লাল - সবুজে দাগানো

TEXT BOOK

পদার্থ বিজ্ঞান

১ম পত্র

New Edition

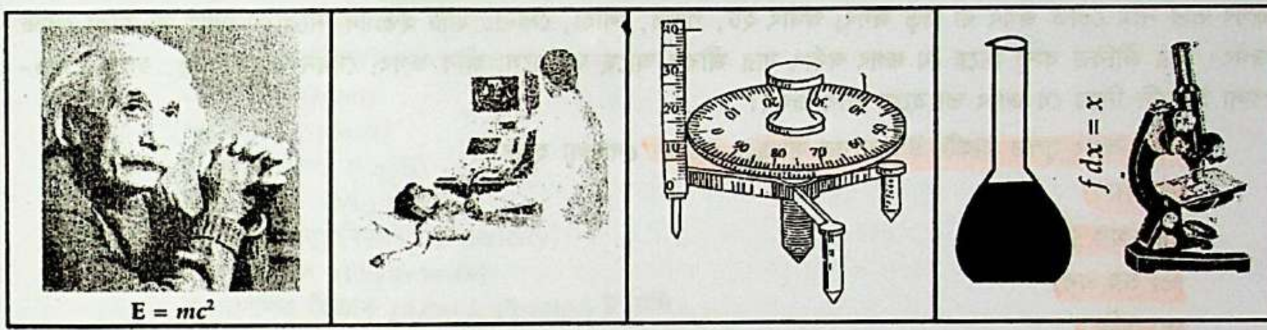
উন্মেষ

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

১

প্রধান শব্দ (Key Words) : ভৌত জগৎ, জীব জগৎ, পরিমাপ, রাশি, একক, এককের প্রকারভেদ, মৌলিক একক, লব্ধ বা যৌগিক একক, ব্যবহারিক একক, মাত্রা, নিয়মিত ত্রুটি, অনিয়মিত ত্রুটি।

ভৌত জগৎ ও পরিমাপ
PHYSICAL WORLD AND MEASUREMENT



সূচনা
Introduction

দৈনন্দিন জীবনে বিজ্ঞান আমাদের নিত্য সঙ্গী। সকালে ঘুম থেকে উঠে রাতে ঘুমানো পর্যন্ত সকল কর্মকাণ্ডের সাথে মিশে আছে বিজ্ঞান। বিজ্ঞান মানব জীবনকে করেছে সুন্দর ও সমৃদ্ধ, বাড়িয়ে দিয়েছে আরাম-আয়েশ এবং সুখ স্বাচ্ছন্দ্য। কিন্তু বিজ্ঞানের এই সমৃদ্ধি একদিনে সম্ভব হয়নি। প্রাচীনকাল থেকে অদ্যাবধি বিজ্ঞানীদের চিন্তা-চেতনা, তথ্য উদ্ভাবন এবং প্রয়োগ বিজ্ঞানকে সমৃদ্ধ করেছে। মানব সম্পদ, চিকিৎসাবিজ্ঞান, কৃষিবিজ্ঞান, সাহিত্য-সংস্কৃতি, সমাজবিজ্ঞান, জ্যোতির্বিজ্ঞান, রসায়নশাস্ত্র, গণিতশাস্ত্র এবং জীববিজ্ঞান এমন কি জীবন দর্শনের ক্ষেত্রেও অবদান রেখেছে বিজ্ঞান। দৈনন্দিন জীবনের প্রতিটি কাজের সাথে পরিমাপ বিষয়টি জড়িত। পদার্থবিজ্ঞানের প্রায় সকল পরীক্ষণেই বিভিন্ন রাশির পরিমাপ করতে হয়। ভৌত জগতের প্রকৃতি, বর্তমান সভ্যতায় পদার্থবিজ্ঞানের অবদান এবং পরিসর, বিস্ময়কর আবিষ্কার, বিভিন্ন জ্ঞান-বিজ্ঞানের সাথে পদার্থবিজ্ঞানের সম্পর্ক, পরিমাপের নির্ভুলতা দূর করে সঠিকতা যাচাই, বিভিন্ন মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক ও বিজ্ঞানীদের অবদানসহ নানা বিষয়ে বিজ্ঞানের প্রয়োগই হলো এ অধ্যায়ের মূল বিষয়।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- ভৌত জগতের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পদার্থবিজ্ঞানের পরিসর এবং বিভিন্ন ক্ষেত্রে এর বিস্ময়কর অবদান ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পদার্থবিজ্ঞানের ব্যবহৃত বিভিন্ন ধারণা, সূত্র, নীতি, স্বীকার্য, অনুকল্প এবং তত্ত্বের অর্থ উপলব্ধি ও ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পদার্থবিজ্ঞানের সাথে বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখার সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- স্থান, সময়, ভর এবং অন্যান্য প্রতিভাসের (manifestation) কার্যকারণ সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মৌলিক ও লব্ধ এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবে।
- পরিমাপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পর্যবেক্ষণ ও পরীক্ষণের ক্রমবিকাশ ও গুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পরিমাপের ত্রুটি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পরিমাপযোগ্য রাশির শুদ্ধতর মান নির্ধারণের কৌশল প্রয়োগ করতে পারবে।
- ব্যবহারিক :

  ১. স্ফেরোমিটারের সাহায্যে গোলীয় তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয়।

  ২. নিক্তির সাহায্যে দোলন পদ্ধতিতে বস্তুর ভর নির্ণয়।

১·১ ভৌত জগতের প্রকৃতি
Nature of physical world

আমরা যেখানে আছি, যে কারণে আছি, যা পঞ্চইন্দ্রিয় দ্বারা অনুভব করছি বা আমাদের অনুভূতি বহির্ভূত যা কিছু অস্তিত্বশীল (ভর ও শক্তি) রয়েছে তাই জগৎ। জগতের এই ধারণা আমাদের ভৌত জগৎকে বুঝতে সাহায্য করবে। যে কোনো বিষয় সম্পর্কে ধারণা স্পষ্ট হবার অর্থ তার অস্তিত্ব, আর অস্তিত্বের কারণ সম্পর্কে ধারণা দেয় সেই জিনিসের ধর্ম বা বৈশিষ্ট্য। জগতের শ্রেণিবিভাগ দুটি—একটি ভৌত জগৎ, অপরটি জীব জগৎ। যার জীবন নেই, তা নিয়ে যে জগৎ তার নাম ভৌত জগৎ বা জড় জগৎ; অর্থাৎ ইট, পাথর, লোহা, সোনা, মাটি ইত্যাদি নিয়ে যে জগৎ তা হলো ভৌত জগৎ। আর জীবিত বস্তু নিয়ে যে জগৎ অর্থাৎ যার জীবন আছে তা হলো জীব জগৎ; যেমন মানুষ, গরু, ছাগল, গাছ-পালা ইত্যাদি নিয়ে যে জগৎ তা হলো জীব জগৎ।

ভৌত জগৎ মূলত চারটি উপাদানের সমন্বয়ে তৈরি। সেগুলো হলো :

(১) স্থান

(২) কাল (সময়)

(৩) ভর এবং

(৪) শক্তি।

প্রথম দুটি তাত্ত্বিক হওয়ায় ভৌত জগৎকে ভর ও শক্তির উপস্থিতি দ্বারাই বুঝান হয় (আইনস্টাইনের বিখ্যাত সূত্র $E = mc^2$)। এক্ষেত্রে ভর ও শক্তি একই সূত্রে গাঁথা। ভৌত জগৎকে তিনটি উপাদানের সমন্বয় বলে প্রচার করা হয় অর্থাৎ ভর ও শক্তিকে আলাদা দুটি উপাদানে না রেখে একত্রে শক্তি লেখা হয়। ভৌত জগৎ বিশাল ও বৈচিত্র্যপূর্ণ। বিষয়টি নিয়ে গবেষণা করতে গিয়েই মানুষ তা উপলব্ধি করেছে। তাইতো বৈজ্ঞানিক সূত্রগুলোকে চিরন্তন সত্য বলা যায় না। কারণ বর্তমান বৈজ্ঞানিক সূত্র কোনো ভৌত বিষয়কে ব্যাখ্যা করতে না পারলে নতুন সূত্র দাঁড় করাতে হয়। উদাহরণস্বরূপ গ্যালিলিও রূপান্তরকে পরিবর্তন করে লরেঞ্জ রূপান্তরে পরিণত করতে হয়েছে। ভৌত জগতের বৈচিত্র্য উপলব্ধি করার দুটি চমৎকার উপায় রয়েছে। এক, ভৌত জগৎকে ক্ষুদ্র হতে ক্ষুদ্রতরভাবে দেখা; দুই, ভৌত জগৎকে বৃহৎ হতে বৃহত্তরভাবে দেখা।

ক্ষুদ্র হতে ক্ষুদ্রতরভাবে দেখার অর্থ হলো— কোনো বস্তুকে ভেঙ্গে পাওয়া যায় অণু, অণুকে ভেঙ্গে পাওয়া যায় পরমাণু। আবার পরমাণুকে ভেঙ্গে পাওয়া যায় স্থায়ী ও অস্থায়ী কণিকা, কণিকাকে ভেঙ্গে কোয়ার্ক, কোয়ার্ককে ভেঙ্গে শক্তিগুচ্ছ আরও কত কী ! শুধু তাই নয়, এর প্রত্যেকটি অংশের আবার বহু শ্রেণি রয়েছে।

বৃহৎ হতে বৃহত্তরভাবে দেখার অর্থ হলো— উপগ্রহ, গ্রহ, সৌর জগতের মতো জগৎ, ছায়াপথ, আরও বৃহত্তর কত কী! ভৌত জগতে আরও রয়েছে ব্ল্যাকহোল যা হতে আলোক পর্যন্ত বের হয়ে আসতে পারে না। অনুমান করা হয় এক বৃহৎ ব্ল্যাকহোলকে কেন্দ্র করে বৃহৎ ছায়াপথগুলো ঘুরছে। **ভৌত জগতের নানা বিষয়ের বিশেষ জ্ঞানের আলোচনাই ভৌত বিজ্ঞান।**

আজ আমরা যে আধুনিক জীবন যাপন করছি তা ভৌত বিজ্ঞানেরই অবদান। জীববিজ্ঞানের অগ্রগতিরও দাবিদার ভৌত বিজ্ঞান। ভৌত বিজ্ঞানের অনেক শাখার মধ্যে পদার্থবিজ্ঞান, রসায়ন শাস্ত্র, গণিত শাস্ত্র, জ্যোতির্বিদ্যা, ভূবিদ্যা প্রভৃতি অন্যতম। এসব বিজ্ঞানের মাধ্যমে মানুষ ভৌত জগৎকে বোঝার চেষ্টা চালিয়ে যাচ্ছে। তবে মজার বিষয় হচ্ছে সমগ্র ভৌত জগতের সকল পদার্থের মধ্যে মানুষ জানতে পেরেছে খুব সামান্যই। অনুমান করা হয় মানুষ জানতে পেরেছে মাত্র 4%। উপরন্তু কপারনিকাস, গ্যালিলিও, রবার্ট বয়েল, স্যার আইজ্যাক নিউটন, ফ্র্যাংকলিন, জেমস্ ওয়াট, গ্যালভানি, ভোল্টা, ফ্যারাডে, অ্যাম্পিয়ার, ও'ম, মার্কনি, আচার্য জগদীশ চন্দ্র বসু, ওয়েরস্টেড, রনজেন, ডি-ব্রগলি, হাইজেনবার্গ, রাদারফোর্ড, হেনরি বেকেরেল, কুরী, মাদাম কুরী, মিলিক্যান, চ্যাডউইক, গ্লাশো, ওয়েইনবার্গ, আব্দুস সালাম প্রমুখ যশস্বী বিজ্ঞানীদের অবদান ভৌত বিজ্ঞানের অমূল্য সম্পদ। সংক্ষেপে বলা যায়, **বিশ্ব ব্রহ্মাণ্ডের জীব সম্পদ ছাড়া সব কিছুই ভৌত বিজ্ঞানের দুর্ভেদ্য ভিত।**

আমাদের উচিত ভৌত জগৎ নিয়ে গবেষণা করে আমাদের কৌতূহল মিটানো, ভৌত জগৎকে মানব কল্যাণে ব্যবহার করা এবং ভৌত জগতের সাথে সাথে জীব জগতের অস্তিত্বের কারণ সম্পর্কে জেনে সে অনুসারে জীবন পরিচালনা করা।

১·২ পদার্থবিজ্ঞানের পরিসর ও বিস্ময়কর অবদান
Scope of physics and its wonderful contributions

১·২·১ পদার্থবিজ্ঞানের পরিসর
Scope of physics

পদার্থবিজ্ঞান হলো বিজ্ঞানের চাবিকাঠি। অন্যান্য বিজ্ঞানের মৌলিক শাখা হলো পদার্থবিজ্ঞান। কারণ এর নীতিগুলোই বিজ্ঞানের অন্যান্য শাখাসমূহের ভিত্তি রচনা করেছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, অণু-পরমাণু গঠন থেকে শুরু করে ঝড়-বৃষ্টির পূর্বাভাস পর্যন্ত পদার্থবিজ্ঞান বিস্তৃত। পঠন পাঠনের সুবিধার জন্য এবং বিশদভাবে আলোচনার জন্য পদার্থবিজ্ঞানকে বিভিন্ন ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(১) সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান (General Physics)
(২) তাপবিজ্ঞান (Heat)
(৩) শব্দবিজ্ঞান (Sound)
(৪) আলোকবিজ্ঞান (Light)
(৫) চুম্বকবিজ্ঞান (Magnetism)
(৬) তড়িৎ বা বিদ্যুৎবিজ্ঞান (Electricity)
(৭) ইলেকট্রনিক্স (Electronics)
(৮) পারমাণবিক বিজ্ঞান (Atomic Physics) ইত্যাদি।

সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানকে আবার দুই ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(১) বলবিদ্যা (Mechanics)
(২) পদার্থের ধর্ম (Properties of matter)

বলবিদ্যা বস্তুর ওপর বলের ক্রিয়া সংক্রান্ত বিভিন্ন বিষয় আলোচনা করে। পদার্থের ধর্ম বস্তুর বিভিন্ন গুণ আলোচনা করে।

বলবিদ্যা আবার দুই ভাগে বিভক্ত, যথা—

(১) স্থিতিবিদ্যা (Statics) এবং
(২) গতিবিদ্যা (Dynamics)

স্থিতিবিদ্যা স্থিতিশীল বস্তুর ওপর বলের ক্রিয়া আলোচনা করে এবং গতিবিদ্যা গতিশীল বস্তুর ওপর বলের ক্রিয়া আলোচনা করে।

পদার্থের কতকগুলো গুণ বা বৈশিষ্ট্য রয়েছে। এগুলোকে মিলিতভাবে পদার্থের ধর্ম (Properties of matter) বলে। পদার্থের ধর্ম দুই প্রকার; যথা—

(১) সাধারণ ধর্ম (General property) এবং
(২) বিশেষ ধর্ম (Special property)

যে ধর্ম সকল পদার্থেরই কম-বেশি রয়েছে তাকে পদার্থের সাধারণ ধর্ম বলে; যেমন ওজন, বিস্তৃতি, রোধ, স্থিতিস্থাপকতা ইত্যাদি। আর যে ধর্ম সকল পদার্থের নেই তাকে পদার্থের বিশেষ ধর্ম বলে, যেমন স্থিতিস্থাপকতা (elasticity), দৃঢ়তা (rigidity), ভঙ্গুরতা (fragility) ইত্যাদি ধর্ম কেবলমাত্র কঠিন পদার্থের বেলায় দেখা যায়। এসব ধর্ম কঠিন পদার্থের বিশেষ ধর্ম। সান্দ্রতা (viscosity) তরল ও বায়বীয় পদার্থের বিশেষ ধর্ম। পৃষ্ঠটান বা তলটান (surface tension) তরল পদার্থের বিশেষ ধর্ম।

পদার্থবিজ্ঞানের পরিসর বা আওতা সুবিস্তীর্ণ। মানব সভ্যতার অগ্রগতির মূলে ইহা ভিত্তিপ্রস্তর স্বরূপ। মানব জীবনের প্রতিটি ক্ষেত্রে ইহা বিশেষভাবে প্রয়োজনীয়। পদার্থবিজ্ঞানের সাহায্য ছাড়া এই মহাবিশ্ব সম্বন্ধে কোনো কিছু জানা আমাদের পক্ষে সম্পূর্ণ অসম্ভব। অসীম আকাশ হতে শুরু করে প্রত্যেক পরমাণুর অভ্যন্তর পর্যন্ত এর পরিধি বিস্তৃত। যেখানেই বস্তু ও শক্তি রয়েছে সেখানেই পদার্থবিজ্ঞানের কিছু না কিছু করণীয় রয়েছে। সুতরাং সাধারণ শিক্ষার বাহক হিসেবে পদার্থবিজ্ঞানের সেবায় ব্রত হওয়া প্রত্যেক নাগরিকের কর্তব্য। পদার্থবিজ্ঞানের ব্যাপকতা এবং এর ব্যবহার মানবকল্যাণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে চলেছে।

১·২·২ বিভিন্ন ক্ষেত্রে পদার্থবিজ্ঞানের বিস্ময়কর অবদান
Wonderful contributions of physics in different fields

মানব কল্যাণে পদার্থবিজ্ঞানের অবদান অপরিসীম। বিভিন্ন শক্তি হতে দৈনন্দিন জীবনে আমরা প্রভূত আরাম-আয়েশ পেয়ে থাকি। একমাত্র বিদ্যুৎ শক্তি এত প্রকার কার্যে ব্যবহৃত হয়েছে যে, আধুনিক যুগকে বৈদ্যুতিক যুগ বললেও অত্যুক্তি হয় না। বৈদ্যুতিক পাখা, বৈদ্যুতিক বাতি, বৈদ্যুতিক চুল্লি, টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, টেলিভিশন, কম্পিউটার, রেডিও, মোটর, বিদ্যুচ্চালিত ট্রেন, বিদ্যুচ্চালিত কল-কারখানা সবই বিদ্যুতের অবদান। বাষ্পীয় ইঞ্জিন, পেট্রোল ইঞ্জিন

এবং তৈল ইঞ্জিন হতে আমরা যে তাপ শক্তি পাই তা বিভিন্ন কার্যে প্রয়োগ করি। বায়ুর চাপ মাপার জন্য ব্যারোমিটার, উষ্ণতা বা তাপমাত্রা মাপার জন্য থার্মোমিটার, বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ মাপার জন্য আমরা হাইগ্রোমিটার নামক যন্ত্র ব্যবহার করি। আলোকবিজ্ঞানে আমরা চশমা, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, ক্যামেরা প্রভৃতি ব্যবহার করে থাকি। বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র; যেমন হারমোনিয়াম, বাঁশি, ঢাক, ঘণ্টা, পিয়ানো, গ্রামোফোন, বেহালা, এসরাজ, সেতার প্রভৃতি যন্ত্র দ্বারা আমরা বিশেষভাবে উপকৃত হই। বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে হাইড্রলিক প্রেস, বিভিন্ন পাম্প, তুলাযন্ত্র, ঘড়ি, দোলক, লিভার, ক্রেন, পুলি প্রভৃতি যন্ত্রের বহুল ব্যবহার রয়েছে। রিয়্যাক্টর (reactor) নামক যন্ত্রের সাহায্যে পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ভেঙ্গে যে প্রচুর শক্তি পাওয়া যায় সেই শক্তিকে বিদ্যুৎ উৎপাদনে, বিভিন্ন শিল্পে এবং চিকিৎসাবিজ্ঞানে প্রয়োগ করা হয়। এছাড়াও বিশ্লিষ্ট এই যন্ত্র পারমাণবিক বোমা প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়। মানুষ আজ রকেট চালিত মহাকাশযানে চড়ে চন্দ্রে এবং গ্রহান্তরে পাড়ি দিচ্ছে। এ সবই বিজ্ঞানের বিস্ময়কর অবদান।

বিজ্ঞানের উন্নতির জন্যই মানুষ পেয়েছে গুহার পরিবর্তে আধুনিক বাড়ি-ঘর, পার্থিব আরাম-আয়েশ ও জীবনের নিরাপত্তা। বিজ্ঞানের অগ্রগতির ফলে মানুষ দূরকে করেছে নিকট, প্রকৃতিকে করেছে বশীভূত এবং অসম্ভবকে করেছে সম্ভব। সুখ-স্বাচ্ছন্দ্য, আরাম-আয়েশ এবং নিরাপত্তার জন্য মানবজাতি বিজ্ঞানের কাছে ঋণী। বিজ্ঞানের কল্যাণে 10^{-30} মিটার আকৃতির মৌলিক কণাসহ 10^{30} মিটার দূরত্বের আকাশ পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব হয়েছে। অতএব আমাদের প্রত্যেক নাগরিকের বিজ্ঞান সাধনাকে সাধারণ শিক্ষার প্রধান বাহন হিসেবে গ্রহণ করা উচিত।

১.৩ পদার্থবিজ্ঞানে ধারণা, সূত্র, নীতি, স্বীকার্য, অনুকল্প এবং তত্ত্ব-এর অর্থ
Meaning of concept, law, principle, postulates, hypothesis and theory in physics

বৈজ্ঞানিক তত্ত্ব প্রতিষ্ঠার জন্য অনেক চিন্তা-ভাবনা ও পরীক্ষা-নিরীক্ষার প্রয়োজন। বৈজ্ঞানিক তত্ত্ব কীভাবে প্রতিষ্ঠা লাভ করে তা বুঝাবার জন্য একটি মনোজ্ঞ উদাহরণ দেওয়া হলো। মনে করি, একটি ছেলে বাড়ি হতে হারিয়ে গিয়েছে। গৃহস্বামী এই সংবাদ পেয়ে সঙ্গে সঙ্গেই অস্থির হয়ে উঠবেন এবং জল্পনা-কল্পনা করতে শুরু করবেন। প্রথমেই তিনি মনে করবেন যে ছেলেটি কোনো প্রতিবেশীর বাড়িতে গিয়েছে। এটা তদন্ত করবার জন্য তিনি প্রতিবেশীর বাড়িতে যাবেন। কিন্তু ছেলেটিকে যদি প্রতিবেশীর বাড়িতে পাওয়া না যায় তবে তিনি ধরে নিবেন যে তাঁর অনুমান মিথ্যা এবং তিনি এই অনুমান পরিত্যাগ করবেন। মনে করি, ঠিক ওই সময়ে জনৈক ভদ্রলোক গৃহস্বামীকে জানালেন যে, ছেলেটিকে 'X' নামক রাস্তায় দেখা গিয়েছে। তখন গৃহস্বামী ধরে নিবেন যে, তাঁর ছেলে হারিয়ে যায়নি বরং ছেলেটি 'X' নামক রাস্তায় গিয়েছে। তখন তিনি ছেলেটির সন্ধানে 'X' নামক রাস্তায় যাবেন। যাবার পর তিনি দেখলেন যে 'X' নামক রাস্তাটি দুটি রাস্তায় বিভক্ত। মনে করি, একটি 'Y' এবং অপরটি 'Z'। এখন তাঁর নিকট দুটি সম্ভাবনা দেখা দিবে। ছেলেটি দুটি রাস্তার যে কোনো একটি রাস্তায় যেতে পারে। ছেলেটি কোন রাস্তায় গিয়েছে এর সত্যতা নিরূপণের জন্য ঐ জায়গায় তদন্তের প্রয়োজন। তদন্তের পর দেখা গেল যে, ছেলেটি 'Z' নামক রাস্তায় গিয়েছে। এখন গৃহস্বামীর ধারণা ছেলেটি হারিয়ে যায়নি। সে 'X' নামক রাস্তা হয়ে 'Z' নামক রাস্তায় গিয়েছে। ছেলেটিকে পাবার জন্য তিনি 'Z' নামক রাস্তায় যাবেন। মনে করি, 'Z' নামক রাস্তাটি আবার তিনটি রাস্তায় বিভক্ত। সেগুলো হলো 'P', 'Q' এবং 'R'। ছেলেটি কোন রাস্তায় গিয়েছে তা জানার জন্য আরও তদন্তের প্রয়োজন। এভাবে ছেলেটি সম্পর্কে আমরা ক্রমাগত জানতে পারি এবং আমাদের তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা লাভ করতে থাকবে। অনুরূপভাবে বলা যেতে পারে যে বৈজ্ঞানিক তত্ত্ব প্রতিষ্ঠার জন্য শতাব্দীর পর শতাব্দী ধরে জল্পনা-কল্পনা, চিন্তা-ভাবনা ও পরীক্ষা-নিরীক্ষা চালিয়ে যেতে হবে।

ধারণা বা প্রত্যয়
Concept

কোনো কিছু সম্পর্কে সঠিক উপলব্ধি বা বোধগম্যতা হলো ওই বিষয় সম্পর্কে স্পষ্ট ধারণা। অথবা, ধারণা হলো কোনো ভাবনা বা চিন্তাধারা বা কোনো সাধারণ অভিমত। যেমন তাপের ধারণা হলো— তাপ এক প্রকার শক্তি যা কোনো বস্তুতে প্রয়োগ করলে বা বস্তুটিকে গরম করলে বস্তুটির তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং বর্জন করলে তাপমাত্রা হ্রাস পায়।

সূত্র
Law

যখন কোনো তত্ত্ব অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয় এবং এর মূল কথাগুলি একটি উক্তির মাধ্যমে প্রকাশ করা হয় তখন তাকে বৈজ্ঞানিক সূত্র বলা হয়। সূত্র অনেক সময় আবিষ্কর্তার নামানুসারে হয়, যেমন ও'মের সূত্র, বয়েলের সূত্র; কখনওবা বিষয়ের নামে, যেমন শক্তির নিত্যতা সূত্র, তাপগতিবিদ্যার সূত্র; আবার কখনও আবিষ্কারক এবং বিষয় উভয়ের নামে হয়ে থাকে, যেমন নিউটনের গতিসূত্র, গ্যালিলিওর পড়ন্ত বস্তুর সূত্র।

নীতি
Principle

যে সকল প্রাকৃতিক সত্য সরাসরি স্পষ্টভাবে প্রমাণ করা যায় এবং ওই সত্যের সাহায্যে অনেক প্রাকৃতিক ঘটনাকে প্রমাণ করা যায়, তাকে নীতি বলে। যেমন ডপলারের নীতি, হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি ইত্যাদি।

স্বীকার্য
Postulates

DAT : 19-20

কোনো গাণিতিক মডেল বা সূত্র প্রতিষ্ঠা করার লক্ষ্যে যদি কিছু পূর্বশর্ত স্বীকার করে নেওয়া হয়, তবে ওই পূর্বশর্তসমূহকে স্বীকার্য (Postulates) বলে। সাধারণত কোনো বৈজ্ঞানিক তত্ত্ব একটি সার্বিক বিবৃতি দিয়ে শুরু হয়, ইহাই স্বীকার্য। যেমন বিখ্যাত বিজ্ঞানী নীলস বোর (Neils Bohr) পরমাণু মডেল প্রদানের জন্য দুটি স্বীকার্য গ্রহণ করেন। আবার, বিজ্ঞানী আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব প্রবর্তন করেন যা দুটি মৌলিক স্বীকার্যের উপর প্রতিষ্ঠিত।

অনুকল্প
Hypothesis

বিজ্ঞানীরা তাঁদের পর্যবেক্ষিত ঘটনার কারণ সম্বন্ধে ব্যাখ্যা প্রদানের জন্য অনেক সময় পূর্বে আবিষ্কৃত প্রাকৃতিক নিয়মের সাথে সামঞ্জস্য রেখে কিছু অনুমান করেন। এই অনুমানগুলোকে বলা হয় অনুকল্প। অনুকল্পগুলো পর্যবেক্ষিত ঘটনার প্রাথমিক ব্যাখ্যা প্রদান করে। অনুকল্পগুলোর সত্যতা যাচাইয়ের জন্য পরীক্ষা সম্পাদন করা হয় এবং পরীক্ষায় সত্য প্রমাণিত হলে তা তত্ত্বে পরিণত হয়। পরীক্ষণ বা পর্যবেক্ষণ দ্বারা অনুকল্প সমর্থিত হতেও পারে, আবার বাতিলও হতে পারে। তবে কিছু কিছু অনুকল্প আছে যা প্রমাণিত হওয়ার পরেও অনুকল্প হিসেবে এখনও পরিচিত। যেমন অ্যাভোগেড্রোর অনুকল্প (Avogadro's hypothesis)।

তত্ত্ব
Theory

অনুকল্প ও নিয়মের সমন্বয়ে তত্ত্ব প্রতিষ্ঠিত। পরীক্ষা-নিরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত অনুকল্পকে তত্ত্ব বলে। বৈজ্ঞানিক তত্ত্বের সাহায্যে প্রকৃতিকে সবচেয়ে বিশ্বাসযোগ্যভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। যখন কোনো তত্ত্বকে কিছু ধারণা বা উক্তি এবং সমীকরণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়, তখন সেই তত্ত্বকে সূত্র বলে। সুতরাং **সকল সূত্রই তত্ত্ব, তবে সকল তত্ত্ব সূত্র নয়।** আবার **সকল তত্ত্বই অনুকল্প, তবে সকল অনুকল্প তত্ত্ব নয়।** তত্ত্ব সাধারণত আবিষ্কর্তার নামানুসারে অথবা বিষয়ের সাথে সংগতি রেখে নামকরণ করা হয়। যেমন আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব, কোয়ান্টাম তত্ত্ব ইত্যাদি।

১.৪ পদার্থবিজ্ঞান ও অন্যান্য বিজ্ঞান ও জ্ঞানের জগৎ
Physics and world of other sciences and knowledge

পদার্থবিজ্ঞানের সাথে বিজ্ঞানের অন্যান্য শাখার সম্পর্ক : পদার্থবিজ্ঞান হচ্ছে বিজ্ঞানের অন্যান্য শাখার ভিত্তি। বিজ্ঞানের অন্যান্য শাখার উন্নয়নে পদার্থবিজ্ঞান গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে আসছে। পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রাবলি বিজ্ঞানের নতুন শাখার উদ্ভব ঘটিয়েছে যাকে আমরা জীবপদার্থবিদ্যা (biophysics) বলতে পারি। Mechanical, nuclear, gravimetric এবং acoustics পদ্ধতি বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় বিশেষ করে ভূতত্ত্ববিদ্যা, পরিমাপন বিদ্যা, সমুদ্র গবেষণা ও ভূকম্পবিদ্যায় ব্যাপক হারে ব্যবহৃত হয়ে আসছে। সুতরাং বলা যায় মানবজাতির উন্নতি এবং প্রযুক্তির উন্নয়নে পদার্থবিজ্ঞানের ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। নিম্নে বিভিন্ন বিজ্ঞান এবং সাহিত্য সংস্কৃতি, সমাজবিজ্ঞানসহ দৈনন্দিন জীবনের বিভিন্ন বিষয়ের উপর পদার্থবিজ্ঞানের প্রভাব আলোচনা করা হলো। পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন তত্ত্ব, নীতি, সূত্র বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় অধ্যয়ন সহজ করে দিয়েছে।

রসায়ন : পরমাণুর গঠন, তেজস্ক্রিয়তা (radioactivity), এক্স-রে বর্তমান রসায়ন শাস্ত্রের জগতে বিপ্লব সূচনা করেছে। এই সমস্ত গবেষণা মৌলের পর্যায় সারণিতে পুনর্বিন্যাস ঘটিয়েছে, নমুনা বস্তুর গতি নির্ণয় করেছে, ভ্যালেন্সির প্রকৃতি এবং রাসায়নিক বন্ধন সম্বন্ধে অবহিত করেছে। ইহা জটিল রাসায়নিক গঠন জানতে সহায়তা করে।

গণিতশাস্ত্র : পদার্থবিজ্ঞান হচ্ছে তাত্ত্বিক বিজ্ঞান। পদার্থবিজ্ঞানের তত্ত্বগুলি গাণিতিক ধারণার মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। তাত্ত্বিক পদার্থবিজ্ঞানের উন্নয়নে গণিতশাস্ত্র শক্তিশালী হাতিয়ার হিসেবে কাজ করে আসছে।

জীববিদ্যা : জীববিদ্যায় পদার্থবিজ্ঞানের ভূমিকা অপরিসীম। জীববিদ্যা অধ্যয়নে মাইক্রোস্কোপের ব্যবহার অনেক গুরুত্বপূর্ণ। ইলেকট্রনিক মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কোষের গঠন জানা অনেক সহজ হয়েছে; অর্থাৎ কোষের গঠন জানা অনেকটা সম্ভবপর করে তুলেছে ইলেকট্রনিক মাইক্রোস্কোপ। X-Ray এর ব্যবহার নিউক্লিক এসিডের গঠন জানতে সহায়তা করেছে যা জীবনকার্যের মূল প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। এছাড়া জীব দেহে সংঘটিত শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া যেমন ব্যাপন (diffusion), অসমোসিস (osmosis) ইত্যাদি পদার্থবিজ্ঞানের নীতি ব্যবহার করে ব্যাখ্যা করা যায়।

জ্যোতির্বিদ্যা : জ্যোতির্বিদ্যা সম্পর্কীয় টেলিস্কোপ গ্যালিলিওকে জ্যোতিষ্কমণ্ডলী সম্পর্কে জানতে সহায়তা করেছিল। বিভিন্ন দেশের মানমন্দিরে বড় বড় টেলিস্কোপ স্থাপন করে সৌরজগতের বিভিন্ন গ্রহ সম্বন্ধে আমরা জ্ঞানার্জন করতে পারি। রেডিও টেলিস্কোপের ব্যবহার Quasars এবং Pulsars আবিষ্কারে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছে এবং ইহা জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের অনেক রহস্য উদঘাটন করতে সহায়তা করেছে। পদার্থবিজ্ঞানের উন্নত চিত্রগ্রহণ পদ্ধতি জ্যোতির্বিদ্যার জগতে বিরাট ভূমিকা পালন করেছে।

প্রযুক্তির বিভিন্ন শাখা : প্রযুক্তি কীভাবে তোমার জীবনকে প্রভাবিত করে তা খেয়াল কর। সকালে ঘুম থেকে উঠে দাঁত ব্রাশ করা, গোসল করা, রান্না করা, খাওয়া, কলেজে যাওয়া, গাড়িতে উঠা, রাতে বাতি জ্বালিয়ে পড়াশুনা করা, কলম দিয়ে খাতায় লেখা, জ্বর মাপা, ঘড়ি দেখা, রেডিও-টিভিতে খবর শুনা সবকিছুই হলো প্রযুক্তি। এছাড়া জমি চাষ করে কৃষকের ফসল ফলানো, বিভিন্ন রোগের চিকিৎসার জন্য ব্যবহৃত হয় নানা রকমের প্রযুক্তি। তাই বলা যায়, প্রযুক্তি আমাদের জীবনযাত্রাকে প্রভাবিত করছে। আধুনিক প্রযুক্তির মধ্যে সবচেয়ে বিস্ময়কর প্রযুক্তি হলো তথ্য প্রযুক্তি। এই সকল প্রযুক্তিকে সুশৃঙ্খল ও সমৃদ্ধ করার জন্য ভিন্ন ভিন্ন শাখায় বিভক্ত করা হয়েছে। যেমন তথ্য প্রযুক্তি, কৃষি প্রযুক্তি, চিকিৎসা প্রযুক্তি, মহাকাশ প্রযুক্তি ইত্যাদি।

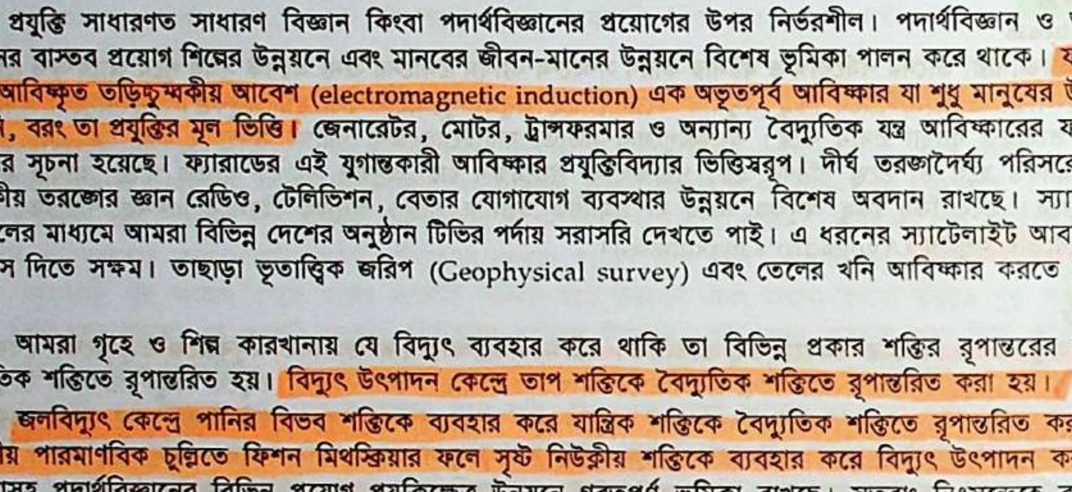
প্রযুক্তি সাধারণত সাধারণ বিজ্ঞান কিংবা পদার্থবিজ্ঞানের প্রয়োগের উপর নির্ভরশীল। পদার্থবিজ্ঞান ও অন্যান্য বিজ্ঞানের বাস্তব প্রয়োগ শিল্পের উন্নয়নে এবং মানবের জীবন-মানের উন্নয়নে বিশেষ ভূমিকা পালন করে থাকে। ফ্যারাডে কর্তৃক আবিষ্কৃত তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (electromagnetic induction) এক অভূতপূর্ব আবিষ্কার যা শুধু মানুষের উন্নয়নই ঘটায়নি, বরং তা প্রযুক্তির মূল ভিত্তি। জেনারেটর, মোটর, ট্রান্সফরমার ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্র আবিষ্কারের ফলে যন্ত্র সভ্যতার সূচনা হয়েছে। ফ্যারাডের এই যুগান্তকারী আবিষ্কার প্রযুক্তিবিদ্যার ভিত্তিস্বরূপ। দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিসরে তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের জ্ঞান রেডিও, টেলিভিশন, বেতার যোগাযোগ ব্যবস্থার উন্নয়নে বিশেষ অবদান রাখছে। স্যাটেলাইট চ্যানেলের মাধ্যমে আমরা বিভিন্ন দেশের অনুষ্ঠান টিভির পর্দায় সরাসরি দেখতে পাই। এ ধরনের স্যাটেলাইট আবহাওয়ার পূর্বাভাস দিতে সক্ষম। তাছাড়া ভূতাত্ত্বিক জরিপ (Geophysical survey) এবং তেলের খনি আবিষ্কার করতে সহায়তা করে।

আমরা গৃহে ও শিল্প কারখানায় যে বিদ্যুৎ ব্যবহার করে থাকি তা বিভিন্ন প্রকার শক্তির রূপান্তরের মাধ্যমে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে তাপ শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়।

জলবিদ্যুৎ কেন্দ্রে পানির বিভব শক্তিকে ব্যবহার করে যান্ত্রিক শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। নিউক্লীয় পারমাণবিক চুল্লিতে ফিশন মিথস্ক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট নিউক্লীয় শক্তিকে ব্যবহার করে বিদ্যুৎ উৎপাদন করা হয়। এগুলোসহ পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন প্রয়োগ প্রযুক্তিক্ষেত্র উন্নয়নে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখছে। সুতরাং নিঃসন্দেহে বলা যায় পদার্থবিজ্ঞান প্রযুক্তির জগতে এবং আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বিরাট অবদান রাখছে।

চিকিৎসাবিজ্ঞান : আধুনিক চিকিৎসা যেমন মানবজীবন রক্ষাকারী হিসেবে কাজ করছে তেমনি পদার্থবিজ্ঞানের উদ্ভাবিত নানাবিধ যন্ত্র সঠিক রোগ নির্ণয়ে দীর্ঘদিন অবদান রেখে চলেছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, এক্স-রে, আলট্রা-সনোগ্রাফ, সিটিস্ক্যান, এম আর আই, ইসিজি, এন্ডোসকোপি, রেডিওথ্যারাপি, ইটিটি, এনজিওগ্রাফি ও আইসোটোপ

MAT: 19-20



এক্স-রে ইসিজি

চিত্র ১·১

ব্যবহার করে চিকিৎসকগণ তাদের চিকিৎসা ব্যবস্থাকে সঠিকভাবে প্রয়োগ করতে সক্ষম হচ্ছে। চিত্র ১·১ এ এক্স-রে ও ইসিজি মেশিন দেখানো হলো। রোগ নির্ণয়ে X-Ray ব্যবহৃত হয়ে থাকে। ক্যান্সারসহ অন্যান্য রোগের চিকিৎসায় রেডিওথেরাপি প্রদান করা হয় এবং এতে রেডিও আইসোটোপ ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

কৃষিবিজ্ঞান : প্রযুক্তি মানব সভ্যতার মতোই পুরানো। যখন থেকে সভ্যতার ইতিহাস লেখা হচ্ছে তার আগে থেকেই প্রযুক্তির ব্যবহার চলে আসছে। আমাদের বেঁচে থাকার জন্য সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হলো খাদ্য। প্রকৃতিতে যেসব উদ্ভিদ ও প্রাণী সহজাতভাবে জন্মে ও বৃদ্ধি পায় তা মানুষ এক সময় ব্যবহার করেছে। বিভিন্ন উদ্ভিদ, গাছের ফল, প্রাণীর মাংস খাদ্যরূপে মানুষ গ্রহণ করেছে শত শত বছর ধরে। পরবর্তীতে যাযাবর জীবনের অবসান ঘটিয়ে মানুষ যখন খাদ্য উৎপাদন ও পশুপালন শুরু করল তখনই কৃষি সভ্যতার শুরু।

কৃষি প্রযুক্তিতে বড় ধরনের পরিবর্তন এলো দুটো কারণে। একটি হলো উদ্ভিদবিজ্ঞানীরা আবিষ্কার করলেন কীভাবে উদ্ভিদ সূর্যের আলো থেকে শক্তি নিয়ে এবং মাটি, পানি ও বাতাস থেকে প্রয়োজনীয় উপাদান নিয়ে খাদ্য উৎপাদন করে। অন্যটি হলো নতুন সব কৃষি যন্ত্রের উদ্ভাবন ও কৃষিকাজের যান্ত্রিকীকরণ। এর ফলে কৃষির ব্যাপক অগ্রগতি ঘটেছে যাকে কৃষি বিপ্লব বলা যায়। এই সকল উদ্ভাবিত সকল যন্ত্রপাতি হলো পদার্থবিজ্ঞানের অবদান। চিত্র ১.২ এ কয়েকটি কৃষি যন্ত্রপাতি দেখানো হলো।

চিত্র ১.২

সাহিত্য ও সংস্কৃতি : সাহিত্য ও সংস্কৃতি সভ্য জাতিসত্তার একটি উল্লেখযোগ্য দিক। সাহিত্য ও সংস্কৃতি চর্চা মানব সমাজকে সভ্য জাতি হিসেবে প্রতিষ্ঠা করে। এরই আওতায় পদার্থবিজ্ঞান নানাভাবে ভূমিকা রেখে চলেছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় কবিতা পাঠে, শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি করতে, মাইক্রোফোনের সাহায্যে কথা বলা থেকে শুরু করে গান-বাজনা চর্চায় ব্যবহৃত হচ্ছে বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রসহ নানাবিধ পদার্থবিজ্ঞানের উদ্ভাবিত যন্ত্রপাতি ও কলাকৌশল।

সমাজবিজ্ঞান : পদার্থবিজ্ঞানের ক্ষেত্রে বিজ্ঞানীদের বিভিন্ন আবিষ্কার মানব কল্যাণ এবং উন্নয়নে গুরুত্বপূর্ণ অবদান রেখে চলেছে। পদার্থবিজ্ঞানের সাথে সমাজ জীবনের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক রয়েছে। পদার্থবিজ্ঞানের জগতের যে কোনো আবিষ্কার সমাজকে প্রভাবিত করে। পদার্থবিজ্ঞানের যে কোনো প্রযুক্তি আমাদের জীবনের প্রতিটি স্তরকে স্পর্শ করেছে। পদার্থবিজ্ঞানের আবিষ্কার যোগাযোগের ক্ষেত্রে বৈপ্লবিক পরিবর্তন সাধন করেছে। উদাহরণস্বরূপ— টেলিফোন, টেলিগ্রাফ, টেলিপ্রিন্টার, টেলেক্স, ই-মেইল, ফ্যাক্স, ইন্টারনেট ইত্যাদির মাধ্যমে আমরা সারা বিশ্বের সাথে অতি অল্প সময়ে যোগাযোগ স্থাপন করতে সক্ষম হচ্ছি। রেডিও ও টেলিভিশন আমাদের যোগাযোগ ব্যবস্থাকে দ্রুততর করেছে। স্যাটেলাইট চ্যানেলসমূহ আমাদের যোগাযোগ ব্যবস্থায় যুগান্তকারী বিপ্লবের সূচনা করেছে। বিশ্বের কোথায় কি ঘটেছে বা ঘটছে তা আমরা মুহূর্তের মধ্যে দেখতে পাচ্ছি, জানতে পারছি। Microelectronics, lasers এবং কম্পিউটার মানবের চিন্তনে এবং জীবন ব্যবস্থায় বড় ধরনের পরিবর্তন সাধন করেছে।

দর্শন : মানুষের আচার-আচরণ নির্ভর করে তার ব্যক্তিসত্তা ও কর্মকাণ্ডের ওপর। মানুষ প্রকৃতির দাস। সে যে আচরণ অন্যের কাছ থেকে পেয়ে থাকে অপরের সাথে সে তদ্রূপ আচরণ করার চেষ্টা করে। এক্ষেত্রে পদার্থবিজ্ঞানের ভাষায় বলা যায় প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান এবং বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে। মানুষের মেধা ও মনন যদি কোনো কারণে থেমে যায় বা বাধাগ্রস্ত হয় তা অন্য কোনো কর্মকাণ্ডে অন্যভাবে প্রতিফলিত হয় এবং তার মেধা, মনন ও প্রতিভার কোনো ঘাটতি ঘটে না। এদিক দিয়ে উক্ত তথ্যটি পদার্থবিজ্ঞানের ভরবেগের নিত্যতার সূত্রের সাথে একাত্ম হয়ে আছে। এভাবে চলমান জীবনে নানা ক্ষেত্রে পদার্থবিজ্ঞান ওতপ্রোতভাবে জড়িয়ে আছে।

খেলাধুলা : খেলাধুলা শরীর ও মনকে সতেজ করে। সুশৃঙ্খল ও নিয়মমাফিক খেলাধুলায় ব্যবহৃত বিভিন্ন সরঞ্জামাদি এবং আনুষঙ্গিক দ্রব্যাদি শুধু খেলার মানকেই বৃদ্ধি করে না বরং শরীরচর্চায় নানাবিধ সুযোগ সৃষ্টি করে দেয়। যেমন ফ্লাশলাইট ব্যবহার করে রাতে আমরা খেলা উপভোগ করি, সময় নিয়ন্ত্রণের জন্য বিভিন্ন ধরনের টাইমার ব্যবহার করি, ফলাফল প্রদর্শনের জন্য স্কোরবোর্ড ব্যবহার করি, গতি মাপার জন্য স্পিডোমিটার ব্যবহার করি। এছাড়া খেলাধুলার সাথে সম্পৃক্ত নানা ক্ষেত্রে পদার্থবিজ্ঞানের সকল প্রযুক্তি খেলার জগৎকে সমৃদ্ধ করেছে।

১.৫ পদার্থবিজ্ঞানে স্থান, সময় ও ভর
Space, time and mass in physics

চিরায়িত বলবিদ্যা নিউটনীয় বলবিদ্যা নামে পরিচিত (Classical mechanics is known as Newtonian mechanics)। এই বলবিদ্যায় তিনটি মৌলিক রাশির ধারণা করা হয়েছে। এগুলো হলো স্থান (Space), সময় বা কাল (Time) এবং ভর (Mass)।

ক. স্থান : বিজ্ঞানী নিউটনের মতে, স্থান একটি পরম জিনিস যা তার নিজের মধ্যেই অবস্থান করে। এটি বাইরের কোনো কিছুর সঙ্গে সম্পর্কীয় নয় এবং পরিবেশ দ্বারা প্রভাবিত হয় না। যেমন কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য বস্তুর বা পর্যবেক্ষকের গতির উপর নির্ভরশীল নয় এবং স্থির অবস্থায় অপরিবর্তনীয়।

খ. সময় বা কাল : নিউটনের মতে সময় বা কাল প্রকৃতিগতভাবে একটি পরম রাশি যা বাইরের কোনো কিছুর ওপর নির্ভর না করে সমভাবে এগিয়ে চলে। সুতরাং সময় সর্বজনীন এবং নির্দিষ্ট হারে এগিয়ে চলে যা বস্তু বা পর্যবেক্ষকের গতির উপর নির্ভরশীল নয়। এ থেকে দুটো মন্তব্য করা যায় :

(১) পর্যবেক্ষক চলমান বা স্থির যে অবস্থায়ই থাকুক না কেন দুটো ঘটনা ঘটার মধ্যবর্তী সময় সকল পর্যবেক্ষকের জন্য একই মনে হবে; এবং

(২) কোনো পর্যবেক্ষকের কাছে দুটো ঘটনা একই সময়ে ঘটলে পর্যবেক্ষকের কাছে সময় একই হবে, তাদের গতীয় অবস্থা যাই হোক না কেন।

গ. ভর : নিউটনীয় বলবিদ্যায় বস্তুর ভর একটি মৌলিক রাশি যা তার গতির ওপর নির্ভরশীল নয় এবং ভরের নিত্যতা সূত্র অনুসারে কোনো স্বতন্ত্র প্রক্রিয়াধীন বস্তুসমূহের ভর ওই প্রক্রিয়াধীন দুই বা ততোধিক বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার দরুন হয়। এর কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

আধুনিক ধারণা

বিজ্ঞানী আইনস্টাইন প্রমাণ করেন যে, চিরায়ত বলবিদ্যার মৌলিক রাশি তিনটি গতির সাথে পরিবর্তন হয়। সুতরাং রাশি তিনটি পরম নয়।

ক. স্থান : কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য ওই বস্তুর স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হওয়াকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে। সুতরাং গতির সাথে বস্তুর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়।

খ. সময় বা কাল : কোনো জড় বা স্থির কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনা উক্ত কাঠামো সাপেক্ষে গতিশীল অন্য কোনো কাঠামো থেকে লক্ষ করলে দেখা যাবে ঘটনার সময় ব্যবধান বৃদ্ধি পেয়েছে। এ বিষয়টিকে কাল দীর্ঘায়ন বা সময় প্রসারণ বলে। সুতরাং গতির সাথে সময়ের প্রসারণ ঘটে।

গ. ভর : বস্তু গতিশীল হলে এর ভর বৃদ্ধি পায়। এই ঘটনাকে ভরের আপেক্ষিকতা বা গতিজনিত ভর বৃদ্ধি বলে।

১.৬ মৌলিক বা প্রাথমিক ও লব্ধ একক
Fundamental and derived units

বিজ্ঞানে ব্যবহৃত অসংখ্য ভৌত রাশির প্রতিটির নিজস্ব একক আছে। কিন্তু প্রায় সব ভৌত রাশির একককে মাত্র তিনটি এককের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। যথা—

(১) **মৌলিক বা মূল বা প্রাথমিক একক** (Fundamental unit),
(২) **লব্ধ বা প্রাপ্ত বা যৌগিক একক** (Derived unit) এবং
(৩) **ব্যবহারিক একক** (Practical unit)।

যে একক অন্য কোনো এককের ওপর নির্ভর করে না এবং একেবারে সম্পর্কশূন্য বা স্বাধীন তাকে মৌলিক বা প্রাথমিক একক বলে। যেমন দৈর্ঘ্য বা ভর বা সময়ের একক অন্য কোনো এককের ওপর নির্ভর করে না। সুতরাং দৈর্ঘ্যের একক, ভরের একক এবং সময়ের একক মৌলিক একক। **এই তিনটিকে ভিত্তি করে যে একক গঠন করা হয় বা মৌলিক একক হতে যে একক পাওয়া যায় তাকে লব্ধ বা যৌগিক একক বলে।** উদাহরণস্বরূপ ক্ষেত্রফল মাপতে দৈর্ঘ্যকে প্রস্থ দিয়ে গুণ করতে হয়। যেমন এক মিটার (m) দৈর্ঘ্য ও এক মিটার (m) প্রস্থবিশিষ্ট ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $= 1$ মিটার (m) $\times 1$ মিটার (m) $= 1$ বর্গ মিটার বা, $1\,m^2$।

এই বর্গ মিটারই ক্ষেত্রফল মাপার একক। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, দৈর্ঘ্যের একক জানা থাকলে, ক্ষেত্রফলের একক জানা যায়, তার জন্য নতুন কোনো এককের দরকার হয় না। অতএব ক্ষেত্রফলের একক যৌগিক একক। তেমনি আয়তন, বেগ, ত্বরণ, বল ইত্যাদির একক যৌগিক একক।

মৌলিক একক তিনটি; যথা—

(ক) দৈর্ঘ্যের একক (Unit of length),

(খ) ভরের একক (Unit of mass) এবং

(গ) সময়ের একক (Unit of time)।

এই এককগুলি হবে নির্দিষ্ট, সুবিধাজনক ও অপরিবর্তনীয় অর্থাৎ গরমকালে কোনো দূরত্ব যদি 1 মিটার হয়, তবে শীতকালেও তা 1 মিটার হবে। সময় কিংবা চাপ ইত্যাদির প্রভাবে তাদের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

কোনো কোনো সময় মৌলিক বা প্রাথমিক একক খুব বড় বা ছোট হওয়ায় ব্যবহারিক কাজের অনুপযোগী হয়ে পড়ে। এ সকল ক্ষেত্রে তাদের উপ-গুণিতক (ভগ্নাংশ) (Sub-multiples) বা গুণিতক (Multiples)-কে একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

কোনো কোনো ক্ষেত্রে সুবিধাজনক নতুন এককও ব্যবহৃত হয়। এর নাম ব্যবহারিক একক (Practical unit); যেমন কিলোমিটার (km), মাইক্রোন (μ), টন ইত্যাদি । অবশ্য প্রশ্নও জাগে বিজ্ঞানী আইনস্টাইন-এর আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে কোনো ভর, সময় ও দৈর্ঘ্য মহাজগতের সব স্থান হতে সমান হবে কী ?

অনুসন্ধানমূলক কাজ : আলোকবর্ষ প্রাথমিক একক না লব্ধ একক ? ব্যাখ্যা দাও।

শূন্য মাধ্যমে আলোক এক বছরে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে এক আলোকবর্ষ বলে। এর মাত্রা দৈর্ঘ্যের মাত্রার সমান। সুতরাং আলোকবর্ষ হলো প্রাথমিক একক।

একক লেখার পদ্ধতি

1960 সালে আন্তর্জাতিক সম্মেলনে গৃহীত একক এবং সংখ্যা লেখার কয়েকটি নিয়ম নিম্নে উল্লেখ করা হলো :

(১) একক একবচনে লিখতে হবে, যথা km, কিন্তু (kms নয়)

(২) এককের শেষে ফুলস্টপ দেয়া যাবে না, যেমন km, কিন্তু (km. নয়)

(৩) দশমিক চিহ্ন দেয়ার নিয়ম 1.9, তবে অনেকে 1·9 এভাবেও লেখে।

(৪) দীর্ঘ সংখ্যা পাঠে সুবিধার জন্যে দশমিক স্থান হতে আরম্ভ করে ডানে বা বামে একত্রে তিনটি করে সংখ্যা লিখতে হবে।

অশুদ্ধ	শুদ্ধ
24765·321	24,765·321

(৫) একক লেখার সময় প্রয়োজন মতো বিভক্তি চিহ্ন (/) যথা (N/m^2) একবার মাত্র ব্যবহার করা যাবে। তবে তা না করাই ভালো। যেমন N/m^2 এর স্থলে Nm^{-2} লেখা উচিত।

(৬) এককের দশমাংশগুলো নিম্নলিখিতভাবে লিখতে হবে; যেমন

ডেসি ($=10^{-1}$)d

সেন্টি ($=10^{-2}$) c ইত্যাদি।

(৭) সাধারণ ব্যবহারে মিনিট, ঘণ্টা, দিন, সপ্তাহ, মাস, বছর ইত্যাদি চললেও বিজ্ঞানের সঠিক পরিমাপে এ ধরনের একক ব্যবহার করা অনুচিত।

এককের পদ্ধতি
System of units

উপরের তিনটি প্রাথমিক একককে প্রকাশ করার জন্য তিনটি পদ্ধতি আছে। এছাড়া পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখার প্রয়োজন উপযোগী অতিরিক্ত এক বা একাধিক প্রমাণ রাশি ও তার একক যুক্ত করে পরিমাপের আরও দুটি পদ্ধতি প্রচলিত আছে। পদ্ধতিগুলো নিম্নে আলোচনা করা হলো।

(১) **সেন্টিমিটার-গ্রাম-সেকেন্ড পদ্ধতি বা মেট্রিক পদ্ধতি বা ফ্রেঞ্চ পদ্ধতি (Centimetre-Gramme-Second System or Metric system or French system) :** এ পদ্ধতিকে সংক্ষেপে **সি. জি. এস. (C. G. S.) বা সেমি. গ্রাম সে.** পদ্ধতি বলা হয়।

এখানে,

সি. অক্ষরটি বুঝাচ্ছে		সেন্টিমিটার—দৈর্ঘ্যের একক
জি.	" "	গ্রাম—ভরের একক
এস.	" "	সেকেন্ড—সময়ের একক

অর্থাৎ এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক সেন্টিমিটার, ভরের একক গ্রাম এবং সময়ের একক সেকেন্ড। এই পদ্ধতিকে দশমিক পদ্ধতি (Decimal system) বলে।

(২) মিটার-কিলোগ্রাম-সেকেন্ড পদ্ধতি (Metre-Kilogramme-Second system) : এই পদ্ধতিকে সংক্ষেপে এম. কে. এস. (M. K. S.) পদ্ধতি বলা হয়। এখানে,

এম. অক্ষরটি বুঝাচ্ছে মিটার—দৈর্ঘ্যের একক

কে. " " কিলোগ্রাম—ভরের একক

এস. " " সেকেন্ড—সময়ের একক

অর্থাৎ, এ পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক মিটার, ভরের একক কিলোগ্রাম এবং সময়ের একক সেকেন্ড।

(৩) আন্তর্জাতিক পদ্ধতির একক বা এস. আই. একক (International System of Units or S. I. Units) : বিভিন্ন দেশে ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতির এককের প্রচলন আছে। কোথাও এফ. পি. এস. পদ্ধতি, কোথাও সি. জি. এস. পদ্ধতি, আবার কোথাও এম. কে. এস. পদ্ধতি। পরিমাপের এই বৈষম্যের জন্য বাস্তব ক্ষেত্রে বেশ অসুবিধা হয়। এই অসুবিধা দূর করার উদ্দেশ্যে বিশ্বের বিভিন্ন দেশের বিজ্ঞানীরা পরিমাপের উপরোক্ত তিনটি পদ্ধতি ছাড়াও 1960 সালে পরিমাপের একটি নতুন পদ্ধতি প্রচলন করেন। এটাই আন্তর্জাতিক পদ্ধতির একক বা এস. আই. একক। পূর্বের এম. কে. এস. পদ্ধতির সাথে আরও কয়েকটি প্রমাণ রাশি ও উহার একক যোগ করে এই পদ্ধতি তৈরি করা হয়। এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত বিভিন্ন মৌলিক রাশি এবং তাদের একক ও প্রতীক নিচের তালিকায় উল্লেখ করা হলো। এই পদ্ধতিতে সর্বমোট নয়টি রাশি আছে।

ক্রমিক সংখ্যা	রাশি	একক	এককের প্রতীক
1.	দৈর্ঘ্য	মিটার	m
2.	ভর	কিলোগ্রাম	kg
3.	সময়	সেকেন্ড	s
4.	তাপমাত্রা	কেলভিন	K
5.	বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা	অ্যাম্পিয়ার	A
6.	কোণ (দ্বিমাত্রিক)	রেডিয়ান	rad
7.	কোণ (ত্রিমাত্রিক)	স্টেরিডিয়ান	Sr
8.	দীপন মাত্রা	ক্যান্ডেলা	cd
9.	পদার্থের পরিমাণ	মোল	mole

এটি প্রণিধানযোগ্য যে, আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে এই নয়টি মূল এককের সাহায্যে বস্তু জগতের পরিমাপ বিষয়ক সর্বপ্রকার একক পাওয়া যায়।

এ পদ্ধতিতে লব্ধ একক এবং তাদের প্রতীক নিম্নে বর্ণিত হলো।

ক্রমিক সংখ্যা	রাশি	একক	এককের প্রতীক
1.	বল	নিউটন	N
2.	শক্তি	জুল	J
3.	ক্ষমতা	ওয়াট	W
4.	তড়িতাধান	কুলম্ব DAT: 20-21	C
5.	বৈদ্যুতিক রোধ	ও'ম	Ω
6.	বৈদ্যুতিক বিভব	ভোল্ট	V
7.	কম্পাঙ্ক	হার্জ	Hz

(৪) M.K.S.A. পদ্ধতি : পরিমাপের পূর্বোক্ত পদ্ধতি ছাড়াও বলবিদ্যা, তড়িৎ ও চুম্বকের সমষ্টিগত প্রয়োজনে আর একটি নতুন পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এর নাম মিটার-কিলোগ্রাম-সেকেন্ড-অ্যাম্পিয়ার পদ্ধতি। সংক্ষেপে একে M.K.S.A.

System বা এম. কে. এস. এ. পদ্ধতি বলা হয়। এটা একটি সুসংগত পদ্ধতি। এটি চারটি প্রমাণ একক নিয়ে গঠিত, যথা—

ক্রমিক সংখ্যা	রাশি	একক	এককের প্রতীক
1.	দৈর্ঘ্য	মিটার	m
2.	ভর	কিলোগ্রাম	kg
3.	সময়	সেকেন্ড	s
4.	বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা	অ্যাম্পিয়ার	A

মৌলিক এককসমূহ, এগুলোর গুণিতক ও উপগুণিতক

আমরা জানি মৌলিক একক তিনটি; যথা—

(ক) দৈর্ঘ্যের একক,

(খ) ভরের একক এবং

(গ) সময়ের একক।

(ক) দৈর্ঘ্যের একক : সি. জি. এস. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক সেন্টিমিটার। 90 ভাগ প্লাটিনাম ও 10 ভাগ ইরিডিয়ামের সংকর নির্মিত দণ্ডের উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের মধ্যবর্তী দূরত্বকে আন্তর্জাতিক মিটার (International Proto-type Metre) বলে। আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ সংস্থার রক্ষণশালায় দণ্ডটি বিশেষভাবে রক্ষিত আছে। তাপমাত্রার বৃদ্ধি বা হ্রাসের প্রভাব যাতে এর উপর না পড়ে, সেজন্য দণ্ডটিকে 0°C তাপমাত্রায় রাখা হয়। এই দূরত্বের এক শ' ভাগের এক ভাগকে এক সেন্টিমিটার বলে।

এককসমূহের তালিকা

সি. জি. এস. এবং এম. কে. এস. ও আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের এককের তালিকা :

10 মিলিমিটার (মিমি)	= 1 সেন্টিমিটার (সেমি)	10 ডেকামিটার (Dm)	= 1 হেক্টোমিটার (হেমি)
10 সেন্টিমিটার	= 1 ডেসিমিটার (ডেমি)	10 হেক্টোমিটার (Hm)	= 1 কিলোমিটার (কিমি)
10 ডেসিমিটার (dm)	= 1 মিটার (মি)	10 কিলোমিটার (km)	= 1 মিরিয়া মিটার (মিরিয়ামি)
10 মিটার (m)	= 1 ডেকামিটার (ডেকামি)		

অন্যান্য ছোট, বড় ও নভোমণ্ডলীয় একক :

1 ফার্মি (fm)	= 10^{-13} সেমি	= 10^{-15} মিটার
1 এক্সরে ইউনিট (X.U.)	= 10^{-11} সেমি	= 10^{-13} মিটার
1 এ্যাংস্ট্রম (Å)	= 10^{-8} সেমি	= 10^{-10} মিটার
1 মিলিমাইক্রোন (mμ)	= 10^{-7} সেমি	= 10^{-9} মিটার
1 মাইক্রোন (μ) বা মাইক্রোমিটার	= 10^{-4} সেমি	= 10^{-6} মিটার
1 মেগামিটার (Mm)	= 10^{8} সেমি	= 10^{6} মিটার
1 এ্যাস্ট্রনোমিক্যাল ইউনিট (AU)	= $1{\cdot}495 \times 10^{8}$ মিটার = $9{\cdot}289 \times 10^{7}$ মাইল	
	= $1{\cdot}495 \times 10^{8}$ km (সূর্য ও পৃথিবীর গড় দূরত্ব)	
1 আলোকবর্ষ (ly) বা লাইট ইয়ার	= এক বছরে আলোকের অতিক্রান্ত দূরত্ব	
	= $\boxed{9{\cdot}46 \times 10^{15}\text{ মি}}$ = $9{\cdot}46 \times 10^{12}$ কিলোমিটার = $9{\cdot}46 \times 10^{15}$ km	
	= $5{\cdot}865 \times 10^{12}$ মাইল DAT: 17 - 18,20 - 21	
1 পারসেক (pc) = 3·26 আলোকবর্ষ	= $3{\cdot}083 \times 10^{13}$ কিলোমিটার = $3{\cdot}083 \times 10^{16}$ মিটার	
	= 3·2616 ly = 206265 au	
1 একক পারমাণবিক ভর (a.m.u.)	= $1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ কিলোগ্রাম	
1 হেক্টর	= 10^{4} m^2	
1 কুইন্টাল	= 100 kg	
1 টন	= 1000 kg	
1 বছর	= $3{\cdot}156 \times 10^{7}$ s	

কয়েকটি উপসর্গের (Prefixes) অর্থ :

	উপসর্গ	সংকেত	অর্থ	এককের কত গুণ
এককের উপগুণিতক	ডেসি (Deci)	d	$\frac{1}{10}$	10^{-1} (দশাংশ)
	সেন্টি (Centi)	c	$\frac{1}{10^2}$	10^{-2} (শতাংশ)
	মিলি (Milli)	m	$\frac{1}{10^3}$	10^{-3} (সহস্রাংশ)
	মাইক্রো (Micro)	μ	$\frac{1}{10^6}$	10^{-6} (নিযুতাংশ)
	ন্যানো (Nano)	n	$\frac{1}{10^9}$	10^{-9} অংশ
	পিকো (Pico)	p	$\frac{1}{10^{12}}$	10^{-12} "
	ফেমটো (Femto)	f	$\frac{1}{10^{15}}$	10^{-15} "
	অ্যাটো (Ato)	a	$\frac{1}{10^{18}}$	10^{-18} "
এককের গুণিতক	ডেকা (Deca)	da	$\frac{10}{1}$	10^1 (দশ গুণ)
	হেক্টো (Hecto)	h	$\frac{100}{1}$	10^2 (শত গুণ)
	কিলো (Kilo)	k	$\frac{1000}{1}$	10^3 (হাজার গুণ)
	মিরিয়া (Myria)	Ma	$\frac{10000}{1}$	10^4 (দশ হাজার গুণ)
	মেগা (Mega)	M	$\frac{1000000}{1}$	10^6 (দশ লক্ষ গুণ)
	গিগা (Giga)	G	$\frac{1000000000}{1}$	10^9 গুণ
	টেরা (Tera)	T	$\frac{1000000000000}{1}$	10^{12} গুণ
	পেটা (Peta)	P	$\frac{1000000000000000}{1}$	10^{15} গুণ
	এক্সা (Exa)	E	$\frac{1000000000000000000}{1}$	10^{18} গুণ
	জেট্টা (Zetta)	Z	$\frac{1000000000000000000000}{1}$	10^{21} গুণ
	ইয়োট্টা (Yotta)	Y	$\frac{1000000000000000000000000}{1}$	10^{24} গুণ

গাণিতিক উদাহরণ ১.১

১। এক টনে কত কিলোগ্রাম (kg) ?

আমরা জানি,

$$1 \text{ টন} = 2{,}240 \text{ পাউন্ড}$$
$$= 2{,}240 \times 453{\cdot}6 \text{ g}$$
$$= \frac{2{,}240 \times 453{\cdot}6}{1000} \text{ kg}$$
$$= 1{,}016 \text{ kg}$$

২। 1 গ্যালন কত ঘন মিটার (m^3)-এর সমান ?

আমরা জানি,

1 গ্যালন $= 277 \text{ inch}^3$ ও $1 \text{ inch} = 2{\cdot}54 \text{ cm}$

$\therefore \quad 1 \text{ inch}^3 = (2{\cdot}54 \text{ cm})^3 = 16{\cdot}39 \text{ cm}^3 = 16{\cdot}39 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

কাজেই, 1 গ্যালন $= 277 \times 16{\cdot}39 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 4{\cdot}54 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

৩। বলের একককে মৌলিক এককের মাধ্যমে প্রকাশ কর। [চ. বো. ২০১৫]

আমরা জানি,

বল, F = ভর × ত্বরণ = ma

এখানে ভর, m এর একক kg এবং ত্বরণ a এর একক ms^{-2}

সুতরাং F এর মৌলিক একক = $kg\ ms^{-2}$

হিসাব কর : X, Y এবং Z এই তিনটি ভৌত রাশির একক যথাক্রমে kgm^2s^{-3}, kgs^{-1} এবং ms^{-2} হলে X, Y এবং Z-এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

ধরা যাক, $X = KY^aZ^b$ ... ... (i)

যেখানে K একটি মাত্রাহীন ধ্রুবক, a ও b হলো সংখ্যাসূচক।

প্রশ্নানুযায়ী, X-এর মাত্রা = ML^2T^{-3}

Y-এর মাত্রা = MT^{-1}

এবং Z-এর মাত্রা = LT^{-2}

সমীকরণ (i)-এ এই মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$ML^2T^{-3} = M^aT^{-a}L^bT^{-2b} = M^aL^bT^{-a-2b}$$

সমীকরণ (i)-এর উভয় পক্ষের মাত্রা তুলনা করে পাই,

$a = 1, b = 2$

অতএব, নির্ণেয় সম্পর্ক $X = KYZ^2$

মৌলিক ও লব্ধ এককের মাত্রা ও মাত্রা সমীকরণ
Dimension and dimensional equation of fundamental and derived units

মাত্রা
Dimension

আমরা পূর্বেই আলোচনা করেছি যে উৎপত্তি অনুসারে রাশি দুই প্রকার—একটি **মৌলিক রাশি** এবং অপরটি **যৌগিক রাশি**। আমরা আরও জানি, যে সকল রাশি অন্য কোনো রাশির ওপর নির্ভর করে না, তাদেরকে মৌলিক রাশি বলে। এখন আমরা আলোচনা করব, কোনো রাশির **'মাত্রা'** বলতে কী বুঝি ? কোনো রাশির মাত্রার নিম্নলিখিত যে কোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

(১) কোনো একটি রাশি এবং তার মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য যে সংকেত ব্যবহার করা হয় তাকে উক্ত রাশির মাত্রা বলে।

উদাহরণস্বরূপ দৈর্ঘ্য একটি রাশি। ফুট বা সেমি বা মিটার তার মৌলিক একক। দৈর্ঘ্য এবং এর মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য 'L' সংকেত ব্যবহার করা হয়। এখানে L দৈর্ঘ্য বুঝায়। আবার ফুট বা সেমি বা মিটার এরাও প্রত্যেকে দৈর্ঘ্য প্রকাশ করে। সুতরাং 'L' অক্ষর দৈর্ঘ্য এবং এর মৌলিক এককের মধ্যে যোগসূত্র স্থাপনের একটি সংকেত। অতএব দৈর্ঘ্যের মাত্রা L।

(২) কোনো একটি প্রাকৃতিক রাশির মাত্রা উক্ত রাশি এবং তার মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

(৩) কোনো লব্ধ একক গঠন করতে মৌলিক এককগুলোকে যে ঘাতে উন্নীত করা হয়, সে ঘাতকে ওই লব্ধ এককের মাত্রা বলে।

মাত্রা সমীকরণ
Dimensional equation

পদার্থবিজ্ঞানের তিনটি মৌলিক রাশি হলো দৈর্ঘ্য, ভর এবং সময়। এদের মাত্রা যথাক্রমে L, M এব T। দৈর্ঘ্যকে L দ্বারা প্রকাশ করা হয় বলে দৈর্ঘ্য এক L-মাত্রিক রাশি, ক্ষেত্রফল হলো দৈর্ঘ্য × দৈর্ঘ্য = $L \times L = L^2$। অতএব ক্ষেত্রফল দুই L-মাত্রিক রাশি। অনুরূপভাবে, আয়তন হলো দৈর্ঘ্য × দৈর্ঘ্য × দৈর্ঘ্য = $L \times L \times L = L^3$। অতএব আয়তন হলো তিন L-মাত্রিক রাশি ইত্যাদি। এখানে [L], [L^2], [L^3]-কে **মাত্রিক বা মাত্রা সমীকরণ** (Dimensional equation) বলা হয়।

দৈর্ঘ্যের মাত্রা সমীকরণ = [L]। ভরকে M দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর মাত্রা সমীকরণ = [M]। সময়কে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। T এর মাত্রা সমীকরণ = [T]।

মাত্রা সমীকরণের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে।

যে সমীকরণ মৌলিক একক এবং লব্ধ এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে তাকে মাত্রা সমীকরণ বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ১.২

১। তড়িৎ প্রাবল্য E-এর মাত্রা সমীকরণ লিখ।

আমরা জানি, তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানের ওপর প্রযুক্ত বলকে তড়িৎ প্রাবল্য বলে। সুতরাং,

$E = \frac{F}{q}$, এখানে F প্রযুক্ত বল ও q আধান।

এখন, F এর মাত্রা = MLT^{-2} এবং q এর মাত্রা = AT

$\therefore \quad E = \frac{MLT^{-2}}{AT} = MLT^{-3}A^{-1} \qquad [\because q = it = AT]$

সুতরাং E এর মাত্রা সমীকরণ $[MLT^{-3}A^{-1}]$

২। দেখাও যে, কৌণিক ভরবেগের মাত্রা ও প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মাত্রা একই।

আমরা জানি,

কৌণিক ভরবেগ = $mv \times r$ (এখানে m = ভর, v = বেগ এবং r = ব্যাসার্ধ)

$= [MLT^{-1}] \times [L]$

$= [ML^2T^{-1}] \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

আবার, প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = \frac{E}{\upsilon} \qquad [\because E = h\upsilon]$

$= \frac{\text{শক্তি}}{\text{কম্পাঙ্ক}} = \frac{[ML^2T^{-2}]}{[T^{-1}]}$

$= [ML^2T^{-1}] \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে দেখা যায় যে কৌণিক ভরবেগের মাত্রা ও প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবকের মাত্রা অভিন্ন।

৩। যদি বল (F), দৈর্ঘ্য (L) এবং সময় (T) মৌলিক রাশি হয়, তবে ভরের মাত্রা নির্ণয় কর।

নিউটনের দ্বিতীয় গতি সূত্রানুসারে আমরা জানি,

বল = ভর × ত্বরণ

$\therefore \quad \text{ভর} = \frac{\text{বল}}{\text{ত্বরণ}}$

এখন, বলের মাত্রা = F, ত্বরণের মাত্রা = LT^{-2}

$\therefore \quad \text{ভরের মাত্রা} = \frac{F}{LT^{-2}} = FL^{-1}T^2$

মাত্রা সমীকরণের প্রয়োজনীয়তা

পদার্থবিজ্ঞানে মাত্রা সমীকরণের ভূমিকা অপরিসীম। নিম্নে এর ভূমিকা বা প্রয়োজনীয়তা উল্লেখ করা হলো :

(১) এক পদ্ধতির একককে অন্য পদ্ধতির এককে রূপান্তর করা যায়।
(২) সমীকরণের নির্ভুলতা যাচাই করা যায়।
(৩) বিভিন্ন রাশির সমীকরণ গঠন করা যায়।
(৪) কোনো ভৌত রাশির একক নির্ণয় করা যায়।
(৫) কোনো ভৌত সমস্যার সমাধান করা যায়।

সমমাত্রিক নীতি (Principle of dimensional homogeneity) :

কোনো সঠিক সম্পর্ক বা সমীকরণের দুটি দিকের মাত্রা সব সময় অভিন্ন হবে। এটিই সমমাত্রিক নীতি।

কাজ : একটি মাত্রাহীন ভৌত রাশির নাম লিখ এবং দেখাও যে রাশিটি মাত্রাহীন।

মাত্রাহীন ভৌত রাশিটি হলো সমতলিক কোণ (Plane angle) θ।

এখন কোণের সংজ্ঞানুযায়ী, আমরা জানি,

$\theta = \frac{\text{বৃত্তচাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}}$

বৃত্তচাপ ও ব্যাসার্ধ উভয় রাশিরই মাত্রা হলো দৈর্ঘ্যের মাত্রা [L]

$\therefore \text{কোণ } (\theta) = \frac{[L]}{[L]} = 1$

সুতরাং সমতলিক কোণ একটি মাত্রাহীন রাশি।

১.৭ ভৌত রাশির মান এক একক পদ্ধতি হতে অন্য একক পদ্ধতিতে রূপান্তর
Conversion of the value of a physical quantity from one unit to another unit

যদি কোনো ভৌত রাশির মান একটি একক পদ্ধতিতে জানা থাকে তবে সমমাত্রিক নীতি প্রয়োগ করে ও মাত্রা বিশ্লেষণের মাধ্যমে অন্য একটি একক পদ্ধতিতে রাশিটির মান নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ : SI এবং CGS পদ্ধতিতে বলের একক হলো যথাক্রমে Newton এবং dyne। 1 Newton বল কত dyne বলের সমান তা এখানে নির্ণয় করা হলো।

আমরা জানি, বলের মাত্রা সমীকরণ = $[MLT^{-2}]$

ধরা যাক, CGS পদ্ধতিতে ভর, দৈর্ঘ্য এবং সময়ের একক যথাক্রমে m_1, l_1 ও t_1 এবং SI পদ্ধতিতে ভর, দৈর্ঘ্য ও সময়ের একক যথাক্রমে m_2, l_2 ও t_2।

ধরা যাক, 1 Newton = n dyne

অতএব, বলের মাত্রা অনুযায়ী লেখা যায়,

$$1 \times m_2 l_2 t_2^{-2} = n \times m_1 l_1 t_1^{-2}$$

বা, $n = \left(\frac{m_2}{m_1}\right) \times \left(\frac{l_2}{l_1}\right) \times \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^{-2}$

বা, $n = \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ g}} \times \frac{10^2 \text{ cm}}{1 \text{ cm}} \times \left(\frac{1 \text{ s}}{1 \text{ s}}\right)^{-2}$ $[\because m_2 = 1 \text{ kg},\ m_1 = 1 \text{ g},\ l_2 = 1 \text{ m},\ l_1 = 1 \text{ cm},\ t_2 = 1 \text{ s} = t_1]$

বা, $n = 10^5$

$\therefore$ 1 Newton = 10^5 dyne

অর্থাৎ Newton এককে প্রকাশিত কোনো মানকে dyne এককে পরিবর্তন করার রূপান্তর গুণক (conversion factor) হলো $\frac{10^5 \text{ dyne}}{1 \text{ N}}$।

মাত্রা বিশ্লেষণ
Dimensional analysis

কোনো প্রাকৃতিক রাশির মাত্রাকে প্রাথমিক রাশিগুলির মাত্রায় প্রকাশ করাকে মাত্রা বিশ্লেষণ বলে।

উদাহরণ : পারদের ঘনত্ব 13.6 g cm^{-3}। যদি ভর kg-তে এবং দৈর্ঘ্য m-এ পরিমাপ করা হয়, তবে নতুন একক পদ্ধতিতে পারদের ঘনত্ব কত ?

এখন, ঘনত্বের একক g cm^{-3}; সুতরাং এর মাত্রা হচ্ছে $[ML^{-3}]$।

ধরা যাক, M_1, L_1 এবং M_2, L_2 যথাক্রমে g, cm এবং kg, m-কে প্রকাশ করে। অতএব, ওই দুই একক পদ্ধতিতে ঘনত্বের মাত্রা হবে $[M_1L_1^{-3}]$ এবং $[M_2L_2^{-3}]$। যদি ঘনত্বের সাংখ্যমান ওই দুই পদ্ধতিতে যথাক্রমে n_1 ও n_2 হয়, তবে লেখা যায়—

$$n_1 [M_1L_1^{-3}] = n_2 [M_2L_2^{-3}]$$

$$\therefore \quad n_2 = \frac{n_1 [M_1L_1^{-3}]}{[M_2L_2^{-3}]} = n_1 \times \left[\frac{M_1}{M_2}\right] \times \left[\frac{L_1}{L_2}\right]^{-3}$$

এখানে $n_1 = 13.6$

$$\therefore \quad n_2 = 13.6 \times \left[\frac{1 \text{ g}}{1 \text{ kg}}\right] \times \left[\frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right]^{-3}$$

$$= \left[\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ g}}\right] \times \left[\frac{1 \text{ cm}}{100 \text{ cm}}\right]^{-3}$$

$$= 13.6 \times \frac{1}{1000} \times 1000000$$

$$= 13.6 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৩

১। একটি বস্তুর ওপর 50 N বল ক্রিয়া করলে ওই বলের মান ডাইন এককে প্রকাশ কর।

আমরা জানি, SI পদ্ধতিতে বলের একক নিউটন (N) এবং CGS পদ্ধতিতে বলের একক ডাইন (dyne)।

বলের মাত্রা সমীকরণ, $F = [MLT^{-2}]$

$$\therefore \quad n_2 = n_1 \left[\frac{M_1}{M_2}\right]^x \left[\frac{L_1}{L_2}\right]^y \left[\frac{T_1}{T_2}\right]^z$$

$$= 50 \left(\frac{kg}{g}\right)^1 \left(\frac{m}{cm}\right)^1 \left(\frac{s}{s}\right)^{-2}$$

$$= 50 \times 1000 \times 100 \times 1 = 5 \times 10^6 \text{ dyne}$$

২। যদি ত্বরণের একক $9{\cdot}8$ ms^{-2} এবং বেগের একক 3×10^8 ms^{-1} ধরা হয়, তাহলে সময়ের একক কী হবে ?

আমরা জানি,

বেগের মাত্রা, $v = [LT^{-1}]$ এবং ত্বরণের মাত্রা, $a = [LT^{-2}]$

$$\therefore \quad \text{T এর মাত্রা} = \frac{[v]}{[a]} = \frac{3 \times 10^8}{9{\cdot}8}$$

$$= 3{\cdot}06 \times 10^7 \text{ s}$$

৩। মাত্রা বিশ্লেষণের সাহায্যে প্রমাণ কর যে, $\tau \propto \frac{nr^4}{l}$।

এখানে, τ = প্রতি একক পাকের জন্য মোচড় দ্বন্দ্ব, l = তারের দৈর্ঘ্য, r = তারের ব্যাসার্ধ এবং n = দৃঢ়তা গুণাঙ্ক

τ এর মাত্রা $= ML^2T^{-2}$, n এর মাত্রা $= ML^{-1}T^{-2}$, r ও l এর মাত্রা $= L$

অতএব, ডানপক্ষ $\frac{nr^4}{l}$-এর মাত্রা $= \frac{ML^{-1}T^{-2} \times L^4}{L}$

$= ML^2T^{-2}$ = বামপক্ষ

১.৮ সমীকরণের নির্ভুলতা যাচাই
Verification of accuracy of an equation

সমমাত্রিক নীতির সাহায্যে কোনো সমীকরণের উভয় দিকের মাত্রা বিশ্লেষণ করে আমরা একটি সমীকরণের মাত্রাগত নির্ভুলতা যাচাই করতে পারি।

উদাহরণ : একটি বস্তুর অতিক্রান্ত দূরত্ব, $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ সমীকরণটি মাত্রাগতভাবে নির্ভুল কিনা যাচাই করা হোক।

এখন, s এর মাত্রা = L, u এর মাত্রা = LT^{-1}, সময় t-এর মাত্রা = T এবং a-এর মাত্রা = LT^{-2}।

অতএব, বামদিকের মাত্রা = L এবং ডানদিকের দুটি রাশি মাত্রা ut এবং $\frac{1}{2}at^2$

ut এর মাত্রা $= LT^{-1} \times T = L$ এবং

$\frac{1}{2}at^2$ এর মাত্রা $= 1 \times LT^{-2} \times T^2 = L$

সুতরাং সমীকরণটির ডানদিকের মাত্রা = L

অতএব, বামদিকের মাত্রা = ডানদিকের মাত্রা

অর্থাৎ সমীকরণটি মাত্রাগতভাবে নির্ভুল।

১.৯ বিভিন্ন প্রাকৃতিক রাশির মধ্যে সম্পর্কযুক্ত যথাযথ সমীকরণ গঠন
Formation of appropriate equation using relation of different physical quantities

সমমাত্রিক নীতির সাহায্যে বিভিন্ন প্রাকৃতিক রাশির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায়। কোনো ভৌত রাশিকে যে সকল বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল তা জানা থাকলে ওই রাশিকে ওই সমস্ত বিষয়গুলোর সাথে সম্পর্কযুক্ত একটি সমীকরণ প্রকাশ করা যায়। তবে খেয়াল রাখতে হবে যেন সমীকরণের উভয় পার্শ্বের মাত্রা অবশ্যই সমান হয়। নিচে কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে আলোচনা করা হলো।

উদাহরণ ১। একটি ছোট ভারী বস্তুকে একটি নগণ্য ভরের অপ্রসারণযোগ্য সুতা দিয়ে বেঁধে ঝুলিয়ে দিলে সরল দোলক তৈরি হয়। আমরা জানি, এর দোলনকাল T নির্ভর করে ববের ভর m, দোলকের দৈর্ঘ্য l এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ g-এর ওপর। এখন এদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

ধরা যাক সম্পর্কটি হলো,

$$T = Km^x l^y g^z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.1)$$

এখানে K হলো মাত্রাহীন ধ্রুবক এবং x, y ও z হলো সংখ্যা সূচক।

এখন T এর মাত্রা $= t$, m-এর মাত্রা = M, l-এর মাত্রা = L ও g-এর মাত্রা $= LT^{-2}$।

এই মাত্রাগুলো সমীকরণ (1.1) এ বসিয়ে পাই,

$$T = 1 \,.\, m^x L^y (LT^{-2})^z$$

বা, $$M^0L^0T^1 = M^xL^{y+z}T^{-2z} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.2)$$

সমীকরণ (1.2)-এর উভয় দিকের মাত্রা তুলনা করা যায়।

ভরের মাত্রা থেকে পাওয়া যায়, $x = 0$

সময়ের মাত্রা থেকে পাওয়া যায়, $1 = -2z$

সুতরাং $z = -\frac{1}{2}$

দৈর্ঘ্যের মাত্রা থেকে পাওয়া যায়, $0 = y + z$

বা, $y = -z = \frac{1}{2}$

এই মানগুলিকে সমীকরণ (1.1)-এ বসিয়ে পাই,

$$T = Km^0 l^{1/2} g^{-\frac{1}{2}}$$

বা, $$T = K\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.3)$$

এই সম্পর্ক থেকে বোঝা যায় যে, (ক) m এর ওপর T নির্ভর করে না (খ) $T \propto \sqrt{l}$ এবং (গ) $T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$। এগুলিই হচ্ছে সরল দোলকের সূত্রাবলি।

উল্লেখ্য, K ধ্রুবকটির মান মাত্রা বিশ্লেষণ থেকে জানা যায় না।

উদাহরণ ২। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে জানা যায় যে, কোনো গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ, v মাধ্যমটির ঘনত্ব, ρ এবং স্থিতিস্থাপকতা E-এর ওপর নির্ভর করে। মাত্রা বিশ্লেষণের মাধ্যমে এদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাক, $v \propto \rho^x$ এবং $v \propto E^y$

সুতরাং, $v \propto \rho^x E^y = K\rho^x E^y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

[এখানে K হলো একটি মাত্রাহীন ধ্রুবক]

আমরা জানি, v, ρ ও E এর মাত্রা হলো,

$$v = LT^{-1},\ \rho = ML^{-3},\ E = ML^{-1}T^{-2}$$

সমীকরণ (i)-এর উভয় পক্ষে মাত্রা বসিয়ে পাই,

$$[LT^{-1}] = [ML^{-3}]^x\,[ML^{-1}T^{-2}]^y$$
$$= [M^{x+y}\,L^{-3x-y}\,T^{-2y}] \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

সমীকরণ (ii) এর উভয় পক্ষের M, L, T এর মাত্রা সমান ধরে পাই,

$x + y = 0$ $\qquad$ $-3x - y = 1$ $\qquad$ এবং $\qquad$ $-2y = -1$

বা, $x = -y$ $\qquad$ বা, $-3(-y) - y = 1$ $\qquad$ $\therefore\ y = \frac{1}{2}$

$\therefore\ x = -\frac{1}{2}$ $\qquad$ বা, $+3y - y = 1$

বা, $2y = 1$

$y = \frac{1}{2}$

সমীকরণ (i)-এ x ও y এর মান বসিয়ে পাই,

$$v = K\rho^{-\frac{1}{2}}E^{\frac{1}{2}} = K\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

পরীক্ষা থেকে $K = 1$ পাওয়া যায় ।

অতএব, গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ, $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

উদাহরণ ৩। একটি টানা তারের আড় কম্পাঙ্ক (n), তারের টান (T), তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর (m)-এর ওপর নির্ভর করে। তারের কম্পাঙ্কের সাথে অন্যান্য রাশিগুলির সম্পর্ক স্থাপন কর।

মনে করি, সম্পর্কটি হলো,

$$n \propto T^x l^y m^z = KT^x l^y m^z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখন n এর মাত্রা T^{-1}, টান T এর মাত্রা = বলের মাত্রা

$= MLT^{-2}$, l এর মাত্রা $= [L]$ এবং m এর মাত্রা $= [ML^{-1}]$

$$\therefore \quad [T^{-1}] = [MLT^{-2}]^x [L]^y [ML^{-1}]^z$$

$$= [M^{x+z} L^{x+y-z} T^{-2x}] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

সমীকরণ (ii) এর উভয় দিকের মাত্রা তুলনা করে পাই,

$x + z = 0$ $\qquad$ $x + y - z = 0$

বা, $x = -z$ $\qquad$ বা, $-z + y - z = 0$

আবার, $-2x = -1$ $\qquad$ বা, $y = 2z$

$\therefore \quad x = \frac{1}{2}$

বা, $z = -\frac{1}{2}$, $y = 2 \times -\frac{1}{2} = -1$

সমীকরণ (i) এ x, y ও z এর মান বসিয়ে পাই,

$$n = KT^{\frac{1}{2}}l^{-1}m^{-\frac{1}{2}} = \frac{K}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

পরীক্ষার ফলাফল থেকে K এর মান পাওয়া যায়, $K = \frac{1}{2}$

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

উদাহরণ ৪। গতিবেগ (v), সময় (T) এবং বল (F)-কে যদি মৌলিক রাশি ধরা হয়, তবে ভরের মাত্রা কী হবে ?

আমরা জানি,

গতিবেগের মাত্রা, $[v] = LT^{-1}$, সময়ের মাত্রা, $[t] = T$, বলের মাত্রা, $[F] = MLT^{-2}$

এই তিনটি রাশি থেকে L ও T অপনয়ন (elimination) করলে ভরের মাত্রা M পাওয়া যায়

অতএব, ভরের মাত্রা, $[m] = M = \frac{MLT^{-2}}{LT^{-1} \times T^{-1}} = \frac{[F]}{[v]\,[t]^{-1}}$

$$= [F]\,[v]^{-1}[t] = Fv^{-1}T$$

অর্থাৎ, গতিবেগ, সময় ও বলকে যদি মৌলিক রাশি ধরা হয়, তবে ভরের মাত্রা = $Fv^{-1}T$

মাত্রা সমীকরণের সীমাবদ্ধতা
Limitations of dimensional equation

মাত্রা সমীকরণের বহুল প্রয়োগ থাকলেও এর কিছু সীমাবদ্ধতা রয়েছে, যেমন—

(১) কোনো সম্পর্ক বা সমীকরণে উপস্থিত ধ্রুবকের মান নির্ণয় করা সম্ভব নয়। যেমন, সরল দোলনকাল $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, সম্পর্কটির ধ্রুবক 2π মাত্রা বিশ্লেষণের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

(২) কোনো সমীকরণে যদি মাত্রাযুক্ত ধ্রুবক থাকে, তবে সম্পর্কটি নির্ণয় করা সম্ভব নয়। যেমন নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রে, $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ সমীকরণটিতে G হলো মাত্রাযুক্ত ধ্রুবক। এর উপস্থিতির জন্য মাত্রা বিশ্লেষণের মাধ্যমে সম্পর্কটি নির্ণয় করা যায় না।

(৩) কোনো সম্পর্কে যদি একটি মাত্রাহীন রাশি থাকে তবে সম্পর্কটির অবশিষ্ট রাশিগুলোর সঙ্গে মাত্রাহীন রাশিটির সম্পর্ক মাত্রা বিশ্লেষণের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। যেমন বল F দ্বারা কোনো বস্তুর ওপর কৃত কাজ W বল ও সরণ–এর মান এবং বল ও সরণের দিকের মধ্যবর্তী কোণের ওপর করে। অর্থাৎ $W = Fs\cos\theta$। এখন θ মাত্রাহীন রাশি হওয়ায় সম্পর্কটি মাত্রা বিশ্লেষণের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

(৪) কেবল L, M ও T এই তিনটি মৌলিক রাশির ওপর ভিত্তি করে আমরা মাত্রা সমীকরণ গঠন করি। কিন্তু কোনো অজ্ঞাত রাশি যদি এই তিন রাশি অপেক্ষা বেশি রাশির ওপর নির্ভরশীল হয়, তবে সেই অজ্ঞাত রাশির মাত্রা সমীকরণ আমরা গঠন করতে পারি না। যেমন তাপ পরিবাহিতাঙ্কের মাত্রা সমীকরণ কেবল L, M ও T দ্বারা প্রকাশ করা যায় না, কারণ এটি আরও একটি রাশি যথা তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল।

(৫) এছাড়া মাত্রিক পদ্ধতিতে কোনো মাত্রাবিহীন রাশি যথা 'ধ্রুবক'-এর মান বের করা যায় না।

(৬) যে সমস্ত সমীকরণে সূচকীয়, ত্রিকোণমিতিক (যেমন $\sin\theta$, $\cos\theta$ ইত্যাদি) এবং লগারিদমিক রাশি থাকে সেই সমস্ত সমীকরণকে মাত্রা বিশ্লেষণের সাহায্যে প্রতিষ্ঠা করা যায় না।

(৭) মাত্রা বিশ্লেষণ পদ্ধতি স্কেলার ও ভেক্টর রাশি চিহ্নিত করতে পারে না।

(৮) একই মাত্রার প্রাকৃতিক রাশি একই নাও হতে পারে। যেমন টর্ক, কাজ এবং শক্তি—এদের মাত্রা একই অর্থাৎ $[ML^2T^{-2}]$। কিন্তু এরা একই প্রকৃতির রাশি নয়। কাজ ও শক্তি স্কেলার রাশি, পক্ষান্তরে টর্ক ভেক্টর রাশি।

কয়েকটি প্রাকৃতিক রাশি, সম্পর্ক, মাত্রা ও এস.আই. একক

ক্রমিক নম্বর	প্রাকৃতিক রাশি	সম্পর্ক	মাত্রা	এস. আই. একক
১।	দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, উচ্চতা, ব্যাসার্ধ, সরণ, দূরত্ব ইত্যাদি (Length, width, height, radius, displacement, distance etc.)		$[L]$	মিটার (m)
২।	ভর (mass)		$[M]$	কিলোগ্রাম (kg)
৩।	সময় (time)		$[T]$	সেকেন্ড (s)
৪।	ক্ষেত্রফল (area)	$(\text{দৈর্ঘ্য})^2$	$[L^2]$	m^2
৫।	আয়তন (volume)	$(\text{দৈর্ঘ্য})^3$	$[L^3]$	m^3
৬।	ঘনত্ব (density)	$\frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$	$[ML^{-3}]$	kgm^{-3}
৭।	গতিবেগ (velocity)	$\frac{\text{দূরত্ব}}{\text{সময়}}$	$[LT^{-1}]$	ms^{-1}
৮।	ত্বরণ (acceleration)	$\frac{\text{বেগের পরিবর্তন}}{\text{সময়}}$	$[LT^{-2}]$	ms^{-2}
৯।	বল (force)	ভর × ত্বরণ	$[MLT^{-2}]$	নিউটন (N)
১০।	চাপ (pressure)	$\frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$	$[ML^{-1}T^{-2}]$ MAT: 19-20	পাসক্যাল (Pa) $= Nm^{-2}$
১১।	কার্য বা শক্তি (work or energy)	বল × সরণ	$[ML^2T^{-2}]$	জুল (J)
১২।	ক্ষমতা (power)	$\frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}}$	$[ML^2T^{-3}]$	ওয়াট (W)
১৩।	ভরবেগ (momentum)	ভর × গতিবেগ	$\boxed{[MLT^{-1}]}$	$kgms^{-1}$

MAT: 17-18

ক্রমিক নম্বর	প্রাকৃতিক রাশি	সম্পর্ক	মাত্রা	এস. আই. একক
১৪।	বলের ঘাত (impulse of force)	বল × সময়	$[MLT^{-1}]$	$kgms^{-1}$
১৫।	বলের ভ্রামক (moment of force)	বল × দূরত্ব	$[ML^2T^{-2}]$	kgm^2s^{-2}
১৬।	জড়তার ভ্রামক (moment of inertia)	ভর × (দূরত্ব)^2	$[ML^2]$	kgm^2
১৭।	চক্রগতির ব্যাসার্ধ (radius of gyration)	$\left(\frac{\text{জড়তার ভ্রামক}}{\text{ভর}}\right)^{\frac{1}{2}}$	$[L]$	m
১৮।	কোণ (angle)	$\frac{\text{চাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}}$	মাত্রাহীন রাশি	রেডিয়ান (rad)
১৯।	ঘনকোণ (solid angle)	$\frac{\text{ক্ষেত্রফল}}{(\text{দূরত্ব})^2}$	মাত্রাহীন রাশি	স্টেরেডিয়ান (steradian)
২০।	মহাকর্ষীয় প্রাবল্য (gravitational intensity)	$\frac{\text{বল}}{\text{ভর}}$	$[LT^{-2}]$	Nkg^{-1}
২১।	মহাকর্ষীয় বিভব (gravitational potential)	$\frac{\text{কাজ}}{\text{ভর}}$	$[L^2T^{-2}]$	Jkg^{-1}
২২।	কৌণিক ভরবেগ (angular momentum)	রৈখিক ভরবেগ × দূরত্ব	$[ML^2T^{-1}]$	kgm^2s^{-1}
২৩।	বেগের নতিমাত্রা (velocity gradient)	$\frac{\text{বেগের পরিবর্তন}}{\text{দূরত্ব}}$	$[T^{-1}]$	s^{-1}
২৪।	পীড়ন (stress)	$\frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$	$[ML^{-1}T^{-2}]$	$kgm^{-1}s^{-2}$ বা Nm^{-2}
২৫।	বিকৃতি (strain)	$\frac{\text{দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}$	মাত্রাহীন	—
২৬।	স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (modulus of elasticity)	$\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$	$[ML^{-1}T^{-2}]$	Nm^{-2}
২৭।	পয়সন অনুপাত (Poisson's ratio)	$\frac{\text{পার্শ্বীয় বিকৃতি}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$	মাত্রাহীন	—
২৮।	অভিকর্ষজ ত্বরণ (acceleration due to gravity)	$\frac{\text{মহাকর্ষীয় ধ্রুবক} \times \text{পৃথিবীর ভর}}{(\text{পৃথিবীর ব্যাসার্ধ})^2}$	$[LT^{-2}]$	ms^{-2}
২৯।	পৃষ্ঠটান (surface tension)	$\frac{\text{বল}}{\text{দৈর্ঘ্য}}$	$[MT^{-2}]$	Nm^{-1} বা kgs^{-2}
৩০।	সান্দ্রতাঙ্ক (co-efficient of viscosity)	$\frac{\text{বল/ক্ষেত্রফল}}{\text{বেগের পরিবর্তন/দূরত্ব}}$	$[ML^{-1}T^{-1}]$	Nsm^{-2} বা Pas^{-1}
৩১।	আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity)	$\frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সমআয়তন পানির ভর}}$	মাত্রাহীন রাশি	—

ক্রমিক নম্বর	প্রাকৃতিক রাশি	সম্পর্ক	মাত্রা	এস. আই. একক
৩২।	কম্পাঙ্ক (frequency)	ঘটনা সংখ্যা / সময়	$[T^{-1}]$	Hertz (Hz) $= s^{-1}$
৩৩।	পর্যায়কাল (time period)	সময়	$[T]$	s
৩৪।	তাপ (heat)	—	—	J
৩৫।	তাপমাত্রা (temperature)	—	$[\theta]$	কেলভিন (K)
৩৬।	আপেক্ষিক তাপ (specific heat)	তাপশক্তি / ভর × তাপমাত্রার পার্থক্য	$[L^2T^2\theta^{-1}]$	$Jkg^{-1}K^{-1}$
৩৭।	লীন তাপ (latent heat)	তাপশক্তি / ভর	$[L^2T^{-2}]$	Jkg^{-1}
৩৮।	তাপ ধারকত্ব (thermal capacity)	শোষিত তাপশক্তি / তাপমাত্রা বৃদ্ধি	$[MKL^2T^{-2}\theta^{-1}]$	JK^{-1}
৩৯।	তাপ পরিবাহিতাঙ্ক (thermal conductivity)	তাপশক্তি × বেধ / ক্ষেত্রফল × তাপমাত্রার পার্থক্য × সময়	$[MLT^{-3}\theta^{-1}]$	$Wm^{-1}K^{-1}$
৪০।	তাপমাত্রার নতিমাত্রা (temperature gradient)	তাপমাত্রার পরিবর্তন / দূরত্ব	$[\theta L^{-1}]$	$m^{-1}K$
৪১।	এনট্রপি (entropy)	তাপ / উষ্ণতা	$[ML^2T^{-2}\theta^{-1}]$	JK^{-1}
৪২।	মোলার গ্যাস ধ্রুবক (molar gas constant)	কাজ বা শক্তি / মোল সংখ্যা × উষ্ণতা	$[ML^2T^2]$	$Jmole^{-1}K^{-1}$
৪৩।	টর্ক (torque)	বল × বাহুর দৈর্ঘ্য	$[ML^2T^{-2}]$	Nm
৪৪।	বোলজম্যান ধ্রুবক (Boltzmann's constant)	শক্তি / উষ্ণতা	$[ML^2T^{-2}\theta^{-1}]$	JK^{-1}
৪৫।	তড়িৎ আধান (electric charge)	তড়িৎ প্রবাহমাত্রা × সময়	$[IT]$	কুলম্ব (C)
৪৬।	তড়িৎ প্রবাহমাত্রা (electric current)	—	$[I]$	অ্যাম্পিয়ার (A)
৪৭।	তড়িৎ বিভব (electric potential)	কাজ / আধান	$[ML^2T^{-3}I^{-1}]$	JC^{-1}
৪৮।	তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য (electric field intensity)	বল / আধান	$[MLT^{-3}I^{-1}]$	NC^{-1} বা Vm^{-1}
৪৯।	প্রবাহ ঘনত্ব (current density)	প্রবাহমাত্রা / প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল	$[IL^{-2}]$	Am^{-2}
৫০।	তড়িৎ রোধ (electric resistance)	ক্ষমতা / (প্রবাহমাত্রা)^2	$[ML^2T^{-3}I^{-2}]$	ohm (Ω)
৫১।	তড়িৎ রোধাঙ্ক (electrical resistivity)	তড়িৎ রোধ × প্রস্থচ্ছেদ / দৈর্ঘ্য	$[ML^3T^{-3}I^{-2}]$	ohm-m

ক্রমিক নম্বর	প্রাকৃতিক রাশি	সম্পর্ক	মাত্রা	এস. আই. একক
৫২।	তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক (electric dipole moment)	আধান × দূরত্ব	[ITL]	Cm
৫৩।	ধারকত্ব (capacitance)	$\frac{\text{আধান}}{\text{বিভব পার্থক্য}}$	$[M^{-1}L^{-2}T^4I^2]$	Farad (F)
৫৪।	স্টিফান ধ্রুবক (Stefan's constant)	$\frac{\text{বিকীর্ণ তাপ}}{\text{ক্ষেত্রফল} \times \text{সময়} \times (\text{উষ্ণতা})^4}$	$MLT^{-3}\theta^{-4}$	$Wm^{-2}K^{-4}$
৫৫।	চৌম্বক মেরুশক্তি (magnetic pole strength)	$\frac{\text{চৌম্বক ভ্রামক}}{\text{দৈর্ঘ্য}}$	$[IL^{-1}]$	A-m
৫৬।	স্বাবেশাঙ্ক (self inductance)	$\frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{প্রবাহমাত্রা পরিবর্তনের হার}}$	$[ML^2T^{-2}I^{-2}]$	henry (H)
৫৭।	চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক (magnetic dipole moment)	$\frac{\text{প্রবাহমাত্রা} \times \text{ক্ষেত্রফল}}{\text{চৌম্বক দৈর্ঘ্য} \times \text{মেরু শক্তি}}$	$[IL^2]$	$A\text{-}m^2$
৫৮।	চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব (magnetic flux density)	$\frac{\text{বল}}{\text{প্রবাহমাত্রা} \times \text{দৈর্ঘ্য}}$	$[MT^2I^{-1}]$	Wbm^{-2} (Tesla)
৫৯।	চৌম্বক ফ্লাক্স (magnetic flux)	চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব × ক্ষেত্রফল	$[ML^2T^{-2}I^{-1}]$	Wb
৬০।	কৌণিক বেগ (angular velocity)	ω	$[T^{-1}]$	rad s^{-1}
৬১।	কৌণিক ত্বরণ (angular acceleration)	α	$[T^{-2}]$	rads^{-2}
৬২।	পৃষ্ঠ শক্তি (surface energy)	E	$[MT^{-2}]$	Jm^{-2} বা Nm^{-1}
৬৩।	তরঙ্গের তীব্রতা (intensity of wave)	শক্তি ঘনত্ব × তরঙ্গ বেগ	$[MLT^{-3}]$	$Jm^{-2}s^{-1}$ বা Wm^{-2}

গাণিতিক উদাহরণ ১.৪

১। নিউটনের সূত্র অনুসারে গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ, $v = \sqrt{\frac{P}{D}}$, এখানে P = গ্যাসীয় চাপ, এবং D = ঘনত্ব। মাত্রা বিবেচনায় সমীকরণটি সঠিক কি-না যাচাই কর।

বামপক্ষ, $v = [LT^{-1}]$

ডানপক্ষ, $\sqrt{\frac{P}{D}} = \left[\frac{ML^{-1}T^{-2}}{ML^{-3}}\right]^{\frac{1}{2}}$

$= [LT^{-1}]$

সুতরাং, মাত্রা বিবেচনায় সমীকরণটি সঠিক।

২। মাত্রা বিবেচনায় দেখাও যে, নিচের সমীকরণটি সঠিক :

$$Fs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

বামপক্ষ, $Fs = [MLT^{-2}] \times [L] = [ML^2T^{-2}]$

ডানপক্ষ, $\frac{1}{2}mv^2 = [M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$

$\frac{1}{2}mu^2 = [M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$

সুতরাং, মাত্রা বিবেচনায় সমীকরণটি সঠিক।

১.১০ পরিমাপের মূলনীতি
Basic principle of measurements

আমরা জানি কোনো কিছুর মাপ-জোখের নাম পরিমাপ। পরিমাপ ছাড়া কোনো রাশি সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান লাভ করা সম্ভব নয়। প্রকৃত প্রস্তাবে পদার্থবিজ্ঞানের মূল ভিত্তি হলো বিভিন্ন রাশির পরিমাপ গ্রহণ। এজন্য পদার্থবিজ্ঞানকে **পরিমাপবিজ্ঞান** বলে।

কোনো রাশি সম্বন্ধে আমরা দুভাবে জ্ঞান লাভ করতে পারি—একটি **গুণগত** ও অন্যটি **পরিমাণগত**। বস্তু ও শক্তির বৈশিষ্ট্যকে আমরা ইন্দ্রিয়াদির সাহায্যে অনুভব করতে পারি ও ভাষায় প্রকাশ করতে পারি। বস্তু ও শক্তি সম্বন্ধে এটাই আমাদের গুণগত জ্ঞান। কিন্তু এদের সম্বন্ধে পরিমাণগত জ্ঞান লাভ করতে হলেই পরিমাপের একান্ত প্রয়োজন এবং এই পরিমাপের জন্য মাপকাঠির আবশ্যক।

কোনো একটি প্রাকৃতিক রাশি পরিমাপ করতে হলে তার একটি নির্দিষ্ট ও সুবিধাজনক অংশ বা খণ্ডকে আদর্শ (Standard) **হিসেবে ধরে নিয়ে সেই রাশির পরিমাপ করা হয় এবং সর্বত্র ওই নির্দিষ্ট অংশেরই প্রচলন করা হয়। পরিমাপের এই আদর্শকে ওই রাশির একক বা মাপকাঠি বলে।** যদি বলা হয় একটি কামরা 20 মিটার লম্বা, তবে আমরা বুঝি যে **মিটার** নামক একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যকে আদর্শ হিসেবে ধরে নেয়া হয়েছে, যার তুলনায় কামরাটি 20 গুণ লম্বা। আবার যদি বলা হয় একটি বস্তুর ভর 10 কিলোগ্রাম, তবে বুঝতে হবে যে, **কিলোগ্রাম** নামক একটি নির্দিষ্ট ভরকে আদর্শ হিসেবে ধরে নেয়া হয়েছে যার তুলনায় বস্তুর মোট ভর 10 গুণ। সুতরাং **একটি রাশির মধ্যে তার একক যতবার থাকবে সেই সংখ্যাই হবে ওই রাশির মাপ নির্দেশক এবং যে কোনো রাশির পরিমাপ নিতে হলে দুটি জিনিসের প্রয়োজন। একটি হলো সংখ্যা, অপরটি হলো একক।** একটি ছাড়া অপরটি অর্থহীন। যেমন রেশন ব্যাগে 10 কিলোগ্রাম চাউল আছে। এখানে ভর একটি রাশি, '10' একটি সংখ্যা এবং 'কিলোগ্রাম' একক। কিন্তু যদি বলা যায় রেশন ব্যাগে চাউলের ভর 10, তবে তার কোনো অর্থ হয় না। শুধু সংখ্যা দ্বারা রাশি প্রকাশ করা যায় না, এককও বলতে হয়। সুতরাং

রাশির মাপ = সংখ্যা × একক। এটিই হলো পরিমাপের মূলনীতি।

১.১১ পর্যবেক্ষণ ও পরীক্ষণের ক্রমবিকাশ এবং গুরুত্ব
Successive development of observations and experiments and their importance

বিজ্ঞান ও প্রযুক্তির যে সমৃদ্ধি আজ আমরা প্রত্যক্ষ করছি তা যুগে যুগে বিজ্ঞানীদের বিভিন্ন ক্ষেত্রে অবদানের ফসল। প্রাচীনকালে ভৌত বিজ্ঞানের বিকাশে গ্রিকদের একচ্ছত্র আধিপত্য ছিল। **থেলেস** (Thales খ্রি. পূ. 622–569) সূর্যগ্রহণ সম্পর্কে ভবিষ্যদ্বাণীর জন্য বিখ্যাত। বিভিন্ন পর্যবেক্ষণে, উদ্ভাবনে এবং বিজ্ঞানের ক্রমবিকাশের অগ্রযাত্রায় যাদের অবদান চিরস্মরণীয় এমন কয়েকজন বরেণ্য বিজ্ঞানীদের অবদান সম্বন্ধে আলোচনা করা হলো।

পিথাগোরাস (খ্রি. পূ. 560–480) : পিথাগোরাস জ্যোতির্বিদ্যা, গণিত, শব্দবিজ্ঞান বিষয়ে অবদানের জন্য বিখ্যাত। তিনি এবং তাঁর অনুসারীরা বিশ্বাস করতেন যে, গাণিতিক সূত্রের সাহায্যে সবকিছুই প্রকাশ করা যেতে পারে। খ্রি. পূ. চতুর্থ শতকে **ইউক্লিড** (Euclid) জ্যামিতি ও আলোকবিজ্ঞানের অনেক মূল্যবান গবেষণালব্ধ তথ্য প্রদান করেন।

আর্কিমিডিস (খ্রি. পূ. 287–212) : খ্রি. পূ. তৃতীয় শতকে **আর্কিমিডিস (Archimedes) লিভারের নীতি ও উদস্থিতিবিদ্যার সূত্র আবিষ্কার করেন।** তিনি ধাতুর ভেজাল নির্ণয়, গোলকীয় দর্পণের সাহায্যে সূর্য রশ্মি কেন্দ্রীভূত করে আগুন ধরানোর কৌশল উদ্ভাবন করেন। লিভারের নীতিসহ কোনো বস্তুর ওপর ক্রিয়াশীল ঊর্ধ্বমুখি বলের সূত্রও তিনি আবিষ্কার করেন।

বিজ্ঞানের ইতিহাস পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে, আর্কিমিডিসের পরে কয়েক শতাব্দী বিজ্ঞানের তেমন কোনো উল্লেখযোগ্য উন্নতি হয়নি। এ সময়ে বিজ্ঞান চর্চায় এক ধরনের স্থবিরতা লক্ষ করা যায়।

আধুনিক বিজ্ঞানের ক্রমবিকাশের ধারা শুরু
Beginning of successive development of modern science

গ্যালিলিও (Galileo 1564—1642) : 1589 খ্রিস্টাব্দে ইতালীর গণিতবিদ ও পদার্থ বিজ্ঞানী গ্যালিলিও (Galileo) **মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর বিভিন্ন তথ্য-উপাত্ত সংগ্রহ করে তিনটি সূত্র আবিষ্কার করেন।** এগুলোকে পড়ন্ত বস্তুর সূত্র বলা হয়। তিনি স্থিতিবিদ্যা ও গতিবিদ্যার ওপর যথেষ্ট অবদান রাখেন। **তাঁর হাত ধরেই আধুনিক বিজ্ঞানের সূচনা হয়।**

1610 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্যালিলিও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে বহুগুণে বিবর্ধিত করে দেখা যায়। এটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা অধিক বিবর্ধন ক্ষমতার অধিকারী। **গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ যন্ত্রও আবিষ্কার করেন।** 1610 খ্রিস্টাব্দে তিনি নব আবিষ্কৃত দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Telescope) ব্যবহার করে বৃহস্পতি গ্রহের 8টি উপগ্রহ আবিষ্কার করেন। **তিনি পানি উত্তোলনের যন্ত্র, উদস্থিতি নিক্তি, বায়ু থার্মোস্কোপ আবিষ্কার করেন।**

সর্বকালের শ্রেষ্ঠ বিজ্ঞানী আইনস্টাইন গ্যালিলিওকে আধুনিক বিজ্ঞানের চমক হিসেবে আখ্যায়িত করেছেন। তিনি সরণ, গতি, ত্বরণ, সময়ের সংজ্ঞা প্রদানসহ পড়ন্ত বস্তুর সূত্র আবিষ্কার করেন। তিনি পড়ন্ত বস্তুর সূত্র প্রদান করেন এবং দেখান যে পড়ন্ত বস্তুর দ্রুতি এর ভরের ওপর নির্ভরশীল নয়। তিনি সৃতিবিদ্যার (Kinematics) ভিত্তি স্থাপন করেন।

নিউটন (Newton, 1642—1727) : বস্তু কেন মাটিতে পড়ে ? মহাবিশ্বে সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ, নক্ষত্র ইত্যাদির গতিবিধি সম্পর্কেও প্রাচীনকাল থেকেই মানুষের কৌতূহল ছিল। সপ্তদশ শতাব্দী পর্যন্ত মানুষের ধারণা ছিল যে বস্তুর মাটিতে

পতিত হওয়া বস্তুর স্বাভাবিক ঘটনা। তিনি স্বর্গীয় বস্তুসমূহের গতিবিধি সম্পর্কে প্রথমে মতবাদ ব্যক্ত করেন। দ্বিতীয় শতাব্দীর দিকে গ্রিক জ্যোতির্বিদ টলেমি ভূ-কেন্দ্রিক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। এ তত্ত্ব অনুসারে স্থির পৃথিবীকে কেন্দ্র করে সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ, নক্ষত্র আবর্তনরত। পঞ্চদশ শতাব্দীতে জ্যোতির্বিদ **কোপারনিকাস 'সূর্যকেন্দ্রিক' তত্ত্ব দেন।** এই তত্ত্বে সূর্যকে মহাজগতের কেন্দ্রে স্থির বিবেচনা করা হয়েছে এবং অন্যান্য গ্রহ সূর্যকে কেন্দ্র করে আবর্তন করে। কোপারনিকাসের ধারণা ছিল গ্রহগুলোকে সূর্যের চারদিকে ঘুরতে বাধ্য করে চৌম্বক বল। পঞ্চদশ শতাব্দীতে **কেপলার গ্রহ-নক্ষত্রের গতিপথের বিভিন্ন** উপাত্ত বিশ্লেষণ করে স্থির সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, গ্রহগুলোর গতিপথ বৃত্তাকার নয়, উপবৃত্তাকার। 1658 খ্রিস্টাব্দে নিউটন বল সম্পর্কে ধারণা লাভের জন্য তার বিখ্যাত পরীক্ষাটি করেন। তিনি বাতাসের অনুকূলে ও প্রতিকূলে লাফ দিয়ে দূরত্বের পার্থক্য পর্যবেক্ষণ করেন। **1665 সালে ক্যামব্রিজে পড়ার সময় তিনি মহাকর্ষ বলের তত্ত্ব, ক্যালকুলাস ও আলোর বর্ণালি এই তিনটি সূত্র আবিষ্কার করেন।**

গ্রহপুঞ্জের গতির মধ্যে কেপলার কিছু নিয়মনীতি খুঁজে পান এবং এই নিয়মনীতিগুলোকে তিনটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করেন। এগুলো **কেপলারের সূত্র** নামে পরিচিত। কিন্তু কোপারনিকাসের চৌম্বক বলের ধারণার সঙ্গে কেপলার কোনোভাবেই উপবৃত্তাকার প্রকল্প মিলাতে পারছিলেন না। সূর্যকে কেন্দ্র করে গ্রহগুলোর আবর্তন করার সন্তোষজনক কোনো কারণ তিনি দিতে পারেননি। তাছাড়া একটি বস্তু কেন মাটিতে পতিত হয় তার ব্যাখ্যাও কেপলারের সূত্র থেকে পাওয়া যায় না। এ সকল প্রশ্নের ব্যাখ্যা পাওয়া যায় 1687 খ্রিস্টাব্দে স্যার আইজ্যাক নিউটনের **'ফিলোসোফিয়া ন্যাচারালাস প্রিন্সিপিয়া ম্যাথমেটিকস'** *(Philosophiae Naturalis Principia Mathematics)* **গ্রন্থটি প্রকাশিত হওয়ার** পর। তিনি এই বইয়ে বস্তুপিণ্ডগুলো কী করে চলাচল করে, গাণিতিক বিশ্লেষণসহ তার তত্ত্ব প্রকাশ করেন। এ ছাড়াও তিনি মহাকর্ষীয় বিধি উপস্থাপন করেন। তিনি দেখান যে উপবৃত্তাকার কক্ষে চন্দ্রের পৃথিবী প্রদক্ষিণ করার এবং সূর্যের চারদিকে গ্রহগুলোর উপবৃত্তাকার পথে ভ্রমণের কারণও এই মহাকর্ষ।

আলোকবিদ্যা ও গণিতেও নিউটনের অবদান অপরিসীম। তিনি বলবিদ্যার এবং লেন্সের সূত্রের প্রবর্তক এবং প্রতিফলক টেলিস্কোপ-এরও আবিষ্কারক।

তিনি আলোর কণিকা তত্ত্বের প্রবক্তা। **এই তত্ত্ব অনুযায়ী যেকোনো দীপ্ত বস্তু (Luminous body) হতে অনবরত অসংখ্য ক্ষুদ্র কণিকা ঝাঁকে ঝাঁকে নির্গত হয়। এই কণিকা তত্ত্বের সাহায্যে তিনি আলোর বিভিন্ন গুণাগুণ সম্পর্কীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হন।** আলোর সরলপথে গমন, আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ গুণাবলি এ তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। **তাঁর অবদান এত সুদূরপ্রসারী যে সনাতনী পদার্থবিজ্ঞানকে নিউটনীয় পদার্থবিজ্ঞান বলা হয়।**

টমাস ইয়ং (Thomas Young, 1773—1829) : টমাস ইয়ং একজন ব্রিটিশ চিকিৎসক ও পদার্থবিজ্ঞানী। নিউটনের কণিকা তত্ত্ব আলোর অনেক ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারে। তবে আলোর ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদির কোনো সন্তোষজনক ব্যাখ্যা কণিকা তত্ত্বে পাওয়া যায় না। স্যার আইজাক নিউটনের সমসাময়িক ডাচ বিজ্ঞানী হাইগেন্স (Huygens) 1678 খ্রিস্টাব্দে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব প্রদান করেন। **পরে টমাস ইয়ং, ফ্রেনেলসহ আরও অনেকে এই তত্ত্বকে প্রতিষ্ঠিত করেন।**

টমাস ইয়ং বহুমুখী প্রতিভার অধিকারী ছিলেন। তিনি পেশায় একজন চিকিৎসক হওয়া সত্ত্বেও পদার্থবিজ্ঞানে তাঁর অবদান অপরিসীম। তাঁর সবচেয়ে বেশি আগ্রহ ছিল আলোকবিজ্ঞানে। 1801 খ্রিস্টাব্দে তিনি আলোকের ব্যতিচার আবিষ্কার করেন। দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কখনও কখনও আলো খুব উজ্জ্বল এবং কখনও কখনও অন্ধকার দেখায়। আলোকের এ ঘটনাকে ব্যতিচার বলে। **1807 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী ইয়ং আলোকের ব্যতিচার প্রদর্শনের নিমিত্তে একটি পরীক্ষা সম্পাদন করেন। তাঁর নামানুসারে এই পরীক্ষাকে ইয়ং-এর পরীক্ষা বলে। এই পরীক্ষার ফলে আলোকের তরঙ্গ তত্ত্ব সুদৃঢ় হয়। পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার ওপরও তিনি একটি সূত্র প্রদান করেন। স্থিতিস্থাপকতার দৈর্ঘ্য গুণাঙ্ক ইয়ং-এর গুণাঙ্ক নামে পরিচিত। মানব চোখে বিভিন্ন আলোর সংবেদনশীলতা সম্বন্ধে তিনি সর্বপ্রথম ব্যাখ্যা প্রদান করেন।**

মাইকেল ফ্যারাডে (Michael Faraday, 1791–1867) : মাইকেল ফ্যারাডে একজন পদার্থবিদ ও রসায়নবিদ ছিলেন। তিনি ইংল্যান্ডের রয়েল ইনস্টিটিউটের রসায়নবিদ্যার অধ্যাপক ছিলেন। 1845 খ্রিস্টাব্দে তিনি আবিষ্কার করেন যে একটি প্রবল চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে সমবর্তন তল ঘুরে যায়। এ ঘটনা ফ্যারাডে ক্রিয়া নামে পরিচিত। এই ক্রিয়া আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা ধারণা করলেন যে আলোকের সঙ্গে চুম্বকত্বের একটি গভীর সম্পর্ক রয়েছে। পরবর্তীকালে তিনি তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ তত্ত্ব আবিষ্কার করেন। ফ্যারাডে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ এবং আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব আবিষ্কারের জন্য অমর হয়ে আছেন। 1831 খ্রিস্টাব্দে তিনি আবিষ্কার করেন যে চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। এর নামই তড়িৎচৌম্বক আবেশ। এই তড়িৎ চৌম্বক আবেশের ওপর ভিত্তি করে জেনারেটর, ট্রান্সফরমার ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি আবিষ্কৃত হয়েছে। আধুনিক সভ্যতা বিকাশে এ সমস্ত আবিষ্কার নিঃসন্দেহে যুগান্তকারী। এছাড়াও মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎ বিশ্লেষণ, তড়িৎ বিশ্লেষণের সূত্র আবিষ্কার করেন। তড়িৎ প্রলেপন, তড়িৎ মুদ্রণ, ধাতু নিষ্কাশন, ধাতু বিশুদ্ধিকরণ ইত্যাদিতে তড়িৎ বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া ব্যবহার করা হয়।

লর্ড রাদারফোর্ড (Lord Rutherford) : উনবিংশ শতাব্দী পর্যন্ত বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে, প্রতিটি পরমাণু ধনাত্মক আধানের বস্তু দ্বারা গঠিত এবং এই ধনাত্মক আধানযুক্ত বস্তুর মাঝে ইতস্ততভাবে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন ছড়িয়ে রয়েছে। প্রতিটি পরমাণুর মোট ধন আধান ও ঋণ আধানের পরিমাণ সমান।

1911 সালে রাদারফোর্ড বিখ্যাত আলফা বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফল হতে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত রয়েছে। রাদারফোর্ড একে নিউক্লিয়াস নামে অভিহিত করেন। এই নিউক্লিয়াসের চারদিকে কতকগুলো ইলেকট্রন বৃত্তাকার কক্ষপথে ঘুরছে। ইলেকট্রনগুলোর ঘূর্ণনজনিত বল ও নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল কুলম্বীয় বল সমান ও বিপরীতমুখি হওয়ায় ইলেকট্রন সুস্থিরভাবে নির্দিষ্ট দূরত্বে নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করে। পরমাণুর এই মডেলকে সৌর জগতের সাথে তুলনা করা যায়। রাদারফোর্ডের পরমাণুর এই মডেল অন্যান্য মডেলের চেয়ে অধিকতর যুক্তিসঙ্গত হলেও এর সীমাবদ্ধতা ছিল যা পরবর্তীতে নীলস বোর দূর করেন।

আলবার্ট আইনস্টাইন (Albert Einstein 1879—1955) : আজ যদি বিশ্বের যেকোনো দেশের বিজ্ঞানমনস্ক কোনো ব্যক্তিকে জিজ্ঞেস করা হয়, "বিংশ শতাব্দীর সবচেয়ে বিখ্যাত বিজ্ঞানী কে?" স্বাভাবিক উত্তর পাওয়া যাবে, "আলবার্ট আইনস্টাইন।" খুব কম সংখ্যক বিজ্ঞানীই আইনস্টাইনের মতো তাঁর মৌলিক কাজের সংখ্যা, বৈচিত্র্য এবং অপরিসীম গুরুত্ব বিবেচনায় এত বিখ্যাত হতে পেরেছেন। আইনস্টাইন তাঁর বহু বৈচিত্র্যময় বৈজ্ঞানিক আবিষ্কারের মধ্যে সবচেয়ে বেশি পরিচিত তাঁর আপেক্ষিক তত্ত্বের জন্য। আপেক্ষিক তত্ত্বের মধ্যে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের জন্য তিনি সমধিক পরিচিত। তিনি ব্রাউনীয় গতি, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব এবং শক্তি ও জড়তার সূত্র ইত্যাদি জগৎ বিখ্যাত সূত্রের আবিষ্কারক। জার্মানিতে জন্ম হওয়া সত্ত্বেও তিনি 1901 সালে সুইজারল্যান্ডের নাগরিকত্ব গ্রহণ করেন। শেষ জীবনে আইনস্টাইন আমেরিকাতে বসবাস করেন।

1905 সালে যখন তাঁর বয়স মাত্র 23 বছর তখন তিনি আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব প্রকাশ করেন। আমাদের মৌলিক চিন্তা-চেতনা বা বিশ্বাসের অনেক কিছুরই পরিবর্তন সাধন করেছে এই আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব। পারমাণবিক বিজ্ঞানের ক্রমবিকাশের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তত্ত্বের ভূমিকা অপরিসীম। **আইনস্টাইনের মতে স্থান, কাল, দৈর্ঘ্য, কোনোটিই পরম রাশি বা নিরপেক্ষ নয়।** এগুলো পরিবর্তনশীল। চিরায়ত বলবিজ্ঞানে ভর এবং শক্তি স্বাধীন হলেও আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে এরা সমতুল্য (Equivalent)। এই তত্ত্ব অনুসারে আমরা জানতে পারি যে ভরসম্পন্ন কোনো বস্তুই আলোর বেগ বা তার বেশি বেগে ছুটতে পারে না, তা যত বলই বস্তুর ওপর প্রয়োগ করা হোক না কেন। আপেক্ষিকতার ভর-শক্তির সমতা সূত্র, $E = mc^2$ তাঁর আবিষ্কার। 1915 সালে তিনি আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব প্রদান করেন। তাঁর আপেক্ষিকতার তত্ত্ব পদার্থবিজ্ঞানে দ্বিতীয় বৃহত্তম তত্ত্ব হিসেবে পরিচিত।

আইনস্টাইনের আরেকটি অমর সৃষ্টি হচ্ছে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা প্রদান। কোনো ধাতব পদার্থের ওপর উপযুক্ত কম্পাঙ্ক বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হলে ওই পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ক্রিয়াকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে। তিনি 1921 সালে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কারের জন্য নোবেল পুরস্কার পান। 1905 খ্রিস্টাব্দে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যার জন্য আইনস্টাইন প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি অর্থাৎ বিকিরণ ফোটনের একটি ঝাঁক বা ঝরনা। প্রতিটি ফোটনের শক্তি হচ্ছে $h\upsilon$। এখানে h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক এবং υ হচ্ছে ফোটনের কম্পাঙ্ক। এখন একটি ফোটন কোনো ধাতব পাতের পরমাণুর ওপর আপতিত হলে ফোটনের সাথে পরমাণুর সংঘাত হবে এবং এই সংঘাত স্থিতিস্থাপক সংঘাত। এই

সংঘাতের ফলে পরমাণুস্থ একটি ইলেকট্রন ফোটনের সমুদয় শক্তি গ্রহণ করবে এবং কোনো শক্তি স্থানান্তরিত হবে না। এখন ইলেকট্রনটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসের সঙ্গে আবদ্ধ থাকায় এই শক্তির কিছু অংশ ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ হতে মুক্ত করতে ব্যয় হবে এবং অবশিষ্ট শক্তি নিয়ে ইলেকট্রন নির্গত হবে। এটিই আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা। আইনস্টাইনের ভবিষ্যদ্বাণীর ওপর ভিত্তি করে এক শ' বছর পর 2016 সালে 11ই ফেব্রুয়ারি একদল বিজ্ঞানী (LSC) মহাকর্ষীয় তরঙ্গ সরাসরি শনাক্ত করতে সক্ষম হন।

ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক (Max Planck, 1858—1947) : বিজ্ঞানী প্ল্যাঙ্ক ছিলেন জার্মানির প্রখ্যাত পদার্থবিদ। 1900 খ্রিস্টাব্দে তিনি তেজকণাবাদ (Quantum theory) আবিষ্কার করেন। এই আবিষ্কারের মাধ্যমে পদার্থবিজ্ঞানে বিপ্লব সূচিত হয়।

বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজ্যাক নিউটন এবং সমকালীন বিজ্ঞানীরা বিশ্বাস করতেন যে আলো কণা প্রকৃতির। এই তত্ত্ব অনুযায়ী যে কোনো দীপ্ত বস্তু (Luminous body) হতে অনবরত অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা ঝাঁকে ঝাঁকে নির্গত হয়। 1802 সালে আলোকের ব্যতিচারের ক্ষেত্রে ইয়ং-এর দ্বিচিড় পরীক্ষা প্রমাণ করে যে আলো তরঙ্গ প্রকৃতির। আলোর বিভিন্ন ঘটনা বিশ্লেষণে ও ব্যাখ্যার সাফল্য এই তত্ত্বকে প্রতিষ্ঠিত করে। ইয়ং-এর পরীক্ষার প্রায় একশ বছর পরে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় আলোকের কণাতত্ত্ব পুনর্জীবিত করেন। এই প্রবন্ধ এবং অন্যান্য বিজ্ঞানীদের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে এ ধারণা সৃষ্টি হয় যে আলো এবং সকল ধরনের তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গই অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র শক্তিগুচ্ছের সমন্বয়ে গঠিত।

প্ল্যাঙ্কের অভিমত অনুসারে কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকিরণ বা বিভিন্ন ধাতুর মধ্যে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। এই প্রক্রিয়ায় কোনো ধারাবাহিকতা নেই। শক্তির নিঃসরণ বা শোষণ বিচ্ছিন্নভাবে খণ্ড খণ্ড আকারে বা এক একটি গুচ্ছ বা প্যাকেটে নির্গত বা শোষিত হয়। প্রতিটি শক্তিকণা বা শক্তিগুচ্ছ এক একটি অবিভাজ্য একক। তিনি শক্তির এ ক্ষুদ্র গুচ্ছের নাম দেন কোয়ান্টা (Quanta)। প্রতিটি কোয়ান্টার শক্তি বিকিরণ কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক। এই শক্তি কোয়ান্টা পরবর্তীতে ফোটন হিসেবে পরিচিতি লাভ করে। ফোটন বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ এবং এর কোনো ভর নেই। কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় তাঁর আবিষ্কৃত কোয়ান্টাম তত্ত্ব সঠিকভাবে বর্ণনা করতে সক্ষম।

১.১২ পরিমাপে ভুল বা ত্রুটি
Errors in measurements

কোনো ভৌত রাশির নির্ভুল পরিমাপ পেতে রাশির সাথে সম্পর্কযুক্ত যে সূত্র থাকে তার অন্তর্গত সকল রাশির মাপ নির্ভুল হওয়া প্রয়োজন। এর ব্যত্যয় ঘটলে পরিমাপ সঠিক হবে না। একে ভুল বা ত্রুটি বলে।

যেকোনো ভৌত রাশি পরিমাপে প্রকৃত শুদ্ধ মান পাওয়া যায় না। কিছু না কিছু ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। এই ত্রুটির উৎস পরীক্ষণ কাজে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতির সূক্ষ্মভাবে রাশি পরিমাপের সীমাবদ্ধতা এবং যিনি পরিমাপ করছেন পাঠ গ্রহণে তার ত্রুটির কারণ। এর অর্থ হলো যেকোনো পরিমাপ্য রাশির পরিমাপে একটি অনিশ্চয়তা বিদ্যমান থাকে।

পরিমাপের ত্রুটিগুলোকে উৎপন্নের ধরন অনুযায়ী কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়; যথা—

(১) যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental error)
(২) পর্যবেক্ষণমূলক বা ব্যক্তিগত ত্রুটি (Observational or personal error)
(৩) এলোমেলো বা অনিয়মিত ত্রুটি (Random error)
(৪) পুনরাবৃত্তিক বা নিয়মিত ত্রুটি (Systematic error)
(৫) লঘিষ্ঠ গণন ত্রুটি (Least count error)

১. যান্ত্রিক ত্রুটি (Instrumental error) :

ভৌত রাশি পরিমাপে যে সমস্ত যন্ত্র ব্যবহার করা হয়, সেগুলো সঠিক এবং সুবেদী না হলে পরিমাপে ত্রুটি দেখা দেয়। একে যান্ত্রিক ত্রুটি বলে। বিভিন্ন ধরনের যান্ত্রিক ত্রুটিগুলোর মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো— (i) শূন্য ত্রুটি (zero error), (ii) পিছট ত্রুটি (backlash error) ও (iii) লেভেল ত্রুটি (level error)।

(i) শূন্য ত্রুটি (zero error) : সাধারণত ভার্নিয়ার স্কেল, স্ক্রুগজ, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ফেরোমিটার ইত্যাদির প্রধান স্কেলের '0' দাগ ভার্নিয়ার বা বৃত্তাকার স্কেলের '0' দাগের সাথে না মিলে যদি আগে বা পিছনে থাকে, তবে একে শূন্য ত্রুটি বলে।

(ii) পিছট ত্রুটি (backlash error) : নাট-স্ক্রু নীতির উপর ভিত্তি করে যে সকল যন্ত্র তৈরি সেসব যন্ত্রে এই ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। নতুন যন্ত্রের তুলনায় পুরাতন যন্ত্রে এই ত্রুটি বেশি দেখা যায়। কারণ অনেকদিন ব্যবহারের ফলে নাটের গর্ত বড় হয়ে যেতে পারে বা স্ক্রু ক্ষয় হয়ে আলগা হয়ে যায়; ফলে স্ক্রুকে উভয় দিকে ঘুরালে সমান সরণ হয় না। এ ধরনের ত্রুটিকে পিছট ত্রুটি বলে। পাঠ নেওয়ার সময় যন্ত্রকে একই দিকে ঘুরালে এ ত্রুটি দূর হয়।

(iii) লেভেল ত্রুটি (level error) : কতকগুলো পরীক্ষণের ক্ষেত্রে যন্ত্রকে ভালোভাবে লেভেলিং করে না নিলে সঠিক পাঠ পাওয়া যায় না। যেমন নিক্তি, **বিক্ষেপ চৌম্বকমান যন্ত্র, ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার ইত্যাদি। লেভেলিং স্ক্রু এবং স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে লেভেলিং করে নিতে হয়।** এই সকল যন্ত্রে লেভেল ত্রুটি দেখা যায়।

২. পর্যবেক্ষণমূলক বা ব্যক্তিগত ত্রুটি (Observational or personal error) :

পর্যবেক্ষকের পর্যবেক্ষণে ভুল এবং সঠিক মূল্যায়নের অভাবে এ ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। একে পর্যবেক্ষণমূলক ত্রুটি বা ব্যক্তিগত ত্রুটি বলে। পর্যবেক্ষণ ত্রুটি বিভিন্নভাবে হতে পারে। যেমন—

(i) ব্যক্তিগত ত্রুটি,
(ii) প্রান্ত দাগ ত্রুটি
(iii) লম্বন ত্রুটি
(iv) সূচক ত্রুটি
(v) পরিবেশগত ত্রুটি।

দৃষ্টিভ্রম (Parallax error) এ ধরনের একটি ত্রুটি।

প্রতিকার (Remedy) : পর্যবেক্ষণ সতর্কতার সাথে করে এবং একাধিকবার পাঠ নিয়ে এ ত্রুটি দূর করা যায়।

৩. এলোমেলো বা অনিয়মিত ত্রুটি (Random error) :

ত্রুটির বিভিন্ন বিষয়ে উপযুক্ত সাবধানতা অবলম্বন করা সত্ত্বেও কোনো একটি রাশির পাঠ বার বার ভিন্ন হতে দেখা যায়। পরিমাপে এ ধরনের ভিন্নতা বা পার্থক্য দুই ভাবে হতে পারে। যথা—

(১) পর্যবেক্ষকের পর্যবেক্ষণের ত্রুটির জন্য হতে পারে কিংবা

(২) পরীক্ষাকালে যন্ত্রের অবস্থার পরিবর্তনের জন্য হতে পারে।

উদাহরণস্বরূপ, মাধ্যাকর্ষণজনিত ত্বরণ পরিমাপের ক্ষেত্রে T পরিমাপ করার জন্য স্টপ ওয়াচ (stop watch) এবং *l* মাপার জন্য স্কেল সূচক ব্যবহার করা হয়। T পরিমাপের জন্য যদি ঘড়িটি ঠিকমতো চালানো এবং থামানো না হয় তবে T-এর পরিমাপে ভুল হবে। *l* পরিমাপের সময় সূচক যদি স্কেলের একটি নির্দিষ্ট দাগের সাথে না মিলে দুটি সন্নিহিত দাগের মধ্যে থাকে, তবে পর্যবেক্ষকের পক্ষে সূচকের অবস্থানের নির্ভুল মান স্কেল থেকে নেয়া সম্ভব হয় না। এ ধরনের ভুলগুলোকে অনিয়মিত বা এলোমেলো ত্রুটি বলে। এলোমেলো ত্রুটির ফলে চূড়ান্ত ফলাফল হয়ত অত্যন্ত বেশি অথবা খুব কম হতে পারে।

প্রতিকার (Remedy) : অনিয়মিত ত্রুটি পরিবর্তনশীল। প্রাপ্ত পাঠ প্রকৃত পাঠ অপেক্ষা বেশি হলে ধনাত্মক এবং কম হলে ঋণাত্মক হবে। এই ত্রুটি এড়াতে হলে সতর্কতার সাথে পাঠ নিতে হয়, এই ত্রুটি কমাতে হলে পরিমাপটি বার বার করতে হয়। অর্থাৎ এই ত্রুটি দূর করতে হলে অধিক সংখ্যক পাঠ গ্রহণ করে তাদের গড় পাঠ বের করতে হবে।

৪. পুনরাবৃত্তিক বা নিয়মিত ত্রুটি (Systematic error) :

পরীক্ষাকালে কোনো কোনো ত্রুটির ফলে পরীক্ষাধীন রাশির পরীক্ষালব্ধ মান সর্বদাই এবং নিয়মিতভাবে রাশিটির প্রকৃত মান অপেক্ষা কম বা বেশি হতে পারে। এ ধরনের ত্রুটিকে নিয়মিত বা পুনরাবৃত্তিক ত্রুটি বলে। **মিটার ব্রিজের প্রান্তিক ত্রুটি, পোটেনশিওমিটারের প্রান্তিক ত্রুটি, স্ক্রুগজের শূন্য ত্রুটি এই ত্রুটির অন্তর্গত।** অবশ্য পুনরাবৃত্তিক ত্রুটি নির্ণয় করার কোনো যুক্তিযুক্ত বা প্রামাণ্য উপায় নেই।

প্রতিকার (Remedy) : এই ত্রুটি সংশোধনের জন্য বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন অবস্থায় পরীক্ষাকার্যটি পুনরাবৃত্তি করা হয়।

পরম ত্রুটি (Absolute error) : কোনো একটি রাশির প্রকৃত মান ও পরিমাপকৃত মানের পার্থক্যকে পরম ত্রুটি বলে। পরম ত্রুটির পরিবর্তে আমরা কখনও কখনও আপেক্ষিক ত্রুটি বা শতকরা ত্রুটি ব্যবহার করে থাকি।

অতএব, পরম ত্রুটি = প্রকৃত মান – পরিমাপ্য মান

$$\text{শতকরা ত্রুটি : } \frac{\text{প্রকৃত মান} \sim \text{পরীক্ষালব্ধ মান}}{\text{প্রকৃত মান}} \times 100\%$$

সামগ্রিক বা মোট ত্রুটি (Gross error) : পর্যবেক্ষকের অসতর্কতা বা অমনোযোগিতার কারণে এ ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। সতর্কতার সঙ্গে পরীক্ষণ কর্ম সম্পাদন করে এ ত্রুটি দূর করা যায়।

৫. লঘিষ্ঠ গণন ত্রুটি (Least count error) :

ন্যূনতম যে পরিমাপ কোনো যন্ত্রের সাহায্যে পরিমাপ করা সম্ভব তাকে ওই যন্ত্রের লঘিষ্ঠ গুণন বলে। যেমন একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে 1 mm বা 0·1 cm সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করা যায়। সুতরাং **মিটার স্কেলের লঘিষ্ঠ গুণন 1**

mm বা 0·1 cm । অনুরূপভাবে স্লাইড ক্যালিপার্সের ক্ষেত্রে লঘিষ্ঠ গুণন 0·01 mm, 0·001 cm। সূক্ষ্ম বা উন্নত মানের যন্ত্র ব্যবহার করে লঘিষ্ঠ গুণন ত্রুটি কমানো যায়। তবে একই পরিমাপ্য রাশির অধিক সংখ্যক পাঠ নিয়ে এবং ওই পাঠসমূহের গড় মান নির্ণয় করে পরিমেয় রাশির সঠিক মানের কাছাকাছি মান পাওয়া যায়। এলোমেলো বা অনিয়মিত এবং পুনরাবৃত্তি বা নিয়মিত ত্রুটির ক্ষেত্রে লঘিষ্ঠ গুণন ত্রুটি লক্ষ করা যায়।

সঠিকতা ও সূক্ষ্মতা (Accuracy and Precision) :

বিভিন্ন ভৌত রাশি পরিমাপের জন্য আমরা বিভিন্ন ধরনের যন্ত্রপাতি ব্যবহার করি। যন্ত্রগুলি ব্যবহারের পূর্বে তাদের সঠিকতা ও সূক্ষ্মতা সম্বন্ধে স্পষ্ট ধারণা থাকা উচিত। এখন আমরা সঠিকতা ও সূক্ষ্মতা বলতে কী বুঝি তা আলোচনা করব।

সঠিকতা (Accuracy) : কোনো যন্ত্রের সঠিকতা বলতে বোঝায় যে ওই যন্ত্র সংশ্লিষ্ট রাশিটির প্রকৃত মানের কত কাছাকাছি পরিমাপ করতে সক্ষম। রাশিটির প্রকৃত মান ও যন্ত্রটি দ্বারা পরিমাপ্য মান যত কাছাকাছি হয় যন্ত্রের সঠিকতা তত বেশি হয়।

ধরা যাক, একটি তুলাযন্ত্র (balance) দ্বারা 50 g ভরের একটি বস্তু পরিমাপ করে 45 g পাওয়া গেল। সুতরাং বলা যায় যে তুলা যন্ত্রটির সঠিকতা ভালো নয়। আবার, অন্য একটি তুলা যন্ত্র দ্বারা ওই বস্তুটি মেপে 49·5 g পাওয়া গেল। অতএব, দ্বিতীয় যন্ত্রটির সঠিকতা অনেক উন্নত মানের।

সূক্ষ্মতা (Precision) : কোনো যন্ত্রের সূক্ষ্মতা বলতে বোঝায় যে ওই যন্ত্র দ্বারা সংশ্লিষ্ট রাশিটি পরিমাপ করতে পরপর (repeatedly) পরিমাপে প্রাপ্ত পাঠগুলি পরস্পরের কত কাছাকাছি হয়। পরপর পাঠগুলির পার্থক্য যত কম হবে যন্ত্রটির সূক্ষ্মতা তত বেশি হবে। উদাহরণ—ধরা যাক একটি বস্তুর ভর 50 g। এটি তুলা যন্ত্রে ছয়বার পাঠ নিয়ে ভর পাওয়া গেল 48 g, 49·2 g, 49 g, 49·2 g, 49·6 g, 49·5 g। এক্ষেত্রে পরপর পাঠগুলোর পার্থক্য কম। তাই যন্ত্রটির সূক্ষ্মতা ভালো।

ত্রুটি গণনা
Calculation of errors

কোনো পরিমাপই সম্পূর্ণ ত্রুটিহীন করা সম্ভব নয়। একটি ভৌত রাশিকে একই পদ্ধতিতে কয়েকবার পরিমাপ করলেও প্রত্যেকবার একই মান পাওয়া যায় না।

সঠিক মান (Actual or true value) : ধরা যাক, একটি ভৌত রাশি একই পদ্ধতিতে n সংখ্যকবার পরিমাপ করে মানগুলো পাওয়া গেল $x_1, x_2, x_3 \ldots x_n$। এই মানগুলোর গড় মান হলো ওই ভৌত রাশির সঠিক মান। সুতরাং,

$$\text{সঠিক মান, } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots x_n}{n} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

ত্রুটি (Error) : কোনো ভৌত রাশির সঠিক মানকে চূড়ান্ত মান হিসেবে লেখা যথেষ্ট নয়। সঠিক মানে কতটুকু ত্রুটি আছে তা উল্লেখ করা একান্ত প্রয়োজন।

সুতরাং, কোনো ভৌত রাশির চূড়ান্ত মান,

$$x = \bar{x} \pm e$$

এখানে e ত্রুটির পরিমাণ প্রকাশ করে। নিম্নোক্ত উপায়ে ত্রুটির পরিমাণ নির্ণয় করা যায় :

$$e = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \ldots + |x_n - \bar{x}|}{n} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এখানে $|x_1 - \bar{x}|$, $|x_2 - \bar{x}|$ ... $|x_n - \bar{x}|$ হলো যথাক্রমে প্রথম পরিমাপের, দ্বিতীয় পরিমাপের ... n তম পরিমাপের ত্রুটির মান। এগুলোকে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয়, ... n তম চরম ত্রুটি (absolute error) বলা হয়। e-কে গড় চরম ত্রুটি (mean absolute error)-ও বলা হয়।

ভগ্নাংশ ত্রুটি বা আপেক্ষিক ত্রুটি (Fractional error or relative error) : গড় চরম ত্রুটি ও সঠিক মানের অনুপাতকে ভগ্নাংশ বা আপেক্ষিক ত্রুটি বলা হয়। অর্থাৎ ভগ্নাংশ ত্রুটি বা আপেক্ষিক ত্রুটি $= \dfrac{e}{\bar{x}}$।

শতকরা ত্রুটি (Percentage of error) : ভগ্নাংশ ত্রুটি বা আপেক্ষিক ত্রুটিকে 100 দ্বারা গুণ করে শতকরা ত্রুটি নির্ণয় করা হয়। অর্থাৎ শতকরা ত্রুটি $= \dfrac{e}{\bar{x}} \times 100\% = \dfrac{\text{প্রকৃত মান} \sim \text{প্রাপ্ত মান}}{\text{প্রকৃত মান}} \times 100\%$।

গাণিতিক উদাহরণ ১.৫

১। একটি দোলকের দৈর্ঘ্য (0˙8 ± 0˙01) m এবং পর্যায়কাল (2˙2 ± 0˙10) sec হলে অভিকর্ষজ ত্বরণ পরিমাপে শতকরা ত্রুটি কত ?

আমরা জানি, সরল দোলকের পর্যায়কাল, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$\therefore \quad g = 4\pi^2\frac{l}{T^2}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ পরিমাপে আপেক্ষিক ত্রুটি,

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2\frac{\Delta T}{T} = \frac{0˙01}{0˙6} + \frac{0˙10}{2˙2}$$

$$\therefore \quad \text{শতকরা ত্রুটি} = \frac{\Delta g}{g} \times 100 = \frac{0˙01}{0˙6} \times 100 + \frac{0˙10}{2˙2} \times 100$$
$$= 1˙667 + 4˙545 = 6˙21\%$$

২। একটি ধারকের ধারকত্ব C = (2˙5 ± 0˙1) μF। ওই ধারককে V = (25 ± 0˙2) volt বিভবে আহিত করা হলে ধারকটিতে সঞ্চিত আধান কত ? সঞ্চিত আধানের শতকরা ত্রুটি ও পরম ত্রুটি কত ?

ধারকে সঞ্চিত আধান, $Q = C \times V \quad = 2˙5 \times 10^{-6} \times 25$ coulomb

$$= 62˙5 \times 10^{-6}\ C = 6˙25 \times 10^{-5}\ C$$

এখন শতকরা ত্রুটি নির্ণয়ের ক্ষেত্রে, $\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta V}{V}$

$$\therefore \quad \frac{\Delta Q}{Q} \times 100\% = \frac{\Delta C}{C} \times 100\% + \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$
$$= \frac{0˙1}{2˙5} \times 100 + \frac{0˙2}{25} \times 100$$
$$= 4\% + 0˙8\% = 4˙8\%$$

পরম ত্রুটি = $6˙25 \times 10^{-5}$ C এর 4˙8% = $0˙3 \times 10^{-5}$ C

$\therefore$ নির্ণেয় সঞ্চিত আধান, $Q = 6˙25 \times 10^{-5} \pm 4˙8\%$ C

$$= (6˙25 \pm 0˙3) \times 10^{-5}\ C$$

১.১৩ পরিমাপ্য রাশির ভুল নির্ধারণ
Determination of error of the measurable quantity

কোনো পরিমাপ্য রাশির আনুপাতিক ভুল নির্ধারণ :

ধরা যাক, x একটি পরিমাপ্য ভৌত রাশি এবং এটি y ও z রাশি দুইটির সাথে নিম্নোক্ত সমীকরণের দ্বারা সম্পর্কযুক্ত,

$$x = y^m z^n \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.4)$$

এখন y, z রাশি দুইটিকে পরিমাপ করতে ভুল হলে x-এর পরিমাপে তা প্রতিফলিত হবে।

সমীকরণ (1.4)-কে লগারিদমিক অবকলন (Logarithmic differentiation) করে পাই,

$$\delta x = m\delta y + n\delta z$$

y, z রাশিগুলোকে পরিমাপ করার সময় সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ভুল যথাক্রমে $\pm\,\delta y$ এবং $\pm\,\delta z$; ফলে x-এর সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ভুল হবে $\pm\delta x$।

সুতরাং সর্বোচ্চ সম্ভাব্য আনুপাতিক ভুল,

$$\left(\frac{\delta x}{x}\right)_{max} = m\left(\frac{\delta y}{y}\right) + n\left(\frac{\delta z}{z}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.5)$$

পরিমাপ্য ভৌত রাশি x-এর সাথে যে সকল রাশি জড়িত থাকে (এক্ষেত্রে y ও z) তাদের প্রত্যেকের আনুপাতিক ভুল পৃথকভাবে নির্ণয় করে ওই নির্ণিত ভুলগুলোর পরিমাণকে তাদের সংশ্লিষ্ট রাশিগুলোর শক্তি সংখ্যা (Power number)

দ্বারা গুণ করে, গুণফলগুলো যোগ করলে ওই যোগফলই হবে পরিমাপ্য ভৌত রাশির (এক্ষেত্রে x) আনুপাতিক ভুলের সর্বোচ্চ মান। অতএব, যে রাশির শক্তি সংখ্যা বেশি সেটি খুব সতর্কতার সঙ্গে পরিমাপ করলে পরিমাপ্য রাশির আনুপাতিক ভুল কম হবে। যেমন,

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

ওপরে আলোচিত বিষয় অনুসারে g এর সর্বোচ্চ আনুপাতিক ভুল

$$\frac{\delta g}{g} = \frac{\delta l}{l} + 2\frac{\delta T}{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.6)$$ [শক্তির চিহ্ন বিবেচনা না করে]

সমীকরণ (1.6) হতে দেখা যাচ্ছে যে T পরিমাপে সামান্য ভুল হলেও তা দ্বিগুণ বৃদ্ধি পেয়ে সমীকরণে অন্তর্ভুক্ত হয়।

হাতে কলমে কাজ : একটি সরল দোলকের দোলনকাল $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ মাত্রা সঙ্গতিপূর্ণ কিনা ?

সমাধান : বামপক্ষ, $T = [T]$

ডানপক্ষ, $\sqrt{\frac{l}{g}} = \left[\frac{\sqrt{L}}{\sqrt{LT^{-2}}}\right] = [\sqrt{T^2}] = [T]$

সুতরাং বামপক্ষের মাত্রা = ডানপক্ষের মাত্রা। অর্থাৎ সরল দোলকের দোলনকালের মাত্রা সঙ্গতিপূর্ণ।

পরীক্ষালব্ধ ফলে তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যার হিসাব
Calculation of significant figure in experimental result

পরিমাপ্য রাশির সূক্ষ্মতা ওই রাশির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট অন্যান্য রাশিগুলোর পরিমাপের সূক্ষ্মতার উপর নির্ভর করে। কিন্তু আমরা যখন ক্যালকুলেটরের সাহায্যে হিসাব করি, তখন অনেক ডিজিট পাওয়া যায়। দশমিকের পরের সব ডিজিট ফলাফলে লিপিবদ্ধ করা অর্থহীন। দশমিকের পরে কতকগুলো সংখ্যা রাখতে হবে তা পর্যবেক্ষণ সূক্ষ্মতার উপর নির্ভর করে। কাজেই পরীক্ষালব্ধ ফলে অপ্রয়োজনীয় সংখ্যা বাদ দিয়ে যে সব সংখ্যার পরিমাপ বিশ্বাসযোগ্য তাই রাখতে হবে। যেমন মিটার স্কেল দিয়ে কোনো দৈর্ঘ্য মাপলে এক মিলিমিটারের কম দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপা যায় না। সুতরাং দৈর্ঘ্য পরিমাপের সূক্ষ্মতার পরিমাপ হবে ± 1 mm।

গড় ভুল (Mean error) : বিভিন্ন সতর্কতা অবলম্বন করে পরিমাপ্য কোনো রাশির প্রকৃত মানের কাছাকাছি মান আমরা পেতে পারি, তবে প্রকৃত মান পরিমাপ করতে পারি না। কোনো রাশি অনেকবার পরিমাপের পাঠগুলোর গড় মানকে ওই ভৌত রাশির সঠিক মান বলা সঙ্গত নয়। ওই পরিমাপে ত্রুটি উল্লেখ করা প্রয়োজন। পরিমাপে যে মান পাওয়া যায় তা উভয় পাশে নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে সামান্য পরিমাণ ভুল থাকার সম্ভাবনা আছে, যা ± শতকরা মান দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(i) গড় ভুল বা গড় বিচ্যুতি নির্ণয় (Determination of mean error or mean deviation): ধরা যাক, পরিমাপ্য একটি রাশির কেবল অনিয়মিত ভুল অন্তর্ভুক্ত হচ্ছে। রাশিটি যদি n সংখ্যক বার মাপ নেওয়া হয়ে থাকে এবং এর মান যথাক্রমে x_1, x_2, x_3 .... x_n পাওয়া যায়, তবে রাশিগুলোর গড় হবে,

$$A = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + x_n}{n}$$

এই পরিমাপে কেবল অনিয়মিত ভুলই অন্তর্ভুক্ত থাকায় পরিমাপে প্রাপ্ত গড় মান A প্রকৃত মানের কাছাকাছি হবে। রাশিটির প্রত্যেকটি মাপ এই গড় সংখ্যা A হতে সামান্য বিচ্যুত থাকে বলে ওই মাপের ভুল ধরা যায়। সুতরাং, রাশিটির বিভিন্ন পরিমাপে যে বিচ্যুতি থাকবে তা যথাক্রমে,

$$d_1 = x_1 - A,\ d_2 = x_2 - A,\ d_3 = x_3 - A,\ \ldots\ \ldots\ d_n = x_n - A$$

এখন বিচ্যুতির চিহ্ন বাদ দিয়ে এগুলোর গড় নিলেই গড় বিচ্যুতি বা গড় ভুল পাওয়া যায়।

অতএব, গড় বিচ্যুতি বা গড় ভুল, $d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \ldots\ldots + d_n}{n}$ । সুতরাং পরিমাপ্য রাশিটির প্রকৃত মাপ, $x = (A \pm d)$

(ii) প্রমাণ বিচ্যুতি (Standard deviation) : অনেক সময় এই বিচ্যুতিগুলোর গড় নির্ণয়ের পরিবর্তে তাদের বর্গের গড় বের করে তার বর্গমূল নির্ণয় করা হয়। **এই বর্গমূলের পরিমাণকে প্রমাণ বিচ্যুতি বলে।**

সুতরাং, প্রমাণ বিচ্যুতি, $D = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 \ldots\ldots + d_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$

অতএব, রাশিটির প্রকৃত মাপ হবে, $x = (A \pm D)$

এবার পরিমাপ্য রাশিটির আন্তর্জাতিক স্বীকৃত মান প্রাকৃতিক ধ্রুবক তালিকা (Physical constant table) থেকে সংগ্রহ করে রাশিটির শুদ্ধতার শতকরা হিসাব নিম্নোক্তভাবে নির্ণয় করতে পারি।

পরিমাপ্য রাশির শুদ্ধ মান $= \frac{\text{রাশিটির সঠিক মান} \sim \text{প্রাপ্ত মান}}{\text{সঠিক মান}} \times 100\%$; ইহাই ভুলের শতকরা হার।

MAT: 18-19 (type)

নিজে কর : পদার্থবিজ্ঞানের ল্যাবরেটরিতে তুমি সরল দোলকের সাহায্যে g-এর মান নির্ণয় করে পেয়েছ $9{\cdot}89\ ms^{-2}$। g-এর প্রকৃত মান $9{\cdot}81\ ms^{-2}$ ধরে তোমার প্রাপ্ত মানের শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর।

এখানে পরিমাপ্য রাশির শুদ্ধ মান $= \frac{9{\cdot}89 - 9{\cdot}81}{9{\cdot}81} \times 100\%$

$= \frac{0{\cdot}08}{9{\cdot}81} \times 100\% = 0{\cdot}815\%$

অতএব, নির্ণেয় পরীক্ষায় প্রাপ্ত মানের শতকরা ত্রুটি হলো $0{\cdot}815\%$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৬

১। একটি গোলকের পরিমাপ্য ব্যাসার্ধ, $R = 5{\cdot}3 \pm 0{\cdot}1$ হলে আয়তনে শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১৫]

এখানে, $R = 5{\cdot}3$

$\therefore$ পরম ত্রুটি, $\Delta R = 0{\cdot}1$

এখন, গোলকের আয়তন, $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

$\therefore$ আয়তনে আপেক্ষিক বা আনুপাতিক ত্রুটি, $\frac{\Delta V}{V} = \frac{3\Delta R}{R}$

$\therefore \frac{\Delta V}{V} = 3 \times \frac{0{\cdot}1}{5{\cdot}3} = \frac{0{\cdot}3}{5{\cdot}3}$

অতএব, আয়তনে শতকরা ত্রুটি, $\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = \frac{0{\cdot}3 \times 100\%}{5{\cdot}3} = 5{\cdot}7\%$

২। একজন ছাত্র পরীক্ষাগারে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান $9{\cdot}81\ ms^{-2}$ নির্ণয় করল। অপরদিকে যখন সে $0{\cdot}01$ kg ভরের কোনো বাটখারাকে স্প্রিং নিক্তিতে ঝুলিয়ে দিল তখন দেখল $0{\cdot}0980$ N বল দেখাচ্ছে। তার পরীক্ষালব্ধ অভিকর্ষজ ত্বরণের শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর।

এখানে,
পরিমাপ্য মান, $y = 9{\cdot}81\ ms^{-2}$
নিক্তিতে চাপানো ভর, $m = 0{\cdot}01$ kg
প্রাপ্ত বল, $F = 0{\cdot}0980$ N

আমরা জানি, $F = mg$

$\therefore g = \frac{F}{m} = \frac{0{\cdot}0980}{0{\cdot}01} = 9{\cdot}80\ ms^{-2}$

$\therefore$ প্রকৃত মান, $x = 9{\cdot}80\ ms^{-2}$

আমরা জানি, ত্রুটির শতকরা হার $= \frac{x \sim y}{x} \times 100\%$

$= \frac{9{\cdot}81 - 9{\cdot}80}{9{\cdot}80} \times 100\%$

$= 0{\cdot}102\%$

৩। কোনো একটি পরীক্ষায় বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের জন্য 7টি স্বতন্ত্র পাঠ নেয়া যাক। পাঠগুলো নিম্নরূপ :
$I_1 = 5·6$ mA, $I_2 = 5·8$ mA, $I_3 = 5·2$ mA, $I_4 = 5·3$ mA, $I_5 = 5·5$ mA, $I_6 = 5·1$ mA, $I_7 = 5·7$ mA.
(i) তড়িৎ প্রবাহের গাণিতিক গড়, (ii) গড় মান হতে বিচ্যুতি (iii) গড় বিচ্যুতি এবং (iv) প্রমাণ বিচ্যুতি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

(i) গাণিতিক গড় মান, $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_7}{7}$

বা, $\bar{x} = \frac{5·6 + 5·8 + 5·2 + 5·3 + 5·5 + 5·1 + 5·7}{7}$ mA

$= \frac{38·2}{7} = 5·46$ mA

(ii) গড় মান হতে বিচ্যুতি,

$\delta_1 = x_1 - \bar{x} = 5·6 - 5·46 = +0·14$ mA

$\delta_2 = x_2 - \bar{x} = 5·8 - 5·46 = +0·34$ mA

$\delta_3 = x_3 - \bar{x} = 5·2 - 5·46 = -0·26$ mA

$\delta_4 = x_4 - \bar{x} = 5·3 - 5·46 = -0·16$ mA

$\delta_5 = x_5 - \bar{x} = 5·5 - 5·46 = +0·04$ mA

$\delta_6 = x_6 - \bar{x} = 5·1 - 5·46 = -0·36$ mA

$\delta_7 = x_7 - \bar{x} = 5·7 - 5·46 = +0·24$ mA

(iii) গড় বিচ্যুতি,

$$\bar{\delta} = \frac{|\delta_1| + |\delta_2| + |\delta_3| + |\delta_4| + |\delta_5| + |\delta_6| + |\delta_7|}{7}$$

$$= \frac{0·14 + 0·34 + 0·26 + 0·16 + 0·04 + 0·36 + 0·24}{7} = \frac{1·54}{7} = 0·22 \text{ mA.}$$

(iv) প্রমাণ বিচ্যুতি, $\text{S. D.} = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2}{7}}$

$$= \sqrt{\frac{(0·14)^2 + (0·34)^2 + (-0·26)^2 + (-0·16)^2 + (0·04)^2 + (-0·36)^2 + (0·24)^2}{7}}$$

$$= \sqrt{\frac{(0·0196 + 0·1156 + 0·0676 + 0·0256 + 0·0016 + 0·1296 + 0·0576)}{7}}$$

$$= \sqrt{\frac{0·4172}{7}} = \sqrt{0·0596} \text{ mA} = 0·244 \text{ mA}$$

হিসাব : একটি বস্তুর ভর 100 ± 2 kg এবং আয়তন $= 100 \pm 3$ m³ হলে, ওই বস্তুর ঘনত্বে (i) শতকরা ত্রুটি (ii) পরম ত্রুটি নির্ণয় কর।

এখানে, $M = 100 \pm 2$ kg, $V = 100 \pm 3$ m³

এখন, ঘনত্বে (i) শতকরা ত্রুটি $= \left(\frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta V}{V}\right) \times 100\% = \left(\frac{2}{100} + \frac{3}{100}\right) \times 100\%$

$= \left(\frac{5}{100}\right) \times 100\% = 5\%$

(ii) ঘনত্ব, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{100}{100} = 1 \text{ kgm}^{-3}$

পরম ত্রুটি $= \rho\left(\frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta V}{V}\right) = 1 \times \left(\frac{2}{100} + \frac{3}{100}\right)$

$= 1 \times (0·02 + 0·03) = 1 \times 0·05 = 0·05 \text{ kgm}^{-3}$

তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা
Significant figures

একটি ভৌত রাশিকে পরিমাপ করে প্রাপ্ত মানে যতগুলি অঙ্কসংখ্যা পর্যন্ত সম্পূর্ণরূপে নিশ্চিত হওয়া যায় তার পরবর্তী অঙ্ক পর্যন্ত অঙ্কগুলোকে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা বলে। তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা বোঝার জন্য নিম্নে একটি উদাহরণ দেওয়া হলো।

মনে করি একটি মিটার স্কেল দিয়ে একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা হলো। দেখা গেল যে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 26·5 cm অপেক্ষা বেশি, কিন্তু 26·6 cm অপেক্ষা কম। যদি পাঠটি 26·5 cm এর কাছাকাছি হয় তবে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য ধরা হয় 26·5 cm। লক্ষণীয় যে এই পাঠের শেষ অঙ্কটির পরিমাপে অনিশ্চয়তা (uncertainty) রয়েছে। সুতরাং পরিমাপে প্রাপ্ত পাঠে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্ক সংখ্যা = 3।

তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা নির্ণয়ের নিয়ম

তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা নির্ণয়ের নিয়মগুলি নিম্নে দেখানো হলো :

(i) শূন্য নয় এমন সকল অঙ্কই তাৎপর্যপূর্ণ। যেমন 1657 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা হলো চারটি।

(ii) অশূন্য (non-zero) দুটি অঙ্কের মাঝখানে অবস্থিত শূন্যগুলো তাৎপর্যপর্ণ। যেমন 38075 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা হলো পাঁচটি।

(iii) দশমিক বিন্দুর বামদিকে অবস্থিত শূন্যগুলি এবং অশূন্য অঙ্কের বামদিকে শূন্যগুলি তাৎপর্যপূর্ণ নয়। যেমন 0·000385 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা তিনটি। এই সংখ্যার দশমিক বিন্দুর বামদিকের শূন্য তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্ক নয়। আবার 3-এর বামদিকে অবস্থিত শূন্য তিনটিও তাৎপর্যপূর্ণ নয়।

(iv) কোনো সংখ্যার বামদিকের প্রথম অশূন্য অঙ্ক থেকে শুরু করে ডানদিকের শেষ অঙ্ক পর্যন্ত সকল অঙ্কই তাৎপর্যপূর্ণ। যেমন 29·570 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা হলো পাঁচটি।

(v) যদি কোনো সংখ্যার দশমিক বিন্দুর পর প্রথম অশূন্য অঙ্কের পূর্বে কিছু শূন্য থাকে তবে ওই শূন্যগুলি তাৎপর্যহীন। যেমন 0·00569 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা হলো তিনটি।

(vi) দশমিক বিন্দুর পরের শূন্য অঙ্কগুলি তাৎপর্যপূর্ণ হয় যদি ওই শূন্যগুলির পূর্বে কোনো অশূন্য অঙ্ক থাকে। যেমন 2789·00 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা ছয়টি।

(vii) যদি কোনো পাঠকে এক একক থেকে অন্য এককে রূপান্তরিত করার সময় দশমিক বিন্দুকে সরিয়ে অতিরিক্ত শূন্য বসানো হয় তবে অতিরিক্ত শূন্য অঙ্কগুলি তাপৎপর্যপূর্ণ হয় না। যেমন 408·0 m কে যদি 40800 cm বা 0·4080 km এককে রূপান্তরিত করা হয় তবে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা চারই থাকে।

(viii) যোগ ও বিয়োগের ক্ষেত্রে যে সংখ্যাটির দশমিক চিহ্নের পরের অঙ্কগুলির সংখ্যা ন্যূনতম, ফলাফলে দশমিকের পরে অঙ্কসংখ্যা তার সমান রাখতে হয়। যেমন 1·256 + 2·7 = 3·956। যোগফলটির তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা হবে 3·9।

(ix) গুণ ও ভাগের ক্ষেত্রে উত্তরফলের তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা হবে সবচেয়ে কম তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যাযুক্ত রাশির সমান। যেমন $\frac{2·312 \times 1·5}{1·32} = 2·627$। এক্ষেত্রে 1·5 এর তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা দুই। অতএব, উত্তরফলের তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা হবে 2·6।

(x) Round off প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কোনো রাশিকে নিম্নোক্ত উপায়ে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কবিশিষ্ট রাশিতে প্রকাশ করা হয়।

(ক) নির্দিষ্ট অঙ্কসংখ্যার পরে কোনো অঙ্ক 5-এর বেশি হলে, এর পূর্ববর্তী অঙ্কের সাথে 1 যোগ করে প্রকাশ করা হয়। যেমন 3·78 = 3·8 আবার, 2·23 = 2·2।

(খ) যে অঙ্কটিকে রাউন্ডিং করা হবে সেটি 5 হলে এবং এর পূর্ববর্তী সংখ্যা অযুগ্ম সংখ্যা হলে পূর্ববর্তী অঙ্কের সাথে 1 যোগ করতে হয়। যুগ্ম সংখ্যা হলে অপরিবর্তিত থাকবে। যেমন 2·75 = 2·8, কিন্তু 3·45 = 3·4 হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ১.৭

১। 25·65 Ω একটি রোধের মধ্য দিয়ে 2·38 A কারেন্ট প্রবাহিত হচ্ছে। রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কে নির্ণয় কর।

আমরা জানি, বিভব পার্থক্য, $V = IR$

$\therefore\ V = 2{\cdot}38 \times 25{\cdot}65$

$= 61{\cdot}0470$ volt

এখানে,
$I = 2{\cdot}38$ A
$R = 25{\cdot}65\ \Omega$

যেহেতু, 2·38 সংখ্যাটিতে তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্ক সংখ্যা তিন। তাই গুণফলে তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা তিন অপেক্ষা বেশি হবে না।

২। একটি ঘরের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা যথাক্রমে 5·22 m, 3·65 m ও 3·92 m। ঘরটির ক্ষেত্রফল, আয়তন তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যায় প্রকাশ কর।

আমরা জানি,

ক্ষেত্রফল = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ

$= 5{\cdot}22 \times 3{\cdot}65 = 19{\cdot}053\ m^2$

আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা

$= 5{\cdot}22 \times 3{\cdot}65 \times 3{\cdot}92\ m^3$

$= 74{\cdot}687760\ m^3$

এখানে,
দৈর্ঘ্য, $l = 5{\cdot}22$ m
প্রস্থ, $b = 3{\cdot}65$ m
উচ্চতা, $h = 3{\cdot}92$ m

যেহেতু প্রদত্ত রাশি সব কয়টির তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা 3, সুতরাং ক্ষেত্রফলের সঠিক তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্ক সংখ্যা হবে 19·1 এবং আয়তনের সঠিক তাৎপর্যপূর্ণ অঙ্কসংখ্যা হবে 74·7 m^3।

৩। পরীক্ষাগারে একজন ছাত্র কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের পরীক্ষায় নিম্নলিখিত মানগুলি লিপিবদ্ধ করে : 1·54, 1·55, 1·52, 1·51, 1·48, 1·46 এবং 1·50। কাচের (i) গড় প্রতিসরাঙ্ক, (ii) প্রত্যেকটা পরিমাপে পরম ত্রুটি, (iii) পরম ত্রুটির গড়, (iv) আপেক্ষিক ত্রুটি ও (v) শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর। পরম ত্রুটি ও শতকরা ত্রুটি সাপেক্ষে প্রতিসরাঙ্কের মান প্রকাশ কর।

(i) প্রতিসরাঙ্কের গড় মান, $\bar{\mu} = \dfrac{1{\cdot}54 + 1{\cdot}55 + 1{\cdot}52 + 1{\cdot}51 + 1{\cdot}48 + 1{\cdot}46 + 1{\cdot}50}{7}$

$= 1{\cdot}508 \simeq 1{\cdot}51$

(ii) গড় মানকে প্রকৃত মান বিবেচনা করলে প্রতিটি পরিমাপে পরম ত্রুটি হলো :

$1{\cdot}51 - 1{\cdot}54 = -0{\cdot}03;$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}55 = -0{\cdot}04;$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}52 = -1{\cdot}01;$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}51 = 0{\cdot}00$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}48 = 0{\cdot}03;$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}46 = 0{\cdot}05;$
$1{\cdot}51 - 1{\cdot}50 = 0{\cdot}01$

(iii) পরম ত্রুটির গড়, $\Delta\bar{\mu} = \dfrac{0{\cdot}03 + 0{\cdot}04 + 0{\cdot}01 + 0{\cdot}00 + 0{\cdot}03 + 0{\cdot}05 + 0{\cdot}01}{7} = \dfrac{0{\cdot}17}{7} = 0{\cdot}024$

(iv) আপেক্ষিক ত্রুটি, $\delta\mu = \dfrac{\Delta\mu}{\mu} = \dfrac{0{\cdot}024}{1{\cdot}51} = 0{\cdot}02644 \simeq 0{\cdot}03$

(v) শতকরা ত্রুটি = আপেক্ষিক ত্রুটি × 100% = 0·03 × 100% = 3%

পরম ত্রুটি সাপেক্ষে প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1{\cdot}51 \pm 0{\cdot}024$

শতকরা ত্রুটি সাপেক্ষে প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1{\cdot}51 \pm 3\%$

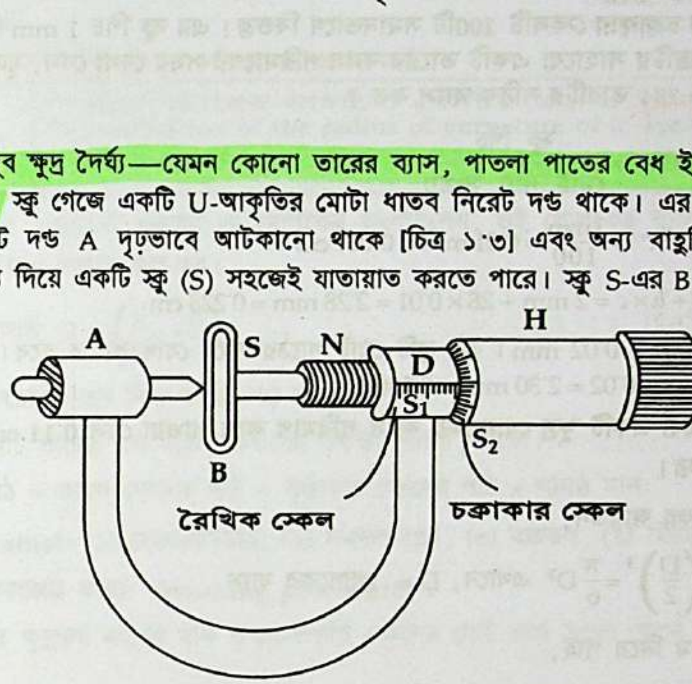
অনুসন্ধানমূলক কাজ : স্ক্রু গেজের বৃত্তাকার স্কেলের ঘরসংখ্যা বৃদ্ধি করে আরও অধিক সূক্ষ্ম পরিমাপ করা সম্ভব কি ? যুক্তিসহ বিশ্লেষণ কর।

স্ক্রু গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (Least count)-এর মান যত কম হবে তত সূক্ষ্ম পাঠ নেওয়া সম্ভব। বৃত্তাকার স্কেলের ঘরসংখ্যা বাড়িয়ে লঘিষ্ঠ ধ্রুবকের মান কমানো যায়। তবে ঘরগুলো এত সূক্ষ্ম হয় যে তা আর খালি চোখে দেখা যায় না।

তাই বৃত্তাকার স্কেলের ঘরসংখ্যা একটি নির্দিষ্ট সীমার বাইরে বৃদ্ধি করা সম্ভব নয়। নিম্নে স্ক্রু গেজ সম্পর্কে আলোচনা করা হলো।

স্ক্রু গেজ
Screw gauge

স্ক্রু গেজ একটি খুব ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য—যেমন কোনো তারের ব্যাস, পাতলা পাতের বেধ ইত্যাদি পরিমাপের জন্য এটি একটি সূক্ষ্ম পরিমাপ যন্ত্র। স্ক্রু গেজে একটি U-আকৃতির মোটা ধাতব নিরেট দণ্ড থাকে। এর বাম বাহুর ওপরের অংশের ভেতর দিকে একটি ছোট দণ্ড A দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে [চিত্র ১·৩] এবং অন্য বাহুটিতে একটি ফাঁপা চোং H আটকানো থাকে যার মধ্য দিয়ে একটি স্ক্রু (S) সহজেই যাতায়াত করতে পারে। স্ক্রু S-এর B পৃষ্ঠটি সমতল। চোং H-এর



চিত্র ১·৩

ওপরের পৃষ্ঠে একটি নির্দেশক রেখা (reference line) D থাকে। ওই রেখার ঠিক লম্বভাবে একটি রৈখিক মিলিমিটারের স্কেল (S_1) অংশাঙ্কিত থাকে। স্ক্রু-এর মাথায় একটি চোঙাকার ঢাকনা D আটকানো থাকে। D ঢাকনার বামদিকের প্রান্তে একটি সুষম চক্রাকার স্কেল (S_2) থাকে। এই স্কেলে 100টি বা 50টি সমদূরবর্তী দাগ কাটা থাকে। স্ক্রুটি এমনভাবে তৈরি করা হয় যেন এর একটি পূর্ণ আবর্তনে এটি রৈখিক স্কেল বরাবর 1 mm সরে যায়। একেই স্ক্রু পিচ (screw pitch) বলা হয়।

সুতরাং স্ক্রু পিচ, $P = 1\,\text{mm} = 0{\cdot}1\,\text{cm}$

ধরা যাক, চক্রাকার স্কেলের মোট দাগ সংখ্যা, $N = 100$

অতএব, স্ক্রু গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, $(\text{L.C.}) = \dfrac{P}{N} = \dfrac{0{\cdot}1}{100}\,\text{cm} = 0{\cdot}001\,\text{cm}$

সুতরাং স্ক্রু গেজের সাহায্যে 0·001 cm পর্যন্ত ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায়।

পরিমাপের পদ্ধতি (Method of measurement) : প্রথমেই খেয়াল করতে হবে যে যন্ত্রটি ত্রুটিমুক্ত কি না। A ও B তলদ্বয় স্পর্শ করলে যদি রৈখিক এবং চক্রাকার উভয় স্কেলের পাঠ শূন্য হয় তবে যন্ত্রটিকে ত্রুটিহীন বলা হয়। যদি যন্ত্রটি ত্রুটিযুক্ত হয় তবে ওই ত্রুটির পরিমাণ নির্ণয় করে পরিমাপের সাথে হিসাব করতে হয়। এবার যে তারের ব্যাস বা ব্যাসার্ধ কিংবা যে পাতের বেধ মাপা হবে সেটিকে স্ক্রু গেজের A ও B-এর মাঝে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাতে A ও B প্রান্ত দুটি তার বা পাতটির পৃষ্ঠ স্পর্শ করে থাকে। এই অবস্থায় দুটি পাঠ নিতে হয়; যথা—

(i) রৈখিক স্কেলের পাঠ (a)

(ii) চক্রাকার স্কেলের পাঠ (b)

এখানে তারের ব্যাস বা পাতের বেধ,

$$d = \text{রৈখিক স্কেলের পাঠ } (a) + \text{চক্রাকার স্কেলের পাঠ } (b) \times \text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক } (c)$$

অর্থাৎ, $d = a + b \times c$

উদাহরণ : ধরি স্ক্রু গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, $c = 0{\cdot}001$ cm, রৈখিক স্কেলের পাঠ, $a = 1{\cdot}1$ cm এবং চক্রাকার স্কেলের পাঠ, $b = 32$ ঘর [চিত্র ১·৩]।

$\therefore$ তারটির ব্যাস, $d = a + b \times c$

$$= 1{\cdot}1 + 32 \times 0{\cdot}001$$
$$= 1{\cdot}1 + 0{\cdot}032 = 1{\cdot}132\,\text{cm}$$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৮

১। একটি স্ক্রু গেজের চক্রাকার স্কেলটি 100টি সমানভাগে বিভক্ত। এর স্ক্রু পিচ 1 mm। দেখা গেল স্ক্রু গেজটির যান্ত্রিক ত্রুটি −0·02 mm। যন্ত্রটির সাহায্যে একটি তারের ব্যাস পরিমাপের সময় দেখা গেল, মূল স্কেলের পাঠ = 2 mm এবং চক্রাকার স্কেলের পাঠ = 28। তারটির সঠিক ব্যাস কত ?

স্ক্রু গেজটির লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $= \dfrac{\text{স্ক্রু পিচ}}{\text{মোট দাগ সংখ্যা}}$

$$= \frac{1\text{mm}}{100} = 0·01 \text{ mm} = 0·001 \text{ cm}$$

তারের ব্যাস, $d' = a + b \times c = 2 \text{ mm} + 28 \times 0·01 = 2·28 \text{ mm} = 0·228 \text{ cm}$

স্ক্রু গেজটির যান্ত্রিক ত্রুটি − 0·02 mm। এই ত্রুটি মোট পাঠের সাথে যোগ করতে হবে। অতএব, তারটির প্রকৃত ব্যাস $d = d' + 0·02 \text{ mm} = 2·28 + 0·02 = 2·30 \text{ mm} = 0·230 \text{ cm}$

২। স্ক্রু গেজের সাহায্যে একটি ক্ষুদ্র গোলকের ব্যাস পরিমাপ করে পাওয়া গেল 0·11 cm। গোলকটির আয়তন নির্ণয়ে সর্বোচ্চ ত্রুটি নির্ণয় কর।

আমরা জানি, গোলকের আয়তন,

$$V = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6}D^3$$ এখানে, D = গোলকের ব্যাস

উভয় পক্ষের লগারিদম নিয়ে পাই,

$$\ln V = \ln\left(\frac{\pi}{6}D^3\right) = \ln\left(\frac{\pi}{6}\right) + 3\ln D$$

অবকলন করে পাই, $\dfrac{\Delta V}{V} = \dfrac{3\Delta D}{D}$ [$\because \dfrac{\pi}{6}$ = ধ্রুবক, তাই এর অবকলন শূন্য]

এখন, $D = 0·11$ cm এবং ΔD = ব্যাস পরিমাপে ত্রুটি = স্ক্রু গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = 0·001 cm

∴ গোলকটির আয়তন পরিমাপে আনুপাতিক ত্রুটি হলো,

$$\frac{\Delta V}{V} = 3 \times \frac{0·001}{0·11} = 0·027$$

∴ গোলকটির আয়তন নির্ণয়ে সর্বোচ্চ ত্রুটির পরিমাণ = 0·027 × 100% = 2·7%

৩। একটি বস্তুর ভর পরিমাপ করে পাওয়া গেল (90 ± 0·001) g এবং আয়তন পরিমাপ করে পাওয়া গেল (9 ± 0·1) cm³। বস্তুটির ঘনত্ব কত ? বস্তুটির ঘনত্ব নির্ণয়ে পরম ত্রুটির পরিমাণ কত ? ঘনত্ব নির্ণয়ে আনুপাতিক ও শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর।

আমরা জানি, বস্তুর ঘনত্ব,

$$\rho = \frac{\text{ভর (M)}}{\text{আয়তন (V)}} = \frac{90}{9}\text{gcm}^{-3} = 10\,\text{gcm}^{-3}$$

উভয় পক্ষের লগারিদম নিয়ে অবকলন করে পাই,

আনুপাতিক ত্রুটি $= \dfrac{d\rho}{\rho} = \dfrac{dM}{M} + \dfrac{dV}{V}$

$$\therefore \quad d\rho = \rho\left(\frac{dM}{M} + \frac{dV}{V}\right) = 10\left(\frac{0·001}{90} + \frac{0·1}{9}\right)\text{gcm}^{-3}$$

$$= 10\,(0·000011 + 0·011) = 10 \times 0·011011 = 0·11011 \text{ gcm}^{-3}$$

∴ বস্তুটির ঘনত্ব নির্ণয়ে পরম ত্রুটি = 0·11011 gcm⁻³

আনুপাতিক ত্রুটি $= \dfrac{d\rho}{\rho} = \dfrac{dM}{M} + \dfrac{dV}{V} = \dfrac{0·001}{90} + \dfrac{0·1}{9} = 0·011011$

ঘনত্ব নির্ণয়ে শতকরা ত্রুটি $= \dfrac{d\rho}{\rho} \times 100\% = 0·011011 \times 100\% = 1·1011\%$

১.১৪ ব্যবহারিক
Experimental

স্ফেরোমিটারের ব্যবহার (Use of spherometer)

পরীক্ষণের নাম :	স্ফেরোমিটারের সাহায্যে গোলীয় তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয়
পিরিয়ড : ২.৫	Determination of the radius of curvature of a spherical surface by a spherometer

মূলতত্ত্ব (Theory) : কোনো বক্রতল যে গোলকের অংশবিশেষ, ওই গোলকের ব্যাসার্ধকে বক্রতলের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলা হয়। একে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

∴ বক্রতার ব্যাসার্ধ, $R = \left(\frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}\right)$

এখানে, d = স্ফেরোমিটারের তিন পায়ের গড় দূরত্ব

এবং h = তিনটি পায়ের তল হতে বক্রতলের উচ্চতা কিংবা নিম্নতা।

স্ফেরোমিটারের পাঠ = প্রধান স্কেলের পাঠ + বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ × লঘিষ্ঠ মান

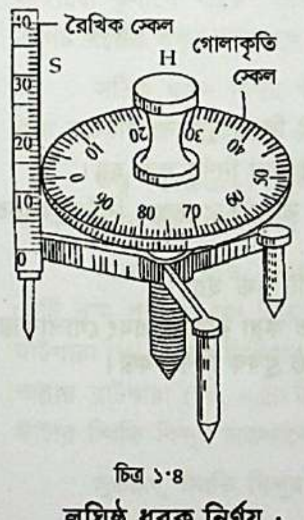
যন্ত্রপাতি (Apparatus): (১) স্ফেরোমিটার, (২) সমতল প্লেট, (৩) বক্রতল, (৪) মিটার স্কেল ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure) :

(১) স্ফেরোমিটারের ক্ষুদ্রতম ভাগের মান ও গোলাকৃতি স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা জেনে যন্ত্রের পীচ ও লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বের করা হয়।

(২) যন্ত্রের ত্রুটি আছে কি-না তাও বের করা হয়।

(৩) স্ফেরোমিটারটি সমতল পাতের ওপর স্থাপন করা হয়। স্ক্রু মাথা এমনভাবে ঘুরানো হয় যেন তার অগ্রভাগ সমতল পাত স্পর্শ করে।



চিত্র ১.৪

(৪) রৈখিক ও গোলাকৃতি স্কেলের পাঠ নেয়া হয়। গোলাকৃতি স্কেলের পাঠকে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দ্বারা গুণ করে খণ্ড অংশ বা ভগ্নাংশ বের করা হয়। রৈখিক স্কেলের পাঠের সাথে ভগ্নাংশ যোগ করে মোট পাঠ বের করা হয়।

(৫) উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় কয়েকবার পাঠ নিয়ে তার গড় মান বের করা হয়।

(৬) এখন স্ফেরোমিটারটি বক্রতলের উপর স্থাপন করা হয়। স্ক্রু মাথা আস্তে আস্তে উপরে উঠান হয় এবং এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন তার অগ্রভাগ বক্রতলের সর্বোচ্চ/সর্বনিম্ন বিন্দু স্পর্শ করে। উপরের নিয়ম অনুযায়ী রৈখিক স্কেল ও গোলাকৃতি স্কেলের পাঠ নিয়ে মোট পাঠ বের করা হয়। কয়েকবার পাঠ নিয়ে গড় মান নির্ণয় করা হয়। এই দুই পাঠের অন্তরফলই হলো h।

(৭) মিটার স্কেলের সাহায্যে তিনটি পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব মেপে তাদের গড় মান বের করা হয়। এটাই হলো d-এর মান।

(৮) এখন h এবং d-এর মান তালিকাভুক্ত করে R-এর মান বের করা হয়।

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় :

রৈখিক স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগের মান = x মিমি

পীচ = x মিমি

গোলাকৃতি স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = y

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, $K = \frac{\text{পীচ}}{\text{গোলাকৃতি স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}}$

$= \frac{x}{y}$ মিমি = ... মিমি

স্ফেরোমিটারের পা তিনটির মধ্যবর্তী দূরত্ব = d = ... মিমি।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন (Observation and manipulation) :

ছক ১ : সমতল কাচ প্লেটে পাঠ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ = M মিমি	গোলাকার স্কেল পাঠ = C	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = K মিমি	খণ্ড অংশ বা ভগ্নাংশ F = C×K মিমি	মোট পাঠ = M + F মিমি	গড় পাঠ X মিমি	যান্ত্রিক ত্রুটি = ± x মিমি	শুদ্ধ পাঠ X′ = X −(± x) মিমি
1								
2								
3								

ছক ২ : বক্রতলে পাঠ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ = M মিমি	গোলাকার স্কেল পাঠ = C	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = K মিমি	খণ্ড অংশ বা ভগ্নাংশ F = C×K মিমি	মোট পাঠ = M + F মিমি	গড় পাঠ X মিমি	যান্ত্রিক ত্রুটি = ± x মিমি	শুদ্ধ পাঠ X′ = X −(± x) মিমি
1								
2								
3								

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

$R = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}$; এখানে d = ... মিমি

এবং $h = (Y' - X')$ = ... মিমি

$\therefore$ R = ... সেমি = ... মিটার (m)

ফলাফল (Result) : নির্ণেয় বক্রতার ব্যাসার্ধ, R = ... সেমি = ... m

সতর্কতা (Precautions) : (১) পিছট ত্রুটি দূর করার জন্য স্ক্রুর মাথা সর্বদা একই দিকে ঘুরানো উচিত।

(২) সমতল কাচ পাতের ওপর ও পরীক্ষণীয় কাচ পাতের ওপর স্ক্রুর মিলন তার ছায়া দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

(৩) স্ক্রুর প্রান্ত বক্রতল ও কাচ পাতের গায়ে আলতোভাবে স্পর্শ করেছে কিনা তা সতর্কতার সাথে নির্ণয় করতে হবে।

আলোচনা (Discussion) : বক্রতল সুষম না হওয়ায় নির্ণেয় বক্রতার ব্যাসার্ধে ত্রুটি দৃষ্ট হয়।

উদাহরণ : একটি স্ফেরোমিটারের গোলাকার স্কেল 100টি দাগে সমানভাবে চিহ্নিত করা রয়েছে এবং গোলাকার স্কেলের একবার পূর্ণ আবর্তনে রৈখিক স্কেল 0·01 cm এগিয়ে যায়। স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় কর।

এখানে রৈখিক স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগের মান = 0·01 cm

গোলাকার স্কেলের মোট পাঠ সংখ্যা = 100

$\therefore$ লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, $K = \frac{0{\cdot}01}{100}$ cm $= 10^{-4}$ cm

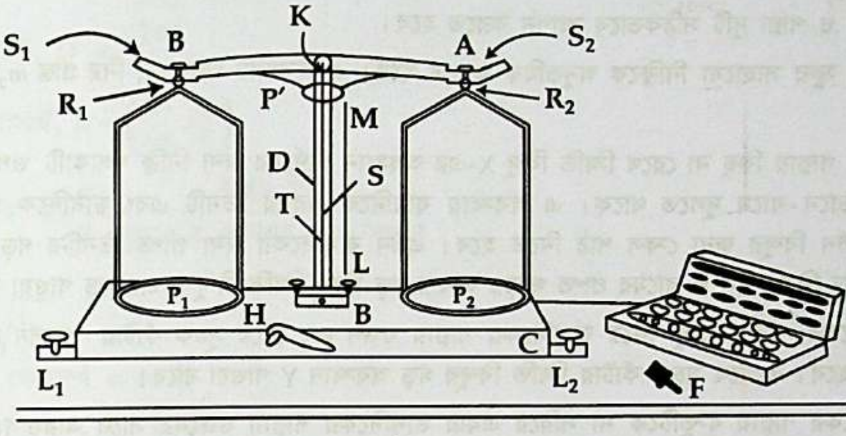
পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২.৫	নিক্তির সাহায্যে দোলন পদ্ধতিতে বস্তুর ভর নির্ণয় **Determination of mass of a body by the method of oscillation using a balance**

পরীক্ষাগারে সাধারণত যে নিক্তি ব্যবহার করা হয় তা নিম্নের চিত্রে দেখানো হলো।

নিক্তির বিবরণ (Description of the balance) :

নিক্তির ভিত্তি হিসেবে একটি কাঠের পাটাতন B থাকে। পাটাতনের নিম্নাংশে লেবেল স্ক্রু L_1, L_2 যুক্ত থাকে। স্ক্রু দুটি ঘুরিয়ে নিক্তি স্তম্ভকে উল্লম্ব করা যায়। T হচ্ছে কাঠ ফলকের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান ধাতু নির্মিত একটি ফাঁপা স্তম্ভ। একে নিক্তির পিলার (pillar) বলে। এর সাথে একটি ধাতব ফ্রেম যুক্ত থাকে। একটি হাতল H-এর সাহায্যে

একটি ধাতব নির্মিত দৃঢ় শলাকা D-কে এই স্তম্ভের মাধ্যমে খাড়াভাবে উঠানো-নামানো যায়। নিক্তি দণ্ড D-এর উপর একটি এগেট পাথরের প্লেট (P′) আটকানো থাকে। নিক্তি দণ্ড AB একটি দৃঢ় ধাতব দণ্ড। এই দণ্ডের ভারকেন্দ্র বরাবর একটি এগেট পাথরের ত্রিশিরা টুকরা (K) যুক্ত থাকে। নিক্তি শলাকা D-কে ওপরে উঠালে নিক্তি দণ্ড নিক্তি স্তম্ভের ফ্রেম



চিত্র ১·৫

থেকে মুক্ত হয়। এ অবস্থায় দণ্ডের ধারাল এগেট খণ্ডটি একটি সমতল এগেট খণ্ডের ওপরে অবস্থান করে। এর ফলে নিক্তি দণ্ড বাধাহীনভাবে দুলতে থাকে। নিক্তি দণ্ডের ভারকেন্দ্রের ঠিক ওপরে একটি লম্বা সরু কাঁটা লাগানো থাকে। একে নিক্তির সূচক কাঁটা বলে। এই কাঁটাটি নিক্তি স্তম্ভ T-এর পাদদেশে সংযুক্ত একটি স্কেল S-এর ওপরে মুক্তভাবে চলাচল করতে পারে।

P_1, P_2 দুটি পাল্লা নিক্তি দণ্ডের দুই প্রান্তে সংযুক্ত ধারাল ইস্পাত খণ্ডের ওপরে বসানো স্টিরাপ R_1, R_2 হতে হুকের সাহায্যে ঝুলানো থাকে। নিক্তি দণ্ডের দুই প্রান্তে দুটি স্ক্রু S_1, S_2 রয়েছে। এই স্ক্রু দুটিকে ঘুরিয়ে নিক্তি দণ্ডের ভারকেন্দ্রকে এগেট খণ্ডের ওপর রাখা হয়। নিক্তি স্তম্ভ উল্লম্ব আছে কিনা দেখার জন্য একটি ওলন সুতা ML লাগানো থাকে।

সঠিক ওজন নির্ণয় করতে যাতে অসুবিধা না হয় সেজন্য পাল্লাযুক্ত একটি কাচের বাক্সের মধ্যে নিক্তিটি স্থাপন করা হয়। পাল্লা ইচ্ছেমতো খোলা বা বন্ধ করা যায়।

তত্ত্ব (Theory) : নিক্তি দ্বারা ওজন নেবার সময় নিক্তি শলাকাটি ওপরে উঠালে সূচক কাঁটা ডানে-বামে দুলতে থাকে। ধীরে ধীরে দোলনের বিস্তার কমতে থাকে এবং এক সময় এটি স্থিতি অবস্থায় আসে।

মনে করা যাক, উভয় পাল্লায় বাটখারা শূন্য অবস্থায় সূচক কাঁটার স্থিতি বিন্দু X। যে বস্তুটির ওজন নেয়া হবে সেটি বাম পাল্লায় এবং প্রয়োজনীয় বাটখারা ডান পাল্লায় স্থাপন করা হয়। বাম পাল্লায় বস্তু স্থাপন এবং ডান পাল্লায় বাটখারা (W_1 + 10 মিলিগ্রাম) থাকা অবস্থায় সূচক কাঁটার স্থিতি বিন্দু Y। এবার বাম পাল্লায় পূর্বোক্ত বস্তু এবং ডান পাল্লায় বাটখারা (W_1 + 20 মিলিগ্রাম) থাকা অবস্থায় স্থিতি বিন্দু Z হলে, অতিরিক্ত 10 মিলিগ্রাম ওজনের জন্য সূচক কাঁটার স্থিতি বিন্দুর অবস্থানের পরিবর্তন হয় Z — Y ঘর বা ভাগ সংখ্যা (divisions)।

সুতরাং, স্থিতি বিন্দুর এক ভাগ সংখ্যা পরিবর্তনের জন্য ওজনের পরিবর্তন হবে,

$$\frac{10}{Z-Y} \text{ মিলিগ্রাম} = \frac{10}{Z-Y} \times \frac{1}{1000} \text{ গ্রাম} = \frac{1}{(Z-Y)\times 100} \text{ গ্রাম}$$

∴ স্থিতি বিন্দুর (Z — X) ভাগ সংখ্যা পরিবর্তনের জন্য ওজনের পরিবর্তন হবে,

$$\frac{1}{(Z-Y)\times 100}\,(Z-X) = \frac{(Z-X)}{(Z-Y)\times 100}$$

অতএব, বস্তুটির প্রকৃত ওজন

$$W = \left[W_1 + \frac{(Z-X)}{(Z-Y)\times 100}\right] \text{ গ্রাম} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \text{(i)}$$

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : সাধারণ নিক্তি, ওজন বাক্স, ওজন নির্ণীতব্য বস্তু ইত্যাদি।

কার্যপ্রণালি (Working procedure) :

(১) পাল্লা দুটিকে নরম ব্রাশ দিয়ে পরিষ্কার করতে হবে।

(২) স্টিরাপ ও পাল্লা দুটি সঠিকভাবে স্থাপন করতে হবে।

(৩) লেবেল স্ক্রুর সাহায্যে নিক্তিকে অনুভূমিক করতে হবে। এ অবস্থায় ওলন m_1 নিম্ন প্রান্ত m_2 এর মাথা বরাবর অবস্থান করবে।

(৪) কোনো পাল্লায় কিছু না রেখে স্থিতি বিন্দু X-এর অবস্থান নির্ণয়ের জন্য নিক্তি শলাকাটি ওপরে উঠাতে হবে। এতে সূচক কাঁটা ডানে-বামে দুলতে থাকে। এ অবস্থায় বামদিকে পরপর তিনটি এবং ডানদিকে পরপর দুটি সূচক কাঁটার দিক পরিবর্তন বিন্দুর জন্য স্কেল পাঠ নিতে হবে। এখন বামদিকের জন্য প্রাপ্ত তিনটির গড় এবং ডানদিকের জন্য প্রাপ্ত দুটির গড় নিয়ে ডান ও বামের প্রাপ্ত গড়ের আবার গড় নিয়ে স্থিতি বিন্দু X এর গড় পাওয়া যাবে।

(৫) বামদিকের পাল্লায় বস্তু নিয়ে ডানদিকের পাল্লায় ওজন W_1 রেখে সূচক কাঁটার দোলন লক্ষ করে ওপরের নিয়মে পাঠ নিতে হবে। এভাবে সূচক কাঁটার স্থিতি বিন্দুর গড় অবস্থান Y পাওয়া যাবে।

(৬) বামদিকের পাল্লায় বস্তুটিকে না সরিয়ে এবার ডানদিকের পাল্লায় ওজনের সাথে আরও 10 মিলিগ্রাম ওজন দিয়ে ওপরের পদ্ধতি অনুসরণ করে সূচক কাঁটার স্থিতি বিন্দুর গড় অবস্থান Z নির্ণয় করতে হবে।

(৭) সমীকরণ (i) ব্যবহার করে বস্তুটির নির্ণেয় ওজন বের করতে হবে।

পরীক্ষালব্ধ ছক–১

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বাম পাল্লায় ভর (g)	ডান পাল্লায় ভর (g)	প্রত্যাবর্তন বিন্দুর (Turning Point) অবস্থান				স্থিতি বিন্দু $=\frac{1}{2}(x+y)$
			বাম	গড় (x)	ডান	গড় (y)	
1 2 3	0	0	....		....		X =
1 2 3	বস্তু	$W_1 = ...(g)$	....		....		Y =
1 2 3	বস্তু	$W_1 + 0{\cdot}01 = ...(g)$	....		....		Z =

হিসাব : বস্তুর প্রকৃত ওজন, $W_1 = \left[W_1 + \frac{(Z-X)}{(Z-Y)\times 100}\right]$ গ্রাম

ফলাফল : নির্ণেয় বস্তুর প্রকৃত ভর, W = ... গ্রাম

সতর্কতা (Precautions) :

(১) পাটাতনের স্ক্রুগুলোকে যথাযথ দিকে ঘুরিয়ে নিক্তি স্তম্ভকে উল্লম্ব করতে হবে।

(২) স্টিরাপকে আবদ্ধ না করে পাল্লায় ওজন রাখা বা ওজন সরানো উচিত নয়।

(৩) নিক্তি শলাকাকে ওপরে উঠাবার পূর্বে কাচবাক্সের ঢাকনা বন্ধ করা উচিত।

(৪) পাল্লাসহ পুরা নিক্তি ধূলাবালিমুক্ত তথা পরিষ্কার রাখতে হবে।

(৫) লম্বন ত্রুটি পরিহার করে পাঠ নিতে হবে।

(৬) নিক্তি দণ্ড ও সূচকের মুক্ত দোলন তথা অবাধ চলাচল নিশ্চিত করতে হবে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

পরম ত্রুটি = প্রকৃত মান − পরিমাপ্য মান ... ... (1)

$$\text{শতকরা ত্রুটি} = \frac{\text{প্রকৃত মান} \sim \text{পরীক্ষালব্ধ মান}}{\text{প্রকৃত মান}} \times 100\% = \text{ভুলের হার} \quad \ldots \quad (2)$$

$$\text{প্রমাণ বিচ্যুতি, } D = \frac{\sqrt{\sum d^2}}{n} \quad \ldots \quad (3)$$

$$\text{বক্রতার ব্যাসার্ধ, } R = \left(\frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}\right) \quad \ldots \quad (4)$$

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, } k = \frac{S}{n} = \frac{\text{যন্ত্রের পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেলের ভাগ সংখ্যা}} \quad \ldots \quad (5)$$

$$E = m_0c^2 \quad \ldots \quad (6)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad \ldots \quad (7)$$

$$\text{গোলকের ক্ষেত্রফল} = 4\pi r^2 \quad \ldots \quad (8)$$

$$\text{গোলকের আয়তন, } V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \ldots \quad (9)$$

$$\text{সিলিন্ডারের আয়তন, } V = \pi r^2 l \quad \ldots \quad (10)$$

$$\text{প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, } A = \pi r^2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \ldots \quad (11)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। সজিব ঢাকা থেকে কুমিল্লা যাচ্ছিল। কুমিল্লা শহরে পৌঁছানোর পূর্বে মাইল পোস্টে কুমিল্লার দূরত্ব 1 km দেখতে পেল। 1 মাইলের সাথে উক্ত কিলোমিটারের দূরত্বের পার্থক্য মিটারে (m) প্রকাশ কর।

আমরা জানি,

$$1\text{ mile} = 1760 \times 3 \times 12\text{ inch} = 1760 \times 3 \times 12 \times 2.54\text{ cm}$$

$$= \frac{1760 \times 3 \times 12 \times 2.54}{100}\text{ m} = \frac{1760 \times 3 \times 12 \times 2.54}{100 \times 1000}\text{ km}$$

$$= 1.609\text{ km} = 1.61 \text{ কিমি (km) (প্রায়)}$$

$$\therefore \quad 1\text{ mile} - 1\text{ km} = (1.609 - 1)\text{ km} = 0.609\text{ km} = 0.609 \times 1000\text{ m} = 609\text{ m}$$

২। একটি পরীক্ষায় কিছু মৌলিক কণার ভর 10 amu পাওয়া গেল। উক্ত ভর কয়টি ইলেকট্রনের ভরের সমান হবে ? উক্ত সংখ্যক ইলেকট্রন মৌলিক কণায় থাকতে পারে কি ?

আমরা জানি, 1 amu বা $1\text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ও 1টি ইলেকট্রনের ভর $= 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$

ধরি, nটি ইলেকট্রন ভরের সমান হবে 10 amu

$$\therefore \quad 10\text{ amu} = n \times 1\text{টি ইলেকট্রনের ভর}$$

$$\text{বা,} \quad 10 \times 1.66 \times 10^{-27}\text{ kg} = n \times 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$$

$$\therefore \quad n = \frac{10 \times 1.66 \times 10^{-27}}{9.1 \times 10^{-31}} = 1.82 \times 10^4 \text{ টি।}$$

উক্ত সংখ্যক ইলেকট্রন মৌলিক কণায় থাকা সম্ভব।

৩। আনিস স্ফেরোমিটারের সাহায্যে একটি উত্তল লেন্সের উচ্চতা পরিমাপ করে গড় উচ্চতা 5.21 cm এবং সমতল কাচ প্লেটের উচ্চতা 0.25 cm পেল। স্ফেরোমিটারের তিন পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব যথাক্রমে 6.3 cm, 6.5 cm ও 6.4 cm।

(ক) প্রমাণ বিচ্যুতি কী ?

(খ) সকল তত্ত্বই অনুকল্প কিন্তু সকল অনুকল্প তত্ত্ব নয়—ব্যাখ্যা কর।

(গ) উত্তল লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। লেন্সের গভীরতা ও কাচ প্লেটের উচ্চতা একই।

(ঘ) লেন্সটি উত্তল না হয়ে অবতল লেন্স হলে বক্রতার ব্যাসার্ধের কোনো পরিবর্তন পরিলক্ষিত হতো কি ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) প্রমাণ বিচ্যুতি : অনেক সময় বিচ্যুতিগুলির গড় নির্ণয়ের পরিবর্তে তাদের বর্গের গড় বের করে তার বর্গমূল নির্ণয় করা হয়। এই বর্গমূলের পরিমাণকে প্রমাণ বিচ্যুতি বলে।

(খ) বিজ্ঞানীরা তাঁদের পর্যবেক্ষিত ঘটনার কারণ সম্বন্ধে ব্যাখ্যা প্রদানের জন্য অনেক সময় পূর্বে আবিষ্কৃত প্রাকৃতিক নিয়মের সাথে সামঞ্জস্য রেখে কিছু অনুমান করেন। এই অনুমানগুলোকে বলা হয় **অনুকল্প**। অনুকল্পগুলোর সত্যতা যাচাইয়ের জন্য পরীক্ষা সম্পাদন করা হয় এবং পরীক্ষায় প্রমাণিত হলে তা তত্ত্বে পরিণত হয়। পরীক্ষণ বা পর্যবেক্ষণ দ্বারা অনুকল্প সমর্থিত হতেও পারে আবার বাতিলও হতে পারে। সুতরাং **সকল তত্ত্বই অনুকল্প, কিন্তু সকল অনুকল্প তত্ত্ব নয়।**

(গ) মনে করি লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধ R। এখানে স্ফেরোমিটারের পা-গুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব, $d_1 = 6{\cdot}3$ cm, $d_2 = 6{\cdot}5$ cm, $d_3 = 6{\cdot}4$ cm।

সুতরাং, স্ফেরোমিটারের পা-গুলোর মধ্যবর্তী গড় দূরত্ব,

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{6{\cdot}3 + 6{\cdot}5 + 6{\cdot}4}{3} = 6{\cdot}4 \text{ cm}$$

তলের উচ্চতা, $h = 5{\cdot}21 \text{ cm} - 0{\cdot}25 \text{ cm} = 4{\cdot}96 \text{ cm}$

আমরা জানি,

$$R = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2} = \frac{(6{\cdot}4)^2}{6 \times 4{\cdot}96} + \frac{4{\cdot}96}{2} = 3{\cdot}86 \text{ cm}$$

$\therefore \quad R = 3{\cdot}86$ cm

(ঘ) লেন্সটি উত্তল না হয়ে অবতল হলেও বক্রতার ব্যাসার্ধের কোনো পরিবর্তন হবে না। এর সপক্ষে মতামত নিম্নরূপ :

এখানে, স্ফেরোমিটারের পা-গুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{6{\cdot}3 + 6{\cdot}5 + 6{\cdot}4}{3} = 6{\cdot}4 \text{ cm}$$

অবতল লেন্সের গভীরতা = $5{\cdot}21$ cm

কাচ প্লেটের উচ্চতা = $0{\cdot}25$ cm

$\therefore$ বক্রতলের উচ্চতা, $h = 0{\cdot}25 \text{ cm} - 5{\cdot}21 \text{ cm} = -4{\cdot}96 \text{ cm}$

ঋণাত্মক চিহ্ন অবতল লেন্সের নিচের দিকে সরণ নির্দেশ করে।

আমরা জানি,

$$R = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2} = \frac{(6{\cdot}4)^2}{6 \times 4{\cdot}96} + \frac{4{\cdot}96}{2} = 3{\cdot}86 \text{ cm}$$

$\therefore \quad R = 3{\cdot}86$ cm

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে বক্রতার ব্যাসার্ধ উভয় ক্ষেত্রে একই। অর্থাৎ লেন্স উত্তল বা অবতল যাই হোক না কেন বক্রতার ব্যাসার্ধের কোনো পরিবর্তন হবে না।

৪। একটি স্ফেরোমিটারের পরিধি 100টি সমান দাগে চিহ্নিত করা হয়েছে এবং গোলাকৃতি স্কেলের একটি পূর্ণ আবর্তনে প্রধান স্কেল 1 mm এগিয়ে যায়।

(ক) মৌলিক বা প্রাথমিক একক কী ?

(খ) পরিমাপের সকল যন্ত্রে পিছট ত্রুটি থাকবে কি–না ব্যাখ্যা কর।

(গ) স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(ঘ) এই স্ফেরোমিটারের সূক্ষ্মতা বাড়াতে গিয়ে গোলাকৃতি স্কেলের ঘরসংখ্যা ইচ্ছেমতো বাড়ানো সম্ভব কী? যুক্তি দাও।

(ক) মৌলিক বা প্রাথমিক একক : যে একক অন্য কোনো এককের ওপর নির্ভর করে না এবং একেবারে সম্পর্কশূন্য বা স্বাধীন তাকে মৌলিক একক বা প্রাথমিক একক বলে।

(খ) সকল যন্ত্রে এই ত্রুটি পরিলক্ষিত হয় না। নাট-স্ক্রু নীতির ওপর ভিত্তি করে যে সমস্ত যন্ত্র তৈরি হয় সেসব যন্ত্রে এই ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। নতুন যন্ত্রের তুলনায় পুরাতন যন্ত্রে এই ত্রুটি বেশি দেখা যায়। কারণ অনেক দিন

ব্যবহারের ফলে নাটের গর্ত বড় হয়ে যেতে পারে বা স্ক্রু ক্ষয় হয়ে ঢিলা হয়ে যায়; ফলে স্ক্রুকে উভয়দিকে ঘুরালে সমান সরণ হয় না। এ ধরনের ত্রুটিকে পিছট ত্রুটি বলে।

(গ) এখানে $P = 1\ mm = 0{\cdot}1\ cm$ এবং $N = 100$

$\therefore$ লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $= \frac{P}{N} = \frac{0{\cdot}1}{100}\ cm = 0{\cdot}001\ cm$ বা, $10^{-3}\ cm$

(ঘ) আমরা জানি, স্ফেরোমিটারের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক যত কম হবে এর সূক্ষ্মতা তত বাড়বে। চক্রাকার স্কেলের ঘর-সংখ্যা বৃদ্ধি করে এই লঘিষ্ঠ ধ্রুবক কমানো যায়; কিন্তু এর ফলে ঘরগুলিকে খালি চোখে আলাদা করা সম্ভব হয় না; তাই ঘরসংখ্যা ইচ্ছেমতো বৃদ্ধি করা সম্ভব নয়।

৫। একটি সরল দোলকের দৈর্ঘ্য $(0{\cdot}6 \pm 0{\cdot}01)\ m$ এবং পর্যায়কাল $(2{\cdot}4 \pm 0{\cdot}12)\ sec$।

(ক) পরম ত্রুটি কী ?

(খ) কোনো পরিমাপ্য রাশির আনুপাতিক ভুল কীভাবে নির্ধারণ করবে ?

(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত সরল দোলকের সাহায্যে অভিকর্ষজ ত্বরণ পরিমাপে শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর।

(ঘ) একজন ছাত্র আইনস্টাইনের বিখ্যাত ভরের আপেক্ষিকতা সমীকরণটি লিখতে ভুলক্রমে $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2}}$ লিখে ফেলে। এখানে সে সমীকরণে আলোর বেগ রাশি c লিখতে ভুলে যায়। সমমাত্রিক নীতির সাহায্যে দেখাও যে ছাত্রটি সমীকরণে কোথায় c লিখতে ভুল করেছিল।

(ক) পরম ত্রুটি : কোনো একটি রাশির প্রকৃত মান ও পরিমাপকৃত মানের পার্থক্যকে পরম ত্রুটি বলে।

(খ) আনুপাতিক ভুল নির্ধারণ : যখন একটি পরীক্ষণে বেশ কয়েকটি রাশির মান পরিমাপ করতে হয়, তখন পরিমাপ্য রাশিগুলোর পরিমাপের শুদ্ধতার মাত্রা কতদূর পর্যন্ত উন্নত করা যায় তা যাচাই করা প্রয়োজন।

ধরা যাক x একটি পরিমাপ্য ভৌত রাশি এবং এটি y ও z রাশি দুটির সাথে নিম্নোক্ত সমীকরণের দ্বারা সম্পর্কযুক্ত :

$$x = y^m z^n \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (i)$$

এখন, y, z রাশি দুটিকে পরিমাপ করতে ভুল হলে x-এর পরিমাপে তা প্রতিফলিত হবে।

সমীকরণ (i)-কে লগারিদমিক অবকলন করে পাই,

$$\delta x = m\delta y + n\delta z$$

y, z রাশিগুলোকে পরিমাপ করার সময় সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ভুল যথাক্রমে $\pm\,\delta y$ এবং $\pm\,\delta z$; ফলে x এর সর্বোচ্চ সম্ভাব্য ভুল হবে $\pm\,\delta x$।

সুতরাং সর্বোচ্চ সম্ভাব্য আনুপাতিক ভুল,

$$\left(\frac{\delta x}{x}\right)_{max} = m\left(\frac{\delta y}{y}\right) + n\left(\frac{\delta z}{z}\right) \qquad \ldots \qquad (ii)$$

পরিমাপ্য ভৌত রাশি x-এর সাথে যে সকল রাশি জড়িত থাকে (এক্ষেত্রে y ও z) তাদের প্রত্যেকের আনুপাতিক ভুল পৃথকভাবে নির্ণয় করে ওই নির্ণীত ভুলগুলোর পরিমাণকে তাদের সংশ্লিষ্ট রাশিগুলির শক্তিসংখ্যা (power number) দ্বারা গুণ করে, গুণফলকে যোগ করলে ওই যোগফলই হবে পরিমাপ্য ভৌত রাশির (এক্ষেত্রে x) আনুপাতিক ভুলের সর্বোচ্চ মান। অতএব, যে রাশির শক্তিসংখ্যা বেশি সেটি খুব সতর্কতার সঙ্গে পরিমাপ করলে পরিমাপ্য রাশির আনুপাতিক ভুল কম হবে।

(গ) আমরা জানি, সরল দোলকের পর্যায়কাল, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$\therefore \quad g = 4\pi^2\frac{l}{T^2}$

অভিকর্ষজ ত্বরণ পরিমাপে আপেক্ষিক ত্রুটি

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\times\Delta T}{T} = \frac{0{\cdot}01}{0{\cdot}6} + 2\times\frac{0{\cdot}12}{2{\cdot}4}$$
$$= \frac{0{\cdot}04 + 0{\cdot}24}{2{\cdot}4} = \frac{0{\cdot}28}{2{\cdot}4}$$

$\therefore$ শতকরা ত্রুটি, $\frac{\Delta g}{g}\times 100 = \frac{0{\cdot}28}{2{\cdot}4}\times 100 = 11{\cdot}67\%$

(ঘ) সমমাত্রিক নীতি অনুসারে সঠিক সম্পর্ক বা সমীকরণের উভয় দিকের মাত্রা সব সময় অভিন্ন হবে। তাই সমীকরণ,

$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2}}$ –এ সমমাত্রিক নীতি অনুসারে $(1-v)^{\frac{1}{2}}$–এর মাত্রা থাকবে না। সুতরাং, v^2-কে c^2 দ্বারা ভাগ করতে হবে।

সুতরাং সঠিক সমীকরণটি হলো, $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$.

৬। কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের একটি পরীক্ষায় বিভিন্ন পরিমেয় মানগুলো হলো 1·53, 1·55, 1·56, 1·54, 1·48, 1·49, 1·51।

(ক) অনুকল্প কাকে বলে ?

(খ) মাত্রা সমীকরণের প্রয়োজনীয়তা উল্লেখ কর। সমমাত্রিক নীতি কী ?

(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত কাচের প্রতিসরাঙ্কের আপেক্ষিক ত্রুটি ও শতকরা ত্রুটি নির্ণয় কর।

(ঘ) কোনো গ্যাসীয় মাধ্যম শব্দের বেগ (v), মাধ্যমের ঘনত্ব (ρ) এবং স্থিতিস্থাপকতা (E)-এর ওপর নির্ভর করে। গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগের সমীকরণ গাণিতিকভাবে প্রতিষ্ঠা কর।

(ক) অনুকল্প : বিজ্ঞানীরা তাঁদের পর্যবেক্ষিত ঘটনার কারণ সম্বন্ধে ব্যাখ্যা প্রদানের জন্য অনেক সময় পূর্বে আবিষ্কৃত প্রাকৃতিক নিয়মের সাথে সামঞ্জস্য রেখে কিছু অনুমান করেন। এই অনুমানগুলোকে অনুকল্প বলা হয়।

( ) মাত্রা সমীকরণের প্রয়োজনীয়তা :

দার্থবিজ্ঞানে মাত্রা সমীকরণের ভূমিকা অপরিসীম। নিম্নে এর ভূমিকা বা প্রয়োজনীয়তা উল্লেখ করা হলো :

(১) এক পদ্ধতির একককে অন্য পদ্ধতির এককে রূপান্তর করা যায়।
(২) সমীকরণের নির্ভুলতা যাচাই করা যায়।
(৩) বিভিন্ন রাশির সমীকরণ গঠন করা যায়।
(৪) কোনো ভৌত রাশির একক নির্ণয় করা যায়।
(৫) কোনো ভৌত সমস্যার সমাধান করা যায়।

সমমাত্রিক নীতি (Principle of dimensional homogeneity) : কোনো সঠিক সম্পর্ক বা সমীকরণের দুটি দিকের মাত্রা সব সময় অভিন্ন হবে। এটিই সমমাত্রিক নীতি।

(গ) প্রতিসরাঙ্কের গড় মান, $\bar{\mu} = \dfrac{1·53 + 1·55 + 1·56 + 1·54 + 1·48 + 1·49 + 1·51}{7}$

$= \dfrac{10·66}{7} = 1·54$

গড় মানকে প্রকৃত মান ধরলে পরিমাপে পরম ত্রুটিসমূহ—

(i) $1·54 - 1·53 = 0·01$, (ii) $1·54 - 1·55 = -0·01$ (iii) $1·54 - 1·56 = -0·02$
(iv) $1·54 - 1·54 = 0·00$ (v) $1·54 - 1·48 = 0·06$ (vi) $1·54 - 1·49 = 0·05$
(vii) $1·54 - 1·51 = 0·03$

পরম ত্রুটির গড়, $\Delta\bar{\mu} = \dfrac{0·01 + 0·01 + 0·02 + 0·00 + 0·06 + 0·05 + 0·03}{7}$

$\Delta\bar{\mu} = 0·0257$

প্রতিসরাঙ্ক μ পরিমাপে আপেক্ষিক ত্রুটি, $\delta\mu = \dfrac{\Delta\bar{\mu}}{\mu} = \dfrac{0·0257}{1·54} = 0·017$

(ঘ) ধরা যাক, $v \propto \rho^x$ এবং $v \propto E^y$

$\therefore \quad v \propto \rho^x E^y = K\rho^x E^y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

[এখানে K হলো একটি মাত্রাহীন ধ্রুবক]

এখন, v, ρ ও E এর মাত্রা হলো,

v এর মাত্রা = $[LT^{-1}]$

ρ এর মাত্রা = $[ML^{-3}]$

E এর মাত্রা = $[ML^{-1}T^{-2}]$

সমীকরণ (i)-এর উভয় পক্ষের রাশিগুলির মাত্রা বসিয়ে পাই,

$$[LT^{-1}] = [ML^{-3}]^x [ML^{-1}T^{-2}]^y$$
$$= M^{x+y} L^{-3x-y} T^{-2y} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এখন সমীকরণ (ii) এর উভয় পক্ষের M, L, T এর ঘাত সমান করে পাই,

$x + y = 0$, $-3x - y = 1$ এবং $-2y = -1$

$\therefore \quad y = \frac{1}{2}$ এবং $x = -\frac{1}{2}$

$\therefore \quad v = K\rho^{-\frac{1}{2}}E^{\frac{1}{2}} = K\sqrt{\frac{E}{\rho}}$

পরীক্ষা থেকে পাওয়া যায় $K = 1$

$\therefore$ বায়ু মাধ্যমে বা অন্য কোনো গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ, $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

$\therefore$ নির্ণেয় সমীকরণ, $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

৭। (ক) $C = (3.0 \pm 0.1)\ \mu F$ ধারকত্বের কোনো ধারককে $V = (30 \pm 0.3)$ volt বিভবে আহিত করা হলে ধারকটিতে সঞ্চিত আধান ত্রুটিসহ নির্ণয় কর।

(খ) একটি r ব্যাসার্ধের গোলক η সান্দ্রতাঙ্কের তরলের মধ্য দিয়ে সীমান্ত বেগ v-এ পতনশীল। গোলকটির ওপর সান্দ্রতাজনিত ঊর্ধ্বমুখী বল F ক্রিয়াশীল। F বলটি r, η এবং v-এর ওপর নির্ভর করে। মাত্রা সমীকরণের সাহায্যে বল F-এর সমীকরণ বের কর।

(ক) ধারকে সঞ্চিত আধান, $Q = CV = 3.0 \times 10^{-6} \times 30$ কুলম্ব $= 9.0 \times 10^{-5}$ কুলম্ব

এখন, আধান Q-এর আপেক্ষিক ত্রুটি, $\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta V}{V}$

সুতরাং শতকরা ত্রুটি, $\frac{\Delta Q}{Q} \times 100\% = \frac{\Delta C}{C} \times 100\% + \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$

$$= \left(\frac{0.1}{3} + \frac{0.3}{30}\right) \times 100\% = 4.33\%$$

$\therefore$ নির্ণেয় আধান, $Q = 9.0 \times 10^{-5} \pm 4.33\%$ কুলম্ব

$= (9.0 \pm 0.39) \times 10^{-5}$ কুলম্ব

(খ) ধরা যাক, $F = Kr^x\eta^y v^z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

এখন, F, r, η, v-এর মাত্রা সমীকরণ $F = MLT^{-2}$, $r = L$, $\eta = ML^{-1}T^{-1}$, $v = LT^{-1}$

$\therefore \quad MLT^{-2} = [L^x][ML^{-1}T^{-1}]^y [LT^{-1}]^z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$

সমীকরণ (ii)-এর উভয় পার্শ্বের দৈর্ঘ্য, ভর এবং সময়ের মাত্রা তুলনা করে পাই,

$x - y + z = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$

$y = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$

এবং $-y - z = -2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(v)}$

সমীকরণ (iii), (iv) ও (v) সমাধান করে পাই,

$x = 1$, $y = 1$ এবং $z = 1$

$\therefore \quad F = Kr\eta v$

সুতরাং F-এর মাত্রা সমীকরণ $F = Kr\eta v$

সার-সংক্ষেপ

ভৌত জগৎ : যেসব জিনিসের জীবন নেই, তার নাম ভৌত জগৎ।

জীব জগৎ : যার জীবন আছে তা হলো জীব জগৎ।

পরিমাপ : কোনো কিছুর মাপজোখের নাম পরিমাপ।

রাশি : যেসব জিনিসের পরিমাপ করা যায়, তার নাম রাশি।

একক	:	কোনো একটি রাশিকে পরিমাপ করতে হলে তার একটি নির্দিষ্ট অংশকে আদর্শ হিসেবে ধরে নিয়ে রাশিটি পরিমাপ করা হয়। পরিমাপের এই আদর্শকে একক বলা হয়।
এককের প্রকারভেদ	:	একক তিন প্রকার, যথা— (ক) মৌলিক একক (খ) লব্ধ, প্রাপ্ত বা যৌগিক একক (গ) ব্যবহারিক একক মৌলিক একক তিনটি, যথা— দৈর্ঘ্যের একক, ভরের একক এবং সময়ের একক।
মৌলিক একক	:	যে একক অন্য কোনো এককের ওপর নির্ভর করে না এবং একেবারে স্বাধীন তাকে মৌলিক একক বলে।
লব্ধ বা যৌগিক একক	:	তিনটি মৌলিক একককে ভিত্তি করে যে একক গঠন করা হয় বা মৌলিক একক হতে যে একক পাওয়া যায় তাকে লব্ধ বা যৌগিক একক বলে।
ব্যবহারিক একক	:	কোনো কোনো মৌলিক একক খুব বড় বা ছোট হওয়ায় ব্যবহারিক কাজে তাদের উপগুণিতক (ভগ্নাংশ) বা গুণিতককে একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এর নাম ব্যবহারিক একক।
মাত্রা	:	কোনো একটি রাশি এবং তার মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য যে সঙ্কেত ব্যবহার করা হয় তাকে উক্ত রাশির মাত্রা বলে।
মাত্রা সমীকরণ	:	কোনো ভৌত রাশি যদি একাধিক রাশির ওপর নির্ভর করে, তবে দুই পাশের রাশিগুলোর মান না লিখে কেবলমাত্র মাত্রা লিখলে যে সমীকরণ পাওয়া যায় তাকে রাশিগুলোর মাত্রা সমীকরণ বলে।
নিয়মিত ত্রুটি	:	পরীক্ষাকালে কোনো কোনো ত্রুটির ফলে পরীক্ষাধীন রাশির পরীক্ষালব্ধ মান সর্বদাই এবং নিয়মিতভাবে রাশিটির প্রকৃত মান অপেক্ষা কম বা বেশি হতে পারে। এ ত্রুটিকে নিয়মিত ত্রুটি বলে।
অনিয়মিত ত্রুটি	:	ত্রুটির বিভিন্ন বিষয়ে উপযুক্ত সাবধানতা অবলম্বন করা সত্ত্বেও কোনো একটি রাশির পাঠ বারবার ভিন্ন হতে দেখা যায়। এ ধরনের ত্রুটিকে অনিয়মিত ত্রুটি বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। যাদের জীবন নেই তা নিয়ে ভৌত জগৎ। বিজ্ঞানের প্রাচীন ও আধুনিক শাখা হলো ভৌতবিজ্ঞান। স্থান, কাল, ভর ও শক্তি এই চারটি উপাদানের সমন্বয়ে ভৌতবিজ্ঞান।

২। কম্পাঙ্ক, বেগ, বল লব্ধ একক। ভর, তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য, সময় মৌলিক একক। কয়েকটি মৌলিক একক মিলে লব্ধ একক হয়। পরীক্ষার মাধ্যমে ঘটনা যাচাই করাই হলো সূত্র। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত অনুকল্পকে তত্ত্ব বলে।

৩। মাত্রা সমীকরণ লব্ধ একক এবং মৌলিক এককের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে। অনুমিতির ওপর ভিত্তি করে তত্ত্ব গড়ে ওঠে। $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ সমীকরণে r এর মান পরিমাপে 2% ত্রুটি থাকলে V পরিমাপে ত্রুটি হবে 6%।

৪। 1 গ্যালন = $4{\cdot}54 \times 10^{-3}$ m^3, 1 মেট্রিক টন = 1000 kg, 1 মাইল = 1·61 কিমি। আলোকবর্ষ > পারসেক > মেগামিটার > এ্যাংস্ট্রম। স্ক্রু পীচকে চক্রাকার স্কেলের ঘরসংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক পাওয়া যায়।

৫। আইনস্টাইন নোবেল পুরস্কার পান ফটোতড়িৎ ক্রিয়ার জন্য। তিনি ব্রাউনীয় গতি এবং আপেক্ষিক তত্ত্বের স্রষ্টা। প্রতিফলক টেলিস্কোপ নির্মাণ করেন নিউটন। স্থান, কাল, ভর ও শক্তি হলো ভৌত জগতের উপাদান।

৬। ফ্যারাডে তড়িৎ বিশ্লেষণের সূত্র এবং জেনারেটর আবিষ্কার করেন। 1704 সালে অপটিক্স নামে যে বইটি প্রকাশিত হয় তার লেখক ছিলেন নিউটন। তিনি ছিলেন ব্রিটেনের বিজ্ঞানী। সূর্যকেন্দ্রিক সৌরজগতের ধারণা দেন কোপারনিকাস। মৌলিক একক হলো—মিটার, কেলভিন, সেকেন্ড, অ্যাম্পিয়ার, ক্যান্ডেলা, মোল। তড়িৎ বিভব মৌলিক একক নয়।

৭। 1900 সালে প্ল্যাঙ্ক আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব দেন এবং কৃষ্ণবস্তু বিকিরণ ব্যাখ্যা করেন। $\pi = \frac{22}{7}$ নির্ণয় করেন ভাস্করাচার্য। স্ফেরোমিটারের স্ক্রু পীচকে চক্রাকার স্কেলের ঘরসংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক পাওয়া যায়।

৮। 1610 সালে গ্যালিলিও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন। তিনি ছিলেন আধুনিক বিজ্ঞানের জনক।

৯। তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করতে যন্ত্রের স্ক্রু-পীচ এবং লঘিষ্ঠ গণন নির্ণয় করতে হয়।

১০। রাশির মান = সংখ্যা × একক। এটিই হলো পরিমাপের মূলনীতি। আলোকবর্ষ হলো দূরত্বের একক।

১১। বিজ্ঞানী নিউটন মহাকর্ষ সূত্র, ক্যালকুলাস, বলবিদ্যা, লেন্সের সূত্র এবং প্রতিফলক টেলিস্কোপ আবিষ্কার করেন। ফ্যারাডে আবিষ্কার করেন তড়িৎ চৌম্বক আবেশের সূত্র।

১২। 1 গিগা = 10^9, 1 মেগা = 10^6, 1 টেরা = 10^{12}, 1 মাইক্রো = 10^{-6}, 1 ন্যানো = 10^{-9}, 1 পিকো = 10^{-12}, 1 ফেমটো = 10^{-15}, 1 মিলি = 10^{-3}।

১৩। ফলাফলে অনিশ্চয়তাকে পরিমাপের ত্রুটি বলে। স্ফেরোমিটারে পিছট (ডানে) ত্রুটি ঘটে।

১৪। বৃত্তাকার স্কেলের শূন্য দাগ রৈখিক স্কেলের অনুভূমিক দাগের ওপরে থাকলে ঋণাত্মক ত্রুটি হয়। আর নিচে থাকলে ধনাত্মক ত্রুটি হয়।

১৫। নাট-স্ক্রু নীতিভিত্তিক যন্ত্রে পিছট ত্রুটি দেখা যায়। স্ক্রু ক্ষয় হয়ে ঢিলা হয়ে গেলে এবং বিক্ষেপ চৌম্বক মাপক যন্ত্রে এই ত্রুটি ঘটে। গোলীয় তলে বক্রতার ব্যাসার্ধের সমীকরণ হলো $R = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}$.

১৬। নিক্তি অনুভূমিক না থাকলে লেভেল ত্রুটি হয়। নিক্তির সাহায্যে ভর পরিমাপের ত্রুটি হলো লেভেল ত্রুটি।

১৭। পুনরাবৃত্তি বা নিয়মিত ত্রুটি : মিটার ব্রীজের প্রান্তিক ত্রুটি, পটেনশিওমিটারের প্রান্তিক ত্রুটি এবং স্ক্রু-গজের শূন্য ত্রুটি এই ত্রুটির অন্তর্ভুক্ত।

১৮। পর্যবেক্ষণের অসতর্কতা বা অমনোযোগিতার জন্য সামগ্রিক বা মোট ত্রুটি দেখা দেয়। পরম ত্রুটি = প্রকৃত মান ~ পরিমাপ্য মান।

১৯। শূন্য ত্রুটি, পিছট ত্রুটি, লেভেল ত্রুটি হলো যান্ত্রিক ত্রুটি। নিক্তি, চৌম্বক মাপন যন্ত্রে, গ্যালভানোমিটারে লেভেল ত্রুটি দেখা যায়।

২০। লম্বন ত্রুটি হলো পর্যবেক্ষণ ত্রুটি। পর্যবেক্ষণের জন্য পাঠে যে ত্রুটি আসে তা ব্যক্তিগত ত্রুটি।

২১। পিছট ত্রুটি যান্ত্রিক এলোমেলো ত্রুটি। 'g' নির্ণয়ে থামা ঘড়ির সাহায্যে T নির্ণয় ও স্কেলের সাহায্যে l নির্ণয়ে এই ত্রুটি দেখা দেয়। কোনো কিছু ব্যাখ্যার জন্য যে আনুষ্ঠানিক চিন্তাধারা তাকে অনুকল্প বলে।

২২। শতকরা ত্রুটি = $\frac{x \sim y}{x} \times 100\%$ বা $\frac{\text{প্রকৃত মান} \sim \text{প্রাপ্ত মান}}{\text{প্রকৃত মান}} \times 100\%$. শতকরা ত্রুটি = আপেক্ষিক ত্রুটি × 100%

২৩। দীর্ঘদিন ব্যবহারের ফলে যন্ত্রের ক্ষয়জনিত কারণে যে ত্রুটি হয় তাকে প্রান্ত দাগ ত্রুটি বলে।

২৪। দৃষ্টির দিক পরিবর্তনের সাথে সাথে কোনো লক্ষ্যবস্তুর অবস্থানের আপাত পরিবর্তনের জন্য যে ত্রুটি তাকে লম্বন ত্রুটি বলে। স্লাইড ক্যালিপার্সের ক্ষেত্র $L = M + V \times V_c$

২৫। আলোক বেঞ্চে সূচক ত্রুটি দেখা যায়। তড়িৎ বিভব মৌলিক রাশি নয়। পদার্থ পরিমাপের এসআই একক কিলোগ্রাম।

২৬। তাপমাত্রা, আর্দ্রতা, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উচ্চতা নির্ণয়ে পরিবেশগত ত্রুটি দেখা যায়। ঘরের দৈর্ঘ্য পরিমাপে যে ত্রুটি তাকে এলোমেলো ত্রুটি বলে। পরিমাপে যন্ত্রের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার ত্রুটি হয় যন্ত্রের কারণে।

২৭। পরীক্ষণের কার্যধারা ও যন্ত্রপাতির ত্রুটিজনিত যে ত্রুটি তাকে পুনরাবৃত্তিক বা ব্যবস্থাগত ত্রুটি বলে।

২৮। কোনো কিছু সম্পর্কে সঠিক উপলব্ধি বা বোধগম্যতাকে ধারণা বলে। সাধারণভাবে কোনো নির্দিষ্ট শর্তে সব সময় কী ঘটবে তার বর্ণনাকে সূত্র বলে।

২৯। N, J, W, K এর মধ্যে K হলো মৌলিক একক। স্বীকার্য তত্ত্বের ভিত্তি প্রদান করে।

৩০। তাপমাত্রা, দীপন তীব্রতা, পদার্থের পরিমাণ মৌলিক রাশি কিন্তু তড়িৎ বিভব মৌলিক রাশি নয়।

৩১। আলো সম্পর্কিত সর্বশেষ মতবাদ হলো কোয়ান্টাম মতবাদ। কোয়ান্টাম তত্ত্বের ধারণাকে সম্প্রসারিত করেন আলবার্ট আইনস্টাইন। "ভর ও শক্তি সমতুল" এটি আইনস্টাইনের আবিষ্কার। কোয়ান্টাম তত্ত্বের ধারণা দেন ম্যাক্স প্লাঙ্ক।

৩২। তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব আবিষ্কার করেন ম্যাক্সওয়েল।

৩৩। বিজ্ঞানীরা তাঁদের পর্যবেক্ষিত ঘটনার কারণ সম্বন্ধে ব্যাখ্যা প্রদানের জন্য অনেক সময় পূর্বে আবিষ্কৃত প্রাকৃতিক নিয়মের সাথে সামঞ্জস্য রেখে কিছু অনুমান করেন। এই অনুমানগুলোকে বলা হয় অনুকল্প।

৩৪। ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রথম আবিষ্কার করেন যে কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকিরণ নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না।

৩৫। আলোক বর্ষ দূরত্বের একক। এক আলোক বর্ষ = 9.42×10^{12} km।

৩৬। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত অনুকল্পকে সূত্র বলা হয়।

৩৭। একটি গোলকের পরিমাপ্য ব্যাসার্ধ (2.5 ± 0.2) cm হলে এর আয়তন পরিমাপ্যের ত্রুটি হবে 2.4%।

৩৮। প্রধান স্কেল পাঠ M, ভার্নিয়ার পাঠ V এবং ভার্নিয়ার ধ্রুবক V_c হলে দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের সূত্র হলো, $L = M + V \times V_c$।

৩৯। পদার্থের পরিমাপের এস.আই. একক হলো মোল।

৪০। গ্রহ-নক্ষত্রের গতিপথের উপাত্ত বিশ্লেষণ করে কেপলার সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন যে এদের গতিপথ বৃত্তাকার নয়, উপবৃত্তাকার।

৪১। পরম ত্রুটি হলো একটি রাশির প্রকৃত মান ও পরিমাপ্য মানের পার্থক্য। শতকরা ত্রুটি = আপেক্ষিক ত্রুটি × 100%।

৪২। বিনা প্রমাণে কোনো কিছু মেনে নেওয়াকে স্বীকার্য বলে।

৪৩। ভৌত জগৎ মূলত চারটি উপাদানের সমন্বয়ে তৈরি; যথা—স্থান, কাল, ভর এবং শক্তি।

৪৪। ওজন, বিস্তৃতি, রোধ, স্থিতিস্থাপকতা ইত্যাদি পদার্থের সাধারণ ধর্ম এবং দৃঢ়তা, ভঙ্গুরতা, সান্দ্রতা, পৃষ্ঠটান ইত্যাদি পদার্থের বিশেষ ধর্ম।

৪৫। কেনো গাণিতিক মডেল বা সূত্র প্রতিষ্ঠার লক্ষ্যে যদি কিছু পূর্বশর্ত স্বীকার করে নেওয়া হয়, তবে ওই পূর্বশর্তসমূহকে বলা হয় স্বীকার্য।

৪৬। পর্যবেক্ষকের কারণে পাঠে যে ত্রুটি আসে তাকে লম্বন ত্রুটি বলে।

৪৭। 1589 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্যালিলিও মুক্তভাবে পড়ন্ত বস্তুর সূত্র আবিষ্কার করেন।

৪৮। 1610 খ্রিস্টাব্দে গ্যালিলিও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন।

৪৯। 1678 খ্রিস্টাব্দে ডাচ বিজ্ঞানী হাইগেনস আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব দেন।

৫০। শক্তির নিঃসরণ বা শোষণ গুচ্ছ বা প্যাকেট আকারে ঘটে। ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক এই ক্ষুদ্র গুচ্ছের নাম দেন কোয়ান্টা। পরবর্তীতে এই কোয়ান্টা ফোটন নামে পরিচিতি লাভ করে।

৫১। কোনো যন্ত্রের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক 0·001 cm। এর অর্থ ওই যন্ত্র দ্বারা 0·001 cm পর্যন্ত ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে মাপা যায়।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। স্বতঃসিদ্ধ বা স্বীকার্য কী ?
- ⓚ গাণিতিক যুক্তি
- ⓚh কোনো ধারণা বা তত্ত্ব
- ⓖ বৈজ্ঞানিক পরীক্ষায় প্রমাণিত
- ⓖh পরীক্ষণের সার-সংক্ষেপ

২। তত্ত্ব কী বিষয়ের ওপর ভিত্তি করে গড়ে ওঠে ?
- ⓚ নীতি
- ⓚh অনুকল্প
- ⓖ অনুমিতি
- ⓖh পদ্ধতি

৩। নিম্নলিখিত রাশিগুলোর মধ্যে কোনটি মৌলিক একক?
(i) দৈর্ঘ্যের একক ও শক্তির একক
(ii) দৈর্ঘ্যের ও ভরের একক
(iii) সময়ের ও ভরের একক
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓚh i ও iii
- ⓖ ii ও iii
- ⓖh i, ii ও iii

৪। নিচের কোনটি লব্ধ রাশি ? [চ. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৫]
- ⓚ তাপমাত্রা
- ⓚh ভর
- ⓖ সময়
- ⓖh কম্পাঙ্ক

৫। 1 মাইল ও 1 কিলোমিটার দূরত্বের পার্থক্য মিটারে কত হবে ? [Medical Admission Test, 2017-18]
- ⓚ 0·609 m
- ⓚh 6·09 m
- ⓖ 60·9 m
- ⓖh 609 m

৬। পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অবস্থিত—এই তত্ত্ব কে উপস্থাপন করেন ?
- ⓚ রাদারফোর্ড
- ⓚh গ্যালিলিও
- ⓖ আইনস্টাইন
- ⓖh ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক

৭। তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ তত্ত্ব আবিষ্কার করেন—
- ⓚ রাদারফোর্ড
- ⓚh নিউটন
- ⓖ ম্যাক্সওয়েল
- ⓖh আইনস্টাইন

৮। কোন বিজ্ঞানী ক্যালকুলাস আবিষ্কার করেন ?
- ⓚ আইনস্টাইন
- ⓚh গ্যালিলিও
- ⓖ টমাস ইয়ং
- ⓖh নিউটন

৯। "ভর ও শক্তি সমতুল্য"—কোন বিজ্ঞানীর অভিমত?
- ⓚ নিউটন
- ⓚh গ্যালিলিও
- ⓖ আইনস্টাইন
- ⓖh ফ্যারাডে