بسم الله الرحمن الرحيم

تحليل التركيب البلوري

المبادئ والتطبيق

تأليف

وليام كليج
قسم الكيمياء،
جامعة نيوكاسل
بتاين

ألكسندر ج. بلاكي
مدرسة الكيمياء،
جامعة نوتنجهام

روبرت أو. جوولد
وحدة الكيمياء
الحيوية التركيبية،
جامعة إدنبرج

بيتر ماين
قسم الفيزياء، جامعة
يورك

محرراً بواسطة

وليام كليج

ترجمة

الأستاذ الدكتور رفعت محمد محفوظ

أستاذ الكيمياء غير العضوية، قسم الكيمياء، كلية العلوم

جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود، ١٤٣١هـ/٢٠١٠ م

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Crystal Structure Analysis: Principles and Practice
By: W.Clegg, A.J.Blake, R.O.Gould & P.Main
© Oxford University, 2004

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية للطباعة والنشر

كليج، وليم

تحليل التركيب البلوري: المبادئ والتطبيق./ وليم كليج؛ رفعت محمد محفوظ.- الرياض، ١٤٣١هـ

٤٨٦ص؛ ١٧×٢٤سم

ردمك: ٥-٦٩٢-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨

١- البلورات أ.محفوظ، رفعت محمد (مترجم) ب. العنوان

ديوي ٥٤٨ ١٤٣١/٦٩٥٤

رقم الإيداع: ١٤٣١/٦٩٥٤

ردمك: ٥-٦٩٢-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي، وقد وافق المجلس على نشره في اجتماعه العاشر للعام الدراسي ١٤٣٠/١٤٣١هـ المعقود بتاريخ ١٤٣١/١/٢٤هـ الموافق ٢٠١٠/١/١٠م

إدارة النشر العلمي والمطابع ١٤٣١هـ

مقدمة المترجم

يعتبر كتاب "تحليل التركيب البلوري- المبادئ والتطبيق" "Crystals Structure Analysis- Principles and Practice" والمحرر بواسطة وكليج W. Clegg من أهم الكتب التي ظهرت في مجال تحديد التركيب البلوري بواسطة حيود الشعاع السيني للبلورة الوحيدة لما يحتويه من معلومات وفيرة ومفيدة تقود القارئ خطوة بخطوة إلى كيفية استخدام حيود الشعاع السيني للبلورة الوحيدة في تحديد التركيب البلوري النهائي للمركب. وقد تضمن هذا الكتاب الأسس الرياضية والفيزيائية لطريقة تحديد التركيب البلوري بواسطة الشعاع السيني للبلورة الوحيدة مع إعطاء خلفيات كيميائية مهمة عن طرق تحضير البلورة الوحيدة وتجهيزها للتحليل البلوري.

إن افتقار المكتبة العربية إلى وجود مثل هذه النوعية من الكتب العلمية يجعل من ترجمة هذا الكتاب وتقديمه للقارئ العربي فائدة كبرى تثري المكتبة العربية بهذه النوعية من الكتب المتخصصة في هذه التقنية الحديثة التي تعتبر الأساس في تحديد التركيب الدقيق للمركبات الكيميائية العضوية واللاعضوية والبروتينات.

وختاماً فإنه يسعدني أن أقدم هذه الترجمة لكتاب "تحليل التركيب البلوري- المبادئ والتطبيق" آملاً أن يجد القارئ العربي ما يساعده على تفهم واستيعاب هذه التقنية ومرحباً في نفس الوقت بأي اقتراحات بناءة تضيف دعماً لهذه الترجمة.

والله من وراء القصد وهو الهادي إلى سواء السبيل،

المترجم

مقدمة المؤلفين

اشتقت مادة هذا الكتاب من مقرر مكثف في تحليل التركيب البلوري بالأصالة عن المجموعة الكيميائية الكريستالوجرافية للتجمع الكريستالوجرافي البريطاني Chemical crystallography Group of the British Association وكان يعقد كل عامين منذ عام ١٩٨٧م. ومع تركيبٍ بلوريٍّ مستقىً من بيانات حيود شعاع سيني، فقد تم تنقيح محتويات المقرر عبر السنين ووصل في عام ١٩٩٩م إلى مرحلة قررنا عندها أنه بالإمكان نشره ومن ثم جعله متاحاً لجمهور أكبر من لو كان مقرراً دراسيًّا فقط. كان المؤلفون هم المحاضرون الأول للمقرر في عام ١٩٩٩م، وقاما بمراجعة وتمديد المادة أثناء تحويل مذكرات المحاضرة إلى تصميم كتاب، خاصة مع ضم بعضٍ من المادة لم تكن مغطاة في المحاضرات، وقد كان من الضروري إضافة بعض التحديث والعرض بأسلوب مختلف.

بسبب منبعه، يمثل هذا الكتاب لقطة من مقرر مكثف يستمر في التطوير، خاصة أن مادة كريستالوجرافيا الكيمياء تخضع حالياً إلى تغيرات سريعة أكثر من السنوات الماضية، بسبب توافر تكنولوجيا كاشف مساحة على نطاق واسع، والتزايد التصاعدي في القدرة الحسابية.

برغم ذلك نحن نعتقد بأنه يشدد على المبادئ التي سوف تظل صالحة لفترة زمنية طويلة، والتصنيف الخاص لتلك المبادئ يمكن أن يتلاءم مع تحسينات لفترة زمنية قادمة.

وحيث إن الكتاب يعود أصله إلى المقرر فإننا نرغب في أن نعبر عن أمتنانا إلى هؤلاء الذين بذلوا جهداً مضاعفاً لتنظيم المقرر منذ استهلاله. بدونهم لم يكن هذا الكتاب موجوداً، حتى ولو مجرد فكرة. أقيمت المحاضرات الخمس الأولى في جامعة أستون Aston University، حيث وضع المنظمون المحليون وهم فيل لوي Phil Lowe وكارل أشوالبي Carl Schwalbe معياراً ذهبيًّا لإلقاء المحاضرة وتنظيم العملية، منشئين عدداً من المميزات الثانية كانت موضع تقدير للمشاركين. ثم الانتقال بعد ذلك إلى كلية تريفليان Trevelyan بجامعة دارهام Durham University، حيث قام كلٌ من فانسيا هوى Vanesa Hay وكلاري ويلسون Claire Wilson بتطوير متميز للإطار الأساس لهذه المحاضرات. قام جودث هوارد Judith Howard خلال تاريخ هذا المقرر بتقديم الإرشاد والخبرة في توفير الاعتماد المالي. عديد من المؤسسات تشمل EPSRC و IUCr والراعين التجاريين كانوا داعمين لفترة طويلة لهذا المقرر.

كثيراً من الزملاء قد ساهمو في المقرر عبر السنوات في المحاضرات والتدريبات. نتقدم بالشكر على وجه الخصوص إلى دافيد واتكين David Watkin. إن المقرر كان واحداً من بنات أفكاره في المقام الأول وقد بذل مجهوداً رائعاً لتأسيسه. لقد قام بتسليم إسهاماته في المقرر لفترة من الزمن قبل أن يتم صياغة المقرر في شكل كتاب، لكن يظل تأثيره قائم في المقرر ومن ثم في الكتاب. إحدى مظاهر قطاعات مجموعة التمارين قد تم تطويرها في هذا الكتاب. تشمل معظم الفصول تماريناً لها إجابة في الملحق. ينبغي أن

يقوم القارئ بحل التمارين أولاً اعتماداً على مجهوده قبل النظر في الإجابة. ويمكن لهـــذه التمارين أن تكون أساساً مفيداً لحلقة نقاش.

يود بيل كليج Bill Clegg كمحرر لهذه المادة من مذكرات إلى كتاب أن يشكر جامعة كانتربري، نيوزليندا Canterbury, New Zealand على منحة زمالة أستاذ زائـــر في عام ١٩٩٩م، التي قام في أثنائها بمراجعة وتحرير جزء كبير من هذا الكتاب.

يونيه ٢٠٠١

ساندي بلايك Sandy Blake، *جامعة نوتنجهام*
بيل كليج Bill Clegg، *جامعة نيوكاسل*
بوب جولد Bob Gould، *جامعة إدنبرج*
بيتر ماين Peter Main، *جامعة يورك*

شكر

نتقدم بالشكر إلى المؤلفين والناشرين للسماح بنسخ بعضٍ من الأشكال التي ظهـــرت في هذا الكتاب كما يلي:

Figures I.I, 1.8,4.1, 18.1, and 18.2 from W. Clegg: *Crystal structure determination.* Oxford University Press, Oxford, 1998.

Figures 1.2 and 3.2 from C. Giaccovazzo, H. L. Monaco, D. Viterbo, F. Scordari, G. Gilli, G. Zanotti and M. Catti: *Fundamentals of crystallography.* Oxford University Press, Oxford, 1992.

Figure 1.9 from J. P. Glusker and K. N. Trueblood: *Crystal structure analysis: a primer, Second edition.* Oxford University Press, Oxford, 1985.

Figures 1.3 and 1.5 from G. Harburn, C. A. Taylor and T. R. Welberry: *Atlas of optical transforms. G.* Bell, London, 1975.

Figure 3.5 from Traidcraft ple, Gateshead, UK.

Figure 3.6 and part of Table 3.6 from *International tables for crystallography. Volume A.* Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands. Copyright 1983, International Union of Crystallography.

Figure 13.4 from *International tables for X-ray crystallography, Volume IV.* The Kynoch Press, Birmingham, UK. Copyright 1974, International Union of Crystallography.

Figure 9.1, reprinted by permission from G. N. Ramachandran and R. Srinavasan, *Nature,* **190,** 161. Copyright 1961, Macmillan Magazines Ltd.

Figure 14.1, reprinted with permission from W. Clegg, N. Mohan, A. Miiller, A. Neumann, W. Rittner and G. M. Sheldrick, *Inorganic Chemistry,* **19,** 2066. Copyright 1980, American Chemical Society.

Figure 14.3 from D. Zobel, P. Luger, W. Dreissig and T. Koritsanszky, *Acta Crystallographica,* **B48,** 837. Copyright 1992, International Union of Crystallography.

المحتويات

مقدمة المترجم ..... هـ

مقدمة المؤلفين ..... ز

شكر ..... ك

الفصل الأول: مقدمة أساسية إلى كريستالوجرافيا الشعاع السيني ١

(١,١) تشتت شعاع سيني من إلكترونات ١

(١,٢) تشتت شعاع سيني من ذرات ٢

(١,٣) تشتت شعاع سيني من محتويات خلية وحدة التركيب ٤

(١,٤) تأثيرات الشبكية البلورية ٤

(١,٥) الشعاع السيني المشتت من البلورة ٥

(١,٦) معادلة عامل التركيب ٦

(١,٧) معادلة كثافة الإلكترون ٧

(١,٨) علاقة رياضية ٩

(١,٩) قانون براغ ٩

(١,١٠) تحليل ١٠
(١,١١) مشكلة الطور ١١
(١,١٢) مخطط لتحديد التركيب البلوري ١٢

الفصل الثاني: نمو بلوري، تقييم وتثبيت ١٣
(٢,١) نمو بلورة ١٣
(٢,٢) مسح الطرق ١٤
(٢,٢,١) طرق محلول ١٤
(٢,٢,٢) تسامي ٢١
(٢,٢,٣) نمو طور المائع ٢٣
(٢,٢,٤) تشييد الحالة الصلبة ٢٣
(٢,٢,٥) تعليقات عامة ٢٤
(٢,٣) تقييم العينة ٢٥
(٢,٣,١) الدراسة المجهرية ٢٥
(٢,٣,٢) التصوير الفوتوغرافي الشعاع السيني ٢٦
(٢,٣,٣) الحيودية ٢٧
(٢,٤) تثبيت البلورة ٢٧
(٢,٤,١) طرق قياسية ٢٧
(٢,٤,٢) بلورات حساسة للهواء ٢٩
مراجع ٣٢

بعض مراجع تناول ونمو البلورة ٣٢
تلميحات ونصائح على النمو البلوري على شبكة الإنترنت..... ٣٣
تمارين ٣٤
الفصل الثالث: التماثل وتحديد الزمرة الفراغية ٣٥
(٣,١) مقدمة ٣٥
(٣,٢) عمليات أساسية وزمرات نقطية ٣٧
(٣,٣) علم التشكل الخارجي..... ٣٩
(٣,٤) تماثل الحيود وكمية البيانات المستقلة..... ٣٤
(٣,٥) تماثل داخلي وعمليات تماثل انتقالي..... ٤٤
(٣,٦) كشف عناصر التماثل من إحصائيات الشدة ٤٨
(٣,٧) ملاحظات إضافية على رموز الزمرة الفراغية ٥٢
(٣,٨) قيود تماثل على ذرات في مواقع معينة..... ٥٣
تمارين ٥٧

الفصل الرابع: خلفية نظرية لجمع بيانات ٦٣
(٤,١) مقدمة ٦٣
(٤,٢) هندسة حيود الشعاع السيني..... ٦٤
(٤,٣) الشبكية المعكوسة ٦٧
(٤,٤) خلية وحدة التركيب ومصفوفة التوجه على جهاز قياس الحيود ٦٩
(٤,٥) الحصول على مصفوفة وخلية وحدة تركيب من حيودات موجودة أصلاً ٧٢

(٤,٦) سمات التماثل لنموذج الحيود ٧٥
مراجع ٧٧
تمارين ٧٧

الفصل الخامس: جمع بيانات باستخدام أجهزة قياس حيود رباعي الحلقات ٧٩
(٥,١) مقدمة ٧٩
(٥,٢) ظروف معملية ٨٠
(٥,٢,١) الإشعاع ٨٠
(٥,٢,٢) درجة الحرارة ٨١
(٥,٢,٣) ظروف أخرى ٨٢
(٥,٣) إشارة البدء ٨٣
(٥,٣,١) البحث عن الانعكاس ٨٣
(٥,٣,٢) تصنيف، مصفوفة التوجه وتحديد الخلية ٨٧
(٥,٣,٣) إيجاد الخلية الصحيحة ٨٩
(٥,٣,٤) الحصول على مصفوفة توجه جيدة ٩٢
(٥,٣,٥) الحصول على أفضل أبعاد خلية وحدة تركيب ٩٣
(٥,٤) إعداد لجمع بيانات ٩٣
(٥,٤,١) مقدمة ٩٣
(٥,٤,٢) بارامترات ٩٤
(٥,٥) جمع البيانات ١٠٠

(٥,٦) أخطاء إجمالية منهجية..... ١٠١
(٥,٧) تصحيح بيانات الشدة ١٠٢
(٥,٧,١) تصحيحات امتصاص ١٠٣
(٥,٧,٢) تصحيحات انحلال..... ١٠٦
(٥,٧,٣) تصحيحات أخرى ممكنة ١٠٦
تمارين ١٠٧

الفصل السادس: كاشفات مساحة..... ١١١
(٦,١) مقدمة..... ١١١
(٦,٢) أنواع كاشفات مساحة..... ١١٢
(٦,٣) بعض خصائص أنظمة كاشف مساحة CCD..... ١١٨
(٦,٤) تجربة مثالية ١٢١
(٦,٤,١) عرض البلورة..... ١٢١
(٦,٤,٢) تحديد خلية وحدة التركيب ومصفوفة التوجه..... ١٢٢
(٦,٤,٣) جمع بيانات ١٢٤
(٦,٤,٤) تصحيحات واختزال بيانات ١٢٤

الفصل السابع: تشييدات فورير ١٢٧
(٧,١) تشييد فورير في بعد واحد (1D) ١٢٧
(٧,٢) مثال 1D– ثنائي كبريتيد الحديد ١٢٩

(٧,٣) تشييد ثنائي البعد (2D) ١٣٢
(٧,٤) تشييد ثلاثي (3D)..... ١٣٩
(٧,٥) استخدامات فوريير..... ١٤٠
(٧,٦) فوريرات مثقلة ١٤٢
تمارين ١٤٥

الفصل الثامن: تحديد تركيب بوسائل باترسون..... ١٥١
(٨,١) طريقة الذرة الثقيلة ١٥٦
(٨,٢) تقنيات بحث باترسون..... ١٦٢
(٨,٢,١) بحث دوران ١٦٣
(٨,٢,٢) بحث انتقال..... ١٦٥
تمارين ١٦٨

الفصل التاسع: طرق مباشرة لتحديد تركيب بلوري..... ١٧١
(٩,١) سعات وأطوار ١٧١
(٩,٢) الأسس الفيزيائية لطرق مباشرة ١٧٣
(٩,٣) قيود على الكثافة الإلكترونية ١٧٤
(٩,٣,١) ذرات منفصلة ١٧٤
(٩,٢,١) كثافة إلكترونية غير سالبة ١٧٥
(٩,٣,٣) توزيع ذري عشوائي ١٧٨

(٩,٣,٤) قيمة $\int \rho^3(x)dV$ عظمى ١٨٠
(٩,٣,٥) ذرات متساوية ١٨١
(٩,٣,٦) أنتروبيا عظمى..... ١٨٢
(٩,٣,٧) جزيئات متساوية و $\rho(x)$ = ثابت ١٨٢
(٩,٤) ثوابت تركيب ١٨٣
(٩,٥) تحديد تركيب..... ١٨٤
(٩,٥,١) حساب قيم E..... ١٨٥
(٩,٥,٢) تأسيس علاقات طور ١٨٦
(٩,٥,٣) إيجاد انعكاسات لتحديد طور..... ١٨٧
(٩,٥,٤) تعيين أطوار البداية..... ١٨٨
(٩,٥,٥) تحديد طور وتنقيح..... ١٨٩
(٩,٥,٦) أشكال الاستحقاق ١٩٠
(٩,٥,٧) تفسير الخرائط..... ١٩١
(٩,٥,٨) اكتمال التركيب..... ١٩٢
مراجع..... ١٩٢
تمارين ١٩٢
ببليوجرافيا عامة..... ١٩٧

الفصل العاشر: مقدمة للأنتروبيا القصوى ١٩٩
(١٠,١) أنتروبيا ١٩٩

(١٠,٢) أنتروبيا قصوى ٢٠٠
(١٠,٣) حسابات ببيانات غير مكتملة ٢٠٢
(١٠,٤) تكوّن صورة ٢٠٥
(١٠,٥) أنتروبيا واحتمالية ٢٠٥
(١٠,٦) خرائط كثافة إلكترونية ٢٠٦

الفصل الحاي عشر: مواءمة البارامترات بالمربعات الصغرى ٢١١
(١١,١) المتوسط المثقل ٢١١
(١١,٢) انكفاء خطي ٢١٣
(١١,٣) تباينات وتباينات مصاحبة ٢١٥
(١١,٤) تحفظات ٢١٦
(١١,٥) قيود ٢١٨
(١١,٦) مربعات صغرى غير خطية ٢٢٢
(١١,٧) تهيئة سقيمة- III ٢٢٥
(١١,٨) زمن الحاسب ٢٢٦
تمارين ٢٢٧

الفصل الثاني عشر: مظاهر عملية لتنقيح التركيب ٢٢٩
(١٢,١) مقدمة ٢٢٩
(١٢,٢) بيانات ٢٣١

(١٢,٣) بارامترات ٢٣٥
(١٢,٤) قيود ٢٣٨
(١٢,٥) تحفظات ٢٤١
(١٢,٦) أساليب تنقيح ٢٤٣
(١٢,٧) خلل ٢٤٥
(١٢,٨) توءمة ٢٤٧
(١٢,٩) تركيب مطلق ٢٤٧
(١٢,١٠) مشاكل أخرى ٢٤٩
تمارين ٢٥١

الفصل الثالث عشر: اشتقاق النتائج ٢٥٥
(١٣,١) مقدمة ٢٥٥
(١٣,٢) خلفية إحصائية ٢٥٧
(١٣,٢,١) بعض رياضيات وإحصائيات أساسية ٢٥٧
(١٣,٢,٢) أخطاء، دقة وإتقان ٢٦٤
(١٣,٢,٣) انحرافات معيارية مقدرة/ شكوك قياسية في النتائج الكريستالوجرافية .. ٢٦٦
(١٣,٣) تحليل التوافق بين البيانات المرصودة والمحسوبة ٢٧٠
(١٣,٣,١) بيانات مرصودة ومحسوبة ٢٧٠
(١٣,٣,٢) اختبارات ذات أهمية ٢٧٤
(١٣,٤) هندسة ٢٧٦

(١٣,٤,١) أطوال رابطة، زوايا رابطة وزوايا التواء (فتل) ٢٧٦
(١٣,٤,٢) مستويات مربعات صغرى وزوايا ثنائية الأسطح ٢٧٩
(١٣,٤,٣) تمثيل جزيئي فراغي للحلقات وسمات جزيئية أخرى ٢٨٢
(١٣,٤,٤) ذرات هيدروجين وترابط هيدروجيني ٢٨٢
(١٣,٥) حركة حرارية ٢٨٤
(١٣,٥,١) بارامترات β، B و U ٢٨٥
(١٣,٥,٢) "بارامتر" إزاحة موحد الخواص مكافئ ٢٨٦
(١٣,٥,٣) نماذج حركة حرارية وتصحيحات هندسية: حركة جسم جاسئ ٢٨٧
(١٣,٥,٤) بارامترات حرارة وإزاحة ذرية ٢٨٩
مراجع ٢٨٩
تمارين ٢٩٠

الفصل الرابع عشر: تفسير النتائج ٢٩٣
(١٤,١) مقدمة ٢٩٣
(١٤,٢) متوسطات، مقارنات وفروقات ٢٩٤
(١٤,٢,١) مقارنة بارامترات هندسية ٢٩٤
(١٤,٢,٢) إيجاد متوسط بارامترات هندسية ٢٩٧
(١٤,٢,٣) متى تكون حزمة من ذرات مستوية بشكل حقيقي؟ ٢٩٩
(١٤,٢,٤) مقارنة تراكيب مختلفة ٣٠٠
(١٤,٣) تفسير مسافات بين ذرية وروابط ٣٠٥

(١٤,٤) تأثيرات أخطاء على نتائج تركيبية ٣٠٧
(١٤,٤,١) أخطاء تراكمية في البيانات ٣٠٧
(١٤,٤,٢) مدخلات وتعديل قراءات الأجهزة ٣٠٩
(١٤,٤,٣) أخطاء وتحديدات نموذج ٣١٠
(١٤,٥) تقييم تحديد تركيب ٣١٥
مراجع ٣١٧
تمارين ٣١٨

الفصل الخامس عشر: عرض النتائج ٣١٩
(١٥,١) مقدمة ٣١٩
(١٥,٢) تخطيطات ٣٢٠
(١٥,٢,١) برامج تخطيطات ٣٢١
(١٥,٢,٢) مفاهيم تحتية ٣٢٢
(١٥,٢,٣) أساليب رسم ٣٢٥
(١٥,٣) إنشاء صورة خادعة ثلاثية الأبعاد ٣٣٣
(١٤,٥) استخدام اللون ٣٣٤
(١٥,٥) معلومات نصية في الرسوم ٣٣٥
(١٥,٦) بعض التلميحات لرسوم مؤثرة ٣٣٦
(١٥,٧) جداول النتائج ٣٣٩
(١٥,٨) محتوى الجداول ٣٤٠

(١٥,٩) تصميم الجداول..... ٣٤٣
(١٥,١٠) تلميحات على العرض..... ٣٤٤
(١٥,١١) حفظ النتائج..... ٣٤٨
مراجع..... ٣٥١
تمارين ٣٥١

الفصل السادس عشر: ملف المعلومات الكريستالوجرافية ٣٥٥
(١٦,١) مقدمة ٣٥٥
(١٦,٢) أساسيات ٣٥٥
(١٦,٣) استخدامات CIF ٣٥٩
(١٦,٤) بعض خواص تصميم CIF ٣٦٠
(١٦,٥) بعض التدريبات ٣٦٢
(١٦,٥,١) سلاسل ٣٦٢
(١٦,٥,٢) نص..... ٣٦٣
(١٦,٥,٣) اختبار CIF ٣٦٤
مراجع..... ٣٦٥
تمارين ٣٦٥

الفصل السابع عشر: قواعد بيانات كريستالوجرافية ٣٦٩
(١٧,١) قواعد بيانات تركيبية متاحة ٣٦٠

(١٧,٢) محتويات قاعدة البيانات التركيبية بكامبريدج ٣٧٢
(١٧,٣) البحث في CSD ٣٧٤

الفصل الثامن عشر: موضوعات أخرى ٣٧٧
(١٨,١) توءمة ٣٧٧
(١٨,٢) انتشار غير سوي ٣٨١
(١٨,٣) مصادر الأشعة السينية ٣٨٦
مراجع ٣٩٣١

ملحق١: رياضيات وصيغ مفيدة ٣٩٥
ملحق٢: قاموس كريستالوجرافي قصير ٤١٣
ملحق٣: إجابات للتمارين ٤٢٥

ثبت المصطلحات ٤٥٧
أولاً: عربي- إنجليزي ٤٥٧
ثانياً: إنجليزي- عربي ٤٦٧

كشاف الموضوعات ٤٧٧