अध्याय – 3

खनिज एवं क्रिस्टल विज्ञान
(Mineralogy and Crystallography)

मानव के विकास में खनिजों का बहुत महत्व हैं सम्भवतः पहली बार इनकी तरफ ध्यान आदि मानव का गया होगा। पाषाण युग में नुकीले पत्थरों से औजार बनाने या रंगीले पत्थरों से श्रृंगार करने की मानव प्रवृत्ति ने उनका ध्यान खनिजों की तरफ आकर्षित किया होगा। आज खनिजों का उपयोग शैलों के निर्माण के अलावा दैनिक रोजमर्रा की वस्तुएं बनाने में होता है, चाहे वो पिन ही क्यों न हो ? आज लगभग दो हजार प्रकार से भी ज्यादा खनिज खोजे जा चुके हैं, जिनमें से 300 के करीब ऐसे खनिज हैं जो सामान्य श्रेणी में आते हैं। करीब 200 के लगभग विभिन्न उद्योगों में उपयोग में लिये जाते है। इनमें से 50 के लगभग खनिज शैलकर (Rock forming) श्रेणी में आते हैं और इनके भी आधे खनिज ही सामान्य रूप से शैलों में मिलते हैं।

प्रकृति में पाये जाने वाले खनिजों की आंतरिक परमाणु संरचना के कारण विभिन्न बाह्य आकृतियां बनती हैं, जिन्हें हम क्रिस्टल कहते हैं। इनका अध्ययन क्रिस्टल विज्ञान के तहत करेंगे। खनिजों के भौतिक एवं रासायनिक गुणों के अध्ययन से पूर्व क्रिस्टलों के गुणों की जानकारी प्राप्त करना ठीक रहता हैं। अतः खनिज विज्ञान से पहले हम क्रिस्टल विज्ञान का अध्ययन करेंगे।

क्रिस्टल विज्ञान (Crystallography)

क्रिस्टल विज्ञान या क्रिस्टलिकी, भूविज्ञान (Geology) की वह शाखा है जिसके तहत क्रिस्टलों की प्रकृति, उत्पत्ति, उनकी आंतरिक संरचना एवं बाह्य आकृति का अध्ययन किया जाता है।

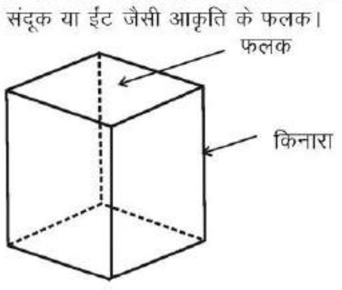
क्रिस्टल की परिभाषा (Definition of Crystal): क्रिस्टल एक ठोस आकृति होती है जो प्रायः सपाट और समतल फलकों के निश्चित विन्यास से बनती है। जिसका आकार, आन्तरिक परमाणु संरचना पर आधारित होता है। क्रिस्टल का निर्माण किसी भी द्रव्य, घोल व गैस के ठोस होने से होता है। इस प्रक्रम को क्रिस्टलन (Crystallization) कहते हैं।

क्रिस्टल के अवयव (**Elements of Crystal**): किसी भी क्रिस्टल के निम्नलिखित अवयव होते हैं –

1. आकृति (Form)
2. फलक (Face)
3. किनारा (Edge) और
4. संपिंड कोण (Solid Angle)

1. **आकृति** : किसी भी क्रिस्टल की बाह्य बनावट को आकृति कहते हैं।

2. **फलक** : प्राकृतिक रूप से बने क्रिस्टल में समतल सतह जो कि पार्श्व फलकों के साथ निश्चित कोण बनाते हुए होती हैं, को फलक कहते हैं (चित्र 3.1)। अगर किसी क्रिस्टल में ये सभी फलक एक समान होते हैं तो उन्हें समान फलक कहते हैं जैसे – फ्लोराइट के घनीय क्रिस्टल के फलक। यदि सभी फलक असमान हो तो उन्हें असमान फलक कहते हैं, जैसे संदूक या ईंट जैसी आकृति के फलक।



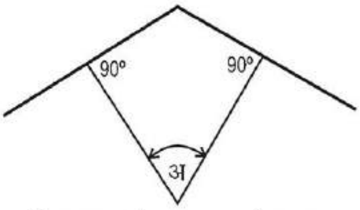
चित्र 3.1. बंद आकृति, फलक एवं किनारा

3. **किनारा** : दो संलग्न फलकों (Adjacent faces) के प्रतिच्छेदन (Intersection) के परिणास्वरूप किनारों का निर्माण होता है।

4. **संपिंड कोण** : संपिंड कोण का निर्माण तीन या तीन से अधिक फलकों के प्रतिच्छेदन के फलस्वरूप होता है।

अंतराफलक कोण (Interfacial Angle)

किन्हीं दो फलकों के बीच के कोण को अंतराफलक कोण कहते हैं, परन्तु क्रिस्टल विज्ञान में अंतराफलक कोण दो फलकों पर बने हुए अभिलम्बों के बीच का कोण होता है (चित्र 3.2)।



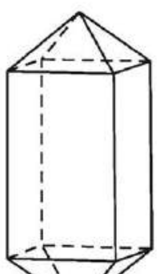
चित्र 3.2. अंतराफलक कोण 'अ'

अंतराफलक कोण की स्थिरता का नियम (Law of Constancy of Interfacial Angle)

किसी भी खनिज के किसी भी क्रिस्टल की परमाणु संरचना निश्चित होती है। इस प्रकार के क्रिस्टल के फलकों की स्थिति भी निश्चित होती है। किन्हीं दो संलग्न फलकों पर अभिलम्बों के बीच के कोण का माप भी सदा एक समान होता है। इसे ही अंतराफलक कोण की स्थिरता का नियम कहते हैं।

क्रिस्टल आकृतियां (Forms of Crystals)

जैसा कि पूर्व में बताया जा चुका है कि किसी भी क्रिस्टल की बाह्य बनावट को आकृति कहते हैं। यदि किसी क्रिस्टल के सभी फलक एक समान हों और उनके मिलने पर जो आकृति बनती है उसे सरल (Simple) आकृति कहते हैं। जैसे– घन (चित्र 3.1)। जब क्रिस्टल के सभी फलक असम होते हैं तब उसे सम्मिश्रण (Combine) आकृति कहते हैं (चित्र 3.3)। यह दो या दो से अधिक सरल आकृतियों के मिलने पर बनती है। जैसे – घन एवं अष्टफलक के मिलने से गैलेना के क्रिस्टल बनते हैं।



चित्र 3.3. सम्मिश्रण आकृति

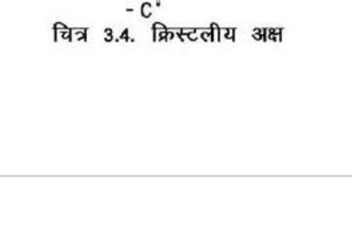
इसके अतिरिक्त प्रकृति में दो प्रकार की आकृतियां और भी पाई जाती हैं – खुली आकृति (Open form) और बंद आकृति (Closed form)।

1. **खुली आकृति** (Open form) : खुली आकृति का मुख्य गुण है कि इसके फलक मिलकर एक ठोस क्रिस्टल नहीं बना पाते, इसे दूसरी आकृति के फलकों की सहायता की जरूरत होती है। अर्थात् इस आकृति में एक से अधिक आकृतियों का समावेश होता है (चित्र 3.3)।
2. **बंद आकृति** (Closed form) : कुछ क्रिस्टल आकृतियों के फलक बिना किसी दूसरी आकृति की सहायता लिए खाली स्थान को बंद कर लेती हैं तो उस आकृति को बंद आकृति कहते हैं (चित्र 3.1)।

क्रिस्टलीय अक्ष (Crystallographic axes)

किसी भी क्रिस्टल में फलकों की स्थिति का निर्णय करने के लिए ऐसी तीन अक्षों की कल्पना की गई है जो कि क्रिस्टल के केन्द्र से गुजरती है तथा ये एक दिशा में नहीं होती है। इन्हीं काल्पनिक रेखाओं को क्रिस्टलीय अक्ष कहते हैं। क्रिस्टल के केन्द्र में जहां अक्ष एक दूसरे को काटते हैं उस बिन्दु को अक्षों की उत्पत्ति स्थान माना जाता है। इन अक्षों को a, b और c द्वारा प्रदर्शित करते हैं। सामने से पृष्ठ की ओर जाने वाली अक्ष को 'a' अक्ष कहते हैं। इस अक्ष के सामने वाले सिरे को धनात्मक एवं पृष्ठ वाले सिरे को ऋणात्मक चिह्न द्वारा दर्शाते हैं। अक्ष 'b' क्रिस्टल के दाईं से बाईं ओर जाती है। इसे भी क्रमशः धनात्मक एवं ऋणात्मक द्वारा दिखाते हैं। इसी प्रकार अक्ष 'c' ऊपर से नीचे की ओर जाती है। इसमें ऊपर का सिरा धनात्मक तथा नीचे का सिरा ऋणात्मक होता है।

जब तीनों अक्षों की लम्बाई बराबर हो तब उन्हें a, b और c के स्थान पर क्रमशः a_1, a_2 और a_3 कहते हैं। लेकिन जब दो अक्षों की लम्बाई बराबर हो एवं तीसरी छोटी अथवा बड़ी हो तो उसे क्रमशः अक्ष a_1, a_2 और c के द्वारा दर्शाते हैं। यदि तीनों ही अक्षों की लम्बाई असमान हो तब इसे क्रमशः a, b और c द्वारा दर्शाते हैं। अक्षों की लम्बाई को अनुपात द्वारा दर्शाते हैं जिसे अक्षानुपात (Axial ratio) कहते हैं। a और b अक्षों के बीच के कोण को α, a और c अक्षों के बीच के कोण को β, b और c अक्षों के बीच के कोण को γ चिह्नों से दर्शाते हैं (चित्र 3.4)।



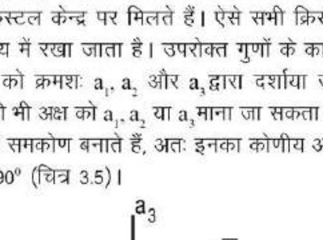
चित्र 3.4. क्रिस्टलीय अक्ष

क्रिस्टल समुदायों का वर्गीकरण

(Classification of Crystal System)

क्रिस्टल अक्षों की अनुपातीय लम्बाई एवं कोणीय अनुपातों के आधार पर निम्नलिखित क्रिस्टल समुदायों में वर्गीकृत किया गया है।

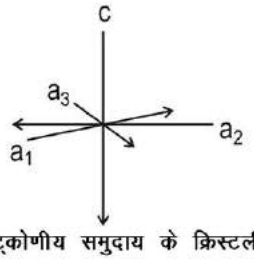
घनीय समुदाय (Cubic System): वे सभी क्रिस्टल जिनकी आकृतियों के फलकों का सम्बंध ऐसे तीनों क्रिस्टलीय अक्षों से होता है, जो लम्बाई में बराबर होते हैं और अन्तरबदल (Interchangeable) भी होते हैं तथा तीनों अक्ष आपस में समकोण बनाते हुए क्रिस्टल केन्द्र पर मिलते हैं। ऐसे सभी क्रिस्टलों को घनीय समुदाय में रखा जाता है। उपरोक्त गुणों के कारण a, b और c अक्षों को क्रमशः a_1, a_2 और a_3 द्वारा दर्शाया जाता है। इसलिए किसी भी अक्ष को a_1, a_2 या a_3 माना जा सकता है। तीनों अक्ष आपस में समकोण बनाते हैं, अतः इनका कोणीय अनुपात $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ (चित्र 3.5)।



चित्र 3.5. घनीय समुदाय के क्रिस्टलीय अक्ष

चतुष्कोणीय समुदाय (Tetragonal System): चतुष्कोणीय समुदाय में वे सभी क्रिस्टल शामिल किए गए हैं जिनमें तीन क्रिस्टलीय अक्षों में से दो क्षैतिज अक्ष बराबर लम्बाई की होती है। इनको अक्ष a_1 और a_2 के नाम से जाना जाता है। ये दोनों क्षैतिज अक्ष आपस में अन्तरबदल होती है जबकि तीसरी ऊर्ध्वाधर अक्ष जिसकी लम्बाई उपरोक्त दो अक्षों से छोटी अथवा बडी होती है उसको c अक्ष द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। तीनों क्रिस्टलीय अक्ष आपस में समकोण बनाते हैं अर्थात् $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$।

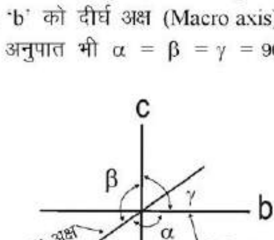
षट्कोणीय समुदाय (Hexagonal System): इस क्रिस्टल समुदाय में अपवाद के स्वरूप तीन के स्थान पर चार क्रिस्टलीय अक्ष होते हैं। ऐसे सभी क्रिस्टल जिसमें चार क्रिस्टलीय अक्ष हों एवं उनमें से तीन समान लम्बाई के क्षैतिज अक्ष हों जो कि एक दूसरे के साथ 120^0 का कोण बनाते हों एवं अंतरबदल हों तथा चतुर्थ ऊर्ध्वाधर अक्ष हों जो अन्य तीनों अक्षों के साथ समकोण पर हो, उनको षट्कोणीय समुदाय में रखा गया है (चित्र 3.6)।



चित्र 3.6. षट्कोणीय समुदाय के क्रिस्टलीय अक्ष

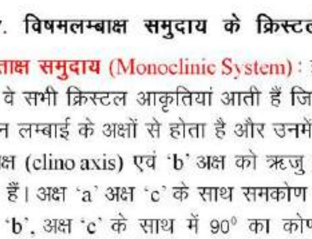
इस समुदाय को दो मुख्य प्रभागों में बांटा गया है– 1. षट्कोणीय प्रभाग (Hexagonal division), एवं 2. समचतुर्भुज प्रभाग (Trigonal or rhombohedral division)।

विषमलम्बाक्ष समुदाय (Orthorhombic System) : इस समुदाय के अन्तर्गत वे सभी क्रिस्टल आकृतियां आती हैं जिनमें तीनों क्रिस्टलीय अक्ष लम्बाई में असमान, पर एक दूसरे के समकोण पर होते हैं। क्षैतिज अक्षों में अक्ष 'b' की लम्बाई हमेशा अक्ष 'a' से अधिक होती है। अक्ष 'a' को लघु अक्ष (Brachy axis) तथा अक्ष 'b' को दीर्घ अक्ष (Macro axis) कहते हैं। उनका कोणीय अनुपात भी $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ होता है (चित्र 3.7)।



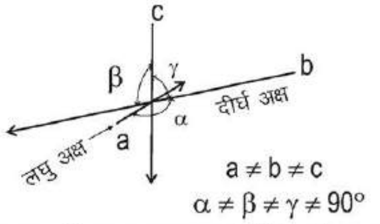
चित्र 3.7. विषमलम्बाक्ष समुदाय के क्रिस्टलीय अक्ष

एकनताक्ष समुदाय (Monoclinic System): इस समुदाय के अन्तर्गत वे सभी क्रिस्टल आकृतियां आती हैं जिनका सम्बन्ध तीन असमान लम्बाई के अक्षों से होता है और उनमें से 'a' अक्ष को प्रवण अक्ष (clino axis) एवं 'b' अक्ष को ऋजु अक्ष (ortho axis) कहते हैं। अक्ष 'a' अक्ष 'c' के साथ समकोण नहीं बनाती है पर अक्ष 'b', अक्ष 'c' के साथ में 90^0 का कोण बनाती है (चित्र 3.8)।



चित्र 3.8. एकनताक्ष समुदाय के क्रिस्टलीय अक्ष

त्रिनताक्ष समुदाय (Triclinic System) : इस समुदाय में वो सभी क्रिस्टल आकृतियां सम्मिलित हैं जिनके तीनों अक्ष असमान लम्बाई के एवं विषमकोणीय होते हैं अर्थात् तीनों अक्षों में से कोई भी एक दूसरे पर 90° का कोण नहीं बनाते हैं। इस समुदाय के तीनों अक्षों को क्रमशः 'a', 'b' और 'c' के द्वारा लिखा जाता है। अक्ष 'a' अक्ष 'b' से छोटी होने के कारण लघु अक्ष कहलाती है तथा अक्ष 'b' अक्ष 'a' से लम्बी होने के कारण दीर्घ अक्ष कहलाती है (चित्र 3.9)। कोणीय अनुपात $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$ होता है। यहां पर यह ध्यान देने योग्य बात है कि α, β, γ के मूल्य में कोई निश्चित सबंध नहीं होता है। इनमें कोई भी कोण 90° से अधिक या कम हो सकता है।



चित्र 3.9. त्रिनताक्ष समुदाय के क्रिस्टलीय अक्ष

खनिज विज्ञान (Mineralogy)

खनिज विज्ञान भूविज्ञान की वह शाखा है जिसमें खनिजों के रासायनिक, भौतिक एवं प्रकाशीय गुणों का अध्ययन किया जाता है।

खनिज की परिभाषा (Definition of Mineral) : खनिज प्राकृतिक रूप से बना वह अकार्बनिक पदार्थ है जिसकी निश्चित रासायनिक संगठन एवं परमाणु संरचना होती है।

खनिजों का वर्गीकरण (Classification of Minerals)

खनिजों का वर्गीकरण उनके भौतिक एवं रासायनिक गुणों, उनके उपयोग एवं बनने की प्रक्रिया के आधार पर किया गया है।

खनिजों को उनके उपयोग के आधार पर निम्न दो वर्गों में बांटा गया है –

(अ) आर्थिक खनिज (Economic Minerals) : वे सभी खनिज जो देश के विकास में काम आते हैं, तथा उद्योगों में उपयोग लिए जाते हैं, आर्थिक खनिज कहलाते हैं। इनको दो भागों में विभक्त किया गया है –

(i) **धात्विक खनिज (Metallic Minerals)** : वे खनिज जिनसे धातुएं प्राप्त होती हैं, उन्हें धात्विक खनिज कहते हैं। जैसे– गेलेना (PbS), जिससे सीसा प्राप्त होता है।

(ii) **अधात्विक खनिज (Non-metallic Minerals)** : इन खनिजों से कोई धातु प्राप्त नहीं होती परन्तु इनका उपयोग उद्योगों में विभिन्न प्रकार की वस्तुएं एवं रसायन बनाने में लिया जाता है। जैसे – जिप्सम, फ्लोराइड इत्यादि।

(ब) शैलकर खनिज (Rock Forming Minerals) : जिन खनिजों के संयोजन से शैलें बनती हैं, उन्हें शैलकर खनिज कहते हैं। कभी–कभी ये खनिज शैलों में अधिक मात्रा में मिलते हैं, तो इनका भी उपयोग आर्थिक खनिजों के रूप में किया जाता है।

शैलों के निर्माण में मुख्य भूमिका सिलिकेट खनिजों की होती है। सिलिका अन्य तत्वों के साथ मिलकर प्रचुर मात्रा में यौगिक बनाती हैं, जिन्हें सिलिकेट कहते है। इन सिलिकेटों का उपयोग मुख्य रूप से शैलों के निर्माण में होता है। सिलिकेट के अलावा अन्य खनिज ज्यादातर आर्थिक खनिज होते हैं एवं उनकी शैलों के निर्माण में भूमिका सीमित होती है। शैलकर खनिजों को दो भागों में बांटा गया है –

1. आवश्यक शैलकर खनिज (Essential Rock Forming Minerals)
2. गौण शैलकर खनिज (Accessory Rock Forming Minerals)

खनिजों के भौतिक गुण
(Physical Properties of Minerals)

ये वे गुण है जो खनिजों को भौतिक रूप से देख, सूंघ एवं स्पर्श कर बताये जाते हैं। खनिजों के भौतिक गुणों को हम निम्नलिखित भागों में बांट सकते हैं। ये भौतिक गुण खनिजों को पहचानने में महत्वपूर्ण हैं।

प्रकाश से सम्बंधित खनिजों के भौतिक गुण
(Physical Properties of Minerals related to Light)

अ) रंग (Colour): खनिज का रंग, खनिज का एक महत्वपूर्ण गुण है। खनिज कई रंगों में पाये जाते हैं। ये रंग हमें प्रकाश किरण से, खनिज द्वारा उस रंग के अवशोषण के कारण दिखाई देते हैं। धात्विक खनिज विशेष रंग के होते हैं। प्राकृतिक रूप में कोई भी अधात्विक खनिज एक ही रंग का न होकर अनेक रंगों का होता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि एक ही श्रेणी के खनिज कई विभिन्न रंगों में पाये जाते हैं जैसे क्वार्ट्ज। प्रायः रंगहीन या श्वेत होता है, परन्तु गुलाबी, भूरा, पीला, बैंगनी आदि कई रंगों का भी होता है। अशुद्धता के कारण एक ही खनिज के कई प्रकार के रंग हो सकते हैं। कुछ पारदर्शी शुद्ध खनिज रंगहीन होते हैं। खनिज का रंग उसकी टूटी हुई ताजी सतह पर देखा जाता है।

ब) वर्णरेखा (Streak) : कुछ खनिजों को वर्ण रेखा–पट्ट पर रगड़ने से वे एक रंगीन रेखा बनाते हैं। खनिज के इस रेखा के रंग को उस खनिज की वर्णरेखा कहते हैं। जैसे पाइराइट का पीतल की तरह पीला रंग होता है परन्तु उसकी वर्ण रेखा सदा भूरी–काली होती है। यह रेखा खनिज के पाउडर (चूर्ण) का रंग बताती है।

स) चमक (Lustre): खनिजों की सतह से परावर्तित प्रकाश के प्रकार को उसकी चमक या द्युति कहते हैं। खनिज की चमक खनिजों की सतह से परावर्तित प्रकाश किरणों की मात्रा तथा उनके प्रकाश पर निर्भर रहती है। खनिजों में निम्न प्रकार की चमक दिखाई देती है –

1. **धात्विक चमक** (Metallic Lustre) : यह धातुओं में पाई जाने वाली चमक के समान होती है। इस प्रकार की चमक सोना, लोह, गैलेना आदि में पायी जाती है।
2. **अल्पधात्विक चमक** (Submetallic Lustre) : जब धात्विक चमक कुछ मंद होती है तब उसे अल्पधात्विक चमक कहते हैं। इस प्रकार की चमक क्रोमाइट में पायी जाती है।
3. **अधात्विक चमक** (Non-metallic Lustre) : शेष प्रकार की चमक अधात्विक कहलाती है। इसमें निम्नलिखित चमक या द्युतियां मुख्य हैं –

(i) **कांचाभ** (Vitreous) **चमक :** यह कांच के टुकड़े की चमक जैसी होती है। इस प्रकार की चमक क्वार्ट्ज में पायी जाती है। मंद होने पर यह अल्पकांच (Subvitreous) कहलाती है। यह चमक कैल्साईट खनिज में मिलती है।

(ii) **रेजिन** (Resinous) **चमक :** यह राल की चमक के समान होती है और ओपल, स्फैलेराइट में पाई जाती है।

(iii) **मुक्ता** (Pearly) **चमक :** यह मोती की चमक के समान होती है। टॉल्क इसका उदाहरण हैं।

(iv) **रेशमी** (Silky) **चमक :** यह चमक रेशम के जैसी होती है। ऐस्बेस्टास एवं रेशेदार जिप्सम इसके उदाहरण हैं।

(v) **हीरक** (Adamantine) **चमक :** यह हीरे की चमक के समान होती है। हीरा इसका उदाहरण हैं।

(vi) **मोमी** (Waxy) **चमक :** मोम जैसी चमक को कहते हैं। कैल्सेडोनी इसका उदाहरण हैं।

बिना चमक के खनिजों को द्युतिहीन (Dull) या मटियाला (Earthy) कहते हैं, जैसे चीनी मिट्टी। चमक की तीव्रता की मात्रा के अनुसार खनिज दीप्तिमान (Splendent), चमकदार (Shining), चमकीला (Glittering) एवं प्रस्फुरण (Glimmering) होते हैं।

पारदर्शकता (Transparency) : जब खनिज की सतह बहुत चमकीली होती है तथा चमकीली सतह पर किसी वस्तु का प्रतिबिंब दिखाई देता है तब ऐसी सतह को दीप्तीमान कहते है जैसे हैमेटाइट। जब हम किसी खनिज के आर–पार स्पष्ट देख सकते हैं तब उस खनिज को पारदर्शक (Transparent) कहते हैं जैसे क्रिस्टलीय क्वॉर्टज। जब हम किसी खनिज के आर–पार देख सकते हैं परन्तु उस पार की वस्तु स्पष्ट दिखाई नहीं देती तो ऐसे खनिज को अर्द्धपारदर्शक (Semitransparent) कहते हैं। जब खनिज से प्रकाश संचारित हो जाता हो परन्तु उस पार की वस्तु दिखाई नहीं देती तब उसे पारभासी कहते हैं। जिस खनिज से प्रकाश संचारित नहीं होता ऐसे खनिजों को अपारदर्शी (Opaque) कहते हैं।

विदलन (Cleavage) : अनेक खनिज अपनी क्रिस्टल संरचना के फलस्वरूप किसी विशिष्ट दिशा या दिशाओं में आसानी से विभक्त हो जाते हैं। ये विभक्त सतहें चिकनी, समतल और चमकदार होती हैं। खनिजों के इस विशेष प्रकार से टूटने की प्रवृत्ति को विदलन कहते हैं। विदलन कई दिशाओं में हो सकता है।

विभंग (Fracture) : विदलन की दिशा के अतिरिक्त किसी दूसरी दिशा में खनिज के टूटने के व्यवहार को विभंग कहते हैं, यह हमेशा खनिजों की टूटी हुई सतह पर दिखाई देता है। विभंग के कारण सतह समान नहीं रहती तथा विभंगित सतह पर खनिजों का वास्तविक रंग भी दिखाई देता है विभंग कई प्रकार के होते हैं। उनमें कुछ इस प्रकार हैं –

1. **शंखाभ** (Conchoidal) : जब खनिज तोड़ा जाता है तब टूटी हुई सतह असमान होती है। ये सतहें अवतल या उत्तल होती हैं। इन सतहों पर संकेन्द्रीय रेखाएं पाई जाती हैं। उदाहरण– चकमक (Flint) (चित्र 3.10)। यदि इस प्रकार की रेखाएं सतह पर कम मात्रा में पाई जाती हैं तो उस विभंग को उपशंखाभ (Subconchoidal) कहते हैं। जैसे – क्वार्ट्ज में।

चित्र 3.10. चकमक में शंखाभ विभंग

2. **सम** (Even) : विभंग सतह प्रायः समतल होती है। जैसे चर्ट में।
3. **असम** (Uneven) : विभंग सतह ऊंची–नीची होने के कारण खुरदरी होती है। बहुत से खनिजों में इसी प्रकार के विभंग पाये जाते है। जैसे – फेल्सपार।

4. **बंधुर** (Hackly) : इसमें टूटी हुई सतह तीक्ष्ण नुकीली तथा खुरदरी होती है। जैसे – प्राकृत तांबा खनिज में।

5. **मटियाला** (Earthy) : चॉक मिट्टी में जो विभंग पाया जाता है वो मटियाला कहलाता है।

दृढ़ता (Tenacity) : दृढ़ता के आधार पर हम खनिजों को निम्नलिखित भागों में बांट सकते हैं –

1. जब किसी खनिज को चाकू या छुरी से काटते है तो वह खनिज सरलता से कट जाता है इस प्रकार के खनिज को छेत्र (Sectile) खनिज कहते हैं जैसे जिप्सम।
2. उन खनिजों को जो चाकू से काटने पर कट जाते हैं परन्तु हथौड़े से पीटने पर फैल जाते हैं ऐसे खनिज आघात वर्धनीय (Malleable) कहलाते हैं। जैसे सोना, चांदी।
3. वे खनिज जो दबाव के कारण मुड़ या झुक जाते हैं परंतु दबाव के हटाने पर अपनी पूर्व स्थिति में नहीं आ पाते हैं, लचीले (Flexible) कहलाते हैं। जैसे – क्लोराइट।
4. वे खनिज जो दबाव के कारण झुक जाते हैं परन्तु दबाव के हटाने पर अपनी पूर्व स्थिति में आ जाते हैं प्रत्यास्थी (Elastic) खनिज कहलाते हैं। जैसे अभ्रक।
5. वे खनिज जो चाकू से काटने पर कटते नहीं परन्तु हथौड़े से पीटने पर उनका चूर्ण बन जाता है, भंगुर (Brittle) कहलाते हैं। जैसे एपेटाइट।

कठोरता (Hardness) : खनिजों में कठोरता अलग अलग होती है तथा इनकी पहचान के लिए कठोरता का बहुत महत्व है। खनिज की कठोरता मालूम करने के लिए मोज ने 10 खनिजों को मानक माना है जिसे मोज नामक कठोरता मापक्रम (Moh's scale of hardness) कहते हैं। यह इस प्रकार है –

मोज़ का कठोरता मापक्रम

कठोरता	मानक खनिज
1	टॉल्क (Talc)
2	जिप्सम (Gypsum)
3	कैल्साइट (Calcite)
4	फ्लोराइट (Fluorite)
5	एपेटाइट (Apatite)
6	फेल्सपार (Feldspar)
7	क्वार्ट्ज (Quartz)
8	टोपॉज (Topaz)
9	कोरंडम (Corundum)
10	हीरा (Diamond)

इन सब खनिजों में टॉल्क सबसे कम कठोर तथा हीरा सबसे अधिक कठोर हैं। अधिक कठोरता वाले खनिज कम कठोर खनिज को खुरच देते हैं। जिस खनिज की कठोरता हमें ज्ञात करनी हो उसे मानक खनिज से रगड़ने पर यदि उस खनिज पर खरोंच पड़ जाती है तो उस खनिज की कठोरता मानक खनिज की कठोरता से कम होगी। यदि कोई खनिज फेल्सपार को खरोंचे परन्तु क्वार्ट्ज को नहीं खरोंचे तब उस खनिज की कठोरता 6–7 के मध्य होगी।

खनिजों की कठोरता नाखून, तांबे का पैसा, कांच का टुकड़ा, चाकू आदि की सहायता से भी ज्ञात की जा सकती है। नाखून की कठोरता 1–2 तक, तांबे के पैसे या आलपिन की कठोरता 2.5–3.0 तक, चाकू की कठोरता 3–5 तक, कांच के टुकड़े की कठोरता 5–6 तक होती है। जिस खनिज को चाकू से काटते हैं और यदि उस खनिज का चूर्ण ज्यादा निकलता है आवाज कम आती है तो उस खनिज की कठोरता कम होगी। जिस खनिज की कठोरता अधिक होती है उसे चाकू से काटने पर चूर्ण कम निकलता है पर आवाज अधिक आती है।

आपेक्षिक घनत्व (Specific gravity) : एक खनिज के किसी टुकड़े का भार और उसके बराबर आयतन वाले पानी के भार के अनुपात को उस खनिज का आपेक्षिक घनत्व कहते हैं।

$$\text{आपेक्षिक घनत्व} = \frac{\text{खनिज का हवा में भार}}{\text{खनिज के बराबर आयतन के पानी का भार}}$$

$$= \frac{\text{खनिज का हवा में भार}}{\text{पानी के अन्दर खनिज के भार में कमी}}$$

चुम्बकत्व (Magnetism) विद्युतीय (Electricity) और रेडियोएक्टिवता (Radioactivity) पर आधारित खनिजों के गुण

कुछ लौह खनिज चुम्बकीय होते हैं। ये खनिज चुम्बक के द्वारा तीव्रता से आकर्षित होते हैं, जैसे मैग्नेटाइट।

चुम्बकीय गुणों के अनुसार खनिजों को चार भागों में बांटा जा सकता है। वे इस प्रकार हैं –

1. **तीव्र चुम्बकीय** – जैसे मैग्नेटाइट और पाइरोटाइट।
2. **साधारण चुम्बकीय** – जैसे सीडेराइट, क्रोमाइट, हेमाटाइट आदि।
3. **कम चुम्बकीय** – जैसे – क्वार्ट्ज, कैल्साइट आदि।

विद्युतीय गुण : विद्युतीय गुण के अनुसार खनिजों को दो भागों में बांटा जा सकता है –

1. संवाहक (Conductor) : वे जो विद्युत के अच्छे संवाहक होते हैं। इसमें कुछ प्राकृतिक धातुएं तथा सल्फाइड खनिज आते हैं। इस प्रकार के खनिज बहुत कम पाये जाते हैं, जैसे ग्रेफाइट।

2. असंवाहक (Non-conductor) : ये खनिज विद्युत के कुचालक होते हैं, ऐसे खनिज प्रायः बहुतायत से पाये जाते हैं, जैसे फेल्सपार, जिप्सम।

स्वाद, गंध और स्पर्श (Taste, Smell and Touch)

इन तीनों गुणों के द्वारा खनिजों को पहचानने में सहायता मिलती है। स्वाद के अनुसार कुछ खनिज नमकीन होते हैं, जैसे नमक, कुछ क्षारीय होते हैं, जैसे पोटाश और सोडा, कुछ कड़वे होते हैं जैसे जिप्सम, लवण तथा कुछ खनिजों का गंधक के अम्ल जैसा खट्टा स्वाद होता है। ऐसे खनिजों की चखकर पहचान की जाती है।

कुछ खनिजों को जब रगड़ा या तपाया जाता है तो उनमें निकलने वाली गंध के द्वारा पहचान की जा सकती है। जब आर्सेनिक मिश्रण को तपाया जाता है तब उसमें से लहसुन की गंध निकलती है। पाइराइट को तपाने से जले गंधक के समान गंध आती है। मृण्मय खनिज को सूंघने पर मिट्टी की गंध आती है।

खनिजों के रूप (Forms of Minerals)

अनुकूल वातावरण में खनिजों के निश्चित रूप बन जाते हैं जिसे क्रिस्टल कहते हैं। खनिजों की पहचान में क्रिस्टल का बहुत महत्व है। जब कोई खनिज क्रिस्टल के रूप में पाया जाता है तब उसे क्रिस्टलीकृत (Crystallized) कहते हैं। जैसे क्वार्ट्ज। जिन खनिजों में क्रिस्टल आकृति ठीक ढंग से नहीं बन पाती है, उनके रूपों को पहचानने में कठिनाई होती हैं, उन्हें क्रिस्टलीय (Crystalline) कहते हैं। कुछ खनिजों में क्रिस्टली बनावट तो होती है परन्तु उनके रूप या आकृति की बिना सूक्ष्मदर्शी यंत्रों के पहचान नहीं की जा सकती। ऐसे रूपों को गूढ़क्रिस्टली (Cryptocrystalline) कहते हैं। जिन खनिजों में रवेदार बनावट नहीं पाई जाती उनके रूपों को अक्रिस्टलीय (Amorphous) कहते हैं।

कुछ खनिजों के क्रिस्टल तो नहीं होते पर उनके कुंजों या समुच्चयों (Aggregate) में कुछ विशेष प्रकार की आकृति या बनावट होती है जिसके द्वारा खनिजों की पहचान की जा सकती है। कुछ आकृतियां इस प्रकार हैं–

1. **सूच्याकार** (Acicular) : इसके क्रिस्टल सुई की आकृति के जैसे पतले और लम्बे होते हैं, जैसे नेट्रोलाइट (चित्र 3.11)।
2. **फलकित** (Bladed) : ये चाकू की फलक या पत्ती के समान चपटे क्रिस्टल होते हैं जैसे कायनाइट।
3. **बादामाकार** (Amygdaloidal) : ये बादाम के आकार के होते हैं और जियोलाइट खनिज में पाये जाते हैं।

चित्र 3.11. नेट्रोलाइट में सूच्याकार आकृति

4. **गुच्छाकार** (Botryoidal) : ये अंगूर के गुच्छों के समान होते हैं तथा मैंग्नीज ऑक्साइड में पाये जाते हैं।
5. **केशिका** (Capillary) : ये बारीक बालों के समान होते हैं तथा निकल सल्फाइड में पाये जाते हैं।
6. **स्तम्भाकर** (Columnar) : ये स्तम्भ के समान होते हैं, जैसे बेरील के प्रिज्म।
7. **संग्रथित** (Concretionary) **या ग्रंथिकी** (Nodular) : ये कंकड़ की तरह गोलीय व अनियमित आकृति वाले होते हैं, जैसे चकमक।
8. **द्रुमाकृतिक** (Dendritic) : ये पेड़ या मॉस के समान होते हैं तथा मैंग्नीज ऑक्साइड में पाये जाते हैं।
9. **रेशेदार** (Fibrous) : ये बारीक बालदार धागे के समान होते हैं तथा एस्बेस्टॉस में पाये जाते हैं (चित्र 3.12)।

चित्र 3.12. एस्बेस्टॉस में रेशेदार आकृति

10. **पत्रित** (Foliated) : इसमें खनिज की पतली–पतली परतें आसानी से अलग हो जाती हैं, जैसे अभ्रक (चित्र 3.13)।
11. **दानेदार** (Granular) : जब खनिज छोटे या बड़े दानों के समूह में हों, जैसे ऑलिवीन।
12. **विकीर्ण** (Radiating) : लम्बे क्रिस्टल एक बिन्दु से किरणों की तरह फैले हुए होते हैं, जैसे जियोलाइट।

13. **गुर्दाकार** (Reniform) : ये गुर्दा या वृक्क के समान गोल आकृति वाले होते हैं, जैसे – हेमेटाइट।

चित्र 3.13. अभ्रक में पत्रित आकृति

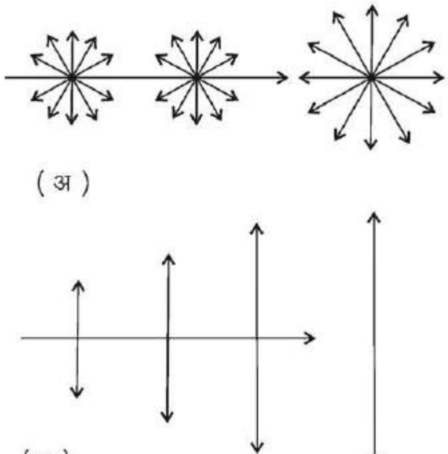
14. **सपाट** (Tabular) : इसके क्रिस्टल चौड़ी सपाट सतह वाले होते हैं, जैसे – फेल्सपार।
15. **पटलित** (Lamellar) : वे खनिज जो परतदार हों परन्तु आसानी से जिसकी परत पृथक न हो सके, जैसे जिप्सम।
16. **पिसोलाइटी** (Pisolitic) : ये मटर के दाने के समान गोल होते हैं, जैसे बॉक्साइट।
17. **अण्डकीय** (Oolitic) : जब मटर से भी छोटे दानों का समूह हो, तो अंडकीय कहलाता है, जैसे कैल्साइट।
18. **शल्की** (Scaly) : ये खनिज मछली के शल्कों जैसे दिखाई देते हैं, जैसे ग्रेफाइट।

खनिजों के प्रकाशीय गुण
(Optical Properties of Minerals)

पहले हमनें भौतिक गुणों के आधार पर खनिजों को पहचानने के तरीकों का वर्णन किया है। यहां सूक्ष्मदर्शी से खनिजों की पहचान करने के तरीकों के बारे में जानेंगे। सूक्ष्मदर्शी से जिन गुणों के आधार पर खनिजों की पहचान की जाती है वे प्रकाशीय या प्रकाशिक गुण कहलाते हैं। इन गुणों का अध्ययन करनें के लिए पहले हम कुछ परिभाषित शब्दों एवं प्रकाशिक गुणों के विषय में आवश्यक जानकारी प्राप्त करेंगे।

ध्रुवित प्रकाश (Polarized Light)

प्रकाश का कम्पन, संचरण दिशा के लम्बरूप एक तल में सभी दिशाओं में होता है। इसे साधारण प्रकाश कहते हैं। यदि कम्पन इस तल में एक ही दिशा में परिबद्ध किये जाते हैं तो उसे तलीय ध्रुवित प्रकाश (**Plane Polarized Light**) या ध्रुवित प्रकाश कहते हैं (चित्र 3.14)। पारदर्शी एवं विदलनयुक्त कैल्साईट द्वारा ध्रुवित प्रकाश प्राप्त किया जा सकता है।



चित्र 3.14. (अ) साधारण प्रकाश एवं (ब) ध्रुवित प्रकाश

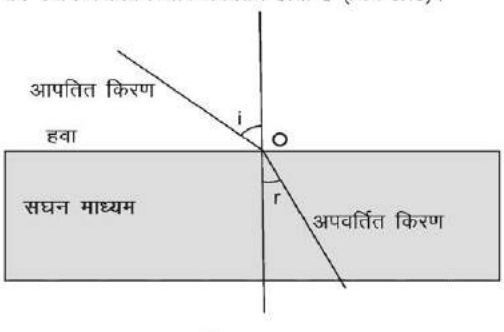
समदैशिक एवं असमदैशिक खनिज
(Isotropic and Anisotropic Mineral)

जिन खनिजों में प्रकाश सभी दिशाओं में समान वेग से प्रेषित होता है, उन्हें समदैशिक खनिज कहते हैं जैसे कांच एवं घनीय समुदाय के खनिज–गार्नेट, फ्लोराइट आदि।

वे खनिज, जिनमें प्रकाश विभिन्न दिशाओं में असमान गति से प्रेषित होता है। असमदैशिक खनिज कहलाते हैं। घनीय समुदाय के खनिजों को छोड़कर अन्य सभी क्रिस्टल समुदायों में क्रिस्टलित होने वाले खनिज इसी वर्ग के अन्तर्गत आते हैं।

अपवर्तनांक (Refractive Index)

प्रकाश की किरण जब किसी पदार्थ की सतह पर पड़ती है तब उसमें परावर्तन और अपवर्तन होता है (चित्र 3.15)।



चित्र 3.15

चित्र 3.15 : किसी सतह पर आपतित एवं अपवर्तित किरणों का रेखापथ

अपवर्तन का नियम–

किन्हीं दो माध्यमों को अलग करने वाली सतह पर आपतित किरण से बने कोण एवं उसी सतह से अपवर्तित किरण से बने कोण के ज्याओं का अनुपात निश्चित या स्थिर होता है। इसे अपवर्तनांक (μ म्यू) कहते हैं ।

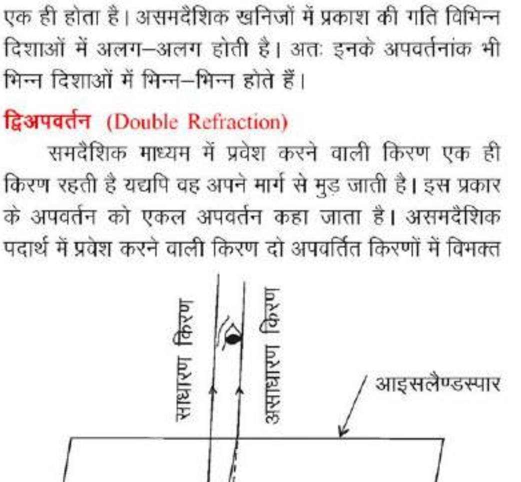
चित्र क्रमांक 3.15 में दर्शाये अनुसार यदि आपतित कोण 'i' है और अपवर्तित कोण 'r' है तो स्थिरांक या अपवर्तनांक $\mu = \sin i/\sin r$ $\sin i$ = आपतित कोण की ज्या, $\sin r$ = अपवर्तित कोण की ज्या।

खनिजों के प्रकाशीय गुणों के अध्ययन में अपवर्तनांक का मूलभूत महत्व है। विभिन्न पदार्थों के अपवर्तनांकों की तुलना के लिए हमें किसी माध्यम को आधार मानना होता है। यहां हवा को आधार माना गया है जिसका अपवर्तनांक 1 है। जिन खनिजों के अपवर्तनांक में जितनी अधिक भिन्नता होगी उतनी ही उनके कणों की सीमाएं स्पष्ट होगी।

समदैशिक खनिजों में प्रकाश की गति सभी दिशाओं में समान होती है और इसलिए इसका अपवर्तनांक भी स्थिर एवं एक ही होता है। असमदैशिक खनिजों में प्रकाश की गति विभिन्न दिशाओं में अलग–अलग होती है। अतः इनके अपवर्तनांक भी भिन्न दिशाओं में भिन्न–भिन्न होते हैं।

द्विअपवर्तन (Double Refraction)

समदैशिक माध्यम में प्रवेश करने वाली किरण एक ही किरण रहती है यद्यपि वह अपने मार्ग से मुड़ जाती है। इस प्रकार के अपवर्तन को एकल अपवर्तन कहा जाता है। असमदैशिक पदार्थ में प्रवेश करने वाली किरण दो अपवर्तित किरणों में विभक्त होती है। इस घटना को द्विअपवर्तन कहते हैं। द्विअपवर्तन क्रिया रंगहीन एवं पारदर्शी कैल्साइट जो आइसलैण्डस्पार कहलाता है के द्वारा आसानी से देखा जा सकता है। यदि इस कैल्साइट के टुकड़े को किसी बिन्दु पर रखते हैं तो इसमें दो बिन्दु दिखायी देते हैं। कैल्साइट को घुमाने पर एक बिन्दु स्थिर रहता है जबकि दूसरा बिन्दु इस स्थिर बिन्दु के चारों ओर घूमता है। स्थायी बिन्दु साधारण बिम्ब कहलाता है एवं इसे बनाने वाली किरण साधारण किरण कहलाती है। अस्थायी बिन्दु असाधारण बिम्ब कहलाता है एवं इसे बनाने वाली किरण को असाधारण किरण कहते हैं (चित्र 3.16)।



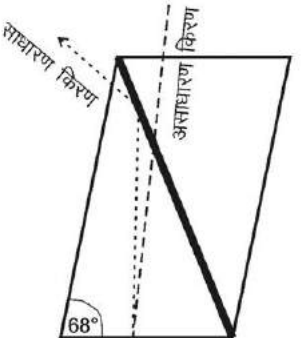
चित्र 3.16 द्विअपवर्तन – साधारण एवं असाधारण किरणों का रेखापथ

एक अक्षीय एवं द्विअक्षीय खनिज (Single Axis and Double Axis Minerals)

कुछ असमदैशिक खनिजों में एक दिशा एवं कुछ में दो दिशाएं ऐसी होती हैं जिसमें साधारण एवं असाधारण किरणों की गतियां समान होती हैं, अर्थात् उन दिशाओं या दिशा में द्विअपवर्तन नहीं होता है। यह दिशा प्रकाशिक अक्ष कहलाती है। जिन खनिजों में ऐसी एक ही दिशा होती है उन्हें एक अक्षीय खनिज कहते हैं। चतुष्कोणीय एवं षट्कोणीय समुदायों के खनिज एक अक्षीय होते हैं। जिनमें ऐसी दो दिशाएं होती हैं उन्हें द्विअक्षीय खनिज कहते हैं। विषम लम्बाक्ष, एकनताक्ष एवं त्रिनताक्ष समुदायों के खनिज द्विअक्षीय खनिज होते हैं।

निकॉल प्रिज्म (Nicol Prism)

खनिजों के सूक्ष्मदर्शी अध्ययन के लिए ध्रुवित प्रकाश आवश्यक है। यह ध्रुवित प्रकाश निकॉल या निकॉल प्रिज्म, जो कि आइसलैंडस्पार का बना होता है के, द्वारा पाया जाता है। सूक्ष्मदर्शी में निकॉल दो जगह पर लगता है, स्टेज के नीचे वाले को ध्रुवक एवं स्टेज के ऊपर वाले को विश्लेषक कहते हैं। इन्हें सूक्ष्मदर्शी में इस तरह लगाया जाता है कि इनके लघु विकर्ण आपस में लम्बरूप में रहते हैं।



चित्र 3.17. निकॉल प्रिज्म के कनाडा बालसम द्वारा साधारण किरण का पूर्ण परावर्तन जबकि असाधारण किरण प्रेषित

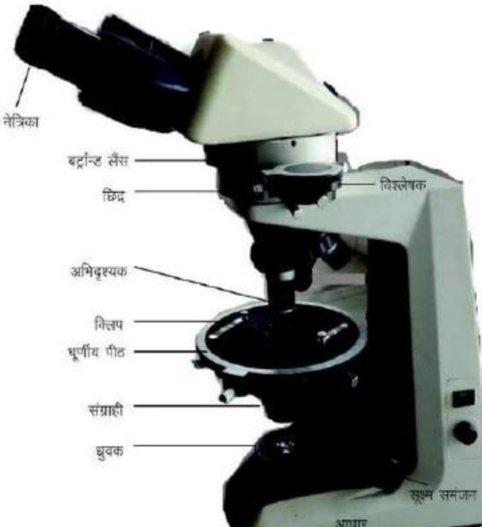
इसे बनाने के लिए समचतुर्भुज आइसलैंडस्पार के लम्बे किनारों को इस प्रकार घर्षित किया जाता है कि वह लम्बे किनारे से 68° का कोण बनाये। इस समचतुर्भुज को अनुदैर्ध्य (longitudinally) रूप से दो भागों में काट कर इन दोनों भागों की सतहों को पॉलिश कर कनाड़ा बालसम से पुनः जोड़ा जाता है। कनाड़ा बालसम की तह इस प्रकार की होती है कि वह साधारण किरण का पूर्ण परावर्तन करती है और असाधारण किरण को प्रेषित करती है (चित्र 3.17)। इस असाधारण किरण से प्राप्त प्रकाश भी ध्रुवित प्रकाश कहलाता है। इसे निकॉल नामक वैज्ञानिक ने बनाया था इसलिए इसका नाम निकॉल या निकॉल प्रिज्म रखा गया है।

ध्रुवण सूक्ष्मदर्शी का वर्णन एवं कार्य प्रणाली

खनिजों के प्रकाशीय गुणों की जानकारी के लिए ध्रुवण सूक्ष्मदर्शी का ज्ञान होना आवश्यक है। यह सूक्ष्मदर्शी अन्य सूक्ष्मदर्शियों से इस बात में भिन्न है कि इसमें निकॉल प्रिज्म का उपयोग, ध्रुवित प्रकाश प्राप्त करने के लिए किया जाता है (चित्र 3.18)। वर्णन की दृष्टि से सूक्ष्मदर्शी को तीन भागों में बांटा जा सकता है परन्तु एक सामान्य सूक्ष्मदर्शी में निम्नलिखित भाग होते हैं –

1. आधार (Base)
2. स्तम्भ (Pillar)
3. भुजा (Arm)
4. नली (Tube)
5. स्थूल समंजन (Coarse adjustment knob)
6. सूक्ष्म समंजन (Fine adjustment knob)
7. ध्रुवक (Polariser)
8. संग्राही (Condenser)
9. मध्य पट्ट (Diaphragm)
10. घूर्णीय पीठ (Rotating stage)
11. क्लिप (Clip)
12. अभिदृश्यक (Objectives)
13. छिद्र (Slot)
14. विश्लेषक (Analyzer)
15. बरट्रेंड लैंस (Bertrand lens)
16. नेत्रिका (Eye piece)

सूक्ष्मदर्शी के यांत्रिक भाग : सूक्ष्मदर्शी का पूरा संतुलन उसके आधार पर होता है। इनसे स्तम्भ (आधारिक) जुड़ा होता है। स्तम्भ का ऊपरी भाग भुजा कहलाता है। भुजा से सूक्ष्मदर्शी की नली लगी होती है तो निचले भाग से घूर्णीय पीठ। पीठ 0° से 360° तक अंकित या चिन्हित होती है और उसे घुमाया जा सकता है। सूक्ष्मदर्शी की नली को स्थूल समंजन एवं सूक्ष्म समंजन की सहायत से आवश्यकतानुसार ऊपर नीचे किया जा सकता है।



चित्र 3.18 शैलीकीय सूक्ष्मदर्शी (निकॉन कम्पनी निर्मित)

सूक्ष्मदर्शी का निचला भाग : सूक्ष्मदर्शी के निचले भाग में एक दर्पण होता है। यह एक ओर समतल तो दूसरी ओर अवतल होता है। यह दर्पण प्रकाश को ऊपर की ओर परावर्तित करता है। आधुनिक सूक्ष्मदर्शियों में दर्पण की बजाय बिजली का बल्ब ही लगा रहता है। बल्ब या दर्पण के ऊपर एवं घूर्णीय पीठ के बीच ध्रुवक और कण्डेन्सर लगे होते हैं। इन्हें आवश्यकतानुसार अन्दर या बाहर किया जा सकता है। ध्रुवक का काम प्रकाश को ध्रुवित करना है। ध्रुवक से असाधारण किरण निकलती है। जो ध्रुवक के लघु विकर्ण के समानान्तर कंपन करती है। यह दिशा ध्रुवक की कंपन दिशा कहलाती है।

घूर्णीय पीठ पर खनिज का पतला काट (Thin Section) रखकर इसे उस पर लगी क्लिपों द्वारा दबाया जाता है ताकि खनिज काट अपनी जगह से हिले नहीं।

सूक्ष्मदर्शी का ऊपरी भाग : सूक्ष्मदर्शी की नलिका में अभिदृश्यक बरट्रेंड लेन्स, विश्लेषक एवं नेत्रक या नेत्रिका होते हैं। इनके अतिरिक्त दो खांचे होती हैं। जिनमें आवश्यकतानुसार बेरेक कम्पेन्सेटर या किसी एक्सेसरी जैसे क्वार्ट्ज वेज, माइका प्लेट या जिप्सम प्लेट को प्रवेशित किया जा सकता है।

खनिजों के पतले काटों का अध्ययन
(Study of Thin Sections of Minerals)

खनिजों के प्रकाशीय गुणों के अध्ययन के लिए पतले काटों की आवश्यकता होती है। जिनकी मोटाई 0.03 मिमी से अधिक नही होनी चाहिए। पारदर्शक खनिजों के पतले काटों के प्रकाशीय गुणों का सूक्ष्मदर्शी द्वारा अध्ययन में निम्नलिखित प्रक्रिया को अपनाया जाता है–

अ) साधारण एवं ध्रुवित प्रकाश में (Under Ordinary Light): ध्रुवक एवं विश्लेषक को सूक्ष्मदर्शी से बाहर कर खनिज को साधारण प्रकाश में देखा जाता है। इसके अन्तर्गत निम्नलिखित गुणों का अध्ययन किया जाता है–

1. क्रिस्टलीय रूप (Crystal form)
2. वर्ण (Colour)
3. खनिज की उच्चावच या स्पष्टता (Relief)
4. विदलन (Cleavage)
5. अन्तर्वेश या अन्तर्विष्ट (Inclusion)

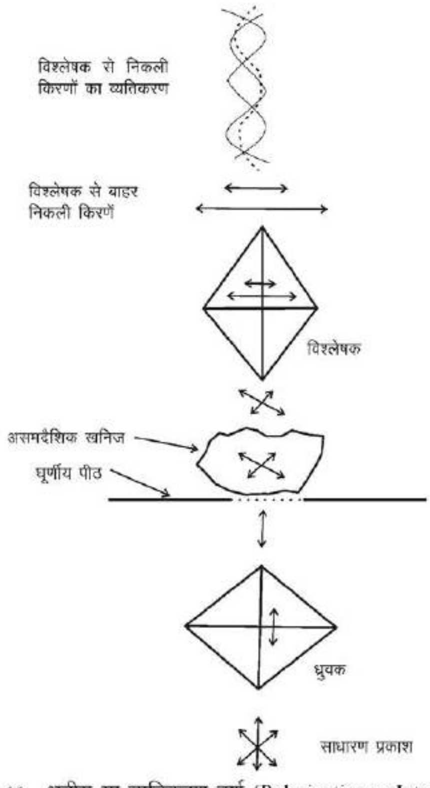
ब) ध्रुवित प्रकाश में (Under Polarized Light): ध्रुवक को समतल दर्पण एवं घूर्णीय पीठ के बीच में लाया जाता है। इससे निम्नलिखित प्रकाशीय गुणों का अवलोकन किया जाता है–

6. बहुवर्णता (Pleochroism)
7. बहुवर्णीय प्रभामंडल (Pleochroic Halos)
8. झिलमिलाना (Twinkling)

क्रम संख्या 1 से 5 तक के गुणों का अवलोकन साधारण प्रकाश में किया जाता है।

स) क्रॉसित निकॉल में (Under Crossed Nicols): सूक्ष्मदर्शी में दो निकॉल प्रिज्म होते हैं, मंच के नीचे लगने वाले निकॉल को ध्रुवक एवं मंच के ऊपर लगने वाले निकॉल को विश्लेषक कहते हैं। ध्रुवक एवं विश्लेषक में ध्रुवित प्रकाश के कम्पनों की दिशा एक दूसरे के लम्बवत होती है एवं इन दोनों का जब सूक्ष्मदर्शी में एक साथ उपयोग करते हैं तो उस अवस्था को सूक्ष्म दर्शी की क्रॉस निकॉल अवस्था कहते हैं (चित्र 3.19)। यदि पीठ पर पतला काट नहीं रखा हो तो इस समय दृष्टि क्षेत्र में पूर्ण अंधकार होता है। यदि ऐसा नहीं है तो ध्रुवक को थोड़ा घुमाकर ऐसा किया जाता है। इस अवस्था में देखे जाने वाले गुण इस प्रकार हैं –

9. समदैशिक या असमदैशिक (Isotropic or Anisotropic)
10. विलोपन (Extinction)



चित्र 3.19 : खनिज काट में क्रॉसित निकॉल में होने वाली घटनाएं

11. ध्रुवीय या व्यतिकरण वर्ण (Polarization or Interference Colour)
12. यमलन (Twinning)
13. मंडलन (Zoning)
14. परिवर्तन (Alteration)
15. व्यतिकरण आकृति
16. प्रकाशिक चिन्ह

द) अभिसारी प्रकाश में (Under Condensed Light) : अवतल दर्पण, कन्डेन्सर एवं उच्च शक्ति का अभिदृश्यक प्रयोग में लाते हुए निकॉल क्रॉस किये जाते हैं। तत्पश्चात् व्यतिकरण आकृति को बरट्रंड लेन्स की सहायता से या नेत्रिका को निकालकर देखा जाता है। इस अवस्था में व्यतिकरण आकृति के अतिरिक्त एक्सेसरीज की सहायता से खनिज के प्रकाशिक चिह्न का निर्धारण किया जाता है। वर्तमान में अभिसारी प्रकाश में देखे जाने वाले गुणों का अध्ययन नहीं करेंगे परन्तु साधारण एवं ध्रुवित प्रकाश में देखे जाने वाले प्रकाशिक गुणों को समझना अतिआवश्यक है। अतः इनका वर्णन यहां किया जा रहा है।

साधारण एवं ध्रुवित प्रकाश में (Under ordinary and Polarized Light) देखे जाने वाले गुण

1. रूप : जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि खनिज का रूप उसके क्रिस्टल समुच्चय की अवस्था पर निर्भर करता है। इन्हें क्रिस्टल फलकों के विकास के आधार पर तीन वर्गों में बांटा गया है – पूर्णफलकीय, अंशफलकीय एवं अफलकीय क्रिस्टल से बने रूप । पूर्ण फलकीय क्रिस्टलों में फिर भिन्न–भिन्न तरह के रूप मिलते हैं जैसे सूच्याकार, वर्गाकार, त्रिकोणीय, चतुर्भुजीय, अष्टफलकीय, आयताकार या प्रिज्मीय आदि।

2. खनिज की उच्चावच : अपवर्तनांकों की भिन्नता के कारण सूक्ष्मदर्शी में खनिज कणों की सीमा स्पष्ट या धुंधली दिखाई देने को उच्चावच कहते हैं। खनिज की उच्चावच या स्पष्टता खनिज की रूपरेखा की वह स्पष्टता है जो कनाडा बालसम की तुलना में दिखाई देती है। जब खनिज और कनाडा बालसम (अपवर्तनांक 1.54) के अपवर्तनांकों में बहुत अंतर होता है तो खनिज की सीमा स्पष्ट दिखाई देती है । यदि दोनों के अपवर्तनांकों में अन्तर कम होता है तो रूपरेखा स्पष्ट दिखाई नहीं देती। तब यह खनिज की निम्न उच्चावच होती है। इसे निम्न, मध्यम, उच्च एवं अतिउच्च शब्दों से वर्णित करते हैं।

3. वर्ण : खनिज के पतले काट में दिखाई देने वाले रंगों का अध्ययन किया जाता है। उदाहरण– घनीय समुदाय के खनिजों के कण वर्णहीन होते हैं या एक ही वर्ण दर्शाते हैं। जैसे गार्नेट हल्का गुलाबी रंग दर्शाता है। अन्य समुदायों के खनिज विभिन्न वर्णोयुक्त या एक वर्णीय या वर्णहीन हो सकते हैं।

4. विदलन : यह खनिज की वह प्रवृत्ति है जिससे खनिज किसी निश्चित दिशाओं या फलकों के समानान्तर सरलता से टूटता या विभक्त होता है। सूक्ष्मदर्शी में विदलन असंतत रेखाओं के समान दिखाई देता है। खनिज एक, दो या तीन दिशाओं में टूट या विभक्त हो सकता है।

5. अन्तर्विष्ट या अन्तर्वेश : कभी–कभी यह देखने में आता है कि खनिज, जिसका अवलोकन किया जा रहा है, में किसी अन्य पदार्थ या खनिज के टुकड़े या कण पाये जाते हैं। इन्हें अन्तर्विष्ट या अन्तर्वेश कहा जाता है जो खनिज के पहचानने में सहायक होते हैं।

6. बहुवर्णता : ध्रुवित प्रकाश में सूक्ष्मदर्शी की पीठ को घुमाने पर जब किसी खनिज के वर्ण या वर्ण की तीव्रता में परिवर्तन होता है तो इस रंग परिवर्तन के गुण को बहुवर्णता कहते हैं। उदाहरण –

अ. **वर्ण परिवर्तन** : हायपरस्थीन खनिज में गुलाबी वर्ण, नीलापन लिए हरे वर्ण में बदलता है।

ब. **वर्ण की तीव्रता में अन्तर** : बायोटाइट में हल्का पीलापन लिए भूरे वर्ण का गहरे भूरे वर्ण में परिवर्तन होता है।

7. बहुवर्णीय प्रभामंडल : मुख्य खनिज में छोटे वृत्ताकार क्षेत्र देखे जा सकते हैं, जो मुख्य खनिज वर्ण की अपेक्षा अधिक तीव्र बहुवर्णीय होते हैं जिन्हें बहुवर्णीय प्रभामंडल कहते हैं। बहुवर्णता के समान ही इसे घूर्णीय पीठ को घुमाकर देखा जाता है।

8. झिलमिलानाः जब सूक्ष्मदर्शी की घूर्णीय पीठ को ध्रुवित प्रकाश में घुमाया जाता है तब खनिज की स्पष्टता या खनिज विदलन दोनों में परिवर्तन होता है। यह परिवर्तन कभी स्पष्ट दिखाई देते हैं तो कभी अस्पष्ट। इस गुण को झिलमिलाना कहते हैं। उदाहरण – केल्साइट, मस्कोवाइट, आदि। यह गुण वर्णहीन खनिजों द्वारा दर्शाया जाता है तथा यह बहुवर्णता से भिन्न होता है।

क्रॉसित निकॉल या क्रॉसित अवस्था में (Under Crossed Nicols): 1 से 8 तक के प्रकाशिक गुणों के अवलोकन हेतु विश्लेषक का उपयोग नहीं किया जाता है, परन्तु सूक्ष्मदर्शी की क्रॉसित निकॉल या क्रॉसित अवस्था में विश्लेषक का उपयोग किया जाता है। क्रॉसित अवस्था में ध्रुवक एवं विश्लेषक की कम्पन की दिशाएं एक–दूसरे के लम्बरूप होती हैं। यदि सूक्ष्मदर्शी पीठ पर पतला काट नहीं है तो क्रॉसित अवस्था में दृष्टि क्षेत्र में पूर्ण अंधकार होता है। ऐसा न होने पर ध्रुवक को थोड़ा घुमाकर पूर्ण अंधकार लाना चाहिए और तत्पश्चात् खनिज का पतला काट सूक्ष्मदर्शीय पीठ पर रखा जाता है।

9. समदैशिक या असमदैशिक : क्रॉसित अवस्था में सर्वप्रथम यह देखना आवश्यक है कि खनिज समदैशिक है या असमदैशिक। समदैशिक खनिज के होने पर पीठ को एक पूर्ण घूर्णन या 360° घुमाने पर भी खनिज पूर्ण रूप से काला या अंधकारमय ही बना रहता है। ऐसे खनिज समदैशिक होते हैं। उदाहरण– घनीय समुदाय के खनिज, जैसे गार्नेट। यदि पूर्ण घूर्णन के दौरान खनिज 4 बार काला होता है तो वह असमदैशिक खनिज है।

घनीय समुदाय के सभी खनिज और चतुष्कोणीय एवं षट्कोणीय समुदाय के खनिजों के आधारिक काट समदैशिक होते हैं। आधारिक काट वो होते हैं जो खनिज के क्रिस्टल के 'c' अक्ष के लम्बवत काटे गये हों। चतुष्कोणीय एवं षट्कोणीय समुदायों के खनिजों के आधारिक काटों को छोड़कर अन्य सभी काट और शेष समुदायों यथा विषमलम्बाक्ष, एकनताक्ष तथा त्रिनताक्ष के खनिजों के सभी काट असमदैशिक होते हैं।

10. विलोपन या विलुप्तता : एक अक्षीय खनिजों के आधारिक काटों को छोड़कर जब पतले काट को क्रॉसित निकॉल में देखा जाता है तब पीठ को घुमाने पर हर 90° के बाद खनिज विलोपित या विलुप्त हो जाता है। इस घटना को विलोपन या विलुप्तता कहते हैं। इस अवस्था में खनिज पूर्णतः काला दिखाई देने लगता है। यह विलोपन तब होता है जब खनिज की कम्पन

दिशाएं दोनों निकॉलों की कम्पन दिशाओं के दो–दो बार समानान्तर होती हैं। अर्थात् घूर्णन पीठ को 360° घुमाने पर यह अवस्था चार बार आती है।

11. ध्रुवीय या व्यतिकरण वर्ण : असमदैशिक खनिज क्रॉसित निकॉल में ध्रुवीय या व्यतिकरण वर्ण दर्शाते हैं। अपवाद है जब खनिज कण विलोपन अवस्था में होते हैं। खनिज कण ध्रुवक से निकले प्रकाश को दो कम्पन दिशाओं में विभक्त करता है जो एक दूसरे के लम्बरूप होते हैं। ये किरणें विश्लेषक की कम्पन दिशा में वियोजित होती हैं और व्यतिकरण होता है। यह इस कारण होता है कि खनिज में किरणें विभिन्न वेगों या गतियों से चलती हैं (क्योंकि उनके अपवर्तनांक भिन्न–भिन्न होते हैं) और जब खनिज से निकलती हैं तो उनमें कलान्तर होता है। यदि तरंग दैर्ध्य कलांतर 1,2,3,... के संगत में होता है तो विश्लेषक के कम्पन तल पर वियोजित होती हैं अर्थात् प्रकाश लुप्त हो जाता है यानि आँख तक कोई प्रकाश नहीं पहुंचता। इस प्रकार एक तरंग दैर्ध्य नष्ट हो जाता है। यदि कलांतर तरंग दैर्ध्य, जब 1/2, 3/2, 5/2,... के संगत में होता है, तब संगत वर्ण या प्रकाश अधिक प्रबलता के साथ दिखता है। इस प्रकार प्राप्त होने वाले वर्णों को व्यतिकरण वर्ण या ध्रुवण वर्ण कहते हैं। मंच को घुमाने से इनमें कोई परिवर्तन नहीं होता, अपितु उनकी तीव्रता में परिवर्तन अवश्य होता है।

श्वेत प्रकाश में क्वार्ट्ज वेज का अध्ययन करें तो उससे ज्ञात होता है कि पृथक–पृथक तरंग दैर्ध्य के विभिन्न घटक (जिससे की श्वेत प्रकाश बनता है) विभिन्न स्थितियों में प्रत्येक प्रकाश को लिए अदीप्ती/अंधेरा (Darkness) और दीप्ती/चमक (Brightness) बताते हैं। परस्पर व्यापी (Overlapping) अदीप्ती एवं दीप्ती के सम्मिश्रण से एक वर्णमाला बनती है उसको न्यूटन का व्यतिकरण वर्ण स्केल कहते हैं।

इन व्यतिकरण वर्णों को निम्नलिखित वर्गों एवं वर्णों में बांटा गया है –

प्रथम क्रम	गहरा धूसर हल्का धूसर धूसरी सफेद पीला नारंगी लाल बैंगनी	प्रबल
द्वितीय क्रम	नीला हरा पीला गुलाबी लाल	मंद
तृतीय क्रम	नीला हरा पीला गुलाबी	↓
उच्चतर क्रम	हल्का पीलापन लिए हरा भूरापन लिए गुलाबी	

प्रायः यह देखा गया है कि प्रथम क्रम में वर्ण एकल या अकेले (जैसे पीला या धूसर) दिखते हैं तो अन्य क्रमों में 2–3 वर्ण एक साथ (लाल, हरा, पीला आदि) दिखाई देते हैं।

12. यमलन : कभी–कभी यह देखने में आता है कि खनिज के एक कण के दो या दो से अधिक भाग भिन्न व्यवहार करते हैं। खनिज कण के एक ओर का भाग विलोपित अवस्था में होता है तो दूसरा व्यतिकरण वर्ण दर्शाता है। जैसे ऑर्थोक्लेज में एक भाग धूसर एवं दूसरा भाग काला वर्ण दर्शाता है। यदि सूक्ष्मदर्शीय पीठ को घुमाया जाये तो इन दोनों प्रकार की पट्टियों का दृश्य एकांतर क्रम में बदलता रहता है अर्थात् काली पट्टियाँ रंगीन हो जाती हैं तथा रंगीन पट्टियाँ काली हो जाती हैं। खनिजों के इस गुण को यमलन कहते हैं।

13. मंडलन : इसे साधारण प्रकाश एवं क्रॉसित अवस्था में देखा जाता है। अक्सर यह देखा गया है कि खनिज कण समान रूप से वर्ण नहीं दर्शाता परन्तु विन्यासित वर्ण पट्ट दर्शाते हैं। ये संकेन्द्री एवं बाहर की ओर होते हैं। गार्नेट, टूरमलीन एवं पायरॉक्सीन संकेन्द्री वर्णवलय दर्शाते हैं। इसे वर्ण मंडलन कहा जाता है।

14. परिवर्तन : कुछ खनिज समय के साथ दूसरे खनिज में परिवर्तित हो जाते हैं। परिवर्तन साधारण प्रकाश में भी देखा जाता है। परन्तु इसे क्रॉसित निकॉल में ज्यादा अच्छी तरह से देखा जा सकता है। सामान्यतः परिवर्तन अक्रॉसित अवस्था में मटमैला या धुंधला दिखता है। परिवर्तन का विकास दरारों एवं विदलनों से शुरू होता है। ये सामान्यतः संमिश्रित ध्रुवीय वर्ण दर्शाते हैं। उदाहरण– ऑलिवीन का सर्पेन्टीन में और हॉर्नब्लेंड का बायोटाइट में परिवर्तन।

महत्वपूर्ण बिन्दु

- क्रिस्टल एक ठोस आकृति होती है जो प्रायः सपाट और समतल फलकों के निश्चित विन्यास से बनती है।
- प्राकृतिक रूप से बने क्रिस्टल में समतल सतह जो कि पार्श्व फलकों के साथ निश्चित कोण बनाते हुए होती हैं, को फलक कहते हैं।
- किसी भी क्रिस्टल की बाह्य बनावट को आकृति कहते हैं।
- किसी भी क्रिस्टल में फलकों की स्थिति का निर्णय करने के लिए ऐसे तीन अक्षों की कल्पना की गई है जो कि क्रिस्टल के केन्द्र से गुजरती है तथा ये एक दिशा में नहीं होती है। इन्हीं काल्पनिक रेखाओं को क्रिस्टलीय अक्ष कहते हैं।
- घनीय समुदाय में तीनों क्रिस्टलीय अक्षों की लम्बाई बराबर होती हैं और तीनों अक्ष आपस में समकोण बनाते हुए क्रिस्टल के केन्द्र पर मिलते हैं।

- षट्कोणीय समुदाय में तीन के स्थान पर चार क्रिस्टलीय अक्ष होते हैं।
- खनिज प्राकृतिक रूप से बना वह अकार्बनिक पदार्थ है जिस की निश्चित रासायनिक संगठन एवं परमाणु संरचना होती है।
- आज लगभग दो हजार प्रकार से भी ज्यादा खनिज खोजे जा चुके हैं।
- जिन खनिजों के संयोजन से शैले बनती हैं, उन्हें शैलकर खनिज कहते हैं।
- अनेक खनिज अपनी क्रिस्टल संरचना के फलस्वरूप किसी विशिष्ट दिशा या दिशाओं में आसानी से विभक्त हो जाते हैं। खनिजों के इस विशेष प्रकार से टूटने की प्रवृत्ति को विदलन कहते हैं।
- विदलन की दिशा के अतिरिक्त किसी दूसरी दिशा में खनिज के टूटने के व्यवहार को विभंग कहते हैं।
- जिस खनिज को चाकू से काटते हैं और यदि उस खनिज का चूर्ण ज्यादा निकलता है आवाज कम आती है तो उस खनिज की कठोरता कम होगी। जिस खनिज की कठोरता अधिक होती है उसे चाकू से काटने पर चूर्ण कम निकलता है पर आवाज अधिक आती है।
- सूक्ष्मदर्शी से खनिजों के जिन गुणों की पहचान की जाती है वे गुण प्रकाशिक गुण कहलाते हैं।
- प्रकाश का कम्पन, संचरण दिशा के लम्बरूप एक तल में एक ही दिशा में परिबद्ध किये जाते हैं तो उसे ध्रुवित प्रकाश कहते हैं।
- जिन खनिजों में प्रकाश सभी दिशाओं में समान वेग से प्रेषित होता है, उन्हें समदैशिक खनिज कहते हैं जैसे कांच एवं धनीय समुदाय के खनिज–गार्नेट, फ्लोराइट आदि।
- वे खनिज, जिनमें प्रकाश विभिन्न दिशाओं में असमान गति से प्रेषित होता है। असमदैशिक खनिज कहलाते हैं।
- अपवर्तनांकों की भिन्नता के कारण सूक्ष्मदर्शी में खनिज कणों की सीमा स्पष्ट या धुंधली दिखाई देने को उच्चावच कहते हैं।
- ध्रुवित प्रकाश में सूक्ष्मदर्शी की पीठ को घुमाने पर जब किसी खनिज के वर्ण या वर्ण की तीव्रता में परिवर्तन होता है तो इस रंग परिवर्तन के गुण को बहुवर्णता कहते हैं।

अभ्यासार्थ प्रश्न

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. मोती की चमक के समानवाली खनिज की चमक को क्या कहते हैं ?
   (अ) मुक्ता (ब) कांचाभ
   (स) रेश्मी (द) मोमी
2. विषमलम्बाक्ष क्रिस्टल समूह के अक्ष होते हैं ?
   (अ) तीनों असमान एवं आपस में समकोण बनाते हुए
   (ब) तीनों समान एवं आपस में समकोण बनाते हुए
   (स) तीनों समान एवं आपस में 120° का कोण बनाते हुए
   (द) तीनों समान एवं कोई कोण नहीं
3. कैल्साइट की कठोरता कितनी होती है ?
   (अ) 4 (ब) 5
   (स) 6 (द) 3
4. निम्नलिखित में से कौनसा प्रकाशीय गुण सूक्ष्मदर्शी के क्रॉसित अवस्था में नहीं देखा जाता है ?
   (अ) व्यतिकरण वर्ण (ब) विलोपन
   (स) बहुवर्णता (द) असमदैशिकता
5. वह क्रिस्टल रूप या आकृति जिसमें लम्बे क्रिस्टल एक दूसरे से किरणों की तरह फैले हुए होते हैं कहलाती है–
   (अ) पटलित (ब) रेशेदार
   (स) सूच्याकार (द) विकीर्ण

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. खनिज की परिभाषा लिखो।
2. क्रिस्टल किसे कहते हैं ?
3. अन्तःफलक कोण क्या है ?
4. फलक किसे कहते हैं ?
5. पारदर्शकता से आप क्या समझते हैं ?
6. समदैशिक खनिज किसे कहते हैं ?
7. वर्णरेखा क्या है ?
8. षट्कोणीय समुदाय में कितने अक्ष होते हैं ?
9. कांचाभ चमक से आप क्या समझते हैं ?
10. जिप्सम की कठोरता कितनी होती है ?
11. हीरे में कौनसी चमक मिलती है ?
12. सूच्याकार क्रिस्टल रूप कैसा होता है ?
13. ध्रुवित प्रकाश क्या होता है ?

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1. खनिज विज्ञान से आप क्या समझते हैं ?
2. क्रिस्टल विज्ञान की परिभाषा लिखो ?
3. मोज का कठोरता मापक्रम लिखिए।
4. विभंग किसे कहते हैं ?
5. खुली एवं बंद क्रिस्टल आकृति क्या होती है ?
6. सरल एवं संयुक्त क्रिस्टल आकृति से आप क्या समझते हैं?
7. खनिज की परिभाषा लिखो।
8. क्रिस्टल की परिभाषा दीजिए।
9. कठोरता क्या है ?
10. चमक से आप क्या समझते हैं ?
11. बहुवर्णता किसे कहते हैं ?
12. शंखाभ विभंग की परिभाषा दो।
13. चतुष्फलकीय क्रिस्टल समुदाय के अक्षों को चित्र द्वारा समझाइये।
14. विलोपन क्या है ?

निबंधात्मक प्रश्न

1. खनिजों के भौतिक गुणों का संक्षिप्त में वर्णन करो।
2. खनिजों के प्रकाशीय गुण बताइये।
3. क्रिस्टल समुदाय का वर्गीकरण कीजिए।
4. क्रिस्टलिय अक्षों का वर्णन कीजिए।
5. द्विअपवर्तन को समझाइये।

उत्तरमालाः 1. (अ) 2 (अ) 3 (द) 4 (स) 5 (द)