খনির এক বীরকন্যা

হুমায়ুন রেজা

খনিজের আলোকধর্মবিদ্যা

হুমায়ুন রেজা
সহযোগী অধ্যাপক
ভূতত্ত্ব বিভাগ
ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়
ঢাকা

বাংলা একাডেমী ঢাকা

প্রথম প্রকাশ
আষাঢ় ১৪০২
জুন ১৯৯৫

বাএ ৩২৬০
মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি
ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগ
ভৌ ও প্র ১৪৭

প্রকাশক
গোলাম মঈনউদ্দিন
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী, ঢাকা

কম্পিউটার কম্পোজ
নীলা কম্পিউটার পয়েন্ট
৬, মতিঝিল বাণিজ্যিক এলাকা
ঢাকা

মুদ্রক
মেমোরিয়াল অফসেট প্রিন্টার্স
৬৮, যোগীনগর, ওয়ারী, ঢাকা-১২০৩

প্রচ্ছদ
আবিদ এ. আজাদ

মূল্য : ৫০.০০

KHONIZER ALOKDHARMAVIDYA (Optical Mineralogy) by Humayun Reza, Associate Professor, Department of Geology, Dhaka University, Dhaka. Published by Gholam Moyenuddin, Director, Textbook Division, Bangla Academy, Dhaka, Bangladesh. First edition, June 1995. Price : Taka 50.00

ISBN 984-07-3269-2

BANBOG Library

উৎসর্গ

মরহুম অধ্যাপক নজীবুর রহমান-এর
স্মৃতির উদ্দেশে

ভূমিকা

খনিজের আলোকধর্মবিদ্যা ভূতত্ত্ব বিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। বিভিন্ন খনিজ নির্ণয়, তাদের গঠন, পরিমাণ ও পারস্পরিক সম্পর্ক নিরূপণের জন্য ভূতত্ত্ববিদদের খনিজের আলোকধর্মবিদ্যা সম্পর্কে জ্ঞান থাকা একান্তই প্রয়োজন।

মাতৃভাষায় বিজ্ঞানচর্চার প্রয়োজনীয়তা অনুভব করে ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়, জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয় ও রাজশাহী বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতত্ত্ব বিভাগের স্নাতক ও স্নাতকোত্তর শ্রেণির সিলেবাস অনুসরণ করে গ্রন্থটি লেখা হয়েছে। এটি মৌলিক গ্রন্থ নয়, ইংরেজি ও রুশভাষায় লিখিত বেশ কিছুসংখ্যক পুস্তক অনুসরণ করে রচিত হয়েছে; সেসব গ্রন্থের তালিকা গ্রন্থপঞ্জিতে দেয়া হয়েছে।

গ্রন্থটি রচনায় প্রভূত সাহায্য ও সহযোগিতা করেছেন ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতত্ত্ব বিভাগের সহযোগী অধ্যাপক ডঃ মোঃ হোসেন মনসুর ও জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতত্ত্ব বিজ্ঞান বিভাগের অধ্যাপক ডঃ খলিলুর রহমান চৌধুরী এবং প্রকাশনায় সাহায্য করেছেন মরহুম অধ্যাপক নজীবুর রহমান ও ডঃ নূরুন নাহার রহমান। এছাড়া গ্রন্থ রচনায় উৎসাহ যুগিয়েছেন বাংলাদেশ ভূমি রেকর্ড ও জরিপ অধিদপ্তরের ভূতপূর্ব মহাপরিচালক জনাব আবু বকর। এঁদের সকলের সহায়তা ব্যতিরেকে পুস্তকটি প্রকাশ করা সম্ভব হতো না; তাঁদের সবাইকে অশেষ কৃতজ্ঞতা জানাচ্ছি।

পুস্তকটিতে অন্তর্ভুক্ত চিত্রের ব্যাপারে সহায়তা করেছেন ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতত্ত্ব বিভাগের অংকনবিদ জনাব সুশীল কুমার সাহা ও স্নেহভাজন ছাত্র জনাব তপন কুমার পাল। তাঁদেরকেও আন্তরিক কৃতজ্ঞতা জানাই।

পুস্তকটি ভূতত্ত্ব বিজ্ঞানের শিক্ষার্থীদের প্রয়োজন মেটাতে সক্ষম হলে আমার প্রচেষ্টা সার্থক হয়েছে বলে মনে করবো।

ভূতত্ত্ব বিভাগ
ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়
জুন ১৯৯৫

হুমায়ুন রেজা

সূচিপত্র

পৃষ্ঠা

প্রথম অধ্যায় ঃ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্র ১ – ৬

১.১ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অংশবিশেষ

১.২ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিন্যস্তকরণ

দ্বিতীয় অধ্যায় ঃ আলোর ধর্ম ৭ – ৮

২.১ আলোর সূত্র

২.২ আলোর গতিবেগ

২.৩ আলোর বর্ণ

তৃতীয় অধ্যায় ঃ প্রতিসরণ ৯ – ১৪

৩.১ স্নেলের সূত্র

৩.২ বিচ্ছুরণ

৩.৩ সংকট কোণ ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন

৩.৪ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় ঃ কেন্দ্রীয় ঔজ্জ্বল্য পদ্ধতি

৩.৫ ভূমিরূপ

চতুর্থ অধ্যায় ঃ খনিজে আলোর সমবর্তন ১৫ – ৩৬

৪.১ সমবর্তিত আলোক

৪.২ প্রতিফলনজনিত সমবর্তন

৪.৩ শোষণজনিত সমবর্তন

৪.৪ স্বচ্ছ ক্যালসাইটের সন্ভেদ বা প্রিজম দ্বারা সমবর্তন

৪.৫ আলোক নির্দেশনাঙ্ক

৪.৬ নিচ সমবর্তক খনিজের সূক্ষ্মছেদ -- ঊর্ধ্বসমবর্তকের মাধ্যমে আলোকপ্রবাহ

৪.৭ ব্যতিচারী বর্ণের নকশা

৪.৮ ধীর ও দ্রুতরশ্মি

৪.৯ নির্বাপন ও নির্বাপন কোণ নির্ণয়

৪.১০ দীর্ঘায়ন

৪.১১ বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর নির্ণয়ের পদ্ধতি
৪.১২ একাক্ষিক ও দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আদর্শ ছেদ

পঞ্চম অধ্যায় ঃ একবিন্দুগামী সমবর্তিত আলোক ৩৭ – ৪৯
৫.১ মৌলিক ধারণা
৫.২ একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র
৫.৩ কালো ক্রসের উদ্ভব ব্যাখ্যা
৫.৪ একাক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়
৫.৫ দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র
৫.৬ দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়
৫.৭ আলোক অক্ষচিত্র

ষষ্ঠ অধ্যায় ঃ বিভিন্ন খনিজের আলোকধর্ম বর্ণনা ৫০ – ৮৪

পরিশিষ্ট ৮৫ ১০২

গ্রন্থপঞ্জি ১০৩

প্রথম অধ্যায়

সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্র

(The Polarizing Microscope)

১.১ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অংশবিশেষ (Parts of the Polarizing Microscope)

খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদ (thin section) পুরুত্ব (thickness), t = 0.03 mm — এ ধরনের পুরুত্ববিশিষ্ট সূক্ষ্মচ্ছেদকে আদর্শ ছেদ নামে অভিহিত করা হয়। সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা হয় ও বিভিন্ন আলোকধর্ম নির্ণয় করে খনিজটি নির্ণয় করা সম্ভব। খালি চোখে শিলায় বিভিন্ন খনিজের উপস্থিতি ও তাদের

চিত্র ১.১ ঃ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্র।

পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় করা অসম্ভব। তাই সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের প্রয়োজনীয়তা অনস্বীকার্য। পূর্ব পৃষ্ঠায় সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের চিত্র দেয়া হয়েছে।

অংশবিশেষ (Parts)

(১) **অকুলার** (Ocular) বা **আই-পিস্** (Eye-piece) ঃ অকুলার একটি নল দ্বারা গঠিত যার মধ্যে N-S রেখা ও E-W রেখা চিহ্নিত। সাধারণত N-S রেখা নীচসমবর্তকের তরঙ্গ দিক ও E-W রেখা ঊর্ধ্বসমবর্তকের তরঙ্গ দিক নির্দেশ করে। E-W রেখা নিচসমবর্তকের তরঙ্গ দিক নির্দেশ করলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিশেষভাবে নির্দেশ থাকে এ ব্যাপারে। তবে পরবর্তীতে নিচসমবর্তকের তরঙ্গ দিক নির্ণয়ের পদ্ধতি আলোচিত হবে। নলের উপরে ও নিচে দুটি লেন্স থাকে। ১০^x – বর্ধনশক্তিসম্পন্ন অকুলার বা আই–পিস্ ব্যবহৃত হয়।

(২) **অবজেকটিভ** (Objective) ঃ ৪^x, ৮^x, ১০^x, ৪০^x, ৬০^x – বর্ধনশক্তিসম্পন্ন অবজেকটিভ ব্যবহৃত হয়।

(৩) **ঊর্ধ্বসমবর্তক** (Analyzer) ঃ অবজেকটিভের উপরেই এর স্থান। তরঙ্গ তল নীচসমবর্তকের (Polarizer) তরঙ্গ তলের লম্বিক।

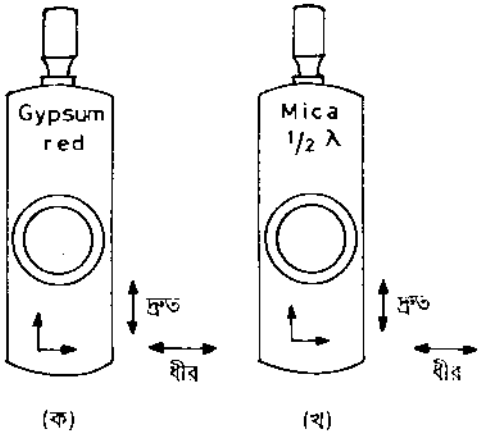
(৪) **নিচসমবর্তক** (Polarizer) ঃ বীক্ষণাসনের (stage) নিচেই এর অবস্থান। সাধারণ আলো (ordinary light) নিচসমবর্তকে প্রবিষ্ট হওয়া মাত্রই সমবর্তিত আলোকে (Polarized Light) পরিণত হয় (বিস্তারিত পরবর্তীতে আলোচিত হয়েছে)। সাধারণত এর তরঙ্গ তলকে ঊর্ধ্বসমবর্তকের তরঙ্গ তলের লম্বিক রাখা হয়।

(৫) **অ্যামিসি-বার্ট্রাণ্ড লেন্স** (Amici-Bertrand lens) ঃ এই লেন্স অকুলার ও ঊর্ধ্বসমবর্তকের মাঝখানে প্রবিষ্ট করানো হয়। এর কাজ হলো ব্যতিচারী চিত্রকে (interference figure) অকুলারের দৃষ্টিক্ষেত্রে (plane of focus) নিয়ে আসা। অবশ্য অ্যামিসি–বার্ট্রাণ্ড লেন্স ছাড়াও ব্যতিচারী চিত্র দেখা সম্ভব। সেক্ষেত্রে অকুলারও নিষ্প্রয়োজনীয় হয়ে পড়ে।

(৬) **আইরিশ পর্দা** (Iris Diaphragm) ঃ বীক্ষণাসনের নিচে থাকে। ঊর্ধ্বে গমনকৃত আলোককে এই পর্দার সাহায্যে সঙ্কুচিত করা সম্ভব। কানাডা বালজামের (Canada balsam) প্রতিসরণাঙ্কের সাথে খনিজের প্রতিসরণাঙ্কের তারতম্য বা সূক্ষ্মচ্ছেদে দুই সংলগ্ন খনিজদ্বয়ের প্রতিসরণাঙ্কের তারতম্য নির্ণয়ে আইরিশ পর্দা খুবই সহায়ক।

(৭) **আয়না** (Mirror) ঃ আয়নার কাজ হলো সাধারণ আলোককে প্রতিফলিত করে নিচসমবর্তকে প্রবেশ করানো। আয়নার একটি পৃষ্ঠদেশ তল, অন্য পৃষ্ঠদেশ অবতল।

(৮) **সহায়ক পাত** (Accessory plates) ঃ সহায়ক পাতের মধ্যে কোয়ার্টজ কীলক (quartz wedge), জিপসাম পাত (gypsum plate) ও অভ্রপাত (mica plate) অন্তর্ভুক্ত হয়। প্রতিটি সহায়ক পাতের মধ্যে দ্রুত ও ধীররশ্মি চিহ্নিত করা হয়েছে। অবজেকটিভ ও ঊর্ধ্বসমবর্তকের মাঝখানের অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ছিদ্রে সহায়ক পাত প্রবিষ্ট করানো হয়। নিচে জিপসাম পাত ও অভ্রপাতের চিত্র দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১.২ ঃ (ক) জিপসাম পাত; (খ) অভ্রপাত।

১.২ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিন্যস্তকরণ (Adjustment of the Polarizing Mieroscope)

সূক্ষ্মচ্ছেদে খনিজের আলোকধর্ম নিরূপণের জন্য সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রটি প্রথমেই সুবিন্যস্ত করা হয়। যন্ত্রটি সুবিন্যস্ত হলো কিনা তা দেখার জন্য চারটি পরীক্ষা করা হয়। যেমন ঃ

(১) সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কেন্দ্রীভূত অবস্থান পরীক্ষা (Centering the stage with the field)

(২) সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধতা পরীক্ষা (Crossing the polars)

(৩) ক্রসবদ্ধ রেখাদ্বয়ের পরীক্ষা (Testing the cross hairs)

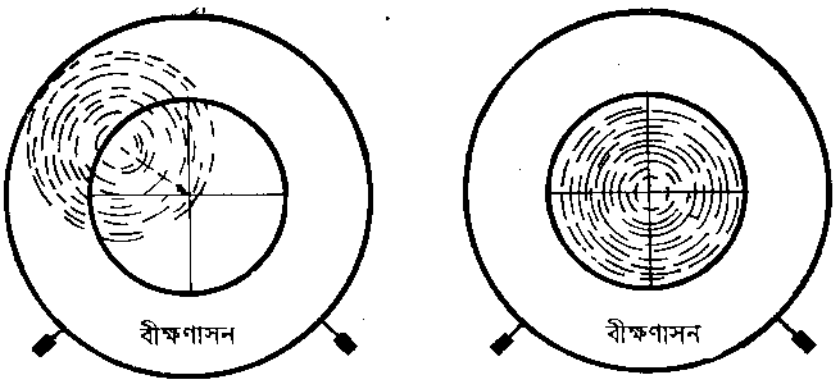
(৪) নিচসমবর্তকের তরঙ্গ তল পরীক্ষা (Determining the vibration plane of the lower polar)।

১. সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কেন্দ্রীভূত অবস্থান পরীক্ষা (Centering the Stage with the Field)

ক্রসবদ্ধ রেখাদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে সূক্ষ্মচ্ছেদের কোনো একটি বিবেচ্য বিন্দুকে (যেমন স্ফটিকের উপরে কোনো কালো দাগ) আনয়ন করা হয়। বীক্ষণাসন ৩৬০

ডিগ্রি ঘুরালে বিন্দুদ্বয় একীভূত থাকারই কথা এবং এই অবস্থাকে সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কেন্দ্রীয় অবস্থান (The microscope is centered) হিসেবে অভিহিত করা হয়।

যদি বিন্দুদ্বয় একীভূত না হয় তাহলে বীক্ষণাসন ৩৬০ ডিগ্রি ঘুরিয়ে সূক্ষ্মচ্ছেদের বিবেচ্য বিন্দুকে দূরতম জায়গায় নিয়ে যাওয়া হয় (চিত্র ১.৩)।



বিবেচ্য বিন্দুর অকেন্দ্রীভূত অবস্থান বিবেচ্য বিন্দুর কেন্দ্রীভূত অবস্থান

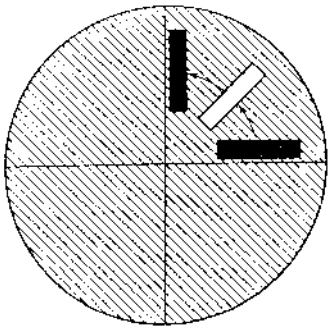
চিত্র ১.৩ ঃ কেন্দ্রীভূত অবস্থান পরীক্ষা।

কেন্দ্রীকরণ স্ক্রুদ্বয় (centering screws) দিয়ে বিবেচ্য বিন্দুকে অর্ধেক দূরত্ব অতিক্রম করানো হয়। অবশিষ্ট অর্ধেক দূরত্ব সূক্ষ্মচ্ছেদকে সরিয়ে অতিক্রম করানো হয়। এখন বীক্ষণাসন ৩৬০ ডিগ্রি ঘুরালে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কেন্দ্রীভূত অবস্থান থাকারই কথা। যদি না হয় তাহলে উল্লিখিত প্রক্রিয়াগুলোর পুনরাবৃত্তি করানো হয়।

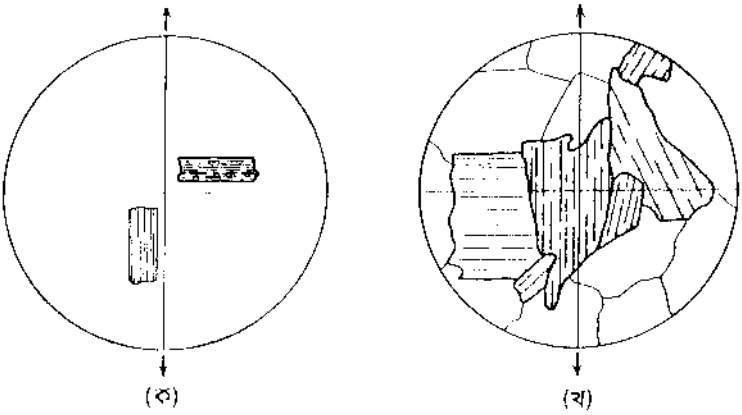
২. সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধতা পরীক্ষা (Crossing the Polars)
সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গতল পারস্পরিক লম্বিক হতে হবে। সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ঊর্ধ্বসমবর্তক বাম থেকে ডানে বা উপর থেকে নিচে সরিয়ে ঊর্ধ্বসমবর্তককে সক্রিয় করানো হয়। ঊর্ধ্বসমবর্তক সক্রিয় করানোর পর নিচসমবর্তককে বীক্ষণাসনের নিচে ঘুরালে যখন নির্বাপন অবস্থান পরিলক্ষিত হয় তখন উভয়ের তরঙ্গ তল পারস্পরিক লম্বিক বা অন্যভাবে সমবর্তকদ্বয় ক্রসবদ্ধ।

৩. ক্রসবদ্ধ রেখাদ্বয়ের পরীক্ষা (Testing the Cross Hairs)
সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অকুলারের ক্রসবদ্ধ রেখাদ্বয় সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ তলের

সমান্তরাল। অণুবীক্ষণ যন্ত্র প্রস্তুতকারী প্রতিষ্ঠান এভাবেই অণুবীক্ষণ যন্ত্র প্রস্তুত করে। যদি উল্লিখিত অবস্থা পরিলক্ষিত না হয় তবে অভিজ্ঞ যন্ত্রবিদের সাহায্য নেয়া হয়। ১.৪ চিত্রে ন্যাটরোলাইট স্ফটিকের সাহায্যে পরীক্ষাটি দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১.৪ ঃ ন্যাটরোলাইট দিয়ে ক্রসবদ্ধরেখাদ্বয়ের পরীক্ষা।



চিত্র ১.৫ ঃ নীচসমবর্তকের তরঙ্গ তল পরীক্ষা। (ক) সূক্ষ্মচ্ছেদে টুরমালিন স্ফটিক (খ) সূক্ষ্মচ্ছেদে বাইওটাইট স্ফটিক।

ন্যাটরোলাইট স্ফটিকের আয়তাকৃতি ছেদ উপরের পরীক্ষা সম্পন্ন করার সহায়ক। সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থায় যখন স্ফটিকের ধার/কিনারা (edge) সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল তখন ন্যাটরোলাইট নির্বাপিত হয়ে পড়ে। খেয়াল করতে হবে স্ফটিকের ধার/কিনারা নির্বাপিত অবস্থায় অকুলারের

রেখাদ্বয়ের সমান্তরাল কিনা। যদি সমান্তরাল হয় তাহলে স্বাভাবিকভাবেই ক্রসবদ্ধ রেখাদ্বয় সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল।

৪. নিচসমবর্তকের তরঙ্গ তল পরীক্ষা (Determining the Vibration Plane of the Lower Polar)

এ পরীক্ষায় ঊর্ধ্বসমবর্তককে নিষ্ক্রিয় রাখা হয়। বাইওটাইট অভ্র দিয়ে এ পরীক্ষা সম্পন্ন করা যায় (চিত্র ১.৫)।

বাইওটাইট সর্বাধিক অন্ধকারাচ্ছন্ন হয়ে পড়ে যখন তার সম্ভেদ (cleavage) নিচসমবর্তকের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল। স্বাভাবিকভাবেই সম্ভেদ দিয়ে নিচসমবর্তকের তরঙ্গ দিক নির্ণয় করা যায়। সাধারণত অকুলারের উল্লম্ব রেখা (বা N-S রেখা) নিচসমবর্তকের তরঙ্গ দিকজ্ঞাপক।

উল্লেখিত চারটি পরীক্ষা সম্পন্ন করার পর সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্র নিয়ে খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদে বিভিন্ন আলোকধর্ম নির্ণয় করা হয়।

দ্বিতীয় অধ্যায়

আলোর ধর্ম

(Properties of Light)

২.১ আলোর সূত্র (Theories of Light)

বিভিন্ন সূত্রের পরিচয় আমরা পাই। একটি সূত্রানুযায়ী, আলো ক্ষুদ্রকণার (ফোটন, photon) স্রোত দ্বারা গঠিত। স্রোতটি আলোকজ্জ্বল বস্তু থেকে দ্রুতগতিতে প্রবাহিত হয়। ক্ষুদ্রকণাগুলি সরলরেখায় প্রবাহিত হয়। এই সূত্র করপাসকুলার সূত্র (Corpuscular Theory) নামে পরিচিত। করপাসকুলার সূত্র মূল অবস্থায় বিখ্যাত বিজ্ঞানী নিউটন দ্বারা সমর্থিত হয়েছিল।

পরবর্তীতে বিজ্ঞানী হাইগেন্‌স বলেন যে, আলো কণার পর কণা দ্বারা প্রবাহিত হয়, কিন্তু সরলরেখায় নয়, তরঙ্গ দ্বারা প্রবাহিত হয়। এই সূত্র আলোর তরঙ্গ সূত্র (Wave Theory) নামে পরিচিত।

তরঙ্গ সূত্রের উন্নয়ন ঘটে বিজ্ঞানী ম্যাকসওয়েল দ্বারা। ম্যাকসওয়েল আলোক তরঙ্গকে 'তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ' (Electromagnetic wave) মনে করতেন। ম্যাকসওয়েলের মতে, তরঙ্গটি দ্রুত পরিবর্তনশীল তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা গঠিত এবং এই ক্ষেত্রদ্বয় পরস্পরের লম্বিক।

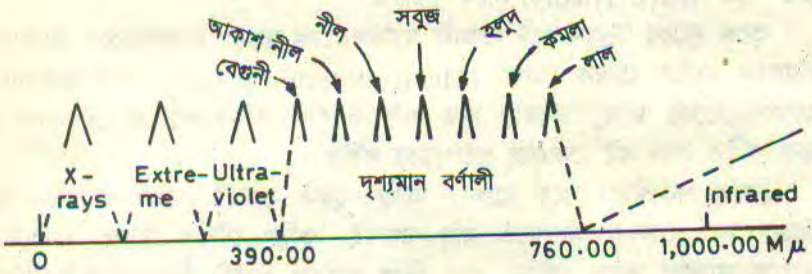
বিগত শতাব্দীর শেষে আলোর 'তড়িৎ-চুম্বক সূত্র'টি তেমন গ্রহণযোগ্যতা পেলো না। কেননা আলোতে যদি যথার্থই 'তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ' থাকতো তাহলে আলোর কাছে কোনো ধাতু নিয়ে আসলে ধাতুটি বিদ্যুৎপরিবাহী হয়ে যাওয়ার কথা, বাস্তবে তা ঘটে না। বিজ্ঞানী প্লাঙ্ক কোয়ানটা (Quanta) নামক এক ধরনের শক্তির (energy) একক আবিষ্কার করেন এবং তাঁর মতে আলোক শক্তি কোয়ানটা দ্বারা প্রবাহিত হয়। আইনস্টাইন ১৯০৫ সালে মতপ্রকাশ করেন যে, আলো-বিদ্যুৎ প্রক্রিয়ায় আলোর শোষণ ঘটে কোয়ানটাম এককে। পরবর্তী পরীক্ষাগুলো প্রমাণ করে যে আইনস্টাইনের কোয়ানটা প্লাঙ্কের কোয়ানটার আকারের সমান। বর্তমান আলোচনায় প্রতিভাত হয় যে আলোর দ্বৈতসত্তা রয়েছে — তরঙ্গ সত্তা ও সরলরৈখিক সত্তা। তরঙ্গ সূত্র বিভিন্ন আলোক বৈশিষ্ট্য যেমন প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, বিচ্ছুরণ, সমবর্তন বুঝতে সহায়তা করে। অন্যদিকে কোয়ানটাম সূত্র রঞ্জন-রশ্মি (X-ray) ও আলোক বিদ্যুৎ (photoelectricity) বুঝতে সহায়তা করে।

২.২ আলোর গতিবেগ (Speed of Light)

আলো শক্তির এক তরঙ্গায়িত রূপ। আলোকতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wavelength) তরঙ্গের গতি নির্ধারণ করে। যদিও সাধারণভাবে আলোর গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে ১,৮৬,০০০ মাইল বলা হয়, বিভিন্ন বর্ণের আলোর গতিবেগ ভিন্ন হয়। যে আলোক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বড় সে তরঙ্গ দ্রুতগামী। আর যে আলোক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছোট সে আলোর গতিবেগ অপেক্ষাকৃত কম। উদাহরণস্বরূপ, ৭৬০ mμ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লাল আলো ৩৮০ mμ (মিলি মাইক্রন) বেগুনি আলোর চেয়ে দ্রুতগামী।

২.৩ আলোর বর্ণ (The Colour of Light)

সাদা আলো বা অন্যভাবে সাধারণ আলো বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সংমিশ্রণ যা একবারেই দৃষ্টিগোচরে আসে। যখন একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিরাজমান তখন আলোর নির্দিষ্ট একটি বর্ণ পরিলক্ষিত হয় বা অন্যভাবে আলোকে একবর্ণীয় আলো (monochromatic light) নামে অভিহিত করা হয়।



চিত্র ২.১ ঃ দৃশ্যমান বর্ণালীর প্রান্তসীমা।

সাদা আলো সাতটি বিভিন্ন বর্ণের সংমিশ্রণ। এই সাতটি বর্ণ একত্রে বর্ণালী (spectrum) সৃষ্টি করে। নিম্নের ছকে সাতটি বর্ণ ও বর্ণের পাশাপাশি তরঙ্গদৈর্ঘ্য দেয়া হয়েছে।

বর্ণ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য	বর্ণ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য
লাল	৭০০ mμ	নীল	৪৭০ mμ
কমলা	৬২০ mμ	আকাশী নীল	৪৪০ mμ
হলুদ	৫৬০ mμ	বেগুনি	৪১০ mμ
সবুজ	৫১৫ mμ		

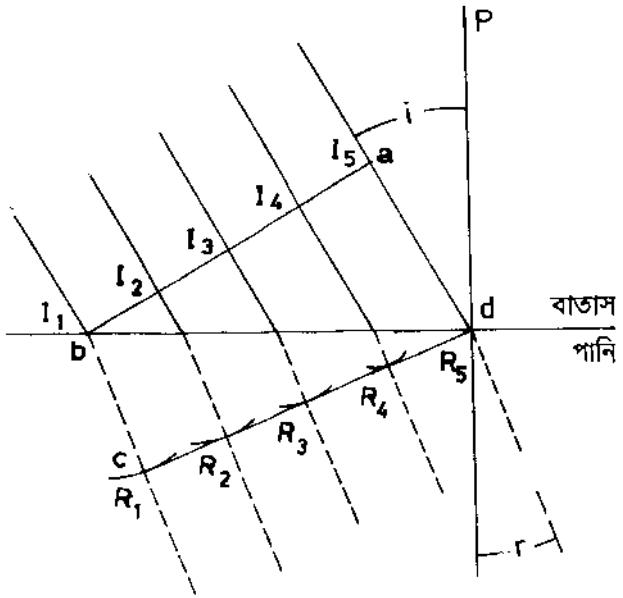
তৃতীয় অধ্যায়

প্রতিসরণ

(Refraction)

৩.১ স্নেলের সূত্র (Snell's Law)

এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করার সময় আলোর গতির পরিবর্তন ঘটে ও দিক পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয়। আলোর এই দিক পরিবর্তন প্রতিসরণ নামে অভিহিত। আপতিত রশ্মি ও প্রতিসরিত রশ্মির সম্পর্ক ৩.১ চিত্র দ্বারা সম্যক-ভাবে উপলব্ধি করা যায়।



চিত্র ৩.১ ঃ হালকা মাধ্যম থেকে ঘন মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ।

মনে করি, হালকা মাধ্যম (বাতাস) সংলগ্ন রয়েছে ঘন মাধ্যমের (পানি) সাথে। আপতিত রশ্মিমালা I দুই মাধ্যমের সংলগ্ন তল bQ বাঁকাভাবে আঘাত করে। আপতন কোণ হচ্ছে i ।

I রশ্মিমালা কয়েকটি রশ্মি যেমন I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 দ্বারা গঠিত। ab তল দ্বারা I রশ্মিমালাকে এমনভাবে আটকিয়ে রাখা হয়েছে যে, I_1 রশ্মি দুই মাধ্যমের সংলগ্ন তলকে স্পর্শ করেছে ও অবশিষ্ট রশ্মিগুলো (অর্থাৎ I_2, I_3, I_4, I_5) সংলগ্ন তল থেকে দূরেই রয়েছে। এখন I রশ্মিমালাকে ঘন মাধ্যমে প্রবেশের সুযোগ দেয়া হলো এমনভাবে যে I_5 সংলগ্ন তলকে স্পর্শ করার সুযোগ পেয়েছে। তাহলে অবশিষ্ট রশ্মিগুলো (I_4, I_3, I_2এবং I_1) ঘন মাধ্যমে প্রবেশ করে বিভিন্ন দূরত্ব অতিক্রম করবে। নতুন তরঙ্গমুখ (wave front) OC দ্বারা দেখানো হয়েছে।

চিত্র থেকে পাই,

$$\sin i = \frac{ao}{bo} \qquad (৩.১)$$

বা $$bo = \frac{ao}{\sin i}$$

তাছাড়া $$\sin r = \frac{bc}{bo} \qquad (৩.২)$$

বা $$bo = \frac{bc}{\sin r}$$

সমীকরণ ৩.১ ও ৩.২ থেকে

$$\frac{ao}{\sin i} = \frac{bc}{\sin r}$$

বা $$\frac{ao}{bc} = \frac{\sin i}{\sin r} \qquad (৩.৩)$$

হালকা মাধ্যমে আলোর পথের (ao) ও ঘন মাধ্যমে আলোর পথের (bc) অনুপাত প্রতিসরণাঙ্ক (n) নির্দেশ করে।

অর্থাৎ $$n = \frac{ao}{bc}$$

বা $$n = \frac{\sin i}{\sin r} \qquad (৩.৪)$$

আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের (sine) সাথে দুই মাধ্যমে আলোর গতিবেগের সম্পর্ককে স্নেলের সূত্র (Snell's Law) বলে।

বাতাসে আলোর গতিবেগ V, পানিতে আলোর গতিবেগ v হলে,

$$n = \frac{V}{v} \qquad (৩.৫)$$

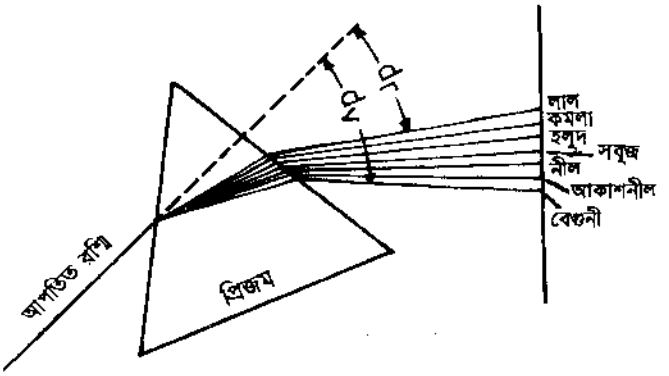
যদি n_1 ও n_2 দুটি ভিন্ন পদার্থের প্রতিসরণাঙ্ক হয় তাহলে,

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_2}{v_1} \qquad (৩.৬)$$

(৩.৬) সমীকরণ থেকে পাই, যে পদার্থের প্রতিসরণাঙ্ক বেশি, তার মধ্যে আলোর গতিবেগ মন্থর এবং যে পদার্থের প্রতিসরণাঙ্ক কম, তার মধ্যে আলোর গতিবেগ দ্রুত, অর্থাৎ উল্লিখিত মাধ্যমদ্বয়ে আলোকরশ্মি ধীর ও দ্রুত রশ্মি নামেই পরিচিত হবে (৪.৮ অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

৩.২ বিচ্ছুরণ (Dispersion)

বর্ণালীর বেগুনি রশ্মির প্রতিসরণাঙ্কের মান লাল রশ্মির প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে বেশি এবং প্রতিসরণের পর লাল রশ্মি বেগুনি রশ্মির চেয়ে কম বেঁকে যায় (চিত্র ৩.২)।



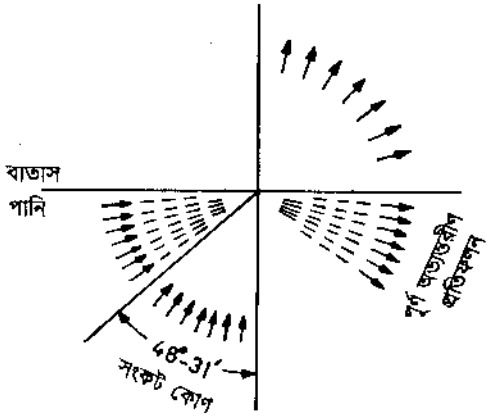
চিত্র ৩.২ ঃ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ।

বেগুনি ও লাল রশ্মির প্রতিসরণাঙ্কের মানদ্বয়ের ব্যবধানকে বিচ্ছুরণ নামে অভিহিত করা হয়।

কোণ dr ও কোণ dv-এর ব্যবধানকে প্রিজমের বিচ্ছুরণ শক্তি (dispersive power) নামে অভিহিত করা হয়। বিভিন্ন খনিজের বিচ্ছুরণ শক্তি বিভিন্ন রকমের। ন্যূনতম মান ফ্লুওরাইটের; সর্বাধিক মানসম্পন্ন খনিজ হীরা। স্বাভাবিকভাবেই ফ্লুওরাইট ও হীরা বিচ্ছুরণ শক্তির চূড়ান্তসীমা নির্দেশ করে।

৩.৩ সংকট কোণ ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন (Critical Angle and Total Internal Reflection)

ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে আলোকরশ্মি প্রবেশ করার সময় আপতন কোণ যদি এ ধরনের হয় যে মাধ্যমদ্বয়ের সংযোগরেখা বরাবর আলো নির্গত হয় তাহলে সেই আপতন কোণকে সংকট কোণ বলে (চিত্র ৩.৩)। যদি আপতন কোণ সংকট কোণের চেয়ে বেশি হয় তাহলে আলোর পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে (চিত্র ৩.৩)।



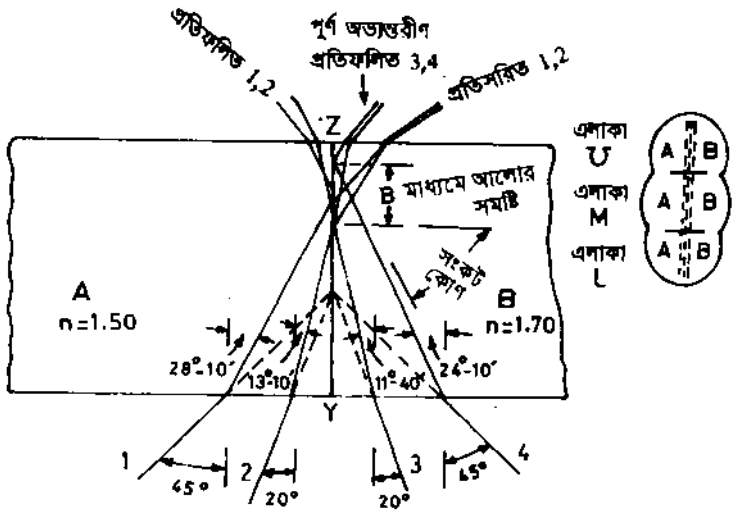
চিত্র ৩.৩ ঃ সংকট কোণ ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন।

৩.৪ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় ঃ কেন্দ্রীয় ঔজ্জ্বল্য পদ্ধতি (Determination of Index of Refraction with the Polarizing Microscope : Method of Central Illumination)

এ পদ্ধতি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ৮০^{x} বা অধিক বর্ধনশক্তিতে সম্পন্ন করা হয়। আইরিশ পর্দা দিয়ে আলোককে সামান্য সঙ্কুচিত করা হয়। এ পদ্ধতি দিয়ে দুটো সংলগ্ন খনিজের অথবা খনিজ ও কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের ব্যবধান, অর্থাৎ তুলনামূলক চিত্র স্পষ্ট হয় কিন্তু এ পদ্ধতির সাহায্যে কোন খনিজের প্রতিসরণাঙ্কের প্রকৃত মান (value of absolute refractive index) নির্ণয় সম্ভব নয়।

দুটি খনিজ A (n = 1.50) ও B (n = 1.70) উল্লম্ব সংযোগস্থলসহ (YZ) সূক্ষ্মচ্ছেদে বিদ্যমান (চিত্র ৩.৪)।

আলোক কোণ (1,2,3,4 রশ্মিগুলি দ্বারা দেখানো হয়েছে) সূক্ষ্মছেদে প্রবেশ করে; 1,2 রশ্মিদ্বয় প্রতিফলন ও প্রতিসরণ দ্বারা আক্রান্ত হয়। 3,4 রশ্মিদ্বয় সংকট কোণের চেয়ে অধিক কোণে আপতিত হওয়ার কারণে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন দ্বারা আক্রান্ত হয়। ফলশ্রুতিতে B-মাধ্যমের M-এলাকায় আলোক ডোরার (light band) সৃষ্টি হয়। এই M-এলাকায় প্রতিফলন ও প্রতিসরণের পর প্রায় সব রশ্মিই জমা হয়। এই আলোক ডোরাকে 'বেকে রেখা' (Becke line) নামে সংজ্ঞায়িত করা হয়।



চিত্র ৩.৪ ঃ কেন্দ্রীয় ঔজ্জ্বল্য পদ্ধতির ব্যাখ্যা।

যদি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নলকে (Tube of the microscope) উপরে উঠিয়ে দৃষ্টি তলকে (plane of focus) U-এলাকা পর্যন্ত নিয়ে আসা হয় তাহলে আলোক ডোরা বা 'বেকে রেখা' প্রশস্ত হয় ও B-মাধ্যমের দিকে অগ্রসর হয় বলে মনে হয়। যদি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নলকে নিচে নামিয়ে দৃষ্টিতলকে L-এলাকা পর্যন্ত নিয়ে আসা হয় তাহলে আলোক ডোরা বা 'বেকে রেখা' A মাধ্যমের দিকে অগ্রসর হয় বলে মনে হয়।

উপরের আলোচনা থেকে এ সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যেতে পারে যে, যখন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নলকে উপরে উঠানো হয় তখন 'বেকে রেখা' ঘন মাধ্যমের দিকে অগ্রসর হয়। আবার যখন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নলকে নিচে নামানো হয় তখন

'বেকে রেখা' হালকা মাধ্যমের দিকে অগ্রসর হয়। এভাবে দুটো ভিন্ন প্রতিসরণাঙ্কের মানসম্পন্ন খনিজদ্বয় অথবা ভিন্ন প্রতিসরণাঙ্কের মানসম্পন্ন খনিজ ও কানাডা বালজামের কোনটি অধিক বা কোনটি কম মানসম্পন্ন তা সহজেই নির্ণয় করা যায়।

৩.৫ ভূমিরূপ (Relief)

কিছু খনিজ সমবর্তন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দৃষ্টিক্ষেত্রে খুব স্পষ্ট দেখা যায়। কিছু খনিজ মোটামুটি স্পষ্ট, কিছু খনিজের স্পষ্টতা নির্ণয় বেশ দুরূহ।

খনিজের পরিলেখের (বাইরের রেখার) দৃষ্টিগোচরতাকে ভূমিরূপ নামে অভিহিত করা হয়। খনিজের ভূমিরূপ তার ও কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের তারতম্যের উপর নির্ভরশীল। যেসব খনিজের প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে বেশি, তাদের ভূমিরূপ তীব্র। যাদের প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে কম বা প্রায় সমান তাদের ভূমিরূপ ক্ষীণ। কানাডা বালজামে খনিজের ভূমিরূপ ক্ষীণ, মধ্যবর্তী, তীব্র হতে পারে।

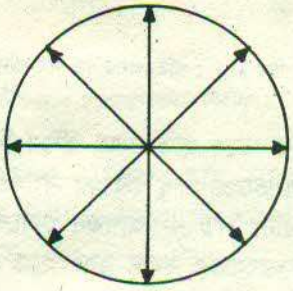
চতুর্থ অধ্যায়

খনিজে আলোর সমবর্তন

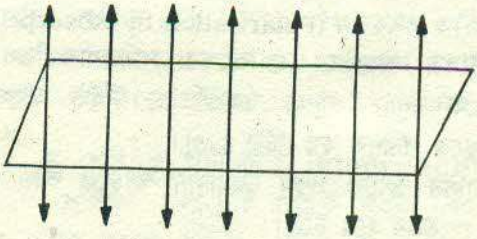
(Plane Polarized Light in Minerals)

৪.১ সমবর্তিত আলোক (Polarized Light)

বাতাসে সাধারণ আলো সকল দিকেই প্রবাহিত হয়। আলোক তরঙ্গকে যদি একটি নির্দিষ্ট তলে আবদ্ধ করা যায় তখন সে আলোর সমবর্তন (polarization) ঘটে বা অন্যভাবে আলোককে সমবর্তিত আলোক (polarized light) নামে সংজ্ঞায়িত করা যায় (চিত্র ৪.১)।



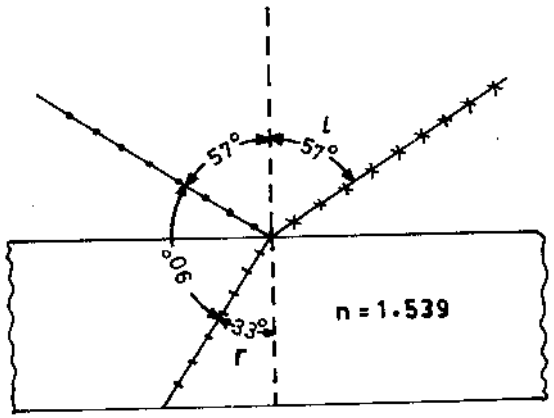
চিত্র ৪.১ (ক) ঃ সাধারণ আলোকের কম্পন।



চিত্র ৪.১ (খ) ঃ সমবর্তিত আলোকের কম্পন।

৪.২ প্রতিফলনজনিত সমবর্তন (Polarization by Reflection)

এক মাধ্যম (বাতাস) থেকে অন্য মাধ্যমে (কাচ) প্রবেশ করার সময় আলো প্রতিফলন ও প্রতিসরণ — উভয়ের দ্বারাই আক্রান্ত হয় (চিত্র ৪.২)।



চিত্র ৪.২ ঃ প্রতিফলনজনিত সমবর্তন।

তলের লম্বিক তলে প্রতিফলিত রশ্মির কিছু তরঙ্গের সমবর্তন ঘটে। আপতন তলের সমান্তরাল তলেও কিছু তরঙ্গের সমবর্তন ঘটে।

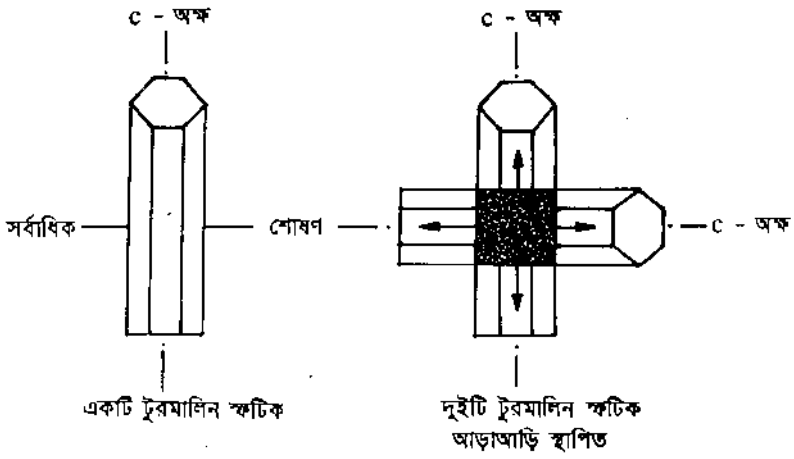
সর্বাধিক সমবর্তন ঘটার শর্ত — আপতন কোণের ট্যানজেন্ট প্রতিফলন বা প্রতিসরণ মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্কের সমান হতে হবে (অর্থাৎ $\tan i = a^{n}b$) — এটিকে ব্রুস্টারের সূত্র (Brewster's Law) বলা হয়।

৪.৩ শোষণজনিত সমবর্তন (Polarization by Absorption)

টুরমালিন স্ফটিকের অভ্যন্তরে C-অক্ষের সমান্তরাল তল ব্যতিরেকে অন্য সবদিকেই আলো শোষিত হয়। ফলশ্রুতিতে নির্গত আলো স্বাভাবিকভাবেই সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয় (চিত্র ৪.৩)।

অন্য টুরমালিন স্ফটিক প্রথম টুরমালিন স্ফটিকে আড়াআড়ি স্থাপন করলে সমবর্তন ক্রিয়া স্পষ্টতর হয়ে উঠে।

দুটি স্ফটিকের সংলগ্ন জায়গায় আলোকপ্রদীপ নির্বাপিত হয়ে পড়ে (চিত্র ৪.৩)।



চিত্র ৪.৩ ঃ শোষণজনিত নির্বাপণ।

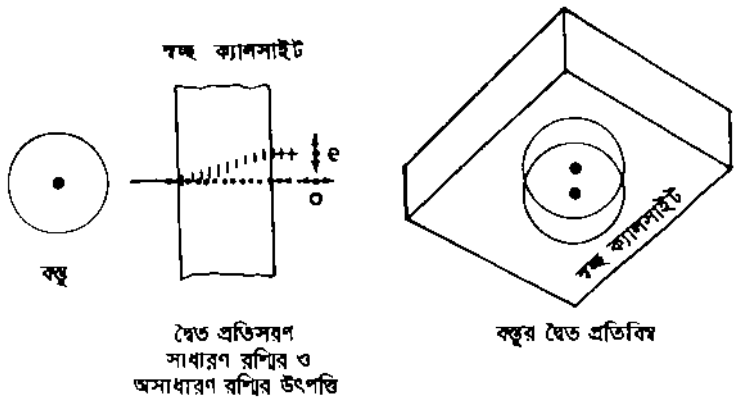
৪.৪ স্বচ্ছ ক্যালসাইটের সম্ভেদ বা প্রিজম দ্বারা সমবর্তন (Polarization by Cleavage or Prism of Transparent Calcite)

খনিজকে ছয়টি স্ফটিক শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয় ঃ

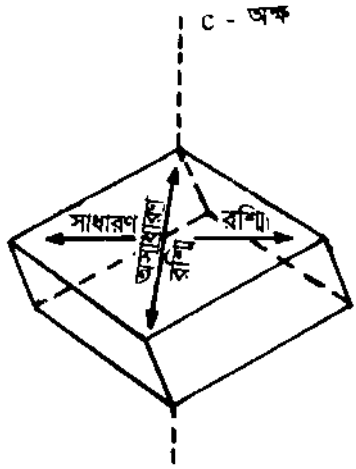
(১) সমমাত্রিক স্ফটিক শ্রেণি (Isometric crystal system)
(২) চতুষ্কৌণিক স্ফটিক শ্রেণি (Tetragonal crystal system)
(৩) ষট্‌কোণ স্ফটিক শ্রেণি (Hexagonal crystal system)
(৪) বিষমত্রয়লম্বিক স্ফটিক শ্রেণি (Orthorhombic crystal system)
(৫) একনতি স্ফটিক শ্রেণি (Monoclinic crystal system)
(৬) ত্রিনতি স্ফটিক শ্রেণি (Triclinic crystal system)।

সমমাত্রিক স্ফটিক শ্রেণি ও অদানাদার (amorphous) খনিজ বাদে অবশিষ্ট সকল স্ফটিক শ্রেণিতে আলো দুটি রশ্মিতে বিভক্ত হয়। এই দুটি রশ্মির কম্পন পারস্পরিক লম্বিক তলদ্বয় (mutually perpendicular plane) বরাবর ঘটে। আলোর এই বৈশিষ্ট্য দ্বৈত প্রতিসরণ (double refraction) নামে পরিচিত।

৪.৪ চিত্রে আইস্‌ল্যাণ্ড স্পারে বা স্বচ্ছ ক্যালসাইটে (Iceland spar or transparent calcite) আলোর দ্বৈত প্রতিসরণ দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৪.৪ ঃ স্বচ্ছ ক্যালসাইটে সাধারণ রশ্মির (o) ও অসাধারণ রশ্মির (e) উৎপত্তি।



চিত্র ৪.৫ ঃ ক্যালসাইটের অভ্যন্তরে সাধারণ রশ্মির ও অসাধারণ রশ্মির কম্পন দিক।

C-অক্ষের সমান্তরাল দিকে আলোর দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে না — এই দিককে আলোক অক্ষ (optic axis) বলা হয়।

অন্য সবদিকে আলো দুটি রশ্মিতে বিভক্ত হয় ঃ

(ক) অসাধারণ রশ্মি (Extraordinary ray)

(খ) সাধারণ রশ্মি (Ordinary ray)।

অসাধারণ রশ্মির কম্পন দিক আলোক অক্ষের সমান্তরাল ও সাধারণ রশ্মির কম্পন দিক আলোক অক্ষের লম্বিক। এ দুটি রশ্মির কারণে বস্তুর দ্বৈত প্রতিবিম্ব (double image) পরিলক্ষিত হয় (চিত্র ৪.৪)।

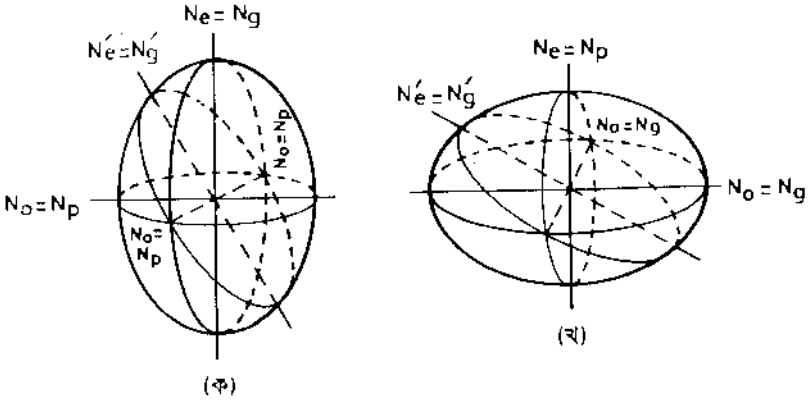
৪.৫ আলোক নির্দেশনাঙ্ক (Optical Indicatrix)

একটি কাল্পনিক চিত্র, যার দ্বারা স্ফটিকের আলোক বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করা যায়। আলোক নির্দেশনাঙ্কের নির্মাণ ঘটেছে দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের (value of double refraction/Birefringence) উপর ভিত্তি করে।

আলোক নির্দেশনাঙ্ক দুই ধরনের হতে পারে ঃ (ক) একাক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক (uniaxial indicatrix) ও (খ) দ্বিআক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক (biaxial indicatrix)।

(ক) একাক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক (Uniaxial Indicatrix)

একাক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক শুধু চতুষ্কৌণিক ও ষট্‌কোণ স্ফটিক শ্রেণিতে পরিলক্ষিত হয়। নিচে একাক্ষিক নির্দেশনাঙ্কের চিত্র দেয়া হয়েছে।



চিত্র ৪.৬ ঃ একাক্ষিক আলোক নির্দেশনাঙ্ক। (ক) আলোক ধনাত্মক (খ) আলোক ঋণাত্মক।

N_e (অসাধারণ রশ্মির অক্ষ) এবং N_o (সাধারণ রশ্মির অক্ষ) নিয়ে সৃষ্ট উপগোলক উল্লিখিত নির্দেশনাঙ্কের চিত্র (চিত্র ৪.৬)। N_e এবং N_o যথাক্রমে n_e (অসাধারণ রশ্মির প্রতিসরণাঙ্ক) এবং n_o (সাধারণ রশ্মির প্রতিসরণাঙ্ক) দ্বারা গঠিত।

যদি $N_e > N_o$ (অর্থাৎ $n_e > n_o$) উপগোলকটি মেরুদীর্ঘ (prolate) এবং স্ফটিকটি আলোক ধনাত্মক (optically positive)।

যদি $N_e < N_o$ (অর্থাৎ $n_e < n_o$) উপগোলকটি মেরুখর্ব (oblate) এবং স্ফটিকটি আলোক-ঋণাত্মক (optically negative)। আলোক অক্ষ সব সময় অসাধারণ রশ্মির অক্ষের সাথে একীভূত হয়। নির্দেশনাঙ্কের মধ্যে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য বিদ্যমান ঃ

(১) একটি প্রধানছেদ – যা উপবৃত্ত। উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় N_e এবং N_o। এই প্রধান ছেদটি আলোক অক্ষের সমান্তরাল।

(২) একটি বৃত্তাকার ছেদ – যার ব্যাসার্ধ N_o। এই ছেদটি আলোক অক্ষের লম্বিক।

(৩) অজস্র অন্তর্বর্তী ছেদ যা উপবৃত্ত – উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় N'_e এবং N_o।

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের (Value of birefringence) পরিবর্তন নিম্নলিখিত উপায়ে ঘটবে ঃ

(১) সর্বাধিক মান [যা n_e-n_o অথবা n_o-n_e অথবা n_g-n_p] আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদে পরিলক্ষিত হবে।

(২) সর্বনিম্ন মান [যা n_e-n_o অথবা n_o-n_o অথবা n_o-n_o অথবা ০ (শূন্য) আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদে পরিলক্ষিত হবে।

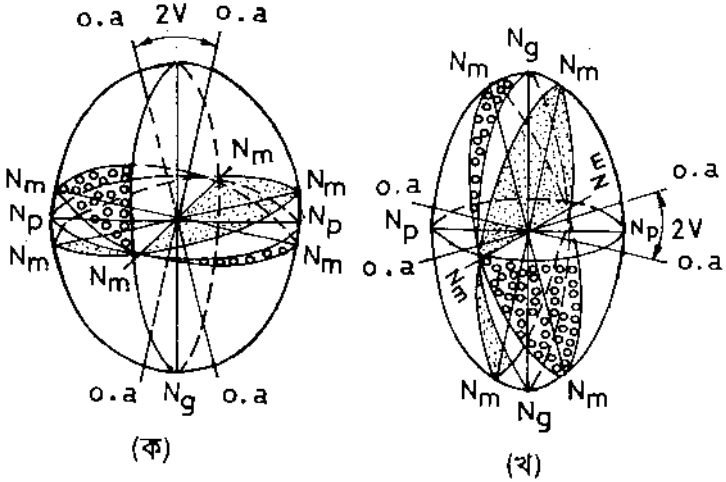
(৩) অন্তর্বর্তী ছেদে দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মান n'_g-n_p (আলোক-ধনাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে) এবং $n_g-n'_p$ (আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে)। এই মান (অর্থাৎ n'_g-n_p বা $n_g-n'_p$) আলোক অক্ষের লম্বিকছেদের মানের চেয়ে বেশি, কিন্তু আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদের মানের চেয়ে কম।

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের পরিবর্তনের সারণি

আলোক চিহ্ন	আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ (বৃত্তাকার ছেদ)	অন্তর্বর্তী ছেদ	আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদ (প্রধান ছেদ)
+	0	$< n'_g-n_p$	$< n_g-n_p$
–	0	$< n_g-n'_p$	$< n_g-n_p$

(খ) দ্বিআক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক (Biaxial Indicatrix)

বিষমত্রয় লম্বিক, একনতি ও ত্রিনতি স্ফটিকশ্রেণিতে দ্বিআক্ষিক নির্দেশনাঙ্ক পরিলক্ষিত হয় (চিত্র ৪.৭)।



চিত্র ৪.৭ ঃ দ্বিআক্ষিক আলোক নির্দেশনাঙ্ক ঃ (ক) আলোক ধনাত্মক (খ) আলোক ঋণাত্মক।

নির্দেশনাঙ্কের চিত্র — ত্রিআক্ষিক উপবৃত্ত। যার রয়েছে তিনটি পারস্পরিক লম্বিক অক্ষ N_g, N_m, N_p — এই তিনটি অক্ষ যথাক্রমে n_g, n_m, n_p দ্বারা গঠিত।

n_g – প্রতিসরণাঙ্কের সর্বাধিক মান

n_m – প্রতিসরণাঙ্কের অন্তর্বর্তী মান

n_p – প্রতিসরণাঙ্কের সর্বনিম্ন মান।

তিনটি প্রধান ছেদ ঃ একটি (N_g এবং N_p), দ্বিতীয়টি (N_g এবং N_m), তৃতীয়টি (N_m এবং N_p) দ্বারা গঠিত।

প্রধান ছেদত্রয়ে দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মান যথাক্রমে (n_g-n_p), (n_g-n_m), (n_m-n_p)।

প্রধান ছেদএয়ে রয়েছে N_m ব্যাসার্ধ সংবলিত দুটো বৃত্তাকার ছেদ। বৃত্তাকার ছেদদ্বয়ের লম্বদ্বয় আলোক অক্ষদ্বয় নির্দেশ করে। আলোক অক্ষদ্বয়ের মধ্যে অন্তর্ভুক্ত সূক্ষ্মকোণকে আলোক অক্ষ কোণ (Angle of the optic axes) বলা হয়। কোণটি 2V দ্বারা দেখানো হয়। আলোক অক্ষদ্বয় (N_g-N_p) প্রধান ছেদে অবস্থান করে। এ ছেদটিকে আলোক অক্ষ তল (Plane of the optic axes) বলা হয়।

আলোক অক্ষতলের লম্বিক অক্ষ N_m ঃ এই অক্ষকে আলোক লম্ব (optic normal) বলা হয়।

আলোক অক্ষ কোণের দুটি সমদ্বিখণ্ডক রয়েছে ঃ একটি সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক, অন্যটি স্থূল সমদ্বিখণ্ডক।

আলোক ধনাত্মক স্ফটিকশ্রেণিতে আলোক অক্ষ কোণের সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক N_g ; আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকশ্রেণিতে আলোক অক্ষ কোণের সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক N_p।

যদি আলোক অক্ষ কোণের মান ৯০ ডিগ্রি হয়, স্ফটিক আলোক চিহ্নবিহীন। দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের পরিবর্তন নিম্নলিখিত উপায়ে ঘটবে।

(১) সর্বাধিক মান (n_g-n_p) ঃ এই মান আলোক অক্ষ তলে পরিলক্ষিত হবে।

(২) সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডকের লম্বিক ছেদের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মান স্থূল সমদ্বিখণ্ডকের লম্বিক ছেদের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে কম।

(৩) সর্বনিম্ন মান ০ (শূন্য)। এই মান আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদে পরিলক্ষিত হবে।

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মানের পরিবর্তনের সারণি

আলোক চিহ্ন	আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ (বৃত্তাকার ছেদ)	সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডকের লম্বিক ছেদ	স্থূলসমদ্বিখণ্ডকের লম্বিক ছেদ	আলোক অক্ষতলের সমান্তরাল ছেদ
+	0	$< n_m-n_p$	$< n_g-n_m$	$<n_g-n_p$
	0	$<n_g-n_m$	$<n_m-n_p$	$<n_g-n_p$

৪.৬ নিচসমবর্তক-খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদ – ঊর্ধ্বসমবর্তকের মাধ্যমে আলোক প্রবাহ (Transmission of light through system : Polarizer-mineral plate-analyzer)

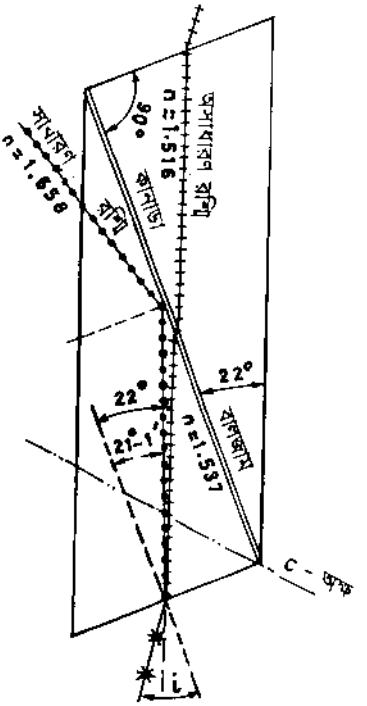
(ক) নিচসমবর্তকের অভ্যন্তরে

আলোকস্বচ্ছ ক্যালসাইট ব্যবহৃত হয় নিচ বা ঊর্ধ্বসমবর্তকের গঠনে। দুটি ক্যালসাইট পাত কানাডা বালজাম নামক এক ধরনের পদার্থ দ্বারা সংযুক্ত হয়। নিচসমবর্তকের অভ্যন্তরে প্রবেশান্তে সাধারণ আলোর (ordinary light) দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে (চিত্র ৪.৮)।

সাধারণ আলো সাধারণ ও অসাধারণ রশ্মিতে বিভক্ত হয়। দুটি রশ্মিই কানাডা বালজামকে বক্রভাবে স্পর্শ করে। সাধারণ রশ্মির প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে বেশি। স্বভাবতই সাধারণ রশ্মি

ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করছে। প্রবেশ করার সময় সঙ্কট কোণকে অতিক্রম করায় সাধারণ রশ্মির পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে।

অসাধারণ রশ্মির প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে অল্প কম বিধায় অসাধারণ রশ্মি প্রতিসরণের পর সামান্য বেঁকে নিচসমবর্তক থেকে বের হয়ে খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদে প্রবেশ করে।



চিত্র ৪.৮ ঃ নিচসমবর্তকের অভ্যন্তরে আলোক প্রবাহ।

(খ) খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের অভ্যন্তরে

সমমাত্রিক স্ফটিক শ্রেণি ও অদানাদার খনিজ ব্যতিরেকে অবশিষ্ট সকল স্ফটিক শ্রেণিতে আলোর দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে। প্রথমোক্ত খনিজগুলিকে সমসারক (isotropic) ও শেষোক্ত খনিজগুলিকে অসমসারক (anisotropic) খনিজ নামে অভিহিত করা হয়। বর্তমান আলোচনায় খনিজটি অসমসারক হিসেবে ধরে নেয়া হচ্ছে।

খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদে প্রবেশ করার সময় নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত অসাধারণ রশ্মির দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে এবং দুটি পারস্পরিক লম্বিক রশ্মির সৃষ্টি হয়। ফলশ্রুতিতে দূরত্বভিন্নতা (retardation) ঘটে।

দূরত্বভিন্নতা (retardation) ঃ দ্রুতরশ্মি ধীররশ্মি থেকে যে অধিকতর দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে দূরত্বভিন্নতা নামে অভিহিত করা হয়।

মনে করি, সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্ব t। সূক্ষ্মচ্ছেদের অভ্যন্তরে রশ্মিদ্বয়ের গতিবেগ যথাক্রমে V_1 এবং V_2। সূক্ষ্মচ্ছেদটি অতিক্রম করতে সময় লেগেছে যথাক্রমে d_1 এবং d_2।

এই শর্তে, $t = v_1 d_2$ এবং $t = v_2 d_2$

$$d_1 = \frac{t}{v_1}$$

$$d_2 = \frac{t}{v_2}$$

মনে করি, $V_1 > V_2$ (অর্থাৎ V_1 দ্রুতরশ্মি, V_2– ধীররশ্মি), তাহলে $d_1 < d_2$। দ্রুতরশ্মির পরে ধীররশ্মি সূক্ষ্মচ্ছেদটি অতিক্রম করবে যে সময়ে তা হচ্ছে $(d_2 - d_1)$। এ সময়ে দ্রুতরশ্মি বাতাসে V_0 গতিবেগ নিয়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করবে তা হচ্ছে $[V_0 (d_2 - d_1)]$। এই দূরত্বটিই দূরত্বভিন্নতা নির্দেশ করে।

$$\Delta = V_0 (d_2 - d_1) \quad [\Delta = \text{দূরত্বভিন্নতা}]$$

$$\Delta = V_0 \left(\frac{t}{v_2} - \frac{t}{v_1} \right)$$

$$\Delta = t \left(\frac{V_0}{V_2} - \frac{V_0}{V_1} \right)$$

$$\Delta = t (n_2 - n_1)$$

$$\frac{V_0}{V_2} = n_2 \qquad \text{(ধীররশ্মির প্রতিসরণাঙ্ক)}$$

$$\frac{V_0}{V_1} = n_1 \qquad \text{(দ্রুতরশ্মির প্রতিসরণাঙ্ক)}$$

একাক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদে Δ-র মান সর্বাধিক হবে; দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে আলোক অক্ষতলের সমান্তরাল ছেদে Δ-র মান সর্বাধিক হবে। উভয় ক্ষেত্রেই $\Delta = t (n_g - n_p)$।

আবার, একাক্ষিক বা দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদে Δ-র মান হবে ০ (শূন্য)।

(গ) ঊর্ধ্বসমবর্তকের অভ্যন্তরে

যখন সমবর্তকদ্বয় উভয়েই সক্রিয় (অর্থাৎ ঊর্ধ্বসমবর্তক ব্যবহার করা হচ্ছে) তখন তাদের কম্পন তল পরস্পরের লম্বিক; সমবর্তকদ্বয় এই অবস্থায় ক্রস (X) অবস্থান নির্দেশ করে। আলোচনার সুবিধার্থে একটি অসমসারক খনিজ নেয়া হয়েছে, যার মধ্যে দ্রুত ও ধীররশ্মির কম্পন দিক সমবর্তকদ্বয়ের কম্পন দিকের সাথে একীভূত হবে না।

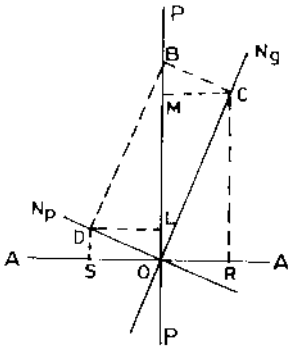
নিচসমবর্তক থেকে ঊর্ধ্বসমবর্তক পর্যন্ত আলোকক্রিয়ার পর্যায়ক্রম ঃ

(১) নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত হয় সমবর্তিত আলোকরশ্মি যার কম্পন তল PP ও বিস্তার OB (চিত্র ৪.৯)।

(২) খনিজে প্রবেশান্তে উদ্গিত আলোকরশ্মির দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে এবং বলের সামান্তরিক সূত্রানুযায়ী N_g এবং N_p রশ্মিদ্বয়ের আবির্ভাব ঘটে যাদের বিস্তার যথাক্রমে OC এবং OD।

(৩) N_g এবং N_p রশ্মিদ্বয়ের গতিভিন্নতাহেতু দূরত্বভিন্নতা ঘটে।

(৪) প্রথমে দ্রুতরশ্মি ও পরে ধীররশ্মি ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রবেশ করে, ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রতিটির দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটে ও বলের সামান্তরিক সূত্রানুযায়ী চারটি নতুন রশ্মির উদ্ভব হয়।



চিত্র ৪.৯ ঃ নিচসমবর্তক খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদ ঊর্ধ্বসমবর্তকের মাধ্যমে আলোক প্রবাহের চিত্র।

(৫) আলোক তরঙ্গ OL ও OM সাধারণ রশ্মির তরঙ্গদিকের সাথে একীভূত হওয়ার কারণে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনহেতু ঊর্ধ্বসমবর্তকে নির্বাপিত হয়ে পড়ে।

(৬) আলোক তরঙ্গ OR ও OS অসাধারণ রশ্মির তরঙ্গদিকের সাথে একীভূত হওয়ার কারণে সহজেই ঊর্ধ্বসমবর্তকে কম্পিত হয়। তবে তাদের কম্পন দিক পারস্পরিক বিপরীত দশায় (phase) ঘটে ও তারা পরস্পরকে ব্যতিচার করে। ফলশ্রুতিতে ব্যতিচারী বর্ণের (Interference colour) উদ্ভব হয়।

(৭) উদ্ভূত ব্যতিচারী বর্ণ Δ-র উপর নির্ভরশীল।

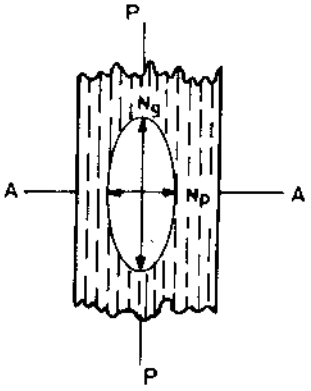
বিভিন্ন উদাহরণ

(১) খনিজ নেই ও সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে ঃ নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত সমবর্তিত আলোকরশ্মি সরাসরি ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রবেশ করে, সাধারণ

রশ্মির তরঙ্গ দিকের সাথে একীভূত হয় ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনহেতু নির্বাপিত হয়ে পড়ে।

(২) খনিজ সমসারক ও সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে ঃ নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত সমবর্তিত আলোকরশ্মি খনিজে প্রবেশান্তে দ্বৈত প্রতিসরণের শিকার না হয়ে ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রবেশ করে, সাধারণ রশ্মির তরঙ্গ দিকের সাথে একীভূত হয় ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনহেতু নির্বাপিত হয়ে পড়ে।

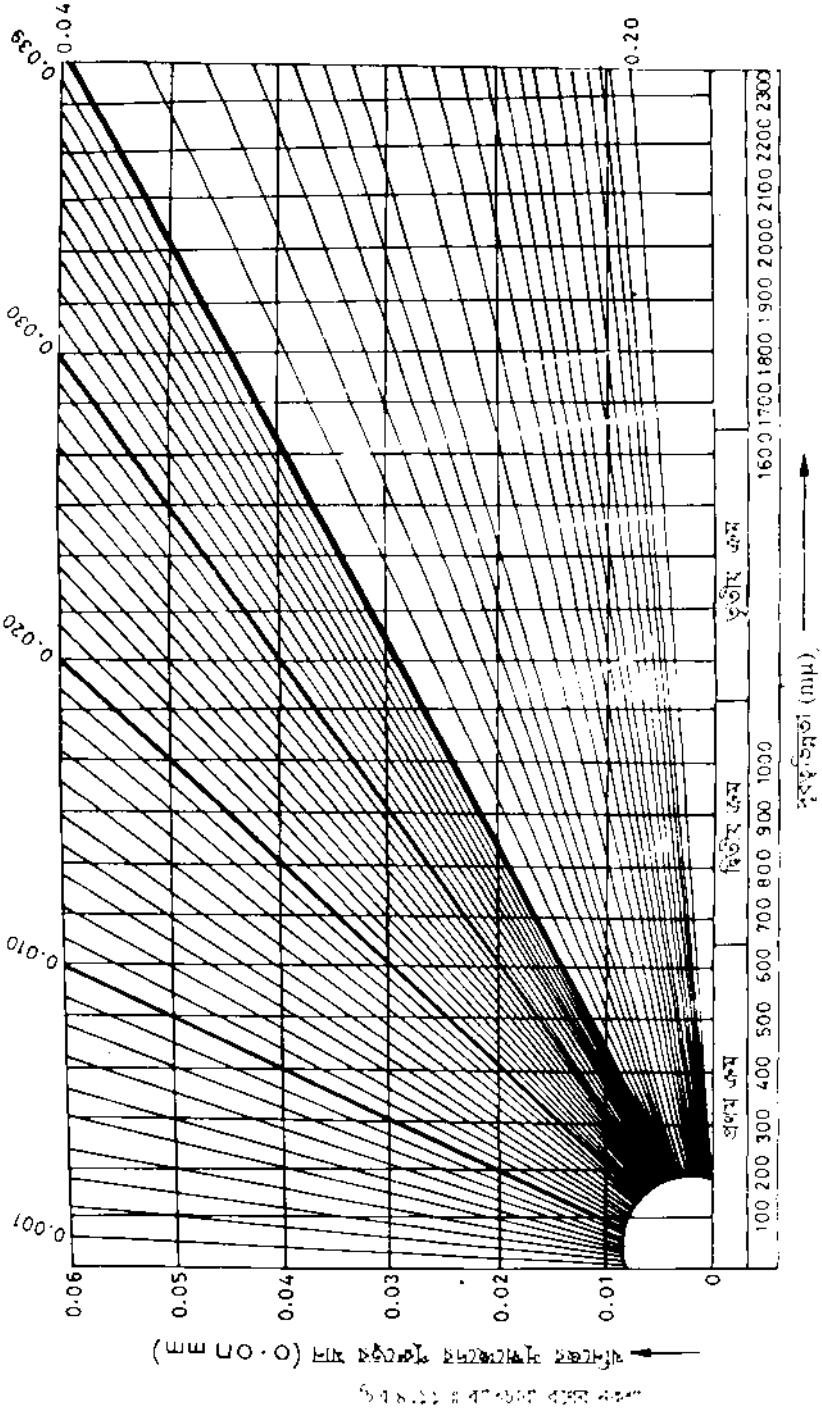
(৩) খনিজ অসমসারক, খনিজছেদটি আলোক অক্ষের লম্বিক ও সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে ঃ নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত সমবর্তিত আলোকরশ্মি খনিজে প্রবেশান্তে দ্বৈত প্রতিসরণের শিকার হয় না (কারণ উল্লিখিত ছেদটি সমসারক), ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রবেশ করে, অসাধারণ রশ্মির তরঙ্গ দিকের সাথে একীভূত হয় ও পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হেতু নির্বাপিত হয়ে পড়ে।



চিত্র ৪.১০ ঃ খনিজটি অসমসারক, খনিজে রশ্মিদ্বয়ের (ধীর ও দ্রুতরশ্মি) তরঙ্গ দিক সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ দিকের সাথে একীভূত হয় ও সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে।

(৪) খনিজটি অসমসারক, খনিজে রশ্মিদ্বয়ের (ধীর ও দ্রুতরশ্মি) তরঙ্গ দিক সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ দিকের সাথে একীভূত হয় ও সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে ঃ নিচসমবর্তক থেকে বহির্ভূত সমবর্তিত আলোকরশ্মি খনিজে প্রবেশান্তে দ্বৈত প্রতিসরণের শিকার না হয়ে ঊর্ধ্বসমবর্তকে প্রবেশ করে। সাধারণ রশ্মির তরঙ্গদিকের সাথে একীভূত হওয়ার কারণে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনহেতু নির্বাপিত হয়ে পড়ে।

৪.৭ ব্যতিচারী বর্ণের নকশা (Interference Colour Chart)



ব্যতিচারী বর্ণের নকশা এভাবে গঠিত হয় যে (চিত্র ৪.১১) অনুভূমির অক্ষে রয়েছে দূরত্বভিন্নতা (যার একক mμ), আর উল্লম্ব অক্ষে রয়েছে সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্ব (যার একক o.on mm)। প্রতিটি দূরত্বভিন্নতার মানের একটি নির্দিষ্ট ব্যতিচারী বর্ণ রয়েছে যা নকশাতে উল্লম্ব ডোরাতে দেখানো হয়েছে।

অনুভূমিক ও উল্লম্ব অক্ষদ্বয়ের ছেদবিন্দু থেকে নকশার ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কোনাকুনি (diagonal) রেখা অনেক টানা হয়েছে। প্রতিটি কোনাকুনি রেখা খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের একটি নির্দিষ্ট সর্বাধিক মান (n_g-n_p) প্রদর্শন করে।

ব্যতিচারী বর্ণের নকশাতে দূরত্বভিন্নতার (Δ) মান ৫৫০ mμ-এর নিচে হলে প্রথম ক্রম (I order) ব্যতিচারী বর্ণের। বেগুনি (Δ = ৫৫০ mμ) হচ্ছে প্রথম ও দ্বিতীয় ক্রমের সীমা। বেগুনি (Δ = ৫৫০ mμ) থেকে বেগুনি (Δ = ১১২৮ mμ) ব্যতিচারী বর্ণের দ্বিতীয় ক্রম (II order) নির্দেশ করে। বেগুনি (Δ = ১১২৮ mμ) থেকে বেগুনি (Δ = ১৬৫২ mμ) ব্যতিচারী বর্ণের তৃতীয় ক্রম (III order) নির্দেশ করে। তৃতীয় ক্রমের ঊর্ধ্বের ব্যতিচারী বর্ণ এত হালকা থাকে যে তা সহজে নির্ণয় করা যায় না।

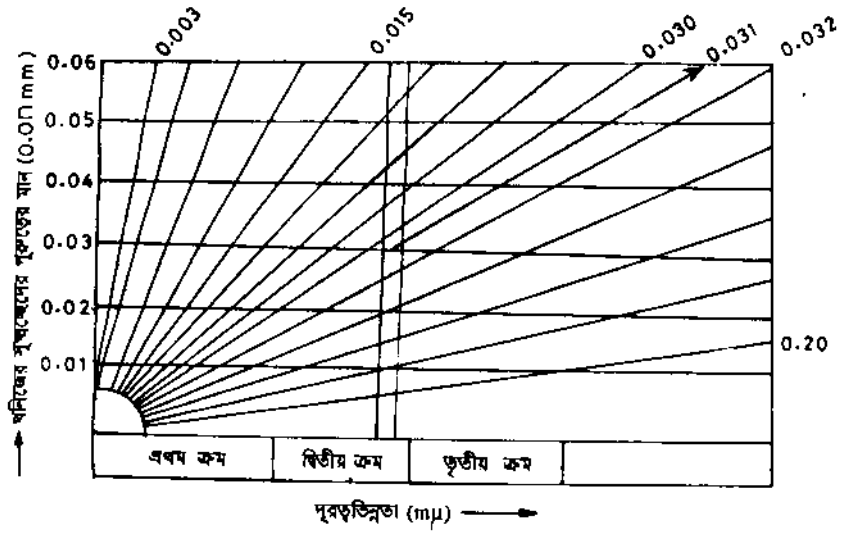
ব্যতিচারী বর্ণের নকশার ব্যবহার

(১) খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের সর্বাধিক মান (n_g-n_p) নির্ণয় (Determination of the maximum value of birefringence (n_g-n_p) of a mineral)

(২) খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্বের মান নির্ণয় (Determination of the thickness of the thin section of a mineral)

১. খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের সর্বাধিক মান নির্ণয়

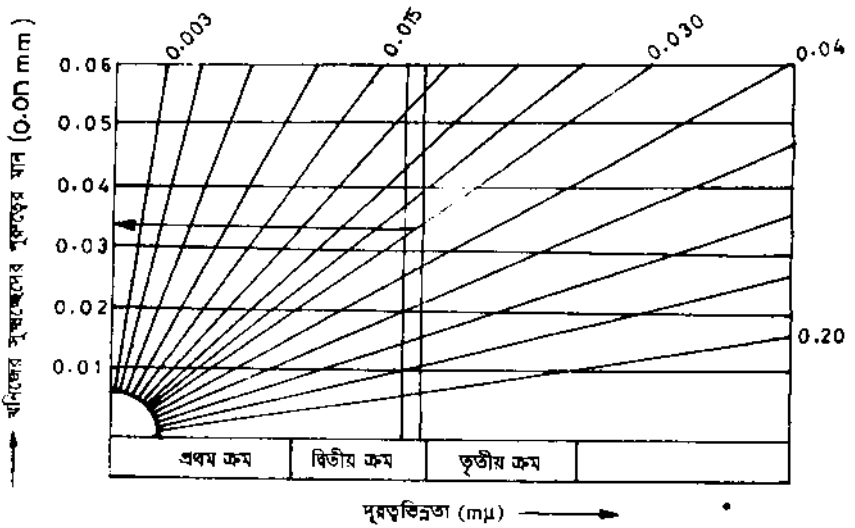
ব্যতিচারী বর্ণের নকশায় সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থানে প্রাপ্ত খনিজের সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ অনুভূমিক রেখা (যা খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্বের নির্দেশক) দ্বারা ছেদ করা হয় (চিত্র ৪.১২)। ছেদবিন্দু থেকে নকশার ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কোনাকুনি রেখা টানা হয় এবং সেখান থেকে খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের সর্বাধিক মান নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৪.১২ ঃ খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের সর্বাধিক মান নির্ণয়।

২. খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্বের মান নির্ণয়

ব্যতিচারী বর্ণের নকশায় সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থানে প্রাপ্ত খনিজের সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ কোনাকুনি রেখা (যা খনিজের দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মান নির্দেশক)



চিত্র ৪.১৩ ঃ খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের পুরুত্বের মান নির্ণয়।

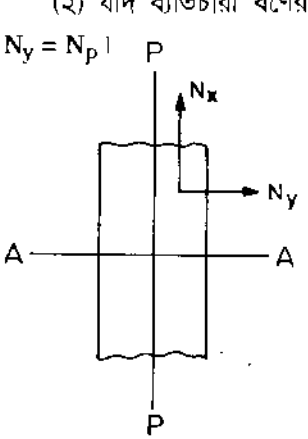
দ্বারা ছেদ করা হয়। ছেদবিন্দু থেকে নকশার বামসীমা পর্যন্ত অনুভূমিক রেখা টানা হয় এবং সেখান থেকে খনিজের সূক্ষ্মচ্ছেদের মান অতি সহজেই নির্ণয় করা যায় (চিত্র ৪.১৩)।

৪.৮ ধীর ও দ্রুতরশ্মি (Slow and Fast Rays)

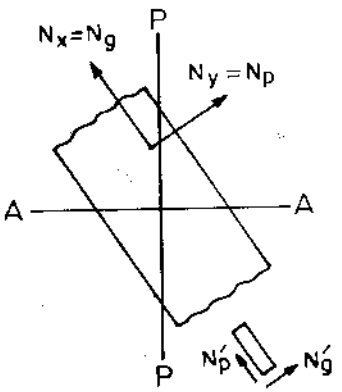
পূর্বেই দেখানো হয়েছে সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে খনিজে ধীর ও দ্রুতরশ্মির কম্পন দিক যখন সমবর্তকদ্বয়ের কম্পন দিকের সাথে মিলিত হয় তখন খনিজটি নির্বাপণ অবস্থান গ্রহণ করে (চিত্র ৪.১৪)। বীক্ষণাসনটি নির্বাপণ অবস্থান থেকে ৪৫ ডিগ্রি দক্ষিণাবর্তে (clockwise) বা বামাবর্তে (anticlockwise) (সাধারণত বামাবর্তে) ঘুরিয়ে খনিজকে সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণের অবস্থানে (position of maximum interference colour) আনয়ন করা হয় (চিত্র ৪.১৫)। সহায়ক পাত (যার মধ্যে ধীর ও দ্রুতরশ্মি নির্দেশিত) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নির্দিষ্ট ছিদ্রে প্রবেশ করানো হয়। অভ্রপাত, জিপসামপাত, কোয়ার্টজ কীলক সহায়ক পাত হিসাবে ব্যবহৃত হয়। দুটি ঘটনা ঘটতে পারে ঃ

(১) যদি ব্যতিচারী বর্ণের ক্রম বর্ধিত হয়। তাহলে $N_x = N_p$, $N_y = N_g$।

(২) যদি ব্যতিচারী বর্ণের ক্রম হ্রাস পায় (চিত্র ৪.১৫), তাহলে $N_x = N_g$, $N_y = N_p$।



চিত্র ৪.১৪ ঃ খনিজের নির্বাপণ অবস্থান ঃ রশ্মিদ্বয়ের তরঙ্গ দিক সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ দিকের সমান্তরাল।



চিত্র ৪.১৫ ঃ সহায়ক পাতের সাহায্যে রশ্মিদ্বয়ের নামকরণ।

এভাবে আমরা ধীর ও দ্রুতরশ্মির কম্পন দিক নির্ণয় করতে পারি। অভ্রপাত ব্যবহৃত হয় সেসব খনিজের ক্ষেত্রে যেখানে দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক স্বল্পমানের। জিপসামপাত ব্যবহৃত হয় যেখানে দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক মধ্যমমানের আর কোয়ার্টজ কীলক দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের উচ্চমানসম্পন্ন খনিজের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।

৪.৯ নির্বাপণ ও নির্বাপণ কোণ নির্ণয় (Extinction and Determination of Extinction Angle)

খনিজের অভ্যন্তরস্থ ধীর ও দ্রুতরশ্মিদ্বয় সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ তলের সাথে একীভূত হলে খনিজটি নির্বাপণ অবস্থান গ্রহণ করে (কারণ পূর্বেই বলা হয়েছে)। কোনো কোনো খনিজের সম্ভেদ দিক (cleavage direction)/দীর্ঘায়িত দিক (elongated direction) সমবর্তকের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল হলে নির্বাপণের সৃষ্টি হয়। আবার কোনো কোনো খনিজের সম্ভেদ দিক/দীর্ঘায়িত দিক সমবর্তকের তরঙ্গ তলের সাথে কোণ (সূক্ষ্ম বা স্থূল) সৃষ্টি করলে নির্বাপণের সৃষ্টি হয় — এ অবস্থায় নির্বাপণ কোণ নির্ণয় জরুরি হয়ে পড়ে।

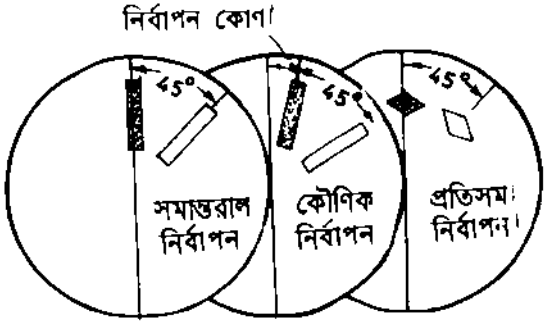
নির্বাপণের প্রকারভেদ

(১) সমান্তরাল নির্বাপণ (Parallel extinction)

(২) কৌণিক নির্বাপণ (Inclined/oblique extinction)

(৩) প্রতিসম নির্বাপণ (Symmetrical extinction)

নিম্নে এই তিন ধরনের নির্বাপণের চিত্র প্রদর্শিত হয়েছে ঃ



চিত্র ৪.১৬ ঃ নির্বাপণের প্রকারভেদ।

(১) **সমান্তরাল নির্বাপণ** (Parallel extinction) ঃ সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজের সম্ভেদ দিক/দীর্ঘায়িত দিক সমবর্তকের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল হলে খনিজটি যদি নির্বাপিত হয়, তাহলে সে নির্বাপণকে সমান্তরাল নির্বাপণ নামে অভিহিত করা হয় (চিত্র ৪.১৬)।

(২) **কৌণিক নির্বাপণ** (Inclined/oblique extinction) ঃ সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজের সম্ভেদ দিক/দীর্ঘায়িত দিক সমবর্তকের তরঙ্গ তলের সাথে কোণ (সূক্ষ্ম বা স্থূল) সৃষ্টি করলে খনিজটি যদি নির্বাপিত হয়, তাহলে তা নির্বাপণ কৌণিক নির্বাপণ নামে অভিহিত হয়। এক্ষেত্রে নির্বাপণ কোণ নির্ণয় জরুরি হয়ে পড়ে।

(৩) **প্রতিসম নির্বাপণ** (Symmetrical extinction) ঃ কোনো কোনো খনিজের রম্বিক আকৃতি (rhombic form) দেখা যায়। কোনো কোনো খনিজের ক্ষেত্রে সম্ভেদ ছাঁচ (Cleavage pattern) রম্বিক আকৃতিময় হয়ে থাকে। এসব খনিজের ক্ষেত্রে সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থায় যখন সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গতল রম্বিক ছাঁচের কর্ণদ্বয়ের সমান্তরাল হয় তখন খনিজ নির্বাপিত হয়ে পড়ে (চিত্র ৪.১৬)। এ ধরনের নির্বাপণ প্রতিসম নির্বাপণ নামে পরিচিত।

নির্বাপণ কোণ নির্ণয়ের পদ্ধতি (Procedure for Determination of Extinction Angle) : (১) সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজের সম্ভেদ দিক/দীর্ঘায়িত দিক সমবর্তকের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল করে আনয়ন করা হয় [চিত্র ৪.১৭ (ক)]।

যেহেতু খনিজটি সমান্তরাল নির্বাপণ রহিত, এই অবস্থানে খনিজটি নির্বাপিত হবে না। বীক্ষণাসনের পঠন (reading) নেয়া হয়।

(২) বীক্ষণাসন ঘুরিয়ে খনিজটিকে নিকটতম নির্বাপণ অবস্থানে নিয়ে আসা হয় (চিত্র ৪.১৭ (খ))। বীক্ষণাসনের পঠন নেয়া হয়। প্রথম ও দ্বিতীয় পঠনের পার্থক্যই নির্বাপণ কোণ।

(৩) বীক্ষণাসন নির্বাপণ অবস্থান থেকে ৪৫ ডিগ্রি দক্ষিণাবর্তে বা বামাবর্তে (সাধারণত বামাবর্তে) ঘুরিয়ে খনিজকে তার সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণের অবস্থানে নিয়ে আসা হয় (৪.১৭ (গ)।

আমাদের পরবর্তী পদক্ষেপ হচ্ছে ধীর ও দ্রুতরশ্মির দিক নির্ণয় করা।

(৪) সহায়ক পাত (যার মধ্যে ধীর ও দ্রুতরশ্মি চিহ্নিত) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নির্দিষ্ট ছিদ্রে প্রবেশ করানো হয় [চিত্র ৪.১৭ (গ)]।

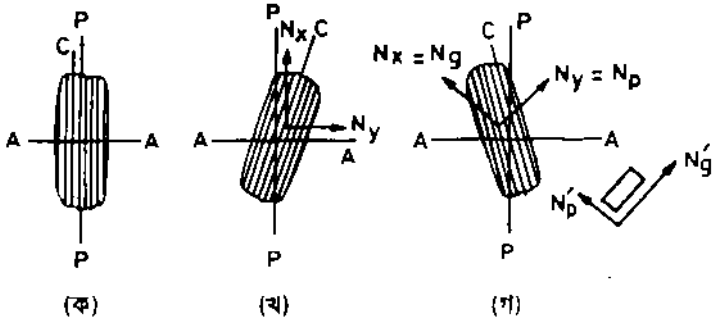
দুটো ঘটনা ঘটতে পারে ঃ

(ক) যদি ব্যতিচারী বর্ণের ক্রম বৃদ্ধি পায়, তবে $N_x = N_p$, $N_y = N_g$

(খ) যদি ব্যতিচারী বর্ণের ক্রম হ্রাস পায়, তবে $N_x = N_g$, $N_y = N_p$।

ধীররশ্মির সাথে যে নির্বাপণ কোণ সৃষ্ট হয় তা আলোক বৈশিষ্ট্য হিসেবে

মর্যাদা পায় (উদাহরণ – হরনব্লেণ্ড খনিজের নির্বাপণ কোণ $C \wedge N_g = 12^0 - 30^0$)।



চিত্র ৪.১৭ ঃ নির্বাপণ কোণ নির্ণয়ের পর্যায়ক্রম।

৪.১০ দীর্ঘায়ন (Elongation)

অধিকাংশ খনিজের মধ্যে দীর্ঘায়ন বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হয়। এই দীর্ঘায়িত দিক সাধারণত C-অক্ষের সমান্তরাল। যদি দীর্ঘায়িত দিকটির সাথে ধীররশ্মি একীভূত হয় তবে খনিজটি ধনাত্মক দীর্ঘায়ন (positive elongation)/ধীর-দৈর্ঘ্য (length-slow) স্বভাবের; যদি দীর্ঘায়িত দিকটির সাথে দ্রুতরশ্মি একীভূত হয় তবে খনিজটি ঋণাত্মক দীর্ঘায়ন (negative elongation)/দ্রুত-দৈর্ঘ্য (length-fast) স্বভাবের।

কার্যক্ষেত্রে, খনিজকে ধনাত্মক দীর্ঘায়ন/ধীর-দৈর্ঘ্য স্বভাবের বলা হয় যখন CIIN$_g$ বা $C \wedge N_g \leq 30$ ডিগ্রি ; খনিজকে ঋণাত্মক দীর্ঘায়ন/দ্রুত-দৈর্ঘ্য স্বভাবের বলা হয় যখন CIINp বা $C \wedge N_p \leq 30$ ডিগ্রি। উভয়ক্ষেত্রেই অর্থাৎ $C \wedge N_g > 30$ ডিগ্রি বা $C \wedge N_p > 30$ ডিগ্রি হলে দীর্ঘায়ন স্বভাব নির্ণয় করা হয় না।

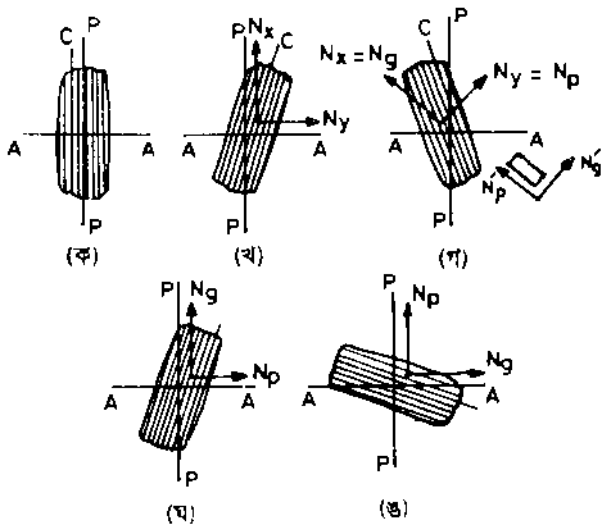
৪.১১ বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর নির্ণয়ের পদ্ধতি ঃ (Pleochroism and Procedure for Determination of Pleochroism)

বর্ণ পরিবর্তন নিচসমবর্তক দ্বারা (অর্থাৎ ঊর্ধ্বসমবর্তক ব্যতীত) নির্ণয় করা হয়। কিছু রঙ্গিন খনিজ বীক্ষণাসন ঘুরালে বর্ণ পরিবর্তন করে। এ ধরনের খনিজকে বর্ণচোরা খনিজ বলে এবং এ ঘটনাকে বর্ণান্তর নামে অভিহিত করা হয়।

(১) একাক্ষিক খনিজ দ্বিধাবর্ণ পরিবর্তন সম্পন্ন ঃ অর্থাৎ এই ধরনের খনিজ দুইদিক বরাবর বর্ণ পরিবর্তন করে (N_g ও N_p বরাবর)।

(২) দ্বিঅক্ষিক খনিজ ত্রিধাবর্ণ পরিবর্তন সম্পন্ন ঃ অর্থাৎ এই ধরনের খনিজ তিনদিক বরাবর বর্ণ পরিবর্তন করে (N_g, N_m ও N_p বরাবর)।

বর্ণান্তর নির্ণয়ের পদ্ধতি ঃ (Procedure for Determination of Pleochroism) : (১) বীক্ষণাসন ঘুরিয়ে খনিজকে নির্বাপণ অবস্থানে নিয়ে আসা হয়। খনিজের সমান্তরাল বা কৌণিক নির্বাপণ থাকতে পারে। কৌণিক নির্বাপণের ক্ষেত্রে নির্বাপণ কোণ নির্ণয় করা হয়। মনে করি, নির্বাপণ কোণ ২৫ ডিগ্রি, যেহেতু ধীর ও দ্রুতরশ্মির কম্পন দিক এখনও নির্ণয় করা হয় নি, তাই নির্বাপণ কোণ এভাবে লেখা হয়। যেমন C^Nx = 25 ডিগ্রি [চিত্র ৪.১৮ (খ)]। বলা বাহুল্য, নির্বাপণ কোণ সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় নির্ণয় করা হয়।



চিত্র ৪.১৮ ঃ বর্ণান্তর নির্ণয়ের পর্যায়ক্রম।

(২) নির্বাপণ অবস্থান থেকে বীক্ষণাসন ৪৫ ডিগ্রি বামাবর্তে ঘুরিয়ে খনিজকে সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণের অবস্থানে নিয়ে আসা হয় [চিত্র ৪.১৮ (গ)]। সহায়ক পাত (যার মধ্যে ধীর ও দ্রুতরশ্মি চিহ্নিত) অণুবীক্ষণ যন্ত্রের নির্দিষ্ট ছিদ্রে প্রবেশ করানো হয়। এ অবস্থায় ব্যতিচারী বর্ণের ক্রম হ্রাস পেলে নির্বাপণ কোণ এভাবে লেখা হয়। যেমন ঃ $C^N_g = 25$ ডিগ্রি।

(৩) বীক্ষণাসন ঘুরিয়ে খনিজকে চিত্র (৪.১৮ (ঘ)) অবস্থানে আনয়ন করা হয়। পূর্বেই বলা হয়েছে বর্ণান্তর নিচসমবর্তক দ্বারা (অর্থাৎ উর্ধ্বসমবর্তক ব্যতীত) নির্ণয় করা হয়। তাই বর্ণ পরিবর্তন অবলোকনের জন্য উর্ধ্বসমবর্তককে এখন নিষ্ক্রিয় করা হয় (অর্থাৎ উর্ধ্বসমবর্তককে আলোক ক্রিয়া থেকে সরিয়ে নিয়ে আসা হয়)। আমরা এখন N_g অক্ষ বরাবর খনিজের বর্ণ পর্যবেক্ষণ করি। ধরি, এ অবস্থায় খনিজের বর্ণ ঘন সবুজ।

(৪) এ অবস্থান থেকে বীক্ষণাসন ৯০ ডিগ্রি ঘুরিয়ে Np অক্ষকে উল্লম্ব রেখার সাথে একীভূত করা হয় [চিত্র ৪.১৮ (ঙ)]। আমরা Np অক্ষ বরাবর খনিজের বর্ণ পর্যবেক্ষণ করি। ধরি, এ অবস্থায় খনিজের বর্ণ হালকা সবুজ। তাহলে বর্ণান্তর ফর্মুলা হবে ঃ $N_g > N_p$।

(৫) N_m অক্ষ বরাবর খনিজের বর্ণ নির্ণয়ের জন্য আলোক অক্ষের লম্বিকছেদ ব্যবহৃত হয়। এ ছেদটি বৃত্তাকার ছেদ, যার ব্যাসার্ধ N_m। এই ছেদ বীক্ষণাসন ঘুরালে বর্ণ পরিবর্তন করে না (অর্থাৎ বর্ণান্তর রহিতছেদ) ও যে বর্ণ দেখা যাবে তাই N_m অক্ষের বর্ণ। ধরি, এ অবস্থায় খনিজের বর্ণ তাই যা দেখা গিয়েছে N_g অক্ষ বরাবর (অর্থাৎ খনিজের বর্ণ ঘন সবুজ)।

বর্ণান্তরের চূড়ান্ত ফর্মুলা হবে ঃ $N_g \geq N_m > N_p$

এতক্ষণ দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের বর্ণান্তর নির্ণয়ের পদ্ধতি আলোচিত হয়েছে। একাক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে একই পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। যেহেতু একাক্ষিক স্ফটিকের দুটি মাত্র অক্ষ (N_g অক্ষ ও N_p অক্ষ), তাই পদ্ধতিটি সহজতর হয়ে পড়ে।

৪.১২ একাক্ষিক ও দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আদর্শ ছেদ (Ideal Sections for Uniaxial and Biaxial Crystals)

(ক) একাক্ষিক স্ফটিকের আদর্শ ছেদ (Ideal Sections for Uniaxial Crystals)

(ক.১) আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ (Section perpendicular to the optic axis) : আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ নিম্নে বর্ণিত উপায়ে নির্ণয় করা হয় ঃ নিচসমবর্তকে রঙ্গিন খনিজ বীক্ষণাসন ঘুরালে বর্ণ পরিবর্তন করে না। সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজটির ব্যতিচারী বর্ণ কালো ও বীক্ষণাসন ঘুরালে ব্যতিচারী বর্ণ কালোই থেকে যায়।

(ক.২) আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদ (Section parallel to the optic axis) : আলোক অক্ষের সমান্তরাল ছেদ নিম্নে বর্ণিত উপায়ে নির্ণয় করা হয় ঃ নিচসমবর্তকে রঙ্গিন খনিজ বীক্ষণাসন ঘুরালে তীব্রভাবে বর্ণ পরিবর্তন করে।

সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজটি ব্যতিচারী বর্ণের সর্বোচ্চক্রম প্রদর্শন করে ও বীক্ষণাসন ঘুরালে চারবার নির্বাপিত হয় ও চারবার ব্যতিচারী বর্ণ দৃষ্ট হয়।

(খ) দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আদর্শ ছেদ (Ideal Sections for Biaxial Crystals)

(খ.১) আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ (Section perpendicular to one of the optic axis) : আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ নিম্নবর্ণিত উপায়ে নির্ণয় করা হয় ঃ

নিচসমবর্তকে রঙ্গিন খনিজ বীক্ষণাসন ঘুরালে বর্ণ পরিবর্তন করে না। সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজটির ব্যতিচারী বর্ণ ধূসর বা গাঢ় ধূসর ও বীক্ষণাসন ঘুরালে উল্লিখিত ব্যতিচারী বর্ণের পরিবর্তন ঘটে না।

(খ.২) আলোক অক্ষতলের সমান্তরাল ছেদ (Section parallel to the plane of the optic axis) : আলোক অক্ষতলের সমান্তরাল ছেদ নিম্নে বর্ণিত উপায়ে নির্ণয় করা হয় ঃ

নিচসমবর্তকে রঙ্গিন খনিজ বীক্ষণাসন ঘুরালে তীব্রভাবে বর্ণ পরিবর্তন করে।

সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় খনিজটির ব্যতিচারী বর্ণের সর্বোচ্চক্রম পরিলক্ষিত হয় ও বীক্ষণাসন ঘুরালে খনিজটির আলোকপ্রদীপ চারবার নির্বাপিত হয় ও চারবার ব্যতিচারী বর্ণ দৃষ্ট হয়।

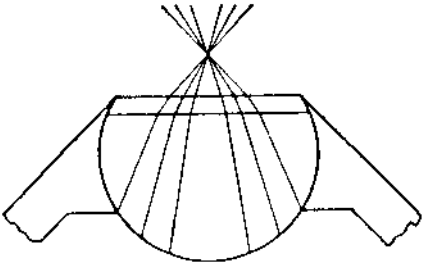
পঞ্চম অধ্যায়

একবিন্দুগামী সমবর্তিত আলোক

(Convergent Polarized Light)

৫.১ প্রাথমিক ধারণা (General Statement)

যদি অভিসারী লেন্স (কনডেনসার, Condenser নামে অভিহিত) বীক্ষণাসনের ঠিক নিচেই ব্যবহার করা হয়, লেন্সটি আলোকমোচার (cone of light) সৃষ্টি করে (চিত্র ৫.১) যা খনিজের মধ্যে প্রবেশকরত এক ধরনের আলোক বৈশিষ্ট্যের উদ্ভব ঘটায়। কনডেনসারকে 'আলোক একবিন্দুগমনকরণ লেন্স' নামেও আখ্যায়িত করা হয়।



চিত্র ৫.১ ঃ কনডেনসারের সাহায্যে আলোকমোচার সৃষ্টি।

খনিজটি অসমসারক হলে এবং সমবর্তকদ্বয় ক্রস অবস্থানে থাকলে ব্যতিচারী চিত্রের (Interference figure) সৃষ্টি হয়। ব্যতিচারী চিত্র দৃষ্টিগোচর করার জন্য অবজেকটিভ (objective) (৪০x বা ৬০x বর্ধনশক্তিসম্পন্ন) ব্যবহৃত হয়। অ্যামিসি-বারট্রাণ্ড লেন্স (Amici-Bertrand Lens) ঊর্ধ্বসমবর্তকের উপরে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রবেশ করানো হয়। অ্যামিসি-বারট্রাণ্ড লেন্স ব্যতিচারী চিত্রটি অকুলারের (ocular) কেন্দ্রতলে(focal plane) আনতে সহায়তা করে। ব্যতিচারী চিত্রটি অ্যামিসি-বারট্রাণ্ড লেন্স ছাড়াও দেখা সম্ভব। সেক্ষেত্রে স্বাভাবিকভাবেই অকুলারটিও নিষ্প্রয়োজনীয় হয়ে পড়ে।

ব্যতিচারী চিত্র একাক্ষিক বা দ্বিআক্ষিক হতে পারে। চতুষ্কৌণিক ও ষট্‌কোণ স্ফটিকশ্রেণি একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র সৃষ্টি করে। বিষমত্রয়লম্বিক, একনতি ও ত্রিনতি স্ফটিকশ্রেণি দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্রের উদ্ভব ঘটায়। একবিন্দুগামী সমবর্তিত আলোক নিম্নলিখিত আলোকধর্ম নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়।

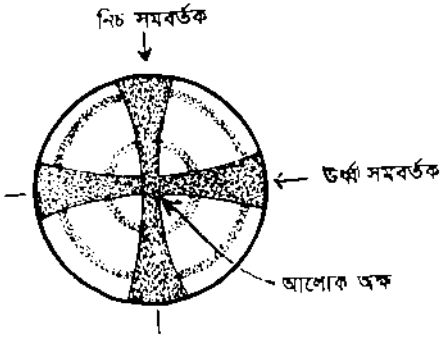
(১) স্ফটিকটি একাক্ষিক বা দ্বিআক্ষিক;

(২) স্ফটিকের আলোকচিহ্ন ঃ ।ধনাত্মক বা ঋণাত্মক।;

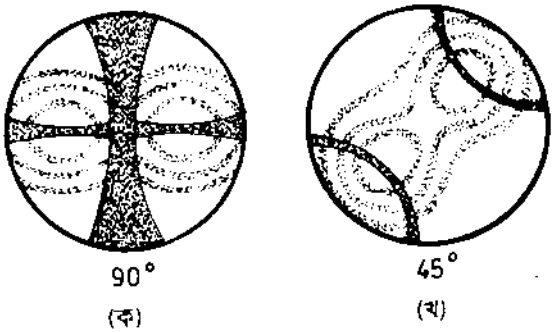
(৩) দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে আলোক কোণের (2V) মান নির্ণয়।

৫.২ একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র (Uniaxial Interference Figures)

একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র কালো ক্রস সৃষ্টি করে। ক্রসের বাহুদ্বয় সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গদিকের সমান্তরাল (চিত্র ৫.২)।

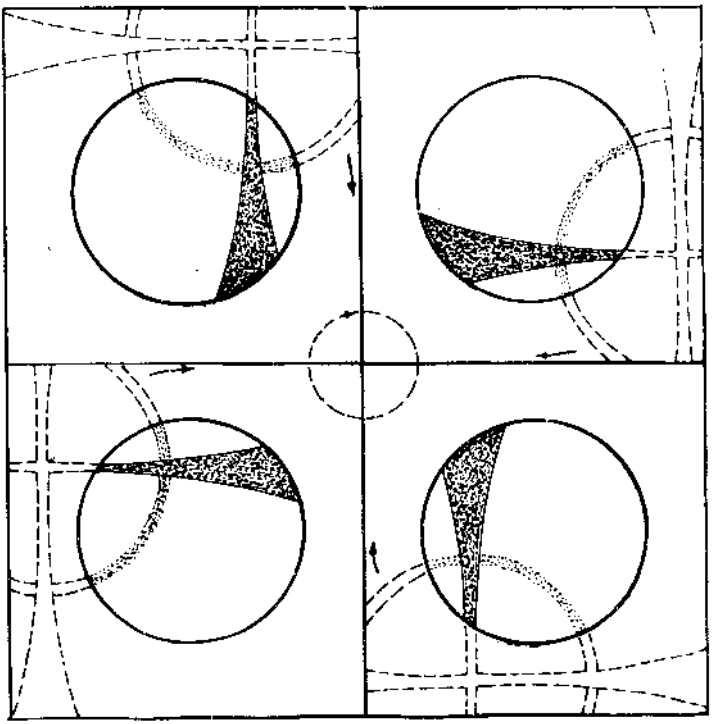


চিত্র ৫.২ ঃ একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র।



চিত্র ৫.৩ ঃ দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র ঃ (ক) ৯০ ডিগ্রি অবস্থানে ও (খ) ৮৫ ডিগ্রি অবস্থানে।

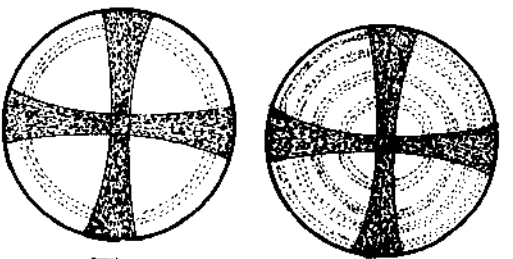
ব্যতিচারী চিত্রটি খনিজের আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদে পাওয়া যায়। বাহুদ্বয়ের ছেদবিন্দু আলোক অক্ষের অবস্থান প্রদর্শন করে। এককেন্দ্রীয় ব্যতিচারী বর্ণের চক্র (concentric coloured rings) কালো ক্রসকে ঘিরে গড়ে উঠে।



চিত্র ৫.৪ ঃ বীক্ষণাসন ৩৬০ ডিগ্রি ঘুরালে একাক্ষিক ব্যতিচারী চিত্রের কালো বাহুর বিভিন্ন অবস্থান।

যদি খনিজের আলোক অক্ষ অণুবীক্ষণযন্ত্রের আলোকঅক্ষের সাথে একীভূত হয় তাহলে ক্রসের বাহুদ্বয়ের ছেদবিন্দু সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গদিকের ছেদবিন্দুর সাথে স্বাভাবিকভাবেই একীভূত হবে। যদি উল্লিখিত বিন্দুদ্বয় একীভূত না হয় (সাধারণ ঘটনা) তাহলে কালো বাহুদ্বয়ের ছেদবিন্দু দৃষ্টিসীমার বাইরে চলে যায়। এক্ষেত্রে একটি কালো বাহু পরিদৃষ্ট হয়। বীক্ষণাসন ঘুরালে বাহুটি সমবর্তকদ্বয়ের যে কোনো একটির সমান্তরাল থাকে (চিত্র ৫.৪)।

অনেক সময় দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে একটি কালো বাহু দেখা যায় যা বীক্ষণাসন ঘুরালে দৃষ্টিক্ষেত্রের একদিক থেকে অন্যদিকে চলে যায়। অথচ একাক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে কালো বাহুটি সমবর্তকদ্বয়ের যে কোনো একটির সমান্তরাল থাকে। এভাবে স্ফটিকটি একাক্ষিক না দ্বিআক্ষিক তা নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৫.৫ ঃ (ক) দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের দুর্বল মানসম্পন্ন একাক্ষিক স্ফটিকের ব্যতিচারী চিত্র
(খ) দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের উচ্চ মানসম্পন্ন একাক্ষিক স্ফটিকের ব্যতিচারী চিত্র।

৫.৩ কালো ক্রসের উদ্ভব ব্যাখ্যা (Explanation of the Formation of Black Cross)

আলোচনার সুবিধার্থে আমরা একটি ধনাত্মক স্ফটিক (কোয়ার্টজ) বিবেচনা করছি যার মধ্যে অসাধারণ রশ্মি (e) আলোক অক্ষের সমান্তরাল ও সাধারণ রশ্মি (o) আলোক অক্ষের লম্বিক। ৫.৬ চিত্রে আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদ দেখানো হয়েছে।

যেহেতু স্ফটিক আলোক ধনাত্মক, সাধারণ রশ্মি (e) সর্বাধিক প্রতিসরিত হয় ও তার অরীয়/ব্যাসার্ধীয় (radial) অবস্থান, সাধারণ রশ্মি (o) কম প্রতিসরিত হয় ও তার স্পর্শক (tangential) অবস্থান।

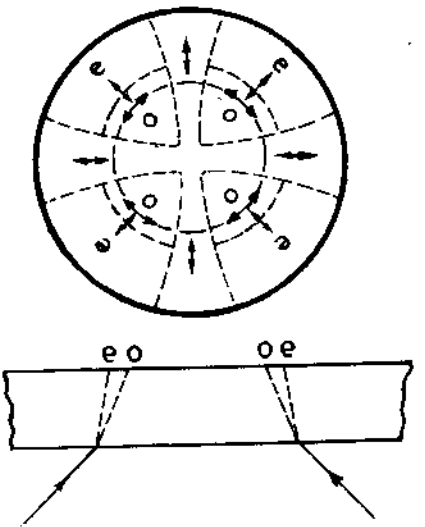
নিম্নের বৈশিষ্ট্যগুলো পর্যবেক্ষণ করি ঃ

(১) সমবর্তকদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে (অর্থাৎ আলোক অক্ষ অবস্থানে) আলোর দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটবে না ও আলো নির্বাপিত হবে।

(২) যেসব স্থানে রশ্মিদ্বয়ের (সাধারণ ও অসাধারণ) তরঙ্গ দিক সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ দিকের সাথে মিলিত হয় সেসব স্থানে আলো নির্বাপিত হবে।

(৩) যেসব স্থানে রশ্মিদ্বয়ের তরঙ্গ দিক সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ দিকের সাথে মিলিত হয় না সেসব স্থানে ব্যতিচারী বর্ণ চক্রাকারে গড়ে উঠে।

(৪) ফলশ্রুতিতে কালো ক্রসের উদ্ভব ঘটে, যার বাহুদ্বয়ের ছেদবিন্দু সমবর্তকদ্বয়ের ছেদবিন্দুর সাথে মিলিত হয়।

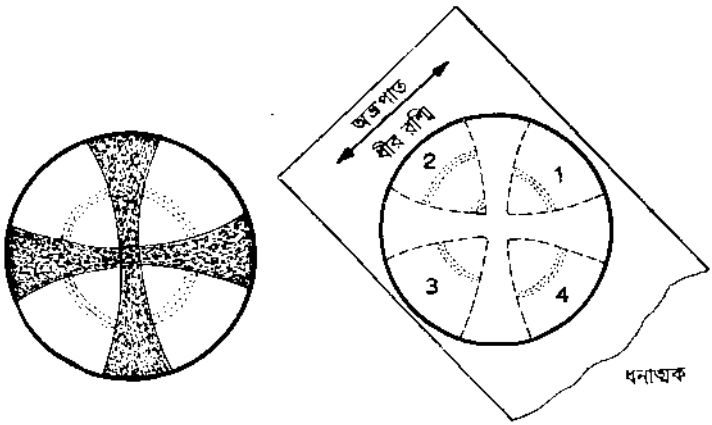


চিত্র ৫.৬ ঃ একাক্ষিক ধনাত্মক স্ফটিকে রশ্মিদ্বয়ের কম্পন দিক।
o – দ্রুতরশ্মি; e – ধীররশ্মি।

৫.৪ একাক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয় (Determination of Optic Sign in Uniaxial Crystals)

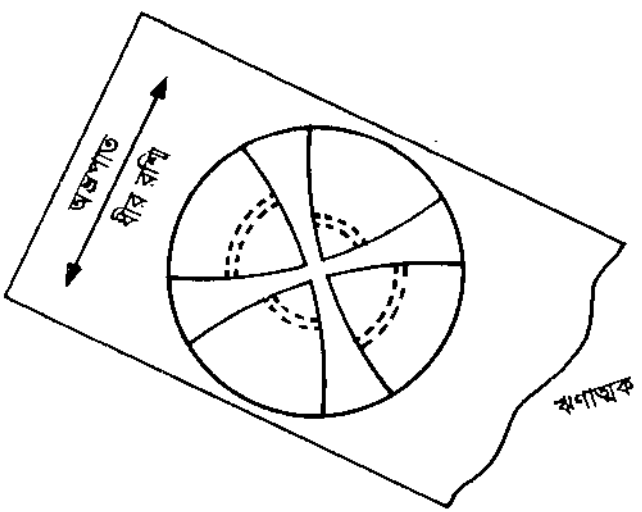
ব্যতিচারী চিত্র থেকে আনুষঙ্গিক পাত (অভ্রপাত – দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের স্বল্প মানসম্পন্ন স্ফটিকের ক্ষেত্রে, জিপসাম পাত – দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের মধ্যবর্তী মানসম্পন্ন স্ফটিকের ক্ষেত্রে, কোয়ার্টজ কীলক – দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্কের উচ্চ মানসম্পন্ন স্ফটিকের ক্ষেত্রে) ব্যবহারকরত আলোক চিহ্ন নির্ণয় সম্ভব।

(১) অভ্রপাত ব্যবহার করলে ঃ অভ্রপাত ব্যবহার করলে আলোক ধনাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে ব্যতিচারী বর্ণের ডোরা অভ্রপাতের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে কেন্দ্রগামী হয় (চিত্র ৫.৭)।



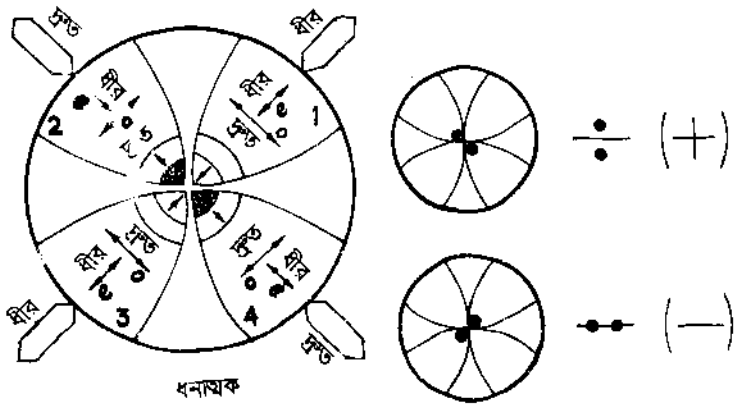
চিত্র ৫.৭ ঃ অভ্রপাতের সাহায্যে একাক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়।

আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে ব্যতিচারী বর্ণের ডোরা অভ্রপাতের দ্রুতরশ্মির তরঙ্গ দিকের সমান্তরাল হয়ে কেন্দ্রগামী হয় (চিত্র ৫.৮)।



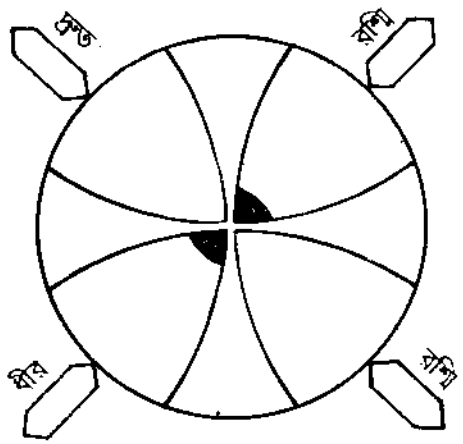
চিত্র ৫.৮ ঃ অভ্রপাতের সাহায্যে একাক্ষিক স্ফটিকের আলোকচিহ্ন নির্ণয়।

কখনও কখনও আলোক ধনাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে দুটি কালো বিন্দু অভ্রপাতের দ্রুতরশ্মির সমান্তরাল হয়ে কেন্দ্রমুখী হয় (চিত্র ৫.৯)।



চিত্র ৫.৯ ঃ একাক্ষিক ধনাত্মক চিত্রে ধীর ও দ্রুতরশ্মির কম্পন দিক (সহায়ক পাত হিসেবে অভ্রপাত ব্যবহৃত হয়েছে)।

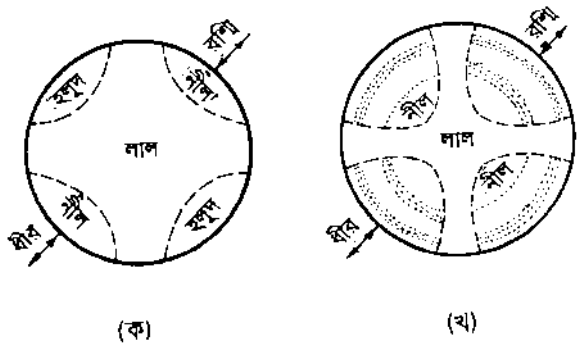
আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে দুটি কালো বিন্দু অভ্রপাতের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে কেন্দ্রমুখী হয় (চিত্র ৫.১০)।



চিত্র ৫.১০ ঃ একাক্ষিক ঋণাত্মক স্ফটিকে অভ্রপাতের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে দুটি কেন্দ্রমুখী কালো বিন্দুর উৎপত্তি।

(২) **জিপসাম পাত ব্যবহার করলে ঃ** জিপসাম পাত ব্যবহার করলে আলোক ধনাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে দুটি নীল এলাকা সহায়ক পাতের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে উদ্ভূত হয় (চিত্র ৫.১১)।

আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে দুটি নীল এলাকা সহায়ক পাতের দ্রুতরশ্মির সমান্তরাল হয়ে উদ্ভূত হয় (চিত্র ৫.১১)।



(ক) (খ)

চিত্র ৫.১১ ঃ (ক) একাক্ষিক ধনাত্মক; (খ) একাক্ষিক ঋণাত্মক
(সহায়ক পাত হিসেবে জিপসাম পাত ব্যবহৃত হয়েছে)।

সহায়ক পাত হিসেবে আলোকচিহ্ন নির্ণয়ের জন্য একাক্ষিক স্ফটিকের ক্ষেত্রে কোয়ার্টজ কীলকের ব্যবহার বিরল।

৫.৫ দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র (Biaxial Interference Figures)

চতুষ্কৌণিক, একনতি ও ত্রিনতি স্ফটিকশ্রেণি দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র সৃষ্টি করে।

উচ্চবর্ধন শক্তিসম্পন্ন অবজেকটিভ (৪০x বা ৬০x) ও অ্যামিসি-বারট্যাণ্ড লেন্স ব্যবহৃত হয়। অ্যামিসি-বারট্যাণ্ড লেন্স ব্যবহার না করা যেতে পারে। সেক্ষেত্রে অকুলারও নিষ্প্রয়োজনীয় হয়ে পড়ে।

দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র ৯০ ডিগ্রি ও ৪৫ ডিগ্রি অবস্থানে নির্ণয় করা হয়। ৪৫ ডিগ্রি অবস্থান সর্বাধিক সহায়ক।

নিম্নের চিত্রে ৪৫ ডিগ্রি অবস্থানে দ্বিআক্ষিক ব্যতিচারী চিত্রের বিভিন্ন উপাদান দেখানো হয়েছে ঃ

দ্বিঅক্ষিক ব্যতিচারী চিত্রের বিভিন্ন উপাদান নিম্নে বর্ণিত হলো ঃ

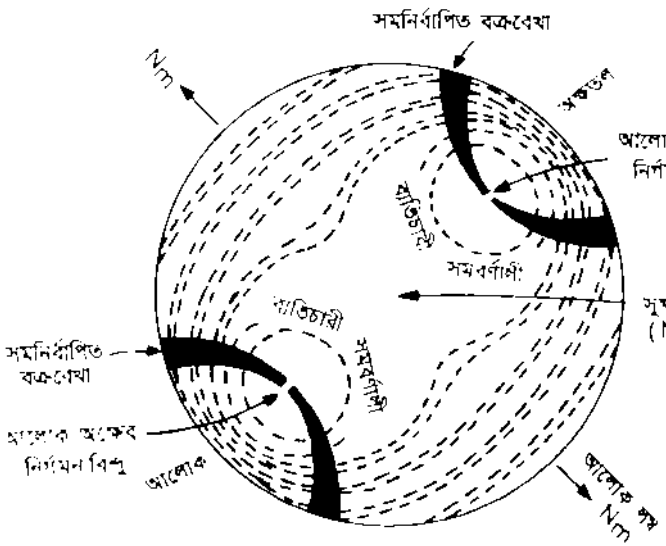
(১) সমনির্বাপিত বক্ররেখা (Isogyre)

(২) আলোক অক্ষের নির্গমনবিন্দু (Point of emergence of optic axis)

(৩) আলোকঅক্ষতল (Plane of the optic axes)

(৪) ব্যতিচারী সমবর্ণালী (Isochromes)

(৫) Ng, Nm ও Np



চিত্র ৫.১২ ঃ দ্বিঅক্ষিক ব্যতিচারী চিত্র।

(১) সমনির্বাপিত বক্ররেখা (Isohgre) : দুটি প্রশস্ত অর্ধচন্দ্রাকৃতি কালো বক্ররেখা – নির্বাপিত এলাকারই পরিচয়বহনকারী; এদেরকে সমনির্বাপিত বক্ররেখা নামে অভিহিত করা হয়।

(২) আলোক অক্ষের নির্গমন বিন্দু (Point of Emergence of Optic Axis) : সমনির্বাপিত অর্ধচন্দ্রাকৃতি বক্ররেখার মধ্যবিন্দু আলোক অক্ষের নির্গমনবিন্দু নির্দেশ করে।

(৩) আলোক অক্ষতল (Plane of the optic axis) :

আলোক অক্ষতলে আলোক অক্ষের নির্গমন বিন্দুদ্বয়, সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক ও স্থূল সমদ্বিখণ্ডক অন্তর্ভুক্ত হয়।

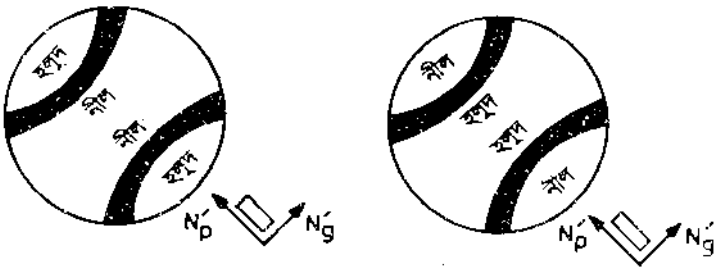
(৪) ব্যতিচারী সমবর্ণালী (Isochromes) : ব্যতিচারী বর্ণালী আলোক অক্ষের নির্গমন বিন্দুদ্বয়কে কেন্দ্র করে সমভাবে ও প্রতিসমভাবে ছড়িয়ে থাকে।

(৫) N_g, N_m ও N_p : N_m আলোক অক্ষ তলের আলোক লম্ব। N_g সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক হলে N_p স্থূল সমদ্বিখণ্ডক। আবার N_p সূক্ষ্ম সমদ্বিখণ্ডক হলে N_g স্থূল সমদ্বিখণ্ডক।

৫.৬ দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয় ঃ (Determination of Optic Sign in Biaxial Crystals)

সহায়ক পাতের (জিপসাম পাত বা কোয়ার্টজ কীলক) সাহায্যে আলোক চিহ্ন নির্ণয় করা হয়।

(১) জিপসাম পাতের সাহায্যে ঃ আলোক চিহ্ন নির্ণয় নিম্নে প্রদর্শিত চিত্র (চিত্র ৫.১৩) দ্বারা বুঝানো হয়েছে ঃ



(ক) আলোক ধনাত্মক (খ) আলোক ঋণাত্মক

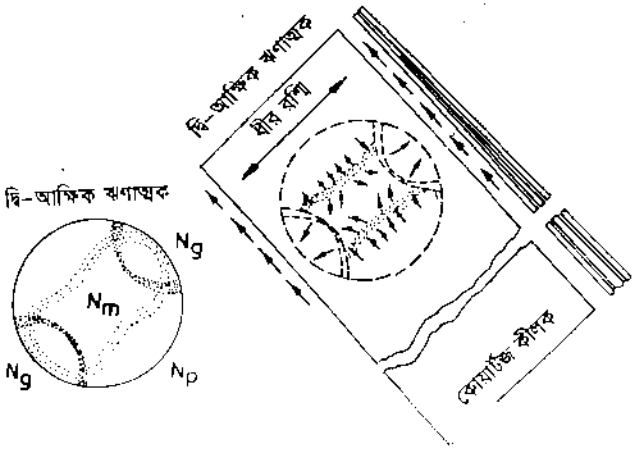
চিত্র ৫.১৩ ঃ জিপসাম পাতের সাহায্যে দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়।

(২) কোয়ার্টজ কীলকের সাহায্যে ঃ কোয়ার্টজ কীলক ব্যবহার করলে আলোক ঋণাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে ব্যতিচারী বর্ণডোরা কীলকের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে মধ্য এলাকা থেকে বহির্মুখী হয়ে পড়ে (চিত্র ৫.১৪)।

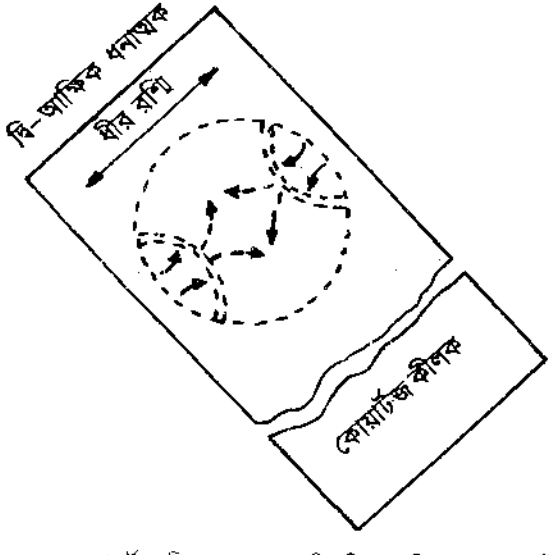
কোয়ার্টজ কীলক ব্যবহার করলে আলোক ধনাত্মক স্ফটিকের ক্ষেত্রে ব্যতিচারী বর্ণডোরা কীলকের ধীররশ্মির সমান্তরাল হয়ে মধ্যএলাকামুখী হয়ে পড়ে (চিত্র ৫.১৫)।

৫.৭ আলোক অক্ষচিত্র (Optic Axis Figure)

আলোক অক্ষচিত্র স্ফটিকের আলোক অক্ষের লম্বিক ছেদে পাওয়া যায়। ব্যতিচারী চিত্র – একটি কালো অর্ধচন্দ্রাকৃত বক্ররেখা (চিত্র ৫.১৬)।

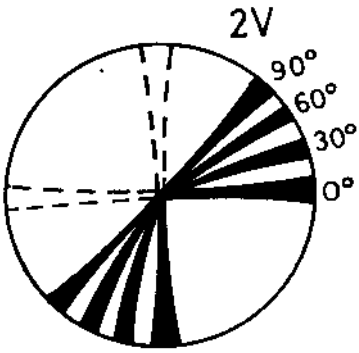


চিত্র ৫.১৪ ঃ কোয়ার্টজ কীলকের সাহায্যে দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়।



চিত্র ৫.১৫ ঃ কোয়ার্টজ কীলকের সাহায্যে দ্বিআক্ষিক স্ফটিকের আলোক চিহ্ন নির্ণয়।

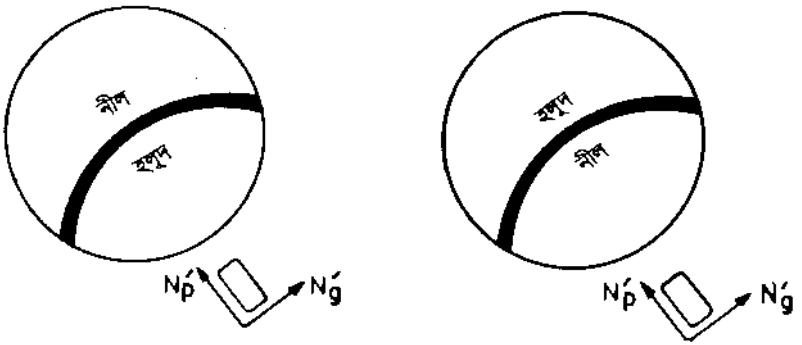
আলোক অক্ষের নির্গমন বিন্দু সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গরেখাদ্বয়ের ছেদবিন্দুর সাথে মিলিত বা মিলিত না হতে পারে। বীক্ষণাসন ঘুরালে বক্ররেখাটি দৃষ্টি এলাকার একদিক থেকে অন্যদিকে চলে যায়।



চিত্র ৫.১৬ ঃ আলোক অক্ষচিত্র।

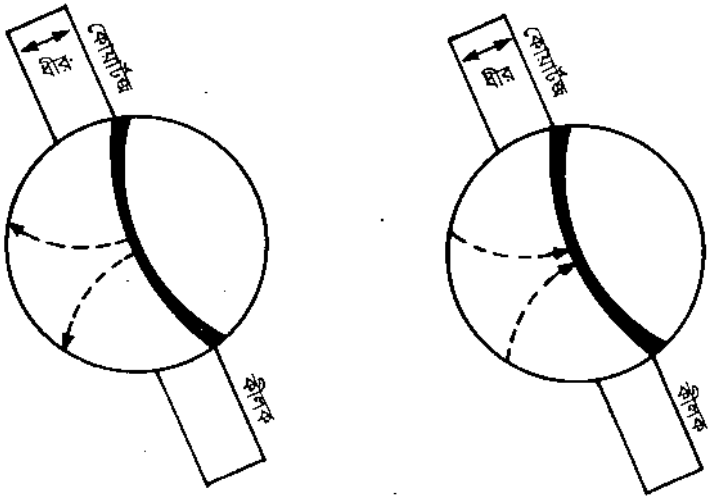
বক্ররেখার বক্রতা আলোক অক্ষকোণের (2V) বৃদ্ধির সাথে কমে যায়। যখন 2V = 90 ডিগ্রি, বক্রতা তখন একেবারেই থাকে না। অর্থাৎ ব্যতিচারী চিত্র একটি কালো সরলরেখায় পরিণত হয়।

আলোকচিহ্ন নির্ণয় নিম্নে প্রদর্শিত চিত্রগুলি দ্বারা বুঝানো হয়েছে ঃ



(ক) আলোক ধনাত্মক (খ) আলোক ঋণাত্মক

চিত্র ৫.১৭ ঃ জিপসাম পাতের সাহায্যে আলোকচিহ্ন নির্ণয়।



(ক) আলোক ধনাত্মক (খ) আলোক ঋণাত্মক

চিত্র ৫.১৮ ঃ কোয়ার্টজ কীলকের সাহায্যে আলোকচিহ্ন নির্ণয়।

ষষ্ঠ অধ্যায়

বিভিন্ন খনিজের আলোকধর্ম বর্ণনা

(Description of Optical Properties of Different Minerals)

এ অধ্যায়ে প্রধান প্রধান শিলাপ্রস্তুতকারী খনিজের (rockforming minerals) আলোকধর্ম আলোচিত হবে। বলা বাহুল্য, অস্বচ্ছ খনিজ (opaque minerals) আলোচনায় আসবে না।

ক. হ্যালাইড্ (Halides)
ফ্লুওরাইট (Fluorite)

খ. অক্সাইড্ (Oxides)
করানডাম (Corundum)
স্পিনেল (Spinel)

গ. কারবোনেট (Carbonates)
ক্যালসাইট (Calcite)
ডলোমাইট (Dolomite)
ম্যাগনেসাইট (Magnesite)
সিডেরাইট (Siderite)
অ্যারাগোনাইট (Aragonite)

ঘ. সালফেট (Sulphates)
ব্যারাইট (Barite)
অ্যানহাইড্রাইট (Anhydrite)
জিপসাম (Gypsum)

ঙ. ফসফেট (Phosphates)
অ্যাপাটাইট (Apatite)

চ. সিলিকেট (Silicates)

(১) টেকটোসিলিকেট (Tectosilicates)
সিলিকা গ্রুপ (Silica group)
কোয়ার্টজ (Quartz)
ওপাল (Opal)

ফেলড্স্পার গ্রুপ (Feldspars)

অরথোক্লেজ (Orthoclase)	পটাশ ফেলড্স্পার
মাইক্রোক্লিন (Microcline)	(Potash feldspars)
	(K-feldspars)
অ্যালবাইট (Albite)	প্লাগিওক্লেজ ফেল্ড্স্পার
অলিগোক্লেজ (Oligoclase)	(Plagioclase feldspars)
অ্যানডেসাইন (Andesine)	(Na-Ca feldspars)
ল্যাবরাডোরাইট (Labradorite)	
বাইটোভনাইট (Bytownite)	

অ্যানারথাইট (Anorthite)	
নেফেলিন (Nepheline	ফেলড্স্পাথোইড (Feldspathoid)
(২) ইনোসিলিকেট (Inosilicates)	
এনস্টাটাইট (Enstatite)	পাইরোক্সেন (Pyroxenes)
হাইপারস্থেন (Hypersthene)	এনস্টাটাইট ও হাইপারস্থেন অরথোপাইরোক্সেন (Orthopyroxenes)
ডাইওপসাইড (Diopside)	পাইরোক্সেন (Pyroxenes)
অগাইট (Augite)	ডাইওপসাইড, অগাইট, এগেরিন
এগেরিন (Aegirine)	ক্লাইনোপাইরোক্সেন (Clinopyroxenes)
ট্রেমোলাইট (Tremolite)	অ্যাম্ফিবোল
অ্যাকটিনোলাইট (Actinolite)	(Amphiboles)
হরনব্লেণ্ড (Hornblende)	
(৩) নেজোসিলিকেট (Nesosilicates)	
অলিভিন (Olivine)	
গারনেট গ্রুপ (Garnet group)	
স্টাউরোলাইট (Staurolite)	
জিরকন (Zircon)	
স্ফেন (Sphene)	
কায়ানাইট (Kyanite)	
টোপাজ (Topaz)	
(৪) সরোসিলিকেট (Sorosilicates)	
জইসাইট (Zoisite)	
এপিডোট (Epidote)	
(৫) সাইক্লোসিলিকেট (Cyclosilicates)	
বেরিল (Beryl)	
টুরমালিন (Tourmaline)	
(৬) ফাইলোসিলিকেট (Phyllosilicates)	
মাসকোভাইট (Muscovite)	
বাইওটাইট (Biotite)	
সারপেনটাইন (Serpentine)	

ফ্লুওরাইট (Fluorite) CaF_2

সমমাত্রিক স্ফটিক

$n = 1.434$

বর্ণ – বর্ণহীন, কখনও কখনও বেগুনি ডোরা

আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি (Euhedral) থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন (Anhedral)

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ (১১১)। সাধারণত দুইদিক বরাবর (কোণ ৭০ ডিগ্রি ও ১১০ ডিগ্রি)

ভূমিরূপ – স্পষ্ট। $n < n$ কা. বা. (কানাডা বালজাম)

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – নেই। সমসারক

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ, সমসারক, বেগুনি ডোরা।

উৎপত্তি – প্রধানত শিরা খনিজ; গ্রানাইটে, বেলেপাথরে ও চুনাপাথরেও দেখা যায়।

করানডাম (Corundum) Al_2O_3

ষট্‌কোণ স্ফটিক

$n_e = 1.759$ থেকে 1.763

$n_o = 1.767$ থেকে 1.772

আলোক ঋণাত্মক

বর্ণ – বর্ণহীন, কখনও কখনও নীল বা গোলাপী

আকৃতি – সাধারণত সুস্পষ্টাকৃতি

সম্ভেদ – অস্পষ্ট

ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, $n_o - n_e = 0.008$-0.009

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

দীর্ঘায়ন – ফলকাকার স্ফটিক ধীর–দৈর্ঘ্য, প্রিজমীয় স্ফটিক দ্রুত–দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – তীব্র ভূমিরূপ, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, সমান্তরাল নির্বাপণ, একাক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।

উৎপত্তি – প্রধানত রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

স্পিনেল (Spinel) $(Mg, Fe)(Al, Cr)_2O_4$

সমমাত্রিক স্ফটিক

$n = 1.72$ থেকে 1.78

বর্ণ– বর্ণহীন, লাল, সবুজ, জলপাই সবুজ, খয়েরি

আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি বা ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি

সম্ভেদ – অপূর্ণাঙ্গ

ভূমিরূপ – তীব্র

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – নেই, সমসারক

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – তীব্র ভূমিরূপ, সমসারক, সুস্পষ্টাকৃতি।

উৎপত্তি – প্রধানত রূপান্তরিত শিলার খনিজ। কখনও কখনও আগ্নেয়শিলায় দেখা যায়।

ক্যালসাইট (Calcite) $CaCO_3$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

বর্ণ – বর্ণহীন, কখনও কখনও মেঘলা

আকৃতি – সাধারণ স্পষ্টাকৃতিবিহীন। কখনও কখনও ক্ষুদ্র বা বৃহৎ কণার সমষ্টি।

সম্ভেদ– পূর্ণাঙ্গ $\{10\bar{1}1\}$, তিনদিক বরাবর ঘটে

ভূমিরূপ – স্পষ্ট; $n_e < n$ কা. বা., $n_o > n$ কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_o - n_e = 0.172$। সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ ব্যতিচারী বর্ণের নকশার উচ্চক্রম অতিক্রম করে।

নির্বাপণ – প্রতিসম নির্বাপণ

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ, তীব্র দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, একাক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।

উৎপত্তি – পাললিক ও রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

ডলোমাইট (Dolomite) $Ca(Mg,Fe)(CO_2)_3$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

$n_e = 1.500$ থেকে 1.526

$n_o = 1.680$ থেকে 1.716

আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে ধূসর
আকৃতি – সাধারণত স্পষ্টাকৃতিবিহীন। ক্ষুদ্র বা বৃহৎ কণার সমষ্টি।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১০$\bar{1}$১}, তিনদিক বরাবর ঘটে।
ভূমিরূপ – স্পষ্ট; $n_e < n$ কা. বা., $N_o > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_o - n_e = 0.180$ থেকে 0.190, ব্যতিচারী বর্ণ মুক্তা ধূসর (চূড়ান্ত ক্রমের সাদা)।
নির্বাপণ – প্রতিসম নির্বাপণ
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ক্যালসাইট থেকে আলোকধর্ম দ্বারা ডলোমাইট সনাক্তকরণ সম্ভব নয়। রাসায়নিক পরীক্ষার প্রয়োজনীয়তা দেখা দেয়।
উৎপত্তি – পাললিক ও রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

ম্যাগনেসাইট (Magnesite) $MgCO_3$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

$n_e = 1.509$ থেকে 1.527
$n_o = 1.700$ থেকে 1.726
আলোক ঋণাত্মক

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সাধারণত স্পষ্টাকৃতিবিহীন থেকে ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি, কখনও কখনও ক্ষুদ্র বা বৃহৎ কণার সমষ্টি
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১০$\bar{1}$১}, তিনদিক বরাবর ঘটে
ভূমিরূপ – স্পষ্ট; $n_e < n$ কা. বা., $n_o > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_o - n_e = 0.191$ থেকে 0.199, ব্যতিচারী বর্ণ মুক্তাধূসর (চূড়ান্তক্রমের সাদা)
নির্বাপণ – প্রতিসম নির্বাপণ
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ক্যালসাইট বা ডলোমাইট থেকে আলোকধর্ম দ্বারা সনাক্তকরণ সম্ভব নয়। রাসায়নিক পরীক্ষার প্রয়োজনীয়তা দেখা দেয়।
উৎপত্তি – সাধারণত রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

সিডেরাইট (Siderite) $FeCO_3$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_e = 1.596 থেকে 1.633
n_o = 1.830 থেকে 1.875
আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে ধূসর। কখনও কখনও হালকা হলুদ বা খয়েরি

আকৃতি – সাধারণত স্পষ্টাকৃতিবিহীন থেকে সুস্পষ্টাকৃতি, কখনও কখনও ক্ষুদ্র বা বৃহৎ কণার সমষ্টি।

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১০$\bar{1}$১}, তিনদিক বরাবর ঘটে

ভূমিরূপ – স্পষ্ট; $n_e > n$ কা. বা., $n_o > n$ কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_o - n_e = 0.234$ থেকে 0.242। ব্যতিচারী বর্ণ মুক্তাধূসর (চূড়ান্ত ক্রমের সাদা)।

নির্বাপণ – প্রতিসম নির্বাপণ

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ক্যালসাইটে, ডলোমাইটে ও ম্যাগনেসাইটে $n_e < n$ কা. বা., $n_o > n$ কা. বা; সিডেরাইটে n_e ও n_o – উভয়েই n কা. বা.-র চেয়ে বেশি। খয়েরি রংও সনাক্তকরণের সহায়ক।

উৎপত্তি – শিরা খনিজ; পাললিক শিলার খনিজ হিসেবেও দেখা যায়।

অ্যারাগোনাইট (Aragonite) $CaCO_3$

বিষমত্রয় লম্বিক

n_p = 1.530
n_m = 1.682
n_g = 1.686
2V = 18 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন

আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি (স্তম্ভাকৃতি); প্রস্থচ্ছেদ – ছয় বাহুবিশিষ্ট।

সম্ভেদ – অপূর্ণাঙ্গ (০১০)

ভূমিরূপ – স্পষ্ট; $n_p < n$ কা. বা. কিন্তু n_m ও n_g উভয়েই n

কা.বা-র চেয়ে বেশি।

দ্বৈত প্রতিসরণাংক – তীব্র, n_g-n_p = 0.156। ব্যতিচারী বর্ণ মুক্তা ধূসর (চূড়ান্ত ক্রমের সাদা)।

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – সমান্তরাল নির্বাপণ (ক্যালসাইটে প্রতিসম নির্বাপণ), দ্বিআক্ষিক (ক্যালসাইট একাক্ষিক)।

উৎপত্তি – ব্যাসাল্ট ও অ্যানডেসাইট শিলার ফাটলে দেখা যায়। চুনাপাথরে, বেলেপাথরে ও রূপান্তরিত শিলাতেও দেখা যায়।

ব্যারাইট (Barite) $BaSO_4$

বিষমত্রয় লম্বিক

n_p = 1.636
n_m = 1.637
n_g = 1.648
2V = 36 ডিগ্রি থেকে 37 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন

আকৃতি – সাধারণত দানাদার। কখনও কখনও দীর্ঘায়িত স্ফটিক পরিলক্ষিত হয়।

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, {১১০}

ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.012। সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হলুদ বা কমলা।

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

দীর্ঘায়ন – ধীর-দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, তীব্র ভূমিরূপ, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক। সমান্তরাল নির্বাপণ। দ্বিআক্ষিক আলোক ধনাত্মক।

উৎপত্তি – শিরা খনিজ। কখনও কখনও চুনাপাথরে ও বেলেপাথরে দেখা যায়।

অ্যানহাইড্রাইট (Anhydrite) $CaSO_4$

বিষমত্রয় লম্বিক

n_p = 1.570

$n_m = 1.576$
$n_g = 1.614$
$2V = 42$ ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ঈষৎস্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন। সুস্পষ্টাকৃতি বিরল।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১০০}, {০১০}, {০০১}
ভূমিরূপ – মধ্যবর্তী, $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_g - n_p = 0.044$। ব্যতিচারী বর্ণ তৃতীয় ক্রমের সবুজ পর্যন্ত হতে পারে।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ, তীব্র দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, সমান্তরাল নির্বাপণ, দ্বিআক্ষিক আলোক ধনাত্মক।
উৎপত্তি – সাধারণত পাললিক শিলায় দেখা যায়। কখনও কখনও শিরা খনিজ হিসেবে পরিলক্ষিত হয়।

জিপসাম (Gypsum) $CaSO_4 . 2H_2O$

একনতি স্ফটিক

$n_p = 1.520$
$n_m = 1.522$
$n_g = 1.529$
$2V = 58$ ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – স্পষ্টাকৃতিবিহীন থেকে ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০১০}, অপূর্ণাঙ্গ {১০০} ও {১১১}
ভূমিরূপ – ক্ষীণ, $n < n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, $n_g - n_p = 0.009$। সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের সাদা বা হলুদ।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – কখনও ধীর-দৈর্ঘ্য, কখনও দ্রুত-দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অ্যানহাইড্রাইট থেকে ক্ষীণ ভূমিরূপ ও দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক দ্বারা চিহ্নিত করা যায়।
উৎপত্তি – বাষ্পীভবন অবক্ষেপে (Evaporites) ও শিরা খনিজ হিসেবেও দেখা যায়।

অ্যাপাটাইট (Apatite) $Ca_5(PO_4)_3F$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_e = 1.630 থেকে 1.651
n_o = 1.633 থেকে 1.655
আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ষট্‌কোণ প্রিজমীয় স্ফটিক
সম্ভেদ – অস্পষ্ট {০০০১}
ভূমিরূপ – মধ্যবর্তী, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_o-n_e = 0.003 থেকে 0.004। ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর থেকে সাদা।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – প্রিজমীয় স্ফটিক দ্রুত-দৈর্ঘ্য, ফলকাকার স্ফটিক ধীর-দৈর্ঘ্য।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ষট্‌কোণ প্রিজমীয় আকৃতি, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, সমান্তরাল নির্বাপণ।
উৎপত্তি – প্রধানত আগ্নেয়শিলার খনিজ, কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

কোয়ার্টজ (Quartz) SiO_2

ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_o = 1.5442
n_e = 1.5533
আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি প্রিজমীয় স্ফটিক থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – নেই
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_e-n_o = 0.009। ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের সাদার সাথে হলুদ আভা থাকতে পারে।
নির্বাপণ – সুস্পষ্টাকৃতির স্ফটিকের ক্ষেত্রে সমান্তরাল নির্বাপণ। স্পষ্টাকৃতিবিহীন স্ফটিকের ক্ষেত্রে তরঙ্গ নির্বাপণ (wavy extinction)।

দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, সম্ভেদবিহীন, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, একাক্ষিক আলোক ধনাত্মক।
উৎপত্তি – প্রায় সকল শিলার (আগ্নেয়, রূপান্তরিত, পাললিক) খনিজ (প্রধান খনিজ বা আনুষঙ্গিক খনিজ হিসেবে)। কখনও কখনও শিরা খনিজ।

ওপাল (Opal) S_iO_2 $(H_2O)x$
অকেলাসিত
(Amorphous)
n = 1.40 থেকে 1.46

বর্ণ – বর্ণহীন, হালকা ধূসর বা খয়েরি।
আকৃতি – স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – নেই
ভূমিরূপ – ক্ষীণ, n < n কা. বা.
দ্বৈতপ্রতিসরণাঙ্ক – নেই
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – স্পষ্টাকৃতিবিহীন, সম্ভেদবিহীন, সমবর্তকদ্বয়ের ক্রস অবস্থায় কালো।
উৎপত্তি – আগ্নেয়গিরিজাত আগ্নেয়শিলায় দেখা যায়।

ফেলড্স্পার গ্রুপ (Feldspars)

ফেলড্স্পার গ্রুপের বিভিন্ন খনিজের আলোকধর্ম বর্ণনার পূর্বে ফেলড্স্পার গ্রুপের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য নিয়ে আলোচনা করা দরকার।
ফেলড্স্পার গ্রুপ হচ্ছে তিনটি উপাদানসমৃদ্ধ একটি খনিজ গ্রুপ। উপাদানগুলো হচ্ছে অরথোক্লেজ (Orthoclase), Or = $KAlSi_2O_8$, অ্যালবাইট (Albite), Ab = $NaAlSi_3O_8$ ও অ্যানারথাইট (Anorthite), An = $CaAl_2Si_2O_8$।

পটাশ ফেলড্স্পার (Potash feldspars বা K-feldspars)
অরথোক্লেজ – একনতি স্ফটিক
মাইক্রোক্লিন – ত্রিনতি স্ফটিক
(Microcline)

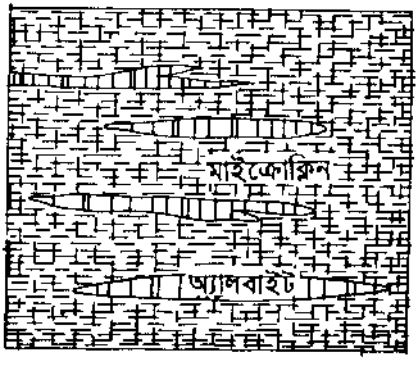
প্লাজিওক্লেজ ফেলড্স্পার (Plagioclase feldspars বা Na-Ca feldspars) ছয়টি খনিজ ঃ অ্যালবাইট (Albite), অলিগোক্লেজ (Oligoclase), অ্যানডেসাইন (Andesine), ল্যাবরাডোরাইট (Labradorite), বাইটোতনাইট (Bytownite), অ্যানারথাইট (Anorthite)।

প্লাগিওক্লেজ ফেলড্স্পার	An %	Ab %	ফর্মুলা
অ্যালবাইট	0-10	90-100	-- $Ab_{100}An_{0}$ - $Ab_{90}An_{10}$
অলিগোক্লেজ	10-30	90-70	-- $Ab_{90}An_{10}$ - $Ab_{70}An_{30}$
অ্যানডেসাইন	30-50	70-50	-- $Ab_{70}An_{30}$ - $Ab_{50}An_{50}$
ল্যাবরাডোরাইট	50-70	50-30	-- $Ab_{50}An_{50}$ - $Ab_{30}An_{70}$
বাইটোতনাইট	70-90	30-10	-- $Ab_{30}An_{70}$ - $Ab_{10}An_{90}$
অ্যানারথাইট	90-100	10-0	-- $Ab_{10}An_{90}$ - $Ab_{0}An_{100}$

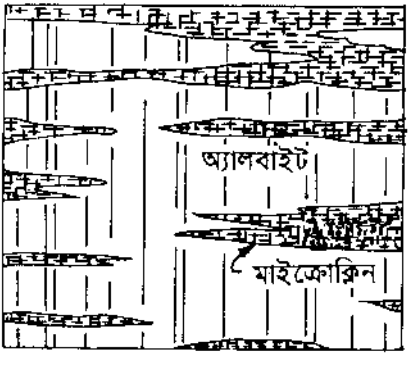
পারথাইট (Perthite) ও **অ্যানটিপারথাইট** (Antiperthite)

প্লাগিওক্লেজ খনিজ শিরার ন্যায় পটাশ ফেলড্স্পারে অবস্থান গ্রহণ করে। এই বৈশিষ্ট্য পারথাইট নামে পরিচিত (চিত্র ৬.১)।

পটাশ ফেলড্স্পার শিরার ন্যায় প্লাগিওক্লেজ ফেলড্স্পারে অবস্থান গ্রহণ করে। এই বৈশিষ্ট্য এ্যানটিপারথাইট নামে পরিচিত (চিত্র ৬.২)।



চিত্র ৬.১ ঃ পারথাইট



৬.২ ঃ অ্যানটিপারথাইট

মারমেকাইট (Myrmekite)

কোয়ার্টজ ও ফেলড্স্পারের অন্তর্বর্ধন। কোয়ার্টজ শাখা–প্রশাখায় এমনভাবে বিভক্ত হয় যে তা প্লাগিওক্লেজ ফেলড্স্পারের বর্হিসীমার লম্বিক, এই বৈশিষ্ট্য মারমেকাইট নামে পরিচিত।

যমজতা (Twinning)

যখন দুটি বা বেশি খনিজ এমনভাবে থাকে যে কোনো স্ফটিক অক্ষ বা তল তাদের সংযোগস্থল হিসেবে বিবেচিত হয়। এ অবস্থা যমজতা নামে পরিচিত। যমজতা দুই প্রকার। যথা ঃ

(১) **সাধারণ যমজতা** (Simple twinning) ঃ দুটি স্ফটিকের যমজ অবস্থাকে সাধারণ যমজতা নামে অভিহিত করা হয়।

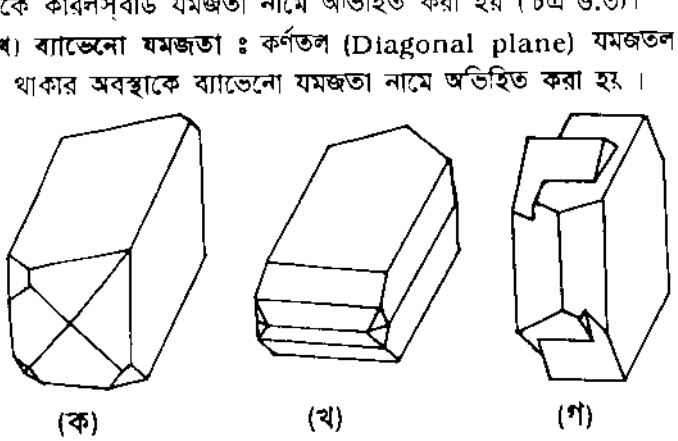
(২) **বহুসংশ্লেষিত যমজতা** ঃ যখন দুইয়ের বেশি স্ফটিক যমজ অবস্থায় থাকে তখন এই অবস্থাকে বহুসংশ্লেষিত যমজতা নামে অভিহিত করা হয়।

সাধারণ যমজতার শ্রেণিবিভাগ

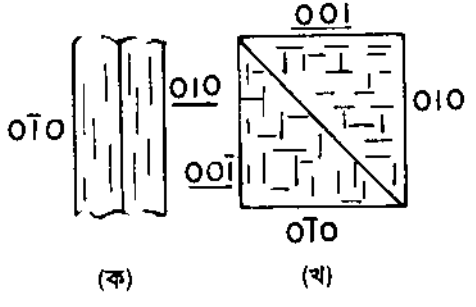
(ক) কারলস্‌বাড যমজতা (Carlsbad twinning), (খ) ব্যাভেনো যমজতা (Baveno twinning), (গ) ম্যানেবাখ যমজতা (Manebach)।

(ক) **কারলস্‌বাড যমজতা ঃ** C – অক্ষ যমজ অক্ষ হিসেবে সক্রিয় থাকার অবস্থাকে কারলস্‌বাড যমজতা নামে অভিহিত করা হয় (চিত্র ৬.৩)।

(খ) **ব্যাভেনো যমজতা ঃ** কর্ণতল (Diagonal plane) যমজতল হিসেবে সক্রিয় থাকার অবস্থাকে ব্যাভেনো যমজতা নামে অভিহিত করা হয়।



চিত্র ৬.৩ ঃ সাধারণ যমজতা ঃ (ক) ব্যাভেনো; (খ) ম্যানেবাখ ও (গ) কারলস্‌বাড যমজতা।



চিত্র ৬.৪ ঃ সূক্ষ্মচ্ছেদে যমজতা ঃ (ক) কারলস্‌বাড ও (খ) ম্যানেবাখ যমজতা।

(গ) ম্যানেবাখ যমজতা ঃ অনুভূমিক তল যমজতল হিসেবে সক্রিয় থাকার অবস্থাকে ম্যানেবাখ যমজতা নামে অভিহিত করা হয় (চিত্র ৬.৩)।

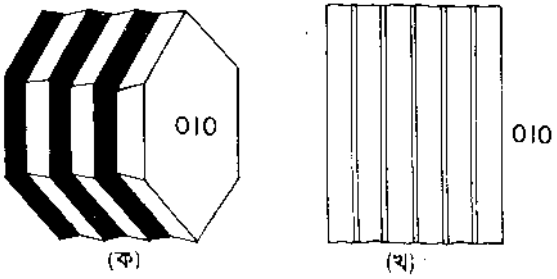
অরথোক্লেজ প্রধানত কারলস্‌বাড যমজতা দ্বারা প্রভাবিত। অরথোক্লেজে ম্যানেবাখ ও ব্যাভেনো যমজতা বিরল। প্লাগিওক্লেজ খনিজ প্রধানত বহুসংশ্লেষিত যমজতা দ্বারা প্রভাবিত। তবে প্লাগিওক্লেজে মাঝে মাঝে কারলস্‌বাড যমজতা পরিলক্ষিত হয়।

বহুসংশ্লেষিত যমজতার শ্রেণিবিভাগ

অ্যালবাইট যমজতা (Albite twinning)

বেঁড়া যমজতা (Cross-hatched twinning)

অ্যালবাইট যমজতা স্ফটিকগুলির সমান্তরাল তল দ্বারা ও (০১০) সন্ভেদ দ্বারা চিহ্নিত হয়। পূর্বেই বলা হয়েছে যে, অ্যালবাইট যমজতা (চিত্র ৬.৫) প্লাগিওক্লেজে দৃষ্ট হয়।



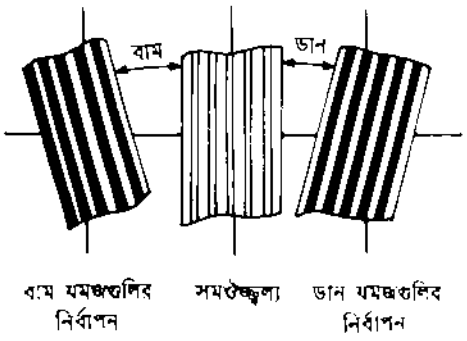
চিত্র ৬.৫ ঃ অ্যালবাইট যমজতা ঃ (ক) প্লাগিওক্লেজ স্ফটিক; (খ) প্লাগিওক্লেজ স্ফটিকের সূক্ষ্মচ্ছেদ।

বেঁড়া যমজতা বহুসংশ্লেষিত যমজতার একটি প্রকারভেদ, যেখানে বহুসংশ্লেষিত যমজতা আড়াআড়ি অবস্থান নেয়ায় বেঁড়ার মতন লাগে। তাই এই যমজতা বেঁড়া যমজতা নামে অভিহিত।

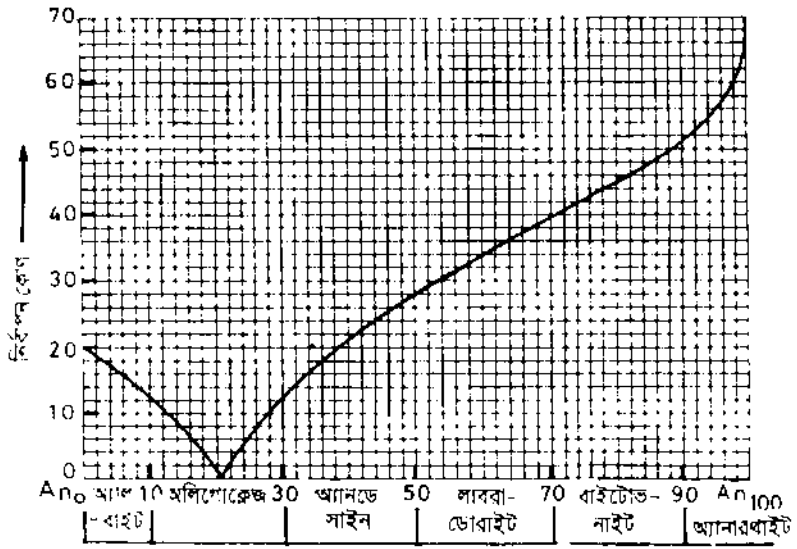
প্লাগিওক্লেজ খনিজের গঠন নির্ণয়ের মিশেল-লেভী পদ্ধতি (Michel-Levy Method for the determination of composition of a plagioclase mineral)

এ পদ্ধতি সূক্ষ্মচ্ছেদে প্লাগিওক্লেজ খনিজের সন্তোষজনক সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। প্লাগিওক্লেজ খনিজের ছেদ (০১০)-র লম্বিক হতে হবে। তিনটি

বৈশিষ্ট্য দ্বারা উপরিউক্ত ছেদ চেনা যায় ঃ (১) যমজতলের উপস্থিতি; (২) যমজতলের সমউজ্জ্বল্য যখন খনিজ ছেদ সমবর্তকদ্বয়ের তরঙ্গ তলের সমান্তরাল (চিত্র ৬.৬a); (৩) বাম ও ডানপাশে বীক্ষণাসন ঘুরালে সমনির্বাপণ কোণের উপস্থিতি (চিত্র ৬.৬b)



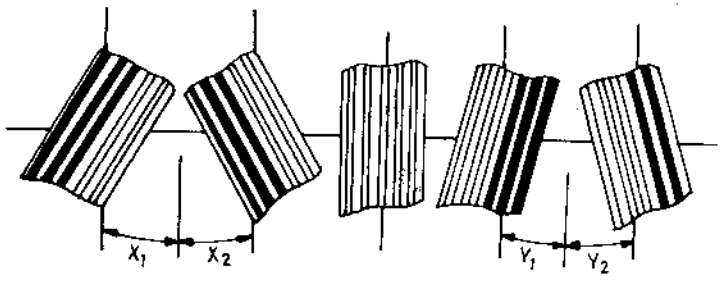
চিত্র ৬.৬ ঃ নির্বাপণ কোণ নির্ণয়।



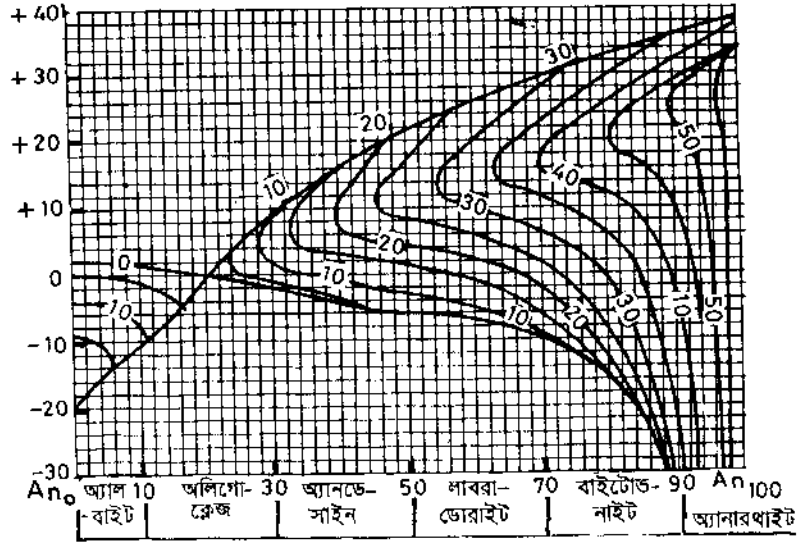
চিত্র ৬.৭ ঃ নির্বাপণ কোণের সহায্যে প্লাগিওক্লেজ খনিজের গঠন নির্ণয়

ন্যূনতম আট বা দশটি প্লাগিওক্লেজ স্ফটিক নেয়া হয় নির্বাপণ কোণ নির্ণয়ের জন্য। বাম ও ডানপাশের পার্থক্য ৬ ডিগ্রি পর্যন্ত অনুমোদনযোগ্য, কিন্তু বড় মান নেয়া হয়। উল্লেখ্য, নির্বাপণ কোণের মান ১৯.৫ ডিগ্রি বা তার বেশি হলে প্লাজিওক্লেজ দুইটির অধিক হয় (চিত্র ৬.৭)।

An_0-An_{21} – প্লাগিওক্লেজ খনিজের প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে কম ও এসব খনিজ আলোক ধনাত্মক।
An_{21}-An_{38} – প্লাগিওক্লেজ খনিজের প্রতিসরণাঙ্কের মান কানাডা বালজামের প্রতিসরণাঙ্কের মানের চেয়ে বেশি ও এইসব খনিজ আলোক ঋণাত্মক।
নির্বাপণ কোণের অনুভূমিক রেখার সাথে বক্ররেখার অন্তঃছেদ – একটি উল্লম্বরেখা যা তৎক্ষণাৎ প্লাগিওক্লেজ খনিজের গঠন প্রদর্শন করে (চিত্র ৬.৭)।



চিত্র ৬.৮ ঃ নির্বাপণ কোণ X ও Y নির্ণয়।



চিত্র ৬.৯ ঃ নির্বাপণ কোণ X ও Y-এর সাহায্যে প্লাগিওক্লেজ স্ফটিকের গঠন নির্ণয়।

দ্বিতীয় পদ্ধতি — মিশ্র কারলস্‌বাড — অ্যালবাইট যমজতার নির্বাপণ
(Extinction of Combined Carlsbad-Albite Twins)

যখন কারলস্‌বাড ও অ্যালবাইট যমজতা উভয়েই কোন প্লাগিওক্লেজ খনিজে বিদ্যমান তখন নির্বাপণ কোণ নির্ণয় ও প্লাগিওক্লেজ খনিজের গঠন নির্ণয়ের জন্য ঐ একটি প্লাগিওক্লেজ খনিজই যথেষ্ট। চারটি নির্বাপণ কোণ X_1 X_2 এবং Y_1, Y_2 পাওয়া যাবে (চিত্র ৬.৮)।

৪৫ ডিগ্রি অবস্থানে অ্যালবাইট যমজতা অদৃশ্য হয় ও স্ফটিকটি শুধু কারলস্‌বাড যমজতা প্রদর্শন করে। 0 ডিগ্রি অবস্থানে অ্যালবাইট ও কারলস্‌বাড যমজতা – উভয়েই অদৃশ্য হয়। Y_1Y_2 এর গড় মান অনুভূমিক রেখায় দেয়া আছে। X_1, X_2 এর গড় মান বজ্ররেখায় দেয়া আছে।

নির্ণয়কৃত অনুভূমিক রেখা ও নির্ণয়কৃত বজ্ররেখার অবস্থান একটি বিশেষত্ব যা তৎক্ষণাৎ প্লাগিওক্লেজ খনিজের গঠন প্রদর্শন করে (চিত্র ৬...

অর্থোক্লেজ (Orthoclase)

একটি স্ফটিক

$n_p = 1.518$
$n_m = 1.524$
$n_g = 1.526$
$2V = 69$ ডিগ্রি 72 ডিগ্রি; ঋণাত্মক সনাক্তক

বর্ণ –	বর্ণহীন, কখনও কখনও মেখলা।
আকৃতি –	ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন
সহভেদ –	পূর্ণাঙ্গ (001), অপূর্ণাঙ্গ (010), অস্পষ্ট (110)
ভূমিরূপ –	ক্ষীণ, $n < n$ ক্যানাডা বা
দ্বৈত পতিসরণাঙ্ক –	দুর্বল, $n_g - n_p = 0.008$; বাতিচারী ৫ম ক্রমের ধূসর বা সাদা।
নির্বাপণ –	সমান্তরাল নির্বাপণ (001), ৫ ডিগ্রি-১২ ডিগ্রি নির্বাপণ কোণ (010)
দীর্ঘায়ন –	ধনাত্মক-দৈর্ঘ্য
যমজতা –	কারলস্‌বাড যমজতা
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	বর্ণহীন, ক্ষীণভূমিরূপ, কারলস্‌বাড যমজতা
উপস্থিতি –	অগ্নেয়শিলার বিশেষত গ্রানাইটের ও সিয়েনাইটের খনিজ।

মাইক্রোক্লিন (Microcline) $KAlSi_3O_8$

ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.518 থেকে 1.522
n_m = 1.522 থেকে 1.526
n_g = 1.525 থেকে 1.530
2V = 77 ডিগ্রি থেকে 84 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ঈষৎস্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১$\bar{1}$০}
ভূমিরূপ – ক্ষীণ, n < n' কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.007; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর বা সাদা
নির্বাপণ – ১৫ ডিগ্রি নির্বাপণ কোণ (০০১), ৫ ডিগ্রি নির্বাপণ কোণ (০১০)
দীর্ঘায়ন – দ্রুত–দৈর্ঘ্য
যমজতা – বেড়া যমজতা
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, ক্ষীণ ভূমিরূপ, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, বেড়া যমজতা।
উৎপত্তি – গ্রানাইটে, সিয়েনাইটে ও নাইসে (Gneiss) দৃষ্ট হয়।

অ্যালবাইট (Albite) $Ab_{100}An_0$ - $Ab_{90}An_{10}$

ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.527 থেকে 1.533
n_m = 1.531 থেকে 1.537
n_g = 1.538 থেকে 1.542
2V = 77 ডিগ্রি থেকে 82 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি থেকে ঈষৎস্পষ্টাকৃতি।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {১১০} ও {১$\bar{1}$০}

ভূমিরূপ –	ক্ষীণ, $n < n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক –	দুর্বল, $n_g - n_p = 0.009$ থেকে 0.011; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হালকা হলুদ।
নির্বাপণ –	নির্বাপণকোণ ১২ ডিগ্রি থেকে ১৯ ডিগ্রি।
যমজতা –	প্রধানত আলবাইট যমজতা, কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	বর্ণহীন, ক্ষীণ ভূমিরূপ, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, অ্যালবাইট যমজতা।
উৎপত্তি –	গ্রানাইটে, গ্রানাইট পেগমাটাইটে, কিছু রূপান্তরিত শিলায় দৃষ্ট হয়। শিরা খনিজ।

অলিগোক্লেজ (Oligoclase) $Ab_{70}An_{30}$ - $Ab_{90}An_{10}$
ত্রিনতি স্ফটিক

$n_p = 1.533$ থেকে 1.543
$n_m = 1.537$ থেকে 1.548
$n_g = 1.542$ থেকে 1.551
$2V = 82$ ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক বা আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ –	বর্ণহীন
আকৃতি –	সুস্পষ্টাকৃতি, ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি বা স্পষ্টাকৃতিবিহীন
সংঘাত –	পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১১০}
ভূমিরূপ –	ক্ষীণ, $n < n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক –	দুর্বল, $n_g - n_p = 0.008$ থেকে 0.009; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর বা সাদা।
নির্বাপণ –	নির্বাপণ কোণ ০ ডিগ্রি (সমান্তরাল নির্বাপণ) থেকে ১২ ডিগ্রি।
যমজতা –	প্রধানত অ্যালবাইট যমজতা। কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	বর্ণহীন, ক্ষীণ ভূমিরূপ, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, অ্যালবাইট যমজতা
উৎপত্তি –	গ্রানাইটে, রাইওলাইটে (Rhyolites), সিয়েনাইটে ও কিছু রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

18477

অ্যানডেসাইন (Andesine) $Ab_{70}An_{30}$ - $Ab_{50}An_{50}$
ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.543 থেকে 1.554
n_m = 1.548 থেকে 1.558
n_g = 1.551 থেকে 1.562
2V = 76 ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক বা আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১১০}
ভূমিরূপ – স্পষ্ট, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.008; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর বা সাদা
নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ১৩ ডিগ্রি থেকে ২৭.৫ ডিগ্রি।
যমজতা – প্রধানত অ্যালবাইট যমজতা। কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, দুর্বল দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, নির্বাপণ কোণ, অ্যালবাইট যমজতা।
উৎপত্তি – আগ্নেয়শিলায় বিশেষত ডাইওরাইটে ও অ্যানডেসাইটে দেখা যায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

ল্যাবরাডোরাইট (Labradorite) $Ab_{50}An_{50}$ - $Ab_{30}An_{70}$
ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.554 থেকে 1.564
n_m = 1.558 থেকে 1.569
n_g = 1.562 থেকে 1.573
2V = 76 ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০১০}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১১০}

ভূমিরূপ – স্পষ্ট, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.008 থেকে 0.009; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর বা সাদা।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ২৭.৫ ডিগ্রি থেকে ৩০ ডিগ্রি

যমজতা – প্রধানত অ্যালবাইট যমজতা। কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অন্যান্য প্লাগিওক্লেজ ফেলড্‌স্পার থেকে নির্বাপণ কোণ দ্বারা চিহ্নিত হয়।

উৎপত্তি – আগ্নেয়শিলায়, বিশেষত ব্যাসাল্টে, গ্যাবরোতে ও অ্যানারথাসাইটে দেখা যায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

বাইটোভনাইট (Bytownite) $Ab_{30}An_{70}$ - $Ab_{10}An_{90}$
ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.564 থেকে 1.573
n_m = 1.569 থেকে 1.579
n_g = 1.573 থেকে 1.585
2V = 79 ডিগ্রি থেকে 88 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন

আকৃতি – ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১১০}।

ভূমিরূপ – মধ্যবর্তী, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.009 থেকে 0.012; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর, সাদা বা হালকা হলুদ।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ৩০ ডিগ্রি থেকে ৫১ ডিগ্রি

যমজতা – প্রধানত অ্যালবাইট যমজতা, কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অন্যান্য প্লাগিওক্লেজ ফেলড্‌স্পার থেকে নির্বাপণ কোণ ও প্রতিসরণাঙ্ক দ্বারা চিহ্নিত হয়

উৎপত্তি – আগ্নেয়শিলায়, বিশেষত গ্যাবরোতে, অ্যানারথাসাইটে, ব্যাসাল্টে দেখা যায়। তবে এই

প্লাগিওক্লেজ খনিজ অন্যান্য প্লাগিওক্লেজ খনিজ থেকে কম দৃষ্ট হয়।

অ্যানারথাইট (Anorthite) $Ab_{10}An_{90}$ - Ab_0An_{100}
ত্রিনতি স্ফটিক

n_p = 1.573 থেকে 1.577
n_m = 1.579 থেকে 1.585
n_g = 1.585 থেকে 1.590
2V = 77 ডিগ্রি থেকে 79 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – স্পষ্টাকৃতিবিহীন থেকে ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি
সন্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}, অস্পষ্ট {১১০} ও {১$\bar{1}$০}
ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.012 থেকে 0.013; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর, সাদা বা হলুদ।
নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ৫১ ডিগ্রি থেকে ৭০ ডিগ্রি।
যমজতা – প্রধানত অ্যালবাইট যমজতা। কখনও কখনও মিশ্র কারলস্‌বাড – অ্যালবাইট যমজতা।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অন্যান্য প্লাগিওক্লেজ ফেলড্‌স্পার থেকে নির্বাপণ কোণ ও প্রতিসরণাঙ্ক দ্বারা চিহ্নিত হয়।
উৎপত্তি – বিরল প্লাগিওক্লেজ ফেলড্‌স্পার। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

নেফেলিন (Nepheline) $(Na, K)(Al, Si)_2O_4$
ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_e = 1.527 থেকে 1.543
n_o = 1.530 থেকে 1.547
আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি, প্রিজমীয় স্ফটিক
সন্ভেদ – অপূর্ণাঙ্গ {১০$\bar{1}$০}
ভূমিরূপ – ক্ষীণ, প্রতিসরণাঙ্ক (n_e বা n_o) কানাডা বালজামের

প্রতিসরণাঙ্কের বেশ কাছাকাছি।

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_o-n_e = 0.003 থেকে 0.004; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর।

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

দীর্ঘায়ন – দ্রুত-দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অরথোক্লেজের মতন লাগে। কিন্তু অরথোক্লেজের পূর্ণাঙ্গ সন্ভেদ ও অরথোক্লেজ দ্বিআক্ষিক।

উৎপত্তি – আগ্নেয়শিলায়, বিশেষত নেফেলিন সিয়েনাইটে ও ফনোলাইটে দেখা যায়।

এনস্টাটাইট (Enstatite) $MgSiO_3$

বিষমমাপ লম্বিক স্ফটিক

n_p = 1.650 থেকে 1.665
n_m = 1.653 থেকে 1.670
n_g = 1.658 থেকে 1.674
2V = 58 ডিগ্রি থেকে 80 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন

আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি, প্রিজমীয় স্ফটিক

সন্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, দুইদিক বরাবর (৮৮ ডিগ্রি ও ৯২ ডিগ্রি)

ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.008 থেকে 0.009; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হালকা হলুদ।

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

দীর্ঘায়ন – ধীর-দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – হাইপারস্থেন থেকে চিহ্নিত হয় বর্ণান্তরের অভাবে; একনতি পাইরোক্সেন থেকে চিহ্নিত হয় সমান্তরাল নির্বাপণ দ্বারা।

উৎপত্তি – আগ্নেয়শিলায় দেখা যায়।

হাইপারস্থেন (Hypersthene) $(Mg, Fe)\ SiO_3$
বিষমত্রয় লম্বিক স্ফটিক

n_p = 1.673 থেকে 1.715
n_m = 1.678 থেকে 1.728
n_g = 1.683 থেকে 1.731
2V = 63 ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন, হালকা সবুজ বা হালকা লাল; বর্ণান্তর ঘটে হালকা সবুজ থেকে হালকা লাল বর্ণে।
আকৃতি – প্রিজমীয় স্ফটিক, প্রস্থচ্ছেদ বর্গাকৃতি
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, {০১০} ও {১০০}
ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, n_g-n_p = 0.010 থেকে 0.016; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হলুদ থেকে লাল।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – পূর্বেই বলা হয়েছে যে, এনস্টাটাইট ও হাইপারস্থেনের মধ্যে অদ্ভুত সাদৃশ্য। তবে হাইপারস্থেনে বর্ণান্তর পরিলক্ষিত হয় যা বর্ণহীন এনস্টাটাইটে ঘটবার কথা নয়।
উৎপত্তি – নরাইটে, গ্যাবরোতে ও অ্যানডেসাইটে দেখা যায়। হাইপারস্থেন গ্রানাইটে (চারনোকাইট নামে পরিচিত) অন্যতম প্রধান খনিজ।

ডাইওপসাইড (Diopside) $Ca\ (Mg, Fe)\ (SiO_3)_2$
একনতি স্ফটিক

n_p = 1.650 থেকে 1.698
n_m = 1.657 থেকে 1.706
n_g = 1.681 থেকে 1.727
2V = 58 ডিগ্রি থেকে 60 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন, হালকা সবুজ বা উজ্জ্বল সবুজ।
আকৃতি – ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০} দুইদিক বরাবর (৮৭ ডিগ্রি ও ৯৩ ডিগ্রি)

ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_g - n_p = 0.029$ থেকে 0.031; সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের উপরের দিকে।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ৩৭ ডিগ্রি থেকে ৪৪ ডিগ্রি।

দীর্ঘায়ন – নির্বাপণ কোণ ৩০ ডিগ্রি অতিক্রম করায় দীর্ঘায়ন চিহ্ন নির্ণয় করা হয় না।

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক, তীব্র ভূমিরূপ, তীব্র দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, নির্বাপণ কোণ, দ্বিআক্ষিক আলোক ধনাত্মক।

উৎপত্তি – রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

অগাইট (Augite) $Ca(Mg, Fe)(SiO_3)_2 [(Al, Fe)_2O_3]x$

একনতি স্ফটিক

$n_p = 1.688$ থেকে 1.712

$n_m = 1.701$ থেকে 1.717

$n_g = 1.713$ থেকে 1.737

$2V = 58$ ডিগ্রি থেকে 62 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন, কখনও কখনও হালকা সবুজ।

আকৃতি – ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক, প্রস্থচ্ছেদ চার বা আট বাহু-সংবলিত

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, দুইদিক বরাবর (৮৭ ডিগ্রী ও ৯৩ ডিগ্রী)

ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.

দ্বৈতপ্রতিসরণাঙ্ক – মধ্যবর্তী, $n_g - n_p = 0.021$ থেকে 0.025; সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের মাঝামাঝি।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ৩৬ ডিগ্রি থেকে ৪৫ ডিগ্রি।

দীর্ঘায়ন – নির্বাপণ কোণ ৩০ ডিগ্রি অতিক্রম করায় দীর্ঘায়ন চিহ্ন নির্ণয় করা হয় না।

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ডাইওপসাইডের সাথে অদ্ভুত সাদৃশ্য। তবে অগাইটের নির্বাপণ কোণ অপেক্ষাকৃত কম।

উৎপত্তি – গ্যাবরোতে, ব্যাসাল্টে, পেরিডোটাইটে, অ্যানডেসাইটে দেখা যায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

এগেরিন (Aegirine) $NaFe(S_1O_3)_2$

একনতি স্ফটিক

n_p = 1.745 থেকে 1.777
n_m = 1.770 থেকে 1.823
n_g = 1.782 থেকে 1.836
2V = 60 ডিগ্রি থেকে 66 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – সবুজ
বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা– তীব্র বর্ণান্তর; $N_p > N_m > N_g$
আকৃতি – দীর্ঘ প্রিজমীয় স্ফটিক, কখনও কখনও ফলকাকার
সন্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, দুইদিক বরাবর (৮৭ ডিগ্রি ও ৯৩ ডিগ্রি)
ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, n > n = 0.037 থেকে 0.059; ব্যতিচারী বর্ণ তৃতীয় বা চতুর্থ ক্রম অতিক্রম করে, কিন্তু খনিজের বর্ণ ব্যতিচারী বর্ণকে আচ্ছাদিত করে রাখে।
নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ২ ডিগ্রি থেকে ১০ ডিগ্রি।
দীর্ঘায়ন – দ্রুত-দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অ্যাক্ষিবোল থেকে নির্বাপণ কোণ ও দ্রুত-দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন দ্বারা চিহ্নিত হয়। একনতি পাইরোক্সেন থেকে নির্বাপণ কোণ দ্বারা চিহ্নিত হয়।
উৎপত্তি – নেফেলিন সিয়েনাইটে, সিয়েনাইটে, ট্রাকাইটে দেখা যায়।

ট্রেমোলাইট (Tremolite) – অ্যাকটিনোলাইট (Actinolite)
$Ca_2(Mg_1Fe)_5(OH)_2(Si_4O_{11})_2$

একনতি স্ফটিক

n_p = 1.600 থেকে 1.628
n_m = 1.613 থেকে 1.644
n_g = 1.625 থেকে 1.655
2V = 79 ডিগ্রি থেকে 85 ডিগ্রি; আলোক. ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে হালকা সবুজ; সবুজ বর্ণের খনিজ

দুর্বল বর্ণান্তর প্রদর্শন করে।

আকৃতি – দীর্ঘ প্রিজমীয় স্ফটিক; কখনও কখনও স্তম্ভাকৃতি

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, দুইদিক বরাবর (৫৬ ডিগ্রি ও ১২৪ ডিগ্রি)

ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, n_g-n_p = 0.022 থেকে 0.027; ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের মাঝামাঝি।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ১০ ডিগ্রি থেকে ২০ ডিগ্রি।

দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – নির্বাপণ কোণ, সম্ভেদ ও অ্যাম্ফিবোল প্রস্থচ্ছেদ সনাক্তকরণের সহায়ক।

উৎপত্তি – রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

হরনব্লেণ্ড (Hornblende)

$Ca_2 (Mg, Fe, Al)_5 (OH)_2 [(Si, Al)_4O_{11}]_2$

একনতি স্ফটিক

n_p = 1.614 থেকে 1.675

n_m = 1.618 থেকে 1.691

n_g = 1.633 থেকে 1.701

2V = 52 ডিগ্রি থেকে 85 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – সবুজ বা খয়েরি

বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা – তীব্র, $N_g > N_m > N_p$

আকৃতি – প্রিজমীয় স্ফটিক

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১১০}, দুইদিক বরাবর (৫৬ ডিগ্রি ও ১২৪ ডিগ্রি)

ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – মধ্যবর্তী, n_g-n_p = 0.019 থেকে 0.026; সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের মাঝামাঝি।

নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ১২ ডিগ্রি থেকে ৩০ ডিগ্রি।

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – অগাইট থেকে সম্ভেদ, বর্ণান্তর ও নির্বাপণ কোণ দ্বারা চিহ্নিত হয়। খয়েরি হরনব্লেণ্ড বাইওটাইট থেকে সম্ভেদ ও নির্বাপণ কোণ দ্বারা চিহ্নিত হয়।

উৎপত্তি – প্রধানত আগ্নেয়শিলায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

অলিভিন (Olivine) $(Mg, Fe)_2 SiO_4$

বিষমমেরু লম্বিক স্ফটিক

n_p = 1.651 থেকে 1.681
n_m = 1.670 থেকে 1.706
n_g = 1.689 থেকে 1.718
2V = 70 ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক বা আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে স্পষ্টাকৃতিবিহীন।
সম্ভেদ – অপূর্ণাঙ্গ {০১০}; অনিয়মিত ফাটল পরিলক্ষিক হয়
ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, n_c-n_p = 0.037 থেকে 0.041; ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের উপরের দিকের।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ডাইওপসাইডের সাথেই বেশি সাদৃশ্য। তবে সম্ভেদ, নির্বাপণ কোণ দ্বারা চিহ্নিত হয়।
উৎপত্তি – গ্যাবরোতে ও ব্যাসাল্টে দেখা যায়। ডুনাইট শিলার প্রধানতম খনিজ অলিভিন।

গারনেট গ্রুপ (Garnet Group)	সমমাত্রিক স্ফটিক গ্রুপ
পাইরোপ (Pyrope)	$Mg_3Al_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.741 থেকে 1.760
অ্যালমানডাইট (Almandite)	$Fe_3Al_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.778 থেকে 1.815
স্পেসারটাইট (Spessartite)	$Mn_3Al_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.792 থেকে 1.820
উভারোভাইট (Uvarovite)	$Ca_3 Cr_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.838 থেকে 1.870
গ্রোসুলারাইট (Grossularite)	$Ca_3 Al_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.736 থেকে 1.763
অ্যানড্রাডাইট (Andradite)	$Ca_3 Fe_2 (SiO_4)_3$ – n = 1.857 থেকে 1.887

ছয়টি খনিজের মধ্যে দুটি উপগ্রুপ রয়েছে ঃ পাইরোপ – অ্যালমানডাইট – স্পেসারটাইট উপগ্রুপ ও উভারোভাইট – গ্রোসুলারাইট – অ্যানড্রাডাইট উপগ্রুপ। গারনেট গ্রুপ সমমাত্রিক স্ফটিকশ্রেণির অন্তর্ভুক্ত।

বর্ণ –	বর্ণহীন, হালকা লাল, খয়েরি, সবুজ ইত্যাদি।
আকৃতি –	সুস্পষ্টাকৃতি
সম্ভেদ –	নেই
ভূমিরূপ –	তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক –	নেই, সমসারক
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	তীব্র ভূমিরূপ, সম্ভেদবিহীন, সমসারক।
উৎপত্তি –	রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

স্টাউরোলাইট (Staurolite) $2Al_2 Si O_5 Fe (OH)_2$

বিষমত্রয় লম্বিক

n_p = 1.736 থেকে 1.747
n_m = 1.741 থেকে 1.754
n_g = 1.746 থেকে 1.762
2V = 80 ডিগ্রি থেকে 88 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ –	হালকা হলুদ
বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা–	স্পষ্ট বর্ণান্তর; $N_g > N_m > N_p$
আকৃতি –	ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক; প্রস্থচ্ছেদ ষট্‌কোণবিশিষ্ট
ভূমিরূপ –	তীব্র, n > n
সম্ভেদ –	অস্পষ্ট (০১০)
অন্তর্ভুক্তি –	প্রায়শই কোয়ার্টজের অন্তর্ভুক্তি।
দ্বৈতপ্রতিসরণাঙ্ক –	দুর্বল, n_g-n_p = 0.010 থেকে 0.015; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হলুদ থেকে লাল
নির্বাপণ –	সমান্তরাল নির্বাপণ; প্রস্থচ্ছেদে প্রতিসম নির্বাপণ।
দীর্ঘায়ন –	ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	বর্ণ, বর্ণান্তর ও কোয়ার্টজের অন্তর্ভুক্তি সনাক্তকরণের সহায়ক।
উৎপত্তি –	রূপান্তরিত শিলার (নাইস, শিস্‌ট, ফিলাইট) খনিজ।

জিরকন (Zircon) $ZrSiO_4$

চতুষ্কৌণিক স্ফটিক

n_o = 1.925 থেকে 1.931
n_e = 1.985 থেকে 1.993

আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক
সম্ভেদ – নেই
ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_c - n_o = 0.060$ থেকে 0.062; ব্যতিচারী বর্ণ চতুর্থ ক্রম অতিক্রম করে।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – ধীর-দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – তীব্র ভূমিরূপ, সমান্তরাল নির্বাপণ ও ধীর-দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন সনাক্তকরণের সহায়ক।
উৎপত্তি – গ্রানাইটে ও সিয়েনাইটে দেখা যায়; কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

স্ফেন (Sphene) $CaTiSiO_5$

একনতি স্ফটিক

$n_p = 1.887$ থেকে 1.913
$n_m = 1.894$ থেকে 1.921
$n_g = 1.979$ থেকে 2.054
$2V = 23$ ডিগ্রি থেকে 50 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – সুস্পষ্টাকৃতি; প্রস্থচ্ছেদ রম্বিক আকৃতি
সম্ভেদ – স্পষ্ট (২২১)
ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.
দ্বৈতপ্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, $n_g - n_p = 0.092$ থেকে 0.141; ব্যতিচারী বর্ণ উচ্চক্রমের।
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, রম্বিক আকৃতি, তীব্র ভূমিরূপ, তীব্র দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক।
উৎপত্তি – রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

কায়ানাইট (Kyanite) Al_2SiO_5

ত্রিনতি স্ফটিক

$n_p = 1.712$
$n_m = 1.720$
$n_g = 1.728$
$2V = 82$ ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে হালকা নীল।
আকৃতি – ফলকাকার স্ফটিক
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {১০০}, অপূর্ণাঙ্গ {০১০}
ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – মধ্যবর্তী, $n_g - n_p = 0.016$; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের লাল।
নির্বাপণ – নির্বাপণ কোণ ৩০ ডিগ্রি; প্রস্থচ্ছেদ সমান্তরাল নির্বাপণ।
দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – ফলকাকার আকৃতি, তীব্র ভূমিরূপ, নির্বাপণ, ধীর–দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন, দ্বিআক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।
উৎপত্তি – রূপান্তরিত শিলায় (নাইস, শিস্ট) দেখা যায়।

টোপাজ (Topaz) $Al_2(F,OH)_2SiO_4$

বিষমত্রয় লম্বিক

$n_p = 1.607$ থেকে 1.629
$n_m = 1.610$ থেকে 1.631
$n_g = 1.617$ থেকে 1.638
$2V = 48$ ডিগ্রি থেকে 65 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন
আকৃতি – ক্ষুদ্র প্রিজমীয় স্ফটিক
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}
ভূমিরূপ – তীব্র, $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল, $n_g - n_p = 0.009$ থেকে ০.০১০; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর, সাদা বা হলুদ।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – দ্রুত–দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – কোয়ার্টজের সাথে সাদৃশ্য, তবে তীব্র ভূমিরূপ, পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ ও দ্বিআক্ষিকতা দ্বারা চিহ্নিত করা যায়।

উৎপত্তি – শিলা খনিজ; গ্রানাইট পেগমাটাইটে দেখা যায়।

জইসাইট (Zoisite) $Ca_2 (Al, Fe)_3 (OH) (SiO_4)_3$

বিষমত্রয় লম্বিক স্ফটিক

n_p = 1.696 থেকে 1.700
n_m = 1.696 থেকে 1.703
n_g = 1.702 থেকে 1.718
2V = 30 ডিগ্রি থেকে 60 ডিগ্রি; আলোক ধনাত্মক

বর্ণ – বর্ণহীন

আকৃতি – ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে সুস্পষ্টাকৃতি।

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০১০}

ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.

দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – দুর্বল থেকে মধ্যবর্তী, n_g-n_p = 0.006 থেকে 0.018; ব্যতিচারী বর্ণ ঘন নীল।

নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ

দীর্ঘায়ন – কখনও ধীর–দৈর্ঘ্য, কখনও দ্রুত–দৈর্ঘ্য

সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, তীব্র ভূমিরূপ, সমান্তরাল নির্বাপণ, দ্বিআক্ষিক আলোক ধনাত্মক।

উৎপত্তি – রূপান্তরিত শিলার খনিজ।

এপিডোট (Epidote) $Ca_2 (Al, Fe)_3 (OH) (SiO_4)_3$

একনতি স্ফটিক

n_p = 1.720 থেকে 1.734
n_m = 1.724 থেকে 1.763
n_g = 1.734 থেকে 1.779
2V = 69 ডিগ্রি থেকে 89 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে হলুদাভ সবুজ; হলুদাভ সবুজ বর্ণের এপিডোট ক্ষীণ বর্ণান্তর প্রদর্শন করে।

আকৃতি – ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি থেকে সুস্পষ্টাকৃতি

সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}

ভূমিরূপ –	তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক –	মধ্যবর্তী থেকে তীব্র, n_g-n_p = 0.014 থেকে 0.045; সর্বাধিক ব্যতিচারী বর্ণ তৃতীয় ক্রমের উপরের দিকের।
নির্বাপণ –	সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন –	কখনও ধীর–দৈর্ঘ্য, কখনও দ্রুত–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	ডাওপসাইড থেকে সমান্তরাল নির্বাপণ দ্বারা চিহ্নিত হয়। জইসাইট থেকে তীব্র দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক দ্বারা চিহ্নিত হয়
উৎপত্তি –	আগ্নেয় ও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

বেরিল (Beryl) $Be_3Al_2 (SiO_3)_6$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_e = 1.564 থেকে 1.590

n_o = 1.568 থেকে 1.598

আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ –	বর্ণহীন
আকৃতি –	প্রিজমীয় স্ফটিক, প্রস্থচ্ছেদ ষট্‌কোণ সংবলিত
সম্ভেদ –	অপূর্ণাঙ্গ (০০০১)। সাধারণত দৃষ্টিগোচর হয় না
ভূমিরূপ –	মধ্যবর্তী, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাংক –	দুর্বল। n_o-n_e = 0.004 থেকে 0.008; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের ধূসর, সাদা বা হলুদ।
নির্বাপণ –	সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন –	দ্রুত–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	অ্যাপাটাইটের সাথে বেশ সাদৃশ্য। তবে অ্যাপাটাইটের প্রতিসরণাঙ্কের মান বেশি। কোয়ার্টজ থেকে চিহ্নিত হয় আলোকচিহ্ন ও দীর্ঘায়ন দ্বারা।
উৎপত্তি –	গ্রানাইট পেগমাটাইটেই প্রধানত দেখা যায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

টুরমালিন (Tourmaline)

$Na (Mg, Fe, Mn, Li, Al)_3 Al_6 [Si_6O_{18}] (BO_3)_3 (OH, F)_4$

ষট্‌কোণ স্ফটিক

n_e = 1.610 থেকে 1.650
n_o = 1.635 থেকে 1.668
আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – ধূসর, নীল, হালকা হলুদ, বর্ণহীন।
বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা– বর্ণান্তর স্পষ্ট; $N_p > N_g$
আকৃতি – প্রিজমীয় স্ফটিক। প্রস্থচ্ছেদ ত্রিভুজাকৃতি বা ষট্‌কোণ সংবলিত।
সম্ভেদ – নেই।
ভূমিরূপ – তীব্র, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রেতিসরণাঙ্ক – মধ্যবর্তী থেকে তীব্র; n_o-n_e = 0.025 থেকে 0.018
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – দ্রুত–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – দ্রুত–দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন, সমান্তরাল নির্বাপণ ও প্রস্থচ্ছেদ (ত্রিভুজাকৃতি বা ষট্‌কোণ সংবলিত) সনাক্তকরণের সহায়ক।
উৎপত্তি – গ্রানাইট পেগমাটাইটে ও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

মাসকোভাইট (Muscovite) $KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$

একনতি স্ফটিক

n_p = 1.556 থেকে 1.570
n_m = 1.587 থেকে 1.607
n_g = 1.593 থেকে 1.611
2V = 30 ডিগ্রি থেকে 40 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – বর্ণহীন থেকে হালকা সবুজ
বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা– রঙ্গিন মাসকোভাইটে বর্ণান্তর স্পষ্ট; $N_g > N_m > N_p$
আকৃতি – ফলকাকার থেকে আঁশাল (scaly); আঁশাল মাসকোভাইট সেরিসাইট (sericite) নামে পরিচিত।
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}

ভূমিরূপ – মধ্যবর্তী থেকে তীব্র; $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, n_g-n_p = 0.037 থেকে 0.041; ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের উপরের দিকের।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণহীন, পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ, সমান্তরাল নির্বাপণ, ধীর–দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন, দ্বিআক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।
উৎপত্তি – প্রধানত রূপান্তরিত শিলায়, কখনও কখনও গ্রানাইট পেগমাটাইটে দেখ যায়।

বাইওটাইট (Biotite) $K_2 (Mg,Fe)_2 (OH)_2 (AlSi_3O_{10})$
একনতি স্ফটিক

n_p = 1.541 থেকে 1.579
n_m = 1.574 থেকে 1.638
n_g = 1.574 থেকে 1.638
2V = 0 ডিগ্রি থেকে 25 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।

বর্ণ – খয়েরি, সবুজ
বর্ণান্তর ও বর্ণান্তর ফর্মুলা– স্পষ্ট; $N_g > N_m > N_p$
আকৃতি – ফলকাকৃতি
সম্ভেদ – পূর্ণাঙ্গ {০০১}
ভূমিরূপ – মধ্যবর্তী থেকে তীব্র; $n > n$ কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক – তীব্র, n_g-n_p = 0.033 থেকে 0.059; ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় অক্ষের উপরের দিকের।
নির্বাপণ – সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন – ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য – বর্ণ ও বর্ণান্তর, সমান্তরাল নির্বাপণ, পূর্ণাঙ্গ সম্ভেদ, ধীর–দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন, দ্বিআক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।
উৎপত্তি – প্রায় সব আগ্নেয়শিলায় দেখা যায়। কখনও কখনও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

সারপেনটাইন (Serpentine) $Mg_6Si_4O_{10} (OH)_8$
একনতি স্ফটিক

n_p = 1.555 থেকে 1.564

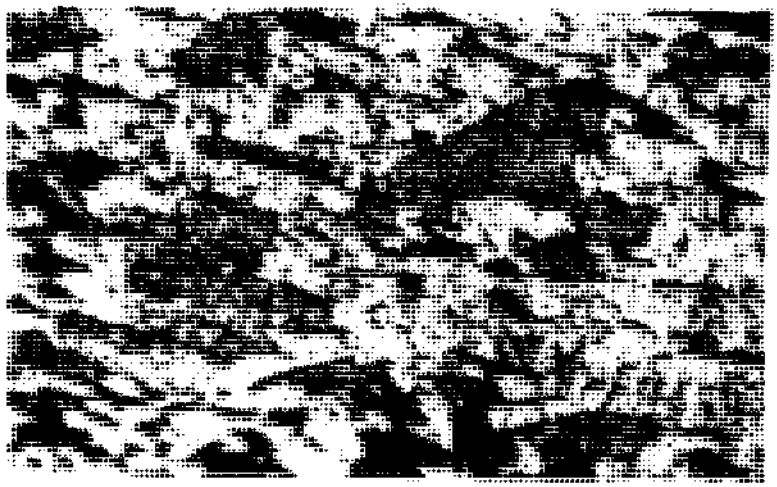
	n_m = 1.562 থেকে 1.573 n_g = 1.562 থেকে 1.573 2V = 20 ডিগ্রি থেকে 90 ডিগ্রি; আলোক ঋণাত্মক।
বর্ণ –	বর্ণহীন থেকে হালকা সবুজ।
আকৃতি –	স্পষ্টাকৃতিবিহীন
সম্ভেদ –	অস্পষ্ট
ভূমিরূপ –	ক্ষীণ, n > n কা. বা.
দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক –	দুর্বল, n_g-n_p = 0.007 থেকে 0.009; ব্যতিচারী বর্ণ প্রথম ক্রমের হলুদ।
নির্বাপণ –	সমান্তরাল নির্বাপণ
দীর্ঘায়ন –	ধীর–দৈর্ঘ্য
সনাক্তকরণ বৈশিষ্ট্য –	দ্বৈত প্রতিসরণাঙ্ক, সমান্তরাল নির্বাপণ, ধীর–দৈর্ঘ্য দীর্ঘায়ন, দ্বিআক্ষিক আলোক ঋণাত্মক।
উৎপত্তি –	আগ্নেয় ও রূপান্তরিত শিলায় দেখা যায়।

পরিশিষ্ট

নিচলমবর্তরেখা ফিয়াট

সমবর্তকন্দরের ভূমিরূপ অবস্থানে

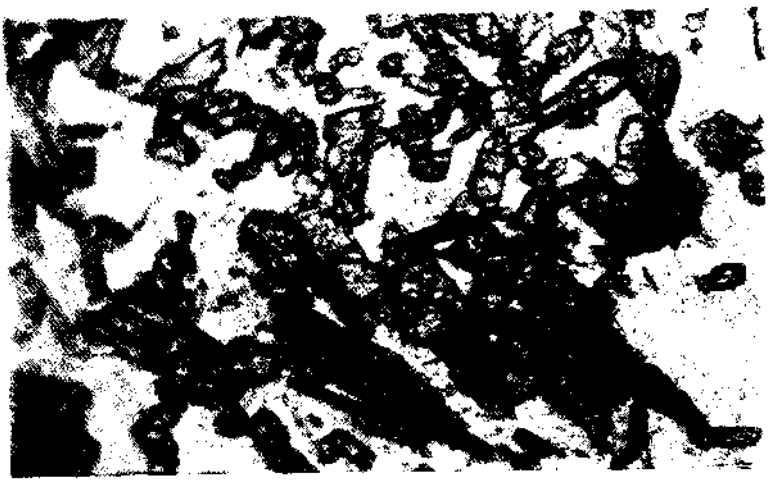
প্লেট ১ ও ২ ঃ গ্রানাইট। মাইক্রোক্লিন, প্লাগিওক্লেজ ফেল্ডস্পার, কোয়ার্টজ, বায়োটাইট ও মাসকোভাইট দ্বারা শিলা গঠিত। বায়োটাইট অংশ স্পষ্টরূপে, ক্লোরাইড, বর্ণাক্ষর ও সাজেনয়েড। চিত্রের নিচে বেড়া রেজতসমৃদ্ধ মাইক্রোক্লিন স্পষ্ট, কোয়ার্টজ দুর্বল ভূমিরূপ ও ব্যাটচরী কণার প্রথম ক্রম ধাবে সহজেই চেনা যায়। শিলাংশ এর পাশাপাশে প্লাগিওক্লেজ ফেল্ডস্পার, মাসকোভাইট ও অবশ্য খনিজ বিদ্যমান।



নিচসমবর্তকের ক্রিয়া

সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে

প্লেট ৩ ও ৪ ঃ স্টাউরোলাইট শিস্ট। তীব্র ভূমিরূপ ও হলুদ বর্ণ দ্বারা (প্লেট-৩) স্টাউরোলাইট চিহ্নিত। বাতিচর্চা বর্ণের প্রথম ক্রম (ধূসর-হলুদ) প্লেট ৪-এ স্পষ্ট। অল্প পরিমাণে বাইওটাইট, মাগিওক্লেজ ফেলস্পার ও অস্বচ্ছ খনিজ বিদ্যমান

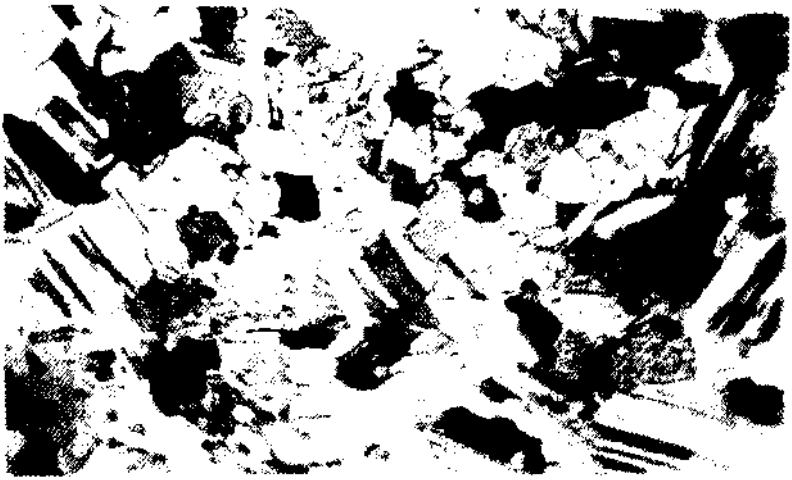


গিচসমবর্তকের ক্রিয়ায়

সমবর্তকদ্বয়ের একসঙ্গে অবস্থানে

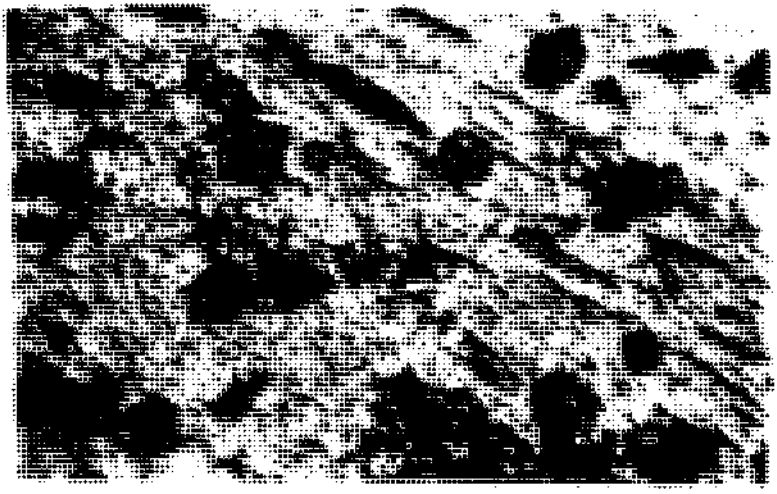
প্লেট ৫ ও ৬ঃ লাইস। তাঁর ভূমিরূপসমৃদ্ধ ঈষৎ স্পষ্টাকৃতি এপিডোট ও বর্ণহীন প্লাগিওক্লেজ ফেলড্‌স্পার প্লেট ৫-এ স্পষ্ট। প্লেট ৬-এ এপিডোটের ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতায় ক্রম পরিষ্কার দেখা যাচ্ছে। বর্ণাঙ্কসমৃদ্ধ বাইওটাইট শিলায় বিদ্যমান।

লিচামবর্তকের চিত্র

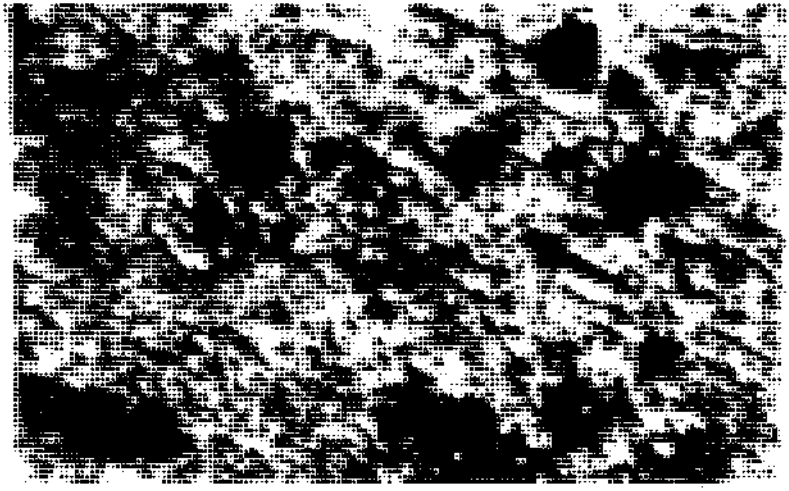


সমবর্তকেন্দ্রমুক্ত ক্রসাবদ্ধ অবস্থানে

গ্রেড ৭ ৬ ৫ ওয়েট বিষমত্র লাধিক পাইরোক্সেন ও প্লাগিওক্লেজ ফেলডস্পার উল্লেখিত অর্থোক্লেজের প্রধান খনিজ। স্বল্প পরিমাণে অস্বচ্ছ খনিজ বিদ্যমান।

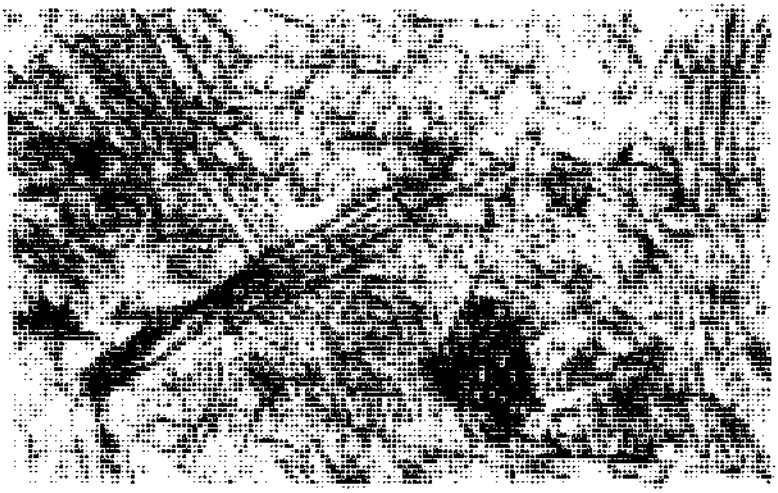


নিম্নসমবর্তকের ক্রিয়ায়



সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে

প্লেট ৯ ও ১০ ঃ গারনেট শিস্ট। গারনেট সুস্পষ্টাকৃতি ও তীব্র ভূমিরূপসমৃদ্ধ (প্লেট-৯) সমসাবক প্রকৃতি প্লেট ১০-এ স্পষ্ট। কোয়ার্টজ, মাসকেভাইট ও ক্লোরাইট বিদ্যমান। হালকা সবুজ ক্লোরাইট মাঝারি ভূমিরূপ ও দুর্বল বাতিচারী বর্ণ দ্বারা চেনা যায়।



নিচসমবর্তকের ক্রিয়ণ

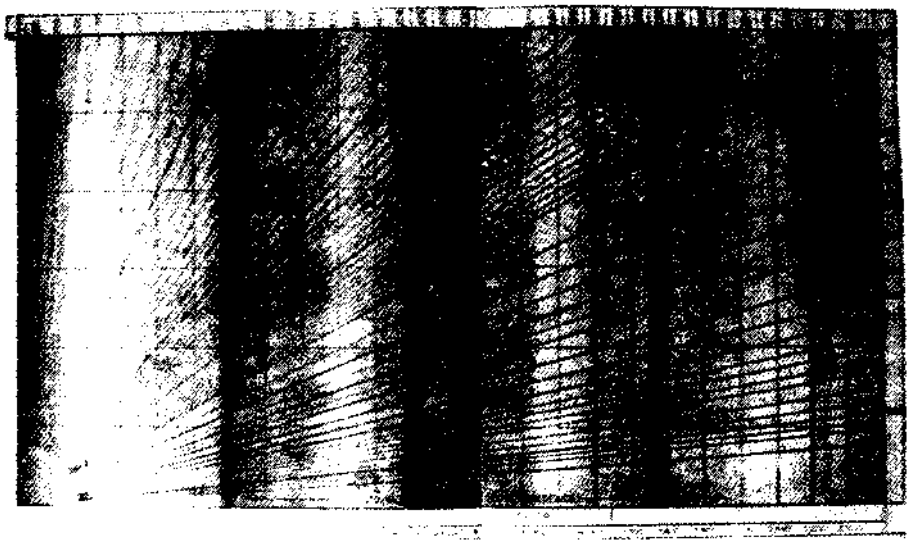
সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে

প্লেট ১১ ও ১২ ঃ টেমোলাইট। টেমোলাইট বর্ণহীন ও মাঝারি ভূমিরূপসমৃদ্ধ। ব্যতিচারী বর্ণের দ্বিতীয় ক্রম স্পষ্ট (প্লেট ১২)।

চিত্রসংবেষ্টকের গঠন

পত্ররন্ধ্রের কার্যপদ্ধতি

চিত্র ১৫ ও ১৬ : রন্ধ্রগুলি পত্রত্বকে অবস্থিত। প্রতিটি রন্ধ্র দুটি বৃক্কাকার রক্ষীকোষ দ্বারা পরিবেষ্টিত। রক্ষীকোষগুলি ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত। রক্ষীকোষের বাইরের দিকের প্রাচীর পাতলা এবং ভিতরের দিকের প্রাচীর পুরু। রক্ষীকোষের ভিতরের দিকের প্রাচীর পাতলা এবং বাইরের দিকের প্রাচীর পুরু। রক্ষীকোষের ভিতরের দিকের প্রাচীর পাতলা এবং বাইরের দিকের প্রাচীর পুরু।

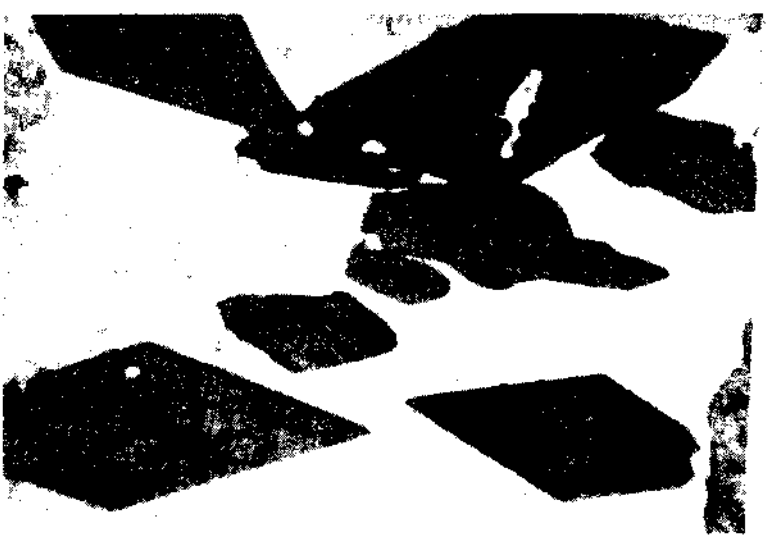


প্লেট-১৫ ঃ ব্যতিচারী বর্ণের নকশা।

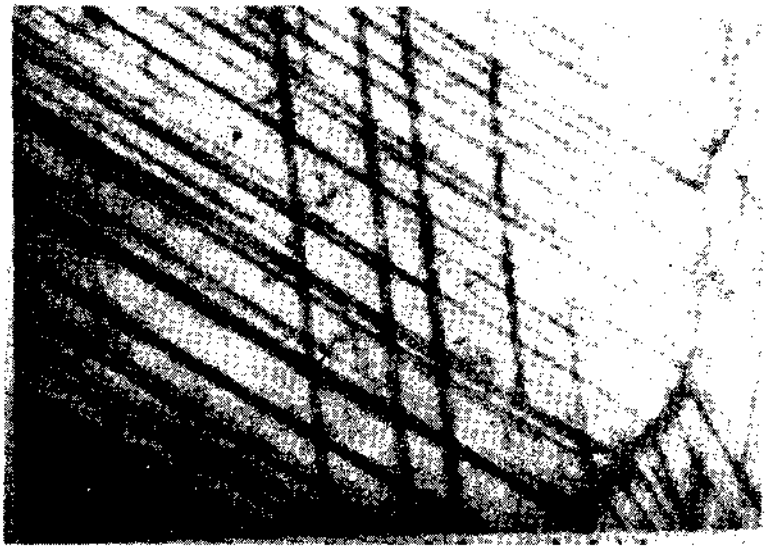
সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে

প্লেট ১৬ ঃ গার্নেট। প্রধান খনিজ হচ্ছে অলিভিন, অগাইট ও প্লাগিওক্লেজ ফেলডস্পার। অলিভিন বর্ণহীন ও তীব্র ভূমিরূপসমৃদ্ধ। সন্ভেদ অনুপস্থিত (প্লেট ১৫)। ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের মাঝামাঝি (প্লেট ১৬)। তীব্র ভূমিরূপ ও সন্ভেদসমৃদ্ধ বর্ণহীন অগাইট স্পষ্ট (প্লেট ১৫)। ব্যতিচারী বর্ণ দ্বিতীয় ক্রমের মাঝামাঝি (প্লেট-১৬)। প্লাগিওক্লেজ ফেলডস্পার বর্ণহীন ও ব্যতিচারী বর্ণ – প্রথম ক্রমের ধূসর/সাদা।

প্লেট ১৭ ঃ কোয়ার্টজের অন্তর্ভুক্তিসমৃদ্ধ স্টাউরোলাইট।



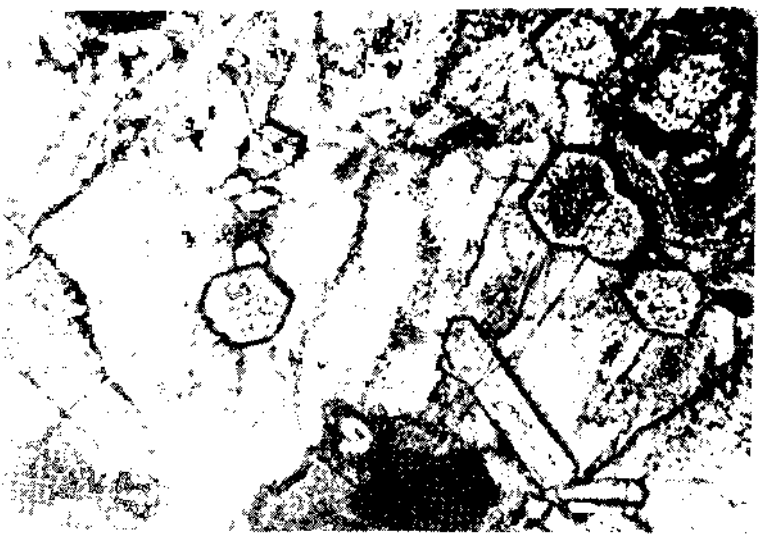
প্লেট ১৮ ঃ তীব্র ভূমিরূপ ও রম্বিক পাইরক্সেনসমৃদ্ধ সুস্পষ্টাকৃতি গ্যেনা।



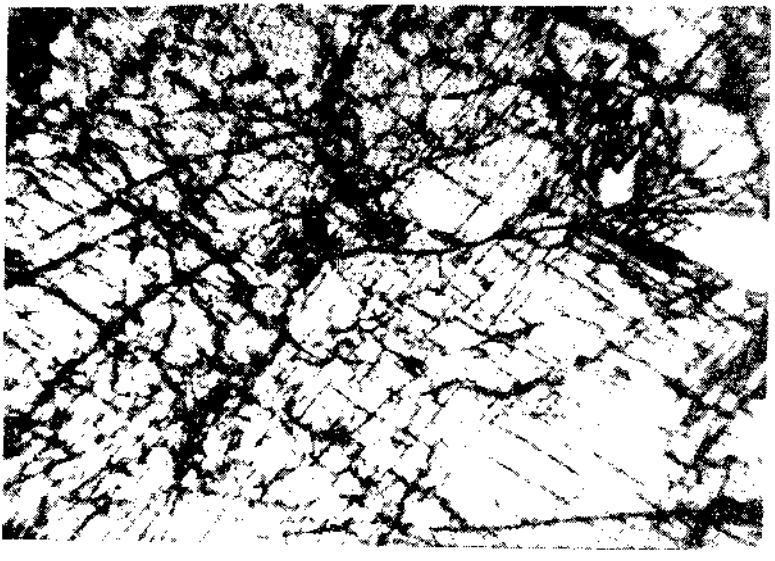
প্লেট ১৯ ঃ ডলোমাইট।

প্লেট ২০ ঃ টুরমালিন।

প্লেট ২১ ঃ হরনব্লেন্ড।



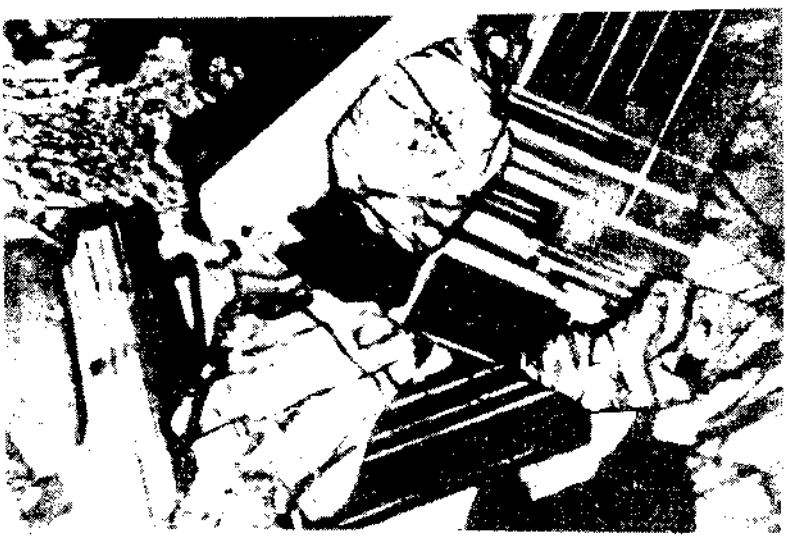
প্লেট ২২ ঃ অ্যাপাটাইট।



প্লেট ২৩ ঃ ডাইওপসাইড।

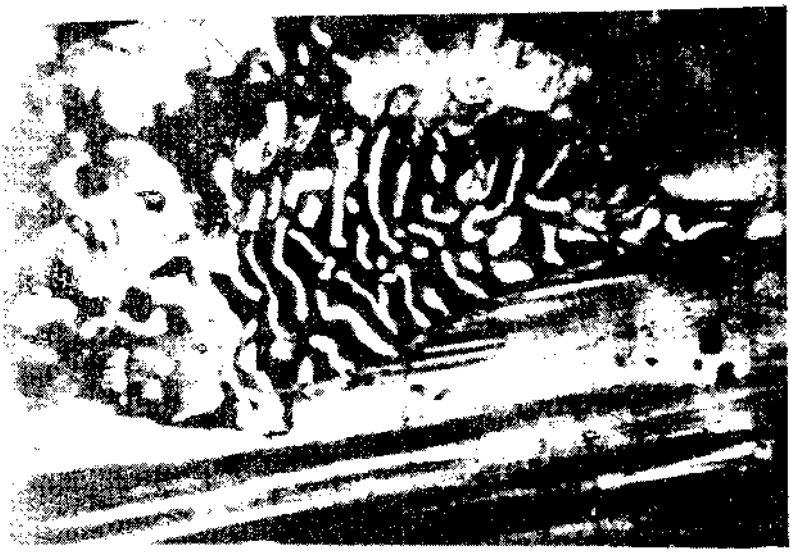
প্লেট ২৪ ঃ স্পিনেল (নিচসমবর্তকের ক্রিয়ায়)।

প্লেট ২৫ ঃ স্পিনেল (সমবর্তকদ্বয়ের ক্রসবদ্ধ অবস্থানে)।

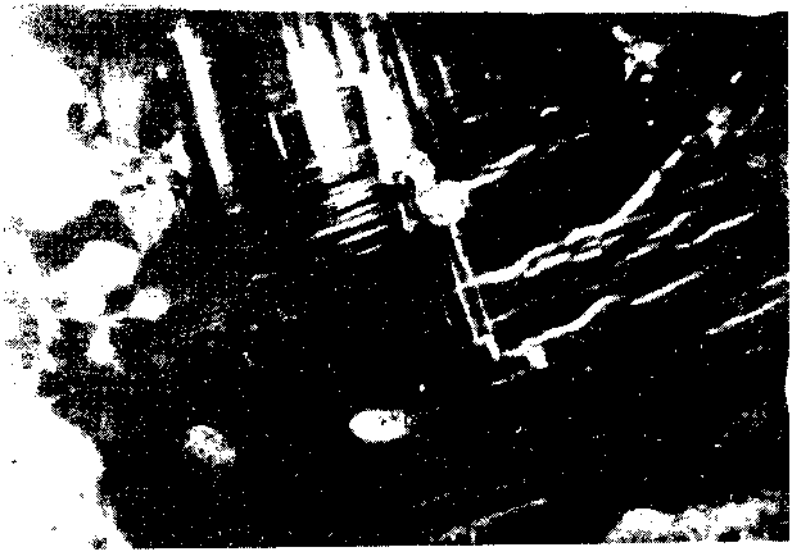


প্লেট ২৬ ঃ অ্যালবাইট, কারলস্‌বাড যমজতা।

BANGLADESH

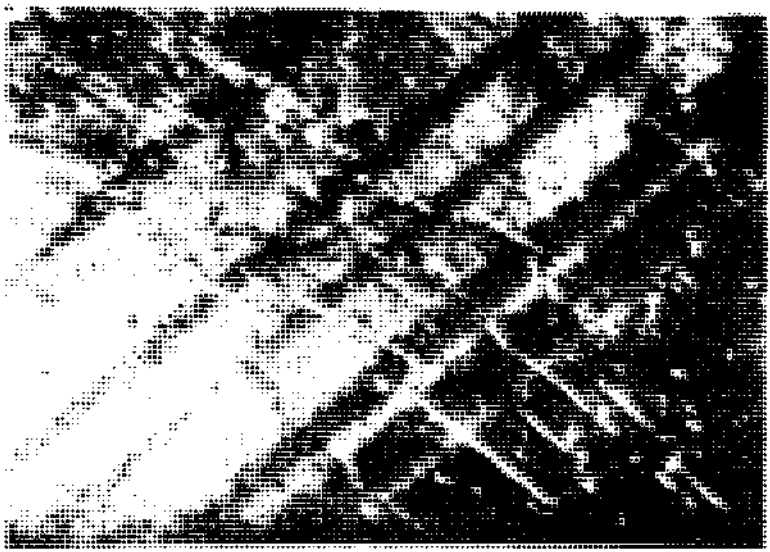


প্লেট ২৭ ঃ মারমেকাইট।

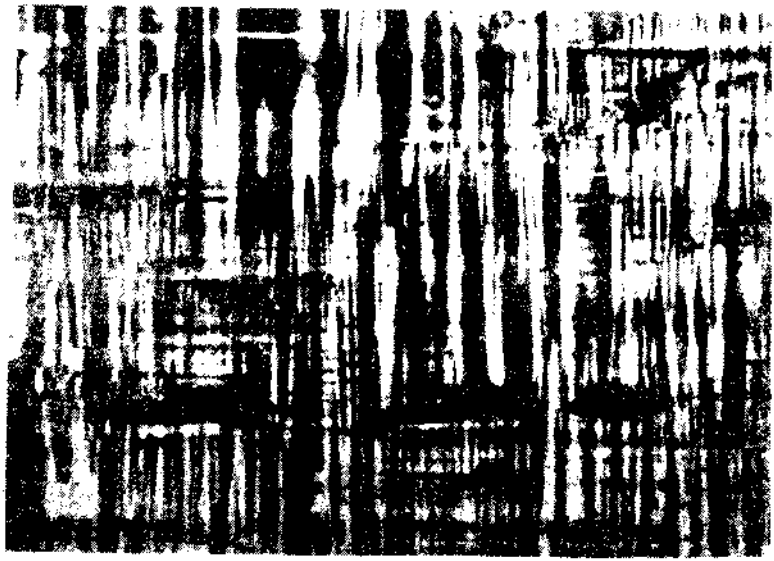


প্লেট ২৮ ঃ পারথাইট।

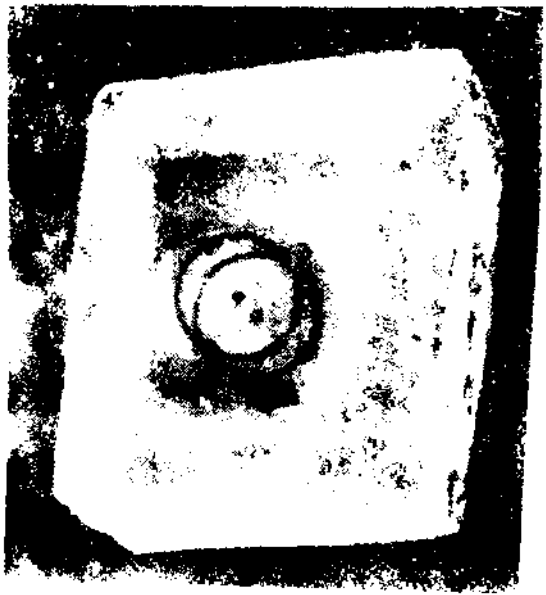
BANDOC Library
Accession No. 18477



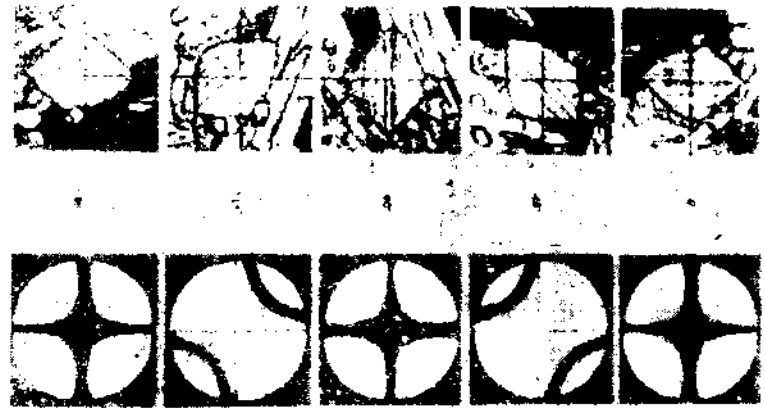
প্লেট ২৯ ঃ অ্যান্টিপারথাইট।



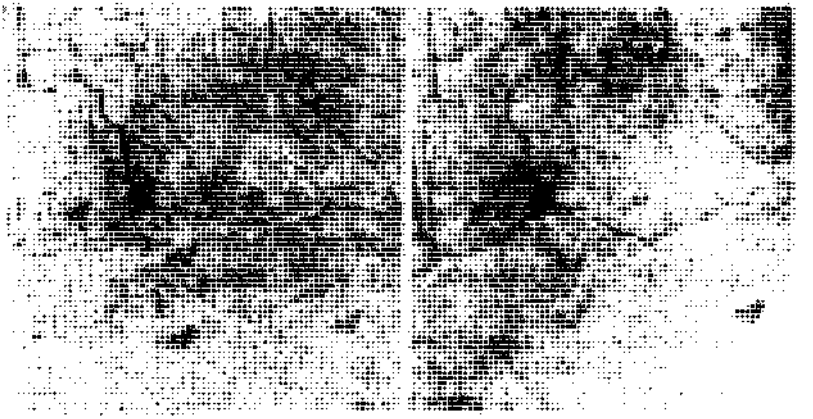
প্লেট ৩০ ঃ বেড়া মেজাস।



চিত্র ৩০ : স্বচ্ছ অ্যালুমাইটে ঈষৎ পাতিসবুজাভ হেড্ সীল প্রতিলিপি।



চিত্র ৩১ : ঈ. ফ্যাব্রিক প্রতিলিপি চিত্র।



প্লেট ৩৩ ঃ বেকে রেখা। (a) $n_M > n_{kb}\ (n_{cb})$ (b) $n_{kb}\ (n_{cb}) > n_M$

প্লেট ৩৪ ঃ জিপসাম।

চিত্র ৩৫ : অভিভিন সারপেনটাইন দ্বারা পরিবেষ্টিত।

গ্রন্থপঞ্জি

1. Deer, W. A. Howie R. A., Zussman J., An Introduction to the Rock Forming Minerals. London, Longmans Green and Co., Ltd., New York, John Wiley and Sons., 1966
2. Gavrilova V. N., Optical Mineralogy (In Russian). Moscow Geological Prospecting Institute Publication, 1980
3. Onikenko S. K., Study of Rock Forming Minerals in Thin Section (In Russian), Moscow Geological Prospecting Institute Publication, 1971
4. Kerr P. F., Optical Mineralogy, 4th ed., McGraw Hill Book Company, 1977
5. Shelley D., Optical Mineralogy, 2nd ed., Elsevier, 1985
6. Shubnikov A. V. P, Principles of Optical Crystallography, New York Consultants Bureau, 1960