الفصل الثالث:

الجـــوامـــــــد

أولا: بعض التعريفات والقوانين المهمة

- تعريف الصلب
- أنواع المواد الصلبة

أ) مواد بللورية

ب) مواد غير متبلرة (أمورفية)

- خواص المواد البللورية والأمورفية (غير البللورية)
- أنواع المكعبات البللورية (وحدة الخلية)
- قانون ثبات الزوايا بين السطوح
- قانون معقولية (أو منطقية) الإحداثيات أو التقاطعات
- قانون التماثل
- قانون "نيومان"
- قانون "ديلونج وبيتى"
- قانون التشابه البللورى (قانون متشرليش)
- ظاهرة تعدد الأشكال
- أنواع التشكل أو التأصل

أ) تشكل إنعكاسى

ب) التشكل أحادى الاتجاه

- البللورة ووحدة الخلية
- قانون براج

ثانيا: بعض العلاقات المهمة

- معادلة براج
- عدد الجزيئات فى وحدة الخلية (n)
- عدد الذرات فى وحدة الخلية (الخلية الوحدة)

ثالثا: مسائل وحلولها

رابعا: مسائل غير محلولة

obeikandl.com

obeikandl.com

أولا: بعض التعريفات والقوانين المهمة

تعريف الصلب:

هو أحد حالات المادة الثلاث المعروفة (بالإضافة إلى الغاز والسائل). ويتميز الصلب بأنه متماسك وله شكل ثابت وحجم ثابت. والصلب لايتأثر كثيرا بالضغط، وقد يتأثر قليلا بدرجة الحرارة.

أنواع المواد الصلبة:

تنقسم المواد الصلبة إلى نوعين، وهما:

(أ) مواد بللورية:

هى المواد التى تتوزع فيها الذرات أو الجزيئات فى حالة منتظمة وتكون عاكسة للأشعة عند تسليطها عليها.

الشبكة البللورية:

هى النظام المحدد لترتيب الذرات أو الجزيئات المكونة للبللورة. وتأخذ صفوف الذرات أو الجزيئات التى تتكون منها الشبكة الفراغية الاتجاهات الفراغية الثلاثة.

وفى المعادن البللورية يكون نموذج الترتيب موضوع على شكل توزيع الذرات وليست على شكل ترتيب الجزيئات.

(ب) مواد غير متبلرة (أمورفية):

هى المواد التى تتوزع فيها الذرات أو الجزيئات بطريقة غير منتظمة.

فالمادة الأمورفية ليس لها شكل هندسى طبيعى أو تركيب داخلى منتظم، وتكون جسيماتها مرتبة ترتيبا عشوائيا، مثل: الزجاج والمطاط والغراء.

خواص المواد البللورية والأمورفية (غير البللورية):

يمكن تلخيص الفروق بين المواد البللورية والمواد غير المتبلرة (الأمورفية)، من خلال خواصهما، كما يتضح فى الجدول التالى:

الخاصية	المواد البللورية	المواد غير المتبلرة (الأمورفية)
درجة الانصهار	لها درجة انصهار معينة وثابتة (لاتنصهر المادة إلا عندما تصل إلى درجة انصهارها).	ليس لها درجة انصهار معينة أو ثابتة. فبالتسخين تبدأ المادة الصلبة فى الانصهار الذى يزداد مع زيادة درجة الحرارة.
ظاهرة التماثل	تظهر فى هذه المواد ظاهرة تكرار الأوجه عند زوايا معينة	لاتوجد هذه الظاهرة فى تلك المواد
قوى الشد، المرونة التوصيل الحرارى، التوصيل الكهربى، معامل الانكسار	تختلف هذه الخواص باختلاف الاتجاهات	تتساوى هذه الخواص فى جميع اتجاهات الصلب غير المتبلر (الأمورفى)

أنواع المكعبات البللورية (وحدة الخلية):

(1) مكعب بسيط: ويحتوى على ذرة واحدة فقط لكل وحدة خلية.

(2) مكعب ذو جسم مركزى: ويحتوى على ذرتين لكل وحدة خلية.

(3) مكعب ذو وجه مركزى: ويحتوى على أربع ذرات لكل وحدة خلية.

قانون ثبات الزوايا بين السطوح:

ينص على أنه بالنسبة لمادة معينة، فإن الأوجه المترادفة أو المستويات التى تكون السطح الخارجى لبللورة، تتقاطع دائما بزوايا محددة، وتبقى هذه الزوايا ثابتة، مهما كانت كيفية نمو الأسطح.

قانون معقولية (أو منطقية) الإحداثيات أو التقاطعات:

ينص على: "أنه من الممكن على طول المحاور الإحداثية الثلاث، اختيار مسافات وحدة (a, b, c)، وليس من الضرورى أن يكون لها نفس الطول، ولكن تكون

نسب التقاطعات الثلاث لأى مستوى فى البللورة هى ma : nb : pc، حيث: n, m, p إما أعداد صحيحة أو كسور لأعداد صحيحة.

قانون التماثل:

ينص على أن: "جميع بللورات نفس المادة تمتلك نفس عناصر التماثل". ويمكن أن يكون التماثل فى البللورة بالنسبة لمستوى، بالنسبة لخط، بالنسبة لنقطة، فيقال أن البللورة لها مستوى تماثل إذا أمكن تقسيمها بواسطة مستوى تخيلى يمر خلال مركزها، إلى نصفين، بحيث يكون إحداهما صورة فى مرآة للآخر.

قانون "نيومان":

ينص على أنه: "لاتتغير الحرارة الذرية لعنصر صلب عندما يدخل هذا العنصر فى تكوين مركب صلب".

قانون "ديلونج وبيتى":

ينص على أن : الأوزان الذرية لجميع العناصر لها تقريبا نفس السعة الحرارية إذا أجريت القياسات عند درجات حرارة لاتبتعد كثيرا عن درجات انصهار هذه العناصر".

قانون التشابه البللورى (قانون متشرليش):

ينص على أن: "المركبات الكيميائية التى من نفس النوع، ولها نفس التركيب الكيميائى تتبلور بنفس الشكل".

فقد قام متشرليش عام ١٨١٩م بدراسة الشكل البللورى لعدد كبير من المركبات الكيميائية، وتبين له أن المركبات التى تتشابه فى تركيبها الكيميائى تتبلور من محاليلها فى نفس الشكل البللورى.

ظاهرة تعدد الأشكال:

وهى تتمثل فى تواجد المادة الصلبة على أكثر من شكل بللورى واحد.

وإذا وجدت هذه الظاهرة بين العناصر تسمى "التآصل"، كما فى حالة الكبريت والفوسفور.

وعادة ما تكون إحدى الصور التآصلية أكثر ثباتا من غيرها فى ظروف معينة من الضغط ودرجة الحرارة، وقد تتحول إحدى هذه الصور إلى الأخرى بتغير هذه الظروف (الضغط أو درجة الحرارة).

أنواع التشكل أو التآصل:

هناك نوعان من التآصل أو التشكل، وهما:

(أ) تشكل إنعكاسى:

هى العملية التى يتحول فيها كل من الشكلين إلى الآخر بتغير الحرارة أو الضغط. مثال ذلك:

$$\text{كبريت معينى} \underset{96^\circ}{\rightleftharpoons} \text{كبريت منشورى} \underset{120^\circ C}{\rightleftharpoons} \text{سائل}$$

(ب) التشكل آحادى الاتجاه:

فى هذا النوع، تعد إحدى الصور ثابتة على حين تعد الصورة الأخرى غير ثابتة. وعلى هذا، فإن التغير فى الشكل يكون دائما فى اتجاه الصورة المستقرة والأكثر ثباتا، مثال ذلك:

$$\text{فوسفور أبيض} \longrightarrow \text{فوسفور احمر}$$

نجد أنه من الممكن تحويل الفوسفور الأبيض إلى الأحمر، ولا يمكن تحويل الفوسفور الأحمر إلى الأبيض بطريقة مباشرة.

البللورة ووحدة الخلية:

يمكن حساب وتحديد عدد الذرات التى تنتمى إلى كل من وحدات الخلايا المكعبة، على النحو التالى:

(أ) كل وحدة خلية مكعبة بسيطة تحتوى على ذرة واحدة.

(ب) كل وحدة خلية مكعبة ممركزة الجسم تحتوى على ذرتين.

(جـ) كل وحدة خلية مكعبة ممركزة الوجه تحتوى على أربع ذرات.

قانون براج:

هو العلاقة الرئيسية لتعيين التركيب البللورى من حيود الأشعة السينية. فمن قياس الزوايا التى تنعكس عندها الأشعة السينية، يمكن حساب المسافات بين المجموعات المختلفة للمستويات الذرية المتوازية.

ثانيا: بعض العلاقات المهمة

معادلة براج:

$$n\lambda = 2\,d \sin\theta$$

حيث n عدد صحيح يدل على المرتبة ويأخذ القيم 3, 2, 1

λ الطول الموجى للشعاع

d المسافة بين أى مستويين ذريين فى البللورة (المسافة التى تفصل بين المستويين العلوى والسفلى فى البللورة)

θ زاوية السقوط

عدد الجزيئات فى وحدة الخلية (n):

$$V_m = \frac{M}{dN}$$

حيث: V_m حجم الجزئ الواحد

N عدد أفوجادرو = 6.023×10^{23}

d كثافة المادة

M الوزن الجزيئى للمادة

ويمكن تعيين عدد الجزيئات فى وحدة الخلية (n)، من المعادلة:

$$n = \frac{V}{V_m} = V\left(\frac{dN}{M}\right)$$

حيث: V هى حجم الخلية

$$V = a^3$$

حيث: a هو طول حرف الخلية الوحدة

عدد الذرات فى وحدة الخلية (الخلية الوحدة):

(أ) مكعب بسيط: يحتوى على ذرة واحدة فقط لكل وحد خلية.

(ب) مكعب ذو جسم مركزى: يحتوى على ذرتين لكل وحدة خلية.

(جـ) مكعب ذو وجه مركزى: يحتوى على أربع ذرات لكل وحدة خلية.

obeikandi.com

ثالثا: مسائل وحلولها

(1) يتبلور النيكل على صورة بللورة مكعبة ذو وجه مركزى، وطول ضلع وحدة الخلية هو 3.52Å. فإذا كان الوزن الذرى للنيكل هو (58.7) وكثافته $8.94\ gm/cm^3$. أحسب عدد أفوجادرو

الحل:

حيث أن البللورة مكعب ذو وجه مركزى، فإنه يوجد أربع ذرات لكل وحدة الخلية.

$$\text{حجم وحدة الخلية} = (\text{طول الضلع})^3$$

$$\text{حجم وحدة الخلية} = (3.52 \times 10^{-8})^3 = 4.36 \times 10^{-23}\ cm^3$$

وهذا معناه أن (4) ذرات نيكل تشغل حجما قدره $(4.36 \times 10^{-23}\ cm^3)$

وحيث أن كثافة النيكل هى $8.94\ gm/cm^3$

وبما أن $1\ cm^3$ يزن كتلة مقدارها (8.94 gm) من النيكل، وحيث ان واحد مول نيكل يزن كتلة قدرها 58.7 gm، ويعادل عدد ذرات قدره عدد أفوجادرو (N).

$$\text{عدد الذرات فى المول} = 58.7\ (gm\ Ni) \times \frac{1 cm^3}{8.94(gm\ Ni)} \times \frac{4\ atoms}{4.36 \times 10^{-23}\ cm^3}$$

$$N = 6.023 \times 10^{23}\ atom/mol.$$

(2) يتبلور الصوديوم فى صورة مكعب طول ضلع وحدة الخلية فيه (430) بيكومتر. فإذا كانت كثافة الصوديوم $(0.963\ gm/cm^3)$، ووزنه الذرى (23). أحسب عدد الذرات الموجودة فى وحدة الخلية الواحدة. ما نوع المكعب الذى تتكون منه وحدة الخلية للصوديوم.

الحل:

طول ضلع الخلية = 430 Pm

$(1\ Pm = 10^{-10}\ cm)$

طول ضلع الخلية = $4.3 \times 10^{-8}\ cm$

حجم وحدة الخلية $= (4.3 \times 10^{-8})^3$

$= 7.95 \times 10^{-23}\ cm^3$

المطلوب هو معرفة عدد ذرات الصوديوم فى هذا الحجم.

وحيث أن: 9.63 gm صوديوم يعادل 1 cm^3

وحيث أن واحد مول من الصوديوم كتلتة 23 gm يحتوى على عـــدد أفوجـــادرو مـــن الذرات (عدد أفوجادرو = 6.23×10^{-23})

عدد ذرات الصوديوم فى وحدة الخلية $= 7.95 \times 10^{-23} \times \frac{0.963}{1} \times \frac{6.023 \times 10^{23}}{23}$

$= 2.00$ atm

أى أن الصوديوم يتبلور على شكل مكعب ذو حجم مركزى، حيـــث أن وحـــدة الخليـــة للمكعب ذو الجسم المركزى يحتوى على ذرتين صوديوم. أى إنه يتبلر على شكل رص مكعبى ممركز الجسم.

(3) حرفت بللورة أشعة (X) ذات طول موجى (0.710 Å)، وأمكن الحصول علـــى إنعكاس من المرتبة الأولى عند سقوطها بزاوية (12°). أحســـب المســـافة بيـــن المستويات العاكسة.

<u>الحل:</u>

نستخدم فى هذه الحالة معادلة براج

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

حيث : d هى المسافة بين أى مستويين ذريين فى البللورة

n عدد صحيح له القيم (1, 2, 3, ...)

θ زاوية السقوط

λ الطول الموجى للشعاع

ومن المعطيات، نجد أن:

$$\theta = 12°, n = 1, \lambda = 0.71 \text{ Å}, d = ?$$

بالتعويض عن القيم السابقة فى المعادلة المعطاة، نجد أن:

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta}$$

$$d = \frac{n\lambda}{2 \times \sin 12} = \frac{0.71}{2 \times 0.2079116}$$

$$d = \frac{0.71}{0.4158233}$$

$$d = 1.707$$

(4) إذا كان الوزن الذرى النسبى للنحاس هو (63.5) وكثافته $8.94\ gm\ cm^3$. وقد وجد بالتحليل باستخدام أشعة (X) أنه يتخذ تركيب المكعب ممركز الوجه. أحسب نصف القطر الذرى لذرة النحاس، علما بأن ثابت أفوجادرو

$$N = 6.02 \times 10^{23}$$

الحل:

بالنسبة للمكعب ممركز الوجه، فإن الخلية الوحدة ستحتوى (4) ذرات

$$\text{كتلة النحاس فى خلية وحدة واحدة} = \frac{63.5 \times 4}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\text{حجم المكعب} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الكثافة}}$$

$$= \frac{63.5 \times 4}{6.02 \times 10^{23}} \times \frac{1}{8.94}$$

$$\text{حجم المكعب} = 4.7195 \times 10^{-23}$$

$$\text{طول ضلع المكعب} = \sqrt{0.047195 \times 10^{-21}}$$

$$\text{طول ضلع المكعب} = a = 3.613 \times 10^{-8}\ cm$$

ولكن

$$\frac{a}{4r} = \text{Cos } 45°$$

$$r = \frac{a}{4 \text{ Cos } 45°}$$

$$r = \frac{3.613 \times 10^{-8}}{4 \times 0.7071067} = 1.28 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$r = 1.28 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$r = 0.128 \text{ nm}$$

(5) يوجد عنصر الكروم متبلرا على هيئة شبكة ممركزة الجسم، طول حرف خليتها (2.88 Å). فإذا كانت كثافة الكروم هى 7.2 gm/cm^3. أوجد عدد الذرات المحتواه فى (52 gm) من الكروم.

الحل:

بما أن طول حرف خلية الوحدة هو $a = (2.88 \text{ Å})$

$$\text{حجم الخلية} = a^3 = (2.88 \times 10^{-8})^3$$

$$\text{حجم الخلية} = 23.88 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$\text{حجم (52 gm) من الكروم} = \frac{52}{7.2} = 7.22 \text{ cm}^3$$

$$\text{عدد الخلايا الوحدة فى الحجم المعطى} = \frac{7.22}{23.88 \times 10^{-24}}$$

$$= 3.02 \times 10^{23}$$

وحيث إن كل خلية ممركزة الوجه تحتوى (2) ذرة

عدد الذرات المحتواه فى كل خلية × عدد الخلايا الوحدة فى الحجم = عدد الذرات فى الحجم المعطى

$$= 3.02 \times 10^{23} \times 2$$

$$= 6.04 \times 10^{23} \text{ atom}$$

(6) يوجد تشابه بين بللورة كلوريد البوتاسيوم وبللورة كلوريد الصوديوم من حيث التركيب. وتحتوى الخلية الواحدة (4) أيونات (K^+) و (4) أيونات (Cl^-). فإذا كان طول حرف الخلية الوحدة (6.29Å)، وكثافة كلوريد البوتاسيوم (1.99 gm/cm^3). أحسب عدد أيونات (K^+) وأيونات (Cl^-) فى (1.0 gm) من الملح.

الحل:

عدد أيونات (K^+) = عدد أيونات (Cl^-)

عدد أيونات (Cl^-) لكل جرام من الملح $= 4\frac{ions}{unit\ cell} \times \frac{1\ unit\ cell}{(6.29\,A°)^3} \times$

$$\frac{1\,A°}{1 \times 10^{-8}\ cm} \times \frac{1\ cm^3}{1.99\ gm}$$

عدد أيونات $(Cl^-) = 8.08 \times 10^{21}$ ion/gm

عدد أيونات (K^+) = عدد أيونات (Cl^-)

عدد أيونات $(K^+) = 8.08 \times 10^{21}$ ion/gm

(7) انعكاس بللورة الباريوم بأشعة (X) ذات طول موجى $\lambda = 229$ Beco/m تعطى انعكاس مرتبة أولى عند زاوية قدرها 27.1°. ماهى المسافة بين مستويات الانعكاس.

الحل:

فى هذه الحالة ، نستخدم معادلة براج:

$$n\,\lambda = 2\,d \sin\theta$$

ومن المعطيات، نجد أن:

$$\theta = 27.1°,\ n = 1,\ \lambda = 229 \times 10^{-10}\ cm,\ d = ?$$

بالتعويض عن القيم السابقة فى المعادلة المذكورة:

$$d = \frac{n\,\lambda}{2 \sin\theta}$$

$$d = \frac{1 \times 229 \times 10^{-10}}{2 \times \sin 27.1}$$

$$d = \frac{229 \times 10^{-10}}{2 \times 0.456}$$

$$d = 251.1 \times 10^{-10} \text{ cm}$$

$$d = 251.1 \text{ pm}$$ (بيكو متر)

(8) لأكسيد الماغنسيوم تركيب يشابه (NaCl)، فإذا كانت المسافة بين أيونى الماغنسيوم والأكسجين فى الخلية الوحدة (2.10Å). أحسب كثافة أكسيد الماغنسيوم.

الحل:

من المعطيات، نجد أن: عدد الصيغ = 4

طول حرف الخلية الوحدة = $2 \times 2.1 = 4.2$Å

$$\text{volume} = (4.2 \times 10^{-8}) \text{ cm}^3, \quad M_{MgO} = 40.31 \text{ gm/mol}$$

وحيث أنه يوجد (4) وحدات صيغة من أكسيد الماغنسيوم (MgO) فى الخلية الواحدة، فإنه يمكن حساب الكثافة من المعادلة:

$$\text{Density} = \text{mass} / \text{volume}$$

$$= \frac{4}{6.023 \times 10^{23}} \times 40.31 \times \frac{1}{(4.2 \times 10^{-8})^3}$$

$$= \frac{161.24}{446.23202 \times 10^{-1}}$$

$$\text{Density} = 3.61 \text{ gm/cm}^3$$

(9) إذا علم أن ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) يتبلور تبعا للمجموعة المكعبة، فإذا كان طول ضلع المكعب (طول حافة وحدة الخلية) يساوى (5.64 Å)، وكثافة الملح تساوى 2.163 gm/cm^3. أحسب عدد وحدات الصيغة من NaCl التى تنتمى إلى وحدة الخلية.

الحل:

واحد مول من كلوريد الصوديوم = 58.5 gm

كتلة وحدة الصيغة من NaCl = $58.5/N = 58.5/6.023 \times 10^{23}$

الحجم للوحدى = (طول حافة الوحدة)^3 = $(5.64 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 = 179.40614 \times 10^{-24}$

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\text{كتلة وحدة الخلية} = \text{الحجم للوحدة} \times \text{الكثافة}$$

$$= 2.163 \times (17.94 \times 10^{-23})$$

ولكن، نجد أن:

$$\frac{\text{كتلة وحدة الخلية}}{\text{كتلة وحدة الصيغة}} = \text{عدد وحدات الصيغة من NaCl في وحدة الخلية}$$

$$= \frac{2.163 \times (17.94 \times 10^{-23}) \times 6.023 \times 10^{23}}{58.45}$$

4 = عدد وحدات الصيغة NaCl في وحدة الخلية

obeikandl.com

رابعا: مسائل غير محلولة

(1) إذا علم أن كثافة فلز الألومنيوم هى ($2.702\ gm/cm^3$)، وأنه يتبلور تبعا للتنظيم المكعبى ممركز الوجه. أحسب طول ضلع وحدة الخلية.

(2) أحسب كثافة بلورات أكسيد الماغنسيوم المكعبة إذا علم أن وحدة الخلية تحتوى على (4) ذرات ماغنسيوم، و(4) ذرات أكسجين، وأن طول جانب المكعب (4.2Å).

(3) إذا علم أن فلز الباريوم يتبلور تبعا للتنظيم المكعبى ممركز الجسم. أحسب نصف القطر الظاهرى لذرة الباريوم، إذا علم أن طول حافة وحدة الخلية تساوى (5.015Å).

(4) شاهد براج أن المسافة بين إحدى مجموعة مستويات الحيود فى بللورة كلوريد الصوديوم تساوى (2.76Å). وباستخدام أشعة (X) الصادرة عن النحاس عند قذفه بالإلكترونات، شوهدت زوايا الحيود عند °16 و°50 و°33 و°40 و°56 و °10، حيث ($n = 1, 2, 3 \ldots$). أحسب طول موجة أشعة (X) المستخدمة.

(5) إذا علم أن الذهب يتبلور تبعا للتنظيم المكعبى ممركز الوجه، وأن طول حافة وحدة الخلية هو (4.07Å). وإذا افترضنا أن الذهب يتكون من ذرات كروية الشكل ومصمطة ومتلامسة. أحسب نصف قطر ذرة الذهب في حالته الجامدة.

(6) يتبلور الزينون (Xe) فى تركيب مكعب متمركز الوجه، وطول ضلع وحدة خليته (620 pecometer). أحسب كثافة الزنيون المتبلور.

(7) تتبلور الفضة فى تركيب مكعبى، طول ضلعه (408 pm)، وكثافته هى $10.6\ gm/cm^3$. أحسب عدد ذرات الفضة فى وحدة الخلية، ثم أذكر نوع التركيب المكعبى الذى تنتمى إليه الفضة المتبلورة.

(8) يتبلور الألومنيوم فى تركيب مكعبى متمركز الوجه، وطول ضلع وحدة خليته هو (405 p.m). أحسب الوزن الذرى للألومنيوم.

(9) يتبلور الصوديوم فى تركيب مكعبى متمركز الجسم، وطول ضلع وحدة خليته هو (430 p.m). أحسب أبعاد مكعب يحتوى على واحد مول فلز الصوديوم (23 gm).

(10) إذا كانت كثافة التنتاليوم هى $17\ gm/cm^3$، وأنه يتبلور على هيئة شبكية مكعبة ممركزة الجسم. أحسب طول وحدة الخلية والبعد بين المستويات.

(11) إذا كانت زاوية الإنعكاس الأول من وجه بللورة كلوريد البوتاسيوم يساوى (14.2°)، وطول موجة الأشعة السينية المستعملة (1.54Å). أحسب طول جانب الخلية للشبكية الممركزة الوجه، وكذلك كثافة بللورات كلوريد البوتاسيوم.

(12) يتبلور الذهب على هيئة مكعبات وطول حافة وحدة الخلية يساوى (407 pc)، فإذا كانت كثافة الذهب $19.4\ gm/cm^3$ ووزنه الذرى 197. كم عدد الذرات التى تنتمى إلى وحدة الخلية، وما نوع خلية التنظيم المكعبى للذهب.

(13) الكريبتون الجامد يتبلور تبعا للنظام المكعبى ممركز الوجه. فإذا علم أن طول ضلع المكعب يساوى (559 pm)، والوزن الذرى للكريبتون هو 83.8. أحسب كثافة الكريبتون الجامد.

(14) أحسب قيمة عدد أفوجادرو إذا علمت أن المسافة بين مركزى أيونين فى بللورة NaCl هو (2.82 Å) وكثافة NaCl الصلب هى $2.17\ gm/cm^3$.

(15) عندما استخدمت أشعة (X) ذات طول موجى (1.540 Å)، حدثت نهاية عظمى للانعكاس من البللورة عند ($\theta = 22°\ 25'$). أوجد المسافة العمودية بين المستوى العاكس والمستوى الأول.

(16) عند انعكاس أشعة (X) من مستويات بللورة $d = 1.8$ Å، أمكن الحصول على انعكاس من المرتبة الأولى عند زاوية قدرها (22°). أحسب طول موجة أشعة (X) المستخدمة.