



EXCELLENT
STUDENT

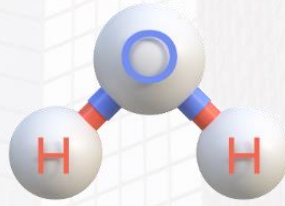


المثالي

في الكيمياء

الصف الحادي عشر علمي

الفصل الدراسي الأول



SCAN ME!



قائمة
تشغيل
على اليوتيوب
هيكون فيها
كل كامل للمذكرة
فقط اشترك في
قناتي على يوتيوب

أستاذ / ناصر النبوي

55129947



الأفلاك

الجزئية

الفلك الذري : منطقة الفراغ المحيطة بنواة الذرة والتي يكون فيها أكبر احتمال لوجود الإلكترون

الترتيب الإلكتروني النقطي (ترتيب لويس) لأهم اللافلزات :

اللافلز	الترتيب الإلكتروني حسب تحت المستويات	عدد الإلكترونات المفردة	عدد إلكترونات التكافؤ	ترتيب لويس
الهيدروجين $1H$	$1s^1$	1	1	$\cdot H$
الكربون $6C$	$1s^2, 2s^2, 2p^2$	2	4	$\cdot \ddot{C} \cdot$
النيتروجين $7N$	$1s^2, 2s^2, 2p^3$	3	5	$\cdot \ddot{N} \cdot$
الأكسجين $8O$	$1s^2, 2s^2, 2p^4$	2	6	$:\ddot{O}:$
الفلور $9F$	$1s^2, 2s^2, 2p^5$	1	7	$:\ddot{F} \cdot$
الكلور $17Cl$	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^5$	1	7	$:\ddot{Cl} \cdot$
البروم $35Br$	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^5$	1	7	$:\ddot{Br} \cdot$
اليود $53I$	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^6, 5s^2, 4d^{10}, 5p^5$	1	7	$:\ddot{I} \cdot$

تكون ذرة اللافلز روابط تساهمية عن طريق الأفلاك نصف الممتلئة (الإلكترونات المفردة)



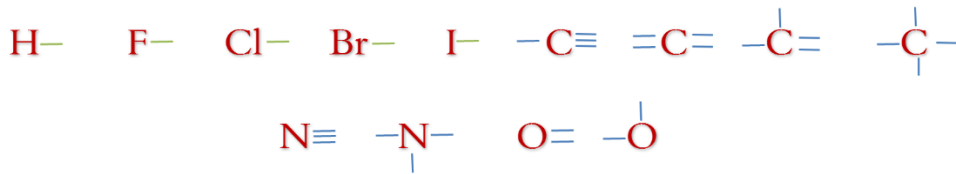
يكون كل من الهيدروجين والفلور والكلور والبروم واليود رابطة تساهمية أحادية واحدة فقط

تكون ذرة الأكسجين رابطتين تساهميتين أحاديتين أو رابطة تساهمية ثنائية

تكون ذرة النيتروجين رابطة تساهمية ثلاثية أو ثلاث روابط أحادية

تكون ذرة الكربون أربع روابط تساهمية أحادية أو رابطتين ثنائيتين أو رابطتين أحاديتين ورابطة ثنائية أو رابطة ثلاثية ورابطة رباعية

بالرغم من أن ذرة الكربون في الوضع الأدنى طاقة لديها إلكترونين مفردين (سيتم تفسير ذلك في درس التهجين)



الترتيبات الإلكترونية النقطية (ترتيب لويس) في الجزيئات :



نظريات تفسير ووصف تكوين الروابط التساهمية : { نظرية رابطة التكافؤ - نظرية الأفلاك الجزيئية }

نظرية رابطة التكافؤ	نظرية الأفلاك الجزيئية
تفترض أن الإلكترونات تشغل الأفلاك الذرية في الجزيئات	تفترض تكوينه فلك جزيئي ترابطي من الأفلاك الذرية يغطي النواتين المترابطتين ويسمى الفلك الجزيئي



طبقاً لنظرية رابطة التكافؤ لا تكون الغازات النبيلة روابط تساهمية

لأن الأفلاك الذرية للغازات النبيلة ممتلئة تماماً بالإلكترونات أي لا توجد إلكترونات مفردة

الفلك الجزيئي: فلك ترابطي (رابطة تساهمية) ينتج من تداخل الأفلاك الذرية للذرتين المترابطتين



تداخل فلكي ذرتين رأساً لرأس عندما يكون محور التداخل هو محور التناظر (على خط واحد) وينتج فلك جزيئي ترابطي يسمى الرابطة سيجما δ



رابطة تساهمية (فلك جزيئي ترابطي) تنتج عندما تتداخل الأفلاك الذرية رأساً لرأس (محورياً) عندما يكون محور التداخل هو محور التناظر



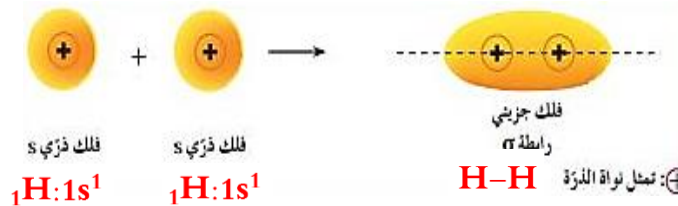
حول الرابطة سيجما

تتوزع الكثافة الإلكترونية بشكل متماثل على طول المحور الذي يصل بين نواتي الذرتين المترابطتين. الكثافة الإلكترونية تزداد بين النواتين فيما تقل خارجهما



أمثلة للأفلاك الذرية التي تشهد تداخلاً محورياً وينتج عنها رابطة سيجما δ

تداخل فلكين s: بنية جزيء الهيدروجين

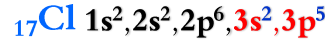


تحتوي بنية غاز (جزيء) الهيدروجين على رابطة تساهمية واحدة من النوع سيجما $(1H)$ لأنه يتداخل فلكي 1s لذرتي هيدروجين محورياً ويتكون فلك جزيئي ترابطي (رابطة سيجما) في جزيء الهيدروجين (رابطة تساهمية أحادية)



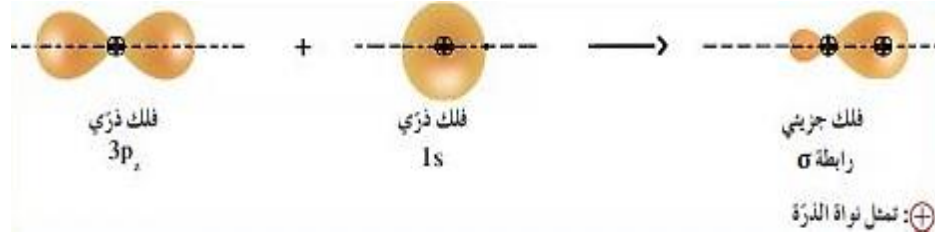
تداخل فلك s مع فلك P: بنية كلوريد الهيدروجين (HCl)

2



1↓

1↓



علل تحتوي بنية (جزيء) كلوريد الهيدروجين على رابطة تساهمية واحدة من النوع سيجما (${}_{17}\text{Cl}$, ${}_1\text{H}$) لأنه يتداخل فلك 1s لذرة هيدروجين مع فلك $3p_z$ لذرة الكلور محورياً ويتكون فلك جزئي ترابطي (رابطة سيجما) في جزيء كلوريد الهيدروجين (رابطة تساهمية أحادية)

جزيئات أخرى يحدث فيها تداخل محوري بين فلك s وفلك p

عدد الروابط سيجما	فوع الرابطة التساهمية	الأفلاك المتداخلة	عدد التداخلات	فوع التداخل	اسم وصيغة المركب
1	تساهمية أحادية	$1s-2p_z$	1	محوري	فلوريد الهيدروجين HF
1	تساهمية أحادية	$1s-4p_z$	1		بروميد الهيدروجين HBr
1	تساهمية أحادية	$1s-5p_z$	1		يوديد الهيدروجين HI
2	رابطتين تساهميتين أحاديتين	$1s-2p_y$ $1s-2p_z$	2		الماء H_2O
3	ثلاث روابط تساهمية أحادية	$1s-2p_x$ $1s-2p_y$ $1s-2p_z$	3		الأمونيا NH_3

يتداخل الفلك s دائماً محورياً

ملاحظة هامة

تداخل فلكين p محورياً: بنية جزيء الكلور Cl_2

3



علل

تحتوي بنية غاز (جزيء) الكلور على رابطة تساهمية واحدة من النوع سيجما (Cl_{17})
لأنه يتداخل فلوك $3p_z$ لذرة الكلور مع فلوك $3p_z$ لذرة الكلور محورياً ويتكون فلوك جزيئي ترابطي
(رابطة سيجما) في جزيء غاز الكلور (رابطة تساهمية أحادية)

جزيئات أخرى يحدث فيها تداخل محوري بين فلوك s وفلوك p

اسم وصيغة الجزيء	فوك التداخل	عدد التداخلات	الأفلاك المتداخلة	فوك الرابطة التساهمية	عدد الروابط سيجما
غاز الفلور F_2		1	$2p_z - 2p_z$	تساهمية أحادية	1
سائل البروم Br_2		1	$4p_z - 4p_z$	تساهمية أحادية	1
اليود الصلب I_2		1	$5p_z - 5p_z$	تساهمية أحادية	1

خواص الرابطة

سيجما

الرابطة سيجما σ يصعب كسرها في التفاعلات الكيميائية
لأنها قصيرة وقوية وكثافتها الإلكترونية كبيرة

علل

- 1 هي كل رابطة تساهمية أحادية في الكيمياء
- 2 يكون محور تداخل الفلوكين محور التناظر
- 3 تكون أقوى كلما كان التداخل أكبر
- 4 تعتمد طاقة الرابطة سيجما على :

المسافة بين الذرتين المترابطتين ✨ عدد الروابط التي تشكلها هاتان الذرتان. ✨

التداخل الجانبي

2

هو تداخل فلوكي ذريين جنباً إلى جنب عندما يكون محوري الفلوكين متوازيين وينشأ عنه التداخل الجانبي
فلوك جزيئي ترابطي يسمى الرابطة باي π

رابطة تساهمية (فلوك جزيئي ترابطي) تنتج عندما تتداخل الأفلاك الذرية جانبياً ويحدث ذلك
عندما يكون محوري الفلوكين متوازيين وتعتبر الرابطة باي أضعف من الرابطة سيجما

الرابطة باي π

حول الرابطة باي

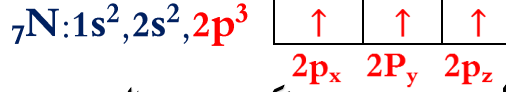
ينتج عنه التداخل الجانبي فلوكاً جزيئياً ترابطياً (رابطة باي) وتكون المنطقتان اللتان يقضي فيهما
زوج إلكترونات الرابطة معظم وقته فلوكاً جزيئياً ترابطياً واحداً



أمثلة للأفلاك الذرية التي تشهد تداخلا جانبيا وينتج عنها رابطة باي π

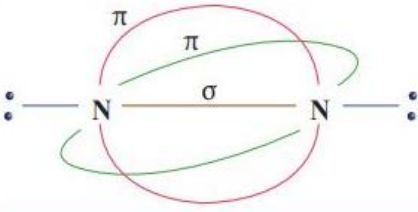
تداخل فلكي p جانبيا :

بنية جزيء النيتروجين $(N \equiv N) N_2$

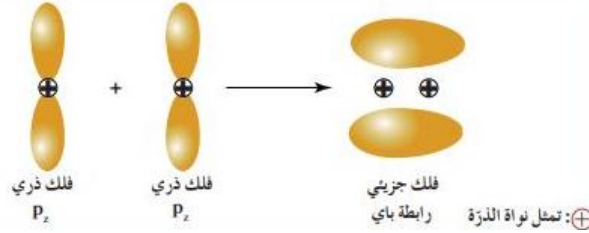


ترتبط ذرتي النيتروجين برابطة تساهمية ثلاثية لتكوين جزيء النيتروجين

تحتوي بنية غاز (جزيء) النيتروجين على رابطة تساهمية واحدة وسيجما ورابطتين باي (${}_7N$)
تحتوي كل ذرة نيتروجين على ثلاث أفلاك نصف مملئة وتتكون الرابطة التساهمية الثلاثية كالتالي :

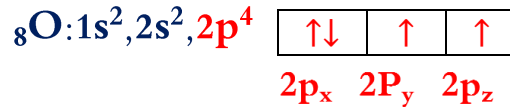


- يتداخل فلكي $2p_x$ لذرتي نيتروجين محوريا لتكوين رابطة سيجمما
- يتداخل فلكي $2p_y$ لذرتي نيتروجين جانبيا لتكوين رابطة باي
- يتداخل فلكي $2p_z$ لذرتي نيتروجين جانبيا لتكوين رابطة باي



معنى ذلك أن **الرابطة التساهمية الثلاثية** : هي رابطة تساهمية تتكون من رابطة واحدة وسيجمما ورابطتين باي

بنية جزيء الأكسجين $(O = O) O_2$



ترتبط ذرتي الأكسجين برابطة تساهمية ثنائية لتكوين جزيء الأكسجين

تحتوي بنية غاز (جزيء) الأكسجين على رابطة تساهمية واحدة وسيجمما ورابطة باي (${}_8O$)

تحتوي كل ذرة أكسجين على فلكين نصف مملئة وتتكون الرابطة التساهمية الثنائية كالتالي :

- يتداخل فلكي $2p_y$ لذرتي الأكسجين محوريا لتكوين رابطة سيجمما
- يتداخل فلكي $2p_z$ لذرتي الأكسجين جانبيا لتكوين رابطة باي

معنى ذلك أن **الرابطة التساهمية الثنائية** : هي رابطة تساهمية تتكون من رابطة واحدة وسيجمما ورابطة واحدة باي

علل

لا يمكنه ان تحتوي الجزيئات على الرابطة باي فقط
لان التداخل المحوري يسبب التداخل الجانبي حيث ينشأ عنه التداخل المحوري رابطة سيجما وهي تحدد شكل الجزيء
لأنها أقوى من الرابطة باي وهي رابطة ضعيفة

الرابطة باي π يسهل كسرها في التفاعلات الكيميائية

علل

لأنها طويلة وضعيفة وكثافتها الإلكترونية صغيرة

π

خواص الرابطة

باي

1- تتواجد الرابطة باي في الجزيئات التي تحتوي على الرابطة **التساهمية الثنائية والثلاثية**.

2- لا تتكون الرابطة باي الا اذا تكونت الرابطة سيجما قبلها

3- الجزيئات التي تحتوي على الرابطة باي يمكنه أن تدخل في تفاعلات كيميائية اضافية (ومخاصة في الكيميائية العضوية)

علل

الرابطة التساهمية باي أضعف من الرابطة التساهمية سيجما

لان **الرابطة باي** تنتج من تداخل جانبي والذي لا يحق أقصى درجة من التداخل كما أنها طويلة وضعيفة وكثافتها الإلكترونية أقل **بينما الرابطة سيجما** تنتج من تداخل محوري والذي يحق أقصى درجة من التداخل كما أن الرابطة سيجما قصيرة وأقوى وكثافتها الإلكترونية مرتفعة

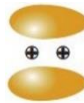


الرابطة سيجما والرابطة باي

مقارنة

وجه المقارنة	الرابطة سيجما	الرابطة باي
تنشأ من تداخل	محوري	جانبي
محور التداخل	محور التناظر (محوري الفلكين على خط واحد)	محوري الفلكين متوازيين
طول الرابطة	قصيرة	طويلة
وجودها	في الجزيئات التي تحتوي على روابط تساهمية أحادية أو ثنائية أو ثلاثية	في الجزيئات التي تحتوي على روابط تساهمية ثنائية أو ثلاثية
الكثافة الإلكترونية	كبيرة	صغيرة
قوة الرابطة	أقوى	أضعف

الأشكال التالية تمثل أفلاك جزيئية ادرسها جيدا ثم أجب عن المطلوب :



4



3



2



1

رقم الشكل	العبارة	رقم الشكل	ينتج من تداخل
	يمثل رابطة باي		فلكي s
	يمثل بنية H_2		فلك s مع فلك p
	يمثل بنية Cl_2		فلكي p محوريا
	يمثل بنية HCl		فلكي p جانبيا

مراجعة على الأفلاك الجزيئية

السؤال الأول

اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي تدل عليه كل من العبارات التالية :

- 1 منطقة الفراغ المحيطة بنواة الذرة التي يتواجد فيها الإلكترون (-----)
- 2 نظرية تفترض أن الإلكترونات تشغل الأفلاك الذرية في الجزئيات (-----)
- 3 نظرية تفترض تكوينه فلك جزيئي من الأفلاك الذرية يغطي كل من النواتين المترابطتين (-----)
- 4 نوع من أنواع تداخل الأفلاك الذرية يتم فيه تداخل فلكين ذريين رأساً لرأس عندما يكون محورا الفلكين متناظريه (-----)
- 5 نوع من أنواع تداخل الأفلاك الذرية يتم فيه تداخل فلكين ذريين جنباً إلى جنب عندما يكون محورا الفلكين متوازيين (-----)
- 6 نوع من أنواع الروابط التساهمية ينتج من تداخل محوري لفلكين ذريين رأساً لرأس (-----)
- 7 نوع من أنواع الروابط التساهمية ينتج من تداخل جانبي لفلكين ذريين جنباً إلى جنب عندما يكون محورا الفلكين متوازيين (-----)
- 8 نوع من أنواع الروابط التساهمية يتكون من رابطة واحدة سيجما ورابطتين باي (-----)
- 9 نوع من أنواع الروابط التساهمية يتكون من رابطة واحدة سيجما ورابطة واحدة باي (-----)

السؤال الثاني

اكتب كلمة (صحيحة) بين القوسين المقابلين للعبارة الصحيحة وكلمة (خطأ) بين القوسين المقابلين للعبارة الخطأ في كل مما يلي

- 1 يمكن تحديد مكان الإلكترون وسرعته حول نواة الذرة بدقة تامة (-----)
- 2 تنتج ال اربطة التساهمية الأحادية من التداخل المحوري للأفلاك الذرية رأساً لرأس (-----)
- 3 تعتمد طاقة الرابطة سيجما σ على المسافة بين الذرتين المترابطتين وعلى عدد الروابط التي تشكلها هاتان الذرتان (-----)
- 4 يمكن أن تحتوي أحد الجزئيات على الرابطة π فقط (-----)
- 5 الرابطة التساهمية سيجما σ أضعف من الرابطة التساهمية باي (-----)
- 6 الجزئيات التي تحتوي على ال اربطة التساهمية باي π يمكنها أن تتفاعل بالإضافة في المركبات العضوية (-----)
- 7 تنتج الرابطة التساهمية باي π من تداخل الأفلاك الذرية جنباً إلى جنب (-----)
- 8 جميع الروابط في جزيء الأمونيا NH_3 من النوع سيجما σ علماً بأن $(7N, 1H)$ (-----)
- 9 تنتج الرابطة التساهمية الثنائية من تداخل الأفلاك الذرية جنباً إلى جنب (-----)
- 10 الجزئيات التي تحتوي على الرابطة π تتميز بنشاطها وقدرتها العالية على التفاعل الكيميائي (-----)
- 11 في الجزيء Cl_2 ترتبط ذرتا الكلور برابطة تساهمية نتيجة تداخل الفلكين (p_z) من كل منهما رأساً لرأس (-----)
- 12 كلما كانت المسافة بين الذرتين المترابطتين أكبر كانت الرابطة بينهما أقوى (-----)

13 جميع الروابط التساهمية الأحادية من النوع سيجما (δ) (-----)

14 تتواجد الرابطة سيجما (δ) والرابطة باي (π) في الجزيئات التي تحتوي على الرابطة التساهمية الثنائية أو الرابطة التساهمية الثلاثية (-----)

15 الرابطة التساهمية الثلاثية تتكون من ثلاث روابط باي (π) (-----)

السؤال الثالث

أكمل الفراغات في الجمل التالية بما يناسبها علمياً:

- 1 الروابط التساهمية الأحادية في الجزيئات مثل NH_3 أو CH_4 تكون من النوع -----
- 2 طبقاً لقوة الرابطة تعتبر الرابطة التساهمية سيجما δ ----- الرابطة التساهمية باي π
- 3 يتكون أولاً في الرابطة التساهمية الثنائية الرابطة ----- تليها الرابطة -----
- 4 تنتج الرابطة التساهمية سيجما δ من التداخل ----- للأفلاك الذرية
- 5 تنتج الرابطة التساهمية باي π من التداخل ----- للأفلاك الذرية
- 6 عند تكوينه الجزيء H_2 يتداخل الفلكين الذريين 1s تداخلاً ----- لتكوينه الرابطة التساهمية -----
- 7 تداخل فلكين s و p دائماً هو تداخل من النوع -----
- 8 عدد الروابط سيجما في جزيء كلوريد الهيدروجين HCl يساوي -----
- 9 عند تكوينه جزيء الكلور Cl_2 يكون تداخل الفلكين 3pz لذرتي الكلور من النوع ----- لتكوينه الرابطة التساهمية -----
- 10 تنتج الاربطة التساهمية سيجما في الجزيء HCl من تداخل الفلكين -----
- 11 يحتوي جزيء النيتروجين N_2 على رابطة تساهمية ثلاثية ، رابطة واحدة منها من النوع ----- والرابطتين الأخرتين من النوع -----
- 12 كل رابطة تساهمية أحادية في الكيمياء تكون من النوع -----
- 13 قوة الرابطة سيجما δ ----- من قوة الرابطة باي π
- 14 الرابطة التساهمية الثنائية تتكون من -----
- 15 تتكون الرابطة التساهمية الأحادية عندما تتقاسم الذرتان ----- من الإلكترونات.
- 16 تنتج الرابطة سيجما δ من التداخل ----- للأفلاك الذرية.
- 17 تنتج الرابطة باي π من التداخل ----- للأفلاك الذرية.
- 18 تتألف الرابطة التساهمية الأحادية دائماً من رابطة -----
- 19 تعتمد طاقة الرابطة سيجما δ بين ذرتين على المسافة بين الذرتين وعلى ----- التي تشكلها هاتان الذرتان.
- 20 ترتبط ذرة النيتروجين مع ثلاث ذرات الهيدروجين مكونة جزيء الأمونيا NH_3 ويكون التداخل بين الأفلاك -----
- 21 تداخل فلكين (s) هو تداخل من النوع -----
- 22 تداخل فلكين (s و p) هو تداخل من النوع -----
- 23 عدد الروابط سيجما في جزيء كلوريد الهيدروجين HCl يساوي -----
- 24 تداخل الفلكين 3pz لذرتي الكلور لتكوينه جزيء الكلور Cl_2 هو تداخل من النوع -----

25 عدد الروابط سيجما في جزيء الكلور Cl_2 يساوي -----

26 يحتوي جزيء النيتروجين N_2 على روابط تساهمية ثلاثية منهم رابطة واحدة من النوع ----- و رابطتين من النوع -----

السؤال الرابع

ضع علامة (✓) أمام أنسب عبارة تكمل كل جملة من الجمل التالية:

1 أحد الخواص التالية ليست من خصائص الرابطة سيجما δ :

- ☐ تنتج عن التداخل المحوري لفلكي ذرتين .
☐ أقوى من الرابطة باي (π) .
☐ تنتج عن التداخل الجانبي لفلكي ذرتين .
☐ محوري الفلكين الذريين المتداخلين متناظرين .

2 الرابطة بين ذرتي الأكسجين في الجزيء (O_2) :

- ☐ تساهمية أحادية من النوع سيجما (δ) .
☐ تساهمية ثنائية من النوع سيجما (δ) .
☐ تساهمية ثنائية من النوع سيجما (δ) وباي (π)
☐ تساهمية ثنائية من النوع باي (π) .

3 عدد التداخلات الجانبية في جزيء N_2

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4

4 الرابطة التساهمية الثلاثية تتكون من :

- ☐ ثلاث روابط سيجما (δ) .
☐ ثلاث روابط باي (π) .
☐ رابطة سيجما (δ) و رابطتين باي (π) .
☐ رابطة سيجما (δ) ورابطتين باي (π)

5 يتداخل الفلكان جنباً إلى جنب عندما يكون محورهما :

- ☐ متعامدين .
☐ متوازيين .
☐ متقابلين رأساً لرأس .
☐ متقابلين رأساً إلى جنب .

6 أحد الجزيئات التالية يحتوي على رابطة تساهمية ثلاثية هو جزيء :

- ☐ HCl ☐ H_2 ☐ Cl_2 ☐ N_2

7 من خواص الرابطة سيجما (δ) :

- ☐ أضعف من الرابطة باي (π) .
☐ تكون أقوى كلما كان التداخل بين الأفلاك أقل .
☐ يكون محور تداخل الفلكين هو محور التناظر .
☐ لا تعتمد على المسافة بين الذرتين المترابطتين .

8 تنتج الرابطة سيجما δ في جزيء الهيدروجين H_2 عن تداخل فلكين مما يلي

☐ s-s ☐ s-p ☐ p-p ☐ sp-sp

9 تنتج الرابطة سيجما δ في جزيء فلوريد الهيدروجين HF عن تداخل فلكين مما يلي:

☐ s-s ☐ s-p_z ☐ p-p ☐ sp-sp

10 أحد ما يلي يعتبر من خصائص الروابط سيجما

☐ تنتج من التداخل الجانبي لفلكين ذريين ☐ أضعف من الروابط باي
☐ تنتج من التداخل المحوري لفلكين ذريين ☐ تتكون بعد تكوين الرابطة باي

السؤال الخامس

ماذا تتوقع أن يحدث في الحالات التالية :

1 تداخل فلكين ذريين رأساً لرأس على طول المحور الذي يصل بين نواتي الذرتين.

2 تداخل فلكين ذريين جنباً إلى جنب عندما يكون محاور الفلكين متوازيين.

السؤال السادس

قارن بين كل مما يلي حسب ما هو مبين في الجدول التالي :

نظرية الافلاك الجزيئية	نظرية رابطة التكافؤ	وجه المقارنة
		مكان وجود زوج إلكترونات الرابطة
		مكان وجود النواتين المترابطتين
الرابطة باي	الرابطة سيجما	وجه المقارنة
		نوع تداخل الأفلاك الذرية
		طول الرابطة وقوتها
		محور التداخل

N_2	O_2	Cl_2	HCl	وجه المقارنة
				نوع التداخل بين الأفلاك محوري - جانبي - محوري وجانبي
				الأفلاك المتداخلة
				نوع الرابطة سيجما - باي - سيجما وباي
				عدد الروابط سيجما
				عدد الروابط باي



تشارك الذرات بالأفلاك الذرية نصف الممتلئة في تكوين الروابط التساهمية حيث تتداخل هذه الأفلاك محوريا (وتنتج الرابطة سيجما) أو جانبيا (وتنتج الرابطة باي)



علل

لا يمكن الاعتماد على نظرية رابطة التكافؤ في تفسير الترابط لذرات الكربون

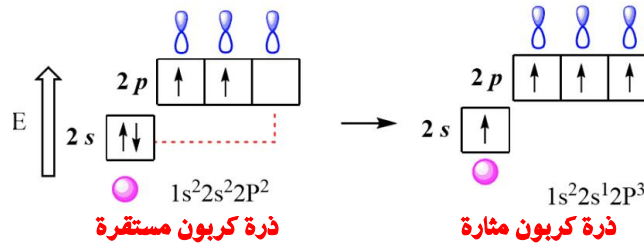
وفقا لنظرية رابطة التكافؤ تستطيع ذرات الكربون تكوين رابطتين تساهميتين فقط لاحتوائها على إلكترونين مفرديه فقط لكونه في الواقع تستطيع ذرات الكربون أن تكون أربع روابط تساهمية كما في الميثان



تم التوصل إلى نظرية أخرى يمكنها تفسير الترابط في ذرات الكربون تسمى نظرية التهجين

ذرة الكربون المستقرة (في الوضع الأدنى طاقة) لا تستطيع تكوين أربع روابط لأنها تحتوي على فلكين ذريين نصف ممتلئين (إلكترونين مفردين)

لذلك تكتسب ذرة الكربون طاقة من الوسط المحيط وتحدث عملية تسمى عملية الإثارة لتصبح ذرة الكربون مثارة

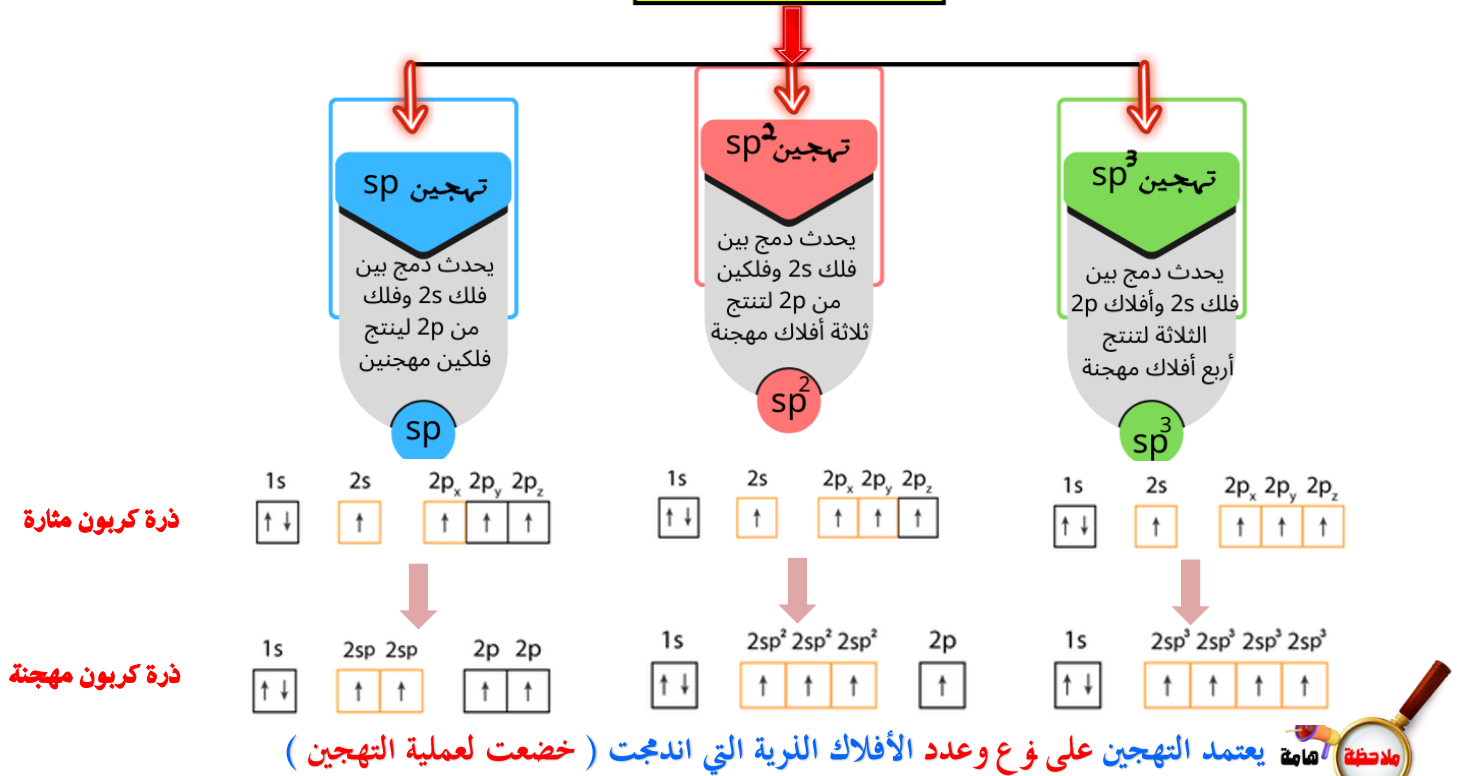


عملية الإثارة : وفيها ينتقل إلكترون من تحت المستوى 2s إلى الفلك 2p لذرة الكربون لينتج أربع أفلاك ذرية نصف ممتلئة

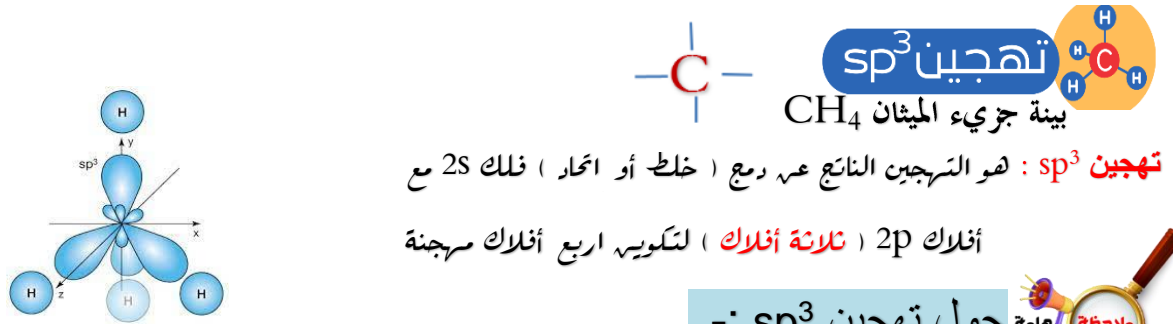
عملية الإثارة تسبق عملية التهجين

عملية التهجين : اندماج فلكين مختلفين (عادة s, p) ليُتكوّن فلك جديد يسمى فلكاً مهرجناً يمتاز بخواص وسطية بين الأفلاك التي خضعت لعملية التهجين

أنماط (نماذج) التهجين



الأفلاك المهجنة : أفلاك ذرية متماثلة في الشكل والطاقة تنتج من اندماج أفلاك ذرية مختلفة في الشكل والطاقة والاتجاه

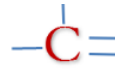
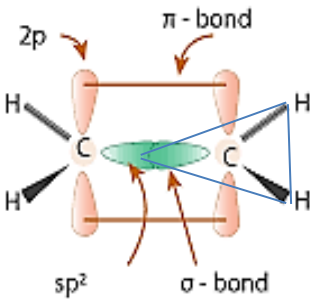


حول تهجين sp^3 :-

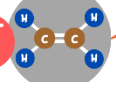
- 1 خاص بذرات الكربون التسعة التي تكون أربع روابط تساهمية أحادية
- 2 ينتج عن دمج (خلط - اتحاد) فلك $2s$ مع أفلاك $2p$ (ثلاثة أفلاك) لتكوّن أربع أفلاك مهجنة
- 3 كل فلك مهجن sp^3 يتداخل محورياً فقط وينتج رابطة سيجما
- 4 في الميثان : تنتج الروابط سيجما من تداخل محوري بين الأربعة أفلاك مهجنة sp^3 والأفلاك الذرية لأربعة ذرات هيدروجين $1s$
- 5 الزاوية بين الأفلاك المهجنة أو الروابط سيجما : 109.5°
- 5 شكل الجزيء في تهجين sp^3 (الشكل الهندسي) : هرم رباعي السطوح

التهجين لذرّة الكربون في غاز الميثان من النوع sp^3

لان ذرة الكربون تكون أربع روابط سيجما وتحتاج إلى 4 أفلاك مهجنة فيحدث دمج (خلط) فلك $2s$ لذرة الكربون مع أفلاك $2p$ الثلاثة



تهجين sp^2
بنية الإيثين C_2H_4



تهجين sp^2 : هو التهجين الناتج عن دمج (خلط - اتحاد) فلك $2s$ مع فلكين من $2p$ لتكوين ثلاثة أفلاك مهجنة كل منها يسمى فلك sp^2

حول تهجين sp^2 :-



- 1 - خاص بذرات الكربون غير المشبعة التي تكون رابطة تساهمية ثنائية ورابطتين أحاديتين
- 2 - ينتج عن دمج (خلط - اتحاد) فلك $2s$ مع فلكين من $2p$ ثلاثة أفلاك مهجنة
- 3 - كل فلك مهجن sp^2 يدخل محوريا فقط وينتج رابطة سيجما
- 4 - يدخل الفلك غير المهجن $2p_z$ لذرتي الكربون جانبا لتكوين الرابطة باي
- 5 - عدد الروابط سيجما حول ذرة الكربون ذات التهجين sp^2 يساوي 3 وعدد الروابط باي 1
- 6 - الزاوية بين الأفلاك المهجنة أو الروابط سيجما : 120°
- 7 - شكل الجزيء في تهجين sp^2 (الشكل الهندسي) : مثلث مستوي (سطح مثلثي)

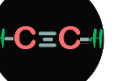
التهجين لذرات الكربون في غاز الإيثين من النوع sp^2



لان ذرة الكربون تكون ثلاثة روابط سيجما وتحتاج إلى 3 أفلاك مهجنة فيحدث دمج (خلط) فلك $2s$ لذرة الكربون مع فلكين من $2p$ ويبقى فلك غير مهجن $2p_z$ يدخل في تكوين الرابطة باي



تهجين sp



بنية الايثاين C_2H_2

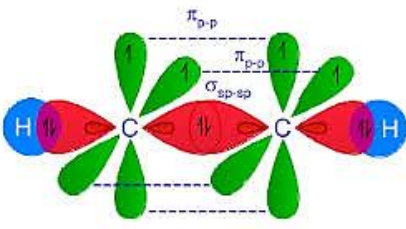
تهجين sp : هو التهجين الناتج عن دمج (خلط - اتحاد) فلك $2s$ فلك واحد من $2p$ ($2p_x$) لتكوين

فلكين مهجنين كل منهما يسمى فلك sp

حول تهجين sp :-



- 1 - خاص بذرات الكربون غير المشبعة التي تكون رابطة ثلاثية ورابطة أحادية أو رابطتين ثنائيتين
- 2 - ينتج عن دمج (خلط - اتحاد) فلك $2s$ مع فلك $2p_x$ فلكين مهجنين
- 3 - كل فلك مهجن sp يدخل محوريا فقط وينتج رابطة سيجما
- 4 - يدخل الفلكين غير المهجنين $2p_y$ و $2p_z$ لذرتي الكربون جانبا لتكوين رابطتين
- 5 - الزاوية بين الأفلاك المهجنة أو الروابط سيجما : 180°
- 6 - شكل الجزيء في تهجين sp (الشكل الهندسي) : خطي





التهجين لذرات الكربون في غاز الايثان sp

لان ذرة الكربون تكون رابطتين سيجما وتحتاج إلى فلكين مهجنين فيحدث دمج (خلط) فلك $2s$ لذرة الكربون مع فلك واحد من $2p$ ويبقى فلكين غير مهجنين $2p_y, 2p_z$ يدخلان في تكوين رابطتين باي

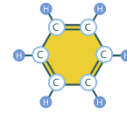
تهجين sp	تهجين sp^2	تهجين sp^3	وجه المقارنة
			عدد الافلاك الداخلة في التهجين
			عدد الافلاك المهجنة للذرة الكربون
			الزوايا بين الافلاك المهجنة
			الشكل الفراغي للافلاك المهجنة
			امثلة

الميثان أقل نشاطا من الايثين أو الايثان



أو يتفاعل الميثان بالإستبدال بينما يتفاعل كل من الايثين أو الايثان بالإضافة

لان الميثان مركب مشبع يحتوي على روابط سيجما فقط بينما الايثين والايثان مركبات غير مشبعة فتحتوي على روابط باي الضعيفة سهلة الكسر

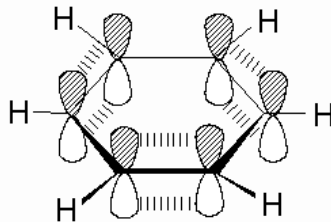
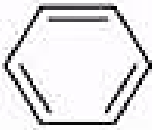


التهجين في البنزين

التهجين في البنزين C_6H_6



يعتبر البتريه أصل المركبات الرومانية ومنه خواصه:



- 1- الصيغة الجزيئية للبنزين هي C_6H_6
- 2- تترتب ذرات الكربون في شكل مستوى حلقي سداسي يصاحبه سحابة من تداخل إلكترونات الرابطة باي اعلى وأسفل الحلقة
- 3- ذرات الكربون الستة متكافئة من حيث طول الرابطة بينها والزوايا بين الروابط
- 4- حلقة البنزين قوية ومتماسكة (علل ؟)
- 5- بسبب الروابط سيجما القوية التي تربط ذرات الكربون
- 6- يتميز جزيء البنزين بالاستقرار (علل ؟)
- بسبب عدم تمركز النظام باي (ظاهرة الرنين)
- 7- نوع التهجين لذرات الكربون sp^2 وقيم الزوايا بين الروابط (الافلاك المهجنة) 120°

اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي تدل عليه كل من العبارات التالية:

- 1 عملية يتم فيها اندماج أفلاك ذرية مختلفة في الشكل والطاقة والاتجاه وينتج عنها أفلاك جديدة تتماثل في الشكل والطاقة (-----)
- 2 نوع من أنواع التهجين يتم فيها دمج فلك واحد s مع ثلاثة أفلاك p لتكوين أربعة أفلاك مهجنة (-----)
- 3 نوع من أنواع التهجين يتم فيها دمج فلك واحد s مع فلكين p لتكوين ثلاثة أفلاك مهجنة (-----)
- 4 نوع من أنواع التهجين يتم فيها دمج فلك واحد s مع فلك واحد p لتكوين مهجنين ويبعد كل فلك مهجن عن الآخر بزاوية 180° (-----)
- 5 مركب عضوي يعتبر أصل المركبات الأروماتية وصيغته الجزيئية C_6H_6 (-----)

اكتب كلمة (صحيحة) بين القوسين المقابلين للعبارة الصحيحة وكلمة (خطأ) بين القوسين المقابلين للعبارة الخطأ في كل مما يلي:

- 1 يحتوي جزيء الايثاين $H-C \equiv C-H$ على ثلاثة روابط تساهمية من النوع باي π (-----)
- 2 تتكون الرابطة باي π بين ذرتي الكربون في جزيء الايثين $H_2C=CH_2$ من تداخل فلكي sp المهجنين (-----)
- 3 عدد الروابط سيجما δ في جزيء البنترين C_6H_6 يساوي ستة روابط . (-----)
- 4 عدد الروابط سيجما δ بين ذرات الكربون في جزيء البنترين C_6H_6 يساوي ستة روابط (-----)
- 5 تتوزع ذرات الهيدروجين في جزيء البنترين توزيعاً متكافئاً على الحلقة (-----)
- 6 تهجين الأفلاك هي عملية يتم فيها اندماج أفلاك تحت مستويات مختلفة في الشكل والطاقة كي تنتج أفلاكاً جديدة تتماثل في الشكل والطاقة (-----)
- 7 التهجين لكل ذرة كربون في جزيء البنترين C_6H_6 يكون من النوع sp^3 (-----)
- 8 جميع الروابط التساهمية في الصيغة البنائية لغاز ثاني أكسيد الكربون $O=C=O$ من النوع باي (-----)
- 9 عدد الأفلاك الذرية المهجنة المكونة يكون مساوياً لعدد الأفلاك الذرية المشاركة في عملية التهجين. (-----)
- 10 عندما يتم تهجين ثلاثة أفلاك ذرية من نوع p مع فلك ذري واحد من نوع s تتكون أربعة أفلاك مهجنة من النوع sp^3 . (-----)
- 11 الزوايا بين الأفلاك المهجنة من النوع sp تساوي 120° (-----)

- 12 جميع الروابط بين ذرات الكربون في جزيء البنترين C_6H_6 روابط تساهمية ثنائية. (-----)
- 13 تستخدم كل ذرة كربون في جزيء الايثان $HC \equiv CH$ تهجين sp^3 النوع (-----)
- 14 إذا كان نوع التهجين في ذرة الكربون sp ، فإن هذه الذرة ترتبط مع ذرة الكربون المجاورة لها في هذا الجزيء برابطة δ ورابطتين π (-----)

السؤال الثالث
أكمل الفراغات في الجمل التالية بما يناسبها علمياً:

- عند اندماج فلكين مختلفين عادة (p, s) يتكون فلك جديد يسمى ----- .
- التهجين الذي تستخدمه ذرتي الكربون في جزيء الايثان $H_3C - CH_3$ ، يكون sp^3 النوع ----- .
- عدد الروابط التساهمية سيجما δ حول ذرة الكربون الواحدة في جزيء الايثين $H_2C = CH_2$ تساوي -----
- بينما عدد الروابط التساهمية باي π في الجزيء نفسه تساوي -----
- إذا كان التهجين لكل ذرة كربون في جزيء الايثان C_2H_2 sp ، فإن الشكل الفراغي لهذا الجزيء يكون -----
- عدد الأفلاك المهجنة في ذرة الكربون الواحدة في الجزيء $2CH_2 = CH$ ، تساوي ----- بينما عدد الأفلاك غير المهجنة لذرة الكربون في الجزيء نفسه تساوي -----
- عدد الروابط التساهمية سيجما في جزيء البروبين $CH_3 - C \equiv CH$ يساوي ----- ، بينما عدد الروابط التساهمية باي في الجزيء نفسه يساوي -----
- عدد الأفلاك المهجنة في التهجين sp^3 يساوي -----
- إذا كان تهجين ذرة الكربون sp^2 ، فإن عدد الأفلاك المهجنة في هذه الذرة يساوي ----- وعدد الأفلاك غير المهجنة فيها يساوي -----
- عدد الروابط سيجما في جزيء البنترين C_6H_6 يساوي ----- وعدد الروابط باي فيه يساوي ----- ونوع التهجين لكل ذرة كربون فيه هو ----- .
- عدد الروابط التساهمية سيجما في جزيء الايثان $H - C \equiv C - H$ يساوي ----- بينما عدد الروابط باي في الجزيء نفسه يساوي -----
- عدد الأفلاك المهجنة في التهجين sp^3 يساوي -----
- عدد الأفلاك المهجنة في التهجين sp^2 يساوي ----- وعدد الأفلاك غير المهجنة يساوي -----
- عدد الأفلاك المهجنة في التهجين sp يساوي ----- وعدد الأفلاك غير المهجنة يساوي -----
- أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرتي الكربون لتكوينه اللابطة سيجما في جزيء الايثين C_2H_4 -----
- أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرتي الكربون لتكوينه اللابطة باي في جزيء الايثين C_2H_4 -----

17 أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرة الكربون وذرة الهيدروجين في جزئ الايثين C_2H_4 -----

18 أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرتي الكربون لتكوينه الرابطة سيجما في جزئ الايثاين C_2H_2 -----

19 أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرتي الكربون لتكوينه الروابط باي في جزئ الايثاين C_2H_2 ----- و -----

20 أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرتي الكربون لتكوينه الروابط باي في جزئ الايثاين C_2H_2 ----- و -----

21 أسماء الافلاك المتداخلة بين ذرة الكربون وذرة الهيدروجين في جزئ الايثاين C_2H_2 -----

السؤال الرابع

ضع علامة (✓) أمام أنسب عبارة تكمل كل جملة من الجمل التالية:

1 قيمة الزاوية بين الأفلاك المهجنة في جزئ الايثاين C_2H_2 هي:

104.5 () 109.5 () 180 () 120 ()

2 أحد ما يلي لا يعتبر من خصائص مركب الميثان CH_4 :

() نوع التهجين في ذرة الكربون sp^3 () تشير الأفلاك المهجنة لقمم رباعي السطوح

() عدد الأفلاك المهجنة يساوي 3 () الزاوية بين الافلاك المهجنة 109.5°

3 نوع الرابطة بين ذرات الكربون والهيدروجين في جزئ البنترين C_6H_6 :

() سيجما () باي () ثنائية () هيدروجينية

4 قيمة الزاوية بين فلكين مهجنين $sp - sp$ لنفس الذرة تساوي أحد ما يلي:

104.5 () 109.5 () 180 () 120 ()

5 اذا كان نوع التهجين في الذرة المركزية sp فإن عدد الأفلاك المهجنة يساوي أحد ما يلي:

1 () 2 () 3 () 4 ()

6 عدد الأفلاك المهجنة الناتجة من تهجين فلك s مع فلكين p يساوي أحد ما يلي:

1 () 2 () 3 () 4 ()

7 إحدى العبارات التالية صحيحة بالنسبة للمركب $CH_3C \equiv CH$:

() عدد الروابط δ يساوي 5 و π يساوي 3 () عدد الروابط δ يساوي 3 و π يساوي 5

() عدد الروابط δ يساوي 6 و π يساوي 2 () عدد الروابط δ يساوي 2 و π يساوي 6

8 الروابط في الصيغة البنائية التالية $H-C \equiv C-H$:

() أربعة روابط سيجما δ ورابطة باي π () ثلاثة روابط باي π و اربعة سيجما δ

() ثلاثة روابط سيجما δ واربعتين باي π () خمسة روابط سيجما δ

9 طبقا للمركبين التاليين: $(CH_3-CH=CH_2)$, $(CH_3-CH_2-CH_3)$ فإن أحد ما يلي صحيح :

() عدد الروابط سيجما متساو في المركبين () تهجين ذرات الكربون في المركبين مه نوع sp^3

() عدد الروابط باي متساو في المركبين () المركب $CH_3-CH=CH_2$ يتفاعل بالإضافة

10 عدد الأفلاك المهجنة الناتجة مه تهجين فلك s مع فلكين p ، يساوي أحد ما يلي :

() 1 () 2 () 3 () 4

11 الفلك الناتج مه اندماج فلك s مع فلكين ذريين p لنفس الذرة يسمى أحد يلي:

() الفلك sp^3 () الفلك sp

() الفلك sp^2 () الفلك الجزيئي

12 إذا كان التهجين لذرة كربون في جزيء مه نوع sp فإن الشكل الهندسي للجزيء هو أحد ما يلي :

() رباعي السطوح () مثلث مستوي

() خطي () مكعب

13 إذا كان التهجين لذرة كربون في جزيء مه نوع sp^2 فإن الشكل الهندسي للجزيء هو أحد ما يلي :

() رباعي السطوح () مثلث مستوي

() خطي () مكعب

14 إذا كان التهجين لذرة كربون في جزيء مه نوع sp^3 فإن الشكل الهندسي للجزيء هو أحد ما يلي :

() رباعي السطوح () مثلث مستوي

() خطي () مكعب

15 إذا كان التهجين مه النوع sp^3 فإن الزوايا بين الأفلاك المهجنة تساوي أحد ما يلي :

() 104.5 () 109.5 () 180 () 120

16 إذا كان التهجين من النوع sp^2 فإن الزوايا بين الافلاك المتهجنة تساوي أحد ما يلي :

104.5 () 109.5 () 180 () 120 ()

17 إذا كان التهجين من النوع sp فإن الزوايا بين الافلاك المتهجنة تساوي أحد ما يلي :

104.5 () 109.5 () 180 () 120 ()

18 ذرة الكربون المتهجنة من النوع sp^3 تستطيع تكوينه :

() ثلاث روابط سيجما واربطة باي
() أربع روابط سيجما.
() ثلاث روابط باي واربطة سيجما
() رابطتين سيجما و رابطتين باي .

19 ذرة الكربون المتهجنة من النوع sp^2 تستطيع تكوينه :

() ثلاث روابط سيجما واربطة باي
() أربع روابط سيجما.
() ثلاث روابط باي واربطة سيجما
() رابطتين سيجما و رابطتين باي .

20 ذرة الكربون المتهجنة من النوع sp تستطيع تكوينه :

() ثلاث روابط سيجما واربطة باي
() أربع روابط سيجما.
() ثلاث روابط باي واربطة سيجما
() رابطتين سيجما و رابطتين باي .

21 أحد المركبات التالية، تهجين ذرة الكربون فيها يكون من نوع sp^3 :

$H-C \equiv C-H$ () $O = C = O$ () $H_2C = CH_2$ () CH_4 ()

22 عدد التداخلات المحورية بين الأفلاك المختلفة في جزيء الكلوروفورم $CHCl_3$ يساوي أحد ما يلي :

4 () 3 () 2 () 1 ()

23 أحد المركبات التالية يحتوي الجزيء فيها على ذرات كربون متهجنة من النوع sp^2 :

$CH_3CH_2CH_3$ () $H-C \equiv C-H$ () CH_3CH_3 () $CH_3CH = CH_2$ ()

24 أحد المركبات التالية يحتوي الجزيء فيها على ذرات كربون مهجنة من النوع sp :



25 أحد المركبات التالية يحتوي الجزيء فيها على ذرة كربون مهجنة من النوع sp^3 :



26 الرابطة سيجما بين ذرتي الكربون في جزيء الايثاين $H-C \equiv C-H$ ، تتنج من تداخل فلكين مما يلي:



27 الرابطة سيجما بين ذرتي الكربون والهيدروجين في جزيء الايثاين $H-C \equiv C-H$ تتنج من تداخل فلكين مما يلي:



السؤال الخامس
ماذا تتوقع أن يحدث في الحالات التالية:

1 اندماج فلك ذري واحد s مع ثلاثة أفلاك p في ذرة الكربون.

2 اندماج فلك ذري واحد s مع فلكين p في ذرة الكربون.

3 اندماج فلك ذري واحد s مع فلك واحد p في ذرة الكربون.

السؤال السادس
أكمل الجداول التالية حسب المطلوب:

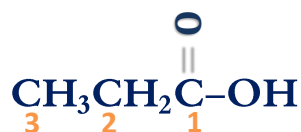
نوع التهجين □	عدد الأفلاك الداخلة في التهجين	الشكل الهندسي الأفلاك المهجنة	الزوايا بين الأفلاك
□ sp			
□ sp^2			
□ sp^3			

HC≡CH	H ₂ C=CH ₂	وجه المقارنة
		عدد الروابط سيجما
		عدد الأفلاك المهجنة

C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	وجه المقارنة
		عدد الأفلاك المهجنة
		فوع التهجين

الإيثين	الايثاين	وجه المقارنة
		الصيغة التركيبية (البنائية)
		نوع التداخل بين ذرتي الكربون
		عدد الروابط باي في المركب
		عدد الروابط سيجما في المركب

في جزيء مركب حمض البروبانويك

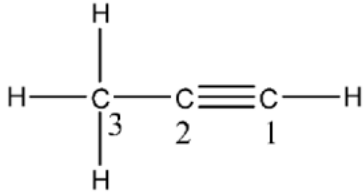
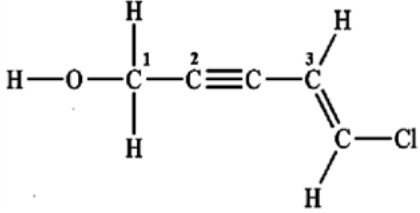


وجه المقارنة	ذرة كربون رقم (1)	ذرة كربون رقم (2)	ذرة كربون رقم (3)
نوع التهجين			
عدد الروابط باي حولها			
عدد الروابط سيجما حولها			
الزاوية بين الأفلاك المهجنة			

وجه المقارنة	CH ₄	Cl-Cl
عدد الروابط سيجما في الجزيء		
فوع التداخل بين أفلاك مهجنة / غير مهجنة		

وجه المقارنة	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 3 2 1	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$ 3 2 1
نوع التداخل في ذرة الكربون 2		
نوع الروابط التساهمية التي تكونها ذرة الكربون 1		
عدد الروابط التساهمية سيجما في الجزيء		
عدد الروابط التساهمية باي في الجزيء		
نوع التهجين في ذرة الكربون رقم 2		

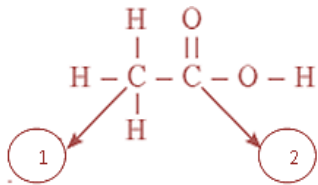
وجه المقارنة	غاز الميثان	غاز الإيثين	غاز الأيثان	البنزين
الصيغة التركيبية				
عدد الروابط سيجما في الجزيء				
عدد الروابط باي في الجزيء				
نوع التهجين				

وجه المقارنة		
عدد الروابط سيجما في الجزيء		
عدد الروابط باي في الجزيء		
نوع التهجين في ذرة كربون 1		
نوع التهجين في ذرة كربون 2		
نوع التهجين في ذرة كربون 3		
الأفلاك المتداخلة في الرابطة بين ذرتي الكربون 1 و 2		
عدد الأفلاك غير المهجنة لذرة كربون 1		

$\overset{2}{\text{H}}-\overset{1}{\text{C}}\equiv\text{C}-\text{H}$	$\overset{2}{\text{CH}_3}-\overset{1}{\underset{\text{O}}{\parallel}}\text{C}-\text{O}-\text{H}$	وجه المقارنة
		عدد الروابط باي π لذرة الكربون رقم 1
		عدد التداخلات المحورية في المركب
		نوع التهجين لذرة الكربون رقم 2
		عدد الأفلاك غير المهجنة في ذرة الكربون رقم 2

السؤال السابع

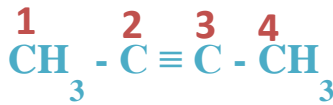
أكمل حسب المطلوب في الأسئلة التالية:



أولاً: ادرس الصيغة الكيميائية البنائية التالية وهي لمركب حمض الأسيتيك المطلوب :

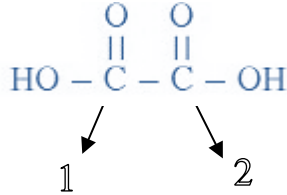
- 1- عدد الروابط التساهمية δ في الجزيء يساوي ---- اربطة .
- 2- عدد الروابط التساهمية π في الجزيء يساوي ---- اربطة.
- 3- نوع التهجين في ذرة الكربون ن رقم 1 ----
- 4 - نوع التهجين في ذرة الكربون رقم 2 ----
- 5 - عدد الأفلاك المهجنة في ذرة الكربون رقم 1 هو : -----
- 6 - عدد الأفلاك المهجنة في ذرة الكربون رقم 2 هو : -----

ثانياً : الشكل المقابل يمثل الصيغة البنائية لمركب عضوي والمطلوب



- 1- نوع التهجين في ذرة الكربون رقم 1 هو ----
- 2- نوع التهجين في ذرة الكربون رقم 2 هو ----
- 3- عدد الروابط سيجما δ في الجزيء يساوي ----
- 4- عدد الروابط باي π في الجزيء يساوي ----
- 5- ذرات الكربون التي تهجينها sp هي رقم ---- و ----
- 6- ذرات الكربون التي تهجينها sp^3 هي رقم ---- و ----

ثالثاً: من الشكل المقابل والذي يمثل الصيغة البنائية لحمض الأوكساليك $C_2H_2O_4$ والمطلوب :



1 - نوع التهجين لذرة الكربون رقم 1 هو : -----

2 - نوع التهجين لذرة الكربون رقم 2 هو : -----

3 - عدد الروابط سيجما في الجزيء هو -----

4 - عدد الروابط باي هو : -----

السؤال الثامن



استخدم المفاهيم التالية وأكمل خرائط المفاهيم التالية :-

Sp^3 - 4 أفلاك مهجنة - الزاوية 120 - نظرية الأفلاك المهجنة - فلكن مهجين - sp^2 - 3 أفلاك مهجنة - الزاوية 180

- الزاوية 109.5 sp



رأس إلى رأس - جنباً إلى جنب - رابطة سيجما - رابطة باي - 1 - 2



تداخل جانبي - الرابطة سيجما - أفلاك مهجنة - الرابطة باي - أفلاك غير مهجنة - تداخل محوري - أفلاك جزيئية

