

الباب الثامن أمثلة للعمليات الحفزية

obekandl.com

الباب الثامن

" أمثلة للعمليات الحفزية "

أولاً : عمليات الهدرجة الحفزية :-

يطلق لفظ الهدرجة على تفاعلات الهيدروجين مع مادة ما في وجود حفاز في أغلب الأحيان . والهدرجة إما أن تحدث في صورة إضافة هيدروجين لمادة غير مشبعة وتعرف بالهدرجة التشبيعية، أو أن تكون الهدرجة مصاحبة لكسر في الجزيء وحينئذ تسمى بالهدرجة التفسيرية .

وهناك تفاعلات أخرى بين الهيدروجين ومادة لا يطلق عليها غير مشبعة مثل تفاعلات عملية أو كسو وصناعة الميثانول وصناعة الأمونيا .

أولاً : تفاعلات الهدرجة التشبيعية :

ومثال ذلك الهدرجة الانتقالية للاستيلينات حيث نرى إن إضافة جزيء هيدروجين واحد إلى الرابطة الأستيلينية $C \equiv C$ لتعطي رابطة أليفينية $C = C$ يعتبر تفاعل معقد إذ أنه من الصعب إيقاف الهدرجة عند هذه الخطوة لأن الجزيء يظل ممتزاً على سطح الحفاز بعد هدرجة الرابطة الثلاثية إلى رابطة ثنائية وبذا يكون من السهل الهدرجة إلى الرابطة المنفردة، لذلك تعتبر الهدرجة الانتقالية من العمليات الصعبة .

وترجع أهمية هذا التفاعل إلى أن التفسير الحراري للغازات الهيدروكربونية والنافثا ينتج إيثيلين بنسب تتراوح بين 26 ، 33 % بالإضافة إلى كمية ضئيلة من الأسيتيلين تتراوح بين 0.18 و 0.45 % وتؤثر هذه

النسبة الضئيلة من الأستيلين تأثيراً سيئاً على نوعية البولي إيثيلين الذي ينتج من بلمرة الإيثيلين .

لذا فإنه لابد من التخلص من هذه النسبة الضئيلة من الشوائب الأستيلينية، وقد وجد أن الهدرجة الانتقائية للأستيلين في وجود الإيثيلين هي أفضل الطرق وذلك باستعمال حفاز انتقالي **Selective Catalyst** مثل كبريتيد الموليبيديوم، الحديد، النحاس، الزنك وتعتبر هذه الحفازات ذات نشاط مهدرج ضعيف إذ أن الحفاز المهدرج القوي سيحفز تحويل الرابطة الثلاثية إلى رابطة منفردة مباشرة وليس إلى رابطة ثنائية كما هو مطلوب .

هذا بالإضافة إلى أهمية استخدام ظروف تفاعل مواتية من وجهة النظر الترموديناميكية للهدرجة الانتقائية، فالضغط مثلاً يجب أن يكون منخفضاً أي 3 - 10 جو إذ أن الضغط المرتفع يكون في صالح الهدرجة الكلية إلى رابطة منفردة، كذلك الحرارة تكون في حدود 200 - 315°م .

وتعتبر هذه حرارة مرتفعة نسبياً إذ أن الحفاز الضعيف ويحتاج إلى طاقة تنشيط **Activation Energy** عالية نسبياً، هذا بالإضافة إلى أن الحرارة المرتفعة في صالح التفاعل العكسي أي إزالة الهيدروجين **Dehydrogenation** كذلك يمكن استعمال حفازات مهدرجة قوية نوعاً مثل الباليديوم ولكن بعد أضعاف نشاطها كالتسميم **Poisoning** بالزئبق أو بتخفيف المادة المهدرجة النشيطة تخفيفاً كبيراً باستعمال مادة حاملة **Support** ليس لها نشاط تفاعلي **Reactivity** .

ومن تفاعلات الهدرجة الانتقائية أيضاً هدرجة النيتريلات **R - CN** والألدهيدات **R - CHO** ، وكذلك هدرجة المجموعة الكربونيلية **C = O** والأليفينية في وجود حلقة بنزين أروماتية دون هدرجة الأخيرة، ومن أهم

الحفازات الانتقائية الحفاز المكون من أكسيدي الكروم والنحاس **Cu-Cr Oxides** .
ومن أنواع الهدرجة المختلفة ما يلي :

1- هدرجة الأوليفينات :

هذا النوع من الهدرجة لا يعتبر من الهدرجة الانتقائية لأن الرابطة المزدوجة ينتهي مطاف هدرجتها بتحويلها إلى رابطة منفردة، لذلك يستعمل حفازات مهدرجة قوية مثل البلاتين **Pt** والنيكل **Ni** والبالاديوم **Pd** . والأوليفينات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة C_2-C_6 تتهدرج بسهولة في الحالة الغازية **Gas-Phase** بحفاز نيكل في طبقة ثابتة **Fixed-Bed** عند حرارة بين 100 ، 200^oم ، والضغط له تأثير مسرع لهذا التفاعل ولذا تستعمل ضغوط تصل إلى 200 جو .

2- هدرجة الأوليفينات الثنائية :

تستعمل ظروف تفاعل حفيفة **Mild Conditions** عند هدرجة هذه الأليفينات إلى أوليفينات أحادية **Mono-Olefins** أي لهدرجة رابطة مزدوجة واحدة من الرابطين بالجزيء لذا تسمى بالهدرجة الجزئية **Partial Hydrogenation** .

وأهم طرق التحكم في عدم هدرجة الرابطة المزدوجة الثانية في الجزيء استخدام كمية هيدروجين محدودة أي جزيء هيدروجين واحد لكل جزيء أليفين ثنائي ، لأن زيادة نسبة الهيدروجين تتسبب في هدرجة الرابطة المزدوجة الأخرى .

وتنتج هدرجة الأوليفين الثنائي خليط من جمع الأوليفينات الأحادية الممكنة، فمثلاً تعطي هدرجة البيوتادين بيوتين -1 و سيس - بيوتين -2 . وترانس بيوتين -2 وتستعمل حفازات كبريتيدية مثل كبريتيد النيكل **NiS** كبريتيد النيكل والتنجستن **Ni W S** .

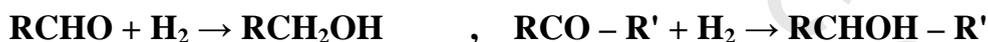
3- هدرجة المركبات الأروماتية :

تستعمل هنا حفازات مهدرجة قوية مثل البلاتين والنيكل لأن الحلقة الأروماتية ذات مقاومة كبيرة للتشبع لما فيها من رنين وتستعمل ظروف تفاعل تشبه التي تستعمل عند هدرجة الأوليفينات إلا أنها يلزمها ضغط هيدروجين أعلى .

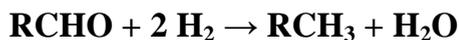
وتستعمل حديثاً حفازات تحتوي على البلاتين المنتشر انتشاراً كبيراً على سطح مادة حاملة مثل الألومنيا ذات السطح الكبير، كذلك تحتوي الحفازات الحديثة هذه على فلزات أخرى إلى جانب البلاتين مثل الرينيوم والتجستن والموليبدنوم حيث تتم الهدرجة عند 140°م فقط وتبدأ الهدرجة عند درجة حرارة منخفضة (50°م) وتستعمل ضغوط بين 20 و 60 ضغط جوي .

4- هدرجة المركبات الكربونيلية :

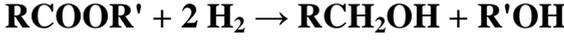
يستعمل في هدرجة الألهيدات والكيتونات حفازات ذات نشاط مهدرج ضعيف مثل الحفاز المحتوي على أكسيدي النحاس والكروم **CuCr Oxides** عند حرارة بين 100 ، 200°م وعند ضغوط بين 50 ، 150 جو ، وتسير التفاعلات كما يلي :



كما يمكن استعمال حفاز من البلاتين أو البالديوم ولكن عند درجة حرارة الغرفة وتحت ضغط ويجب مراعاة أنه عند استعمال مثل هذه الحفازات القوية ألا تستعمل ضغوط مرتفعة حتى لا تحدث الهدرجة الكاملة إلى هيدروكربونات وماء .



5- هدرجة الأسترات والأحماض العضوية :



تسرع زيادة الضغط تفاعلات الهدرجة أما ارتفاع الحرارة فإنها تسرع التفاعل العكسي ويستعمل حفاز ثنائي أكسيد الكروم - زنك والكروم - حديد عند 135 - 410 جو، ودرجة حرارة بين 175 ، 250°م ، أما عند استعمال حفاز قوي مثل البلاتين أو النيكل فإن الهدرجة الكاملة تتم لتعطي الهيدروكربونات والماء .



ثانياً : تفاعلات الهدرجة التكسيرية :

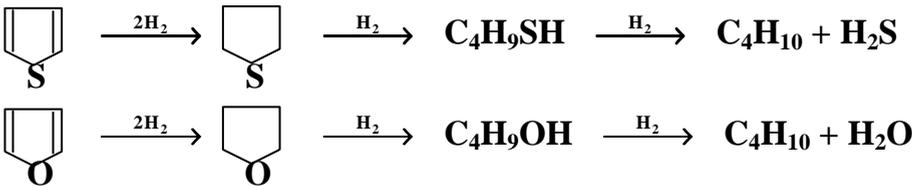
ومثال هذه التفاعلات ما يحدث في تفاعل كما يلي :

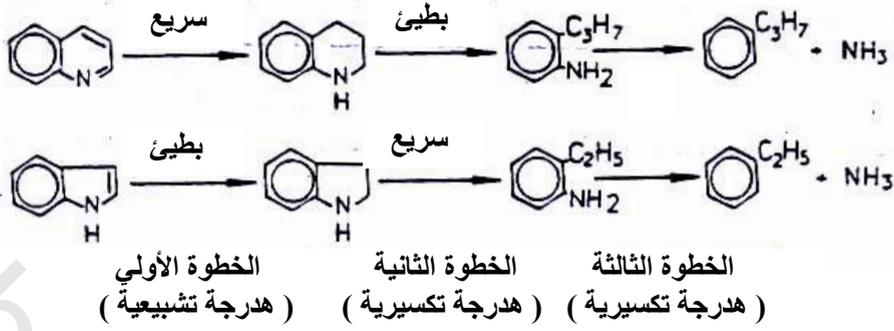
أ- هدرجة تكسيرية للرابطة C - C :

الحلقات الخماسية والسداسية المشبعة مثل السيكلوبنتان والسيكلوهكسان تتفتح عند درجة حرارة مرتفعة نسبياً في وجود الهيدروجين وحفاز قوي، ولكن الحلقات الأروماتية فلا يمكن أن تتفتح عند أية ظروف إلا بعد أن تشبع إلى حلقة نافثينية أولاً .

أما التكسير الهيدروجيني للبرافينات فيحدث أكثر سهولة من النافثينات، كذلك ينكسر الفرع الألكيلي **Alkyl Side Chain** الذي يتصل بحلقة نافثينية أو أروماتية ويسمى هذا التفاعل بإزالة الألكيل بالهدرجة **Hydrodealkylation** .

ب- هدرجة تكسيرية للروابط C - N , C - S , C - O :





هذه التفاعلات تسير في خطوات ثلاث، الأولى منها تشبيع الحلقة بالهيدروجين ليسهل بعد ذلك فتحها في الخطوة الثانية التي لا تشمل التكسير فقط ولكن أيضاً إضافة جزئ هيدروجين أما الخطوة الثالثة فتشمل الإطاحة بالذرة غير المتجانسة أي ذرة الكبريت أو النيتروجين أو الأكسجين ، ثم إضافة جزئ من هيدروجين ليصبح الناتج النهائي هيدروكربون بالإضافة إلى غاز H_2S أو NH_3 أو H_2O .

ويعتبر التكسير المهدرج أي الهدرجة التفسيرية من التفاعلات الهامة في تكرير المقطرات البترولية للتخلص من الكبريت والنيتروجين لما لهما من مساوئ تكنولوجية كبيرة .

ويعتبر تفاعل إزالة النيتروجين بالهدرجة **Hydrodenitrogenation** أصعب هذه التفاعلات جميعاً، يليه في الصعوبة إزالة الكبريت **Hydrodesulfurization** ثم إزالة الأكسجين **Hydrodeoxygenation** أي يمكن ترتيب صعوبة كسر الروابط كما يلي $C-N > C-S > C-O$.

وهذه التفاعلات جميعاً في البتروكيماويات تدخل ضمن ما تسمى بعملية المعالجة بالهيدروجين **Hydrotreating** والتي يستعمل فيها حفازات كبريتيدية لفلزات من المجموعة الثامنة والسادسة في الجدول الدوري للعناصر وأشهر هذه الحفازات كبريتيد الكوبلت والموليبدينوم **Co-Mo Sulfide** .

وكذلك يستعمل كبريتيد النيكل والموليبدنوم **Ni-Mo-Sulfide** كبريتيد النيكل والتجستن **Ni-W-Sulfide** ويستعمل الحفازان الأخيران على الأخص في إزالة النيتروجين نظراً لأن الرابطة **C-N** توجد دائماً في حلقات ولا بد من تشبييعها أولاً .

لذلك يستعمل النيكل فيهما لما له من قوة هدرجة كبيرة تفوق التي للكوبلت أي المركبات النيتروجينية البترولية تحتوي على ذرة النيتروجين أما في حلقات بيرول **Pyrrole** أو بيريدين **Pyridine** على عكس المركبات الكبريتية والأكسجينية حيث أنه ليست من الضروري أو توجد ذرة الكبريت أو الأكسجين في حلقات .

ثالثاً : التكسير الهيدروجيني :

التكسير الهيدروجيني في الواقع عملية وليست تفاعل وهي أحد العمليات الهامة في تصنيع البترول وفيها تتكسر الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات صغيرة ذات قيمة اقتصادية أعلى، فمثلاً يمكن تكسير مقطر الجاز أويل الثقيل تكسيراً هيدروجينياً لينتج غازات بها نسبة كبيرة من البيوتان المتفرع ذو الأهمية البتروكيمياوية المعروفة وجازولين ذو رقم أوكتيني مرتفع وكيروسين غير مدخن اللهب ووقود ديزل **Diesel Fuel** ذو نوعية احتراق ممتازة .

وتستعمل في هذه العملية حفازات تحتوي على خصائص الهدرجة والتكسير معاً فالتكسير يعتمد على حامضية الحفاز والهدرجة تعتمد على التركيب الفلزي للحفاز . ومن مميزات هذه الحفازات عدم تسممها بالكبريت لأن فلزاتها تنشط في صورة كبريتيدات أما الحامضة فتتمدها المادة الحاملة وأهمها الزيوليتات وسليكات الألمونيوم غير المتبلرة .

وكان يطلق على هذه العملية هدرجة الزيوت الثقيلة إلا أنها تخصصت تحت أسماء أهمها :

1- المعالجة بالهيدروجين Hydrotreating :-

وفيها تتكسر الجزئيات المحتوية على ذرات غير متجانسة مثل كبريت - نيتروجين - أكسجين . ويراعي أن يكون كسر روابط كربون - كربون أقل ما يمكن والهدف من العملية هو التخلص من الذرات غير المتجانسة التي تتسبب في مشاكل تجابه المقطرات الناتجة .

2- التكسير الهيدروجيني Hydrocraking :-

وفيه تتكسر الروابط بين كربون - كربون لإنتاج مقطرات حفيفة .

ثانياً : عمليات الأكلية الحفزية :-

الأكلية هي اتحاد جزئيين أحدهما أوليفين والآخر بارافين، وأيضاً يمكن أكلية مركب أروماتي بأوليفين . ومثال على ذلك أكلية الألفينات الغازية $C_3 + C_4$ ببارافينات متفرعة مثل الأيزوبيوتان ($i-Ca$) لإنتاج هيدروكربونات برفينية تحتوي على $C_7 + C_8$ ذات تفرعات وذات أرقام أوكتنية عالية .

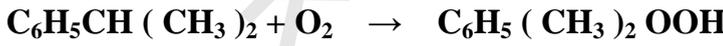
وبهذه العملية تم تحويل هيدروكربونات غازية إلى مقطرات سائلة . وتصلح نواتج هذه الأكلية كوقود جيد للطائرات والسيارات . ويستعمل في هذه العملية حفازات حامضية **Acidic Catalysts** ويستعمل حامض الكبريتيك المركز كحفاز عند درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 5 ، 20م في الحالة السائلة **Liquid Phase** .

كذلك يستعمل حامض **HF** الهيدروفلوريك عند درجات حرارة بين 25 ، 40م ووجد أنه أفضل من حامض الكبريتيك لأن الأخير يتسبب في تنشيط التفاعلات الجانبية مثل تفاعلات الأوليفينات مع بعضها أي تفاعلات بلمرة **Polymerization** مما يستتبع عنه إنتاج نواتج ثقيلة بنسب كبيرة

كذلك يستعمل كلوريد الألمونيوم اللامائي $AlCl_3$ في الحالة السائلة عند درجات حرارة بين 70 ، 100°م وضغوط بين 1 - 5 جو .

أما في الحالة البخارية فيستعمل حفاز حامض الأورثو فسفوريك المحمول على كيز الجواهر **Kieselghr** أي حبيبات كيز الجواهر المبللة بحامض الفسفوريك) . وفي هذه الحالة تستعمل درجات حرارة مرتفعة نسبياً 250°م وضغوط بين 25 - 35 جو .

ويستعمل الكيومين (أيزوبروبيل بنزين) الذي يحضر بالأكلية في تحضير الفينول والأسيتون في عملية واحدة كما يلي :



كيومين

كيومين هيدروكسيد



كيومين هيدروكسيد

فينول

أسيتون

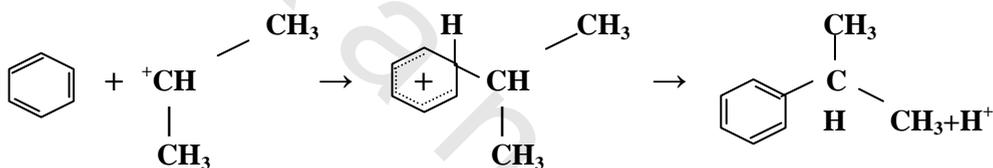
وتقوم حديثاً عمليات أكلية باستخدام حفازات غير متجانسة أي صلبه في صورة طبقة ثابتة **Fixed-Bed** . ويستعمل فيها حفازات من المناخل الجزيئية الطبيعية أو المحضرة صناعياً والتي تسمى الزيوليت **Zeolites** وأهم هذه الحفازات **Zeolite Type - Y** وكذا الزيوليت **ZSM-5** كذلك تستخدم حفازات مثل حامض السيليكو تنجستيك وحامض الفسفوموليبيديك ومن الطبيعي والواضح أن العمليات التي تستخدم فيها حفازات على شكل طبقات ثابتة **Fixed-Beds** تكون أسهل وأفضل اقتصادياً من استعمال حفازات حامضة مثل $AlCl_3 + HCl, HF, H_2SO_4$ التي تحتاج إلى الحرص الزائد في تناول العمل معها .

وقد تتطور في المستقبل عملية الأكلية تطوراً سريعاً بإدخال الحفز ثابت الطبقة . وتحتاج هذه العملية بحفاز حامض السيليكو تنجستيك إلى درجات

حرارة في حدود 250 إلى 300°م ويمكن العمل تحت الضغط الجوي أو ضغوط تصل إلى 50 جو .

وفي الحالتين البخارية والسائلة يسير تفاعل الألكلة : بميكانيكية الكربونيوم أيون **Carbonium Ion** . ويمكن تفسير ما يحدث في عملية الألكلة كما يلي :

يبد الحامض جزئ الألفين ببروتون **Proton (H⁺)** وبذلك يتحول إلى كربونيوم أيون يمكنها بعد ذلك الاتحاد بجزئي برفين متفرع أو أروماتي . وفيما يلي الكلة البنزين بجزئي البروبيلين :

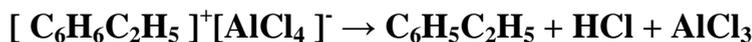
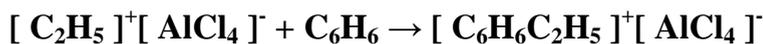


بنزين بروبلين كيومين

بهذه الكيفية يمكن الكلة البنزين بأحد الأحماض : HF , H_2SO_4 أو

H_3PO_4 سواء كانت الألكلة في الحالة الغازية أو الحالة السائلة .

أما في وجود كلوريد الألمونيوم اللامائي كحفاز فإنه يتحتم وجود قدر ولو يسير من حامض الهيدروكلوريك HCl حتى تسير ميكانيكية الكربونيوم أيون (لا يسير التفاعل بدون إضافة HCl) .



المنظفات الصناعية : Detergents Or Surfactants :-

القوة أو القدرة التنظيفية لمادة ما هي قدرتها على استئصال الأوساخ من السطح المراد تنظيفه وذلك بتشتيت وإذابة الأوساخ في سائل الغسيل حتى تترك الأوساخ من السطح ولا تترسب عليه ثانية، وتوصف المنظفات بأنها ذات نشاط سطحي لأنها تحور خواص سطح الانفصال الذي يفصل بين الوسخ وبين السطح المراد تنظيفه، إذ يمتاز المنظف على سطح الانفصال .

ويمكن تمثيل المادة ذات النشاط السطحي بالرمز **RX** بحيث تكون **R** عبارة عن مجموعة هيدروكربونية كبيرة (ليست لها قابلية للماء أي هيدروفوبية **Hydrophobic**) وتمثل ذيل **Tail** للمادة المنظفة، أما **X** فتمثل رأس المنظف وهي مجموعة ذات قابلية للماء أي هيدروفيلية **Hydrophilic** وبقدر الموازنة بين قوة هاتين المجموعتين يمكن تحديد هل سيكون المنظف المصنع من النوع القابل للذوبان في الماء أم من النوع القابل للذوبان في الزيت .

والمنظفات القابلة للذوبان في الماء يكون الماء هو الوسط المستعمل في عملية التنظيف، ومثال ذلك المنظفات التي تستعمل في غسل الملابس، أما المنظفات القابلة للذوبان في الزيت فمثال لها المنظفات التي تضاف إلى زيوت التزييت لتنظيف المحرك باستمرار وحتى لا تترسب الأوساخ عليه، وتعتبر من أهم إضافات زيوت التزييت **Lubrication Oil Additives** .

وتنقسم المنظفات تبعاً للشحنة الكهربائية الموجودة على مجموعة الرأس الهيدروفيلية إلى :

أ- منظفات أيونية **Anionic Detergents** مثل $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{11} \text{OSO}_3 \text{Na}^+$ حيث توجد شحنة سالبة على مجموعة الرأس .

ب- منظفات غير أيونية Non-Ionic Detergents مثل

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_8 \text{OH}$ وفيها تكون مجموعة الرأس متعادلة .

ج- منظفات كاتيونية Cationic Detergents مثل $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{N}^+(\text{CH}_3) \text{Cl}^-$

وفيها توجد على مجموعة الرأس شحنة موجبة .

أولاً : المنظفات الأيونية : Anionic Surfactants :-

هي أوسع المنظفات انتشاراً وأكثرها صلاحية تلك التي تحتوي على عدد ذرات كربون بين 10 ، 15 ذرة في الهيدروكربون المشبع ذو السلسلة والتي تعتبر ذيل المنظف وقد تكون هذه السلسلة متصلة اتصالاً مباشراً أو غير مباشر بمجموعة سلفونات أو بمجموعة سلفات وتنقسم المنظفات الأيونية إلى قسمين حسب سهولة أو صعوبة تحللها البيولوجي **Biological Degradation** .

(أ) منظفات عسيرة التحلل البيولوجي :

وهذه أقدم أنواع المركبات ذات النشاط السطحي الأيونية المستخدمة صناعياً، وتنتج بعملية بلمرة رباعية لمادة البروبيلين لتعطي الدوديسين المتفرع الذي يتحد مع البنزين العطري خلال عملية ألكلة .

وينتج دوديسيل بنزين **Dodecylbenzene** بعد ذلك تتم سلفنة الدوديسيل بنزين بثالث أكسيد الكبريت SO_3 أو بالأليوم **Oleum** ثم معالجة السلفونات الناتجة بمحلول الصودا الكاوية فينتكون المنظف أو الملح الصوديومي لسلفونات دوديسيل البنزين .

ويعتبر هذا المنظف ذو رغوة **Foam** جيدة أي أنه منظف قوي إلى جانب سهولة تصنيعه بأسعار معتدلة . ونظراً للاحتياج إلى مادة تساهم في سهولة التنظيف في وجود ماء عسر يضاف مواد تسمى المواد البناء وأهمها فوسفات الصوديوم الثلاثية ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) وهذه أيضاً رخيصة التكلفة مما يجعل هذا المنظف يأخذ مكانة الصابون بعد الحرب العالمية الثانية .

وأكبر المساوئ التي تجابه كبريتات الصوديوم للدوسيل بنزين أن تحلله البيولوجي بعد صرفه بطئ لذلك فإن جزءاً كبيراً منه يتبقى في الأنهار والبحيرات مما يمنع الأكسجين من الذوبان في مياهها ويؤثر على الثروة السمكية بها والأحياء المائية .

فلو كانت البكتريا الموجودة في أماكن الصرف قادرة على تحلل بقايا المنظفات لما كانت هناك مشكلة، إلا أن تفرعات السلسلة تكسبها مقاومة ضد التحلل .

(ب) منظفات بسيرة التحلل البيولوجي :

لقد تبين أن السلسلة البرافينية المتصلة بحلقة البنزين في مركبات كبريتات ألكيل البنزين إذا كانت متفرعة كان المنظف عسير التحلل البيولوجي ولكن إذا كانت على شكل سلاسل مستقيمة كان تحللها يسيراً .

كذلك وجد أنه إذا كان اتصال حلقة البنزين بالسلسلة البرافينية قريباً من الطرف سمي ألكيل البنزين طرفياً **Terminal** أما إذا كان اتصال حلقة البنزين بالسلسلة قرب منتصفها أطلق عليه لفظ غير طرفي **Non-Terminal** .
ولإنتاج الكيالات البنزين ذات السلاسل الألكيلية المستقيمة يبين ما يلي :

1- تفصل البرافينات المستقيمة أي العادية من الكيروسين :

بعد ذلك تقطر في عمود تجزئة **Fractionating Column** ويؤخذ الجزء المحتوي على ذرات الكربون بين 10 ، 15 ذرة . ويستعمل في فصل البرافينات المستقيمة من الكيروسين إحدى طريقتين :

(أ) الفصل باستعمال اليوريا الصلبة :

مع إضافة كمية صغيرة من مادة منشطة مثل الميثانول مع التقليب المستمر والتبريد إلى 5°م فنقوم اليوريا باحتواء البرافينات المستقيمة بعد ذلك تفصل المادة

الصلبة من الكيروسين بالترشيح **Filtration** . وتسمى المادة الصلبة بالمركب الاحتوائي **Adduct** وهي عبارة عن اليوريا ذات البلورات السداسية **Hexagonal** ذات المجرى الطويل **Channel** الذي يتسع فقط للبرافينات المستقيمة ولا يتسع للبرافينات المتفرعة أو الهيدروكربونات الحلقية أيًا كان نوعها أروماتية أو نافتينية .

ولكن يمكن احتواء بعض البرافينات المستقيمة التي تحتوي في طرفها على تفرع صغير مثل **2-methyl Dodecane** ، بعد ذلك يغسل المركب الاحتوائي بمذيب خفيف يسهل تبخيره ثم يضاف إليه ماء ساخن فتذوب اليوريا في الماء بينما تتفصل طبقة عليا زيتية مكونة من البرافينات المستقيمة التي تفصل من الطبقة المائية وتجفف .

(ب) الفصل باستعمال المناخل الجزيئية :

وتسمى أيضًا بالزيوليت **Zeolites** وهي مواد صلبة لها بناء بلوري يشبه الغرف **Chambers** ذات الأبواب الموجودة على خط مستقيم مثل عربات القطار وتتسع هذه الأبواب لاحتواء البرافينات المستقيمة فقط دون غيرها .

وتختلف المناخل الجزيئية عن اليوريا في أن الأخيرة تذوب في الماء الساخن أما المناخل الجزيئية فغير قابلة للذوبان في الماء لأنها مكونة من سليكات الألمونيوم Al_2O_3 / SiO_2 ويمكن إخراج البرافينات المستقيمة من المناخل الجزيئية بتسخينها إلى نقاط غليان هذه البرافينات المستقيمة من المناخل الجزيئية بتسخينها إلى نقاط غليان هذه البرافينات فتخرج على هيئة أبخرة تاركة المناخل الجزيئية فارغة ليعاد استعمالها من جديد .

أي أن فصل المقطر الذي يحتوي على 10 إلى 15 ذرة كربون من الكيروسين يتم بواسطة التقطير الجزئي **Fractionation** ثم يتبعه فصل البرافينات المستقيمة إما باليوريا أو بالمناخل الجزيئية كما سلف ذكره .

ثانياً : تحضير أوليفينات مستقيمة Straight-Chain Olefins -:

من البرافينات المستقيمة المفصولة بالطريقتين السابقتين ويتم ذلك بطريقتين :

(أ) إزالة الهيدروجين حفزياً من البرافينات المستقيمة :

وذلك باستعمال حفاز أكسيدي مثل الكروميا أو الموليبدنا (Cr_2O_3 & $Mo O_3$) كذلك يستعمل البلاتين المحمول على مادة حاملة غير نشيطة حفزياً وتتم هذه العملية في مفاعل ثابت الطبقة ويعتبر هذا الحفز من النوع غير المتجانس **Heterogeneous Catalysis** .

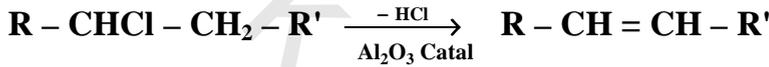
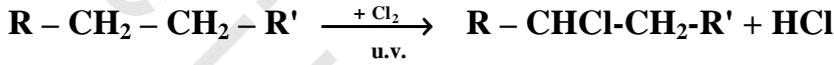
وتستعمل درجات حرارة مرتفعة إذ أن التفاعل ماص للحرارة **Endothermic** وفي حالة الحفازات الأكسيدية تكون الحرارة في حدود $550^{\circ}C$ أما في حالة حفاز البلاتين تكون الحرارة في حدود $300 - 350^{\circ}C$.

ولتقليل تفاعل التكسير عند هذه الحرارة المرتفعة تضاف لمادة التغذية بعض المواد المهبطة مثل المركبات الأروماتية أو المركبات النيتروجينية أو ترسيب الكربون جزئياً على سطح الحفاز . وينتج بهذه الطريقة أليفينات ذات روابط مزدوجة غير طرفية بنسبة كبيرة أما الأوليفينات ذات الروابط الطرفية فتنتج بنسبة قليلة .

(ب) بعملية الكلورة :

يمكن كلورة البرافينات بإحلال ذرة كلور محل ذرة هيدروجين في وجود الأشعة فوق البنفسجية فتنتج كلوريدات برفينات أحادية الكلور ولا تحتاج عملية الكلورة إلى درجات حرارة مرتفعة إذ يكفي إمرار غاز الكلور في البرافينات السائلة عند درجات في حدود $60 - 80^{\circ}C$. ولمدة تكفي فقط لدخول ذرة كلور واحدة أما إذا طالت مدة التفاعل فيمكن دخول ذرة كلور ثانية وثالثة . . الخ .

ويمكن تحديد زمن التفاعل اللازم بأخذ عينة بعد كل فترة وتحليلها لمعرفة نسبة الكلور فيها ويوقف التفاعل بعد الوصول إلى نسبة كلور إلى (كربون + هيدروجين) تساوي 1 : 1 وتتبع عملية الكلورة عملية نزع جزئ HCl فينتج أليفينات غير طرفية لأن ذرات الكلور تدخل بالقرب من منتصف الجزيء وبذلك ينتج بعد إزالة جزئي HCl جزئ أليفين به الرابطة المزدوجة غير طرفية .



وتستعمل حفازات من الألومنيا أو الطفلة إلا أن الألومنيا أفضل من الطفلة لأن الأخيرة تنتج بعض منتجات التكسير بنسبة أكبر من الألومنيا وتستعمل حرارة من 300 إلى 350°م .

3- ألكلة البنزين بأوليفينات مستقيمة :

تم تحضيرها في الفقرة السابقة وفي هذه الحالة ألكيلات البنزين غير الطرفية . ويستعمل حفازات حامضية ويفضل حفاز HF على باقي الحفازات لأن المنتجات الثانوية أي الجانبية مثل الألكيلات المزدوجة وكذلك نواتج البلمرة للأوليفينات تكون أقل ما يكن، ويلي حفاز HF في هذا التفاعل حفاز AlCl_3 .

كذلك يمكن ألكلة البنزين مباشرة بواسطة الكلوروبرافينات التي أنتجت بعملية الكلورة وفي هذه الحالة يستعمل حفاز AlCl_3 فينتج HCl إلى جانب ألكيل البنزين الغير طرفي الناتج .

4- تفاعل خليط ألكيلات البنزين الناتج :

يتفاعل H_2SO_4 المركز وال فوق مشبع بثالث أكسيد الكبريت SO_3 والذي يسمى أيضًا بحامض الكبريتيك المدخن H_2SO_4 فتتكون الكبريتات التي تعادل بمحلول الصودا الكاوية $NaOH$ فينتج الملح الصوديومي لأليكل بنزين كبريتات .

وقد ثبت أن هذه الكبريتات أي غير الطرفية ، تفوق في قوتها التنظيفية تلك التي تحتوي على حلقات البنزين في طرف السلسلة الألكيلية إذ أن هذه المنظفات غير الطرفية ذات رغوّة كبيرة، وقادرة على إزالة الوسخ من المنسوجات أسرع وأكثر .

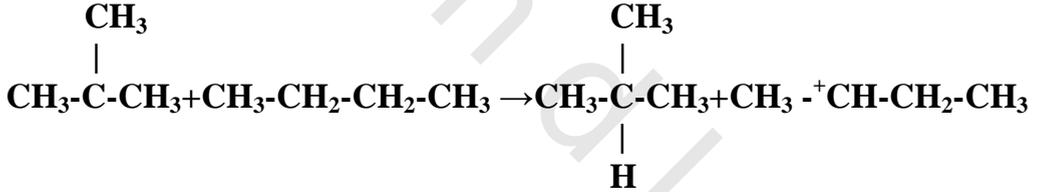
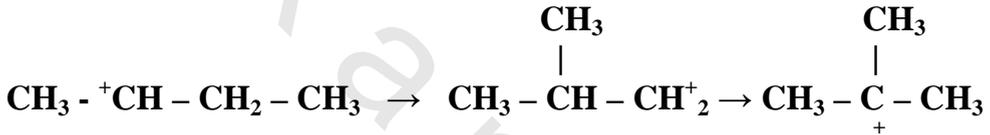
ويمكن إنتاج منظفات صناعية أنيونية طرفية **Terminal** مبتدءًا بشمع البرافين ومن المعروف أن هذه الشموع تعتبر منتجات ثانوية في عملية إنتاج زيوت التزيبب لأن إزالة الشموع تجعل الزيت يكتسب خاصية نقطة الانسكاب **Pour Point** المنخفضة إذ أن الزيوت ذات نقاط الانسكاب العالية تترسب فيها بلورات الشموع وتعيق استعمالها بصورة جيدة .

ويستعمل شمع البرافين الذي يحتوي على عدد ذرات الكربون بين 16 ، 35 ذرة كمادة تغذية لعملية التكسير الحراري ومن الطبيعي أن درجة حرارة التكسير في هذه الحالة تكون أقل بكثير من التكسير الحرارة للإيثان لإنتاج الإيثيلين لذلك تستعمل درجات حرارة في حدود $600^{\circ}C$ لتكسير الشموع فينتج خليط من الألفينات الطرفية والبرفينات المستقيمة .

بعد ذلك يقطر ناتج التكسير وتؤخذ الكمية التي تحتوي على عدد ذرات كربون بين 10 ، 15 ذرة وتتم بها ألكلة البنزين في وجود حفاز HF أو $AlCl_3$ بعد ذلك يتم تفاعلها مع حمض الكبريت ومعالجتها بالصودا الكاوية فينتج المنظف الصناعي الطرفي . وهذه المنظفات أقل من المنظفات غير الطرفية في قوتها التنظيفية إلا أنها أقل في تكلفتها .

ثالثاً : عمليات الأزمرة الحفزية :-

يستعمل أساساً حفاز $AlCl_3$ اللامائي والمنشط بقليل من حامض HCl كما سبق ذكره في موضوع عملية الألكلة والميكانيكية هنا لابد أن تبدأ ولو بكمية ضئيلة من الأوليفين الموجودة مع البيوتان لذلك يضاف إلى البيوتان العادي المستعمل كمادة تغذية لعملية الأزمرة كمية ضئيلة جداً من البيوتين أو أي أوليفين آخر (بنسبة حوالي 0.01 %) لكي يبدأ تكوين أيون كربونيوم **Carbonium Ion** .



وهناك أيضاً حتمية إضافة نسبة حوالي 10% من HCl إلى هيدروكربون مادة التغذية إذا كان الحفاز هو $AlCl_3$. وقد تستعمل حفازات أخرى مثل MoS , $ZnCl$, $AlBr_3$ كذلك يستعمل حفاز البلاتين المحمول على ألومنيا ومنشط بالكلور ومثل هذه العملية مثل الحفاز والمفاعل المستعملين في عملية التعديل الحفزي والفارق أن حفاز الأزمرة يحتوي على نسبة من الكلور أعلى مما يحتويه حفاز التعديل الحفزي .

وقد تجري العملية في حالة حفاز $AlCl_3$ في الحالة السائلة أو البخارية . وفي الحالة البخارية يمر بخار البيوتان العادي على حفاز $AlCl_3$ المحمول على

ويتم هذا التفاعل في وجود حفاز من الألومينا المنشطة
Activated Alumina وتستهلك درجة حرارة 350° م .

أزمة المركبات الأروماتية :

يمكن أزمة أحد الأروماتيات المحتوية على مجموعتين ألكيليتين من الوضع
أورثو إلى الوضع ميتا والوضع بارا أو من أي وضع فيها إلى الآخر .

والبارازيلين هو أهم هذه الزيولينات إذ يصنع منه **Terephthalic Acid**
الذي يعتبر المادة الأولية لصناعة الألياف الصناعية التي تسمى التريلين .

ويستهلك في هذه العملية حفازات حامضية مثل
Hydrofluoric Acid , **AlCl₃** كما أن هناك حفازات حديثة تتكون من
المناخل الجزيئية ذات فتحات تتسع للبارازيلين أو أكثر قليلاً وبذلك يتحول
الأورثو والميتازيلينات والإيثيل بنزين إلى البارازيلين بنسبة تفوق نسبته في
الخليط الاتزاني .

رابعاً : عمليات الأكسدة الحفزية :-

أ- أكسدة شمع البارفين : Oxidation Of Paraffin Wax :-

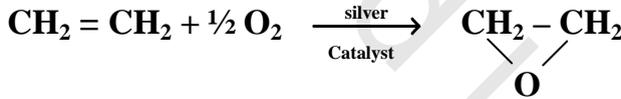
بأكسدة شمع البارفين تنتج أحماض دهنية وكحولات ذات أوزان جزيئية
عالية . وبعض الأحماض والكحولات ذات أوزان جزيئية منخفضة .

ويستخدم الجزء الأكبر من هذه الأحماض الدهنية الكبيرة في
صناعة الصابون أما الكحولات ذات الأوزان الجزيئية العالية فتستخدم في
تحضير المنظفات الصناعية إذ من السهل إزالة جزئ الماء منها لينتج
الأوليفين المقابل (**Dehydration**) أو الكحول نفسه يمكن بهما ألكلة
البنزين للحصول على ألكيلات بنزين ذات 10 إلى 15 ذرة كربون في
السلسلة الألكيلية كما تقدم في موضوع الألكلة .

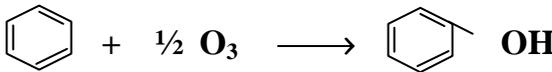
ومن أهم الحفازات المستعملة في أكسدة شمع البرافين هي حامض البوريك وأملاح المنجنيز وأهمها على الإطلاق برمنجنات البوتاسيوم KMnO_4 التي تضاف في صورة محلول مائي وبنسب قليلة (0.3 %) إلى الشمع المراد أكسدته والمسخن عند درجة 120°C فيتبخر الماء المذيب للبرمنجنات وينتج ثاني أكسيد المنجنيز MnO_2 في الحالة النشطة ويمكن إجراء الأكسدة عند الضغط العادي إلا أن ضغوط بين 15 ، 60 ضغط جوي تساعد على إسراع الأكسدة بصورة كبيرة .

ب- أكسدة الإيثيلين : Oxidation Of Ethylene :

في العملية الصناعية لأكسدة الإيثيلين بالهواء يدخل هذان الغازان ومعهما غاز عائد إلى المفاعل الرئيسي والذي يحتوي على حفاز من الفضة المحمولة على حجر الخفاف **Pumice** فيتحول معظم الإيثيلين إلى أكسيد الإيثيلين :

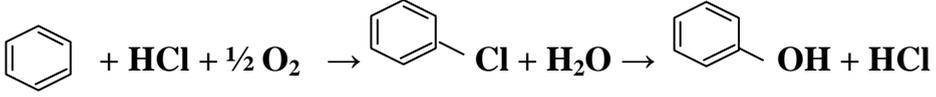


ج- أكسدة البنزين Oxidation Of Benzene :



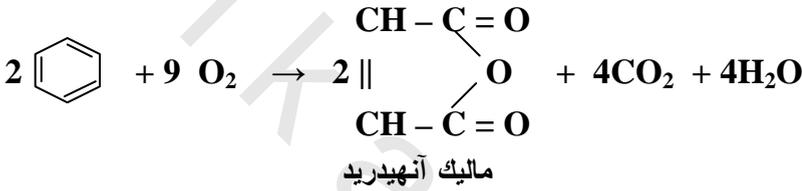
باستعمال حفازات أكسيدية مثل أكسيد الفاناديوم V_2O_5 وأكسيد التتجستن WO_3 وأكسيد المولبدنيوم MoO_3 وأكسيد البلاتين PtO . هذه طبعًا حفازات صلبة غير متجانسة . مشحونة في مفاعلات الطبقة الثابتة **Fixed-Bed** ودرجة حرارتها $300 - 400^\circ\text{C}$ كما يستعمل الهواء الجوي تحت ضغط مرتفع أي 200 ضغط جوي ، وزمن التفاعل بضع دقائق .

وباستعمال حفازات من الألومنيا أو السيليكا :



ويمرر البنزين والهواء و HCl على حفاز الطبقة الثابتة المحتوي على Al_2O_3 أو SiO_2 فينتج الفينول و HCl ثانية الذي يعاد إلى المفاعل .

د- أكسدة البنزين إلى أنهيدريد المالك Oxidation To Maleic Anhydride :



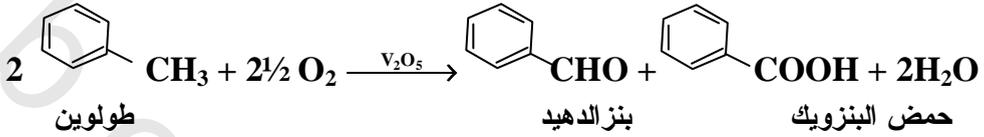
في وجود حفاز V_2O_5 على الومينا باستعمال الهواء الجوي عند درجات حرارة بين 400 ، 450°م . ويستعمل زمن تلامس قصير واحد على عشرة ثانية عند الضغط الجوي .

ويستعمل أنهيدريد المالك في إنتاج ألياف البوليستر **Polyesters** وصناعة راتجات ذات أهمية كبرى في صناعة البويات كذلك يستخدم أنهيدريد المالك كمزلق **Lubricant** .

ه- أكسدة الطولوين Oxidation Of Toluene :

يتأكسد الطولوين عن طريق أكسدة المجموعة الألكيلية (CH_3) فيتحول إلى خليط من البنزaldehid **Benzaldehyde** وحامض البنزويك **Benzoic Acid** وتختلف نسبتتهما في نواتج التفاعل حسب درجات الحرارة المستعملة . والحفاز الأكثر استعمالاً هو أكسيد الفانديوم V_2O_5 فباستعمال درجات حرارة بين 280 - 300°م وزمن التفاعل طويل ينتج حامض البنزويك .

أما عند حرارة بين 450 ، 530°م وزمن تفاعل قصير فإن الناتج الرئيسي هو البنزالدهيد . كذلك تنتج بعض نواتج الأكسدة الأخرى مثل المالك أنهيدريد وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون .



خامسا : عمليات إزالة الهيدروجين الحفزية :-

ترجع أهمية عمليات إزالة الهيدروجين من الهيدروكربونات في الصناعة إلى أن هذه العملية تنتج الألفينات التي تستخدم في صناعة المطاط الصناعي **Synthetic Rubber** وتسمى هذه الألفينات بالمونومرات **Monomers** .

إزالة الهيدروجين من البيوتانات والبيوتينات :-

أهم عمليات إنتاج البيوتاديين **Butadiene** في الوقت الحاضر هي عملية نزع الهيدروجين حفزيًا **Catalytic Dehydrogenation** من البيوتان العادي والبيوتين العادي واللذان يفصلا من الغاز الطبيعي **Natural Gas** وغازات التكرير **Refinery Gases** على التوالي .

وتوجد طريقتان لصناعة البيوتاديين من البيوتان :

(1) عملية ذات مرحلتين : Two-Stage Process :-

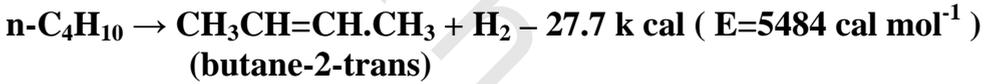
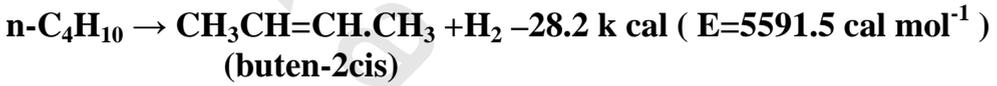
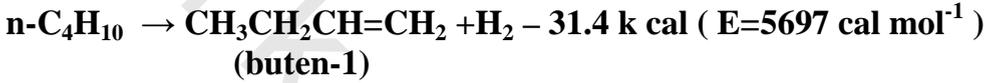
في المرحلة الأولى يتم إزالة الهيدروجين من البيوتان لإنتاج بيوتين، وفي المرحلة الثانية يتم إزالة الهيدروجين من البيوتين لإنتاج البيوتاديين .

(2) عملية ذات مرحلة واحدة One-Stage Process :-

يتم خلالها نزع الهيدروجين من البيوتان مباشرة لإنتاج البيوتاديين . والطريقة ذات المرحلتين هي الأكثر استعمالاً .

وإذا استعملت الطريقة الحرارية بدون حفازات فإن حصيللة البيوتادين تكون منخفضة وذلك لأن كميات كبيرة من الميثان والإيثيلين والأستيلين تنتج .

وتستعمل في هذه العملية حفازات انتقائية **Selective Catalysts** تجعل التفاعل يسير في اتجاه كسر الرابطة **C - H** دون التأثير على الرابطة **C - C** أي ينبغي استعمال حفازات يمكنها حفز كسر الرابطة **C - H** عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ومثل أي تفاعل إزالة هيدروجين فهذا التفاعل ماص للحرارة **Endothermic** :

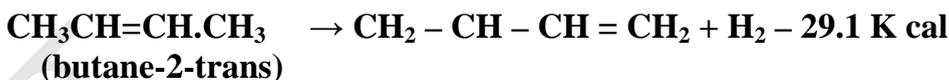
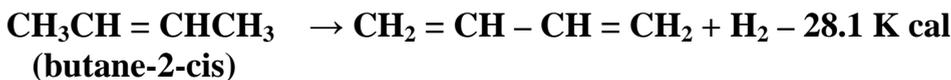
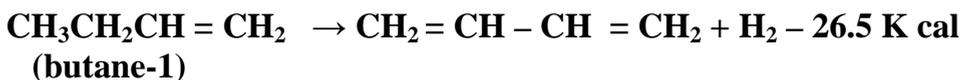


والعوامل المؤثرة على التفاعل هي درجة الحرارة والضغط وزمن التلامس والشوائب التي تحتوي عليها مادة التغذية .

والحفازات التي تستعمل في إزالة الهيدروجين من البيوتان العادي في الصناعة حفازات كروميا في ألومينا $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3$ منشطة بأيدروكسيد البوتاسيوم والماغنسيوم والزنك والبريليوم وأكاسيد الزيركونيوم .

ويترسب أثناء التفاعل الكربون على الحفاز بنسبة عالية جداً بالمقارنة بباقي التفاعلات الحفزية أي بنسبة 20% بالوزن في الساعة الواحدة . ولذلك فإن الحفاز يجب أن يسترجع بالحرق في وجود الهواء الجوي .

كذلك نرى أن إزالة الهيدروجين من البيوتينات (بيوتين -1 ، بيوتين 2) تفاعل ماص للحرارة .



ولإنتاج كميات عالية من البيوتاديين يجب استعمال درجات حرارة مرتفعة وضغوط منخفضة وباستعمال بخار الماء ينخفض الضغط الجزئي للهيدروكربونات الذي يمنع التفاعلات الجانبية وهي التكسير وبلمرة البيوتاديين كذلك يساهم بخار الماء الزائد في خفض نسبة الكوك المترسبة على الحفاز .

وفي العادة يسخن بخار الماء إلى 700°م ويدخل إلى المفاعل حيث يلتقى مع البيوتين بنسب تتراوح بين 10 إلى 15 مول بخار ماء إلى مول واحد من البيوتين الذي تصل حرارته إلى 530°م . والحفازات المستعملة لهذه المرحلة تتكون من أكاسيد الحديد والكروم والبوتاسيوم .

وفي هذه المرحلة لا يحتاج الحفاز إلى الاسترجاع المتكرر بل يحتفظ بنشاطه لفترة طويلة دون ترسيب كوك بنسبة تذكر عليه . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على بيوتاديين بنسب أعلى من 85 في المائة .

ولاسترجاع النشاط الحفزي يقطع إمداد الوحدة بالتغذية ويستمر فقط إمداد البخار فيتفاعل الكربون المرسب على الحفاز معه وينتج أكاسيد الكربون والهيدروجين :



ونظرًا لأن هذا التفاعل ماص للحرارة فلا ترتفع حرارة الحفاز ولا خطورة من التلبد وبعد إزالة الكوك من الحفاز تستمر العملية بإمداد المفاعل بمادة التغذية من جديد .

وأياً كان شكل الحفاز أو المفاعل الذي يحتويه فتركيب الحفاز قد يكون واحداً ولكن في صورة حبيبات كبيرة كما في الطبقة الثابتة أو في صورة حبيبات دقيقة جداً كما في الحالة الطبقة المائعة .

وباستعمال الحفاز لفترة كبيرة يصبح تركيبه CrO_3 أي يكون الكروم في حالة تكافئ سداسي ولكن بعد تنشيطه يتحول إلى Cr_2O_3 أي يكون الكروم ذو تكافئ ثلاثي لذلك يدخل الحفاز في منطقة اختزال حيث يمر فيها غاز يحتوي على $\text{H}_2, \text{CO}, \text{C}_2 + \text{C}_3$.

المصطلحات العلمية

obekandl.com

المصطلحات العلمية

Desorption	ابتزاز
Equilibrium	اتزان
Thermal equilibrium	اتزان حراري
Dynamic equilibrium	اتزان ديناميكي
Phase equilibrium	اتزان صفي
Chemical equilibrium	اتزان كيميائي
Reduction	اختزال
Emulsion	استحلاب
Extraction	استخلاص
Cylinder	أسطوانة
Osmis	اسموزية
Radiation	إشعاع
Forms	أشكال
Oxidation	أكسدة
Indicators	الأدلة
Adsorbent indicators	الأدلة الممتزة
Corners	الأركان
Stalagmcmeter	الاستلاجموميتر
Adhesion	الالتصاق
Hydration	الإماهة
Coenzyme	الانزيم

	المصاحب
Parachor	الباراكور
Ideal engine	آلة مثالية
Volumetric analysis	التحليل الحجمي
Frequency	التردد
Cohesion	التماسك
Expansion	التمدد
Hydrolysis	التميؤ
Surface tension	التوتر السطحي
Conductivity	التوصيل
Equivalent conductance	التوصيل المكافئ
Molecularity	الجزئية
Gaseous state	الحالة الغازية
Ground state	الحالة المستقرة
Final state	الحالة النهائية
volume	الحجم
Molar volume	الحجم المولاري
Catalysis	الحفز
Acidity	الحمضية
Covalent bond	الرابطة التساهمية

pH	الرقم الهيدروجيني
pOH	الرقم الهيدروكسيلي
Electronegativity	السالبية الكهربية
Alloys	السبائك
Adsorbent	السطح الماز
Heat capacity	السعة الحرارية
Maximum work	الشغل الأقصى
Mechanical work	الشغل الميكانيكي
Osmotic pressure	الضغط الاسموزي
Surface free energy	الطاقة الحرة للسطح
Graphical method	الطريقة البيانية
Standard condition	الظروف القياسية
Catalyst	العامل الحفاز
Wave number	العدد الموجي
Basicity	القاعدية
Alkalinity	القلوية

Electromotive force	القوة الدافعة الكهربية
Weak electrolyte	الكتروليت ضعيف
Thermochemistry	الكيمياء الحرارية
Photochemistry	الكيمياء الضوئية
Adsorbate	المادة الممتزة
Buffer solutions	المحاليل المنظمة
Heat content	المحتوي الحراري
Acidic solution	المحلول الحمضي
Surroundings	المحيطات
Calorimeter	المسعر
General characteristic	الملاحظات العامة
Kinetic Theory	النظرية الحركية
Hydrogenation	الهدرجة
Ampere	أمبير
Adsorption	امتزاز

Chemical adsorption	امتزاز كيميائي
Chemisorption	امتزاز كيميائي
Absorption	امتصاص
Incorporation	انبعاج
Diffusion	انتشار
Spreading of liquids	انتشار السوائل
Mobility	انتقالية
Enthalpy	إنتالبي
Decay	انحلال
Flow systems	أنظمة الانسياب
Gaseous media	أوساط غازية
Homogeneous media	أوساط متجانسة
Complex ions	أيونات مترابطة
Vapour	بخار
Proton	بروتون
Wetting	بلل
Crystal	بللورة
Polymerization	بلمرة
Completely miscible	تامة الامتزاج
Vaporization of liquid	تبخر السائل
Inhibition	تشبيط
Coagulation	تجلط
Refresh	تحديث

Thermal decomposition	تحلل حراري
Electrolysis	تحليل كهربى
Organic synthesis	تخليق عضوي
Arrangement	ترتيب
Precipitation	ترسيب
Poisoning	تسمم
Collision	تصادم
Neutralization	تعادل
Acceleration	تعجيل - تسريع
Details	تفاصيل
First order reaction	تفاعل أحادي الرتبة
Equilibrium reaction	تفاعل الاتزان
Reduction – oxidation reaction	تفاعل الأكسدة - الاختزال
Forward reaction	تفاعل أمامي
Spontaneous reaction	تفاعل تلقائي
Third order reaction	تفاعل ثلاثي الرتبة
Second order reaction	تفاعل ثنائي الرتبة
Backward reaction	تفاعل خلفي
Reversible reaction	تفاعل عكسي

Chemical reaction	تفاعل كيميائي
Catalysed reactions	تفاعلات محفزة
Dissociation	تفكك
Report	تقرير
Valence	تكافؤ
Cracking	تكسير
Degradation	تكسير
Thermal degradation	تكسير حراري
Spontaneity	تلقائية
Photosynthesis	تمثيل ضوئي
Promotion	تنشيط
Activate product	تنشيط المنتج
Purification	تنقية
Distribution	توزيع
Stability Constant	ثابت الاستقرار
Secondary	ثانوي
Positive Holes	ثقوب موجبة
Table	جدول
Molecule	جزئ
Reduction potential	جهد الاختزال
Atmosphere	جو
Energy Barrier	حاجز الطاقة
Solubility product	حاصل الإذابة

Initial state	حالة ابتدائية
Equilibrium state	حالة الاتزان
Oxidation state	حالة الأكسدة
Excited state	حالة مثارة
Carrier	حامل
Delete	حذف
Heat	حرارة
Heat of combustion	حرارة الاحتراق
Heat of hydration	حرارة الاماهة
Heat of fusion	حرارة الانصهار
Heat of vaporization	حرارة التبخير
Heat of sublimation	حرارة التسامي
Heat of reaction	حرارة التفاعل
Heat of formation	حرارة التكوين
Heat of hydrogenation	حرارة الهدرجة
Specific heat	حرارة نوعية
Sensitizer	حساس
Sensitization	حساسية
Autocatalysis	حفز ذاتي
Heterogeneous catalysis	حفز غير متجانس

Heterogeneous catalysis	حفز متجانس
Acid	حمض
Acetic acid	حمض الخليك
Weak acid	حمض ضعيف
Strong acid	حمض قوى
Deviation	حيود
Electron Diffraction	حيود إلكتروني
Positive deviation	حيود ايجابي
Negative deviation	حيود سالب
Wave character	خاصية موجية
Colligative properties	خواص تجمعية
Extensive properties	خواص خارجية
Photo properties	خواص ضوئية
Physical properties	خواص طبيعية
Electric properties	خواص كهربية
Permenant	دائم
State function	داله الحالة
Degree of dissociation	درجة التفكك
Temperature	درجة الحرارة
Triple bond	رابطة ثلاثية
Resin	راتنج
Tetrahedral	رباعي الأوجه
Order of reaction	رتبة التفاعل

Metal films	رقائق فلزية
Oxidation number	رقم الأكسدة
Contact angle	زاوية التلامس
time	زمن
Pair of electrons	زوج من الالكترونات
Velocity of reaction	سرعة التفاعل
Immiscible liquids	سوائل عديمة الامتزاج
Work	شغل
Work of adhesion	شغل الالتصاق
Work of cohesion	شغل التماسك
Work done	شغل مبذول
Cracks	شقوق
Solid	صلب
Chemical formula	صيغة كيميائية
Large	ضخم
Pressure	ضغط
Partial pressure	ضغط جزئي
Exothermic	طارد للحرارة
Activation energy	طاقة التنشيط
Bond energy	طاقة الرابطة
Resonance energy	طاقة الرنين

Surface energy	طاقة السطح
Free energy	طاقة حرة
Natural	طبيعة
Capillary rise method	طريقة الارتفاع في الأنبوبة الشعرية
Oxidation method	طريقة الأكسدة
Substation method	طريقة التعويض
Drop-weight method	طريقة وزن النقطة
Phase	طور (صنف)
Length	طول
Wavelength	طول موجة
Reducing agent	عامل مختزل
Number of molecules	عدد الجزيئات
Relationship	علاقة
Thermodynamics	علم الديناميكا الحرارية
Quenching process	عملية إخماد
Activation process	عملية التنشيط
Solubility process	عملية الذوبانية
Cyclic process	عملية دائرية

Normal	عباري
Normality	عبارية
Crystal defect	عيب بللوري
Gas	غاز
Ideal gas	غاز مثالي
Non – polar	غير قطبي
Heterogeneous	غير متجانس
Unsaturated	غير مشبع
Vant – hoff	فانت هوف
Vacancies	فراغات
Activity	فعالية
Ultraviolet	فوق البنفسجية
List	قائمة
Phase rule	قاعدة الصنف
Weak base	قاعدة ضعيفة
Strong base	قاعدة قوية
Ostwald's Law	قانون اوستفالد
Ohm's Law	قانون أوم
Raoult's Law	قانون راعولت
Electrode	قطب
Negative pole	قطب سالب
Salt bridge	قنطرة ملحية
Force	قوة

Adhesion Forces	قوي الالتصاق
Dispersion forces	قوي التشتت
Valancy forces	قوى التكافؤ
Cohesion forces	قوي التماسك
Standard	قياسي
Negative value	قيمة سالبة
Positive value	قيمة موجبة
Cation	كاتيون
Cationic	كاتيوني
Atomic mass	كتلة ذرية
Mass	كتله
Mole fraction	كسر جزيئي
Detect	كشف
Physical quantity	كمية طبيعية
Photoelectric	كهروضوئي
Coulomb	كولوم
Radiochemistry	كيمياء إشعاعية
Electrochemistry	كيمياء كهربية
Non – electrolyte	لا الكتروليت
Adhesive	لاصق
Pure water	ماء نقي
Endothermic	ماص للحرارة
Le chetailier principle	مبدأ لوتشايليه

Conjugate	متبادل
Heterogeneous	متجانس
Activated complex	متراكب نشط
Active complex	متراكب نشط
Reactants	متفاعلات
Cohesive	متماسك
Ideal	مثالي
Inhibitor	مثبط
Solutions	محاليل
Collodial solutions	محاليل غروية
Basic solutions	محاليل قاعدية
Liophilic	محببة للماء
yield	محصول (ناتج) (
Normal solution	محلول عياري
Non – ideal solution	محلول غير مثالي
Super saturated solution	محلول فوق مشبع
Standard solution	محلول قياسي
Aqueous solution	محلول مائي
Neutral solution	محلول متعادل
Ideal solution	محلول مثالي

Dilute solution	محلول مخفف
Saturated solution	محلول مشبع
Molar solution	محلول مولارى
Molal solution	محلول مولالى
Quensher	مخمد
Solute	مذاب
Solvent	مذيب
Elementary stages	مراحل أولية
Sorption surface compounds	مركبات ذات امتزاز سطحى
Organic compounds	مركبات عضوية
Active centers	مركز فعالة
Thermocouple	مزدوج حراري
Area	مساحة
Path	مسار
Pores	مسامات
powder	مسحوق
Poisoner	مسمم
Radioactive	مشع
Pump	مضخة
Equation	معادلة
Spreading coefficient	معامل الانتشار

Activity coefficient	معامل الفعالية
Titration	معايرة
Rate	معدل
Mean free path	معدل المسار الحر
Resistance	مقاومة
Antilogarithm	مقلوب اللوغاريتم
Promoter	منشط
Activator	منشط
Conductor	موصل
Metallic conductors	موصلات معدنية
Equilibrium position	موضع الاتزان
Mole	مول (الجزيء الجرامى)
Mechanism	ميكانيكية
Dehydration	نزع المياه
Dehydrogenation	نزع الهيدروجين
Active	نشط - فعال
System	نظام
One component system	نظام أحادى

	المكون
Water system	نظام الماء
Three component system	نظام ثلاثي المكون
Two component system	نظام ثنائي المكون
Open system	نظام مفتوح
Theory	نظرية
Adsorption theory	نظرية الأمتزاز
Collision theory	نظرية التصادم
Boiling point	نقطة الغليان
End point	نقطة النهاية
Triple point	نقطة ثلاثية
Model	نموذج
Products	نواتج
Type	نوع
Neutron	نيوترون
Dyne	وحدة القوة
Newton	وحدة طاقة
Quantum	وحدة كم
Weight	وزن
Medium	وسط
Inhibit	يثبط - يبطئ

Calculate	يحسب
Analyze	يحلل
Convert	يحول
Reduce	يختزل
Dissolve	يذوب
Accelerate	يعجل - يسرع
Reflect	يعكس
Alter	يغير
Decrease	يقل
Repeat	يكرر
Miscible	يتمزج
Absorb	يمتص

الملاحق

obekandl.com

جدول رقم (1)
بعض الثوابت الفيزيائية

القيمة	الرمز	الكمية
$2.997 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$	c	سرعة الضوء
$1.60219 \times 10^{-19} \text{ C}$	e	شحنة الإلكترون
$6.62620 \times 10^{-34} \text{ JS}$	h	ثابت بلانك
$6.02217 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	N	عدد أفوجادرو
$9.10956 \times 10^{-31} \text{ kg}$	m	كتلة الإلكترون
$1.66053 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m_p	كتلة البروتون
$9.64867 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$	F	ثابت فراداي
$5.291772 \times 10^{-11} \text{ m}$	a₀	نصف قطر بوهر
$8.3143 \text{ j k}^{-1} \text{ mol}^{-1}$	R	ثابت الغاز
$1.3806 \times 10^{-23} \text{ j deg}^{-1}$	k	ثابت بولتزمان
$101.325 \text{ x Nm}^{-2}$	1 atm	الضغط الجوي

جدول رقم (2)

الكسور والمضاعفات المستعملة مع وحدات النظام الدولي

القيمة	الرمز	الاسم
10^{12}	T	تيرا
10^9	G	كوكا
10^6	M	ميكا
10^3	k	كيلو
10^{-1}	d	دسي
10^{-2}	c	سنطي
10^{-3}	m	ميلي
10^{-6}	μ	مايكرو
10^{-9}	n	نانو
10^{-12}	p	بيكو

جدول رقم (3)
عوامل التحويل

المكافئ في وحدات SI	المقدار
10^{-10} m	(1) انجستروم
10^{-3} m^3	(1) لتر
$101, 325 \text{ Nm}^{-2}$	(1) جو
10^{-7} j	(2) أرج
4.1840 j	(2) سعر
$0.16021 \times 10^{-18} \text{ j}$	(2) الكترون فولت

جدول رقم (4)

وحدات لا تدخل ضمن وحدات النظام الدولي

الكمية المكافئة في وحدات النظام الدولي	الاسم	الكمية
10^{-10} m 0.0254 m 0.3048 m 1.609 m	انجستروم (A°) انج (in) قدم (ft) ميل	البعد
10^{-3} m ³	لتر	الحجم
0.45359 kg	الباوند (lb)	الكتلة
10^{-5} N 0.138255 N	الداين (dyn) الباوندال	القوة
101.325 Nm ⁻² 133.322 Nm ⁻² 10^5 Nm ⁻²	الجو (atm) تور (mmHg) بار	الضغط
10^{-7} J 4.1840 J 0.16021×10^{-18} J	ارج السعر (cal) الالكترون فولت (eV)	الطاقة
745.700 W	قوة الحصان (hp)	القدرة
10^{-1} kgm ⁻¹ s ⁻¹	بواز (η)	اللزوجة
3.338×10^{-30} mC	ديباي	عزم ثنائي القطب

جدول رقم (5)
وحدات النظام الدولي

اسم الوحدة	اسم الوحدة	الكمية
m	متر	البعد
kg	كيلو جرام	الكتلة
s	ثانية	الزمن
a	أمبير	التيار الكهربائي
k	درجة كلفن	درجة الحرارة
mol	مول	كمية المادة
m ²	متر مربع	المساحة
M ³	متر مكعب	الحجم
Kg m ⁻³	كيلو جرام للمتر المكعب	الكثافة
ms ⁻¹	متر في الثانية	السرعة
ms ⁻²	متر لمربع الثانية	التعجيل
N = Kg m ⁻² = jm ⁻¹	نيوتن	القوة
Nm ⁻²	نيوتن للمتر المربع	الضغط
J = Kg m ² s ⁻² = Nm	جول (J)	الطاقة
Kg m ² s ⁻³ = J s ⁻¹	واط (W)	القدرة
C = As	كولوم (C)	الشحنة الكهربائية
V = kgm ² s ⁻³ A ⁻¹ = JA ⁻¹ s ⁻¹	فولت (V)	فرق الجهد الكهربائي
Vm ⁻¹	فولت للمتر	شدة المجال الكهربائي
Ω = kgm ² s ⁻³ A ⁻² = VA ⁻¹	أوم (Ω)	المقاومة الكهربائية
F = A ² s ⁴ kg ⁻¹ m ⁻² = AsV ⁻¹	فاراد (F)	المتسعة الكهربائية

جدول رقم (6)
خواص بعض الروابط الكيميائية

معدل البعد بين الذرتين r_0	البعد بين الذرتين (الانجستروم) r_e	طاقة الرابطة (كيلو سعر) E	طاقة التفكك (كيلو سعر) D	الرابطة
0.7509	0.7417	104.18	103.24	H-H
1.130	1.120	81	80	ثنائي الذرة C-H
-	-	-	124	CH-H
-	-	98.4	88	CH ₂ -H
1.093	-	99.3	101	CH ₃ -H
1.08	-	98.7	-	عام C-H
1.060	1.064	-	< 121	HC \equiv C-H
1.080	-	-	102	C ₆ H ₅ -H
1.059	1.066	-	114	H-CN
-	-	-	28	H-CO
-	-	-	76	H-HCO
1.073	-	-	90	CCl ₃ -H
1.048	1.038	-	85	NH
1.014	-	93.4	102	NH ₂ -H
0.980	0.971	-	101.5	OH
0.957	0.958	110.6	117.5	HO-H
1.010	-	-	90	H-OOH
0.926	0.917	135	134	HF
1.901	1.887	-	47	NaH
1.658	1.646	-	67	AlH
1.480	-	76	-	Si-H(in SiH ₄)
1.419	-	77	-	P-H(in PH ₃)
1.334	-	83	90	H-SH
1.35	1.34	-	66-93	SH
1.284	1.275	103.1	102.2	HCl

1.486	1.475	-	60	Ni-H
1.475	1.463	-	66	CuH
1.610	1.595	-	19.6	ZnH
1.523	-	59	-	As-H (in AsH ₃)
1.471	-	66	-	Se-H (in H ₂ Se)
1.423	1.414	87.4	86.5	HBr
1.626	1.617	-	58	AgH
1.535	1.524	-	72	AuH
1.766	1.740	-	8.6	HgH
1.852	1.839	-	42	PbH
1.315	1.312	-	150	C-C (in C ₂)
1.54	-	82.6	-	C-C (عام)
1.30	-	145.8	-	C = C (عام)
1.21	-	199.6	-	C ≡ C (عام)
1.207	1.201	194.3	230	HC ≡ VH
1.359	-	142.9	125	H ₂ C = CH ₂
-	1.543	-	83	H ₃ C = CH ₃
1.131	1.128	-	255.8	CO
1.163	1.162	192	127	O = CO
-	-	85.5	-	C-O (عام)
1.22	-	176	-	C = O (الديهيد)
1.21	-	179	-	C = O (كيتون)
1.21	-	166	-	H ₂ C = CO
-	1.41	-	90	HCO-OH
1.43	-	80.2	90	CH ₃ -OH
1.43	-	-	90	CH ₃ CO-OH
-	-	83.2	90	C ₂ H ₅ -OH
1.537	1.534	-	166	CS
-	-	65	-	C-S (عام)
1.554	-	128	-	C = S (in CS ₂)
1.82	-	-	70	CH ₃ - SH

1.81	-	65	69	C ₂ H ₅ - SH
1.82	-	65	73	CH ₃ - SCH ₃
-	-	125	-	OC = S
1.76	-	81	-	O - Cl (in CCl ₄)
1.761	-	78.2	80	CH ₃ - Cl
1.21	-	-	72	O - NO
-	-	48	-	H ₂ N - OH
-	-	53	-	NO (في النترات والنتريت)
-	-	145	-	N = O (نتريت)
1.211	1.207	119.1	117.96	O = O (in O ₂)
1.48	-	35	50	HO - OH
-	1.610	-	138	AlO
1.43	-	119	-	S = O (SO ₂)
1.43	-	104	-	S = O (SO ₃)
-	-	-	92	Fe O
-	-	-	<99	NiO
-	-	-	113	CuO
-	-	-	<92	ZnO
-	-	-	32	AgO
-	-	-	94	PbO
-	1.922	-	98	ZnS
2.399	-	-	78	PbS
-	-	-	69	FeCl
-	-	95	-	Fe - Cl (Fe Cl ₂)
-	-	81	-	Fe - Cl (Fe Cl ₃)
-	-	-	115	NiCl
-	-	-	88	CuCl
-	-	-	72	AgCl

جدول رقم (7)

قيم السالبية الكهربية للعناصر علي قياس بلانك

السالبية الكهربية	العنصر	السالبية الكهربية	العنصر	السالبية الكهربية	العنصر
2.04	Ti	1.83	U	2.20	H
1.24	Er	1.55	Mn	0.98	Li
2.55	C	1.17	Sm	0.93	Na
1.90	Si	1.36	Np	0.82	K
2.01	Ge	1.83	Fe	0.82	Rb
1.96	Sn	2.28	Rh	0.97	Cs
2.33	Pb	2.20	Ir	1.57	Be
1.25	Th	1.20	Gd	1.31	Mg
3.04	N	1.91	Co	1.00	Ca
2.19	P	1.90	Ni	0.95	Sr
2.18	As	2.20	Pd	0.89	Ba
2.05	Sb	2.28	Pt	1.39	SO
2.02	Bi	1.65	Cu	1.22	Y
-	Yb	1.97	Ag	1.10	La
3.44	O	2.54	Au	1.12	Ce
2.58	S	1.22	Dy	1.54	Ti
2.55	Se	1.81	Zn	1.53	Hf
-	Te	1.69	Cd	-	Zr
1.27	Lu	2.00	Hg	1.13	Pr
2.98	F	1.23	Ho	1.63	V
3.16	Cl	2.04	B	1.14	Nd
2.96	Br	1.61	Al	1.66	Cr
2.66	I	2.01	Ga	2.16	Mo
		1.78	In	2.36	W

جدول رقم (8)

بعض الخواص الطبيعية للفلزات في السلاسل الثلاث الطويلة من

الجدول الدوري .

تجد التفاصيل عن الرموز والوحدات الخاصة بها بعد الجدول مباشرة .

فلزات السلسلة الطويلة

M	l	r	T _m	T _b	L _S	ø	d	P	E°	x
K	b.c.c.	2.31	63	760	21.5	2.15	0.86	66	-2.92	+0.52
Ca	f.c.c.	1.96	850	1440	46	2.76	1.55	4.24	-2.84	+1.10
So	c.p.h.	1.66	1400	3900	93	3.3	-	-	-	-
Ti	c.p.h.	1.46	1660	3535	112	3.95	4.51	47.8	-1.75	+1.25
V	b.c.c.	1.31	1900	3000	121	4.12	6.11	24.8	-1.5	+1.4
Cr	b.c.c.	1.25	1550	2482	94	4.58	7.14	13.0	-0.71	+3.08
Mn	A 6	10.29	1245	2097	68	3.83	7.44	-	-1.05	+11.8
Fe	b.c.c.	1.24	1540	2735	99	4.48	7.87	10	-0.44	-
Co	f.c.c.	1.25	1493	3550	102	4.41	8.90	5.67	-0.27	-
Ni	f.c.c.	1.24	1455	2732	101	4.50	8.90	7.8	-0.23	-
Cu	f.c.c.	1.27	1083	2595	81	4.64	8.96	1.72	+0.34	-0.09
Zn	c.p.h.	1.33	419	906	30	3.66	7.14	5.8	-0.76	-0.16
Ga	A 11	1.33	29.7	1983	66	3.80	5.97	56.8	-0.52	-0.24

فلزات السلسلة الثانية

M	l	r	T _m	T _b	L _S	∅	d	P	E°	x
Nb	b.c.c.	2.43	39	679	20.5	2.13	1.53	12.0	-2.98	+0.21
Sr	f.c.c.	2.15	770	1380	39.2	2.35	2.6	23	-2.89	-0.20
Y	c.b.h.	1.80	1452	4100	103	3.3	4.34	-	-	+5.3
Zr	c.b.h.	1.58	15852	5000	142	3.60	6.55	45	-	+1.28
Nb	b.c.c.	1.43	2468	3300	185	3.99	8.57	13.2	-	+1.5
Mo	b.c.c.	1.36	2622	4800	155	4.48	10.2	5.78	-0.2	+0.04
Tc	c.b.h.	1.36	2140	-	140	4.4	11.50	-	-	+6.3
Ru	c.b.h.	1.62	2400	4900	160	4.52	11.90	7.4	-	+0.50
Rh	f.c.c.	1.34	1966	4500	138	4.65	12.44	4.51	+0.6	+1.11
Pd	f.c.c.	1.37	1554	3980	91	4.49	12.02	10.8	+0.83	+5.4
Ag	f.c.c.	1.44	960	2212	68	4.44	10.49	1.59	+0.80	-0.20
Cd	c.b.h.	1.48	321	767	26.5	4.00	8.65	6.83	-0.40	-0.18
In	A 6	1.62	156	2000	58	-	7.31	9	-0.34	-0.11
Sn	A 5	1.50	232	2337	70	4.09	7.3	11.5	-0.14	-0.25

فلزات السلسلة الثالثة

M	l	r	T _m	T _b	L _S	∅	d	P	E°	x
Cs	b.c.c.	2.26	30	690	18.8	1.89	1.90	19.0	-2.92	-0.22
Ba	b.c.c.	2.27	710	1500	42	2.28	305	60	-2.92	+0.9
La	c.p.h.	1.86	835	4242	93	3.3	6.2	-	-2.4	-
Hf	c.p.h.	1.57	2130	5400	170	3.53	13.36	32.4	-	-
Ta	b.c.c.	1.43	2996	5300	185	3.96	16.6	12.4	-	+0.87
W	b.c.c.	1.37	3410	5900	202	4.56	19.3	5.48	-	+0.28
Re	c.p.h.	1.37	3167	5900	189	4.74	21.4	21	-	+0.37
Os	c.p.h.	1.33	3045	5500	174	4.55	22.48	9.5	-	+0.05
Ir	f.c.c.	1.35	2454	5300	165	4.57	22.5	4.9	+1.0	+0.15
Pt	f.c.c.	1.38	1773	5430	135	4.52	21.45	10.6	+1.2	+1.10
Au	f.c.c.	1.44	1063	2966	84	4.46	19.3	2.44	+1.42	-0.15
Hg	A 10	1.50	-39	357	14.5	4.52	13.55	96	+0.80	-0.17
Tl	c.p.h.	1.70	303	1457	43	3.84	11.85	18	-0.33	-0.24
Pb	f.c.c.	1.75	327	1750	46.3	3.94	11.3	22	-0.13	-0.12

M = رمز الفلز ، والخط أسفل المزدل علي وجود صور ثابتة ومستقرة للعنصر .

l = يبين التركيب الطبيعي للشبكة حسب درجة الحرارة والضغط :

f.c.c. يدل علي تركيب مكعب مركزي الوجه ، c.p.h. يرمز الي مجسم سداسي ، b.c.c.

يدل علي تركيب مكعب مركزي الجسم ، A 5 مجسم رباعي مركزي الجسم ، A 6 مجسم

رباعي مركزي الوجه ، A 10 معيني ، A 11 مكعب مركزي الجسم مشوه .

T_m = درجة الانصهار

r = نصف القطر الذري بالانجستروم

L_S = حرارة التصعيد الكافية

T_b = درجة الغليان

d = الكثافة بالجرام / سم³

∅ = دالة الشغل بالإلكتروني فولت

E° = جهد القطب القياسي بالفولت

p = المقاومة النوعية

x = القابلية المغناطيسية للفلز x 10⁶

جدول رقم (9)

تصنيف الفلزات وأشباه الفلزات علي أساس قدرتها

علي إمتزاز بعض الغازات من تجارب ترابنال Trapnall

الفلزات							الفلزات	المجموعة
N ₂	CO ₂	H ₂	CO	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	O ₂		
A	A	A	A	A	A	A	Ca, Sr, Ba, Ti, Zn, HF, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe, Re	A
NA	A	A	A	A	A	A	Ni, CO	B ₁
NA	NA	A	A	A	A	A	Pd, Rh, Ir, Pt,	B ₂
NA	NA	NA	NA	A	A	A	Mn, Al, Au, Cu	C
NA	NA	NA	NA	NA	A	A	.K	D
NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	Ag, Mg, Cd, Zn	E
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Te, Se	F

حيث :-

A : يعني ان الغاز يعانِي إمتزازاً علي سطح العنصر الفلزي .

NA : يشير الي عدم إمكان تحقق الأمتزاز .

المجموعة : يقصد بها الفلزات المدرجة تحت حقل ((الفلزات)) والتي تبدي ظاهرة الإمتزاز أو

عدم الإمتزاز .

obekandl.com

المراجع

obekandl.com

المراجع

- 1- " الكيمياء الفيزيائية " ف.كرينيف - دار مير للطباعة والنشر 1980 .
- 2- " كيمياء السطح والعوامل المساعدة " أ.د. جلال محمد صالح - جامعة دمشق 1980 .
- 3- " الكيمياء الفيزيائية " جوردن بارد - الدار الدولية للنشر والتوزيع دار ماكجروهيل للنشر 1990 .
- 4- " الكيمياء الحركية والكهربية " أ.د. محمد مجدي واصل - دار الجامعات للنشر - مصر - 2003 .
- 5- " الكيمياء الفيزيائية " أ.د. - علي عبد الحسين سعيد - جامعة البصرة 1980
- 6- " أسس الكيمياء الفيزيائية " أ.د. محمد مجدي واصل - دار الفجر للنشر والتوزيع مصر 2004 .
- 7- " أسس الكيمياء الغروية " أ.د. محمد مجدي واصل - مجموعة النيل العربية - مصر - 2006 .
- 8- " أسس الكيمياء الكهربائية " أ.د. محمد مجدي واصل - دار طبية للنشر والتوزيع والتجهيزات العلمية - مصر 2006 .
- 9- " كيمياء الحفز والسطوح " أ.د. محمد مجدي واصل دار لجامعات للنشر - مصر - 2004 .

10. G.C. Bond, "Catalysis by Metals" Academic Press, New York, 1982.
11. T. B. Grimley, "Chemisorption" edited by W. F. Garner, Butterworths, London 1997.
12. T. I. Taylor, "Catalysis" edited by P. H. Emmett, Reinhold, New York 1997.
13. G. A. Somorjai, "Principles of Surface Chemistry" Prentice-Hall, Englewood Cliffs New Jersey, 1992.
14. K. J. Laidler, "Catalysis" edited by P. H. Emmett, Reinhold, New York 1994.
15. P. H. Emmett, "Catalysis" Reinhold, New York 1994.
16. H. Pines and J. Manassen, "Advances in Catalysis", 1986.
17. A.W. Adamson, "Physical Chemistry of Surfaces" John Wiley and Sons, New York, 1996.
18. A.I.N. Keulemans and G. C. A. Schuit, "The Mechanism of Heterogeneous Catalysis" Elsevier, Amsterdam, 1990.
19. P.G. Ashmore, "Catalysis and Inhibition of Chemical Reactions" Butterworths, London, 1993.
20. G. Wedler, "Chemisorption; An Experimental Approach", Butterworths, London, 1996.
21. H. Moesta, "Chemisorption and Ionization in Metal-Metal Systems" Springer-Verlag, Berlin, 1998.

- 22.D.M. Young and A.D. Crowell , " Physical Adsorption of Gases " , Butterworths , London , 1992 .
- 23.J.H de Boer , " The Dynamical Character of Adsorption " Oxford Univ , Press , 1993 .
- 24.S.Ross and J.P. Oliver , " On Physical Adsorption Interference" New York , 1994 .
- 25.R.H. Griffith and J.D.F. Marsh, "Contact Catalysis" Oxford Univ , Press 1997 .
- 26.N.Taylor and R.Creasy , " Adsorption Desorption Phenomena "Academic Press , London , 1992 .
- 27.S.Glasstone and D.Lewis , "Elements of Physical Chemistry " MacMillan & Co.Ltd, 1992 .
- 28.G.M.Barow, " Physical Chemistry " McGraw-Hill Co , 1993.
- 29.A.W.Adamson, " Physical Chemistry of Surfaces" John Wiley & Sons , 1996.
- 30.P.A.Atkins, " Physical Chemistry" , Oxford Univ, Press , Oxford , 1998 .