

الرنين المغناطيسي النووي (NMR) :

هو طريقة طيفية أكثر أهمية للكيمياء العضوية من التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء. يمكن دراسة العديد من النوى بتقنيات الرنين المغناطيسي النووي ، ولكن الهيدروجين والكربون هما الأكثر شيوعاً. بينما يكشف التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (IR) عن أنواع المجموعات الوظيفية الموجودة في الجزيء فإن NMR تقدم معلومات حول عدد الذرات المميزة مغناطيسياً من النوع الذي تتم دراسته. عند دراسة نوى الهيدروجين (البروتونات) ، على سبيل المثال ، يمكن للمرء تحديد عدد كل نوع من أنواع نوى الهيدروجين المميزة وكذلك الحصول على معلومات تتعلق بطبيعة البيئة المباشرة لكل نوع. يمكن تحديد معلومات مماثلة لنوى الكربون. غالباً ما يكون الجمع بين بيانات الأشعة تحت الحمراء و NMR كافياً لتحديد بنية جزيء مجهول

حالات البرم الذري

العديد من النوى الذرية لها خاصية تسمى البرم : النواة تتصرف كما لو كانت تبرم حول نفسها . في الواقع ، أي نواة ذرية تمتلك إما كتلة فردية ، أو عدد ذري فردي ، أو كلاهما لها زخم زاوي يرمي عزم مغناطيسي. والنوى الأكثر شيوعاً التي تمتلك برم هي



ان نوى النظائر العادية (الأكثر وفرة) من الكربون ^{12}C والأكسجين ^{16}O ليست مدرجة بين تلك التي لها خاصية البرم . ومع ذلك ، فإن نواة ذرة الهيدروجين العادية ، البروتون ، لديها برم. بالنسبة لكل نواة ذات برم ، يُحسب عدد حالات البرم المسموح بها التي يمكن أن تعتمد عليها ويتم تحديدها من خلال عدد الكم البرمي I

لكل نواة ، عدد الكم البرمي I هو ثابت ، وهناك ($1 + 2I$) من حالات البرم المسموح بها بقيم مختلفة تتراوح بين -1 إلى $+1$ مثلاً الهيدروجين له عدد كم البرم $I = 1/2$ وبذلك يملك حالتين من البرم

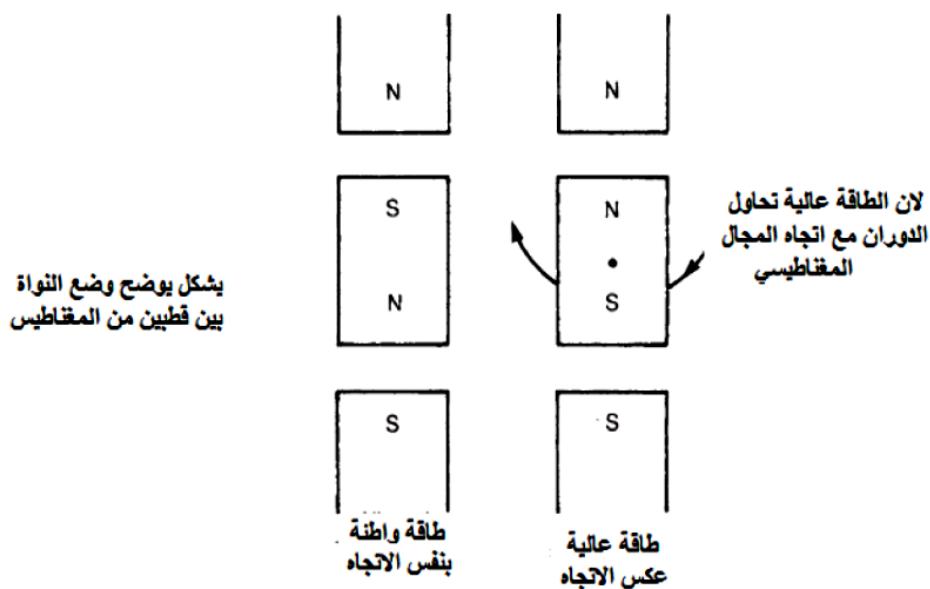
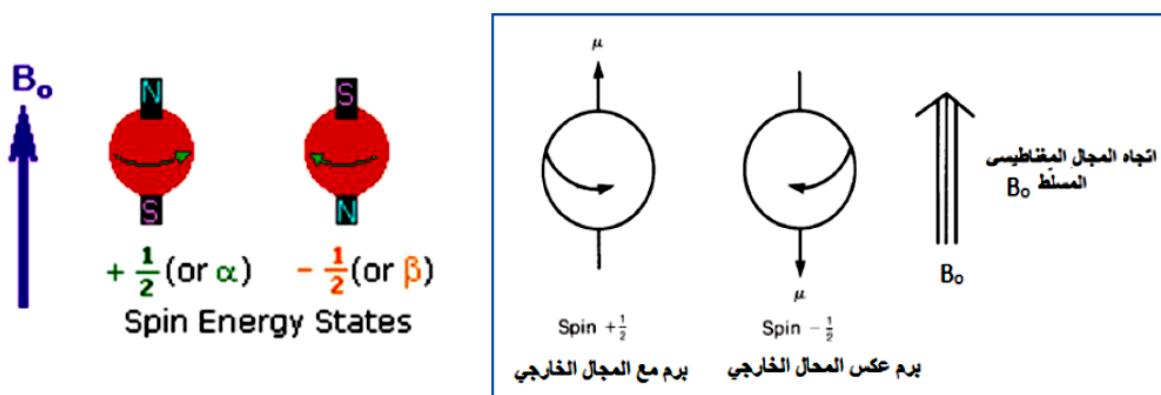
المسموحة هي $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ و $\frac{-1}{2}$

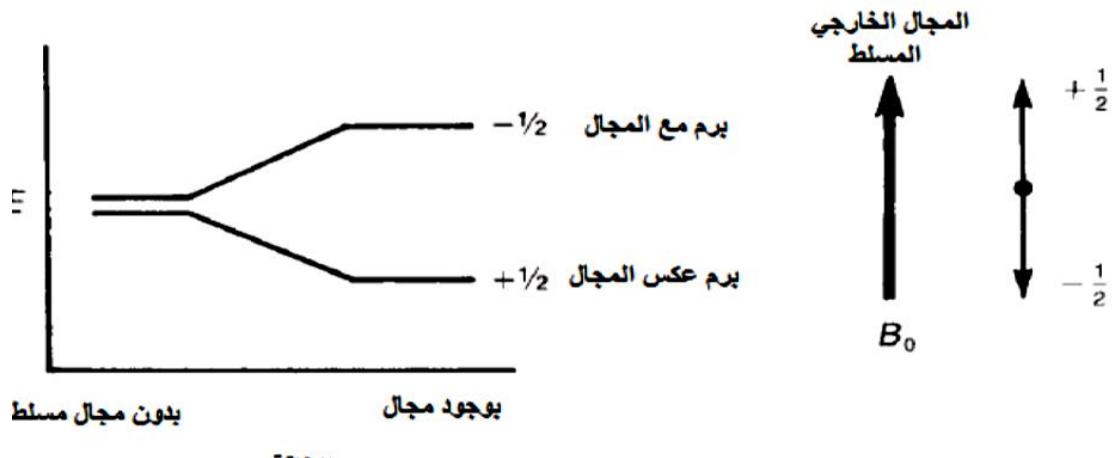
والجدول التالي يوضح اعداد كم البرم لبعض الجزيئات الشائعة

Element	^1H	^2H	^{12}C	^{13}C	^{14}N	^{16}O	^{17}O	^{19}F	^{31}P	^{35}Cl
Nuclear spin quantum number	$\frac{1}{2}$	1	0	$\frac{1}{2}$	1	0	$\frac{5}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$
Number of spin states	2	3	0	2	3	0	6	2	2	4

العزم المغناطيسي الذري NUCLEAR MAGNETIC MOMENTS

النواة هي جسيم مشحون ، وأي شحنة متحركة تولد مجالاً مغناطيسياً خاصاً بها. وبالتالي ، فإن النواة لديها العزم المغناطيسي المتولد عن شحنته وبرم وبذلك فانها تسلك كأنها مغناطيس صغير وإذا ما وضع البروتون في مجال مغناطيسي خارجي فان **عزمها المغناطيسي** يكون في اتجاهين . مثلاً لنواة ذرة الهيدروجين لها دوران برم مع عقارب الساعة $\frac{1}{2} +$ او عكس عقارب الساعة $\frac{1}{2} -$ ، والدوران اذا كان مع اتجاه المجال المغناطيسي المسلط فانه يكون اكثر استقراراً واقل طاقة اما اذا كان عكس اتجاه المجال المغناطيسي المسلط فانه اقل استقراراً . لذا عندما تمتص طاقة من قبل النواة فان مغناطيسية البروتون تتقلب الى وضع اقل استقرار وبطاقة عالية ويكون البرم عكس المجال المسلط و ان الطاقة اللازمة لحدوث انقلاب لدوران البروتون تعتمد على شدة المجال المغناطيسي المسلط B_0

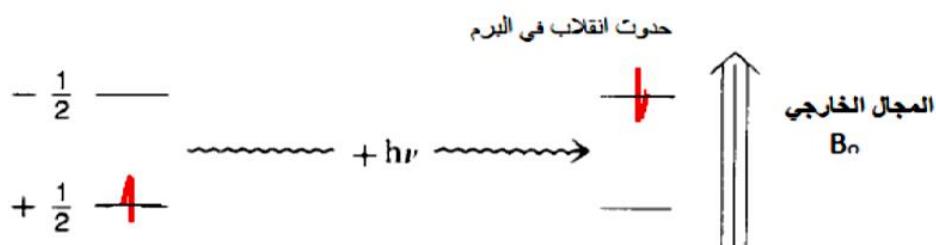




شكل يوضح تأثير المجال الخارجي على مستوى الطاقة للنواة

امتصاص الطاقة ABSORPTION OF ENERGY

تحدث ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي عندما يتم تحفيز النوى إلى مجال مغناطيسي يؤدي إلى امتصاص الطاقة وتغيير اتجاه دورانها فيما يتعلق بالمجال المعرض له . كما موضح بالشكل أدناه إن امتصاص الطاقة هو عملية كمية ، ويجب أن تساوي الطاقة الممتصة فرق الطاقة بين الحالتين المعنيتين



وبما أن امتصاص الطاقة هو عملية كمية ، ويجب أن تساوي الطاقة الممتصة فرق الطاقة بين الحالتين المعنيتين.

$$E_{\text{absorbed}} = (E_{-\frac{1}{2} \text{ state}} - E_{+\frac{1}{2} \text{ state}}) = h\nu$$

$$\nu = h\nu$$

حيث ν = التردد

$$\Delta E = f(\gamma B_0) = h\nu$$

γ = ثابت النواة ونسبة الـ B_0

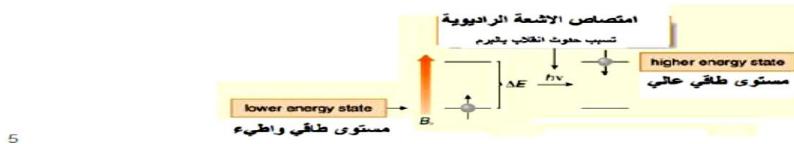
$$\Delta E = \gamma \left(\frac{h}{2\pi} \right) B_0 = h\nu$$

تساوي 26,750 البروتون

$$\therefore \nu = \left(\frac{\gamma}{2\pi} \right) B_0$$

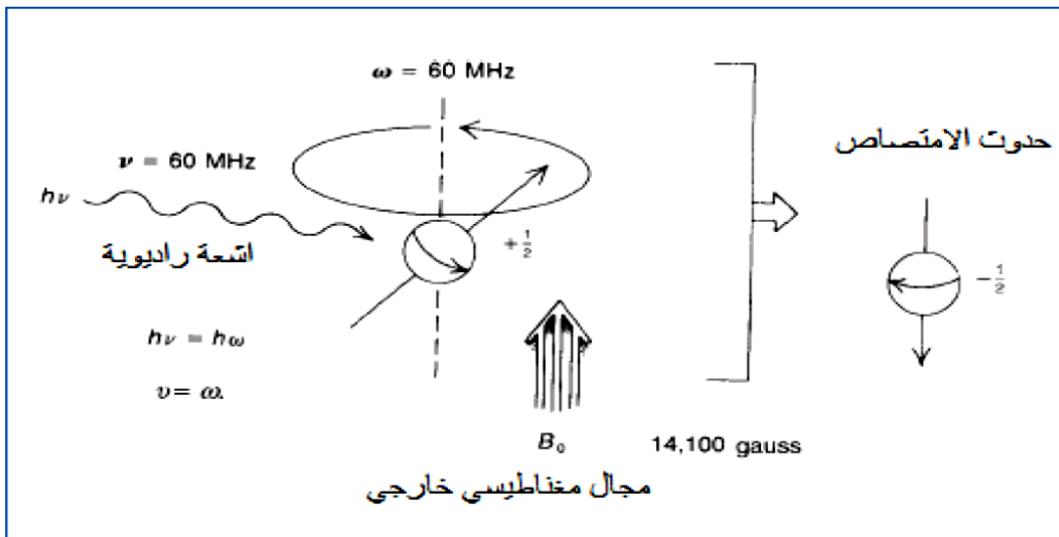
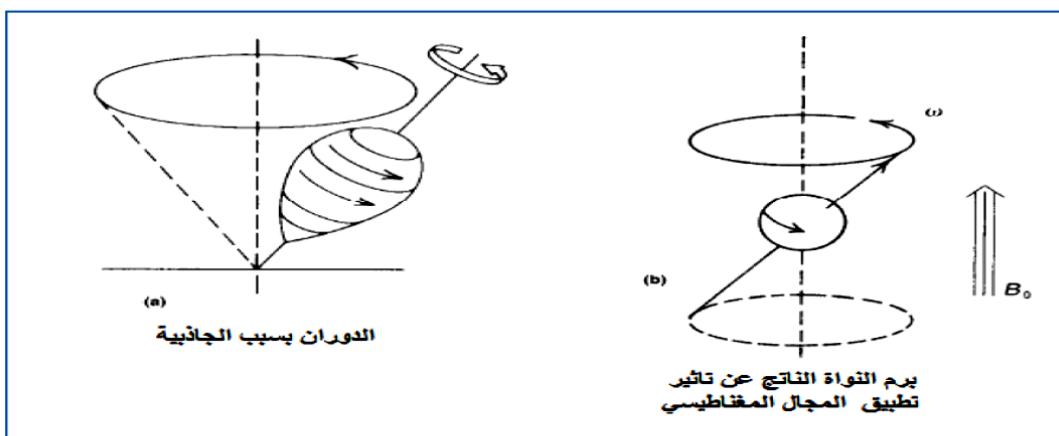
امتصاص الطاقة ABSORPTION OF ENERGY

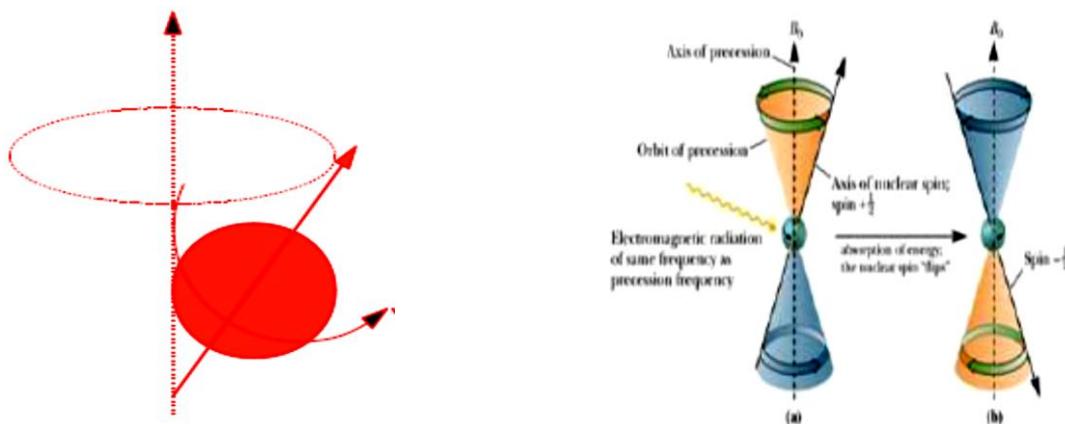
تحدد ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي عندما يتم تحفيز النوى إلى مجال مغناطيسي يؤدي إلى امتصاص الطاقة وتغيير اتجاه دورانها فيما يتعلق بالمجال المعرض له . كما موضح بالشكل أدناه إن امتصاص الطاقة هو عملية كمية ، ويجب أن تساوي الطاقة الممتصة فرق الطاقة بين الحالتين المعنيتين



ميكانيكية امتصاص الطاقة (الرنين) : THE MECHANISM OF ABSORPTION (RESONANCE)

عند تسلیط مجال مغناطيسي خارجي على البروتونات فإنها سوف تدور حول محورها بتردد زاوي (ω) والذي يتناسب مع شدة المجال بصورة طردية . فلو فرضنا ان شدة المجال 4.1 gauss عندها سيكون التردد 60 MHz وهذا يعني ان المجال الكهربائي المتذبذب الناتج من الدوران له نفس التردد عند تسلیط اشعة راديوية بصورة عمودية على اتجاه المجال الخارجي وبنفس التردد 60 MHz على البروتون وهو في حالة دوران فان الطاقة سوف تمتض لانه سيحدث اندماج في الترددین (تردد المركبة الكهربائية المتذبذبة للأشعة الراديوية) (وتردد المجال الكهربائي الناتج من دوران البروتون) ونتيجة لذلك ستصبح الطاقة في اعظمها وعندما تمتض هذه الطاقة وسيحدث تغير في الدوران اي تحدث عملية الرنين والموضحة بالشكل التالي





الكثافة العددية لحالات البرم للنواة

بالنسبة للبروتون ، إذا استخدم مجال مغناطيسيي بقوة تقارب 1.41 تسلس فان الرنين يحدث عند حوالي **60 MHz** ميجا هرتز ، وباستخدام $E = \hbar\omega$ ، يمكننا حساب أن الفرق في الطاقة بين حالات البرم للبروتون حوالي $10^{-5} \times 2.39 \times 10^{-23}$ كيلوجول / مول .

الطاقة الحرارية الناتجة عن درجة حرارة الغرفة كافية لملئ كل من مستويات الطاقة حيث طاقة الفصل بين المستويين صغيرة ، ومع ذلك ، هناك فرق طفيف من النوى في مستوى الطاقة المنخفضة بحالة البرم يمكن حساب حجم هذا الاختلاف باستخدام توزيع بولتزمان كما في المعادلات التالية

$$\frac{N_{\text{upper}}}{N_{\text{lower}}} = e^{-\Delta E/kT} = e^{-\hbar\omega/kT}$$

$\hbar = 6.624 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{sec}$ ثابت بلانك

$k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K} \cdot \text{molecule}$ ثابت بولتزمان

$T = \text{absolute temperature (K)}$ حرارة مطلقة

وباستخدام المعادلة اعلاه ، يمكن أن نحسب أنه عند 298 مطلقة (25 درجة مئوية) ، وجهاز يعمل عند 60 ميجا هرتز ، هناك 1,000,009 نواة في حالة برم بالمستوى الاولى لكل 1,000,000 تشغيل مستوى البرم الاعلى

$$\frac{N_{\text{upper}}}{N_{\text{lower}}} = 0.999991 = \frac{1,000,000}{1,000,009}$$

مثلا اذا كان لدينا 2 مليون نواة فانه فقط 9 نويات تكون الفرق بين المستوى الاعلى والواطأ . في حالة قمنا بزيادة تردد جهاز الرنين المغناطيسي النووي فانه يؤدي الى ازداد فرق الطاقة بين المستويين والجدول التالي يوضح الفرق بين المشتويين مع تغيير تردد جهاز الرنين النووي المغناطيسي .

Frequency (MHz)	Excess Nuclei
20	3
40	6
60	9
80	12
100	16
200	32
300	48
600	96

الازاحة الكيميائية The chemical shift

تعود أهمية الرنين النووي المغناطيسي الى ان البروتونات في الجزيئه عندما تتعرض الى مجال مغناطيسي تعطي رنين وان كل نوع من البروتونات له تردد خاص به ولذلك فان البروتونات الموجودة في الجزيئه تعطي ترددات مختلفة وغير متساوية والسبب يعود الى اختلاف الكثافة الالكترونية حول كل بروتون في الجزيئه . وبما ان البروتونات محاطة بالاlectرونات وهذه الالكترونات تدور حوله مجال مغناطيسي له اتجاه عكس اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي المسلط لذا فان البروتونات تعطي رنين في ترددات مختلفة بحسب الكثافة الالكترونية حول كل نواه . ان الاختلاف في ترددات الرنين هذه تكون قليلة مثلا الفرق في تردد الرنين للبروتونات في كلا من كلوريد الميثيل CH_3Cl وفلوريد الميثيل CH_3F حوالي 72 Hz عندما يكون المجال المغناطيسي المسلط 14100 gauss وبما ان الفرق صغير لذلك يستعمل مرجع داخلي لمادة معينة معروفة توضع مع المادة المراد فحصها وبذلك فان ترددات المادة المراد قياسها تأخذ نسبة الى المرجع الداخلي .

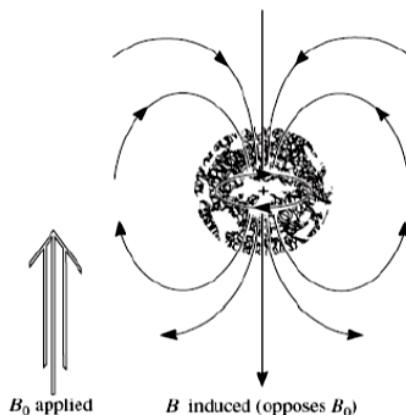
والمرجع المستخدم في قياس تردد البروتونات هو رباعي مثيل السليكون $(\text{CH}_3)_4\text{Si}$ TMS Tetramethyl silane وقد اختير هذا المرجع لأن البروتونات في مجاميع الالكيل تكون محاطة باكبر عدد من الالكترونات واكثر من اي مركب اخر لذلك لحساب اي تردد يأخذ نسبة الى المرجع الداخلي TMS . ان النسبة بين الازاحة وتردد الجهاز المستعمل بـ MHz يطلق عليها بالازاحة الكيميائية وتقاس بالهرتز chemical shift Hz ويرمز لها (δ)

$$\delta = \frac{\text{(shift in Hz)}}{\text{(spectrometer frequency in MHz)}}$$

ان الازاحة الكيميائية هي واحدة مهما اختلف تردد الجهاز مثلا جهاز له تردد 60 MHz وجهاز اخر له تردد 100 MHz فان الازاحة بالهرتز لمادة بروميد الميثيل CH_3Br عن ال TMS تساوي 162 هرتز في جهاز ال 60 MHz وتكون الازاحة 270 هرتز بجهاز 100 MHz وفي كلتا الحالتين فان الازاحة الكيميائية لبروتونات مجموعة الميثيل تساوي $2.7 \text{ ppm} = \delta$

$$\delta = \frac{162 \text{ Hz}}{60 \text{ MHz}} = \frac{270 \text{ Hz}}{100 \text{ MHz}} = 2.70 \text{ ppm}$$

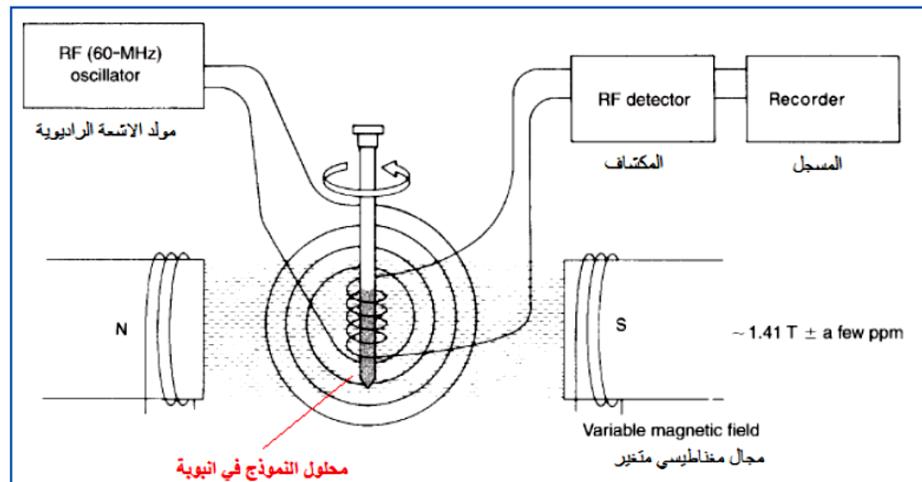
الشكل التالي يوضح دوران الالكترونات تحت تأثير المجال المغناطيسي وبدورانها فانها تولد مجالها المغناطيسي الخاص الذي يكون مضادا للمجال المسلط B_0



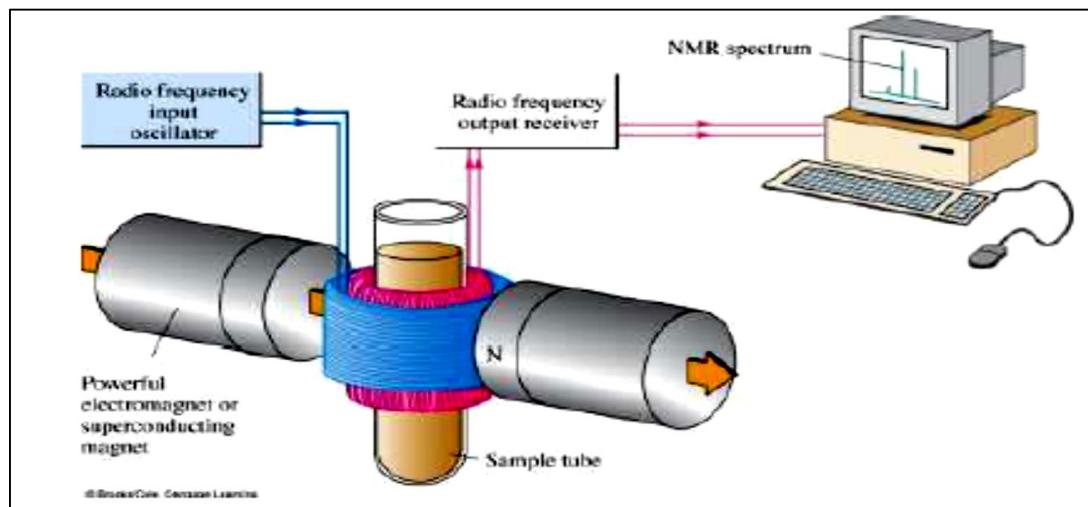
جهاز قياس طيف الرنين النووي المغناطيسي THE NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE SPECTROMETER

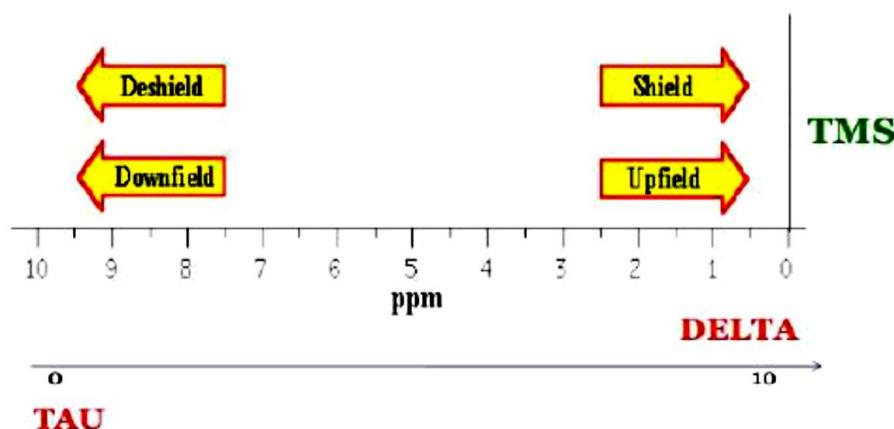
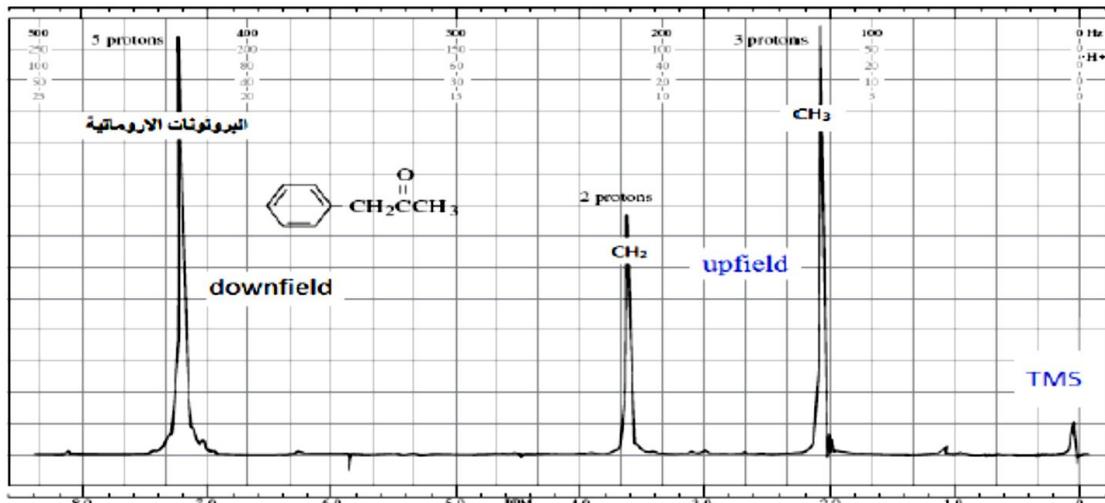
الشكل أدناه يمثل مخطط لجهاز الرنين النووي المغناطيسي بقوة 60MHz . حيث تذاب العينة في مذيب لا يحتوي على البروتونات مثل CCl_4 وتوضع كمية قليلة من TMS كمرجع داخلي ويوضع في انبوبة رفيعة من الكوارتز تعلق الانبوبة بين اقطاب المغناطيسي متمايل ثم تدور العينة بسرعة حول محورها حتى يتجانس المحلول وتتعرض جميع التوبيخات الى مجال مغناطيسي متمايل وتتعرض العينة من خلال لفها سلك الى اشعة راديوية بتردد 60 MHz يطلق عليه مولد الاشعة الراديوية radio frequency generator والذي يولد طاقة كهرومغناطيسية تعمل على تغيير دوران البروتون وعندما تمتص الطاقة من قبل النموذج يحدث رنين ويرسل النموذج ترددات راديوية تنتقل من خلال سلك المكشاف وبعدها تنتقل اشاره الى المسجل حيث يحوالها الى اشارات . والاجهزه الحديثه تستخدم مجال مغناطيسي بانواع مختلفه منها 300MHz و 400MHz و 500 ppm وصولا الى 900MHz والطيف الصادر من الجهاز يكون بتدرجات تبدا من الصفر الى 20 MHz حيث $\delta=0$ يمثل المرجع TMS اما التدرجات على جهة اليمين فيسمى المجال العالي high field بينما التي على جهة اليسار تكون المجال الواطي low field (upfield) . والموضحة

بطيف ال HNMR ادناه



مخطط جهاز الرنين النووي المغناطيسي





ونلاحظ من الطيف اعلاه ظهور ثلات اشارات بالاضافى الى اشارة عن $\delta=0$ تعود الى المرجع TMS وإشارة في المجال العالى عند $\delta=2.1$ ppm تعود الى بروتونات مجموعة CH_3 وسبب ظهور هذه المجموعة في المجال العالى يعود الى الكثافة الالكترونية العالية لهذه المجموعة وان المجال حتى على المجموعة يكون اكثراً لذا يجب ان يزداد المجال المغناطيسي المسلط حتى تظهر في الطيف ولذا تظهر بال المجال العالى بينما تظهر اشارة بالمجال الواطي تعود الى بروتونات الحلقة الاروماتية والسبب ان الكثافة الالكترونية المحيطة بها اقل من كل المجاميع ولها تظهر بالمجال الواطي اما بروتونات مجموعة CH_2 عند ازاحة كيميائية $=3.5$ δ ppm فان الكثافة الالكترونية التي تحيط بها وسط لذا تظهر مجال مغناطيسي اقل من مجموعة ال CH_3

الازاحة الكيميائية والعوامل المؤثرة على موقعها :

اوضحنا سابقاً ان الالكترونات المحيطة بالبروتون تولد مجال مغناطيسي معاكس يؤدي الى حجب وتقليل المجال المغناطيسي المسلط ولذلك يجب ان نزيد من شدة المجال المغناطيسي المسلط على النواة لغرض الحصول على الرنين وبذلك يمكن القول ان الازاحة الكيميائية تعتمد على الحجب الدايمغناطيسي الموضعي .

Local diamagnetic shielding H_0

من العوامل المؤثرة على الازاحة هي :

1- وجود مجاميع او ذرات ساحبة للاكترونات . حيث بسبب الحث الساحب تعمل هذه المجاميع على تقليل الحجب الدايمغناطيسي المتولد من دوران هذه الاكترونات وكما موضح بالجدول ادناه.

تأثير المجموعة الساحبة على الازاحة الكيميائية الى المركب CH_3X

Compound CH_3X	CH_3F	CH_3OH	CH_3Cl	CH_3Br	CH_3I	CH_4	$(\text{CH}_3)_4\text{Si}$
Element X	F	O	Cl	Br	I	H	Si
Electronegativity of X	4.0	3.5	3.1	2.8	2.5	2.1	1.8
Chemical shift δ	4.26	3.40	3.05	2.68	2.16	0.23	0

SUBSTITUTION EFFECTS				تأثير المجموعات		
CHCl_3 7.27	CH_2Cl_2 5.30	CH_3Cl 3.05	$-\text{CH}_2\text{Br}$ 3.30	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Br}$ 1.69	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ 1.25	

نلاحظ من الجدول ان المجاميع الساحبة تقلل الكثافة الالكترونية حول البروتون اي تقل عملية حجب البروتونات عن المجال الخارجي وتزداد عملية التعرية من الاكترونات المحيطة بها

2- تأثير التهجين Hybridization effect

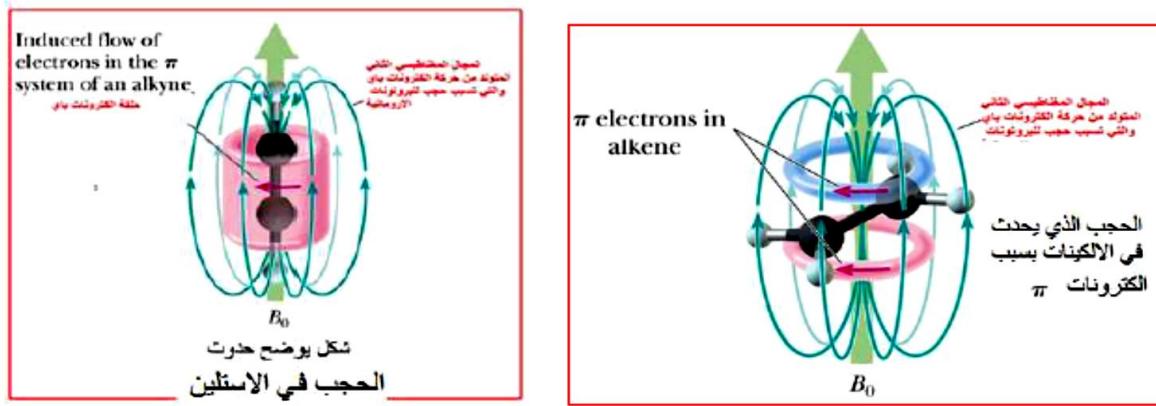
أ) تهجين نوع SP^3 نلاحظ ان كل ذرات الهيدروجين متصله بذرة الكاربون نوع SP^3 يكون لها

رنين بين 0-2 ppm اي تظهر بالمجال العالى

ب) تهجين نوع SP^2 هذا النوع من التهجين تكون به صفة S اكبر اي انها ستكون ساحبة للاكترونات بشكل كبير مما يؤدي الى تعرية الاكترونات ويقل الحجب لذا تظهر اشاراتها في

ازاحة كيميائية اكبر من البروتونات المشبعة وتكون بحدود 6-8 ppm اي تظهر بالمجال الواطئ . اما في الالديهايدات فان الازاحة الكيميائية للبروتونات تظهر عند ازاحة 9-10 ppm بسبب وجود الاوكسجين

ج) تهجين نوع SP مثل على ذلك ذرة الهيدروجين في الاستلين $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ وبما ان نسبة S تصل الى 50% وهي نسبة عالية لذا تكون مجموعة ساحبة للاكترونات لذا تتوقع ان تكون في مجال او طا من الفانلين (بروتونات الاصرة المزدوجة) ولكن اشاراتها تظهر بين 2-3 ppm ولكن والسبب ان الجزيئة خطية والاصرة الثلاثية متناهية حول المحور واذا اصطف المحور مع المجال المغناطيسي فان الكترونات π تدور زاوية عمودية على المجال المسلط فتحث بذلك مجال مغناطيسي مضاد لاتجاه المجال المسلط. وبما ان البروتونات تقع على المحور المغناطيسي فان الخطوط المغناطيسية لقوى المحنة من قبل الكترونات π تعمل على حجب البروتونات مما يجعل الحزم تظهر في المجال العالى (

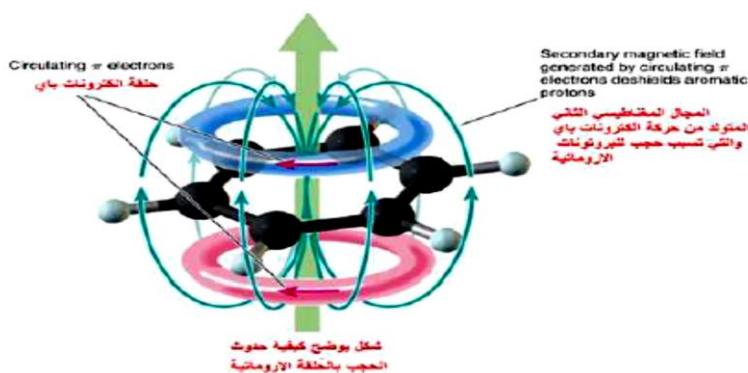


3- وجود الهيدروجين الحامضي او الاصرة الهيدروجينية او البروتونات المترادلة ان اكثر البروتونات ازاحة كيميائية هة بروتون الحامض الكاربوكسيلي حيث تكون 10-12 ppm وذلك لانها اكثر تعرية او اقل حجب وذلك بفعل مجموعة الكاربوكسيل الساحبة وكذلك ذرة الاوكسجين المتصل بذرة الهيدروجين اما الاصرة الهيدروجينية فانها تعطي ازاحة متغيرة ولها مسافات عريضة كما موضحة دناه

Acids	RCOOH	10.5–12.0 ppm
Phenols	ArOH	4.0–7.0
Alcohols	ROH	0.5–5.0
Amines	RNH_2	0.5–5.0
Amides	RCONH_2	5.0–8.0
Enols	$\text{CH}=\text{CH-OH}$	>15

4- عدم التجانس المغناطيسي MAGNETIC ANISOTROPY

تمتلك بروتونات حلقة البنزين ازاحة كيميائية كبيرة 6-8 ppm مقارنة مع بروتونات مجموعة الفانييل او الالكين او الالديهايد والسبب وجود الكترونات π بالقرب من البروتونات وهذه الالكترونات تحت المجال الخارجي المسلط وتدور وتشكل تيار الحلقة الذي يولد مجال مغناطيسي معاكس للمجال الخارجي المسلط والمجال الثاني من دوران الكترونات التكافؤ في ذرة الهيدروجين والمجال الثالث ناشئ من عدم التجانس الحاصل بدوران الالكترونات وهذا يؤدي الى تعرية ذرات الهيدروجين وعدم حجبها بشكل كبير وبالتالي تكون الازاحة كبيرة

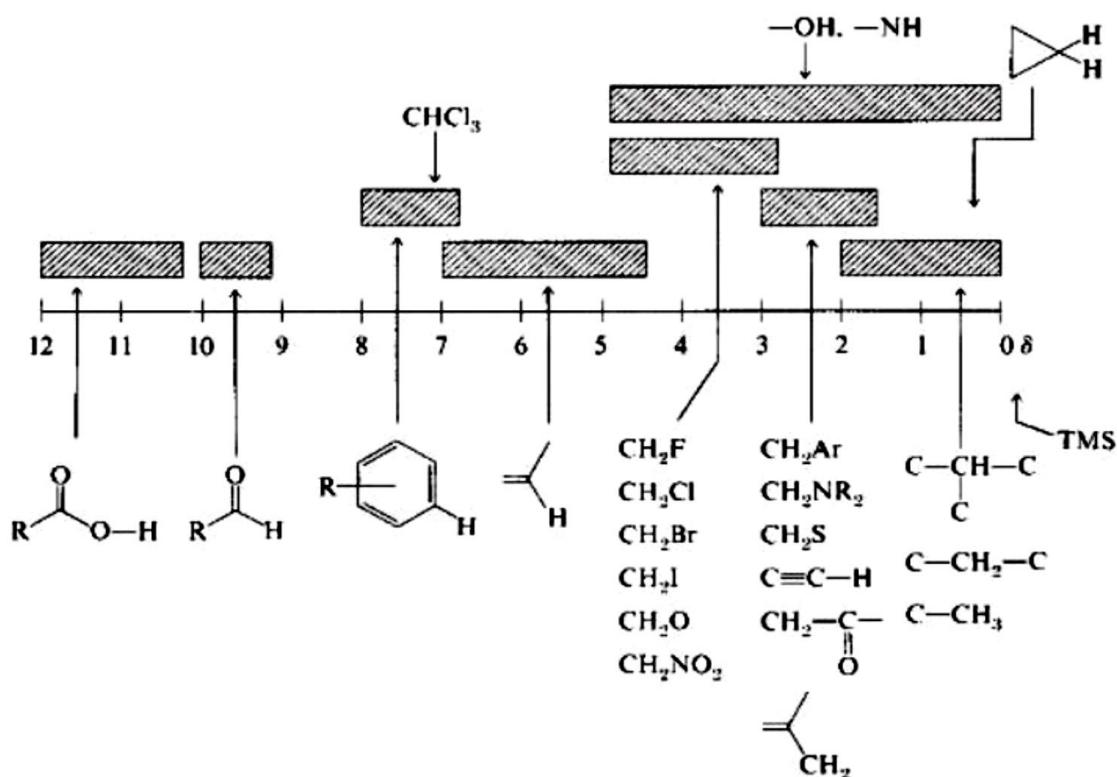


البيئة الكيميائية والازاحة الكيميائية: CHEMICAL ENVIRONMENT AND CHEMICAL SHIFT

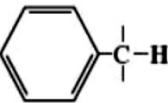
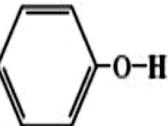
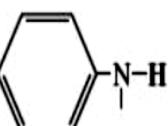
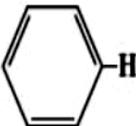
إذا كانت ترددات الرنين لجميع البروتونات في الجزيء هي نفسها ، فإن مطيافية الرنين النووي المغناطيسي لن تكون ذات فائدة تذكر للكيميائي في التشخيصي العضوي. ليس فقط لأنواع مختلفة من البروتونات وازاحات كيميائية مختلفة ، ولكن لكل منها أيضاً قيمة مميزة للإزاحة الكيميائية. فإن القيمة العددية (بالوحدات أو جزء في المليون) من يعطي الإزاحة الكيميائية للبروتون فكرة عن نوع البروتون الذي ينشأ الإشارة ، تماماً كما يعطي تردد الأشعة تحت الحمراء فكرة بشأن نوع الرابطة أو المجموعة الوظيفية.

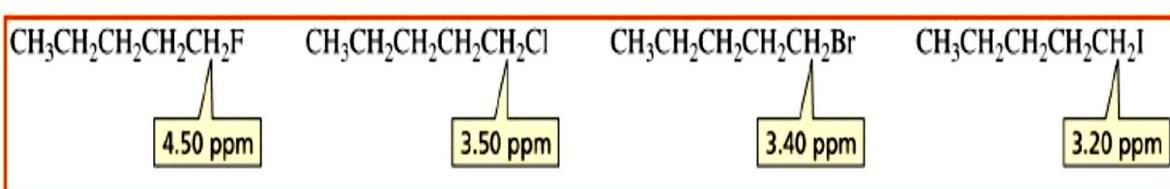
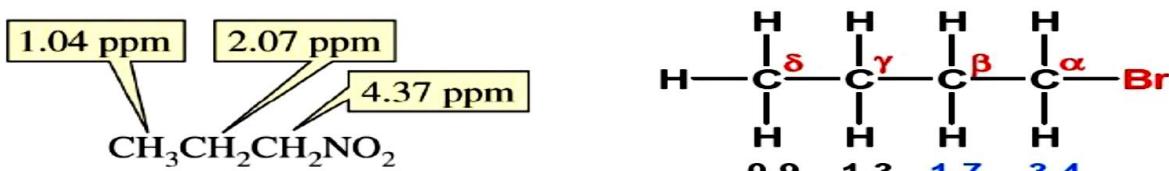
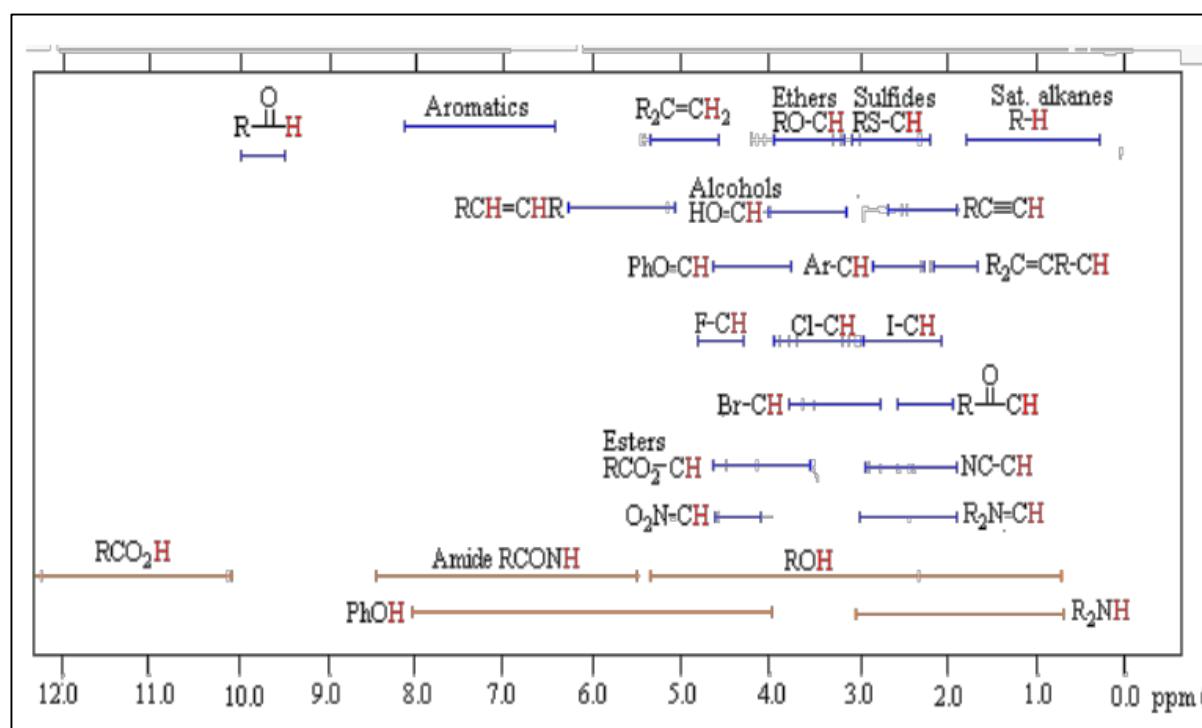
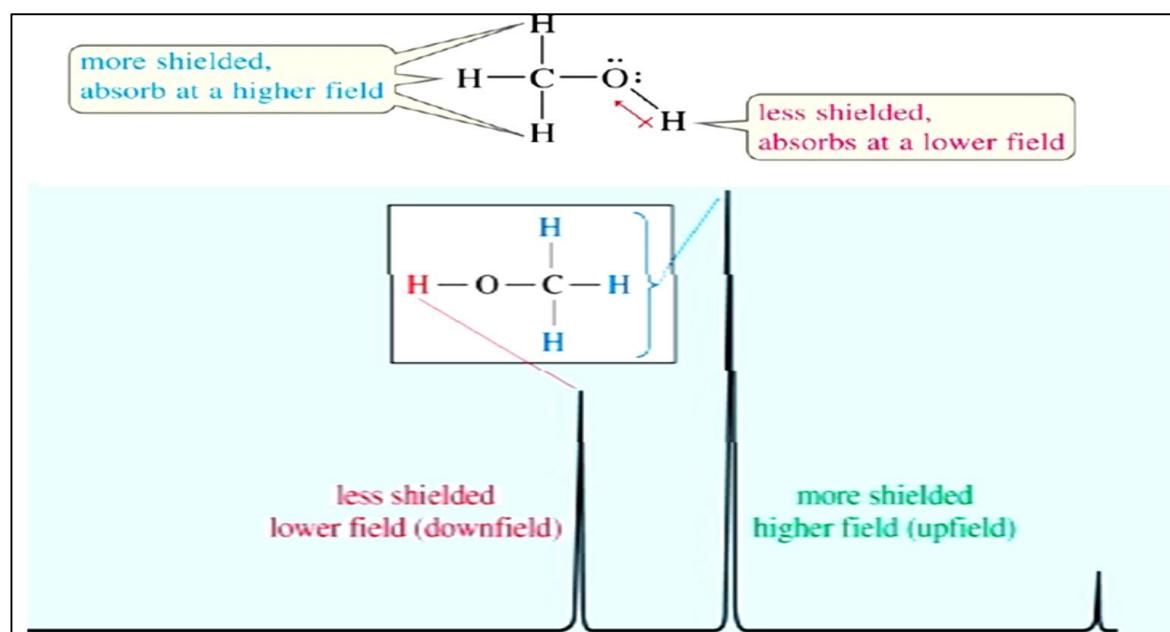
على سبيل المثال ، لاحظ أن البروتونات الارomaticية لكل من فينيل أسيتون وأسيتات البنزيل لها الإزاحة الكيميائية بالقرب من 7.3 ppm ، وأن كلًا من مجموعات الميثيل المرتبطة مباشرة بالكربونيل لها رنين عند حوالي 2.1 ppm. تتميز البروتونات الارomaticية ان لها ازاحة كيميائية بشكل مميز بالقرب من 7-8 ppm ، في حين أن مجموعات الأسيتايil (مجموعات الميثيل من هذا النوع) لها رنين بالقرب من 2 ppm .

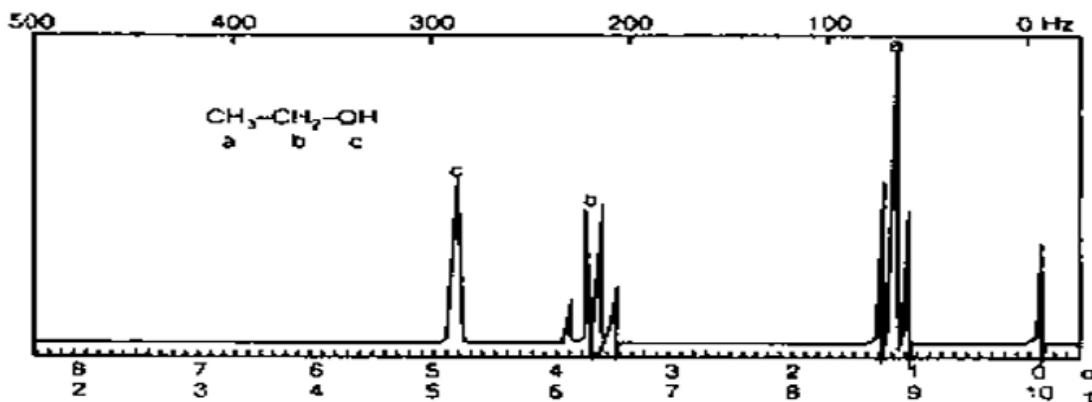
ان قيم الزاحة الكيميائي هذه تشخيصية للمركبات العضوية . لاحظ أيضًا كيف أن رنين بروتونات البنزيل (-CH₂-) يأتي بقيمة أعلى من الإزاحة الكيميائية (5.1 ppm) بروتونات ألاسيتون (3.6 ppm). كونها مرتبطة بالاوكسجين ، والشكل والجدول التاليين يوضحان مدى الإزاحة الكيميائية لبروتونات بعض المركبات .



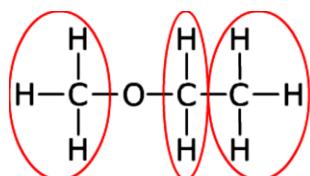
جدول يوضح نوع البروتون والازاحة الكيميائية

$R-CH_3$	0.7 – 1.3	$R-N-\overset{ }{C}-H$	2.2 – 2.9	
$R-CH_2-R$	1.2 – 1.4			
R_3CH	1.4 – 1.7	$R-S-\overset{ }{C}-H$	2.0 – 3.0	
<hr/>				
$R-\overset{ }{C}=\overset{ }{C}-\overset{ }{C}-H$	1.6 – 2.6	$I-\overset{ }{C}-H$	2.0 – 4.0	
$R-C(=O)-C(H)-, H-C(=O)-C(H)-$	2.1 – 2.4	$Br-\overset{ }{C}-H$	2.7 – 4.1	
$RO-C(=O)-C(H)-, HO-C(=O)-C(H)-$	2.1 – 2.5	$Cl-\overset{ }{C}-H$	3.1 – 4.1	
$N\equiv C-\overset{ }{C}-H$	2.1 – 3.0	$R-S(=O)-O-\overset{ }{C}-H$	ca. 3.0	
	2.3 – 2.7	$RO-\overset{ }{C}-H, HO-\overset{ }{C}-H$	3.2 – 3.8	
$R-C\equiv C-H$	1.7 – 2.7	$R-C(=O)-O-\overset{ }{C}-H$	3.5 – 4.8	
<hr/>				
$R-S-H$	var	1.0 – 4.0 ^b		
$R-N-H$	var	0.5 – 4.0 ^b	$F-\overset{ }{C}-H$	4.2 – 4.8
$R-O-H$	var	0.5 – 5.0 ^b	<hr/>	
	var	4.0 – 7.0 ^b	$R-C(=C)-H$	4.5 – 6.5
	var	3.0 – 5.0 ^b		6.5 – 8.0
$R-C(=O)-N-H$	var	5.0 – 9.0 ^b	$R-C(=O)-H$	9.0 – 10.0
$R-C(=O)-N(H)$	var	5.0 – 9.0 ^b	$R-C(=O)-OH$	11.0 – 12.0

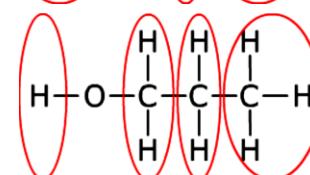




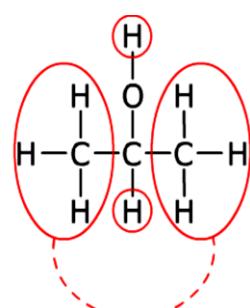
Number of neighbouring non-equivalent H atoms <i>n</i>	Number of peaks produced by splitting <i>n+1</i>	Name	Ratio of peak heights
0	1	singlet	1
1	2	doublet	1:1
2	3	triplet	1:2:1
3	4	quartet	1:3:3:1



methoxyethane
three peaks
ratio 3:2:3

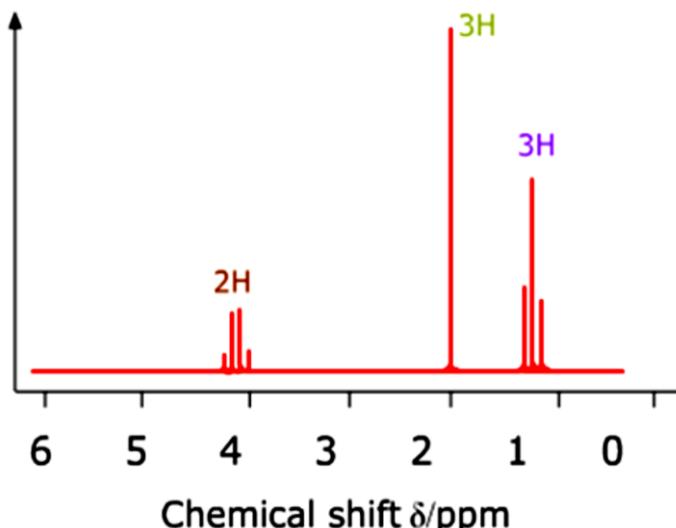
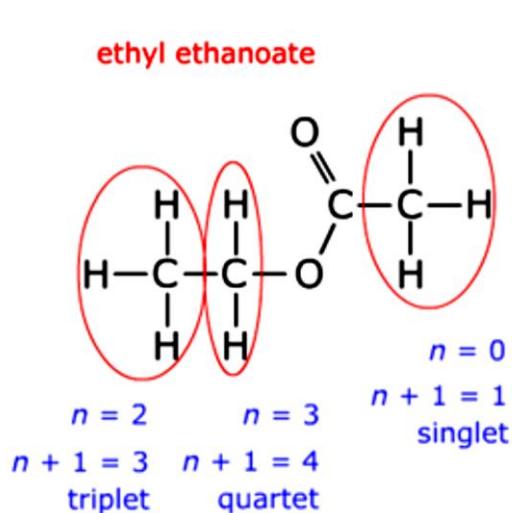


propan-1-ol
four peaks
ratio 1:2:2:3

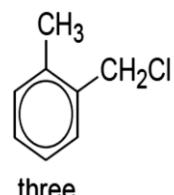
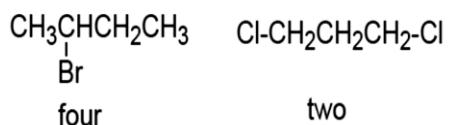
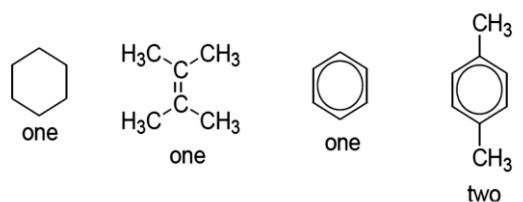


propan-2-ol
three peaks
ratio 6:1:1

same chemical environment



عدد الاشارات



انواع الازاحة الكيميائية

