



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الثانية

المادة : كيمياء لاعضوية 1

المحاضرة : السابعة / نظري / د. تامة

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z Facebook Group :

كلية العلوم

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

2026

6



جامعة طرطوس

كلية العلوم

قسم الكيمياء

الكيمياء اللاعضوية 1

القسم النظري

لطلاب السنة الثانية

قسم الكيمياء

المحاضرة السابعة

أستاذ المقرر

للعام الدراسي 2025-2026

د. تمارة شهرلي

التكافؤ الموجه - دراسة المركبات وفق نظرية رابطة التكافؤ

التكافؤ الموجه:

- تداخل المدارات: وجدنا أن

طريقة المدارات الجزيئية ورابطة التكافؤ تعطي علاقة طاقة الرابطة التي تحوي التكامل $\int \phi_A \phi_B dv$ حيث يؤخذ التكامل في الفراغ كله. وستكون قيمة التكامل صغيرة في حالة كون ϕ_B, ϕ_A صغيرين ولكن عندما تكون قيمة التابعين السابقين كبيرة نوعاً ما في اللحظة نفسها (أي عندما تشغل المدارات الذرية المنطقة نفسها من الفراغ) يصبح للتكامل معنى وأهمية.

ولهذا يطلق على التكامل $\int \phi_A \phi_B dv$ اسم تكامل التداخل وقد ذكرنا سابقاً أن تداخل المدارات الذرية لا يؤدي إلى تشكيل رابطة ثابتة إلا إذا توفرت بعض الشروط الأخرى كأن يكون للمدارين الذريين قيمتان متقاربتان للطاقة، وأن يكون لهما التناظر نفسه. ويبرز الشرط الأخير هذا نظراً لأن لبعض المدارات (مثل مدارات P ومدارات d) انتقاقات بإشارات مختلفة وتتفصل عن بعضها بمستويات عقدية. ويجب أن نتذكر دوماً شروط التناظر عندما نأخذ مسألة تداخل المدارات بعين الاعتبار.

والآن يمكننا الحصول على تفسير كفي للتكافؤ الموجه إذا فرضنا أن قوة الرابطة المشتركة متناسبة مع مقدار التداخل ولنبحث في تداخل المدارات:

— المدارات S:

مدارات S متناظرة كروياً ولهذا فتداخلها يكون واحد في جميع الاتجاهات.

— تداخل المدارات P:

فكما وجدنا سابقاً في حالة الجزيء F_2 أن الرابطة ناشئة من تداخل المدارين الذريين $2P_x$ وفي هذه الحالة تكون الكثافة الإلكترونية أعظمية على المحور X وبالإمكان الحصول على تداخل أعظمي من أجل بعد معين بين النواتين إذا

تشكلت الرابطة في هذا الاتجاه.

وباعتبار أن التداخل الكبير بين المدارات يؤدي إلى تشكيل رابطة قوية فإننا نستطيع اعتبار قوة الرابطة متعلقة بنوع المدار الذي تتشكل منه. ولقد أشار بولينغ أن مدارات P باعتبارها متمركزة حول اتجاهات معينة فهي تتداخل بصورة أفضل من مدارات S التي لها نفس العدد الكوانتي الرئيسي (n) من أجل بعد معين بين النواتين. فإذا كان نصف قطر المدار ($3S$) هو (r) يمكن البرهان على أن طول محور المدار $3P$ اعتباراً من النواة إلى سطحه الحدودي يساوي $\sqrt{3}r$ ، وبالتالي فإن قوة الرابطة التي يشكلها المدار P تساوي تقريباً $\sqrt{3}$ مرة أكبر من قوة الرابطة التي يشكلها مدار S. يمكن الاستفادة مما سبق في دراسة الجزيئات متعددة الذرات:

مفهوم التهجين

هو تداخل أوربيتالين أو أكثر (متقاربين في الطاقة) في الذرة نفسها لتنتج أوربيتالات مهجنة متساوية في الطاقة.

شروط التهجين:

- 1- يحدث التهجين في الذرة نفسها ، وأحياناً يحدث بعد اثاره الذرة.
- 2- يحدث التهجين بين أوربيتالات مختلفة و متقاربة في الطاقة .
- 3- عدد الأوربيتالات المهجنة يساوي عدد الأوربيتالات النقية الداخلة في التهجين .
- 4- الأوربيتالات المهجنة متساوية في الطاقة .
- 5- الأوربيتالات المهجنة أكثر بروزاً من الأوربيتال العادي؛ مما يسهل عملية التداخل.

تفسير قيم الزوايا بين الروابط:

الأوربيتال المهجن هو إلكترون سالب ، ولكي يُخفف التنافر بين الأوربيتالات لأقل قدر ممكن فإن الأوربيتالات تأخذ أشكالاً فراغية لتشكل زوايا محددة فيما بينهما وتحدد الشكل الفراغي للجزيء.

ملاحظة: هناك عدة أنواع من المدارات الهجينة ، مثل:

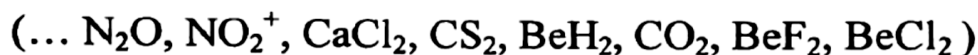
- التهجين من نوع SP (تهجين مدارين ذريين) ويكون الجزيء خطي بزاوية (180^0) مثل جزيء كلوريد البيريليوم $BeCl_2$.
- التهجين من النوع SP^2 (تهجين ثلاثة مدارات ذرية) ويكون للجزيء بنية زاوية بقياس (120^0) مثل جزيء BH_3 .
- التهجين من النوع SP^3 (تهجين أربعة مدارات ذرية) وتكون البنية الفراغية للجزيء على شكل هرم رباعي وجوه مثل جزيء الميثان CH_4 .
- التهجين من النوع SP^3d (تهجين خمسة مدارات ذرية) وتكون البنية الفراغية للجزيء على شكل هرم مثلث مضاعف مثل جزيء PCl_5 .
- التهجين من النوع SP^3d^2 (تهجين ستة مدارات ذرية) وتكون البنية الفراغية للجزيء على شكل ثماني وجوه مثل جزيء SF_6 .

نمط التهجين	البنية الفراغية للمدارات المهجنة
SP	خطي
SP^2	مثلث مستوي
SP^3 , SP^3d	رباعي الوجوه مربع مستوي
dSP^3 , SP^3d	هرم مثلثي مضاعف
d^2SP^3 , SP^3d^2	ثماني وجوه
d^3SP^3	هرم خماسي مضاعف
d^4SP^3	هرم سداسي مضاعف اثني عشري الوجوه

خطوات دراسة المركب وفق نظرية رابطة التكافؤ:

- 1- كتابة التوزيع الالكتروني للذرات المكونة للجزيء .
 - 2- يجب أن يكون عدد المدارات الذرية التي تحتوي الكترونات فردية مساوياً لعدد المرتبطات ، وفي حال عدم وجود مدارات ذرية (تحتوي الكترون فردي) كافية نقوم بإثارة الذرة.
 - 3- تحديد نوع التهجين من خلال تحديد المدارات الذرية التي تتداخل للحصول على المدارات الهجينة بحيث يكون : عدد المدارات الذرية الداخلة في التهجين يساوي عدد المدارات الهجينة الناتجة، وتكون المدارات الهجينة متساوية في الطاقة
 - 4- تحديد أنواع الروابط في الجزيء مع العلم أن الرابطة σ تتشكل على حساب المدار الهجين (تداخل رأسي بين مدار هجين من الذرة المركزية ومدار ذري من المرتبطة) ، أما الرابطة π تتشكل على حساب المدارات الذرية (تداخل جانبي بين مدار ذري من الذرة المركزية ومدار ذري من المرتبطة).
 - 5- تحديد البنية الفراغية ورسم الشكل الفراغي.
- بنية بعض الجزيئات متعددة الذرات:**
وذلك حسب طريقة رابطة التكافؤ.

1- الجزيئات الثلاثية الذرة الخطية: يوجد العديد من الجزيئات

- الجزيء BeCl_2

لنأخذ الجزيء BeCl_2 ، فهنا يمكن أن نتصور أن الارتباط يحصل على مرحلتين المرحلة الأولى هي أن ذرة Be تستخدم مدارها $2P_x$ مع مدار الكلور $3P_x$ وتشكل رابطة محددة قوية (σ) ويكون التداخل أعظماً عندما يكون المدارين على استقامة واحدة.

أما المرحلة الثانية حيث تتم على حساب مدار $2S$ لذرة البيريليوم المتناظر كروياً ويتداخل بنفس المقدار بجميع الاتجاهات مع $3P_x$ لذرة الكلور الثانية وهي أقل وضوحاً (قوة) من الرابطة الأولى.

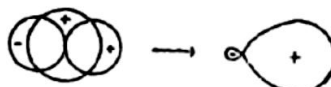
إن التناظر بين ذرتي الكلور وبين الزوجين الالكترونيين الرابطين يؤدي إلى تكبير الزاوية $\text{Cl} - \text{Be} - \text{Cl}$ ولكن لا يمكن التنبؤ نظرياً بقيمة هذه الزاوية.

إذا نلاحظ تشكل رابطتين (σ) من مداري البيريليوم المختلفين ($2P_x, 2S$) وتمثل عندها البنية بزواوية غير محدودة ورابطتين مختلفتين طولاً ومتانة. لكن من المعروف أن الرابطتين في $BeCl_2$ وفي مركبات اخرى للبيريليوم الثنائي التكافؤ بأنها على استقامة واحدة وهما متكافئتان طولاً ومتانة، لتفسير ذلك يبدو من الضروري اعتبار أن ذرة البيريليوم تستخدم في ارتباطها مدارين متكافئين ولذا نفترض أن ذرة البيريليوم لا تستخدم المدارين البسيطين $2P_x, 2S$ وإنما تستعمل مدارين ناشئين عن دمجها أو تركيبهما. ولايضاح ذلك كما وجدنا سابقاً للتعرف على سويات الطاقة في ذرة ما يكون بحل معادلة موجية معينة والحصول على حلول مناسبة مثل ($\psi_{2S}, \psi_{2P_x}, \dots$) وكل من هذه التوابع يمثل سوية طاقة أو مدار يتسع لالكترونين متعاكسين في لفهما الذاتي، فإذا كان كل من ψ_{2S} و ψ_{2P_x} حل للمعادلة الموجية لذرة البيريليوم فإن تركيبهما الخطي حل أيضاً وبالتالي أصبح بإمكاننا وصف مدارات أخرى ممكنة ناشئة عن تركيب أو تهجين المدارات الذرية البسيطة اي نحصل على تابعين متكافئين جديدين يمثلان مدارين واقعيين على استقامة واحدة.

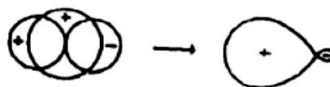
$$\psi_{SP(I)} = \sqrt{1/2} (\psi_{2S} + \psi_{2P_x})$$

$$\psi_{SP(II)} = \sqrt{1/2} (\psi_{2S} - \psi_{2P_x})$$

أي عند دمج مدار واحد من (S) ومدار واحد (P) يؤدي إلى تشكيل مدارين هجينين من نوع (SP) لهما قدرة كبيرة على التوجه وكل منهما يبرز على المحور أكثر من P الأصلي المساهم في تشكيلهما والشكل يبين تشكل المدارات SP الهجينة



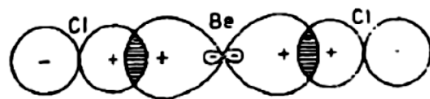
(a)



(b)

شكل المدارات الهجينة SP

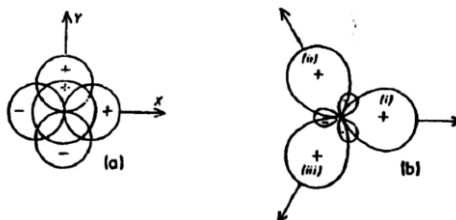
وهكذا يمكن اعتبار الجزيء BeCl_2 ناشئاً من تداخل كل من مداري البيريديوم الهجينين SP مع المدار $3P_x$ من كل ذرة من ذرتي الكلور وتتشكل رابطتين (σ) متكافئتين وعلى استقامة واحدة



تشكل الرابطتين في BeCl_2

وهكذا تتشكل رابطتان متمرکزتان تحوي كل منهما الكترونين.

2- الجزيئات المستوية المثلثية:

مثل الجزيئات BH_3 , BCl_3 , BF_3 , CO_3^{2-} , NO_3^- .- جزيئة BCl_3 :يتم في ذرة البور دمج المدارات الثلاث $2S$, $2P_x$, $2P_y$ ونحصل بذلك علىثلاث مدارات هجينة من نوع SP^2 يوضح الشكل تشكل المدارات الهجينة الثلاثة نتيجة لدمج المدارات الذرية $2S$, $2P_x$, $2P_y$.

من الشكل نلاحظ تشكل المدارات الهجينة حيث تتركز الغمامات في مستوي واحد

وذلك لأن المدارين $2P_y$, $2P_x$ واقعين في مستوي واحد والروابط $\text{B} - \text{Cl}$ من نوع σ ناشئة من تداخل المدارات الهجينة الثلاثة SP^2 في ذرة البور معالمدارات $3P_x$ في ذرات الكلور الثلاثة.

3- الجزيئات رباعية الوجوه:

يوجد العديد من الجزيئات رباعية الوجوه وسنأخذ مثال عليها جزيئة الميثان CH_4 حيث تتمتع جزيئة الميثان ببنية رباعية الوجوه

- جزيء الميثان CH_4 :

تعد هذه البنية رباعي وجوه منتظم إذا أدخلت ذرة الكربون في مركز المكعب أما ذرات الهيدروجين فتقع في الرؤوس المتقابلة في الموضع، حيث تبدأ بداية المحاور الإحداثية من مركز المكعب، وتتوجه المحاور عمودية على الوجوه في مركزها.

ذرة الكربون تملك البنية الالكترونية: $C: 1S^2 2S^2 2P^2$

وعندما تنهيج نحصل على البنية التالية: $1S^2 2S^1 2P_x^1 2P_y^1 2P_z^1$

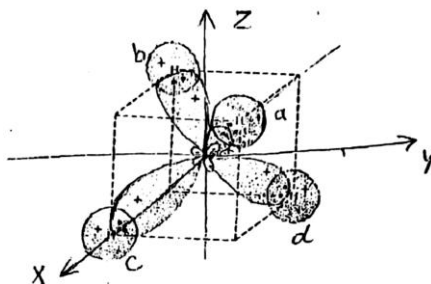
فنحصل بالنتيجة على أربع إلكترونات فردية

يحدث اندماج للمدارات الأربعة P, S لذرة الكربون $2S, 2P_x, 2P_y, 2P_z$.

ونحصل بذلك على أربع مدارات هجينة SP^3 تتوجه نحو رؤوس رباعي وجوه منتظم

عندها سوف تنشأ الروابط من تداخل المدار $(1S)$ لأربعة ذرات هيدروجين مع

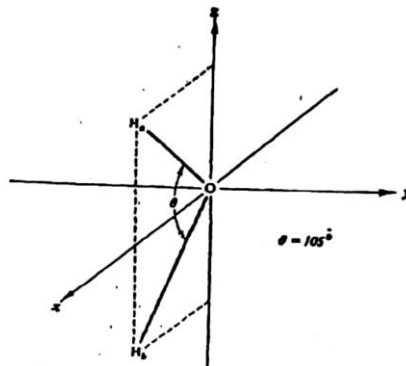
المدارات الهجينة الأربعة مشكلة أربع روابط σ



بنية الجزيئة CH_4

- جزيء الماء H_2O

تعتبر جزيئة الماء مثلاً واضحاً على الجزيئات الثلاثية الزاوية



توضع ذرات الأكسجين والهيدروجين بالنسبة للمحاور الإحداثية

فإذا اعتبرنا أن ذرة الأكسجين واقعة في مبدأ الإحداثيات عندها نلاحظ أن ذرتي الهيدروجين ستكونان واقعتان في المستوي XY وعلى مسافة واحدة من المحور (z) بالاتجاه الموجب والسالب له وتشكل الرابطة $O-H$ زاوية مقدارها $(104,5)$

في جزيئة الماء كما لاحظنا التغطية الحاصلة بين المدارات لتشكيل رابطتين (σ) من المدارات $(2P, 2S)$ لذرة الأكسجين و $(1S_b, 1S_a)$ لذرات الهيدروجين وإذا فرضنا أن التغطية تحصل فقط بين $(2P_z, 2P_x)$ من الأكسجين مع $(1S_b, 1S_a)$ لذرات الهيدروجين فعندها يجب أن تكون الزاوية بين الرابطتين $O-H$ (90°) (وذلك لأن $2P_z, 2P_x$ متعامدتان) أي أن التغطية بين $(2P_z, 2P_x)$ و $(1S_b, 1S_a)$ يجب أن تحصل بصورة متكافئة

يمكن تفسير ذلك إذا اعتبرنا أن الالكترونات التكافؤية الثمانية في جزيء H_2O ستشغل المدارات الهجينة SP^3

أي أنه يحصل في ذرة الأكسجين تهجين من النمط SP^3 للمدارات $(2P_z, 2P_y, 2P_x, 2S)$ وبالتالي نحصل على أربعة مدارات هجينة تتجه نحو رؤوس رباعي وجوه إلا أن اثنين منها يحوي كل منها إلكتروناتاً فردياً واثنين آخرين يحوي كل منها زوجاً إلكترونياً، فيتم التداخل بين المدارين الهجينين

ومداري (1S) لذرتي الهيدروجين ونحصل على رابطتين (σ) إلا أن المدارين الهجينين الآخرين يحويان زوجين الكترونيين غير رابطتين وهي تنتشر بالفراغ بشكل أكبر من الأزواج الرابطة لذلك فهي ستمارس ضغطاً على الأزواج الرابطة مما يؤدي إلى ضغط الزاوية من ($109,3^\circ$) في رباعي الوجود المنتظم إلى ($104,5^\circ$) في جزيئة الماء.

وبطريقة مشابهة يتوقع الحصول على ثلاث روابط متعامدة في جزيئات NH_3 و PH_3 و AsH_3 و SbH_3 نتيجة تداخل مدارات (S) لذرات الهيدروجين مع مدارات P الثلاثة المتعامدة في الأزوت والفوسفور والزرنيخ والأنتيموان. وهنا أيضاً زوايا الارتباط لا تساوي (90°) وإنما هي:

NH_3	PH_3	AsH_3	SbH_3
$107,3^\circ$	$93,3^\circ$	$91,8^\circ$	$91,3^\circ$

حيث نلاحظ أن الزاوية تزداد قرباً من (90°) كلما انتقلنا من $\text{NH}_3 \leftarrow \text{SbH}_3$ وذلك لزيادة طول الرابطة فيها.

انتهت المحاضرة