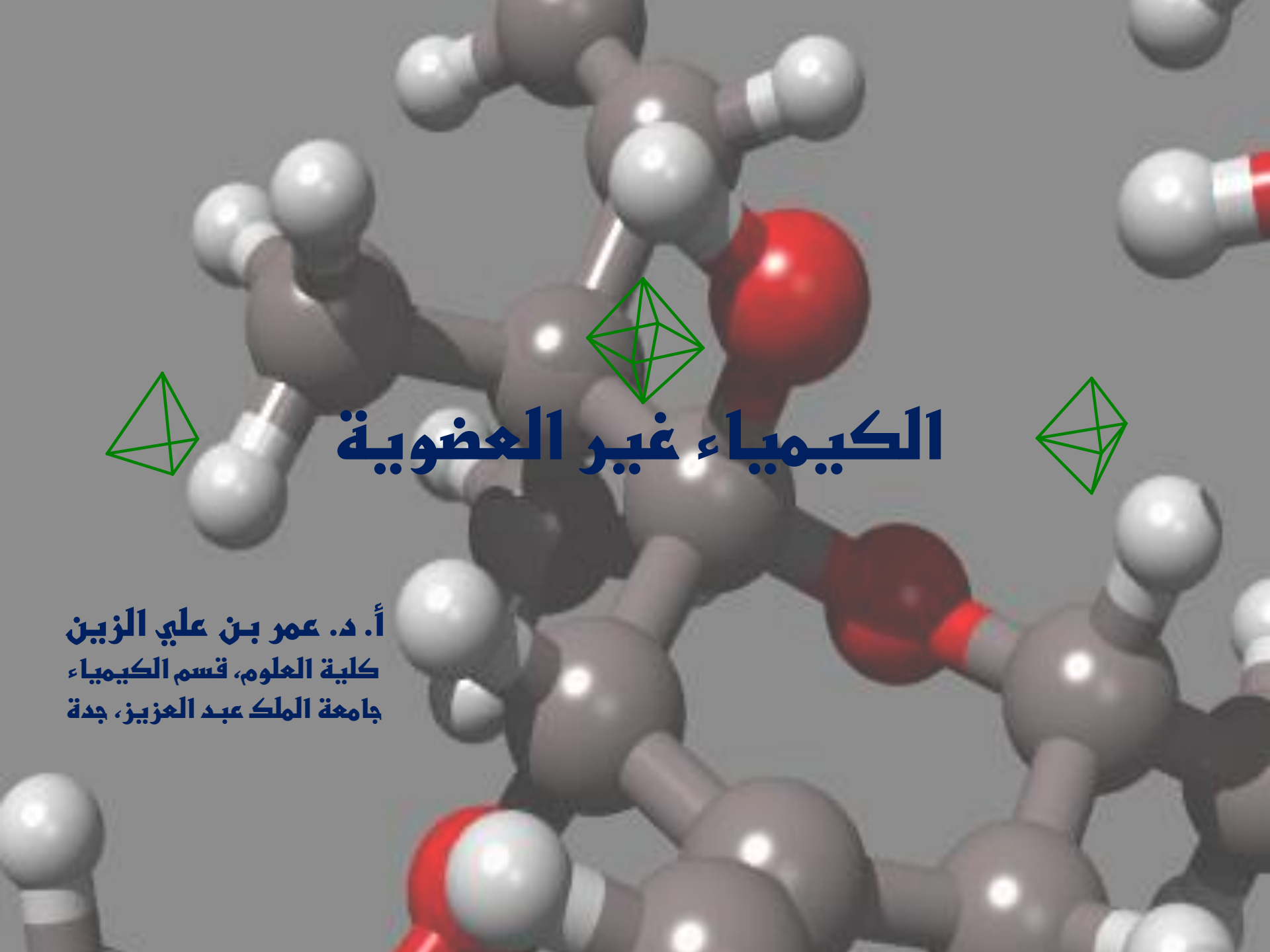
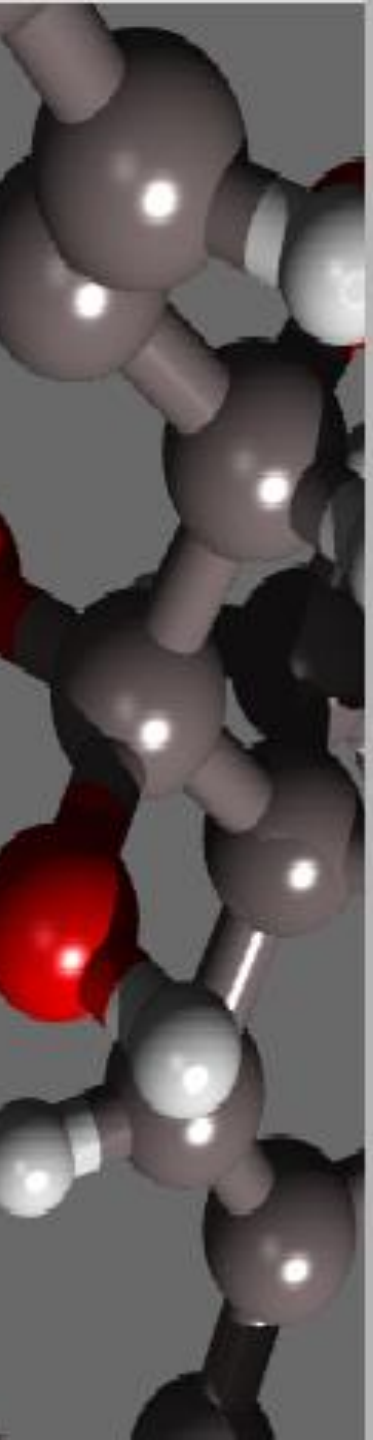


الكيمياء غير العضوية

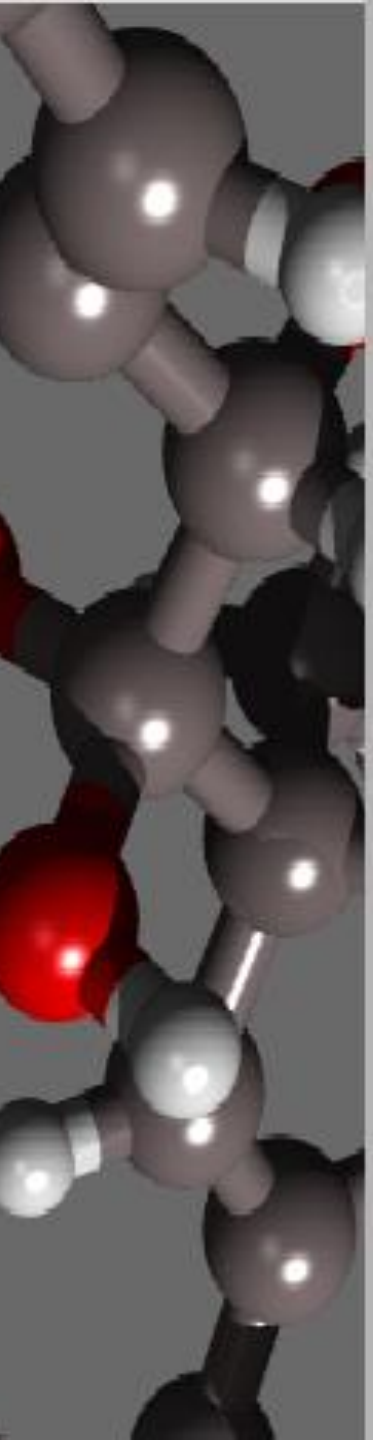
أ. د. عمر بن علي الزين
كلية العلوم، قسم الكيمياء
جامعة الملك عبد العزيز، جدة



الباب الخامس
CHAPTER FIVE

"ومن آياته يريكم **البرق** خوفاً وطمعاً وينزل من السماء ماءً فيحيى به الأرض بعد موتها إن فى ذلك لآيات لقوم يعقلون" (الروم 24)

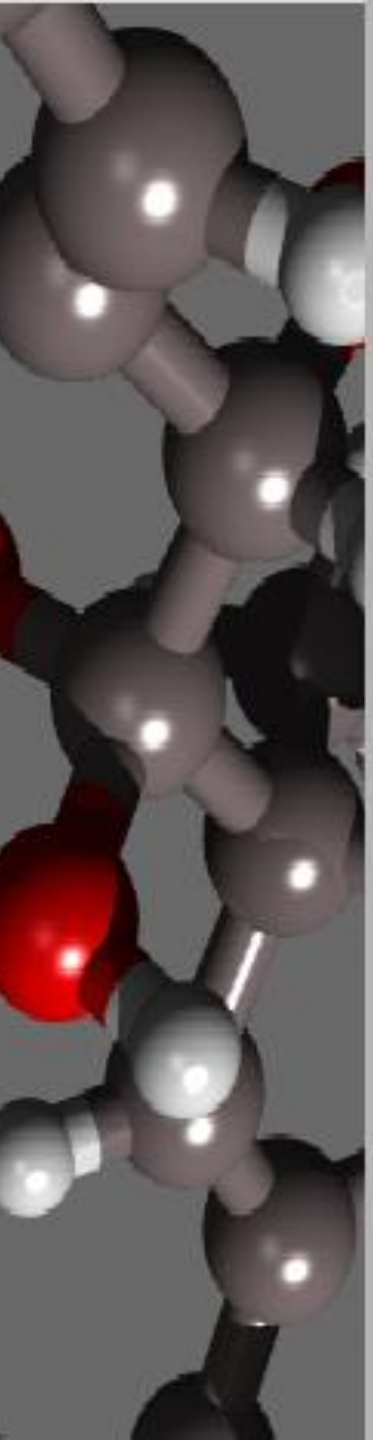
أ.د. عمر بن علي الزين



الروابط الكهربية The Ionic Bond

- عندما يكون هناك عنصر جهد إبعاده ionization potential منخفض نسبيا وعنصر آخر شراهته الكهربية electron affinity عالية نسبيا فإن كهيرب العنصر الأول ينتقل انتقالا تاما إلى الفلك الخارجي للعنصر الثاني ويتشكل لدينا مركب تكون الرابطة بين عنصريه رابطة كهربية Ionic Bond

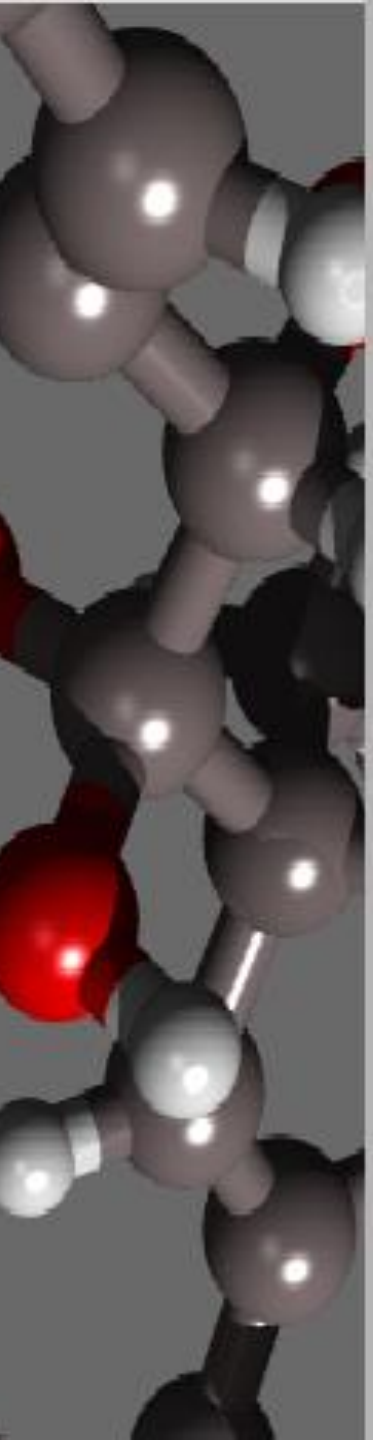
- الرابطة الكهربية هي عبارة عن تجاذب بين شحنتين مختلفتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة.



العنصر الذي يحمل الشحنة الموجبة يدعى دالفا موجبا cation.

والجزء الذي يحمل الشحنة السالبة يدعى دالفا سالبا anion

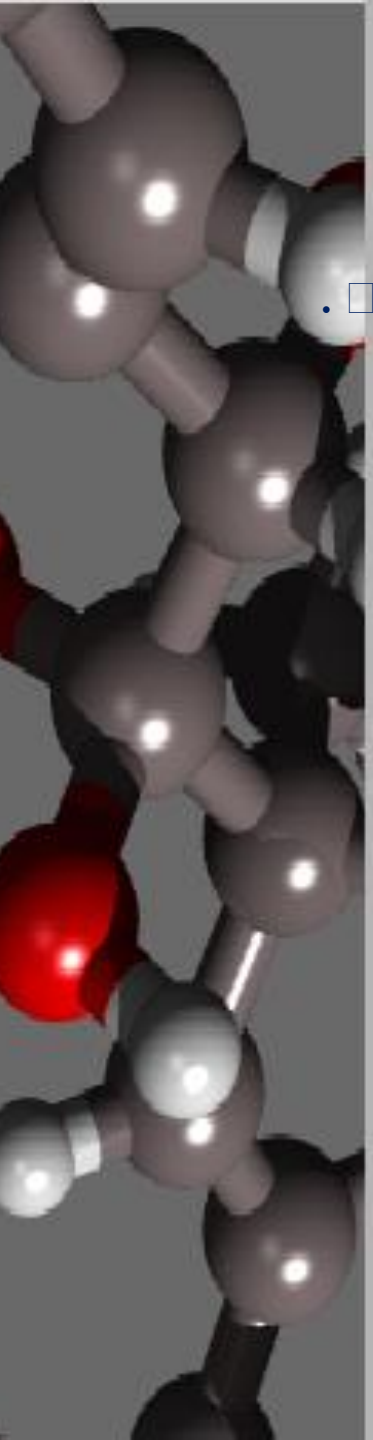
فلنأخذ على سبيل المثال تفاعل ذرة الصوديوم مع ذرة الكلور



الكهيرب الخارجي لذرة الصوديوم ينتقل انتقالا تاما إلى ذرة الكلور.

يصبح التوزيع الكهيربي للصوديوم هو 1س2 2س2 2ب6

وبالتالي تكون شحنته الموجبة 11 وشحنته السالبة 10 وبذلك يحمل شحنة موجبة.

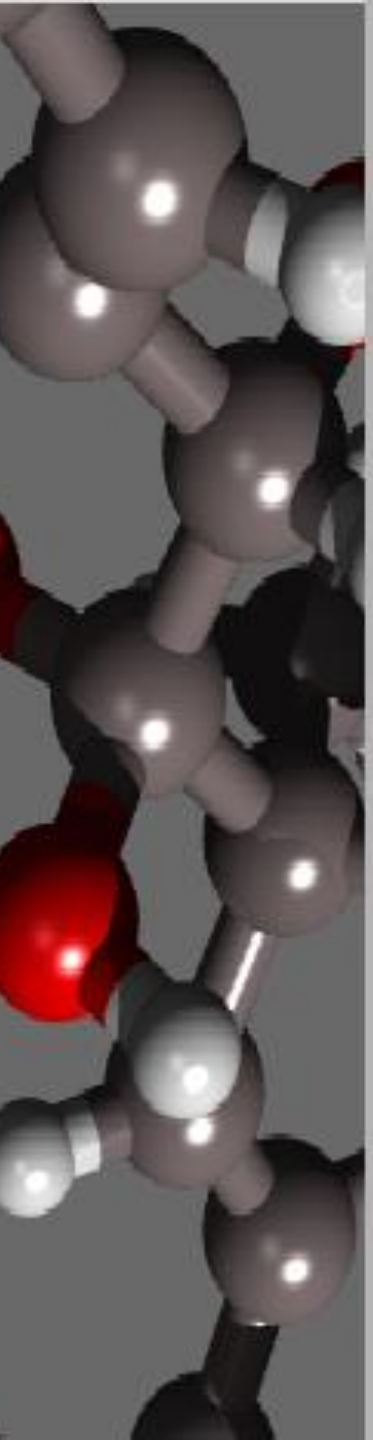


والتوزيع الكهيربي للكلور يصبح يمس مممس مم ممب ب .

وبالتالي تكون شحنته الموجبة 17 وشحنته السالبة 18 وبذلك يحمل شحنة سالبة.

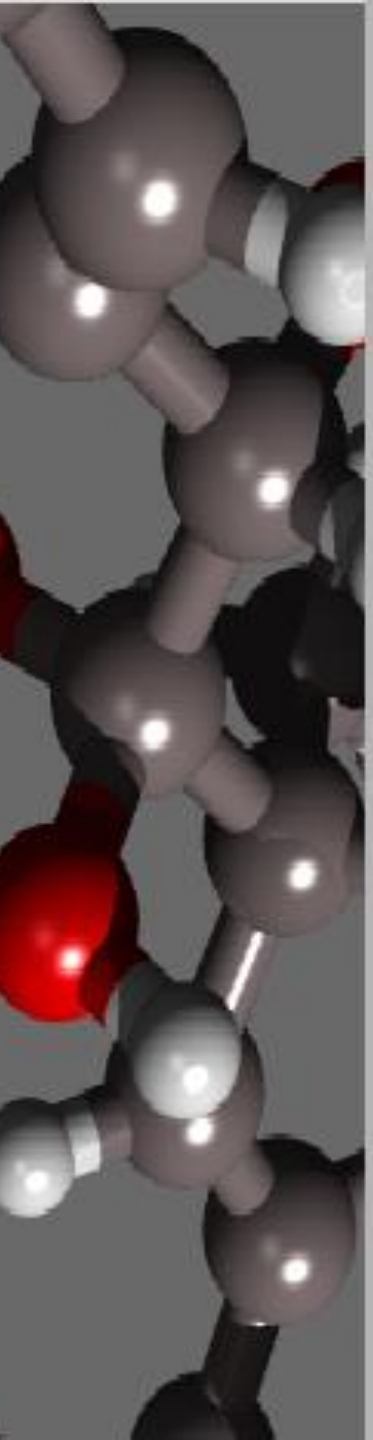
أي أن كلاهما له تركيب الغاز النبيل ويدعى أيضاً تماثلا كهيربيا Isoelectronic

الأول دالف موجب والثانى دالف سالب cation and anion



بعد ذلك تتناسق الدوالف الموجبة والسالبة مع بعضها البعض في شكل بلوري منتظم.

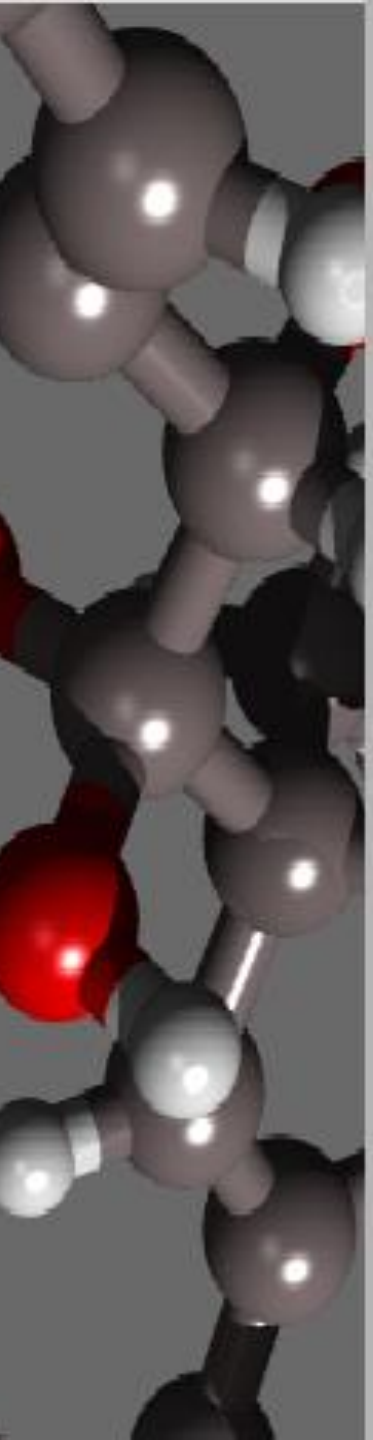
تنطلق عن هذه العملية طاقة سالبة الإشارة وتسمى طاقة الشبكة البلورية crystal lattice energy.



❖ ص(غ) + **1,96 × 10^{-19}** سعر/ذرة ← ص$^{+}$(غ) + ك$^{-}$(غ) **(1)**

❖ كل(غ) + ك$^{-}$(غ) ← كل$^{-}$(غ) + **1,46 × 10^{-19}** سعر/ذرة **(2)**

❖ ص$^{+}$(غ) + كل$^{-}$(غ) ← ص كل(ص) + **3,04 × 10^{-19}** سعر **(3)**

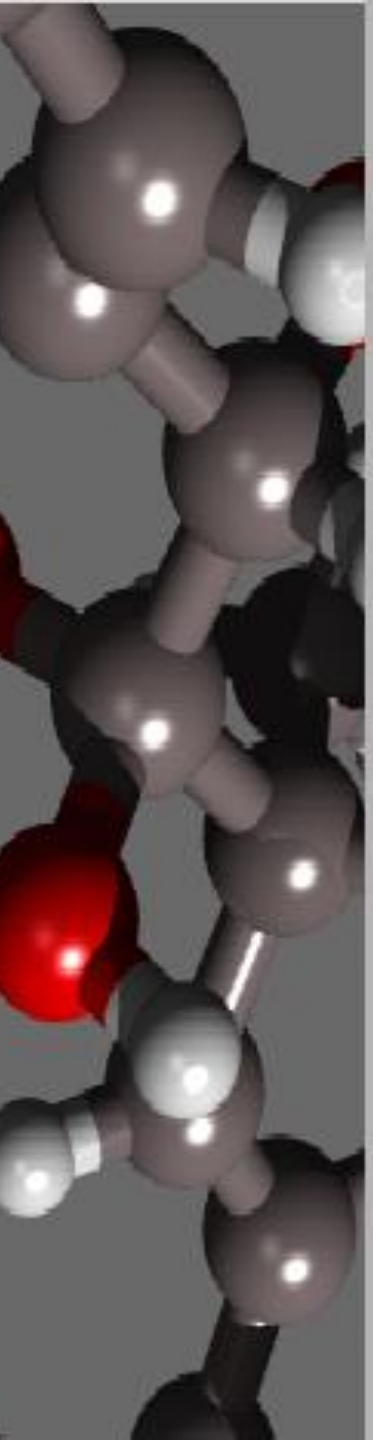


$$Na_{(g)} + ١.٩٦ \times ١٠^{-١٩}\ cal/atom \rightarrow Na^{+}(g) + e^{-}(g) \quad (١)$$

$$Cl_{(g)} + e^{-}(g) \rightarrow Cl^{-}(g) + ١.٤٦ \times ١٠^{-١٩}\ cal/atom \quad (٢)$$

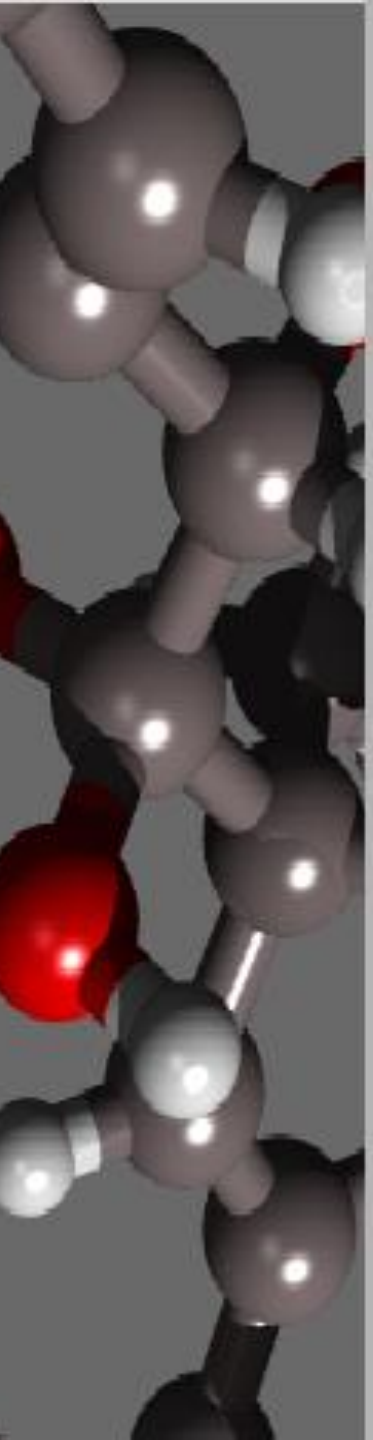
$$Na^{+}(g) + Cl^{-}(g) \rightarrow NaCl(crystal) + ٣.٠٤ \times ١٠^{-١٩}\ cal \quad (٣)$$

وبجمع (2) ، (3) وطرح (1) من مجموعهما



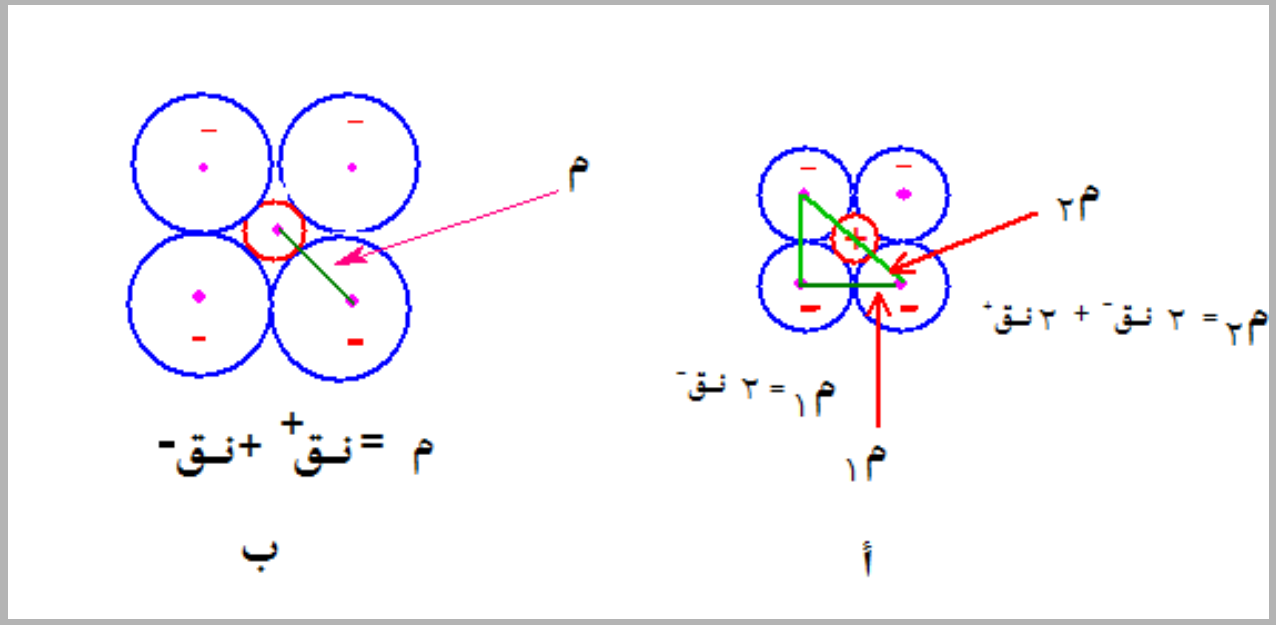
ص(غ) + كل(غ) ← ص كل(ص) + 2,54 ×10^{-19} سعر (4)

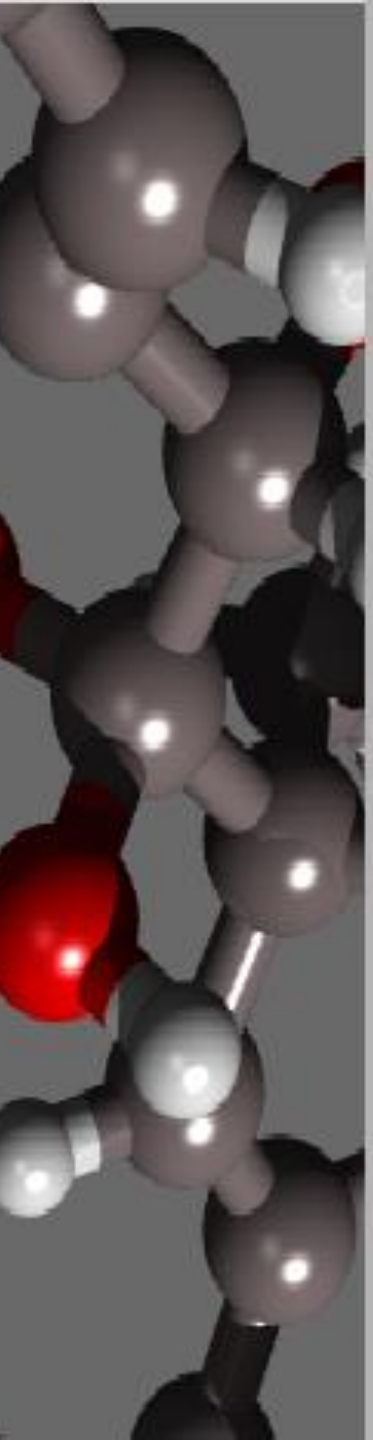
$$Na_{(g)} + Cl_{(g)} \rightarrow NaCl\ (crystal) + ٢.٥٤ \times ١٠^{-١٩} cal \qquad (٤)$$



– أنصاف أقطار الدوالف

Ionic Radii

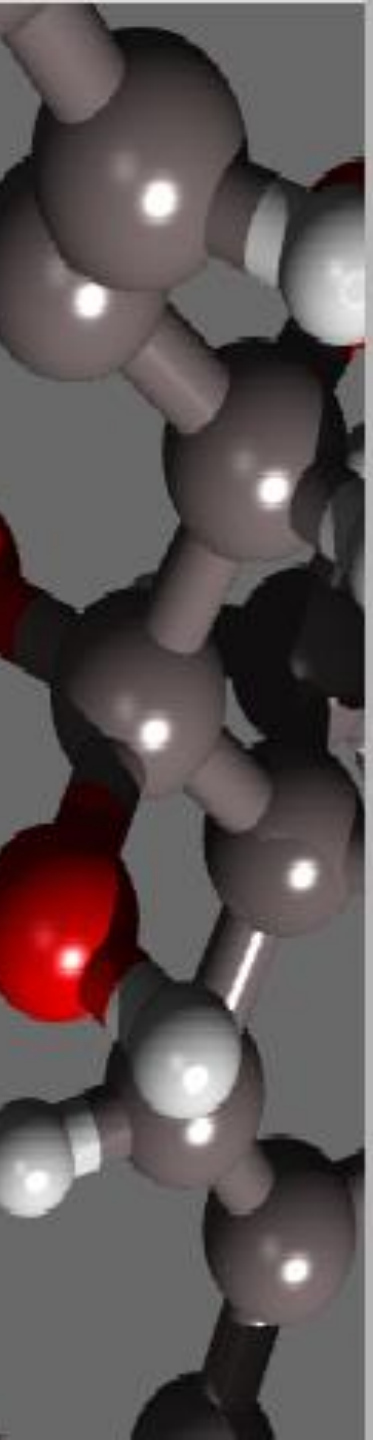




- قام بولنج Pauling بحساب أنصاف أقطار بعض الدوالف معتمدا فى ذلك على افتراضين:

- أن كلا الدالفين الموجب والسالب يفترض أنهما متلامسان حيث يمكن اعتبار المسافة بين النواتين هي مجموع نصفي قطريهما نق$^{+}$ + نق$^{-}$ r^{-} + r^{+}

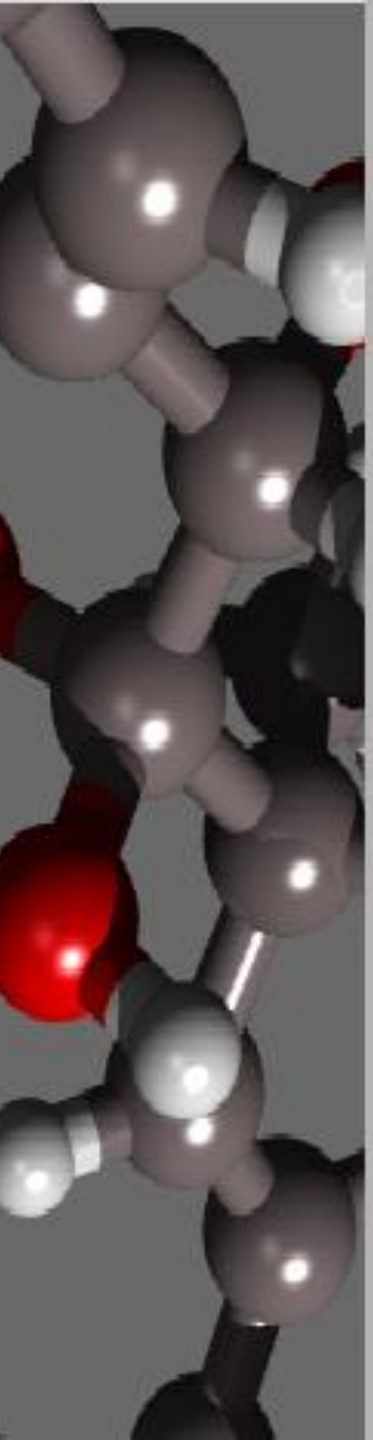
- أن الزوجين المتماثلين كهيربيا isoelectronic ions مثل ص$^{+}$ فل$^{-}$ ، Na^{+} F^{-} يفترض أن نصفي قطريهما يتناسبان عكسيا مع شحنة النواة الفعالة على الكهيربات الخارجية.



المثال الأول
بو كل KCl

- بتطبيق القاعدة الأولى نجد أن المسافة بين الدالفين تبلغ **3,14** أنجستروم.

- والشحنة النووية الفعالة للتوزيع الكهيربي للدالفين هو **1س2 ² س2 ² ب3 ⁶ س3 ² ب ⁶**على الكهيربات الخارجية يساوي **11,25**



❖ ∴ بتطبيق القاعدة الأولى نجد أن:

❖$نق^{+}$ + $نق^{-}$ = **3,14** أنجستروم **(5)**

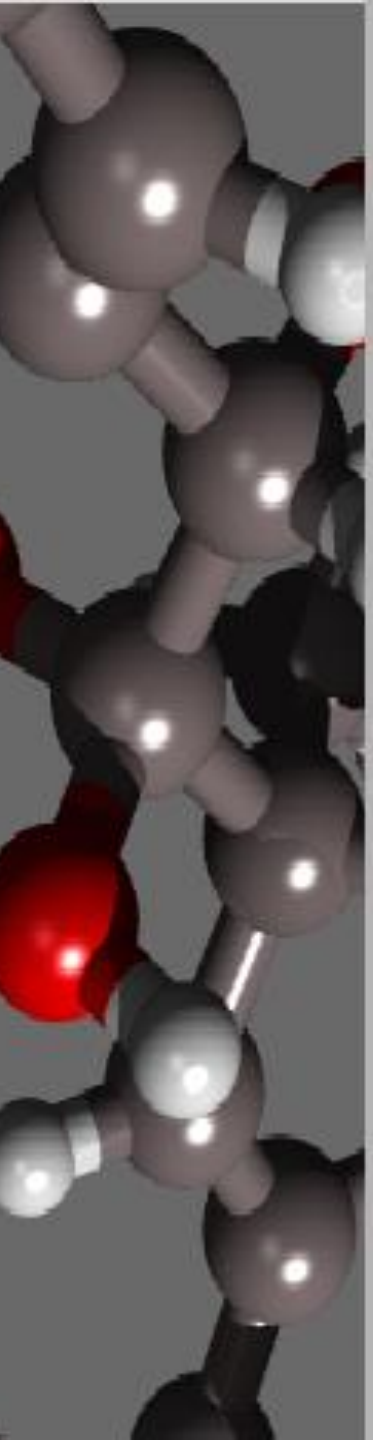
❖وبتطبيق القاعدة الثانية :

❖بالنسبة للبوتاسيوم $ش_{ن}$ = **19**

19 – 11,25 = 7,75

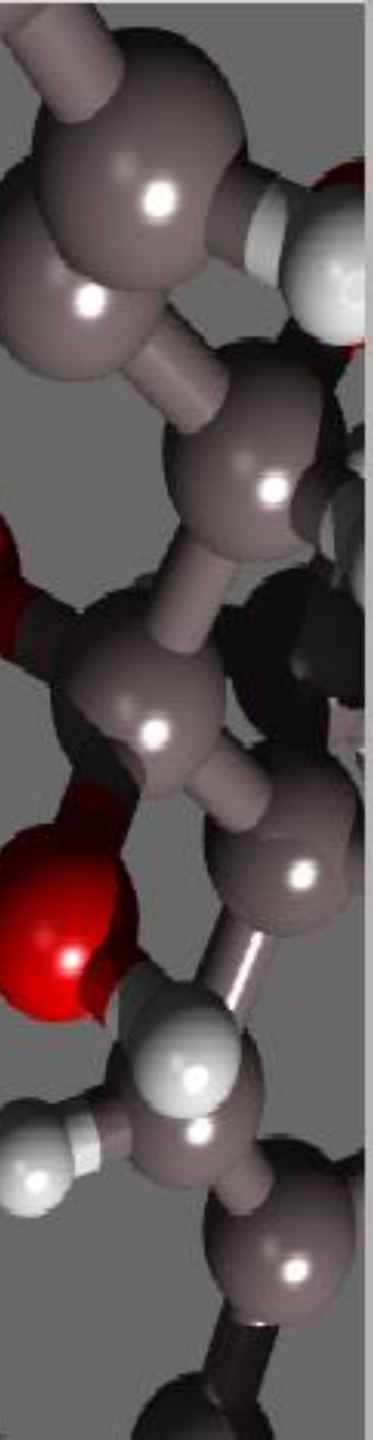
❖بالنسبة للكلور $ش_{ن}$ = **17**

17 – 11,25 = 5,75



$$\therefore \quad \frac{\text{تق بو}^{+}}{\text{تق كل}^{-}} = \frac{١}{\frac{٧,٧٥}{٥,٧٥}} = ٧٤,$$

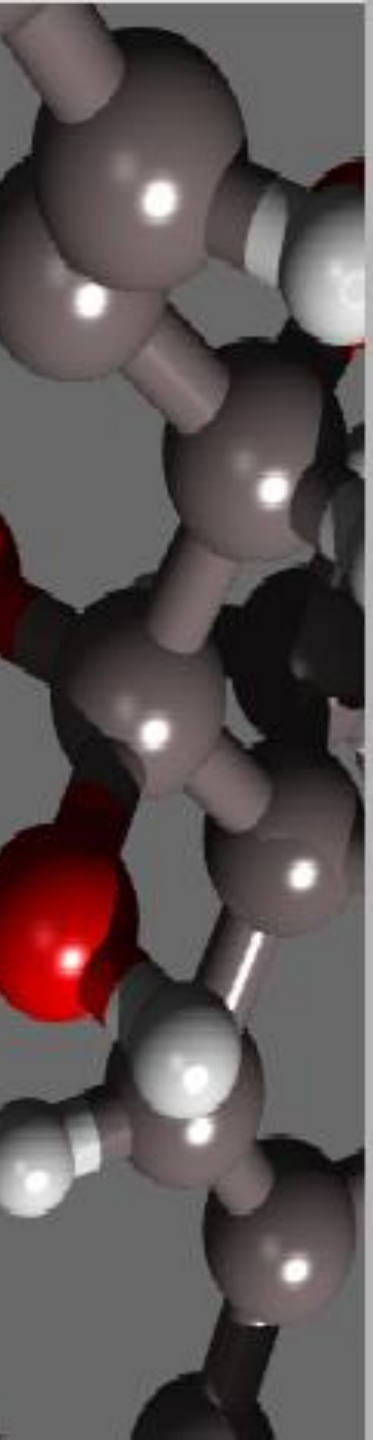
(٦)

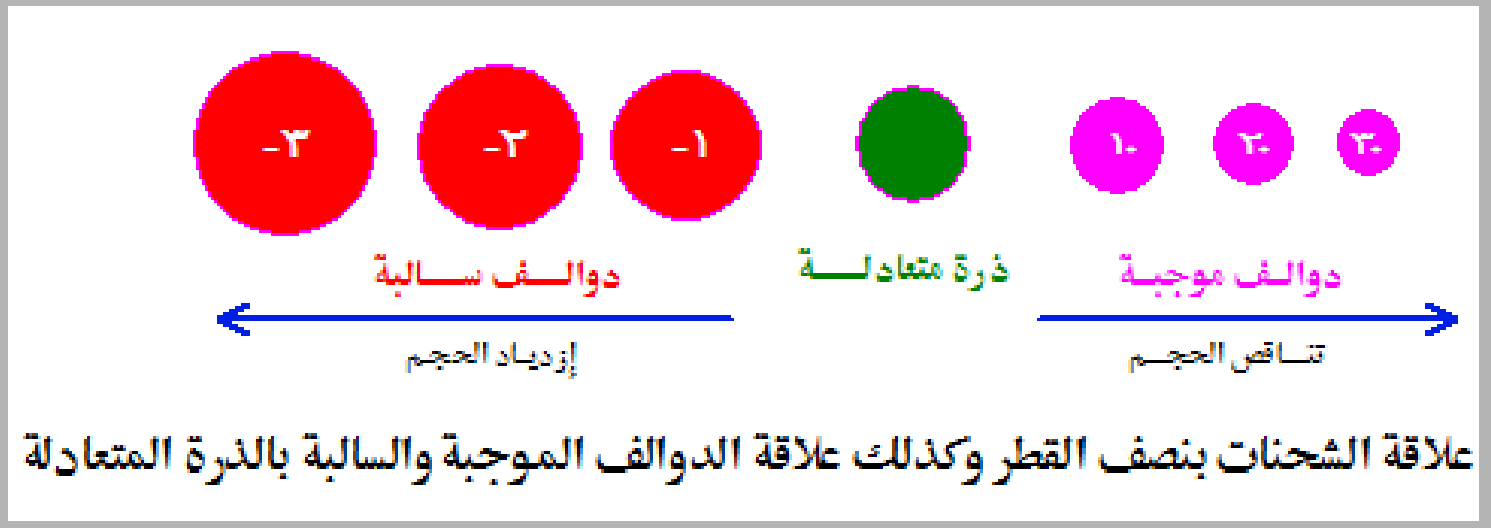


❖بالتعويض بنتائج معادلة (6) في معادلة (5) نجد

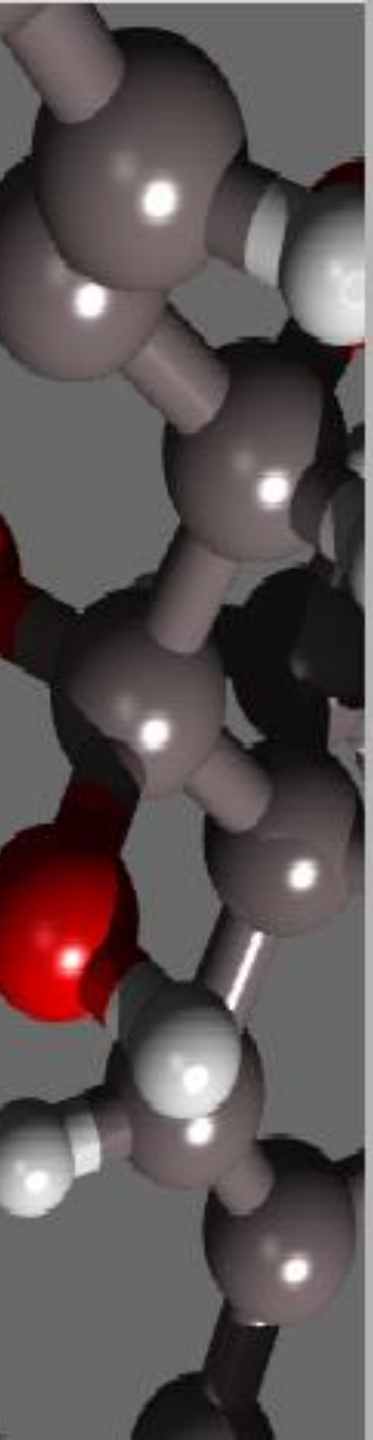
❖نق$_{بو+}$ = **1,33** أنجستروم

❖نق$_{كل-}$ = **1,81** أنجستروم





علاقة الشحنات بنصف القطر وكذلك علاقة الدوالف الموجبة والسالبة بالذرة المتعادلة

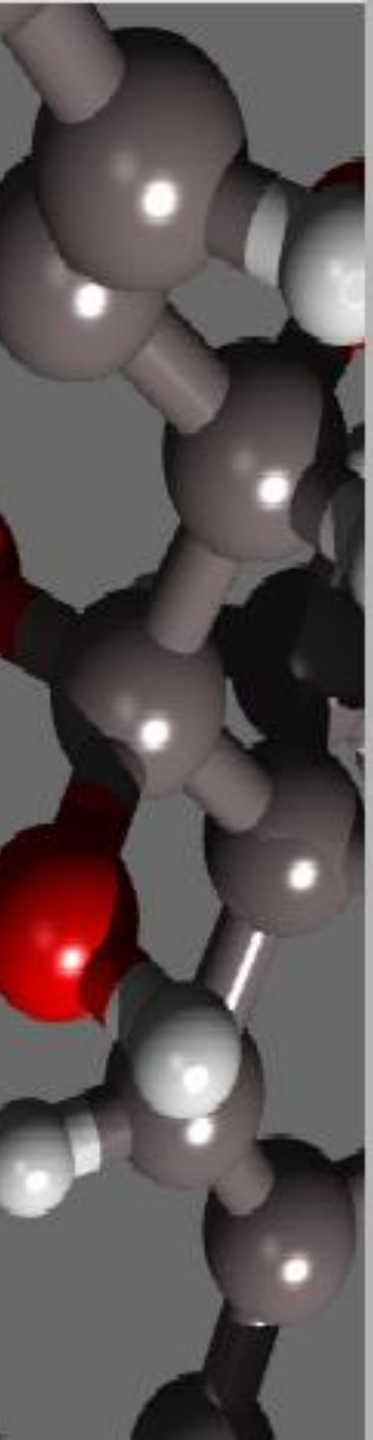


البناء محكم التعبئة

Closed - Packed Structures

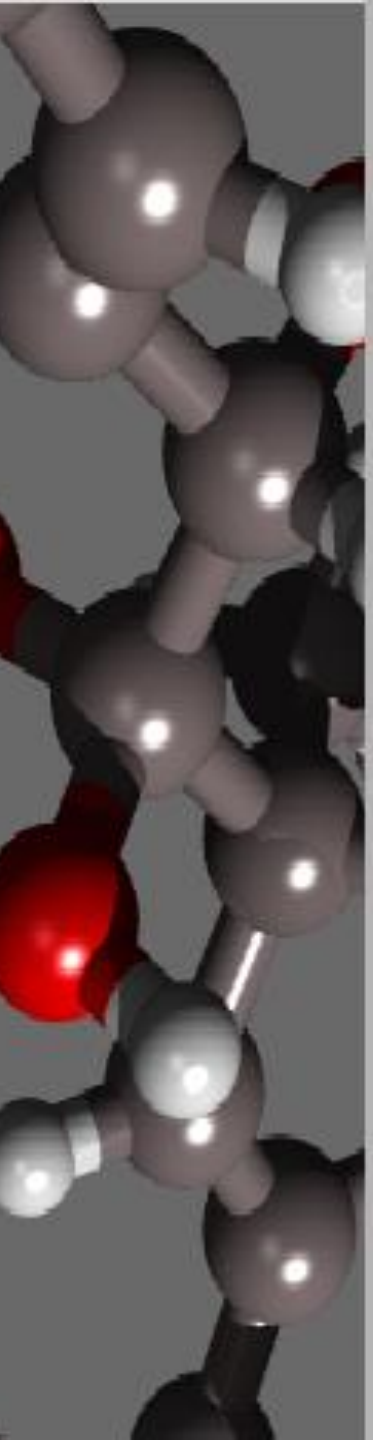
الفلزات في حالتها الصلبة النقية وُجد أن عناصرها ترتب نفسها في طبقات منتظمة مترابطة فيما بينها عن طريق توزيع كهيرباتها على جميع ذرات البلورة (رابطة غير موضعية وترابط جماعي delocalized electrons

عناصر اللافلزات مثل الفحم carbon والسلكون والجرمانيوم والفسفور بِصِنْفَيْهِ الأحمر والأسود وكذلك البورون تترابط عن طريق شبكة لانهائية من الروابط الموضعية localized bond



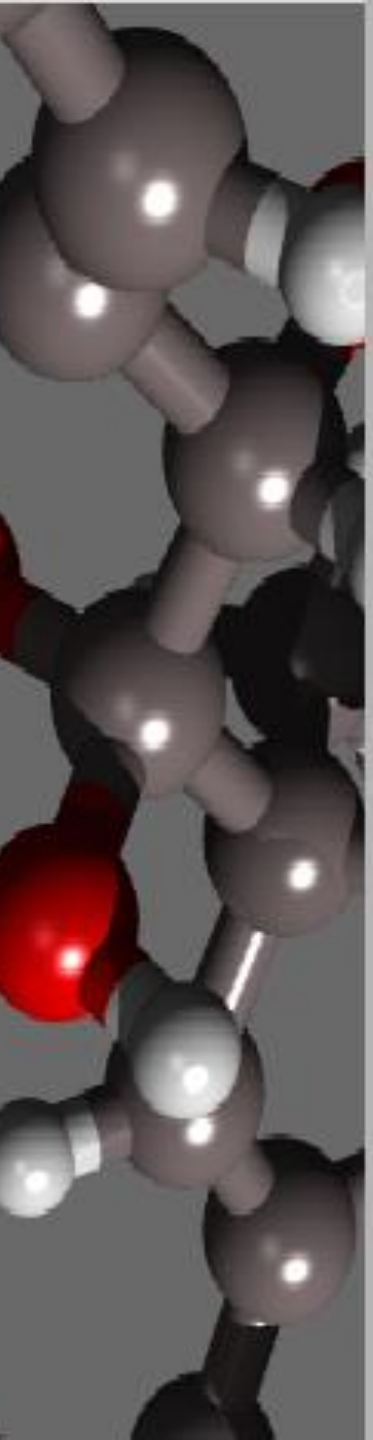
- الفلزات في الحالة الصلبة ترتب ذراتها بطريقة منظمة متراصة طبقة فوق أخرى بحيث تضم وحدة الحجوم من البلورة أكبر عدد ممكن من الذرات.

- أطلق على مثل هذه التصاميم اسم البناء محكم التعبئة Close-Packed Structures



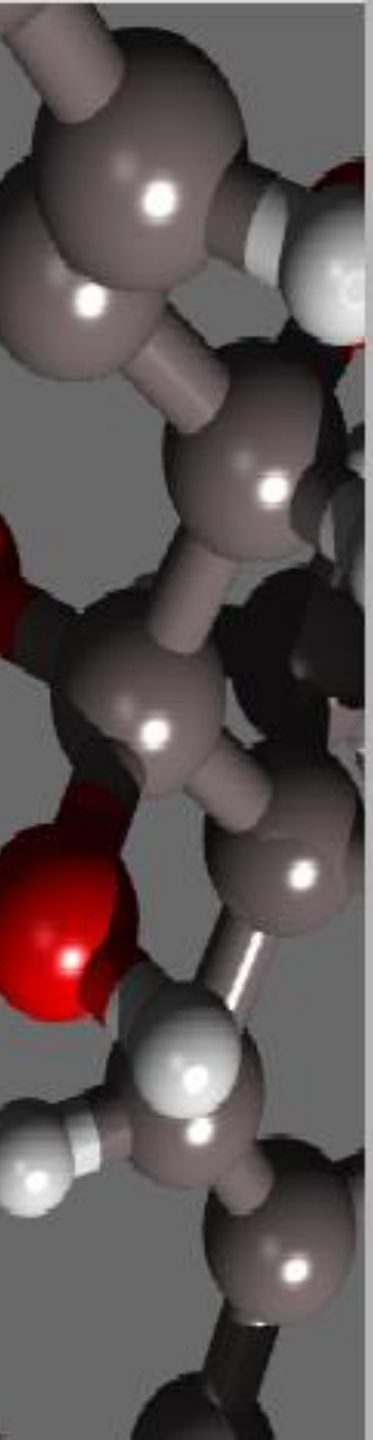
- هذا البناء المحكم قد يكون لعنصر نقي (سواء أكان فلزا أو لافلزا) وفي هذه الحالة تكون الذرات غير مشحونة وترابطها يكون بسيطا نتيجة لغياب قوى التنافر بين الأقطاب المتشابهة ونتعامل مع الذرات وكأنها كرات صلبة.

- وقد يكون البناء المحكم لمركبات تتكون من دوالف موجبة وأخرى سالبة وهنا يجب أن يتحقق في البناء المحكم غايتان:



- 1 - يجب أن يكون عدد الدوالف مختلفة الشحنة والمتجاذبه أكبر ما يمكن في البناء محكم التعبئة.

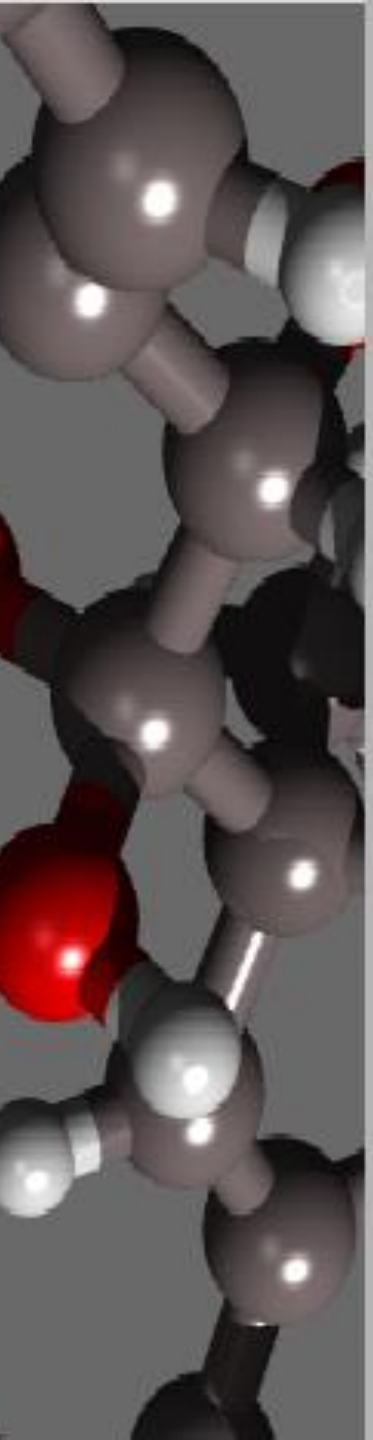
- 2 - يجب أن تكون الدوالف المتشابهة على بعد كاف من بعضهما البعض للتقليل من حدة التنافر بينهم.



- هناك عوامل تتحكم في اتخاذ العنصر أو المركب شكلا هندسيا دون الآخر وأن من أهم تلك العوامل حجم الذرة أوالدالف وكذا عدد الشحنات التي يحملها الدالف.

- إن التعبئة المحكمة شوهدت على أبسط صورها في الحالة الصلبة للغازات النبيلة.

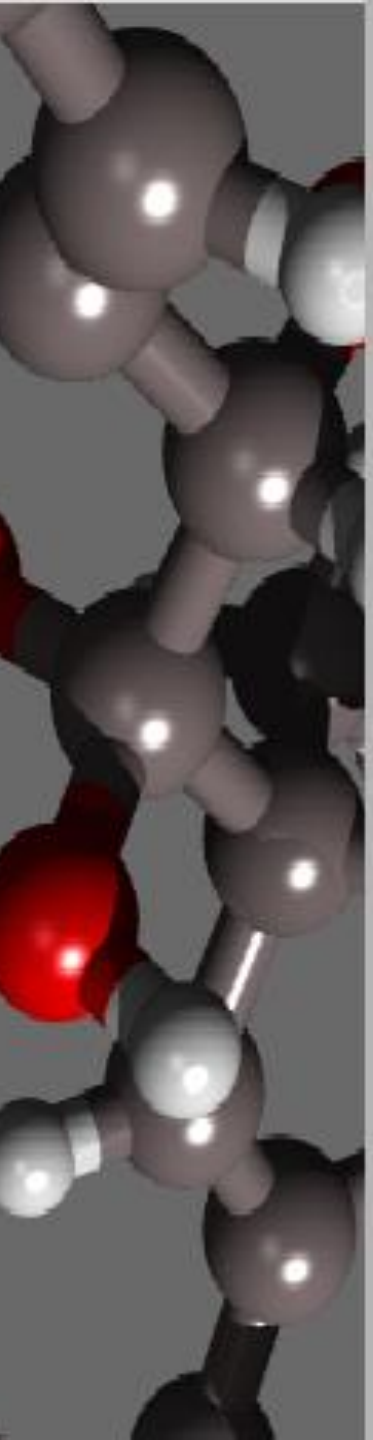
- بينما المركبات الكهربية الصلبة ionic solids عليها أن ننظم نفسها بدقة بحيث تقلل من حدة التنافر بين الدوالف متشابهة الشحنة.



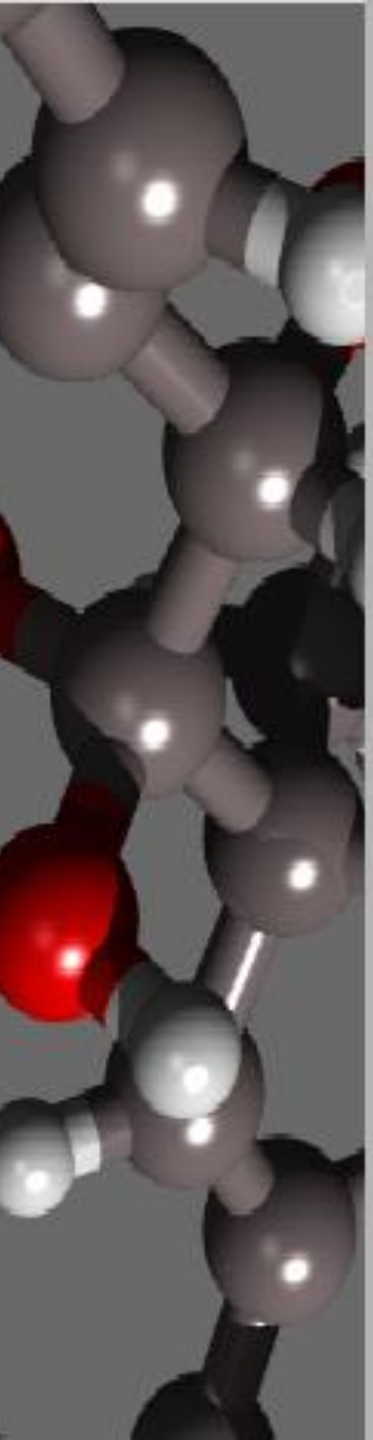
- هناك طريقتان لترتيب ذرات (أو دوالف) البناء المحكم التعبئة.

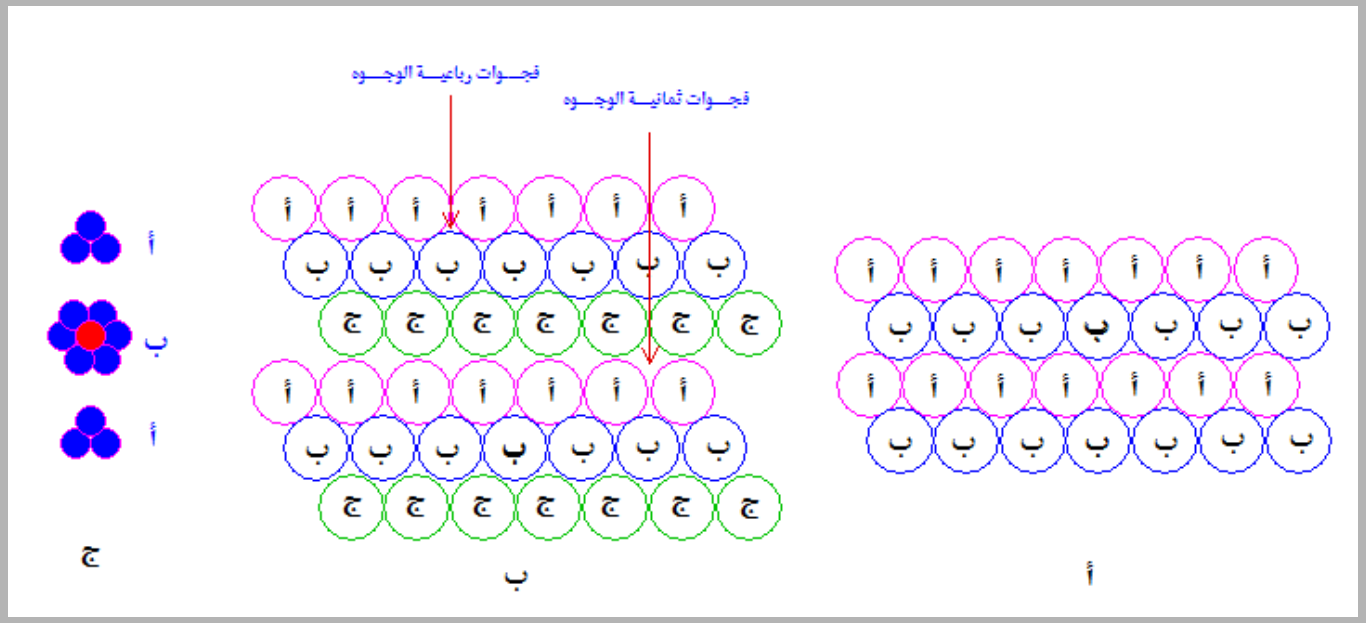
- الطريقة الأولى ترتب الذرات نفسها الواحدة بجانب الأخرى لِتُكوِّنَ صفا يملأ وحدة الحجوم للبلورة ثم يأتي الصف الثاني بحيث تلامس كل كرة المحيط الخارجي لكرتين (ترتيب تبادلي).

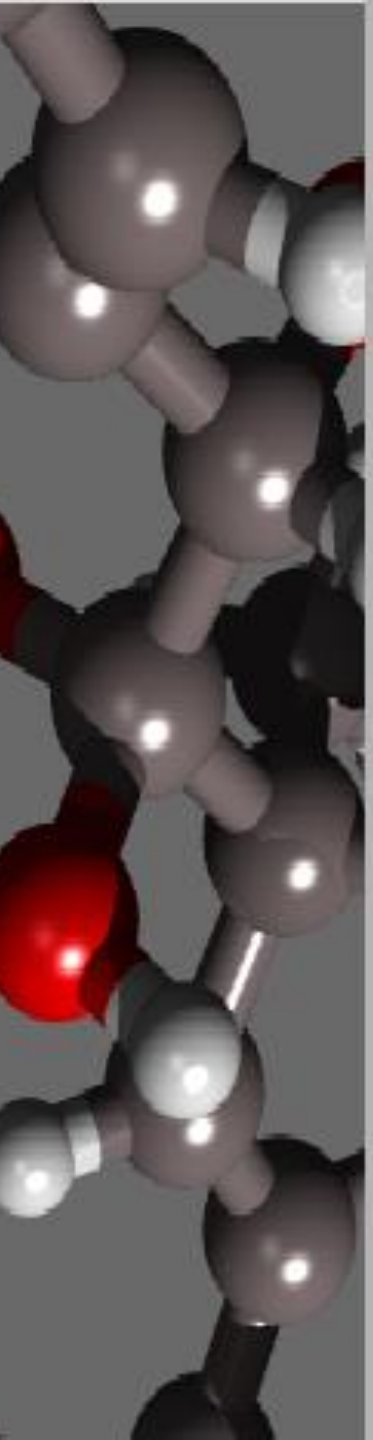
- يرمز للصف الأول بالحرف "أ" وللصف الثاني بالحرف " ب " ثم يتكرر ترتيب الصفوف بعد ذلك.

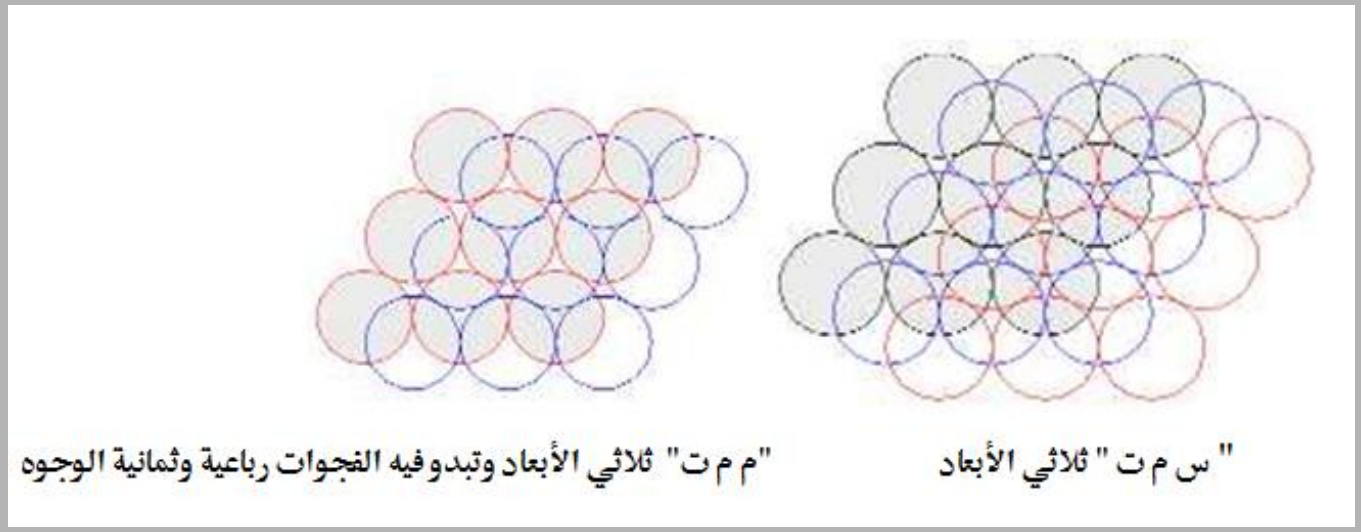


❖ أما الطريقة الثانية فيكون الصف الأول والثاني تماما مثلما هو عليه الحال في الطريقة الأولى ثم الصف الثالث لا يوازي أيا من الصف الأول أو الثاني ولذلك يرمز لهذه الطريقة بالرمز أ ب جـ أ ب جـ



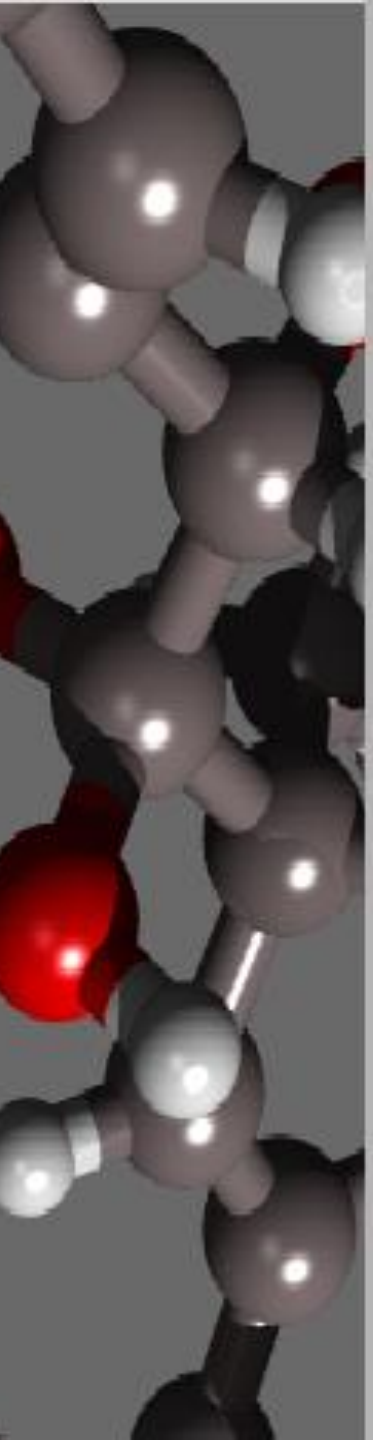

فجـــوات رباعيـــة الوجـــوه
فجـــوات ثمانيـــة الوجـــوه
أ
ب
ج
أ
ب



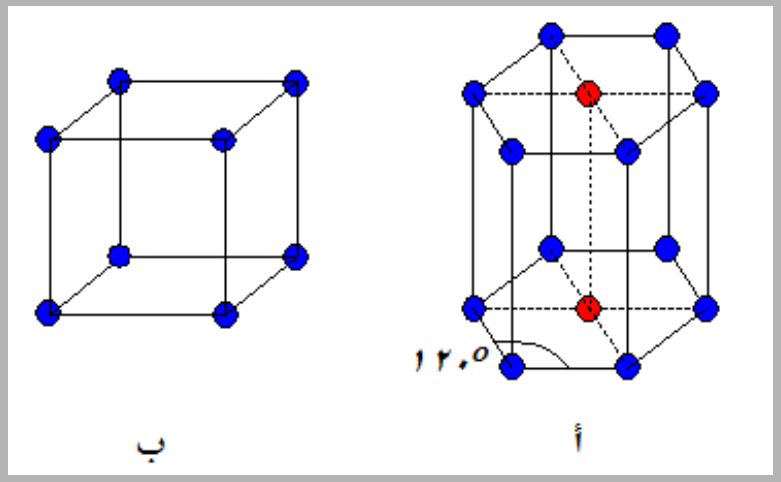


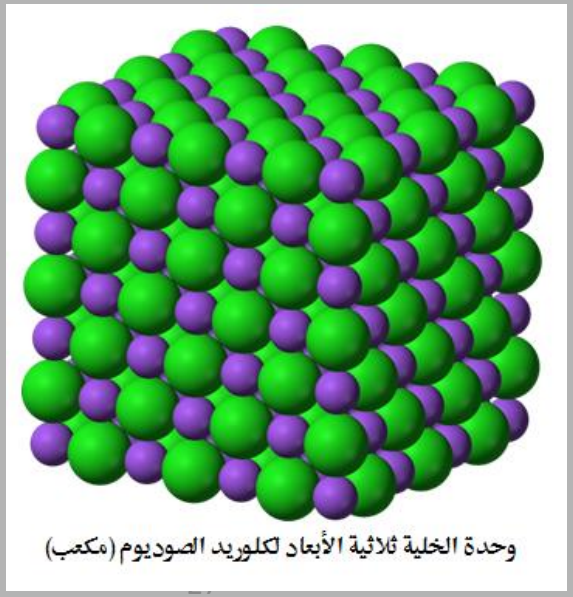
" س م ت " ثلاثي الأبعاد

"م م ت" ثلاثي الأبعاد وتبدو فيه الفجوات رباعية وثمانية الوجوه

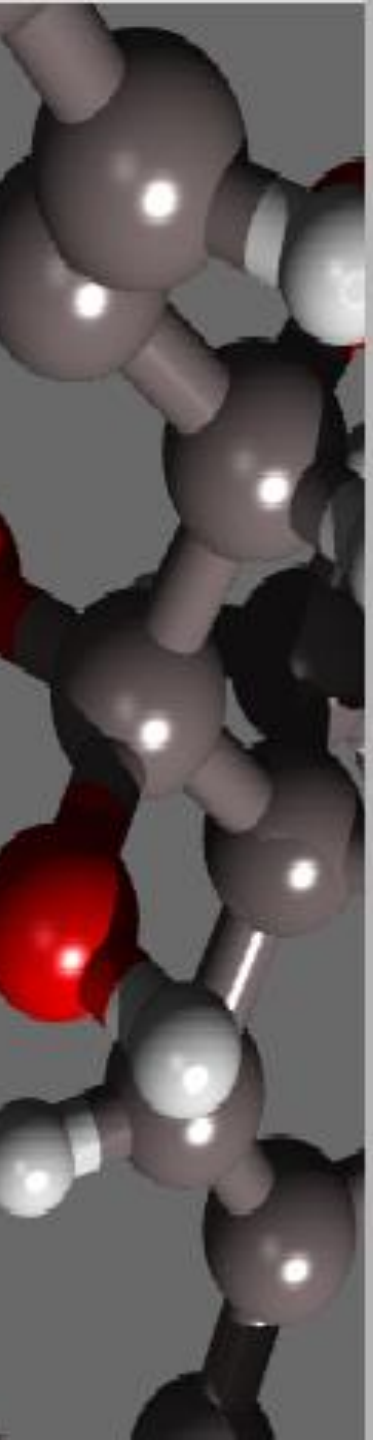


أ - النظام السداسي للبلورة ب- النظام المكعبي للبلورة




وحدة الخلية ثلاثية الأبعاد لكلوريد الصوديوم (مكعب)

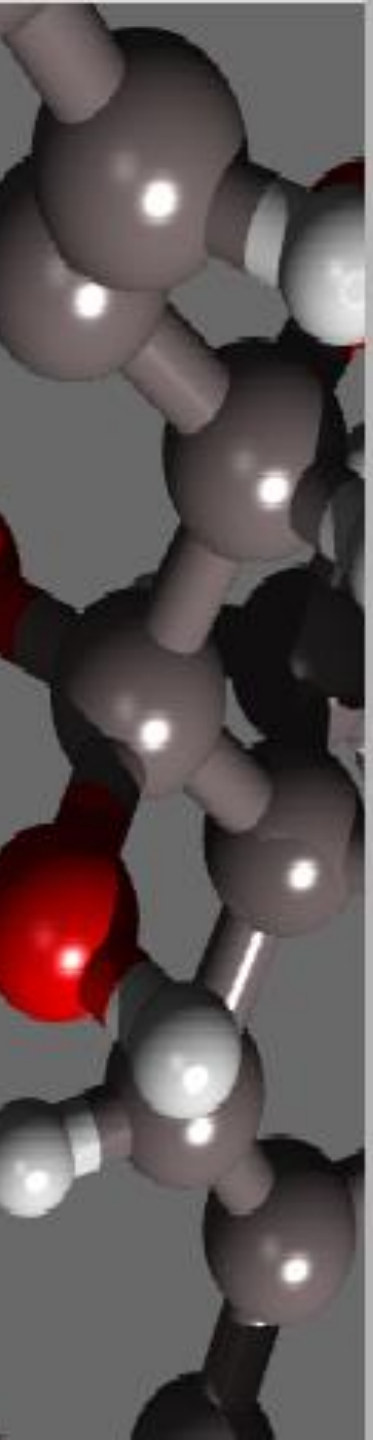
أ.د. عمر بن علي الزين

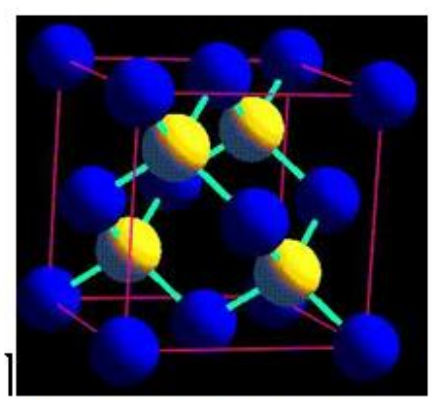


العدد التناسقي
coordination number

العدد التناسقي coordination number أي كم من الدالف السالب يستطيع أن يتناسق حول الدالف الموجب وكم من الدالف الموجب بإمكانه أن يتناسق حول الدالف السالب.

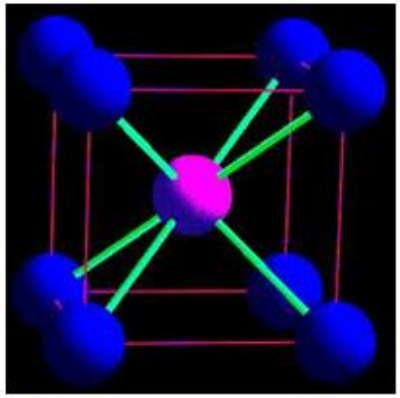
هذا العدد يتحكم فيه حجم الدالف الموجب وحجم الدالف السالب ومقدار الشحنة على كل منهما الأمر الذي يُحَتِّمْ اتخاذ بناء بلوري معين دون الأخر.





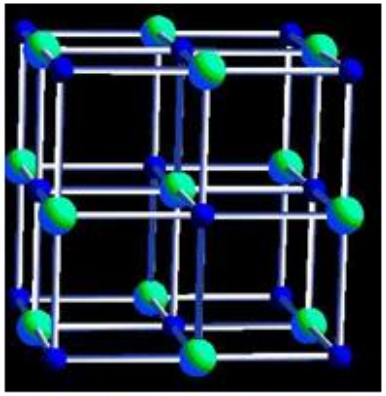
كبريتيد الخارصين خ كب ZnS

Zincblend



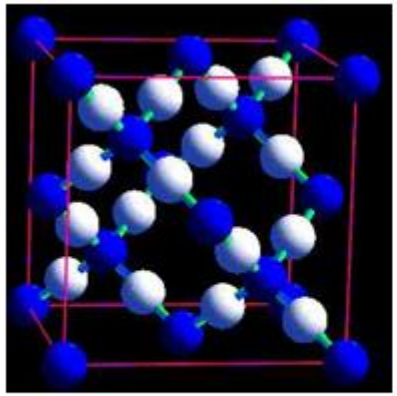
كلوريد السيزيوم سز كل CsCl

Cesium Chloride



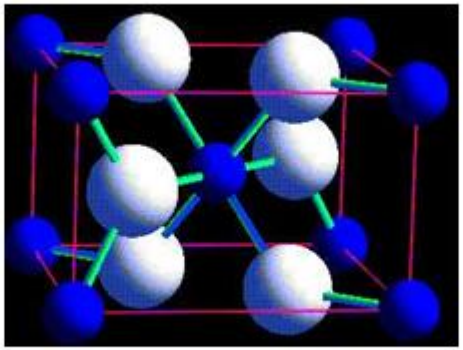
الملح الصخري ص كل NaCl

Rock Salt



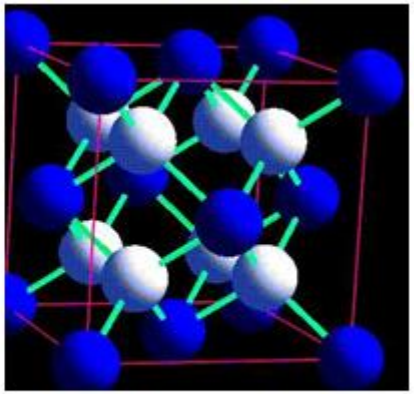
أكسيد السلكون س أ٢ SiO٢

Cristoblite



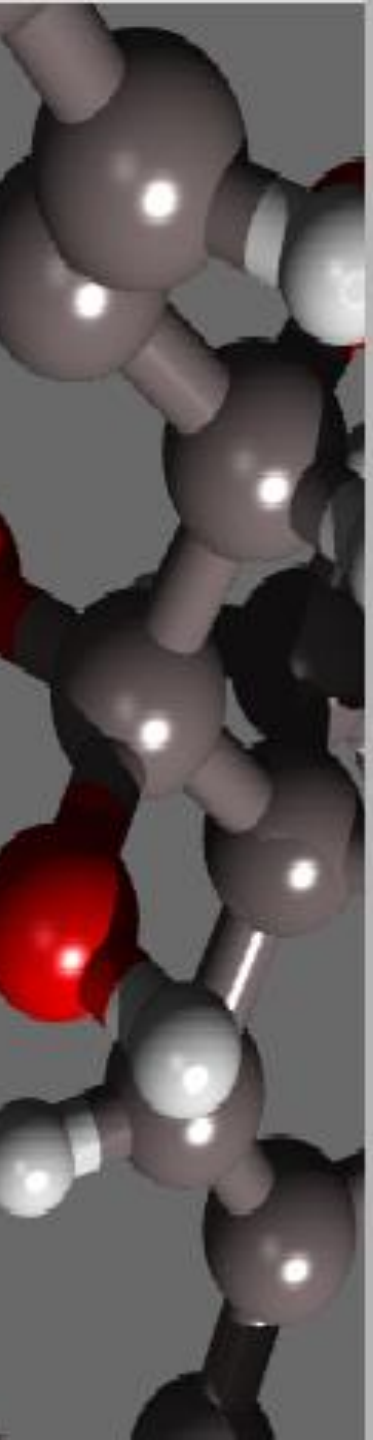
أكسيد التيتانيوم تي أ٢ TiO٢

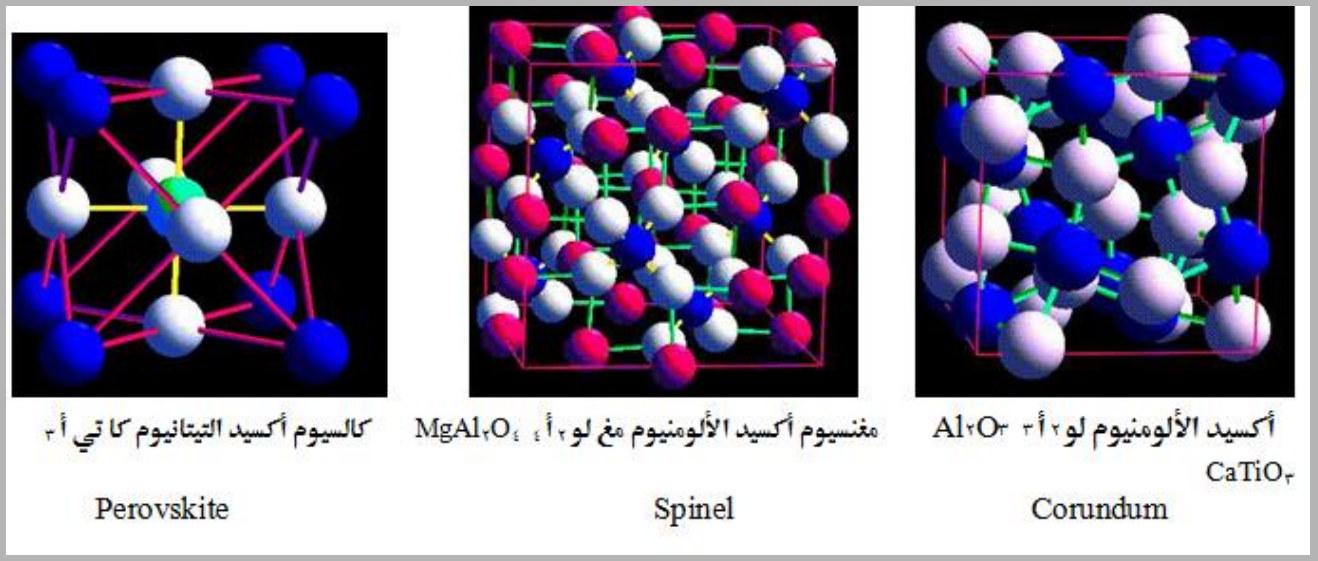
Rutile

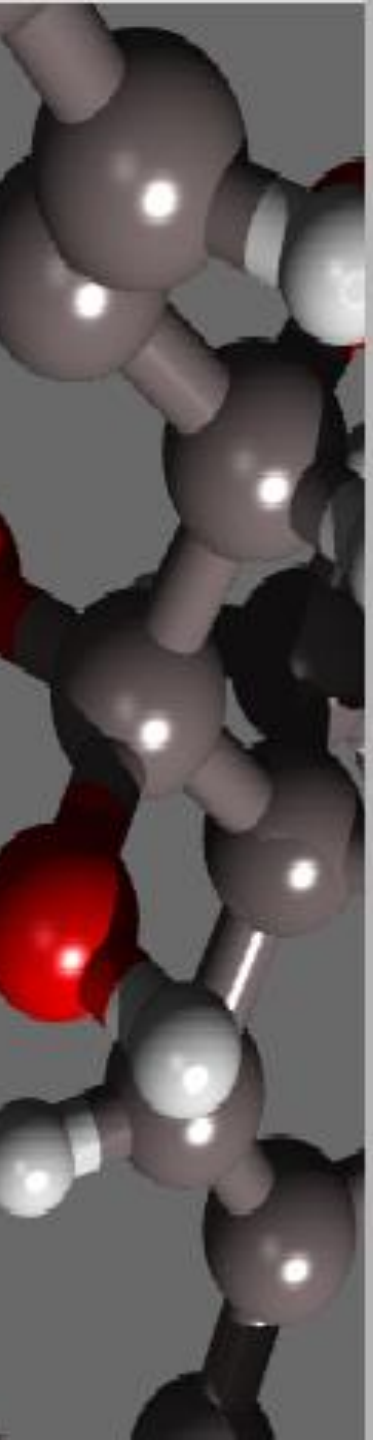


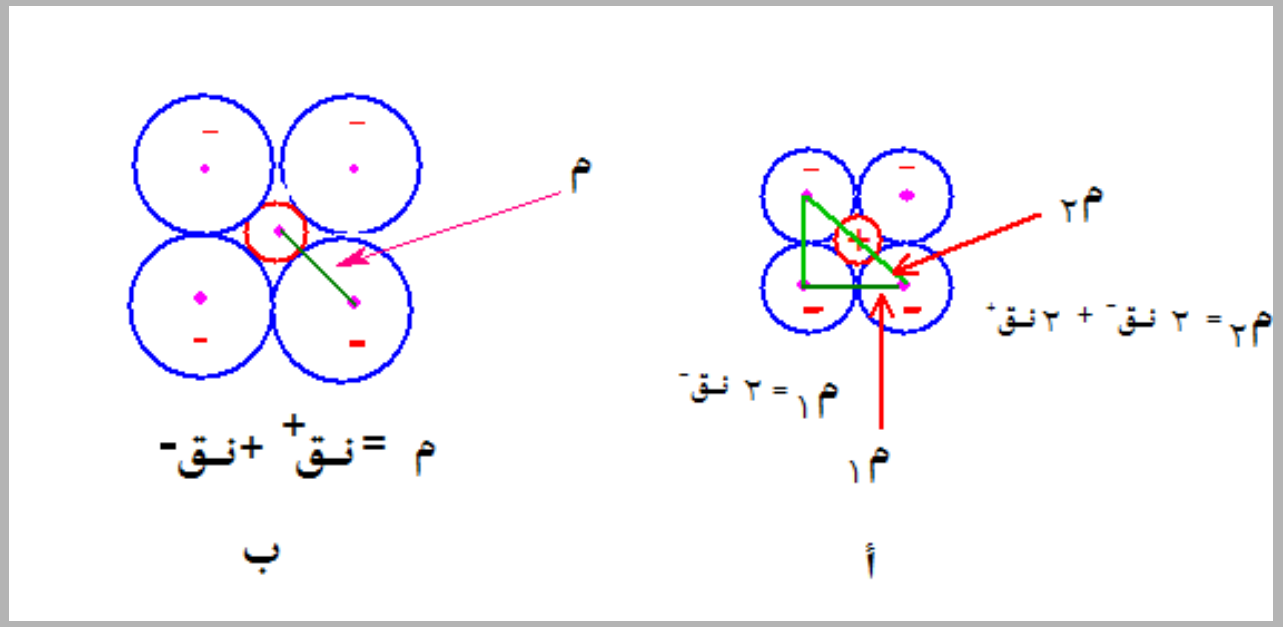
فلوريد الكالسيوم كا فل٢ CaF٢

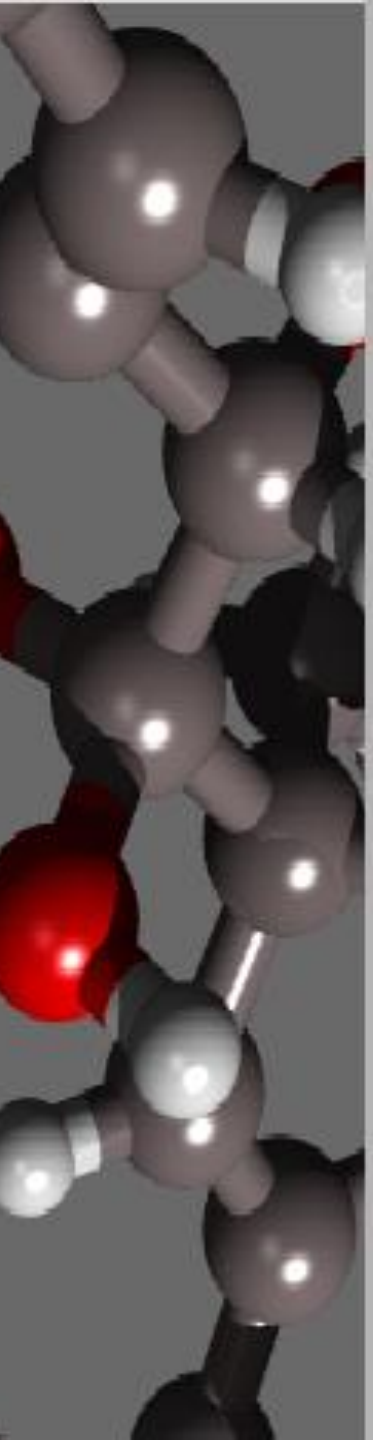
Fluorite




أكسيد الألومنيوم لو٢ أ٣ Al٢O٣
CaTiO٣
Corundum
مغنسيوم أكسيد الألومنيوم مغ لو٢ أ٤ MgAl٢O٤
Spinel
كالسيوم أكسيد التيتانيوم كا تي أ٣
Perovskite




م
م = نـق+ +نـق-
ب
م٢
م٢ = ٢ نـق- + ٢ نـق+
م١ = ٢ نـق-
م١
أ

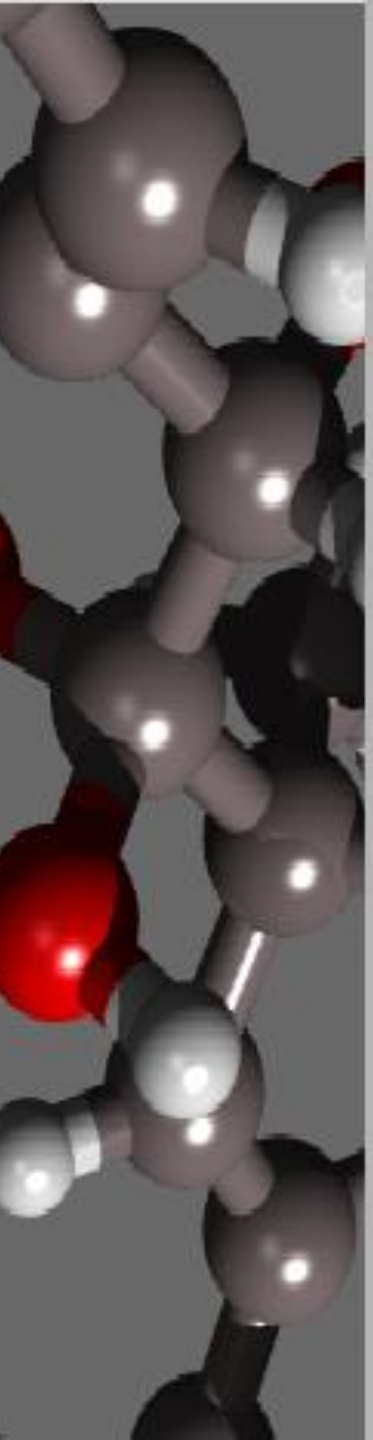


$$\therefore \frac{\text{٢ نق}^-}{\text{٢ نق}^- + \text{٢ نق}^+} = \text{جتا ٤٥}^\circ = ,٧٠٧ \qquad \frac{٢r^-}{٢r^- + ٢r^+} = \cos ٤٥^\circ = ,٧٠٧$$

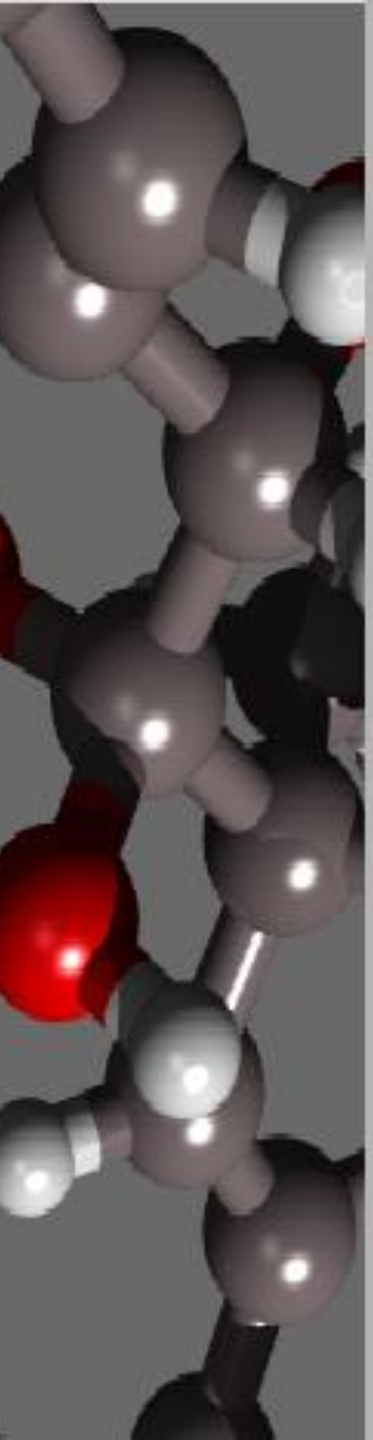
$$\text{نق}^- = ,٧٠٧\ \text{نق}^- + ,٧٠٧\ \text{نق}^+ \qquad r^- = ,٧٠٧\, r^- + ,٧٠٧\, r^+$$

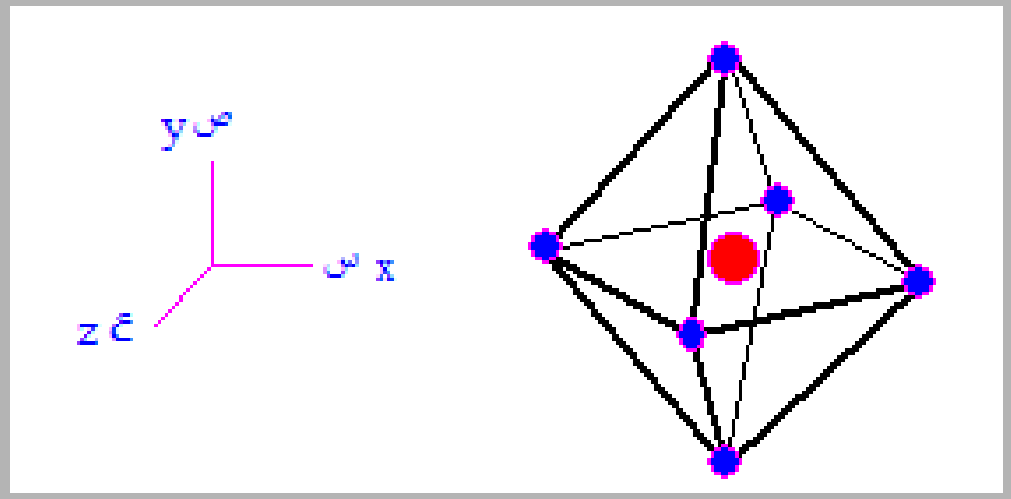
$$,٢٣٩\ \text{نق}^- = ,٧٠٧\ \text{نق}^+ \qquad ,٢٩٣\, r^- = ,٧٠٧\, r^+$$

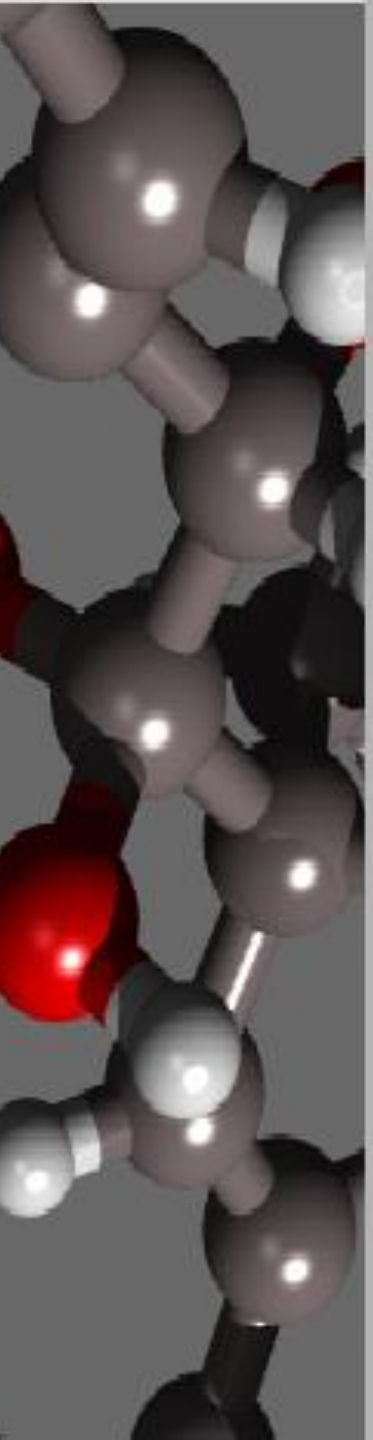
$$\frac{\text{نق}^+}{\text{نق}^-} = \frac{,٢٩٣}{,٧٠٧} = ,٤١٤ \qquad \frac{r^+}{r^-} = \frac{٠,٢٩٣}{٠,٧٠٧} = ٠,٤١٤$$



ب
أ
د
ج

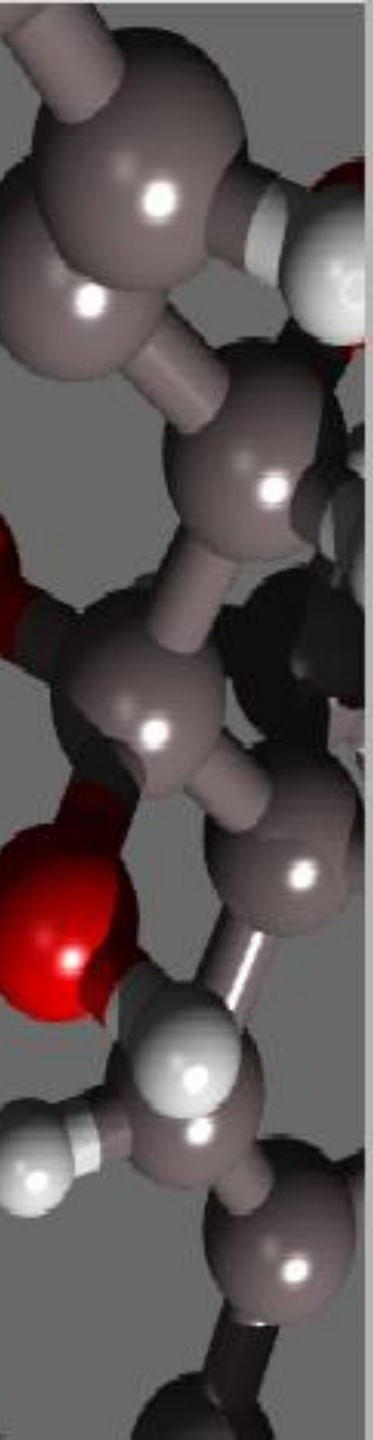



y ص
س x
z ع

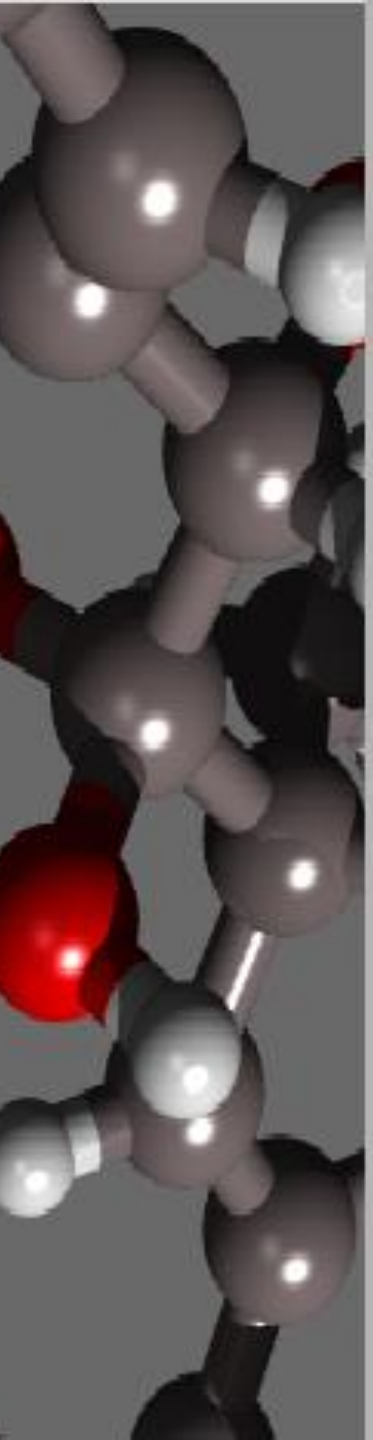


الجدول ٢ : $\frac{\text{نق}^+}{\text{نق}^-}$ لبعض التراكيب البلورية مصحوبا بالأعداد التناسقية

العدد التناسقي	الشكل الهندسي	نسبة نصف القطر (نق$^+$ \ نق$^-$)
٤	رباعي الوجوه tetrahedral	أقل من ٠،٤١٤
٦	ثماني الوجوه octahedral	٠،٤١٤ – ٠،٧٣٢
٨	مكعب cube	٠،٧٣٢ – ١،٠
١٢	ذو الإثنا عشر وجهاً dodecahedral	أعلا من ١،٠



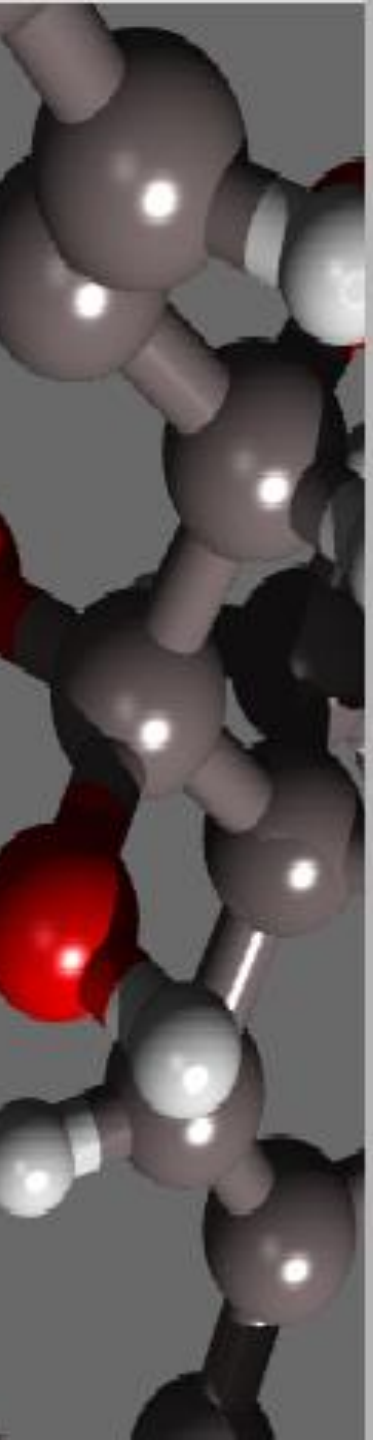
- في حالة المركبات التي تكون فيها نسبة الدالف الموجب إلى السالب كنسبة **1 : 1** أو **2 : 2** فإنه من السهل حساب نسبة أنصاف الأقطار ومن ثم معرفة العدد التناسقي ومثال ذلك كلوريد الصوديوم وكبريتيد البريليوم وكلوريد السيزيوم



$$\frac{r_{Na^+}}{r_{Cl^-}} = \frac{116\ Pm}{167\ Pm} = 0.695$$

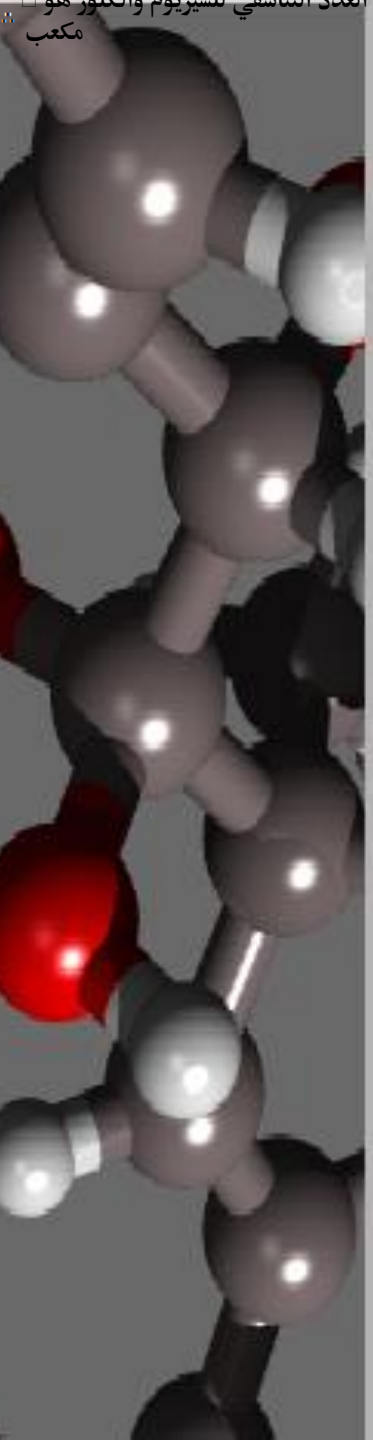
$$\frac{\text{نق ص}}{\text{نق كل}} = \frac{\text{مكب}}{\text{مكب}}$$

- العدد التناسقي للصوديوم والكلور هو 6
- إذن ثماني الوجوه



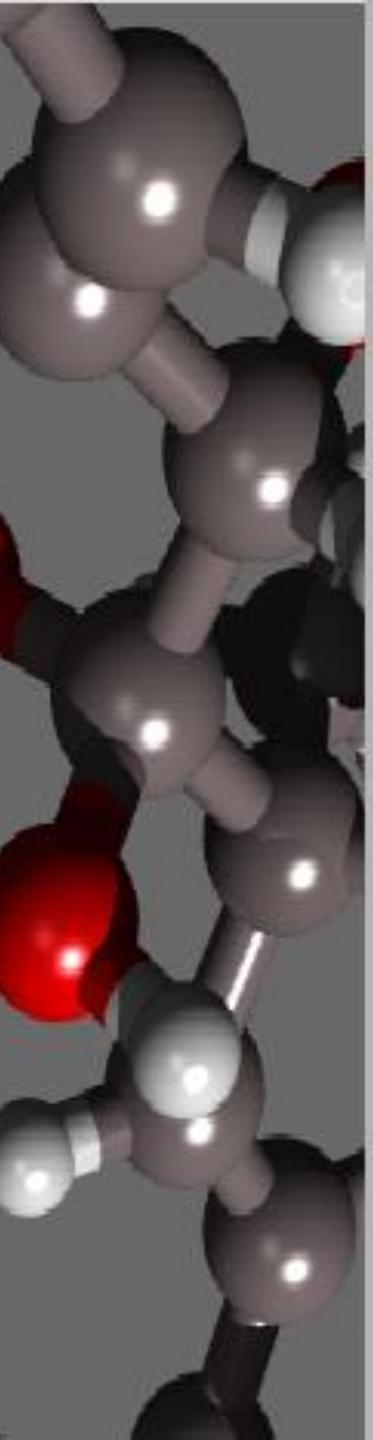
$$\frac{r_{Be^{2+}}}{r_{S^{2-}}} = \frac{59\ Pm}{170\ Pm} = 0.35 \qquad 0.35 = \frac{59\text{بكم}}{170\text{بكم}} = \frac{\text{نق بي}}{\text{نق كب}}$$

- العدد التناسقي للبرليوم والكبريت هو 4
- إذن رباعي الوجوه

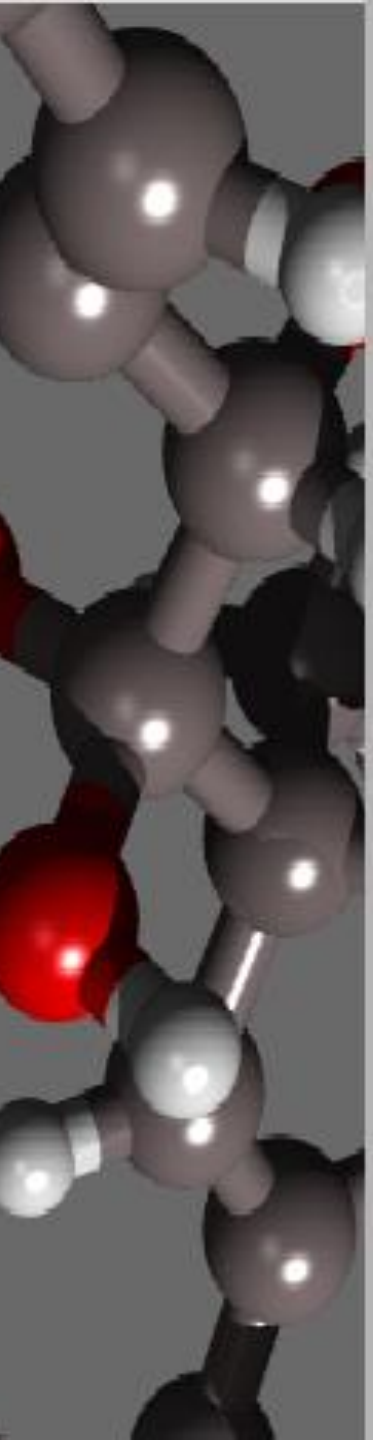


$$\frac{r_{Cs^+}}{r_{Cl^-}} = \frac{181\ Pm}{167\ Pm} = 1.08$$

العدد التناسقي للسيزيوم والكلور هو 8 إذن مكعب



- ولكن عندما يحتوي المركب على أعداد مختلفة من الدوالف الموجبة والسالبة مثل صكب$_2$ ، ليأ$_2$، سر فل$_2$ ، SrF_2 ، Li_2O ، Na_2S وغيرها فإن الأمر قد لا يكون بتلك البساطة، فلنأخذ على سبيل المثال سر فل$_2$ SrF_2

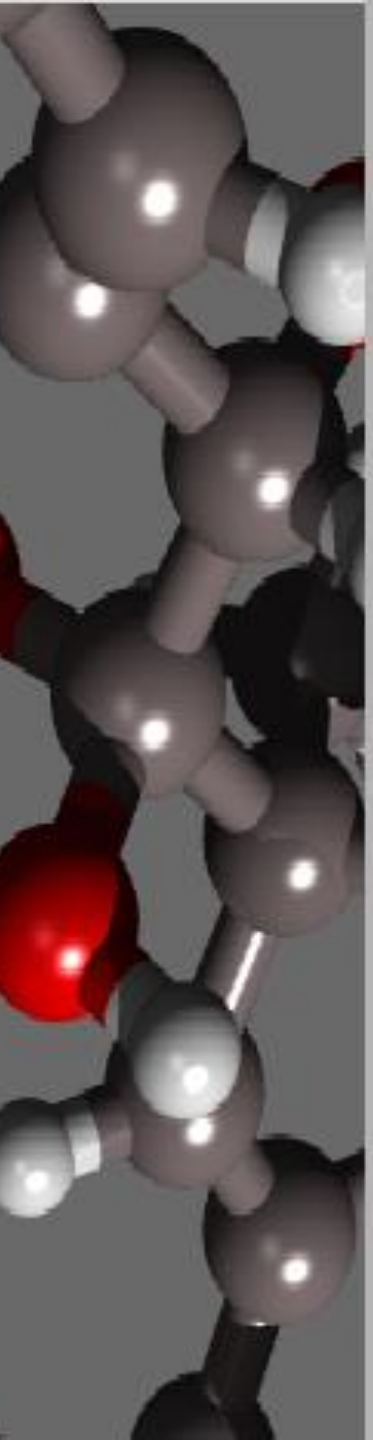


$$\frac{r\ F^{-}}{r\ Sr^{+٢}} = \frac{١.٣٦}{١١٣} = ١.٢٠ \qquad ١,٢٠ = \frac{١,٣٦}{١١٣} = \frac{\text{نق فل}^{-١}}{\text{نق سر}^{+٢}}$$

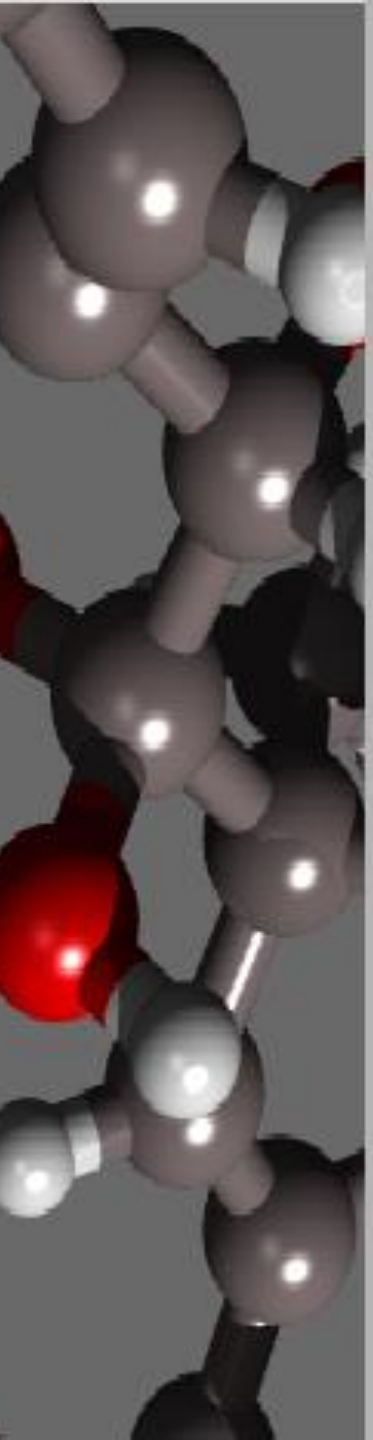
أقصى عدد تناسقي لدالف الأسترونشيوم يكون ٨ maximum C.N. $Sr^{+٢} = ٨$

$$\frac{r\ Sr^{+٢}}{r\ F^{-}} = \frac{١١٣}{١.٣٦} = ٠.٨٣ \qquad ,٨٣ = \frac{١١٣}{١,٣٦} = \frac{\text{نق سر}^{+٢}}{\text{نق فل}^{-١}}$$

أقصى عدد تناسقي لدالف الفلوريد يكون ٨ maximum C.N. $Sr^{+٢} = ٨$



- يبدو واضحا من الصيغة الجزيئية للمركب أن عدد دوالف الفلور ضعف عدد دوالف الأسترونشيوم
- بناءً على ذلك يكون العدد التناسقي لدالف الأسترونشيوم ضعف العدد التناسقي لدالف الفلور
- إذن العدد التناسقي لدالف سر$^{2+}$ Sr^{2+} يكون ثمانية وذاك لدالف فل$^{-}$ F^{-} يكون أربعة وهذا واقعيا صحيح لأن هذا المركب يتبلور في تركيب الروتايل.



ومثل آخر بعكس الأول ألا وهو (بوهم أ، K2O)

$$\frac{\text{نق}_{\text{بو}^+}}{\text{نق}_{\text{أ}^{-2}}} = \frac{١,٣٣}{١,٤٠} = ,٩٥$$

∴ أقصى عدد تناسقي لدالف البوتاسيوم يكون ٨

$$\frac{r_{K^+}}{r_{O^{-2}}} = \frac{١.٣٣}{١.٤٠} = ٠.٩٥$$

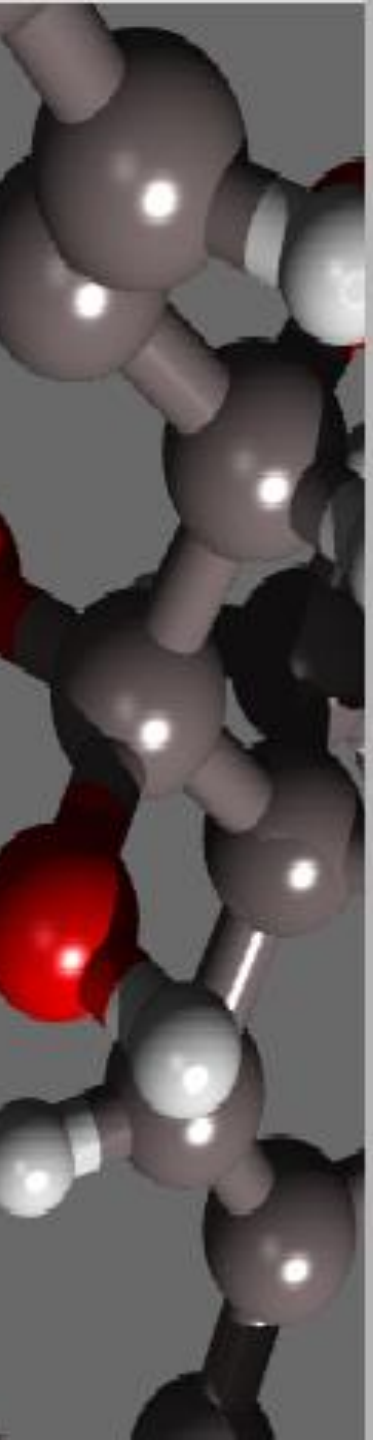
∴ maximum C.N. $K^+ = ٨$

$$\frac{\text{نق}_{\text{أ}^{-2}}}{\text{نق}_{\text{بو}^+}} = \frac{١,٠٤}{١,٣٣} = ١,٠٥$$

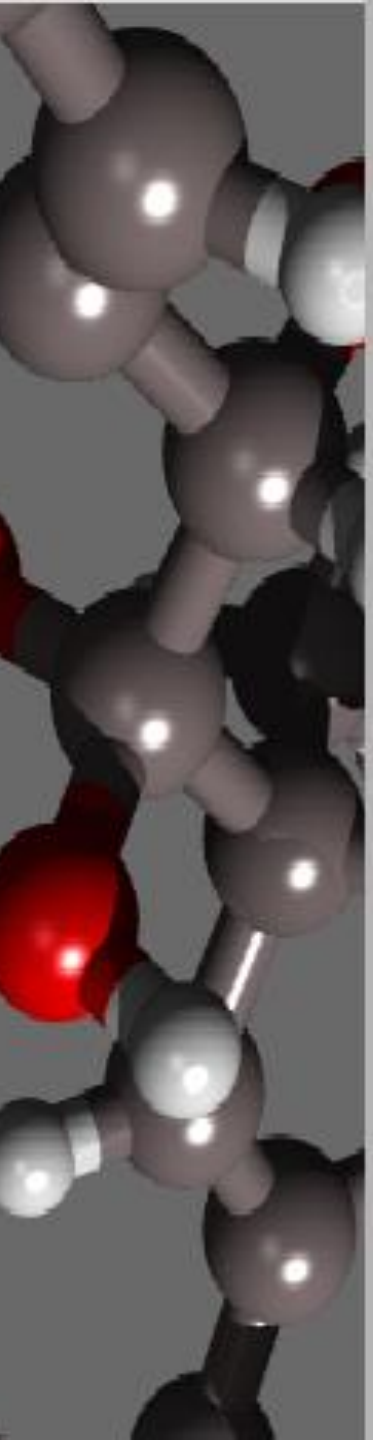
∴ أقصى عدد تناسقي لدالف الأكسجين يكون

$$\frac{r_{O^{-2}}}{r_{K^+}} = \frac{١.٠٤}{١.٣٣} = ١.٠٥$$

∴ maximum C.N. $O^{-2} = ٨$



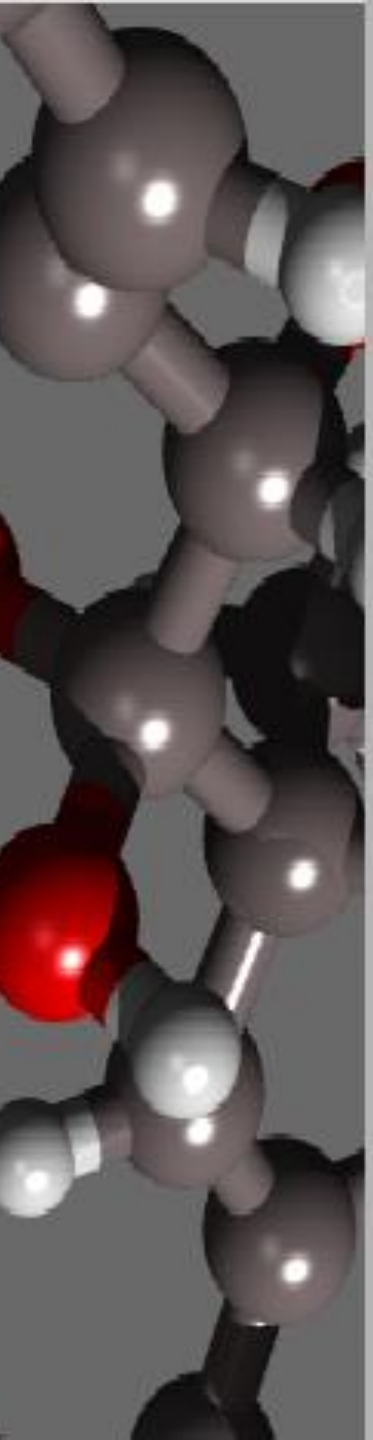
- وبنفس الطريقة السابقة المستخدمة في شرح سر فل$_2$ SrF_2 يمكن الوصول إلى أن العدد التناسقي لدالف البوتاسيوم هو أربعة ولدالف الأكسجين ثمانية ويتخذ التركيب معاكس الفلورايت anti fluorite structure .



الروابط الفلزية The Metallic Bond

- **هذه الرابطة** ليست كهربية وليست تساهمية ولا يمكن لها أن تكون تناسقية.

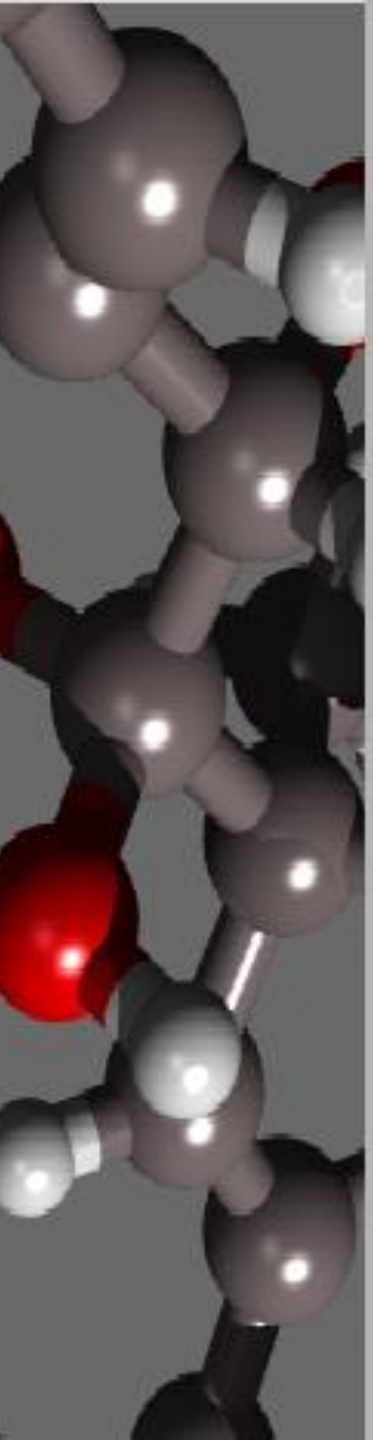
- الرابطة الفلزية عبارة عن أزواج من الكهيربات غير متمركزة تنتشر بين أقرب المجاورات للذرة المركزية.

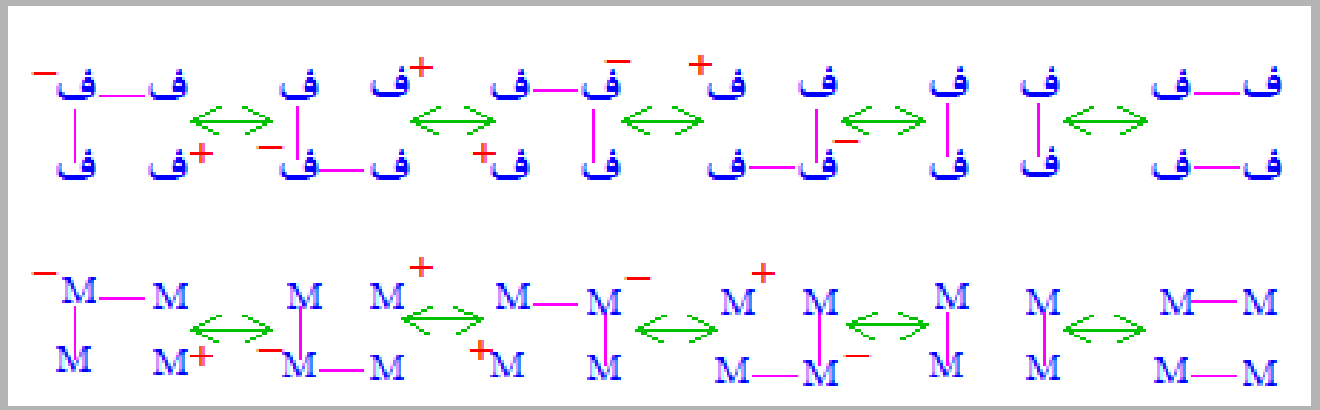


- كنتيجة لإبعاد الكهيربات الخارجية لبعض الذرات داخل البلورة الفلزية يتكون دوالف فلزية موجبة.

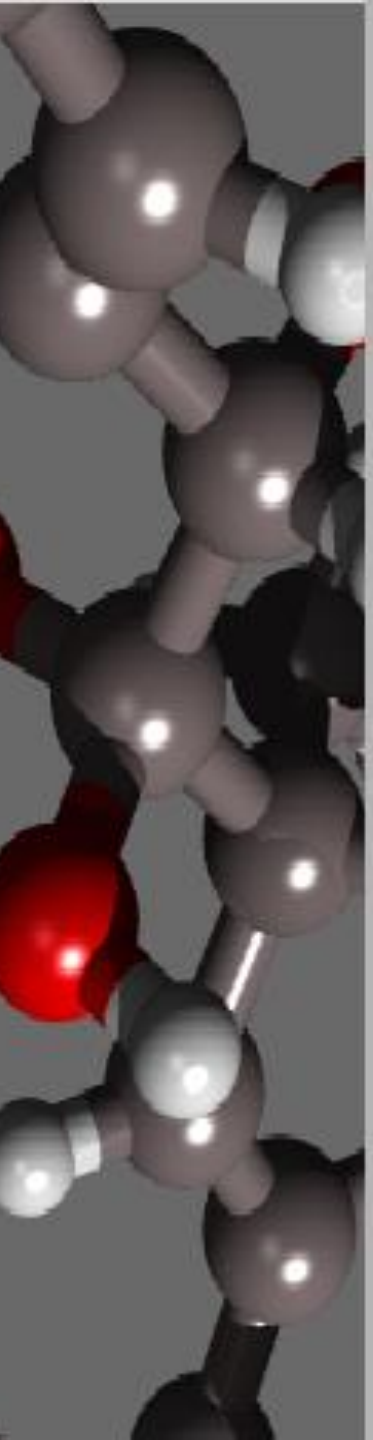
- هذه الدوالف تمثل مواقع محددة داخل الشبكة البلورية وتتكون بذلك سحابة من الكهيربات negative bond تغطي جميع أجزاء البلورة وبحرية تامة.

- يطلق عليها أحيانا أخرى غاز الكهيربات electron gas وأحيانا بحر الكهيربات sea of electrons ، وذلك لحركتها الواسعة والشاملة لجميع أجزاء البلورة الفلزية.



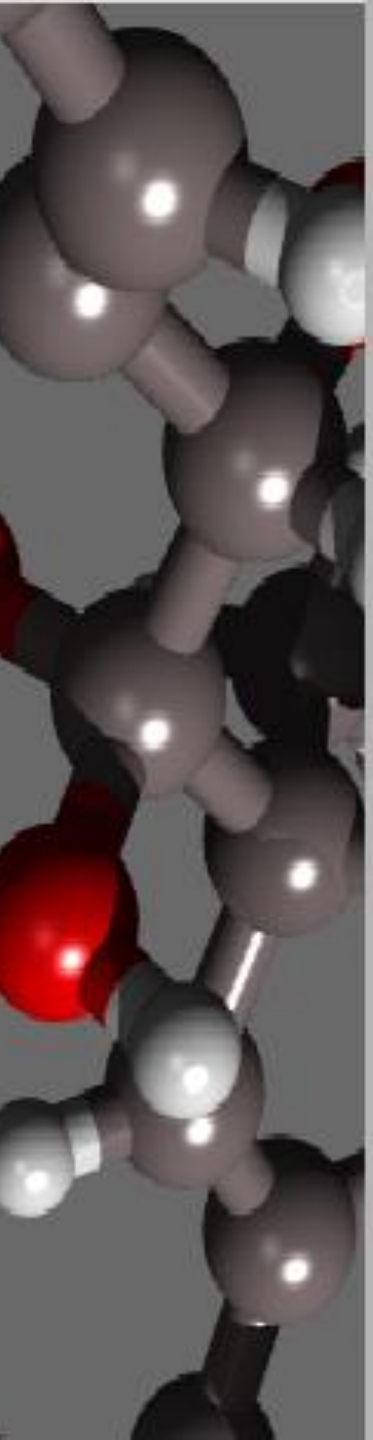


طريقة توزيع السحابة الكهيربية للرابطة الفلزية



ما هي الخواص المميزة للرابطة الفلزية؟

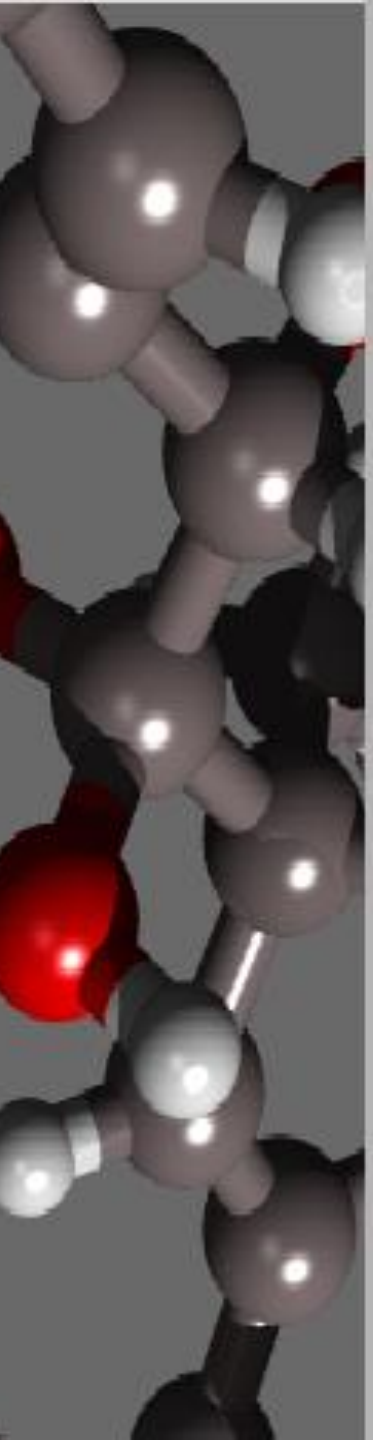
- رابطة قوية وهي التي تكسب الفلزات صلابتها ومتانتها.
- تكسب الفلزات خاصية ارتفاع نقطة الانصهار والكثافة العالية.
- هي التي تصنع الشبكة البلورية المتماسكة محكمة التعبئة والبناء closed – packed arrangements



- هذا البناء محكم التعبئة متميز عن سابقه من بناء محكم التعبئة.

- حيث أن السابق نتيجة لوجود دوالف موجبة وأخرى سالبة فإن أي حركة لأي مستوى من مستوياتها قد يجعل الدوالف المتشابهة متقابلة (سالب أمام سالب أو موجب أمام موجب) مما ينتج عنه تحطم البلورة وتفتيتها إلى أجزاء صغيرة.

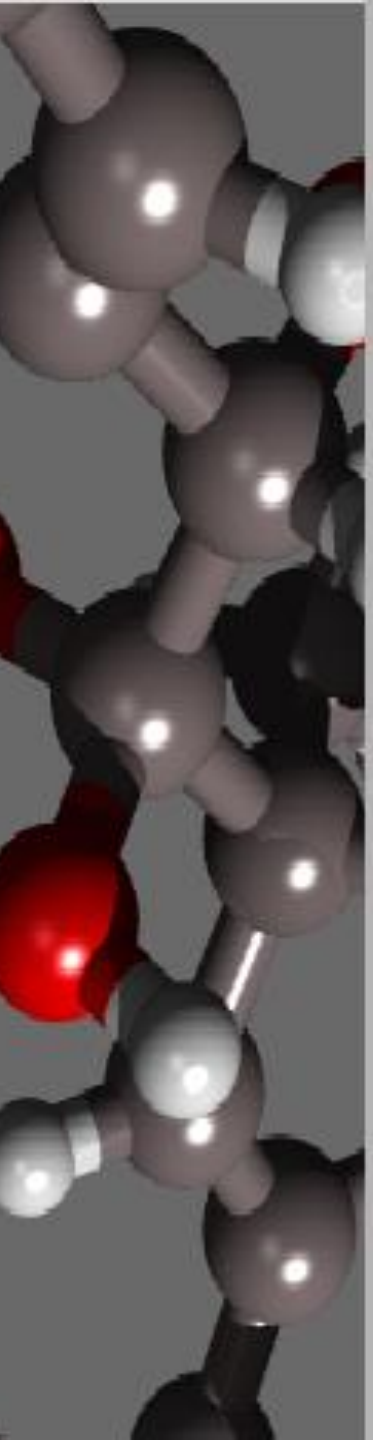
- أما بلورة الفلز فإن حركة أي مستوى لا يؤثر على البلورة لأن السحابة الكهيربية تغطي جميع أجزاء البلورة بحرية تامة.



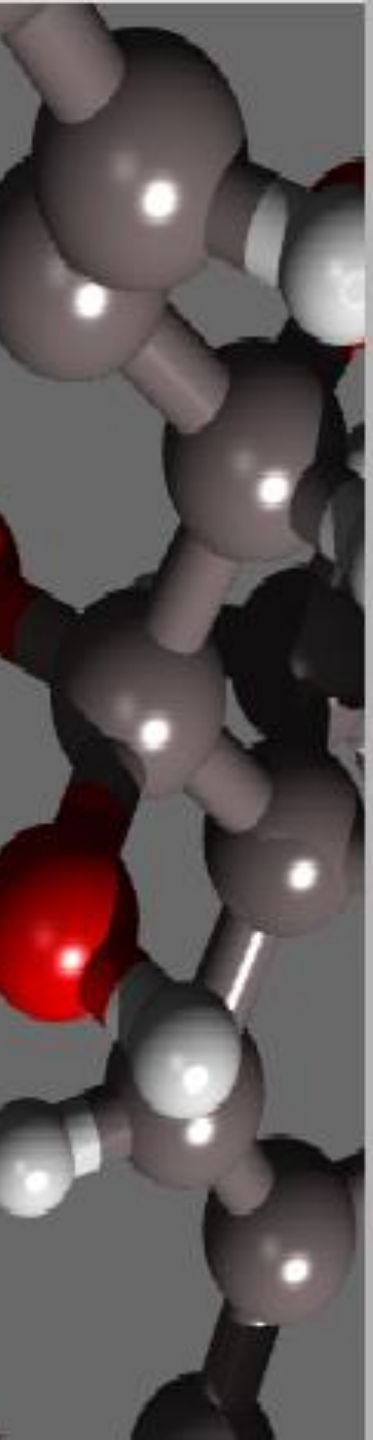
- الفلزات موصلات جيدة للكهرباء والحرارة.

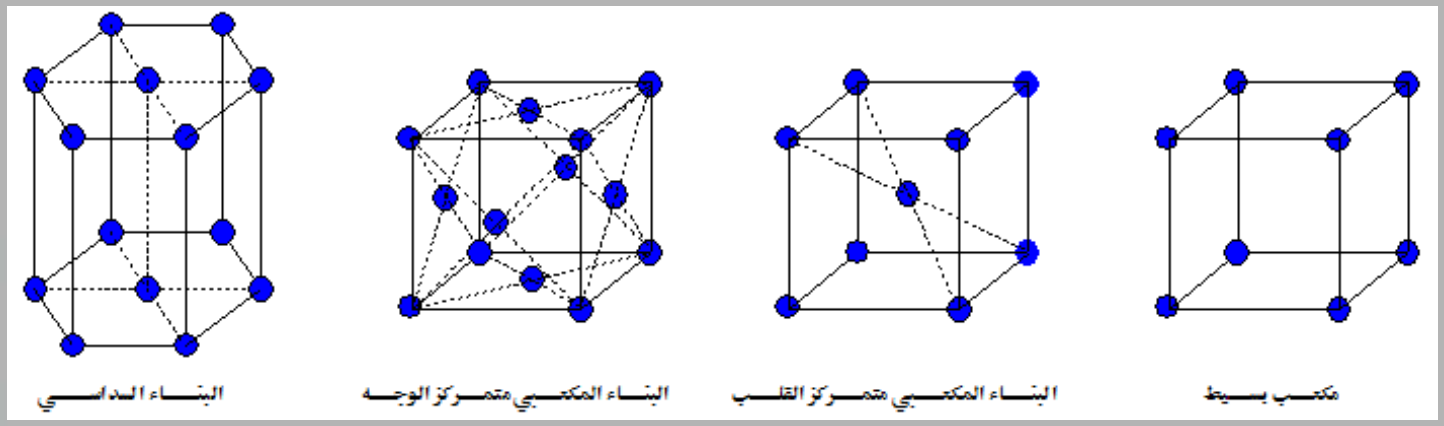
- سحابة الكهيربات المنتشرة داخلياً تمتص بعض الطاقة في صورة أو أخرى فترقى بذلك بالطاقة من مستوى الدرك إلى مستوى أعلا (مستوى الإثارة) ثم تعود ثانية إلى مستوى الدرك مطلقة طاقة ضوئية تكسب الفلز بريقه ولمعانه.

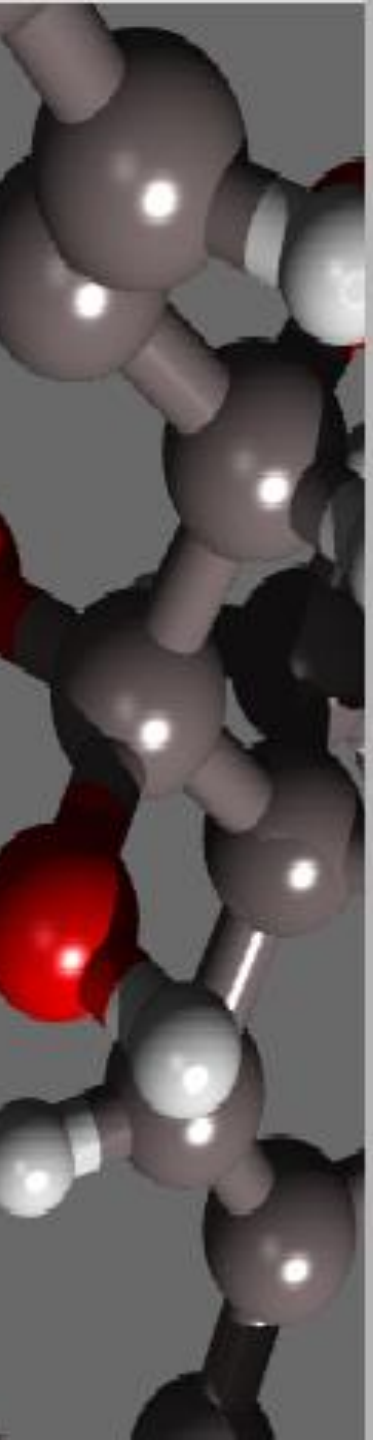
- تتبلور الفلزات عموماً في ثلاثة أشكال بلورية.



- 1 – البناء ألمكعبي متمركز القلب محكم البناء body – centered cubic closed packing و هذا البناء تتخذه المجموعات الأولى والخامسة والسادسة وعنصري الباريوم والحديد ويكون العدد التناسقي لها ثمانية.
- 2 – البناء السداسي محكم التعبئة hexagonal closed packing ويتخذ هذا البناء العديد من العناصر مثل الماغنيسيوم والباريوم والإسكانديوم والكاديوم وغيرها والعدد التناسقي لهذا البناء اثنا عشر.
- 3 – البناء المكعبى متمركز الوجه محكم التعبئة face – centered cubic closed packing ويتخذ هذا البناء العديد من العناصر الانتقالية مثل الذهب والفضة والنحاس والنيكل وغيرها والعدد التناسقي لهذا البناء اثنا عشر.



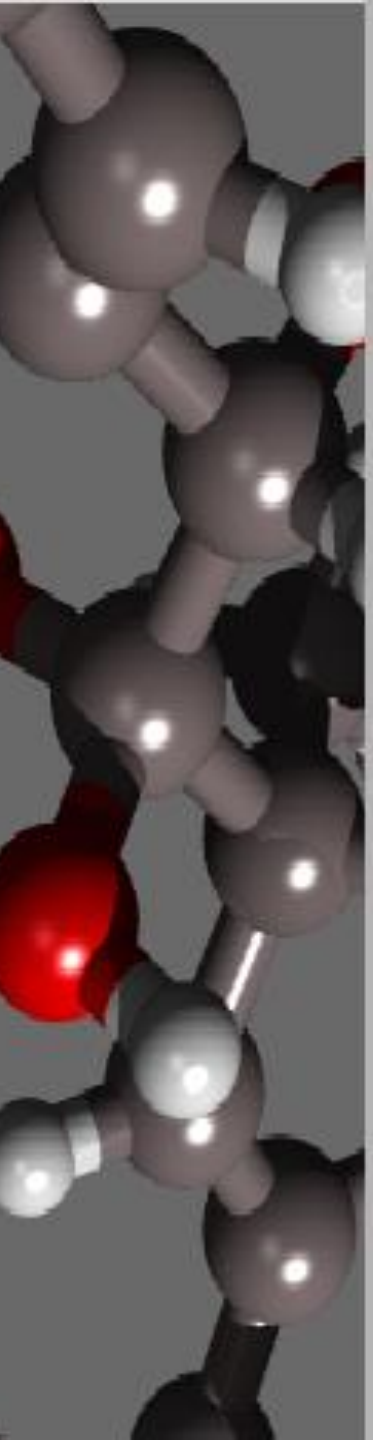

مكعب بسيط
البناء المكعبي متمركز القلب
البناء المكعبي متمركز الوجه
البناء السداسي



الطاقة الشبكة Lattice Energy

- التغير في الطاقة المصاحبة لتكوين بلورة من دوالف موجبة وأخرى سالبة يسمى بالطاقة الشبكية Lattice energy أو الطاقة البلورية Crystal energy

- **للوقوف على طريقة حساب الطاقة الشبكية نختار أحد التراكيب البلورية ولتكن بلورة كلوريد الصوديوم ونفترض أن لدينا التفاعل التالي:**



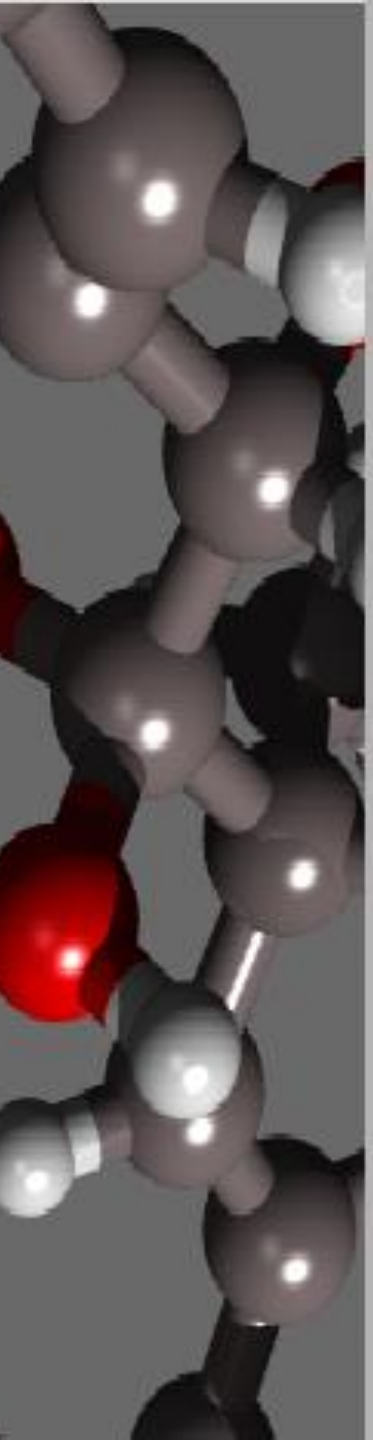
الطاقة الشبكة Lattice Energy

$$M_{(g)}^{+} + X_{(g)}^{-} \longrightarrow MX_{(g)} \quad (V) \qquad \text{ف س (غ)} \longleftarrow \text{س}^{-}_{(\text{غ})} + \text{ف}^{+}_{(\text{غ})}$$

$$U = N Z^{+} Z^{-} A \frac{e^{2}}{r_{.}} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (11) \qquad \left(\frac{1}{\text{ن}} - 1\right) \frac{\text{ك}^{2}}{\text{م}} \text{ أ ش}^{-} \text{ش}^{+} \text{ ن} = \text{ط ش}$$

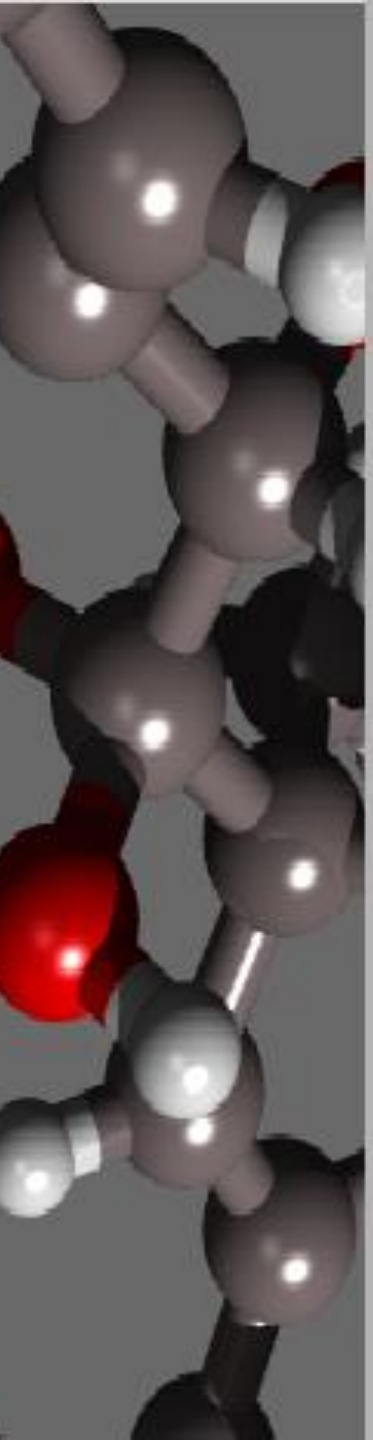
هذه المعادلة تمثل بدقة حساب الطاقة للتفاعل

أ.د.عمر بن علي الزين



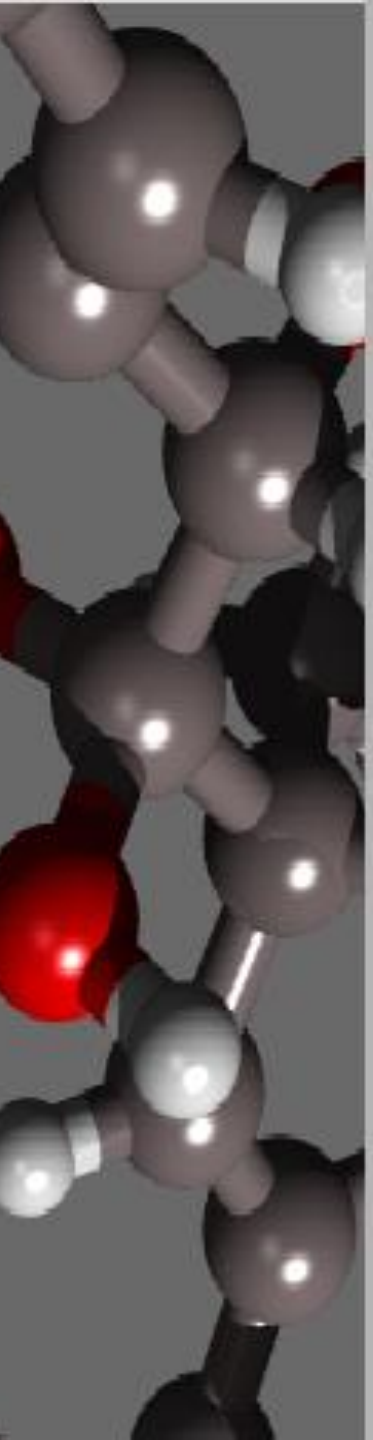
الطاقة الشبكة Lattice Energy

❖حيث أن ب ، ن B , n ثوابت ، ن N تمثل عدد الجزيئات ، أ A يمثل ثابت ميدلنج.



دورة بورن – هيبر Born - Haber Cycle

- لا توجد هناك طريقة عملية مباشرة يمكن من خلالها حساب الطاقة الشبكية ولكن يمكننا حسابها عن طريق دورة بور–هيبر.



بلورة كلوريد الصوديوم

$Na_{(s)} \longrightarrow Na_{(g)} \quad \Delta H_{(sub)} =$ كيلوجـــول $+ ١٠٨ =$ تســامي Δ مح ص(غ) ⟵ ص(ص)

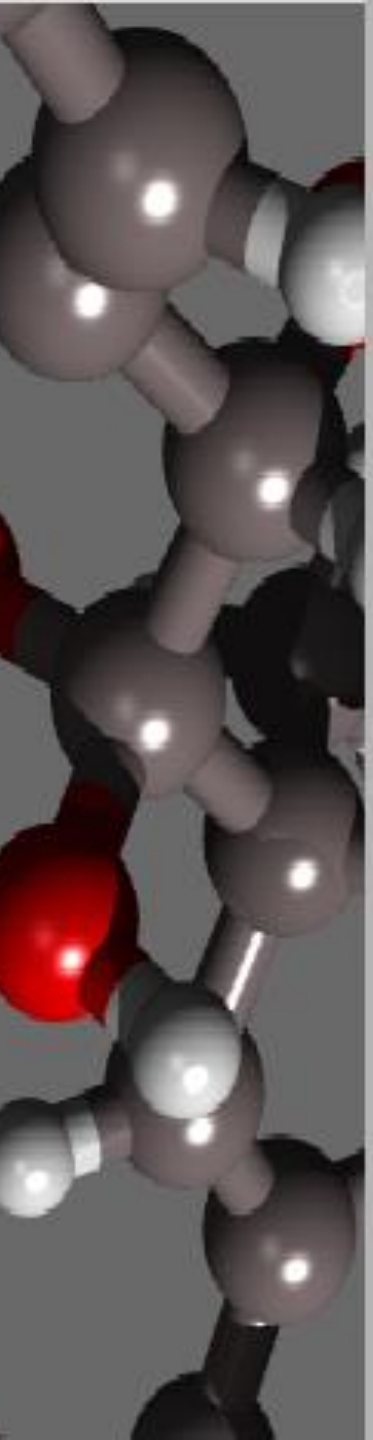
$Na_{(g)} \longrightarrow Na^{+}_{(g)} + e^{-} \quad \Delta H_{IP} =$ كيلوجـــول $+ ٤٩٦ =$ ١ Δ مح ك$^{-}$ + ص$^{+}$(غ) ⟵ ص (غ)

$\frac{١}{٢} Cl_{٢(g)} \longrightarrow Cl_{(g)} \quad \frac{١}{٢} \Delta H_{(diss)} =$ كيلوجـــول $+ ١٢٢ = \frac{٢٤٣}{٢} + =$ تفكك $\frac{١}{٢} \Delta$ مح كل (غ) ⟵ $\frac{١}{٢}$ كل$_{٢}$ (غ)

$Cl_{(g)} + e^{-} \longrightarrow Cl^{-}_{(g)} \quad \Delta H_{EA} =$ كيلوجـــول $- ٣٤٨ =$ ش ك Δ مح كل$^{-}$(غ) ⟵ ك$^{-}$ + كل (غ)

$Na^{+}_{(g)} + Cl^{-}_{(g)} \longrightarrow NaCl_{(s)} \quad U =$ ط ش $= ؟$ ص كل (ص) ⟵ كل$^{-}$(غ) + ص$^{+}$(غ)

أ.د.عمر بن علي الزين



بلورة كلوريد الصوديوم

$$Na_{(s)} + \frac{1}{2} Cl_{2(g)} \longrightarrow NaCl_{(s)} \quad \Delta H_f = -٤١١ \text{ كيلوجول} = \Delta \text{مح}_{\text{تك}}$$

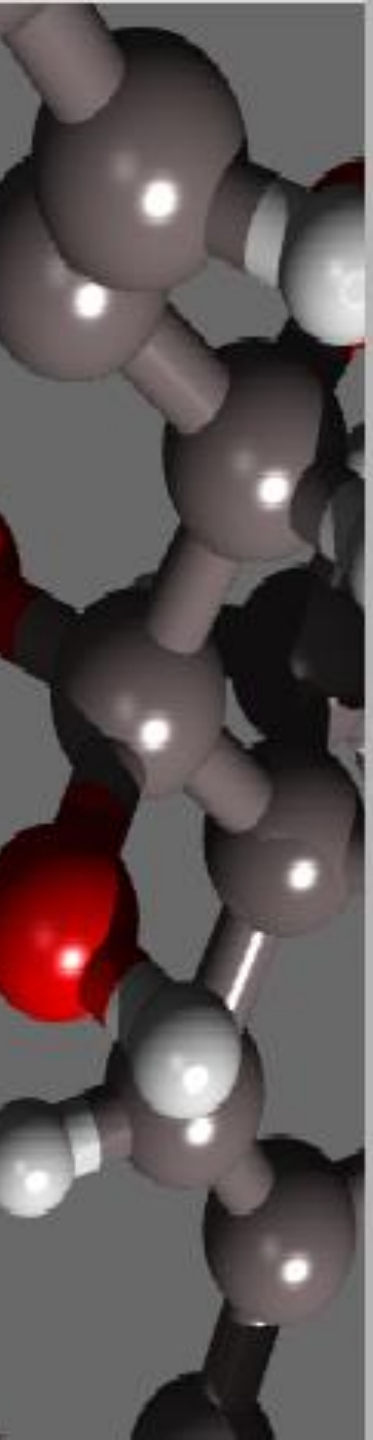
ص(ص) + ½ كل$_{٢}$(غ) ⟵ ص كل(ص) △ مح$_{\text{تك}}$

$$\therefore \Delta \text{مح}_{\text{تك}} = \Delta \text{مح}_{\text{تسامي}} + \Delta \text{مح}_{\text{جإ}} + \frac{1}{2} \Delta \text{مح}_{\text{تفك}} + \Delta \text{مح}_{\text{ش ك}} + \text{ط ش}$$

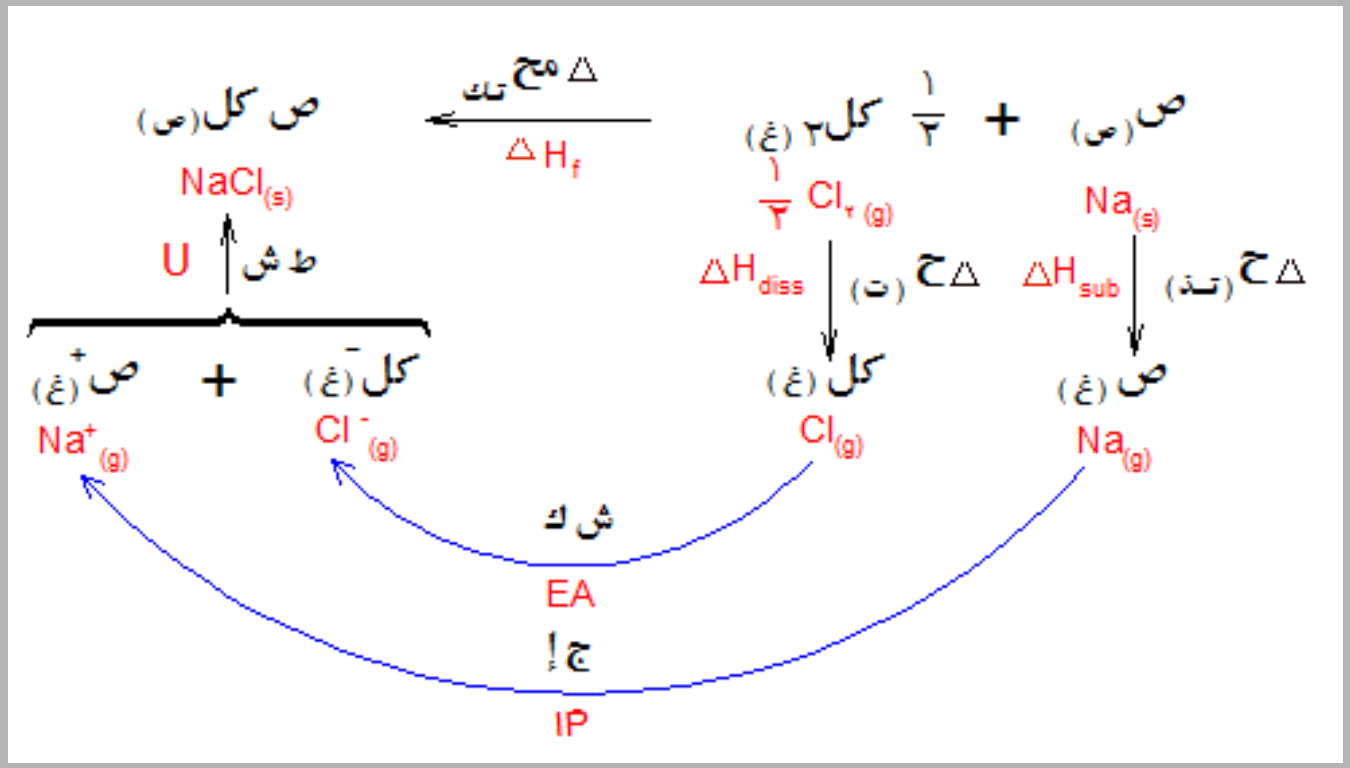
$$\Delta H_f = \Delta H_{(sub)} + \Delta H_{IP} + \frac{1}{2} \Delta H_{(diss)} + \Delta H_{EA} + U$$

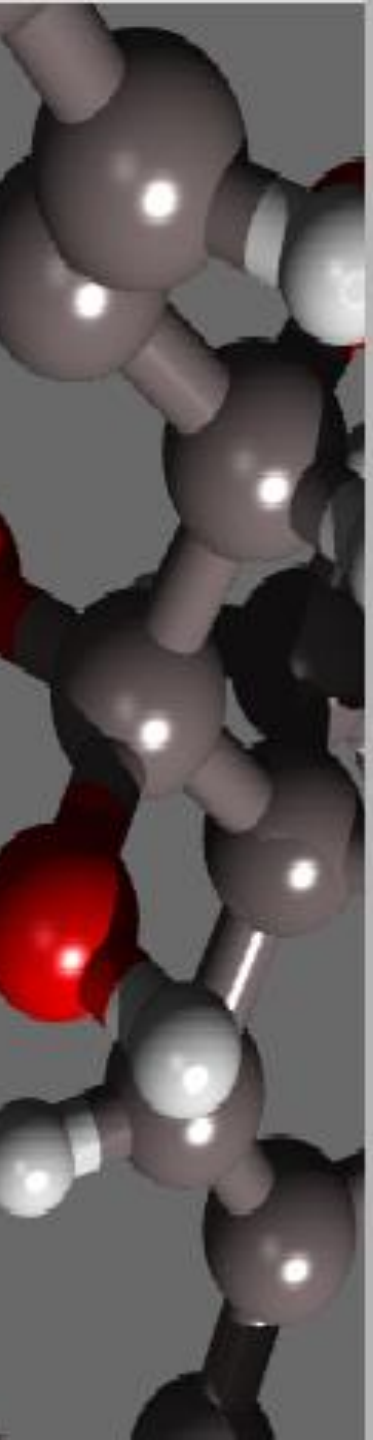
$$-٤١١ = +١٠٨ + ٤٩٦ + ١٢٢ - ٣٤٨ + \text{ط ش}$$

إذن ط ش = - ٧٨٩ كيلو جول/جزيء



Born - Haber Cycle دورة بورن – هيبر



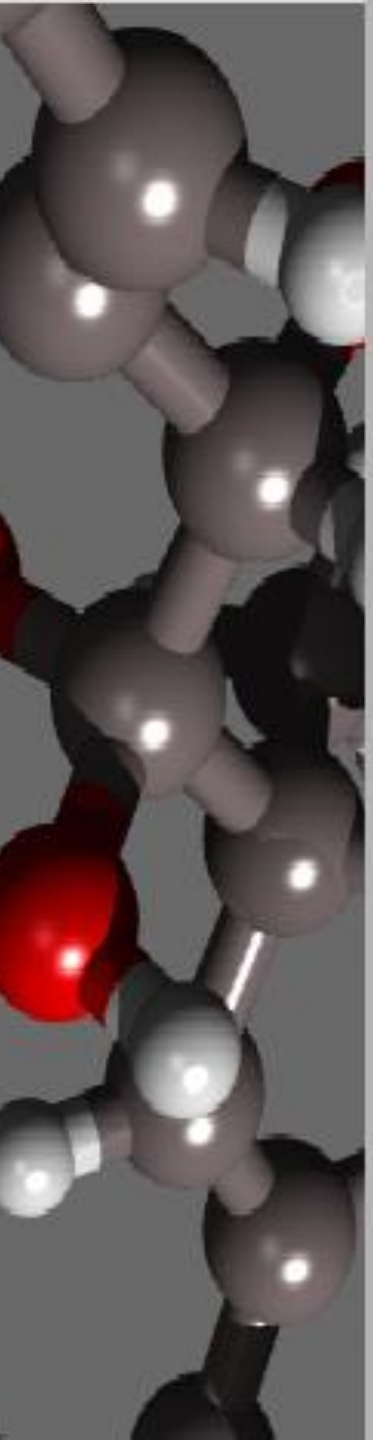


ملخص الباب الخامس

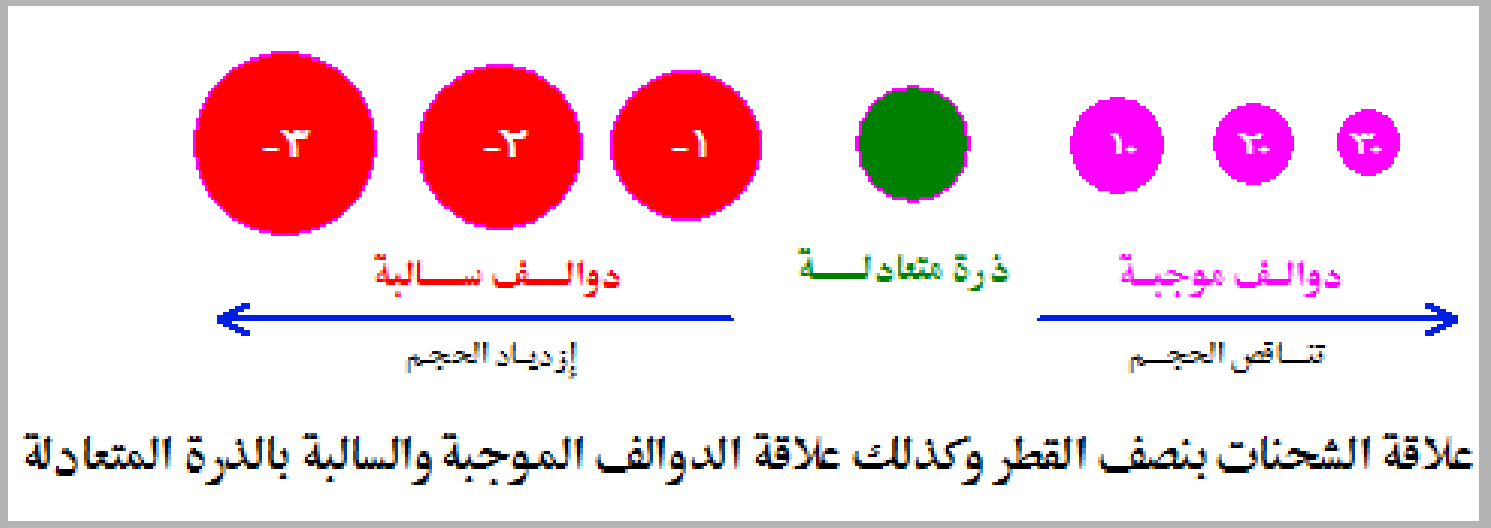
الروابط الكهربية The Ionic Bond

- عندما يكون هناك عنصر جهد إبعاده ionization potential منخفض نسبيا وعنصر آخر شراهته الكهربية electron affinity عالية نسبيا فإن كهيرب العنصر الأول ينتقل انتقالا تاما إلى الفلك الخارجي للعنصر الثاني ويتشكل لدينا مركب تكون الرابطة بين عنصريه رابطة كهربية Ionic Bond

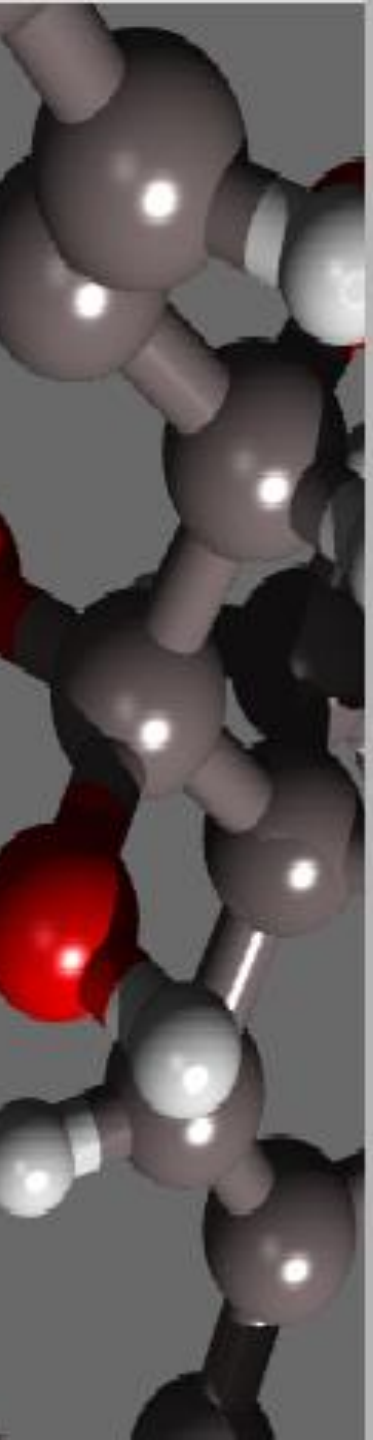
- الرابطة الكهربية هي عبارة عن تجاذب بين شحنتين مختلفتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة.



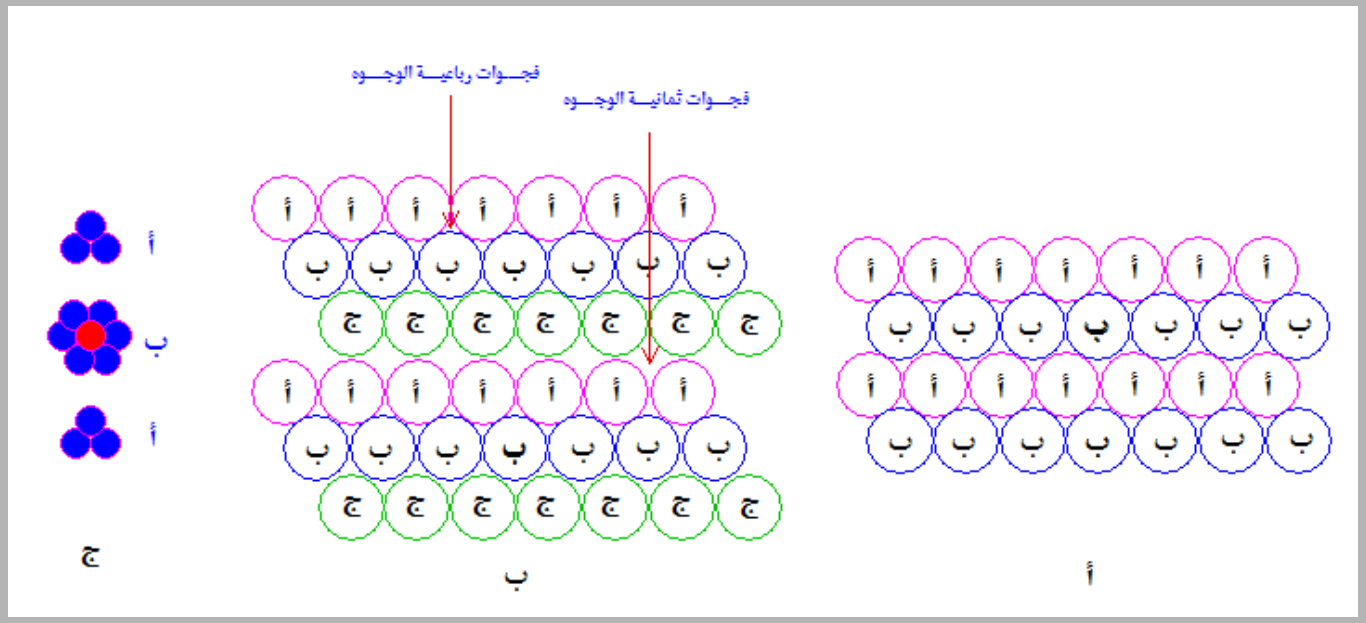
ملخص الباب الخامس

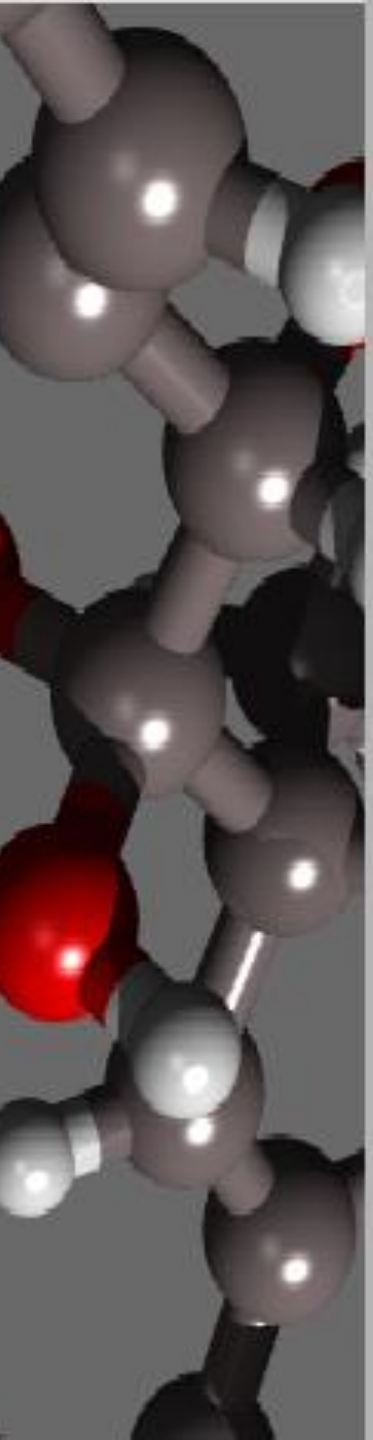


علاقة الشحنات بنصف القطر وكذلك علاقة الدوالف الموجبة والسالبة بالذرة المتعادلة

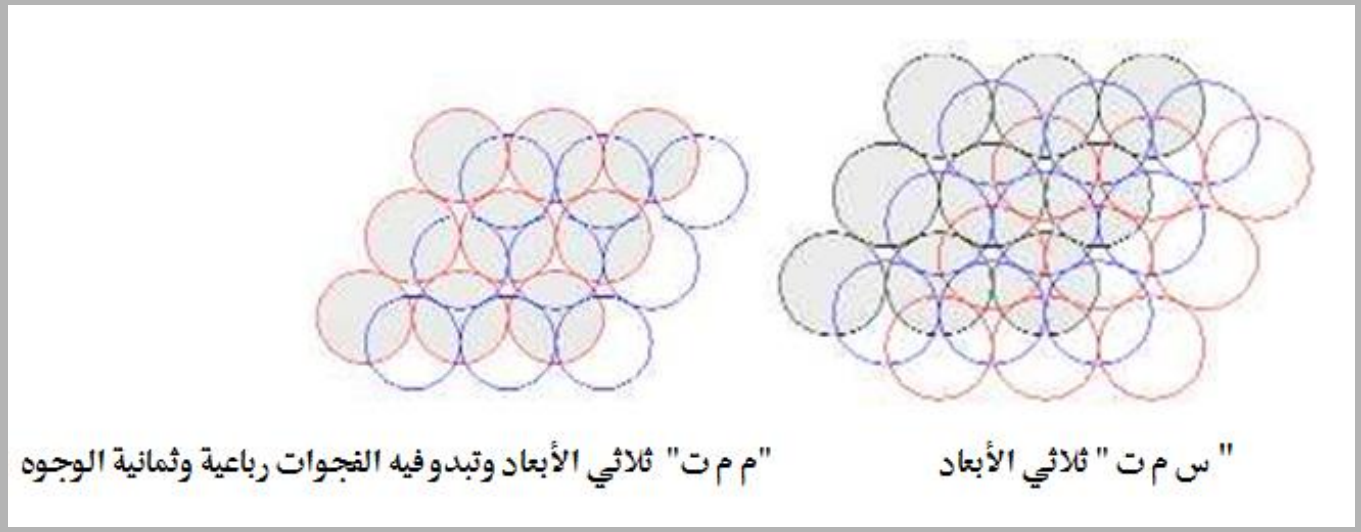


ملخص الباب الخامس



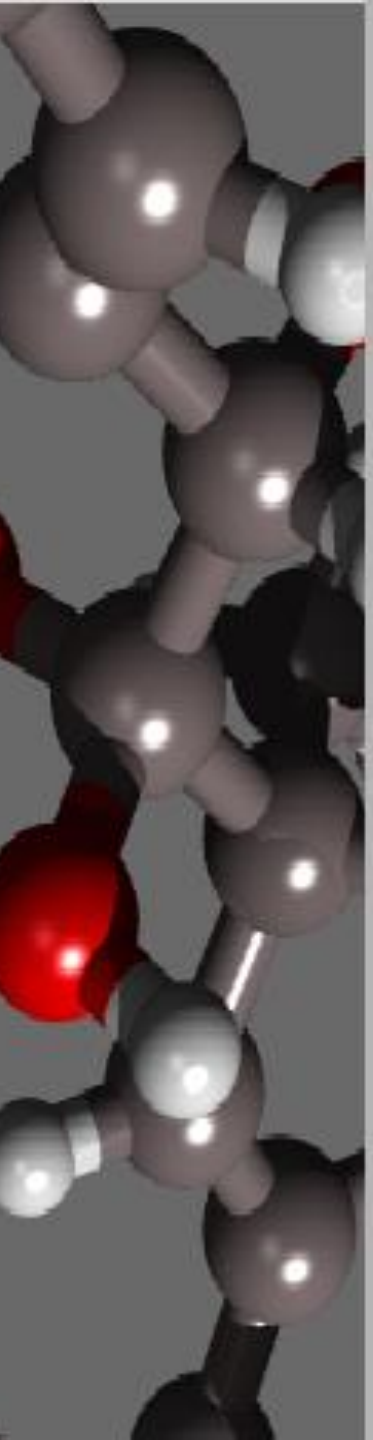


ملخص الباب الخامس

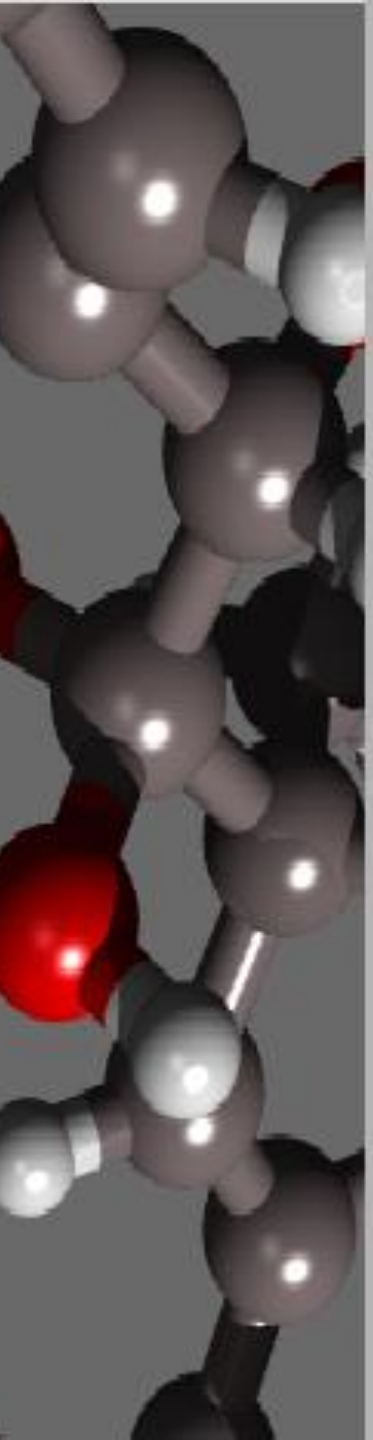


" س م ت " ثلاثي الأبعاد

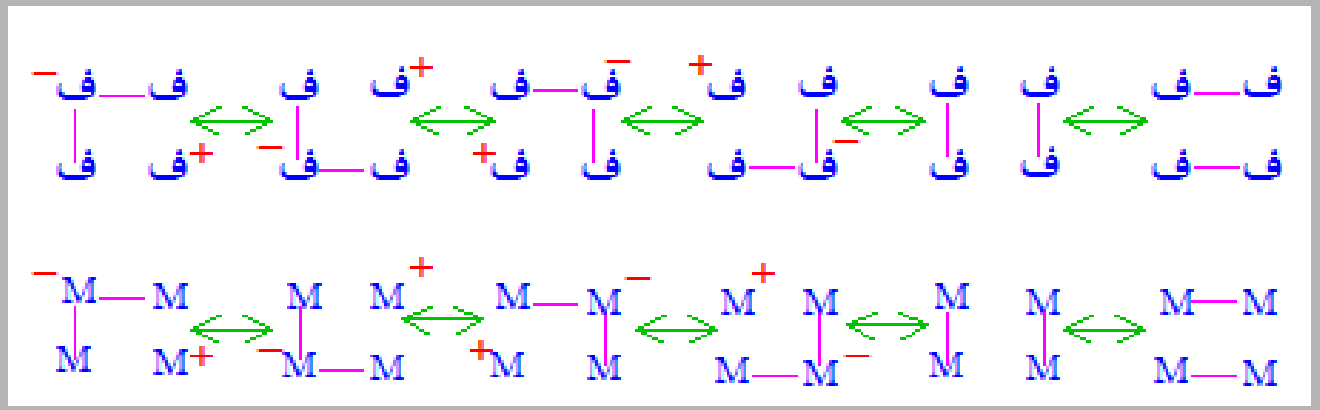
"م م ت" ثلاثي الأبعاد وتبدو فيه الفجوات رباعية وثمانية الوجوه



ملخص الباب الخامس

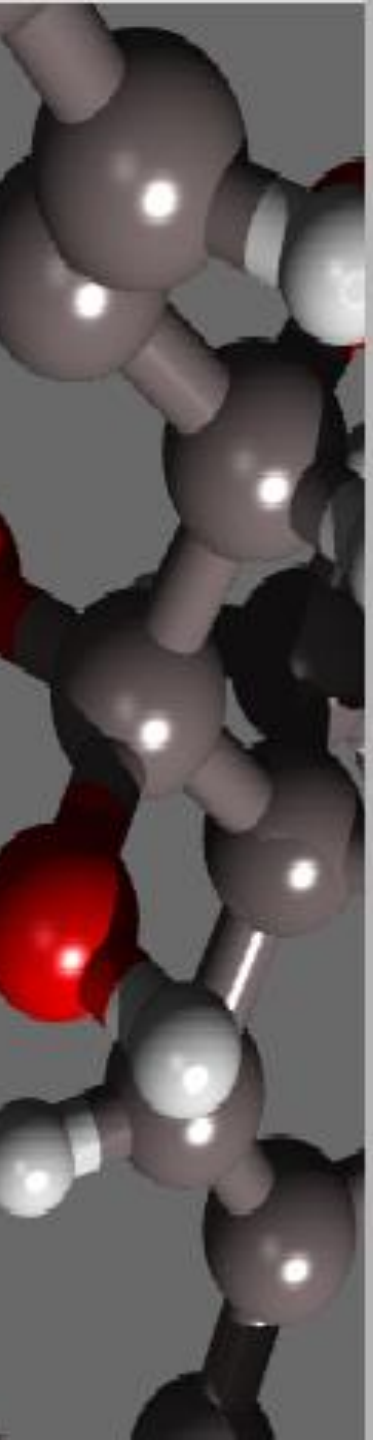


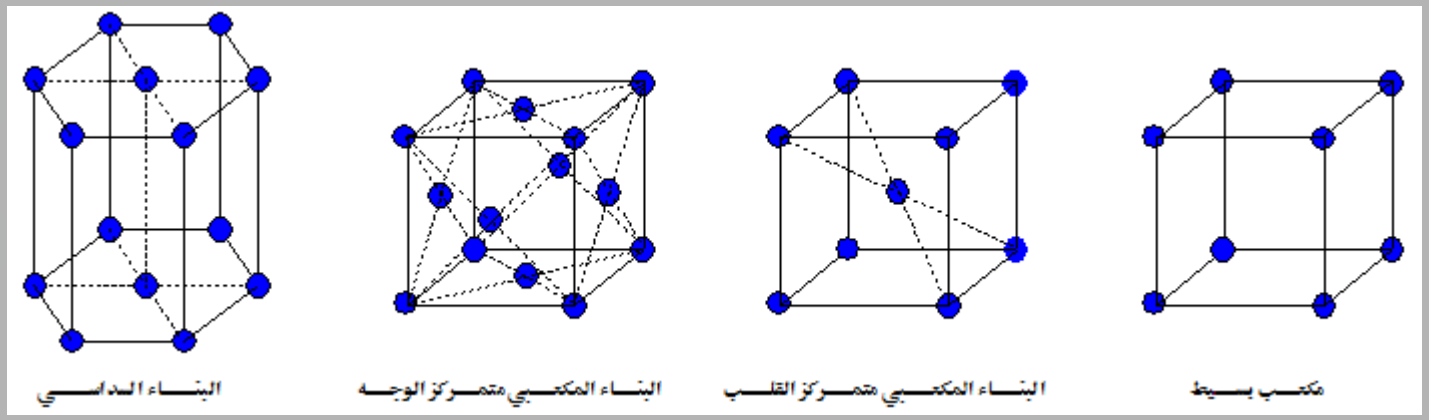
ملخص الباب الخامس



طريقة توزيع السحابة الكهيربية للرابطة الفلزية

أ.د.عمر بن علي الزين





أ.د.عمر بن علي الزين