়ন  $\propto$  বিকৃতি

$$E = \text{পীড়ন}/\text{বিকৃতি}$$

বা পীড়ন = E বিকৃতি (এখানে E ঝুঁকেক এবং স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক হিসাবে পরিচিত)

স্থিতিস্থাপকতা গুণাঙ্ক: পীড়নের সাথে বিকৃতির অনুপাতকে স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্ক বলা হয়। স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের S.I একক হল  $N/m^2$  বা পাস্কাল (Pa)। এটি বস্তুর প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল এবং দৈর্ঘ্য এবং বস্তুর আয়তন থেকে স্বাধীন।

### 5.1.3 স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের প্রকার

তিনি ধরনের পীড়ন এবং বিকৃতি এর সাথে সংশ্লিষ্টভাবে স্থিতিস্থাপকতার তিনি ধরনের গুণাঙ্ক রয়েছে।

#### 1. ইয়ং গুণাঙ্ক (Y)

যখন ক্রস-সেকশন A এর রডের উপর বল F প্রয়োগ করা হয় তখন অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন  $\left(\frac{F}{A}\right)$  তৈরি হয়। ধরা যাক, রডের

আসল দৈর্ঘ্য হল L এবং পীড়নের দরুণ দৈর্ঘ্য  $\Delta L$  দ্বারা পরিবর্তিত হয়। তখন অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি  $= \frac{\Delta L}{L}$

হকের নীতি অনুসারে, বিকৃতির জন্য ইয়ং এর গুণাঙ্ক কে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত হিসাবে সংজ্ঞায়িত

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

#### 2. আয়তন বিকার গুণাঙ্ক

আয়তন পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাতকে আয়তন বিকার গুণাঙ্ক বলা হয়।

$$\text{আয়তন বিকার গুণাঙ্ক}, B = \frac{\Delta P}{-\Delta V/V} = \frac{-V(\Delta P)}{\Delta V}$$

(-) চিহ্ন নির্দেশ করে যে চাপ ( $\Delta p$ ) বৃদ্ধি পেলে তখন আয়তন হ্রাস পায় ( $V$ )

সংকোচনমোগ্যতা (K): K হল আয়তন বিকার গুণাঙ্ক B অন্যোনক।

$$K = 1/B$$

সংকোচনের এসআই ইউনিট হল  $m^2/N$  বা  $1/\text{pascal}$  ( $\text{Pa}^{-1}$ )

### ৩. দৃঢ়তা গুণাঙ্ক

কৃষ্ণ পীড়ন ও কৃষ্ণ বিকৃতির অনুপাতকে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক বলা হয়।

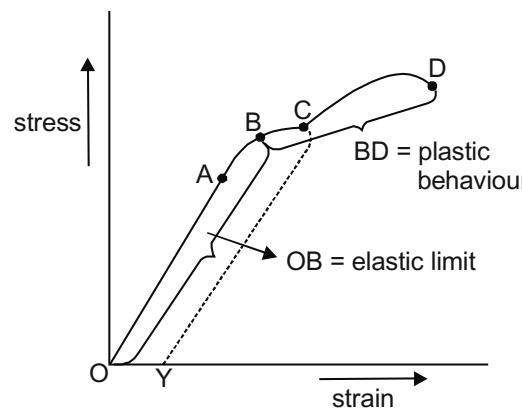
$$\text{দৃঢ়তা গুণাঙ্ক } \eta = \frac{\text{কৃষ্ণ পীড়ন}}{\text{কৃষ্ণ বিকৃতি}}$$

#### ৫.১.৪ পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রের গুরুত্ব

প্রয়োগযোগ্য বলের প্রভাবে ক্রস-সেকশনের একক এলাকার তারের আচরণ অধ্যয়ন করার জন্য এটি একটি শক্তি ভিত্তি থেকে বোলানো হয় এবং তার মুক্ত প্রাপ্তে ধীরে ধীরে ওজন বৃদ্ধি করা হয়; তখন তারের দৈর্ঘ্যও বৃদ্ধি পায়। পীড়ন এবং বিকৃতির মধ্যে বক্ররেখা দেখানো হয়েছে (চিত্র 5.8)। এই লেখচিত্রে, পীড়নহল A বিন্দু পর্যন্ত বিকৃতির সমানুপাতিক এবং OA হল একটি সরলরেখা, বিন্দু A কে আনুপাতিক সীমা বলা হয়। পয়েন্ট A পর্যন্ত হকের নীতি মানা হয়।

এখন পীড়ন বাড়ার সাথে সাথে A থেকে B পর্যন্ত বিকৃতি আরও বৃদ্ধি পায় এবং হকের নীতি মানা হয় না। এমনকি বিকৃত বল অপসারণের পরে পয়েন্ট A এবং B এর মধ্যেও, তারটি তার মূল দৈর্ঘ্যে আসে। এইভাবে, স্থিতিস্থাপক আচরণকে তারের দ্বারা বিন্দু B পর্যন্ত দেখানো হয়। বক্ররেখার এই OB অংশের শেষ বিন্দু B কে স্থিতিস্থাপক সীমা বা ফলন বিন্দু বলা হয়।

স্থিতিস্থাপক সীমা B অতিক্রম করে, (পয়েন্ট C বল), বিকৃত বল অপসারণের পরেও তারটি তার মূল দৈর্ঘ্য ফিরে পায় না। দৈর্ঘ্যের কিছু স্থায়ী বৃদ্ধি তারে থাকে (চিত্র 5.8) OY দ্বারা এটি দেখানো হয়েছে। এই অবস্থায় তার একটি প্লাস্টিক উপাদান হিসাবে আচরণ করে। পয়েন্ট C -এর বাইরে বিকৃত বল বা ওজনের আরও বৃদ্ধিতে বিকৃতি দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং পয়েন্ট D -তে তারের ভাঙ্গনে সামান্য বৃদ্ধি সহ বিকৃতি আরও দ্রুত বৃদ্ধি পায় যাকে ফ্র্যাকচার পয়েন্ট এবং D পয়েন্টে পীড়নকে ব্রেকিং পীড়ন বা চূড়ান্ত পীড়নবলা হয়। তারের বিন্দু B থেকে D এর মধ্যে প্লাস্টিকের উপাদান হিসেবে আচরণ করে।



চিত্র 5.8: পীড়ন এবং বিকৃতি লেখচিত্র

একটি ছোট প্লাস্টিক অঞ্চল (BD) সহ একটি উপাদানকে ভঙ্গুর উপাদান বলা হয় এবং উদাহরণ হল কাচ, ঢালাই লোহা, পাথর ইত্যাদি উচ্চ প্লাস্টিক অঞ্চলের (BD) উপাদানকে নমনীয় উপাদান বলা হয়। নমনীয় উপকরণগুলি ফ্র্যাকচারের আগে আরও বিকৃতি বহন করবে এবং উদাহরণগুলি হল সীসা, অ্যানিলড সিটল (annealed steel) ইত্যাদি।

### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন শিল্প)

- একটি সেতুর জীবন তার ব্যবহাত উপাদানের স্থিতিস্থাপক শক্তির উপর নির্ভর করে। যদি কম শক্তির উপাদান ব্যবহার করা হয়, সেতু সময়ের সাথে তার স্থিতিস্থাপক শক্তি হারায় তাহলে দীর্ঘদিন ব্যবহারের পর সেতুটিকে অনিরাপদ ঘোষণা করা হয়।
- একটি পর্বতের সর্বোচ্চ উচ্চতা নির্ধারণ করা: পর্বত এর গোড়ায় চাপ  $\rho gh$  চাপের সমান। একটি পর্বতের স্থিতিস্থাপক সীমা প্রায়  $3 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ । পীড়ন ইলাস্টিক সীমার চেয়ে কম হতে হবে, অন্যথায়, শিলা প্রবাহিত হতে শুরু করে।

$$h < \frac{3 \times 10^8}{\rho g}$$

$h \approx 10^4 \text{ m}$  এখানে শিলার ঘনত্ব  $\rho = 3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

- তারের টর্সন ধ্রুবক  $C = \frac{\eta \pi r^4}{2l}$  যেখানে  $\eta$  হল দৃঢ়তা গুণাঙ্ক,  $r$  হল ব্যাসার্ধ এবং  $l$  হল তারের দৈর্ঘ্য। যদি  $\theta$  কোণ দ্বারা তারের বাঁকানোর জন্য টর্কের প্রয়োজন  $T$  হয় তাহলে  $T = C\theta$  এবং সেই তারকে বাঁকানোর কাজটি  $W = \frac{1}{2} Cq^2$  হিসাবে দেওয়া হয়।

### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নৈতিক সমস্যা)

চূড়ান্ত শক্তি [Ultimate tensile strength (UTS)] হলো সর্বাধিক পীড়ন যা বস্তুটিসহ্য করতে পারে যখন ভাঙার আগে প্রসারিত বা টানা হয়। ভঙ্গুর উপকরণগুলিতে, চূড়ান্ত প্রসার্য শক্তি ফলন বিন্দুর কাছাকাছি, যেখানে নমনীয় পদার্থে চূড়ান্ত প্রসার্য শক্তি বেশি হতে পারে।

এটি প্রকৌশল প্রক্রিয়ায় প্রসার্য পরীক্ষা এবং রেকর্ডিং দ্বারা নির্ধারিত হয়। চূড়ান্ত শক্তি হল পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্রের সর্বোচ্চ বিন্দু এবং এর একক হল পীড়নের একক।

অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

- যদি কোন ছাত্র ভুল করে X-অক্ষের উপর পীড়ন দেয় এবং Y-অক্ষে বিকৃতি দেয় তাহলে বুঝিয়ে দাও যে ইয়ং গুণাঙ্ক এই বক্ররেখার নতির অনোন্যক।
- আলোচনা কর যে তাপমাত্রা বাড়ার সাথে সাথে উপাদানটির স্থিতিস্থাপকতা হ্রাস পায়।

### সমাধানকৃত সমস্যা

সমস্যা-1: একটি তারের উপর  $5 \text{ kg wt./cm}^2$  এর পীড়ন প্রয়োগ করা হয়। দৈর্ঘ্যের শতকরা বৃদ্ধি কর হবে যদি ইয়ং গুণাঙ্ক  $2 \times 10^{11} \text{ Pa}$  হয়।

সমাধান: পীড়ন =  $5 \text{ kg wt. /cm}^2 = 5 \times 9.8 / (10^{-2})^2$

$$\text{এবং বিকৃতি} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\text{Stress}}{Y} = \frac{5 \times 9.8 / (10^{-2})^2}{2 \times 10^{11}} = 2.45 \times 10^{-6}$$

$$\% \text{ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি} = \frac{\Delta L}{L} \times 100 = 2.45 \times 10^{-4}$$

সমস্যা-2: 2 সেন্টিমিটার একটি প্লাস কিউব একপাশে স্থির থাকে যখন  $1200 \text{ N}$  এর সমান একটি স্পর্শকাতর বল বিপরীত মুখে প্রয়োগ করা হয়। কৃত্তন বিকৃতি এবং বিকৃত মুখের পাশের স্থানচ্যুতি বের কর। কাচের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক  $2.6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ।

$$\text{সমাধান: } \text{পীড়ন} = \frac{F}{A} = \eta \frac{x}{L} \text{ বা } x = \frac{FL}{\eta A}$$

$$= \frac{1200 \times 2 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-4} \times 2.6 \times 10^{10}} = \frac{6}{2.6} \times 10^{-6} = 2.31 \mu\text{m}$$

$$\text{এবং কৃত্তি বিকৃতি} = \frac{x}{L} = \frac{2.31 \times 10^{-6}}{0.02} = 1.16 \times 10^{-4}$$

## 5.2 চাপ

### মজার ঘটনা

উটের পা নীচে চওড়া, যার ফলে এলাকাটি বেশি এবং চাপ কর থাকে, তাই উট মরুভূমিতে সহজে হাঁটতে পারে। সুইয়ের অগভাগে একটি নিচু এলাকা থাকে যা উচ্চ চাপ সৃষ্টি করে এবং সহজেই কাপড়ে ঢুকিয়ে দেওয়া যায়। ক্ষতি এড়ানোর জন্য, একটি বাঁধের দেয়ালগুলি গভীরতা বাড়ার সাথে সাথে ঘন রাখা হয় কারণ অধিক গভীরতায় অধিক চাপের ফলে বৃহত্তর গভীরতায় অধিকতর বল প্রযুক্তহয়।



### 5.2.1 চাপের সংজ্ঞা

একটি স্থির তরলে চাপ: যখন একটি তরল স্থির থাকে, তখন বল সাধারণত পাত্রে দেয়ালের পৃষ্ঠে প্রয়োগ করা হয়।

তরলের একটি বিন্দুতে চাপ হল সেই বিন্দুর আশেপাশে প্রতি ইউনিট এলাকাতে যে গড় বল কাজ করে। যদি তরল পদার্থের গড় বলের মাত্রা  $F$  এবং ক্ষেত্রফল  $A$  হয় তাহলে চাপ,

$$P = \frac{F}{A} \quad \dots(1)$$

চাপ একটি স্কেলার পরিমাণ কারণ চাপের দিক ঠিক করা হয় না। চাপের S.I একক হল  $\text{N/m}^2$  বা যাকে পাস্কাল বলা হয় এবং সংক্ষেপে ( $\text{Pa}$ ) বলে।

### উচ্চতার সাথে তরল চাপের সম্পর্ক

ধরা যাক তরলের ভিতরে দুটি বিন্দু  $B$  এবং  $C$ , উল্লম্ব উচ্চতায় অবস্থিত। ধর,  $A$  এর উপরের দিকে বিন্দু  $B$  রয়েছে এবং সমান ক্ষেত্র  $A$  এর নিচের দিকে  $C$  রয়েছে যাতে উচ্চতা  $h$  এবং ক্রস-সেকশনাল এরিয়া  $A$  এর নলাকার আকারে তরল আবদ্ধ থাকে (চিত্র 5.8)। তরল পদার্থের প্রতিটি অংশে স্বাভাবিকভাবে বল প্রয়োগ করা হয়। ধর, বল  $F_1$  উল্লম্বভাবে  $C$  বিন্দুতে উপরের দিকে কাজ করছে,  $F_2$  বল  $B$  বিন্দুতে উল্লম্বভাবে নিচের দিকে কাজ করছে এবং তরলের ওজন নিচের দিকে। অনুমান কর যে পৃষ্ঠ  $B$ -এ চাপ  $P_2$  এবং পৃষ্ঠ  $C$ -এ চাপ  $P_1$ । তখন,  $F_1 = P_1 A$ ,  $F_2 = P_2 A$

তরল কলামের ওজন,  $W =$  তরলের ভর  $X g = mg = (Ah) \rho g$  (এখানে তরলের নলাকার অংশের আয়তন  $Ah$ , তরলের ঘনত্ব  $\rho$ ) উল্লম্ব ভারসাম্য অবস্থায়

$$F_1 = F_2 + W \text{ or } P_1 A = P_2 A + Ah \rho g$$

$$(P_2 - P_1) A = - Ah \rho g$$

$$\text{or } \Delta P = -gh$$

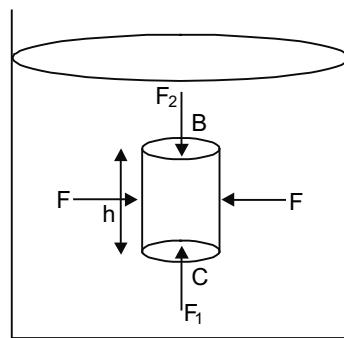
$$\text{সুতরাং, } \Delta P \propto h$$

(-) চিহ্ন দেখায় যে যখন আমরা  $h$  উচ্চতায় তরল পদার্থে উঠি তখন চাপ মান  $\theta gh$  দ্বারা হ্রাস পায়।

### 5.2.2 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

পৃথিবী বায়ুর স্তর দ্বারা বেষ্টিত যা পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল গঠন করে। বায়ু স্তন্ত্রের ওজন পৃথিবীর পৃষ্ঠে বস্তুর উপর চাপ প্রয়োগ করে। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পৃথিবীর পৃষ্ঠে বায়ু স্তন্ত্রের দ্বারা প্রয়োগ করা প্রতি ইউনিট এলাকা বল হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়। পৃথিবীর ক্ষেত্রে A কে এই অঞ্চলে বায়ু দ্বারা বাহিত হতে দেওয়া হলো। তখন বায়ুমণ্ডলীয় চাপ  $P_{atm} = F/A$

বায়ুমণ্ডলীয় চাপ একটি যন্ত্র দ্বারা পরিমাপ করা হয় যাকে ব্যারোমিটার বলে। এটি 1644 সালে টরিসেলি দ্বারা উদ্ভাবিত হয়েছিল। ব্যারোমিটারে পর্যাপ্ত উচ্চতার এক প্রান্তে খোলা কাচের নল পারদ দ্বারা পূর্ণ। নলটি পারদের একটি পাত্রে উলটানো হয় যাতে এর উন্মুক্ত প্রান্তটি পাত্রে ডুবে যায়। পারদের স্তন্ত্র টিউবে স্থির হয় (চিত্র 5.9)।



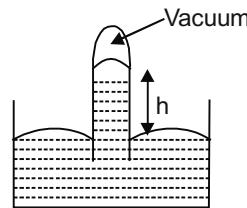
চিত্র 5.9: উচ্চতা ডায়াগ্রাম সহ তরল চাপ

বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পারদের স্তন্ত্রের উচ্চতা দ্বারা চাপের সমান  $h = 76\text{cm}$  ব্যারোমিটার টিউবে উৎপাদিত।

#### বায়ুমণ্ডলীয় চাপের গণনা

$$P_{atm} = \rho gh = 13.6 \times 10^3 \times 76 \times 10^{-2} \times 9.8$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} (\rho = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^2 \text{ পারদের ঘনত্ব})$$



চিত্র 5.10: টরিসেলি ব্যারোমিটার

আবহাওয়াবিদ্যায় ব্যবহৃত চাপের একককে বলা হয় bar এবং  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ,

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar}$$

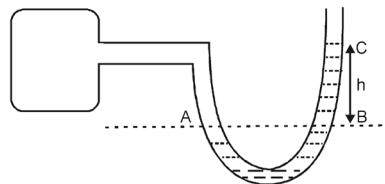
বায়ুমণ্ডলীয় চাপের আরও একটি ইউনিট দেওয়া হল তা হল torr এবং  $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133.3 \text{ Pa}$ ,

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr}$$

### 5.2.3 গেজ চাপ এবং পরম চাপ

$P = A$  তে চাপ =  $C$  তে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ +  $BC$  উচ্চতার ( $h$ ) একটি তরল স্তন্ত্রের চাপ

$P = P_{atm} + \rho gh$  এই মোট চাপ  $P$  কে পরম চাপ বলা হয়।  $\rho$  একটি U-টিউবে তরলের ঘনত্ব।



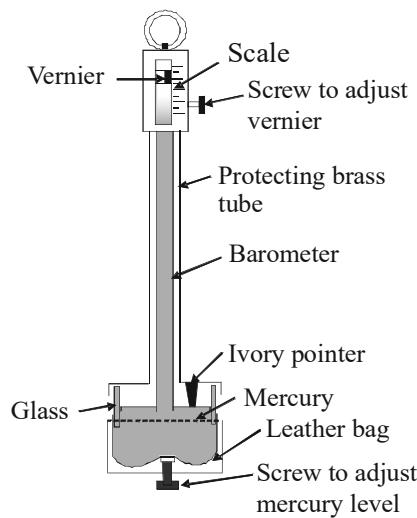
চিত্র 5.11: ম্যানোমিটার

পাত্রে গ্যাসের চাপ এবং বায়ুমণ্ডলীয় চাপের পার্থক্যকে গেজ চাপ বলা হয়। সূতরাং, গেজ চাপ =  $P - P_{atm} = \rho gh$

#### 5.2.4 ফর্টিনের ব্যারোমিটার

তরল এবং গ্যাসের সর্বোচ্চ চাপের সঠিক পরিমাপ, যা প্রায়শই পরীক্ষাগারে প্রয়োজন হয়, ফর্টিনের ব্যারোমিটার দিয়ে তৈরি করা হয়। এই নির্ভুল ব্যারোমিটারটি আঠারো শতকের শেষের দিকে এক ফরাসি যন্ত্র নির্মাতা নিকোলাস ফোর্টিন ডিজাইন করেছিলেন।

পারদ ধারণকারী নলটি একটি পিতলের নল দিয়ে আবদ্ধ করে সুরক্ষিত করা হয়, যার উপরের অংশটি কাচের তৈরি যাতে পারদের পৃষ্ঠ দেখা যায়। ব্যারোমেট্রিক উচ্চতায় বৈচিত্রের সম্পূর্ণ পরিসরকে আচ্ছাদিত করার জন্য পর্যাপ্ত দৈর্ঘ্যের মিলিমিটার-স্কেলে চলা একটি ভার্নিয়ার দ্বারা রিডিং নেওয়া হয়।



চিত্র 5.12: ফর্টিনের ব্যারোমিটার

স্কেলের শূন্যটি একটি হাতির দাঁতের নির্দেশকের অগ্রভাগে পিতলের নলের নিচের প্রান্তে স্থির। পারদ জলাধার হল একটি চামড়ার ব্যাগ যা স্কু দ্বারা উত্থাপিত বা নামানো যায় (চিত্র 5.12)। ব্যারোমিটারের উচ্চতা পড়ার আগে, স্কু সামঞ্জস্য করা হয় যতক্ষণ না পয়েন্টার টিপ পারদ পৃষ্ঠে তার চিত্র স্পর্শ করে। যদি পারদের পৃষ্ঠ ধূলো হয়, এই সমস্যাটি তখনও যুক্তিসঙ্গত নির্ভুলতার সাথে করা যেতে পারে। ফোর্টিন ব্যারোমিটার এইভাবে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ দ্বারা সমর্থিত পারদ স্তম্ভের উচ্চতা পরিমাপ করে।

তরল উচ্চতা  $h$  এবং ঘনত্বের একটি কলামের কারণে চাপ  $P = \rho hg$  দ্বারা দেওয়া হয়, যেখানে  $g$  হল মাধ্যাকর্যণের কারণে ত্বরণ। যদি তাপমাত্রার সাথে পারদের ঘনত্বের পার্থক্য এবং পৃথিবীর অবস্থানের সাথে  $g$ - এর পার্থক্য উপোক্ষিত হয়, আমরা দেখি যে চাপ পারদ স্তম্ভের উচ্চতার সমানুপাতিক। অতএব, কলামের উচ্চতার পরিপ্রেক্ষিতে চাপ খুঁজে পাওয়া যথেষ্ট যথাযথ হয়।

### ফর্টিনের ব্যারোমিটারের প্রয়োগ

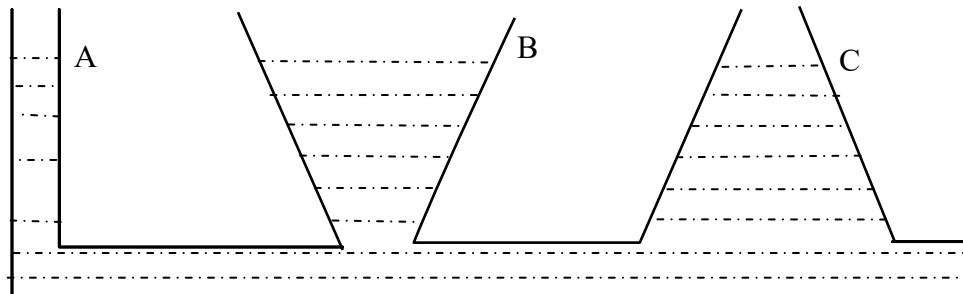
- এই ব্যারোমিটারটি সাধারণত আবহাওয়া কেন্দ্র, পরীক্ষাগার এবং বিদ্যালয়ে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের ব্যারোমিটারের সুবিধা হল যে এটি পারদ স্তরের পার্থক্য পরিমাপ করতে উভয় মুক্ত পৃষ্ঠাতল পরিদর্শন করার অনুমতি দেয়।
- এটি পাহাড়ের উচ্চতা পরিমাপ এবং আবহাওয়ার পূর্বাভাসেও ব্যবহৃত হয়।

### প্রয়োগ (বাস্তব জীবন শিল্প)

- পানীয় খড়: এটি একটি খুব পাতলা পাইপ। যখন এর নিচের প্রান্তটি একটি সফট ড্রিঙ্কে ডুবানো হয় এবং আমরা একটি খড়ের উপরের প্রান্তে চুম্ব খাই, তখন খড়ের ভিতরে চাপ এবং আমাদের মুখ কমে যায়। কিন্তু বায়ুমণ্ডলীয় চাপের কারণে যা কোমল পানীয়ের পৃষ্ঠে কাজ করছে, কোমল পানীয়কে খড় পর্যন্ত আমাদের মুখে ঠেলে দেয়।
- একইভাবে, বায়ুমণ্ডলীয় চাপ সিরিঙ্গ, ড্রপার এবং রাবার চোষায় কাজ করে।

### কেস-স্টাডি (পরিবেশ স্থায়িত্ব সামাজিক নৈতিক সমস্যা)

**হাইড্রোস্ট্যাটিক প্যারাডক্স:** এলাকাটি  $P = P_{atm} + \rho gh$  এর সমীকরণে ব্যবহৃত হচ্ছে না, তাই চাপের হিসাবের জন্য তরলের স্তরের উচ্চতা গুরুত্বপূর্ণ, জাহাজের আকৃতি এবং ভিত্তির ক্ষেত্রে ইত্যাদি নয়। যদি (চিত্র 5.13) অনুসারে, তিনটি ভিন্ন আকারের জাহাজ A, B, C এবং C একটি অনুভূমিক পাইপের সাথে সংযুক্ত থাকে, তাহলে জল ভরাট হয়ে যায়, তিনটি পৃষ্ঠে তার পৃষ্ঠ একই থাকে। জলের পরিমাণ ভিন্ন, তবুও একই গভীরতায় জলের চাপ একই।



চিত্র 5.13: হাইড্রোস্ট্যাটিক প্যারাডক্স ডায়াগ্রাম

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

ব্যাখ্যা কর যে সমুদ্রের নোনা জলের চাপ একই গভীরতায় বেশি হবে; লেকের মিষ্টি জল। পৃথিবীর পৃষ্ঠ থেকে উচ্চতায় গেলে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ কীভাবে হ্রাস পায় তা ব্যাখ্যা কর। গেজ চাপ নেতৃত্বাচক হতে পারে?

### সমস্যা

**সমস্যা-1:** (a) 1.02 আপেক্ষিক ঘনত্বের সমুদ্রের জলে 1.5 কিলোমিটার গভীরতায় একটি মাছের উপর চাপ নির্ধারণ কর (b) গেজ চাপ নির্ধারণ কর।

**সমাধান:** (a) জলের ঘনত্ব = আপেক্ষিক ঘনত্ব  $\times$  জলের ঘনত্ব  $4^{\circ}\text{C}$  এ  $= 1.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

মোট বা পরম চাপ,  $P = P_{atm} + \rho gh$

$$P = 1.013 \times 10^5 + 1.02 \times 10^3 \times 10 \times 1.5 \times 10^3$$

$$P = 1.013 \times 10^5 + 1530 \times 10^5 = 1.531 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$(b) \text{ গেজ চাপ} = P - P_{\text{atm}} = \rho gh = 1.53 \times 10^8 \text{ Pa}$$

### 5.3 পৃষ্ঠটান

#### মজার ঘটনা

- কাচের টিউবের প্রান্ত গরম করার সময় গোল হয়ে যায় কারণ গ্লাস উত্তপ্ত হলে তা তরলে গলে যায়। তরল পৃষ্ঠের একটি সর্বনিম্ন ক্ষেত্র থাকে। প্রদত্ত আয়তনের জন্য একটি গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন। অতএব, গলিত কাচ একটি গোলাকার আকৃতি অর্জন করে।
- জলে কর্পুর নাচ: কর্পুরের ছোট টুকরা বিশুদ্ধ জলের সংস্পর্শে এলে জলের টান করে যায়। অতএব, কর্পুর উচ্চতর পৃষ্ঠের উভেজনা অঞ্চলের দিকে ঝাঁপিয়ে পড়ে। এভাবে, কর্পুরের টুকরো জলের পৃষ্ঠে নাচতে থাকে।
- একটি ছোট বৃষ্টির বিন্দু একটি গোলাকার আকৃতি নেয় কারণ একটি গোলকের পৃষ্ঠাতল একটি প্রদত্ত আয়তনের জন্য সর্বনিম্ন (বা ক্ষুদ্রতম)।

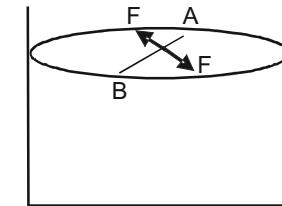
উপরিভাগের টানাপোড়নের উপরোক্ত বিষয়গুলো বোঝার জন্য তরল পৃষ্ঠের ভিতরে অণু A এবং B বিবেচনা করি (চিত্র 5.13)। যেকোনো তাত্ক্ষণিক অণুতে, A সব দিক থেকে তরল অণু দ্বারা শক্তি অনুভব করে তাই এর উপর নিট বল শূন্য। কিন্তু অণু B ভূপৃষ্ঠে অবস্থান করে তরলের ভিতরে তরল অণু দ্বারা এবং পৃষ্ঠের উপরে বায়ু অণু দ্বারা শক্তি অনুভব করে। সুতরাং, B অণুর উপর নিট বল শূন্য নয়। সুতরাং, তরল পৃষ্ঠের অণুগুলির উপর অ-শূন্য বল পৃষ্ঠের টানাপোড়নের কারণ এবং তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল হ্রাস করার প্রবণতা রয়েছে।

#### 5.3.1 পৃষ্ঠটান ধারণা

ধর একটি কলিত রেখা AB তরলে টোনা হয়েছে (চিত্র 5.14)।

যদি বল F তার দুই পাশে পৃষ্ঠ বরাবর AB রেখার উপর লম্বভাবে কাজ করে এবং রেখার দৈর্ঘ্য হল l, তাহলে তরলের পৃষ্ঠটান,

$$S = \frac{F}{l}$$



...(1)

চিত্র 5.14: পৃষ্ঠের টান ব্যাখ্যা

পৃষ্ঠটানের S.I একক হল N/m এবং এর মাত্রিক সূত্র হল  $\frac{MLT^{-2}}{L} = ML^0T^{-2}$ । একটি তরল মুক্ত পৃষ্ঠটান কারণে একটি প্রসারিত বিল্লি মত আচরণ করে এবং পৃষ্ঠটি সর্বনিম্ন পৃষ্ঠ এলাকা অর্জন করতে থাকে।

#### 5.3.2 সংসক্রি এবং আসক্তন বল

পদার্থটি অণু দ্বারা গঠিত এবং বস্তুর অণুর মধ্যে যে বল কাজ করে তাকে আন্তরাগবিক বল বলে। এই আন্তরাগবিক বল দুটি ভাগে বিভক্ত:

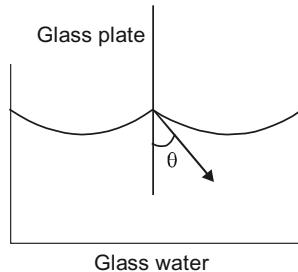
- সংসক্রি বল: একই পদার্থের অণুর মধ্যে আকর্ষণ বলকে সংসক্রি বল বলে।
- আসক্তন বল: বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে আকর্ষণ বলকে আসক্তন বল বলে।

আন্তরাগবিক আকর্ষণ বল মহাকর্ষীয় বলের থেকে ভিন্ন এবং দুটি অণুর মধ্যে যে দূরত্ব পর্যন্ত আন্তরাগবিক বল সঞ্চালিত হয় তাকে আণবিক পরিসর বলা হয় এটি  $10^{-9}\text{m}$ ।

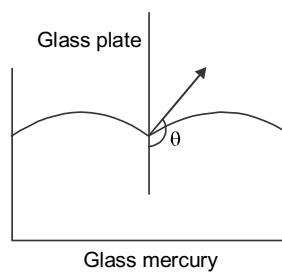
**উদাহরণ:** জলের অগুঁগলি সংস্পর্শে আসার সময় সম্মিলিত বল অনুভব করে। প্লাস এবং জলের অণু খড়ি এবং ব্ল্যাকবোর্ড, কালি এবং কাগজ, সিমেন্ট এবং বিরতি অণুর মধ্যে আসন্ন বল অনুভূত হয়।

### 5.3.3 স্পর্শকোণ

যখন তরল মুক্ত পৃষ্ঠের সংস্পর্শে আসে, তখন কঠিনের কাছে তরলের পৃষ্ঠ একটি বাঁকা আকৃতি অর্জন করে। যখন একটি কাচের প্লেট আঁশিকভাবে জলে ডুবিয়ে দেওয়া হয় তখন প্লেটের কাছাকাছি পৃষ্ঠ একটি অবতল আকৃতি অর্জন করে কারণ প্লাস এবং জলের মধ্যে আসন্ন বল জলের অণুর মধ্যে একত্রিত বলের চেয়ে বেশি। যদি একটি প্লাস প্লেট পারদ মধ্যে নিমজ্জিত হয়, পারদ পৃষ্ঠ একটি উত্তল আকৃতি অর্জিত হয়। পারদ অগুঁগলির মধ্যে সমন্বয়কারী বল প্লাস এবং পারদ অণুর মধ্যে আসন্ন বলের চেয়ে বেশি। কঠিন পৃষ্ঠের স্পর্শক এবং তরল পৃষ্ঠের স্পর্শকের মধ্যবর্তী কোণকে স্পর্শকোণ বলে। প্লাস-জলের জন্য স্পর্শকোণ  $\theta$  চিত্র 5.15 এ দেখানো হয়েছে। অনুরূপে চিত্র 5.16 এ স্পর্শকোণ  $\theta$  প্লাস-পারদের জন্য দেখানো হয়েছে।

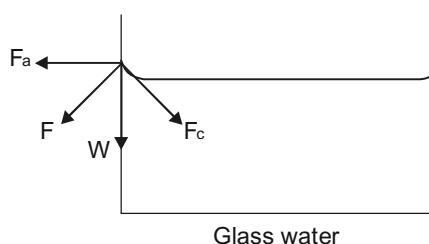


চিত্র 5.15: প্লাস-জলের জন্য স্পর্শকোণ

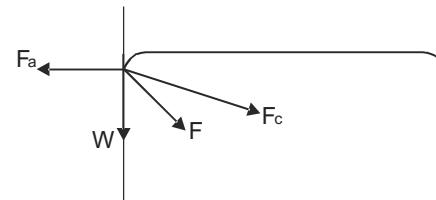


চিত্র 5.16: প্লাস-পারদের জন্য স্পর্শকোণ

প্লাস-ওয়াটার এবং প্লাস-পারদ কোণের স্পর্শকোণের জন্য সংস্কৃতি বল ( $F_a$ ) এবং আসন্ন বল ( $F_c$ ) বিবেচনা করে, আমরা যথাক্রমে চিত্র 5.17 এবং 5.18 চিত্রিত করতে পারি। প্লাস-জলের সংস্পর্শের ক্ষেত্রে সংস্কৃতি বল আসন্ন বলের চেয়ে বেশি, কিন্তু কাচের-পারদের সংস্পর্শের ক্ষেত্রে সংস্কৃতি বল আসন্ন বলের চেয়ে কম।



চিত্র 5.17: সংস্কৃতি বল ( $F_a$ ) > আসন্ন বল ( $F_c$ )



চিত্র 5.18: সংস্কৃতি বল ( $F_a$ ) < আসন্ন বল ( $F_c$ )

1	স্পর্শকোণ $\theta < 90^\circ$ (সূক্ষ্মকোণ)	স্পর্শকোণ $\theta > 90^\circ$ (স্থূলকোণ)
2	তরল পৃষ্ঠের আকৃতি অবতল	তরল পৃষ্ঠের আকৃতি উত্তল
3	তরল শক্ত পৃষ্ঠকে ভেজায় করে	তরল শক্ত পৃষ্ঠকে ভেজায় না
4	$F_a > F_c$	$F_a < F_c$
5	একটি কৈশিক নল মধ্যে তরল বৃদ্ধি	একটি কৈশিক নল মধ্যে তরল হ্রাস
6	উদাহরণ: প্লাসে জল	উদাহরণ: কাচের উপর পারদ

### 5.3.4 কৈশিক টিউবে তরলের উত্থান সূত্র

যখন খুব ছোট ব্যাসের উভয় প্রান্তে খোলা একটি প্লাস টিউব একটি তরলে ডুবানো হয় তখন তরলটি এই কৈশিক নলটিতে উত্থাপিত বা বিষণ্ণ হয়। কৈশিক নালিতে তরলের উত্থান বা অবনমনকে ক্যাপিলারিটি বলে।

কৈশিক নল মধ্যে উত্থাপিত উচ্চতার সূত্র:

$$h = \frac{2S \cos\theta}{rpg} \quad \dots(1)$$

এখানে  $S$  হল তরলের পৃষ্ঠের টান,  $\theta$  স্পর্শকোণ,  $r$  হল কৈশিক নলের ব্যাসার্ধ,  $p$  তরলের ঘনত্ব। যদি  $\theta = 0^\circ$ ,  $\cos 0^\circ = 1$

$$\text{তখন, } h = \frac{2S}{rpg} \text{ সূতরাং, } h \propto \frac{1}{r} \quad \dots(2)$$

এখানে পৃষ্ঠটান  $S$  এবং তরলের ঘনত্ব  $p$  উভয়ই স্থির রাখা হলে কৈশিক নালিতে উত্থাপিত উচ্চতা তার ব্যাসার্ধের বিপরীত আনুপাতিক।

**অপর্যাপ্ত দৈর্ঘ্যের টিউব:** কৈশিক টিউবে উত্থাপিত উচ্চতা সমীকরণ (1) দ্বারা দেওয়া হয়। যদি কৈশিক নলটির দৈর্ঘ্য উত্থাপিত উচ্চতা ( $h$ ) এর চেয়ে কম হয় তাহলে তরল পৃষ্ঠ নলের শীর্ষে সমতল হয়ে যায় এবং তরল উপরে পড়ে না।

### 5.3.5 পৃষ্ঠটানের প্রয়োগ

#### দৈনন্দিন জীবনের উদাহরণ

- ফানুস মধ্যে কেরোসিন তেল এবং মোমবাতি মধ্যে গলিত মোম।
- কলমের নিব মাঝখানে বিভক্ত হয় কারণ এতে একটি কৈশিক গঠিত হয়। যখন নিব কালিতে ডুবানো হয়, তখন কালি কৈশিকের উপরে উঠে যায়।
- সাবান এবং ডিটারজেন্ট জলের পৃষ্ঠটান কমায় যাতে জল সহজেই ছিন্দ এবং গর্তে ভিজতে পারে।
- একটি ছোট সুঁচ জলের পৃষ্ঠে ভাসানো যেতে পারে।

#### শিল্প প্রয়োগ

- পৃষ্ঠটান ডিটারজেন্ট গঠনে ব্যবহৃত হয় যাতে আমরা পরিষ্কারের বৈশিষ্ট্য উন্নত করতে পারি।
- এটি খাদ্য এবং প্যাকিং পণ্যগুলির বৈশিষ্ট্যগুলির জন্যও ব্যবহৃত হয়।

### 5.3.6 পৃষ্ঠটানকে প্রভাবিত করার কারণ

- তাপমাত্রা: একটি তরলের পৃষ্ঠের টান তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায় কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির কারণে একত্রিত শক্তি হ্রাস পায়।
- দূষণের প্রভাব: যদি ধূলিকণা, গ্রীস বা তেলের মতো দূষিত পদার্থ জলের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে তাহলে পৃষ্ঠের টান কমে যায়।
- অপবিত্রতা: কোন লবণ তরলে সম্পূর্ণরূপে দ্রবীভূত হলে তার পৃষ্ঠের টান বৃদ্ধি পায়। যদি লবণ কম দ্রবণীয় হয় বা সাবান বা ফিনোল ভেসে থাকে তাহলে জলের পৃষ্ঠের টান কমে যায়।



Simulation  
on surface  
tenion

## ভিডিও সম্পদ

### কেস স্টাডি

কৃষক বৃষ্টির পর তার ক্ষেত চাষ করে যাতে পোকামাকড় দ্বারা মাটিতে গঠিত কৈশিকগুলো ভেঙ্গে যায় এবং মাটির নিচের স্তরে জল থাকে। কৃষক যদি লাঙ্গল চাষ না করে তাহলে নিম্ন স্তরের জল মাটিতে কৈশিকের মাধ্যমে উঠে বাষ্প হয়ে যাবে। মাটির জল গাছপালা প্রহণ করে তাই চাষের প্রয়োজন।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

তুমি কি ব্যাখ্যা করতে পার, যে গরম সৃষ্টি ঠাণ্ডার চেয়ে সুস্থান কেন?

জলের চেয়ে সাধারণ দ্রবণ থেকে তৈরি হতে পারে এমন বড় বুদ্বুদ আলোচনা কর।

পারদের ছেট ড্রপগুলি গোলাকার এবং একটি বড় ড্রপ সমতল আলোচনা কর।

### সমাধানকৃত সমস্যা

সমস্যা -1: অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ 8 mm কৈশিক, জলে নিমজ্জিত। জল কোন পর্যন্ত কৈশিকের মধ্যে উঠে? (জলের পৃষ্ঠাটান 70 × 10<sup>-3</sup> N/m, g = 10 m/s<sup>2</sup>, ρ<sub>water</sub> = 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>, θ = 0° স্পর্শকোণ)।

সমাধান: একটি কৈশিক জলে তরলের উচ্চতা,

$$h = \frac{2S\cos\theta}{rpg} = \frac{2 \times 70 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 10} = 1.75 \times 10^{-3} = 1.75 \text{ mm}$$

## 5.4 সান্দ্রতা এবং সান্দ্রতার গুণাঙ্ক

### মজার ঘটনা

কেচাপ বা মেয়োনিজ একটি থিক্সোট্রিপিক সিস্টেম, যা শিয়ারিং বল প্রয়োগ করা হয় এবং তার উপর নির্ভর করে সান্দ্রতার পার্থক্য দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এর মানে হল যে যখন এটি একটি বোতলে অচল রেখে দেওয়া হয়, তখন কেচাপটি মোটা থাকে (উচ্চ সান্দ্রতা) এবং যখন আমরা কেচাপের বোতলটি বেড়ে ফেলি এবং এটি ঢেলে দিই, তখনই তা পাতলা হয়ে যায় অর্থাৎ এর সান্দ্রতা কমে যায়।

### 5.4.1 সান্দ্রতা, সান্দ্রতার গুণাঙ্ক এবং প্রাণ্তিক বেগ

**সান্দ্রতা:** তরল এবং গ্যাস (বা প্রবাহ) গুরুত্বপূর্ণ ভৌত ধর্ম প্রদর্শন করে, যথা সান্দ্রতা; যা প্রসার্য বা শিয়ার চাপের কারণে ক্রমাগত বিকৃতি (বা প্রবাহ) এর অভ্যন্তরীণ প্রতিরোধ। এটি তরলের প্রবাহকে প্রতিহত করার প্রবণতা। উদাহরণস্বরূপ, মধু বা সিরাপ জলের চেয়ে বেশি সান্দ্র হয় কারণ এটি প্রবাহের জন্য বেশি প্রতিরোধের সম্মুখীন হয় এবং তাই জলের চেয়ে প্রবাহে বেশি সময় লাগে।

**সান্দ্রতা গুণাঙ্ক:** আমরা পাত্রে কিছু তরল বিবেচনা করি। পাত্রে নিচের পৃষ্ঠের সংস্পর্শে থাকা তরল স্তরের নিচের পৃষ্ঠের সমান বেগ রয়েছে। একটি স্থির পৃষ্ঠের জন্য, তরল স্থির থাকে অর্থাৎ স্থির পৃষ্ঠের সংস্পর্শে তরল স্তরের বেগ শূন্য। যখন আমরা তরল পদার্থের নিচের স্তর থেকে উপরের স্তরে চলে যাই, স্তরগুলির বেগ ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়। বায়ুর সংস্পর্শে তরল পদার্থের উপরের স্তরটি সর্বোচ্চ বেগ 'v' দিয়ে চলে। পরপর দুটি স্তরের মধ্যে একটি বল বিদ্যমান, যা নিম্ন স্তরের উপর একটি উপরের স্তরের স্লাইডিং আন্দোলনের বিরোধিতা করে। দুটি তরল স্তরের মধ্যে তাদের আপেক্ষিক চলাফেরার কারণে এই ধরনের ঘর্ষণ বলকে সান্দ্র বল ( $F_V$ ) বলে।



Virtual Lab  
on Viscosity

যখন জল, ঘি বা তেলের মতো তরল একটি পাইপ বা একটি নলে প্রবাহিত হয়, তখন এই ধরনের তরলের একটি স্তরের বেগ একটি পাইপের অক্ষ বরাবর সর্বাধিক হয় এবং আমরা একটি পাইপের দেয়ালের দিকে ধীরে ধীরে এগিয়ে যাওয়ার সাথে সাথে হ্রাস পায়। নলাকার প্রাচীর বরাবর, এই তরলগুলির বেগ স্থির থাকে।



চিত্র 5.19: (a) একটি বিকারে (b) একটি পাইপে তরল প্রবাহের বেগ বিতরণ

একটি ল্যামিনার তরল প্রবাহে, পরপর দুটি অণু মোটা তরল স্তর একটি অনুভূমিক প্রস্তরের উপর মিশ্রিত না করে বিভিন্ন বেগের সাথে সমান্তরালভাবে চলে। কম বেগ এবং তরলের উচ্চ সান্দ্রতার জন্য, ল্যামিনার প্রবাহ ঘটে।

ধ্রুব তাপমাত্রায়, ল্যামিনার তরল পদার্থে কাজ করা সান্দ্র শক্তি ( $F$ ) নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে:

$F \propto A$ , যেখানে  $F$  হল একটি সান্দ্র বল, এবং  $A$  হল একটি এলাকা যেখানে সান্দ্র বল কাজ করে।

$$\text{এবং } F \propto \frac{(v_2 - v_1)}{d} \text{ যেখানে } \frac{(v_2 - v_1)}{d} \text{ একটি বেগের নতিমাত্রা}$$

$$\text{অতএব, } F \propto A \frac{(v_2 - v_1)}{d}$$

$$\text{বা, } F = \eta A \frac{(v_2 - v_1)}{d}, \text{ যেখানে } \eta = \text{সান্দ্রতাংক}$$

$$\text{বা, } \eta = \frac{\left[ \frac{F}{A} \right]}{\left[ \frac{(v_2 - v_1)}{d} \right]}$$

এটি অসম্পূর্ণ ল্যামিনার তরলের জন্য নিউটনের সান্দ্রতা নীতি হিসাবে পরিচিত। সান্দ্রতার সহগের মাত্রা হল  $[M^1 L^{-1} T^1]$ । এর CGS ইউনিট হল poise বা dyne-s.cm<sup>-2</sup> এবং, এটি SI ইউনিট সিস্টেমে N-s.m<sup>-2</sup> এ পরিমাপ করা হয়। অত্যন্ত সান্দ্র তরলের জন্য, এর মান বেশি এবং এটি তরলের তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। তরল পদার্থের জন্য, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে হ্রাস পায় এবং গ্যাসের জন্য এটি তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায়।

গতিশীল বা পরম সান্দ্রতা এবং কাইনেমেটিক সান্দ্রতার গুণক হল সান্দ্রতার দুটি পরিমাপ। গতিশীল (বা পরম) সান্দ্রতা হল স্পর্শকাতর চাপ (বা শিয়ারিং স্ট্রেস) যা তরলের এক স্তরকে পরপর আরেকটি স্তরের সাথে সরানোর জন্য প্রয়োজনীয়; এই স্তরগুলি তরলের মধ্যে এক ইউনিট দূরত্বে রয়েছে।

গতিশীল বা পরম সান্দ্রতা পরিমাপ করা হয় পাস্কাল-সেকেন্ড (Pa-s) বা poiseuille (Pl) বা নিউটন-সেকেন্ড প্রতি বগমিটারে (N-s.m<sup>-2</sup>) SI ইউনিটে, এটি পয়েস (P) বা সেন্টিপয়েসে (cP) পরিমাপ করা হয় যার নামকরণ করা হয়েছে ফরাসি পদার্থবিজ্ঞানী জিন-লুই মারি পোইসুইলের নামে।

$$1 \text{ Pa-s} = 1 \text{ P} = 10 \text{ P}$$

$$1 \text{ cP} = 0.01 \text{ P}, \text{ এবং } 1 \text{ Pa-s} = 1000 \text{ cP}$$

ঘরের তাপমাত্রায় জলের সান্দ্রতা হল 1 cP (= 0.01 P বা 0.001 Pa-s) যা অন্যান্য তরলের সান্দ্রতা পরিমাপের জন্য একটি মানদণ্ড। তার ফুটন্ট পয়েন্টে, এটি 0.038 cP এ নেমে যায়। কেচপের জন্য, সান্দ্রতা মান প্রায় 50,000 থেকে 70,000 সিপি। 40 সিপি বা তার কম সান্দ্রতা সহ কম সান্দ্রতা চকোলেট মিষ্টান্ন আইটেম বা চকলেট ঝর্ণায় পাতলা আবরণের জন্য ব্যবহার করা হয়, যখন 90 সিপি এর উপরে সান্দ্রতা সহ উচ্চ সান্দ্রতা চকোলেট। বাতাসের জন্য, সান্দ্রতার মান 0.019 cP (বা 0.000019 Pa-s) এবং মোটর তেলের 0.001 cP (বা 1 Pa-s)।

কাইনেমেটিক সান্দ্রতা হল একটি তরলের ভর ঘনত্বের সাথে একটি গতিশীল (বা পরম) সান্দ্রতার অনুপাত। এটি  $\mu = \frac{\eta}{\rho}$ । দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

কাইনেমেটিক সান্দ্রতার SI ইউনিট হল  $\text{m}^2/\text{s}$  এবং CGS ইউনিট সিস্টেমে এটি স্টোকস (St)।

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

কাইনেমেটিক সান্দ্রতার SI ইউনিট  $\text{m}^2/\text{s}$  এবং CGS ইউনিট সিস্টেমে এটি stokes (St)।

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}।$$

যেহেতু স্টোকস একটি বড় ইউনিট, তাই এর ১০০ তম অর্থাৎ centistokes (cSt) প্রায়ই ব্যবহৃত হয়।

**প্রাণ্তিক বেগ:** এটি সর্বোচ্চ ধ্রুবক বেগ যার সাথে কোন বস্তু তরলের মধ্য দিয়ে পড়ে; যখন সান্দ্র বল এবং প্লবতা বলের যোগফল মাধ্যাকর্ষণ বলের সমান হয়। আমরা এটি ' $V_t$ ' দ্বারা নির্দেশ করি।

**তিনটি বলের অভিভ্যন্তা:** (a) নিচের দিকে তরলের সান্দ্র বল যখন বস্তু তরলে চলে (b) উর্ধমুখী প্লবতা বল (c) নিচের দিকে বস্তুর ভরের কারণে মাধ্যমিক বল। যখন এই তিনটি বল একটি বস্তুতে কাজ করে তখন একে অপরের ভারসাম্য বজায় রাখে, তখন নিট বল শূন্য হয়ে যায় এবং গোলাকার বস্তু ধ্রুব বেগ বা শূন্য ত্বরণ নিয়ে অভিগ্রহণ করে। এই ধ্রুবক বেগ প্রাণ্তিক বেগ হিসাবে পরিচিত। একটি গোলাকার বস্তুর প্রাণ্তিক বেগ নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা নির্ধারিত হতে পারে:

$$V_t = \frac{2 r^2 g}{9 \eta} (\rho - \rho_f)$$

#### 5.4.2 স্টোকসের নীতি এবং সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব

স্টোকস 1851 সালে সান্দ্র বলের জন্য গাণিতিক অভিব্যক্তি বের করেছিলেন, যা স্টোকসের নীতি নামে পরিচিত:

$$F_V = 6 \pi \eta r V$$

স্টোকসের নীতি ছোট আকারের বস্তুর জন্য বৈধ যার মাত্রা তরল অণুগ্রহণের মধ্যে দূরত্বের চেয়ে বড় অর্থাৎ সমজাতীয় এবং অবিচ্ছিন্ন তরল মাধ্যমের জন্য। বস্তু পুরোপুরি মসৃণ এবং অনন্মনীয় হওয়া উচিত। তরল মাধ্যমটি সুবিন্যস্ত বা ল্যামিনার হতে হবে এবং প্রসারিত করতে হবে। এই নীতি তরল মাধ্যমের চেয়ে হালকা কণা বা বস্তুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয় (যেমন, সোডা ওয়াটার বা বাতাসে উঠা বুদবুদ)। স্টোকসের সমীকরণ তরলের সান্দ্রতা পরিমাপ এবং মিঠা জলে পলিমাটির নিষ্পত্তি খুঁজে পেতে ব্যবহৃত হয়। যদি বিচ্ছুরিত কঠিন পদার্থের পরিমাণ বেশি হয়, তবে বিচ্ছুরিত কঠিন পদার্থের অগুর ব্রাউনিয়ান গতি এবং স্টোকসের সমীকরণ ব্যবহার করে পরিমাপ করা হারের কারণে প্রকৃত অবক্ষেপণ হারের পার্থক্য হতে পারে। ক্যাপিলারি টিউব ভিসকোমিটার, সায়বোল্ট ভিসকোমিটার এবং রোটটিং ভিসকোমিটার হল তিনি ধরনের ডিভাইস যা তরলের সান্দ্রতা পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়।

সান্দ্রতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব: সান্দ্রতা হল তরল পদার্থের ভৌত ধর্ম যা অনেক প্রকৌশল ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়। অতএব, এটির উপর তাপমাত্রার প্রভাব বোঝা বেশ গুরুত্বপূর্ণ।

তরল পদার্থের জন্য, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সান্দ্রতা হ্রাস পায় কারণ যৌগিক শক্তি তরলের অণুগুলিকে আবদ্ধ করে এবং অণুর চলাচলের কারণে গতি স্থানান্তর বৃদ্ধি পায়। সাধারণত, একক্রীকরণ শক্তি প্রাধান্য পায় এবং তরল অণুগুলি স্বাভাবিক তাপমাত্রায় আলগাভাবে আবদ্ধ থাকে। এটি উচ্চ তাপমাত্রায় তরলকে কম সান্দ্র করে তোলে। যদি যথাযথ সান্দ্রতাযুক্ত তৈলান্তর তেল অটোমোবাইল ইঞ্জিনে বা রেফ্রিজারেটর কম্প্লেক্সের ব্যবহার না করা হয় যা উচ্চ এবং নিম্ন তাপমাত্রা সহ্য করতে পারে, তাহলে অভ্যন্তরীণ অংশগুলির মধ্যে ঘর্ষণের কারণে তাপের ক্ষতি তাদের জীবনকাল হ্রাস করে।

তরল পদার্থের সান্দ্রতার তাপমাত্রা নির্ভরতা দেওয়া হয়:

$$\eta = \frac{\eta_0}{(1 + \alpha t + \beta t^2)}$$

গ্যাসের জন্য, সান্দ্রতা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায় কারণ অণুর মধ্যে গতিবেগ স্থানান্তরের হার বৃদ্ধি পায় কারণ তারা অধিক গতিশক্তি অর্জন করে। গ্যাস সান্দ্রতার তাপমাত্রা নির্ভরতা দেওয়া হয়:

$$\eta = \eta_0 + \alpha t + \beta t^2$$

#### 5.4.3 জলবাহী সিস্টেমে সান্দ্রতার প্রয়োগ

হাইড্রোলিক সিস্টেম হচ্ছে এমন যেখানে এক বিন্দুতে প্রয়োগ করা বল অসম্পূর্ণসান্দ্র তরল মাধ্যমের অন্য বিন্দুতে প্রেরণ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, জলবাহী ব্রেকের জন্য, সান্দ্র মাধ্যম হল ব্রেক তরল। হাইড্রোলিক পাম্প, মোটর, সিলিন্ডার, ব্রেক ইত্যাদি যেকোনো হাইড্রোলিক সিস্টেম বিভিন্ন অ্যাপ্লিকেশনে ব্যবহৃত হয় (যেমন, লিফট, ফিশিং বোট, স্টিয়ারিং সিস্টেম, শক শোষণকারী, ফ্লাইট কন্ট্রোল, এবং ট্রান্সমিশন, এয়ারপ্লেনে ল্যান্ডিং গিয়ার্স, আর্থর্মুভিং সরঞ্জাম, ট্রাক্টর, সেচ ব্যবস্থা, ড্রিলিং রিগ, বিল্ডিং এবং নির্মাণ যন্ত্রপাতি, রোবোটিক সিস্টেম, ক্রাশার, টেক্সটাইল যন্ত্রপাতি, কাগজ শিল্প ইত্যাদি) উচ্চ দক্ষতার জন্য অসম্ভব উচ্চ ঘনত্বের তরল ব্যবহার করে। এই হাইড্রোলিক প্রবাহী হাইড্রোলিক সিস্টেমের উপাদানকে ক্ষয় করতে পারে এবং তাই হাইড্রোলিক ফ্লুইডের পাশাপাশি উপাদান নির্বাচন করা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। জলবাহী তরলের সান্দ্রতা হাইড্রোলিকের অন্তর্নিহিত ক্রিয়াকলাপের কারণে তাপমাত্রার পরিবর্তনের দ্বারা প্রভাবিত হয়। যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়, এর সান্দ্রতা হ্রাস পায় এবং যখন তাপমাত্রা হ্রাস পায় তখন এর সান্দ্রতা বৃদ্ধি পায়। যদি কম তাপমাত্রায় এর সান্দ্রতা বেশি হয়, হাইড্রোলিক তরল ঘন হয়ে যায় যা ক্যারিভিটেশন সমস্যা, প্লাগযুক্ত ফিল্টার, যান্ত্রিক দক্ষতা হ্রাস এবং সামগ্রিক কর্মক্ষমতা এবং কার্যকারিতা সৃষ্টি করতে পারে। যদি উচ্চ তাপমাত্রায় হাইড্রোলিক ফ্লুইডের সান্দ্রতা কম থাকে, তাহলে তরল খুব পাতলা হয়ে যায় এবং এটি তৈলান্তরণের অভাব, পরিধান এবং টিয়ার বৃদ্ধি এবং অভ্যন্তরীণ ফুটো হওয়ার কারণে ঘর্ষণ বাড়ায়। অতএব, হাইড্রোলিক তরল পদার্থের তাপমাত্রা পরিবর্তনের ক্ষেত্রে পর্যাপ্ত সান্দ্রতা থাকতে হবে যাতে জীবনকাল, কর্মক্ষমতা এবং জলবাহী সিস্টেমের উপাদানগুলির

#### প্রয়োগ

ভারী যন্ত্রপাতি উপাদানগুলির জন্য ব্যবহৃত তৈলান্তরণ তেল নির্বাচনের ক্ষেত্রে সান্দ্রতা সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। গাড়ির ইঞ্জিনগুলিতে কম সান্দ্রতা তেল ব্যবহার করা হয়। অত্যন্ত সান্দ্র তরল হাইড্রোলিক ব্রেকিং-এ ব্রেক প্রবাহী হিসেবে ব্যবহৃত হয়। হাদপিণ্ড, ফুসফুস এবং শিরা দিয়ে রান্ড প্রবাহ তার সান্দ্রতার উপর নির্ভর করে। মিলিকানের তেল ড্রপ পরীক্ষায়, চার্জ মূল্যায়নের জন্য একটি তেলের সান্দ্রতা ব্যবহার করা হয়।

উচ্চ বেগের বৃষ্টির ফোঁটায় উচ্চ গতিশক্তি থাকে কিন্তু যখন তারা বাতাসের মধ্য দিয়ে যায়, তখন বাতাসের কারণে সান্দ্র শক্তি তাদের শক্তি হ্রাস করে এবং অবশেষে বৃষ্টির বিন্দু কম প্রাণ্তিক বেগ অর্জন করে। এই কারণেই আমরা বৃষ্টির ফোঁটায় আঘাত পাই না। একইভাবে, একটি প্যারাসুটার অবতরণের আগে প্রাণ্তিক বেগ অর্জন করে।

### কেস স্টাডি

বিভিন্ন বয়সের জন্য বিভিন্ন বাণিজ্যিক শ্যাম্পু তাদের রিওলজিকাল বৈশিষ্ট্যের কারণে একে অপরের থেকে আলাদা। প্রধান রিওলজিকাল বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে একটি হল সান্দ্রতা যা শ্যাম্পুর তরলতা এবং পুরুত্বের সাথে সম্পর্কযুক্ত। শ্যাম্পুতে 80 wt% জল থাকে এবং অবশিষ্ট পদার্থগুলি সারব্যাট্যান্ট, সান্দ্রতা সংশোধনকারী, সংরক্ষণকারী, সুগন্ধি এবং রঙিন। ভিসকোটেস্টার রিওলিটার দখায় যে কম শিয়ার হারের জন্য, পুরুষ এবং শিশুদের জন্য শ্যাম্পুগুলির সান্দ্রতা প্রায় 120 poise থাকে, যা তাদের ক্রিম এবং আরও সান্দ্র টেক্সচার দেয়, যখন মহিলাদের শ্যাম্পুগুলি সান্দ্রতা দেখিয়েছে প্রায় 75 poise, কম সান্দ্রতা এবং আরো তরলতা। চুলের জেলের সান্দ্রতা প্রায় 960 poise।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি করা

তরল-মত 'জ্বালানি এবং রাস্তা তেলের' উচ্চ কিনেমেটিক সান্দ্রতা পরিমাপের জন্য আরেকটি ইউনিট আছে কি? [ইঙ্গিত: ASTM D 88 পরীক্ষা পদ্ধতি এই ধরনের তরলগুলির সান্দ্রতা নির্ধারণের জন্য নির্ধারিত হয় এবং ইউনিটিটে 'জ্বালানি এবং রাস্তা তেলের জন্য পোর্টম্যানেট' ফুরোল 'অন্তর্ভুক্ত রয়েছে।]

### সমাধানকৃত সমস্যা

**সমস্যা-1:** বাতাসে 0.3 মিমি ব্যাসার্ধের একটি সিলিকন তেলের ড্রপের প্রাণ্তিক বেগ গণনা কর। বায়ুর সান্দ্রতার গুণক =  $1.8 \times 10^{-5}$  Pa·s; সিলিকন তেলের ঘনত্ব = 980 kg/m<sup>3</sup> এবং বায়ুর ঘনত্ব = 1.225 kg/m<sup>3</sup>

**সমাধান:** তেলের ড্রপের ব্যাসার্ধ = 0.3 মিমি =  $3 \times 10^{-4}$  মি

বায়ুর সান্দ্রতা গুণাঙ্ক =  $1.8 \times 10^{-5}$  Pa·s;

সিলিকন তেলের ঘনত্ব = 980 kg/m<sup>3</sup> এবং বায়ুর ঘনত্ব = 1.225 kg/m<sup>3</sup> অতএব,

$$\text{প্রাণ্তিক বেগ}, V_t = \frac{2 r^2 g}{9 \eta} (\rho - \rho_f) = \frac{2 (3 \times 10^{-4})^2}{9 \cdot 1.8 \times 10^{-5}} (980 - 1.225) \times 9.8 \\ = 10657 \times 10^{-3} = 10.657 \text{ মি/সেকেন্ড}$$

## 5.5 জলবিন্দু বিদ্যা

### মজার ঘটনা

রক্তের কম সান্দ্রতা এবং উচ্চ অশান্ত রক্ত প্রবাহ মানবদেহে রক্তক্লিতা সৃষ্টি করে যা এড়ি শ্রেত তৈরির জন্য দায়ী। যেহেতু বস্তুর বাকি রক্তনালীর তুলনায় এণ্টার ব্যাস সবচেয়ে বেশি, তাই রক্ত প্রবাহের হার সর্বোচ্চ যা রক্ত প্রবাহে অশান্ত এবং একটি বড় রেইনল্ডস সংখ্যা প্রদান করে। এই অশান্ত এড়ি শ্রেতের অনুমতি দেয় যা রক্তকে একটি বড় শক্তি দিয়ে রক্তনালীতে আঘাত করে। হাদিয়ন্ত্রে তখন স্টেথোস্কোপ ব্যবহার করে একটি স্বতন্ত্র শব্দ হিসেবে শোনা যায়। রক্তনালীতে লামিনারের প্রবাহ রক্তের কোষগুলিকে দেয়াল এবং পরবর্তীতে প্রয়োজনের জায়গায় মেনে চলতে দেয়।

### 5.5.1 তরল গতি

হাইড্রোডায়নামিক্স হল তরল গতিবিদ্যার একটি উপশাখালা এবং পদার্থবিজ্ঞানের একটি শাখা যেখানে তরল পদার্থের গতি সান্দ্রতা এবং ভর ঘনত্বের ক্ষেত্রে একটি ম্যাক্রোক্ষেপিক স্তরে অধ্যয়ন করা হয়। গ্যাসের গতি অ্যারোডাইনামিক্সে অধ্যয়ন করা হয়, তরল

গতিবিদ্যার আরেকটি উপশৃঙ্খল। ভারসাম্যহীন শক্তির উপর তরল প্রবাহের কারণে তরল প্রবাহিত হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত এটি এই শক্তির অধীন থাকে ততক্ষণ এটি সচল থাকে। বাহ্যিক শক্তির উপর ঘনত্ব এবং সন্তুষ্টা কীভাবে পরিবর্তিত হয় তার উপর নির্ভর করে বিভিন্ন ধরণের তরল রয়েছে: (1) আদর্শ তরল (2) আসল তরল (3) অসম্পূর্ণ তরল (4) সংকোচনযোগ্য তরল (5) আদর্শ প্লাস্টিক তরল (6) নিউটনীয় তরল (7) অ-নিউটনীয় তরল। আদর্শ তরল একটি কানুনিক অসম্পূর্ণ তরল এবং বাস্তবে এর অস্তিত্ব নেই। এটি সান্ত্বনার অধিকারী নয়। অন্যদিকে, আসল তরল সান্ত্বনার অধিকারী। সমস্ত তরলই প্রকৃত তরল। যদি বাহ্যিক শক্তি প্রয়োগের সময় তরলের ঘনত্ব পরিবর্তন না হয়, তাহলে এই ধরনের তরলকে অসম্পূর্ণ তরল বলা হয়। একটি সংকুচিত তরলের জন্য, বাহ্যিক শক্তির প্রয়োগের সাথে ঘনত্ব পরিবর্তিত হয়। আদর্শ প্লাস্টিক তরল হল এক ধরনের তরল পদার্থ যেখানে শিয়ার পীড়নবেগ গ্রেডিয়েন্টের সমানুপাতিক এবং এটি ফলন মূল্যের চেয়ে বেশি। নিউটনিয়ান তরল নিউটনের সান্ত্বনা নীতি মেনে চলে, যখন অ-নিউটনিয়ান তরল এই নীতি মানে না। তরল প্রবাহকে শ্রেণীবদ্ধ করা হয় (1) স্থির (2) অস্থির (3) সংকোচনযোগ্য (4) অসম্পূর্ণ (বা আইসোকেরিক) (5) সান্দ্র (6) অ-সান্দ্র (7) ঘূর্ণনশীল (8) তরলের বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে কিভাবে তরল প্রবাহিত হয় তরল প্রবাহকে স্থির প্রবাহ হিসাবে বিবেচনা করা হয় যখন তরলটির গতি যেকোনো স্থানে স্থির থাকে; যখন তরল প্রবাহের কোন স্থানে তরলের গতি স্থির না থাকে, তাহলে এটি অস্থির প্রবাহ হিসাবে বিবেচিত হয়। বাহ্যিক শক্তির প্রয়োগের সাথে তরলটির ঘনত্ব পরিবর্তিত হয় কি না তার উপর সংকোচনযোগ্য প্রবাহ এবং অসম্পূর্ণ প্রবাহ নির্ভর করে। যখন তরল পদার্থের জড়ত্বা, দেহ শক্তি এবং চাপের গ্রেডিয়েন্টের প্রভাব তরল সান্ত্বনার প্রভাবে ভারসাম্যপূর্ণ হয়, তখন তরলের প্রবাহকে সান্দ্র প্রবাহ বলে। নন-সান্দ্র তরল প্রবাহে, তরলের উচ্চ বেগের কারণে এই প্রভাবগুলি ভারসাম্যহীন থাকে। ইরোটেশনাল প্রবাহী ছেঁও হচ্ছে এমন একটি যেখানে তরল কণাগুলি ধারারেখ বরাবর চলার সময় তাদের অক্ষের উপর ঘোরে না যখন ঘূর্ণনশীল তরল প্রবাহে, তরল কণাগুলি ধারারেখ বরাবর চলার সময় তাদের অক্ষের চারপাশে ঘোরে।

### 5.5.2 ধারারেখ এবং অশান্ত প্রবাহ

তরল পদার্থের প্রতিটি কণা যদি তরলের যেকোনো স্থানে ধ্রুব বেগের সাথে প্রবাহিত হয়, তাহলে প্রবাহকে বলা হয় স্থির বা প্রবাহমান প্রবাহ। তরল কণা সুগঠিত পথ অনুসরণ করে যা একটি বক্ররেখ যার স্পর্শক যে কোন বিন্দুতে সেই স্থানে তরল বেগের দিক নির্দেশ করে। তরল পদার্থের অবিচ্ছিন্ন প্রবাহে ধারারেখগুলি কখনও একে অপরকে ছেদ করে না। সাধারণভাবে, ল্যামিনার প্রবাহ হল একটি ধারারেখ প্রবাহ, যেখানে তরল বিভিন্ন বেগের স্তরের আকারে ভালভাবে সংজ্ঞায়িত ধারারেখগুলির সাথে প্রবাহিত হয় যা মিশ্রিত হয় না। ধারারেখ প্রবাহ বা ল্যামিনার প্রবাহ তরলের কম বেগের সাথে ঘটে এবং তরল কণার বিনিময় এক স্তর থেকে অন্য স্তরে হয় না। ধারারেখ ফোর্সের ক্ষেত্রে তরলের সান্ত্বনা জড় শক্তির উপর আধিপত্য বিস্তার করে তাই এই ধরনের প্রবাহকে সান্দ্র প্রবাহও বলা হয়। ল্যামিনার বল তাত্ত্বিক।

যখন তরলটি সমালোচনামূলক বেগের চেয়ে বেশি বেগের সাথে প্রবাহিত হয়, তখন তরল কণাগুলি ক্রটিপূর্ণ, বিশৃঙ্খল এবং এলোমেলোভাবে চলে। এই ধরনের তরল প্রবাহ অশান্ত প্রবাহ হিসাবে পরিচিত। তরল কণার এক স্তর থেকে অন্য স্তরে অনিয়মিত চলাচলের ফলে উন্নাল প্রবাহে ক্রস-কারেন্ট বা এডি স্রোত তৈরি হয়। এই ধরণের তরল প্রবাহে, জড় শক্তিগুলি তরলের সান্ত্বনার উপর আধিপত্য বিস্তার করে। অশান্ত প্রবাহ হল একটি ব্যবহারিক এবং অ-সান্দ্র প্রবাহ যা উচ্চ বেগ এবং তরলের কম সান্ত্বনায় ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, উড়ন্ট বিমান বা চলন্ত বাস বা ট্রেনের ঠিক পিছনে একটি বায়ুপ্রবাহ; চলন্ত নৌকা বা জাহাজের ঠিক পিছনে জলের প্রবাহ অশান্ত প্রবাহের উদাহরণ।

### 5.5.3 রেনল্ডস সংখ্যা

তরল পদার্থের বিভিন্ন প্রবাহ বৈশিষ্ট্য পর্যবেক্ষণ করার সময় ব্রিটিশ পদার্থবিজ্ঞানী ওসবোর্ন রেনল্ডস একটি অভিজ্ঞতাগত সূত্র গ্রহণ করেন। এই সূত্রটি একটি মাত্রাবিহীন পরিমাণ প্রদান করে, যা একটি নল বা পাইপের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময়

তরল প্রবাহের ধরন নির্ধারণের জন্য রেইনল্ড সংখ্যা ( $R_e$ ) নামে পরিচিত। রেনল্ডস সংখ্যা (পুনরায়) সান্দু বলের সাথে জড় বলের অনুপাত হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয় এবং এটি শিয়ারিং স্ট্রেসের গতিশীল চাপের অনুপাত হিসাবে নির্ধারণ করা যেতে পারে।

$$(Re) = \frac{\rho V D}{\eta} = \frac{V D}{\mu}$$

V হল একটি নালীর ক্রস-সেকশনের প্রকৃত ক্ষেত্রের উপর ভিত্তি করে তরল প্রবাহের বেগ, D পাইপের ব্যাস, এবং fluid হল তরলের গতিশীল বা পরম সান্দুতার গুণাঙ্ক এবং  $\mu = \frac{\eta}{\rho}$  কাইনেমেটিক সান্দুতার গুণাঙ্ক। একটি বৃত্তাকার পাইপ বা নালীর জন্য রেনল্ডস সংখ্যা  $R_c$ । নন-বৃত্তাকার পাইপ বা নালীর জন্য, জ্যামিতিক সমতুল্য ব্যাস হাইড্রোলিক ব্যাস  $D = D_h = \frac{4A}{p}$  দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়, যেখানে A = একটি পাইপ বা নালী বা চ্যানেলের ক্রস-সেকশনের এলাকা, এবং p পাইপ বা নালী বা চ্যানেলের ভেজানো পরিধি। এটি 'চরিত্রগত দৈর্ঘ্য' নামেও পরিচিত।

তরল প্রবাহের ধরন নির্ধারণ করতে রেইনল্ডস নম্বর ব্যবহার করা যেতে পারে:

1. তরল প্রবাহ ল্যামিনার হয় যখন  $Re < 2300$
2. তরল প্রবাহ ক্ষণস্থায়ী যখন  $2300 < Re < 4000$
3. তরল প্রবাহ আশান্ত হয় যখন  $Re > 4000$

#### 5.5.4 ধারাবাহিকতার সমীকরণ

আমরা ক্রস-সেকশনের বিভিন্ন অংশের নালীতে একটি স্থির, অসম্পূর্ণ (বা আইসোকোরিক) এবং অ-সান্দু তরল প্রবাহ বিবেচনা করি।

নলাটিতে একটি একক প্রবেশ এবং একক প্রস্থান রয়েছে।  $A_1, V_1, \rho_1$  যথাক্রমে ক্রস-সেকশনের ক্ষেত্র, তরল প্রবাহের বেগ, এবং তরলটির ঘনত্ব যথাক্রমে নলাটির P-তে এবং  $A_2, V_2, \rho_2 Q$ -তে।

সেক্ষেত্রে, প্রতি সেকেন্ডে P-বিন্দুতে প্রবেশ করা তরলের পরিমাণ =  $A_1 V_1$

প্রতি সেকেন্ডে প্রবেশ করা তরলের ভর =  $A_1 V_1 \rho_1$

একইভাবে, প্রতি সেকেন্ডে Q -বিন্দুতে বের হওয়া তরলের পরিমাণ =  $A_2 V_2$

প্রতি সেকেন্ডে বের হওয়া তরলের ভর =  $A_2 V_2 \rho_2$

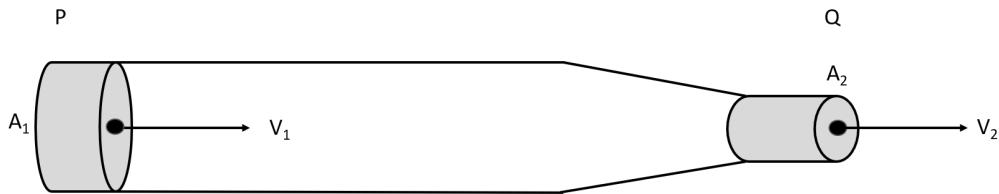
অসম্পূর্ণ তরল পদার্থের জন্য, ঘনত্ব একই থাকে অর্থাৎ বহিরাগত শক্তির প্রয়োগের সাথে এটি পরিবর্তিত হয় না।

অতএব,  $\rho_1 = \rho_2$ .

সুতরাং,  $A_1 V_1 = A_2 V_2$

$\rho A V = ধ্রুব = R = ভলিউম প্রবাহ হার$

একে বলা হয় স্থির প্রবাহের জন্য ধারাবাহিকতার সমীকরণ। এটি একটি নল বা নলের ক্রস-সেকশনের ক্ষেত্রফল এবং নল বা নল বরাবর যে কোন বিন্দুতে অসম্পূর্ণ তরলের বেগ হিসাবে নির্ধারিত হয়। এই ধ্রুবকৃতি ভলিউম ফ্লো রেট নামেও পরিচিত। এই সমীকরণটি বলে যে যদি নলাটির ক্রস-সেকশনের ক্ষেত্রটি বড় হয়, তবে তরলের বেগ ছোট হয় এবং বিপরীতভাবে হয়।



চিত্র 5.20: ক্রস-সেকশনের একটি ভিন্ন এলাকার নালীর মাধ্যমে তরল পদার্থের স্থির প্রবাহ

### 5.5.5 বার্নোলির উপপাদ্য এবং এর প্রয়োগ

বার্নোলির উপপাদ্যটি সুইস গণিতবিদ ড্যানিয়েল বার্নোলি 1738 সালে আবিষ্কার করেছিলেন। এটি শক্তি সংরক্ষণের একটি নীতি এবং এটি বলে যে অ-সান্দ্র এবং অসম্পূর্ণ তরলের মোট যান্ত্রিক শক্তি একটি বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি সুশৃঙ্খল গতিতে প্রবাহিত হয় তার প্রবাহ জুড়ে তার পথের প্রতিটি বিন্দুতে স্থির থাকে, অর্থাৎ

$$\frac{P}{\rho} + \frac{mgh}{\rho} + \frac{1}{2} mV^2 = \text{Constant}$$

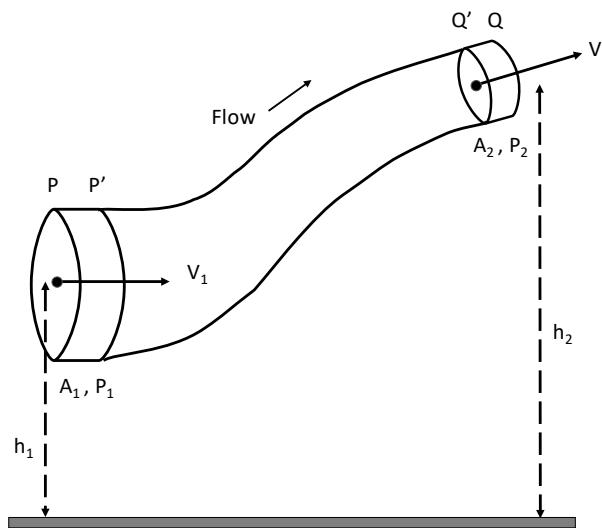
$$\frac{P}{\rho} + gh + \frac{1}{2} V^2 = \text{Constant}$$

$$\text{বা, } P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V^2 = \text{Constant}$$

অতএব মোট যান্ত্রিক শক্তি হল চাপ শক্তি, মহাকর্ষীয় স্থিতি শক্তি এবং গতিশক্তির সমষ্টি।

বার্নোলির উপপাদ্যটি নন-সান্দ্র তরল বা শূন্য সান্দ্রতাযুক্ত তরলের জন্য কঠোরভাবে বৈধ যা স্ট্রিমলাইনে প্রবাহিত হয়। এটি অশান্ত প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়। উল্লেখ্য, যদি নল বা নলটি পৃথিবীর পৃষ্ঠে অনুভূমিকভাবে স্থাপন করা হয়,  $h_1 = h_2 = h = 0$ ,

$$\text{এবং তখন সমীকরণটি হয়ে যায়} - \frac{P}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{V^2}{g} = \text{Constant}$$



চিত্র 5.21: বার্নোলির উপপাদ্য ব্যবহার করে একটি উঁচু নল দিয়ে তরল প্রবাহ ব্যাখ্যা

বার্নেলির উপপাদ্যটি নন-সান্দুর তরল বা শূন্য সান্দুতাযুক্ত তরলের জন্য কঠোরভাবে বৈধ যা স্ট্রিমলাইনে প্রবাহিত হয়। এটি অশান্ত প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়। উল্লেখ্য, যদি নল বা নলটি পৃথিবীর পৃষ্ঠে অনুভূমিকভাবে স্থাপন করা হয়,  $h_1 = h_2 = h = 0$ , এবং তখন সমীকরণটি হয়ে যায় -

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{V^2}{g} = \text{Constant}$$

### বার্নেলির উপপাদ্যের প্রয়োগ

বার্নেলির তত্ত্বের বেশ কয়েকটি অ্যাপ্লিকেশন রয়েছে। এটি ভেন্টুরিমিটার (বা ফ্লোমিটার), একটি এয়ারফ্লেন লিফট, বুনসেন বার্নার, এয়ার-প্লেন এবং লিফটের কাজে ব্যবহৃত হয়। ভেন্টুরিমিটার একটি যন্ত্র যা নল বা পাইপের মাধ্যমে তরলের প্রবাহ হার পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত হয়। বার্নেলির উপপাদ্যটি অটোমোবাইল, ফিল্টার পাম্প এবং স্প্রেয়ারের কার্বুরেটর ডিজাইনেও ব্যবহৃত হয়। একটি পেইট-বন্দুক, সুগন্ধি স্প্রে বা পোকা স্প্রেয়ারের ক্রিয়া এই তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে। বার্নেলির নীতি ম্যাগনাস প্রভাবের ব্যাখ্যা দেয় যা গলফ, ক্রিকেট, ফুটবল, টেনিস ইত্যাদিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এই নীতিটি ব্যাখ্যা করে কেন টর্নেডো বা হারিকেনের সময় ছাদ উড়িয়ে দেওয়া হয় বা কীভাবে জাহাজগুলি জল দিয়ে যায়। যখন একটি দ্রুতগামী ট্রেন চলে যায় তখন এটি নিকটবর্তী বস্তুগুলিকে টেনে নিয়ে যায় অথবা যখন দুটি কাছাকাছি সারি নৌকা একে অপরের সমান্তরালে চলে যায়, তখন একে অপরের দিকে টানা হয়। বার্নেলির নীতি এই দুটিকেই ব্যাখ্যা করে। এথেরোক্লোরোসিসের কারণে জাহাজে রক্ত প্রবাহ এবং হার্ট অ্যাটাকের ঘটনা বার্নেলির তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

### কেস স্টাডি

একটি বস্তু ঘূরন্তোর কারণে গতিশীল উত্তোলন ম্যাগনাস প্রভাব নামে পরিচিত। এই প্রভাবের কারণে, চলমান তরলে ঘূর্ণান বস্তুর গতিপথের তারতম্য ঘটে এবং বস্তুর রক্ষণ পৃষ্ঠ মসৃণ পৃষ্ঠের তুলনায় বেশি বায়ু টেনে নেয়। যখন একটি রক্ষণ পৃষ্ঠের বলটি একটি স্পিন দিয়ে নিষ্কিপ্ত হয়, তখন এটি তার সাথে আরও বাতাস টেনে নেয়। রক্ষণ পৃষ্ঠ বায়ুর অগুণ্ডিকে ত্বরান্বিত করতে দেয় যা বলের উপরে থাকে এবং বায়ুর অগুণ্ডিয়া বলের নীচে থাকে তা হ্রাস করে। এই কারণে, বলের উপরে কম বায়ু অণু এবং বলের নীচে আরও বায়ু অণু রয়েছে যা বলের উপরে একটি লিফট তৈরি করে এবং বলটি আরও দূরত্ব আবরণ করে। ম্যাগনাস ইফেক্ট তৈরির জন্য গলফ বলের পৃষ্ঠে আরও ডিম্পল রয়েছে।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

একটি নল বা একটি নালীর আকার কি রেইনল্ডস সংখ্যার মান পরিবর্তন করে? একটি বৃত্তাকার নল, একটি বর্গাকার নালী এবং একটি আয়তক্ষেত্রাকার নালীর উদাহরণ লও এবং কোন তরল প্রবাহ এবং গ্যাস প্রবাহের জন্য কোন ধরনের নল বা নালী ভাল হবে তা বের কর।

### সমাধানকৃত সমস্যা

**সমস্যা-1:** আমরা বিবেচনা করি যে  $2.0 \text{ m/s}$  বেগ এবং  $250000 \text{ Pa}$  চাপ দিয়ে আগুনের পায়ের পাতায় জল প্রবাহিত হচ্ছে। আমরা অনুমান করি যে উচ্চতায় কোন পরিবর্তন নেই; অগ্রভাগ ছেড়ে জলের বেগ গণনা কর। জলের ঘনত্ব  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ । মহাকর্ষীয় ত্বরণ ' $g$ ' =  $9.8 \text{ m s}^{-2}$

**সমাধান:** বার্নেলির নীতি অনুসারে,

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

যেহেতু,  $h_1 = h_2$ , আমরা এই সমীকরণটি আবার লিখতে পারি

$$\begin{aligned} P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 &= P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \\ V_2 &= \sqrt{\frac{2}{\rho} \left( \frac{1}{2} \rho V_1^2 + P_1 - P_2 \right)} = \sqrt{\frac{2}{(10^3)} \left( \left( \frac{1}{2} \times (10^3) \times 2^2 \right) + 250000 - 101300 \right)} \\ &= \sqrt{301.4} = 2.2302 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

### সারসংক্ষেপ

- বিকৃতিজনিত কারণে বস্তুতে উৎপাদিত প্রতি ইউনিট এলাকাতে বল পুনরুদ্ধার করাকে পীড়ন বলা হয় এবং বস্তুর কনফিগারেশনের ভগ্নাংশ পরিবর্তনকে বিকৃতি বলে।
- ছকের নীতি: বলা হয়েছে যে একটি স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে, পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতিক।
- $Y = MgL/\pi r^2 l$ ,  $B = -V\Delta P/\Delta V \eta = FL/Ax$
- প্রতি ইউনিট এলাকাতে স্বাভাবিকভাবে তরল পদার্থের উপর চাপ দেওয়াকে তরল চাপ বলা হয়। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ হল পৃথিবীর পৃষ্ঠে বায়ু দ্বারা প্রবাহিত চাপ যা পৃথিবীতে প্রতি ইউনিট এলাকায় বায়ু দ্বারা প্রয়োগ করা হয়।  $1$  বায়ুমণ্ডলীয় চাপ =  $1.013 \times 10^5$  পাস্কাল। গেজ চাপ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের চেয়ে অতিরিক্ত চাপ।
- ফোর্টিনের ব্যারোমিটার বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়।
- পৃষ্ঠটান একটি তরল পৃষ্ঠের ধর্ম্যার কারণে এটি প্রসারিত বিল্লি হিসাবে আচরণ করে। গাণিতিকভাবে পৃষ্ঠের টানকে তরল পৃষ্ঠের উপর কল্পনা করে এবং তরল পৃষ্ঠের সাথে এই রেখার লম্বের উপর প্রতি ইউনিটের দৈর্ঘ্য বল হিসাবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।
- একই পদার্থের অণুর মধ্যে আকর্ষণের আন্তরাগবিক বলকে সংস্কি বল এবং বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে আন্তরাগবিক বলকে আসঙ্গন বল বলে।
- স্পর্শকোণ হল কঠিনের স্পর্শক এবং তরল পৃষ্ঠের স্পর্শকের মধ্যে কোণ।
- কৈশিকের মধ্যে তরলের উত্থান হিসাবে লেখা যেতে পারে,  $h = \frac{2S \cos \theta}{rpg}$
- তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে তরলের পৃষ্ঠটান করে যায়।
- সান্দ্রতা তরলগুলির অভ্যন্তরীণ প্রতিরোধের একটি পরিমাপ এবং এটি তরলের তাপমাত্রা-নির্ভর ধর্ম।
- ভিস্কাস ফোর্স হল তরল পদার্থের মধ্যে একটি ড্রাগ ফোর্স, যা একটি তরল স্তরের অপরিটির উপর আপেক্ষিক গতির বিরোধিতা করে।
- রেনল্ডস সংখ্যা হল তরলের সান্দ বলের সাথে জড় বলের অনুপাত।
- ল্যামিনার প্রবাহে, স্থান, বিন্দুতে বেগ, চাপ এবং অন্যান্য পরিমাণের মান সময়ের সাথে এলোমেলোভাবে ওঠানামা করে না।
- বার্নেলির নীতি তরলের জন্য শক্তি সংরক্ষণ থেকে উদ্ভৃত। এতে বলা হয়েছে যে একটি চট্টটে এবং অসম্পূর্ণ তরল প্রবাহের প্রতি ইউনিট ভর মোট যান্ত্রিক শক্তি ধ্রুবক।

## অনুশীলন

### A. বিষয়গত প্রশ্ন

1.  $2.5 \text{ mm}$  দৈর্ঘ্যের একটি স্টিলের তারট  $1.0 \text{ mm}$  দিয়ে প্রসারিত। তারের ক্রস-সেকশন এলাকা  $5.0 \text{ mm}^2$ । বের কর (1) পীড়ন (2) তারের ওজন বা লোড।  $Y = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  [LOD2]
2. নিম্নলিখিত তথ্য থেকে (1) চাপের পরিবর্তন (2) এবং বায়ু ভরা বেলুনে চূড়ান্ত চাপ বের কর। প্রাথমিক ভলিউম =  $8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , প্রাথমিক চাপ =  $10^5 \text{ N/m}$ , আয়তন হ্রাস =  $10^{-3} \text{ m}^3$ , বায়ুর সংকোচনযোগ্যতা =  $7.65 \times 10^{-6} \text{ N}^{-1} \text{ m}^2$  [LOD3]
3. একটি তামার তারের দৈর্ঘ্য  $2\text{m}$  এবং ক্রস-বিভাগীয় এলাকা  $0.02\text{cm}^2$ ; তারটিকে এক প্রান্তে আটকানো হয়।  $2\text{kg}$  একটি লোড মুক্তপ্রান্তে সংযুক্ত করা হয়। তারের প্রসার বের কর।  $Y = 1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$  [LOD1]
4.  $10 \text{ m}$  উচ্চতা পর্যন্ত জল ভরা একটি ট্যাঙ্কের নীচে (1) পরম চাপ (2) এবং গেজ চাপ বের কর। ট্যাঙ্কের উপরে জলের পৃষ্ঠ বায়ুমণ্ডলের জন্য উন্মুক্ত। [LOD2]
5. কাচের একটি কৈশিক জলে ডুবানো হয় এবং কৈশিকের মধ্যে জল  $10\text{cm}$  বৃদ্ধি পায়। কৈশিকের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। (জলের সারফেস টান  $S = 7 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ , স্পর্শকোণ =  $0$ ,  $g = 10\text{m/s}^2$ ) [LOD1]
6. যদি পর্যাপ্ত দৈর্ঘ্যের একটি প্লাস কৈশিকের জলের উচ্চতা একই উপাদানের প্রথম কৈশিকের চেয়ে দ্বিগুণ হয়, তখন ব্যাসার্ধের অনুপাত ( $r_1/r_2$ ) হল \_\_\_\_\_। [LOD2]
7. ল্যামিনার এবং অশান্ত তরল প্রবাহের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় কর। [LOD1]
8. প্লিসারিনের পাত্রে পড়ে  $2.5 \text{ mm}$  ব্যাসার্ধের একটি তামার বলের টার্মিনাল বেগ  $5.6 \text{ cm s}^{-1}$ ;  $25^\circ\text{C}$  এ প্লিসারিনের সান্দ্রতা গণনা কর। প্লিসারিনের ঘনত্ব  $1260 \text{ kg m}^{-3}$ , তামার ঘনত্ব  $8.9 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  [LOD1]
9. তরলের সান্দ্রতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে কেন? [LOD2]
10. রেনল্ডস সংখ্যার গুরুত্ব আলোচনা কর। [LOD1]
11. জ্বালানী ইথানল একটি শোধনাগারের মাধ্যমে বায়ুমণ্ডলীয় চাপে  $100 \text{ cm.s}^{-1}$  বেগে একটি পাইপে প্রবাহিত হচ্ছে। শোধনাগারটি নিম্ন স্তরে  $2 \text{ atm}$  ( $202600 \text{ Pa}$ ) চাপে ইথানল প্রয়োজন। এই চাপ অর্জনের জন্য পাইপের উচ্চতা কতটা কমাতে হবে তা গণনা কর। ধর যে বেগ পরিবর্তন হয় না। ইথানলের ঘনত্ব  $789 \text{ kg.m}^{-3}$  এবং 'g' এর মান  $9.8 \text{ m s}^{-2}$ । [LOD2]

### B. বস্তুনির্ণিৎ প্রশ্ন

1. দৃঢ়তা গুণাঙ্কের ভুল একক নির্বাচন কর। [LOD1]
  - a.  $\text{Nm}^{-2}$
  - b.  $\text{dyne cm}^{-2}$
  - c. Giga Pascal
  - d.  $\text{N/m}$
2. দৈর্ঘ্য  $2.5 \text{ m}$  এবং ব্যাস  $1 \text{ mm}$  তারের এক প্রান্ত সিলিংয়ে স্থির করা হয়েছে।  $8 \text{ kg}$  ভরের একটি ছোট বানর তারের মুক্ত প্রান্ত ধরে রাখতে এবং তার উপর থাকার জন্য লাফ দেয়। ( $Y = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ,  $g = 10\text{m/s}^2$ )। তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন গণনা কর। [LOD2]
  - a.  $1.4\text{mm}$
  - b.  $2.3\text{mm}$
  - c.  $1.3\text{mm}$
  - d.  $3.4\text{mm}$
3. একটি হুদ্দের গড় গভীরতা প্রায়  $100 \text{ m}$ । হুদ্দের নীচে জলের ভগ্নাংশ সংকোচন  $\Delta V/V$  বের কর। জলের বাক্ষ মডুলাস হল  $2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$  [LOD2]
  - a. 0.5
  - b. 0.4
  - c. 0.3
  - d. 2.0

4. সংস্কৃতি বল আসন্ন বলের চেয়ে বড় এবং তরল প্লাস ভেজায় না যখন স্পর্শকোণ: [LOD1]

a. স্থূল b.  $90^\circ$  c. সূক্ষ্ম d.  $0^\circ$

5. R ব্যাসার্ধের একটি কৈশিকের জলের উত্থান 12mm। 3r ব্যাসার্ধের একই উপাদানের আরেকটি কৈশিক জলে তুবিয়ে তখন জলের উত্থান হল: [LOD2]

a. 3mm b. 4mm c. 6mm d. 2mm

6. সত্য/মিথ্যা [LOD1]

  - মহাকর্ষীয় বলের কারণে পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম।
  - বৃষ্টির বিন্দু গোলাকার হয় কারণ পৃষ্ঠাটান।
  - কৈশিক বৃদ্ধি (h) এর ব্যাসার্ধের বিপরীত আনুপাতিক (r)

7. তরল পদার্থের গতিশীল ও সূতিবিদ্যা সান্দুতার CGS এককগুলি কী কী? [LOD1]

8. একটি গলফ বলের উপর ম্যাগনাস প্রভাব \_\_\_\_\_ দ্বারা ব্যাখ্যা করা হয়। (স্টোকস নীতি, নিউটনের সান্দুতা নীতি, বার্নেলির নীতি, ধারাবাহিকতার সমীকরণ) [LOD 2]

9. \_\_\_\_\_. বার্নেলির নীতি অনুসরণ করে \_\_\_\_\_ এর সংরক্ষণ (ভর, ঘনত্ব, শক্তি, ভরবেগ) [LOD1]

10. \_\_\_\_\_ তার মুক্ত পতনের সময় একটি প্যারাসুটার সংরক্ষণ করে। (বার্নেলির নীতি, স্টোকসের নীতি, নিউটনের মহাকর্ষীয় নীতি, টারিসেলির নীতি) [LOD2]

11.  $480 \text{ poise} = \text{_____ N}\cdot\text{s.m}^{-2}$  ( $0.48, 48, 4.8, 480$ ) [LOD3]

টত্ত্ব

#### A. বিষয়গত প্রশ্ন

- পীড়ন =  $Y$  বিকৃতি =  $Y = 8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  এবং  $F = A$  (পীড়ন) = 400N
  - $\Delta P = \frac{\Delta V}{V/K} = 0.16 \text{ atm}$  এবং  $P_1 = P_2 + \Delta P = 1.15 \text{ atm}$
  - $\Delta L = MgL/AY = 0.2 \text{ mm}$
  - $P = P_{\text{atm}} + \rho gh = 2 \text{ atm}$  এবং  $P - P_{\text{atm}} = \rho gh = 1 \text{ atm}$
  - $r = 2S/h\rho g = 0.14 \text{ mm}$
  - $h_1 r_1 = h_2 r_2$  এবং  $r_1 : r_2 = 2 : 1$
  - 1.8569 Pa-s
  - 13.1 m (বা 13.1 m কম) (ইঙ্গিত: বার্নোলি সমীকরণ ব্যবহার কর)

### B. বস্তুনির্ণয় প্রশ্ন

A1	A2	A3	A4	A5	A6(1)	A6(2)	A6(3)
d	C	a	a	b	F	T	T

- A2.  $\Delta L = MgL/\pi r^2 Y$   
 A3.  $\Delta V/V = \Delta P/B$   
 A7. poise এবং stokes  
 A8. বানোলির নীতি  
 A9. শক্তি  
 A10. স্টোকসের নীতি  
 A11. 48 (1 poise = 0.1 N·s·m<sup>-2</sup>)

## ব্যবহারিক

### 1. হকের নীতি ব্যবহার করে একটি স্পৃঃয়ের বল ধ্রুবক নির্ধারণ করা

#### ব্যবহারিক গুরুত্ব

স্পৃঃয়ের কঠোরতা তার বল ধ্রুবক বা স্পৃঃ ধ্রুবক দ্বারা নির্ধারিত হয়। উচ্চতর স্পৃঃ ধ্রুবক মানে একটি শক্তি স্পৃঃ যা প্রসারিত করা কঠিন এবং এটি প্রসারিত করার জন্য বৃহত্তর বল প্রয়োজন। একটি স্পৃঃয়ের বল ধ্রুবক তার স্থিতিস্থাপক বৈশিষ্ট্যগুলির কারণে স্পৃঃয়ের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য। এটি হকের নীতি ব্যবহার করে নির্ধারণ করা যেতে পারে। এই পরীক্ষাটি ব্যবহার করে স্পৃঃয়ের কার্যকর ভরও নির্ধারণ করা যেতে পারে।

#### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

$$\text{সূত্র: } \text{স্পৃঃ ধ্রুবক, } K = \frac{4\pi^2(m_1 - m_2)}{(T_1^2 - T_2^2)} \quad \left( \because T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \right)$$

যেখানে,

$T_1$  = লোড 1 এর জন্য একটি হেলিক্যাল স্প্রিং এর দোলনের সময়কাল;

$T_2$  = লোড 2 এর জন্য একটি হেলিক্যাল স্প্রিং এর দোলনের সময়কাল;

$m_1$  = লোডের ভর 1;

$m_2$  = লোডের ভর 2;

$K$  = বল ধ্রুবক বা স্পৃঃ ধ্রুবক = বলপ্রসারণ পুনরুদ্ধার

#### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

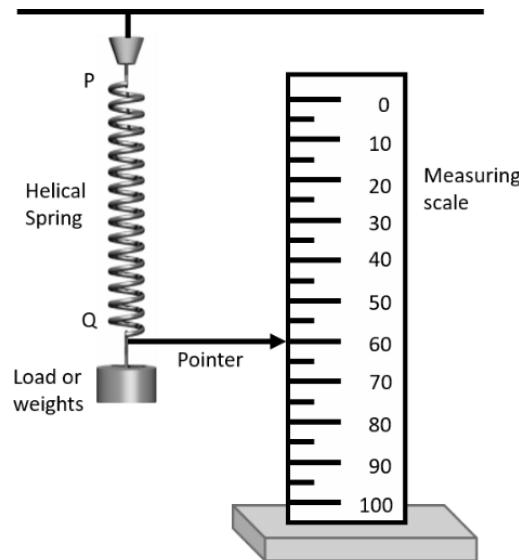
ব্যবহারিক ফলাফল এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত:

**PRO1:** স্টপ ওয়াচ ব্যবহার করে একটি হেলিক্যাল স্প্রিং এর দোলনের পর্যায়ক্রমিক সময় পরীক্ষা এবং সুনির্দিষ্ট পরিমাপ স্থাপনের দক্ষতা অর্জন

**PRO2:** কঠিন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার জন্য হকের নীতি বর্ণনা এবং যাচাই এবং হেলিক্যাল স্প্রিং এর বল ধ্রুবক নির্ধারণ

**PRO3:** একটি গ্রন্থে বা স্বতন্ত্রভাবে যথাযথ সতর্কতা সহ প্রয়োজনীয় সরঞ্জামগুলি পরিচালনা এবং নিয়ন্ত্রণ

## ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন। স্কেচ। সার্কিট ডায়াগ্রাম। কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 5.22: ছকের নীতি ব্যবহার করে একটি স্পৃংয়ের বল ধ্রুবক নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা

## আবশ্যিক সম্পদ

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ প্রয়োজন গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ ঘন্টা	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন/ টুলস/ ইস্ট্রুমেন্টের বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন প্রয়োজন ছাড়া দ্বারা পূরণ করা হবে)		মন্তব্য (যদি থাকে)
			স্থাপন করা	বিস্তারিত	
1.	হালকা ওজনের হেলিকাল স্প্রিং নিচের প্রান্তে সংযুক্ত একটি পয়েন্টার এবং একটি ছক (স্পৃংয়ের ব্যাসের ভিতরে 1-1.5 cm)	1			
2.	দৃঢ় সমর্থন	1			
3.	লোড হিসাবে প্রতিটি 10 গ্রাম ইন্টেক্ষন (20 গ্রাম ওজন সামান্য শক্ত স্পৃংয়ের জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে)	5			
4.	ক্ল্যাম্প স্ট্যান্ড	1			
5.	দাঁড়িগাল্লা	1			
6.	সর্বনিম্ন 15-30 cm লম্বা পরিমাপ স্কেল	1			
7.	স্টপ-ওয়াচ (0.1s এর স্পষ্টতা সহ)	1			

### সতর্কতা

- দোলনার সংখ্যা,  $n$ , এমনভাবে নির্বাচন করা উচিত যাতে দোলন ভর তাদের সম্পূর্ণ করতে 10.0 সেকেন্ডের বেশি সময় নেয়; যদি স্টপ ঘড়িতে কমপক্ষে 0.1 সেকেন্ড থাকে। এটি নিশ্চিত করবে যে সময়ের পরিমাপে শতকরা ত্রুটি 1% এর নিচে।
- এখনে স্থির বল গণনা করার সমীকরণগুলি, দোলনের ছোট প্রশস্ততা বা স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে স্পৃহের ছোট সম্প্রসারণের জন্য সত্য (হকের নীতি)। অতএব, বিশেষ সতর্কতা অবলম্বন করো যখন তার স্থির অবস্থান থেকে উভয় দিকে, উপরের দিকে বা নীচের দিকে, খুব আস্তে আস্তে যায়।
- এই কারণে বায়ু এবং সান্দ্র টান এর প্রভাব স্পৃহের দোলনা অবমন্দিত হोতে পারে। উচ্চ-ঘনত্বের উপাদানগুলির জন্য একটি ছোট এবং সামান্য শক্ত স্পৃহ করে এই প্রভাবগুলি হ্রাস করা যেতে পারে।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- দৃঢ় সমর্থন থেকে হেলিকাল স্প্রিং PQ নিলম্বিত যাতে পয়েন্টারটি চিত্রের মতো তার শেষ প্রান্ত Q তে থাকে।
- এখন, পরিমাপ স্কেলটি উল্লম্বভাবে ঠিক করো যাতে এটি স্পৃহের কাছাকাছি থাকে এবং স্পৃহের সাথে সংযুক্ত পয়েন্টারটি স্পর্শ না করে স্কেলের উপর অবাধে চলাচল করতে পারে। পরিমাপ স্কেলের সর্বনিম্ন গণনা রেকর্ড করো যা সাধারণত 1 mm বা 0.1 cm।
- একইভাবে, স্টপ ঘড়ির সর্বনিম্ন গণনা রেকর্ড করো।
- এখন, আস্তে আস্তে হ্যাঙ্গারে ভর  $m_1$  দিয়ে লোড বা স্লোটেড ওজন বোলাও। প্রদত্ত লোড ' $m_1$ ' এর জন্য পয়েন্টার চলাচল বন্ধ না হওয়া পর্যন্ত অপেক্ষা করো। ভর  $m_1$  এর জন্য এটি এর ভারসাম্যপূর্ণ অবস্থান।
- ' $m_1$ ' লোডটি একটু নিচের দিকে টানো এবং তখন আলতো করে ছেড়ে দাও যাতে এটি তার ভারসাম্যপূর্ণ অবস্থান 'গুলি' সম্পর্কে একটি উল্লম্ব সমতলে দোলনা শুরু করে।
- স্টপ-ওয়াচ শুরু করো যখন পয়েন্টার তার গড় অবস্থান অতিক্রম করে (এটি ভারসাম্যপূর্ণ অবস্থান) এবং একই সাথে ' $n$ ' দোলনের জন্য সময় গণনা শুরু করে। লোড ' $m_1$ ' এর  $n$  দোলনের জন্য সময় ( $t$ ) নোট করো।
- একই লোডের জন্য পর্যবেক্ষণটি অন্তত তিনবার পুনরাবৃত্তি করো এবং ' $n$ ' দোলনের সময়টি লক্ষ্য করো। একটি হেলিক্যাল স্প্রিং এর  $n$  দোলনের জন্য গড় সময় ( $t_m$ ) এবং একটি দোলনের জন্য সময় গণনা করো, যেমন, পর্যায়ক্রমিক সময়,  $T = t_m/n$  একটি লোড  $m_1$  দিয়ে হেলিক্যাল স্প্রিং এর দোলনা।
- আরও দুটি স্লটেড ওজনের জন্য 5 থেকে 7 ধাপ পুনরাবৃত্তি করো এবং প্রতিটি ওজনের জন্য দোলনের সময়কাল গণনা করো এবং পর্যবেক্ষণ টেবিলে রেকর্ড করো।
- প্রতিটি লোডের জন্য স্পৃহ ধ্রুবক ( $K_1, K_2, K_3$ ) এর মান গণনা করো এবং প্রদত্ত হেলিক্যাল স্পৃহের স্পৃহ ধ্রুবক  $K$  এর গড় মান বের করো।
- পর্যায়ক্রমে, Y- অক্ষে ' $T_2$ ' এবং x- অক্ষে ' $m$ ' দিয়ে  $T_2$  বনাম  $m$  এর একটি প্রাফ অক্ষন দ্বারা  $K$ - এর মানও নির্ধারণ করা যেতে পারে, যা একটি সরলরেখা হবে। স্পৃহ ধ্রুবকের মান একটি নির্ধারিত হতে পারে এবং হেলিক্যাল স্পৃহের কার্যকর ভর ইন্টারসেপ্ট ব্যবহার করে নির্ধারণ করা যায়।

### পর্যবেক্ষণ এবং গণনা

#### পর্যবেক্ষণ:

1. পরিমাপ স্কেলের সর্বনিম্ন গণনা = \_\_\_ mm = \_\_\_ cm
2. স্টপ-ওয়াচের সর্বনিম্ন গণনা = \_\_\_ s
3. ভর 1,  $m_1$  = \_\_\_ g = \_\_\_ kg
4. ভর 2,  $m_2$  = \_\_\_ g = \_\_\_ kg
5. ভর 3,  $m_3$  = \_\_\_ g = \_\_\_ kg

#### পর্যবেক্ষণ টেবিল

ক্রমিক সংখ্যা	বোঝার ভর, $m$ (kg)	একটি নির্দেশক এর গড় অবস্থান, $s$ (in cm)	দোলন সংখ্যা (n)	'n' দোলনের জন্য সময়, $t$ (sec)				সময় কাল, $T = t_m / n$ (sec)
				1 ( $t_1$ ) (sec)	2 ( $t_2$ ) (sec)	3 ( $t_3$ ) (sec)	গড় সময় $t_m = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$ (sec)	
1.								
2.								
3.								

#### হিসাব:

তত্ত্ব থেকে: ('m' লোডের জন্য বল ধ্রুবক গণনা করো এবং তখন তাদের গড় লও)

$$K_1 = \frac{4\pi^2(m_1 - m_2)}{(T_1^2 - T_2^2)}; K_2 = \frac{4\pi^2(m_2 - m_3)}{(T_2^2 - T_3^2)}; K_3 = \frac{4\pi^2(m_1 - m_3)}{(T_1^2 - T_3^2)}$$

এবং

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

$$= \text{--- N/m}$$

$$\text{গ্রাফ থেকে: } K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

$$= \text{--- N/m}$$

$$K = \frac{4\pi^2}{slpoe}$$

$T_2$  (Y- অক্ষে) বনাম  $m$  (X- অক্ষে) এর মধ্যে গ্রাফ থেকে  $K$ -এর মানে অংকিত:

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta \text{slope}}{\text{slope}} = \text{--- N/m} \text{ এর মান অংকিত}$$

হেলিকাল স্প্রিং এর কার্যকর ভর,  $m_0$  = ছেদিতাংশ (c)

### ফলাফল এবং অথবা ব্যাখ্যা

1. ছকের নীতি, \_\_\_ N/m ব্যবহার করে গণনা করা হেলিক্যাল স্প্রিং এর বল ধ্রুবক
2. গ্রাফ থেকে K-এর মান ত্রুটি = \_\_\_\_\_ %
3. হেলিক্যাল স্প্রিং এর কার্যকর ভর,  $m_0 = \text{_____ kg}$

### উপসংহার এবং/অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

.....

.....

### ব্যাখারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

(উভয়ের জন্য আলাদা পত্র ব্যবহার করো)

1. একটি বল ধ্রুবক 11.2 N/m এর তাংপর্য কি?
2. যখন তারা পরম্পরের সাথে ধারাবাহিকভাবে সংযুক্ত থাকে তখন স্প্রিংসের বল ধ্রুবক কীভাবে পরিবর্তিত হয়?
3. পরম্পরের সমান্তরালে সংযুক্ত তিনটি বর্গার একটি পদ্ধতির বল ধ্রুবক কী?
4. ছকের নীতির সীমাবদ্ধতা কি?
5. বাস্তব জীবনের অ্যাপ্লিকেশনগুলি তালিকাভুক্ত করো যেখানে ছকের নীতি প্রয়োগ করা হয়।

### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিচিপু হওয়া বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ করো:

বর্জ্যের ধরন		খুঁচিনাটি
বায়োডিগ্রেডেবল বর্জ্য	সবুজ বিন	কোনাটিই নয়
ই-বর্জ্য	কালো বিন	কোনাটিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ্য	নীল বিন	কোনাটিই নয়
অন্য কিছু		কোনাটিই নয়

### পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুনর্ব্যবহার, ত্বাস এবং পুনর্ব্যবহার

এই ব্যাখারিক জন্য যন্ত্রপাতি যথেষ্ট দীর্ঘ সময়ের জন্য পুনর্ব্যবহারযোগ্য যদি সেগুলি সাবধানে পরিচালিত হয়।

### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	যন্ত্রের হ্যান্ডলিং	20%	
2	সময় সঠিকভাবে রেকর্ড করা	20%	
3	একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক নির্ণয় করা	20%	
উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)		40%	
4	পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
5	একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক গণনা, প্রাফ ব্যবহার করে একটি স্প্রিংয়ের % ত্রুটি এবং কার্যকর ভর গণনা	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	পরীক্ষা সংক্রান্ত প্রশ্ন	10%	
মোট		100%	

\* প্রোডস্টেই এবং প্রসেস আসেসমেন্টের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক্স			তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	

## 2. স্টোকসের নীতি দ্বারা প্রদত্ত তরল (গ্লিসারিন) এর সান্দৃতা সন্ধান করা

### ব্যবহারিক গুরুত্ব

স্টোকসের নীতিটি তরল পদার্থের মধ্যে পড়ে থাকা গোলাকার বস্তুর দ্বারা বলগুলিকে পরিচিত সান্দৃতার তরলে গোলকের বেগের সাথে সম্পর্কিত করে। এই পরীক্ষার মাধ্যমে, ছোট এবং গোলাকার বস্তুর প্রাণ্তিক বেগ নির্ণয় করা যেতে পারে যদি তরলের সান্দৃতা জানা থাকে। একটি গোলাকার বস্তুর প্রাণ্তিক বেগ এবং ব্যাস পরিমাপ করে, আমরা সান্দৃতা বা অজানা তরলের সান্দৃতা গুণাঙ্ক খুঁজে পেতে পারি।

### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

$$V_t = \frac{2 r^2 g}{9 \eta} (\rho - \rho_f)$$

$$\therefore \eta = \frac{2 r^2}{9 V_t} g(\rho - \rho_f) \quad (\text{তত্ত্ব থেকে})$$

$$\text{এবং } \eta = \frac{2}{3} \frac{1}{\text{slope}} g(\rho - \rho_f) \quad (\text{গ্রাফ থেকে } V_t \text{ vs. } r^2)$$

যেখানে  $r$  = গোলাকার বস্তুর ব্যাসার্ধ;

$V_t$  = গোলাকার বস্তুর প্রান্তিক বেগ;

$g$  = মহাকর্ষীয় ত্বরণ;

$\eta$  = তরলের সান্দতা সহগ;

$\rho$  = গোলাকার বস্তুর ঘনত্ব;

$\rho_f$  = তরলের ঘনত্ব

### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

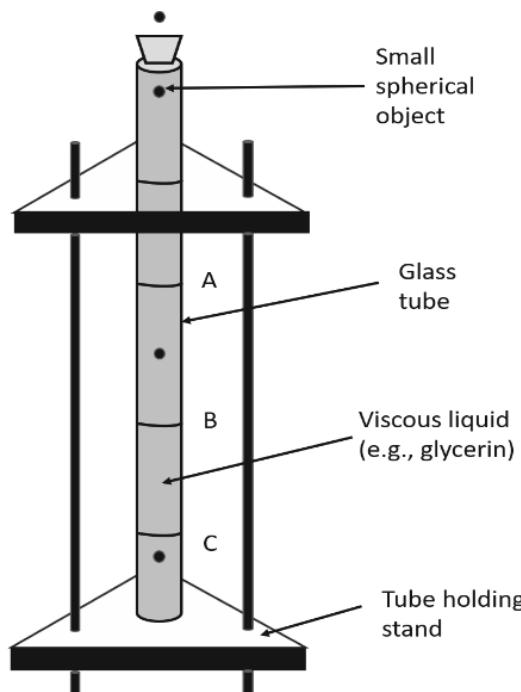
ব্যবহারিক ফলাফল এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত:

**PRO1:** রাবার ব্যাণ্ডের অবস্থান সমন্বয় এবং চিহ্নিতকরণ, ভার্নিয়ার ক্যালিপারগুলির সঠিক ব্যবহারে দক্ষতা অর্জন এবং গোলাকার বস্তুর ব্যাস

**PRO2:** সান্দু তরলের জন্য স্টোকসের নীতি বর্ণনা এবং নির্ধারিত সময়ে প্রদত্ত তরলের সান্দতা নির্ধারণ

**PRO3:** একটি গ্রুপে বা স্বতন্ত্রভাবে যথাযথ সতর্কতা সহ প্রয়োজনীয় সরঞ্জামগুলি পরিচালনা এবং নিয়ন্ত্রণ

### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অঙ্কন। স্কেচ। সার্কিট। ডায়াগ্রাম। কাজের পরিস্থিতি)



চিত্র 5.23: স্টোকসের নীতি ব্যবহার করে প্রদত্ত তরলের সান্দতা পরিমাপের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা

## সম্পদ আবশ্যিক

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ প্রয়োজনগুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন/ টুলস/ ইন্সট্রুমেটের বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন প্রয়োজন ছাড়া দ্বারা পূরণ করা হবে)		মন্তব্য (যদি থাকে)
			স্থাপন করা	বিস্তারিত	
1	স্বচ্ছ কাচ/এক্রাইলিকের একটি প্রশস্ত বোর টিউব (প্রায় 1.25 m লম্বা এবং 4 cm ব্যাস)	1			
2	প্রায় 10 cm দৈর্ঘ্য এবং 1 cm বাসের একটি ছোট খাড়ি নল (বা 1 cm খোলার সাথে একটি ফানেল)	1			
3	পরিচিত ব্যাসের ইস্পাত বল (1.0 mm এবং 3 mm মধ্যে)	1			
4	স্বচ্ছ সান্দ্র তরল (ক্যাস্টর-তেল/ফ্লিসারিন) (ল্যাবরেটরি গ্রেড)	2 Lit.			
5	ল্যাবরেটরি স্ট্যান্ড	1			
6	ফরসেপ	1			
7	রাবার ব্যান্ড	3			
8	দুটি রাবার স্টপার (একটি গর্ত সহ)	1 প্রতিটি			
9	একটি থার্মোমিটার (0-50°C)	1			
10	মিটার স্কেল	1			

## সতর্কতা

- প্রশস্ত বোর প্লাস টিউবের ব্যাসার্ধ যার মধ্যে সান্দ্র তরল থাকে তা গোলাকার বলের ব্যাসার্ধের চেয়ে অনেক বড় হওয়া উচিত।
- চকচকে তরলে অবাধে পড়ার সময় গোলাকার বলগুলি কাচের নলের পাশে স্পর্শ করা উচিত নয়। টিউবে বল ফেলে দেওয়ার জন্য ফরসেপ ব্যবহারের পরামর্শ দেওয়া হয়।
- গোলাকার বলটি সান্দ্র তরল দিয়ে ভরা কাচের নলটিতে আলতো করে ফেলে দিতে হবে। তরল কলামে বাতাসের বুদবুদ এড়তে পরীক্ষামূলক সান্দ্র তরল (ফ্লিসারিন) দিয়ে ধূয়ে ফেলা উচিত।
- যে কোনও রাসায়নিকের সাথে কাজ করার সময় সতর্কতামূলক নির্দেশিকা অনুসরণ কর (তা বিষাক্ত বা অ-বিষাক্ত)।

## প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- ঘরের তাপমাত্রা এবং চাপে ডায়াগ্রামে দেখানো যন্ত্রপাতি সেট আপ কর। নিশ্চিত কর যে কাচের টিউবে সান্দ্র তরলের ভিতরে কোন বায়ু বুদবুদ নেই। থার্মোমিটার ব্যবহার করে ঘরের তাপমাত্রা পরিমাপ কর।

2. A, B এবং C এ তিনটি রাবার ব্যান্ড চওড়া বোর কাচের নলের চারপাশে রাখো যাতে কাচের নলটি চার ভাগে বিভক্ত হয়। দূরত্ব  $AB = BC$  রাখো। A এ রাবার ব্যান্ড প্রশস্ত বোর কাচের নলের মুখ থেকে পরিমাপ করা উচিত।
3. প্রদত্ত গোলাকার বস্তুর ব্যাস পরিমাপ করতে ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার কর (স্টিলের বল)।
4. প্রশস্ত বোর কাচের টিউবের খোলা প্রাণ্টে একটি ছোট ইনলেট টিউব বা ফানেল উল্লম্বভাবে ঠিক কর যাতে স্টিলের বলগুলো কাচের টিউবের পাশে স্পর্শ না করে অবাধে পড়ে যায়। এখন, একটি পরিষ্কার এবং শুকনো গোলাকার বস্তু (বা ইস্পাত বল) আলতো করে তরল পদার্থের মধ্যে ফেলে দাও। একই ব্যাসার্ধের ( $r$ ) চার বা পাঁচটি অভিন্ন ইস্পাত বলের একটি সেট প্রয়োজন হতে পারে, তাই একই ব্যাসার্ধের স্টিলের বলের আলাদা সেট তৈরি কর।
5. দুটি স্টপ ঘড়ি ব্যবহার কর এবং এ দুটি একই সাথে শুরু কর যত তাড়াতাড়ি ইস্পাতের বলটি A এর অবস্থানে রাবার ব্যান্ডের মধ্য দিয়ে যায় যখন বলটি B এ ব্যান্ডের মধ্য দিয়ে যায়, ঘড়িগুলির মধ্যে একটি বন্ধ কর। যখন বলটি ব্যান্ডে C অতিক্রম করে তখন দ্বিতীয় ঘড়িটি বন্ধ কর।
6. স্টিলের বল যথাক্রমে A থেকে B এবং A থেকে C পড়তে সময় নোট কর। যদি স্টিলের বল প্রাণ্টিক বেগ অর্জন করে, তাহলে  $t_2 = 2 t_1$ ; যদি স্টিলের বল প্রাণ্টিক বেগ অর্জন না করে, তাহলে রাবার ব্যান্ডের অবস্থান সমন্বয় করার সময় একই ব্যাসার্ধের ইস্পাত বল দিয়ে পরীক্ষাটি পুনরাবৃত্তি কর।
7. বিভিন্ন ব্যাসার্ধ এর অন্যান্য ইস্পাত বলের জন্য পরীক্ষাটি পুনরাবৃত্তি কর।
8. প্রাণ্টিক বেগ অর্জনের জন্য রাবার ব্যান্ডগুলি সমন্বিত হলে দৈর্ঘ্য  $AB$  এবং  $AC$  পরিমাপ কর।
9. বিভিন্ন ব্যাসার্ধের প্রতিটি স্টিল বলের জন্য প্রাণ্টিক বেগ ( $V_t$ ) নির্ণয় কর।
10. Y- অক্ষে প্রাণ্টিক বেগ ( $V_t$ ) এবং গোলাকার বস্তুর ব্যাসার্ধের বর্গ, X- অক্ষের  $r_2$  এর মধ্যে থাফটি প্লট কর। প্রদত্ত সম্পর্ক ব্যবহার করে তরলের সান্দেহারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

### পর্যবেক্ষণ এবং গণনা

#### পর্যবেক্ষণ:

1. তরলের তাপমাত্রা ( $T$ ) = \_\_\_ °C
2. ইস্পাত বলের উপাদান ঘনত্ব ( $\rho$ ) = \_\_\_  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
3. টিউবে ব্যবহৃত সান্দেহ তরলের ঘনত্ব ( $\rho_f$ ) = \_\_\_  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
4. প্রশস্ত বোর কাচের নল বা কলামের অভ্যন্তরীণ ব্যাস = \_\_\_ cm = \_\_\_ m
5. কাচের নলের দৈর্ঘ্য = \_\_\_ cm = \_\_\_ m
6. A এবং B এর মধ্যে দূরত্ব = \_\_\_ cm = \_\_\_ m
7. B এবং C এর মধ্যে দূরত্ব = \_\_\_ cm = \_\_\_ m
8. পরপর দুটি রাবার ব্যান্ডের মধ্যে গড় দূরত্ব ( $h$ ) = \_\_\_ cm = \_\_\_ m
9. পরীক্ষার স্থানে মাধ্যাকর্যগের কারণে ত্বরণ ( $g$ ) = \_\_\_  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$  = \_\_\_  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
10. স্টপ-ওয়াচের সময় = \_\_\_ s

ক্রমিক সংখ্যা	গোলাকার বস্তুর ব্যাস (D) (cm) (meter)	ব্যাসার্ধ গোলাকার বস্তুর (r = D/2) (meter)	গোলাকার বস্তুর ব্যাসার্ধের বর্গ (r <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> )	গড় দূরত্বের জন্য সময় (h) = ___ m A, B এবং C এ রাবার ব্যাঙ্গের মধ্যে				প্রাণ্তিক বেগ $V_t = h / t$ (m.s <sup>-2</sup> )
				A এবং B (t <sub>1</sub> ) (sec)	A এবং C (t <sub>2</sub> ) (sec)	3 (t <sub>3</sub> ) (sec)	গড় সময় $t = \frac{t_1 + t_3}{2}$ (sec)	
1								
2								

হিসাব:

তত্ত্ব থেকে: (বিভিন্ন ব্যাসের প্রতিটি গোলাকার বলের জন্য গণনা কর এবং তারপর সান্দ্রতার সহগের গড় লও)

$$\eta = \frac{2 r^2}{9 V_t} g(\rho - \rho_f) \quad (\text{তত্ত্ব থেকে}) = \text{_____ Ns.m}^{-2}$$

প্রাফ থেকে:  $V_t$  (Y-axis) vs.  $r^2$  (X-axis):

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{1}{\text{slope}} g(\rho - \rho_f) = \text{_____ Ns.m}^{-2}$$

ফলাফল এবং অথবা ব্যাখ্যা

তাপমাত্রায় স্টোকসের নীতি দ্বারা প্রদত্ত সান্দ্র তরল (লিসারিন) এর সান্দ্রতার গুণক, \_\_\_° C = \_\_\_ Ns.m<sup>-2</sup>

উপসংহার এবং অথবা বৈধতা

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

(উত্তরের জন্য আলাদা পত্র ব্যবহার কর)

- এই পরীক্ষার জন্য একটি গোলাকার বস্তুর প্রয়োজন কেন?
- মুক্ত-প্রতিত গোলাকার বস্তু কখন প্রাণ্তিক বেগ অর্জন করে?
- স্টোকসের নীতির সীমাবদ্ধতাগুলি কী কী?
- তাপমাত্রার সাথে লিসারিনের সান্দ্রতার মান কীভাবে পরিবর্তিত হয়?
- গোলাকার বস্তুর ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের চেয়ে কম হলে কি হবে?

### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিক্ষিপ্ত হওয়া বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ কর :

বর্জের ধরন		খুটিনাটি
বায়োডিগ্রেডেবল বর্জ	সবুজ বিন	গ্লিসারিন একটি বায়োডিগ্রেডেবল কেমিক্যাল। এটি বিদ্যমান কম্পোস্টের সাথে মিশিয়ে নিষ্পত্তি করা যেতে পারে।
e- বর্জ	কালো বিন	কোনটিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ	নীল বিন	কোনটিই নয়
অন্য কিছু		কোনটিই নয়

**পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুনর্ব্যবহার, হ্রাস এবং পুনর্ব্যবহার**

সিলের বলগুলোকে পুনরায় ব্যবহারের জন্য তরল কলাম থেকে ফিরিয়ে আনতে যথেষ্ট শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার কর। প্রয়োজন না হলে, তরল কলামে একবার ঢেলেদেওয়া সান্দে তরল একাধিকবার ব্যবহার করা যেতে পারে। বিভিন্ন তরলের জন্য, কয়েকটি অনুরূপ কাচের টিউব কেনা এবং পুনরায় ব্যবহার করা যেতে পারে।

**প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প**

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
<b>প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স *</b> (60 %)		60%	
1	যত্নের হ্যান্ডলিং	20%	
2	দৈর্ঘ্য এবং সময় সঠিকভাবে রেকর্ড করা	10%	
3	ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার করে গোলাকার বস্তুর ব্যাসার্ধ নির্ধারণ করা	10%	
4	স্টোকসের নীতি ব্যবহার করে সান্দে তরলে গোলাকার বস্তুর প্রাণ্তিক বেগ নির্ধারণ	20%	
<b>উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স *</b> (40 %)		40%	
5	পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
6	স্টোকসের সূত্র এবং % ত্রাণ ব্যবহার করে তরলের সান্দেতার গুণকের গণনা	10%	
7	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
<b>মোট</b>		100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেট জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্তি মার্ক			তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট	

### 3. ফর্টিনের ব্যারোমিটার ব্যবহার করে সমতলে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ নির্ণয় করা

#### ব্যবহারিক গুরুত্ব

বায়ুমণ্ডলীয় চাপের পরিমাপে শিক্ষার্থীরা এই ব্যারোমিটার ব্যবহার করতে পারে ভবিষ্যতে বিভিন্ন কর্মশালা, পরীক্ষাগার এবং প্রকৌশল চাকরিতে যা দরকার হোতে পারে।

#### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

বায়ুমণ্ডলীয় চাপ ফর্টিনের কুণ্ডের পারদ স্তর পরিবর্তন করে। ব্যারোমিটার সেই অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। ফর্টিনের ব্যারোমিটারে পতনের স্তরটি পড়ার সময় কুণ্ডের পারদ স্তরকে সর্বদা প্রধান স্কেলে শূন্যে রাখতে দেয়। চামড়ার ব্যাগটি পারদ দিয়ে ভরাট করা হয় এবং একটি স্ক্রু জ্যাকের সাহায্যে পারদ স্তরটি বাড়ানো বা নামানো হয়। এই সমন্বয় করার পর, কাচের টিউবের পারদ স্তরের উপরের অংশটি তখন ভার্নিয়ারের নিচের প্রাণ্তে এনে পরিমাপ করা হয় যাতে এটি কেবল পারদ স্তর বা পারদ এর মেনিস্কাসের শীর্ষে স্পর্শ করে। মূল স্কেল পাঠের পরিমাপ করে পর্থন নেওয়া হয় যখন মূল স্কেলের সাথে ভার্নিয়ার স্কেলের বিভাজন মিলে যায়। সুতরাং, পারদ কলামের উচ্চতা প্রধান স্কেল এবং ভার্নিয়ার স্কেল পাঠের যোগফল সমান অথবা মোট পাঠ,  $h = \text{প্রধান স্কেল পাঠ} + \text{মিলে যাওয়া ভার্নিয়ার বিভাজন } \times (\text{L.C.})$ , সুতরাং, বায়ুমণ্ডলীয় চাপ  $P_{\text{atm}} = \rho g h$  যদি পারদ এর ঘনত্ব  $\rho$  এবং  $g$  স্থির থাকে তাহলে,  $P_{\text{atm}} \propto h$  ভার্নিয়ারের (L.C.) = মূল স্কেলের একটি বিভাগ/ ভার্নিয়ার স্কেলে মোট সংখ্যা =  $1 \text{ mm} / 10 = 0.1 \text{ mm}$

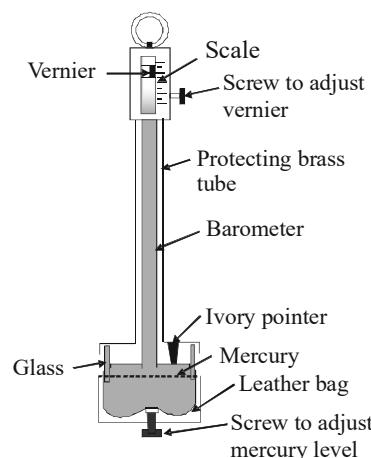
#### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

PRO1: ফর্টিনের ব্যারোমিটারের নীতি প্রয়োগ

PRO2: ফর্টিনের ব্যারোমিটার ব্যবহার করে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

PRO3: পৃথিবীর পৃষ্ঠের যে কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পরিমাপ

#### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অক্ষন/ স্কেচ/ সার্কিট ডায়াগ্রাম/ কাজের পরিস্থিতি)



### Required Resources

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত প্রয়োজনীয় সম্পদ গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদ প্রয়োজন যন্ত্র/ সরঞ্জাম/ যন্ত্রপাতি বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন সহ (ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)	মন্তব্য (যদি কিছু থাকে)
			Make	বিস্তারিত
1.	ফটিনের ব্যারোমিটার	1		
2.	থার্মোমিটার	1		

#### সতর্কতা

- পারদ স্তর শূন্য বিন্দু সামঞ্জস্য করার সময়, সমন্বয় স্ক্রু খুব দ্রুত চালু করা উচিত নয়।
- যে ঘরে চাপ মাপা হয় তার তাপমাত্রার কোন তারতম্য হওয়া উচিত নয়।
- সূর্যালোকের সংস্পর্শে আসা উচিত নয় অন্যথায় পিতলের নলে পারদ স্তর বিচার করা কঠিন হবে।
- পারদ কলামের শীর্ষে ভ্যাকুয়াম স্পেসে কোন বায়ু প্রবেশ না করে তা নিশ্চিত করার জন্য এটি পরীক্ষা করা উচিত।

#### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- ব্যারোমিটারে হালকাভাবে টোকা দাও যাতে মেনিস্কাসের উচ্চতা (কাচের নলের পারদ স্তরের উপরের পৃষ্ঠের আকৃতি) খুব বড় বা খুব ছোট না হয়।
- জিরো অ্যাডজিস্টিং নোব ব্যবহার কর যাতে পারদ জলাশয়ের উপরের অংশটি কেবল শূন্যের পেগের ডগা বা হাতির দাঁতের নির্দেশকের টিপ এবং প্রধান স্কেলের শূন্য স্পর্শ করে।
- ভার্নিয়ার স্কেলের উচ্চতা সামঞ্জস্য কর যাতে স্কেলের সামনের এবং পিছনের নীচের অংশটি মেনিস্কাসের শীর্ষের সাথে থাকে।
- ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার করে এবং প্রধান স্কেল পড়ার মাধ্যমে কাচের টিউবে পারদ কলামের উচ্চতা পড়। পারদ স্তর h এর উচ্চতা নির্ধারণ কর।
- ধাপ 4 তিনবার পুনরাবৃত্তি কর এবং তখন উচ্চতা h এর গড় লও।
- ব্যারোমিটারে লাগানো থার্মোমিটার ব্যবহার করে তাপমাত্রা পড়।

#### এবং গণনা

পারদ কলামের উচ্চতা (h) এর জন্য পর্যবেক্ষণ টেবিল

ক্রমিক সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ (MSR) mm	ভার্নিয়ার স্কেলের বিভাজন (VSD) (n)	মোট পাঠ $(h) = MSR + n \times L.C. mm$
1			
2			
3			

ତିମ୍ବାବ

ଗଡ ଉଚ୍ଚତା  $h = \dots\dots$  mm

বায়ুমণ্ডলীয় চাপটি প্রদত্ত সত্ত্বে দ্বারা গণনা করা হয়  $P_{atm} = \rho gh$

ঘরের তাপমাত্রা = ...°C

## ফলাফল এবং অথবা বাখ্যা

বায়ম গুলীয় চাপ পর্যন্ত পরিমাপ করা হয়  $P_{\text{statm}} = \dots \text{ pascal}$

## উপসংহার এবং আথরা বৈধতা

(ଢାକ୍ର ଦ୍ୱାରା ପରିଣ କରାଇବେ)

বাবত্তাবিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

১. বায়ুমণ্ডলীয় চাপ সংজ্ঞায়িত কর।
  ২. উচ্চতা সহ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের তারতম্য ব্যাখ্যা কর।
  ৩. কুণ্ডের নীচের স্তুর ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।
  ৪. মাধ্যাকর্ষণ কারণে ভুরণ সহ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের তারতম্য আলোচনা কর।

ପ୍ରକଳ୍ପ ମଲ୍ୟାଙ୍ଗନ ପ୍ରତିବିତ

(শিক্ষক দ্বারা পর্যবেক্ষণ করা হবে)

পদত্ব পারফরম্যান্স সচকণে প্রক্রিয়া মন্তব্যের জন্য একটি নির্দেশিকা তিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
<b>প্রক্রিয়া সম্পর্কিত:</b> 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	সমন্বয় স্তু সঠিক সমন্বয়	15%	
2	স্তু গেজের লিষ্টে ধ্রুবক বের করার জন্য	15%	
3	কাচের টিউবে পারদ কলামের উচ্চতার সঠিক পরিমাপ	15%	
4	গণনা এবং ফলাফল	20%	
<b>উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত:</b> 40 মার্ক্স * (40 %)		40%	
5	ক্রটির অনুমান	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	উপসংহার এবং বৈধতা	10%	

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
	মোট	100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেসমেন্টের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক			তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বঙ্গুর সম্পর্কিত	মোট	

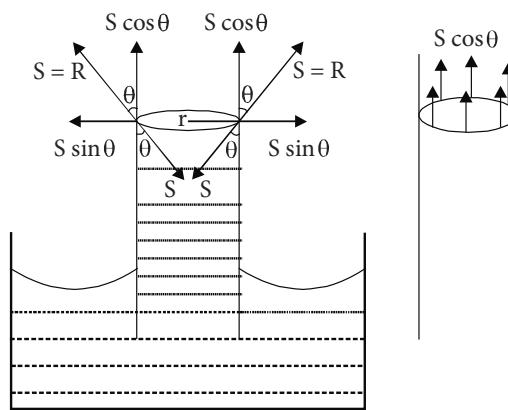
### আরো জ্ঞাতব্য

পয়েসনের অনুপাত: তারের দৈর্ঘ্যের (বা অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি) ভগ্নাংশ পরিবর্তনের ব্যাসের (বা পাশের বিকৃতি) ভগ্নাংশ পরিবর্তনের অনুপাতকে পয়েসনের অনুপাত বলে। তান্ত্রিকভাবে, S এর সীমিত মান হল -1 এবং 0.5

- পাক্ষালের নীতি: বলা হয়েছে যে যদি চাপ একটি আবন্দ তরলের যে কোনো স্থানে স্থির সময় প্রয়োগ করা হয় তবে তরলটির প্রতিটি বিন্দুতে সমানভাবে চাপ সঞ্চারিত হয়।
- আপেক্ষিক ঘনত্ব হল একটি পদার্থের ঘনত্বের অনুপাত যা জলের ঘনত্বের সাথে  $4^{\circ}\text{C}$  এ তুলনা করা হয়।
- অ্যাকসেন্ট সূত্র:  $r$  ব্যাসার্ধের একটি কৈশিক নলকে  $S$  পৃষ্ঠানের তরলে ডুবিয়ে দাও এবং তরল উচ্চতা যদি  $h$  দ্বারা বৃদ্ধি পায়, তবে তরল বৃদ্ধির ওজন,  $Mg = (S \cos\theta) 2\pi r$

$$\text{এখানে তরলের ভর } M = \text{ঘনত্ব} \times \text{আয়তন} = \rho \times \pi r^2 h$$

$$\text{সূতরাং, } \rho \times \pi r^2 h g = (S \cos\theta) 2\pi r \text{ বা } h = (2S \cos\theta)/\rho g \text{ (এখানে } \rho = \text{তরলের ঘনত্ব})$$



চিত্র 5.24: একটি কৈশিক নল মধ্যে তরলের উর্থান

- থিঙ্কোট্রিপিক তরল হল যাদের সময়-নির্ভর শিয়ার পাতলা করার বৈশিষ্ট্য রয়েছে, অর্থাৎ এই অ-নিউটনীয় তরলগুলির সান্দেহ শিয়ার স্ট্রেনের অধীনে হ্রাস পায়। থিঙ্কোট্রিপিক তরলগুলি সাধারণত স্বাভাবিক অবস্থায় স্ট্যাটিক সান্দেহ তরল, কিন্তু যখন উত্তেজিত বা কঁপানো বা শিয়ার-পীড়নহয় তখন তাদের সান্দেহ হ্রাস পায়। কিছু ক্লে, সাইটোপ্লাজম, ড্রিলিং কান্দা

থিস্কেট্রপিক তরলের প্রাকৃতিক উদাহরণ। থিস্কেট্রপিক কালি শূন্য-মাধ্যাকর্ষণ মহাকাশ ফ্লাইটের সময় লেখার জন্য ব্যবহৃত কলমের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য। ইলেক্ট্রনিক উত্পাদন মুদ্রণ প্রক্রিয়ার জন্য, থিস্কেট্রপিক সোল্ভার পেস্ট ব্যবহার করা হয়। মানুকা মধু থিস্কেট্রপিক তরলের উদাহরণ। প্যারাফিন তেল, ক্রিম, পেইটস, কেচাপ, টুথপেস্ট ইত্যাদি থিস্কেট্রপিক তরলের উদাহরণ। এটি লক্ষ্য করা গুরুত্বপূর্ণ যে তরল পদার্থের মধ্যে ছদ্মপ্লাস্টিক আচরণ থিস্কেট্রপিক আচরণের সমার্থক, শিয়ার পাতলা হওয়ার সময়-নির্ভরতা ব্যতীত।

#### ডিজাইন উদ্ভাবনী ব্যবহারিক প্রকল্প। কার্যক্রম

1. টারিসেলি ব্যারোমিটার দ্বারা বায়ুমণ্ডলীয় চাপ খুঁজে বের করা।
2. মধুর (Honey) সান্দ্রতা গুণাঙ্ক পাওয়া।
3. ম্যানোমিটার দ্বারা একটি গ্যাসের গেজ চাপ খুঁজে বের করা।
4. জল, ক্যাস্টর অয়েল, জৈব তরল, পেইন্ট, পলিমার, অপরিশোধিত তেল ইত্যাদি বিভিন্ন তরলের গতিশীল এবং গতিশীল সান্দ্রতা পরিমাপের জন্য বিভিন্ন পদ্ধতি সম্পর্কে একটি পাওয়ার পয়েন্ট উপস্থাপনা প্রস্তুত কর।
5. শিক্ষার্থীদের দলের মধ্যে খেলাধুলার বলের উপর ম্যাগনাস প্রভাব সম্পর্কে আলোচনা কর এবং একটি পাওয়ার পয়েন্ট উপস্থাপনা আকারে কাজটি উপস্থাপন কর।

#### তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং

##### রেফারেন্স

1. H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
2. J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
3. M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2019.
4. E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
5. A. Halpern, Schaum's 3,000 Solved Problems in Physics, McGraw-Hill, 2011.
6. A. Beiser, Schaum's Outline of Applied Physics, 4<sup>th</sup> Edition, Mc-Graw-Hill, 2009.
7. A. Beiser, Schaum's Easy Outline of Applied Physics, Revised Edition, McGraw-Hill, 2011.
8. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
9. OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MeitY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
10. Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/>

##### ব্যবহারিক জন্য প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.

# 6

# তাপ এবং থার্মোম্যাট্রি

## ইউনিট বিশেষ

এই ইউনিট মৌলিক পদার্থবিজ্ঞানের নিম্নলিখিত দিকগুলিতে মনোনিবেশ করে :

- তাপ এবং তাপমাত্রার ধারণা
- উদাহরণ এবং নির্দিষ্ট তাপ সহ তাপ স্থানান্তরের ধরন
- তাপমাত্রার স্কেল এবং তাদের সম্পর্ক, থার্মোমিটারের ধরন এবং তাদের ব্যবহার
- কঠিন, তরল এবং গ্যাসের বিস্তার, রৈখিক, ক্ষেত্র এবং আয়তন প্রসারন এবং তাদের মধ্যে সম্পর্ক
- তাপ পরিবাহিতা এবং এর প্রয়োগের ধারণা

## যুক্তি

তাপ হল শক্তি এবং তাপমাত্রা হল এই শক্তির পরিমাপ। এখানে, এই পরিমাণগুলির ধারণা পাবে এবং কিছু উদাহরণ ব্যবহার করে তাপ স্থানান্তরের তিনটি পদ্ধতিতে পার্থক্য করতে সক্ষম হবে। উপকরণের নির্দিষ্ট তাপের মতো সহজাত বৈশিষ্ট্যগুলি অধ্যয়ন করবে এবং বিভিন্ন তাপমাত্রা স্কেল এবং তাদের সম্পর্কের পার্থক্য করতে সক্ষম হবে। বিভিন্ন ধরণের থার্মোমিটার ও বুাতে পারবে; অবশ্যে, গ্যাস, তরল এবং কঠিন পদার্থের তাপমাত্রা প্রভাবগুলি তাদের বিস্তার, তাপ পরিবাহিতার পরিপ্রেক্ষিতে অধ্যয়ন করবে। বিভিন্ন প্রকৌশল অ্যাপ্লিকেশন উপলব্ধি করতে সক্ষম হবে।

## পূর্ব-প্রয়োজনীয়তা

- পদার্থবিজ্ঞান: উচ্চ বিদ্যালয় স্তরের পদার্থবিজ্ঞান
- গণিত: মৌলিক বীজগণিত
- অন্যান্য: কম্পিউটারের প্রাথমিক জ্ঞান

## ইউনিট আউটকাম

U6-O1: তাপ, তাপমাত্রা, তাপ পরিবাহিতা, তার উপযুক্ত ইউনিট এবং মাত্রা সহ তাপ ক্ষমতা চিহ্নিত কর;

U6-O2: তাপ স্থানান্তর এবং তাপমাত্রা স্কেলের পদ্ধতিগুলি আলাদা কর; পদার্থের তাপমাত্রা এক স্কেল থেকে অন্য স্কেলে রূপান্তর কর;

**U6-O3:** কঠিন পদার্থের মধ্যে রৈখিক, পৃষ্ঠ এবং আয়তন সম্প্রসারণের মধ্যে একটি সম্পর্ক খুঁজে পেতে তাপীয় প্রবাহের ধারণাটি প্রয়োগ কর;

**U6-O4:** ইঞ্জিনিয়ারিং প্রয়োগ গুলিতে তাপ পরিবাহিতার গুরুত্ব বর্ণনা কর এবং তাপের ভাল এবং দুর্বল পরিবাহক চিহ্নিত কর।

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফল ম্যাপিং :

কোর্সের ফলাফলের সাথে ইউনিট ফলাফলের ম্যাপিং নীচে সারণীতে দেওয়া হয়েছে :

ইউনিট-6: ফলাফল	কোর্সের ফলাফল সহ প্রত্যাশিত ম্যাপিং (1-দুর্বল পারম্পরিক সম্পর্ক, 2-মাঝারি সম্পর্ক, 3-শক্তিশালী পারম্পরিক সম্পর্ক)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
<b>U6-O1</b>	3	1	1	0	1	3
<b>U6-O2</b>	1	1	1	0	1	3
<b>U6-O3</b>	1	1	2	1	1	3
<b>U6-O4</b>	3	0	0	0	1	-

## 6.1 তাপ স্থানান্তর এবং তাপমাত্রা পরিমাপ

### মজার ঘটনা

বেশিরভাগ নরম চিজে 40% জলের পরিমাণ থাকে। এ কারণেই পিজার চীজ গরম এবং ঠাণ্ডা হতে বেশি সময় নেয়। এটি চিজের জলের তাপ ক্ষমতার কারণে ঘটে যা তুমি যদি পিজার গরম পরিবেশন করা চিজের অংশ খাও তবে প্যালেটকে ক্ষতবিক্ষত করে। পিজার শক্ত আবরণ গরম হয় এবং তুলনামূলকভাবে দ্রুত ঠাণ্ডা হয়, এবং তাই এই শক্ত আবরণ থেকে মুখ পুড়বে না।

### 6.1.1 তাপ এবং তাপমাত্রার ধারণা

তাপ এবং তাপমাত্রা একই পরিমাণ নয়, যদিও আমরা কখনও কখনও এগুলি বিনিময়যোগ্যভাবে ব্যবহার করি। তাপ হল আণবিক গতিসমূহের একটি সামগ্রিক স্থিতি এবং গতিশক্তি এবং যা joule বা calorie-তে পরিমাপ করা হয়, যেখানে তাপমাত্রা আণবিক গতির গড় গতিশক্তির একটি পরিমাপ এবং এটি তাপ শক্তির একটি পরিমাপ। তাপমাত্রার এসআই ইউনিট হল কেলভিন, এর অন্যান্য ইউনিট হল ডিগ্রি সেলসিয়াস। বস্তুর তাপমাত্রা অণুর ধরন বা সংখ্যার উপর নির্ভর করে না; এটি শুধুমাত্র তাপ শক্তির তীব্রতা হিসেবে বস্তুর পরমাণু বা অণুর গতি পরিমাপ করে। তাপ শক্তির প্রতীক হল 'Q' এবং তাপমাত্রার জন্য 'T'। কোনো বস্তুর তাপের উপাদান এটিকে গরম বা ঠাণ্ডা করে তোলে। তাপ শক্তি সর্বদা গরম বা উচ্চ পদার্থ বা অধিগত থেকে শীতল পদার্থ বা অধিগতে প্রবাহিত হয় অর্থাৎ এটি একটি অধিগত বা উচ্চ তাপমাত্রার পদার্থ থেকে নিম্ন তাপমাত্রার দিকে প্রবাহিত হয়। তাপ শক্তি হল কাজ সম্পাদন করার ক্ষমতা যখন তাপমাত্রা তাপের ডিগ্রির পরিমাপক (যেমন, বস্তুর উক্ততা বা শীতলতা ( $^{\circ}\text{C}$  এবং  $^{\circ}\text{F}$ )।

### 6.1.2 তাপ স্থানান্তরের ধরণ

তিনটি ভিন্ন উপায়ে তাপ স্থানান্তরিত হয়: (a) পরিবহন, (b) পরিচলন এবং (c) বিকিরণ

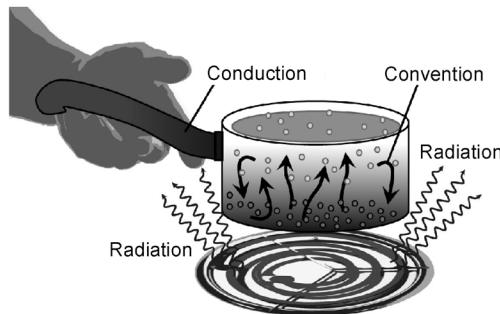
(a) **পরিবহন:** ধাতুর মতো কঠিন পদার্থে, অণুর আণবিক কম্পনের মাধ্যমে তাপ স্থানান্তর হয় যা একে অপরের সাথে সরাসরি যোগাযোগ করে। এই ক্ষেত্রে, কণার প্রকৃত চলাচল ছাড়াই তাপ স্থানান্তরিত হয়। তাপ স্থানান্তরের এই পদ্ধতি পরিবহন

নামে পরিচিত। কঠিন পদার্থে পরিবহনের ক্ষেত্রে তাপ স্থানান্তরের জন্য মাধ্যমটি প্রয়োজন। যেসব পদার্থ তাপ সঞ্চালন করে তাদেরকে তাপ পরিবাহী বলা হয়।

(b) পরিচলন: জল বা বাতাসের মত তরল পদার্থে, তাপের স্থানান্তর ঘটে কণার এক স্থান থেকে অন্য স্থানে প্রকৃত চলাচলের কারণে। এটি পরিচলন নামে পরিচিত। সংবহন মাধ্যমে তাপ স্থানান্তর একটি ভ্যাকুয়াম ঘটতে পারে না।

পরিবহন এবং সংবহন উভয় ক্ষেত্রে, তাপ একটি মাঝারি অংশে ছড়িয়ে পড়ে যখন একটি ভারসাম্যপূর্ণ অবস্থায় পৌঁছানোর চেষ্টা করে।

(c) বিকিরণ: বিকিরণ একটি মাঝারি বা শূন্যস্থানে হতে পারে। যখন বিকিরণ মাধ্যমে তাপ স্থানান্তর হয়, মাঝখানে স্থান উত্পন্ন হয় না। এর অর্থ হল তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে বিকিরণের মাধ্যমে তাপের বিস্তার লক্ষ্যবস্তু এবং স্থানীয়করণ।



চিত্র 6.1: তাপ স্থানান্তরের পদ্ধতি: (a) পরিবহন, (b) পরিচলন এবং (c) বিকিরণ

আমরা এই উদাহরণটি বিবেচনা করি যেখানে আমরা একটি হটপ্লেট বা গ্যাসের চুলায় স্টিলের প্যানে জল ফুটিয়ে থাকি। যেহেতু প্যানের নিচের অংশটি হটপ্লেট বা গ্যাসের চুলায় রাখা হয়েছে, সেখান থেকে তাপ শক্তি প্রথমে (তাপীয়) বিকিরণের মাধ্যমে প্যানের নীচে স্থানান্তরিত হয়। পরিশেষে তাপ পরিবাহনের মাধ্যমে প্যানের মাঝখানে, উপরে এবং হ্যান্ডেলে ছড়িয়ে পড়ে যেখানে প্যানের অগুণ্ঠনি তাদের অবস্থান থেকে সরে যায় না। আণবিক কম্পন দ্বারা সরাসরি যোগাযোগে অণুর মধ্যে তাপ স্থানান্তর ঘটে। উচ্চ তাপমাত্রার কারণে প্যানের জল নীচে গরম হওয়া শুরু করে। যেহেতু জলের অগুণ্ঠনি একে অপরের সাথে স্টিলের প্যানের মতো কঠোরভাবে আবদ্ধ নয়, তাই শক্তি অর্জনের কারণে এগুলি আরও মোবাইল হয়ে যায়। তারা তাদের সাথে তাপশক্তি শীতল অঞ্চলে নিয়ে যায়। শীতল অঞ্চলটি উষ্ণ অঞ্চলের চেয়ে ঘন, ঠাণ্ডা অঞ্চলের অগুণ্ঠনি প্যানের নীচের দিকে এবং গরম অঞ্চল থেকে হালকা অগুণ্ঠনি উপরের দিকে ঠাণ্ডা অংশে চলে যায়। ঠাণ্ডা থেকে উষ্ণ অঞ্চলে অণুর এই চলাচল চলতে থাকে যতক্ষণ না ভারসাম্য বজায় থাকে। জল গরম করার এই প্রক্রিয়াটি হল কনভেকশন যার সাথে জলের অণুর প্রকৃত চলাচল জড়িত। জল ব্যবহারের পরিবর্তে, আমরা তেলকেও বিবেচনা করতে পারি।

বিকিরণ এবং পরিবহনের কারণে জলাশয়ের জল সরাসরি সূর্যের আলোতে উত্পন্ন হয়ে যায়। পরিবহন এবং বিকিরণের কারণে, আমরা ব্যাখ্যা করতে পারি কেন মরু অঞ্চল দিনে উষ্ণ এবং রাতে শীতল। এক গ্লাস গরম দুধে রাখা ধাতব চামচ পরিশেষে উষ্ণ হয়ে যায়, তাও সঞ্চালনের কারণে। রান্নার সময় গরম পাত্রে পরিবাহনের কারণে পুড়ে যাওয়া এড়ানোর জন্য, তারা তাপীয়ভাবে উত্তাপযুক্ত হ্যান্ডলগুলি দিয়ে সজ্জিত।

### 6.1.3 আপেক্ষিক তাপ

**তাপ ক্ষমতা:** এটি একটি পদার্থের তাপমাত্রা  $1\text{ K}$  দ্বারা বাড়াতে (বা কমাতে) প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ। তাপ ক্ষমতার প্রতীক হল ' $\text{C}$ ' এবং এর SI একক হল  $\text{J.K}^{-1}$ ।

ধরি, একটি পদার্থে তাপ সরবরাহ করা (বা বের করে নেওয়া) হয়,  $Q = C(T_2 - T_1)$ , যেখানে,  $T$  = তাপমাত্রার পরিবর্তন,  $T_2$  = চূড়ান্ত তাপমাত্রা এবং  $T_1$  = প্রাথমিক তাপমাত্রা।

**তাপ বা আপেক্ষিক তাপ ক্ষমতা:** এটি একটি পদার্থের  $1\text{ g}$  তাপমাত্রা  $1^\circ\text{C}$  বাড়ানোর জন্য প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ। আপেক্ষিক তাপের একক হল  $\text{cal.gm}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  বা  $\text{J.gm}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ । অথবা এটি  $1$  কেলভিন দ্বারা  $1$  কিলোগ্রাম পদার্থের তাপমাত্রা বাড়ানোর জন্য প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ। আপেক্ষিক তাপের SI একক হল  $\text{J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$ । F.P.S. সিস্টেমে, আপেক্ষিক তাপের একক হল  $\text{BTU lb}^{-1}\text{ }^\circ\text{F}$ ।

সাধারণভাবে, নির্দিষ্ট তাপ হল তাপের পরিমাণ যা একটি পদার্থের একক ভরকে সরবরাহ করা হয় (বা বের করে নেওয়া হয়) যার তাপমাত্রা থার্মোডাইনামিক প্রক্রিয়ায় এক ডিগ্রী বৃদ্ধি (বা হ্রাস) করে।

নির্দিষ্ট তাপ বা নির্দিষ্ট তাপ ক্ষমতার দুটি মান রয়েছে:

১. **ধ্রুব চাপে আপেক্ষিক তাপ (CP):** ধ্রুব চাপে তাপগতিশীল স্কেলে একক ডিগ্রী দ্বারা একক ভরের তাপমাত্রা বাড়ানোর জন্য এটি প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ।
২. **ধ্রুব আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (CV):** এটি একটি তাপের পরিমাণ যা একটি ইউনিট ভরের তাপমাত্রা একটি ইউনিট ডিগ্রী দ্বারা একটি স্থায়ী আয়তনে তাপগতিশীল স্কেলে বৃদ্ধি করে।

**মোলার তাপ ক্ষমতা:** এটি একটি পদার্থের  $1$  মোলের তাপমাত্রা  $1$  কেলভিন বাড়ানোর জন্য প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ। এর SI ইউনিট হল  $\text{J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$ । এটি  $C_m$  দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

$T$  = তাপমাত্রার পরিবর্তন,  $T_2$  = চূড়ান্ত তাপমাত্রা এবং  $T_1$  = প্রাথমিক তাপমাত্রা।  $T = n C_m (T_2 - T_1)$ ; যেখানে,  $n$  = একটি পদার্থের মোলের সংখ্যা, তাপ সরবরাহ,  $Q = nC_m$

পদার্থের মোলার নির্দিষ্ট তাপ একটি সহজাত বৈশিষ্ট্য যা পদার্থের আকৃতি এবং আকার থেকে স্বাধীন। পদার্থের মোলার নির্দিষ্ট তাপের মান সাধারণত পদার্থের নির্দিষ্ট তাপের চেয়ে ছোট। উদাহরণস্বরূপ, প্যারাফিন মোমের নির্দিষ্ট তাপ প্রায়  $2500\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$  কিন্তু এর মোলার তাপ ক্ষমতা প্রায়  $600\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ।

$C_p$  এবং  $C_v$  র মধ্যে সম্পর্ক:

১. আপেক্ষিক তাপের অনুপাত,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ । আপেক্ষিক তাপের এই অনুপাতটি এডিয়াব্যাটিক ইনডেক্স নামেও পরিচিত।
২.  $C_p - C_v = R$ , যেখানে  $R$  = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক। এখানে লক্ষ্য কর যে,  $C_p$  সবসময়  $C_v$  চেয়ে বড় (অর্থাৎ,  $C_p > C_v$ )।

#### 6.1.4 তাপমাত্রার স্কেল এবং তাদের সম্পর্ক

চারটি তাপমাত্রা স্কেল এখন ব্যবহার করা হচ্ছে: (a) সেলসিয়াস (বা সেন্টিগ্রেড) স্কেল (b) ফারেনহাইট স্কেল (c) কেলভিন স্কেল (d) র্যাক্সিন স্কেল।

- (a) **সেলসিয়াস (বা সেন্টিগ্রেড) স্কেল:** সেলসিয়াস স্কেলে জলের হিমায়িত তাপমাত্রা  $0^\circ\text{C}$  এবং ফুটন্ট তাপমাত্রা  $100^\circ\text{C}$ ।
- (b) **ফারেনহাইট স্কেল:** ফারেনহাইট স্কেলে, জল  $32^\circ\text{F}$  তাপমাত্রায় জমাট বাঁধে এবং  $212^\circ\text{F}$  এ ফুটে।
- (c) **কেলভিন স্কেল:** কেলভিন স্কেলে, জলের হিমাক 273.15 K এবং ফুটন্ট বিন্দু 373.15 K। এখানে, শূন্যাতি পরম শূন্য (K)
- (d) **র্যাক্সাইন স্কেল:** র্যাক্সাইন স্কেলে, শূন্যকে পরম শূন্যে সেট করা হয় এবং জল  $491.67^\circ\text{R}$  এ জমে যায়  $671.67^\circ\text{R}$  এ ফোটায়।

ফারেনহাইট স্কেল এবং সেলসিয়াস স্কেলের মধ্যে রূপান্তর:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32$$

এখানে লক্ষ্য কর যে,  $-40^{\circ}\text{F}$  ফারেনহাইট স্কেল  $-40^{\circ}\text{C}$  সেলসিয়াস স্কেলের সমান, অর্থাৎ  $-40^{\circ}\text{F} = -40^{\circ}\text{C}$

কেলভিন স্কেল এবং সেলসিয়াস স্কেলের মধ্যে রূপান্তর:

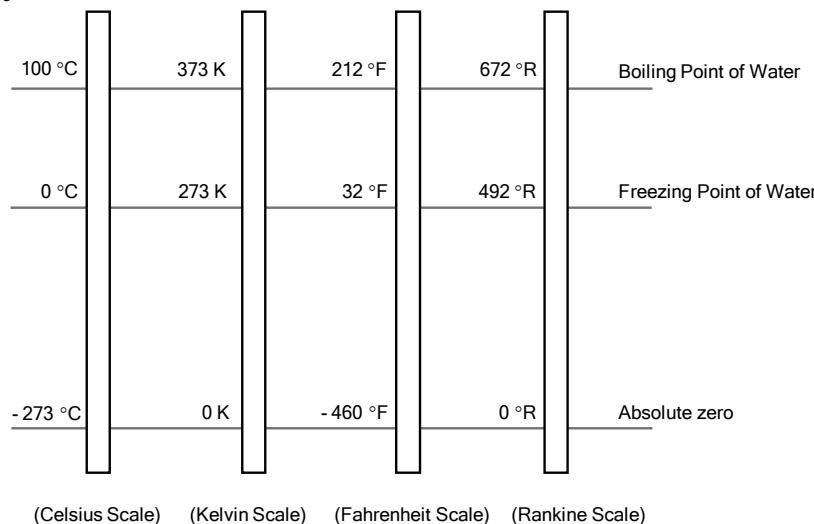
$$\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$$

র্যাক্ষাইন স্কেল এবং ফারেনহাইট স্কেলের মধ্যে রূপান্তর:

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

র্যাক্ষাইন স্কেল এবং কেলভিন স্কেলের মধ্যে রূপান্তর:

$$^{\circ}\text{R} = \frac{9}{5} \text{ K}$$



চিত্র 6.2: তাপমাত্রা স্কেল

### 6.1.5 থার্মোমিটারের ধরন এবং তাদের ব্যবহার

থার্মোমিটার একটি যন্ত্র যা একটি দেহ বা বস্তুর তাপমাত্রা পরিমাপ করে এবং বস্তুর সঙ্গে সরাসরি যোগাযোগের মধ্যে বা বস্তুর আশেপাশে রাখা হয়। এগুলি দুই প্রকার: (ক) বৈদ্যুতিক (খ) অ-বৈদ্যুতিক। পারদ থার্মোমিটার এবং বাইমেটাল থার্মোমিটারগুলি অ-বৈদ্যুতিক ডিভাইস, যেখানে পাইরোমিটার এবং রেজিস্ট্যাল থার্মোমিটার বৈদ্যুতিক ডিভাইস।

#### (a) পারদ থার্মোমিটার:

পারদ (Hg) এর তাপীয় সম্প্রসারণ এবং সংকোচন তার তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে পারদকে কাঁচের মধ্যে ব্যবহার করা হয় অথবা সহজভাবে, পারদ থার্মোমিটার একটি মানব দেহের তাপমাত্রা, তরল এবং বাষ্প পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়। পারদ থার্মোমিটারটি প্রথম আবিষ্কার করেছিলেন পদাথবিজ্ঞানী ড্যানিয়েল গ্যারিয়েল ফারেনহাইট 1714 সালে আমস্টারডামে।

পারদ থার্মোমিটারে, একটি কাচের নল পারদ দ্বারা ভরা হয় এবং থার্মোমিটারে মান তাপমাত্রা চিহ্নিত করা হয়। এই থার্মোমিটারগুলি ক্লিনিক্যাল উদ্দেশ্যে, ল্যাবরেটরি পরীক্ষা এবং শিল্পের উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হয়।

যেহেতু পারদ একটি বিষাক্ত পদার্থ, পারদ মুক্ত প্লাস টিউব থার্মোমিটার যার মধ্যে অ-বিষাক্ত তরল থাকে, যথা, ডিজিটাল থার্মোমিটার, ইনফ্রারেড থার্মোমিটার, থার্মোকল থার্মোমিটার, লিকুইড ক্রিস্টাল থার্মোমিটার, বাইমেটালিক থার্মোমিটার, রেজিস্ট্যান্স থার্মোমিটার এবং পাইরোমিটারও উপযুক্ত অ্যাপ্লিকেশনের জন্য ব্যবহৃত হয়।

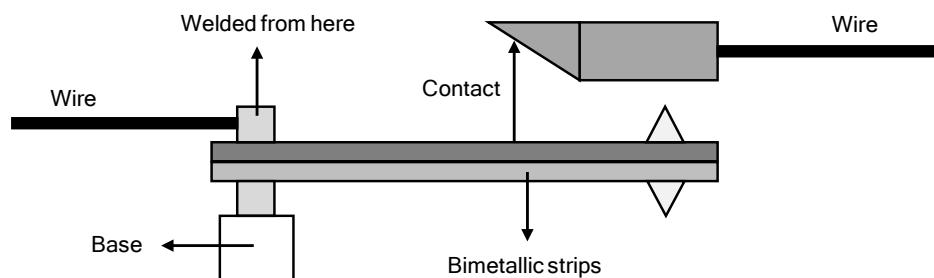
### (b) বাইমেটালিক থার্মোমিটার

এই থার্মোমিটার একই তাপমাত্রায় ধাতু এবং তাদের বিভিন্ন তাপমাত্রা সহগের তাপ বিস্তার এবং সংকোচনের নীতির উপর কাজ করে। তাপমাত্রা সহগ হল তাপমাত্রা এবং ধাতুতে শারীরিক মাত্রায় তার প্রভাবের মধ্যে সম্পর্ক।

দ্বিমাত্রিক থার্মোমিটার বিভিন্ন ধাতুর দুটি সংযুক্ত স্ট্রিপ ব্যবহার করে যেমন, ইস্পাত, তামা এবং পিতল; এই ধাতব স্ট্রিপগুলি গরম হওয়ার সময় বিভিন্ন হারে বড় হয় যার অর্থ হল দুটি স্ট্রিপের তাপমাত্রার পার্থক্য ক্ষেত্রের পাশে একটি সুইচের যন্ত্রিক স্থানচ্যুতিতে রূপান্তরিত হয়। যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ধাতব স্ট্রিপগুলি একে অপরের সাথে ঝালাই করায় কম তাপমাত্রা সহগের সাথে ধাতুর দিকে ঘূরতে থাকে। একইভাবে, যখন তাপমাত্রা হ্রাস পায়, সংযুক্ত স্ট্রিপগুলি উচ্চ-তাপমাত্রা সহগের ধাতুর দিকে ঘূরতে থাকে।

বাইমেটালিক থার্মোমিটার তরল এবং গ্যাসের তাপমাত্রা পরিমাপ করতে ব্যবহৃত হয়। এই থার্মোমিটার দুটি ধরনের আছে:

- (1) সর্পিল টাইপ (2) হেলিক্যাল টাইপ। বাইমেটালিক থার্মোমিটার কন্ট্রোল ডিভাইস, ওভেন, এসি থার্মোস্ট্যাটস (সর্পিল টাইপ), শোধনাগার (হেলিক্যাল টাইপ), হিটার ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।

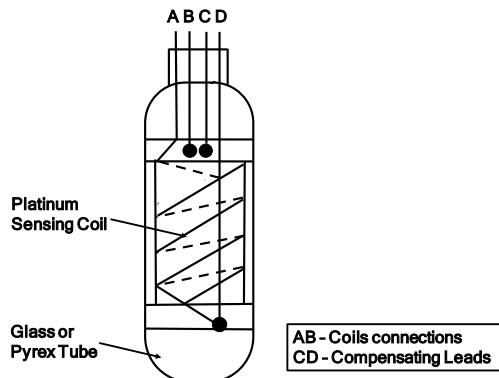


চিত্র 6.3: দ্বিমাত্রিক থার্মোমিটারের পরিকল্পিত চিত্র

### (c) প্লাটিনাম রেজিস্ট্যান্স থার্মোমিটার (PTR)

প্লাটিনামের একটি ধনাত্মক তাপমাত্রা সহগ রয়েছে, যার অর্থ এটি তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে প্রসারিত হয় এবং এটি তার প্রতিরোধ ক্ষমতা বাড়ায়। এটি তাপমাত্রা পরিমাপের যন্ত্রগুলিতে একটি সংবেদনশীল উপাদান হিসাবে ব্যবহৃত হয় কারণ এটি অপ্রতিরোধ্য এবং সূক্ষ্ম তারে তৈরি করা যায়। এই থার্মোমিটারে, একটি কুণ্ডলী বা পাতলা ফিল্মের আকারে উচ্চ বিশুद্ধতা প্লাটিনাম একটি প্লাস বা ধাতব টিউবে স্থাপন করা হয় এবং নলটি তখন নিক্রিয় গ্যাস দিয়ে সিল করা হয়। প্লাটিনামের বৈদ্যুতিক প্রতিরোধের পরিমাপের জন্য যোগাযোগটি একটি অন্তরক ক্যাপের মাধ্যমে সংযুক্ত করা হয়। যখন প্লাটিনামের মধ্য দিয়ে বিকল্প বা সরাসরি কারেন্ট চলে যায় তখন এর প্রতিরোধের পরিবর্তন হয় এবং ভোল্টেজ ধাতু জুড়ে প্রেরিত হয় যা একটি ভোল্টমিটার দ্বারা পরিমাপ করা হয়। ভোল্টমিটার রিডিংগুলি তখন একটি ক্রমান্কন সমীকরণ ব্যবহার করে তাপমাত্রায় রূপান্তরিত হয়।

প্লাটিনাম প্রতিরোধের থার্মোমিটারগুলি বিস্তৃত তাপমাত্রায় ( $\sim -200^{\circ}\text{C}$  থেকে  $1000^{\circ}\text{C}$ ) ব্যবহার করা হয় এবং সুনির্দিষ্ট রিডিং দেয়। এগুলি বেশ সংবেদনশীল কিন্তু সময় এবং তাপমাত্রার সাথে স্থিতিশীল এবং পরিমাপ এবং ক্যালিব্রেট করাও সহজ।  $1200^{\circ}\text{C}$  এর উপরে তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য, প্লাটিনাম বাষ্প হতে শুরু করে; এর গলনাঙ্ক  $1800^{\circ}\text{C}$ ।



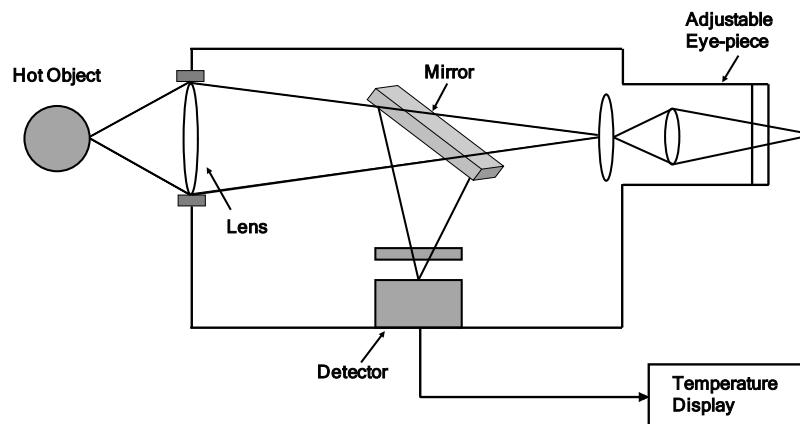
চিত্র 6.4: প্ল্যাটিনাম রেজিস্ট্যান্স থার্মোমিটারের পরিকল্পিত চিত্র

#### (d) পাইরোমিটার

পাইরোমিটার হল এমন একটি যন্ত্র যা দেহের তুলনামূলকভাবে উচ্চ তাপমাত্রা ( $> 2000\text{ K}$ ) পরিমাপ করে; যেমন চুল্লি, গলিত ধাতু এবং অতিরিক্ত উন্নত পদার্থ বা তরল পদার্থ থেকে নির্গত বিকিরণ পরিমাপ করে। এই থার্মোমিটারটি স্টেফানের ব্ল্যাকবিডি বিকিরণের নিয়মে কাজ করে।

অপটিক্যাল পাইরোমিটারে, একটি বস্তুর উজ্জ্঳লতা এবং একটি নলাকার পাইরোমিটারের ভিতরে রাখা ফিলামেন্টের তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য মিলিত হয়। সিলিন্ডারের ভিতরে ল্যাম্প এবং আইপিসের মধ্যে বাতি রাখা হয়। আইপিসের সামনে রাখা ফিল্টার একরঙা আলো পেতে সাহায্য করে। বাতিটি পাওয়ার সাপ্লাই, অ্যামিটার এবং রিওস্ট্যাটের সাথে সংযুক্ত। লেন্স বস্তু থেকে বিকিরিত শক্তিকে ফোকাস করে এবং এটি ফিলামেন্ট ল্যাম্পে লক্ষ্য করে। এই ডিভাইসটি উচ্চ নির্ভুলতার সাথে তাপমাত্রা পরিমাপ করে এবং এর নির্ভুলতা ফিলামেন্ট কারেন্টের উপর নির্ভর করে। একটি অপটিক্যাল পাইরোমিটার হল একটি অ-যোগাযোগ পরিমাপকারী যন্ত্র যার অর্থ হল শরীর বা বস্তুর সাথে সরাসরি যোগাযোগের প্রয়োজন নেই।

একটি প্রতিরোধ পাইরোমিটার তাপ দ্বারা সৃষ্টি বৈদ্যুতিক প্রতিরোধের পরিবর্তনকে বস্তুর তাপমাত্রায় রূপান্তর করে। এই যন্ত্রটি বস্তুর সংস্পর্শে থাকা সূক্ষ্ম তার ব্যবহার করে। একটি থার্মোকল পাইরোমিটার উন্নত বস্তুর সংস্পর্শে স্থাপন করা হয় এবং থার্মোকলের উৎপাদনের পরিমাপ করে যা সঠিক ক্রমান্বয়ে বস্তুর তাপমাত্রা উৎপন্ন করে।



চিত্র 6.5: অপটিক্যাল বা রেডিয়েশন পাইরোমিটারের বুক ডায়াগ্রাম

### প্রয়োগ

তাপমাত্রা পরিমাপ খাদ্য শিল্প, কাগজ উত্পাদন, টিমাগার এবং ওষুধ শিল্প ইত্যাদির জন্য অপরিহার্য। যেসব উপকরণ কম নির্দিষ্ট তাপ ধারণ করে, তাদের উচ্চ তাপের চেয়ে দ্রুত গরম বা ঠাণ্ডা করা যায়। এই কারণেই ধাতু যার নির্দিষ্ট তাপ ক্ষমতা ছোট, রান্নার পাত্র হিসাবে ব্যবহৃত হয়। একইভাবে, পারদ কম নির্দিষ্ট তাপ এবং অতএব, এটি তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত হয়। গাড়ির রেডিয়েটর এবং তাপীয় রেডিয়েটরগুলিতে কুল্যান্ট হিসেবে জল ব্যবহার করা হয়, তার উচ্চ নির্দিষ্ট তাপ ক্ষমতার কারণে। একটি আদর্শ কুল্যান্টের উচ্চ তাপ ক্ষমতা রয়েছে।

### কেস স্টেডি

যেহেতু ভূমিতে সমুদ্রের জলের চেয়ে ছোট তাপ ক্ষমতা রয়েছে, দিনের বেলা জমির তাপমাত্রা সমুদ্রের জলের চেয়ে দ্রুত বৃদ্ধি পায় এবং রাতে ভূমি সমুদ্রের জলের চেয়ে দ্রুত শীতল হয়। দিনের সময়, গরম বাতাস তার কম ঘনত্বের কারণে ভূমির উপরে উঠে যায় এবং সমুদ্র থেকে শীতল বাতাস উচ্চ ঘনত্বের কারণে জমির দিকে প্রবাহিত হয়। এভাবেই সমুদ্রের হাওয়া উৎপন্ন হয়। রাতে, সমুদ্রের উপরে গরম বাতাস উঠে যায় এবং ভূমির দিকে প্রবাহিত হয় এবং ভূমি থেকে শীতল বাতাস সমুদ্রের দিকে প্রবাহিত হয়। এটি ভূমি হাওয়া বলে।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরিকর

পারমাণবিক চুল্লি কোরের তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য কোন ধরনের যন্ত্র এবং পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়?

### সমাধানকৃত সমস্যা

**P-1:** যদি রূপার নির্দিষ্ট তাপ (Ag)  $0.235 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$  হয়। তখন  $100 \text{ g}$  রূপার তাপমাত্রা  $50 \text{ K}$  বাড়ানোর জন্য প্রয়োজনীয় তাপ শক্তির পরিমাণ বের করো।

### সমাধান:

$$\text{রূপার নির্দিষ্ট তাপ (Ag)} = 0.235 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K} = 0.235 \times 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\text{রূপার ভর} = m = 100 \text{ g} = 100 \times 10^{-3} \text{ kg} = 0.1 \text{ kg}$$

$$\text{তাপমাত্রার পার্থক্য} = \Delta T = 50 \text{ K}$$

$$\text{অতএব, প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ} = Q = mC\Delta T = 0.1 \times 0.235 \times 10^3 \times 50 = 1175 \text{ J}$$

## 6.2 কঠিন, তরল এবং গ্যাসের উপর তাপমাত্রার প্রভাব:

### মজার ঘটনা

প্রাকৃতিক হীরার সর্বোচ্চ তাপ পরিবাহিতা মান ( $2200 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ ) এবং এর মান রূপার চেয়ে 5 গুণ বেশি যার দ্বিতীয় সর্বোচ্চ তাপ পরিবাহিতা রয়েছে। কিন্তু এটি একটি বৈদ্যুতিক অন্তরক। তার সর্বোচ্চ তাপ পরিবাহিতার কারণে, হীরা তাপ বিচ্ছুরণের জন্য ইলেক্ট্রনিক ডিভাইসে ব্যবহৃত হয় এবং হীরার গহনার সত্যতা যাচাই করতে ব্যবহার করা যেতে পারে।

### 6.2.1 কঠিন, তরল এবং গ্যাসের বিস্তার

কঠিন পদার্থের অগুর মধ্যে দৃঢ় বন্ধন থাকে এবং যখন কঠিন পদার্থগুলি উচ্চ তাপমাত্রায় উন্নত হয় তখন তাদের অগুগুলি তাদের ভারসাম্য অবস্থান সম্পর্কে বৃহৎ প্রশংসন্তার সাথে কম্পনের জন্য পর্যাপ্ত গতিশক্তি অর্জন করে। অর্জিত তাপশক্তি কঠিন পদার্থের মধ্যে বন্ধন ভেঙে এবং অগুগুলিকে কঠিন পদার্থে বিচরণের জন্য পর্যাপ্ত নয়। ফলস্বরূপ, কঠিন পদার্থের ছোট প্রসারণ হয়। তরলের ক্ষেত্রে, অগুর মধ্যে বন্ধন কঠিন পদার্থের তুলনায় দুর্বল। যখন তরল উচ্চ তাপমাত্রায় থাকে, তখন অগুগুলি একসঙ্গে

চলে এবং এই প্রক্রিয়ায় তারা আলাদা হয়ে যায়। অতএব, তরল দ্রব্যের চেয়ে আয়তনে বেশি প্রসারিত হয়। গ্যাসগুলিতে, অণুগুলি উচ্চ তাপমাত্রায় আরও শক্তি অর্জন করে এবং তারা দ্রুত এবং আরও দূরে সরে যেতে শুরু করে। এর ফলে গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। যখন তাপমাত্রা কমিয়ে গ্যাস ঠান্ডা করা হয়, তখন অগু কম শক্তি পায় এবং ধীর গতিতে চলে যায় এবং একে অপরের কাছাকাছি চলে আসে। এটি নিম্ন তাপমাত্রায় গ্যাসের পরিমাণ হ্রাস করে। গ্যাস যে পাত্রে প্রসারিত হয় তার পুরো স্থান পূরণ করে, যেখানে কঠিন এবং তরল সম্প্রসারণের মাধ্যমে একটি নির্দিষ্ট স্থান দখল করে। গ্যাস পদার্থ কঠিন বা তরল পদার্থের চেয়ে বেশি প্রসারিত হয়।

#### 6.2.2 রৈখিক, পৃষ্ঠ এবং ঘনক সম্প্রসারণ এবং তাদের মধ্যে সম্পর্কের সহগ:

একটি পদার্থের তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাথে এর মাত্রার পরিবর্তন ঘটে। যদি পরিবর্তন বা একটি সম্প্রসারণ তার আয়তনের এক মাত্রায় হয়, তাহলে তাকে রৈখিক সম্প্রসারণ বলে। যদি পদার্থের দুটি মাত্রায় (অর্থাৎ পৃষ্ঠভূমিতে) সম্প্রসারণ ঘটে, তাহলে তাকে পৃষ্ঠ সম্প্রসারণ বলা হয় এবং যদি সম্প্রসারণটি পদার্থের সমস্ত 3 মাত্রায় (অর্থাৎ আয়তনে) ঘটে, তাহলে তাকে বলা হয় ভলিউমেট্রিক বা কিউবিক সম্প্রসারণ।

**রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ:** এটি ইউনিট দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের হার ( $dL$ ) প্রতি ইউনিট ডিগ্রী তাপমাত্রা পরিবর্তনে ( $dT$ ); একে  $\alpha_L$  দ্বারা চিহ্নিত করা হয়,

$$\text{অর্থাৎ, } \alpha_L = \frac{dL}{L_0 dT} \quad \therefore \alpha = \frac{dL}{dT}$$

**পৃষ্ঠ সম্প্রসারণের সহগ:** এটি ইউনিট এলাকা পরিবর্তনের হার ( $dA$ ) প্রতি ইউনিট ডিগ্রী তাপমাত্রা পরিবর্তনে ( $dT$ ); একে  $\beta_A$  দ্বারা চিহ্নিত করা হয়

$$\text{অর্থাৎ, } \beta_A = \frac{dA}{A_0 dT}$$

**ঘনক সম্প্রসারণের সহগ:** এটি ইউনিট আয়তনের পরিবর্তনের হার ( $dV$ ) প্রতি ইউনিট ডিগ্রী তাপমাত্রা পরিবর্তনে ( $dT$ ); একে  $\gamma_V$  হিসাবে চিহ্নিত করা হয় অর্থাৎ,  $\gamma_V = \frac{dV}{dT}$

দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্র বা আয়তনের তাপীয় সম্প্রসারণের সহগের SI ইউনিট  $K^{-1}$  বা  $^{\circ}C^{-1}$

**রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ এবং পৃষ্ঠ সম্প্রসারণের সহগের মধ্যে সম্পর্ক:**

দৈর্ঘ্য ‘ $l_0$ ’, প্রস্থ ‘ $b_0$ ’ এবং পাতার ক্ষেত্র  $A_0$  তাপমাত্রা  $t_1 = 0^{\circ}C$  বিবেচনা কর। তাপমাত্রা  $t_2 = T^{\circ}C$  এ গরম করার পরে প্লেটের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং এলাকা যথাক্রমে ‘ $l$ ’, ‘ $b$ ’ এবং ‘ $A$ ’

মেটাল প্লেটের মূল এলাকা,  $A_0 = l_0 b_0$

মনে রাখবে যে রৈখিক সম্প্রসারণ সরাসরি মূল দৈর্ঘ্যের ( $l_0$ ) এবং তাপমাত্রার পরিবর্তন ( $T - 0 = T$ ) এর সমানুপাতিক,

$$l - l_0 \propto l_0 T$$

অর্থাৎ, দৈর্ঘ্যে রৈখিক সম্প্রসারণ,  $l - l_0 = \alpha l_0 T$

অতএব,  $I = I_0(1 + \alpha T)$  অথবা। এখানে,  $\alpha$  হল রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ।

একইভাবে, প্রস্থে রৈখিক সম্প্রসারণের জন্য, আমরা পাই,  $b = b_0(1 + \alpha T)$

চূড়ান্ত ক্ষেত্রের অভিব্যক্তিতে এই মানগুলির প্রতিস্থাপন, আমরা পাই,

$$A = lb = [l_0(1 + \alpha T)] \times [b_0(1 + \alpha T)] = l_0 b_0 (1 + 2\alpha T + \alpha^2 T^2)$$

এখন, যেহেতু  $\alpha$  কঠিন পদার্থের জন্য খুবই ছোট, তাই  $\alpha^2 T^2$  উপেক্ষিত হতে পারে। অতএব, উপরের অভিব্যক্তি এভাবে লেখা যেতে পারে,

$$A = l_0 b_0 (1 + 2\alpha T) = A_0 (1 + 2\alpha T) \quad (\because A_0 = l_0 b_0)$$

অতএব,  $A = A_0 (1 + 2\beta T)$

$$\text{কিন্তু } \beta = 2\alpha$$

এটি আমাদের রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ এবং পৃষ্ঠ সম্প্রসারণের সহগের মধ্যে সম্পর্ক দেয়।

রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ এবং ঘনক সম্প্রসারণের সহগের মধ্যে সম্পর্ক:

দৈর্ঘ্য ‘ $l_0$ ’, প্রস্থ ‘ $b_0$ ’, উচ্চতা ‘ $h_0$ ’ এবং আয়তন  $V_0$  তাপমাত্রা  $t_1 = 0^\circ C$  এর একটি পাতলা আয়তক্ষেত্রাকার ঘনক বিবেচনা কর।

তাপমাত্রা  $t_2 = T^\circ C$  এ গরম করার পরে প্লেটের দৈর্ঘ্য, প্রস্থের উচ্চতা এবং আয়তন যথাক্রমে ‘ $l$ ’, ‘ $b$ ’, ‘ $h$ ’ এবং ‘ $V$ ’

অতএব,  $V_0 = l_0 b_0 h_0$

দৈর্ঘ্যে রৈখিক সম্প্রসারণ,  $l = l_0 (1 + \alpha T)$

প্রস্থে রৈখিক সম্প্রসারণ,  $b = b_0 (1 + \alpha T)$

এভাবে লেখা যেতে পারে,  $h = h_0 (1 + \alpha T)$

চূড়ান্ত আয়তনের অভিব্যক্তিতে এই মানগুলি বসিয়ে আমরা পাই,

$$\begin{aligned} V &= l b h = [l_0(1 + \alpha T)] \times [b_0(1 + \alpha T)] \times [h_0(1 + \alpha T)] \\ &= l_0 b_0 h_0 (1 + 3\alpha T + 3\alpha^2 T^2 + \alpha^3 T^3) \end{aligned}$$

এখন, যেহেতু  $\alpha$  কঠিন পদার্থের জন্য খুবই ছোট, তাই  $\alpha^2 T^2$  এবং  $\alpha^3 T^3$  উপেক্ষিত হতে পারে। অতএব, উপরের অভিব্যক্তি এভাবে লেখা যেতে পারে,

$$V = l_0 b_0 h_0 (1 + 3\alpha T + 3\alpha^2 T^2 + \alpha^3 T^3) = V_0 (1 + 3\alpha T)$$

$$(V_0 = l_0 b_0 h_0)$$

কিন্তু কিউবিক সম্প্রসারণ হিসাবে প্রকাশ করা যেতে পারে,

$$V = V_0 (1 + \gamma T) \quad (\because V_0 = l_0 b_0 h_0)$$

অতএব,  $\gamma = 3\alpha$

এটি আমাদের রৈখিক সম্প্রসারণের সহগ এবং ঘনক সম্প্রসারণের সহগের মধ্যে সম্পর্ক দেয়।

পৃষ্ঠ সম্প্রসারণের সহগ এবং ঘনক সম্প্রসারণের সহগের মধ্যে সম্পর্ক:

এখন, যেহেতু আমাদের আছে,

$$\beta = 2\alpha \therefore \alpha = \frac{\beta}{2}$$

$$\gamma = 3\alpha \therefore \alpha = \frac{\gamma}{3}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$$

$$6\alpha = 3\beta = 2\gamma$$

### 6.2.3 তাপ পরিবাহিতা সহগ

তাপীয় পরিবাহিতা একটি পদার্থের ধর্ম যা তাপ সঞ্চালনের জন্য একটি পদার্থের ক্ষমতা পরিমাপ করে। এটি ‘K’ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। তাপ পরিবাহিতার বিপরীত তাপ প্রতিরোধক।

একটি কঠিন পদার্থের কথা বিবেচনা কর যার ক্রস-সেকশনের ক্ষেত্রে দুটি ভিন্ন তাপমাত্রার মধ্যে রাখা হয়েছে। তাপপ্রবাহের ২ য নিয়ম অনুযায়ী উচ্চ তাপমাত্রা থেকে নিম্ন তাপমাত্রায় তাপ প্রবাহিত হয়। তাপ প্রবাহের ইতিবাচক দিক অনুমান করে, তাপ প্রবাহ ‘q’ যা প্রতি ইউনিট সময় প্রতি ইউনিট এলাকায় তাপ শক্তি হিসাবে লেখা যেতে পারে,  $q = Q / (A \cdot t)$

তাপ প্রবাহ ‘q’ সরাসরি তাপমাত্রার পার্থক্য এর সমানুপাতিক এবং দূরত্ব ‘d’ এর বিপরীত আনুপাতিক।

$$\text{অর্থাৎ } q \propto (\theta_1 - \theta_2), \text{ এবং } q \propto 1/d$$

$$\text{অতএব, } q \propto \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{d} \text{ বা, } q = K \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{d} \text{ যেখানে } K = \text{তাপীয় পরিবাহিতা সহগ।}$$

$$\text{আমরা তাপ শক্তির আকারে উপরের অভিব্যক্তিটি পুনরায় লিখতে পারি } q = \frac{Q}{A \cdot t} = K \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{d}$$

$$\text{অতএব, } Q = K \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{d}$$

$$\text{অতএব, তাপ পরিবাহিতা সহগ, } K = \frac{Q \cdot d}{A(\theta_1 - \theta_2)t} \mid \text{তাপ পরিবাহিতার এসআই ইউনিট } WK^{-1}m^{-1}$$

$$\text{এখন, যদি } A = 1 m^2, t = 1 sec, \text{ তাপমাত্রার গ্রেডিয়েন্ট} = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{d} = 1 m^{-1}K, \text{ তাহলে } K = Q.$$

এটি আমাদের তাপ পরিবাহিতার সহগের সংজ্ঞা দেয়।

### 6.2.4 প্রকোশল অ্যাপ্লিকেশন

উচ্চ তাপ পরিবাহিতা সহ উপকরণগুলি ভাল তাপ পরিবাহী এবং তারা কার্যকরভাবে তাপ স্থানান্তর করে। এগুলি ইলেকট্রনিক্স এবং যন্ত্রপাতিগুলিতে হিট সিঙ্ক হিসাবে ব্যবহার করা যেতে পারে। Al, Cu, Ag, Au, Be এবং গ্রাফাইট, অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রাইড, সিলিকন কার্বাইড ইত্যাদি ধাতুগুলি ভাল তাপ পরিবাহী।

রূপা একটি দক্ষ তাপ পরিবাহী, এর পেস্টটি ফোটোভোলটাইক কোষ উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় এবং তামা উচ্চ তাপ পরিবাহিতার কারণে পাত্র, গরম জলের পাইপ এবং ইলেকট্রনিক তাপ তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। অ্যালুমিনিয়াম ফয়েল খাবার গরম রাখতে ব্যবহৃত হয় এবং রাখার প্যান তৈরিতেও ব্যবহৃত হয়। কার্যকরভাবে তাপ সঞ্চালন করার ক্ষমতা গাড়ির ইঞ্জিন উৎপাদনে এবং গাড়ির রেডিয়েটরে লোহাকে খুব উপযোগী করে তোলে। কম তাপ পরিবাহিতা সহ উপকরণগুলি সহজে তাপ স্থানান্তর করে না। এগুলি তাপ নিরোধক বা তাপ প্রতিরোধক হিসাবে ব্যবহার করা যেতে পারে, যেমন, রাবার, ফেনা, প্লাস্টিক, কাচ, কোয়ার্টজ ইত্যাদি তাপের দুর্বল পরিবাহক। তাপীয় অন্তরকণ্ডি অবাঙ্গিত অতিরিক্ত তাপের বিরুদ্ধে সুরক্ষার জন্য ব্যবহৃত হয়।

#### প্রয়োগ

তাপ বিস্তার এবং সংকোচনের ধারণাটি পারদ থার্মোমিটার এবং বাইমেটালিক থার্মোমিটারে ব্যবহার করা হয়, রিভেট ব্যবহার করে সিলের প্লেটে যোগ দিতে, গাড়ির কাঠের চাকায় লোহার রিম গুলি চালানোর এবং ঠিক করার জন্য, তাপপ্রবাহের কারণে, ইঞ্জিন কুল্যান্টে, উপচে পড়া এড়ানোর জন্য, তাপ বিস্তারের কারণে নষ্ট হয়ে যাওয়ার কথা বিবেচনা করে পাওয়ারলাইন স্থাপন করা

এবং রেলগাইন স্থাপন করা বা ছোট ফাঁক বা সম্প্রসারণ জোড় দিয়ে সেতু নির্মাণের জন্য। ধীমে টায়ার স্ফীত করার সময় গ্যাস বা বায়ুর তাপীয় সম্প্রসারণ বিবেচনা করা হয়।

### কেস স্টাডি

জল 4 ডিপি সেগিটগ্রেডের নিচে ঠাণ্ডা হয়ে গেলে অস্বাভাবিক তাপ বিস্তার নামে অস্বাভাবিক ধর্ম দেখায়, যতক্ষণ না এটি  $0^{\circ}$  সেলসিয়াসে পৌঁছায়। যদি এটি আরও ঠাণ্ডা করা হয়, কঠিন পর্যায়ে পরিবর্তনের সময় এর আয়তন হঠাত  $20^{\circ} \text{C}$  এ বরফ  $0^{\circ} \text{C}$  এর নিচে যখন বরফ ঠাণ্ডা হয়, তখন তাপ সংকেচনের কারণে এর আয়তন সলিডের মত সংকুচিত হয়। জলের এই অস্বাভাবিক তাপীয় সম্প্রসারণের কারণে, অত্যন্ত ঠাণ্ডা দিনে আর্কিটিক মহাসাগরে সামুদ্রিক জীবন সুরক্ষিত থাকে।

### অনুসন্ধান এবং কৌতুহল তৈরি কর

কিভাবে ধাতুগুলির বৈদ্যুতিক পরিবাহিতা এবং তাপ পরিবাহিতা একে অপরের সাথে সম্পর্কিত?

### সমাধানকৃত সমস্যা

**P-1:** ধাতু, P এবং Q- এর আকার একই। P ধাতুর তাপ পরিবাহিতা  $2k$  এবং Q ধাতুর তাপ পরিবাহিতা  $k$ । উভয় ধাতুর একসাথে যোগদান শেষে বিভিন্ন তাপমাত্রা রয়েছে,  $T_1(P) = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2(Q) = 20^{\circ}\text{C}$ ; উভয় ধাতুর ইন্টারফেসে তাপমাত্রা কত?

### সমাধান:

যেহেতু উভয় ধাতুর আকার একই, তাই ইন্টারফেস থেকে বিচ্ছেদ দূরত্ব 'd' এবং ক্রস-সেকশন 'A' এর ক্ষেত্র P এবং Q উভয়ের জন্যই একই।

এখানে,  $KP = 2k$  এবং  $KQ = k$ ;

$$T_1(P) = 200^{\circ}\text{C}, T_2(Q) = 20^{\circ}\text{C}$$

ধাতু P এবং Q- এ সঞ্চালনের মাধ্যমে তাপ স্থানান্তরের হার,

$$\left(\frac{Q}{t}\right)_P = \frac{K(T_1 - T)A}{d} = \frac{2k(200 - T)A}{d}$$

$$\left(\frac{Q}{t}\right)_Q = \frac{K(T - T_2)A}{d} = \frac{k(T - 20)A}{d}$$

$$\text{ইন্টারফেস- এ: } \left(\frac{Q}{t}\right)_P = \left(\frac{Q}{t}\right)_Q$$

$$\therefore \frac{2k(200 - T)A}{d} = \frac{k(T - 20)A}{d}$$

$$2k(200 - T) = k(T - 20)$$

$$400 - 2T = T - 20$$

$$420 = 3T$$

$$T = 140^{\circ}\text{C}$$

## সারসংক্ষেপ

- তাপ হল তাপশক্তি এবং এটি কাজ করার ক্ষমতা, তাপমাত্রা তাপের তীব্রতার একটি পরিমাপ।
- নির্দিষ্ট তাপ কিলোগ্রাম, গ্রাম বা পাউন্ডে একটি পদার্থের একক ভরের জন্য গণনা করা হয় যেখানে মোলার তাপ ক্ষমতা একটি পদার্থের একক মোলের জন্য গণনা করা হয়।
- কঠিন পদার্থ, তরল পদার্থ এবং গ্যাসগুলি যখন উভপ্রভৃতি হয় তখন সব প্রসারিত হয় এবং ঠান্ডা হলে এগুলি সব সংকুচিত হয়। সম্প্রসারণ বা সংকোচন ঘটে গরম বা শীতলকরণ সময় তাদের অণুর চলাচল বৃদ্ধি বা হ্রাসের কারণে।
- তাপ পরিবাহিতা তাপ সঞ্চালনের জন্য একটি উপাদানের ধর্ম। কিছু উপকরণ ধাতুর মতো ভাল তাপ পরিবাহী এবং কিছু তাপের দুর্বল পরিবাহী বা রাখারের মতো তাপ নিরোধক।

## অনুশীলন

### (A) বিষয়গত প্রশ্ন

- Q.1 তাপ এবং তাপমাত্রার মধ্যে পার্থক্য কি? [LOD1]
- Q.2 এসিটোনের স্ফুটনাক্ষ  $56.2^{\circ}\text{C}$  এবং হিমাক্ষ হল  $-94.8^{\circ}\text{C}$ ; এই মানগুলিকে ফারেনহাইট, কেলভিন এবং র্যাক্ষাইন স্কেলে রূপান্তর কর। [LOD2]
- Q.3 তরল ধাতুতে তাপ স্থানান্তরের পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর। [LOD3]
- Q.4 উত্তম ইট হল যাদের তাপীয় পরিবাহিতা কম থাকে যাতে গ্রীষ্মে ঘর শীতল এবং শীতকালে উষ্ণ থাকে। লাল ইটগুলির তাপ পরিবাহিতা  $= 0.6 \text{ WK}^{-1} \text{ m}^{-1}$ । যদি এই ধরনের ইটের এক প্রান্তের তাপমাত্রা  $45^{\circ}\text{C}$  এবং অন্য প্রান্তে  $26^{\circ}\text{C}$  হয় এবং দুই প্রান্তের মধ্যে বিচ্ছেদ দূরত্ব  $10$  সেমি হয় তবে ইটের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় তাপ প্রবাহের সময় হার কত? [LOD2]
- Q.5 তাপ পরিবাহী এবং তাপ নিরোধকের মধ্যে পার্থক্য কর। [LOD2]

### (B) বস্তুনিষ্ঠ প্রশ্ন

- Q.1 তাপ শক্তি পরিমাপ করা হয় \_\_\_\_\_ ব্যবহার করে। (থার্মোমিটার, পাইরোমিটার, ক্যালরিমিটার) [LOD1]
- Q.2  $C_p/C_v = \dots$  ( $\alpha, \beta, \gamma, R$ ) [LOD1]
- Q.3 তাপ শক্তির SI একক \_\_\_\_\_। (ওয়াট, জুলে, নিউটন, ম্যাক্সওয়েল) [LOD1]
- Q.4 তাপ সম্প্রসারণের কারণে একটি গ্যাসের আয়তন শক্তির চেয়ে বেশি প্রভাবিত হয়। [LOD2]

#### [A] সত্য [B] মিথ্যা

- Q.5 গরম জল বহনকারী পাইপগুলি সাধারণত \_\_\_\_\_ জলের কারণে সোজা হয় না। [LOD2]
- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| [a] তাপীয় সংকোচন     | [b] অস্থাভাবিক সম্প্রসারণ |
| [c] তাপীয় সম্প্রসারণ | [d] তাপ পরিবাহিতা         |

### (A) বিষয়গত প্রশ্নের উত্তর:

- A2. এসিটোনের স্ফুটনাক্ষ:  $56.2^{\circ}\text{C} = 133.16^{\circ}\text{F} = 329.3 \text{ K} = 592.74^{\circ}\text{R}$

এসিটোনের হিমাক্ষ:  $-94.8^{\circ}\text{C} = -138.64^{\circ}\text{F} = 178.3\text{ K} = 320.94^{\circ}\text{R}$

[ইঙ্গিত: তাপমাত্রা ক্ষেত্র রূপান্তরের জন্য সূত্র ব্যবহার কর]

- A4.  $1752.6 \text{ Watt}\cdot\text{m}^{-2}$  [ইঙ্গিত: তাপ প্রবাহের হারের জন্য এই সূত্রটি ব্যবহার কর:  $\frac{Q}{At} = \frac{K(T_1-T_2)}{d}$  এবং ইউনিটগুলির উপযুক্ত রূপান্তর ব্যবহার করুন।]

#### (B) উদ্দেশ্যমূলক প্রশ্নের উত্তর:

- A1. ক্যালরিমিটার  
 A2.  $\gamma$   
 A3. জুল  
 A4. [A] সতা  
 A5. [C] তাপীয় সম্প্রসারণ

### ব্যবহারিক

#### 1. একটি রডের উপাদানের রৈখিক সম্প্রসারণের গুণাঙ্ক খুঁজে বের করা

##### ব্যবহারিক গুরুত্ব

বস্তু বিশেষত, ধাতু প্রসারিত হয় যখন তাদের তাপমাত্রা বাড়ানো হয় কারণ তাদের পরমাণুর মধ্যে গড় বিভাজন বৃদ্ধি পায়। একটি উপাদানের দৈর্ঘ্যের সম্প্রসারণ রৈখিক তাপ সম্প্রসারণ সহগ ব্যবহার করে নির্ধারিত হয়। ধাতুগুলির জন্য, তাপ সম্প্রসারণের সহগ  $10^{-5} \text{ per } ^{\circ}\text{C}$ ; এটি মাইক্রোমিটার স্ক্রু রৈখিক তাপ সম্প্রসারণ যন্ত্র ব্যবহার করে নির্ধারণ করা যেতে পারে যার জন্য উপাদান রডের আকারে প্রয়োজন।

##### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

সূত্র: লিনিয়ার তাপ বিস্তার সহগ,  $\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dT}$

$$\text{or } \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{\Delta L}{L_0 (T_f - T_{\text{Room}})} ({}^{\circ}\text{C})^{-1}$$

যেখানে,  $L_0$  = রডের মূল দৈর্ঘ্য;

$dL$  = রডের দৈর্ঘ্যের সম্প্রসারণ

$dT$  = তাপমাত্রার পার্থক্য;  $?dT$  বা

##### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

ব্যবহারিক ফলাফল এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত:

**PRO1:** থার্মোমিটার ব্যবহার করে তাপমাত্রার সঠিক পরীক্ষা-নিরীক্ষা এবং সঠিক পরিমাপ স্থাপনে দক্ষতা অর্জন

**PRO2:** কঠিন পদার্থের তাপ সম্প্রসারণ বর্ণনা এবং বিভিন্ন ধাতুর রডের রৈখিক তাপ বিস্তার নির্ণয়

**PRO3:** একটি গ্রচেপে বা স্বতন্ত্রভাবে যথাযথ সর্তকর্তা সহ প্রয়োজনীয় সরঞ্জামগুলি পরিচালনা এবং নিয়ন্ত্রণ

### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অঙ্কন/ স্কেচ/ সার্কিট ডায়াগ্রাম/ কাজের পরিষ্ঠিতি)



বাম দিকে চিত্র: রৈখিক সম্প্রসারণ যন্ত্র। এখানে, রডগুলি সিলভার জ্যাকেটের ভিতরে রাখা হয়েছে এবং পুরো সমাবেশটি কালো ভিত্তিতে স্থাপন করা হয়েছে। (ছবির ক্রেডিট: আইআইএসইআর পুনে, ([http://www.iiserpune.ac.in/~bhasbapat/phy221\\_files/lab1.pdf](http://www.iiserpune.ac.in/~bhasbapat/phy221_files/lab1.pdf)) (যেমন ছিল 31<sup>st</sup> July 2021)

চিত্র 6.6: ধাতব রডের রৈখিক তাপ বিস্তার নির্ধারণের জন্য পরীক্ষামূলক ব্যবস্থা

### সম্পদ আবশ্যিক

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ প্রয়োজন গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন/ টুলস/ ইলেক্ট্রুমেট্রের বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন প্রয়োজন ছাড়ি দ্বারা প্রৱণ করা হবে)		মন্তব্য (যদি থাকে)
			স্থাপন করা	বিস্তারিত	
1	রৈখিক-সম্প্রসারণ যন্ত্র	1			
2	বাষ্প জেনারেটর বা বয়লার 2 স্টপার সহ (একটি গর্ত সহ, এবং একটি ছাড়া)	1			
3	চূর্ণকারী যন্ত্র (300 ml বা 500 ml)	1			
4	থার্মোমিটার (0-100 °C)	1			
5	গরম প্লেট	1			
6	রাবার পাইপ	1			
7	পিতল বা তামা বা লোহা এবং অ্যালুমিনিয়ামের ধাতব রড	1 প্রতিটি			
8	বিদ্যুৎ সরবরাহ (Power supply)				

### সতর্কতা

- বাষ্প জেনারেটর বা বয়লার, রাবার টিউব, গরম প্লেট এবং রৈখিক সম্প্রসারণ যন্ত্র পরিচালনা করার সময় অতিরিক্ত সতর্কতা অবলম্বন কর। বাষ্প তার উচ্চ তাপ ধারণক্ষমতার কারণে বিপজ্জনক হতে পারে।
- বাষ্প নির্গমনপথ থেকে তোমার মুখ দূরে রাখুন

3. স্টপার এবং ক্যাপগুলি আলগাভাবে ঢোকানো উচিত যাতে চাপ তৈরি না হয় এবং পরবর্তী বাষ্প বিস্ফোরণ বা উচ্চ-চাপের সিটম জেট নির্গত হওয়া রোধ করা যায়।
4. ঘরের তাপমাত্রা এবং প্রতিটি ধাতব রডের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করার জন্য তাদের গরম করার আগে পরিমাপ এবং রেকর্ড করতে ভুলবে না।

#### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

1. বাষ্প উত্পাদনযন্ত্র বা বয়লার তার দুই-তৃতীয়াংশ স্তর পর্যন্ত জল দিয়ে পূরণ কর এবং তারপর এটি চালু কর।
2. জ্যাকেটের মধ্যে একটি রড ঢোকান এবং বেসে রাখুন। মাইক্রোমিটার স্কুল সামঞ্জস্য কর যাতে এটি রডটি স্পর্শ করে এবং রডের অন্য প্রান্তটি নির্দিষ্ট স্কুল স্পর্শ করে। রডের দৈর্ঘ্য পড়তে মাইক্রোমিটার স্কুল গেজ ব্যবহার কর।
3. প্রদত্ত সামগ্রীর জন্য রডের দৈর্ঘ্য এবং কোন রড গরম করার আগে ঘরের তাপমাত্রা লক্ষ্য কর।
4. সিটম জেনারেটর বা বয়লার থেকে লিনিয়ার এক্সপেনশন যন্ত্রের সাথে টিউবিং সংযোগ করুন। টিউবিং রেখিক সম্প্রসারণ যন্ত্র থেকে একটি বীকার পর্যন্ত যন্ত্রের স্তরের নীচে হওয়া উচিত।
5. সম্প্রসারণ যন্ত্রপাতিতে প্রদত্ত খোলার মধ্যে থার্মোমিটার সঠিকভাবে রাখো। স্থির তাপমাত্রা না পাওয়া পর্যন্ত জ্যাকেটের মধ্য দিয়ে বাষ্প প্রবাহিত হতে দাও।
6. তারপর, মাইক্রোমিটার স্কুল চালু কর যতক্ষণ না এটি সঠিকভাবে ফিট হয় এবং রডের দৈর্ঘ্য এবং থার্মোমিটারের পার্থক্য হিসাবে মাইক্রোমিটার স্কুল রিডিং রেকর্ড কর। জল বন্ধ কর এবং জ্যাকেটটি নিষ্কাশন কর। মাইক্রোমিটার স্কুল ফিরিয়ে দাও।
7. বিভিন্ন ধাতু দিয়ে তৈরি রডটি দিয়ে প্রতিস্থাপন কর এবং এই নতুন রডের জন্য 4 থেকে 6 ধাপ পুনরাবৃত্তি কর।
8. যন্ত্রপাতি সংযোগ বিছিন্ন কর, বাষ্প জেনারেটর বা বয়লার এবং বিকার খালি কর এবং কর্মক্ষেত্র পরিষ্কার রাখো যাতে কোনো দুর্ঘটনা না ঘটে।

#### পর্যবেক্ষণ এবং গণনা

##### পর্যবেক্ষণ:

ঘরের তাপমাত্রা ( $T_{\text{Room}}$ ) = \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

রডের উপাদান	রডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য, $L_0$ (m)	রডের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি, $dL$ (m)	প্রাথমিক তাপমাত্রা	চূড়ান্ত তাপমাত্রা	তাপমাত্রার পার্থক্য	% ত্রুটি
অ্যালুমিনিয়াম						
লোহ						

হিসাব:

তত্ত্ব থেকে: (বিভিন্ন উপাদানের প্রতিটি রডের জন্য রেখিক তাপ বিস্তারের জন্য গণনা কর)

ফলাফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা

1. একটি অ্যালুমিনিয়াম রডের রেখিক তাপ বিস্তার সহগ \_\_\_\_\_ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$ .

2. লোহা/পিতল/তামার রডের রৈখিক তাপ সম্প্রসারণ সহগ \_\_\_\_\_ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$ .

3. অ্যালুমিনিয়াম রডের রৈখিক তাপ সম্প্রসারণ সহগের ত্রুটি = \_\_\_\_\_ %

4. লোহার রডের রৈখিক তাপ সম্প্রসারণ সহগের ত্রুটি = \_\_\_\_\_ %

**উপসংহার এবং/অথবা বৈধতা**

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

(উত্তরের জন্য আলাদা পত্র ব্যবহার কর)

1. কিভাবে অ্যালুমিনিয়াম এবং লোহার জন্য রৈখিক সম্প্রসারণ সহগ ব্যাখ্যা করতে পারো?

2. পারদ থার্মোমিটারের নীতি কি?

3. ফলাফলের জন্য ভলিউম সম্প্রসারণের সহগ অনুমান করা কি সম্ভব?

4. তাপ সম্প্রসারণের বাস্তব জীবনের প্রয়োগ বা ব্যবহারের তালিকা কর।

5.  $34.7^{\circ}\text{C}$  সেলসিয়াসে 0.8350 মিটার দৈর্ঘ্যের একটি তামার তারকে চরম ঠাণ্ডা তাপমাত্রায় রাতারাতি বাইরে রেখে দেওয়া হয়। ধরে নিচ্ছ যে রাতের তাপমাত্রা হিমায়িত তাপমাত্রায় পৌঁছেছে, তামার তারের নতুন দৈর্ঘ্য গণনা কর।

### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিক্ষেপ করা বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ কর

বর্জ্যের ধরন		খুঁটিনাটি
বায়োডিগ্রেডেবল বর্জ্য	সবুজ বিন	হিসারিন একটি বায়োডিগ্রেডেবল কেমিক্যাল। এটি বিদ্যমান কম্পোস্টের সাথে মিশিয়ে নিষ্পত্তি করা যেতে পারে।
e- বর্জ্য	কালো বিন	কোনটিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ্য	নীল বিন	কোনটিই নয়
অন্য কিছু		কোনটিই নয়

### পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুন ব্যবহার, হ্রাস এবং পুনর্ব্যবহার

এই ব্যবহারিক জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতিগুলি খুব দীর্ঘ সময়ের জন্য পুনরায় ব্যবহারযোগ্য হয় যদি সেগুলি সাবধানে পরিচালিত হয়।

### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	যত্নের হ্যান্ডলিং	20%	
2	সময় সঠিকভাবে রেকর্ড করা	20%	
3	একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক নির্ণয় করা	20%	
উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স * (40 %)		40%	
5	পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
6	একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক গণনা; থাফ ব্যবহার করে স্প্রিংয়ের % ত্রুটি এবং কার্যকর ভর গণনা	10%	
7	ফলাফল এবং উপসংহারের ব্যাখ্যা	10%	
8	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
মোট		100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....;	প্রাপ্ত মার্ক্স	তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট

2. পারদ থার্মোমিটার ব্যবহার করে ঘরের তাপমাত্রা এবং গরম স্নানের জলের তাপমাত্রা পরিমাপ করা এবং এটিকে বিভিন্ন ক্ষেত্রে রূপান্তর করা

#### ব্যবহারিক গুরুত্ব

বিজ্ঞান ও শিল্পে, বিশেষ করে বিভিন্ন শিল্প প্রক্রিয়ায়, অভ্যন্তরীণ জলন ইঞ্জিনে এবং অসংখ্য ভৌত ঘটনার ক্ষেত্রে নির্ভুলতার সাথে তাপমাত্রা পরিমাপ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। বিজ্ঞান তাপমাত্রার কেলভিন স্কেল নিয়ে কাজ করে, যখন দৈনন্দিন জীবনে, তাপমাত্রার

ডিগ্রি সেলসিয়াস স্কেল ব্যবহার করা হয়। একটি মানুষের শরীরের জন্য, তাপমাত্রার ফারেনহাইট স্কেল সাধারণত ব্যবহৃত হয়। অতএব, ইউনিট রূপান্তর কারণগুলি জানা অপরিহার্য।

### প্রাসঙ্গিক তত্ত্ব

তত্ত্বের জন্য, এই অধ্যায়ে আগে দেখ

### ব্যবহারিক ফলাফল (PRO)

ব্যবহারিক ফলাফল এই কোর্সের পাঠ্যক্রম থেকে প্রাপ্ত:

**PRO1:** বিভিন্ন তাপমাত্রায় বিভিন্ন বস্তুর তাপমাত্রার সঠিক পরিমাপের দক্ষতা অর্জন এবং নির্ভুলতার সাথে বিভিন্ন তাপমাত্রা স্কেলে রূপান্তর

**PRO2:** ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য থার্মোমিটার ব্যবহারের বর্ণনা এবং তাপমাত্রা পরিমাপের বিভিন্ন স্কেল।

**PRO3:** পারদের চরম বিষাক্ততা বিবেচনা করে পারদ থার্মোমিটারটি যত্ন সহকারে এবং যথাযথ সতর্কতার সাথে পরিচালনা

### ব্যবহারিক ব্যবস্থা (অঙ্কন/স্কেচ/সার্কিট ডায়াগ্রাম/কাজের পরিস্থিতি)

চিত্র তাপমাত্রা রূপান্তরের জন্য এই অধ্যায়ে আগে দেখ

### সম্পদ আবশ্যিক

ক্রমিক সংখ্যা	প্রস্তাবিত সম্পদ প্রয়োজন গুরুত্বপূর্ণ স্পেসিফিকেশন সহ মেশিন/ টুল/ যন্ত্র	পরিমাণ	প্রকৃত সম্পদের জন্য মেশিন/ টুলস/ ইস্ট্রুমেন্টের বিস্তৃত স্পেসিফিকেশন প্রয়োজন ছাড়ি দ্বারা পূরণ করা হবে)		মন্তব্য (যদি থাকে)
			স্থাপন করা	বিস্তারিত	
1	একটি গ্রেডযুক্ত থার্মোমিটার ( $0 - 100^{\circ}\text{C}$ )	1			
2	জল	500ml			
3	রেডুর তেল	1			
4	প্লাস বিকার বাসিন্দার পাত্র	1			

### সতর্কতা

- গরম জল বা ক্যাস্টের-অয়েল নিয়ে কাজ করার সময় যথাযথ যত্ন নিতে হবে।
- থার্মোমিটারে পারদ থাকে যা অত্যন্ত বিষাক্ত, তাই এটি অবশ্যই যত্ন সহকারে পরিচালনা করতে হবে।
- তরলের মধ্যে রাখার আগে বাল্ব স্পর্শ করা উচিত নয়। ওপর থেকে থার্মোমিটার ধরে রাখো।

### প্রস্তাবিত পদ্ধতি

- ঘরের তাপমাত্রা মাপার আগে আন্তে আন্তে থার্মোমিটার ঝাঁকাও।
- একটি বাতাস চলাচলকারী এবং প্রশস্ত রুমে উপরে থেকে থার্মোমিটারটি ঝুলিয়ে রাখো বা ধরে রাখো এবং গ্রেডযুক্ত থার্মোমিটারে পারদ স্তরের পাঠ লক্ষ্য কর।
- এখন, একটি সমতল এবং শক্ত পৃষ্ঠে একটি বিকার বা পাত্র রাখো।

4. এতে গরম জল ঢালো এবং পাত্রে একটি থার্মোমিটার রাখো যাতে পারদ বাল্ব জলের সরাসরি সংস্পর্শে আসে। থার্মোমিটারটি এক মিনিটের জন্য এই অবস্থায় থাকতে দাও এবং তাপমাত্রা পরিমাপ কর।
5. একইভাবে, উষও থেকে গরম ক্যাস্টর-তেলের জন্য পরীক্ষাটি পুনরাবৃত্তি কর।

**পর্যবেক্ষণ এবং গণনা**

**পর্যবেক্ষণ:**

1. পারদ থার্মোমিটারের ব্যাপ্তি = \_\_\_\_\_ থেকে \_\_\_\_\_ °C
2. পারদ থার্মোমিটারের সর্বনিম্ন গণনা = \_\_\_\_\_ °C
3. বছরের যে মাসে পরীক্ষা করা হয় = \_\_\_\_\_

ক্রমিক সংখ্যা	বস্তু / স্থান যার তাপমাত্রা মাপা হবে	তাপমাত্রা, T (°C)	তাপমাত্রা, T (°F)	তাপমাত্রা, T (K)	তাপমাত্রা, T (°R)
1	পদার্থবিজ্ঞান ল্যাব				
2	শ্রেণীকক্ষ				
3	500 ml জল (গরম থেকে অধিক গরম)				
4	500 ml ক্যাস্টর-তেল (গরম থেকে অধিক গরম)				

**হিসাব:**

সেলসিয়াস স্কেল থেকে ফারেনহাইট স্কেল:  $^{\circ}\text{F} = 95^{\circ}\text{C} + 32$

সেলসিয়াস স্কেল থেকে কেলভিন স্কেল:  $\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$

কেলভিন স্কেল থেকে র্যাঙ্কাইন স্কেল:  $^{\circ}\text{R} = 95\text{ K}$

**ফলাফল এবং/অথবা ব্যাখ্যা**

নির্দিষ্ট মাসে ঘরের তাপমাত্রা \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ °C = \_\_\_\_\_ °F = \_\_\_\_\_ K = \_\_\_\_\_ °R

উষও বা গরম জলের তাপমাত্রা = \_\_\_\_\_ °C = \_\_\_\_\_ °F = \_\_\_\_\_ K = \_\_\_\_\_ °R

উষও বা গরম ক্যাস্টর-তেলের তাপমাত্রা = \_\_\_\_\_ °C = \_\_\_\_\_ °F = \_\_\_\_\_ K = \_\_\_\_\_ °R

**উপসংহার এবং/অথবা বৈধতা**

(ছাত্র দ্বারা পূরণ করা হবে)

#### ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন

(উত্তরের জন্য আলাদা পত্র ব্যবহার কর)

1. কেলভিন এবং ফারেনহাইট স্কেলে কোন তাপমাত্রায় জল ফুটতে পারে?

2. ট্রিপল পয়েন্ট কি?
3.  $H_2O$  এর একটি ট্রিপল পয়েন্টের মানকে ফারেনহাইট স্কেলে রূপান্তর কর।
4. তাপমাত্রা পরিমাপ করার আগে কেন পারদের বাল্ব স্পর্শ করা উচিত নয়?
5. একটি মানুষের শরীরের তাপমাত্রা কি সব বয়সের জন্য একই থাকে? কেন?

#### বর্জ্য অপসারণ

এই পরীক্ষায় নিচিপ্ত হওয়া বর্জ্য পদার্থগুলিকে নিম্নোক্ত বিন্যাসে শ্রেণিবদ্ধ করুন :

বর্জ্যের ধরন		বিস্তারিত
বায়োডিগ্রেডেবল বর্জ্য	সবুজ বিন	মেয়াদোন্তীর্ণ ক্যাস্টর-তেলটি আবর্জনায় ফেলে দেওয়ার বা ড্রেনে ফ্লাশ করার পরিবর্তে তেল পুনর্ব্যবহার কেন্দ্রের কাছে পাঠিয়ে সঠিকভাবে নিষ্পত্তি করা উচিত।
e-বর্জ্য	কালো বিন	কেন্টিই নয়
প্লাস্টিক এবং ধাতব বর্জ্য	নীল বিন	বিপজ্জনক বর্জ্য অপসারণের জন্য উপযুক্ত নির্দেশিকা খোঁজার এবং অনুসরণ করে নিষ্পত্তি করা উচিত বা এটি পুনর্ব্যবহার কেন্দ্রের কাছে নিয়ে আসা উচিত।
অন্য কেউ		কেন্টিই নয়

পরিবেশ বান্ধব দৃষ্টিভঙ্গি: পুন:ব্যবহার, হ্রাস এবং পুনর্ব্যবহার

ক্যাস্টর-তেল এবং থার্মোমিটার উভয়ই দীর্ঘদাও ধরে পুনরায় ব্যবহারযোগ্য। ক্যাস্টর-তেল সংরক্ষণের জন্য, এটি সূর্যালোক এবং আর্দ্রতা থেকে দূরে রাখো। জল ঠাণ্ডা হওয়ার পরে, কাছের গাছপালাগুলিতে জল ব্যবহার করা যেতে পারে।

#### প্রস্তাবিত মূল্যায়ন প্রকল্প

(শিক্ষক দ্বারা পূরণ করা হবে)

প্রদত্ত পারফরম্যান্স সূচকগুলি প্রক্রিয়া মূল্যায়নের জন্য একটি নির্দেশিকা হিসাবে কাজ করবে।

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত: 60 মার্ক্স * (60 %)		60%	
1	যত্নের হ্যান্ডলিং	20%	
2	সঠিকভাবে তাপমাত্রা রেকর্ড করা	20%	

পারফরম্যান্স সূচক		ওয়েটেজ	মার্কস প্রদান করা হয়েছে
3	নিরাপত্তা ব্যবস্থা অনুসরণ	20%	
	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত: 40 মার্ক্স* (40 %)	40%	
4	পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
5	পরিচ্ছন্নতা এবং সময়মত প্রতিবেদন জমা দেওয়া	10%	
6	ফলাফল এবং ব্যাখ্যা	10%	
7	ব্যবহারিক সম্পর্কিত প্রশ্ন বা viva-voce প্রশ্নের উত্তর	10%	
	মোট	100%	

\* প্রোডাক্ট এবং প্রসেস অ্যাসেমবলেটের জন্য মার্কস এবং পার্সেন্ট ওয়েটেজ শিক্ষক নির্ধারণ করবেন।

ছাত্রের নাম: .....; প্রাপ্ত মার্ক্স			তারিখ সহ শিক্ষকের স্বাক্ষর
প্রক্রিয়া সম্পর্কিত	উৎপাদিত বস্তু সম্পর্কিত	মোট	

### আরো জ্ঞাতব্য

- কেলভিন স্কেল সেলসিয়াস স্কেলের মতো একই আকারের ডিগ্রি (অর্থাৎ, 100 ডিগ্রী) ব্যবহার করে এবং র্যাফিন স্কেল ফারেনহাইট স্কেলের মতো একই আকারের ডিগ্রী (180 ডিগ্রী) ব্যবহার করে।
- বোলোমিটার এমন একটি যন্ত্র যা ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক বিকিরণ এবং তাপ পরিমাপ করে। এটি একটি তাপমাত্রা সংবেদনশীল প্রতিরোধক উপাদান ব্যবহার করে। বোলোমিটার কণা ডিটেক্টর থেকে বিকিরণ এবং তাপ পরিমাপ করে এবং থার্মাল ক্যামেরা, ফিঙ্গারাপ্রিন্ট স্ক্যানারের জন্য ব্যবহৃত হয়; বনের আগুন, গোপন অস্ত্র এবং জ্যোতির্বিজ্ঞানের বিকিরণ সনাক্তকরণ। বোলোমিটারের থার্মাল ইমেজিং, টিএইচজেড কমিউনিকেশন এবং সোলার প্রোবে আশাব্যঙ্গক অ্যাপ্লিকেশন রয়েছে। পাইরোমিটারগুলি বোলোমিটার এবং থার্মিস্টারের অনুরূপ যা থার্মোমিট্রিতে তাদের ব্যবহারের জন্য।

#### ডিজাইন উদ্ভাবনী ব্যবহারিক / প্রকল্প / কার্যক্রম :

- থার্মিস্টরের নীতি, কাজ এবং প্রয়োগ সম্পর্কে একটি চার্ট বা পাওয়ারপয়েন্ট উপস্থাপনা প্রস্তুত কর।
- কঠিন, তরল এবং গ্যাসের তাপ পরিবাহিতা পরিমাপের জন্য বিভিন্ন পদ্ধতির একটি তালিকা তৈরি কর এবং পৃথকভাবে বা একটি গোষ্ঠীতে একটি উপস্থাপনা প্রস্তুত কর।
- গ্রন্তি আলোচনা কর এবং শিল্প অংশ ও বিস্ফোরণের প্রধান কারণ এবং প্রতিরোধের ব্যবস্থাগুলি তালিকাভুক্ত করুন। শিল্প অংশ নিরাপত্তা সম্পর্কে একটি উপস্থাপনা প্রস্তুত কর।

---

## তথ্যসূত্র এবং প্রস্তাবিত রিডিং

---

### রেফারেন্স

1. H. C. Verma, Concepts of Physics Vol. I & II, Bharti Bhawan Ltd. New Delhi, 2017.
2. J. Walker, Principles of Physics, 9<sup>th</sup> Edition, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.
3. M. W. Zemansky and R. H. Dittman, Heat and Thermodynamics, 6<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, New York, 1981.
4. M. C. Potter and C. W. Somerton, Schaum's outlines of Thermodynamics for Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill, 2006.
5. M. E. Browne, Schaum's Outline of Physics For Engineering And Science, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2019.
6. E. Hecht, Schaum's Outline of College Physics, 12<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 2017.
7. Halpern, Schaum's 3,000 Solved Problems In Physics, McGraw-Hill, 2011.
8. PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>
9. OLabs, Developed by Amrita Vishwa Vidyapeetham & CDAC Mumbai and funded by MeitY (Ministry of Electronics & Information Technology, India), <http://www.olabs.edu.in/>
10. Swayam Prabha, INFLIBNET, India, <https://www.swayamprabha.gov.in/index.php/>

### ব্যবহারিক জন্য প্রস্তাবিত শেখার সম্পদ

1. C. L. Arora, B.Sc. Practical Physics, S. Chand Limited, 2001.
2. G. L. Squires, Practical Physics, Cambridge University Press, 2001.
3. Thermal expansion: [http://www.iiserpune.ac.in/~bhasbapat/phy221\\_files/lab1.pdf](http://www.iiserpune.ac.in/~bhasbapat/phy221_files/lab1.pdf) (as on 31<sup>st</sup> July, 2021).
4. <http://mercury.pr.erau.edu/~jesse400/PS195QLab9.pdf> (As on 31<sup>st</sup> July, 2021)
5. Interactive Thermometer (<https://www.mathsisfun.com/measure/thermometer.html>) as on 31<sup>st</sup> July 2021.
6. Java Simulation: [https://javalab.org/en/heat\\_capacity\\_en/](https://javalab.org/en/heat_capacity_en/)
7. Java Simulation: [https://javalab.org/en/bimetal\\_en/](https://javalab.org/en/bimetal_en/)



---

## সংযোজন

---

### সংযোজন-1 গুরুত্বপূর্ণ সূত্র

#### ইউনিট 1: ভৌতিক জগত, ইউনিট এবং পরিমাপ

1. প্রদত্ত ভৌত পরিমাণের মান এক সিস্টেম থেকে অন্য সিস্টেমে রূপান্তরের সূত্র:  $n_1 u_1 = n_2 u_2$   
 $n_1$  = ইউনিটের প্রথম সিস্টেমে সংখ্যাসূচক মান,  $u_1$  = ইউনিটের প্রথম সিস্টেমে ভৌত পরিমাণের একক,  
 $n_2$  = ইউনিটের দ্বিতীয় সিস্টেমে সংখ্যাসূচক মান,  $u_2$  = ইউনিটের দ্বিতীয় সিস্টেমে ভৌত পরিমাণের একক
2. ভাৰ্নিয়ার ক্যালিপার্সের লঘিষ্ঠ ধূঢ়বক (L.C.) নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা দেওয়া হয়েছে:  
লঘিষ্ঠ ধূঢ়বক =  $(প্রধান ক্ষেত্রে সবচেয়ে ছোট বিভাগ)/(ভাৰ্নিয়ার ক্ষেত্রে মোট বিভাগের সংখ্যা)$   
 $= SDMS/TDVS = (1 MSD)/n$
3. মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজের লঘিষ্ঠ ধূঢ়বক  
 $= (\text{একটি স্ক্রু গেজের পিচ})/(\text{বৃত্তাকার ক্ষেত্রে বিভাগের সংখ্যা})$
4. স্পেরোমিটারের লঘিষ্ঠ ধূঢ়বক  
 $= (\text{স্পেরোমিটার স্ক্রুর পিচ})/(\text{বৃত্তাকার ক্ষেত্রে বিভাগের সংখ্যা})$
5. যদি প্রাপ্ত মানগুলি  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  হয়, তাহলে এই মানগুলির গাণিতিক গড় হিসাব:
$$\bar{a} = a_{mean} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
6. পৃথক পরিমাপের ক্রটিগুলি,  $\Delta a_1 = \bar{a} - a_1 ; \Delta a_2 = \bar{a} - a_2 ; \Delta a_3 = \bar{a} - a_3 \dots, \Delta a_n = \bar{a} - a_n$
7. গড় পরম ক্রটি ( $|\overline{\Delta a}|$ ): এটি  $\Delta \bar{a}$  বা  $a_{mean}$   
সূতরাং,  $|\overline{\Delta a}| = \overline{\Delta a}_{mean} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + |\Delta a_3| + \dots + |\Delta a_n|}{n}$
8. আপেক্ষিক ক্রটি ( $\delta a$ ) =  $\frac{|\Delta a|}{\bar{a}} = \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}}$
9. শতকরা ক্রটি,  $\delta a = \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}} \times 100\%$
10. সমষ্টি সংখ্যার ক্রটি ( $Z = X + Y$ ) বা একটি বিয়োগ সংখ্যার ক্রটি ( $Z = X - Y$ ): সমষ্টি বা বিয়োগের জন্য  $Z$ -এর সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ক্রটি,  $\Delta Z = \Delta X + \Delta Y$  দ্বারা দেওয়া হয়।
11. একটি গুণ ( $Z = XY$ ) এবং একটি বিভাগে ( $Z = X/Y$ ) ক্রটি: গুণ বা বিভাজনে সর্বাধিক আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ক্রটি  $\Delta Z/Z = \Delta X/X + \Delta Y/Y$  দ্বারা দেওয়া হয়।
12. ক্ষমতার সাথে একটি পরিমাণে ক্রটি: ধর,  $Z = k \frac{X^n Y^m}{C^q}$  যেখানে,  $k$  = ধূঢ়বক। আপেক্ষিক বা ভগ্নাংশের ক্রটি  $\frac{\Delta Z}{Z} = n \frac{\Delta X}{X} + m \frac{\Delta Y}{Y} + q \frac{\Delta C}{C}$

## ইউনিট 2: বল এবং গতি

1. ভেক্টর  $\vec{A}$  এর একক ভেক্টরকে  $\hat{A}$  হিসাবে চিহ্নিত করা হয় =  $\frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$  = ভেক্টর/ (ভেক্টরের মাত্রা)
2.  $(\vec{a} + \vec{b})$  এর মাত্রা  $|\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \theta}$  যেখানে  $\theta$  হল ভেক্টর  $\vec{a}$  and  $\vec{b}$  এর মধ্যে একটি ছোট কোণ।
3. যদি  $(\vec{a} + \vec{b})$  ভেক্টর  $\alpha$  দিয়ে  $\alpha$  কোণ তৈরি করে, তাহলে,  $\alpha = \frac{b \sin \theta}{a + b \cos \theta}$
4. যদি ভেক্টর  $\vec{A}$ , X- অক্ষের সাথে একটি কোণ  $\alpha$  Y- অক্ষ দিয়ে  $\beta = (90 - \alpha)$  তৈরি করে, তাহলে X- অক্ষ বরাবর আয়তক্ষেত্রাকার উপাদান,  $A_x = A \cos \alpha$  এবং Y- অক্ষ বরাবর উপাদান,  $A_y = A \cos \beta$ , এভাবে ভেক্টর  $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} = (A \cos \alpha) \vec{i} + (A \cos \beta) \vec{j}$
5.  $A_x$  এবং  $A_y$  উপাদানগুলির ভেক্টরের মাত্রা  $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$  এবং  $\tan \alpha = \frac{A_y}{A_x}$
6. ধর,  $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}$ ,  $\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}$   
 $\vec{A} \pm \vec{B} = (A_x \pm B_x) \vec{i} + (A_y \pm B_y) \vec{j} + (A_z \pm B_z) \vec{k}$   
মাত্রা  $|\vec{A} \pm \vec{B}| = \sqrt{(A_x \pm B_x)^2 + (A_y \pm B_y)^2 + (A_z \pm B_z)^2}$
7. দুটি ভেক্টর  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  এর ডট গুণফল  $\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$  যেখানে  $A$  এবং  $B$  এর মধ্যে কোণ  $\theta$   $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$
8. দুটি ভেক্টর  $\vec{A}$  এবং  $\vec{B}$  এর ক্রস গুণফল  $\vec{A} \times \vec{B}$  দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং এটি নিজেও একটি ভেক্টর। এই ভেক্টরের মাত্রা:  $= AB \sin \theta$   
 $\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y) \vec{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \vec{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \vec{k}$
9. বাহ্যিক প্রয়োগ শক্তি,  $\vec{F} = k \frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$ ;  $\vec{F} = m\vec{a}$
10. রকেটের ঘাত = ভর  $\times$  রকেটের ত্বরণ = গ্যাসের বেগ  $\times$  ভর হ্রাসের হার  
 $= \vec{F} = m \frac{(\Delta \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$
11. আবেগ,  $\vec{I} = \vec{F} \Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$
12. তাত্ক্ষণিক কোণিক বেগ,  $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$
13. তাত্ক্ষণিক কোণিক ত্বরণ,  $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$
14. রৈখিক বেগ এবং কোণিক বেগের মধ্যে সম্পর্ক,  $v = r\omega$

15. রৈখিক ত্বরণ এবং কৌণিক ত্বরণের মধ্যে সম্পর্ক,  $a = r\alpha$

16. ধৰ্বক কৌণিক ত্বরণ  $\alpha$  এর সমীকরণ:

$$(1) \omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$(2) \theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$(3) \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

17. কেন্দ্ৰীয় বল,  $F_c = \text{ভৱ} \times \text{কেন্দ্ৰীয় ত্বরণ} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$

18. বাঁকানো রাস্তায় গাড়ির বেগ,  $v = \sqrt{rg \tan \theta}$

#### ইউনিট 3: কাজ, ক্ষমতা এবং শক্তি

1. কাজ ( $W$ ) =  $F \cdot r = F r \cos q$ ?

পরিবর্তনশীল বলের জন্য কাজ,  $W = \int F \cdot dr$ .

2. সীমান্ত ঘৰণ =  $\mu_{\text{limiting}} x$  (স্বাভাবিক বল (বা স্বাভাবিক প্রতিক্ৰিয়া বল) =  $\mu_{\text{limiting}} N$

3. সীমান্ত স্থিতঘৰণ বল,  $f_s = \mu_s N = \mu_s mg$  এবং গতিয় ঘৰণ বল  $f_k = \mu_k N$

4. নতুনে,  $m_s = m_k = \tan q$ ?

5. গতিশক্তি ( $KE$ ) =  $\frac{1}{2} mv^2$  এবং মহাকর্ষীয় স্থিৱ শক্তি  $U = mgh$

6. ক্ষমতা,  $P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cdot dr}{dt} = F \cdot v \left( \because W = F \cdot r \text{ and } \frac{dr}{dt} = v \right)$

#### ইউনিট 4: ঘূৰ্ণমান গতি

1. টক,  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = F \sin \theta$

2. কৌণিক ভৱবেগ,  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = mvr \sin \theta$

3. জড়তা আমৰক,  $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2 = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$

4. টক এবং জড়তাৰ জড়তা আমকেৰ মধ্যে সম্পর্ক,  $\tau_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \alpha = I\alpha$

5. কৌণিক ভৱবেগ এবং জড়তা আমকেৰ মধ্যে সম্পর্ক,  $L_{\text{net}} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \omega = I\omega$

6. চক্ৰগতিৰ ব্যাসাধাৰ,  $K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i^2}{M}} [জড়তা আমৰক, I = M \times K^2]$

7. লম্ব অক্ষেৰ উপপাদ্য,  $I_z = I_x + I_y$

8. সমান্তৰাল অক্ষেৰ উপপাদ্য,  $I_{AB} = I_C + Md^2$

9. যথন টক = 0,  $I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \left[ \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau}_{\text{net}} \right]$

10. রডেৰ M.I. যথন কেন্দ্ৰেৰ মধ্য দিয়ে যায়,  $I = \frac{MI^2}{12}$

11. অক্ষের সাপেক্ষে ডিস্কের M.I. =  $\frac{1}{2} Mr^2$ , ব্যাসের সাপেক্ষে M.I. =  $\frac{1}{4} Mr^2$
12. অক্ষের সাপেক্ষে রিংয়ের M.I. =  $Mr^2$ , ব্যাসের সাপেক্ষে M.I. =  $\frac{1}{2} Mr^2$
13. ব্যাসের সাপেক্ষে নিরেট গোলকের M.I. =  $\frac{2}{5} Mr^2$ , স্পর্শ সাপেক্ষে M.I. =  $\frac{7}{5} Mr^2$
14. ব্যাসের সাপেক্ষে ফাঁপা গোলকের M.I. =  $\frac{2}{5} M \left( \frac{r_2^5 - r_1^5}{r_2^3 - r_1^3} \right)$
15. ব্যাসের সাপেক্ষে গোলাকার খোলকের M.I. =  $\frac{2}{3} Mr^2$

#### ইউনিট 5: বস্তুর বৈশিষ্ট্য

1. ইয়ং গুণাক,  $Y = (\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}) / (\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}) = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{FL}{A\Delta L}$
2. বাক্ষ গুণাক,  $B = (\text{ভলিউমেট্রিক পীড়ন}) / (\text{ভলিউমেট্রিক বিকৃতি}) = \frac{\Delta P}{-\Delta V/V} = \frac{-V(\Delta P)}{\Delta V}$
3. Modulus of rigidity  $\eta = \frac{\text{Shear stress}}{\text{Shear strain}} = \frac{F/A}{x/L} = \frac{FL}{Ax}$
4. চাপ,  $P = \frac{F}{A}$  এবং পরম চাপ  $P = P_{\text{atm}} + \rho gh$ , গেজ চাপ =  $P - P_{\text{atm}} = \rho gh$
5. Surface tension  $S = \frac{F}{1}$  and ascent formula in capillary  $h = \frac{2s \cos \theta}{\gamma \rho g}$
6. Viscous force  $F = \eta A \frac{(v_2 - v_1)}{d}$ , where  $\frac{(v_2 - v_1)}{d}$  is a velocity gradient
7. Relation between kinetic viscosity and dynamic viscosity গতিশীল সান্দতা এবং গতিশীল সান্দতার মধ্যে সম্পর্ক  

$$\mu = \frac{\eta}{\rho}$$
8. Terminal velocity  $V_t = \frac{2 r^2 g}{9 \eta} (\rho - \rho_f)$
9. স্টোকসের নীতি  $F_V = 6\pi\eta rV$
10. তরল পদার্থের সান্দতার তাপমাত্রা নির্ভরতা,  $\eta = \frac{\eta_0}{(1 + \alpha t + \beta t^2)}$
11. গ্যাসে সান্দতার তাপমাত্রা নির্ভরতা,  $\eta = \eta_0 + at + \beta t^2$
12. রেনল্ডস সংখ্যা,  $(R_e) = \frac{\rho V D}{\eta} = \frac{V D}{\mu}$

13. ধারাবাহিকতা সমীকরণ,  $A_1 V_1 = A_2 V_2$ , এবং  $AV = \text{ধ্রুবক} = R = \text{আয়তন প্রবাহ হার}$

14. বার্নোলির সমীকরণ,  $P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V^2$

#### Unit 6: Heat and Thermometry

1. Heat supplied to (or taken out of) a substance একটি পদার্থকে (বা বাইরে নিয়ে যাওয়া) তাপ সরবরাহ কর,  
 $Q = C \Delta T = C (T_2 - T_1)$

2. Heat supplied, সরবরাহ করা তাপ,  $Q = n C_m \Delta T = n C_m (T_2 - T_1)$ , where  $C_m$  = molar heat capacity

3.  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  and  $C_p - C_v = R$

4.  ${}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} {}^{\circ}\text{C} + 32$ ,  $K = 273.15 + {}^{\circ}\text{C}$ ,  ${}^{\circ}\text{R} = {}^{\circ}\text{F} + 459.67$ ,  ${}^{\circ}\text{R} = \frac{9}{5} K$

5.  $\alpha = \frac{dL}{L_0 dT}$ ,  $\beta = \frac{dA}{A_0 dT}$  and  $\gamma = \frac{dV}{V_0 dT}$

6.  $I = I_0 (1 + aT)$ ,  $A = A_0 (1 + bT)$  and  $V = V_0 (1 + gT)$

7.  $\alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$

8. Heat energy  $Q = K \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{d}$ , where temperature gradient =  $\frac{(\theta_1 - \theta_2)}{d}$

#### সংযোজন-II: রূপান্তর ফ্যাক্টর

দৈর্ঘ্য

বল

$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 3.28 \text{ ft} = 39.37 \text{ in.}$   $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne}$

$1 \text{ A}^{\circ} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$   $1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N}$

$1 \text{ light year} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$  ক্ষমতা

$1 \text{ mi} = 1.609 \text{ km}$   $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} = 30.48 \text{ cm}$   $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$

$1 \text{ inch (in.)} = 2.54 \text{ cm}$  চাপ

ভর

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$   $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

$1 \text{ Pound} = 0.454 \text{ kg}$   $1 \text{ atm.} = 1.013 \text{ bar} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

$1 \text{ u} = 1 \text{ amu} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$   $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133.3 \text{ Pa}$

সময়	শক্তি
1 min. = 60 s	1 cal. = 4.186 J
1 h = 60 min.= 3600 s	1 eV = $1.6 \times 10^{-19}$ J
1 day = 86400 s	1 J = 0.239 cal. = $10^7$ ergs
আয়তন	1 kWh = $3.6 \times 10^6$ J
1 litre = $1000 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$	1 Btu = 1055 J = 252 cal.
সান্ততা	কোণ
1 rad = $180^\circ/\pi = 57.3^\circ$	1 Pa-s = 1 Pl = 10 P
$1^\circ = \pi/180^\circ$ rad = $1.745 \times 10^{-2}$ rad	1 St = 1 cm <sup>2</sup> /s
1 revolution = 2π rad = 360°	গতি
ত্বরণ	1 km/h = 0.2778 m/s
1 ft/s <sup>2</sup> = 0.3048 m/s <sup>2</sup> = 30.48 cm/s <sup>2</sup>	1 mi/h = 0.447 m/s

### সংযোজন- III: পরীক্ষাগারে কাজ করার সময় কিছু সাধারণ এবং সুনির্দিষ্ট নির্দেশনা

#### সাধারণ নির্দেশনা

- পরীক্ষাগারে, শাস্তিভাবে এবং সতর্কতার সাথে কাজ কর। মনে রাখবে যে কোন পরীক্ষা করার মূল উদ্দেশ্য হল বিশ্বস্ত পরিমাপ করা।
- সবসময় সঙ্গীর সাথে কাজের সমস্ত ধাপ সমানভাবে ভাগ কর।
- উপস্থিতি উপাস্ত আকারে, থাফ এবং গগনা সঠিকভাবে এবং আন্তরিকভাবে করা উচিত।
- বেকর্ডিং এবং পরীক্ষামূলক তথ্য উপস্থাপন করার সময় সর্বদা সং থাক। রিডিংয়ে হেরফের করা এড়িয়ে চল।
- যদি কোন রিডিং ভুল মনে হয়, তাহলে আবার পরিমাপের পুনরাবৃত্তি করতে হবে এবং ভুলের উৎস খুঁজে বের করতে হবে।
- পরীক্ষাগুলি থেকে সাবধানে প্রাপ্ত ডেটা ব্যবহার করে থাফগুলি সঠিকভাবে প্লট কর।
- যদ্ব এবং ডিভাইস পরিমাপ করার জন্য তাদের সাথে পরিচিত হওয়ার এবং দক্ষতার বিকাশের জন্য সূক্ষ্ম বিষয়গুলিতে মনোনিবেশ করতে হবে।
- সংগৃহীত তাত্ত্বিক জ্ঞান যাচাই করতে আগ্রহের সাথে পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে শেখার মনোভাব বৃদ্ধি কর।
- সময়নির্ণয় সাফল্যের চাবিকাঠি। সর্বদা ল্যাবরেটরি সেশনের জন্য সময় দাও এবং অভিজ্ঞতা সম্পর্কে স্পষ্ট জ্ঞান নিয়ে প্রস্তুত হও।

### নির্দিষ্ট নির্দেশাবলী

1. যখন পরীক্ষার ডেটা সংগ্রহের জন্য ল্যাবরেটরিতে কাজ করা হয়, তখন সমস্ত পরিমাপকৃত ডেটা নোটবুকে সুন্দরভাবে নোট করা গুরুত্বপূর্ণ।
2. নোটবুকে রেকর্ড করা ডেটা ল্যাবরেটরি ছাড়ার আগে প্রশিক্ষকের দ্বারা নিশ্চিত করতে হবে।
3. একই পরীক্ষা -নিরীক্ষা করা সকল শিক্ষার্থীদের রেকর্ডকৃত তথ্যের স্বতন্ত্র অনুলিপি বজায় রাখতে হবে। পরীক্ষা করার জন্য ল্যাবরেটরি নোটবুকটি নিয়মিত পরীক্ষাগারে আনতে হবে।
4. প্রতিটি পরীক্ষা শেষে গ্রাফ সঠিকভাবে আঁকা গুরুত্বপূর্ণ।
5. এর জন্য জানতে হবে কিভাবে গ্রাফ পেপার ব্যবহারে অপ্টিমাইজ করা যায়। মনে রাখবে যে সমস্ত পুনরাবৃত্ত তথ্য একটি একক গ্রাফ শীটে স্থানান্তর করতে হবে।
6. সংশ্লিষ্ট ইউনিটগুলি দেখানো অক্ষগুলির সাথে গ্রাফগুলি সঠিকভাবে লেবেল করা উচিত।
7. ল্যাবরেটরিতে কাজের সময়, সময়কাল পুরোপুরি কাজে লাগানোর কথা এবং কাজের সময় শেষ হওয়ার আগে ল্যাবরেটরি ছেড়ে যাবে না। যদি তাড়াতাড়ি শেষ হয়, গণনা এবং গ্রাফ অঙ্কন শেষ করতে অবশিষ্ট সময় ব্যয় করতে হবে এবং এর জন্য পরীক্ষাগারে ক্যালকুলেটর, পেসিল এবং স্কেল নিয়ে আসতে হবে।

## পরিশিষ্ট

### পরিশিষ্ট-A: অনুশীলনের জন্য প্রস্তাবিত টেমপ্লেট

#### লক্ষ্য

পরীক্ষার উদ্দেশ্য সম্পর্কে সংক্ষেপে ব্যাখ্যা

#### প্রাসঙ্গিকতা

নিজের ভাষায় পরীক্ষার প্রাসঙ্গিকতা সম্পর্কে ব্যাখ্যা

#### প্রয়োজনীয়তা

প্রয়োজনীয় স্পেসিফিকেশন সহ সমস্ত প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি তালিকাভুক্ত

#### পদ্ধতি, পর্যবেক্ষণ এবং অনুমান

পর্যায়ক্রমে পরীক্ষার পদ্ধতি ব্যাখ্যা এবং পর্যবেক্ষণগুলি সঠিকভাবে নোট করতে হবে। পর্যবেক্ষণের ভিত্তিতে নির্দিষ্ট অনুমান করতে হবে। নীচের মত একটি টেবিল ব্যবহার করা যেতে পারে:

পর্যায়ক্রমে পরীক্ষার পদ্ধতি ব্যাখ্যা এবং পর্যবেক্ষণগুলি সঠিকভাবে নোট করতে হবে। পর্যবেক্ষণের ভিত্তিতে নির্দিষ্ট অনুমান করতে হবে। নীচের মত একটি টেবিল ব্যবহার করা যেতে পারে:

ধাপ নং	পদ্ধতি	পর্যবেক্ষণ	অনুমান
1			
2			
3			

#### ভিডিও / অ্যানিমেশন

পদক্ষেপগুলি কল্পনা করতে যদি সম্ভব হয়, কিছু ভিডিও/অ্যানিমেশনের মাধ্যমে যেতে পার।

#### হিসাব

পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় সমস্ত প্রয়োজনীয় ভৌতিক পরিমাণ সঠিকভাবে গণনা কর।

#### ফলাফল এবং আলোচনা (ক্রটি পরিমাপ)

চূড়ান্ত ফলাফল অর্জন কর এবং পরীক্ষা চলাকালীন যে ক্রটিগুলি চালু করা যেতে পারে তার যথাযথ বিবেচনার সাথে এটি সম্পর্কে আলোচনা কর।

#### উপসংহার

অবশ্যে প্রাপ্ত ফলাফলের উপর ভিত্তি করে উপসংহার দাও।

#### পরীক্ষায় বিষয়গুলির বৈধতা

বাস্তব জীবনের পরিস্থিতিতে পরীক্ষার ফলাফল যাচাই করার চেষ্টা কর।

আইসিটির ব্যবহার

উপলব্ধ অনলাইন সম্পদ ব্যবহার করে অধ্যয়ন করতে পার। এগুলির কোনও সময় সীমাবদ্ধতা নেই। যার মধ্যে কয়েকটি নীচে তালিকাভুক্ত (সীমাবদ্ধ নয়) করা হয়েছে:

- <https://swayam.gov.in/>
- <https://nptel.ac.in/>
- <https://www.swayamprabha.gov.in/>

প্রশিক্ষক এবং ল্যাব-টেকনিশিয়ানদের জন্য নোট: কিছু সাধারণ এবং সুনির্দিষ্ট নির্দেশনা পৃথকভাবে তালিকাভুক্ত করা যেতে পারে।

**পরিশিষ্ট-B: ব্যবহারিক / প্রকল্প / গোষ্ঠীর কার্যক্রমের জন্য নির্দেশ্যমূলক মূল্যায়ন নির্দেশিকা**

**প্রক্রিয়া সম্পর্কিত দক্ষতা**

মানদণ্ড এবং স্তর	উন্নয়নশীল	দক্ষ	কুশলী
সরঞ্জাম সেট-আপ/যন্ত্রপাতি পরিচালনা করা			
পর্যবেক্ষণ/তথ্য রেকর্ডিং			
সময় ব্যবস্থাপনা			
দলবদ্ধভাবে সম্পাদিত কর্ম			
স্বতন্ত্র কাজ			
নিরাপত্তা সতর্কতা			
অন্য কিছু			

**পণ্য সম্পর্কিত দক্ষতা :**

- বিষয়বস্তু
- গবেষণা/জরিপ
- সর্বশেষ প্রযুক্তির ব্যবহার
- বিষয়ের উপর প্রস্তুতি
- উপস্থাপনার আত্মবিশ্বাস
- পিপিটি তৈরির দক্ষতা সহ আইসিটি ব্যবহার
- সময় ব্যবস্থাপনা
- গ্রুপ প্রচেষ্টা
- ব্যক্তিগত প্রচেষ্টা

মানদণ্ড এবং স্তর	উন্নয়নশীল	দক্ষ	কুশলী
বিষয়বস্তু			
গবেষণা / জরিপ			
সর্বশেষ প্রযুক্তির ব্যবহার			
বিষয়ের উপর			
প্রস্তুতি			
উপস্থাপনার আল্লাবিশ্বাস			
পিপিটি তৈরির দক্ষতা সহ ইসিটি ব্যবহার			
সময় ব্যবস্থাপনা			
চূপ প্রচেষ্টা			
ব্যক্তিগত প্রচেষ্টা			

**পরিশিষ্ট-C: মূল্যায়নগুলি ব্লুমের স্তরে সংযুক্ত**

ব্লুমের শ্রেণীবিভাগ: নীচে প্রদত্ত এই বইয়ের প্রশ্নগুলির বিকাশের জন্য নিম্নলিখিত দুটি বিভাগে সংযুক্ত করা হয়েছে :

প্রথম শ্রেণীর প্রশ্ন (Category I Questions)	দ্বিতীয় শ্রেণীর প্রশ্ন (Category II Questions) - উচ্চতর অর্ডার চিন্তা করার দক্ষতা - (Higher Order Thinking Skills)
ব্লুমের স্তর 1: মনে রাখা(Remember)	ব্লুমের স্তর 4: বিশ্লেষণ (Analyze)
ব্লুমের স্তর 2: বোঝা (Understand)	ব্লুমের স্তর 5: মূল্যায়ন (Evaluate)
ব্লুমের স্তর 3: প্রয়োগ (Apply)	ব্লুমের স্তর 6: তৈরি (Create)

**পরিশিষ্ট-D: ব্যবহারিক জন্য রেকড্ৰ**

ক্রম নং	পঃ ষ্ঠা নং	পরীক্ষার নাম	তারিখ			নম্বর	স্বাক্ষর
			আসল	পুনরাবৃত্তি	মন্তব্য		
1.		একটি ভার্নিয়ার ক্যালিপার ব্যবহার করে একটি প্রদত্ত সিলিন্ডার, একটি টেস্টচিউব এবং একটি বীকারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ পরিমাপ করা এবং প্রতিটি বস্তুর আয়তন বের করা					

ক্রম নং	পঠা নং	পরীক্ষার নাম	তারিখ			নম্বর	স্বাক্ষর
			আসল	পুনরাবৃত্তি	মন্তব্য		
2.		একটি স্ক্রু গেজ ব্যবহার করে একটি তার এবং একটি কঠিন বলের ব্যাস নির্ধারণ করা এবং একটি পিচবোর্ডের বেধ মাপা					
3.		একটি স্পেরোমিটার ব্যবহার করে একটি উভল এবং একটি অবতল আয়না/পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্থ নির্ধারণ করা					
4.		বলগুলির ত্রিভুজ এবং সমান্তরালোগ্রাম নীতি যাচাই করা					
5.		একটি অনুভূমিক বোর্ড ব্যবহার করে কাঠ এবং কাচের মধ্যে ঘর্ষণ গুণাক খুঁজে বের করা					
6.		হকের নীতি ব্যবহার করে একটি স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবক নির্ধারণ করা					
7.		যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণের নীতি যাচাই করা (PE থেকে KE)।					
8.		একটি ফ্লাইইঞ্জের জড়তা আমক খুঁজে বের করা					
9.		স্টোকের নীতি দ্বারা প্রদত্ত তরল (প্লিসারিন) এর সান্দেহ সন্ধান করা					
10.		একটি রডের উপাদানের রৈখিক সম্প্রসারণের গুণাক খুঁজে বের করা।					
11.		ফটিনের ব্যারোমিটার ব্যবহার করে একটি স্থানে বায়ুম গুলীয় চাপ নির্ণয় করা।					
12		ফটিনের ব্যারোমিটার ব্যবহার করে বায়ুম গুলীয় চাপ নির্ণয় করা।					

---

## আরও শিক্ষার জন্য রেফারেন্স

---

নীচে বইগুলির তালিকা দেওয়া হয়েছে যা আগ্রহী শিক্ষার্থীরা বিষয়টির (তত্ত্ব এবং ব্যবহারিক উভয়) অধিকতর শিক্ষার জন্য ব্যবহার করতে পারে :

1. Serway, Raymond A.; Jewett, John W., Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (9<sup>th</sup> ed.), Cengage Learning, 2017.
2. Tipler, Paul, Physics for Scientists and Engineers: Vol. 1 (4<sup>th</sup> ed.), W. H. Freeman, 1998.
3. Walker, Jearl, The Flying Circus of Physics (2<sup>nd</sup> ed.), Wiley & Sons, 2006.
4. Bloomfield, Louis A., How Things Work: The Physics of Everyday Life (6<sup>th</sup> ed.), Wiley & Sons, 2019.
5. Griffith, W. Thomas; Brosing, Juliet, The physics of everyday phenomena: A conceptual introduction to physics (9<sup>th</sup> ed.), McGraw Hill, 2019.
6. Young, Hugh; Freedman, Roger, University Physics with Modern Physics (14<sup>th</sup> ed.), Pearson, 2017.
7. Lamb, H., Hydrodynamics (6<sup>th</sup> ed.), Cambridge University Press, 1994.
8. Giancoli, Douglas, Physics for scientists and engineers (5<sup>th</sup> ed.), Pearson, 2021
9. Hewitt, Paul G, Conceptual Physics (12<sup>th</sup> ed.), Pearson, 2017
10. Moore, Thomas, Six Ideas that Shaped Physics: Unit – T – Some Processes are Irreversible (3<sup>rd</sup> ed.) McGraw-Hill Education, 2016
11. Halliday, David, Resnick, Robert and Walker, Jearl, Fundamentals of Physics (11<sup>th</sup> ed.) Wiley & Sons, 2018.

**উন্মুক্ত শিক্ষা সম্পদের তালিকা :**

1. <http://www.sciencefairadventure.com/>
2. <http://www.physicsclassroom.com/>
3. <http://www.physics.org/>
4. <http://www.fearofphysics.com/>
5. <http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/>
6. <http://www.science.howstuffworks.com/>

## CO এবং PO প্রাপ্তি টেবিল

কোর্স শেষ হওয়ার পরে এই কোর্সের জন্য কোর্স ফলাফল (COs) এর সাথে প্রোগ্রাম ফলাফল (POs) ম্যাপ করা যেতে পারে এবং ব্যবধান বিশ্লেষণ করার জন্য PO-এর অর্জনের জন্য একটি পারস্পরিক সম্পর্ক তৈরি করা যেতে পারে।।

### CO এবং PO অর্জনের জন্য টেবিল

কোর্সের ফলাফল	প্রোগ্রামের ফলাফল অর্জন (1-দুর্বল সম্পর্ক; 2-মাঝারি সম্পর্ক; 3-শক্তিশালী সম্পর্ক)											
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7	PO-8	PO-9	PO-10	PO-11	PO-12
CO-1												
CO-2												
CO-3												
CO-4												
CO-5												
CO-6												

উপরের টেবিলে ডেটা ভরে দিয়ে ব্যবধান বিশ্লেষণ জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে।

---

## সূচক

---

অনুসন্ধান 13	ঘূর্ণন গতি 90
অভিকেন্দ্র এবং অপকেন্দ্র বলের প্রয়োগ 50	চলন এবং ঘূর্ণন গতি 90
আবেগ এর প্রয়োগ 45	চক্রগতির ব্যাসার্ধ 95
আপেক্ষিক তাপ 151	চাপ 107, 114
একক পদ্ধতি 3	চাপের সংজ্ঞা 101, 114
কাজ 64	জড়তা আমক 95
কাজ - উদাহরণ 65	জলবিদ্যু ধ্বিদ্যা 125
কেন্দ্রমুখী বল এবং অপকেন্দ্র বল 50	জলবাহী সিস্টেমে সান্দেহার প্রয়োগ 124
কৌণিক পরিমাণ 47	টর্ক 89, 91
কৈশিক টিউবে তরলের উর্থানের সূত্র 120	ধারারেখ এবং অশান্ত প্রবাহ 126
কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ 94	ধারাবাহিকতার সমীকরণ 127
ক্ষমতা এবং শক্তি 70	তরল গতি 125
ক্ষমতা 73	তাপ স্থানান্তর 150
ক্ষমতা এবং কাজের সম্পর্ক 74	তাপ এবং তাপমাত্রার ধারণা 150
গতিশক্তি এবং স্থির শক্তি 70	তাপ স্থানান্তরের ধরন 150
গেজ চাপ এবং পরম চাপ 115	তাপমাত্রার স্ফেল 152
গ্যাসের উপর তাপমাত্রার প্রভাব 156	তাপ পরিবাহিতা সহগ 159
গ্যাসের বিস্তার 156	ক্রটি এবং ক্রটির ধরন 10
গুরুত্বপূর্ণ সূত্র 173	ক্রটির প্রচার 11
ঘর্ষণ 66	দুটি ভেষ্টরের গুণ 39
ঘর্ষণ প্রকার 66	থার্মোমিটারের ধরন 153
ঘর্ষণ গুণাঙ্ক 67	নির্দেশি কা 181
ঘর্ষণ এর প্রয়োগ 67	পরিমাপ প্রক্রিয়া 9
ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ 68	পরিমাপ যন্ত্র 9

- পরিমাপ যন্ত্রের লঘিষ্ট ধূঁবক 9  
 পরিমাপের প্রকার 9  
 পরিমাপে ক্রটি 10  
 পরিমাপে ক্রটির অনুমান 11  
 পীড়ন এবং বিকৃতি 108  
 পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্র 112  
 প্রস্তাবিত টেমপ্লেট 180  
 পৃষ্ঠাটান 118  
 পৃষ্ঠাটান ধারণা 118  
 পৃষ্ঠাটানের প্রয়োগ 120  
 পৃষ্ঠাটানকে প্রভাবিত করার কারণ 120  
 প্রাণ্তিক বেগ 121  
 ফটিনের ব্যারোমিটার 116  
 বল 42  
 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ 115  
 বার্নেলিলির উপপাদ্য 128  
 বৃত্তাকার গতি 47  
 বিভিন্ন বস্তুর জড়তা ভ্রামক 95  
 ঝুঁমের স্তরের সংযুক্ত 182  
 ব্যবহারিক জন্য রেকর্ড 182  
 ভৌত মান 2  
 ভৌত পরিমাণ 2  
 ভেক্টর যোগ এবং বিয়োগ 34  
 ভেক্টরের বিশ্লেষণ 37  
 ভেক্টরের প্রয়োগ 38  
 মহাকর্ষীয় স্থির শক্তি 70  
 মাত্রিক বিশ্লেষণ 5  
 মাত্রার এককতার নীতি 6  
 মাত্রিক বিশ্লেষণের সীমা 7  
 মৌলিক এবং প্রাপ্ত একক 2  
 মূল্যায়ন নির্দেশিকা 181  
 যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণ 71  
 রেনল্ডস সংখ্যা 126  
 রৈখিক বেগ এবং কৌণিক বেগ 91  
 রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ 94  
 রৈখিক পৃষ্ঠ এবং ঘনক সম্প্রসারণ 157  
 রূপান্তর ফ্যাক্টর 177  
 শক্তির রূপান্তর 72  
 স্পর্শকোণ 119  
 সান্দ্রতা এবং সান্দ্রতার গুণাঙ্ক 121  
 সংখ্যা 12  
 সমান্তরাল এবং লম্ব অক্ষের উপপাদ্য 95  
 সংস্কতি এবং আসজ্ঞন বল 118  
 স্কেলার এবং ভেক্টর পরিমাণ 34  
 স্কেলার এবং ভেক্টর 34  
 সংরক্ষণের নীতি প্রয়োগ 43  
 স্থিতিস্থাপকতা 108  
 স্থিতিস্থাপকতার গুণাঙ্কের প্রকার 111  
 স্টোকসের নীতি 123  
 CO এবং PO প্রাপ্তি টেবিল 185  
 ছকের নীতি 111

