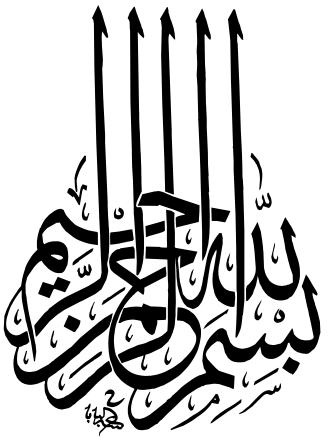
بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة في

بصريات البلورات والمعادن

أ.د. عبد الله عبدالعزيز سبتان

أ.د. عبد القادر محمد مغازي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

مركز النشر العلمي
جامعة الملك عبد العزيز
ص ب: ٨٠٢٠٠ - جدة: ٢١٥٨٩
المملكة العربية السعودية
http://spc.kau.edu.sa

© جامعة الملك عبد العزيز ١٤٣١هـ (٢٠١٠م)

جميع حقوق الطبع محفوظة.

الطبعة الأولى: ١٤٣١هـ (٢٠١٠م)

سلسلة الكتب المدعمة من عمادة البحث العلمي – ١١

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

سبتان، عبدالله عبدالعزيز
مقدمة في بصريات البلورات والمعادن. / عبدالله عبـــدالعزيز سبتان؛ عبدالقادر محمد مغازي . – جدة ، ١٤٣١هـــ

٤٠٦ ص ؛ .. سم

ردمك: ٢-٥٥٠-٠٦-٩٩٦٠-٩٧٨

١- البلورات ٢- المعادن أ. مغازي ، عبدالقادر محمد (مؤلف مشارك) ب. العنوان

ديوي ٥٤٨ ١٤٣١/٦٧٩٣

رقم الإيداع: ١٤٣١/٦٧٩٣

ردمك: ٢-٥٥٠-٠٦-٩٩٦٠-٩٧٨

مطابع جامعة الملك عبد العزيز

شكر وتقدير

يطيب لنا أن نرفع أسمى آيات الشكر والتقدير لجامعة الملك عبدالعزيز على الثقة الكبيرة لإتاحة الفرصة لنا من خلال الدعم المالي والمعنوي لإعداد هذا الكتاب. كما يسعدنا تقديم شكرنا العميق إلى عمادة البحث العلمي بالجامعة على الدعم والتشجيع الذى تلقيناه خلال فترة إعداد الكتاب. كما لا يفوتنا أن نتقدم بالشكر والتقدير إلى منسوبي كلية علوم الأرض بجامعة الملك عبد العزيز على تعاونهم ومبادرتهم بتوفير الأجهزة والمعلومات الفنية الهامة المتعلقة ببصريات المعادن. ولكل من ساهم معنا في إنجاز هذا العمل الشكر والتقدير والعرفان.

وأخيرًا، إلى من تتلمذنا على أيديهم فى علم الجيولوجيا بصفة عامة، وعلم المعادن بصفة خاصة، ونخص بالذكر سعادة الأستاذ الدكتور أحمد محمود الشنطي، أستاذ جيولوجيا التعدين بجامعة الملك عبدالعزيز، ونتقدم لهم بأسمى آيات الشكر والتقدير عرفانا منا بفضلهم.

تصـــديـــر

يسرني أن أقدم لهذا الكتاب "مقدمة في بصريات البلورات والمعادن" الـــذي وضعه الأستاذان عبد الله عبد العزيز بن سبتان وعبد القادر مغازي، والذي قمت بالاطلاع عليه وقراءته ومراجعته بالكامل وإجراء بعض التعديلات التحريريـــة واللغوية عليه.

الكتاب كما يدل اسمه عليه يعني ببصريات البلورات من جميـــع جوانبهـــا: تكوينها، وبنائها الداخلي والخارجي والمعادن المتبلورة في الأنظمـــة البلوريـــة المختلفة مع ما يلزم من الصور والأشكال والجداول لجميع فصول الكتاب.

وبالرغم من وجود عدد من الكتب باللغة العربية تشتمل بشكل أو بآخر على محتويات هذا الكتاب، إلا أن أسلوبه المبسط وتنظيمه المتسلسل في التعامل مـــع المواضيع حريّ بأن يسهّل على الدارس لهذه المادة استيعابها، كمـــا أن كتابتـــه جاءت بلغة سهلة ومفهومة، ومدعمـــة بالـــصور والأشـــكال لجميـــع الأنظمـــة والفصائل البلورية، وكذلك المعادن المتبلورة في مختلف هذه الأنظمة.

وإني لأرجو أن يكون فيه إضافة قيمة للمكتبة العلمية العربية، التي نـــسعى جميعاً على تدعيمها للقيام بواجبها في مختلف المجالات العلمية.

والله ولي التوفيق ؛؛؛

أ.د. أحمد محمود سلمان الشنطي

أستاذ جيولوجيا التعدين

تقـــديـــم

الحمد الله رب العالمين الذي يسر وأعان على إنجاز هذا العمل المتواضع، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين ومعلم البشرية، سيدنا محمد بـــن عبد الله وعلى آله الطاهرين وصحبه الميامين وبعد:

فإن التقدم العلمي الذي تنعم به دول أوروبا اليـــوم، يرجـــع الفـــضل فيـــه للصحوة العلمية في الترجمة التي عاشتها هذه الدول في القرون الوسطى. فلقـــد كان المرجع الوحيد للعلوم الطبية والعلمية والاجتماعية هو الكتب المترجمة عن العربية لابن سينا، وابن الهيثم، والفارابي، وابن خلدون، وغيرهم مـــن علمـــاء العرب. ولم ينكر الأوروبيون ذلك، بل يسجل تاريخهم ما ترجموه عن حـــضارة الفراعنة والعرب، وهذا يعتبر بحد ذاته أكبر دليل على أن اللغة العربية كانـــت (وبإذن الله تعالى ستبقى) لغة العلم والتدريس والتأليف، وأنها قادرة على التعبير عن متطلبات الحياة، وما يستجد من علوم، وأن غيرها من اللغات ليس بأدق ولا أقدر على التعبير منها. ولكن مع بداية الاستعمار الفرنسي والبريطـــاني للـــدول العربية، فقد حدث نوع من التراخي عن مواصلة التقدم العلمي. وعندما أحـــس علماء العرب باتساع الفجوة بينهم وبين الغرب وأن حياتهم لابد أن تتغير، اتجه بعضهم إلى تأليف الكتب في شتى الفروع العلمية والأدبية. ولقـــد حظـــي علـــم المعادن، الذي يعتبر أحد الأفرع الأساسية لعلم الجيولوجيا، بالعديد من المؤلفات، إلا أن دراسة الخواص البلورية والبصرية للمعادن لم ينلها الاهتمام اللازم مـــن قبل المتخصصين في هذا العلم.

وتعتبر دراسة الصفات البلورية والبصرية للمعادن مـــن أوائـــل وأبـــسط الطرق التي تستخدم في التعرف على المـــواد الجيولوجيـــة والمركبـــات غيـــر

العضوية، سواء في العينات اليدوية أو القطاعات الرقيقة باستخدام الميكروسكوب المستقطب. ولقد أسهم هذا العلم في تحديد فصيلة التبلور للمواد غير العضوية المتبلورة، والتي تضم آلاف المركبات التي تستعمل في الصناعات الكيميائية والدوائية والبيولوجية. كما ساهم علم بصريات المعادن والبلورات أيضاً في دراسة المعادن المكونة للصخور المختلفة، مثل الصخور النارية والمتحولة والرسوبية والمعادن الاقتصادية، من خلال تحديد الصفات البصرية لهذه المعادن. وشعوراً منا بما يعانيه الدارسون لعلوم الأرض من قلة الكتب العلمية باللغة العربية، نقدم هذا الكتاب في بصريات البلورات والمعادن في صورة مبسطة لطلاب الوطن العربي بصفة عامة، والمملكة العربية السعودية بصفة خاصة، حتى يتسنى لهم الإلمام بهذا العلم من ناحية، ومساهمة متواضعة في سد الفراغ بالمكتبات الجامعية. وقد تم ترتيب الكتاب بأسلوب سهل وميسر، مستعينين بالأشكال والصور التوضيحية، حتى يتسنى للدارسين الاستفادة منه، كما وقد اطلعنا عند وضع الإطار العام لهذا الكتاب على أشهر الكتب والمراجع المؤلفة باللغات العربية والأجنبية، وذلك لتحقيق أكبر قدر من التوازن بين الموضوعات المختلفة التي تناولناها.

يبدأ الكتاب بمقدمة مبسطة عن تطور دراسة علم البلورات والمعادن خلال العصور التاريخية، كما يعطي فكرة عن تسمية المعادن وطرق دراستها. ونظراً للارتباط الوثيق بين علم البلورات وعلم بصريات المعادن، فقد رأينا أن يتناول الفصل الثاني بعض المفاهيم الأساسية المبسطة عن البناء البلوري والمعدني، مثل البناء الداخلي لبلورات المعادن، وطرق ترتيب الأيونات المكونة لها، ويتدرج إلى أشكالها الخارجية المختلفة، وكذا النظم البلورية التي تتبعها. وتتناول الفصول: الثالث، والرابع، والخامس، الدراسة الأورثوسكوبية للمعادن،

حيث تعرض شرحًا مفصلاً عن طبيعة وحركة الضوء في المواد المختلفة ومكونات الميكروسكوب المستقطب، وكيفية دراسة وتعيين الصفات البصرية للمعادن المختلفة باستخدام المستقطب والنيكول المتعامد. وفي الفصل السادس، تمت مناقشة الدراسة الكونوسكوبية للمعادن، والتي من أهمها صور التداخل، وعلاقتها بنظام تبلور المعدن، وأهميتها في التعرف على المعادن المختلفة. وفي الفصلين السابع والثامن، تم تخصيص جزء في بداية الفصل السابع للحديث عن تصنيف المعادن، ثم تحدثنا عن الخواص البصرية لمجموعات المعادن المختلفة، وكيفية تمييز كل معدن بناء على خواصه البصرية، وكذلك أماكن وجود كل معدن. واختتمنا الكتاب بمجموعة وافرة من المراجع والبحوث التي تعالج الموضوعات المتنوعة في بصريات المعادن. ولكي يسهل على الدارس الاطلاع على أي موضوع من موضوعات بصريات المعادن في الكتب الإنجليزية بسهولة ويسر، فقد ألحقنا هذا الكتاب بثبتٍ للمصطلحات العلمية.

وفي الختام لا يسع المؤلفان إلا أن يعربا عن أطيب أمنياتهما لجميع دارسي علم المعادن بالتوفيق والسداد، وأن ينتفع بهذا العمل كل من له علاقة بعلم الجيولوجيا، ونرجو أن يكون هذا الكتاب فاتحة خير للعديد من الكتب العلمية التي تثري المكتبة العربية، وتخدم قضايا تعريب العلوم، سائلين الله تعالى أن يرزقنا الإخلاص في القول والعمل، وأن يتقبّل منا ويبارك لنا أجمعين، آمين.

المؤلفان

قائمة بالرموز العلمية

الرمز	المعنى
F	خلية وحدة ممركزة الأوجه
C	خلية وحدة ممركزة الوجهين المتقابلين
I	خلية وحدة ممركزة في الداخل
r_+	نصف قطر الكاتيون
r_-	نصف قطر الأنيون
●	محور ثنائي التماثل
▲	محور ثلاثي التماثل
■	محور رباعي التماثل
⬢	محور سداسي التماثل
m	مستوى التماثل في البلورة
n	مركز التماثل في البلورة
a_1, a_2, a_3	المحاور البلورية متساوية الأطوال
a, b, c	المحاور البلورية مختلفة الأطوال
α, β, γ	الزوايا المحورية الناتجة عن تقاطع المحاور البلورية
λ	الطول الموجي
f	تردد الموجات الضوئية بالميجاهيرتز
Δ	التأخر (فرق المسار بين الموجات الضوئية)
PP	اتجاه ذبذبة المستقطب
AA	اتجاه ذبذبة المحلل

الرمز	المعنى
o-ray	الشعاع العادي
e-ray	الشعاع غير العادي
ω	معامل انكسار الشعاع العادي
ε	معامل انكسار الشعاع غير العادي
X	الشعاع السريع في المعادن ثنائية المحور
Y	الشعاع متوسط السرعة في المعادن ثنائية المحور
Z	الشعاع البطيء في المعادن ثنائية المحور
n_α	معامل انكسار الشعاع (X) في المعادن ثنائية المحور
n_β	معامل انكسار الشعاع (Y) في المعادن ثنائية المحور
n_γ	معامل انكسار الشعاع (Z) في المعادن ثنائية المحور
OA	محور بصري
Bxa	المنصف الحاد
Bxo	المنصف المنفرج
2V	الزاوية البصرية الحادة المحصورة بين المحورين البصريين
δ	قرينة الانكسار الثنائي
OAP	المستوى المحوري البصري

المحتويات

شكر وتقدير..... هـ
تصدير ..... ز
تقديم ..... ط
قائمة بالرموز العلمية ..... م

الفصل الأول: مقدمة

١- نبذة تاريخية ٣
٢- تعريف المعدن ٩
٣- تسمية المعادن ١٢
٤- علاقة علم المعادن بعلوم الجيولوجيا الأخرى..... ١٣
٥- طرق دراسة المعادن..... ١٤

الفصل الثاني: البلورات والخواص البلورية للمعادن

١- تكوين بلورات المعادن في الطبيعة ٢٣
١-١ تكوين بلورات المعادن من الصهير ٢٣
١-٢ تكوين بلورات المعادن من المحاليل..... ٢٤
١-٣ تكوين بلورات المعادن من الغازات ٢٥
١-٤ تكوين بلورات المعادن بواسطة التحول ٢٥
٢- البناء الداخلي للبلورات ٢٦
٢-١ تركيب الذرة ٢٧
٢-٢ قوى الربط في البلورات ٢٩
٢-٣ الترتيب الفراغي للذرات أو الأيونات في البلورة ٣٦
٢-٤ التناسق وعدد التناسق ٣٧
٢-٥ بعض الظواهر البلورية وعلاقتها بالتركيب الكيميائي ٤١
٣- البناء الخارجي للبلورات ٤٣
٣-١ عناصر البلورة ٤٤
٣-٢ التماثل البلوري ٤٨
٣-٣ المحاور البلورية ٥١
٣-٤ التقاطعات والإحداثيات والأدلة..... ٥٢
٣-٥ الشكل البلوري ٥٥

٤- الأنظمة البلورية ٥٦
٤-١ نظام المكعب ٥٨
٤-٢ نظام الرباعي ٦٠
٤-٣ نظام السداسي ٦٥
٤-٤ نظام الثلاثي ٦٩
٤-٥ نظام المعيني القائم ٧٢
٤-٦ نظام أحادي الميل ٧٦
٤-٧ نظام ثلاثي الميل ٧٩

الفصل الثالث: مقدمة في الضوء

١- الحركات الدورية والموجات ٨٧
١-١ الحركة الدورية ٨٧
١-٢ الحركة الموجية ٨٩
٢- الموجات الكهرومغنطيسية (الضوء) ٩٣
٣- بعض المصطلحات في النظرية الموجية ٩٧
٤- تداخل الموجات الضوئية ١٠٢
٥- الضوء المستقطب ١٠٤
٦- انعكاس وانكسار الضوء ١٠٦
٧- الانكسار الثنائي أو المزدوج ١٠٨
٨- كيفية الحصول على الضوء المستقطب ١١٣
٨-١ طريقة الانعكاس والانكسار ١١٣
٨-٢ طريقة الامتصاص التفاضلي ١١٤
٨-٣ طريقة الانكسار المزدوج ١١٦
٩- المجهر المستقطب ١١٧
١٠- تحضير القطاع الرقيق ١٢١
١٠-١ قطع الشرائح المعدنية أو الصخرية ١٢١
١٠-٢ تجهيز القطاع الرقيق من شريحة المعدن ١٢٢
١١- المعادن في الضوء المستقطب المستوى ١٢٣
١١-١ تعيين اتجاه ذبذبة المستقطب والمحلل ١٢٤
١١-٢ الخواص البصرية للمعادن في الضوء المستقطب المستوي ١٢٥

الفصل الرابع: مجسم معاملات الانكسار

١- مجسم معامل الانكسار الأيزوتروبي ١٣٨
٢- مجسم معامل الانكسار أحادي المحور ١٣٩
٢-١ أنواع المقاطع في المعادن أحادية المحور البصري ١٤٤
٢-٢ التوجيه البصري في المعادن أحادية المحور ١٤٥
٣- مجسم معاملات الانكسار ثنائي المحور ١٤٦
٣-١ أنواع المقاطع في المعادن ثنائية المحور البصري ١٤٩
٣-٢ التوجيه البصري في المعادن ثنائية المحور ١٥١
٤- الخواص البصرية للمعادن باستخدام الضوء المستقطب ١٥٤
٤-١ التضاريس ١٥٤
٤-٢ معاملات الانكسار ١٥٦
٤-٣ التغير اللوني (التلون) ١٥٩
٤-٤ الوميض (التلألؤ) ١٦٣

الفصل الخامس: المعادن بين المستقطبين المتعامدين

١- المعادن الأيزوتروبية بين النيكولين المتعامدين ١٧٢
٢- المعادن غير الأيزوتروبية بين النيكولين المتعامدين ١٧٣
٣- الشرائح المساعدة أو الإضافية ١٧٨
٤- الخواص البصرية للمعادن باستخدام النيكول المتعامد ١٨٠
٤-١ الأيزوتروبية ١٨٠
٤-٢ ألوان التداخل ١٨١
٤-٣ قرينة (قوة) الانكسار الثنائي ١٨٦
٤-٤ الإظلام ١٨٩
٤-٥ علامة الاستطالة ١٩٦
٤-٦ التوأمة ١٩٨
٤-٧ النطاقية ٢٠١

الفصل السادس: المعادن في الضوء المستقطب المجمع

١- تكوين صور التداخل ٢٠٩
١-١ تكوين الحلقات الأيزوكروماتية ٢٠٩
١-٢ تكوين الأيزوجير ٢١٠
٢- صور التداخل أحادية المحور البصري ٢١٢

٢-١ أنواع صور التداخل أحادية المحور ٢١٣
٢-٢ تعيين العلامة البصرية من صور التداخل أحادية المحور ٢١٨
٣- صور التداخل ثنائية المحور البصري ٢٢٢
٣-١ أنواع صور التداخل ثنائية المحور ٢٢٣
٣-٢ تعيين العلامة البصرية..... ٢٢٩
٣-٣ تقدير الزاوية البصرية (2v) ٢٣٢
٤- فوائد صور التداخل ٢٣٣

الفصل السابع: الخواص البصرية لأهم المعادن السيليكاتية

١- تصنيف المعادن ٢٤١
٢- تصنيف معادن السيليكات ٢٤٥
٢-١ النيزوسيليكات (مجموعة رباعي الأوجه المستقلة) ٢٤٥
٢-٢ السوروسيليكات (مجموعة رباعي الأوجه المزدوجة) ٢٤٦
٢-٣ السيكلوسيليكات (السيليكات الحلقية) ٢٤٦
٢-٤ الأينوسيليكات (السيليكات السلسلية) ٢٤٧
٢-٥ الفيلوسيليكات (السيليكات الصفائحية) ٢٤٨
٢-٦ التكتوسيليكات (السيليكات الشبكية) ٢٤٩
٣- الصيغة الكيميائية العامة لمعادن السيليكات ٢٥٠
٤- الخواص البصرية لمعادن النيزوسيليكات ٢٥١
٤-١ مجموعة معادن الأوليفين ٢٥١
٤-٢ مجموعة الجارنت ٢٥٥
٤-٣ مجموعة معادن سيليكات الألومنيوم ٢٥٧
٤-٤ مجموعة الزيركون ٢٦٦
٤-٥ التيتانيت (سفين) ٢٦٨
٥- الخواص البصرية لمعادن السوروسيليكات ٢٧١
٥-١ الكلينوزوسيت – إبيدوت ٢٧١
٦- الخواص البصرية لمعادن السيكلوسيليكات ٢٧٣
٦-١ التورمالين ٢٧٣
٧- الخواص البصرية لمعادن الأينوسيليكات ٢٧٦
٧-١ مجموعة معادن الأمفيبول ٢٧٦
٧-٢ مجموعة البيروكسين ٢٨٥

٨- الخواص البصرية لمعادن الفيللوسيليكات ٢٩٦
٨-١ مجموعة معادن الميكا ٢٩٦
٨-٢ مجموعة الكلوريت ٣٠٥
٨-٣ مجموعة السربنتين ٣٠٨
٨-٤ التلك ٣١٠
٩- الخواص البصرية لمعادن التكتوسيليكات ٣١٢
٩-١ مجموعة ثاني أكسيد السيليكون ٣١٣
٩-٢ مجموعة الفلسبارات ٣١٩
٩-٣ مجموعة الفلسباثويدات ٣٣٦

الفصل الثامن: الخواص البصرية للمعادن غير السيليكاتية

١- مجموعة الكربونات ٣٤٧
١-١ الكالسيت ٣٤٩
١-٢ الدولوميت ٣٥١
٢- مجموعة الفوسفات ٣٥٣
٢-١ الأباتيت ٣٥٤
٢-٢ المونازيت ٣٥٦
٣- مجموعة الكبريتات ٣٥٨
٣-١ الباريت ٣٦٠
٣-٢ الجبس ٣٦٢
٤- مجموعة الهاليدات ٣٦٤
٤-١ الهاليت ٣٦٥
٤-٢ الفلوريت ٣٦٦
٥- مجموعة الأكاسيد ٣٦٧
٥-١ الكوراندم ٣٦٨
٥-٢ الروتيل ٣٧١
٥-٣ الكاسيتريت ٣٧٣
٥-٤ مجموعة سبينل ٣٧٤
المراجع ٣٧٩
ثبت المصطلحات ٣٨٥

قائمة الأشكال

شكل(٢-١) التركيب الداخلي للذرة، حيث تتكون من نواة في المنتصف تحتوي على بروتونات ذات شحنة موجبة، ونيوترونات بدون شحنة، وتحيط بالنواة الإليكترونات ذات الشحنة السالبة ٢٨

شكل(٢-٢) رسم تخطيطي يوضح الأغلفة (K-Q) التي تترتب بها الإليكترونات حول النواة، كما يوضح الشكل عدد وترتيب المدارات المختلفة في كل غلاف..... ٢٨

شكل (٢-٣) تكوين الرابطة الأيونية في كلوريد الصوديوم عن طريق ترابط بين ذرتين، حيث ينتقل إليكترون تكافؤ من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور..... ٣١

شكل (٢-٤) تكوين الرابطة التساهمية في جزيء الكلور $(Cl)^{2-}$ عن طريق اتحاد ذرتين من الكلور ومشاركة كل منهما بإليكترون واحد لاستكمال المدار الخارجي لكل ذرة..... ٣٢

شكل (٢-٥) الرابطة الفلزية كما توضحها سحابة الإليكترونات حول الأيونات الموجبة..... ٣٤

شكل (٢-٦) رابطة فان درفال الناتجة من الأقطاب مؤقتة التغير..... ٣٤

شكل(٢-٧) الرابطة الهيدروجينية، تجاذب كهربي ضعيف بين جزيئات الماء ٣٥

شكل (٢-٨) التركيب الشبكي الفراغي لبلورة معدن الهاليت (NaCl)، وفيه نجد أن أيونات كل من الصوديوم Na والكلور Cl تترتب في الاتجاهات الثلاثة، يمثل شكل ثماني الأوجة خلية الوحدة ٣٦

شكل (٢-٩) الأربعة عشر بنية فراغية في الفصائل البلورية المختلفة ٣٨

شكل (٢-١٠) أبسط وحدات الترتيب الفراغي ثنائية الأبعاد الممكنة، والتي تكون البنيات الفراغية بالتكرار المنتظم..... ٣٨

شكل (٢-١١) تكوين رباعي الأوجه السيليكاتي $(SiO4)^{4-}$ عن طريق ترابط أربعة ذرات من الأكسجين مع ذرة واحدة من السيليكون، ويكون عدد تناسق السليكون يساوي٤ ..... ٤٠

شكل (٢-١٢) بلورة لمعدن الكوارتز تبين عناصر البلورة ممثلة بالأوجه البلورية، والأحرف البلورية والزوايا المجسمة ٤٦
شكل (٢-١٣) الزاوية بين الوجهية الناتجة من تلاقي أي وجهين بلوريين متجاورين، وتقدر بقيمة الزاوية المحصورة بين العمودين المقامين على الوجهين.. ٤٧
شكل (٢-١٤) منقل التماس الذي يستخدم في قياس الزاوية بين الوجهية في البلورة... ٤٧
شكل (٢-١٥) محاور التماثل الدورانية: أ- محور ثنائي التماثل، ب- محور ثلاثي التماثل، ج- محور رباعي التماثل، د- محور سداسي التماثل ٤٩
شكل(٢-١٦) (أ) مستويات التماثل (m1,m2, m3) في البلورة، (ب) مركز تماثل (n) البلورة ٥٠
شكل (٢-١٧) محاور التماثل (محاور تماثل ثنائية وثلاثية ورباعية) في إحدي بلورات فصيلة المكعب ٥١
شكل (٢-١٨) المحاور البلورية (a, b, c) والزوايا المحورية (α, β, γ)..... ٥٢
شكل (٢-١٩) التقاطعات النسبية للوجه XYZ والوجه ABC..... ٥٤
شكل (٢-٢٠) البلورة البسيطة (أ)، البلورة المركبة (ب)، الشكل البلوري المغلق (ج) والشكل البلوري المفتوح (د) ٥٦
شكل (٢-٢١) بعض الأشكال البلورية في الفصائل البلورية المختلفة..... ٥٧
شكل (٢-٢٢) المحاور البلورية في فصيلة المكعب ٥٨
شكل (٢-٢٣) المحاور التماثلية الدورانية في نظام سداسي ثماني الأوجه ٦٠
شكل (٢-٢٤) أهم الأشكال البلورية لنظام سداسي ثماني الأوجه ٦١
شكل (٢-٢٥) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة المكعب، (أ) فلوريت، (ب) سبينل، (ج و د) جارنت، (هـ) هاليت، (و) بيريت ٦٢
شكل(٢-٢٦) المحاور البلورية في فصيلة الرباعي ٦٢
شكل (٢-٢٧) بعض الأشكال البلورية لنظام الهرم المنعكس الرباعي المزدوج. ٦٤
شكل (٢-٢٨) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة الرباعي. (أ) زركون، (ب) ولفينيت، (ج) ستيلبيت، (د) كاسيتريت ٦٥
شكل (٢-٢٩) المحاور البلورية في فصيلة السداسي ٦٦

شكل (٢-٣٠) عناصر التماثل في النظام العادي لفصيلة السداسي. (أ) مستويات التماثل، (ب) محاور التماثل ٦٧
شكل (٢-٣١) بعض الأشكال البلورية في نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج ٦٨
شكل (٢-٣٢) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة السداسي. (أ) هانكسيت، (ب) كوارتز، (ج) رودوكروسيت، (د) بيريل، (هـ) تورمالين، (و) جرافيت ٦٩
شكل (٢-٣٣) المحاور البلورية في فصيلة الثلاثي ٧٠
شكل (٢-٣٤) بعض أهم الأشكال البلورية في نظام مثلثي الأوجه الثلاثي..... ٧١
شكل (٢-٣٥) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة الثلاثي، (أ) كالسيت، (ب) دولوميت ٧٢
شكل (٢-٣٦) المحاور البلورية في فصيلة المعيني القائم..... ٧٣
شكل (٢-٣٧) بعض الأشكال البلورية في فصيلة المعيني القائم، هرم منعكس معيني (111) قائم ومنشور معيني قائم (011)..... ٧٤
شكل (٢-٣٨) مسطوحات معيني قائم، أمامي (b) وجانبي (a) وقاعدي(c)..... ٧٥
شكل (٢-٣٩) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة المعيني القائم. (أ) باريت، (ب) شتورواليت، (ج) أوليفين، (د) توباز، (هـ) كبريت، (و) أندالوسيت ٧٥
شكل (٢-٤٠) المحاور البلورية في فصيلة الميل الواحد..... ٧٦
شكل (٢-٤١) عناصر التماثل في نظام منشور الميل الواحد..... ٧٧
شكل (٢-٤٢) أ- مسطوحات الميل الواحد، أمامي (100)، جانبي (010) وقاعدي (001)، ب- نصف هرم منعكس (111) ٧٨
شكل (٢-٤٣) صور لبعض أهم المعادن التي تتبلور في فصيلة الميل الواحد. (أ) أورثوكليز، (ب) جبس، (ج) ميكا، (د) إيجيرين، (هـ) أكتينوليت، (و) أوجيت ٧٨
شكل (٢-٤٤) المحاور البلورية في فصيلة الميول الثلاثة ٧٩
شكل (٢-٤٥) بعض الأشكال البلورية في فصيلة الميول الثلاثة: (أ) المسطوحات، (ب) ربع هرم منعكس، (ج) نصف منشور، (د) نصف مسقوف ٨٠

شكل (٢-٤٦) صور لبعض المعادن التي تتبلور في فصيلة الميول الثلاثة: (أ) ميكروكلين، (ب) كيانيت، (ج) لابرادوريت، (د) توركواز..... ٨١
شكل (٣-١) الحركة الدورية للقمر حول الأرض..... ٨٨
شكل (٣-٢) تغير المسافة x مع الزاوية θ والزمن t أثناء الحركة الدورية..... ٨٨
شكل (٣-٣) العلاقة بين الموجات والحركات الدورية كما يوضحها صعود قطعة من الفلين وهبوطها في حركة دورية أو توافقية، عند تحرك موجة الماء على سطح بحيرة..... ٩٠
شكل (٣-٤) اهتزاز حبل مشدود ذي طرف حر..... ٩١
شكل (٣-٥) قطار مستمر من الموجات يصدر عن حركة الحبل المشدود باستمرار الحركة التوافقية البسيطة..... ٩١
شكل (٣-٦) أطوال موجات الطاقة الإشعاعية الكهرومغنطيسية وألوان الطيف المرئي ٩٤
شكل (٣-٧) رسم توضيحي لموجة كهرومغنطيسية توضح اتجاه كل من المتجه الكهربي والمتجه المغنطيسي أثناء الحركة الموجية..... ٩٥
شكل (٣-٨) تغير الطول الموجي والسرعة للضوء عند انتقاله من وسط إلى وسط آخر مختلف في الكثافة. وفي الرسم نجد أن موجة ضوئية تتذبذب في الهواء ولها طول موجي λ_a، وعندما تدخل هذه الموجة وسطًا آخرًا مختلفًا في الكثافة مثل الزجاج فتقل سرعتها ويقل طولها الموجي λ_g، وعندما تغادر الموجة الضوئية الزجاج تعود إلى وضعها الأصلي كما كانت قبل دخولها الزجاج..... ٩٦
شكل(٣-٩) رسم تخطيطي يوضح الحركة الموجية..... ٩٨
شكل (٣-١٠) رسم توضيحي يبين حركة موجتين ضوئيتين على نفس الخط ولهما نفس الوجه (أ) أو وجهًا مختلفًا (ب) ٩٩
شكل(٣-١١) حركتان موجيتان لهما فرق طور يساوي $\pi/2$ وفرق مسار يساوي $\lambda/4$ ١٠٠
شكل (٣-١٢) رسم توضيحي يبين حركة مجموعة من الموجات الضوئية وعلاقتها بجبهة الموجة Wave front..... ١٠٠
شكل(٣-١٣) سطحا السرعة الشعاعي في المواد الأيزوتروبية (أ) وغير الأيزوتروبية (ب)..... ١٠١

شكل (٣-١٤) العلاقة بين اتجاه انتشار الموجة وكل من اتجاه ومستوى ذبذبتها..... ١٠٢
شكل (٣-١٥) تداخل موجتان ضوئيتان بينهما فرق مسار λ¼..... ١٠٣
شكل (٣-١٦) تداخل موجتان ضوئيتان ليس بينهما فرق مسار..... ١٠٣
شكل (٣-١٧) تداخل موجتان ضوئيتان بينهما فرق مسار λ½..... ١٠٤
شكل (٣-١٨) اتجاه ذبذبة الضوء العادي (أ) والضوء المستقطب (ب)..... ١٠٥
شكل (٣-١٩) الحصول على ضوء مستقطب باستخدام وسائل الاستقطاب المعروفة باسم المستقطب..... ١٠٥
شكل (٣-٢٠) انعكاس وانكسار الضوء عند الحد الفاصل بين مادتين، إذا كانت زاوية السقوط أقل من الزاوية الحرجة..... ١٠٦
شكل (٣-٢١) انكسار الضوء عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة..... ١٠٨
شكل (٣-٢٢) تجربة الكالسيت لتوضيح الانكسار الثنائي في المعادن غير الأيزوتروبية..... ١٠٩
شكل (٣-٢٣) الشعاع العادي O-ray وغير العادي E-ray في المعادن أحادية المحور..... ١١٠
شكل (٣-٢٤) سلوك الضوء العادي والمستقطب في المواد الأيزوتروبية (أ و ب) والمواد غير الأيزوتروبية (ج) ١١٢
شكل (٣-٢٥) استقطاب الضوء بالانعكاس والانكسار..... ١١٤
شكل (٣-٢٦) الاستقطاب التفاضلي للضوء كما توضحه بلورة معدن التورمالين..... ١١٥
شكل (٣-٢٧) فكرة عمل منشور نيكول للحصول على ضوء مستقطب..... ١١٦
شكل (٣-٢٨) أهم أجزاء المجهر المستقطب أو ميكروسكوب الصخور..... ١١٨
شكل (٣-٢٩) مرور الضوء في المجهر حسب الدراسة الكونوسكوبية (أ) والدراسة الأورثوسكوبية (ب) ١٢٠
شكل (٣-٣٠) صورة لإحدى ماكينات قطع الصخور..... ١٢١
شكل (٣-٣١) صورة لشريحة معدن بسمك ٨/١ بوصة وقد تم لصقها على شريحة زجاجية ١٢٢
شكل (٣-٣٢) صورة توضح الشكل النهائي للقطاع الرقيق ١٢٣

شكل (٣-٣٣) اتجاه ذبذبة الضوء الذي يمرره المستقطب ١٢٣
شكل (٣-٣٤) صورة لقطاع بيوتيت به انفصام، يوضح أكبر درجة امتصاص عندما يكون اتجاه الانفصام موازيًا لاتجاه ذبذبة المستقطب وعموديًا على اتجاه ذبذبة المحلل ١٢٤
شكل (٣-٣٥) صورة لقطاع تورمالين منشوري، يوضح أكبر امتصاص عندما يكون اتجاه طول البلورة عموديًا على اتجاه ذبذبة المستقطب وموازيًا لاتجاه ذبذبة المحلل..... ١٢٤
شكل (٣-٣٦) صور ميكروسكوبية لبعض المعادن في الضوء العادي، توضح اللون الحقيقي للمعادن، (أ) معدن أباتيت عديم اللون، (ب) معدن شتوروليت أصفر اللون..... ١٢٦
شكل (٣-٣٧) رسم تخطيطي يوضح البلورات كاملة الأوجه البلورية (أ) وناقصة الأوجه البلورية (ب) وعديمة الأوجه البلورية (ج)..... ١٢٧
شكل (٣-٣٨) بعض الهيئات البلورية في بعض المعادن..... ١٢٨
شكل (٣-٣٩) صورة ميكروسكوبية توضح انفصامًا في اتجاه واحد في معدن البيوتيت..... ١٢٩
شكل (٣-٤٠) صورة ميكروسكوبية توضح اتجاهات الانفصام في معدني البيروكسين والأمفيبول في القطاع القاعدي..... ١٣٠
شكل (٣-٤١) صورة ميكروسكوبية توضح تشققات على شكل Y في معدن الأوليفين ١٣١
شكل (٣-٤٢) صورة ميكروسكوبية توضح تغير معادن الفلسبارات إلى معادن طين (الجزء الأيمن من الصورة) ١٣٢
شكل (٣-٤٣) صورة ميكروسكوبية لبلورة كاملة الأوجة في معدن لوسيت توضح بعض المحتويات الدائرية ١٣٢
شكل (٤-١) سطح السرعة الشعاعي (سطح الموجة) في المعادن الأيزوتروبية (أ) والمواد غير الأيزوتروبية (ب) ١٣٨
شكل (٤-٢) مجسم معاملات الانكسار في المواد الأيزوتروبية ١٣٩
شكل (٤-٣) المقطع الاستوائي في البلورات أحادية المحور ١٤٠

شكل (٤-٤) رسم تخطيطي يوضح المقطع الرئيسي في: (أ) بلورة أحادية المحور موجبة (ب) بلورة أحادية المحور سالبة ١٤٠
شكل (٤-٥) مقطع رئيسي في بلورة أحادية المحور موجبة يبين تغير قيم معاملات الانكسار بتغير زوايا سقوط الموجات الضوئية ١٤٣
شكل (٤-٦) أنواع المقاطع في المعادن أحادية المحور البصري..... ١٤٥
شكل (٤-٧) علاقة المحاور البلورية والاتجاهات البصرية في بعض المعادن أحادية المحور..... ١٤٦
شكل (٤-٨) مستويات التماثل ومحاور التماثل في مجسم معاملات الانكسار ثنائي المحور..... ١٤٧
شكل (٤-٩) المقاطع الدائرية والمحاور البصرية والزاوية البصرية في مجسم معاملات الانكسار ثنائي المحور..... ١٤٨
شكل (٤-١٠) مجسم معاملات الانكسار ثنائي المحور لبلورة سالبة وأخرى موجبة ١٤٩
شكل (٤-١١) المقاطع الدائرية (الأيزوتروبية) في المعادن ثنائية المحور البصري... ١٥٠
شكل (٤-١٢) المقاطع الرئيسية في المعادن ثنائية المحور البصري..... ١٥٠
شكل (٤-١٣) المقاطع نصف العشوائية في المعادن ثنائية المحور البصري..... ١٥١
شكل (٤-١٤) رسم تخطيطي يوضح التوجيه البصري في بلورات فصائل: (أ) المعيني القائم، (ب) أحادي الميل، (ج) ثلاثي الميل..... ١٥٣
شكل (٤-١٥) رسم تخطيطي يوضح التوجيه البصري في بعض بلورات المعادن التي تتبلور في فصائل المعيني القائم (أوليفين)، أحادي الميل (أجيت)، (ج) ثلاثي الميل (كيانيت) ١٥٣
شكل (٤-١٦) صور ميكروسكوبية توضح: أ- تضاريس مرتفعة في معدن الجارنت، ب- تضاريس منخفضة في معدن الكوارتز..... ١٥٥
شكل (٤-١٧) انكسار الضوء عند الحد الفاصل بين المعدن والكندا بلسم: (أ) انكسار الضوء وتفرقه مما يعني تضاريس مرتفعة سالبة، (ب) لا يحدث انعكاس أو انكسار للضوء ويدل على تضاريس المعدن الضعيفة، (ج) انكسار الضوء وتجمعه مما يعني تضاريس مرتفعة موجبة ١٥٦

شكل (٤-١٨) صورة ميكروسكوبية لقطاع في صخر يحتوي على معدني الأوليفين والبلاجيوكليز، حيث التضاريس المرتفعة لمعدن الأوليفين والتضاريس المنخفضة للبلاجيوكليز ١٥٧
شكل (٤-١٩) تعيين معامل الانكسار باستخدام خط بيكا: أ- خط بيكا يتحرك للخارج (معامل انكسار المعدن < الوسط)، ب- خط بيكا يتحرك للداخل (معامل انكسار المعدن> الوسط)..... ١٥٨
شكل (٤-٢٠) رسم تخطيطي يوضح التغير اللوني في معدن البيوتيت نتيجة تعرض الشعاعين داخل المعدن للامتصاص غير المتساوي ١٦٠
شكل (٤-٢١) رسم تخطيطي يوضح التغير اللوني في معدن التورمالين ١٦١
شكل (٤-٢٢) رسم تخطيطي يوضح التغير اللوني في معدن الهورنبلند..... ١٦٢
شكل (٤-٢٣) صورة ميكروسكوبية لمعدن الهورنبلند توضح التغير اللوني..... ١٦٢
شكل (٥-١) رسم تخطيطي يوضح مرور الضوء في الميكروسكوب عند وجود المستقطب والمحلل في مسار الضوء وبدون شريحة المعدن..... ١٧١
شكل (٥-٢) رسم تخطيطي يوضح مرور الضوء في المعدن الأيزوتروبي بين المستقطب والمحلل..... ١٧٣
شكل (٥-٣) رسم تخطيطي يوضح مسار الضوء في المعدن غير الأيزوتروبي بين المستقطب والمحلل..... ١٧٤
شكل (٥-٤) رسم تخطيطي يوضح فرق المسار Δ بين الشعاعين الخارجين من قطاع المعدن..... ١٧٥
شكل (٥-٥) تداخل الموجات الضوئية الخارجة من المحلل يعتمد على التأخر Δ، فيكون تداخلاً بنائيًا اذا كان التأخر يساوي عددًا خارجًا عن التسلسل بمقدار $\lambda/2$ (المساحات البيضاء في الشكل العلوي)، أو تداخلاً هدميًا (فرق المسار بين الشعاعين يساوي أي عدد كامل من أطوال الموجة) ١٧٦
شكل (٥-٦) رسم تخطيطي يوضح: (أ) وضع الإضاءة في المعدن غير الأيزوتروبي والذي ينتج عندما تكون اتجاهات الذبذبة في المعدن مائلة على اتجاه ذبذبة كل من المستقطب والمحلل، (ب) وضع الإظلام في المعدن غير الأيزوتروبي يحدث عندما ينطبق اتجاهي ذبذبة المعدن مع اتجاهي ذبذبة النيكولين ١٧٧

شكل (٥-٧) شكل ٥-٧: الشرائح الإضافية في الميكروسكوب المستقطب..... ١٧٩
شكل (٥-٨) وتد الكوارتز وزيادة فرق الوجه من صفر إلى أعلى اعتمادا على الزيادة في سمك الوتد ١٨٠
شكل (٥-٩) لوحة ميكل ليفي لألوان التداخل..... ١٨٣
شكل (٥-١٠) صورة مجهرية توضح ألوان التداخل متدرجة من أقل رتبة عند الحافة إلى أعلى رتبة عند مركز البلورة ١٨٤
شكل (٥-١١) صورة مجهرية توضح لون التداخل فوق الأزرق الشاذ في معدن الكلوريت ١٨٦
شكل (٥-١٢) صور مجهرية لبعض المعادن بين النيكولين توضح كيفية تقدير قرينة الانكسار، أ- معدن الكوارتز له قرينة انكسار ثنائي ضعيفة (لون تداخله رمادي من الرتبة الأولى)، ب- معدن الأوجيت له قرينة انكسار ثنائي متوسطة (لون تداخله أزرق من الرتبة الثانية)، ج- معدن سفين له قرينة انكسار ثنائي قوية (لون تداخله أبيض مصفر من الرتب العليا) ١٨٧
شكل (٥-١٣) لوحة ميكل ليفي لقرينة الانكسار المزدوج، وتمثل العلاقات بين ألوان التداخل وسمك قطاع المعدن وقرينة الانكسار المزدوج ١٨٨
شكل (٥-١٤) رسم تخطيطي يبين الإظلام الموازي في المعادن غير الأيزوتروبية: (أ) اتجاهات الانفصام والحافة البلورية مائلة على الشعرة الرأسية والمعدن في وضع إضاءة، (ب) اتجاهات الانفصام والحافة البلورية موازية للشعرة الرأسية والمعدن في وضع إظلام..... ١٩٠
شكل (٥-١٥) صور مجهرية توضح الإظلام الموازي في معدن البيروكسين المعيني القائم..... ١٩٠
شكل (٥-١٦) رسم تخطيطي يبين الإظلام المائل في المعادن غير الأيزوتروبية: (أ) اتجاهات الانفصام والحافة البلورية مائلة على الشعرة الرأسية والمعدن في وضع إظلام، (ب) اتجاهات الانفصام والحافة البلورية موازية للشعرة الرأسية والمعدن في وضع إضاءة..... ١٩١

شكل (٥-١٧) صور مجهرية توضح الإظلام المائل في معدن البيروكسين الأحادي الميل ١٩١
شكل (٥-١٨) رسم تخطيطي يوضح: (أ) زاوية الإظلام الموجبة (حركة الزاوية من وضع الإظلام إلى الوضع الذي ينطبق أو يتوازى فيه الانفصام أو الاتجاه البلوري مع الشعرة الرأسية في اتجاه عكس دوران عقارب الساعة)، (ب) زاوية الإظلام السالبة (الحركة في اتجاه دوران عقارب الساعة) ١٩٢
شكل (٥-١٩) رسم تخطيطي يبين الإظلام المتماثل في المعادن غير الأيزوتروبية، حيث المعدن في وضع الإظلام ومستويا ذبذبتي النيكول المتعامد (الشعرتين في العينية) موازيان لاتجاه محاور المعين ١٩٣
شكل (٥-٢٠) صورة مجهرية توضح معدن شتورولیت في وضع الإظلام المتماثل ١٩٤
شكل (٥-٢١) صورة مجهرية توضح الإظلام المتموج في معدن كوارتز تعرض لعمليات تشوه ١٩٥
شكل (٥-٢٢) صورة مجهرية توضح أوضاع مختلفة للإظلام في معدن البلاجيوكليز المتمنطق نتيجة الاختلاف في التركيب الكيميائي..... ١٩٥
شكل (٥-٢٣) التعرف على نوع الذبذبة سريعة أم بطيئة (علامة الاستطالة) في المعدن باستخدام شريحة الجبس ١٩٧
شكل (٥-٢٤) رسم تخطيطي يوضح أنواعًا مختلفة من البلورات التوأمية تبين مساحات مقسمة بوضوح ولها ألوان تداخل متباينة ١٩٩
شكل (٥-٢٥) صورة مجهرية توضح التوأمة الصفائحية في معادن البلاجيوكليز ١٩٩
شكل (٥-٢٦) صورة مجهرية توضح التوأمة البسيطة في معدن الأمفيبول ٢٠٠
شكل (٥-٢٧) صورة مجهرية توضح التوأمة الشبكية في معدن الميكروكلين..... ٢٠١
شكل (٥-٢٨) صورة مجهرية توضح التوأمة المركبة في معادن البلاجيوكليز ٢٠١
شكل (٥-٢٩) صورة مجهرية توضح التمنطق في معدن البلاجيوكليز بين النيكولين.. ٢٠٢
شكل (٦-١) رسم تخطيطي يوضح سقوط الضوء في شكل مخروط على قطاع المعدن بواسطة العدسة المجمعة ٢٠٨

شكل (٦-٢) رسم توضيحي لمسار الضوء باستخدام العدسة المجمعة وتكوين الحلقات الأيزوكروماتية: (أ) باستخدام الضوء أحادي اللون، (ب) باستخدام الضوء الأبيض ٢١١

شكل (٦-٣) صورة تداخل محور بصري أحادية المحور توضح تكوين الأيزوجير في مواضع انطباق اتجاهي الذبذبة في المعدن (ω و ε) مع اتجاهي ذبذبة النيكولين (AA وPP) ٢١٢

شكل (٦-٤) مجسم معاملات الانكسار لبلورة أحادية المحور موجبة يبين القطاعات المختلفة ٢١٣

شكل (٦-٥) صورة تداخل ممركزة أو صورة محور بصري أحادية المحور: (أ) كيفية تكوين الصورة، (ب) صورة تداخل مجهرية لمعدن له قرينة انكسار ثنائي مرتفعة ويزداد لون الحلقات في الرتبة كلما اتجهنا بعيدا عن نقطة مرور المحور البصري ٢١٤

شكل (٦-٦) تغير شكل صورة التداخل بتغير زاوية ميل المقطع على المحور البصري: (أ) الميل خفيف على المحور البصري، (ب) الميل كبير، تمثل (i) مركز مجال الرؤية وتمثل (M) نقطة خروج المحور البصري ٢١٥

شكل (٦-٧) صورة تداخل غير ممركزة أحادية المحور (الميل صغير على المحور البصري)، حيث تتحرك نقطة خروج المحور البصري حول مركز مجال الرؤية في مسار دائري وتعود إلى وضعها الأصلي بعد ٣٦٠° ويكون اتجاه دوران الأيزوجير هو نفس اتجاه دوران مسرح الميكروسكوب ٢١٦

شكل (٦-٨) (أ) تكوين صورة التداخل في القطاع المائل بدرجة كبيرة على المحور البصري، (ب) حركة الأيزوجير في صورة تداخل غير ممركزة أحادية المحور (الميل كبير على المحور البصري) حيث يظهر الأيزوجير على هيئة ذراع واحد فقط في مجال الرؤية وعند دوران مسرح الميكروسكوب يترك هذا الذراع مجال الرؤية لكي يدخل ذراعًا آخر متعامدًا على السابق..... ٢١٧

شكل (٦–٩) (أ) تكوين صورة التداخل الوميضية من القطاع الموازي للمحور البصري، (ب) حركة الأيزوجير (1 ← 2) في صورة تداخل وميضية أحادية المحور ٢١٨
شكل (٦–١٠) العلامة البصرية من صورة المحور البصري أحادية المحور: أ– معدن موجب، ب– معدن سالب ٢١٩
شكل (٦–١١) أ– صورة تداخل محور بصري لمعدن الكالسيت قبل (١) وبعد (٢) وضع شريحة الجبس حيث العلامة البصرية سالبة، ب– صورة تداخل محور بصري لمعدن الكوارتز قبل (١) وبعد (٢) وضع شريحة الجبس حيث العلامة البصرية موجبة..... ٢٢٠
شكل (٦–١٢) العلامة البصرية في صورة التداخل غير الممركزة (الميل خفيف) ... ٢٢١
شكل (٦–١٣) العلامة البصرية في صورة التداخل غير الممركزة (الميل كبير) ٢٢١
شكل (٦–١٤) المنحنيات الأيزوكروماتية في قطاع عمودي على المنصف الحاد (Bxa) حيث يوجد محورين بصريين (OA)، وتترتب الأيزوكروماتات حول نقطتي مرور المحورين البصريين (M)..... ٢٢٣
شكل (٦–١٥) المقاطع المختلفة في بلورات المعادن ثنائية المحور البصري: ١– قطاع عمودي على منصف الزاوية الحادة، ٢– قطاع عمودي على منصف الزاوية المنفرجة، ٣– قطاع عمودي على أحد المحورين البصريين، ٤– قطاع عمودي على العمود البصري (Y)، ٥– قطاعات مائلة على الاتجاهات السابقة ٢٢٤
شكل (٦–١٦) صورة تداخل المنصف الحاد في الوضع الموازي ووضع ٤٥ درجة. الشكل العلوي رسم تخطيطي بينما الشكل السفلي صور مجهرية ٢٢٦
شكل (٦–١٧) صورة تداخل المنصف المنفرج في الوضع الموازي ووضع ٤٥ درجة ٢٢٧
شكل (٦–١٨) (أ) صورة تداخل المحور البصري في الوضع الموازي ووضع ٤٥ درجة، (ب) صورة مجهرية لصورة تداخل المحور البصري في الوضع المنصف، لاحظ أن الأيزوجير مستقيم والحلقات الملونة دائرية نظراً لكبر الزاوية البصرية..... ٢٢٨

شكل (٦-١٩) تعيين العلامة البصرية من صورة المنصف الحاد ٢٣٠
شكل (٦-٢٠) تعيين العلامة البصرية لمعدن المسكوفيت، (أ) الصورة قبل وضع شريحة الجبس، (ب) الصورة بعد وضع شريحة الجبس حيث توضح العلامة البصرية السالبة ٢٣٠
شكل (٦-٢١) العلامة البصرية في صورة المحور البصري ٢٣٢
شكل (٦-٢٢) تقدير الزاوية البصرية من صورة المنصف الحاد ٢٣٣
شكل (٦-٢٣) تقدير الزاوية البصرية من صورة المحور البصري ٢٣٣
شكل (٧-١) رباعي الأوجه السيليكاتي ٢٤٤
شكل (٧-٢) وحدة النيزوسيليكات (رباعي الأوجه المفرد) ٢٤٦
شكل (٧-٣) رباعي الأوجه المزدوج ٢٤٦
شكل (٧-٤) السيليكات الحلقية (حلقة سداسية) ٢٤٧
شكل (٧-٥) السيليكات السلسلية: أ- سلسلة مزدوجة ، ب- سلسلة مفردة..... ٢٤٨
شكل (٧-٦) السيليكات الصفائحية (اتحاد وحدات رباعي الأوجه على هيئة صفائحية) ٢٤٩
شكل (٧-٧) السيليكات الشبكية (اتحاد وحدات رباعي الأوجه على هيئة شبكة ثلاثية الأبعاد) ٢٤٩
شكل (٧-٨) التركيب الكيميائي لمعادن الأوليفين ٢٥٢
شكل (٧-٩) صور مجهرية لمعدن الأوليفين: أ- صورة لبلورة كاملة الأوجه البلورية في صخر البازلت باستخدام الضوء المستقطب المستوى، ب- صورة لبلورة عديمة الأوجه البلورية في الضوء المستقطب المستوى في صخر الجابرو توضح التشققات على شكل حرف Y والتغير إلى معدن السربنتين على هذه التشققات ٢٥٣
شكل (٧-١٠) التوجيه البصري في بلورة لمعدن الأوليفين: أ- علاقة المحاور البلورية بالمحاور البصرية، ب- قطاع في بلورة كاملة الأوجه البلورية مبين عليها اتجاه المحور البلوري c..... ٢٥٤
شكل (٧-١١) صور مجهرية لمعدن الجارنت في الضوء المستقطب المستوى: أ- بلورات كاملة الأوجه البلورية فى صخر الشيست، ب- بلورة متساوية الأبعاد دائرية بها محتويات، ج- بلورة عديمة الأوجه بها تشققات ومحتويات من معدن الكوارتز وأكاسيد الحديد ٢٥٦

شكل (٧-١٢) شكل تخطيطى يوضح ظروف ثبات معادن سيليكات الألومنيوم بتغير درجة الحرارة والضغط ٢٥٧
شكل (٧-١٣) صور مجهرية لمعدن الأندالوسيت في الضوء المستقطب المستوى توضح الشكل البلوري لهذا المعدن: أ- قطاع طولي يوضح الشكل المنشوري والانفصام، ب- قطاع عرضي يوضح الشكل المربع للمعدن كما يوضح المحتويات الكربونية في منتصف البلورة ٢٥٨
شكل(٧-١٤) صور مجهرية لمعدن السيليمانيت: أ-صورة في الضوء المستقطب المستوي توضح الشكل البلوري الإبري، ب-صورة في الضوء المتعامد توضح الشكل المنشوري وألوان التداخل من الرتبة الثانية ... ٢٦٠
شكل (٧-١٥) التوجيه البصري في معدن السيليمانيت..... ٢٦١
شكل (٧-١٦) صور مجهرية لمعدن الكيانيت: أ- صورة في الضوء المستقطب المستوي توضح البلورات المستطيلة عديمة اللون، ب- الصورة أ ولكن باستخدام النيكول المتعامد حيث توضح ألوان تداخل الرتبة الأولى وانحناء البلورات ٢٦٢
شكل (٧-١٧) التوجيه البصري في معدن الكيانيت ٢٦٣
شكل (٧-١٨) صور مجهرية لمعدن شتوروليت في الضوء المستقطب المستوى: أ- قطاع طولي يوضح اللون الأصفر الذهبي، ب- قطاع عرضي يوضح بلورة سداسية الجوانب ٢٦٥
شكل (٧-١٩) التوجيه البصري في معدن شتوروليت ٢٦٥
شكل (٧-٢٠) صور مجهرية لمعدن الزركون: أ- بلورة منشورية صغيرة بين النيكولين توضح لون تداخل من الرتب العليا، ب- صورة لمعدن البيوتيت في الضوء المستقطب المستوى توضح هالات سوداء حول معدن الزركون داخل البيوتيت ٢٦٧
شكل (٧-٢١) لتوجيه البصري في معدن الزركون ٢٦٨
شكل (٧-٢٢) صور مجهرية لمعدن التيتانيت: أ- بلورة وتدية الشكل في الضوء المستقطب المستوى، ب- نفس الصورة أ ولكن باستخدام النيكول المتعامد توضح ألوان تداخل من الرتب العليا ٢٦٩

شكل (٧-٢٣) التوجيه البصري في معدن التيتانيت ٢٧٠
شكل (٧-٢٤) صور مجهرية لمعدن الإبيدوت: أ- صورة باستخدام الضوء المستقطب المستوى تبين البلورات المستطيلة للمعدن، ب- صورة باستخدام النيكول المتعامد تبين ألوان تداخل من الرتبة الثانية ٢٧٢
شكل (٧-٢٥) التوجيه البصري في معدن الإبيدوت ٢٧٣
شكل (٧-٢٦) صور مجهرية لمعدن التورمالين: أ- بلورات منشورية لتورمالين أزرق، ب- بلورات مثلثية الشكل في القطاع القاعدي لتورمالين أصفر ٢٧٤
شكل(٧-٢٧) التوجيه البصري لمعدن التورمالين ٢٧٥
شكل (٧-٢٨) رسم تخطيطي لبلورة أمفيبول توضح المقطع الطولي والمقطع المستعرض ٢٧٧
شكل (٧-٢٩) التركيب الكيميائي لمعادن الأمفيبول الكلسي ٢٧٨
شكل (٧-٣٠) صور مجهرية لمعدن الهورنبلند باستخدام الضوء المستقطب المستوي: أ- بلورة توأمية توضح اللون الأخضر والبني للمعدن كما توضح الشكل المنشوري للبلورة في القطاع الطولي، ب- قطاع مستعرض سداسي الجوانب يبين اتجاهي انفصام بزاوية ١٢٤° ٢٨١
شكل (٧-٣١) التوجيه البصري لمعدن الهورنبلند ٢٨١
شكل(٧-٣٢) صور مجهرية لمعدني التريموليت (أ) والأكتينوليت (ب) في الضوء المستقطب المستوي ٢٨٣
شكل (٧-٣٣) صور مجهرية لمعدن الريبيكيت باستخدام الضوء المستقطب المستوي: أ- بلورة توضح اللون الأخضر المزرق والشكل المنشوري في القطاع الطولي، ب- قطاع مستعرض سداسي الجوانب ٢٨٥
شكل (٧-٣٤) رسم تخطيطي لبلورة بيروكسين توضح المقطع الطولي والمقطع المستعرض ٢٨٦
شكل (٧-٣٥) التركيب الكيميائي لمعادن البيروكسين الأكثر انتشارًا ٢٨٧
شكل (٧-٣٦) صور مجهرية لمعدن إنستاتيت في الضوء المستقطب المستوي (أ) والضوء المتعامد (ب) ٢٨٨

شكل (٧-٣٧) التوجيه البصري في معادن البيروكسين المعيني القائم ٢٨٩
شكل (٧-٣٨) صور مجهرية لمعدن الأوجيت: أ- اللون البني الفاتح للمعدن في الضوء المستقطب، ب- بلورة ثمانية الجوانب توضح التوأمة البسيطة بين النيكولين ٢٩١
شكل (٧-٣٩) التوجيه البصري في معدن الأوجيت ٢٩٢
شكل (٧-٤٠) صور مجهرية للديوبسيد في صخور الرخام المتحول: أ- صورة في الضوء المستقطب المستوي لقطاع قاعدى يوضح اتجاهى انفصام متعامدين، ب- نفس القطاع باستخدام النيكول المتعامد ٢٩٣
شكل (٧-٤١) صور مجهرية في الضوء المستقطب لمعدن الإيجيرين توضح: أ- اتجاهات الانفصام في مقاطع مختلفة للمعدن، ب- اللون الأخضر الزرعي للمعدن ٢٩٥
شكل (٧-٤٢) رسم تخطيطي لبلورة الميكا توضح مستوى الانفصام واتجاه الانفصام الذي يفصل بين الصفائح ٢٩٧
شكل(٧-٤٣) صور مجهرية لمعدن البيوتيت في القطاع الموازي للمسطوح القاعدي (أ) والقطاع الطولي العمودي على المسطوح القاعدي (ب)، كما توضح الصور الشكل البلوري واللون ٢٩٩
شكل (٧-٤٤) التوجيه البصري في معدن البيوتيت ٣٠٠
شكل (٧-٤٥) صور مجهرية لمعدن المسكوفيت في القطاع الموازي للمسطوح الجانبي (010) توضح اتجاه الانفصام (أ)، وألوان التداخل من الرتبة الثالثة (ب) ٣٠٢
شكل (٧-٤٦) التوجيه البصري في معدن المسكوفيت ٣٠٢
شكل ٧(-٤٧) التوجيه البصرى فى معدن الليبيدوليت ٣٠٤
شكل (٧-٤٨) صور مجهرية لمعدن الكلوريت في الضوء المستقطب (أ) والضوء المتعامد (ب) ٣٠٦
شكل (٧-٤٩) التوجيه البصري في معدن الكلوريت ٣٠٧
شكل (٧-٥٠) صور مجهرية بين النيكولين لبلورات من الأوليفين تحولت جزئيا (أ) أو كليا (ب) إلى معادن السربنتين ٣٠٩

شكل (٧-٥١) التوجية البصري في معدن السربنتين ٣١٠
شكل (٧-٥٢) صور مجهرية لمعدن التلك في صخر تلك تريموليت شيست، توضح اللون والشكل البلوري للمعدن في الضوء المستقطب (أ) والضوء المتعامد (ب) ٣١١
شكل(٧-٥٣) أشكال ثاني أكسيد السيليكون في درجات الحرارة والضغط المختلفة ٣١٤
شكل (٧-٥٤) صور مجهرية لمعدن الكوارتز بين النيكول المتعامد، أ- بلورات عديمة الأوجه البلورية، ب- بلورة كوارتز كاملة الأوجه البلورية ٣١٦
شكل (٧-٥٥) التوجيه البصري في معدن الكوارتز ٣١٧
شكل (٧-٥٦) صور مجهرية لمعدن الكالسيدوني بين النيكول المتعامد، أ- بلورات شعاعية، ب- بلورة خيطية ٣١٨
شكل (٧-٥٧) النظام الثلاثي لمعادن الفلسبارات: أورثوكليز- ألبيت- أنورثيت ٣٢١
شكل (٧-٥٨) تبلور الفلسبارات القلوية تحت تغير ظروف الضغط والحرارة: أ- الفلسبارات القلوية تحت الضغط المنخفض، ب- الفلسبارات القلوية تحت الضغط المرتفع ٣٢٢
شكل (٧-٥٩) تبلور الفلسبارات البلاجيوكليزية تحت تغير ظروف الضغط والحرارة ٣٢٢
شكل (٧-٦٠) صور مجهرية لمعدن الأورثوكليز بين النيكولين المتعامدين، أ- توأمة بسيطة، ب- النسيج البرثيتي ٣٢٤
شكل (٧-٦١) التوجيه البصري في معدن الأورثوكليز ٣٢٥
شكل (٧-٦٢) صور مجهرية لمعدن الميكروكلين: أ- صورة في الضوء المستقطب توضح التضاريس الضعيفة، ب- صورة في الضوء المتعامد توضح التوأمة الشبكية ٣٢٦
شكل (٧-٦٣) التوجيه البصري في معدن الميكروكلين ٣٢٧
شكل (٧-٦٤) صور مجهرية لمعدن السانيدين في الضوء المستقطب (أ) والضوء المتعامد، توضح البلورات المستطيلة والتوأمة البسيطة في المعدن ٣٢٨

شكل (٧-٦٥) التوجيه البصري في معدن السانيدين ٣٢٩
شكل (٧-٦٦) صور مجهريةباستخدام النيكول المتعامد توضح أنواع التوأمة في البلاجيوكليز، أ- توأم الألبيت المتكررة، ب- توأم البيريكلين، ج- التوأم المركب (كارلسباد + ألبيت) ٣٣١
شكل (٧-٦٧) صورة مجهريةباستخدام النيكول المتعامد توضح النطاقية في البلاجيوكليز ٣٣٢
شكل (٧-٦٨) التوجيه البصري في معادن البلاجيوكليز ٣٣٣
شكل (٧-٦٩) صور مجهرية باستخدام النيكول المتعامد توضح المواصفات الواجب توافرها في بلورة البلاجيوكليز لقياس زوايا الإظلام..... ٣٣٤
شكل (٧-٧٠) رسم تخطيطي يوضح كيفية قياس زوايا الإظلام في البلاجيوكليز ٣٣٥
شكل (٧-٧١) منحنى تحديد نوع البلاجيوكليز باستخدام طريقة ميكل ليفي ٣٣٥
شكل (٧-٧٢) صور مجهرية لمعدن النيفيلين في الضوء المستقطب توضح الشكل البلوري في الصخور الجوفية (أ) والبركانية (ب) ٣٣٨
شكل (٧-٧٣) التوجيه البصري في معدن النيفيلين..... ٣٣٩
شكل (٧-٧٤) صور مجهرية لمعدن اللوسيت في صخر بركاني قلوي توضح: أ- بلورات اللوسيت عديمة اللون وذات الحواف المتعددة أو المستديرة، ب- لون التداخل الضعيف جدا من الرتبة الأولى ٣٤٠
شكل (٧-٧٥) صور مجهرية لمعدن الصوداليت: أ- اللون الأزرق الفاتح لمعدن الصوداليت في الحبيبات المتموضعة، ب- معدن الصوداليت بين النيكولين يوضح الإظلام التام (أيزوتروبي) للمعدن ٣٤٢
شكل (٨-١) الوحدة البنائية لمجموعة الكربونات ٣٤٨
شكل (٨-٢) صور مجهرية لمعدن الكالسيت: أ- صورة في الضوء المستقطب توضح الانفصام المعيني، ب- صورة في الضوء المتعامد توضح التوأمة المتكررة الثانوية ٣٥٠
شكل (٨-٣) التوجيه البصرى في معدن الكالسيت ٣٥٠
شكل (٨-٤) صورة مجهرية في الضوء المستقطب توضح الشكل المعيني لبلورات الدولوميت ٣٥٢

شكل (٨-٥) الوحدة البنائية لمجموعة الفوسفات ٣٥٤
شكل (٨-٦) صور مجهرية لمعدن الأباتيت في الضوء المستقطب توضح الشكل البلوري المنشوري فى القطاع الطولي (أ) والمقطع العرضي سداسي الأوجه (ب) ٣٥٥
شكل (٨-٧) التوجيه البصرى فى معدن الأباتيت..... ٣٥٦
شكل (٨-٨) صور مجهرية باستخدام الضوء المستقطب المستوي (أ) والضوء المتعامد (ب)، توضح معدن المونازيت كحبيبات مستديرة في صخر الجرانيت ٣٥٧
شكل (٨-٩) التوجيه البصري لمعدن المونازيت ٣٥٨
شكل (٨-١٠) الوحدة البنائية لمجموعة الكبريتات ٣٥٩
شكل (٨-١١) صور مجهرية باستخدام الضوء المستقطب المستوي (أ) والضوء المتعامد (ب)، توضح الشكل البلوري ولون التداخل لمعدن الباريت ٣٦٠
شكل (٨-١٢) التوجيه البصري لمعدن الباريت ٣٦١
شكل (٨-١٣) صور مجهرية باستخدام الضوء المستقطب المستوي (أ) والضوء المتعامد (ب)، توضح الشكل البلوري ولون التداخل لمعدن الجبس ... ٣٦٣
شكل (٨-١٤) التوجيه البصري لمعدن الجبس ٣٦٤
شكل (٨-١٥) الشكل البلوري لمعدن الهاليت ٣٦٥
شكل (٨-١٦) الشكل البلوري لمعدن الفلوريت ٣٦٦
شكل (٨-١٧) صور مجهرية لمعدن الفلوريت في الضوء المستقطب وفى صخور الجرانيت القلوي توضح اللون البنفسجي (أ) واللون البني الفاتح (ب) ٣٦٧
شكل (٨-١٨) صور مجهرية لمعدن الكوراندم: (أ) صورة للمعدن في الضوء المستقطب المستوي توضح الشكل البلوري المنشوري واللون الأزرق المميز، (ب) صورة للمعدن في الضوء المتعامد توضح لون تداخل من الرتبة الأولى ٣٦٩
شكل (٨-١٩) التوجيه البصري في معدن الكوراندم ٣٧٠

شكل (٨-٢٠) صورة مجهرية لمعدن الروتيل، أ- فى الضوء المستقطب المستوى توضح الشكل البلوري الإبري، ب- في الضوء المتعامد حيث يلاحظ أن لون تداخل المعدن هو نفسه لون المعدن ٣٧١
شكل (٨-٢١) التوجيه البصري في معدن الروتيل ٣٧٢
شكل (٨-٢٢) صورة مجهرية لمعدن الكاسيتريت بين النيكول المتعامد حيث يلاحظ أن لون تداخل المعدن هو نفسه لون المعدن ٣٧٣
شكل (٨-٢٣) التوجيه البصري في معدن الكاسيتريت ٣٧٤
شكل (٨-٢٤) صور مجهرية في الضوء المستقطب المستوي توضح وجود معدن السبينل (البني والوردي) كمحتويات داخل معدن الأوليفين ٣٧٥
شكل (٨-٢٥) الشكل البلوري لمعدن السبينل ٣٧٦

قائمة الجداول

جدول (١-١) متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية ١٠
جدول (٢-١) التوزيع الإليكتروني لبعض الذرات ٢٩
جدول (٢-٢) العلاقة بين عدد التناسق ونسبة نصف القطر والترتيب الفراغي للأيونات ٤١
جدول (٢-٣) الفصائل البلورية وأطوال المحاور البلورية وقيم الزوايا المحورية لكل فصيلة ٥٨
جدول (٢-٤) الفصائل البلورية في فصيلة المكعب ٥٩
جدول (٢-٥) الفصائل البلورية في فصيلة الرباعي ٦٣
جدول (٢-٦) الفصائل البلورية في فصيلة السداسي ٦٦
جدول (٢-٧) الفصائل البلورية في فصيلة الثلاثي ٧٠
جدول (٢-٨) الفصائل البلورية في فصيلة المعيني القائم ٧٣
جدول (٢-٩) الفصائل البلورية في فصيلة الميل الواحد..... ٧٦
جدول (٢-١٠) الفصائل البلورية في فصيلة ثلاثي الميل ٧٩
جدول (٧-١) تصنيف معادن مجموعة الجارنت ٢٥٥
جدول (٧-٢) المعادن الشائعة في مجموعة البيروكسين ٢٨٧
جدول (٧-٣) الأشكال المعدنية المختلفة لثاني أكسيد السيليكون ٣١٤
جدول (٨-١) التغير في اللون ومعامل الانكسار لمعادن السبينل بتغير التركيب الكيميائي ٣٧٥