একক 9 ❐ কেলাসের গঠন ও কেলাসবিদ্যায় এক্স-রশ্মির ব্যবহার

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 ভূমিকা

9.3 কেলাস ও ল্যাটিসের ভিত্তি, কোষ ও এদের সম্বন্ধ

9.4 ল্যাটিসের প্রতিসাম্য

9.5 ব্র্যাভাইস ল্যাটিস ও কোষ

9.6 ল্যাটিসের বিভিন্ন রেখার দিক, তল ও তলদূরত্ব

9.7 একপরমাণুক ভিত্তির কেলাসীয় গঠন

9.8 দ্বিপরমাণুক ভিত্তির কেলাসীয় গঠন

9.9 কেলাসবিদ্যায় এক্স-রশ্মির ব্যবহার

9.10 সারাংশ

9.11 প্রশ্ন ও উত্তর

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

কঠিন পদার্থের আলোচনায় কেলাসবিদ্যা একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ অধ্যায়। এই বিজ্ঞানে কেলাসের অভ্যন্তরীণ গঠন, এরূপ গঠনের কারণ এবং এই গঠনের জন্য কেলাসের যেসব ধর্ম পাওয়া যায়, সাধারণভাবে তার আলোচনা করা হয়। এই বিজ্ঞানের প্রয়োগ দ্বারাই বর্তমান যুগের সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড, ট্র্যানজিস্টার, আই সি, এল সি ডি, মাইক্রোপ্রসেসর প্রভৃতি বিভিন্ন সূক্ষ্ম ও অতি প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি তৈরী করা সম্ভব হয়েছে। এই এককে কেলাসের গঠন এবং এই গঠন নির্ণয়ে কীরূপে এক্স-রশ্মির ব্যবহার করা হয়, তা আলোচনা করা হবে।

এই এককটি পাঠ করলে আপনি যেসব বিষয়গুলি জানতে পারবেন বা প্রয়োগ করতে পারবেন, সেগুলি হল —

- কেলাস বা নিয়তাকার ও অনিয়তাকার পদার্থের পার্থক্য কী ?
- এককেলাস, বহুকেলাস, কেলাসদানা ও কেলাস কোষের ভিত্তি কী ?
- কেলাসীয় ল্যাটিস কী এবং কেলাসীয় গঠনের সঙ্গে এর সম্বন্ধ কী ?
- কেলাস ও ল্যাটিসের সাপেক্ষে বিভিন্ন প্রতিসাম্য ধর্ম কী ?

- বিভিন্ন দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস ও এর কোষগুলির গঠন কী ?
- ল্যাটিস কোষের মধ্যে কোনও রেখার দিক ও সমতলের সূচক নির্ণয়ের পদ্ধতি কী ?
- দুটি সমতলের মধ্যে দূরত্ব নির্ণয়ের পদ্ধতি কী ?
- একপারমাণবিক ভিত্তির কোষগুলির গঠন ও বৈশিষ্ট্য কী ?
- দ্বিপারমাণবিক ভিত্তির কোষগুলির গঠন ও বৈশিষ্ট্য কী ?
- কেলাস দ্বারা এক্স-রশ্মির ব্যবর্তনের ক্ষেত্রে লাউ-এর তত্ত্ব কী ও কীরূপে এই তত্ত্বের পরীক্ষা করা হয় ?
- ব্র্যাগের সূত্র কী ও কীরূপে এর প্রয়োগ করা হয়,
- ব্র্যাগের বর্ণালিমাপক যন্ত্র ও কেলাস চূর্ণের ব্যবর্তন চিত্র গ্রহণ যন্ত্রের দ্বারা কেলাসের গঠন কীরূপে নির্ণয় করা হয় ?

9.2 ভূমিকা (Introduction)

সাধারণভাবে পদার্থকে আমার কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়—এই তিন ভৌত অবস্থায় দেখতে পাই। কঠিন পদার্থের নিজস্ব আকার ও আয়তন আছে। কিন্তু তরল পদার্থের নিজস্ব আয়তন থাকলেও কোনও নির্দিষ্ট আকার নেই। তরলকে একটি পাত্রে না রাখলে তা ছড়িয়ে পড়ে বা ঢালুর দিকে বাহিত হয়। আবার কোনও পাত্রে রাখলে তা পাত্রের আকার ধারণ করে। গ্যাসের নির্দিষ্ট আকার বা আয়তন কোনওটাই নেই। একটি পাত্রে আবদ্ধ করে রাখলে তা পাত্রকে পূর্ণ করে রাখে। কিন্তু পাত্রের মুখ খুলে দিলে পাত্র থেকে আপনা-আপনি বেরিয়ে যায়। এক্ষেত্রে এটির তরলের অনুরূপ ধর্ম আছে। সেজন্য তরল ও গ্যাসকে একসঙ্গে প্রবাহী পদার্থ (fluid material) বলে।

পদার্থের ভৌত অবস্থাগুলি সাধারণত উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। অধিকাংশ কঠিনকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হলে তা তরলে এবং নির্দিষ্ট চাপে আরও উত্তপ্ত করা হলে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্যাসে পরিবর্তিত হয়। বরফ, জল ও জলীয় বাষ্পকে পদার্থের এরূপ ভৌত অবস্থার পরিবর্তনের উদাহরণ বলা হয়। বিপরীতক্রমে পদার্থের উষ্ণতা যথেষ্ট হ্রাস করা হলে একটি বিশেষ চাপে ও উষ্ণতায় গ্যাসীয় পদার্থ তরলে এবং তরলের উষ্ণতা আরও হ্রাস করা হলে একটি বিশেষ উষ্ণতায় তা কঠিনে পরিবর্তিত হয়। উদাহরণস্বরূপ, উষ্ণতার ক্রমিক হ্রাস দ্বারা এবং উপযুক্ত চাপ প্রয়োগে আমরা জলীয় বাষ্প থেকে জল এবং জল থেকে বরফ পাই। তবে সকল পদার্থই যে উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে অবস্থান্তরের এই তিনটি ক্রমিক পর্যায় মেনে চলে, তা নয়। যেমন, কর্পূরকে উত্তপ্ত করলে তা প্রথমে তরলীভূত না হয়ে সরাসরি গ্যাসীয় অবস্থায় চলে যায়, এবং তারপর আবার ঠান্ডা করা হলে ঐ গ্যাসীয় অবস্থা থেকে তরলীভূত না হয়ে সরাসরি কঠিন অবস্থায় ফিরে আসে।

চিনি, বিভিন্ন প্রকারের লবণ, কোয়ার্জ, হীরে, ধাতু প্রভৃতি বহু কঠিন বস্তুকে স্বচ্ছ বা উজ্জ্বল নির্দিষ্ট আকারের বহু সংখ্যক সমতল দিয়ে আবদ্ধ দানারূপে পাওয়া যায়। এরূপ নির্দিষ্ট বহুতলীয় আকারযুক্ত বস্তুগুলিকেই আমরা **নিয়তাকার বস্তু বা কেলাস** (crystal) বলে থাকি। অপরপক্ষে ভুসোকালি, প্লাস্টিক,

রবার, কাচ প্রভৃতি কঠিন ও অধিকাংশ তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের কেলাসের অনুরূপ কোনও নির্দিষ্ট আকার নেই। সেজন্য এইসব পদার্থকে **অনিয়তাকার** বা **অকেলাসিত** (non-crystalline) পদার্থ বলা হয়। অবশ্য এমন কিছু কিছু পদার্থ আছে যেগুলি গলিত অবস্থাতেও বা অন্য তরলের দ্রবণে লম্বা শলাকার মতো বা পাতলা পাতের মতো আকৃতিবিশিষ্ট অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কেলাস গঠন করে। কিন্তু এই কেলাসগুলি তরলের ভিতর একস্থান থেকে অন্যস্থানে বাহিত হতে পারে। এজন্য এরূপ কেলাসগুলিকে **তরল কেলাস** (liquid crystal) বলা হয়।

একটি কেলাস একটি নির্দিষ্ট সংখ্যক সমতল তল দ্বারা আবদ্ধ থাকে। এই তলগুলিকে কেলাসের **পার্শ্বতল** (facet) বলা হয়। দুটি পার্শ্বতলের সংযোগ রেখাকে **ধার** বা **প্রান্ত** বা **কিনারা** (edge) বলা হয়। একটি কেলাসকে বিভিন্ন নির্দিষ্ট সমতল বরাবর সহজেই ভাগ করা যায়। এরূপ সমতলকে **সম্ভেদ** বা **খণ্ডন তল** (cleavage plane) বলে।

একটি কেলাসকে বিভিন্ন খণ্ডন তলে বার বার ভাগ করতে থাকলে আমরা একই ধর্ম ও আকারের ক্ষুদ্র থেকে ক্ষুদ্রতর আকৃতির কেলাস পাই। একই কেলাসের এইরূপ ক্ষুদ্রতম অংশকে **একক কেলাস কোষ** (unit crystal cell) বলে। সুতরাং একটি কেলাস হল বিপুল সংখ্যক একক কেলাস কোষের সমষ্টি।

কেলাসিত পদার্থের আরও একটি বৈশিষ্ট্য এই যে এদের বহু ভৌত ধর্ম (যেমন—যান্ত্রিক, তাপীয়, তাড়িৎ, চৌম্বক, আলোকীয় প্রভৃতি ধর্মগুলি) দিকের উপর নির্ভর করে। এজন্য এই কেলাসগুলিকে **বিষমদৈশিক** (anisotropic) বলা হয়। কিন্তু তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের ভৌত ধর্মগুলি দিকের উপর নির্ভর করে না। এই পদার্থগুলিকে **সমদৈশিক** (isotropic) বলা হয়। কাচ কঠিন পদার্থ হলেও এটি তরলের মতোই অনিয়তাকার ও সমদৈশিক। তা ছাড়া কেলাসিত পদার্থের যেমন একটি নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে, কাচের সেরূপ কোনও গলনাঙ্ক নেই। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে তা ক্রমশ নরম হতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত তরলে পরিণত হয়। এজন্য কাচকে **অতি শীতলীভূত তরল** (super cooled liquid) বলা হয়।

আমরা সাধারণভাবে কোনও পদার্থের যে কেলাসগুলি পাই, সেগুলির আকৃতি বা আয়তন অবিকল এক রকম হয় না। যেমন, চিনি বা সাধারণ লবণের কেলাসগুলি ছোট বড় ও নানা আকারের দেখা যায়। এদের বিষমদৈশিক ধর্মগুলিও সাধারণভাবে দেখা যায় না। এর কারণ, এই কেলাসগুলি বহু সংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কেলাসের কণার সমষ্টি। এগুলিকে **কেলাসদানা** (crystal grain) বলে। এই দানাগুলির একটির মধ্যে একক কোষগুলি যে পর্যায়ক্রমে সজ্জিত থাকে, ঐ দানার প্রান্তে সেই পর্যায়ক্রম ভেঙ্গে যায় এবং পরের দানাতে কোষগুলি অন্য পর্যায়ক্রমে সজ্জিত হয়। অনিয়মিত পর্যায়ক্রমের বহু দানাযুক্ত এরূপ পদার্থকে **বহুকেলাসিত পদার্থ** (polycrystalline substance) বলে।

কেলাসের এই দানাগুলির আকৃতি অতিক্ষুদ্র থেকে আরম্ভ করে একটি বড় কেলাসের সমান হতে পারে। যদি সম্পূর্ণ কেলাসটি একইভাবে সজ্জিত কোষের একটি মাত্র দানার দ্বারা গঠিত হয়, তবে ঐ কেলাসকে **এককেলাস** (single crystal) বলা হয়। আর যদি পদার্থের মধ্যে দানাগুলি এত ক্ষুদ্র হয় যে এগুলি একটি একক কোষের আকৃতির প্রায় সমান হয়ে পড়ে, তবে একটি দানার মধ্যে একাধিক কোষের পর্যায়ক্রম থাকতে পারে না। সেক্ষেত্রে বস্তুটি অকেলাসিত বা অনিয়তাকার রূপ পায়।

9.3 কেলাস ও ল্যাটিসের ভিত্তি, কোষ ও এদের সম্বন্ধ (Basis and cells of Crystals and Lattices and their relation)

প্রত্যেক কেলাস কোষ দ্বারা গঠিত এবং প্রত্যেক কোষ এর ভিত্তির দ্বারা গঠিত। একটি কেলাসের গঠনকে জ্যামিতিকভাবে অঙ্কিত একটি ল্যাটিস দ্বারা নির্দেশ করা যায়। একটি কেলাসের গঠন সঠিকভাবে বোঝার জন্যই ল্যাটিসের ধারণা করা হয়। একটি ল্যাটিসকে অসংখ্য কোষের সমষ্টিরূপে ধরা যায়। আমরা এই অনুচ্ছেদে এই বিষয়গুলি সম্বন্ধে বিস্তৃত আলোচনা করব।

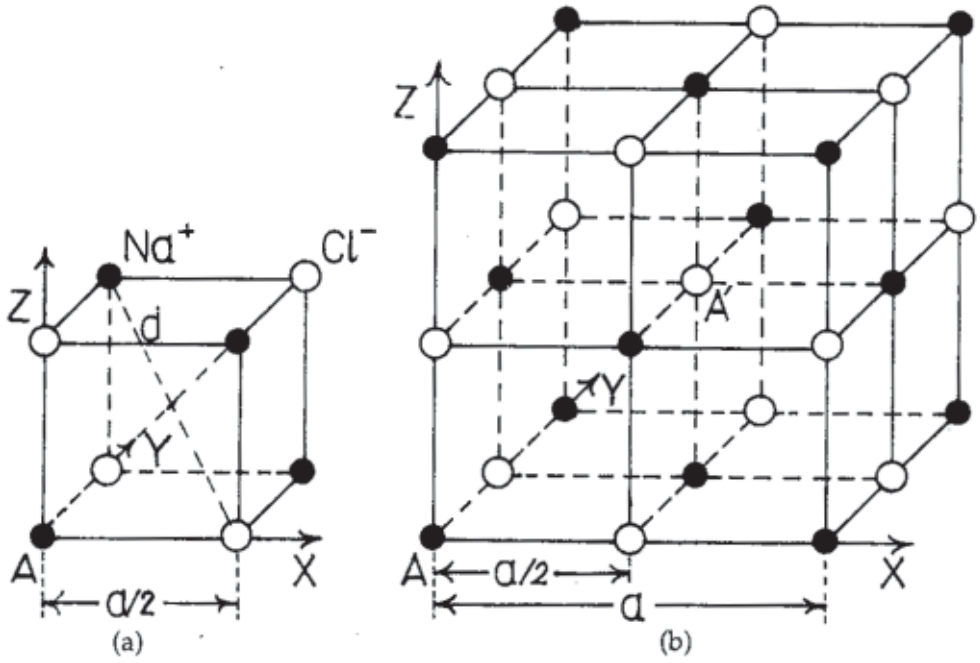
9.3.1 কেলাসীয় গঠনের ভিত্তি (Basis of Crystal Structure)

খাবার লবণ (NaCl)-এর এককেলাস একটি ঘনক (cube)। সুতরাং এর গঠন খুবই সরল। এতে একটি সোডিয়াম আয়ন (Na^+) একটি ক্লোরিন আয়ন (Cl^-)-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি NaCl অণু গঠন করে। এই অণুগুলি ত্রিমাত্রিক দেশে পরপর সজ্জিত হয়ে একটি NaCl-এর কেলাস গঠন করে। এজন্য এই অণুগুলিকে বলা হয় NaCl কেলাসের ভিত্তি (basis)। অনুরূপে প্রত্যেক পদার্থের কেলাসই ঐ পদার্থের ভিত্তির দ্বারা গঠিত। কেলাসের এই ভিত্তি যেমন একটি অণু হতে পারে, তেমনি তা এক বা একাধিক পরমাণু বা আয়নের সমষ্টিও হতে পারে।

9.3.2 সোডিয়াম ক্লোরাইডের মৌলিক ও প্রচলিত কোষ (Primitive and conventional cells of Sodium Chloride)

সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসটির আকার একটি ঘনক। এর একক কোষের আকারও একটি ঘনক। কিন্তু এর ভিত্তি অর্থাৎ অণুগুলির আকার ঘনক নয় (বস্তুত প্রত্যেকটি অণু অনেকটা ডাম্বল আকারের)। এজন্য সোডিয়াম ক্লোরাইডের একাধিক অণু পরস্পর যুক্ত হয়ে সোডিয়াম ক্লোরাইডের একটি একক কোষ গঠন করে। 9.1(a) চিত্রে, দেখানো হয়েছে যে সোডিয়াম ক্লোরাইডের ন্যূনতম চারটি ভিত্তি অর্থাৎ চারটি অণুর সাহায্যে এর একটি ক্ষুদ্রতম ঘনক গঠন করা যায়। এই ঘনকের আটটি কোণে চারটি Na^+ আয়ন এবং চারটি Cl^- আয়ন একান্তরভাবে বসানো আছে। তার ফলে প্রত্যেক আয়ন-এর চার পাশে অবস্থিত বিপরীত ধর্মীয় আয়ন দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং ঘনকটি স্থিতি লাভ করে।

সোডিয়াম ক্লোরাইডের এই ক্ষুদ্রতম ঘনকটিকে একটি মৌলিক একক কোষ বলা হয়। এই মৌলিক কোষগুলি পরপর যুক্ত হয়েই সোডিয়াম ক্লোরাইডের একটি কেলাস গঠন করে। তবে বাস্তবে দেখা যায় যে প্রত্যেক মৌলিক কোষকে আলাদা-আলাদাভাবে না নিয়ে এদের আটটিকে একত্রে একটি কোষ হিসাবে ধরলে, এই কোষের দ্বারা সোডিয়াম ক্লোরাইডের কেলাসের গঠন সহজে ব্যাখ্যা করা যায়। কাজের সুবিধার জন্য এরূপ মৌলিক কোষের চেয়ে বৃহত্তর কোনও কোষকে একক ধরলে, তাকে প্রচলিত কোষ বলে। 9.1 চিত্র থেকে সোডিয়াম ক্লোরাইডের মৌলিক কোষ ও প্রচলিত কোষের পার্থক্য বোঝা যাবে।



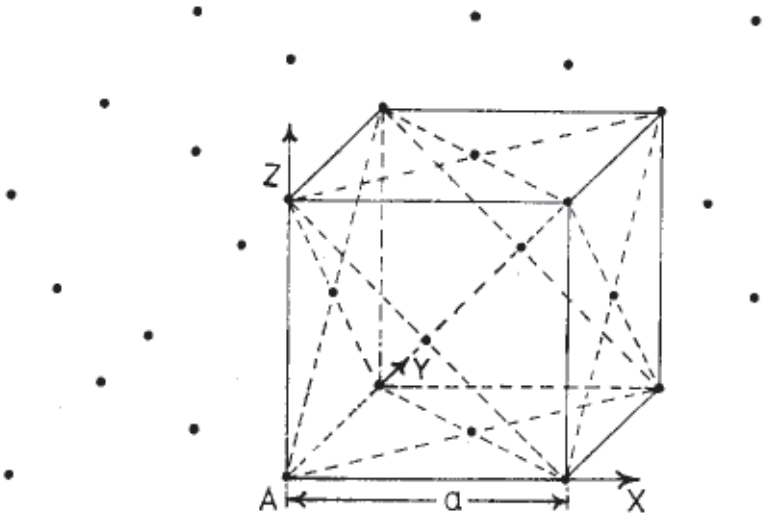
চিত্র 9.1 : সোডিয়াম ক্লোরাইডের মৌলিক ও প্রচলিত ঘনাকার কোষ। *(a)* মৌলিক কোষ, *(b)* 8টি মৌলিক কোষের সংযুক্তির দ্বারা গঠিত প্রচলিত কোষ। মৌলিক কোষের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য $a/2$ এবং প্রচলিত কোষটির প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a। চিত্রের কালো বৃত্তগুলি Na^+ আয়ন ও সাদা বৃত্তগুলি Cl^- আয়ন বোঝাচ্ছে। এই কোষের মূলবিন্দু (0,0,0) ধরে X, Y, Z তিনটি অক্ষ আঁকা হয়েছে। A' বিন্দুর স্থানাঙ্ক $\left(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right)$।

সোডিয়াম ক্লোরাইডের প্রচলিত কোষটি একটি ঘনক হওয়ায় এর প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য সমান এবং ছেদকারী দুটি বাহুর মধ্যবর্তী কোণ সমকোণ। যদি একটি বাহুর দৈর্ঘ্য a ধরা হয়, তবে দুটি Na^+ আয়ন বা দুটি Cl^- আয়নের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব a এবং একটি Na^+ আয়ন ও পরবর্তী Cl^- আয়নের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব $\frac{a}{2}$।

9.3.3 কেলাসীয় ল্যাটিস ও একক ল্যাটিস কোষ (Crystal Lattice and Unit Lattice cell)

এখন আমরা যদি ত্রিমাত্রিক দেশে এমনভাবে অসংখ্য বিন্দুর একটি বিন্যাস কল্পনা করি, যার যেকোনও স্থানে পরস্পর সন্নিহিত আটটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে একটি ঘনক অঙ্কন করা যায় এবং এই ঘনকের প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য a হয়, তবে এই বিন্যাসটিকে একটি ঘনাকার কেলাসীয় ল্যাটিস বা বিন্যাস বলা হয় এবং এই ঘনকটিকে একটি **সরল** (simple) ঘনাকার ল্যাটিস কোষ বলা হয়। যদি ল্যাটিস কোষটির আটটি কোণিক বিন্দু ছাড়াও এর ভিতরে বা পার্শ্বতলের উপর আরও কোনও বিন্দুর অবস্থান থাকে, তবে ঐ ল্যাটিস

কোষকে **প্রচলিত ল্যাটিস কোষ** (Conventional lattice cell) বলে। সরল বা প্রচলিত ল্যাটিস কোষের পুনরাবৃত্তির দ্বারাই আমরা সম্পূর্ণ ল্যাটিসটি গঠন করতে পারি। 9.2 চিত্রে একটি প্রচলিত ঘনক কোষ এবং সংশ্লিষ্ট ল্যাটিস বিন্দুগুলি দেখানো হল।



চিত্র 9.2 : সোডিয়াম ক্লোরাইডের ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস বিন্দুর বিন্যাস ও একটি প্রচলিত ঘনাকার তল-কেন্দ্রিক ল্যাটিস কোষ। এই কোষের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a। এই কোষের প্রত্যেক কোণে এবং প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রে একটি ল্যাটিস বিন্দু আছে। এজন্য এটিকে তল-কেন্দ্রিক কোষ বলে। এই কোষের A মূলবিন্দু এবং X,Y,Z তিনটি অক্ষ।

9.3.4 ল্যাটিস কোষ ও কেলাস কোষের মধ্যে সম্বন্ধ (Relation between Lattice Cell and Crystal Cell)

ল্যাটিস কোষ জানা থাকলে আমরা খুব সহজেই তা থেকে কেলাস কোষ গঠন করতে পারি। যেমন, 9.2 চিত্রে a দৈর্ঘ্যযুক্ত বাহুর যে একক ল্যাটিস কোষটি দেখানো হয়েছে, তার প্রত্যেক কোণে এবং প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রে যদি একটি করে সোডিয়াম আয়ন বসানো হয় এবং প্রত্যেক সোডিয়াম আয়ন থেকে কোনও একটি নির্দিষ্ট বাহুর দিকে (বা ঐ বাহুর সমান্তরাল দিকে) $\frac{a}{2}$ দূরত্বে একটি করে Cl^- আয়ন বসানো হয় (চিত্র 9.1b) তবেই আমরা সোডিয়াম ক্লোরাইডের প্রচলিত কেলাস কোষটি পাই। [আপনি এখানে লক্ষ্য করুন যে চিত্রের প্রচলিত ল্যাটিস কোষের 8টি কোণে 8টি বিন্দু ছাড়াও 6টি পার্শ্বতলের কেন্দ্রে আরও 6টি বিন্দু ধরা হয়েছে। এরূপ প্রচলিত কোষকে তল-কেন্দ্রিক (Face-centred) কোষ বলে। এ বিষয়ে আপনি পরে আরও আলোচনা পাবেন।]

প্রচলিত ল্যাটিস কোষ থেকে প্রচলিত কেলাস কোষ পাওয়ার জন্য আমরা এখানে প্রত্যেক ল্যাটিস বিন্দুতে একটি করে Na^+ আয়ন ধরেছি এবং এই আয়ন থেকে $\frac{a}{2}$ দূরত্বে একটি করে Cl^- আয়ন ধরেছি।

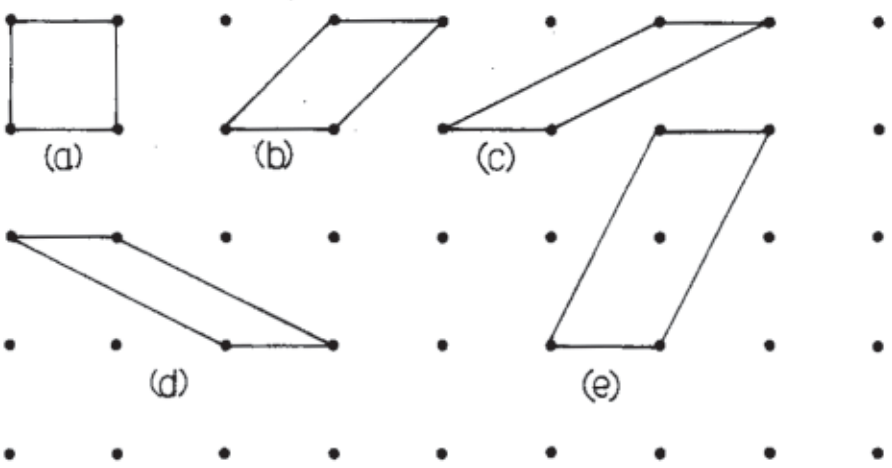
কিন্তু একটি Na^+ আয়ন ও একটি Cl^- আয়ন মিলিত হয়ে একটি সোডিয়াম ক্লোরাইডের অণু গঠন করে এবং ঐ অণুই হল সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের ভিত্তি। সুতরাং আমরা ল্যাটিস কোষ ও কেলাস কোষের মধ্যে সম্বন্ধ এভাবে লিখতে পারি —

ল্যাটিস কোষ + ভিত্তি = কেলাস কোষ ... ... (9.1)

আবার যেহেতু ল্যাটিস কোষগুলি পুনরাবৃত্তির দ্বারা সম্পূর্ণ ল্যাটিস এবং কেলাস কোষগুলির পুনরাবৃত্তির দ্বারা একটি সম্পূর্ণ কেলাসের গঠন পাওয়া যায়, সুতরাং আমরা উপরের সমীকরণ থেকে পাই

ল্যাটিস + ভিত্তি = কেলাসের গঠন ... ... (9.2)

এখানে উল্লেখযোগ্য যে ল্যাটিস হল অসংখ্য জ্যামিতিক বিন্দুর বিন্যাস। সুতরাং এটি একটি কাল্পনিক ধারণামাত্র। কিন্তু এর সঙ্গে যখন ভিত্তি যুক্ত হয়, তখন আমরা বাস্তব কেলাসের গঠন পাই।



চিত্র 9.3 : দ্বিমাত্রিক বর্গক্ষেত্রাকার ল্যাটিস বিন্দুর বিন্যাস ও বিভিন্ন কোষ। *(a), (b), (c), (d)* মৌলিক কোষ ও *(e)* কেন্দ্রিক প্রচলিত কোষ। মৌলিক কোষগুলির ক্ষেত্রফল সমান ও ন্যূনতম। প্রচলিত কোষটির ক্ষেত্রফল বেশী।

9.3.5 দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস ও একক কোষ (Two Dimensional Lattices and Unit Cells)

পূর্ব অনুচ্ছেদে আপনি লক্ষ্য করেছেন যে সোডিয়াম ক্লোরাইডের কেলাসের গঠন বিশ্লেষণ করে আমরা কীভাবে ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস ও ল্যাটিস কোষের ধারণা তৈরী করতে পারি। সোডিয়াম ক্লোরাইডের ল্যাটিস কোষটি একটি ঘনক। Au, Ag, Cu, Fe, ZnS, হীরে প্রভৃতি বহু সংখ্যক ধাতু ও খনিজের কেলাসের ক্ষেত্রে আমরা এরূপ ঘনক ল্যাটিস কোষ পাই। কিন্তু এ ছাড়াও আরও বহু সংখ্যক কেলাস আছে যেগুলির ল্যাটিস কোষগুলি ঘনক নয়। এই ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস কোষগুলির আলোচনার সুবিধার জন্য প্রথমে আমরা বিভিন্ন দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস ও এদের কোষ সম্বন্ধে আলোচনা করব।

একটি ঘনকের ভূমি একটি দ্বিমাত্রিক বর্গক্ষেত্র। সুতরাং এটিকে আমরা একটি দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের একক কোষ হিসাবে ধরতে পারি। 9.4(a) চিত্রে এরূপ একটি দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস ও এর একক কোষ দেখানো হল। এই কোষের দৈর্ঘ্য = প্রস্থ = a ধরা যায় এবং এদের মধ্যস্থ কোণ $\gamma = 90°$।

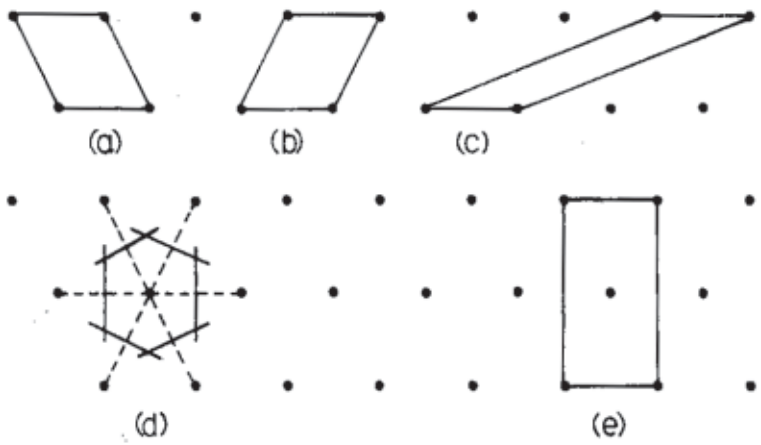
সাধারণভাবে একটি ল্যাটিসের কোষের দুটি বাহুর দৈর্ঘ্য সমান নাও হতে পারে এবং এদের মধ্যে কোণও সমকোণ না হতে পারে। 9.4(b) চিত্রে এরূপ একটি সাধারণ ল্যাটিস দেখানো হল। এই ল্যাটিসকে তির্যক (Oblique) ল্যাটিস বলে।

চিত্রের ল্যাটিসের চারটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে কীভাবে বিভিন্ন একক কোষ গঠন করা যায়, তা দেখানো হল। এই কোষগুলির বাহুর দৈর্ঘ্য ও কোণের মান বিভিন্ন হলেও এগুলি প্রত্যেকটিই একটি সামান্তরিক এবং এদের ক্ষেত্রফল ক্ষুদ্রতম ও সমান। সুতরাং এই কোষগুলির প্রত্যেকটিই একটি মৌলিক কোষ।

মৌলিক কোষ গঠনের জন্য ভিগনার-সাইৎজ (Wigner-Seitz) একটি সহজ পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। এই পদ্ধতিতে গঠিত মৌলিক কোষকে **ভিগনার-সাইৎজ কোষ** বলে। পদ্ধতিটি এরূপ ঃ

(i) ল্যাটিসের যেকোনও একটি নির্দিষ্ট বিন্দুকে নিকটস্থ সকল ল্যাটিস বিন্দুর সঙ্গে যুক্ত করুন।

(ii) দুটি বিন্দুর সংযোগ রেখার মধ্যবিন্দুতে লম্ব অঙ্কন করুন।



চিত্র 9.4: দ্বিমাত্রিক তির্যক ক্ষেত্রাকার ল্যাটিস বিন্দুর বিন্যাস ও বিভিন্ন কোষ। *(a), (b), (c)* মৌলিক কোষ। *(d)* ভিগনার-সাইৎজ পদ্ধতিতে অঙ্কিত মৌলিক কোষ। এই মৌলিক কোষগুলির ক্ষেত্রফল সমান। *(e)* প্রচলিত কেন্দ্রিক কোষ।

এই লম্বগুলির দ্বারা আবদ্ধ ক্ষুদ্রতম ক্ষেত্রফলযুক্ত (দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে) বা ক্ষুদ্রতম আয়তনযুক্ত (ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে) কোষটিই ল্যাটিসটির মৌলিক কোষ। 9.4(d) চিত্রে উক্ত পদ্ধতিতে কীভাবে একটি দ্বিমাত্রিক ভিগনার-সাইৎজ ল্যাটিস কোষ গঠন করা হয়, তা দেখানো হল।

কেলাসের একটি বিশেষ ধর্ম **প্রতিসাম্য** (Symmetry) (এ বিষয়ে আপনি পরে আলোচনা পাবেন)। কোষের আকারের উপর প্রতিসাম্য ধর্মগুলি নির্ভর করে। সেজন্য বিভিন্ন আকারের কোষের মধ্যে যে

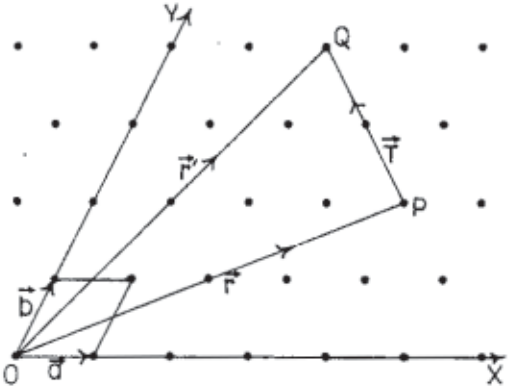
আকারটির জন্য কেলাসের প্রতিসাম্য ধর্ম সঠিকভাবে বজায় থাকে, সেই আকারের কোষকেই ল্যাটিসের একক কোষরূপে গ্রহণ করা হয়। অনেক ক্ষেত্রে আবার মৌলিক কোষের চেয়ে বড় ও অন্য আকারের কোষ ব্যবহার করলে, তবেই কেলাসের প্রতিসাম্য ধর্মগুলি সঠিকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। সেক্ষেত্রে এরূপ কোষকেই ল্যাটিসের একক কোষ হিসাবে গ্রহণ করা হয় এবং তাকে **প্রচলিত** (conventional) কোষ বলে। 9.4(e) চিত্রে এরূপ একটি প্রচলিত কোষ দেখানো হল। লক্ষ্য করুন, এই কোষটির চার কোণায় চারটি বিন্দু ছাড়াও কোষটির কেন্দ্রে (অর্থাৎ দুটি কর্ণের ছেদ বিন্দুতে) একটি অতিরিক্ত বিন্দু আছে। এইরূপ কোষকে কেন্দ্রিক (centred) কোষ বলে। এই কোষে মোট আবদ্ধ বিন্দুর সংখ্যা 5। তা ছাড়া কোষটির ক্ষেত্রফলও মৌলিক কোষগুলির ক্ষেত্রফলের চেয়ে বেশী।

9.4 ল্যাটিসের প্রতিসাম্য (Symmetry of Lattices)

যে রূপান্তর দ্বারা ল্যাটিসের রূপ পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে বা **অপরিবর্তিত** (Invariant) থাকে, তাকে ল্যাটিসের **প্রতিসাম্য সংকরণ** (Symmetry Operation) বলে। এই সংকরণগুলি হল **চলন** (Translation), **ঘূর্ণন** (Rotation), **প্রতিফলন** (Reflection) ও **উৎক্রম** বা **উল্টাকরণ** (Inversion)। এদের মধ্যে চলন কেবল ল্যাটিসের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। কিন্তু বাকী সংকরণগুলি বা এদের যোগফল যেকোনও ত্রিমাত্রিক বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। এগুলিকে একসঙ্গে **বিন্দু প্রতিসাম্য সংকরণ** (Point Symmetry Operation) বলে। এদের মধ্যে আবার উৎক্রম সংকরণটি দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় না। এখন আমরা লক্ষ্য করব যে এই প্রতিসাম্য সংকরণগুলি দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

9.4.1 চলন প্রতিসাম্য (Translational Symmetry)

ল্যাটিস একটি আদর্শ জ্যামিতিক কল্পনা যা কেলাসের গঠন ব্যাখ্যা করার জন্য আবশ্যক হয়। এর যে দুটি প্রধান ধর্ম ধরে নেওয়া হয়, সেগুলি হল, (i) এটি অসীম এবং ত্রিমাত্রিক দেশে অসংখ্য অভিন্ন জ্যামিতিক বিন্দুর বিন্যাস এবং (ii) এর যেকোনও একটি বিন্দুর পারিপার্শ্বিক ক্ষেত্রে অন্যান্য বিন্দুর যেরূপ বিন্যাস থাকে, অন্য যে কোনও বিন্দুর পারিপার্শ্বিক ক্ষেত্রেও ঠিক সেইরূপ অভিন্ন বিন্দুর বিন্যাস থাকে। যদিও ল্যাটিসের গঠন দ্বারাই কেলাসের গঠন ব্যাখ্যা করা হয়, তবু কেলাস ও ল্যাটিসের গঠনের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য আছে। এগুলি হল ঃ (i) ল্যাটিস অসীম হলেও কেলাস নির্দিষ্ট আকারযুক্ত সসীম। (ii) ল্যাটিস



চিত্র 9.5 : একটি তির্যক দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস। O মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত OX ও OY দুটি অসমান্তরাল অক্ষ। এই দুই অক্ষের দিকে $\vec{a}$ ও $\vec{b}$ দুটি ভিত্তি ভেকটর। P ও Q ল্যাটিস বিন্দুতে যথাক্রমে $\vec{r}$ ও $\vec{r'}$ দুটি অবস্থান ভেকটর। P থেকে Q পর্যন্ত সরণকে $\vec{T}$ ধরা হয়েছে।

অসংখ্য বিন্দুর দ্বারা গঠিত। কিন্তু কেলাস নির্দিষ্ট আকারযুক্ত পরমাণু বা আয়ন সমষ্টির ভিত্তির দ্বারা গঠিত। (iii) ল্যাটিসের গঠন সর্বত্র অভিন্ন। কিন্তু কেলাসের গঠনের মধ্যে অনেক সময়ই নানারূপ বিকৃতি, ত্রুটি বা ফাঁক দেখা যায়। ফলে গঠনটি সর্বত্র অভিন্ন হয় না। এসব কারণের জন্যই চলন প্রতিসাম্য কেলাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় না।

9.5 চিত্রে একটি তির্যক দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস দেখানো হল। এই ল্যাটিসের যেকোনও একটি বিন্দু O-কে মূলবিন্দু ধরে একটি মৌলিক কোষ অঙ্কন করা হল। এই কোষটি একটি সামন্তরিক। এর দুটি বাহু $\vec{a}$ ও $\vec{b}$-কে দুটি ভেক্টর ধরে এদের মধ্যে দিয়ে যথাক্রমে X ও Y দুটি অক্ষ আঁকা হল। $\vec{a}$ ও $\vec{b}$ ভেক্টর দুটিকে ভিত্তি (basis) বা মৌলিক (primitive) ভেক্টর বলে। যেহেতু এদের মধ্যস্থ কোণ γ সাধারণত এক সমকোণ নয়, সেজন্য X ও Y অক্ষদুটিকে কার্টেজীয় (Cartesian) বলা যায় না।

এখন ধরা যাক, P ও Q দুটি ল্যাটিস বিন্দু এবং O বিন্দুর সাপেক্ষে এদের অবস্থান ভেক্টর হল যথাক্রমে $\vec{r}$ ও $\vec{r}'$। যদি $\overrightarrow{PQ}$ সরণকে $\vec{T}$ ভেক্টর দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তবে ভেক্টরের ত্রিভুজ সূত্র অনুযায়ী

$$\vec{r}' - \vec{r} = \vec{T} \qquad \text{... ... (9.3)}$$

এখন যদি ধরা হয় যে,

$$\vec{T} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} \qquad \text{... ... (9.4)}$$

যেখানে n_1 ও n_2 যেকোনও দুটি পূর্ণ সংখ্যা (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক), তাহলে 9.4 সমীকরণ দ্বারাই সম্পূর্ণ ল্যাটিসটি ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন, এই সমীকরণে $n_1 = 0, n_2 = 0$ বসালে আমরা মূলবিন্দু O পাই। আবার, $n_1 = 1, n_2 = 0$ বসালে $\vec{a}$ ভেক্টরের অবস্থান বিন্দুটি পাই। অনুরূপে $n_1 = 0, n_2 = 1$ বসালে আমরা $\vec{b}$ ভেক্টরের অবস্থান বিন্দু পাই। এভাবে ল্যাটিসের যেকোনও স্থানেই $\vec{a}$ ও $\vec{b}$ ভিত্তি ভেক্টর দুটির মান ও দিক অপরিবর্তিত থাকলে (9.4) সমীকরণে n_1 ও n_2-র স্থানে বিভিন্ন পূর্ণ সংখ্যার মান বসিয়ে আমরা ল্যাটিসের প্রত্যেকটি বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করতে পারি।

(9.3) ও (9.4) সমীকরণ দুটি থেকে আমরা লিখতে পারি,

$$\vec{r}' = \vec{r} + \vec{T}$$

$$= \vec{r} + n_1\vec{a} + n_2\vec{b} \qquad \text{... ... (9.5)}$$

যেহেতু $\vec{T}$ সরণ দ্বারা ল্যাটিসটি অপরিবর্তিত থাকে, সুতরাং (9.5) সমীকরণটি আমরা এভাবে ব্যাখ্যা করতে পারি যে, যদি $\vec{r}$ দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের যেকোনও বিন্দুর একটি অবস্থান ভেক্টর হয়, তবে এর উপর $\vec{T} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b}$ সরণ (চলন) প্রয়োগ করা হলে, লব্ধি $\vec{r}'$ ভেক্টর দ্বারা ল্যাটিসের কোনও পরিবর্তন ঘটে না। একেই বলে ল্যাটিসের চলন প্রতিসাম্য।

ত্রিমাত্রিক দেশে $\vec{a}$, $\vec{b}$ ও $\vec{c}$ তিনটি ভিত্তি ভেক্টর হলে এবং এই $\vec{c}$ ভেক্টরের অভিমুখে Z অক্ষ কল্পনা

করা হলে $\vec{T}$ সরণের মান হবে,

$$\vec{T} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c} \qquad \ldots\ \ldots\ (9.6)$$

যেখানে n_1, n_2, n_3 তিনটি (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) পূর্ণসংখ্যা।

এক্ষেত্রে লব্ধি অবস্থান ভেক্টরটি হবে,

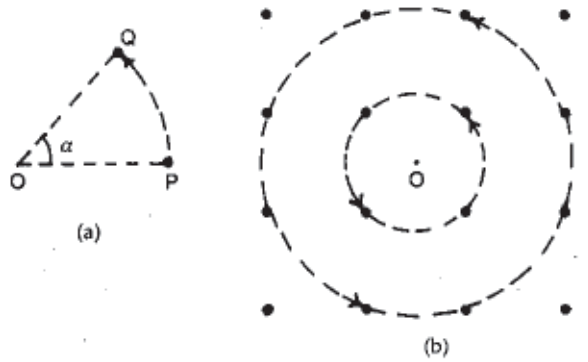
$$\vec{r'} = \vec{r} + \vec{T} = \vec{r} + n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c} \qquad \ldots\ \ldots\ (9.7)$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রেও চলন প্রতিসাম্য প্রযোজ্য।

9.4.2 ঘূর্ণন প্রতিসাম্য (Rotational Symmetries)

ঘূর্ণন প্রতিসাম্য দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস এবং কেলাসের পক্ষে সমভাবে প্রযোজ্য। 9.6 চিত্রের দ্বারা ঘূর্ণন প্রতিসাম্য ব্যাখ্যা করা যায়।

ধরা যাক, 9.6(a) চিত্রের দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের O বিন্দুতে ল্যাটিস তলের একটি লম্ব অক্ষকে কেন্দ্র করে ল্যাটিসের একটি বিন্দু P কে α কোণে ঘোরানো হল। ধরা যাক, ঘূর্ণনের পূর্বে Q বিন্দুতে একটি ল্যাটিসের বিন্দু ছিল। যদি ঘূর্ণণের পর P ল্যাটিস বিন্দুটি Q ল্যাটিস বিন্দুতে যায়, তাহলে ল্যাটিসের বিন্যাসের কোনও পরিবর্তন হবে না। ল্যাটিসের এই ধর্মকে ঘূর্ণন প্রতিসাম্য বলে।



চিত্র 9.6 : ঘূর্ণন প্রতিসাম্য। *(a)* P ও Q দুটি ল্যাটিস বিন্দু। O একটি প্রতিসাম্য বিন্দু, যাকে কেন্দ্র করে P-কে α কোণে ঘোরালে তা Q বিন্দুর অবস্থানে যায়। *(b)* একটি 4-ভাঁজ ঘূর্ণন প্রতিসাম্যের উদাহরণ।

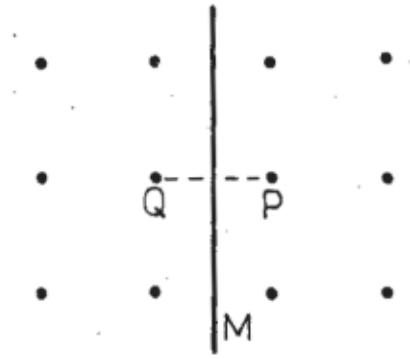
যদি প্রত্যেক α কোণে ঘূর্ণনের জন্য ল্যাটিসটির ঘূর্ণন প্রতিসাম্য থাকে, তবে P বিন্দুর একটি পূর্ণ ঘূর্ণনের জন্য ঘূর্ণন প্রতিসাম্যের সংখ্যা হবে,

$$\frac{2\pi}{\alpha} = n \qquad \ldots\ \ldots\ (9.8)$$

যেখানে n একটি পূর্ণ সংখ্যা (ধনাত্মক)। যদি কোনও ল্যাটিস $\alpha = \frac{2\pi}{n}$ কোণে ঘূর্ণনের ফলে অপরিবর্তিত থাকে, তবে বলা হয় যে ল্যাটিসটির n-ভাঁজ (n-fold) প্রতিসাম্য অক্ষ আছে। প্রমাণ করা যায় যে, n-এর মান $1, 2, 3, 4$ বা 6 হতে পারে, কিন্তু কখনওই 5 বা 7 হয় না। 9.6(b) চিত্রে একটি 4-ভাঁজ ঘূর্ণন প্রতিসাম্যের উদাহরণ দেখানো হল। এখানে $\alpha = \frac{\pi}{2}$। অর্থাৎ প্রত্যেক এক সমকোণে ঘূর্ণনের জন্য ল্যাটিসটির প্রতিসাম্য হয়।

9.4.3 দর্পণ প্রতিসাম্য (Mirror Symmetry)

দর্পণ প্রতিসাম্য দ্বিমাত্রিক বা ত্রিমাত্রিক উভয় ল্যাটিসের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। 9.7 চিত্রের সাহায্যে এই প্রতিসাম্য ব্যাখ্যা করা যায়। চিত্রে M রেখা কাগজের উপর একটি লম্ব সমতলের ছেদক। এই সমতলটিকে দর্পণ সমতল বলে। M রেখার উভয় পার্শ্বে P, Q প্রভৃতি বিন্দুগুলি একটি দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের বিন্দু। যদি M-কে একটি দর্পণ হিসাবে কল্পনা করা হয় এবং Q এই দর্পণে P-বিন্দুর প্রতিবিম্ব হয়, তবে P ও Q যুক্ত করে যে সরলরেখা আঁকা যায়, তা M-এর উপর লম্ব হবে এবং M- রেখা থেকে P ও Q-র দূরত্ব সমান হবে। যদি ল্যাটিসের সব বিন্দুই এইভাবে কোনও লম্ব সমতলের উভয়পার্শ্বে জোড়ায় জোড়ায় সাজানো যায়, তাহলে বলা হয় যে ল্যাটিসটি এই সমতলে প্রতিফলনের ফলে অপরিবর্তিত থাকে। ল্যাটিসের এই ধর্মকে দর্পণ প্রতিসাম্য বলে। ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে দর্পণ সমতলটিকে এবং দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে দর্পন রেখাটিকে (M) ল্যাটিসের দর্পণ প্রতিসাম্য উপাদান (Mirror Symmetry element) বলে।



চিত্র 9.7 : দর্পণ প্রতিসাম্য। M কাগজের উপর লম্বভাবে বসানো একটি সমতল দর্পণের ছেদক রেখা। Q ল্যাটিস বিন্দু P ল্যাটিস বিন্দুর প্রতিবিম্ব।

9.4.4 উৎক্রম প্রতিসাম্য (Inversion Symmetry)

ধরা যাক, কোনও কেলাসের মধ্যে এমন একটি বিন্দু আছে যাকে মূলবিন্দু ধরে কেলাসের মধ্যে ইচ্ছা মতো যেকোনোও দিকে $\vec{r}$ ও $-\vec{r}$ দুটি অবস্থান ভেক্টর কল্পনা করা যায়। এই দুটি ভেক্টরের মান সমান কিন্তু অভিমুখ বিপরীত। যদি ভেক্টর দুটির এই দুই অবস্থান বিন্দুতে কেলাসের পরমাণুগুলির বিন্যাস ও অন্যান্য সকল ধর্ম এক বা অপরিবর্তিত থাকে, তাহলে কেলাসের ঐ বিন্দুকে **উৎক্রম বিন্দু** (Centre of Inversion) বলা হয় এবং বলা হয় যে কেলাসটির উৎক্রম প্রতিসাম্য আছে।

অনুরূপে, একটি ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রেও আমরা উৎক্রম বিন্দু ও উৎক্রম প্রতিসাম্য বিবৃত করতে পারি। অর্থাৎ ল্যাটিসের ক্ষেত্রে উৎক্রম বিন্দু হল এমন একটি বিন্দু যার সাপেক্ষে $\vec{r}$ ও $-\vec{r}$ দূরত্বে ল্যাটিসের বিন্দু দুটি অভিন্ন হয়। কিন্তু সংজ্ঞা অনুযায়ী ল্যাটিসের যেকোনও দুটি বিন্দুর চতুর্পার্শ্বের পরিবেশ অভিন্ন হয়। সুতরাং ল্যাটিসের প্রত্যেক বিন্দুই এর এক একটি উৎক্রম বিন্দু। দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে $\vec{r}$ -ও দ্বিমাত্রিক। এজন্য এই ল্যাটিসের উৎক্রম প্রতিসাম্য নেই।

9.5 ব্র্যাভাইস ল্যাটিস ও কোষ (Bravais Lattices and Cells)

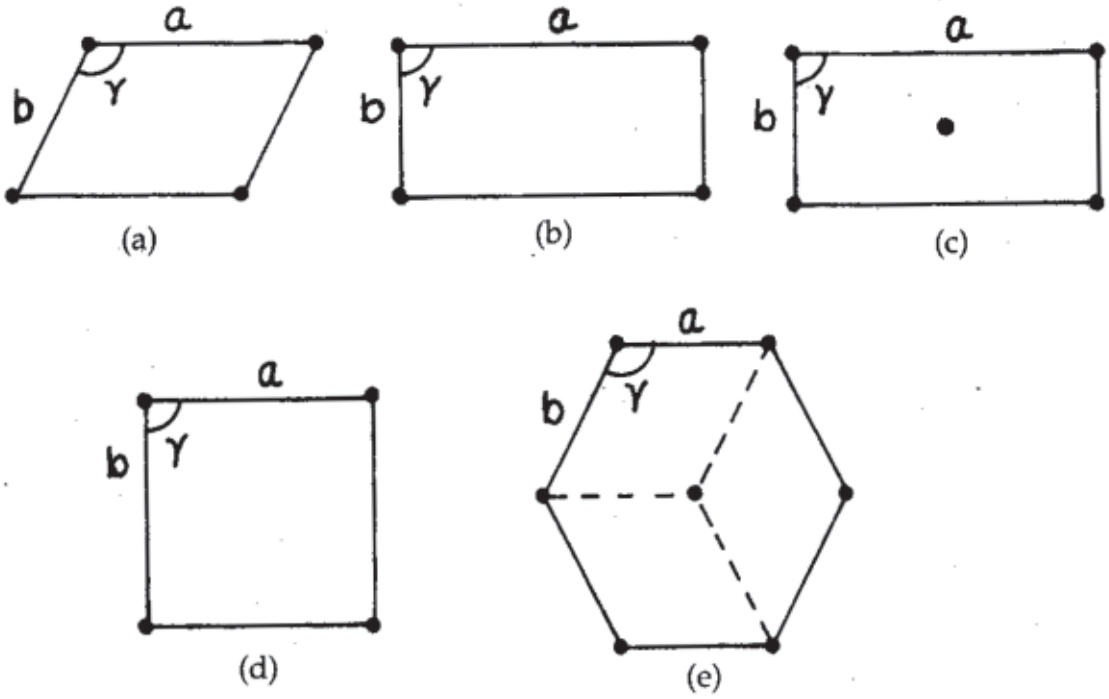
আমরা গাণিতিকভাবে অসংখ্য প্রকার দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস ও কোষ কল্পনা করতে পারি। কিন্তু কেলাসের যেহেতু বিভিন্ন প্রতিসাম্য ধর্ম আছে, সেজন্য যেসকল ল্যাটিসের অনুরূপ প্রতিসাম্য ধর্ম

আছে, কেবল সেগুলিই কেলাসের গঠন বিশ্লেষণের জন্য প্রয়োজন হয়। 1848 খ্রীষ্টাব্দে ব্র্যাভাইস বিভিন্ন ল্যাটিসের উপর এই প্রতিসাম্য ধর্মগুলি আরোপ করে দেখিয়েছেন যে মোট 5 প্রকার দ্বিমাত্রিক ও 14 প্রকার ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস পাওয়া যায়। এগুলিকেই **ব্র্যাভাইস ল্যাটিস** বলে। আমরা প্রথমে দ্বিমাত্রিক ও তারপর ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসগুলি বর্ণনা করব।

প্রত্যেক ল্যাটিসেরই একটি বৈশিষ্ট্যমূলক কোষ আছে যা একটির পর একটি সাজিয়ে সম্পূর্ণ ল্যাটিসটি গঠন করা যায়। একটি **নির্দিষ্ট কোষই** হল একটি নির্দিষ্ট ল্যাটিসের প্রতিনিধি। এই কারণে কোষকেই অনেক সময় ল্যাটিস বলা হয়। অনুরূপে আমরাও সাধারণভাবে ব্র্যাভাইস ল্যাটিস বলতে ঐ ল্যাটিসের কোষকেই বোঝাব।

9.5.1 দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস (Two Dimensional Bravais Lattices)

দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসে চারটি মৌলিক কোষ আছে। এগুলির দ্বারা মোট 5টি ব্র্যাভাইস কোষ পাওয়া যায়। 9.8 চিত্রের (a), (b), (c), (d), (e)-তে এই ব্র্যাভাইস কোষগুলি দেখানো হল। প্রথম কোষটিকে (a) **তির্যক** (oblique) বলা হয়। এটি একটি মৌলিক সামন্তরিক যার a ও b বাহু দুটি অসমান ($a \neq b$) এবং এদের মধ্যে কোণ γ এক সমকোণ নয় ($\gamma \neq 90°$) । দ্বিতীয় কোষটিও (b) মৌলিক এবং এটিকে



চিত্র 9.8 : দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসের তিনটি মৌলিক ও দুটি প্রচলিত কোষ। *(a)* মৌলিক তির্যক, *(b)* মৌলিক আয়তক্ষেত্রাকার, *(c)* কেন্দ্রিক (প্রচলিত) আয়তক্ষেত্রাকার, *(d)* মৌলিক বর্গাকার এবং *(e)* (প্রচলিত) ষড়ভুজাকার।

আয়তক্ষেত্রাকার (Rectangular) বলা হয়। কারণ কোষটির বাহু $a \neq b$ এবং কোণ $\gamma = 90°$। তৃতীয় কোষটিও (c) একটি আয়তক্ষেত্র। তবে এটি মৌলিকের চেয়ে বড় প্রচলিত কোষ। এই কোষের কেন্দ্রে (অর্থাৎ দুটি বিপরীত কর্ণের ছেদ বিন্দুতে) একটি ল্যাটিস বিন্দু আছে। এজন্য এই কোষের নাম কেন্দ্রিক আয়তক্ষেত্রাকার (Central Rectangular)। এক্ষত্রে $a \neq b, \gamma = 90°$। চতুর্থ ব্র্যাভাইস কোষটি (d) **বর্গক্ষেত্রাকার** (square)। এটিও মৌলিক এবং এর বাহু ও কোণের মান হল $a = b, \gamma = 90°$। পঞ্চম ব্র্যাভাইস ল্যাটিসকে (e) (সুষম) **ষড়ভুজাকার** (Hexagonal) বলা হয়। এটি একটি প্রচলিত কোষ যা তিনটি মৌলিক রম্বাস দ্বারা (Rhombus) গঠিত। এই রম্বাসের বাহু ও কোণগুলি হল $a = b, \gamma = 120°$। 9.1 সারণিতে এই কোষগুলির বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য একসঙ্গে সাজিয়ে দেখানো হল ঃ

সারণি 9.1

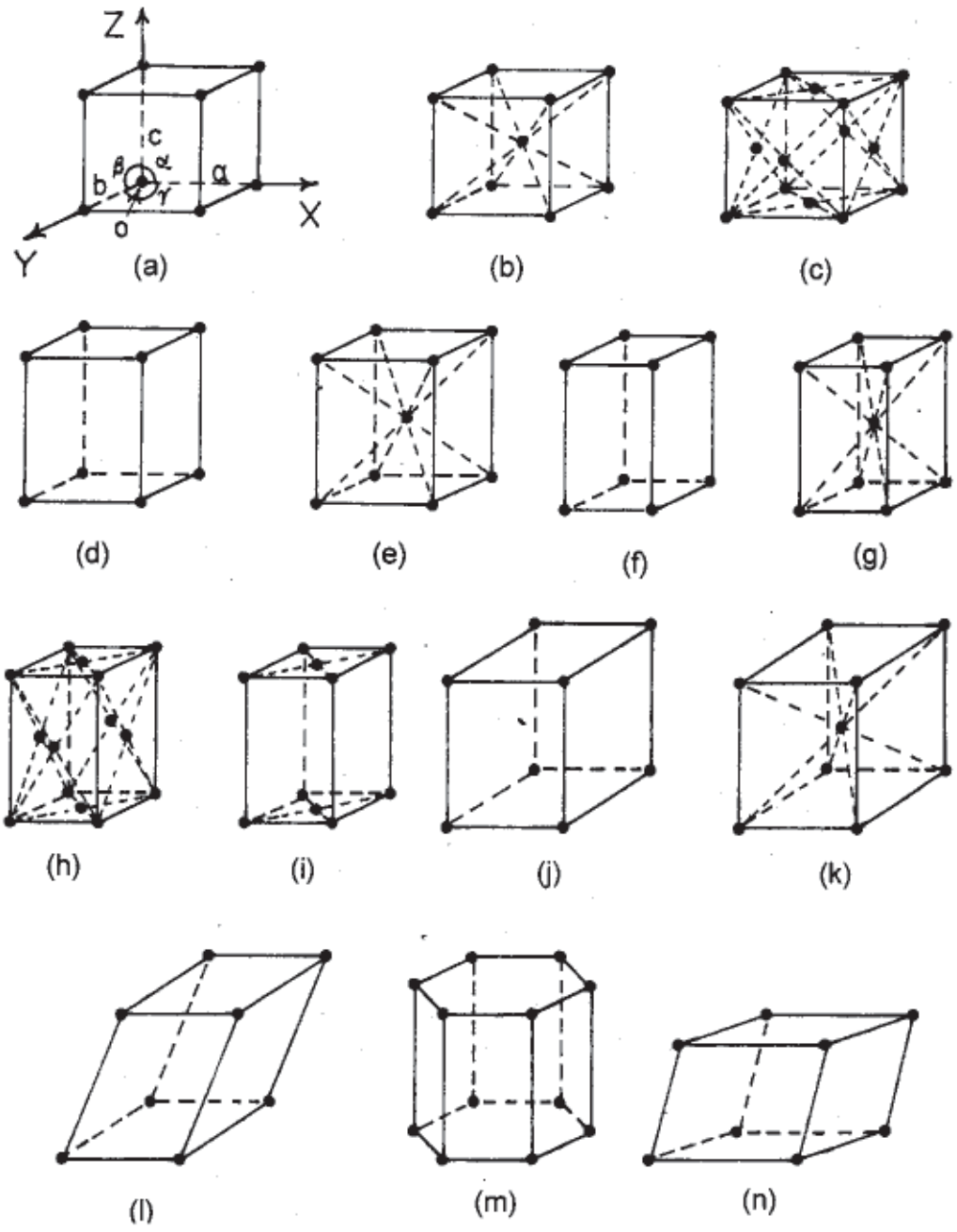
ল্যাটিস (প্রচলিত কোষ)	মৌলিক একক কোষ	বাহু ও কোণের সম্পর্ক
1. তির্যক	সামান্তরিক	$a \neq b, \gamma \neq 90°\left(\frac{\pi}{2}\right)$
2. মৌলিক আয়তক্ষেত্রাকার	আয়তক্ষেত্র	$a \neq b, \gamma = 90°$
3. কেন্দ্রিক আয়তক্ষেত্রাকার	আয়তক্ষেত্র	$a \neq b, \gamma = 90°$
4. বর্গক্ষেত্রাকার	বর্গক্ষেত্র	$a = b, \gamma = 90°$
5. ষড়ভুজাকার	120° কোণযুক্ত রম্বাস	$a = b, \gamma = 120°$

9.5.2 ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস (3-Dimensional Bravais Lattices)

ব্রাভাইস ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের উপর প্রতিসাম্য ধর্মগুলি প্রয়োগ করে দেখতে পাবেন যে এই ল্যাটিসগুলি মোট সাত প্রকারের হতে পারে এবং এগুলির সাহায্যে মোট 14 প্রকার মৌলিক ও প্রচলিত কোষ গঠন করা যায়। একটি দ্বিমাত্রিক কোষকে ভূমি ধরে একে চারটি নির্দিষ্ট পার্শ্বতল দ্বারা আবদ্ধ করা হলে সহজে একটি ত্রিমাত্রিক কোষ গঠিত হয়। এজন্য সাধারণত দ্বিমাত্রিক কোষটির আকার অনুযায়ীই ত্রিমাত্রিক কোষটির নামকরণ করা হয়।

একটি ব্র্যাভাইস কোষের ভূমির যেকোন একটি কৌণিক বিন্দু O-কে মূলবিন্দু ধরে কোষের a, b, c — তিনটি পরস্পর অসমান্তরাল বাহুর অভিমুখে আমরা যথাক্রমে X, Y, Z তিনটি অক্ষ কল্পনা করতে পারি। ধরা যাক X ও Z অক্ষের মধ্যবর্তী কোণ α এবং Y ও Z অক্ষের মধ্যবর্তী কোণ β এবং X ও Y অক্ষের মধ্যবর্তী কোণ γ। 9.9(a) চিত্রে একটি কোষের ক্ষেত্রে এই বাহু, অক্ষ ও কোণগুলি দেখানো হল। এই বাহু ও কোণগুলির সাপেক্ষে এখানে ব্র্যাভাইস কোষগুলির বৈশিষ্ট্য আলোচনা করা হল।

(1) **ঘনাকাকার** (Cubic) ঃ একটি বর্গক্ষেত্রকে ভূমি ধরে যদি এর চারটি প্রান্তে অভিন্ন বর্গক্ষেত্র খাড়াভাবে বসানো হয়, তবে আমরা একটি ঘনক পাই। এই ঘনকের 6টি পার্শ্বতল, 8টি কৌণিক বিন্দু ও



চিত্র 9.9 : ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস। (1) ঘনকাকার—*(a)* সরল, *(b)* বস্তু-কেন্দ্রিক, *(c)* তল-কেন্দ্রিক। (2) সমকোণী বর্গক্ষেত্রাকার—*(d)* সরল, *(e)* বস্তু-কেন্দ্রিক। (3) সমকোণী আয়তক্ষেত্রাকার—*(f)* সরল, *(g)* বস্তু-কেন্দ্রিক, *(h)* তল-কেন্দ্রিক, *(i)* ভূমি-শীর্ষ-কেন্দ্রিক। (4) সমকোণী সামান্তরিকাকার—*(j)* সরল, *(k)* ভূমি-শীর্ষ-কেন্দ্রিক। (5) ত্রিসামান্তরিকাকার—*(l)* সরল। (6) ষড়্ভুজাকার—*(m)* সরল। (7) রম্বাসাকার—*(n)* সরল।

12টি প্রান্তরেখা (বাহু বা ভুজ) আছে। যদি ঘনকটির 8টি কৌণিক বিন্দু ল্যাটিসের 8টি বিন্দু হয়, এবং এই বিন্দুগুলি ছাড়া ল্যাটিসের আর কোনও বিন্দু ঘনক তলের উপর বা ভিতরে না থাকে, তবে এই ঘনকটিকে মৌলিক বা সরল (simple) ঘনক বলা হয়।

কোনও কোনও ল্যাটিসের ক্ষেত্রে সরল ঘনককে একটি একক কোষ হিসেবে না ধরে এর থেকে বড় একটি ঘনককে প্রচলিত কোষ হিসেবে ধরা সুবিধাজনক হয়। এরফলে কোষের মধ্যে ল্যাটিস বিন্দুর সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। ল্যাটিসের প্রতিসাম্য ধর্ম অনুযায়ী এরূপ দুটি প্রচলিত কোষ হতে পারে। যদি ঘনকের 8টি কৌণিক বিন্দু ছাড়াও এর ভিতরের কেন্দ্রে (অর্থাৎ ভিতরের কর্ণগুলির ছেদবিন্দুর) একটি ল্যাটিস বিন্দু থাকে, তবে তাকে **বস্তুকেন্দ্রিক** (Body-centered) কোষ বলে। অপরপক্ষে যদি কোষটির যে 6টি পার্শ্বতল আছে, তাদের প্রত্যেকের দুটি কর্ণের ছেদ বিন্দুতে একটি করে অতিরিক্ত ল্যাটিস বিন্দু থাকে, তবে ঐ প্রচলিত কোষকে **তলকেন্দ্রিক** (Face-centered) কোষ বলে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে একটি ঘনক থেকে একটি সরল, একটি বস্তু-কেন্দ্রিক ও একটি তল-কেন্দ্রিক—মোট এই তিন প্রকার কোষ পাওয়া যায়।

এই কোষগুলির প্রত্যেকটির বাহুগুলির সম্বন্ধ $a = b = c$ এবং কোণগুলির সম্বন্ধ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$। 9.9 (a), (b), (c) চিত্রের দ্বারা এই কোষগুলি দেখানো হল।

(2) **সমকোণী বর্গক্ষেত্রাকার** (Tetragonal) ঃ এই কোষের ভূমি ও শীর্ষ বর্গক্ষেত্রাকার এবং এদের চারদিকের প্রান্ত এদের সঙ্গে সমকোণে স্থাপিত চারটি আয়তক্ষেত্র দ্বারা আবদ্ধ। যদি এই ঘন কোষটি কেবল 8টি কৌণিক বিন্দু দ্বারা গঠিত হয়, তবে তাকে একটি সরল কোষ বলা হয়। এই সরল কোষটি বস্তুত একটি বর্গাকার ভূমির উপর গঠিত একটি চৌপল। এর বাহু ও কোণগুলির বৈশিষ্ট্য হল $a = b \neq c$ এবং $\alpha = \beta = \gamma = 90°$। বিভিন্ন প্রতিসাম্য ধর্ম বিবেচনা করলে এর কেবল একটি বস্তু-কেন্দ্রিক প্রচলিত কোষ পাওয়া যায়। এই কোষের তল-কেন্দ্রিক প্রচলিত কোষ হয় না। সুতরাং সমকোণী বর্গক্ষেত্রাকার ল্যাটিসের সরল ও বস্তু-কেন্দ্রিক—কেবল এই দুই প্রকার একক কোষ আছে। 9.9(d) ও (e) চিত্র দুটি এই দুটি কোষকে বোঝাচ্ছে।

(3) **সমকোণী আয়তক্ষেত্রাকার বা চৌপলাকার** (Orthorhombic) ঃ এই কোষটির ভূমি ও শীর্ষতল আয়তক্ষেত্রাকার এবং এগুলির প্রান্ত এগুলির সঙ্গে সমকোণে চারটি আয়তক্ষেত্রাকার তল দ্বারা বেষ্টিত। এজন্যই এটিকে সমকোণী চৌপল বা আয়তঘন (Rectangular Parallelopiped) বলে। এর বাহুগুলির ও কোণগুলির সম্পর্ক হল—

$$a \neq b \neq c, \quad \alpha = \beta = \gamma = 90°$$

এই কোষটি সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক—এই চার প্রকার হতে পারে। সরল কোষটি মৌলিক এবং এটি ল্যাটিসের 8টি কৌণিক বিন্দুর দ্বারা গঠিত। অপর তিনটি কোষ প্রচলিত এবং এদের মধ্যে ল্যাটিস বিন্দুর সংখ্যা 8-এর বেশী। যেমন, বস্তু-কেন্দ্রিক কোষে কৌণিক বিন্দুগুলি ছাড়াও কোষের ভিতরে এর চারটি কর্ণের ছেদ বিন্দুতে একটি অতিরিক্ত ল্যাটিস বিন্দু আছে। সুতরাং এর মোট

ল্যাটিস বিন্দুর সংখ্যা 9 । অপরপক্ষে তল-কেন্দ্রিক প্রচলিত কোষটির প্রত্যেক পার্শ্বতলের দুটি কর্ণের ছেদ বিন্দুতে একটি অতিরিক্ত ল্যাটিস বিন্দু আছে। সুতরাং এই তল-কেন্দ্রিক কোষে মোট $8+6=14$টি ল্যাটিস বিন্দু আছে। ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক কোষের কেবল ভূমি ও শীর্ষতলের কর্ণগুলির ছেদ বিন্দুতে একটি করে অতিরিক্ত ল্যাটিস বিন্দু আছে। সুতরাং ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক কোষে মোট $8+2=10$টি ল্যাটিস বিন্দু পাওয়া যায়। 9.9 (f) , (g), (h), (i) চিত্রগুলির দ্বারা এই চার প্রকার কোষ দেখানো হল।

(4) **সমকোণী সামান্তরিকাকার বা একসামান্তরিকাকার (Monoclinic)** ঃ যদি একটি কোষের কেবল ভূমি ও শীর্ষতল দুটি অভিন্ন তির্যক সামান্তরিক হয় কিন্তু এগুলির প্রান্ত এদের উপর লম্ব আয়তক্ষেত্র দ্বারা বেষ্টিত হয়, তবে এই ঘন কোষটিকে সমকোণী সামান্তরিকাকার বা একসামান্তরিকাকার বলা হয়। এই কোষের বাহুগুলি অসমান ($a \neq b \neq c$) এবং কেবল ভূমিস্থ কোণটি অসমকোণ ($\alpha = \beta = 90°, \gamma \neq 90°$)। এই আকারের কেবল সরল ও ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক কোষ পাওয়া যায় (চিত্র 9.9(j), (k))।

(5) **ত্রিসামান্তরিকাকার** (Triclinic) ঃ যে ঘন কোষের তিন দিকের দুটি পার্শ্ব তলই তির্যক সামান্তরিক, তাকে ত্রিসামান্তরিক আকার ঘন কোষ বলে। ত্রিসামান্তরিক আকার কোষের কোনও বাহুই সমান নয় ($a \neq b \neq c$) এব কোনও কোণই সমকোণ নয় ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$)। এটি কেবল সরল বা মৌলিক কোষ হিসাবেই পাওয়া যায়। এর কোনও প্রচলিত কোষ নেই (চিত্র 9.9(l))।

(6) **ষড়ভুজাকার** (Hexagonal) ঃ যে ঘন কোষের ভূমি (শীর্ষ) 6টি সমবাহুর দ্বারা গঠিত একটি ষড়ভুজ এবং এই ষড়ভুজটির ছটি প্রান্ত ছটি লম্ব আয়তক্ষেত্র দ্বারা বেষ্টিত, তাকে ঘন ষড়ভুজাকার কোষ বলা হয়। এই কোষের ভূমি তিনটি মৌলিক 120° রম্বাস বা 6টি সমবাহু ত্রিভুজের যোগফল হিসাবেও ধরা যায়। এই কোষের ক্ষেত্রে $a = b \neq c$ এবং $\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$। মোট 12টি কৌণিক ল্যাটিস বিন্দুর দ্বারা এই প্রচলিত কোষটি গঠিত। এর আর কোনও ভিন্নরূপ নেই (চিত্র 9.9 (m))।

(7) **রম্বাসাকার বা (সমবাহু) ত্রিভুজাকার** (Rhombohedral or Trigonal) ঃ এই কোষের ভূমি একটি রম্বাস অর্থাৎ দুটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজের সমষ্টি। এর চতুপার্শ্বের আবদ্ধকারী তলগুলিরও অনুরূপ রম্বাস এবং এগুলির কোনও কোণই 90° নয়। একটি ঘনকের কোনও বস্তু-কেন্দ্রিক কর্ণকে দুদিক থেকে ধরে টানলে ঘনকের যে বিকৃতি ঘটে, রম্বাসাকার কোষের গঠন সেইরূপ। এই কোষের বাহু ও কোণগুলি হল, $a = b = c$ এবং $120° > \alpha = \beta = \gamma > 90°$। এটি একটি সরল কোষ। এর কোনও প্রচলিত কোষ নেই (চিত্র 9.9 (n)।

9.2 সারণিতে বিভিন্ন ব্র্যাভাইস কোষগুলির বৈশিষ্ট্য তালিকাবদ্ধভাবে দেখানো হল।

সারণি 9.2

ল্যাটিসের প্রকার	কোষের বাহু ও কোণগুলির সম্বন্ধ	ব্র্যাভাইস কোষের নাম	সংক্ষিপ্ত নাম	কোষের চিহ্ন	কেলাসের উদাহরণ
1. ঘনাকাকার (Cubic)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	i) সরল (Simple)	sc	P	Cu, Ag, Fe
		ii) বস্তু-কেন্দ্রিক (body-centered)	bcc	I	CsCl, NH_4Cl, LiHg, CuZn, Li, Na, K, Rb, Cs, Ba
		iii) তল-কেন্দ্রিক (face-centrered)	fcc	F	NaCl, MnO, MgO, LiH, AgBr, PbS, KCl, KBr Ca, Al, Pb, Co, Ni, Cu
2. সমকোণী বর্গক্ষেত্রাকার বা চতুর্ভুজাকার (Tetragonal)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	i) সরল	st	P	β-Sn (সাদা)
		ii) বস্তু-কেন্দ্রিক	bct	I	TiO_2, SnO_2
3. চৌপলাকার বা সমকোণী আয়তক্ষেত্রাকার (Orthorhombic)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	i) সরল	so	P	Ga, α-S
		ii) বস্তু-কেন্দ্রিক	bco	B	Fe_3C
		iii) তল-কেন্দ্রিক	fco	F	KNO_3
		iv) ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক (base-centrered)	cco	C	K_2SO_4
4. সমকোণী সামন্তরিককার বা একসামন্তরিকার (Monoclimic)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°, \gamma \neq 90°$	i) সরল	sm	P	$CaSO_4.2H_2O$
		ii) ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক	ccm	C	Borax
5. ত্রিসামন্তরিকার (Triclinic)	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	i) সরল	str	P	$K_2Cr_2O_7$
6. ষড়ভুজাকার (Hexajonal)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$	i) সরল	sh	P	Mg, Zn, Cd, SiO_2
7. রম্বাসাকার (Rhombohedral)	$a = b = c$ $120° > \alpha = \beta = \gamma > 90°$	i) সরল	sr	P	As, Sb, Bi, $CaCO_3$

9.6 ল্যাটিসের বিভিন্ন রেখার দিক, তল ও তলদূরত্ব (Line Directions, Planes and Interplanar Distances of a Lattice)

ল্যাটিসের বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে বিভিন্ন রেখা ও তল অঙ্কন করা যায়। এই রেখাগুলির দিক, তলের অবস্থান বা দুটি সমান্তরাল তলের মধ্যে দূরত্ব কীভাবে নির্ণয় করা হয়, আমরা এখন সেই আলোচনা করব।

9.6.1 ল্যাটিসের মধ্যে কোনও রেখার দিক নির্ণয় ঃ

ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের মধ্যে কোনও একটি রেখার দিক তিনটি সূচকের (অনুরূপে দ্বিমাত্রিকের ক্ষেত্রে দুটি সূচকের) সাহায্যে নির্দিষ্ট করা হয়। এই সূচকগুলি ল্যাটিসের তিনটি ভিত্তি ভেক্টরের ক্ষুদ্রতম পূর্ণ সংখ্যার গুণনীয়ক দ্বারা নিম্নলিখিতভাবে গঠন করা হয় ঃ

9.4.1. অনুচ্ছেদে আপনি একটি ল্যাটিসের দুটি বিন্দু P ও Q-র মধ্যে ভেক্টর সরণের রাশিমালা পেয়েছেন। 9.3 সমীকরণ অনুযায়ী এই সরণ $\vec{T} = \vec{r}' - \vec{r}$ যেখানে $\vec{r}'$ ও $\vec{r}$ যথাক্রমে Q ও P বিন্দুর অবস্থান ভেক্টর (চিত্র 9.5)।

আপনি লক্ষ করেছেন যে, $\vec{T}$ দ্বারা ল্যাটিসের বিন্দুগুলি পাওয়ার শর্ত হল

$$\vec{T} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b}$$

যদি ল্যাটিসটি দ্বিমাত্রিক হয়

এবং $\vec{T} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c}$

যদি ল্যাটিসটি ত্রিমাত্রিক হয়।

যদি O (মূলবিন্দু) ও P উভয়েই ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের বিন্দু হয় তবে $\vec{T}$ ভেক্টরের অণুরূপে আমরা লিখতে পারি,

$$\overrightarrow{OP} = \vec{r} = n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_2\vec{c} \quad \text{... ... (9.9)}$$

যেখানে n_1, n_2, n_3 তিনটি পূর্ণ সংখ্যা। এদেরকে P বিন্দুর স্থানাঙ্কও বলা হয়। অর্থাৎ P বিন্দুর স্থানাঙ্ক $P(n_1, n_2, n_3)$। $\vec{r}$ -কে ল্যাটিসের অবস্থান বা দিক ভেক্টর বলে।

ধরা যাক, H এই তিনটি স্থানাঙ্কের গরিষ্ঠ সাধারণ গুণনীয়ক (গ.সা.গু.)। তাহলে $\vec{r}$ দিক ভেক্টরটির তিনটি দিক সূচকের সংজ্ঞা হল,

$$e = \frac{n_1}{H}, f = \frac{n_2}{H}, g = \frac{n_3}{H} \quad \text{... ... (9.10)}$$

দিক বোঝাবার জন্য এই তিনটি সূচক একসঙ্গে একটি তৃতীয় বন্ধনীর মধ্যে রাখা হয়।

কাজেই $\vec{r}$ ভেক্টরের দিক-সূচকগুলি হল $[e, f, g]$।

উদাহরণ-1. ধরা যাক, P বিন্দুর অবস্থান ভেক্টরটি হল

$$\vec{r} = 4\vec{a} + 16\vec{b} + 12\vec{c}$$

$\vec{r}$ ভেক্টরের দিক-সূচকগুলি নির্ণয় করুন।

উত্তর ঃ 4, 16, 12 সংখ্যাগুলির (স্থানাঙ্ককগুলির) গ.সা.গু. $= 4$

$$\therefore\ e = \frac{4}{4} = 1,\ f = \frac{16}{4} = 4,\ g = \frac{12}{4} = 3$$

সুতরাং $\vec{r}$ ভেক্টরের দিক সুচকগুলি হবে $[1, 4, 3]$।

যদি কোনও সূচক ঋণাত্মক হয়, তবে ঋণাত্মক (বিয়োগ) চিহ্নটি সূচকের বাঁদিকে না বসিয়ে এর মাথার উপর বসানো হয়। যেমন, সূচক -3 না লিখে লেখা হয় $\bar{3}$ (সংখ্যার মাথার উপর লেখা বিয়োগ চিহ্নকে বার (bar) বলে)। এরূপে উপরের উদাহরণে যদি $n_3 = -12$ হয়, তবে, $\vec{r}$ ভেক্টরের দিক সূচকগুলি হবে $[1, 4, \bar{3}]$।

একক কোষের ক্ষেত্রে n_1, n_2, n_3 অনেক সময় পূর্ণ সংখ্যা হয় না। অর্থাৎ এই সংখ্যাগুলি ভগ্নাংশ। এরূপ ক্ষেত্রে n_1, n_2, n_3-র লঘিষ্ঠ সাধারণ গুণিতক (ল.সা.গু.)-দ্বারা প্রথমে n_1, n_2, n_3-কে গুণ করে এগুলিকে পূর্ণ সংখ্যাতে পরিবর্তিত করে নেওয়া হয়। তারপর এদের গ.সা.গু.-দ্বারা এই পূর্ণ-সংখ্যাগুলিকে ভাগ করে e, f, g-র মান বার করা হয়।

যদি P ও Q ল্যাটিসের যেকোনও দুটি বিন্দু হয়, এবং এদের অবস্থান ভেক্টর যথাক্রমে

$$\left.\begin{aligned}\overrightarrow{OP} = \vec{r} &= n_1\vec{a} + n_2\vec{b} + n_3\vec{c}\\ \overrightarrow{OQ} = \vec{r}' &= n_1'\vec{a} + n_2'\vec{b} + n_3'\vec{c}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ \ldots\ (9.11)$$

হয়, তবে $\overrightarrow{PQ}$ ভেক্টরটিকে লেখা যায়

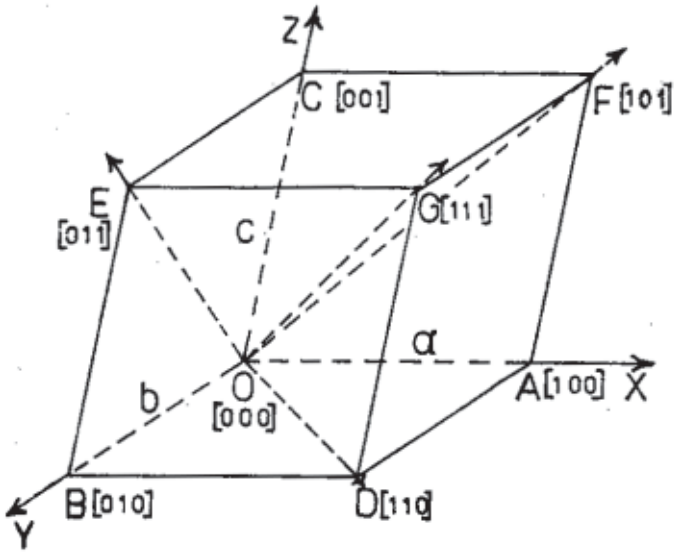
$$\vec{T} = \overrightarrow{PQ} = \vec{r}' - \vec{r} = (n_1' - n_1)\vec{a} + (n_2' - n_2)\vec{b} + (n_3' - n_3)\vec{c} \quad \ldots\ \ldots\ (9.12)$$

$$= m_1\vec{a} + m_2\vec{b} + m_3\vec{c} \quad \ldots\ \ldots\ (9.13)$$

এখানে $m_1 = n_1' - n_1$, $m_2 = n_2' - n_2$, $m_3 = n_3' - n_3$ তিনটি পূর্ণ সংখ্যা। যদি এই পূর্ণ সংখ্যাগুলির গ.সা.গু. H হয়, তবে $\overrightarrow{PQ}$ ভেক্টরের দিক-সূচক হবে $[e, f, g]$,

যেখানে, $e = \frac{m_1}{H} = \frac{n_1' - n_1}{H}$, $f = \frac{m_2}{H} = \frac{n_2' - n_2}{H}$ এবং $g = \frac{m_3}{H} = \frac{n_3' - n_3}{H}$ $\ldots\ \ldots\ (9.14)$

9.10 চিত্রে একটি একক কোষের ক্ষেত্রে বিভিন্ন অক্ষের দিক-সূচকগুলি দেখানো হয়েছে। আপনি নিজেও এগুলি নির্ণয় করতে পারেন।



চিত্র 9.10 : একটি একক কোষের বিভিন্ন অক্ষের দিক সূচক।

উদাহরণ-2. দুটি বিন্দুর স্থানাঙ্ক হল যথাক্রমে $P(0, 10, 15)$ এবং $Q(6, -2, 15)$। $\overline{PQ}$ ভেক্টরটির দিক-সূচকগুলি নির্ণয় করুন।

উত্তর ঃ এখানে $m_2 = 6 - 0 = 6,\ m_2 = -2 - 10 = -12,\ m_3 = 15 - 15 = 0$।

6 ও 12 -এর গ.সা.গু. $H = 6$

সুতরাং $e = \frac{m_1}{H} = \frac{6}{6} = 1,\ f = \frac{m_2}{H} = \frac{-12}{6} = \bar{2}, g = 0$

$\therefore$ $\overline{PQ}$ ভেক্টরের দিক-সূচকগুলি হল $[1, \bar{2}, 0]$।

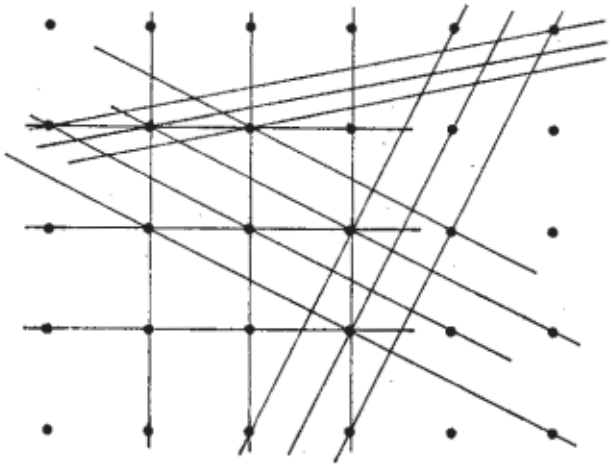
উদাহরণ-3. একটি একক কোষের P বিন্দুর স্থানাঙ্ক $P\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$। এর অবস্থান ভেক্টরের সূচকগুলি নির্ণয় করুন।

উত্তর ঃ $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ স্থানাঙ্কগুলি ভগ্নাংশ হওয়ায় এদের হরগুলির ল.সা.গু. = 2। এই 2-দ্বারা ভগ্নাংশগুলিকে গুণ করলে পূর্ণসংখ্যাগুলি হবে যথাক্রমে 1, 1, 1। এই তিনটি একক সংখ্যার গ.সা.গু. = 1। সুতরাং এই একক গ.সা.গু. দিয়ে ভাগ করলে পূর্ণ সংখ্যাগুলির মান অপরিবর্তিত থাকবে।

সুতরাং অবস্থান ভেক্টরের নির্ণেয় সূচকগুলি হল $[1, 1, 1]$।

9.6.2 ল্যাটিস সমতল ও মিলার সূচক (Lattice Planes and Miller Indices)

একটি ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের যে অসংখ্য বিন্দু আছে, সেগুলির মধ্য দিয়ে অসংখ্য সমতল আঁকা যায়। এই সমতলগুলি বিভিন্ন দিকে থাকে এবং প্রত্যেক দিকে পরস্পর সমান্তরাল বহুসংখ্যক সমতল আঁকা যায় (চিত্র 9.11)। মিলার এই বিভিন্ন সমতলগুলিকে তিনটি সংখ্যার দ্বারা চিহ্নিত করার জন্য একটি পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। প্রত্যেক সমতলের সঙ্গে যুক্ত এই তিনটি সংখ্যাকে **মিলার সূচক** (Miller indices) বলে। কেলাসবিদ্যায় এই সূচক পদ্ধতি সর্বসম্মতভাবে গৃহীত হয়। মিলার সূচকের আমরা এভাবে সংজ্ঞা দিতে পারি যে এগুলি হল এমন তিনটি ক্ষুদ্রতম পূর্ণ সংখ্যা যেগুলি ল্যাটিসের কোনও সমতল ঐ ল্যাটিসের তিনটি অক্ষকে যে তিনটি বিন্দুতে ছেদ করে, সেই বিন্দুগুলির আপেক্ষিক দূরত্বের সঙ্গে একই ব্যস্তানুপাতে থাকে।



চিত্র 9.11 : ল্যাটিসের মধ্যে অঙ্কিত বিভিন্ন সমতল।

মিলারের সূচকগুলি নির্ণয়ের পদ্ধতি হল —

(i) ল্যাটিসের তিনটি অক্ষকে কোনও সমতল যে তিনটি বিন্দুতে ছেদ করে, তাদের আপেক্ষিক দূরত্ব নির্ণয় করুন। কোনও অক্ষের উপর একটি ছেদ বিন্দুর আপেক্ষিক দূরত্ব হল ঐ অক্ষের দিকে ভিত্তি ভেক্টরের এককে মূল বিন্দু থেকে ছেদ বিন্দুর দূরত্ব। যেমন, যদি X অক্ষের দিকে ভিত্তি-ভেক্টরের দৈর্ঘ্য a হয় এবং মূলবিন্দু থেকে ছেদ বিন্দুর দূরত্ব $5a$ হয়, তবে ঐ বিন্দুর আপেক্ষিক দূরত্ব হবে 5।

(ii) আপেক্ষিক দূরত্বগুলির ব্যস্ত অনুপাত নিন এবং ভগ্নাংশগুলির হরের ল.সা.গু. নির্ণয় করুন।

(iii) এই ল.সা.গু.-দ্বারা প্রত্যেকটি ব্যস্ত অনুপাতকে গুণ করুন। এই গুণফলগুলি যদি h, k, l পূর্ণসংখ্যা হয়, তবে এগুলিকেই মিলার সূচক বলে। মিলারের সূচক বোঝাবার জন্য h, k, l-কে প্রথম বন্ধনীর মধ্যে রাখা হয়। অর্থাৎ মিলারের সূচক হল (hkl)। লক্ষ্য করুন, এখানে বন্ধনীর মধ্যে কমা বা অন্য কোনও চিহ্ন ব্যবহার করা হয়নি।

উদাহরণ-4. ল্যাটিসের একটি সমতল-এর অক্ষগুলিকে $5a$, $15b$, ও $10c$ দূরত্বে ছেদ করে। মিলার সূচকগুলি নির্ণয় করুন।

উত্তর ঃ প্রদত্ত ছেদক দূরত্ব $5a$, $15b$, $10c$।

আপেক্ষিক ছেদক দূরত্ব 5, 15, 10।

এদের ব্যস্ত অনুপাত $\frac{1}{5}, \frac{1}{15}, \frac{1}{10}$ ।

হর 5, 15 ও 10-এর ল.সা.গু. = 30।

30 দ্বারা ব্যস্ত অনুপাতগুলিকে গুণ করে পাওয়া যায় 6, 2, 3।

সুতরাং মিলার সূচকগুলি হল (6 2 3)।

উদাহরণ-5. একটি ল্যাটিসের X, Y, Z অক্ষগুলির উপর একটি সমতলের ছেদকগুলি হল $\infty, 2b, c$। সমতলটির মিলার সূচকগুলি নির্ণয় করুন।

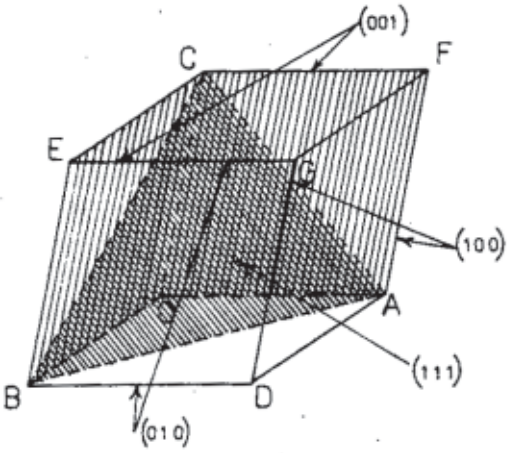
উত্তর। প্রদত্ত ছেদক $\infty, 2b, 1c$।

এদের আপেক্ষিক ব্যস্ত অনুপাত = $\frac{1}{\infty}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1} = 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}$

2 ও 1-এর ল.সা.গু. = 2

সুতরাং মিলার সূচকগুলি হল (0 1 2)।

লক্ষ করুন, এই উদাহরণে X-অক্ষের দিকে ছেদকের মান ∞। অর্থাৎ এখানে সমতলটি X-অক্ষের সমান্তরাল। এর ফলে এই অক্ষের দিকে মিলার সূচক 0 (শূন্য)। মিলার সূচককে সর্বদা সসীম ধরা হয়। কিন্তু মূল বিন্দুর মধ্য দিয়ে কোনও তলের মিলার সূচক নির্ণয় করলে তা অসীম হয়। সেজন্য মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে কোনও তলের মিলার সূচক নির্ণয় করা যায় না। এই তলের সমান্তরাল কোনও তলের সূচককেই মূল বিন্দুর মধ্য দিয়ে তলের সূচক হিসেবে ধরা হয়।



চিত্র 9.12 : একটি কোষের মধ্যে অঙ্কিত বিভিন্ন তলের মিলার সূচক।

মিলার সূচকের ক্ষেত্রে আরও একটি কথা মনে রাখা প্রয়োজন। যদি কোনও সূচক ঋণাত্মক হয়, তবে বিয়োগ চিহ্নটি (বার্) সূচকের মাথার উপর বসে। অর্থাৎ এক্ষেত্রেও পূর্বে আলোচিত দিক নির্ণয় ক্ষেত্রের সংশ্লিষ্ট রীতি প্রযোজ্য।

9.12 চিত্রের একক কোষটির বিভিন্ন তলের মিলার সূচকগুলির মান এরূপ ঃ OAFC এবং BDGE তল দুটির মিলার সূচক $\left(\frac{1}{\infty}\frac{1}{1}\frac{1}{\infty}\right)$ বা (0 1 0); OBEC এবং ADGF তলদুটির মিলার সূচক $\left(\frac{1}{1}\frac{1}{\infty}\frac{1}{\infty}\right)$ বা (1 0 0); OADB এবং CFGE তলদুটির মিলার সূচক $\left(\frac{1}{\infty}\frac{1}{\infty}\frac{1}{1}\right)$ বা (0 0 1); ABC তলটির মিলার সূচক $\left(\frac{1}{1}\frac{1}{1}\frac{1}{1}\right)$ বা (1 1 1)।

9.6.3 ল্যাটিস তলের দূরত্ব ও অন্যান্য বৈশিষ্ট্য (Separation between Lattice Planes and Other Characteristics)

ঘনকাকার ল্যাটিসের ক্ষেত্রে মিলার সূচকগুলি খুবই কাজে লাগে। এই সূচকগুলির প্রধান তিনটি বৈশিষ্ট্য এখানে আমরা উল্লেখ করতে পারি।

(i) যদি একটি তলের মিলার সূচকগুলি (hkl) হয়, তবে এই তলের উপর লম্বের দিক-সূচকগুলি হবে $[hkl]$। অর্থাৎ লম্ব ও তল উভয়েরই সূচকগুলির মান সমান।

(ii) ধরা যাক, (hkl) এবং $(h'k'l')$ দুটি তলের মধ্যে কোণ θ। তাহলে প্রমাণ করা যায় যে

$$\cos\theta = \frac{hh' + kk' + ll'}{(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}(h'^2 + k'^2 + l'^2)^{1/2}} \quad \ldots\ldots\ (9.15)$$

(iii) যদি পরপর দুটি সমান্তরাল তলের মধ্যে দূরত্ব d হয়, তবে ঐ সমতলগুলির সূচক (hkl)-এর সাপেক্ষে d-র মান হবে

$$d = \frac{a}{(h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}} \quad \ldots\ldots\ (9.16)$$

যেখানে a হল একক ঘনকের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য।

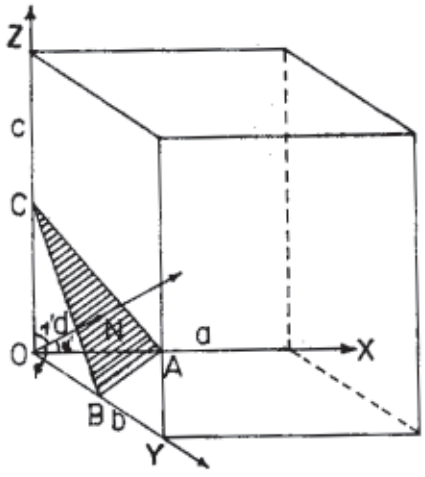
যদি একক কোষটি ঘনকাকার না হয়ে চতুর্ভুজাকার বা সমকোণী আয়তক্ষেত্রাকার হয় এবং এর তিনটি ভিত্তি-বাহুর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে a, b ও c হয়, তবে প্রমাণ করা যায় যে, $(h\ k\ l)$ সূচকযুক্ত দুটি পরপর সমান্তরাল তলের দূরত্ব d-র মান হবে

$$d = \frac{1}{\sqrt{\left(h^2/a^2\right) + \left(k^2/b^2\right) + \left(l^2/c^2\right)}} \quad \ldots\ (9.17)$$

9.6.4 (9.16) ও (9.17) সমীকরণ দুটির প্রমাণ

9.13 চিত্রের চৌপলাকার কোষের ক্ষেত্রে ধরা যাক, মূলবিন্দু O-র মধ্য দিয়ে অঙ্কিত একটি তলের সমান্তরাল ABC তলটির ন্যূনতম দূরত্ব $ON = d$। যদি চৌপলটির বাহুগুলির দৈর্ঘ্য a, b, c. হয় এবং ABC তলটির সূচকগুলি (hkl) হয়, তবে চিত্র অনুযায়ী আমরা পাই

$$OA = \frac{a}{h},\ OB = \frac{b}{k} \text{ এবং } OC = \frac{c}{l} \quad \ldots\ldots\ (9.18)$$



চিত্র 9.13 : একটি কোষের মধ্যে অঙ্কিত ABC তলের মূলবিন্দু O থেকে দূরত্ব (d)।

যদি ON লম্ব X, Y ও Z অক্ষের সঙ্গে যথাক্রমে α', β' ও γ' কোণ উৎপন্ন করে, তবে

$$d = OA\cos\alpha' = OB\cos\beta' = OC\cos\gamma' \quad \ldots\ldots (9.19)$$

কিন্তু চিত্র অনুযায়ী X, Y, Z অক্ষের উপর d-এর অভিক্ষেপগুলি হল যথাক্রমে $d\cos\alpha'$, $d\cos\beta'$, $d\cos\gamma'$। সুতরাং

$$(d\cos\alpha')^2 + (d\cos\beta')^2 + (d\cos\gamma')^2 = d^2$$

বা, $$\cos\alpha'^2 + \cos\beta'^2 + \cos\gamma'^2 = 1 \quad \ldots\ldots (9.20)$$

9.20 সমীকরণে 9.18 ও 9.19 সমীকরণের মানগুলি বসালে আমরা পাই

$$\left(\frac{dh}{a}\right)^2 + \left(\frac{dk}{b}\right)^2 + \left(\frac{dl}{c}\right)^2 = 1$$

বা, $$d^2\left\{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2\right\} = 1$$

বা, $$d = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}} \quad \ldots\ldots (9.21)$$

যদি চৌপলটি একটি ঘনক হয়, তবে $a = b = c$।

সুতরাং 9.21 সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad \ldots\ldots (9.22)$$

9.6.5 সরল ঘনাকার ল্যাটিসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন তলের মধ্যে দূরত্বের অনুপাত (Ratio of distances between different planes in a simple cubic lattice)

আমরা এখন 9.22 সমীকরণটিকে ঘনাকার ল্যাটিসের বিভিন্ন তলের মধ্যে দূরত্বের অনুপাত নির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করব।

যদি $d_{100}(100)$ সূচকযুক্ত পরপর সমান্তরাল তলগুলির দূরত্ব নির্দেশ করে, তবে 9.22 সমীকরণ থেকে আমরা পাই

$$d_{100} = \frac{a}{\sqrt{\left(h^2 + k^2 + l^2\right)}} = \frac{a}{\sqrt{\left(1^2 + 0^2 + 0^2\right)}} = a$$

অনুরূপভাবে (110) এবং (111) সূচকযুক্ত সমান্তরাল তলগুলির ক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$d_{110} = \frac{a}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2}} = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

এবং $d_{111} = \frac{a}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$

সুতরাং আমরা পাই,

$$d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$$

বা, $$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} \quad \text{... ... (9.23)}$$

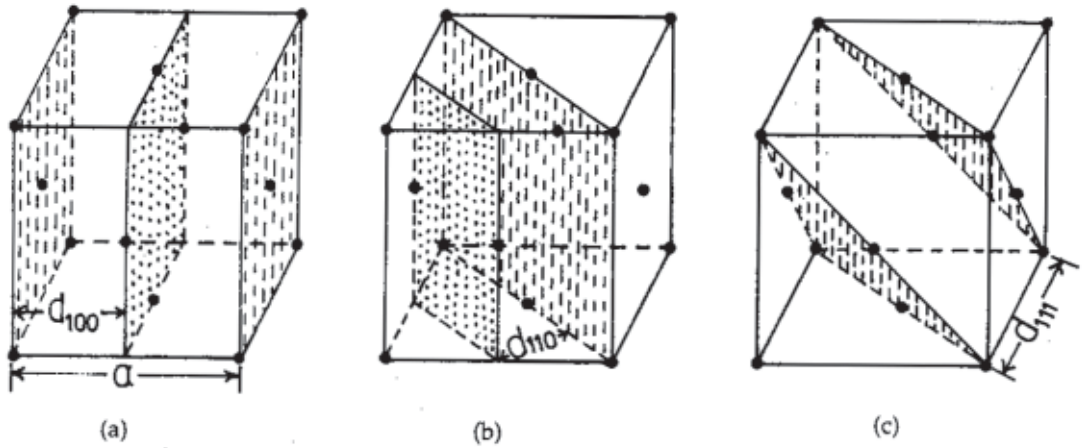
9.6.6 তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিস (Face-centered Cubic Lattice)

তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিসের (100), (110) এবং (111) তলগুলি 9.14 (a), (b), (c) চিত্রগুলিতে দেখানো হয়েছে। 9.14(a) চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে একটি অতিরিক্ত (100) তল আঁকা যাচ্ছে। সুতরাং এক্ষেত্রে দুটি পরস্পর তলের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব $\frac{1}{2}a$ ।

d_{100} -র মানও হল,

$$d_{100} = \frac{a}{2}$$

9.14 (b) চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে, (110) তলের ক্ষেত্রেও পার্শ্বতলগুলির কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে পূর্বের



চিত্র 9.14 : একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিসের বিভিন্ন তলের দূরত্ব। *(a)* d_{100}, *(b)* d_{110}, *(c)* d_{111}

মতোই একটি অতিরিক্ত তল পাওয়া যায়। সুতরাং এক্ষেত্রেও দুটি তলের মধ্যে দূরত্ব $\frac{1}{2}a$ এবং তারফলে

$$d_{110} = \frac{1}{2}\frac{a}{\sqrt{2}}$$

9.14(c) চিত্র থেকে আবার দেখা যাচ্ছে যে (111) তলের ক্ষেত্রে পার্শ্বতলের কেন্দ্রগুলি মূল তলের উপরেই স্থাপিত আছে। সুতরাং এক্ষেত্রে কোনও অতিরিক্ত তল পাওয়া যায় না এবং দুটি তলের মধ্যে সর্বনিম্ন দূরত্ব a থেকে যায়। সুতরাং এই তলগুলির জন্য

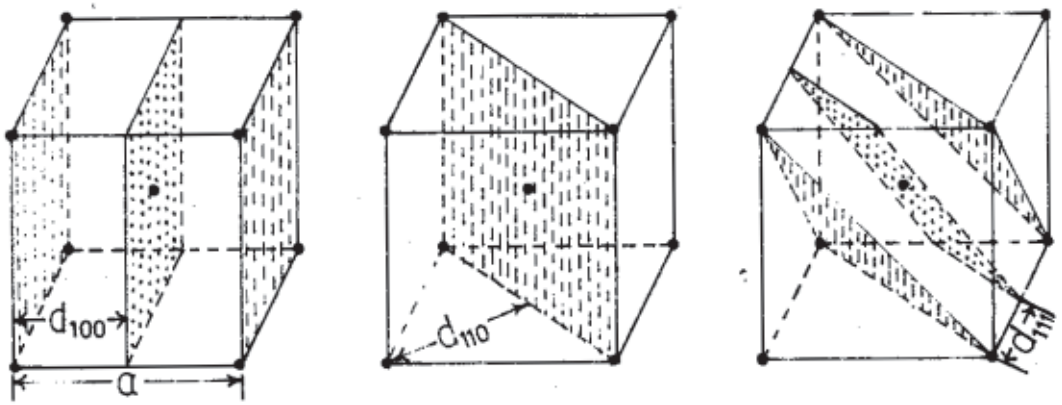
$$d_{111} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\sqrt{3}}$$

বা, $$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \text{... ... (9.24)}$$

9.6.7 বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিস (Body-centered Cubic Lattice)

এখন আমরা দেখবো যে যদি ঘনাকার ল্যাটিস কোষটি বস্তু-কেন্দ্রিক হয়, তবে এর বিভিন্ন তলের দূরত্বগুলির মধ্যে কী অনুপাত থাকে? 9.15(a), (b), (c) চিত্রে এই ল্যাটিসের (100), (110), (111)



চিত্র 9.15 : একটি বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের বিভিন্ন তলের মধ্যে দূরত্ব। (a) d_{100}, (b) d_{110}, (c) d_{111}

তলগুলি দেখানো হয়েছে। এই চিত্রগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে যে (100) এবং (111) তলগুলির ক্ষেত্রে সরল কোষের জন্য যে তলগুলি পাওয়া যায় সেই তলগুলির মধ্যে প্রত্যেক বস্তু-কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে একটি করে অতিরিক্ত তল গঠিত হয়েছে। কিন্তু (110) তলগুলির ক্ষেত্রে কোনও অতিরিক্ত তল তৈরী হয় না।

এজন্য $d_{100} = \frac{1}{2}a$

$$d_{110} = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

এবং $d_{111} = \frac{1}{2}\frac{a}{\sqrt{3}}$

সুতরাং $d_{100} : d_{110} : d_{111} = 1 : \frac{2}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$

বা, $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \frac{\sqrt{2}}{2} : \sqrt{3}$ ... ... (9.25)

9.7 একপরমাণুক ভিত্তির কেলাসীয় গঠন (Monoatomic Basis Crystal Structures)

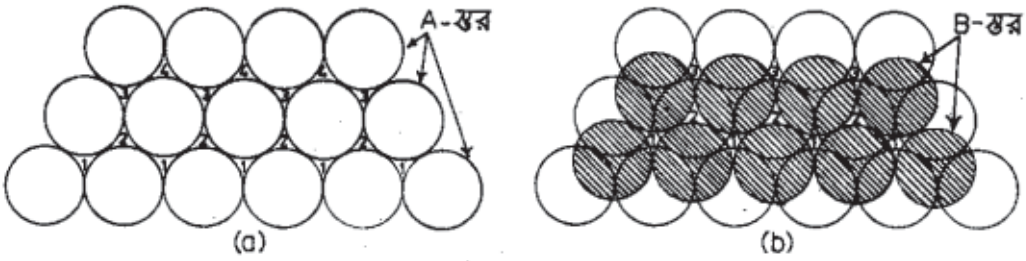
আপনি পূর্বের আলোচনায় জেনেছেন যে ল্যাটিস বিন্দুগুলিতে একটি করে ভিত্তি (basis) যুক্ত করলে কেলাসের গঠন পাওয়া যায়। সাধারণত ধাতুগুলির কেলাসের ভিত্তি একটি মাত্র পরমাণু দ্বারা গঠিত হয়। সেজন্য এই কেলাসগুলির গঠন সবচেয়ে সরল হয় এবং সহজে বিশ্লেষণ করা যায়। অপরপক্ষে অধিকাংশ জৈব কেলাসের ভিত্তি বহু সংখ্যক পরমাণু দ্বারা গঠিত। সুতরাং এই কেলাসগুলির গঠন খুবই জটিল। আমরা এখানে একপরমাণু দ্বারা গঠিত ভিত্তির কেলাস কোষের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য নিয়ে আলোচনা করব।

9.7.1 কোষের গঠন ও প্রকার (Structure and Types of Cells)

আলোচনার সরলতার জন্য আমরা একটি পরমাণুকে r-ব্যাসার্ধযুক্ত একটি দৃঢ় গোলক হিসাবে কল্পনা করতে পারি। ধরা যাক, প্রত্যেক ল্যাটিস বিন্দুতে এরূপ একটি পরমাণুর কেন্দ্র আছে। এখন যদি ল্যাটিস কোষটির পরমাণুগুলি এমনভাবে পরস্পর স্পর্শ করে থাকে যে এদের মধ্যস্থিত ফাঁক বা শূন্যস্থান সর্বাপেক্ষা কম হয়, তবে ঐ কোষের গঠনকে বলা হয় **ঘন-সংবদ্ধ** (Close-packed)। কিন্তু যদি কোষের মধ্যে পরমাণুগুলি পরস্পরকে এমনভাবে স্পর্শ করে থাকে যে এদের মধ্যে ফাঁক ন্যূনতমের চেয়ে বেশি হয়, তবে ঐ কোষের গঠনকে বলা হয় **শিথিল বা ঢিলা সংবদ্ধ** (Loose-packed)।

পরমাণুগুলি যখন কেলাসের মধ্যে ঘন-সংবদ্ধভাবে থাকে, তখন ঐ কেলাসের গঠন কীরূপ হয়, তা আপনি কতকগুলি অভিন্ন গোলাকার মার্বেলের সাহায্যে পরীক্ষা করে নির্ণয় করতে পারেন। 9.16(a) চিত্রের অনুরূপে কতকগুলি মার্বেলকে প্রথমে টেবিলের উপর এমনভাবে বসান যাতে এগুলি পরস্পর পরস্পরকে ঘন-সংবদ্ধভাবে স্পর্শ করে থাকে। মার্বেলগুলি যাতে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে না যায়, সেজন্য এগুলিকে চারদিক থেকে চারটি বই দিয়ে আটকে রাখুন। এগুলিকে আমরা মার্বেলের প্রথম বা

A-স্তর (level A) বলব। আপনি লক্ষ্য করে দেখুন প্রত্যেক জায়গায় তিনটি মার্বেল পরস্পরকে স্পর্শ করেছে এবং সেখানে তিন দিক থেকে ঢালু হয়ে একটি গর্তের সৃষ্টি হয়েছে। আপনি আরও লক্ষ্য করে দেখুন দুটি মার্বেল সারির মধ্যে পাশাপাশি এরূপ দুটি গর্তের সারি তৈরী হয়েছে। আমরা 1, 3, 5 প্রভৃতি বিজোড় সংখ্যার দ্বারা এক পাশের ও 2, 4, 6 প্রভৃতি জোড় সংখ্যার দ্বারা অন্য পাশের গর্তের সারিকে বোঝাতে পারি।



চিত্র 9.16 : টেবিলের উপর বসানো মার্বেলের স্তর। *(a)* প্রথম বা নিচের A-স্তর, *(b)* A-স্তরের উপর বসানো দ্বিতীয় বা B-স্তর।

আপনি এখন 1, 3, 5 প্রভৃতি বিজোড় সংখ্যার গর্তের সারিগুলির প্রত্যেক গর্তের উপর একটি মার্বেল বসিয়ে A-স্তরের উপর মার্বেলের দ্বিতীয় বা B-স্তর তৈরী করতে পারেন (চিত্র 9.16(b)। আপনি লক্ষ্য করে দেখুন B-স্তরের ক্ষেত্রেও A-স্তরের মতোই তিনটি করে মার্বেল পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে আছে এবং এদের মধ্যেও আগের মতোই বিজোড় ও জোড় সংখ্যার গর্তের সারি তৈরী হয়েছে।

আপনি ইচ্ছা করলে A স্তরের 1, 3, 5 প্রভৃতি বিজোড় সংখ্যার গর্তগুলির পরিবর্তে 2, 4, 6 প্রভৃতি জোড় সংখ্যার গর্তগুলিতে মার্বেল বসাতে পারেন। কিন্তু কখনওই এক সঙ্গে জোড় ও বিজোড় সারির গর্তে মার্বেল বসানো যায় না। এর কারণ পরপর সন্নিহিত দুটি গর্তের সারির মধ্যে যে দূরত্ব থাকে, তা মার্বেলের ব্যাসের চেয়ে অনেক কম হয়। অবশ্য বিজোড় সংখ্যার গর্তের সারিগুলিতে মার্বেল বসালে B-স্তরটির যেরূপ বিন্যাস হয়, জোড় সংখ্যার গর্তের সারিগুলিতে মার্বেল বসালেও আপনি ঐ একই প্রকার মার্বেলের বিন্যাস পাবেন। তবে B-স্তরের মার্বেলগুলি A-স্তরের মার্বেলগুলির ঠিক উপরে উপরে থাকে না। এজন্য এ দুটি বিন্যাস আলাদা।

B-স্তরে মার্বেল বসাবার পর আপনি এই স্তরের বিজোড় বা জোড় সংখ্যাগুলির গর্তের সারিতে মার্বেল বসিয়ে মার্বেলের তৃতীয় স্তর তৈরী করতে পারেন। কিন্তু তৃতীয় স্তরে দুইভাবে মার্বেল বসিয়ে আপনি লক্ষ্য করে দেখুন যে একভাবে মার্বেল বসালে তৃতীয় স্তরের প্রত্যেক মার্বেল প্রথম স্তরের প্রত্যেক মার্বেলের ঠিক উপরে থাকে। সেজন্য এটিকেও আমরা A- স্তর বলতে পারি। আবার এই স্তরে অন্যভাবে গর্তের সারি বেছে নিয়ে মার্বেল বসালে দেখা যাবে যে মার্বেলগুলি প্রথম স্তরের বা দ্বিতীয় স্তরের মার্বেলের ঠিক উপরে না থেকে খানিকটা একপাশে সরে থাকছে। অর্থাৎ এই স্তরের বিন্যাস A ও B উভয় স্তরের বিন্যাস থেকে ভিন্ন। সুতরাং এক্ষেত্রে এই স্তরকে বলা যায় C-স্তর।

কোনও মৌলের কেলাসের পরমাণগুলিকে মার্বেলের মতোই দৃঢ় ও গোলাকার বস্তু হিসেবে ধরে নিলে কেলাসের মধ্যে এদের বিন্যাস মার্বেলের উপরোক্ত বিন্যাসের অনুরূপ হবে বলে ভাবা যায়। যদি ল্যাটিসের কোষের পরমাণুগুলি ঘন-সংবদ্ধভাবে (close-packed) AB AB AB... এরূপ পরম্পরায় স্তরে স্তরে সজ্জিত থাকে, তবে ঐ কোষের আকার পূর্বে আলোচিত **ষড়ভুজাকার** (Hexagonal) হয়। অপরপক্ষে যদি ঐরূপ কোষের পরমাণুগুলি ABC ABC... এই পরম্পরায় সাজানো থাকে, তবে ঐ কোষের আকার **তল-কেন্দ্রিক** (Face-centred) হয়।

আবার যদি কোষের মধ্যে পরমাণুগুলি ঢিলা-সংবন্ধভাবে (loose-packed) থাকে, তবে ঐ পরমাণুগুলি হয় **সরল** (simple) অথবা **বস্তু-কেন্দ্রিক** (body-centred)—এই দুই প্রকার কোষ গঠন করতে পারে।

উপরে আলোচনা থেকে আপনি দেখতে পাচ্ছেন যে একই (অভিন্ন) পরমাণু দ্বারা গঠিত ল্যাটিসের চার প্রকার কোষ হতে পারে। আমরা এখন এই কোষগুলির বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য নিয়ে আলোচনা করব। এর ফলে আপনি এই বিভিন্ন প্রকার কোষের মধ্যে পার্থক্য আরও ভালভাবে বুঝতে পারবেন।

9.7.2 প্রতি একক কোষে পরমাণুর সংখ্যা (Number of atoms per unit cell)

প্রতি একক কোষে কটি পরমাণু থাকে, তা কোষের গঠনের উপর নির্ভর করে। আমরা এখন বিভিন্ন কোষের ক্ষেত্রে পরমাণুর এই সংখ্যা নির্ণয় করব। একে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যাও (effective number of atoms) বলে।

(i) **সরল ঘনকাকার (সংক্ষেপে sc বা P) ল্যাটিস ঃ**

একটি সরল ঘনকাকার কোষের (চিত্র 9.9(a)) আটটি কৌণিক বিন্দু এবং প্রত্যেক কোণার বিন্দুতে একটি পরমাণু থাকে। কিন্তু প্রত্যেক কোণার একটি পরমাণু আটটি কোষের সঙ্গে সমানভাবে যুক্ত। সুতরাং প্রত্যেক কোষ এর প্রত্যেকে কৌণিক বিন্দু থেকে একটি পরমাণুর $\frac{1}{8}$ অংশ পায়। কিন্তু কোষটিতে যেহেতু মোট ৪টি কৌণিক বিন্দু আছে, সেজন্য কোষটির কার্যকর পরমাণু সংখ্যা হল

$$8 \times \frac{1}{8} = 1$$

(ii) **বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার (সংক্ষেপে bcc বা I) ল্যাটিস ঃ**

সরল ঘনাকার কোষের মতোই এই কোষের ও (চিত্র 9.9(b)) ৪টি কৌণিক বিন্দুতে ৪টি পরমাণু আছে যাদের প্রত্যেকটি ৪টি কোষের সঙ্গে সমানভাবে যুক্ত। তাছাড়া এই কোষের বস্তু-কেন্দ্রে একটি অতিরিক্ত পরমাণু আছে যার সঙ্গে অন্য কোনও কোষ যুক্ত নয়। সুতরাং এই কোষের কার্যকর পরমাণু সংখ্যা হল

$$8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

(iii) **তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার (সংক্ষেপে fcc বা F) ল্যাটিস ঃ**

উপরের কোষগুলির অনুরূপে এই কোষেরও (চিত্র 9.9(c)) ৪টি কৌণিক বিন্দুর প্রত্যেকটিতে একটি

পরমাণু আছে এবং এই পরমাণু একই কৌণিক বিন্দুতে যুক্ত মোট 8টি কোষের অংশ। সুতরাং এই হিসেবে প্রত্যেক কোষে পূর্বের মতোই $8\times\frac{1}{8}=1$ টি করে পরমাণু আছে। তাছাড়া এই কোষের প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রে একটি পরমাণু আছে যা পাশের কোষের পার্শ্বতলের সঙ্গেও একইভাবে যুক্ত। সুতরাং একটি কোষে এই পরমাণুর অংশ $=\frac{1}{2}$। কিন্তু প্রত্যেক কোষে মোট 6টি পার্শ্বতল থাকায় সব পার্শ্বতলগুলির জন্য একটি কোষে পরমাণুর সংখ্যা $6\times\frac{1}{2}=3$ টি। এভাবে সব কৌণিক বিন্দু ও পার্শ্বতল মিলিয়ে একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা হল

$$1+3=4$$

(iv) **ষড়ভুজাকার ঘন-সংবদ্ধ (hcp) ল্যাটিস**

আমরা পূর্বেই উল্লেখ করেছি যে এই ল্যাটিসে পরমাণুগুলি ABABAB... এই পর্যায়ক্রমে স্তরে স্তরে সজ্জিত থাকে। ষড়ভুজাকার ল্যাটিসের একটি কোষে (চিত্র 9.9(m)) A B A এই তিনটি স্তরে পরমাণুগুলি সাজানো থাকে। উপর ও নিচের দুটি অভিন্ন A স্তরকে ভিত্তি স্তর বলে। এই স্তরের কেন্দ্রবিন্দুতে একটি পরমাণু থাকে এবং এই পরমাণুটিকে ঘিরে মোট আরও ছটি পরমাণু পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে (চিত্র 9.17(d))। এইভাবে এই কোষের নিচে ও উপরের ভিত্তি স্তরে 6টি করে মোট 12টি পরমাণুর কেন্দ্র দ্বারা কোষটির 12টি কৌণিক বিন্দু গঠিত হয় এবং দুটি ভিত্তি স্তরের কেন্দ্রে দুটি পরমাণু কেন্দ্র পাওয়া যায়। এছাড়া B-স্তরের মোট তিনটি পরমাণু কোষের ভিতরে দুটি ভিত্তিস্তরের ঠিক মধ্যস্থানে থাকে। এগুলি অন্য কোষের অংশ নয়। যেহেতু কোষটির প্রত্যেক কৌণিক বিন্দু 6টি এবং ভিত্তি-স্তরের কেন্দ্রের প্রত্যেক বিন্দু দুটি কোষের সমান-অংশরূপে থাকে, সুতরাং এই ষড়ভুজাকার কোষের কার্যকর পরমাণু সংখ্যা হবে

$$12\times\frac{1}{6}+2\times\frac{1}{2}+3=6$$

আবার যেহেতু এই কোষটি তিনটি সরল একক কোষের সমষ্টি, সুতরাং প্রতি সরল কোষে পরমাণুর সংখ্যা $6/3=2$।

9.7.3 সমন্বয় সংখ্যা ও দুটি নিকটতম পরমাণুর দূরত্ব (Coordination Number and distance between two nearest atoms)

একটি ল্যাটিসের যেকোনও একটি পরমাণুকে ঘিরে ন্যূনতম দূরত্বে যে পরমাণুগুলি থাকে, তাদের সংখ্যাকে ল্যাটিসের **সমন্বয় সংখ্যা** বলে। পরমাণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ বল যত বেশী হয়, এগুলি তত বেশী সংবদ্ধভাবে থাকে। ফলে ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যাও তত বেশী হয়। কোষের গঠন জানা থাকলে ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যা এবং দুটি পরমাণুর মধ্যে নিকটতম দূরত্ব সহজেই নিরূপণ করা যায়। পূর্বের অনুচ্ছেদের মতো এই অনুচ্ছেদেও 9.9(a), (b), (c), (m) চিত্রগুলি প্রযোজ্য।

(i) **সরল ঘনাকার ল্যাটিস**

এই ল্যাটিস কোষের যেকোনও একটি পরমাণুর মধ্য দিয়ে একটি পার্শ্বতল ও একটি লম্বতল বিবেচনা করা হলে ঐ পার্শ্বতলে ঐ পরমাণুর উভয় দিকে নিকটতম দূরত্বে 4টি পরমাণু পাওয়া যায় এবং ঐ লম্বতলে উভয় দিকে নিকটতম দূরত্বে আরও দুটি পরমাণু পাওয়া যায়। সুতরাং এই কোষে একটি পরমাণুর নিকটতম দূরত্বে মোট 6টি পরমাণু থাকে এবং এই সংখ্যাটিই হল এই ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যা।

যদি a ঘনকের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য হয়, তবে দুটি নিকটতম পরমাণু কেন্দ্রের দূরত্বও হবে a।

(ii) **বস্তু-কেন্দ্রিক ল্যাটিস**

বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের বস্তু-কেন্দ্রে (O) একটি পরমাণু থাকে এবং একে ঘিরে কোষের 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি পরমাণু থাকে (চিত্র 9.17(b))। এই 8টি পরমাণুই কেন্দ্রের পরমাণুটির সবচেয়ে নিকটবর্তী। সুতরাং এই ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যা হল 8। যদি ঘনকের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a হয়, তবে বস্তু-কেন্দ্র থেকে কোষটির একটি কৌণিক বিন্দুর দূরত্ব হবে $\frac{\sqrt{3}a}{2}$ এবং এটিই হল দুটি পরমাণু কেন্দ্রের নিকটতম দূরত্ব।

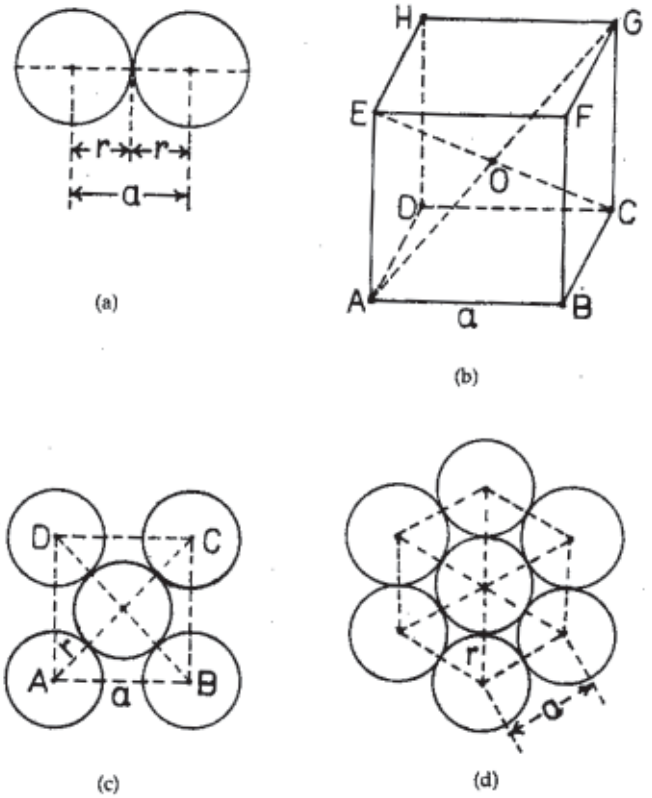
(iii) **তল-কেন্দ্রিক ল্যাটিস**

একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিস কোষের 8টি কৌণিক বিন্দু ছাড়াও প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রে একটি বিন্দু আছে। এই বিন্দুর মধ্য দিয়ে পরস্পর সমকোণে এমন তিনটি তল অঙ্কন করা যায় যেগুলি কোষের অন্য তল-কেন্দ্রিক বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে যায়। এই তলগুলির প্রত্যেকটিতে 4টি বিন্দু প্রথম তল-কেন্দ্রিক বিন্দুটির সবচেয়ে কাছে পাওয়া যায়। সুতরাং ঐ তিনটি তলে এই বিন্দুগুলির মোট সংখ্যা $4 \times 3 = 12$। যেহেতু এই বিন্দুগুলির প্রত্যেকটিতে একটি পরমাণু কল্পনা করা যায়, সুতরাং তল-কেন্দ্রিক ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যা হল 12।

যদি ঘনকের বাহুর দৈর্ঘ্য a হয়, তবে এর একটি কৌণিক বিন্দু থেকে সবচেয়ে নিকটবর্তী তল-কেন্দ্রিক বিন্দুর দূরত্ব হবে $\frac{a}{\sqrt{2}}$ (চিত্র 9.17(c))। সুতরাং এটিই হল কোষের দুটি নিকটতম পরমাণুর কেন্দ্র দূরত্ব।

(iv) **ষড়ভুজাকার ল্যাটিস**

ষড়ভুজাকার ল্যাটিসের যেকোনও একটি স্তরে (বা তলে) প্রত্যেক পরমাণুকে ঘিরে 6টি পরমাণু স্পর্শ করে থাকে (চিত্র 9.17(d))। এছাড়া এই তলের নিচের এবং উপরের তলের 3টি করে আরও 6টি পরমাণু ঐ প্রথম পরমাণুটিকে স্পর্শ করে থাকে। সুতরাং এই ল্যাটিসের সমন্বয় সংখ্যা হল $6+6=12$। এই 12টি পরমাণুর প্রত্যেকটিই কেন্দ্রের পরমাণুটিকে স্পর্শ করে থাকে। সুতরাং ষড়ভুজটির প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a হলে, দুটি পরমাণুর মধ্যে ন্যূনতম দূরত্বও হবে a।



চিত্র 9.17 : পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ও ল্যাটিস ধ্রুবকের সম্বন্ধ। *(a)* সরল ঘনাকার কোষ, *(b)* A-বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ, *(c)* তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ, *(d)* ষড়ভুজাকার কোষ।

9.7.4 পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (Atomic radius)

যদি দুটি পরমাণু পরস্পরের নিকটতম দূরত্বে থাকে, তবে এদের কেন্দ্রের মধ্যে দূরত্বকে পরমাণুর ব্যাস এবং এই ব্যাসের অর্ধেককে পরমাণুর ব্যাসার্ধ (r) বলা হয়। এরূপ অবস্থায় পরমাণু দুটি পরস্পরকে স্পর্শ করে আছে এরূপ বলা হয় এবং পরমাণু দুটির প্রত্যেকটিকে r ব্যাসার্ধযুক্ত একটি দৃঢ় গোলক হিসাবে কল্পনা করা হয়।

একটি ল্যাটিস কোষের a, b, c তিনটি বাহুর দৈর্ঘ্যকে ল্যাটিস ধ্রুবক বলা হয় এবং এই বাহুগুলির দিকে এদের মানযুক্ত $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ তিনটি ভেক্টরকে ভিত্তি ভেক্টর বলে (চিত্র 9.9 (a))। একটি ঘনকের ক্ষেত্রে $a = b = c$। কিন্তু ষড়ভুজাকার কোষের ক্ষেত্রে $a = b \neq c$। আমরা এখন বিভিন্ন কোষের ক্ষেত্রে ল্যাটিস ধ্রুবক ও পরমাণু ব্যাসার্ধের মধ্যে যে সম্বন্ধ পাওয়া যায়, তা নির্ণয় করব।

(i) সরল ঘনকাকার কোষ

যদি সরল ঘনকাকার কোষের প্রত্যেক কৌণিক বিন্দুকে একটি পরমাণুর কেন্দ্র হিসেবে ধরা হয় এবং

যদি এই পরমাণুগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে (চিত্র 9.17(a)), তবে স্বভাবতই

$$a = 2r \text{ বা } r = \frac{a}{2} \quad \ldots\ldots (9.26)$$

যেখানে a হল কোষের বাহুর দৈর্ঘ্য এবং r হল পারমাণবিক ব্যাসার্ধ।

(ii) **বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষে ঘনকের 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি পরমাণু এবং বস্তু-কেন্দ্রে একটি পরমাণু থাকে (চিত্র 9.17(b))। যদি পরমাণুগুলি পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে, তবে এর বস্তু-কর্ণ (অর্থাৎ ঘনকের ভিতরে দুটি বিপরীত কৌণিক বিন্দু দিয়ে অঙ্কিত কর্ণ) অভিমুখে তিনটি পরমাণু পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকবে। যদি পরমাণু ব্যাসার্ধ r এবং ল্যাটিস ধ্রুবক a হয়, তবে চিত্র অনুযায়ী বস্তু-কর্ণের দৈর্ঘ্য $AG = EC = 4r$ এবং বাহু $AB = BC = CG = a$। আবার

$$AG^2 = EC^2 = AB^2 + BC^2 + CG^2$$

$$\text{বা, } (4r)^2 = a^2 + a^2 + a^2 = 3a^2$$

$$\text{বা, } r = \frac{\sqrt{3}a}{4} \quad \ldots\ldots (9.27)$$

(iii) **তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

তল-কেন্দ্রিক কোষের 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি এবং প্রত্যেক পার্শ্বতলের কেন্দ্রে একটি পরমাণু থাকে। যদি পার্শ্বতলের কর্ণ অভিমুখে তিনটি পরমাণু পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে (চিত্র 9 .17(c)) এবং পরমাণুর ব্যাসার্ধ r ও ল্যাটিসের ধ্রুবক a ধরা হয়, তবে চিত্র অনুযায়ী

কর্ণ $AC = BD = 4r$

এবং বাহু $AB = BC = a$

কিন্তু $AC^2 = BD^2 = AB^2 + BC^2$

বা $(4r)^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$

$$\text{বা } r = \frac{\sqrt{2}a}{4} \quad \ldots\ldots (9.28)$$

(iv) **ষড়ভুজাকার কোষ**

ষড়ভুজাকার কোষের ভুমির কেন্দ্রস্থলে একটি পরমাণু থাকে এবং একে ঘিরে 6টি পরমাণু পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে। ফলে এই পরমাণুগুলির কেন্দ্র একটি ষড়ভুজের 6টি কৌণিক বিন্দুতে থাকে। যদি পরমাণুর ব্যাসার্ধ r এবং ষড়ভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a হয়, তবে চিত্র 9.17(d) অনুযায়ী

$$a = 2r$$

$$\text{বা } r = \frac{a}{2} \quad \ldots\ldots (9.29)$$

9.7.5 সংবন্ধি অনুপাত বা সংবন্ধি উৎপাদক (Packing Fraction or Packing Factor)

একটি কোষে যতগুলি পরমাণু থাকে, সেগুলির মোট আয়তন ও কোষের মোট আয়তনের অনুপাতকে **সংবন্ধি অনুপাত** বা **সংবন্ধি উৎপাদক** বলা হয়। আমরা এখন বিভিন্ন প্রকার কোষের ক্ষেত্রে এই অনুপাতের মান নির্ণয় করব।

(i) **সরল ঘনাকার কোষ**

আপনি পূর্বে লক্ষ্য করেছেন যে প্রতি সরল ঘনাকার কোষে একটি করে কার্যকর পরমাণু পাওয়া যায়। যদি পরমাণুর ব্যাসার্ধ r হয়, তাহলে এর আয়তন $\frac{4}{3}\pi r^3$ এবং কোষটির আয়তন a^3 (a হল ঘনকের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য)। তা ছাড়া এই কোষের ক্ষেত্রে,

$$r = \frac{a}{2}$$

সুতরাং এই কোষের সংবন্ধি অনুপাত হবে,

$$f = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = \frac{\frac{4\pi}{3}\frac{a^3}{8}}{a^3} = \frac{\pi}{6} = 0{\cdot}52 \qquad \ldots\ldots (9.30)$$

(ii) **বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

এই ল্যাটিসের প্রতি কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা = 2

সুতরাং পরমাণুর মোট আয়তন $= 2 \times \frac{4}{3}\pi r^3$

কোষের আয়তন = a^3

এবং এই কোষের ক্ষেত্রে $r = \frac{\sqrt{3}a}{4}$

সুতরাং $f = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{3}a}{4}\right)^3}{a^3}$

$$= \frac{\sqrt{3}\pi}{8} = 0.68 \qquad \ldots\ldots (9.31)$$

(iii) **তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

প্রতি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা = 4

এই পরমাণুগুলির মোট আয়তন $4 \times \frac{4}{3}\pi r^3$

কোষের আয়তন $= a^3$

কিন্তু যেহেতু $r = \frac{\sqrt{2}a}{4}$

সুতরাং আমরা পাই,

$$f = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3}{a^3}$$

$$= \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.74 \qquad \ldots\ldots (9.32)$$

(iv) **ষড়ভুজাকার কোষ**

আপনি লক্ষ্য করেছেন যে এই প্রচলিত কোষটি তিনটি সরল $120°$ রম্বাসাকার কোষের সমষ্টি। এই রম্বাসাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা $= 2$। সুতরাং এই দুটি পরমাণুর আয়তন $2 \times \frac{4}{3}\pi r^3$। রম্বাসাকার কোষটির ভূমির প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a হলে ভূমির ক্ষেত্রফল $= a \times a\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}a^2$। যদি কোষটির উচ্চতা c হয়, তাহলে আমরা প্রমাণ করতে পারি যে $c = \sqrt{\frac{8}{3}}a$

সুতরাং রম্বাসাকার কোষের আয়তন $= \frac{\sqrt{3}}{2}a^2c$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2} \times \sqrt{\frac{8}{3}}a^3 = \sqrt{2}a^3$$

আপনি আরও লক্ষ্য করেছেন যে এই কোষের ক্ষেত্রে,

$$r = \frac{a}{2}$$

সুতরাং এই কোষের সংবন্ধি অনুপাত

$$f = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{\sqrt{2}a^3}$$

$$= \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3}{\sqrt{2}a^3}$$

$$= \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.74 \qquad \ldots\ldots (9.33)$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে তল-কেন্দ্রিক ও ষড়ভুজাকার উভয় কোষের ক্ষেত্রেই সংবন্ধি অনুপাত সমান।

এখানে আপনি একটি বিষয় লক্ষ্য করতে পারেন যে সরল রম্বাসাকার কোষের পরিবর্তে সরাসরি ষড়্ভুজাকার কোষটির সাহায্যেও f নির্ণয় করা যায়। সেক্ষেত্রে কোষটির কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা হবে 6 এবং কোষের ভূমির ক্ষেত্রফল হবে $3\times\frac{\sqrt{3}}{2}a^2$। যেহেতু উচ্চতা c একই থাকছে, সুতরাং এক্ষেত্রেও আপনি দেখুন যে $f=\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$।

9.7.6 ল্যাটিস ধ্রুবক নির্ণয় (Calculation of Lattice Constant)

যদি কেলাসের ঘনত্ব এবং আণবিক ওজন জানা থাকে, তবে এই উপাদানগুলির সাহায্যে আমরা উপরি উক্ত ল্যাটিসগুলি ধ্রুবকের মান নির্ণয় করতে পারি।

(i) **সরল ঘনাকার কোষ**

ধরা যাক কোষটির ঘনত্ব ρ এবং ল্যাটিস ধ্রুবক (অর্থাৎ বাহুর দৈর্ঘ্য) a। সুতরাং একক কোষের আয়তন = a^3 এবং কোষটির ভর = ρa^3।

যদি কেলাসটির আণবিক গুরুত্ব M এবং অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা N হয়, তবে কোষের একটি অণুর ওজন = $\frac{M}{N}$। আমাদের বর্তমান আলোচনায় অণুগুলি এক পরমাণুক। সুতরাং কোষের একটি পরমাণুর ওজন = $\frac{M}{N}=\frac{A}{N}$ (A = পারমাণবিক ওজন)। আপনি পূর্বে লক্ষ্য করেছেন যে, একটি সরল ঘনাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা = 1। সুতরাং কোষটির ভর এই পরমাণুর ভরের সমান। কাজেই আমরা লিখতে পারি

$$\text{কোষের ভর } = \rho a^3 = \frac{A}{N}$$

$$\text{বা} \quad a=\left(\frac{A}{\rho N}\right)^{1/3} \qquad \ldots\ldots (9.34)$$

(ii) **বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

যদি কেলাসের ঘনত্ব ρ হয়, তবে এক্ষেত্রেও কোষের ভর $=\rho a^3$ এবং একটি পরমাণুর ওজন $\frac{A}{N}$। কিন্তু একটি বস্তু-কেন্দ্রিক কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা = 2

সুতরাং এক্ষেত্রে

$$\rho a^3 = 2\times\frac{A}{N}$$

$$\text{বা,} \qquad a=\left(\frac{2A}{\rho N}\right)^{1/3} \qquad \ldots\ldots (9.35)$$

(iii) **তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ**

এই কোষের ক্ষেত্রেও কোষের ভর $= \rho a^3$ এবং একটি পরমাণুর ভর $= \frac{A}{N}$।

কিন্তু এই কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা = 4

কাজেই এক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$\rho a^3 = 4\frac{A}{N}$$

বা, $$a = \left(\frac{4A}{\rho N}\right)^{1/3} \quad \ldots\ldots (9.36)$$

(iv) **ষড়ভুজাকার কোষ**

এই কোষের আয়তন $= 3 \times \sqrt{2}a^3$

সুতরাং কোষটির ভর $= 3\sqrt{2}\rho a^3$

এক্ষেত্রেও একটি পরমাণুর ভর $= \frac{A}{N}$

কিন্তু এক্ষেত্রে পরমাণুর কার্যকর সংখ্যা = 6

সুতরাং এক্ষেত্রে আমরা পাই

$$3\sqrt{2}\rho a^3 = 6\frac{A}{N}$$

বা, $$a = \left(\frac{6M}{3\sqrt{2}\rho N}\right)^{1/3} = \left(\frac{\sqrt{2}A}{\rho N}\right)^{1/3} \quad \ldots\ldots (9.37)$$

9.7.7 কোষের বিভিন্ন ধর্মের সারণি (Table for different properties of lattice cells)

আমরা উপরে বিভিন্ন কোষের বিভিন্ন ধর্মগুলি আলোচনা করে যেসব ফল পেয়েছি, সেগুলি এখন আমরা একসঙ্গে একটি সারণির আকারে দেখাতে পারি।

সারণি 9.3
ল্যাটিস কোষের বিভিন্ন ধর্ম

কোষের প্রকার	একক কোষে কার্যকর পরমাণু সংখ্যা	সমন্বয় সংখ্যা ও দুটি নিকটতম পরমাণুর দূরত্ব	পারমাণবিক ব্যাসার্ধ r	সংবদ্ধি অনুপাত f	ল্যাটিস ধ্রুবক a	কোষের উদাহরণ (ঘরের উষ্ণতায়)
1. সরল ঘনাকার (sc)	1	6, a	$\frac{a}{2}$	$\frac{\pi}{6} = 0.52$	$\left(\frac{A}{\rho N}\right)^{1/3}$	P_0 (একমাত্র উদাহরণ ঘরের উষ্ণতায়)
2. বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার (bcc)	2	8, $\frac{\sqrt{3}a}{2}$	$\frac{\sqrt{3}a}{3}$	$\frac{\sqrt{3}\pi}{8} = 0.68$	$\left(\frac{2A}{\rho N}\right)^{1/3}$	Na, Mo, W, Li, K, Rb, Cs, Ba
3. তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার (fcc)	4	12, $\frac{a}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{2}a}{4}$	$\frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.74$	$\left(\frac{4A}{\rho N}\right)^{1/3}$	Cu, Ag, Au, Al, Pb, Co, Ni, Pt
4. ষড়্ভুজাকার (hcp)	6	12, a	$\frac{a}{2}$	$\frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.74$	$\left(\frac{\sqrt{2}A}{\rho N}\right)^{1/3}$	Mg, Zn, Cd, Ti, Be, Ru

9.8 দ্বিপরমাণুক ভিত্তির কেলাসের গঠন (Structures of Crystals of diatomic basis)

9.7 অনুচ্ছেদে আপনি একপরমাণুক ভিত্তির কেলাসের গঠন কীরূপ হয়, তা জানতে পেরেছেন। কিন্তু কেলাসের ভিত্তি একটি পরমাণুর পরিবর্তে একাধিক বা বহু ও বিভিন্ন প্রকার পরমাণুর দ্বারা গঠিত হতে পারে। কেলাসের ভিত্তিতে পরমাণুর সংখ্যা বা বিভিন্নতা যত বাড়ে, কেলাসের গঠনও ততই জটিল হয়ে পড়ে। কিন্তু এই জটিল আলোচনার এখানে প্রয়োজন নেই। তাই আমরা এই অনুচ্ছেদে কেবল দ্বিপরমাণুক ভিত্তির অর্থাৎ যে ভিত্তিতে কেবল দুটি পরমাণু আছে, সেরূপ কয়েকটি কেলাসের গঠন নিয়ে আলোচনা করব। কারণ এরূপ কেলাসের গঠন দুটি এক পরমাণুক ভিত্তির কেলাসের গঠনের সরল যোগফল এবং বহু অতিপরিচিত বা গুরুত্বপূর্ণ কেলাসের গঠনই এরূপ দ্বিপরমাণুক ভিত্তিযুক্ত। জটিলতর কেলাসের গঠন বিষয়ে আলোচনার আবশ্যক হলে আপনাকে উচ্চতর কেলাসবিদ্যার বই পড়তে হবে।

9.8.1 সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের গঠন (Structure of Sodium Chloride Crystals)

বস্তুত আমরা সোডিয়াম ক্লোরাইডের কেলাসের গঠন পূর্বেই আলোচনা করেছি এবং ঐ আলোচনার ভিত্তিতেই ল্যাটিসের ধারণা গঠন করার চেষ্টা করেছি। এখানে আমরা ল্যাটিসের গঠন দ্বারা সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের গঠন কীভাবে পাওয়া যায়, তা আলোচনা করব।

সোডিয়াম ক্লোরাইডের কোষ 9.1b চিত্রের অনুরূপ একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিস দ্বারা গঠন করা যায়। সোডিয়াম ক্লোরাইডের একটি সোডিয়াম আয়ন (Na^+) একটি ক্লোরিন আয়ন (Cl^-)-এর সঙ্গে মিলিত হয়ে একটি সোডিয়াম ক্লোরাইড অণু গঠন করে। এই অণুটিই সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের ভিত্তি। সুতরাং 9.2 চিত্রের ল্যাটিসের প্রত্যেক বিন্দুতে একটি Na^+Cl^- অণু যুক্ত করলেই আমরা সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের কোষটি পেতে পারি।

কিন্তু প্রশ্ন হল যে ল্যাটিসের একটি বিন্দুতে Na^+Cl^- অণুটি কীভাবে বসানো যায়? বস্তুত, ল্যাটিসের একটি বিন্দুতে কেবল একটি পরমাণু বা আয়ন কেন্দ্রই বসানো যায়। সুতরাং 9.1(b) চিত্রের ল্যাটিসের প্রত্যেক বিন্দুতে আমরা একটি Na^+ আয়ন বসিয়ে দিতে পারি। যদি A(0, 0, 0) ল্যাটিসটির মূল বিন্দু হয়, তবে Cl^- আয়নগুলি বসাবার জন্য এই ল্যাটিসের ভিতরে $A'\left(\frac{a}{2},\frac{a}{2},\frac{a}{2}\right)$ বিন্দুকে মূলবিন্দু ধরে a দৈর্ঘ্যযুক্ত বাহুর অপর একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিস অঙ্কন করা যায়। এই ল্যাটিসটি পূর্বের ল্যাটিসটির সঙ্গে অভিন্ন, কেবল এর প্রত্যেক বিন্দু পূর্ব ল্যাটিসের অনুরূপ বিন্দু থেকে $d\left(\frac{a}{2},\frac{a}{2},\frac{a}{2}\right)$ দূরত্বে অবস্থিত। এখন এই নূতন ল্যাটিসের প্রত্যেক বিন্দুতে একটি Cl^- আয়ন বসালে আমরা সম্পূর্ণ NaCl কেলাসের গঠনটি পাই।

এই গঠন অনুযায়ী একটি NaCl কেলাসের ল্যাটিস একটি Na^+ আয়নের fcc ল্যাটিসের ভিতর একটি Cl^- আয়নের fcc ল্যাটিসের অনুপ্রবেশ (interpenetration) হিসেবে ধরা যায়। এখানে একটি Na^+ আয়ন থেকে অনুরূপ বিন্দুতে একটি Cl^- আয়নের দূরত্ব

$$AA' = d\left(\frac{a}{2},\frac{a}{2},\frac{a}{2}\right) = \sqrt{\frac{a^2}{4}+\frac{a^2}{4}+\frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}a \qquad \ldots\ldots (9.38)$$

আপনি 9.1(b) চিত্র লক্ষ্য করে দেখুন, দুটি অভিন্ন ল্যাটিসের পরস্পরের ভিতর অনুপ্রবেশের ফলে যেকোনও একটি অক্ষের দিকে Na^+ ও Cl^- আয়নগুলি একান্তরভাবে পরস্পর থেকে $\frac{a}{2}$ দূরত্বে অবস্থিত। এর ফলে NaCl কেলাসের কোষটি 8টি $\frac{a}{2}$ দৈর্ঘ্যের বাহুযুক্ত সরল ঘনকের সমষ্টি হিসেবে ধরা যায়। A(0,0,0) মূলবিন্দুযুক্ত এরূপ একটি সরল ঘনকে Na^+ ও Cl^- আয়নগুলির স্থানাঙ্ক এবং দূরত্ব নিচের ছকে দেখানো হল।

ভিত্তি	Na^+	Cl^-	d
1	$(0,0,0)$	$\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right)$	$\frac{\sqrt{3}a}{2}$
2	$\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2},0\right)$	$\left(0,0,\frac{1}{2}\right)$	$\frac{\sqrt{3}a}{2}$
3	$\left(\frac{1}{2},0,\frac{1}{2}\right)$	$\left(0,\frac{1}{2},0\right)$	$\frac{\sqrt{3}a}{2}$
4	$\left(0,\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right)$	$\left(\frac{1}{2},0,0\right)$	$\frac{\sqrt{3}a}{2}$

9.1(a) চিত্র থেকে লক্ষ্য করে দেখুন যে এই d দূরত্বটি হল সরল ঘনকটির বস্তু কর্ণের (body-diagonal-এর) অর্থাৎ ভিতরের কর্ণের দূরত্ব। 9.1 চিত্রে সোডিয়াম ও ক্লোরিন আয়নগুলি স্পষ্টভাবে দেখানোর জন্য যথাক্রমে কালো ও সাদা বৃত্ত ব্যবহার করা হয়েছে। ক্লোরিন আয়নের ব্যাসার্ধ সোডিয়াম আয়নের ব্যাসার্ধের চেয়ে বড়। এজন্য চিত্রে ক্লোরিন আয়নগুলি সোডিয়াম আয়নের চেয়ে বড় বৃত্তের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। তাছাড়া ল্যাটিসের গঠন পরিষ্কারভাবে দেখানোর জন্য চিত্রে আয়নগুলিকে পরস্পর থেকে দূরে দূরে দেখানো হয়েছে। কিন্তু বাস্তবিক পক্ষে আয়নগুলি পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে। চিত্র থেকে আরও লক্ষ্য করে দেখুন, একটি Na^+ আয়নের চারদিকে সবচেয়ে কাছে একই তলে 4টি এবং উপরে ও নিচে আরও 2টি, অর্থাৎ মোট 6টি Cl^- আয়ন ঘিরে আছে। বিপরীত পক্ষে প্রত্যেক Cl^- আয়নকেও অনুরূপভাবে 6টি Na^+ আয়ন ন্যূনতম দূরত্বে সবদিক থেকে ঘিরে থাকে। এজন্য সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের বিপরীতধর্মী আয়নের সমন্বয় সংখ্যা হল 6। অনুরূপে লক্ষ্য করুন যে, এই কেলাসের সমধর্মীয় আয়নের সমন্বয় সংখ্যা হল 12।

একপরমাণুক ভিত্তির দ্বারা গঠিত fcc কোষে যেমন কার্যকরী পরমাণুর সংখ্যা 4, তেমনি এক-আণবিক ভিত্তির দ্বারা গঠিত NaCl-এর fcc কোষেও কার্যকরী অণুর সংখ্যা হল 4। যদি NaCl কেলাসের ঘনত্ব ρ এবং আণবিক ওজন M হয়, তবে একটি কোষের ভর $\rho a^3 = \frac{4M}{N}$

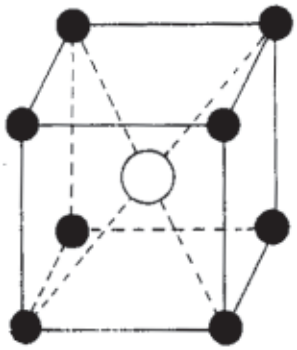
সুতরাং $a = \left(\frac{4M}{\rho N}\right)^{\frac{1}{3}}$ ..... (9.39)

যেখানে a হল কোষের বাহুর দৈর্ঘ্য এবং N = অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা।

বহু দ্বিপরমাণুক অণুযুক্ত কেলাসের গঠনই NaCl কেলাসের গঠনের অনুরূপ। এদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য LiH, MgO, MnO, AgBr, PbI, Pbs, NiO, UO, KCl এবং KBr।

9.8.2 সিসিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের গঠন (Cesium Chloride Crystal Structure)

সিসিয়াম ক্লোরাইডের অণু একটি Cs^+ ও একটি Cl^- আয়ন দ্বারা গঠিত। এটিই এই কেলাস গঠনের ভিত্তি। CsCl কেলাস কোষের গঠন 9.18 চিত্রে দেখানো হল। এটি একটি বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ। কোষ ঘনকটির 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি Cs^+ আয়ন ও এর বস্তু-কেন্দ্রে একটি Cl^- আয়ন (বা বিপরীত পক্ষে প্রত্যেক কৌণিক বিন্দুতে একটি Cl^- আয়ন ও বস্তু-কেন্দ্রে একটি Cs^+ আয়ন) বসিয়ে এই কোষটি গঠন করা যায়।



চিত্র 9.18: সিসিয়াম ক্লোরাইড কোষের গঠন। এটি বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ। এর 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি Cs^+ আয়ন (কালোবৃত্ত) এবং বস্তু-কেন্দ্রে একটি Cl^- আয়ন (সাদা বৃত্ত) দেখানো হয়েছে।

এই কোষটিকে দুটি সরল ঘনকের একটির ভিতর অপরটির অনুপ্রবেশ হিসেবেও বিবেচনা করা যায়। এই দুটি ঘনকের মধ্যে একটির মূলবিন্দু (0,0,0) এবং অপরটির মূলবিন্দু প্রথম ঘনকের বস্তু-কেন্দ্রে ($\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$) ধরা যেতে পারে। এই দুটি ঘনকের একটির প্রত্যেক কৌণিক বিন্দুগুলিতে Cs^+ আয়ন এবং অপর ঘনকটির প্রত্যেক কৌণিক বিন্দুতে Cl^- আয়ন বসালে আমরা এই কেলাসের গঠনটি পাই।

বেশ কিছু লবণ ও ধাতু-সংকর CsCl-এর অনুরূপ কেলাস গঠন করে। এদের কয়েকটি উদাহরণ হল BeCu, AlNi, CuZn (β-ব্র্যাস), CuPd, AgMg, LiHg, NH_4Cl, TlBr, TlI, RbCl।

9.8.3 হীরের গঠন (Structure of Diamond)

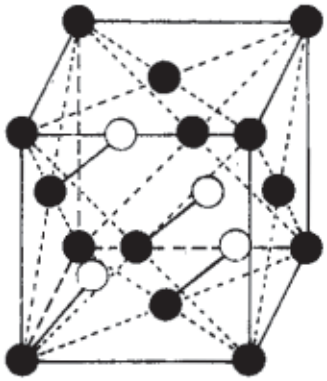
হীরে গ্র্যাফাইটের মতো কার্বনের (C-র) একটি **বহুরূপ** (Allotrope)। হীরের কেলাস কোষ ষড়্ভুজাকার বা ঘনাকার এই দুপ্রকারই হতে পারে। তবে সাধারণভাবে এই কোষটি ঘনাকারই হয়। সেজন্য আমরা এখানে এই ঘনাকার কোষটি নিয়েই আলোচনা করব। হীরের এই ঘনাকার কোষটি তল-কেন্দ্রিক (fcc)। 9.19 চিত্রে এই তল-কেন্দ্রিক কোষটি দেখানো হল। এর 8টি কৌণিক বিন্দুতে 8টি এবং 6টি পার্শ্বতলের কেন্দ্রে আরও 6টি বা মোট 14টি কার্বন পরমাণু কালো বৃত্তের সাহায্যে দেখানো হল। কিন্তু এই কেলাসের ভিত্তি দুটি কার্বন পরমাণু দ্বারা গঠিত। এই দুটি পরমাণুর মধ্যে দূরত্ব কোষের বস্তু কর্ণ বা অন্তর কর্ণের দৈর্ঘ্যের এক চতুর্থাংশ (¼ অংশ)। সুতরাং কোষের চিত্রে প্রদর্শিত প্রত্যেক কার্বন পরমাণু থেকে অন্তর কর্ণের অভিমুখে কর্ণ-দূরত্বের ¼ অংশ দূরত্বে আরও একটি কার্বন পরমাণু স্থাপন করা হলে হিরের একক কোষটি পাওয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে এভাবে কেবল আরও 4টি কার্বন পরমাণু একটি কোষের অভ্যন্তরে স্থাপন করা যায়। চিত্রে এই 4টি কার্বন পরমাণু সাদা বৃত্তের সাহায্যে দেখানো হল। মোট 14টি ভিত্তির বাকী 10টি পরমাণু তিন দিকের পরবর্তী কোষগুলিতে স্থান পায়।

এই কোষের পরমাণুগুলি খুবই শিথিলভাবে সংবদ্ধ (loose-packed) থাকে। সেজন্য কোষটির সংবন্ধি অনুপাত মাত্র 0.34; যদিও সাধারণভাবে fcc কোষের সংবন্ধি অনুপাত 0.74 হয়। এই কোষের কার্বন

পরমাণুগুলির সমন্বয় সংখ্যা 4 এবং দুটি নিকটতম পরমাণুর মধ্যে দূরত্ব $\sqrt{3}a/4$, যেখানে a হল ল্যাটিস ধ্রুবক।

হীরের এই কোষটিকে একটি fcc ল্যাটিস কোষের মধ্যে অণুপ্রবিষ্ট আরেকটি fcc ল্যাটিস কোষ হিসেবে ধরা যায়। এক্ষেত্রে প্রথমে কোষটির মূলবিন্দু A(0,0,0) ধরলে অনুপ্রবিষ্ট ল্যাটিসটির মূলবিন্দু A′(¼, ¼, ¼) ধরা প্রয়োজন।

জিঙ্ক ব্লেন্ড বা জিঙ্ক সালফাইড (ZnS)-এর গঠনও হীরের গঠনের অনুরূপ। এক্ষেত্রে কেবল ভিত্তির প্রথম কার্বন পরমাণুটির (চিত্রের কালো বৃত্ত)-র স্থানে একটি জিঙ্ক পরমাণু (Zn) এবং ভিত্তির দ্বিতীয় কার্বন পরমাণু (চিত্রের সাদা বৃত্ত)-র স্থানে একটি সালফার (S) পরমাণু ধরতে হবে।



চিত্র 9.19: হীরের গঠন। এটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষ। এর 8টি কৌণিক বিন্দুতে এবং 6টি তল-কেন্দ্রে ভিত্তির প্রথম 14টি কার্বন পরমাণু (কালো বৃত্ত) দেখানো হয়েছে। ভিত্তির দ্বিতীয় কার্বন পরমাণুগুলির মধ্যে কেবল 4টি এই কোষের অংশ (সাদা বৃত্ত)।

জিঙ্ক ব্লেন্ড ছাড়া আরও যেসব গুরুত্বপূর্ণ মৌলের কেলাসের গঠন হিরের গঠনের অনুরূপ সেগুলি হল Si, Ge এবং ধূসর টিন (grey tin)। এছাড়া SiC ও GaAs যৌগগুলিও জিঙ্ক ব্লেন্ড (বা হীরের) কেলাসের অনুরূপ কেলাস গঠন করে।

9.9 কেলাসবিদ্যায় এক্স-রশ্মির ব্যবহার (Use of X-rays in Crystallography)

লাউ-এর এক্স-রশ্মির ব্যবর্তন তত্ত্বের সাফল্যের ফলে কেলাসবিদ্যায় এই রশ্মির ব্যবহার সম্ভবপর হয়। সেজন্য প্রথমে আমরা লাউ-এর এই তত্ত্ব আলোচনা করব।

9.9.1 লাউ-এর কেলাস দ্বারা এক্স-রশ্মির ব্যবর্তন তত্ত্ব (Laue's Theory of Diffraction of X-rays by Crystals)

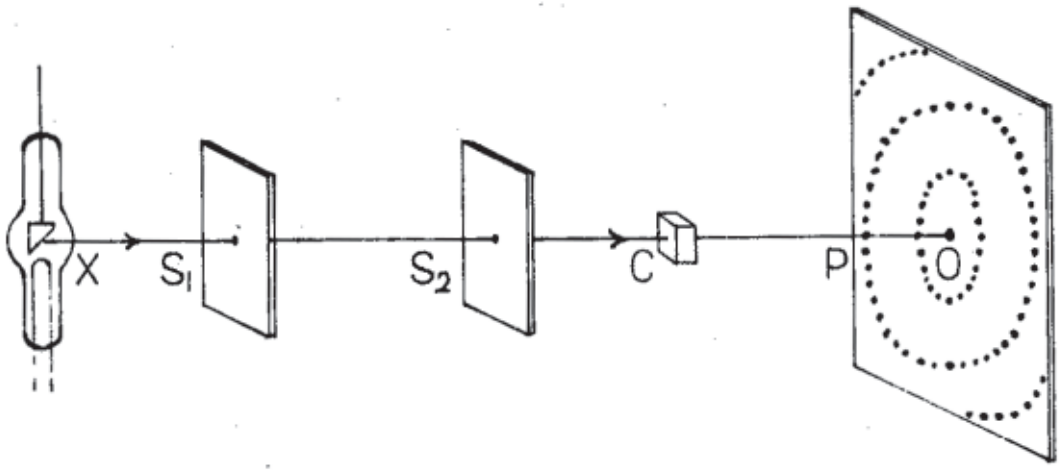
1895 খ্রিস্টাব্দে, রন্টজেন (W. K. Röntgen) এক্স-রশ্মি আবিষ্কার করেন (এর জন্য রন্টজেন 1901 খ্রিস্টাব্দে পদার্থবিদ্যায় প্রথম নোবেল পুরস্কার লাভ করেন) এবং এর পর থেকে এই অজানা রশ্মির বিভিন্ন ধর্ম জানার জন্য নানাভাবে পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলতে থাকে। এতৎসত্ত্বেও দীর্ঘদিন যাবৎ এই রশ্মির সঠিক প্রকৃতি জানা সম্ভব হয়নি। এ বিষয়ে সেই সময় বিজ্ঞানীদের মধ্যে দুটি তত্ত্ব প্রচলিত ছিল। একটি তত্ত্বে ধরা হতো যে এক্স-রশ্মিগুলি ক্যাথোড-রশ্মির মতোই দ্রুত গতিবেগ সম্পন্ন এমন এক প্রকার কণা যাদের ভেদন ক্ষমতা ক্যাথোড রশ্মির চেয়ে অনেক বেশী। দ্বিতীয়ত তত্ত্বে ধরা হতো যে এক্স-রশ্মিগুলি আলোকের মতোই

একপ্রকার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ, যাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণ আলোকের চেয়ে বহু গুণ ছোট।

এক্স-রশ্মির এই দুটি তত্ত্বের মধ্যে কোন্‌টি ঠিক, তা জানার জন্য সে সময়ে বহু পরীক্ষা করা হয়। কিন্তু কোনও পরীক্ষাই ঠিক সফল হয়নি। এর কারণ, এক্স-রশ্মি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ কিনা তা জানতে হলে এমন ব্যবর্তন গ্র্যাটিং (Diffraction grating) প্রয়োজন, যা অতিবেগুনি রশ্মির চেয়েও ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের ব্যবর্তন নকশা গঠন করতে পারে। কিন্তু এরূপ সূক্ষ্ম গ্র্যাটিং তৈরী করা সে সময়ে সম্ভবপর ছিল না। এই অসুবিধা দূর করার জন্য 1912 খ্রিস্টাব্দে জার্মানির বিজ্ঞানী ম্যাক্স ভন লাউ (Max Von Laue) একটি তত্ত্ব প্রকাশ করেন। তা হল, যেহেতু কেলাসের মধ্যে পরমাণুগুলি একটি নির্দিষ্ট বিন্যাস অনুযায়ী সজ্জিত থাকে, সুতরাং এক্স-রশ্মিগুলি অতিক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ হলে এই তরঙ্গের ব্যবর্তনের জন্য কেলাসের ঐ পরমাণুগুলি অতি সূক্ষ্ম গ্র্যাটিং হিসেবে কাজ করতে পারে। তবে সাধারণ গ্র্যাটিং-এর সঙ্গে এই কেলাসীয় গ্র্যাটিং-এর মূল পার্থক্য হবে এই যে, সাধারণ গ্র্যাটিং যেখানে সমতলীয় (অর্থাৎ দ্বিমাত্রিক), কেলাসীয় গ্র্যাটিংটি সেখানে আয়তনিক (অর্থাৎ ত্রিমাত্রিক)। এর কারণ কেলাসের মধ্যে পরমাণুগুলির বিন্যাস আয়তনিক। এই তত্ত্বকে লাউ-এর তত্ত্ব (Laue's Theory) বলা হয়।

9.6.2 লাউ তত্ত্বের পরীক্ষা (Experimental Verification of Laue Theory)

লাউ-এর তত্ত্বের সত্যতা পরীক্ষার জন্য তাঁর সহযোগী দুজন বিজ্ঞানী ফ্রিডরিশ (Friedrich) এবং নিপ্পিং (Knipping) 9.20 চিত্রের মতো একটি পরীক্ষা ব্যবস্থা করেন। এই পরীক্ষা ব্যবস্থায় S_1 ও S_2 দুটি সিসার পাতের ছিদ্রের মধ্য দিয়ে একটি সরু এক্স-রশ্মিগুচ্ছ (x) একটি পাতলা জিঙ্ক-ব্লেন্ড (ZnS)



চিত্র 9.20 : লাউ-এর তত্ত্বের ফ্রিডরিশ ও নিপ্পিং-এর পরীক্ষা।

কেলাসের (C) উপর আপতিত হয়। কেলাসের পিছনে রশ্মিগুচ্ছটির সঙ্গে লম্বভাবে একটি ফটোগ্র্যাফির পাত (P) থাকে। ফ্রিডরিশ ও নিপ্পিং লক্ষ করলেন যে, এক্স-রশ্মিগুচ্ছটির একটি অংশ ZnS কেলাসের মধ্য দিয়ে সরাসরি চলে গিয়ে ফটোগ্র্যাফির পাতের মধ্য বিন্দুতে একটি কালো দাগ (O) সৃষ্টি করছে। সেই সঙ্গে

এই দাগটির চতুর্দিকে আরও বহু কালো দাগের একটি প্রতিসম নকশা সৃষ্টি হচ্ছে। এই নকশাটিকে **লাউ নকশা** (Laue Pattern) বলে। লাউ নকশা থেকে দুটি সত্য প্রতিষ্ঠিত হয়।

(i) এক্স-রশ্মিগুলি প্রকৃতই অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।

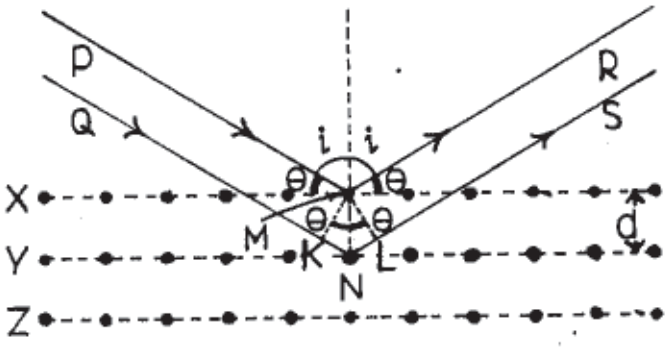
(ii) কেলাসের ভিতরে পরমাণুগুলি প্রকৃতই একটি সুসামঞ্জস ত্রিমাত্রিক ল্যাটিসের আকারে বিন্যস্ত।

লাউ-এর এই অসামান্য অবদানের জন্য তাঁকে 1914 খ্রিস্টাব্দে নোবেল পুরস্কারে ভূষিত করা হয়।

9.9.3 ব্র্যাগের সূত্র (Bragg's Law)

লাউ নকশা কেলাসের ভিতরে প্রত্যেক পরমাণুর দ্বারা এক্স-রশ্মির ব্যবর্তনের ফলে গঠিত হয়। কিন্তু এই নকশার গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ অত্যন্ত জটিল কাজ। এই অসুবিধা দূর করার জন্য উইলিয়াম হেনরি ব্র্যাগ (Sir William Henry Bragg) এবং তাঁর পুত্র উইলিয়াম লরেন্স ব্র্যাগ (Sir William Lawrence Bragg) একটি কেলাসের উপর এক্স-রশ্মি বিভিন্ন কোণে আপতিত হলে ব্যবর্তন নকশার কীরূপ পরিবর্তন ঘটে, তা নিয়ে নানারূপ পরীক্ষা করতে থাকেন। তাঁরা লক্ষ করেন যে, যদি এক্স-রশ্মি কেলাসের কোনও তলে একটি বিশেষ কোণে আপতিত হয়, তবে এই রশ্মিগুলির একটি অংশ কেলাস থেকে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে এবং নিজেদের মধ্যে গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটিয়ে তীব্রতার বৃদ্ধি করে।

কেলাস দ্বারা এক্স-রশ্মির প্রতিফলন উইলিয়াম লরেন্স ব্র্যাগ একটি সরল গাণিতিক তত্ত্বের দ্বারা ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হন। তাঁর ব্যাখ্যা অনুযায়ী কেলাসের ভিতরে এমন কতগুলি পরস্পর সমান্তরাল ল্যাটিস তল কল্পনা করা যায়, যেগুলিতে পরমাণুগুলি সবচেয়ে বেশী সংখ্যায় বর্তমান থাকে। যখন কোনও এক্স-রশ্মি একটি তির্যক কোণে এরূপ একটি তলে আপতিত হয়, তখন ঐ রশ্মির তরঙ্গগুলি ঐ তলের পরমাণুগুলির দ্বারা ব্যবর্তিত হয়ে বিভিন্ন দিকে ছড়িয়ে পড়ে। ফলে ঐ তরঙ্গগুলির একটি অংশ কার্যত ঐ তল থেকে প্রতিফলিত হয় এবং অন্য অংশ প্রতিসৃত হয়ে পরবর্তী তলে আপতিত হয়। এরূপে দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি প্রত্যেক তল থেকে এক্স-রশ্মির কিছু অংশ প্রতিফলিত হয়ে পূর্বের প্রতিফলিত রশ্মিগুলির সঙ্গে মিলিত হয় এবং বিভিন্ন দিকে এদের দশার পার্থক্য অনুযায়ী হয় গঠনমূলক না হয় বিনাশমূলক ব্যতিচার নকশার সৃষ্টি করে।



চিত্র 9.21 : ব্র্যাগের তত্ত্ব অনুযায়ী কেলাস তলদ্বারা এক্স-রশ্মির ব্যবর্তনজনিত প্রতিফলন।

এখন ধরা যাক 9.21 চিত্রে X, Y, Z প্রভৃতি পরস্পর সমান্তরাল কয়েকটি ল্যাটিস তল এবং কেলাসের পরমাণুগুলি এই ল্যাটিস তলগুলির উপরেই নির্দিষ্ট নিয়মে সজ্জিত আছে। ধরা যাক, এই ল্যাটিস তলগুলি পরস্পর d সমদূরত্বে অবস্থিত এবং এই তলগুলির উপর একটি সমান্তরাল এক্স-রশ্মিগুচ্ছ θ তির্যক কোণে

আপতিত হয়। এখানে **তির্যক কোণ** (glancing angle) বলতে একটি রশ্মি ও এর আপতন তলের মধ্যে কোণ বোঝাচ্ছে। আপনি লক্ষ্য করুন তির্যক কোণ ও আপতন কোণ (incident angle) পরস্পর ভিন্ন। কারণ, আপতন কোণ আপতিত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের মধ্যে কোণকে বোঝায়। সুতরাং এক্ষেত্রে আপাতন কোণ $i = 90° - \theta$।

এখন ধরা যাক, এই রশ্মিগুচ্ছের PM ও QN রশ্মিদুটি X ও Y তলের যথাক্রমে M ও N বিন্দুতে আপতিত হয় এবং এই দুই বিন্দু থেকে প্রতিফলিত হয়ে যথাক্রমে MR এবং NS অভিমুখে যায়। এখানে লক্ষ্যণীয় যে কেবল সরলীকরণের জন্যই PM ও QN-কে দুটি পৃথক রশ্মিরূপে কল্পনা করা হয়েছে। প্রকৃতপক্ষে এগুলি কোনও এক সময়ে একই তরঙ্গ মুখের অবস্থান নির্দেশক মাত্র। অনুরূপে MR ও NS-ও কোনও সময় একই ব্যবর্তিত তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্দেশ করে। এখানে আরও একটি বিষয় লক্ষ্যণীয় যে, QN রশ্মি X তলে প্রতিসরণের ফলে কিছুটা বেঁকে যায়। কিন্তু গাণিতিক সরলীকরণের জন্য আমরা এই প্রতিসরণজনিত রশ্মির দিক পরিবর্তনকেও উপেক্ষা করেছি।

চিত্রে আপতিত রশ্মিদ্বয় PM ও QN যথাক্রমে X ও Y সমতল দুটির সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় MR ও NS যথাক্রমে X ও Y সমতলদুটির সঙ্গে একই θ কোণ উৎপন্ন করে, কিন্তু এদের মধ্যে একটি পথ-পার্থক্য (path difference) ঘটে। কেলাসের বিভিন্ন তল থেকে এবং একই তলের বিভিন্ন বিন্দু থেকে প্রতিফলিত হয়ে বিভিন্ন রশ্মিগুলি যখন এরূপ পথ-পার্থক্যসহ পরস্পর মিলিত হয়, তখন পথ-পার্থক্যের কতকগুলি নির্দিষ্ট মানে তাদের মধ্যে গঠনমূলক বা বিনাশমূলক ব্যতিচার ঘটে।

চিত্রে M বিন্দু থেকে QN ও NS রশ্মিদুটির উপর MK ও ML দুটি লম্ব অঙ্কন করা হয়েছে। সুতরাং PMR ও QNS রশ্মি দুটির মধ্যে মোট পথ-পার্থক্য = KN + NL = $2d\sin\theta$।

সুতরাং গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল

$$2d\sin\theta = m\lambda \qquad \ldots\ \ldots\ (9.40)$$

যেখানে $m = 1, 2, 3, \ldots$ ইত্যাদি কোনও একটি পূর্ণ সংখ্যা এবং λ হল এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য। $m = 1, 2, 3\ldots$ প্রভৃতি পূর্ণ-সংখ্যাগুলিকে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয়... প্রভৃতি ক্রমের প্রতিফলন বলে।

9.40 সমীকরণটিকে **ব্র্যাগের সূত্র** (Bragg's Law) বলে। এই সূত্রের সাহায্যে যদি d ও m জানা থাকে, তবে পরীক্ষার দ্বারা θ কোণ পরিমাপ করে আপতিত এক্স-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। অপরপক্ষে যদি λ ও m জানা থাকে, তবে উক্ত সূত্র থেকে আমরা কেলাসের ল্যাটিস ধ্রুবক d নির্ণয় করতে পারি।

যদি কেলাস থেকে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি একটি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর ফেলা হয়, তবে গঠনমূলক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে ঐ প্লেটের উপর একটি কালো দাগ পাওয়া যায়। কিন্তু যদি বিনাশমূলক ব্যতিচার হয়, তবে ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর কোনও দাগ উৎপন্ন হয় না।

কেলাসের মধ্যে সমান্তরাল সমতলগুলি বিভিন্নভাবে আঁকা যায়। তারফলে d-এর মান পরিবর্তিত হয়। সুতরাং যদি λ-র মান নির্দিষ্ট থাকে, তবে কেলাসটির কেবল একটি বিশেষ অভিমুখীনতার (orientation)

জন্যই গঠনমূলক ব্যতিচার পাওয়া যায়। কিন্তু যদি আপতিত এক্স-রশ্মিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিরবচ্ছিন্ন হয়, তবে যেকোনও তির্যক কোণের জন্যই λ- র কোনও একটি মান দ্বারা 9.40 সমীকরণটি সিদ্ধ হয়। তার ফলে সকল দিকেই প্রতিফলিত এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়।

উইলিয়াম হেনরি ব্র্যাগ ও উইলিয়াম লরেন্স ব্র্যাগ ব্র্যাগের সূত্রের সত্যতা নির্ভুলভাবে পরীক্ষা করার জন্য একটি এক্স-রশ্মির বর্ণালিমাপকযন্ত্র উদ্ভাবন করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে তাঁরা এক্স-রশ্মির বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য বিভিন্ন কেলাসের ক্ষেত্রেই ব্র্যাগের সূত্রের সত্যতা প্রতিষ্ঠিত করেন এবং এই সূত্রের দ্বারা বিভিন্ন d ও λ-র মান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করতে সমর্থ হন। কেলাসবিদ্যায় এক্স-রশ্মির সাহায্যে কেলাসের গঠন নির্ণয় করার ক্ষেত্রে তাঁদের এই গুরুত্বপূর্ণ অবদানের জন্য 1915 খ্রিস্টাব্দে উভয়কেই নোবেল পুরস্কার দেওয়া হয়।

9.9.4 ব্র্যাগের সূত্রের সংশোধন (Correction of Bragg's Equation)

আপনি উপরে লক্ষ্য করেছেন যে ব্র্যাগের সূত্র নির্ণয়ে সরলীকরণের জন্য এক্স-রশ্মির প্রতিসরণজনিত বেঁকে যাওয়াকে (কৌণিক চ্যুতিকে) উপেক্ষা করা হয়েছে। এরফলে ব্র্যাগের সূত্রে যে কিছুটা ভ্রম হয়, 1919 খ্রিস্টাব্দে স্টেনস্ট্রম তা সংশোধন করেন।

9.22 চিত্রে X তলের সঙ্গে এক্স-রশ্মির তির্যক আপতন কোণ θ এবং Y তলের সঙ্গে তির্যক আপতন ও প্রতিফলন কোণ $\theta'(\theta' < \theta)$। সুতরাং এক্ষেত্রে ব্র্যাগের সূত্র হল

$$2d\sin\theta' = m\lambda' \qquad \text{... ... (9.41)}$$

এখানে λ' হল প্রতিসৃত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য। যদি এক্স-রশ্মির সাপেক্ষে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হয়, তবে আমরা পাই,

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin(90° - \theta)}{\sin(90° - \theta')} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta'} \qquad \text{... ... (9.42)}$$

সুতরাং, এই দুটি সমীকরণ থেকে আমরা পাই

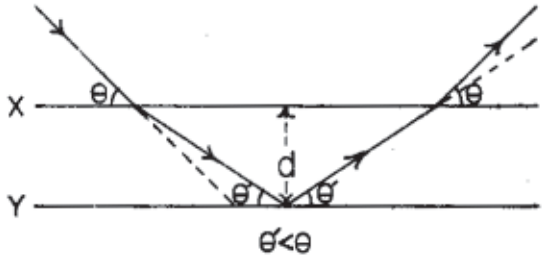
$$\frac{m\lambda}{\mu} = 2d\sin\theta'$$

বা $$m\lambda = 2\mu d(1-\cos^2\theta')^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2\mu d\left(1 - \frac{\cos^2\theta}{\mu^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\left(\mu^2 - 1 + \sin^2\theta\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left(1 + \frac{\mu^2 - 1}{\sin^2\theta}\right)^{\frac{1}{2}}$$



চিত্র 9.22 : স্টেনস্ট্রম তত্ত্ব অনুযায়ী প্রতিসরণের জন্য ব্র্যাগের সূত্রের সংশোধন।

$$= 2d\sin\theta\left(1+\frac{\mu^2-1}{2\sin^2\theta}\right) \qquad \text{... ... (9.43)}$$

[$\because \mu \approx 1, \therefore \dfrac{\mu^2-1}{\sin^2\theta} << 1$ । কাজেই দ্বি-রাশির বিস্তার তত্ত্ব এক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয়।]

এই সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, যদি $\dfrac{\mu^2-1}{2\sin\theta}$ রাশিটি উপেক্ষা করা হয়, তবে আমরা ব্র্যাগের 9.40 সমীকরণটি ফিরে পাই।

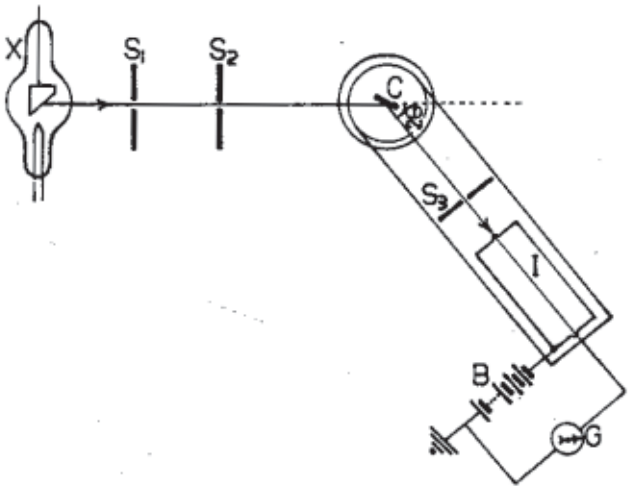
একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মির দ্বারা বিভিন্ন ক্রমের প্রতিফলন পরিমাপ করে স্ট্রেনস্ট্রম তাঁর 9.43 সমীকরণের সত্যতা প্রতিষ্ঠিত করেন।

9.9.5 ব্র্যাগের এক্স-রশ্মি বর্ণালিমাপক যন্ত্র (Bragg's X-ray Spectrometer)

আলোকের বর্ণালিমাপক যন্ত্রের অনুসরণে ব্র্যাগ এক্স-রশ্মির বর্ণালিমাপক যন্ত্র নির্মান করেন। 9.23 চিত্রে যন্ত্রটির গঠন দেখানো হল। এই যন্ত্রের ক্ষেত্রে প্রধান পরিবর্তনগুলি হল ঃ

(i) আলোক অভিমুখীকরণ লেন্স ও ছিদ্রের পরিবর্তে এখানে উৎস (X) থেকে একটি সরু এক্স-রশ্মিগুচ্ছ পাওয়ার জন্য ছিদ্রযুক্ত দুটি সমান্তরাল সিসার পাত S_1, S_2 ব্যবহার করা হয় (এর কারণ সিসার পাত দ্বারা এক্স-রশ্মিকে সহজে বাধা দেওয়া যায়)।

(ii) বর্ণালিমাপক যন্ত্রের টেবিলের উপর প্রিজম বা সমতল গ্র্যাটিং-এর পরিবর্তে সৈন্ধব লবণ বা ক্যালসাইট বা জিঙ্ক ব্লেন্ডের একটি এক কেলাস (C) এমনভাবে বসানো হয়, যাতে এর খণ্ডন তলটি (cleavage plane) টেবিলের উপর লম্বভাবে থাকে।



(iii) দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বদলে এখানে এক্স-রশ্মি সন্ধানি যন্ত্র (X-ray detector) ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রটি আসলে একটি ফটোগ্র্যাফিক প্লেট বা একটি আয়ন-প্রকোষ্ঠ (I) (ionization chamber)। কেলাস থেকে প্রতিফলিত এক্স-রশ্মি S_3 সিসার পাতের ছিদ্রের মধ্যে দিয়ে আয়ন প্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে এবং প্রকোষ্ঠের গ্যাসকে আয়নিত করে।

চিত্র 9.23 : ব্র্যাগের এক্স-রশ্মির বর্ণালিমাপক যন্ত্র।

আয়ন-প্রকোষ্ঠ একটি টাংস্টেন ধাতুর তার ব্যাটারির (B) ধনাত্মক দ্বারের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। একটি তামার পাত এই ধনাত্মক তারকে একটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধ দূরে বেলনের আকারে ঘিরে থাকে। এটি ব্যাটারির

কাঠামোর কেলাস তলের উপর প্রতিফলিত হয়ে আয়নীকরণ প্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে। এক্স-রশ্মির তীব্রতা ও প্রতিফলন কোণের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করা হয়। একটি আয়নীকরণ প্রকোষ্ঠ (C) এর সাহায্যে পরিমাপ করা হয়।

প্রতিফলিত রশ্মির তীব্রতা আয়নীকরণ প্রকোষ্ঠের সাহায্যে মাপা হয়। কেলাসকে θ কোণে ঘুরালে প্রকোষ্ঠকে 2θ কোণে ঘুরাতে হয়। এভাবে বিভিন্ন কোণের জন্য প্রতিফলিত এক্স-রশ্মির তীব্রতা মাপা হয়। এভাবে প্রতিফলিত এক্স-রশ্মির তীব্রতা মাপা যায়।

৯.৯.৬ ব্র্যাগের এক্স-রশ্মি স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় (Determination of Wave length of X-rays by Bragg's X-ray Spectrometer)

এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হলে প্রথমে এমন একটি কেলাস প্রয়োজন, যার ভিতরের আয়নগুলির পারস্পরিক দূরত্ব আমরা সহজে নির্ণয় করতে পারি। এখন সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের উদাহরণ নেওয়া যাক। এই কেলাসের ঘনত্ব থেকে আমরা ল্যাটিস ধ্রুবক নির্ণয় করতে পারি। চিত্র (a), ৯.৩৯ সমীকরণ থেকে আমরা ল্যাটিস ধ্রুবক নির্ণয় করতে পারি।

এক মোল NaCl অণুর ওজন $M = 58.5$ gm, $\rho = 2.16$ gm/cc এবং $N = 6.03 \times 10^{23}$ হলে

$$a = 5.64 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5.64 \text{ Å} \quad \ldots\ldots (৯.৪৪)$$

আমরা জানি যে NaCl-এর এই কেলাস fcc হওয়ায় $a/2$ দূরত্বে তলগুলি থাকে। এই কেলাসে Na^+ ও Cl^- আয়নগুলি পর্যায়ক্রমে সজ্জিত থাকে। অতএব NaCl কেলাসের পরপর দুটি তলের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$d = \frac{a}{2} = \frac{5.64}{2} = 2.82 \text{Å} \quad \ldots\ldots (৯.৪৫)$$

চিত্র ৯.২৪ : কেলাসের দ্বারা প্রতিফলিত এক্স-রশ্মির আয়নীকরণ প্রবাহের বিরুদ্ধে কোণের পরিবর্তন লেখচিত্র।

ব্র্যাগের স্পেকট্রোমিটারের সাহায্যে একটি NaCl-এর কেলাস থেকে S_1 ও S_2 দুটি রেখার জন্য বিভিন্ন কোণে একটি এক্স-রশ্মির প্রতিফলিত রশ্মির তীব্রতা আয়নীকরণ প্রকোষ্ঠের সাহায্যে মাপা হয়। আয়নীকরণ প্রবাহ (θ) কোণের সাথে পরিবর্তন। আয়নীকরণ প্রবাহ (I) কোণের বিপরীতে চিত্র ৯.২৪ এ দেখানো হয়েছে।

চিত্র থেকে দেখা যায় যে, তীব্রতা I-এর তিনটি

মানের সমষ্টি। একটি মান θ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে নিরবচ্ছিন্নভাবে ক্রমশ কমতে থাকে এবং অপর মানটি এই নিরবচ্ছিন্ন মানের উপর A_1, A_2, A_3 ও B_1, B_2, B_3 প্রভৃতি বিচ্ছিন্ন শিখর (peak) গঠন করে।

যদি A_1, A_2, A_3 শিখরগুলির যথাক্রমিক তির্যক কোণ $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ হয় এবং B_1, B_2, B_3 শিখরগুলির যথাক্রমিক তির্যক কোণ $\theta_1', \theta_2', \theta_3'$ হয়, তাহলে দেখা যায় যে,

$$\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 = 1:2:3 \qquad \text{...... (9.46)}$$

এবং $$\sin\theta_1' : \sin\theta_2' : \sin\theta_3' = 1:2:3 \qquad \text{...... (9.47)}$$

পরীক্ষার এই ফল থেকে ব্র্যাগ সিদ্ধান্ত করেন যে A_1, A_2, A_3 শিখরগুলি একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ-এর জন্য এবং B_1, B_2, B_3 শিখরগুলি অন্য একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ´-র জন্য গঠিত হয়। এখন যদি A_1, B_1 শিখর দুটিকে প্রথম ক্রমের ($m = 1$), A_2, B_2 শিখর দুটিকে দ্বিতীয় ক্রমের ($m=2$) এবং A_3,B_3 শিখর দুটিকে তৃতীয় ক্রমের ($m = 3$) প্রতিফলন হিসাবে ধরা হয়, তাহলে ব্র্যাগের সমীকরণ থেকে A_1, A_2, A_3 শিখরগুলির জন্য পাওয়া যায়,

$$2d\sin\theta_1 = \lambda$$

$$2d\sin\theta_2 = 2\lambda$$

$$2d\sin\theta_3 = 3\lambda$$

বা, $$\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 = 1:2:3 \qquad \text{...... (9.48)}$$

অনুরূপে B_1, B_2, B_3 শিখরগুলির জন্য আমরা পাই

$$\sin\theta_1' : \sin\theta_2' : \sin\theta_3' = 1:2:3 \qquad \text{...... (9.49)}$$

(এখানে লক্ষণীয় যে কেলাসটি অপরিবর্তিত থাকায় d-র মান ধ্রুবক ধরা হয়েছে।)

সুতরাং এখানে দেখা যাচ্ছে যে এই পরীক্ষার দ্বারা ব্র্যাগের সূত্র প্রমাণিত হয়।

যেহেতু ব্র্যাগের এই পরীক্ষা থেকে θ, θ´ এবং m-এর মান নির্ণয় করা যায় এবং NaCl কেলাসের d-র মান গাণিতিকভাবে নির্ণয় করা যায়, সুতরাং ব্র্যাগের সমীকরণ দ্বারা আমরা λ বা λ´ -র মান পাই।

অপরপক্ষে ব্র্যাগের এই সূত্র দ্বারা কোনও এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মান নির্নয় করার পর ঐ রশ্মি ব্যবহার করে NaCl-এর স্থানে অন্য কোনও অজানা কেলাস বসিয়ে আমরা ঐ কেলাসের d নির্ণয় করতে পারি।

ব্র্যাগের এই পরীক্ষায় যে নিরবচ্ছিন্ন আয়ন প্রবাহ পাওয়া যায় তা থেকে প্রমাণিত হয় যে কুলিজ নল থেকে বিচ্ছিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মির সঙ্গে একটি নিরবচ্ছিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মিও নির্গত হয়। নিরবচ্ছিন্ন এক্স-রশ্মি উৎসের (লক্ষ্যের) প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। কিন্তু বিচ্ছিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এক্স-রশ্মি লক্ষ্যের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট উপাদানের (বা পদার্থের) জন্য একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। কিন্তু এই উপাদান পরিবর্তিত হলে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যও পরিবর্তিত হয়। এরূপ বিচ্ছিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট এক্স-রশ্মিকে ঐ উপাদান বা পদার্থের **বৈশিষ্ট্যমূলক** (characteristic) এক্স-রশ্মি বলে।

এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের জন্য NaCl কেলাস ব্যবহার করার একটি অসুবিধা হল এই যে এটি বায়ু থেকে জল শোষণ করে সহজেই গলে যায়। সেজন্য আজকাল সাধারণত NaCl কেলাসের পরিবর্তে ক্যালসাইট ($CaCO_3$) কেলাস ব্যবহার করা হয়। এই কেলাসের সুবিধা হল যে, এটি বড় আকারে এক কেলাসরূপে পাওয়া যায় এবং এটি বায়ুর জল শোষণ করে না। তবে এর কোষের আকার ষড়ভুজাকার। এর সমান্তরাল তলগুলির মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব $d = 3.02945\text{Å}$।

9.9.7 ব্র্যাগের সূত্রের সাহায্যে কেলাসের গঠন নির্ণয় (Determination of Crystal Structure by Bragg's Law)

ব্র্যাগের সূত্রের সাহায্যে কেলাসের গঠন নির্ণয় করা যায়। এ বিষয়ে ব্র্যাগের নিজের পরীক্ষার ফল আলোচনা করা যেতে পারে। ব্র্যাগের পরীক্ষায় একটি KCl কেলাসের তিন দিকের তলে একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি আপতনের ফলে দেখা গেল যে, এই তলগুলির সাপেক্ষে তির্যক কোণের মান 5.22°, 7.30° এবং 9.05° হলে প্রথম ক্রমের সর্বোচ্চ আয়ন প্রবাহ পাওয়া যায়।

সুতরাং আমরা ব্র্যাগের সূত্র থেকে পাই

$$\lambda = 2d_1 \sin 5.22° = 2d_2 \sin 7.30° = 2d_3 \sin 9.05°$$

বা, $$\frac{1}{d_1} : \frac{1}{d_2} : \frac{1}{d_3} = \sin 5.22° \ : \ \sin 7.30° \ : \ \sin 9.05°$$

$$= 0.091 \ : \ 0.127 \ : \ 0.157$$

$$= 1 \ : \ 1.4 \ : \ 1.73 \qquad \ldots\ldots (9.50)$$

ব্যাগের পরীক্ষার এই ফল থেকে প্রমাণ হয় যে KCl কেলাসের কোষ সরল ঘনাকার। এই পদ্ধতিতে আমরা বিভিন্ন কেলাসের গঠন বিশ্লেষণ করতে পারি।

9.9.8 চূর্ণ বা পাউডার পদ্ধতিতে কেলাসের গঠন নির্ণয় (Determination of Crystal Structure by Powder Method)

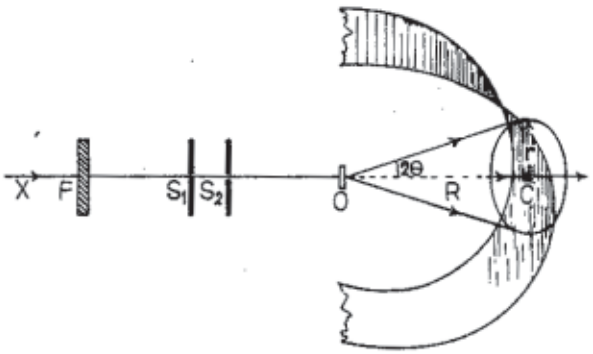
ব্র্যাগের পদ্ধতি দ্বারা কেলাসের গঠন নির্ণয়ের জন্য নমুনা কেলাসটি ত্রুটিহীন বড় আকারের এককেলাস হওয়া আবশ্যক। কিন্তু কেবল অল্প কয়েকটি পদার্থেরই এরূপ কেলাস পাওয়া যায়। প্রকৃতিতে অধিকাংশ পদার্থ বিশেষত ধাতু ও ধাতুসংকরগুলি খুব সূক্ষ্ম আকারের অসংখ্য কেলাসের সমষ্টি। ডিবাই ও শেরের (Debye and Scherrer) 1916 খ্রীষ্টাব্দে যেকোনও কেলাসের চূর্ণের সাহায্যে ঐ কেলাসের গঠন নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। এই পদ্ধতিকে **ডিবাই-শেরের পদ্ধতি বা চূর্ণ কেলাস পদ্ধতি** বলে। এই পদ্ধতিতে সূক্ষ্ম কেলাসগুলির আকার, আয়তন, গঠন ত্রুটি এবং এদের মধ্যে কোনও অপদ্রব্যের উপস্থিতি বা কোনও বিশেষ দিক্‌স্থিতি (orientation) প্রভৃতি থাকলে সে সম্বন্ধে জানা যায়।

এই পদ্ধতিতে একটি সরু তারের উপর একটি পরীক্ষাধীন পদার্থের অতি সূক্ষ্ম চূর্ণ মাখানো হয়। কুলিজ নল থেকে প্রাপ্ত এক্স-রশ্মিকে (x) এমন একটি পরিস্রাবকের (F) (Filter) ভিতর দিয়ে পাঠানো হয়, যা

একটি বিশেষ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের রশ্মি ছাড়া বাকী সব রশ্মিকে শোষণ করে নেয়। এক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অশোধিত এই রশ্মিগুচ্ছটি এর পর S_1, S_2 দুটি সিসার পাতের সরু ছিদ্রের মধ্য দিয়ে যায় এবং কেলাসচূর্ণ মাখানো ঐ তারের O বিন্দুতে আপতিত হয় (চিত্র 9.25)। চূর্ণের মধ্যে অসংখ্য সূক্ষ্ম কেলাসগুলির তল বিভিন্ন দিকে ছড়িয়ে থাকে। সুতরাং এদের মধ্যে এমন কিছু কেলাস কণা থাকে, যেগুলির তলে

চিত্র 9.25 : কেলাস চূর্ণের দ্বারা এক্স-রশ্মির ব্যবর্তন শঙ্কুর চিত্রগ্রহণ।

এক্স-রশ্মি θ তির্যক কোণে আপতিত হয়ে ব্র্যাগের সূত্র অনুযায়ী θ তির্যক কোণে প্রতিফলিত হয়। সুতরাং আপতন রশ্মির দিকের সঙ্গে এই প্রতিফলিত রশ্মিগুলির চ্যুতি 2θ। ত্রিমাত্রিক দেশে এই রশ্মিগুলির দ্বারা একটি 2θ অর্ধশীর্ষ কোণের শঙ্কু গঠিত হয়, যা চিত্রে দেখানো হয়েছে।



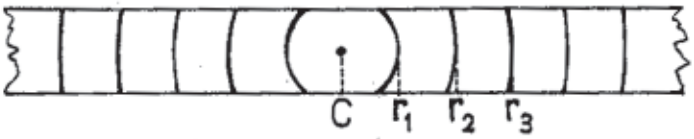
প্রতিফলিত রশ্মিগুলির অবস্থান জানার জন্য θ বিন্দুকে কেন্দ্র করে R দূরত্বে বৃত্তাকারে একটি ফটোগ্রাফির ফিল্ম রাখা হয়। ফিল্মটির তল আপতন রশ্মির সঙ্গে লম্বভাবে থাকে। আপতন রশ্মি যাতে ফিল্মের উপর না পড়ে সেজন্য ফিল্মের দুটি বিপরীত দিকে যথাস্থানে দুটি ছিদ্র রাখা হয়। কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মির শঙ্কুটি ফিল্মকে ছেদ করে এবং তার দ্বারা দুটি কালো বৃত্তচাপ গঠিত হয়। এই দুটি বৃত্তচাপ থেকে বৃত্তের ব্যাসার্ধ r পাওয়া যায়। চিত্র অনুযায়ী

$$\frac{2r}{2\pi R} = \frac{4\theta}{2\pi}$$

বা, $$\theta = \frac{r}{2R} \qquad \text{...... (9.51)}$$

এখন এই θ-র মান দুটি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। প্রথমত প্রতিফলন প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয়, ইত্যাদি বিভিন্ন ক্রমের ($m = 1, 2, 3, ...$) হতে পারে। তার জন্য θ-র মান বিভিন্ন হবে। দ্বিতীয়ত চূর্ণীকৃত কেলাসকণাগুলির তল বিভিন্ন দিকে ঘুরে থাকতে পারে। সেজন্য ত্রিমাত্রিক দেশে কেলাসকণাগুলির অভ্যন্তরীণ তলদূরত্ব d_1, d_2, d_3-র জন্য θ-র মান পরিবর্তিত হবে। সুতরাং ফটোগ্রাফি ফিল্মের বিভিন্নস্থানে r_1, r_2, r_3... ইত্যাদি ব্যাসার্ধযুক্ত বহু জোড়া জোড়া বৃত্তচাপ পাওয়া যাবে (চিত্র 9.26) এবং এগুলি থেকে উপরের সমীকরণ দ্বারা $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ প্রভৃতি প্রতিফলন কোণগুলি নির্ণয় করা যাবে। এই কোণগুলি থেকে

চিত্র 9.26 : কেলাস চূর্ণের দ্বারা ফটোগ্র্যাফিক ফিল্মের উপর গঠিত বিভিন্ন শঙ্কুর চিত্রাংশ।



ব্র্যাগের সূত্র দ্বারা আমরা $\frac{1}{d_1} : \frac{1}{d_2} : \frac{1}{d_3}$ নির্ণয় করতে পারি এবং কেলাসের গঠন জানতে পারি। যদি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ-র মান জানা থাকে, তবে ব্র্যাগের সূত্র দ্বারা d_1, d_2, d_3-র মান জানা যায়। এ দ্বারা একটি কেলাসকোষের আয়তন নির্ণয় করা যায়। যদি কেলাস কণাগুলির বিশেষ কোনরূপ অভিমুখীকরণ বা গঠন ত্রুটি থাকে, তবে $\frac{1}{d_1} : \frac{1}{d_2} : \frac{1}{d_3}$ অনুপাতগুলির মান পরিবর্তিত হবে এবং তার দ্বারা ঐ অভিমুখীকরণ বা গঠনত্রুটি নির্ণয় করা যাবে।

9.10 সারাংশ (Summary)

সাধারণ উষ্ণতায় বহু কঠিন পদার্থকে কেলাসিত অবস্থায় পাওয়া যায়। কেলাসগুলি বিভিন্ন সমতল দ্বারা আবদ্ধ ও নির্দিষ্ট আকারযুক্ত হয়। এজন্য এগুলিকে **নিয়তাকার বস্তু** বলে। চিনি, লবণ, বিভিন্ন খনিজ ও ধাতুগুলি এরূপ নিয়তাকার বস্তু। অপরপক্ষে রবার, প্লাষ্টিক প্রভৃতি এবং তরল ও গ্যাসীয় পদার্থগুলির সাধারণত কোনও আকার থাকে না। এজন্য এগুলিকে **অনিয়তাকার বস্তু** বলে। কয়েকটি তরলকে কেলাসিত অবস্থায় পাওয়া যায়। এই পদার্থগুলিকে তরল কেলাস বলে। কাচ কঠিন হলেও এর ধর্মগুলি তরলের অনুরূপ। এজন্য এটিকে **অতি শীতলীভূত তরল** বলে।

একটি কেলাসের ক্ষুদ্রতম অংশকে কেলাস কোষ বলে। কেলাসের মতোই এর প্রত্যেক কোষ বিভিন্ন সমতল দ্বারা আবদ্ধ এবং নির্দিষ্ট আকারযুক্ত। কতকগুলি কেলাস কোষ একই নিয়মে পরপর সজ্জিত হয়ে একটি **কেলাস দানা** গঠন করে। প্রত্যেক কেলাস দানার একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে এবং এই অভিমুখের উপর এর যান্ত্রিক, তড়িৎ, চৌম্বক প্রভৃতি ভৌত ধর্মগুলি নির্ভর করে। এজন্য এই কেলাস দানাগুলিকে **বিষমদৈশিক** পদার্থ বলে। অপরপক্ষে অনিয়তাকার বস্তুগুলির কোনও অভিমুখ নেই এবং এদের বিভিন্ন ভৌত ধর্ম সকল দিকেই অভিন্ন। এরূপ পদার্থগুলিকে **সমদৈশিক** পদার্থ বলে।

সাধারণত বহু সংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কেলাস দানা পরস্পর যুক্ত হয়ে একটি বড় কেলাস গঠন করে। এই কেলাসকে এজন্য **বহু-কেলাস** বলে। বহু-কেলাসের মধ্যে কেলাস দানাগুলির অভিমুখ বিভিন্নভাবে ঘুরে থাকে। এজন্য বহুকেলাসের সাধারণত বিষমদৈশিক ধর্ম দেখা যায় না। এই কেলাসগুলির আকারও নির্দিষ্ট থাকে না। অপরপক্ষে একটি কেলাস এমনভাবে গঠন করা যায়, যার মধ্যে কেলাস দানাগুলি একই অভিমুখে অভিন্নভাবে পরস্পর যুক্ত হয়। ফলে সমগ্র কেলাসটিকেই কেলাসের একটি মাত্র দানা হিসেবে ভাবা যায়। এরূপ কেলাসকে **এককেলাস** বলে।

একটি কেলাসের মধ্যে পরমাণু বা আয়নগুলি যেরূপভাবে বিভিন্ন বিন্দুতে সজ্জিত থাকে, ঠিক সেরূপভাবে অসংখ্য বিন্দুর একটি জ্যামিতিক বিন্যাস কল্পনা করা হলে, তাকে একটি ল্যাটিস বলে। কেলাস ত্রিমাত্রিক হলেও দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক উভয় প্রকার ল্যাটিসই কল্পনা করা যায়। একটি ল্যাটিসের বিন্দুগুলি এমনভাবে সজ্জিত থাকে যে এর যেকোনও একটি বিন্দুর চারপাশে অন্যান্য বিন্দুগুলির যেরূপ বিন্যাস থাকে, ল্যাটিসের অন্য যেকোনও স্থানে যেকোনও বিন্দুর চারপাশেও ঠিক ঐ প্রকার অভিন্ন বিন্যাসই পাওয়া যায়।

ল্যাটিসের সন্নিহিত দুটি বিন্দুকে যুক্ত করে যে ভেক্টর পাওয়া যায়, তাকে **ভিত্তি ভেক্টর** বলে। ভিত্তি ভেক্টরের মানকে **ল্যাটিস ধ্রুবক** বলা হয়। দ্বিমাত্রিক দেশে $\vec{a}, \vec{b}$ দুটি অসমান্তরাল ভিত্তি ভেক্টর দ্বারা যে ক্ষুদ্রতম সামান্তরিক অঙ্কন করা যায়, তাকে একটি **দ্বিমাত্রিক সরল বা মৌলিক ল্যাটিস কোষ** বলে। এই কোষের দুটি বাহুর দৈর্ঘ্য a ও b। যদি ল্যাটিস কোষটি মৌলিক কোষের চেয়ে বড় হয় এবং এর চারটি কৌণিক ল্যাটিস বিন্দু ছাড়াও দুটি কর্ণের ছেদ বিন্দুতে আরও একটি ল্যাটিস বিন্দু থাকে, তবে ঐ কোষকে **কেন্দ্রিক** কোষ বলে।

ত্রিমাত্রিক দেশে $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ তিনটি ভিত্তি ভেক্টর এমনভাবে অঙ্কন করা যায় যাতে এগুলি একই সমতলে না থাকে। এই ভেক্টরগুলির মান a, b, c-কে তিনটি ল্যাটিস ধ্রুবক বলে। যদি $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ তিনটি ভিত্তি ভেক্টর দ্বারা তিন জোড়া সামান্তরিক অঙ্কন করা হয়, তবে এই তিনজোড়া সামান্তরিক যে দেশ বা স্থানকে আবদ্ধ করে, তাকে একটি **ত্রিমাত্রিক মৌলিক বা সরল কোষ** বলে। এই কোষের আয়তন ন্যূনতম ৪টি কৌণিক বিন্দু ৪টি নিকটতম ল্যাটিস **বিন্দু দ্বারা গঠিত** এবং বাহুগুলির দৈর্ঘ্য a, b, c এবং বিপরীত তলগুলি পরস্পরের সমান্তরাল। **মৌলিক** কোষের চেয়ে বৃহত্তর এবং আটের চেয়ে বেশী বিন্দুযুক্ত ল্যাটিস কোষকে **প্রচলিত কোষ** বলে। **প্রচলিত কোষ** বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক এই তিন প্রকার হয়। মৌলিক ও প্রচলিত কোষের আকার a, b, c বাহুগুলির মধ্যে সম্বন্ধ ও $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ ভেক্টরগুলির মধ্যে কোণগুলির মানের উপর নির্ভর করে এবং সে অনুযায়ী এদের নামকরণ করা হয়।

কেলাস ও ল্যাটিসগুলির কতকগুলি প্রতিসাম্য ধর্ম আছে। যে রূপান্তর দ্বারা কেলাস বা ল্যাটিসের রূপ অপরিবর্তিত থাকে, তাকে প্রতিসাম্য বলে। এই রূপান্তরগুলি হল চলন, ঘূর্ণন, প্রতিফলন ও উৎক্রম। এর মধ্যে চলন কেলাসের ক্ষেত্রে এবং উৎক্রম দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় না। অন্যান্য প্রতিসাম্যগুলি কেলাস ও ল্যাটিস উভয়ের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

ব্র্যাভাইস ল্যাটিসের প্রতিসাম্য ধর্মগুলির ভিত্তিতে মোট পাঁচ প্রকার দ্বিমাত্রিক ও চৌদ্দ প্রকার ত্রিমাত্রিক ল্যাটিস কোষ নির্ণয় করেন। এগুলিকে **ব্র্যাভাইস ল্যাটিস কোষ** এবং এই কোষ দ্বারা গঠিত ল্যাটিসকে **ব্র্যাভাইস ল্যাটিস** বলে। ব্র্যাভাইস কোষগুলির নাম ও বৈশিষ্ট্য এই এককে বর্ণিত আছে।

একটি কেলাস কোষের ক্ষুদ্রতম উপাদানকে **ভিত্তি** বলে। একটি বা একাধিক পরমাণু, আয়ন বা অণুর দ্বারা এই ভিত্তি গঠিত হয়। ব্র্যাভাইস ল্যাটিসের প্রত্যেক বিন্দুতে কোনও পদার্থের ভিত্তি যুক্ত করা হলে ঐ পদার্থের কেলাসের গঠন পাওয়া যায়। এক পরমাণুক ভিত্তির দ্বারা গঠিত কেলাসের গঠনই সবচেয়ে সরল। অধিকাংশ ধাতুর কেলাস এরূপ। NaCl ও অনুরূপ যৌগগুলি দ্বিপরমাণুক ভিত্তির দ্বারা গঠিত। এরূপ কেলাসগুলিকে দুটি অভিন্ন ল্যাটিসের একটির ভিতর অন্যটির আংশিক অনুপ্রবেশ হিসেবে ধরা যায়। ভিত্তি তিন বা ততোধিক পরমাণু বা আয়ন দ্বারা গঠিত হলে কেলাসের গঠন জটিলতর হয়ে পড়ে। সেজন্য এখানে তা আলোচ্য নয়।

কোষের মধ্যে পরমাণু বা আয়নগুলিকে r ব্যাসার্ধযুক্ত গোলক হিসাবে কল্পনা করা যায়। এগুলি পরস্পর পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকে। যদি পরমাণু বা আয়নগুলির মধ্যে ফাঁক ন্যূনতম হয়, তবে কোষটিকে ঘন-

সংবদ্ধ বলে। কিন্তু ঐ ফাঁক ন্যূনতম না হলে কোষটিকে **শিথিল বা ঢিলা-সংবদ্ধ** বলে। এক পরমাণুক ভিত্তির ঘন ও ঢিলা-সংবদ্ধ কোষগুলি সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ষড়্ভুজাকার হয়। এই বিভিন্ন প্রকার কোষগুলির বিভিন্ন ধর্ম এককে আলোচিত হয়েছে।

ল্যাটিস কোষগুলির মধ্য দিয়ে বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন তল অঙ্কন করা যায়। এই তলগুলি মিলার সূচক দ্বারা নির্দেশ করা যায়। কোষের আকার ও দুটি তলের মিলার সূচক জানা থাকলে এদের মধ্যে দূরত্ব গাণিতিকভাবে নির্ণয় করা যায়।

এক্স-রশ্মি আবিষ্কারের পর লাউ অনুমান করেন যে, যদি এই রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ হয়, তবে একটি কেলাসের উপর এই রশ্মি আপতিত হলে কেলাসের অভ্যন্তরের পরমাণুগুলি ত্রিমাত্রিক গ্রেটিং-এর মতো এই রশ্মির ব্যবর্তন ঘটাবে। ফ্রিডরিশ ও নিপ্পিং-এর পরীক্ষা দ্বারা লাউ-এর অনুমান সঠিক প্রমাণিত হয়। এরপর হেনরি ব্র্যাগ ও তাঁর পুত্র লরেন্স ব্র্যাগের পরীক্ষায় প্রমাণিত হয় যে, যদি এক্স-রশ্মি কেলাসের উপরিতলের সঙ্গে একটি তির্যক কোণে আপতিত হয়, তবে কেলাসের অভ্যন্তরে ব্যবর্তনের ফলে ঐ রশ্মির একাংশ ঐ একই তির্যক কোণে কেলাসের উপরিতল থেকে প্রতিফলিত হয় এবং এভাবে বহুসংখ্যক প্রতিফলিত রশ্মি পরস্পর মিলিত হয়ে গঠনমূলক বা বিনাশমূলক ব্যতিচার ঘটায়। লরেন্স ব্র্যাগ গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত থেকে একটি সমীকরণ পান। সেটি হল ঃ

$$2d\sin\theta = m\lambda$$

এই সমীকরণকে **ব্র্যাগের সূত্র** বলে। এই সূত্রের দ্বারা কেলাসের গঠন পরীক্ষামূলকভাবে নির্ণয়ের জন্য হেনরি ও লরেন্স ব্র্যাগ তাঁদের উদ্ভাবিত এক্স-রশ্মির বর্ণালিমাপক যন্ত্র ব্যবহার করেন।

ব্র্যাগের যন্ত্র দ্বারা একটি বড় আকারের কেলাসের গঠন নির্ণয় করা যায়। কিন্তু কোনও কেলাস যদি পাউডার অর্থাৎ চূর্ণ হিসেবে থাকে, তবে এই চূর্ণের সূক্ষ্ম কেলাসগুলির গঠন নির্ণয়ের জন্য **ব্র্যাগের যন্ত্রের** পরিবর্তে চূর্ণ পদ্ধতির যন্ত্র ব্যবহার করতে হয়।

9.11 প্রশ্ন ও উত্তর

9.11.1 সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্নাবলি

1. কেলাস কাকে বলে ? আপনার পরিচিত দুটি কেলাসের উদাহরণ দিন।
2. তরল কেলাস কী ?
3. একটি গ্যাসকে সমসত্ত্ব কিন্তু কটি কেলাসকে অসমসত্ত্ব বলা হয় কেন ?
4. কেলাস কোষ ও কেলাস দানার মধ্যে পার্থক্য কী ?
5. কেলাসীয় ভিত্তি কাকে বলে ?
6. ল্যাটিস, ভিত্তি ও কেলাসের গঠনের সম্বন্ধ কী ?
7. দ্বিমাত্রিক তির্যক ল্যাটিস কাকে বলে ?
8. দ্বিমাত্রিক কেন্দ্রিক কোষ কাকে বলে ?

9. কেলাসের ক্ষেত্রে চলন প্রতিসাম্য কি প্রযোজ্য ?
10. দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে কি উৎক্রম প্রতিসাম্য প্রযোজ্য ?
11. দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস কোষ কয়টি ?
12. দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস কোষগুলির মধ্যে কয়টি মৌলিক ? এর প্রচলিত কোষগুলির নাম কী ?
13. দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইস কোষগুলির নাম লিখুন।
14. দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ষড়্ভুজাকার কোষটি কোন্ মৌলিক কোষ দ্বারা গঠিত ?
15. ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস কত প্রকার ?
16. ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসের মোট কত প্রকার কোষ আছে ?
17. ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসগুলির নাম লিখুন।
18. ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিসের কী কী প্রচলিত কোষ হয় ?
19. সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক ও তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের দুটি করে উদাহরণ দিন।
20. ভূমিশীর্ষ-কেন্দ্রিক আয়তক্ষেত্রাকার কোষের একটি উদাহরণ দিন।
21. ত্রিমাত্রিক ষড়্ভুজাকার কোষের তিনটি উদাহরণ দিন।
22. একটি ল্যাটিসের অবস্থান ভেক্টরের সমীকরণ হল,

    $\vec{r} = 5\vec{a} - 15\vec{b} + 10\vec{c}$

    এই ভেক্টরের দিক সূচকগুলি কত ?
23. YZ সমতলের সমান্তরাল কোনও তলের মিলার সূচক কত ?
24. একটি সমতল XYZ অক্ষগুলিকে 3, –2 ও –6 একক দূরত্বে ছেদ করে। সমতলটির মিলার সূচক কত ?
25. একটি ঘনকাকার কোষের দুটি সমান্তরাল তলের মিলার সূচক $(\bar{1}\ 02)$। যদি ঘনকটির বাহুগুলির দৈর্ঘ্য 5Å হয়, তবে সমান্তরাল তলদুটির মধ্যের দূরত্ব কত ?
26. একটি ঘনাকার ল্যাটিস সরল না তল-কেন্দ্রিক না বস্তু-কেন্দ্রিক, তা কীভাবে বোঝা যায় ?
27. ঘন-সংবদ্ধ ও ঢিলা-সংবদ্ধ ল্যাটিস কোষ বলতে কী বোঝায় ?
28. ঘন-সংবদ্ধ কোষ কত প্রকার ও কী কী ?
29. ঢিলা-সংবদ্ধ কোষ কত প্রকার ও কী কী ?
30. একপরমাণুক ভিত্তির সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক ও তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ও ষড়্ভুজাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা কত ?
31. সমন্বয় সংখ্যা কাকে বলে ? একপরমাণুক সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ষড়্ভুজাকার কোষের সমন্বয় সংখ্যাগুলি কত ?
32. একটি একপরমাণুক বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের ল্যাটিস ধ্রুবক 3Å। এই কোষের পরমাণুর ব্যাসার্ধ কত ?

33. একটি একপরমাণুক তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের পরমাণুর ব্যাসার্ধ 1.12Å। কোষটির ল্যাটিস ধ্রুবক কত ?
34. সংবন্ধি অনুপাত কাকে বলে ?
35. নিম্নলিখিত একপরমাণুক ঘনাকার কোষগুলির সংবন্ধি অনুপাতের মান লিখুন —
সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক, ষড়ভুজাকার।
36. ঘরের উষ্ণতায় একপরমাণুক সরল ঘনাকার কোষের একটিমাত্র উদাহরণ আছে। সেটি কী ?
37. একপরমাণুক বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের তিনটি উদাহরণ দিন।
38. একপরমাণুক তল-কেন্দ্রিক কোষের কয়েকটি উদাহরণ দিন।
39. একপরমাণুক ষড়ভুজাকার কোষের তিনটি উদাহরণ দিন।
40. সোডিয়াম ক্লোরাইডের দুটি বিপরীত ধর্মীয় আয়নের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব কত ?
41. সোডিয়াম ক্লোরাইডের কেলাসের বিপরীতধর্মীয় ও সমধর্মীয় আয়নগুলির সমন্বয় সংখ্যা কত ?
42. সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের অনুরূপ গঠনযুক্ত 5টি যৌগের নাম উল্লেখ করুন।
43. সিসিয়াম ক্লোরাইডের দুটি নিকটতম আয়নের মধ্যে দূরত্ব এবং প্রত্যেক আয়নের সমন্বয় সংখ্যা কত ?
44. হীরের ঘনাকার কোষের একটি কার্বন পরমাণুর সমন্বয় সংখ্যা ও দুটি নিকটতম কার্বন পরমাণুর মধ্যে দূরত্ব কত ?
45. fcc কোষের সংবন্ধি অনুপাত সাধারণত 0.74। কিন্তু হীরের ক্ষেত্রে এই অনুপাত মাত্র 0.34। এর কারণ কী ?
46. লাউ-এর তত্ত্বটি কী ?
47. লাউ-এর নকশা কাকে বলে ?
48. ফ্রিডরিশ ও নিপ্পিং-এর পরীক্ষার দ্বারা কী প্রমাণিত হয় ?
49. ব্র্যাগের সূত্রটি লিখুন এবং ব্যবহৃত চিহ্নগুলির অর্থ বলুন।
50. ব্র্যাগের পদ্ধতি সকল কেলাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় না কেন ?

9.11.2 বিস্তৃত উত্তরের প্রশ্নাবলি

1. নিয়তাকার ও অনিয়তাকার বস্তুর মধ্যে পার্থক্য কী ? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করুন।
2. এককেলাস ও বহুকেলাস কীরূপে গঠিত হয়, তা আলোচনা করুন।
3. সোডিয়াম ক্লোরাইডের মৌলিক ও প্রচলিত কোষের পার্থক্য চিত্রসহ ব্যাখ্যা করুন।
4. কেলাসীয় ল্যাটিস কাকে বলে ? এই ল্যাটিসের সরল ও প্রচলিত কোষ কাকে বলে ?
5. ভিগনার-সাইৎজ পদ্ধতিতে কীভাবে মৌলিক কোষ গঠন করা হয়, চিত্রসহ তা ব্যাখ্যা করুন।
6. ল্যাটিসের প্রতিসাম্য কাকে বলে ? এই প্রতিসাম্যগুলি কী কী ? চিত্র সহযোগে চলন প্রতিসাম্য ব্যাখ্যা করুন।

7. ঘূর্ণন প্রতিসাম্য কাকে বলে ? চিত্রসহ ঘূর্ণন প্রতিসাম্য ব্যাখ্যা করুন।
8. দর্পণ প্রতিসাম্য কাকে বলে ? চিত্রসহ ব্যাখ্যা করুন।
9. উৎক্রম প্রতিসাম্য বলতে কী বোঝায় ? দ্বিমাত্রিক ল্যাটিসের ক্ষেত্রে এটি প্রযোজ্য হয় না কেন ?
10. ব্র্যাভাইস ল্যাটিস কাকে বলে ? দ্বিমাত্রিক ব্র্যাভাইজ কোষগুলি বর্ণনা করুন।
11. ত্রিমাত্রিক ব্র্যাভাইস ল্যাটিস কত প্রকার ? দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস দ্বারা এই ল্যাটিসগুলি কীভাবে গঠন করা যায়, বর্ণনা করুন।
12. সমকোণী আয়তক্ষেত্রাকার কোষটির বাহু ও কোণগুলির সম্বন্ধ কী ? এই কোষটি কত প্রকার হয় ? এই প্রকারগুলি বর্ণনা করুন।
13. ষড়্ভুজাকার ও রম্বাসাকার ল্যাটিস কোষদুটির তুলনা করুন।
14. এক সামন্তরিকাকার ও ত্রিসামান্তরিকার ল্যাটিস দুটির তুলনা করুন।
15. ঘনকাকার ও চতুর্ভুজাকার কোষদুটির মধ্যে সাদৃশ্য ও পার্থক্য কী কী তা ব্যাখ্যা করুন।
16. একটি ভেক্টরের দিক সূচকগুলির নির্ণয়ের পদ্ধতি ব্যাখ্যা করুন।
17. মিলার সূচক কাকে বলে ? এই সূচক কী কাজে লাগে ? এই সূচক নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা করুন।
18. মিলার সূচকের তিনটি প্রধান বৈশিষ্ট্য উল্লেখ করুন।
19. একটি সরল ঘনাকার ল্যাটিসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন তলের মধ্যে দূরত্বের অনুপাত নির্ণয় করুন।
20. একটি তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিসের বিভিন্ন তলগুলির দূরত্বের অনুপাত নির্ণয় করুন।
21. একটি বস্তু-কেন্দ্রিক ঘনাকার ল্যাটিসের বিভিন্ন তলগুলির মধ্যে দূরত্বের অনুপাত নির্ণয় করুন।
22. ঘন-সংবন্ধ একপরমাণুক কেলাসের গঠন কীভাবে কতকগুলি মার্বেলের পরীক্ষার দ্বারা বোঝানো যায় ?
23. একপরমাণুক ভিত্তির সরল ও ষড়্ভুজাকার কেলাসীয় ঘনাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় করুন।
24. একপরমাণুক ভিত্তির বস্তু-কেন্দ্রিক ও তল-কেন্দ্রিক কেলাসীয় ঘনাকার কোষে কার্যকর পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় করুন।
25. সমন্বয় সংখ্যা বলতে কী বোঝায় ? একপরমাণুক বিভিন্ন ঘনাকার কোষগুলির সমন্বয় সংখ্যা গুলি নির্ণয় করুন।
26. একপরমাণুক ভিত্তির কোষের ক্ষেত্রে প্রমাণ করুন যে সরল ও ষড়্ভুজাকার ঘনাকার কোষের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ল্যাটিস ধ্রুবকের অর্ধেক।
27. একপরমাণুক ভিত্তির বস্তু-কেন্দ্রিক ও তল-কেন্দ্রিক ঘনাকার কোষের ব্যাসার্ধের মান ল্যাটিস ধ্রুবকের সাপেক্ষে কত হয় চিত্রের সাহায্যে নির্ণয় করুন।
28. সংবন্ধি অনুপাতের সংজ্ঞা দিন। নিম্নলিখিত একপরমাণুক ঘনাকার কোষগুলির সংবন্ধি অনুপাত নির্ণয় করুন —

    সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ষড়্ভুজাকার।

29. একটি সরল একপরমাণুক ঘনাকার কোষের ল্যাটিস ধ্রুবকের মান পারমাণবিক গুরুত্ব ও কেলাসের ঘনত্বের সাপেক্ষে নির্ণয় করুন।

30. একটি বস্তু-কেন্দ্রিক একপরমাণুক ঘনাকার কোষের ল্যাটিস ধ্রুবকের মানের রাশিমালা নির্ণয় করুন।

31. একটি তল-কেন্দ্রিক একপরমাণুক ঘনাকার কোষের ল্যাটিস ধ্রুবকের মানের রাশিমালা নির্ণয় করুন।

32. একটি ষড়্ভুজাকার একপরমাণুক ঘনাকার কোষের ল্যাটিস ধ্রুবকের মানের রাশিমালা নির্ণয় করুন।

33. হিরে কার্বনের একটি বহুরূপতা। এর একপরমাণুক ষড়্ভুজাকার কোষের ঘনত্ব 3.52 গ্রাম/সিসি হলে কোষটির ল্যাটিস ধ্রুবকের মান কত ? কার্বনের পারমাণবিক ওজন $= 12$ এবং অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা $= 6.02 \times 10^{23}$ প্রতি গ্রাম-মোল।

34. 'সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের গঠন দুটি তল-কেন্দ্রিক ল্যাটিস কোষের একটির মধ্যে অন্যটির অনুপ্রবেশ হিসেবে ব্যাখ্যা করা যায়'—উক্তিটির সত্যতা ব্যাখ্যা করুন।

35. সিসিয়াম ক্লোরাইডের কেলাসের গঠন চিত্রসহযোগে ব্যাখ্যা করুন। এই কেলাসের অনুরূপ গঠনের তিনটি যৌগের উদাহরণ দিন।

36. চিত্রসহযোগে হিরের কেলাসের গঠন ব্যাখ্যা করুন। অনুরূপ গঠনের তিনটি যৌগের নাম উল্লেখ করুন।

37. এক্স-রশ্মির ব্যবর্তন সম্পর্কীত লাউ-এর তত্ত্ব কী ? এই তত্ত্ব যে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা হয়েছিল, তা চিত্রসহ বর্ণনা করুন।

38. এক্স-রশ্মির প্রতিফলন বিষয়ে ব্র্যাগের সূত্রটি গাণিতিকভাবে প্রতিষ্ঠা করুন।

39. স্টেনস্ট্রম ব্র্যাগের সূত্রের যে সংশোধন করেন, তা বর্ণনা করুন।

40. ব্র্যাগের এক্স-রশ্মি বর্ণালিমাপক যন্ত্রটি চিত্রসহ ব্যাখ্যা করুন।

41. ব্র্যাগের এক্স-রশ্মি বর্ণালিমাপক যন্ত্রটির সাহায্যে কীরূপে এক্সরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং ল্যাটিস ধ্রুবক নির্ণয় করা হয়, তা চিত্রসহ বর্ণনা করুন।

42. ব্র্যাগের সূত্রের সাহায্যে কীরূপে কেলাসের গঠন নির্ণয় করা যায়, তা ব্যাখ্যা করুন।

43. চূর্ণ পদ্ধতিতে কীভাবে কেলাসের গঠন নির্ণয় করা হয়, তা চিত্রসহ বর্ণনা করুন।

44. আয়ন-প্রকোষ্ঠ কাকে বলে ? চিত্রসহ এর কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন।

45. নিরবচ্ছিন্ন ও বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রশ্মির মধ্যে পার্থক্য কী ? একটি কেলাসের সাহায্যে কীরূপে একটি বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মিকে পৃথক করা যায় ?

NaCl কেলাসের দুটি সমান্তরাল তলের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব 2.82Å। ব্র্যাগ বর্ণালিমাপকের সাহায্যে এই তল থেকে প্রথম ক্রমের প্রতিফলিত রশ্মির তির্যক কোণ 5.22°। বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রশ্মিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

(9.11.1) অনুচ্ছেদের প্রশ্নাবলির উত্তর বা উত্তরের ইঙ্গিত

1. (9.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
2. ঐ
3. ঐ
4. ঐ
5. (9.3.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
6. (9.2) সমীকরণ দেখুন।
7. (9.3.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
8. ঐ
9. না
10. না
11. 5টি
12. 3টি। কেন্দ্রিক আয়তক্ষেত্রাকার ও ষড়্ভুজাকার।
13. তির্যক, আয়তক্ষেত্রাকার, কেন্দ্রিক-আয়তক্ষেত্রাকার, বর্গক্ষেত্রাকার ও ষড়্ভুজাকার।
14. 120° কোণযুক্ত রম্বাস।
15. সাত প্রকার
16. 14 প্রকার।
17. 9.2 সারণির প্রথম স্তম্ভ দেখুন।
18. বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ভূমি-কেন্দ্রিক।
19. 9.2 সারণিতে কেলাসের উদাহরণ দেখুন।
20. K_2SO_4
21. Mg, Zn, Cd
22. $[1\ \bar{3}\ 2]$
23. (1 0 0)
24. $(2\ \bar{3}\ \bar{1})$
25. (9.16) সমীকরণ অনুযায়ী $d = \sqrt{5} = 2.236\text{Å}$
26. (9.6.5, 6, 7) অনুচ্ছেদগুলি থেকে দেখা যায় যে
    $d_{100} : d_{110} : d_{111}$ অনুপাতগুলির মান
    $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$ হলে ল্যাটিসটি সরল,

$1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$ হলে ল্যাটিসটি তল-কেন্দ্রিক

এবং $1 : \frac{\sqrt{2}}{2} : \sqrt{3}$ হলে ল্যাটিসটি বস্তু-কেন্দ্রিক।

27. (9.7.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
28. (9.7.1) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী 2 প্রকার। এগুলি হল তল-কেন্দ্রিক ও ষড়্ভুজাকার।
29. উক্ত অনুচ্ছেদ অনুযায়ী দু প্রকার। এগুলি হল সরল ও বস্তু-কেন্দ্রিক।
30. যথাক্রমে 1, 2, 4, 6
31. (9.7.3) অনুচ্ছেদে সমন্বয় সংখ্যার সংজ্ঞা দেখুন। সরল, বস্তু-কেন্দ্রিক, তল-কেন্দ্রিক ও ষড়্ভুজাকার কোষগুলির সমন্বয় সংখ্যাগুলি হল যথাক্রমে 6, 8, 12 ও 12।
32. (9.27) সমীকরণ অনুযায়ী $r = 1.299\text{Å}$
33. (9.28) সমীকরণ অনুযায়ী $a = 3.168\text{Å}$
34. (9.7.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
35. 0.52, 0.68, 0.74, 0.74 (9.30 থেকে 9.33 সমীকরণগুলি দেখুন)।
36. P_0
37. (9.3) সারণির শেষ স্তম্ভটি দেখুন।
38. ঐ
39. ঐ
40. $\frac{\sqrt{3}a}{2}$ (সমীকরণ 9.38)।
41. 6 এবং 12
42. (9.8.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
43. (9.8.2) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী নির্ণেয় দূরত্ব = $\frac{\sqrt{3}a}{2}$ এবং সমন্বয় সংখ্যা = 6।
44. (9.8.3) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী সমন্বয় সংখ্যা = 4 এবং পরমাণুগুলির মধ্যে নিকটতম দূরত্ব $\frac{\sqrt{3}a}{4}$
45. (9.8.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
46. (9.9.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
47. (9.9.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
48. ঐ

49. (9.9.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
50. (9.9.8) অনুচ্ছেদ দেখুন।

(9.11.2) অনুচ্ছেদের প্রশ্নাবলির বিস্তৃত উত্তর বা উত্তরের ইঙ্গিত

1. (9.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
2. ঐ
3. (9.3.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
4. (9.3.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
5. (9.3.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
6. (9.4) ও (9.4.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
7. (9.4.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
8. (9.4.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
9. (9.4.4.) অনুচ্ছেদ দেখুন।
10. (9.5) ও (9.5.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
11. (9.5.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
12. (9.5.2) অনুচ্ছেদের 3 নং ল্যাটিসের আলোচনা দেখুন।
13. (9.5.2) অনুচ্ছেদের 6 ও 7 নং ল্যাটিসের আলোচনা দেখুন।
14. (9.5.2) অনুচ্ছেদের 4 ও 5 নং ল্যাটিসের আলোচনা দেখুন।
15. (9.5.2) অনুচ্ছেদের 1 ও 2 নং ল্যাটিসের আলোচনা দেখুন।
16. (9.6.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
17. (9.6.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
18. (9.6.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
19. (9.6.5) অনুচ্ছেদ দেখুন (উত্তর $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$)।
20. (9.6.6.) অনুচ্ছেদ থেকে $1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$ নির্ণয় করুন।
21. (9.6.7) অনুচ্ছেদ দ্বারা দেখান যে এই অনুপাত $1 : \frac{\sqrt{2}}{2} : \sqrt{3}$।
22. (9.7.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
23. (9.7.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
24. ঐ

25. (9.7.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
26. (9.7.4) অনুচ্ছেদ দেখুন।
27. ঐ
28. (9.7.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
29. (9.34) সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করুন।
30. (9.35) সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করুন।
31. (9.36) সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করুন।
32. (9.37) সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করুন।
33. (9.37) সমীকরণে প্রদত্ত রাশিগুলির মান বসালে পাওয়া যায় $a = 2.0\text{Å}$
34. (9.8.1) অনুচ্ছেদ দেখুন।
35. (9.8.2) অনুচ্ছেদ দেখুন।
36. (9.8.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
37. (9.9.1) ও (9.9.2) অনুচ্ছেদ দুটি দেখুন।
38. (9.9.3) অনুচ্ছেদ দেখুন।
39. (9.9.4) অনুচ্ছেদ দেখুন।
40. (9.9.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
41. (9.9.6) অনুচ্ছেদ দেখুন।
42. (9.9.7) অনুচ্ছেদ দেখুন।
43. (9.9.8) অনুচ্ছেদ দেখুন।
44. (9.9.5) অনুচ্ছেদ দেখুন।
45. (9.8.6) অনুচ্ছেদ দেখুন ; $\lambda = 0.513\text{Å}$

একক 10 ❐ কেলাসিত পদার্থের বন্ধন

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

10.2 ভূমিকা

10.3 কেলাসিত পদার্থের আন্তর্পারমাণবিক বল ও শক্তির সাধারণ ধর্ম

10.4 আয়নীয় বন্ধন

10.5 সমযোজী বন্ধন

10.6 ধাতব বন্ধন

10.7 ভ্যান ডার ওয়াল্‌স বন্ধন

10.8 হাইড্রোজেন বন্ধন

10.9 মিশ্র বন্ধন

10.10 আয়নীয় কেলাসের বন্ধন শক্তি নির্ণয়

10.11 সমযোজী কেলাসের বন্ধন শক্তি নির্ণয়

10.12 ধাতব কেলাসের বন্ধন শক্তি নির্ণয়

10.13 ভ্যান ডার ওয়াল্‌স কেলাসের বন্ধন শক্তি নির্ণয়

10.14 সমাধানকৃত উদাহরণ

10.15 সারাংশ

10.16 প্রশ্নাবলি

10.17 প্রশ্নাবলির উত্তরের ইঙ্গিত

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

কোনো কেলাসিত পদার্থের মধ্যে পরমাণুগুলি কীভাবে একত্রে সাম্যাবস্থায় থাকে এবং নির্দিষ্ট সজ্জা লাভ করে, এই এককে তা আলোচনা করা হবে। এই এককটি পাঠ করলে আপনি যে বিষয়গুলি বুঝতে পারবেন এবং ব্যাখ্যা করতে পারবেন, সেগুলি হল —

- কেলাসিত পদার্থের আন্তর্পারমাণবিক বল ও শক্তির সধারণ ধর্ম কীরূপ ?
- পদার্থের অণু ও পরমাণুগুলি কী কী বন্ধন দ্বারা নিজেরা আবদ্ধ হয় এবং তার ফলে পদার্থের কী কী প্রকারভেদ হয় ?
- কেলাসিত পদার্থের অণু ও পরমাণুগুলির মধ্যে বন্ধন শক্তি সরলতরভাবে ক্ষেত্রগুলিতে কীভাবে গাণিতিকভাবে নির্ণয় করা যায় ?

10.2 ভূমিকা (Introduction)

পূর্ব এককে কেলাসিত পদার্থের গঠন সম্বন্ধে আলেচনা করা হয়েছে। কেলাসগুলি সাধারণত স্থায়ী বা সুস্থিত। অর্থাৎ যে পরমাণুগুলি দ্বারা একটি কেলাস গঠিত হয়, সেই পরমাণুগুলি কেলাস থেকে আপনাআপনি বেরিয়ে আসতে পারে না। সুতরাং বোঝা যায় যে প্রত্যেক পরমাণু কেলাসের মধ্যে কোনো একটি আকর্ষণ বল দ্বারা বাঁধা থাকে। কিন্তু কেবল একটি আকর্ষণ বল দ্বারা কোনো পরমাণু কেলাসের মধ্যে সুস্থিত অবস্থা লাভ করতে পারে না। কারণ, পরমাণুগুলির মধ্যে কেবল আকর্ষণ বল থাকলে একটি পরমাণু অপর পরমাণুর সঙ্গে সম্পূর্ণ মিশে যেতো এবং সেক্ষেত্রে কোনো নির্দিষ্ট কেলাসিত গঠন সম্ভব হতো না। সুতরাং বোঝা যায় যে কেলাসের মধ্যে কোনো পরমাণুর উপর আকর্ষণ বল একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে সমপরিমাণ বিকর্ষণ বল দ্বারা প্রশমিত হয় এবং এজন্যই কেলাসের মধ্যে প্রত্যেক পরমাণু একটি সুস্থিত অবস্থা লাভ করতে পারে। কেলাসের দুটি পরমাণুর মধ্যে বিকর্ষণ বল আছে, এর প্রমাণ হল যে-কোনো কেলাসকে সংনমিত করতে হলে এর উপর একটি উচ্চ চাপ প্রয়োগ করতে হয়। যে বলগুলির দ্বারা কেলাসের প্রত্যেক পরমাণু কেলাসের মধ্যে সুস্থিত অবস্থা লাভ করে, সেগুলিকে কেলাসের সংসক্ত বা **আসঞ্জক বা বন্ধন বল** (Cohesive or Binding force) বলে। এই এককে কেলাসের বিভিন্ন বন্ধন বল, বন্ধন শক্তি এবং এদের বিভিন্নতা অনুযায়ী কেলাসের প্রকারভেদ সম্বন্ধে আলোচনা করা হল।

10.3 কেলাসিত পদার্থের আন্তর্পারমাণবিক বল ও শক্তির সাধারণ ধর্ম (General nature of interatomic forces and energy of a crystalline substance)

সুস্থিত রাসায়নিক সংযুক্তিতে সক্ষম দুটি পরমাণু যখন পরস্পর থেকে অসীম দূরত্বে থাকে, তখন এদের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে না এবং এরূপ অবস্থায় এদের স্থিতিশক্তি শূন্য (0) ধরা যায়। কিন্তু পরমাণুদুটি যখন ক্রমশ পরস্পরের কাছে এগিয়ে আসে, তখন তাদের মধ্যে একটি আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে এবং পরমাণুদুটি একটি স্থিতিশক্তি লাভ করে। এই স্থিতিশক্তি ঋণাত্মক। কারণ, এক্ষেত্রে বলের অভিমুখে পরমাণুদুটির সরণ ঘটে। তা ছাড়া এই স্থিতিশক্তি দূরত্বের উপরও নির্ভরশীল। কারণ, তা নাহলে অসীম দূরত্বে এই স্থিতিশক্তির মান শূন্য ধরা যায় না। কাজেই, এই স্থিতিশক্তির সাধারণ সংকেত হল

$$U_{\text{আকর্ষণ}} = -\frac{A}{r^m} \qquad \ldots\ \ldots\ (10.1)$$

যেখানে r = পরমাণুদুটির মধ্যে দূরত্ব, m = দূরত্বের কোনো একটি ঘাত এবং A = আকর্ষণ ধ্রুবক।

অনুরূপে পরমাণুদুটি যখন পরস্পরের অত্যন্ত নিকটবর্তী হয়, তখন এদের মধ্যে একটি বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে এবং তার ফলে পরমাণুদুটি ধনাত্মক স্থিতিশক্তি লাভ করে। সাধারণভাবে এই স্থিতিশক্তির সংকেত হল

$$U_{\text{বিকর্ষণ}} = \frac{B}{r^n} \qquad \ldots\ \ldots\ (10.2)$$

যেখানে n = দূরত্বের কোনো একটি ঘাত এবং B = বিকর্ষণ ধ্রুবক। সুতরাং পরমাণু দুটির মোট স্থিতিশক্তির সঙ্কেত হল

$$U = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n} \qquad \ldots\ \ldots\ (10.3)$$

যদি r দূরত্বে পরমাণুদুটির মধ্যে ক্রিয়াশীল বল F হয়, তবে

$$F = -\frac{\partial U}{\partial r} \qquad \ldots\ \ldots\ (10.4)$$

$$= -\frac{\partial}{\partial r}\left(-\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}\right)$$

$$= -\frac{mA}{r^{m+1}} + \frac{nB}{r^{n+1}} \qquad \ldots\ \ldots\ (10.5)$$

পরমাণুদুটির সুস্থিত অবস্থায় $F = 0$। যদি এই অবস্থায় পরমাণুদুটির মধ্যে দূরত্ব r_0 হয়, তবে (10.5) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়

$$-\frac{mA}{r_0^{m+1}} + \frac{nB}{r_0^{n+1}} = 0$$

বা, $$\frac{mA}{r_0^{m+1}} = \frac{nB}{r_0^{n+1}}$$

বা $$r_0^{n-m} = \left(\frac{B}{A}\right)\left(\frac{n}{m}\right) \qquad \ldots\ \ldots\ (10.6)$$

পরমাণুদুটির সুস্থিত অবস্থায় (10.3) সমীকরণ অনুযায়ী এদের মোট স্থিতিশক্তি হবে

$$U_0 = -\frac{A}{r_0^m} + \frac{B}{r_0^n}$$

$$= -\left(\frac{A}{r_0^m}\right)\left(1 - \frac{m}{n}\right) \qquad \ldots\ \ldots\ (10.7)$$

যেহেতু $m \neq n$, সুতরাং (10.7) সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে পরমাণুদুটির সুস্থিত অবস্থায় যদিও এদের আকর্ষণ বল বিকর্ষণ বলের সমান, তবুও এদের মোট স্থিতিশক্তি শূন্য নয়।

এখন পরমাণু দুটি r_0 দূরত্বে সুস্থিত অবস্থায় থাকতে হলে এদের মোট স্থিতিশক্তি ন্যূনতম হওয়া আবশ্যক। অর্থাৎ এক্ষেত্রে

$$\left.\frac{\partial^2 U}{\partial r^2}\right|_{r=r_0} > 0 \qquad \text{... ... (10.8)}$$

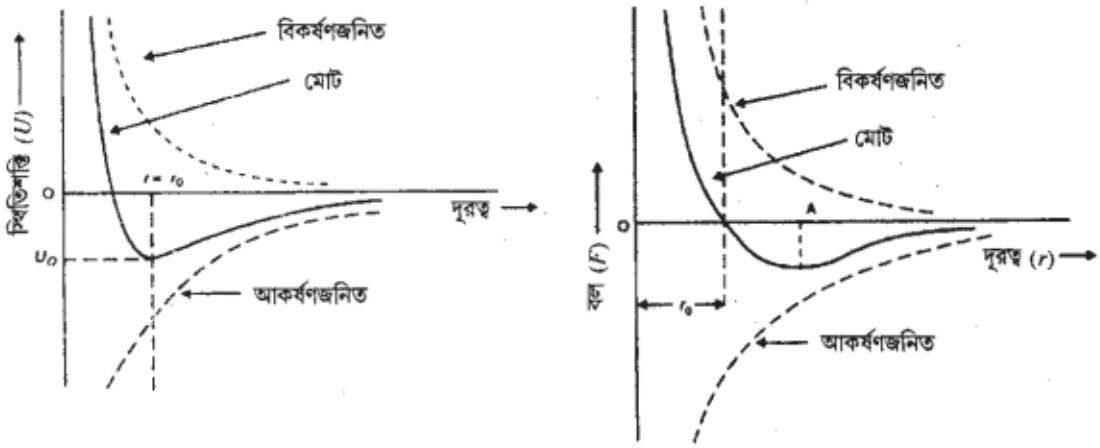
বা, $$-\frac{m(m+1)A}{r_0^{m+2}} + \frac{n(n+1)B}{r_0^{n+2}} > 0$$ [(10.5) নং সমীকরণে পুনরায় অবকলন দ্বারা]

বা, $$\left(\frac{B}{A}\right)\frac{n(n+1)}{m(m+1)} > r_n^{n-m}$$

বা, $$\frac{n+1}{m+1} > 1$$

বা, $$n > m \qquad \text{... ... (10.9)}$$

(10.9) শর্ত থেকে দেখা যাচ্ছে যে বিকর্ষণ বলের পাল্লা (range) আকর্ষণ বলের পাল্লার চেয়ে কম। দুটি পরমাণুর মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল এবং স্থিতিশক্তি দূরত্বের উপর কীরূপ নির্ভরশীল, তা (10.1) চিত্রে দেখানো হল।



চিত্র 10.1 : একটি অণুর দুটি পরমাণুর মধ্যে দূরত্বের উপর (a) স্থিতিশক্তির ও (b) আন্তর্পারমাণাবিক বলের নির্ভরশীলতা

(10.9) শর্ত অনুযায়ী $n > m$ হওয়ায় (10.7) সমীকরণে U_0-র মান ঋণাত্মক। অর্থাৎ দুটি পরমাণু সুস্থিত অবস্থায় r_0 দূরত্বে থাকলে এদের মোট স্থিতিশক্তি ঋণাত্মক হয়। এই ঋণাত্মক শক্তিকে পরমাণুদুটির **বন্ধন শক্তি** (Binding energy) বা **সংসক্ত** বা **আসঞ্জক শক্তি** (Cohesive energy) বলে। সুস্থিতভাবে যুক্ত দুটি পরমাণুর উপর বাইরে থেকে এই U_0-র সমান শক্তি প্রয়োগ করা হলে পরমাণুদুটি পরস্পর থেকে বন্ধনমুক্ত বা বিচ্ছিন্ন হয়। এজন্য আসঞ্জক শক্তিকে পরমাণুদুটির **বিচ্ছিন্নকরণ** শক্তিও (Dissociation

energy) বলা হয়। সুতরাং সংজ্ঞা হিসাবে বলা যায় যে একটি দ্বিপরমাণুক অণুর একটি পরমাণুকে অপর পরমাণুটি থেকে অসীম দূরত্বে নিয়ে যেতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকেই ওই অণুর পরমাণুদুটির আসঞ্জক শক্তি বা বিচ্ছিন্নকরণ শক্তি বলে। বিপরীতভাবে বলা যায় যে দুটি সম্পূর্ণ মুক্ত পরমাণুকে অসীম দূরত্ব থেকে পরস্পরের কাছে r_0 সুস্থিত দূরত্বে আনতে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়, তাই ওই পরমাণুদুটির আসঞ্জক শক্তি।

একটি কেলাসের মধ্যে প্রত্যেক পরমাণু বা আয়ন বহুসংখ্যক পরমাণু বা আয়ন দ্বারা পরিবেষ্টিত হয়ে থাকে। একটি কেলাস থেকে একটি পরমাণু বা আয়নকে সম্পূর্ণ মুক্ত করে অসীম দূরত্বে নিয়ে যেতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকেই কেলাসের ওই পরমাণুর বিচ্ছিন্নকরণ শক্তি বলে। কেলাসের প্রত্যেক পরমাণু বা আয়নের এই বিচ্ছিন্নকরণ শক্তির যোগফলই হল কেলাসের মোট বিচ্ছিন্নকরণ শক্তির মান।

দুটি পরমাণুর মধ্যে স্থিতিশক্তি দূরত্বের ঘাত সূত্র দ্বারা সঠিকভাবে প্রকাশ করা যায় না। অর্থাৎ (10.3) সমীকরণ দ্বারা দুটি পরমাণুর স্থিতিশক্তি কেবল গুণগতভাবে বোঝানো যায়, পরিমাণগতভাবে নয়। এর কারণ একটি কেলাস গঠনে পরমাণুগুলি বিভিন্নভাবে সংযুক্ত হতে পারে। প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্রে একটি ধনাত্মক নিউক্লিয়াস থাকে এবং এই ধনাত্মক নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বিভিন্ন কক্ষে (orbit) বিভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন আবর্তন করে। প্রত্যেক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধান কক্ষস্থিত ইলেকট্রনগুলির মোট ঋণাত্মক আধান দ্বারা প্রশমিত হয়। এজন্য দুটি পরমাণু যখন পরস্পর থেকে দূরে অবস্থান করে, তখন তাদের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে না। কিন্তু দুটি পরমাণু যখন পরস্পরের এরূপ নিকটবর্তী হয় যে একটির ইলেকট্রন কক্ষ অপরটির ইলেকট্রন কক্ষকে স্পর্শ করে, তখন পরমাণুদুটির ইলেকট্রন বিন্যাসের নানারূপ পরিবর্তন ঘটতে পারে এবং তার ফলে কুলম্বীয় আকর্ষণ বলের বিভিন্ন প্রকার বন্ধন উৎপন্ন হয়। এই বন্ধনগুলি হল—(1) আয়নীয় বন্ধন, (2) সমযোজী বন্ধন, (3) ধাতব বন্ধন, (4) ভ্যান-ডার ওয়ালস্ বন্ধন, (5) হাইড্রোজেন বন্ধন ও (6) মিশ্র বন্ধন। এখানে উল্লেখযোগ্য যে পরমাণুগুলির ভর থাকলেও এই ভর এত কম যে এদের মধ্যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল শূন্য ধরা যায়। অর্থাৎ মহাকর্ষীয় বল দ্বারা কোনো বন্ধন উৎপন্ন হয় না। অনুরূপে নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রনগুলির আবর্তনের ফলে প্রত্যেক পরমাণুই এক-একটি দ্বিমেরু চুম্বক হিসাবে ক্রিয়া করে। কিন্তু এই চুম্বকের চৌম্বকভ্রামকের মান অত্যন্ত কম। সুতরাং দুটি পরমাণুর মধ্যে এদের চৌম্বকক্ষেত্রের ক্রিয়াও সাধারণতঃ উপেক্ষণীয়।

10.4 আয়নীয় বন্ধন (Ionic Bond)

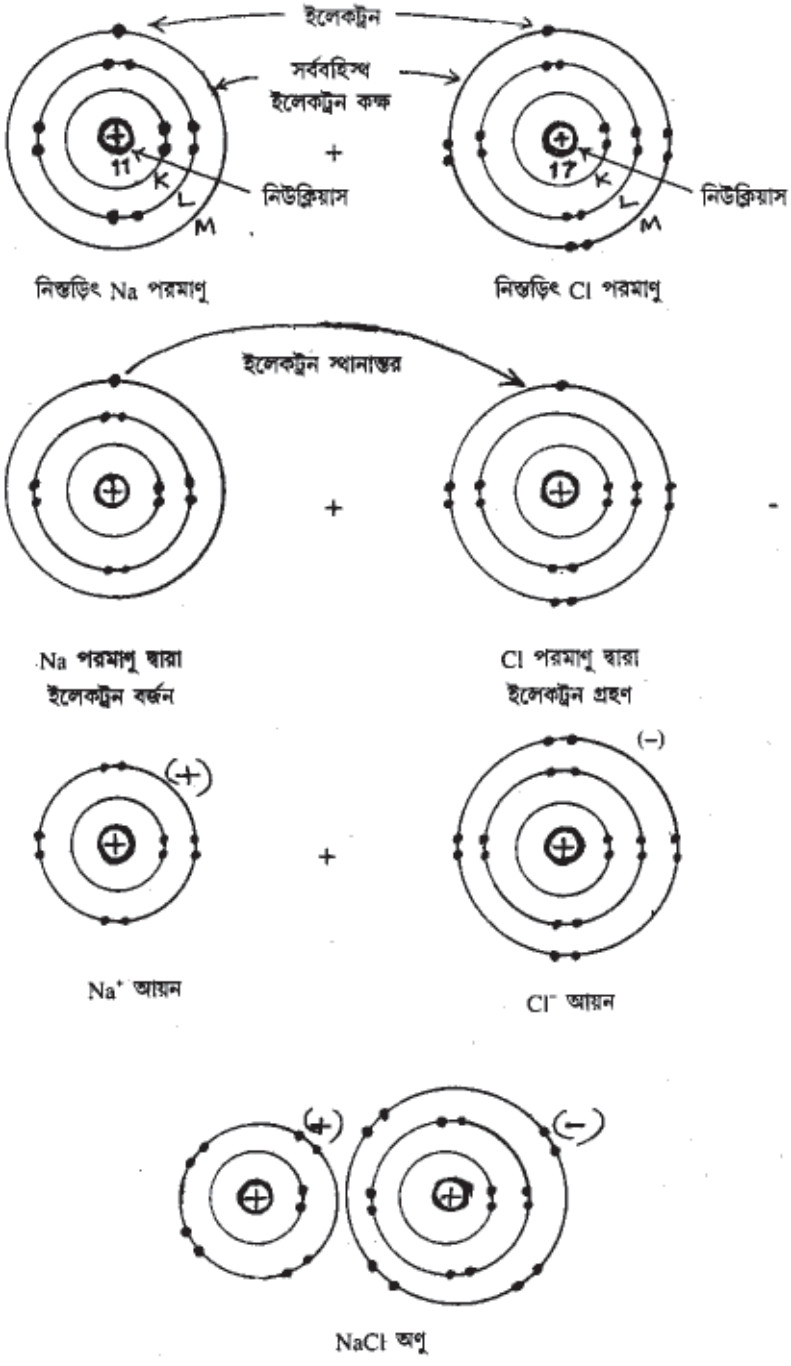
কোনো পরমাণুর একটি কক্ষে কতগুলি ইলেকট্রন থাকতে পারে, তা **পাউলির বর্জন নীতি** (Pauli's exclusion principle) দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই হিসাবে হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন, ক্রিপটন প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির পরমাণুর প্রত্যেক কক্ষই ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে। অর্থাৎ কোনো নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর

কোনো কক্ষে যতগুলি ইলেকট্রন থাকে, পাউলির বর্জন নীতি অনুযায়ী তার চেয়ে বেশি ইলেকট্রন ওই কক্ষে থাকতে পারে না। এজন্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণু সাধারণভাবে অন্য কোনো পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে না এবং এগুলি অনেক কম উষ্ণতা পর্যন্ত গ্যাসীয় অবস্থাতেই থাকে।

নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির মধ্যে হিলিয়াম পরমাণুতে নিউক্লিয়াসের বাইরে একটিমাত্র ইলেকট্রন কক্ষ (K-কক্ষ) আছে এবং এই কক্ষ দুটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত ($1s^2$) থাকে। অপরপক্ষে নিয়ন, আর্গন, ক্রিপটন প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির পরমাণুতে নিউক্লিয়াস বহিস্থ একাধিক ইলেকট্রন কক্ষ আছে, এবং এদের সর্ববহিস্থ কক্ষে সর্বদাই 8টি ইলেকট্রন (s^2p^6) থাকে। নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি ছাড়া অন্যান্য মৌলগুলির পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষে ইলেকট্রনের সংখ্যা সাধারণত 8-এর চেয়ে কম থাকে এবং এজন্য এগুলি পাউলির বর্জন নীতি অনুযায়ী এক বা একাধিক ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করে এদের নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস লাভের চেষ্টা করে। যেমন, একটি সোডিয়াম পরমাণুর (Na) মোট 11 টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2টি ইলেকট্রন K-কক্ষে ($1s^2$), 8টি ইলেকট্রন L-কক্ষে ($2s^22p^6$) এবং বাকি 1টি ইলেকট্রন সর্ববহিস্থ M-কক্ষে ($3s^1$) থাকে। অপরপক্ষে একটি ক্লোরিন পরমাণুর (Cl) মোট 17টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2টি ইলেকট্রন K-কক্ষে ($1s^2$), 8টি ইলেকট্রন L-কক্ষে ($2s^22p^6$) এবং বাকি 7টি ইলেকট্রন সর্ববহিস্থ M-কক্ষে ($3s^23p^5$) থাকে। সুতরাং সোডিয়াম ও ক্লোরিন যখন রাসায়নিকভাবে যুক্ত হয়, তখন সোডিয়াম পরমাণু-এর সর্ববহিস্থ কক্ষের একটিমাত্র ইলেকট্রন ($3s^1$) স্থায়ীভাবে বর্জন করে নিয়ন পরমাণুর সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাস ($1s^22s^22p^6$) লাভ করে এবং ক্লোরিন পরমাণু এর সর্ববহিস্থ কক্ষে ওই বর্জিত ইলেকট্রনটি স্থায়ীভাবে গ্রহণ করে আর্গন পরমাণুর সুস্থিত ইলেকট্রনবিন্যাস ($1s^22s^22p^63s^23p^6$) লাভ করে। কিন্তু সোডিয়াম পরমাণু একটি ইলেকট্রন বর্জনের ফলে Na^+ ধনাত্মক আয়নে বা ক্যাটায়নে (Cation) পরিবর্তিত হয় এবং ক্লোরিন পরমাণু ওই ইলেকট্রন গ্রহণের ফলে Cl^- ঋণাত্মক আয়নে বা অ্যানায়নে (Anion) পরিবর্তিত হয়। এরফলে Na^+ আয়ন ও Cl^- আয়নের মধ্যে কুলম্বীয় আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে এবং বিপরীত ধর্মীয় এরূপ দুটি আয়নের আকর্ষণের দ্বারাই একটি সোডিয়াম ক্লোরাইড অণু এবং বহুসংখ্যক এরূপ অণুর দ্বারা একটি সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাস গঠিত হয়। অণু বা কেলাস গঠনে বিপরীত ধর্মীয় আয়নের এই আকর্ষণকে **আয়নীয় বন্ধন** বা **তড়িৎযোজী বন্ধন** বলে এবং আয়নীয় বন্ধনযুক্ত অণু ও কেলাসকে যথাক্রমে আয়নীয় অণু ও কেলাস (ionic molecule and crystal) বলে।

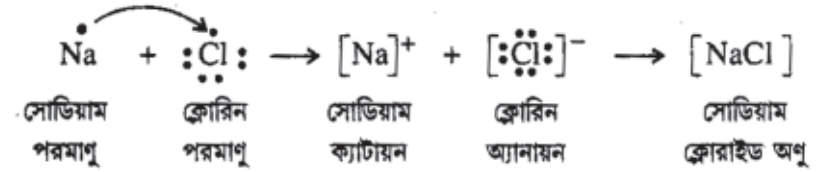
একটি নিস্তড়িৎ সোডিয়াম পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষ থেকে একটি ইলেকট্রন একটি ক্লোরিন পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষে স্থায়ীভাবে স্থানান্তরের দ্বারা কীভাবে একটি NaCl অণু গঠিত হয়, তা এই পরমাণুগুলির কক্ষ চিত্র অঙ্কনের দ্বারা দেখানো হল (চিত্র 10.2)।

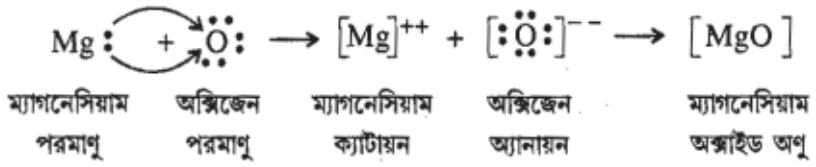
দুটি পরমাণুর মধ্যে তড়িৎযোজী বন্ধন পরমাণুদুটির কেবল সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনের স্থানান্তর দ্বারা ঘটে। এজন্য পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনগুলিকে **যোজক ইলেকট্রন** (valence electron) এবং সর্ববহিস্থ কক্ষকে যোজক ইলেকট্রন কাক্ষিক (valence electron orbital) বলে। পরমাণুর কেবল

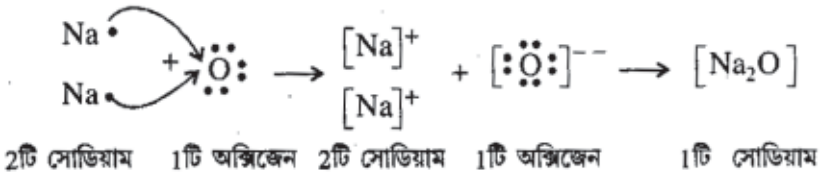


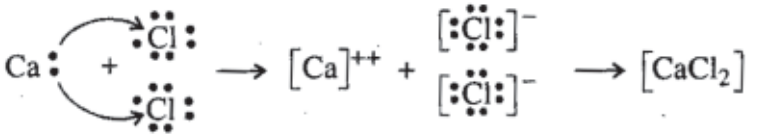
চিত্র 10.2: NaCl অণু গঠন

যোজক ইলেকট্রনগুলিকে ডট (dot) বা ফুটকি চিহ্নের দ্বারা অঙ্কন করে তড়িৎযোজী অণুর গঠন সহজে দেখানো যায়। নীচে NaCl অণুসহ আরও কয়েকটি তড়িৎযোজী অণুর গঠন এভাবে দেখানো হল।

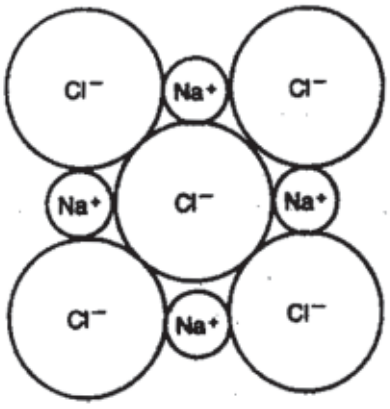








সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসে সোডিয়াম আয়ন ও ক্লোরিন আয়নের মধ্যে বন্ধন বল খুবই তীব্র। এজন্য এই আয়নগুলি তলকেন্দ্রিক ঘন সংবদ্ধ কেলাস গঠন করে। সোডিয়াম আয়নের ব্যাসার্ধ ক্লোরিন আয়নের ব্যাসার্ধের চেয়ে কম। কেলাসের মধ্যে প্রত্যেক সোডিয়াম আয়ন 6টি ক্লোরিন আয়ন দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। কেলাসের আধান নিরপেক্ষতা রক্ষার জন্য অনুরূপে প্রত্যেক ক্লোরিন আয়নও আবার 6টি সোডিয়াম আয়ন দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। অর্থাৎ সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের প্রত্যেক আয়নের সমন্বয় সংখ্যা (co-ordination number) হল 6। সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাসের মধ্যে যেহেতু NaCl অণুগুলি পৃথক পৃথকভাবে থাকে না, সেজন্য এই কেলাসকে অসংখ্য Na^+ ও Cl^- আয়ন দ্বারা গঠিত একটি বিরাট অণু বলা হয়। একমাত্র বাষ্পীভূত অবস্থায় NaCl-এর পৃথক পৃথক অণু পাওয়া যায়। NaCl কেলাসের প্রত্যেক অণুর বন্ধন শক্তি হল



চিত্র **10.3** : NaCl-কেলাসের কোনো সম্মুখ তলে Na^+ ও Cl^- আয়নের বিন্যাস

প্রায় 7.8 eV, যা তুলনামূলকভাবে যথেষ্ট বেশী। এই কেলাসের গঠন আপনারা পূর্বেই পাঠ করেছেন। এটি একটি ঘনক। এই ঘনকের যে-কোনো একটি তলের দিকে তাকালে ওই তলে Na^+ ও Cl^- আয়নগুলির যেরূপ বিন্যাস দেখা যাবে, তা (10.3) নং চিত্রে দেখানো হল। আয়নীয় কেলাসের আরও কয়েকটি উদাহরণ হল KCl, LiF, CsCl, Na_2O, Al_2O_3 প্রভৃতি।

আয়নীয় কেলাসের বন্ধনশক্তি বেশী হওয়ায় এই কেলাসগুলির গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক সাধারণভাবে খুব বেশী হয়। ধ্রুবীয় দ্রাবকে (polar solvent) এর কেলাসগুলি দ্রবীভূত হয়। সাধারণ উষ্ণতায় এই কেলাসগুলি তাপ ও তড়িতের কুপরিবাহী। কিন্তু দ্রবীভূত বা গলিত অবস্থায় আয়নগুলি মুক্ত ও চলনক্ষম হওয়ায় তাপ ও তড়িৎ পরিবহন করতে পারে। সাধারণ আলোকের সাপেক্ষে এই কেলাসগুলি স্বচ্ছ। কিন্তু অবলোহিত আলোক বিভিন্ন কেলাসের মধ্য দিয়ে পাঠালে এক-একটি কেলাসে এক-একটি বিশেষ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক শোষিত হয়। সুতরাং অবলোহিত আলোকের সাহায্যে বিভিন্ন আয়নীয় কেলাস সনাক্ত করা যেতে পারে।

10.5 সমযোজী বন্ধন (Convalent Bond)

যদি পাশাপাশি দুটি পরমাণুর প্রত্যেকটির সর্ববহিস্থ কক্ষকে সম্পৃক্ত কক্ষের চেয়ে সমসংখ্যক ইলেকট্রনের ঘাটতি (deficiency) থাকে, তবে ওই ঘাটতি পূরণের জন্য উভয় পরমাণু থেকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন দ্বারা সমসংখ্যক ইলেকট্রন জোড় গঠিত হয় এবং এই ইলেকট্রন জোড়গুলি উভয় পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষকে সমভাবে পর্যায়ক্রমে আবর্তন করে। অর্থাৎ সমসংখ্যক ইলেকট্রন জোড় উভয় পরমাণুই পর্যায়ক্রমে সমভাবে ব্যবহার করে। এতে উভয় পরমাণুরই সর্ববহিস্থ কক্ষ পর্যায়ক্রমে সম্পৃক্ত হয় এবং পরমাণু দুটি একটি সুস্থিত বন্ধনে আবদ্ধ হয়। দুটি পরমাণুর এরূপ বন্ধনকে **সমযোজী বন্ধন** বলে। সমযোজী বন্ধনে একটি পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে স্থায়ীভাবে ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটে না। উভয় পরমাণুর মধ্যে একই সংখ্যক ইলেকট্রন জোড়ের বারবার বিনিময় ঘটে। এর ফলে উভয় পরমাণুই পর্যায়ক্রমে একবার ধনাত্মক ও একবার ঋণাত্মক আধানযুক্ত হয় এবং উভয়ের মধ্যে একটি পর্যাবৃত্ত পরিবর্তনশীল কুলম্বীয় আকর্ষণ বলের উৎপত্তি হয়। এই পরিবর্তনশীল বলের গড় মান শূন্য, কিন্তু তাৎক্ষণিক মান শূন্য নয় এবং এর দ্বারাই পরমাণুদুটির সমযোজী বন্ধন উৎপন্ন হয়।

হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, ক্লোরিন প্রভৃতি গ্যাসীয় মৌলগুলি দ্বিপরমাণুক অণু গঠন করে। এই অণুগুলি সমযোজী বন্ধন দ্বারা গঠিত হয়। যেমন, হাইড্রোজেন পরমাণুর একমাত্র কক্ষে একটিমাত্র ইলেকট্রন ($1s^1$) আবর্তন করে। কিন্তু হাইড্রোজেন পরমাণুর এই কক্ষে 2টি ইলেকট্রন থাকলে তা সম্পৃক্ত হয় এবং হিলিয়াম পরমাণুর সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাস ($1s^2$) লাভ করে। সুতরাং দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু একসঙ্গে মিলিত হলে এদের দুটি কক্ষে ইলেকট্রন একসঙ্গে একটি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে যা উভয় পরমাণু দ্বারাই পর্যায়ক্রমে সমভাবে ব্যবহৃত হয় এবং এভাবে উভয় পরমাণুই পর্যায়ক্রমে হিলিয়াম পরমাণুর সম্পৃক্ত কক্ষ বিন্যাসলাভ করে।

অনুরূপে, অক্সিজেন পরমাণুর সর্ববহিস্থ L-কক্ষে 6টি ইলেকট্রন ($2s^22p^4$) আছে। কিন্তু এই কক্ষে 8টি ইলেকট্রন থাকলে কক্ষটি সম্পৃক্ত হয় এবং নিয়ন পরমাণুর সর্ববহিস্থ L-কক্ষের সুস্থিত ইলেকট্রনবিন্যাস ($2s^22p^6$) লাভ করে। সুতরাং দুটি অক্সিজেন পরমাণু পরস্পর মিলিত হলে উভয় পরমাণুর L-কক্ষের 2টি করে ইলেকট্রন একসঙ্গে 2টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে এবং উভয় পরমাণুর L-কক্ষে পর্যায়ক্রমে স্থান

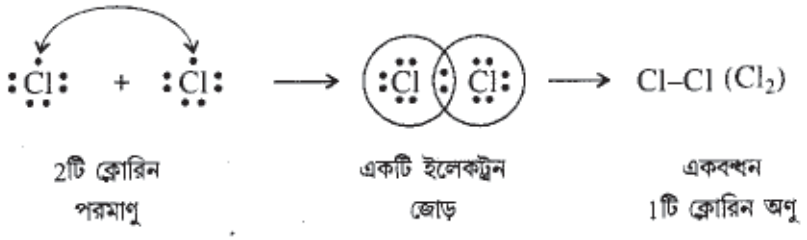
বিনিময় দ্বারা উভয় পরমাণুর L-কক্ষ দুটিকে পর্যায়ক্রমে স্থান বিনিময় দ্বারা উভয় পরমাণুর L-কক্ষ দুটিকে পর্যায়ক্রমে সম্পৃক্ত করে এবং এভাবে অক্সিজেনের একটি অণু গঠিত হয়। একই পদ্ধতিতে নাইট্রোজেন অণুতে তিন জোড়া ইলেকট্রন দ্বারা উভয় পরমাণুর সর্ববহিস্থ L-কক্ষ পর্যায়ক্রমে সম্পৃক্ত হয়।

হাইড্রোজেন অণুর ক্ষেত্রে একটিমাত্র ইলেকট্রন জোড় গঠিত হয়। এজন্য এই অণুর বন্ধনকে **এক সমযোজী বন্ধন** বা সংক্ষেপে **একবন্ধন** (single bond) বলে। অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন অণুতে যথাক্রমে দুটি ও তিনটি ইলেকট্রন জোড় দ্বারা এদের সমযোজী বন্ধন গঠিত হয়। সেজন্য অক্সিজেন অণুর বন্ধনকে **দ্বিসমযোজী বন্ধন** বা **দ্বিবন্ধন** (double bond) এবং নাইট্রোজেন অণুর বন্ধনকে **ত্রিসমযোজী বন্ধন** বা **ত্রিবন্ধন** (triple bond) বলে।

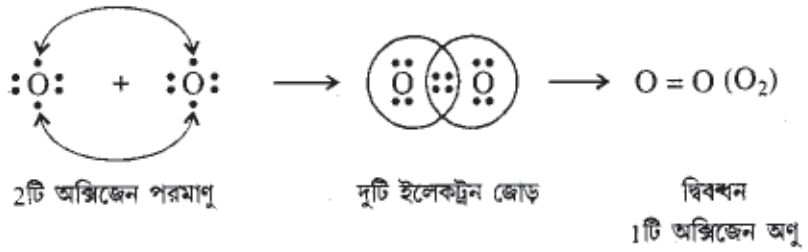
বিভিন্ন মৌলের অণুগুলি ছাড়াও বহু যৌগের অণুও সমযোজী বন্ধন দ্বারা গঠিত হয়। এরূপ কয়েকটি যৌগের উদাহরণ হল $HCl, H_2O, H_2S, SO_2, CH_4$ প্রভৃতি।

পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষের প্রত্যেক ইলেকট্রনকে একটি **ডট** (dot) বা ফুটকি দ্বারা নির্দেশ করলে কয়েকটি সমযোজী বন্ধনযুক্ত অণুর গঠন কীরূপ হয়, তা নীচে দেখানো হল।

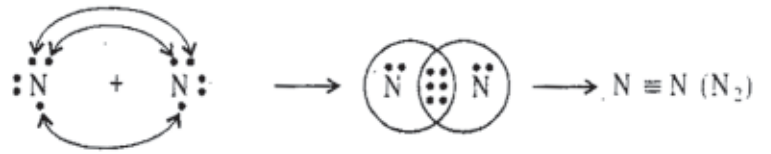
(i) একবন্ধনযুক্ত হাইড্রোজেন অণু



(ii) একবন্ধনযুক্ত ক্লোরিন অণু



(iii) দ্বিবন্ধনযুক্ত অক্সিজেন অণু

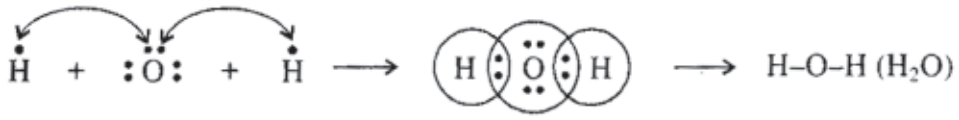


2টি নাইট্রোজন পরমাণু | তিনটি ইলেকট্রন জোড় | ত্রিবন্ধন
1টি নাইট্রোজন অণু

(iv) ত্রিবন্ধনযুক্ত নাইট্রোজেন অণু

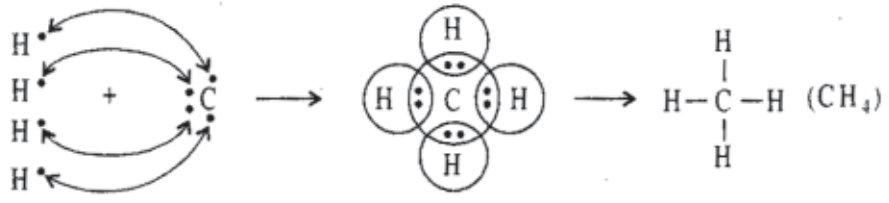
হাইড্রোজেন পরমাণু | ক্লোরিন পরমাণু | একটি ইলেকট্রন জোড় | একবন্ধন
1টি হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অণু

(v) ক্লোরিনের একটি একবন্ধনযুক্ত হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অণু



হাইড্রোজেন পরমাণু | অক্সিজেন পরমাণু | হাইড্রোজেন পরমাণু | দুটি পৃথক ইলেকট্রন জোড় | দুটি একবন্ধন
1টি জলের অণু

(vi) অক্সিজেনের দুটি একবন্ধনযুক্ত জলের অণু



4টি হাইড্রোজেন পরমাণু | 1টি কার্বন পরমাণু | 4টি দুটি পৃথক ইলেকট্রন জোড় | 4টি একবন্ধন
1টি মিথেন অণু

(vii) কার্বনের চারটি একবন্ধনযুক্ত মিথেন অনু