محاضـــــــــرات فـــــي الرنيــن النـووي المغنـاطيسي

دكتور خالـد علـي

الفصل الأول

الخواص المغناطيسية للمواد

التركيب الذري والخواص المغناطيسية للمواد

يتألف العالم الذي يحيط بنا من مواد عديدة مختلفة عن بعضها، منها ما هو حي والأخرى جماد، حيث نرى في كثير من الاحيان كيف تتغير المادة من شكل كيميائي الى آخر. بذلت جهود كثيرة منذ القدم لشرح هذه الظواهر وتصدى لها كثير من الفلاسفة القدامى للتعرف على طبيعة مكونات الكون الذي صنع منه. كان الفيلسوف اليوناني ديموقريتس (القرن الخامس قبل الميلاد) أول من فكر في بنية المادة واعتبرها مؤلفة من دقائق صغيرة لا تتجزأ (Indivisible) وأسماها بالذرة (Atomos) أي الذي لا يتجزأ، واعتقد كذلك ان الذرات لا يمكن استحداثها او تحطيمها او تجزئتها، وتنص افكارها على ما يلي:

- ❖ تتكون المادة من ذرات تتحرك في الفراغ
- ❖ الذرات صلبة ومتجانسة ولا تفنى ولا تستحدث
- ❖ الانواع المختلفة من الذرات لها احجام واشكال مختلفة
- ❖ حجم الذرات وشكلها وحركتها يحدد خواص المادة

ان كثيرا من افكار ديموقريتس لا تتفق مع النظرية الحديثة للذرة، بل ووجهت بانتقادات من الفلاسفة الاخرين وقتها حيث تساءلوا ما الذي يربط الذرات معا ولم يستطع ديموقريتس الاجابة عن هذا السؤال.

نظرية دالتون الذرية

مع بداية العلم الحديث في مطلع القرن السابع عشر في أوروبا، انتعشت فكرة الذرة من جديد وذلك من خلال دراسات حول خواص الغازات، ومن خلال قياسات للمواد المتفاعلة كيميائياً لتعطي مواد جديدة. واستطاع العالم الإنجليزي جون دالتون، شكل (1)، صياغة مفهوم جديد حول بنية المادة وذلك من خلال وضع الافتراضات التالية:

1. يتألف كل عنصر من دقائق متناهية الصغر تدعى ذرات
2. جميع ذرات عنصر ما متماثلة، أي ذرات عناصر مختلفة هي مختلفة عن بعضها وحتى في خواصها ومن بينها اختلاف في كتلتها
3. لا تتغير ذرات عنصر ما عند تفاعلها الكيميائي إلى ذرات من نوع آخر. ولا تتغير ولا تفنى الذرات في التفاعلات الكيميائية

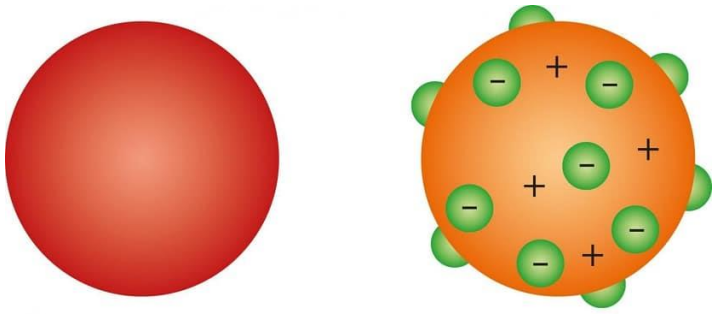
4. تتشكل المركبات عند اتحاد ذرات أكثر من عنصر مع بعضها، وللمركب الناتج نفس النسبة العددية والنوع من الذرات

هذه الافتراضات الأربع هي المقومات الرئيسة لنظرية عرفت فيما بعد باسم نظرية دالتون الذرية وهي المكونات الأساسية لبناء المادة.

شكل 1 العالم الإنجليزي جون دالتون (1766-1844)

نظرية طومسون للذرة

توصل طومسون بعد تجارب عديدة أجراها لمعرفة طبيعة جسيمات الذرة وخواصها إلى أن الذرة تتكون من كرة من الكهرباء الموجبة مغروسًا فيها عدد من الالكترونات تكفي لضمان الحيود الكهربائي كما مبين في شكل (2).

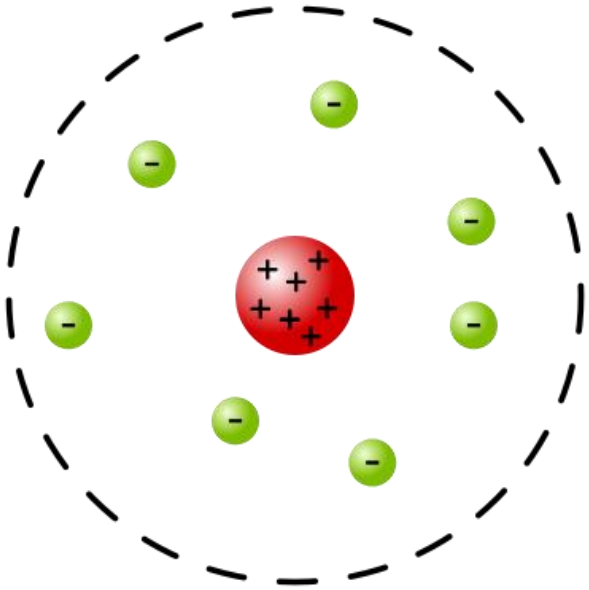


شكل 2 نموذج طومسون الذري

نظرية رذرفورد للذرة

توصل العالم رذرفورد بعد تجارب أجراها على صفيحة رقيقة من الذهب إلى تصور آخر للذرة اعتبر فيه أن الشحنات الموجبة وكتلة الذرة مركزة في نواتها وأن النواة محاطة بإلكترونات سالبة الشحنة، شكل (3). يمكن التعبير عن نظرية رذرفورد بالفروض التالية:

1. الذرة تشبه المجموعة الشمسية. نواة مركزية يدور حولها على مسافات شاسعة الالكترونات سالبة الشحنة.
2. الذرة معظمها فراغ لأن الذرة ليست مصمتة وحجم النواة صغير جداً بالنسبة لحجم الذرة.
3. تتركز كتلة الذرة في النواة لأن كتلة الالكترونات صغيرة جداً مقارنة بكتلة مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات.
4. يوجد بالذرة نوعان من الشحنة شحنة موجبة بالنواة وشحنات سالبة على الإلكترونات.
5. الذرة متعادلة كهربياً لأن عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات)
6. تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات خاصة.
7. ثبات الذرة يعود إلى وقوع الإلكترونات تحت تأثير قوتين متضادتين في الاتجاه متساويتين في المقدار هما قوة جذب النواة للإلكترونات وقوة الطرد المركزي الناشئة عن دوران الإلكترونات حول النواة.



شكل 3 نموذج رذرفورد الذري

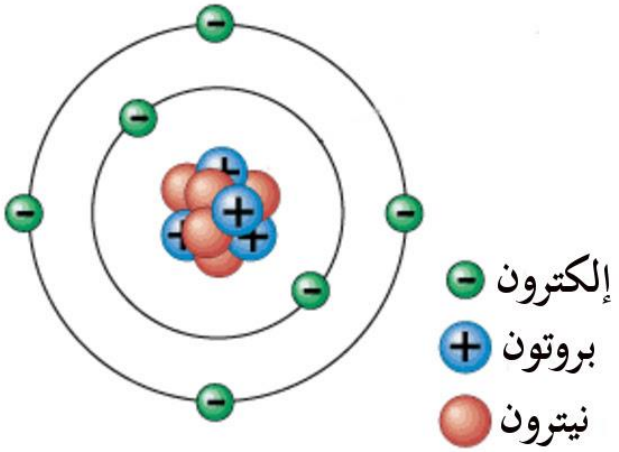
نموذج بور الذري

هو تحسين لنموذج رذرفورد الذري، وقد اقترح من قبل بور في عام 1913. افترض في هذا النموذج أن كل الصعوبات الموجودة في مبدأ رذرفورد غير موجودة. النموذج الذري الحديث مشابه لنموذج بور الذري. فاستبقى بور في نموذجه النواة ذات الشحنة الموجبة في المركز، كما وافق على أن الإلكترونات ذات الشحنة السالبة تدور حول النواة في مدارات دائرية. طبق بور النظرية الكمية على الالكترونات الدائرة لتمتد إلى نموذجه. ولتوضيح حركة الإلكترون في الذرة، اقترح بور الفرضيات الآتية:

1. تستمر الالكترونات بالدوران في مداراتها النسبية بدون فقد طاقة. طبقا لهذه النظرية تبقى طاقة الإلكترون ثابتة طالما أن الإلكترون يبقى في نفس المدار. يقود هذا المفهوم إلى أن كل مدار يقترن بطاقة محددة. لهذا تعرف المدارات بمستويات الطاقة أو أغلفة (جدران) الطاقة.
2. المدار الأصغر (المدار الأول من النواة) ذو طاقة أقل والمدار الأبعد (المدار الأخير من النواة) ذو طاقة أعظمية.
3. تنبعث الطاقة بواسطة الإلكترون عندما يتحرك من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى، أو بكلام آخر من المدار الأبعد عن النواة إلى المدار الأقرب منها. بشكل مشابه تمتص الطاقة بواسطة الإلكترون عندما يتحرك من مستوى الطاقة الأقل إلى مستوى الطاقة الأعلى

مكونات الذرة

تتكون الذرة كما في شكل (4) من نواة محاطة بإلكترونات سالبة الشحنة تسمى الالكترونات وتتركز كتلة الذرة في نواتها التي تتكون من عدد محدد من جسيمات موجبة الشحنة تسمى البروتونات وأخرى متعادلة الشحنة تعرف بالنيترونات. للبروتونات والنيترونات الكتلة نفسها تقريباً وتساوي وحدة الوزن الذري (Atomic Mass Unit a.m.u)، وتشغل النواة حيزاً صغيراً بالنسبة لنصف قطر الذرة الذي يقدر بحوالي 10^{-8} سم وهذا يعني تمركز جزء كبير من الذرة بشحنة موجبة في جزء صغير منها هو النواة، وقد تأكد هذا من كل من نتائج الأبحاث التي أجراها رذرفورد عام 1913 التي تعتمد على تشتت جسيمات ألفا ومن الحسابات الحديثة لنصف قطر النواة يساوي 10^{-12} سم. يطلق على البروتونات والنيترونات المكونة للنواة عدد الكتلة (Number mass) للذرة أما عدد البروتونات داخل النواة أو عدد الالكترونات خارج النواة فيسمى العدد الذري (Number Atomic)، والالكترونات جسيمات سالبة الشحنة وكتلتها أقل بكثير من كتلة البروتون أو النيترون بحوالي (1837/1) من كتلة البروتون أو النيترون، كمية الشحنة السالبة على الالكترون تساوي كمية الشحنة الموجبة على البروتون، لذا ولكون الذرة متعادلة كهربائياً فإنه لابد وأن يتساوى عدد البروتونات والالكترونات وباختصار فإن الذرة مكونة من نواة تحتوي بشكل أساسي على جسمين هما البروتون والنيترون وذين الجسمين يشكلان معظم كتلة النواة. تحاط نواة الذرة بإلكترونات موزعة في الحيز المتبقي من حجم الذرة ويبين الجدول التالي الخواص الطبيعية للجسيمات الثلاثة.



شكل 4 نموذج مبسط عن تركيب الذرة

جدول (1) الجسيمات الأولية في الذرة

الجسيم	الكتلة بالغرام	رقم الكتلة (وحدة a.m.u)	الشحنة
Proton	1.67×10^{-24}	1.007276	+1
Neutron	1.67×10^{-24}	1.0008665	0
Electron	9.22×10^{-28}	0.0005486	-1

مكونات النواة

البروتون

البروتون هو جسيم موجب الشحنة يوجد داخل النواة ويطلق الاسم نفسه على ذرة الهيدروجين التي فقدت الكترونها الخارجي، وتعادل شحنة البروتون شحنة الالكترون بالقيمة المطلقة أما كتلة البروتون فتساوي بالتقريب كتلة ذرة الهيدروجين مطروحاً منها كتلة الالكترون.

النيترون

جسيم متعادل الشحنة يوجد داخل النواة اكتشفه العالم شادويك عام 1932م حيث لاحظ أن قذف ذرة البيريليوم (Be) بجسيمات ألفا جعلها تطلق أشعة ذات سرعة عالية تساوي 1/10 من سرعة الضوء وقدرة عالية على الاختراق، هذه الأشعة لا تتأثر بالمجال المغناطيسي أو الكهربائي، وقد أمكن فهم فكرة النظائر بسهولة بعد اكتشاف هذه الجسيمات. النيترونات مهمة للمحافظة على ثبات الذرة لأنها تقلل من قوى التناظر بين البروتونات داخل النواة.

الالكترون

جسيم صغير جداً يحمل شحنة سالبة يستدل عليه بظهور انبعاث عند قذف ألواح مغطاة بكبريتيد التوتياء شعاع المهبط. استطاع العالم طومسون عام 1897م التعرف على الالكترون ثم تمكن العالم مليكان عام 1913م من قياس شحنة الالكترون والتي تساوي 6.021×10^{-19} كولوم ومن قياس كتلته التي تساوي 11.9×10^{-28} جرام.

العدد الذري

العدد الذري للعنصر يساوي عددياً قيمة الشحنة الموجبة في نواة الذرة أو عدد البروتونات في النواة. وبما أن الذرة تحوي عددا متساويا من البروتونات والإلكترونات. فان العدد الذري للعنصر يمكن أن يعرف بعدد الإلكترونات الموجودة خارج نواة ذرته. وهكذا فالعدد الذري خاصية أساسية للذرة ويرمز له بالحرف Z. ويكتب عادة في أسفل رمز العنصر في الذرة المتعادلة كهربياً.

الوزن الذري

يدعى بالكتلة الذرية أو رقم الكتلة. فالوزن الذري يساوي عدديا مجموع البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة. ويعبر عن الوزن الذري رياضيا بما يلي:

$$\mathrm{A} = \text{No. of protons} + \text{No. of Neutrons}$$

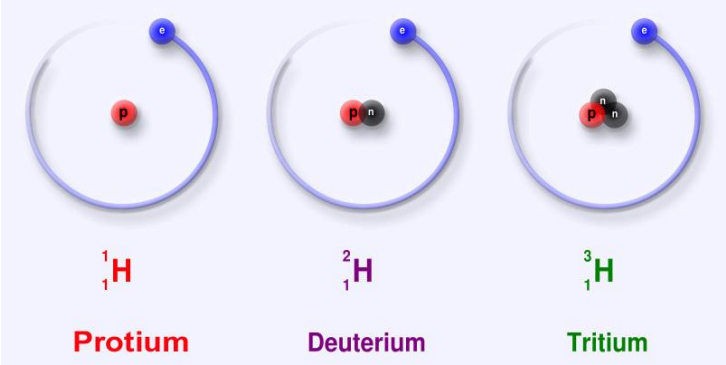
فعلى سبيل المثال: تملك ذرة الكلور 17 بروتونا و18 نيوترونا في نواتها، لهذا فالوزن الذري هو 35 والعدد الذري هو $Z = 17$. ويكتب عادة في أعلى رمز العنصر. انظر المثال الآتي:

النظائر

تدعى ذرات العنصر ذات الكتل المختلفة بالنظائر، فالعدد الذري لنظائر العنصر يبقى ثابتا وهذه خاصية أساسية للعنصر. وبما أن العدد الذري لنظائر العنصر ثابت، فهي تحوي العدد نفسه من البروتونات والإلكترونات والاختلاف في كتلها بسبب الاختلاف في عدد النيوترونات الموجودة في النواة. نأخذ عنصر الكلور عدده الذري 17. فالكلور يملك نظيرين بوزن ذري 35 و37 لهذا فنظيرا الكلور ذات 17 بروتون و17 إلكترون لكل منهما، فذرة الكلور ذات رقم الكتلة 35 تحوي 17 بروتون و18 نيوترون، بينما ذرة الكلور ذات رقم الكتلة 37 تحوي 17 بروتون و20 نيوترون. نأخذ عنصر الهيدروجين حيث عدده الذري يساوي الواحد. يوجد الهيدروجين بثلاثة أشكال من النظائر:

- الهيدروجين العادي ذو الوزن الذري 1
- الديتيريوم ذو الوزن الذري 2
- التريتيوم ذو الوزن الذري 3

كل النظائر الثلاث للهيدروجين كما في شكل (5) تحوي بروتوناً واحداً وإلكتروناً واحداً لكنّ لها عدداً مختلفاً من النيوترونات. فذرة الهيدروجين العادي لا تحوي نيوتروناً وذرة الديتيريوم تملك نيوتروناً واحداً، بينما ذرة التريتيوم تملك نيوترونين في النواة.



شكل 5 نظائر الهيدروجين

مبدأ الشك أو عدم التحديد

يمثلّ هذا المبدأ الذي اشتقه عالم الفيزياء الألماني هايزنبيرج Heisenberg عام 1927م إحدى النتائج المهمّة للطبيعة الموجيةّ-الجّسيمية للمادةّ. وينصّ هذا المبدأ على أنهّ من المستحيل تعيين موقع الإلكترون (وغيره من الجسيمات الأولية) وكمية حركته أو سرعته بدقةّ في آن واحد؛ وذلك لأنّ تعيين أحدهما (الموقع على سبيل المثال) بدرجة متناهية من الدقةّ تجعل تعيين الآخر (كمية الحركة) بدرجة من الدقة أقل بكثير ممّا هو عليه الحال بالنسبة إلى الأول (الموقع)، والعكس صحيح.

الأعداد الكمية

بينت الدراسات الطيفية مؤخراً بأن الطاقة لكل الإلكترونات التي تنتمي لمستوى طاقة معين ليست واحدة، بل تختلف من واحد للآخر. لذلك استنتج بأنه من غير الممكن التوضيح الكامل لطاقة وموقع الإلكترون في الذرة بمساعدة عدد كمي واحد (n). فقد بينت الدراسات المتقدمة بأن هناك أعداداً كمية توضح بشكل كامل طاقة الإلكترونات وموقعها في الذرة.

العدد الكمي الرئيسي (n)

يعطي هذا العدد الكمي معلومات حول مستوى الطاقة الرئيسي الذي ينتمي له الإلكترون. فيأخذ هذا العدد فقط قيماً صحيحة 1 ,2 , 3 ..... وهكذا. فمن أ جل مستوى الطاقة الأول $n = 1$ ومن أجل مستوى الطاقة الثاني $n = 2$ وهكذا. وتكون السعة الإلكترونية لمستوى الطاقة الرئيسي كما من الصيغة $(2 \times n^2)$.

العدد الكمي الفرعي أو الثانوي (L)

يعطي هذا العدد الكمي معلومات حول شكل المستوى الفرعي لمستوى الطاقة الرئيسي الذي ينتمي له الإلكترون. فيأخذ هذا العدد أيضا فقط قيماً صحيحة. لكن قيمته تعتمد على n فإن القيم المختلفة ل L تتراوح من 0 إلى $n-1$ ، فمن أجل قيمة $n=4$ كما في الجدول (2) فالقيم ل L هي 0,1,2&3 . وتكون السعة الإلكترونية لمستوى الطاقة الفرعي $2(2L+1)$ وهذا ما يوضحه الجدول (2). وللتمييز بين إلكترونات المدارات الثآنوية يصُطلح، عادةً، على تسمية الإلكترونات بأسماء المدارات الثآنوية ذاتها، فنقول الإلكترونات s والإلكترونات p والإلكترونات d، وهكذا. وتتميزّ المدارات الثآنوية s p d, f, … بأشكالها المختلفة المطابقة لأشكال السّحابات الإلكترونية العائدة لإلكترونات هذه المدارات.

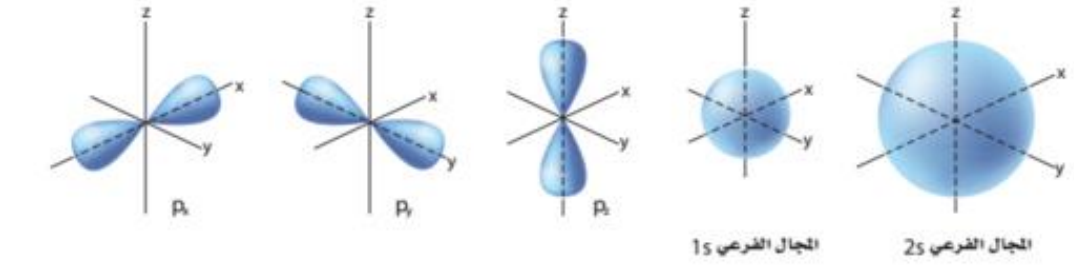
جدول (2) الأعداد الكمية (n, L) والمدارات الإلكترونية المرافقة

العدد الكمّي الرّئيس (n)	1	2	3
الطّبقة الإلكترونية الرّئيسة	K	L	M
العدد الكمّي الثآنوي (l)	0	0, 1	0, 1, 2
المدار الثآنوي	1s	2s, 2p	3s, 3p, 3d

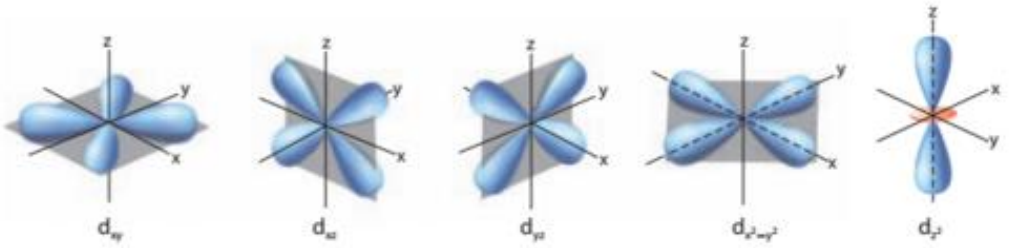
العدد الكمي المغناطيسي

أُكتشف عدد الكم المغناطيسي كما في شكل (6) باستخدام مغناطيس قوى فوُجد ان خط الطاقة الواحد عبارة عن عدد فردى من خطوط الطاقة ويتميز بالآتي:

- يحدد عدد أوربيتالات (المدار او الفلك الذي يدور فيه الالكترونات) المستويات الفرعية
- يحدد اتجاهاتها الفراغية
- كل مستوي فرعي يحتوي على عدد فردي من الأوربيتالات
- تحدد قيمه بواسطة قيمة L والمجال لهذه القيم من $(-L \rightarrow 0 \rightarrow +L)$ وأقصي عدد يكون $2L+1$ فمن أجل $L=1$ فالقيم المختلفة لـ ml هي $-1, 0, +1$, كما هو موضح في الجدول (3)



a. المستويات الفرعية s جميعها كروية وتزداد أحجامها مع ازدياد العدد الكمي الرئيس. b. المستويات p الفرعية الثلاثة أشكال فصية موجهة نحو المحاور الثلاثة x,y,z.



c. أربعة من مستويات d الفرعية لها الشكل نفسه، ولكنها تقع على مستويات في اتجاهات مختلفة. أما المستوى الفرعي d_{z^2} فله شكله المميز.

شكل 6 العدد الكم المغناطيسي

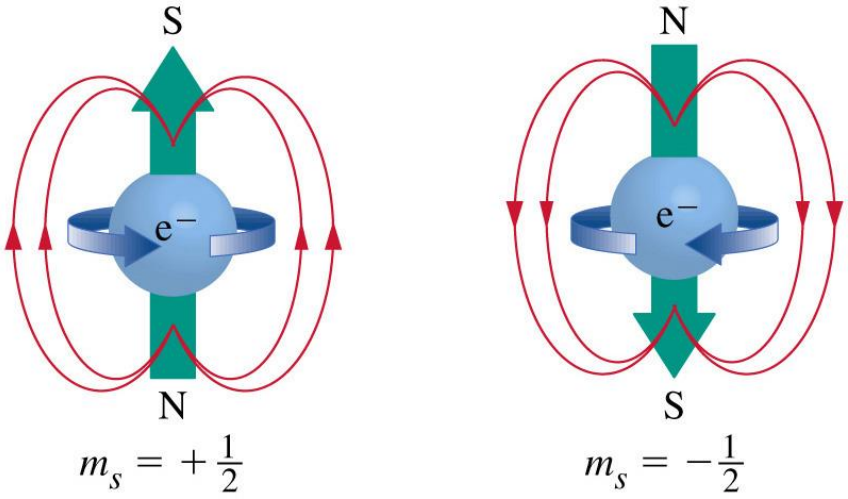
جدول (3) توزيع إلكتروني على المستويات الفرعية

المستوى الفرعي	عدد المجالات (عدد المدارات) في المستوى الفرعي / m								عدد الإلكترونات التي يستوعبها المستويات الفرعية /
S = 0	واحد				0				(2) إلكترون
P = 1	ثلاثة			-1	0	+1			(6) إلكترون
D = 2	خمسة		-2	-1	0	+1	+2		(10) إلكترون
f = 3	سبعة	+3	+2	-1	0	+1	-2	-3	(٤١)إلكترون

العدد الكمي المغزلي

يقدم هذا العدد الكمي كما في شكل (7) معلومات حول دوران الإلكترونات حول محورها الخاص في المدار فيما إذا كان الدوران مع عقارب الساعة أو بعكسها. فهناك قيمتان فقط للعدد الكمي المغزلي m_s هما $(m_s=+1/2\ ,\ m_s=-1/2)$ حيث تتحرك الإلكترونات حول النواة في نوعين من الحركة:

- حركة دورانية حول النواة في مدارات دائرية أو إهليلجيه.
- حركة كل إلكترون حول محوره Spin.



شكل7 العدد الكمي المغزلي

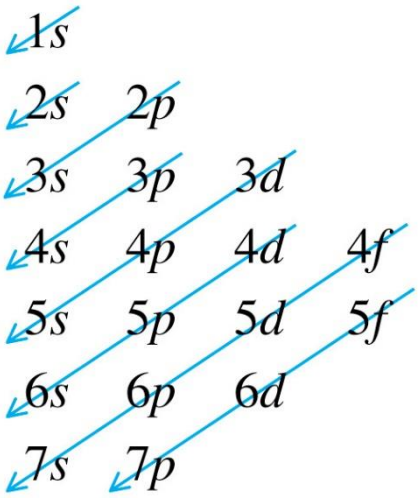
الترتيب الإلكتروني للعناصر

يقصد بالترتيب الإلكتروني للعناصر هو الكيفية التي تتوزع فيها الإلكترونات في مدارات الذرة. ويحكم توزيع الإلكترونات في مدارات الذرة عدد من القواعد:

- ❖ قاعدة أوف باو أو مبدأ البناء التصاعدي
- ❖ قاعدة هوند
- ❖ قاعدة الاستبعاد لباولي

قاعدة أوف باو

تدخل الإلكترونات في مستويات الطاقة الفرعية ذات الطاقة المخفضة أولا ثم تملأ الأعلى منها بعد ذلك كما في التوزيع المبين بالشكل (8).



شكل 8 قاعدة أوف باو أو البناء التصاعدي للتوزيع الإلكتروني للعناصر

ملاحظة: طاقة المدار تزداد بزيادة عدد الكم. عدد الكم الرئيسي والتي غالبا ما تكتب n وهو يمثل طاقة المدار ومدى بعده عن النواة. يتم توزيع إلكترونات الذرّة على المدارات الثانوية المحيطة بنواة، وذلك بالاعتماد على قواعد البناء الإلكتروني. أمثلة على ذلك:

$_{18}Ar: 1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6$

$_{36}Kr: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\,4s^2\,3d^{10}\,4p^6$

$_{54}Xe: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2 4d^{10}\,5p^6$

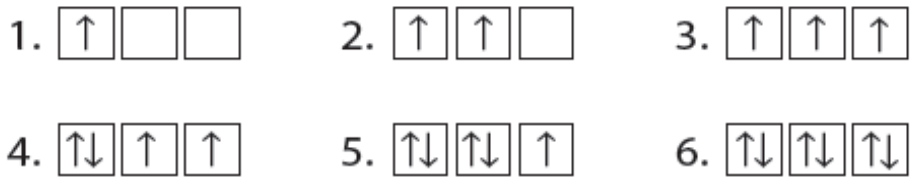
$_{79}Au: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6\ 6s^1\ 4f^{14}\ 6ad^{10}$

مبدأ الاستبعاد لباولي

ينص هذا المبدأ على أنه لا تساوى الأعداد الكمية الأربعة لأي إلكترونين في ذرة واحدة. فعلى سبيل المثال، لا يمكن لإلكترونين في ذرة واحدة أن يكون لهم ذات أعداد الكم الأربعة؛ فإذا كان n، L، m_ℓ متشابهين بين إلكترونين أو أكثر، فإن m_s يجب أن يكون مختلفاً بمعنى أن كل واحد منهم يدور باتجاه معاكس للآخر، وهكذا.

قاعدة هوند

تميل الإلكترونات أن تكون منفردة في المدار الذري مالم يكن عددها أكبر من عدد المدارات مثال: مدار P يحوي 3 مدارات متساوية في الطاقة هيPx، Py, Pz كل منهم يستوعب إلكترونين، فإذا كانت عدد الإلكترونات 3 أو أقل فأنه يتم توزيعها فرادى على المدارات الثلاث وإذا زاد عن الثلاثة فيتم البدء في دمج الإلكترونات كما في الشكل (9).



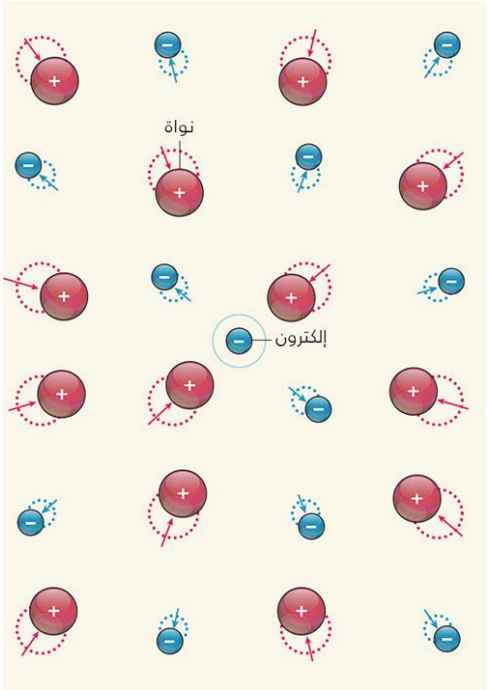
شكل 9 قاعدة هوند للتوزيع الإلكتروني للعناصر

مما سبق نستنتج أنه للوصول إلى التركيب الإلكتروني الصحيح لذرة العنصر يجب مراعاة القواعد الآتية:

1. عدد الإلكترونات التي يتم توزيعها على المدارات الذرة المتعادلة يساوي العدد الذري للعنصر.
2. لا يحتوي المدار الواحد أكثر من إلكترونين.

3. مراعاة قاعدة هوند عند توزيع الإلكترونات على المدارات المستويات الفرعية.
4. عند توزيع الإلكترونات على المدارات تملأ المدارات بدء من المدار الأقل طاقة فالمدار الأعلى طاقة.

المغناطيسية والخواص المغناطيسية للمواد



القوى المغناطيسية هي إحدى القوى الأساسية للطبيعة، حيث تمثل مجموعة من الظواهر المرتبطة بالمجال المغناطيسي. تنتج من خلال حركة الجسيمات المشحونة مثل الإلكترونات وهذا يدل على العلاقة الوثيقة بين الكهرباء والمغناطيسية. فالإطار الذي يجمع كلا القوتين يندرج تحت نظرية تعرف باسم النظرية الكهرومغناطيسية. يعتبر الدليل الاكثر ألفة على وجود المغناطيسية هي قوى التجاذب أو التنافر بين المواد المغناطيسية مثل الحديد.

عرفت ظاهرة المغناطيسية منذ قديم الزمن. فمعدن اللوديستون وهو عباره عن اكسيد الحديد ويتميز بقابليته لجذب الاجسام نحوه. عرف من قبل الإغريق والرومان والصينيين. فعندما تلتصق قطعة من الحديد باللوديستون فإن هذه القطعة تصبح مغناطيسا أيضا. وفي القرن الثالث عشر قام العالم الفرنسي بيتروس بريجرينوس بوضع عدة نظريات حول المغناطيسية والتي درست طوال الثلاثمائة سنة التالية. وفي عام 1600 قام العالم البريطاني ويليام جيلبيرت بوضع كتاب حول المغناطيسية اعتمد فيه على الطرق العلمية لدراسة الكهربائية والمغناطيسية وفي عام 1750 قام الجيولوجي البريطاني جون مايكل باختراع ميزان ساعده في دراسة القوى المغناطيسية واثبت بان قوى التجاذب والتنافر تقل كلما زادت المسافة بين الاقطاب الممغنطة. في اواخر القرن الثامن عشر وبدايات القرن التاسع عشر تم دراسة المغناطيسية والكهربائية بالتزامن وبنفس الوقت تقريبا وفي عام 1819 اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانس كريستيان أوريستيد اكتشافا هاما تمثل بتأثير المجال الكهربائي على ابره مغناطيسية حيث استطاع المجال الكهربائي المار خلال سلك بتغير اتجاه ابرة مغناطيسية. وقد اتبع ذلك الاكتشاف دراسات قام بها العالم الفرنسي اندري امبير والفيزيائي الفرنسي دومينيك فرانسوا جين أرجو حيث استطاع الاخير بمغنطة قطعة من الحديد من خلال وضعها بالقرب من سلك يحمل شحنة كهربائية. وفي عام 1831 اكتشف العالم الانجليزي مايكل فراداي بأن حركة مغناطيس بالقرب من سلك ما يدل على وجود تيار كهربائي بذلك السلك، وهو عكس التأثير الذي أكتشفه أوريستيد، حيث أوضح أوريستيد بأن التيار الكهربائي يولد مجالا مغناطيسيا، بينما أثبت فراداي بان المجال المغناطيسي يمكن أن يستعمل لتوليد التيار الكهربائي. اما العلاقة الكاملة بين الكهرباء والمغناطيسية فقد قام باكتشافها الفيزيائي الإنجليزي

جيمس كليرك ماكسويل الذي قام باكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية وعرف الضوء كظاهرة كهرومغناطيسية. لاحقا ركزت دراسات المغناطيسية وبشكل مكثف على تركيب الذرة والخصائص المغناطيسية للمادة. ففي عام 1905 أعلن الفيزيائي الفرنسي بول لانجفين نظرية حول تأثير درجة الحرارة على خصائص البارا مغناطيسات والتي اعتمدت على التركيب الذري للمادة. وهذه النظرية مثال على اعتماد الخواص العامة للمادة على الخصائص العامة للإلكترونات والذرات. وقد قام الفيزيائي الفرنسي بيير أرنست ويس بتوضيح نظرية لانجفين والذي افترض وجود مجال مغناطيسي داخلي (جزيئي) في بعض المواد مثل الحديد، وعند اقران هذا الافتراض بنظرية لانجفين فإنه يمكن تفسير خصائص المواد المغناطيسية القوية مثل اللوديستون. وبعد نظرية ويس تم شرح الخصائص المغناطيسية بالتفصيل الموسع، فنظرية الفيزيائي الدنماركي نيلز بور مثلا، اعطت توضيحا مناسبا للجدول الدوري وبينت سبب وجود المغناطيسية في العناصر الانتقالية مثل الحديد وفي العناصر الأرضية النادرة أو في المركبات التي تحتوي مثل تلك العناصر. وقد بينا الفيزيائيين الأمريكيين صمويل إبراهام جوديشميت وجورج أوجين أولينبيك في عام 1925 بأن الإلكترون بحد ذاته يمتلك حركة مغزلية خاصة به وانه يسلك سلوك وكأنه مغناطيس صغير. وفي عام 1927 قام الفيزيائي الألماني ويرنير هايزنبيرج بشرح نظرية ويس للمجال المغناطيسي اعتمادا على نظرية الكم الميكانيكية الجديدة في ذلك الوقت. والأجسام مثل قضيب مغناطيس أو سلك يحمل تيارا كهربائيا يمكن أن يؤثر على المواد المغناطيسية الاخرى بدون ان تتصل بها مباشرة بسبب كون الأجسام المغناطيسية تنتج ما يعرف باسم المجال المغناطيسي وعادة ما توضح المجالات المغناطيسية من خلال خطوط التدفق المغناطيسي. فالمجلات المغناطيسية تؤثر على المواد المغناطيسية وأيضا تؤثر على الدقائق المشحونة التي تتحرك خلال المجال المغناطيسي.

الصفات المغناطيسية لنواة الذرة

تمتلك نويات ذرات كافة العناصر كتلة وشحنة، إلا أن نويات بعض الذرات تمتلك صفات مغناطيسية تتميز بها عن غيرها، من أهم تلك النويات وأبسطها وأكثرها وفرة هي نواة ذرة الهيدروجين (أو البروتون)، وأمثلة لنويات أخري: نواة ذرة الكربون -13 ونواة ذرة الصوديوم -23 والفوسفور -31 ومثل هذه الذرات توجد بشكل طبيعي في جسم الإنسان. بينما هناك نظائر لعناصر ذات وفرة عالية لا تمتلك نويات ذراتها الصفات المغناطيسية المطلوبة أي ليس لها فاعلية مغناطيسية مثال ذلك ذرة الكربون -12 والأوكسجين -16 وبالطبع لا يمكن إحداث ظاهرة الرنين النووي فيها. إن الخصائص المغناطيسية لنواة الذرة تنشأ نتيجة لحركتها المغزلية حول نفسها. بهذا يمكن تمثيل نواة الذرة بقضيب مغناطيسي شدة الأقطاب فيه وشدة المجال المغناطيسي له تتحدد بشحنة النواة وكتلتها واتجاه حركتها.

الحركة المغزلية

اللف المغزلي أو التدويم أو كمية التحرك الزاوي لجسيم هي خاصية تعبر عن دوران الجسيم الأولي حول نفسه. يعتبر اللف المغزلي خاصية جوهرية في كافة الجسيمات الأولية وتمثل ظاهرة ميكانيكية كمية أصيلة. يمكن تقريب اللف المغزلي للإلكترون للأذهان عن طريق تشبيهها بدوران الأرض حول نفسها إضافة لدورانها حول الشمس، فكذلك يلف الإلكترون حول نفسه ويدور في نفس الوقت في مدار حول النواة. ويقترن اللف المغزلي للإلكترون بعزم مغناطيسي له، هو الأصل في ظاهرة مغناطيسية المواد.

في الميكانيك الكلاسيكي: ينشأ العزم الدوراني من دوران مكونات وكتل داخلية أصغر في جسم ما، لكن في ميكانيك الكم يكون الدوران المغزلي خاصة جوهرية للجسيم لا تنشأ عن دوران مكونات داخلية.

اكتشف العزم المغناطيسي للإلكترون في عام 1925م، وعن طريقه أمكن تفسير بعض الظواهر التي لم تكن مفهومة أنذاك الخاصة بانشقاق خطوط طيف الهيدروجين؛ فهي تنشق في هيئة خطين متوازيين بدلا من خط طيفي واحد في وجود مجال مغناطيسي خارجي، هذا بسبب العزم المغزلي للإلكترون الذي يمكن أن يكون موازيا وفي اتجاهه لخطوط المجال المغناطيسي الخارجي أو يكون معكوسا بالنسبة له. وقد اتضح بعد ذلك أن جميع الجسيمات الأولية لها لف مغزلي، كما أن بعض الذرات لها محصلة للعزوم المغزلية فيها. تلك المحصلة للعزوم المغزلية تكون بحسب نوع العنصر، فقد يكون المحصلة للعزوم المغزلية للإلكترونات في الذرة (إذا كانت محصلة العزوم المغزلية للنواة مساوية للصفر)؛ وقد تكون محصلة مجموع العزوم المغزلية للإلكترونات مع ارتباطها بمجموع العزوم المغزلية لمكونات النواة.

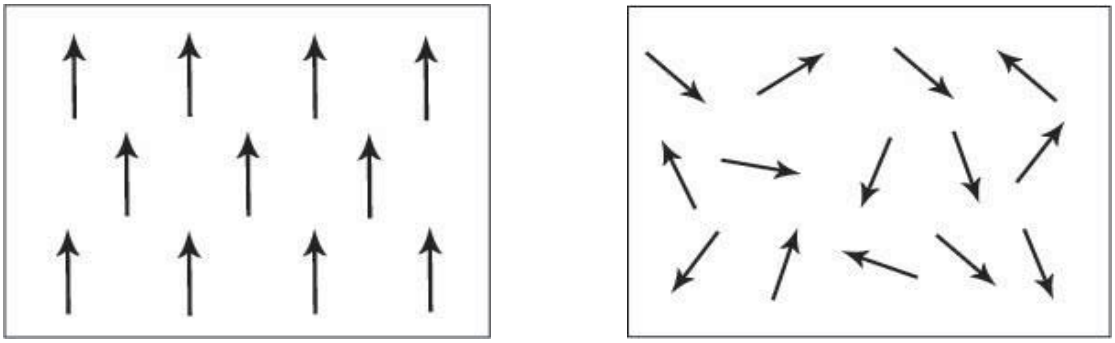
اكتشف بعد ذلك أن جميع الجسيمات الأولية تتصف بأن لها كم مغزلي، بحسب أصنافها. جميع المواد على اختلاف أنواعها سواء الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة لها خواص مغناطيسية، نتيجة لتأثرها بالمجال المغناطيسي، ولكن بدرجات متفاوتة فبعض المواد لها خواص مغناطيسية ضعيفة وبعضها متوسطة وبعضها قوية.

ما هو العزم المغناطيسي للذرات؟

1. للإلكترون حركة مدارية حول النواة يسمى العزم المغناطيسي المداري يسبب له تياراً.
2. وأيضاً للإلكترون عزم مغناطيسي ذاتي وهو ما يسمى بغزل الإلكترون حيث يدور حول نفسه كما تدور الأرض حول محورها، لذلك الإلكترونات الزوجية تمتلك ببروم يعاكس أحدها الآخر، وبذلك تلغي عزم البرم المغناطيسية لها أما الإلكترونات الفردية فإنها لها عزم برم مغناطيسي، فتتميز هذه المواد مثل الحديد بأن لها خواص مغناطيسية.

متجه التمغنط (شدة التمغنط):

يتم وصف الحالة المغناطيسية للمادة بواسطة كمية تدعى متجه التمغنط $\overrightarrow{M}$ حيث إن المواد القابلة للتمغنط مصدر من مصادر المجالات المغناطيسية لأن لذرات هذه المادة عزوم مغناطيسية ذرية (نتيجة حركة الإلكترون الدائرية والمغزلية). حيث إن المادة في طبيعتها العادية يكون لها عزوم مغناطيسية، ولكن في اتجاهات عشوائية، ولكن إذا وضعت في مجال مغناطيسي نلاحظ أن هذه العزوم تترتب في اتجاه واحد وهذا ما نسميه التمغنط كما هو مبين بالشكل (10).



شكل 10 التمغنط العشوائي والتمغنط الموجه في المواد

التمغنط

هو استقطاب العزوم المغناطيسية الداخلية في اتجاه معين تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي. وعند تسليط مجال مغناطيسي على مادة، فإن العزوم تترتب. أما إذا كان لدينا مادة موصلة (قضيب مثلا) فإن التيارات الداخلية سيلاشي بعضها البعض وتبقى التيارات السطحية وترمز لها بالرمز I_m وبالتالي فإن المجال المغناطيسي لهذه المادة يسمى بمتجه التمغنط نتيجة العزم المغناطيسي μ.

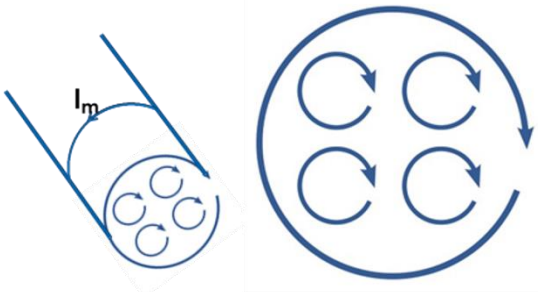
$$\mu = I_m \times A$$

$$\overrightarrow{M} = \frac{\mu}{V}$$

حيث إن متجه التمغنط $\overrightarrow{M}$ يعرف على أنه العزم المغناطيسي لوحدة حجم المادة أي أن شدة التمغنط M هي النسبة بين العزم المغناطيسي للمادة μ وحجمها V كما يلي:

$$\overrightarrow{M} = \frac{\mu}{V} = \frac{I_m A}{LA} = \frac{I_m}{L} \ (A/m)$$

حيث L هو طول القضيب



متجه التمغنط وشدة المجال المغناطيسي

إذا كان لدينا قضيب ملفوف عليه سلك يمر فيه تيار كهربي فإن المجال المغناطيسي الكلي B المار في القضيب هو عبارة عن مجموع المجال المغناطيسي الخارجي B_o والناتج من مرور التيار في السلك الملفوف على القضيب، والمجال المغناطيسي B_m والناتج من تمغنط مادة القضيب والتي هي مادة مغناطيسية بالفعل، و μ_0 تعبر عن نفاذية الفراغ.

$$\vec{B} = \vec{B_0} + \vec{B_m}$$

$$\vec{B} = \vec{B_0} + \mu_0 \vec{M}$$

ليكون مناسباً لابد من إدخال كمية مجال تسمى شدة المجال المغناطيسي H ضمن المادة وهي تمثل تأثير تيار التوصيل في الأسلاك على المادة، ولكن لكي نميز بين شدة المجال H والمجال B غالباً ما يسمى بكثافة الفيض المغناطيسي أو الحث المغناطيسي. أما شدة المجال المغناطيسي فهو متجه يعرف بواسطة العلاقة التالية:

$$\vec{B_0} = \mu_0 \vec{H}$$

إذاً يمكننا كتابة المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

الكميات M, H تمتلكان نفس الوحدات A/m. فإذا كان القضيب يمر في السلك الملفوف عليه تياراً قدره I فإن الشدة للمجال المغناطيسي H تساوي:

$$H = n I$$

حيث n عدد لفات الملف الملفوف على القضيب فتكون المعادلة السابقة كما يلي:

$$\vec{M} = {I_m}/{L}$$

$$\vec{B} = \mu_0 (nI + {I_m}/{L})$$

التأثيرية المغناطيسية (الحساسية، القابلية χ):

χ حرف إغريقي يلفظ (كاي)، والتأثيرية المغناطيسية هي مقياس لسهولة مغنطة المادة.

$$\because \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}),$$

$$\overrightarrow{M} \propto \overrightarrow{H}$$

$$\overrightarrow{M} = x_m \overrightarrow{H}$$

$$\therefore \overrightarrow{B} = (\overrightarrow{H} + x_m \overrightarrow{H})$$

$$\therefore \overrightarrow{B} = \mu_0(\overrightarrow{H} + x_m \overrightarrow{H})$$

$$\therefore \overrightarrow{B} = \mu_0(1 + x_m) \overrightarrow{H}$$

$$\therefore \overrightarrow{B} = \mu_0\mu_r \overrightarrow{H} = \mu \overrightarrow{H}$$

حيث μ_r النفاذية النسبية، μ_0 نفاذية الفراغ، μ نفاذية الوسط.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\mu_r = (1 + x_m)$$

في حالة الفراغ فإن $\mu_r = 1$ وبالتالي $x_m = 0$

مما سبق يمكننا الاستنتاج أن هناك مجموعة من العوامل التي تعتمد عليها قيم القابلية المغناطيسية وهي كالتالي:

1. شدة المجال المغناطيسي المؤثر
2. التركيب المغناطيسي للمادة
3. درجة الحرارة

اما بالنسبة للوحدات:

- (المجال الممغنط H) ampere- turn / m^2
- (المغناطيسية M) weber / m^2
- (سماحية الفراغ μ_{vac}) Henry / m

العزم المغناطيسي للإلكترون (μ)

إن دوران الالكترونات حول نواة الذرة يساهم في تكوين العزم المغناطيسي للذرة. إن العزم المغناطيسي الذي يولده تيار كهربائي مقداره i في سلك على شكل دائرة نصف قطرها r يساوي حاصل ضرب قيمة التيار في مساحة الدائرة A، أي أن:

$$\mu = i \times A$$

وبما أن مساحة الدائرة تساوي $A = \pi r^2$

$$\therefore \mu = i\pi r^2$$

إن دوران الالكترونات حول النواة يمثل التيار الكهربائي المذكور. إن قيمة التيار الكهربائي الناشئ عن دوران إلكترون واحد شحنته (e-) بمقدار v دورة في الثانية يكافئ تيار كهربائي مقداره i، أي إن:

$$i = -ev$$

وبتعويض نحصل على معادلة العزم المغناطيسي للإلكترون (μ).

$$\mu = -ev\pi r^2$$

وحدة العزم المغناطيسي للإلكترون (J/ Tesla) حيث إن 1T = 104 Gauss.

كمية التحرك الزاوي للإلكترون (L)

يمكن إيجاد قيمة كمية التحرك الزاوي للإلكترون من معرفة سرعة الإلكترون. إن السرعة الخطية للإلكترون يمكن حسابها من العلاقة الآتية:

السرعة الخطية=محيط الدائرة xعدد دورات الإلكترون حول النواة في الثانية (التردد)

$$v = 2\pi r\nu$$

وبما أن كمية التحرك الزاوي للإلكترون (L) يساوي $L = m\omega$

وبما أن السرعة الزاوية (ω) للإلكترون تساوي $(\omega = \nu r)$، أذن المعدلة تصبح $L = mvr$

بالتعويض $L = 2\pi r^2 m\nu$

العلاقة بين العزم المغناطيسي وكمية التحرك الزاوي للإلكترون

يرتبط العزم المغناطيسي (m) وكمية التحرك الزاوي المداري للإلكترون (L) بالعلاقة الاتية

$$\mu = \frac{-eL}{2m}$$

$$\frac{\mu}{L} = \frac{-e}{2m}$$

أي أن نسبة العزم المغناطيسي الى كمية التحرك الزاوي المداري كما في شكل (11) يساوي نسبة شحنة الإلكترون (e) الى ضعف كتلته (2m)، وتشير الاشارة السالبة الى اتجاه العزم المغناطيسي يكون معاكسا لاتجاه كمية التحرك الزاوي المداري دائماً، كما موضح في الشكل أعلاه. وطبقاً لفرضية بور (Bohr Postulate) فان كمية التحرك الزاوي المداري للإلكترون يكون مكمماً ومحدداً وكالاتي: $L = n\hbar$

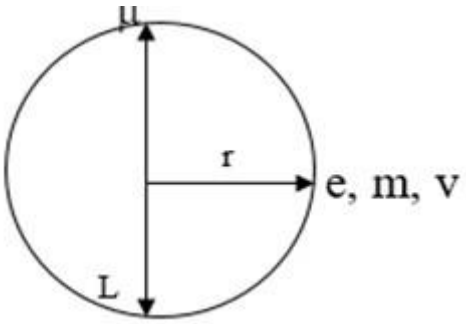
تمثل n عددا صحيحا، $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05x10^{-34}$ J.s حيث $\hbar$ ثابت ديراك. وكذلك فان قيم العزم المغناطيسي للإلكترون ستكون مكممه ايضا اي ان:

$$\mu = \frac{-en\hbar}{2m}$$

وعندما n=1 يكون:

$$\mu = \frac{-e\hbar}{2m}$$

ان القيمة الصغرى للعزم المغناطيسي تسمى بمنغنيط بور ويرمز له بالرمز (μ_B)وقيمتها $9.27x10^{-24}24$ ووحدتها J/T ، $h = 6.623x10^{-34}$.



شكل 11 العزم المغناطيسي وكمية التحرك الزاوي للإلكترون

هل تعلم

إن نسبة العزم المغناطيسي الى كمية التحرك الزاوي الناشئ عن غزل الإلكترون تساوي تقريباً ضعف القيمة التابعة للحركة المدارية للإلكترون. وعليه فان العزم المغناطيسي المغزلي $\vec{S}$ يرتبط بكمية التحرك الزاوي المغزلي $\vec{\mu}$ بالعلاقة $\vec{\mu} = -\frac{e}{m}\vec{S}$.

تصنيف المواد المغناطيسية

يمكن تصنيف المواد إلى ثلاثة اعتمادا على خواصها المغناطيسية.

1. مواد دايا مغناطيسية
2. مواد بارا مغناطيسية
3. مواد فيرو مغناطيسية

مواد دايا مغناطيسية

هي المواد التي تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه وإذا أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط المجال المغناطيسي ومن هذه المواد: البزموث، نحاس، فضة، سيليكون، ذهب، ألماس. وتتميز هذا المواد بأن:

- معامل نفاذيتها أقل من الواحد $\mu < 1$
- والقابلية المغناطيسية لها χm سالبة.
- ذراتها لا تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة.
- لا تتمغنط، حيث إن عزوم المغناطيسية لها تأخذ اتجاه معاكس للمجال المغناطيسي المؤثر عليها (M تعاكس اتجاه H).

مواد بارا مغناطيسية

هي المواد التي تنجذب نحو المغناطيس، وإذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها في اتجاه يوازي المجال المغناطيسي المؤثر ومن هذه المواد: الألمنيوم، التنجستين، الكالسيوم، التيتانيوم. وتتميز هذه المواد بأن:

- معامل نفاذيتها أكبر من الواحد $\mu>1$
- القابلية المغناطيسية لها موجبة.
- تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي (M نفس اتجاه H).
- يمكن مغنطتها حيث إن استجابتها للمغنطة متوسطة.

مواد فيرو مغناطيسية

مثل الحديد والكوبلت والنيكل تتجه عزومها في الاصطفاف في اتجاه المجال وبقوة.

- معامل نفاذيتها كبيرة جداً $\mu >>> 1$
- القابلية المغناطيسية لها موجبة.
- ويلاحظ أن χm تعتمد على درجة الحرارة في حالة المواد البارا مغناطيسية إذ نجد أنها تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة، ويرجع ذلك إلى أن الإثارة الحرارية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة تعمل على

بعثرة اتجاهات العزوم المغناطيسية بينما يعمل المجال المغناطيسي على انتظامها في اتجاهه، ومن ثم تعاكس الحرارة عملية انتظام العزوم المغناطيسية التي يسببها المجال المغناطيسي.

- ❖ في حالة المواد الدايامغناطيسية فإن خواصها المغناطيسية لا تتأثر بتغير درجة الحرارة.

علل

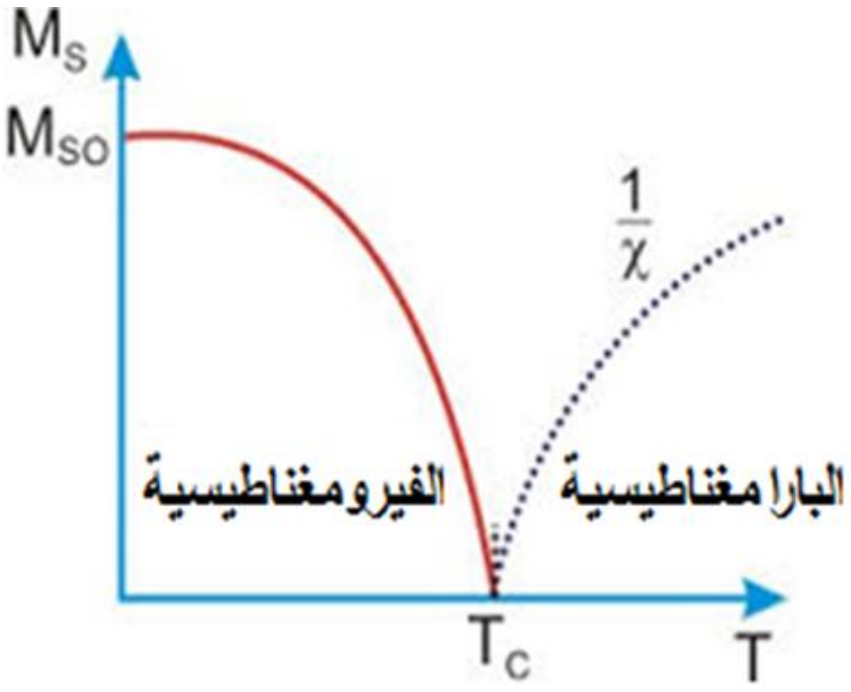
في المواد البارا مغناطيسية فان المغناطيسية الناتجة عن اصطفاف العزوم المغناطيسية تكون ضعيفة؟

الجواب:

السبب في ذلك يعود الى ان العزوم المذكورة تكون ضعيفة ومتباعدة عن بعضها.

تذكر

ان التأثرية المغناطيسية هي مقياس لمدى استجابة المادة المغناطيسية الى المجال المغناطيسي المسلط عليها. تزداد مغناطيسية المادة كلما انخفضت درجة حرارتها وتصل الى القيمة العظمى عندما تكون درجة الحرارة صفر كلفن، وتقل مغناطيسيتها كلما ارتفعت درجة الحرارة، وتصل المغناطيسية الى الصفر عند درجة حرارة كوري، متحولة بذلك الى الحالة البارا مغناطيسية، كما في الشكل (12). وبالإمكان ان تتحول المادة الى فيرو مغناطيسية إذا ما انخفضت درجة حرارتها الى دون درجة حرارة كوري Tc كما في الأشكال المبينة بالأسفل.



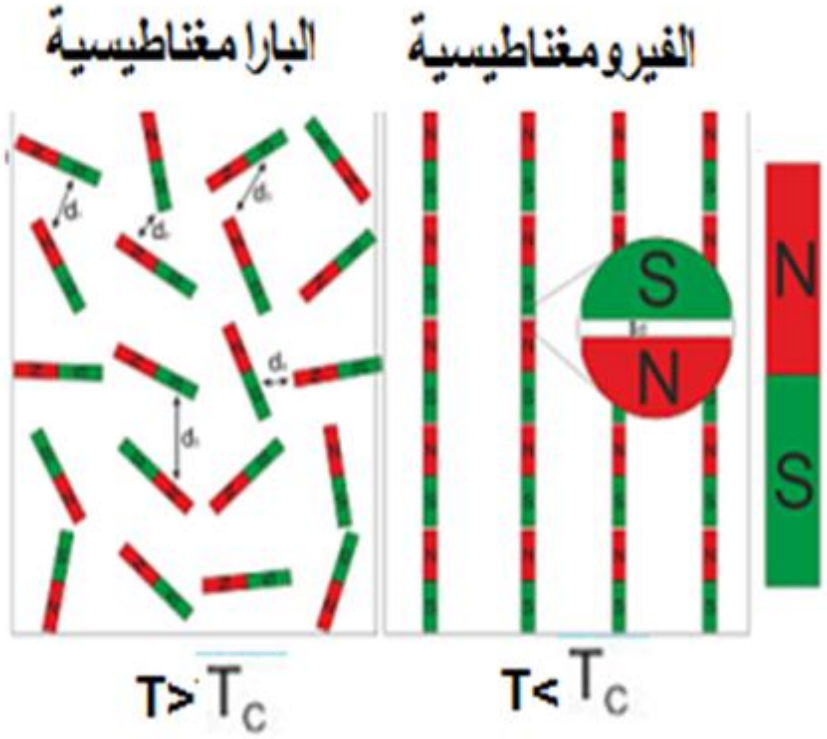
شكل 12 تأثر المواد المختلفة بدرجة الحرارة

علل:

تعتمد χm على درجة الحرارة في حالة المواد البارا مغناطيسية إذ نجد انها تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة؟

الجواب:

ان الاثارة الحرارية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة تعمل على بعثرة اتجاهات العزوم المغناطيسية بينما يعمل المجال المغناطيسي على انتظامها في اتجاهه، ومن ثم تعاكس الحرارة عملية انتظام العزوم المغناطيسية التي يسببها المجال المغناطيسي. وكما موضح في الشكل (13).



شكل 13 تأثر العزوم المغناطيسية بدرجات الحرارة

ويبين الجدول التالي الفروق الأساسية بين الواد المغناطيسية

جدول (3) المواد المغناطيسية

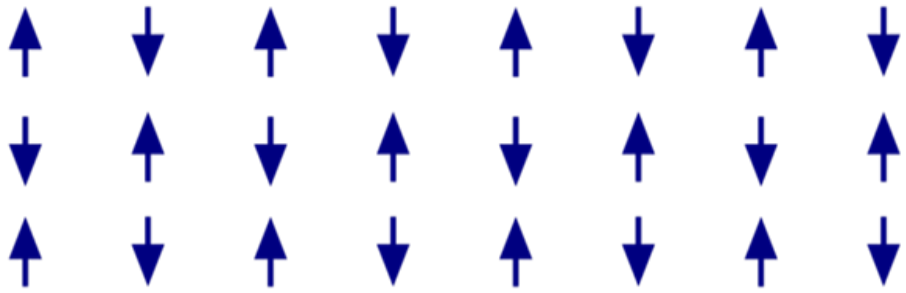
المواد الدايامغناطيسية	المواد البارا مغناطيسية	المواد فيرو مغناطيسية
هي المواد التي تميل الى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه	هي المواد التي تنجذب نحو المغناطيس	هي المواد التي تمتلك مغناطيسية دائمة عند تأثرها بالمجال المغناطيسي الارضي

إذا اتيحت لها حرية الدوران فأنها تجعل اطوال محاورها متعامدة على خطوط المجال المغناطيسي	إذا كانت حرة الدوران اتجهت اطوالها في اتجاه يوازي المجال المغناطيسي المؤثر	تصطف عزومها باتجاه المجال وبقوة
مثالها البزموث، النحاس، الفضة، السيليكون، الذهب، الماس، والنيتروجين. وتعتبر الغازات الخاملة والمركبات ذات المدارات الإلكترونية المغلقة	مثالها هي الالمنيوم، النجستين، الكالسيوم، الاوكسجين، والليثيوم والبلاتين	مثالها الحديد والكوبلت والنيكل
سماحيتها النسبية اقل من الواحد ($\mu<1$).	سماحيتها النسبية أكبر من الواحد $\mu>1$.	سماحيتها النسبية: $\mu>>>1$
التأثرية المغناطيسية لها χm سالبة وقليلة جداً (10^{-5}).	التأثرية المغناطيسية لها موجبة وقليلة (10^{-5}, 10^{-3}).	التأثرية المغناطيسية لها موجبة.
ذراتها لا تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة التمغنط. أي عزومها المغناطيسية تزول عند زوال المجال المغناطيسي المسلط على المادة.	تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي M نفس اتجاه H.	تتجه عزومها في الاصطفاف في اتجاه المجال وبقوة
تدخل الغازات الخاملة والمركبات ذات المدارات الإلكترونية المغلقة ضمن تصنيف المواد الدايامغناطيسية	تنشأ عن الذرات أو الجزيئات التي تمتلك عدد فردي من الإلكترونات	ترتبط بدرجة حرارة كوري اذ يمكن تحويلها الى مادة فيرو مغناطيسية إذا انخفضت درجة حرارتها دون درجة حرارة كوري
يزول العزم المغناطيسي بزوال المجال	تحتوي على عزم مغناطيسي دائم	تتحول المادة من فيرو مغناطيسية الى بارا مغناطيسية عندما تصل الى درجة حرارة كوري
لا تمتلك عزم مغناطيسي دائم	تتخذ العزوم الشكل التالي ↗ ↓ ← ↗ ↙ → ↖ ↗ ↓ ↘ ←	تتخذ العزوم الشكل التالي ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

المواد ضديده الفيرو مغناطيسية

تكون تأثريتها قليلة وموجبة لجميع درجات الحرارة، وتمتلك هذه المواد درجة حرارة حرجة تسمى درجة حرارة نيل (T_N). تقل التأثرية المغناطيسية بانخفاض درجة الحرارة. ان العزوم المغناطيسية لذرات وجزيئات

هذه المواد تكون مرتبة بشكل صفوف متوازية ومتشابهة، ولكن اتجاهات العزوم فيها تكون بشكل صفوف متضادة وكما موضح بالشكل (14).



شكل 14 ترتيب العزوم في المواد ضديده الفيرو مغناطيسية

إذ تمتلك هذه المواد درجة حرارة تسمى بدرجة حرارة نيل (TN)، فالمادة التي تكون تحت هذه الدرجة الحرجة تكون في طور ضديد الفيرو مغناطيسية، ولكن إذا كانت درجة حرارة المادة اعلى من درجة حرارة نيل تنتقل المادة الى طور البارا مغناطيسية وكما موضح بالشكل، والجدول يمثل درجة حرارة نيل لبعض المركبات.

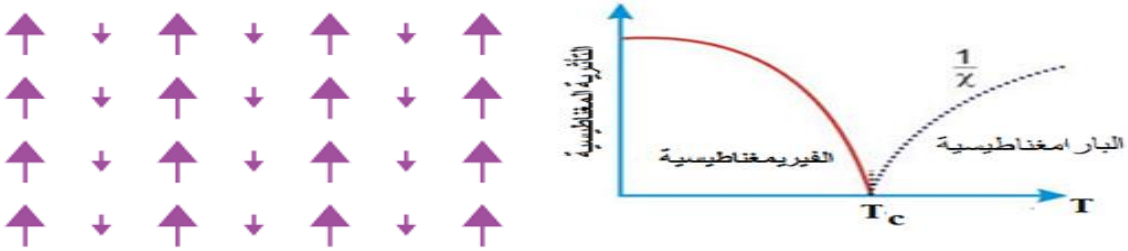
ينطبق قانون كوري-وايز على التأثرية المغناطيسية للمواد ضديده الفيرو مغناطيسية وفق العلاقة الاتية

$$\chi = \frac{C}{T - T_N}$$

وان قيمة T_N تكون سالبة دائما. تذكر ان مغناطيسية المواد ضديده الفيرو مغناطيسية تكون ضعيفة جداً وذلك بسبب تشابه العزوم المتضادة.

المواد الفيري مغناطيسية

حالة خاصة للمواد ضديده المغناطيسية، إذ ان كل صفين متجاورين متعاكسين بالاتجاه وغير متساويين في المقدار كما في الشكل أدناه، ولذلك سوف تمتلك المادة الفيري مغناطيسية مغناطيسية ذاتية حتى في حالة عدم وجود المجال المغناطيسي الخارجي. ان تأثرية هذه المواد تقل بارتفاع درجة الحرارة عن درجة حرارة كوري أنظر الشكل (15).



شكل 15 تأثير الحرارة على التأثيرية المغناطيسية

الجدول الدوري والعناصر المغناطيسية

يحتوي الجدول الدوري مجموعتين تتصف بالصفة المغناطيسية وهما:

مجموعة العناصر الانتقالية

وتكون الالكترونات الموجودة في مداراتها غير المشبعة هي المسؤولة عن الصفات المغناطيسية، إذ ان أصل المغناطيسية في هذه العناصر هي الالكترونات المفردة الموجودة في المدار الخارجي الثانوي 3d. من اهم هذه العناصر التيتانيوم، الفناديوم، الكروم، الحديد، الكوبلت، النحاس والنيكل. وتمتلك معظم هذه العناصر الطور الفيرو مغناطيسي عند درجة حرارة الغرفة وتتحول الى طور ضديد الفيرو مغناطيسية عند درجات الحرارة المنخفضة.

مجموعة عناصر الارض النادرة

تمتلك مجموعة من هذه العناصر الصفات المغناطيسية وتكون الالكترونات المفردة الموجودة في المدار الثانوي (4f) هي المسؤولة عن الصفات المغناطيسية. تمتلك هذه العناصر طور البارا مغناطيسية في درجة حرارة الغرفة وتتحول الى طور الفيرو مغناطيسية أو ضديدها في درجات الحرارة الواطئة.

المواد	χ	تغير χ مع زيادة درجة الحرارة	اعتماد المجال	ترتيب العزوم
الدايامغناطيسية	-8×10^{-6} (For Cu)	لا تتغير	لا يوجد	
البارا مغناطيسية	-	نقصان	لا يوجد	
الفيري مغناطيسية	8.3×10^{-4} For Mn	لا تتغير	لا يوجد	
الفيرو مغناطيسية	5×10^{3} for Fe	نقصان	لا يوجد	
ضديد الفيرو مغناطيسية	Zero to10^{-2}	زيادة	لا يوجد	

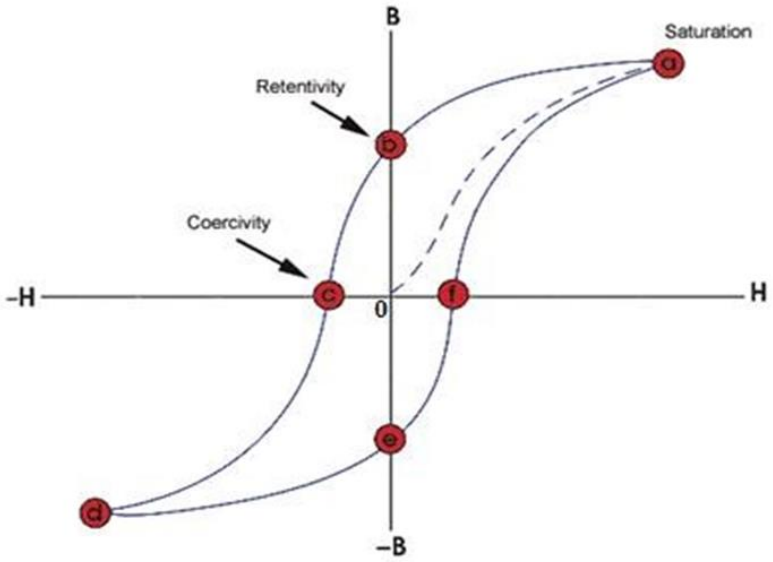
	For Cu			

منحني التخلف المغناطيسي

باستخدام دائرة تحتوي على ملف موصل بتيار كهربي لإيجاد علاقة بين شدة المجال المغناطيسي H المؤثر على ساق من الحديد وكثافة الفيض المغناطيسي B داخل هذه الساق. وتتركب من مغناطومتر إنحراف في الوضع الاول لجاوس، وملفين حلزونيين Y, X متشابهين وموضوعين على جانبي الإبرة المغناطيسية للمغناطومتر ويتصلان على التوالي بمقاومة متغيرة ومفتاح عاكس وأميتر وبطارية

وإذا أدخلنا ساق الحديد الخالية تماماً من المغنطة داخل الملف ورسمنا العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي H المؤثر على الساق الحديد وكثافة الفيض المغناطيسي B داخل هذه الساق كما في الشكل (16) فأننا نلاحظ ما يلي:

- عند زيادة H تدريجياً من الصفر تزداد تدريجيا تبعاً لذلك كثافة الفيض المغناطيسي B حتى تصل ساق الحديد إلى حالة التشبع عند النقطة a وعندها لا تزداد B بزيادة H
- وإذا أنقصنا شدة المجال H تدريجياً نجد أن B لا تتناقص بنفس معدل الزيادة، ولكنها تسلك المسار ab وعند انعدام H عند النقطة b تحتفظ ساق الحديد بجزء من المغنطة الممثل بالمسافة ob وهي تعبر عن مقدار ما تحتفظ به المادة من مغناطيسية عند زوال المجال المؤثر. وتعرف قيمة B خلال الجزء ob بالمغناطيسية المتبقية.
- ولإزالة هذه المغناطيسية المتبقية يلزم تعريض المادة لمجال مؤثر مضاد قيمته ممثلة بالجزء oc الذي يعتبر مقياساً لاحتفاظ المادة بمغنطتها وتعرف بالحافظية وعند زيادة المجال المؤثر في اتجاه مضاد H– فإن ساق الحديد تصل مرة ثانية إلى حالة التشبع الممثلة بالنقطة d.
- وعند إنقاص H إلى الصفر تقل تبعاً لذلك B وتسلك المسار de وإذا ازداد H مرة أخرى في الاتجاه الأصلي H+ حتى تصل المادة إلى حالة التشبع a فيقال إن المادة مرت خلال دورة كاملة من التغيرات المغناطيسية تعرف بدورة المغنطة.
- ويسمى المنحنى abcdefao بمنحنى التخلف كما في شكل (16) ويقصد بالتخلف هنا تباطؤ شدة المغنطة M أو كثافة الفيض المغناطيسي B في مجاراة التغيرات في شدة المجال المؤثر H ومرده ميل المواد غير الممغنطة إلى الاحتفاظ بما اكتسبت من مغنطة.



شكل 16 منحني التخلف المغناطيسي

الفصل الثاني

تقنية الرنين النووي المغناطيسي

مقدمة

الرنين المغناطيسي النووي هي إحدى الظواهر الفيزيائية التي تعتمد على الخواص المغناطيسية الميكانيكية الكمية لنواة الذرة. تعتمد الطريقة على أن جميع الأنوية الذرية التي فيها عددا فرديا من البروتونات أو النيوترونات يكون لها عزم مغناطيسي ذاتي intrinsic وكمية تحرك مداريه زاوية. أكثر النوى التي تستخدم في هذه التقنيات هي الهيدروجين-1 وهو أكثر نظير للهدروجين توافرا في الطبيعة إضافة إلى كربون-13. كما يمكن استخدام نظائر عناصر أخرى، ولكن استخدامها أقل. وبناءا على ذلك فكل عزم مغزلي للنواة S يكون مقترنا بعزم مغناطيسي μ طبقا للعلاقة:

$$\mu = \gamma S$$

حيث γ نسبة مغناطيسية دورانية. ويسمح لنا وجود العزم المغناطيسي للنواة الذرية بمشاهدة اطياف الامتصاص لرنين النووي المغناطيسي حيث إن الرنين يحدث عند انتقال حالة الطاقة بين مستويين للعزم المغزلي في النواة. ومعظم العناصر التي تحتوي فيها النواة على أعداد مزدوجة من البروتونات والنيوترونات يكون لها محصلة عزم مغزلي مساوية للصفر، ولذلك فهي لا تتصرف في وجود مجال مغناطيسي خارجي، بالتالي لا يوجد لتلك العناصر رنين مغناطيسي ومثال على ذلك الأكسجين-18 الذي ليس له رنين نووي مغناطيسي .بينما نجد خاصية الرنين المغناطيسي النووي في نظير عنصر كيميائي مثل الكربون-13 وله رنين نووي مغناطيسي يمكن مشاهدته، وكذلك الفوسفور-31 والكلور-35 والكلور-37.

يعود تاريخ ظاهرة الرنين النووي إلى تجربة أوتو شترن التي أجراها في عام 1922م. بين من تلك التجربة أن فيضا من ذرات الفضة ينقسم إلى فيضين عند مروره خلال مجال مغناطيسي، كل فيض (شعاع) منهما يتكون من أنوية لها لف مغزلي إما علوي أو سفلي. وتعرف تلك التجربة في الفيزياء بتجربة شترن وجيرلاخ وقد حصل شترن على جائزة نوبل للفيزياء في عام 1943م على عمله هذا. وفي عام 1946 أثبت فيليكس بلوخ وإدوارد بورسيل لأول مرة وجود الرنين النووي المغناطيسي، وحصلا على جائزة نوبل للفيزياء في عام 1952م. وعرضا في محاضرتهما أمام هيئة الجائزة أطيافا لانزياح جزيئات الإيثانول، وبذلك بدأت تقنية مطيافية الرنين النووي. وتطورت الطريقة واصبحت أحد الطرق الهامة لتعيين البنية الجزيئية الكيميائية. واستخدمت أولا طريقة تسمى "طريقة الموجة المستمرة" Continuous-Wave-(CW)-Method، وفيها يغيرون تردد المجال المغناطيسي الذي يحدث الرنين تدريجيا بحيث تتأثر الأنوية وتبدأ الرنين عند ترددات معينة، الواحد تلو الآخر. وفي عام 1947م قام راسل فاريان وفيليكس بلوخ بتسجيل اختراع لمطياف رنين نووي. وقامت شركة "فاريان أسوسييشن " ببناء أجهزة مطياف الرنين النووي في بالو ألتو بالولايات المتحدة وعرضها في

السوق. ونحو عام 1955م قامت شركة يابانية وهي "شركة جويل" ببناء تلك الأجهزة. ثم قامت العالمة الأمريكية "ميلدريد كون" في أوائل الستينيات من القرن الماضي باستخدام مطيافية الرنين النووي لدراسة عمليات التمثيل الغذائي على عينات جزيئات في المختبر. فكانت رائدة في هذا المجال وقامت بتطوير تطبيقاتها، ويتبعها الكثيرون من الباحثين في هذا المجال.

رنين العزم المغناطيسي للإلكترون

بالمثل كما نجد رنينا مغناطيسيا في النواة الذرية فنجد أيضا رنينا مغناطيسيا للإلكترون في الذرة، لأن الإلكترون هو الآخر له عزم مغزلي مصحوبا بعزم مغناطيسي. ويمكننا مشاهدة حدوث رنين العزم المغزلي للإلكترون Electron spin resonance عندما ينتقل العزم المغناطيسي الإلكتروني بين مستوين للطاقة تخصهما في الغلاف الذري. وتعود تلك الخاصية أيضا إلى نفس الظاهرة المشاهدة في رنين النواة إلا أن الأجهزة المستخدمة تكون مختلفة، كما تختلف طرق الحساب والقواعد النظرية لهما. ويوجد عدد قليل من الجزيئات التي تحوي إلكترونا منفردا (غير مقترن بزميل له في مداره). ومن المهم أن نعرف أن طريقة قياس الرنين المغناطيسي للإلكترون أكثر حساسية عن طريقة الرنين النووي المغناطيسي.

كما يوجد أيضا خاصية الرنين المغناطيسي الحديدي ferromagnetic resonance وخاصية رنين العزم المغزلي الموجي المغناطيسي الحديدي ferromagnetic spin wave resonance الذي يحدث في المواد الغير بلورية مثل زجاج المواد المغناطيسية الحديدية، والتي تفوق قياساتها قياس الرنين المغناطيسية المعتادة للنواة أو للإلكترونات.

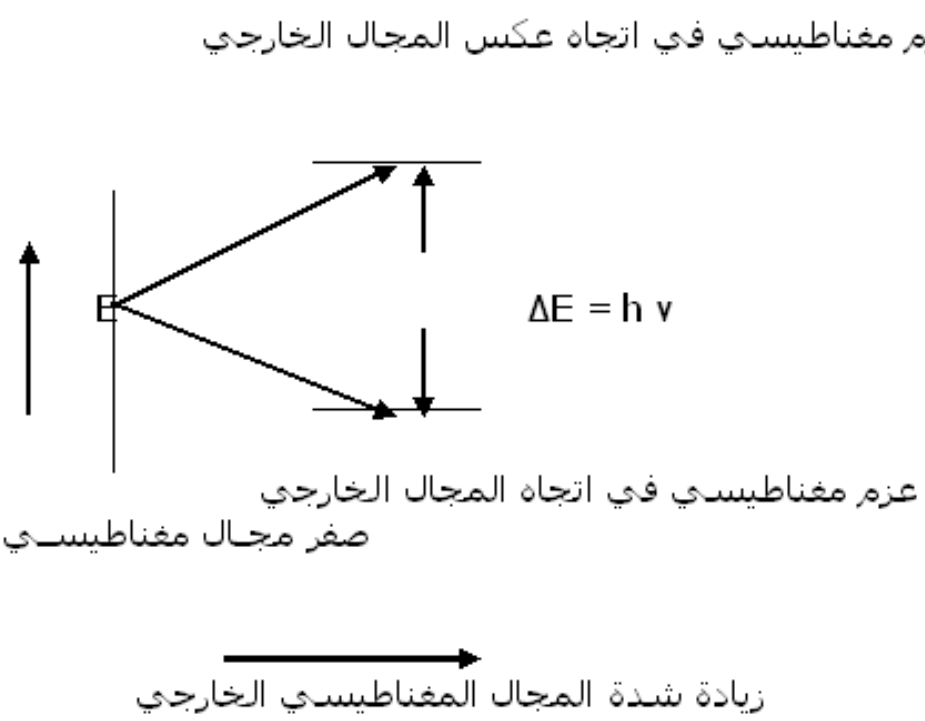
Nucleus	Spin	Natural Abundance %	Magnetic moment μ[a]	Magnetogyric ratio $\gamma/10^7$ rad T s^{-1}	NMR frequency ν/MHz
^{1}H	1/2	99.985	2.7927	26.7520	400.000
^{2}H	1	0.015	0.8574	4.1066	61.402
^{7}Li	3/2	92.58	3.2560	10.3975	155.454
^{13}C	1/2	1.108	0.7022	6.7283	100.577
^{14}N	1	99.63	0.4036	1.9338	28.894
^{15}N	1/2	0.37	-0.2830	-2.712	40.531
^{17}O	5/2	0.037	-1.8930	-3.6279	54.227
^{19}F	1/2	100	2.6273	25.181	376.308
^{23}Na	3/2	100	2.2161	7.08013	105.805
^{27}Al	5/2	100	3.6385	6.9760	104.229
^{29}Si	1/2	4.70	-0.5548	-5.3188	79.460
^{31}P	1/2	100	1.1305	10.841	161.923
^{59}Co	7/2	100	4.6388	6.317	94.457
^{77}Se	1/2	7.58	0.5333	5.12	76.270
^{195}Pt	1/2	33.8	0.6004	5.768	85.996
^{199}Hg	1/2	16.84	0.4993	4.8154	71.309

[a] *magnetic dipole moment in units of the nuclear magneton, $eh/(4\pi M_p)$, where M_p is the mass of the proton.*

إشعاع رنيني

عرفنا أعلاه أن نواة الهيدروجين-1 لها عزم مغزلي 2/1: أي يمكنها (كمغناطيس صغير) اتخاذ اتجاهين بحسب ½+ و½– . نواة الديوتيريوم لها عزم مغزلي كلي= 1: ويمكن أن تتخذ ثلاث اتجاهات بحسب 1+و0 و-1. وفي غياب مجال مغناطيسي خارجي تكون الطاقة المميزة للعدد الكمي متساوية. أما في وجود مجال مغناطيسي خارجي فيحدث انشقاقا لمستوي الطاقة وينفصلوا إلى عدة مستويات للطاقة تحتية وبالتالي تنشأ فروقا في الطاقة بين كل مستوى للطاقة وآخر.

وتعتمد ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي على إثارة الانتقالات بين مستويات الطاقة للنواة بين الحالات المختلفة لحركة لارمور الدورانية لأحد الذرات ولعدد من الذرات في وجود مجال مغناطيسي خارجي موازيا لمحور Z. والطاقة اللازمة للانتقالات تتناسب تناسبا طرديا مع شدة المجال المغناطيسي الخارجي وكذلك على النسبة المغناطيسية الدورانية الخاصة بالنواة. وتلك الطاقة نمدها إلى النظام من الخارج على شكل موجة كهرومغناطيسية لها تردد معين يتسبب في رنين نووي مغناطيسي يسمى رنين لارمور وهو يقع في نطاق الموجات الراديوية. وتعمل أجهزة مطيافية الرنين النووي المغناطيسي عادة عند تردد رنيني للبروتونات بين 300 ميجا هرتز و1 جيجا هرتز.



يمكن قياس أطياف الرنين النووي المغناطيسي للجزيئات التي تكون في محلول ولا تكون من المواد ذات مغناطيسية مسايرة. كما يمكن اجراء الفحوص على المواد ذات المغناطيسية المسايرة وعلى المواد الصلبة، إلا أن تجهيز العينات وطرق تحليل أطيافها تكون عادة أكثر صعوبة.

وتطبق قياسات اطياف الرنين النووي العالية الدقة على مدى واسع في المجالات الآتية:

- ❖ لتعيين المواد الداخلة في التركيبات الكيميائية وذلك بدون إفساد المادة، والتي تسمي نقنيه الفحص غير المدمر للمواد.
- ❖ لتعيين البنية البلورية للجزيئات - من الجزيئات البسيطة إلى جزيئات البروتين وأجزاء الدانا.
- ❖ لدراسة تفاعلات الجزيئات مع بعضها البعض.
- ❖ يمكن بواسطة قياس زمن استرخاء الرنين النووي الحصول على معلومات عن البنية البلورية للمواد وأنظمة حركتها الداخلية.
- ❖ وتكون أزمنة الاسترخاء المختلفة للرنين النووي المغناطيسي المعينة للأنسجة الحيوية المختلفة، تكون أساسا للفحوص الطبية المتعلقة بالتشخيص التصويري في مجال تشخيص الأورام بتصوير بالرنين المغناطيسي. وتجد طرق التشخيص بالرنين النووي المغناطيسي تطبيقات أخرى في مجالات العلوم الهندسية والجيولوجية.

- فحوص الحركة الانتقالية للجزيئات، مثل تخلل الجزيئات للأغشية أو انتشارها في المحاليل وفي المواد الصلبة. وعن طريق ما يسمى بمطيافية النفاذية الموجهة-diffusion-ordered spectroscopy يمكن دراسة الحركة الانتقالية لمختلف الجزيئات في المخلوطات.

فيزياء الرنين النووي المغناطيسي

كثيراً ما نسمع عن صعوبة وتعقيد فيزياء الرنين النووي المغناطيسي مما يُشكل حاجز وهمي عن الفهم باعتقاد الصعوبة وعدم القدرة على الفهم. كل ما هنالك أن هذا النوع من الفيزياء هو غريب لم نعتد عليه ولا يشبه الفيزياء التي اعتدنا عليها حيث يوجد تعريف لمفهوم معين ومن ثم يتم مناقشة الخواص الفيزيائية والكيميائية بعد ذلك نجد القانون الذي نعوض فيه وانتهينا. فلا داعي لخلق عقبات غير موجودة. خاصة أن ما علينا معرفته حاليا في مرحلة ما قبل التخرج هو الأساسيات وليس المواضيع البحثية المعقدة المتقدمة. أعتقد بأهمية هذه النظرة الإيجابية للتعامل مع هذه الفيزياء. في هذا الموضوع سأشرح رؤوس الأقلام والأساسيات. ولسهولة العرض سوف نقوم بتقسيم الموضوع إلى عدة قواعد وهي كالتالي:

القاعدة الأولى: لحدوث ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي نحتاج إلى مجال مغناطيسي قوي (strong magnetic field) وموجات راديو (radio frequency).

القاعدة الثانية: تحدث الظاهرة نتيجة تأثير المجال المغناطيسي وموجات الراديو عل أنوية ذات صفات مغناطيسية مثل نواة الهيدروجين، التي تحتوي على بروتون واحد، ولفهم ذلك سوف نقوم بشرح فكرة عمل البروتونات كمغناطيسات.

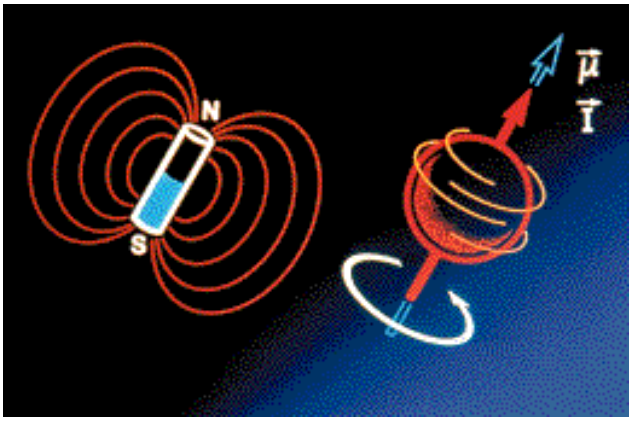
البروتونات كمغناطيسات

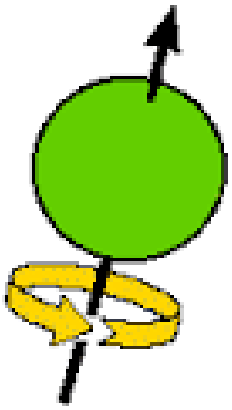
السؤال الذي يجب أن يتبادر إلى الذهن الآن هو كيف يكون للبروتونات خواص مغناطيسية؟

توجد خاصيتان يمتلكهما البروتون تجعله يتصرف وكأنه مغناطيس:

1. البروتون له شحنة موجبة
2. البروتون يتحرك حركة مغزلية

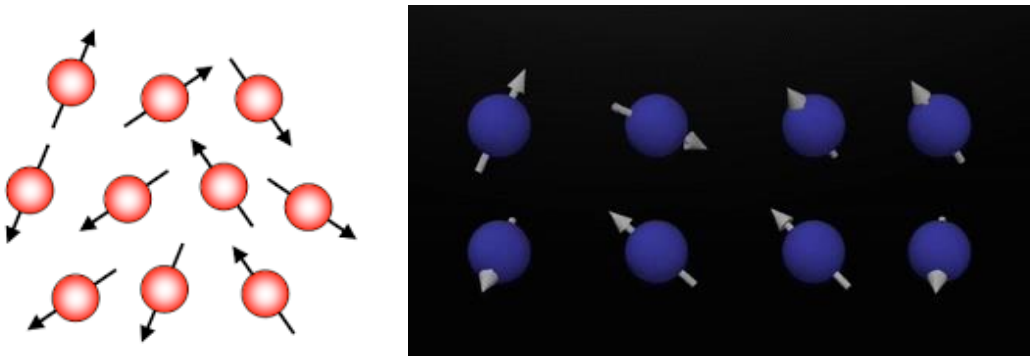
نحن نعرف أنه عند وجود شحنة متحركة (الكهرباء مثالاً) يتولد مجال مغناطيسي. هذا ما يحدث للبروتون الموجب الشحنة عندما يتحرك بشكل مغزلي. فإنه يُكون مجال مغناطيسي ويسمى أيضاً بالعزم المغناطيسي. بهذا يكون البروتون الواحد وكأنه مغناطيس له قطبين شمالي وجنوبي. يتحرك البروتون حركة مغزلية بشكل مشابه لهذه اللعبة. دوران البروتون موجب الشحنة بهذا الشكل يجعل له مجال مغناطيسي. الحركة المغزلية تجعل من البروتون وكأنه مغناطيس له قطبين أحدهما شمالي والآخر جنوبي بالإضافة إلى مجال مغناطيسي.





القاعدة الثالثة: الكهرباء والمغناطيسية هما وجهان لعملة واحدة بحسب قوانين الكهرومغناطيسية. يستطيع التيار الكهربائي أن يخلق مجال مغناطيسي. والعكس صحيح فالمجال المغناطيسي المتغير يستطيع أن يخلق تيار كهربائي في ظاهرة فيزيائية تسمى بالحث الكهرومغناطيسي.

القاعدة الرابعة: المجال المغناطيسي للبروتون محدود لا يوجد له أي تأثير يذكر ويعود السبب إلى أنه مبعثر في جميع الاتجاهات ويلغي بعضه بعضاً. يمكننا وصف هذا بطريقة علمية بقولنا إنه مجموع العزم المغناطيسي الكلي للبروتونات تساوي صفر. لا يوجد أي تأثير كلي لكل هذه المغناطيسات (البروتونات) لأنها تكون في اتجاهات مختلفة فيلغي بعضها بعضاً كما في شكل (17).



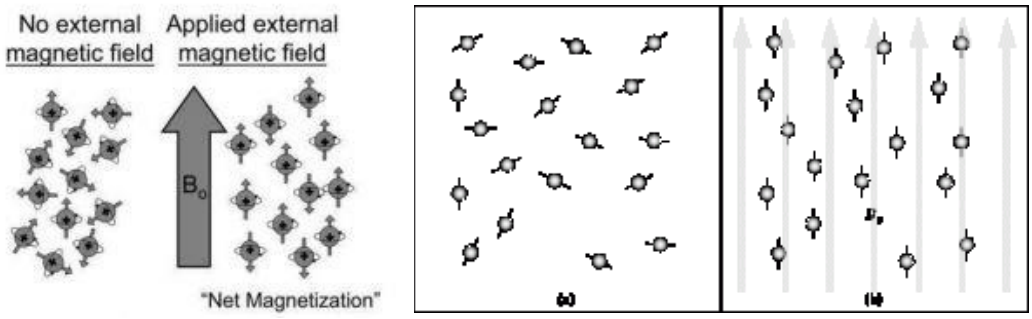
شكل 17 بروتونات تتحرك حركتها المغزلية في جميع الاتجاهات

القاعدة الخامسة: على الرغم من وجود مجال مغناطيسي للبروتونات داخل المادة إلان أن مجموع محصلتها المغناطيسية يساوي صفر. وذلك لأنها اتجاه مجالاتها المغناطيسية تكون مبعثرة وتلغي تأثير بعضها بعضاً. للاستفادة من البروتونات يتم تسليط مجال مغناطيسي خارجي B_0. حيث إن البروتونات مغناطيسات لكن ليس لها أي تأثير كلي ولا نستطيع أخذ منها أي شارة. لكن ماذا يحدث لهذه البروتونات المبعثرة عند وضعها داخل مجال مغناطيسي خارجي نسميه B_0؟

يحدث شيئان بشكل رئيسي:

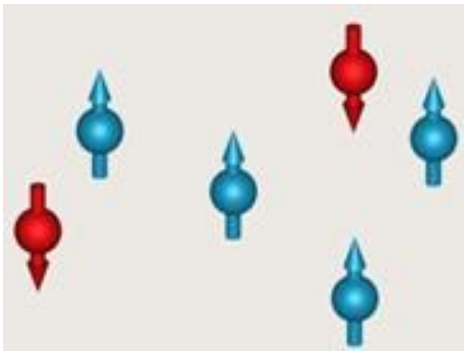
1. البروتونات سوف توحد اتجاهات مجالاتها المغناطيسية إما مع اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي أو عكسه.

2. يتحرك المجال المغناطيسي للبروتون حركة دائرية تسمى (precession) سيتم شرحها في نقطة مستقلة كما في شكل (18)



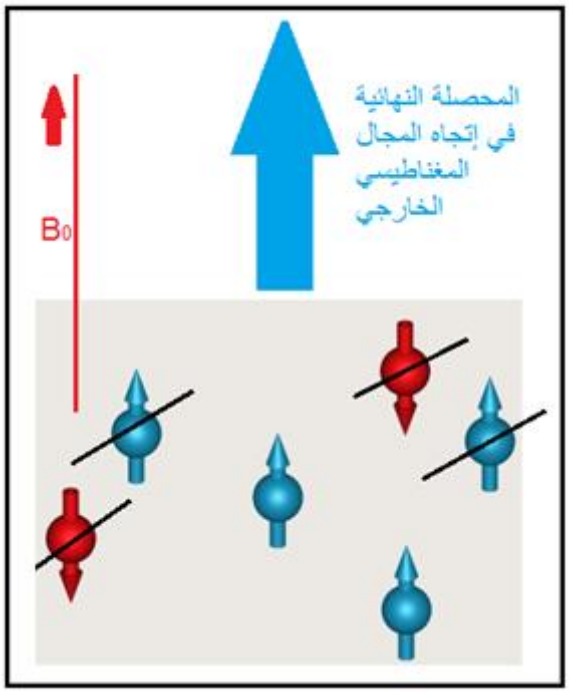
شكل 18 الصورة على اليسار بدون المجال المغناطيسي الخارجي. الصوة على اليمين توضح كيفية تصرف البروتونات عند ضعها تحت مجال مغناطيسي خارجي

عند وضع هذه البروتونات تحت مجال مغناطيسي خارجي يصبح أغلب هذه البروتونات في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. وعدد أقل من البروتونات عكس هذا المجال. عدد البروتونات في اتجاه المجال المغناطيسي الرئيسي أكبر من التي عكسه. تلغي البروتونات المتعاكسة في الاتجاه تأثيرها ويتبقى البروتونات القليلة التي في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. هذه البروتونات المتبقية هي التي ستستخدم في أخذ إشارة الرنين المغناطيسي.



المجالات المغناطيسية المتعاكسة تلغي بعضها ولذلك سنتجاهلها بشكل كلي. يتبقى كمية قليلة من البروتونات (طبعاً عددها بالملايين وهي قليلة عند مقارنتها بالمجموع الكلي) تكون مجالاتها المغناطيسية في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي وبهذا أصبح لدينا محصلة مغناطيسية قوية net magnetic vector يمكن استغلالها في أخذ إشارة الرنين المغناطيسي. وسنتعرف لاحقا على كيف نأخذ الإشارة من هذه المحصلة المغناطيسية (متجه مغناطيسي). الآن فقط تحولت بروتونات الهيدروجين في المادة إلى قوة مغناطيسية عندما تم وضعها داخل المجال المغناطيسي الخارجي .في الرنين المغناطيسي علينا دائما تصور تأثير البروتونات

كحزمة وليست منفردة. البروتون الواحد لا يعطي إشارة ذات قيمة لأن مجاله المغناطيسي محدود وصغير. لذلك في الرنين المغناطيسي نتعامل فقط مع المحصلة المغناطيسية وهي مجموع قوة جميع المجالات المغناطيسي للبروتونات. بروتون واحد لا يمكن التقاط منه أي إشارة.

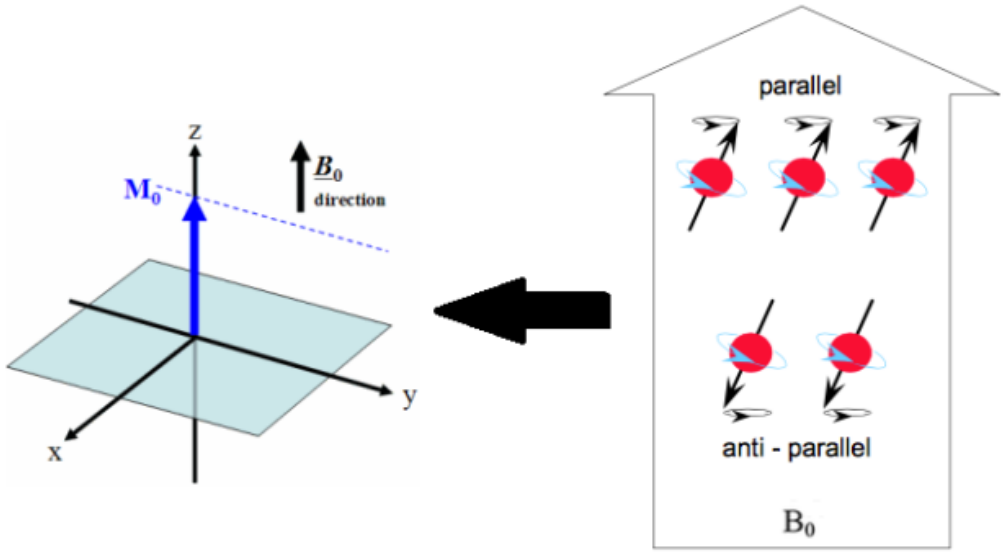


القاعدة السادسة: عندما يتم وضع البروتونات داخل مجال مغناطيسي قوي يسمى بالمجال المغناطيسي الخارجي أو الرئيسي B_0 أغلبها تنتظم في نفس اتجاه المجال المغناطيسي. المتبقي ينتظم عكس اتجاه المجال المغناطيسي. البروتونات التي عكس المجال المغناطيسي تلغي عدد مساوي من البروتونات التي باتجاه المجال المغناطيسي. وبما أن عدد الأخيرة أكثر، تكون النتيجة النهائية هي أن محصلة اتجاه المجالات المغناطيسية الكلية للبروتونات تكون مع اتجاه المجال المغناطيسي الرئيسي.

نظام الإحداثيات الطريقة العلمية واختلاف المصطلحات

من الآن سنبدأ باستخدام نظام الإحداثيات لوصف اتجاه المحصلة الكلية المغناطيسية للبروتونات داخل المادة وماذا يحدث لها من تغيير، وذلك لتسهيل الشرح والوصف ومن ثم الفهم.

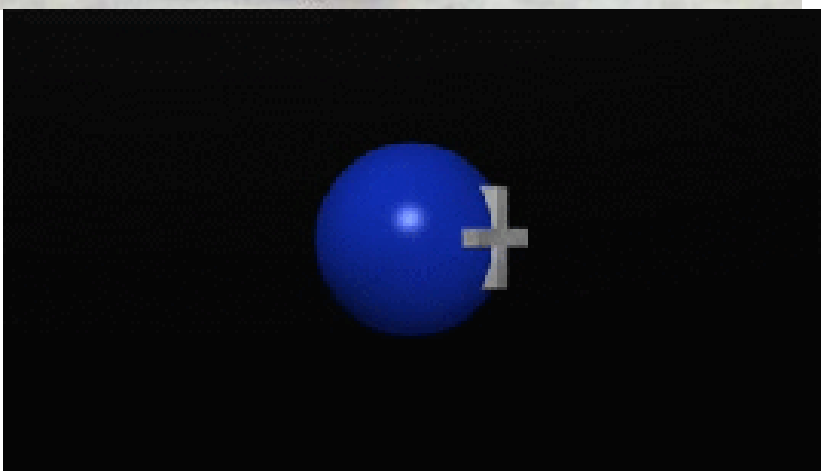
نظام الإحداثيات هو عبارة عن ثلاث اتجاهات Z – X -Y. إلى الآن عرفنا أن الاتجاه Z هو نفس اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي B_0. المحصلة المغناطيسية (تكون باللون الأزرق في الصورة التي بالأسفل) فسنسميها من الآن بـ M_0 أو بالمغنطة الطولية.



المحصلة الكلية للبروتونات

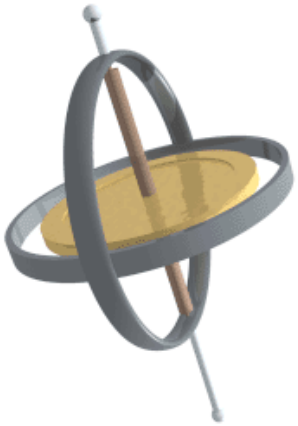
القاعدة السابعة: عند وضع البروتونات في مجال مغناطيسي خارجي يصبح لدينا متجه يمثل المحصلة المغناطيسية لجميع البروتونات التي تكون مع اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. يسمى هذا المتجه بـ المغنطة الطولية.

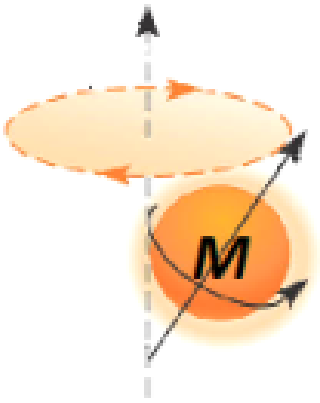
حركة لارمور الدورانية



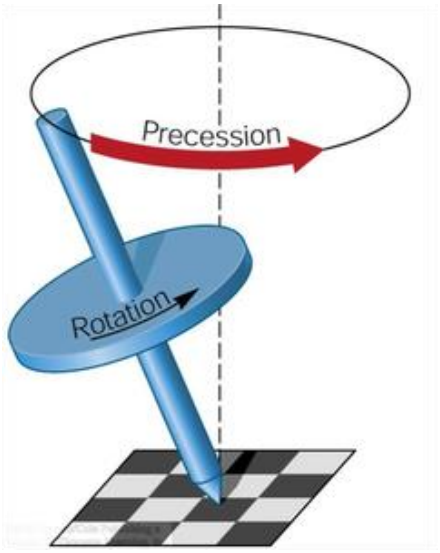
الصورتين في الأعلى توضح الحركة المغزلية فقط. لكن يوجد للبروتون حركة أخرى وهي حركة لارمور الدورانية. هنا نريد أن نتعلم شيء إضافي عن حركة البروتون. فـ بالإضافة للحركة المغزلية حول المحور تتحرك البروتونات عند وضعها في مجال مغناطيسي بحركة دائرية حول خطوط المجال المغناطيسي تسمى بـ حركة لارمور الدورانية.

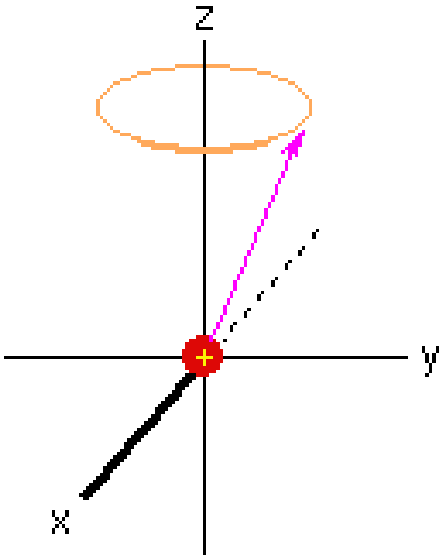
الحركة الدورانية حول خط المجال المغناطيسي





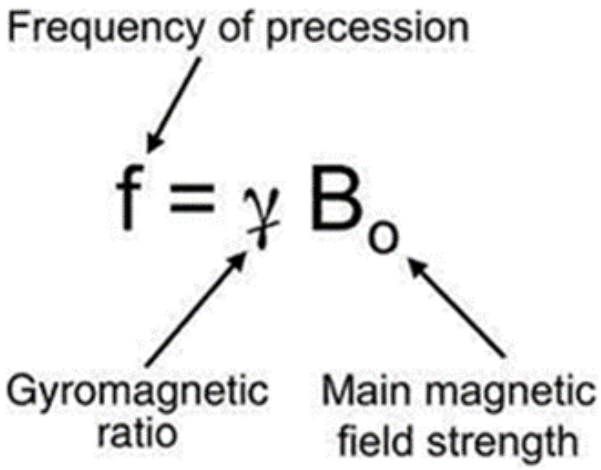
لتقريب الفكرة: حركة البروتون عند وضعه تحت مجال مغناطيسي خارجي تكون مشابهه للصورة في الأعلى. هو يدور حول نفسه (حركة مغزلية) بالإضافة للدوران حول خطوط المجال المغناطيسي (حركة لارمور الدورانية). هنا نضيف ما تعلمناه عن حركة لارمور الدورانية على نظام الإحداثيات.





يتبقى أن أقول إن سرعة حركة لارمور الدورانية للبروتون تتغير باختلاف قوة المجال المغناطيسي. نقيس قوة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا. أما التردد فوحدته هي الهيرتز أو الميجا هيرتز (MHz) .

الحركة الدورانية يزيد ترددها بزيادة قوة المجال المغناطيسي (علاقة طردية). نسمى هذا التردد بـ تردد لارمور. ويمكن حساب تردد هذه الحركة عند مجال مغناطيسي معين بواسطة قانون لارمور: ويمكن من خلاله حساب تردد لارمور عند مجال مغناطيسي معين بحيث f تكون تردد حركة لارمور الدورانية و B_0 هي قوة المجال المغناطيسي الخارجي (الرئيسي). أما γ هي معدل المغناطيسية الدورانية للبروتون. كل ذرة بروتون لها معدل مغناطيسية دورانية ثابت كما في الجدول في الأسفل. في الرنين المغناطيسي يهمنا فقط بروتونات ذرة الهيدروجين.



Nucleus or Particle	Gyromagnetic Ratio (γ) in MHz/Tesla
^{1}H	42.58
^{3}He	-32.43
^{13}C	10.71
^{19}F	40.05
^{23}Na	11.26
^{31}P	17.24
electron	-27,204

القاعدة الثامنة: البروتونات عند وضعها في المجال المغناطيسي الرئيسي تكتسب حركة دورانية تسمى precession حول خطوط المجال المغناطيسي. هذه الحركة لها تردد محدد يختلف باختلاف قوة المجال المغناطيسي. العلاقة طردية فلكما زادت شدة المجال المغناطيسي زادت تردد حركة لارمور الدورانية.

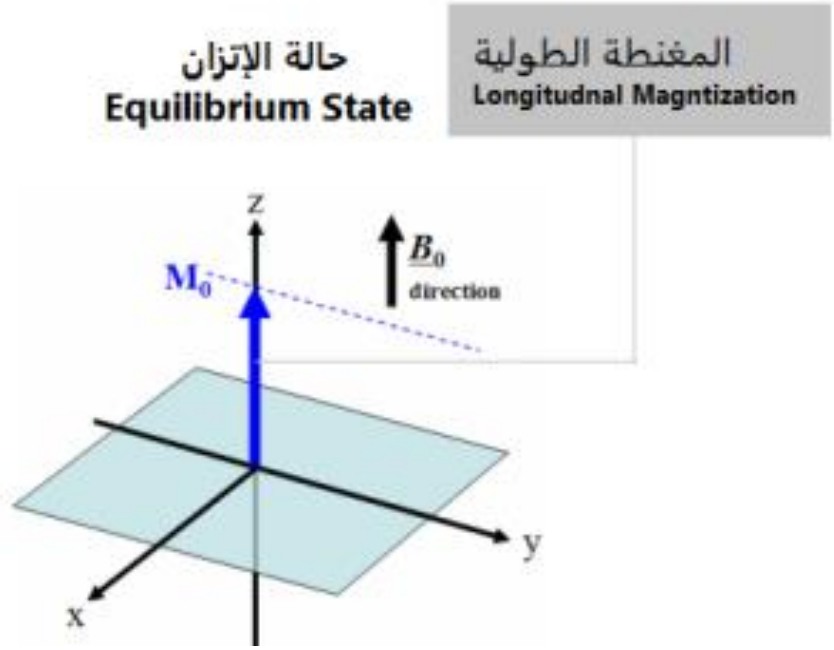
كيف يتم أخذ إشارة الرنين المغناطيسي

ترتبط إشارة الرنين النووي بأربع ظواهر أساسية وهي:

- ❖ الاتزان
- ❖ الاستثارة
- ❖ الاسترخاء
- ❖ الرنين (التوافق)

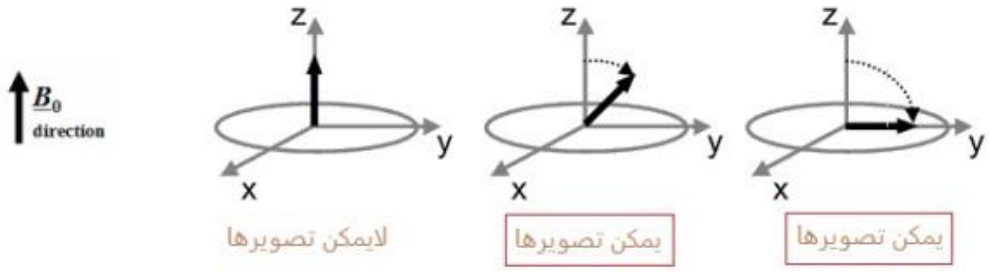
حالة الاتزان

الآن عرفنا أنه عند وضع البروتونات في مجال مغناطيسي رئيسي (خارجي) سيكون مجموع محصلتها المغناطيسية موازي للمجال الرئيسي وسميناه بالمغنطة الطولية. أيضاً هي تدور حول خطوط مجالها المغناطيسي بتردد معين يعتمد على قوة المجال المغناطيسي الخارجي. هذه هي حالة الاتزان.



حالة الاتزان لا يمكن أخذ منها أي إشارة لأن الإشارة المغناطيسية التي نريدها تكون مغمورة في اتجاه المجال الرئيسي .ولكي نسجل الإشارة لابد استثارتها بحيث تبتعد عن اتجاه المجال الرئيسي .يمكننا التقاط المحصلة المغناطيسية للبروتونات عند إزاحتها عن المجال المغناطيسي الرئيسي. الآن يمكننا التقاط إشارة الرنين المغناطيسي

أين إشارة الرنين المغناطيسي؟



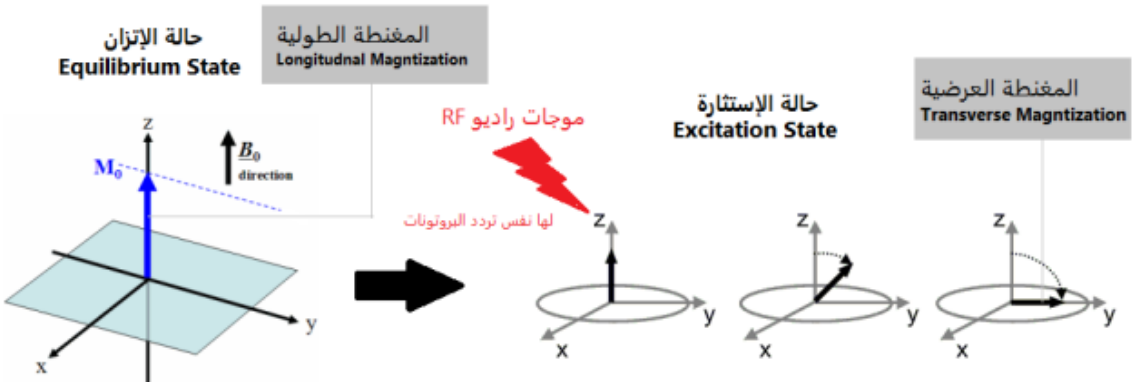
القاعدة التاسعة: عندما تكون المغنطة الطولية في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي نسمي هذه الحالة بحالة الاتزان. لا يمكن أخذ أي إشارة من هذه الحالة ولابد من استثارة البروتونات لكي تكون في اتجاه مغاير للمجال المغناطيسي الرئيسي للحصول على إشارة.

حالة الاستثارة

يمكن استثارة البروتونات بواسطة موجات راديوRF، موجات الراديو وهي عبارة عن طاقة يتم إعطاؤها لهذه البروتونات بحيث تكون قادرة على تغيير اتجاه محصلتها المغناطيسية من المغنطة الطولية إلى المغنطة

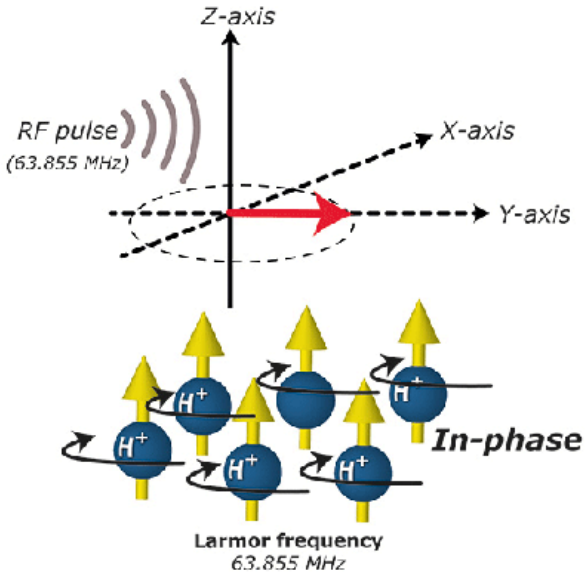
العرضية. موجات الراديو يتم إرسالها بتردد محدد بحيث تستثير البروتونات التي تمتلك نفس التردد فقط في ظاهرة تسمى بالرنين Resonance

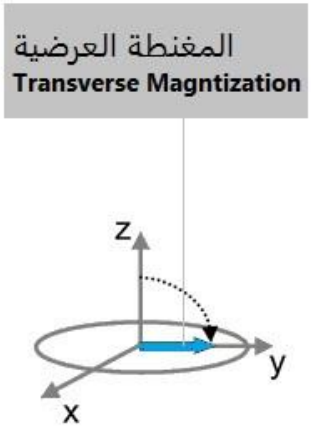
البروتونات التي ليس لها نفس تردد موجات الراديو لا يحدث لها أي استثارة. بهذا يمكننا استثارة البروتونات المرغوبة وذلك بمعرفة ترددها كما في شكل (19).



شكل 19 استثارة البروتونات بموجات راديو لها نفس التردد

القاعدة العاشرة: يتم استثارة البروتونات المرغوبة بإرسال تردد موجات راديو RF مساوي لتردد حركة لارمور الدورانية للبروتونات. تكتسب البروتونات الطاقة وتكون قادرة على تغيير اتجاه مجالاتها المغناطيسية بعيداً عن المجال المغناطيسي الرئيسي. في حالة الاستثارة تختفي المغنطة الطولية وتزيد المغنطة العرضية. يمكن حساب تردد البروتونات بواسطة قانون لارمور ومن ثم إرسال موجات راديو مساوية لهذا التردد لكي يتم استثارتها كما يبينه شكل (20).

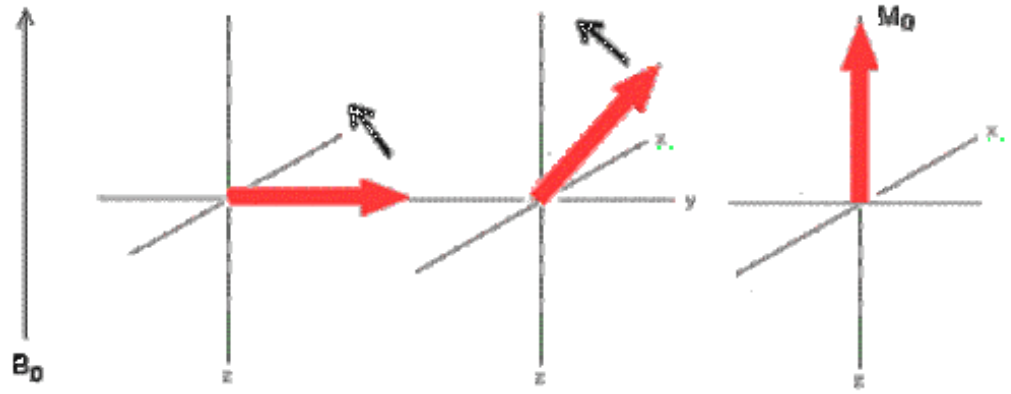




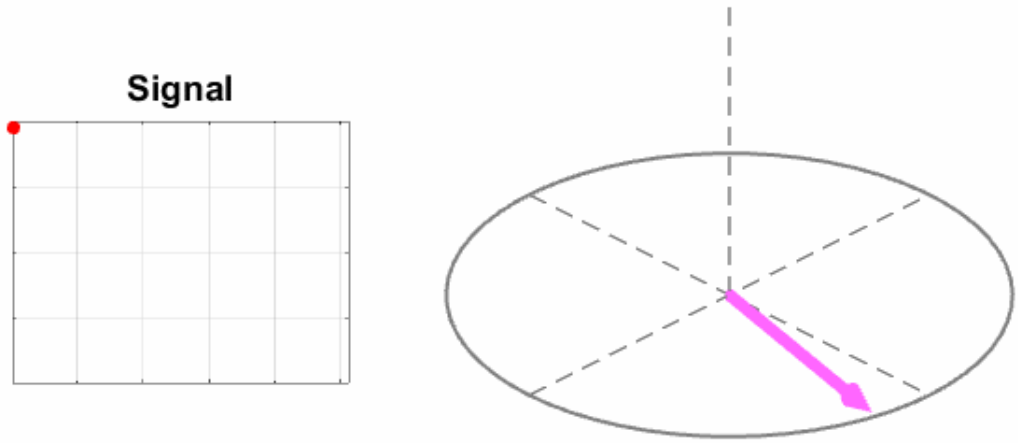
شكل 20 المغنطة العرضية نتيجة لتغير اتجاه المحصلة المغناطيسية الكلية بسبب استثارتها بواسطة موجات راديو لها نفس التردد

الاسترخاء

في هذه المرحلة نحصل على إشارة الرنين المغناطيسي .يتم الاسترخاء بعد إيقاف موجات الراديو وذلك بعودة البروتونات إلى حالة الاتزان. هنا يتم خسارة المغنطة العرضية ويتم ارتفاع المغنطة الطولية. يتم خسارة المغنطة العرضية بسبب خسارة البروتونات للطاقة التي اكتسبتها من موجات الراديو فتعود لحالتها الطبيعية. هذه الخسارة في الطاقة هي إشارة الرنين المغناطيسي وتسمى بـ Free Induction Decay.



بعد إيقاف الاستثارة بإيقاف موجات الراديو تعود البروتونات لوضعها الطبيعي في حالة الاتزان وترجع المغنطة الطولية. لتوضيح كيف تحدث هذه الإشارة أنظر للصورة المتحركة في شكل 21:



شكل 21 إشارة الرنين المغناطيسي

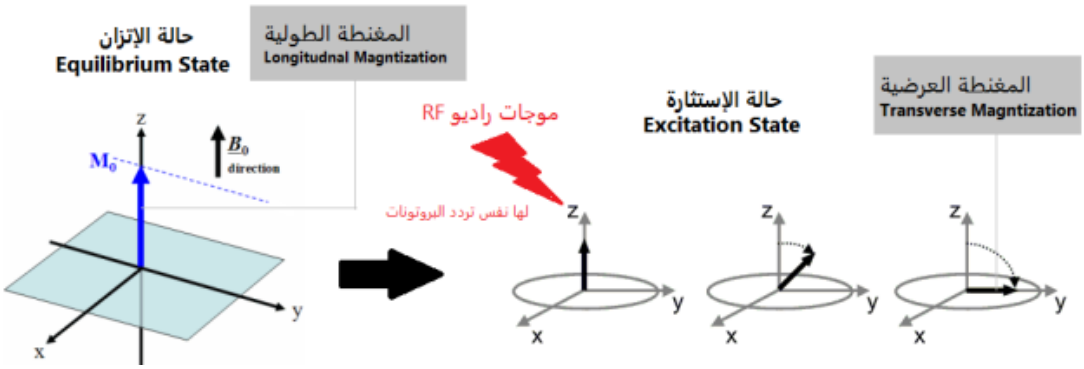
نلاحظ أن الإشارة تكون قوية عند المغنطة العرضية وتقل تدريجياً حتى تنتهي مع اكتمال المغنطة الطولية. عند المغنطة العرضية تكون الإشارة في أعلى مستوياتها وتنتهي تماماً عندما تعود البروتونات إلى حالة الاتزان الكامل المغنطة الطولية.

القاعدة الحادية عشرة: بعد إيقاف موجات الراديو RF تخسر البروتونات الطاقة التي اكتسبتها من هذه الموجات وتعود لوضعها الطبيعي لحالة الاتزان. إشارة الرنين المغناطيسي هي هذه الخسارة في الطاقة.

الرنين (التوافق)

الرنين هو تبادل الطاقة بين موجات الراديو RF والبروتونات عندما يكون لهم تردد متشابه. إذا أختلف التردد لا يتم تبادل الطاقة.

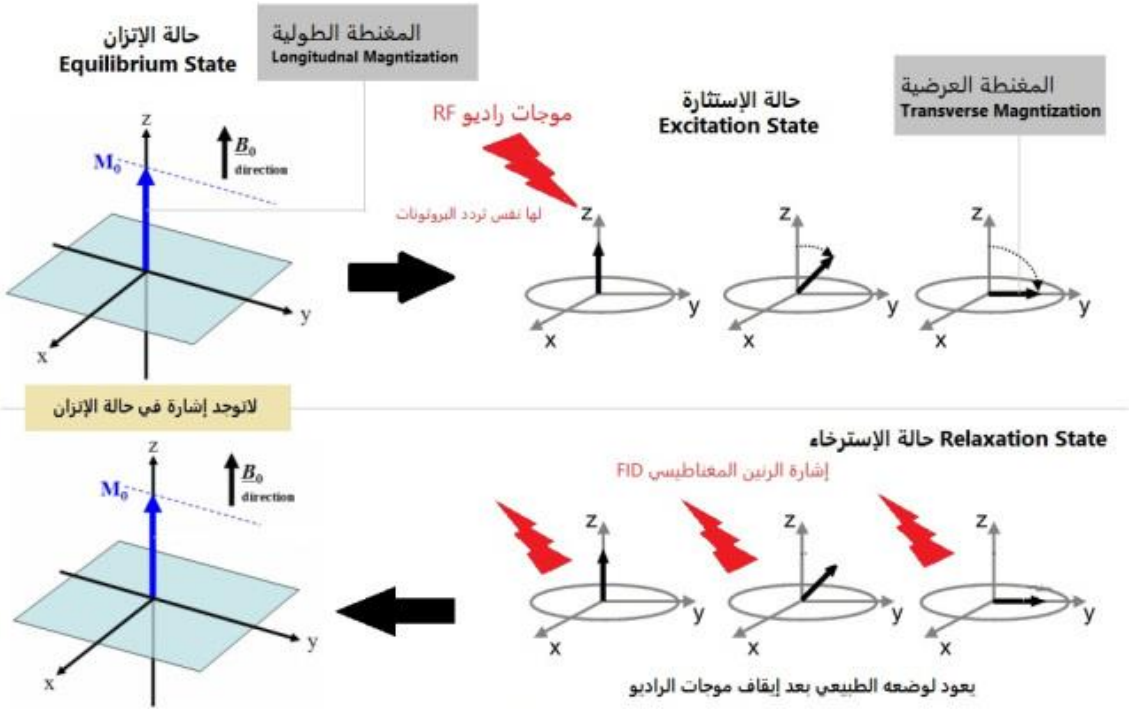
سبق وأن قلت إنه لإثارة البروتونات المتواجدة داخل المادة نرسل لها موجات راديو RF تحدث الاستثارة فقط للبروتونات التي لديها تردد يساوي تردد موجات الراديو .وهذا يعطينا أفضلية في اختيار أي البروتونات التي نريد استثارتها. سنتعرف على أهمية هذه النقطة لاحقاً .فإذا أردنا استثارة بروتونات معينة فعلينا أن نحسب ترددها بواسطة قانون لارمور ومن ثم نرسل لها موجات راديو مساوية لهذا التردد. تحدث الاستثارة فقط لهذه البروتونات المتوافقة. أي بروتونات أخرى لن تتأثر بموجات الراديو كما في شكل (22).



شكل 22 استثارة البروتونات بموجات راديو لها نفس التردد

ملخص:

موجات الراديو هي عبارة عن طاقة مرسلة نحو البروتونات. البروتونات التي لديها نفس تردد هذه الموجات سوف تكتسب الطاقة وتكون قادرة على توجيه طاقتها في اتجاه مخالف للمجال المغناطيسي الرئيسي. وسوف تتحرك المحصلة المغناطيسية للبروتونات من المغنطة الطولية إلى المغنطة العرضية. بعد إيقاف موجات الراديو سوف تخسر البروتونات الطاقة التي اكتسبتها وتعود لوضعها الطبيعي من حالة الاستثارة إلى حالة الاتزان. إشارة الرنين المغناطيسي هي هذه الطاقة التي خسرتها البروتونات وهي تعود لوضعها الطبيعي.


حالة الإتزان
Equilibrium State
المغنطة الطولية
Longitudnal Magntization
موجات راديو RF
لها نفس تردد البروتونات
حالة الإستثارة
Excitation State
المغنطة العرضية
Transverse Magntization
لاتوجد إشارة في حالة الإتزان
Relaxation State حالة الإسترخاء
إشارة الرنين المغناطيسي FID
يعود لوضعه الطبيعي بعد إيقاف موجات الراديو

الفصل الثالث

تطبيقات الرنين النووي المغناطيسي

التصوير باستخدام جهاز الرنين النووي المغناطيسي

مقدمة

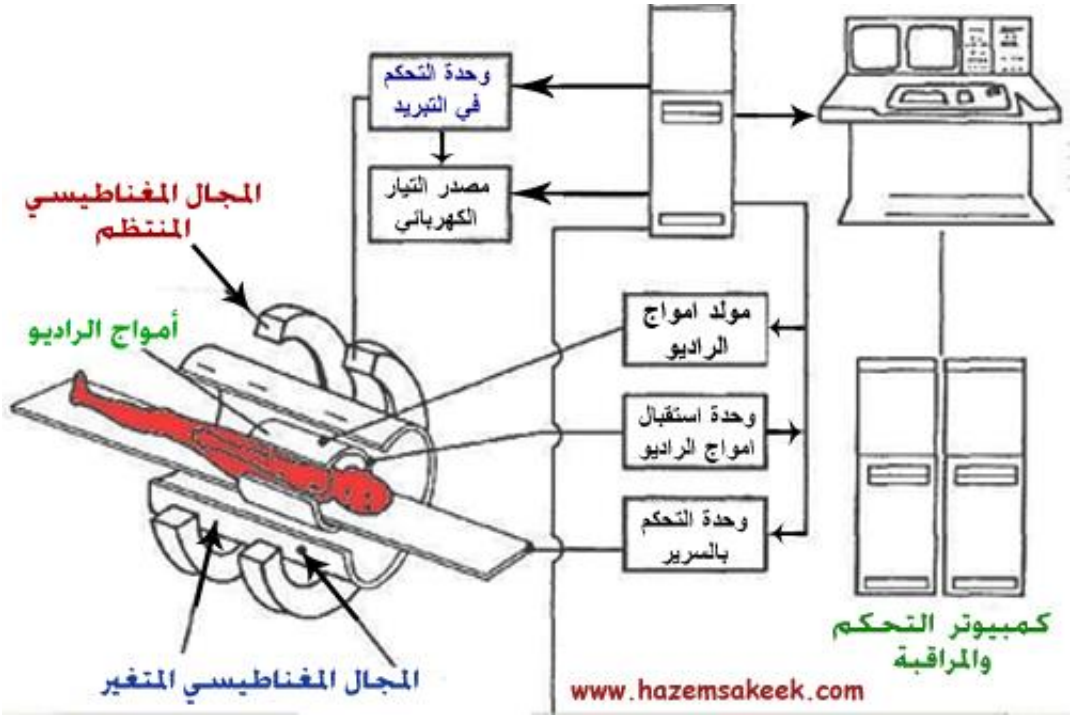
كان تطوير التصوير بالرنين المغناطيسي نتيجة استمرار فضول الإنسان الذي قاده إلى التقدم التكنولوجي الذي وصلنا إليه اليوم. فمع تقدم الزمن وتراكم المعرفة، أخذ الإنسان يبحث عن وسائل إضافية أخرى من أجل استقصاء واكتشاف الأشياء غير المرئية. وقد أدى فضول الإنسان إلى تطوير التصوير بالأشعة السينية (رونتجن)، وهي عبارة عن الطريقة الأولى التي مكنت من النظر إلى داخل جسم الإنسان الحي. ولكن، كانت هنالك عدة سلبيات للتصوير بالأشعة السينية:

عدم القدرة على رؤية الأنسجة الرخوة، إضافة إلى الأشعة التي من شأنها أن تسبب السرطان، دفع الباحثين إلى البحث عن طرق أخرى إضافية تتيح النظر إلى داخل جسم الإنسان.

يشكل التصوير بالرنين المغناطيسي أحد الوسائل المتقدمة التي تتيح النظر إلى داخل جسم الإنسان الحي، وتتمثل إحدى أفضليات هذه الطريقة في عدم استخدامها للأشعة التي يمكنها أن تسبب الضرر (مثلما يحدث في تصوير الأشعة السينية)، لهذا فإنه من الممكن استعمالها بشكل آمن في فحص النساء الحوامل، أيضا.

أجزاء جهاز الرنين النووي المغناطيسي

بداية سوف نتعرف على أجزاء جهاز الرنين النووي المغناطيسي: يتكون جهاز الرنين المغناطيسي من الأجزاء التالية كما في الشكل (23).

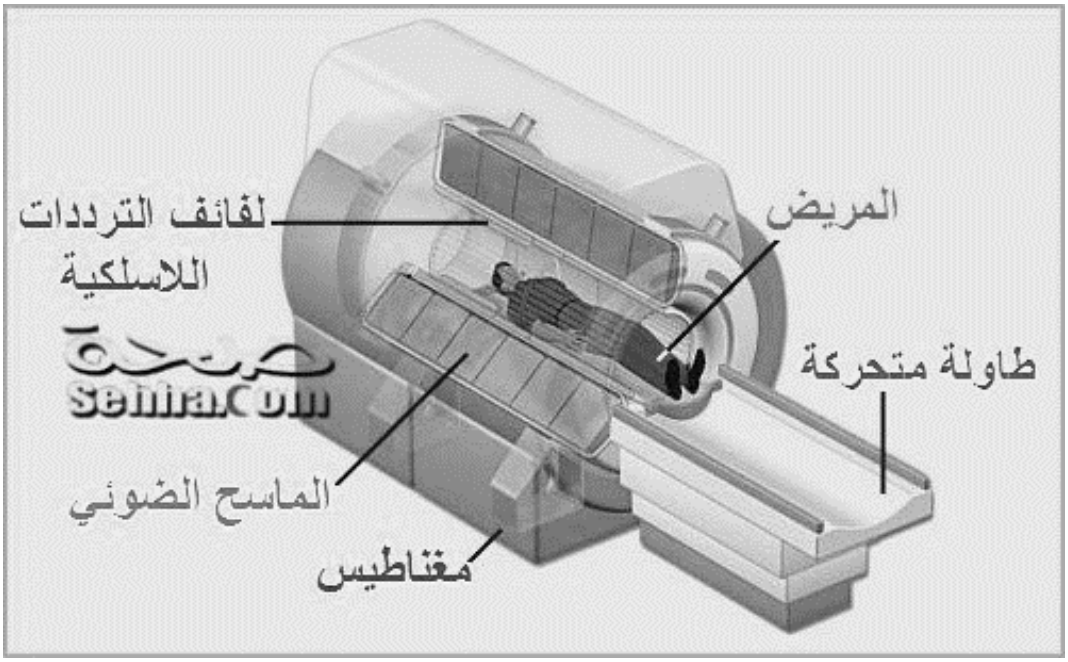


شكل 23 جهاز الرنين المغناطيسي

مغناطيس كبير

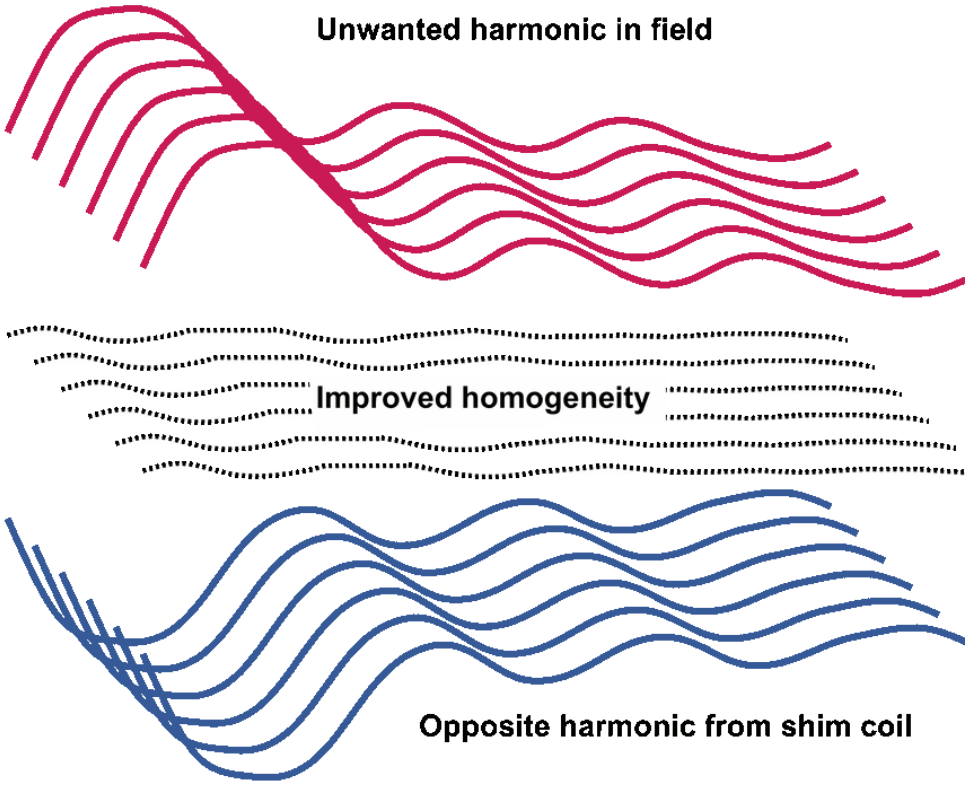
يعمل هذا المغناطيس على توليد الحقل المغناطيسي الرئيسي ويتميز هذا الحقل بكونه منتظماً (وهذا هو عامل جودة الصورة) ومستقراً ويتمتع هذا الحقل بشدة قيمتها المثالية غير معينة (ولكن يجب ألا تتجاوز 2 T = 20000 Gauss). يقوم المجال المغناطيسي الرئيسي المنتظم بغمر كامل جسم المريض.

يوجد منه ثلاث أنواع وهي: تستخدم أجهزة الرنين الحديثة مغناطيسا يسمى المغناطيس الممتاز التوصيلية ويستخدم هذا النوع من المغناطيس التيار المتدفق من خلال ملفات دائرية لتوليد المجال المغناطيسي الساكن حيث تصنع الملفات من سبيكة من النايوبيوم – تيتانيوم والتي عند تبريدها إلى نفس درجة حرارة الهليوم السائل (C 296-) سوف تسمح بمرور التيار بدون مقاومة وبالتالي لا تتولد أي حرارة لذلك فأن هذه الملفات تغمر بالهليوم السائل وقد يكلف تبريد المغناطيس بالهليوم ما يقارب 25000 دولار سنويا. أن هذا النوع من المغناطيس العالي التوصيلية يعطي مغناطيسية لا تتجاوز 3 تسلا (ما يعادل 90 ألف مرة بقدر الجاذبية الأرضية) وهو الحد الأعلى من المغناطيسية الذي تسمح به منظمة الصحة العالمية حيث يستخدم جهاز الرنين الأكثر من 3 تسلا في البحوث الدراسية فقط.



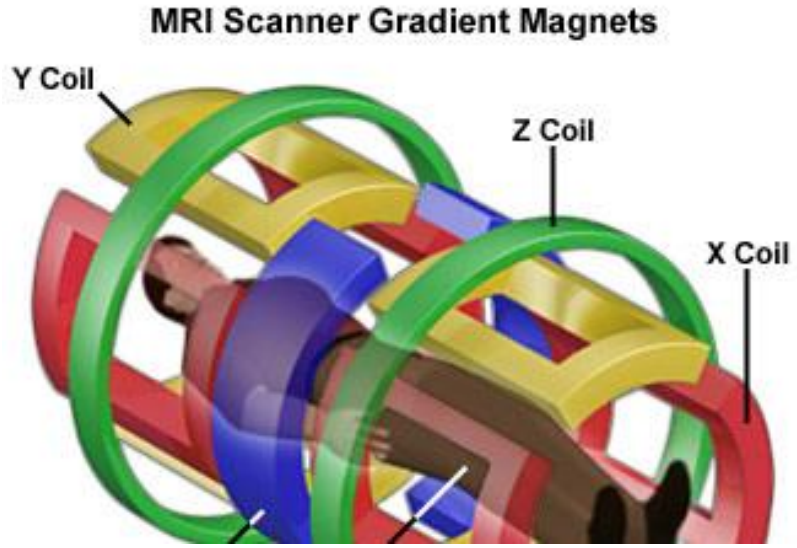
مغنطيسيات التنعيم

للحصول على تصوير رنين مغناطيسي عالي الدقة ينبغي أن يكون المجال المغناطيسي الساكن منتظما، هذا الانتظام يتم من خلال عمل تجانس للمجال من خلال استخدام أحد أنواع الشمنك كما أن هناك نظام ملف الشمنك والذي يسمح بتنعيم المغناطيس وضبطه وفقا للمحيط الذي ينصب فيه الجهاز حيث إن وجود أي مادة في مكان نصب الجهاز يمكن أن يجذبها المغناطيس تسبب عدم انتظام المجال المغناطيسي وبالتالي انخفاض في دقة صورة الرنين المغناطيسي.



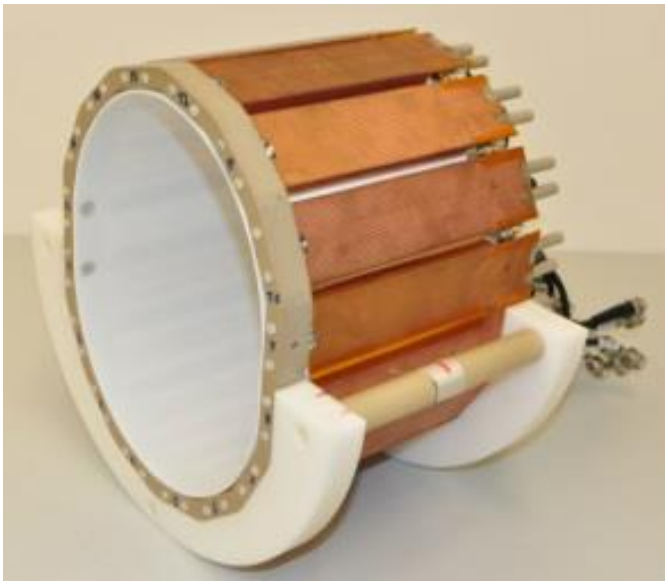
ملفات الحقول المغناطيسية متدرجة الشدة

يحتوي الأجزاء التي تولد المجالات المغناطيسية المؤقتة أثناء عملية الفحص ويتكون من جزأين رئيسيين مضخمات التدريج والتي ترسل التيار خلال ملفات التدريج أثناء عملية الفحص وملفات التدريج التي تولد المجال المغناطيسي في ثلاث اتجاهات أثناء مرور التيار من خلالها .



نظام الإشارة الراديوية

يتم إرسال واستقبال الإشارات الراديوية الى المريض من خلال هوائي أو ملف يحيط الجزء المراد فحصه. وهناك أنواع متعددة من الملفات حيث لكل مجموعة أجزاء في الجسم الملف الخاص بها للحصول على كفاءة عالية للجزء المراد فحصه بمعنى الحصول على صورة رنين مغناطيسي عالية الدقة فمثلا هناك ملفات تسمى الملفات السطحية تستخدم بصورة خاصة لفحص العمود الفقري، الوجه، الركبة، الكتف.



أجهزة غرفة المشغل

أولا: كابينة المشغل

وتحتوي على ما يلي:

a. الكومبيوتر المركزي: الذي يسيطر على الماسح ويربط الماسح مع الشبكة الداخلية للمستشفى كما ترتبط به الشاشة الفيزيولوجية الموجودة على المغناطيس الرئيسي، مسجل الفيديو والطابعة .

b. صندوق متنوع يحتوي على مفتاح سمعي ولوحة الكرتونية للاتصال مع الأجهزة الموجودة في غرفة الفحص .

ثانيا: كابينة خزن خدمية

تحتوي على مجهز قدرة ومقابس لإعطاء القدرة لأجهزة غرفة المشغل.

ثالثا: شاشة المشغل

رابعا: الوحدة السمعية

خامسا: مفتاح طوارئ

أجهزة دعم المريض

وتتمثل بمنضدة المريض التي تحركه أفقيا وعموديا والى داخل وخارج المغناطيس. وهناك وحدة تسمى بالوحدة الوظيفية على منضدة المريض والتي تحتوي على المسيطرات على عرض تخطيط القلب الكهربائي، والنبض والتنفس وتوجد أيضا لوحة السيطرة على منضدة المريض .

نظام الاتصال

والذي يمثل نظام الاتصال الداخلي جهاز الرنين المغناطيسي بشكل عام يحتوي على جزء يعطي الحقل المغناطيسي القوي وجزء يصدر موجات الراديو لتحفيز البروتونات ويلتقط الإشارات القادمة منها وجزء النظام المتدرج. المسح الذي يستخدم في المجالات الطبية يتكلف مليون دولار لكل تسلا وعدة مئات الألاف من الدولارات تنفق سنويا في الصيانة. تستخدم أجهزة الحاسب الآلي بشكل أساسي في فحوصات الرنين المغناطيسي وبرامجها المتقدمة تساعد بشكل فعال على إعطاء أفضل النتائج.

فكرة عمل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي

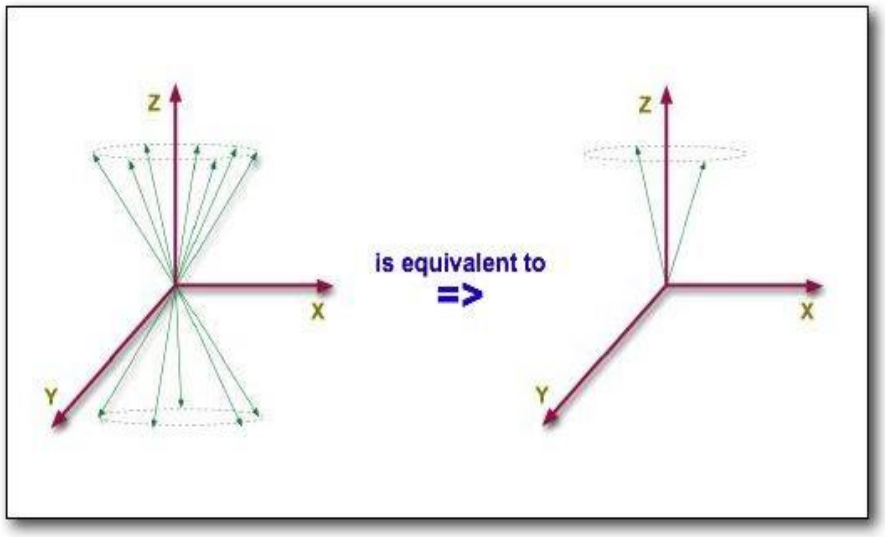
جسم الإنسان يتكون من مكونات مختلفة بها جزيئات مختلفة. فهناك الماء والدهن والعظم والدم .... إلخ. تختلف إشارة الرنين المغناطيسي باختلاف تركيب الجزيئات. لذلك تكون صورة الرنين المغناطيسي عبارة عن طيف عريض بين الأبيض والأسود نستطيع من خلاله التميز بين الأعضاء والأنسجة المختلفة. لقد عرفنا أن بروتونات الهيدروجين تكون في جسم الإنسان كمغناطيسات صغيرة. في الوضع الطبيعي تكون اتجاهات المحصلة المغناطيسية لبروتونات الهيدروجين مبعثرة في جميع الاتجاهات مما يلغي خواصها المغناطيسية. لكن عند وضع المريض داخل جهاز الرنين المغناطيسي تكون هذه البروتونات على إحدى حالتين: إما موازية لاتجاه المجال المغناطيسي الخارجي B_0 أو معاكسة له.

البروتونات التي لديها طاقة منخفضة (تستسلم) تصبح في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. لكن البروتونات التي لديها طاقة عالية (لنقل تتحدى مجازياً) تتوجه عكس اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي

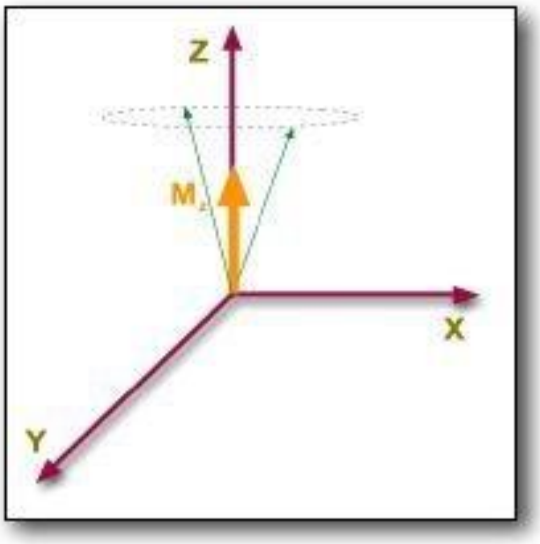
وذلك لأن لديها طاقة كافية لمقاومة اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. في جسم الإنسان عدد البروتونات التي لديها طاقة ضعيفة (ستصبح في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي) أكثر من البروتونات التي لديها طاقة عالية. ولتوضيح تأثير المجال المغناطيسي عل البروتونات سوف نقوم بتوضيح المثالين التاليين:

المثال الأول:

لنفرض أن لدينا 12 بروتون مبعثرة اتجاهاتها في جسم المريض. سبعة من هذه البروتونات لديها طاقة ضعيفة أما الخمسة الأخرى فلديها طاقة عالية. هذه البروتونات ليس لها أي تأثير في جسم الإنسان لأنها مبعثرة. عند وضعها داخل جهاز الرنين المغناطيسي فإن 7 منها ستكون في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. وخمسة تكون عكس اتجاه المجال الخارجي.



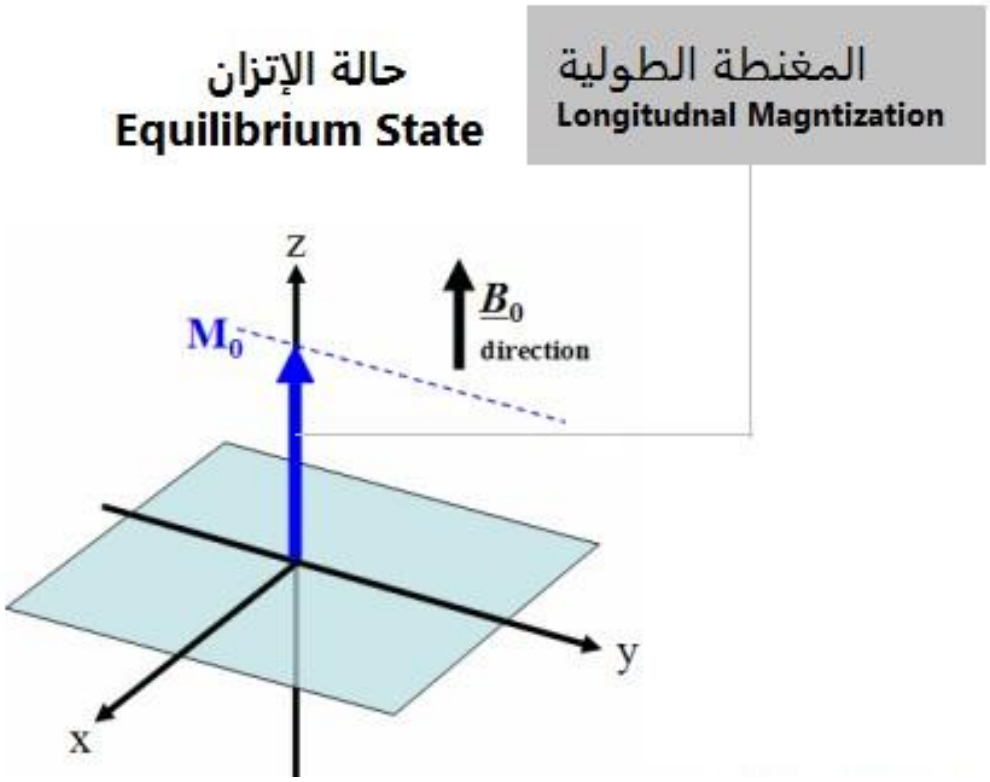
سبعة من البروتونات تدور في اتجاه المجال المغناطيسي الرئيسي والخمسة الأخرى تدور عكس المجال المغناطيسي. خمسة من البروتونات سوف تلغي تأثير خمسة من البروتونات في الاتجاه المعاكس. يتبقى بروتونان في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي سوف يكون مجموع محصلاتها عبارة عن متجه مغناطيسي يكون في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. كما هو موضح باللون البرتقالي في الأسفل وأسمه المغنطة الطولية. وهذا هو بالضبط كيف تحدث المغنطة الطولية.



المغنطة الطولية تكون مجموع محصلة البروتونات المتبقية في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. تذكر بأن عدد البروتونات التي لديها طاقة ضعيفة (مع اتجاه المجال المغناطيسي) دائماً أكثر من عدد البروتونات ذات الطاقة العالية (عكس المجال المغناطيسي). لذلك دائماً تتكون لدينا مغنطة طولية عند وضع المريض داخل جهاز الرنين المغناطيسي.

معلومة إضافية:

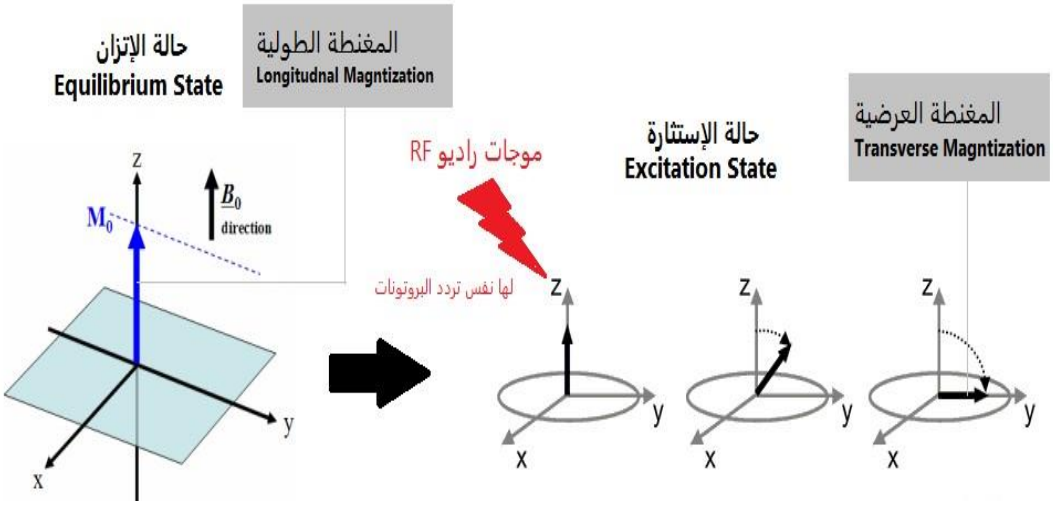
الآن بعد تكون المغنطة الطولية داخل جهاز الرنين المغناطيسي تحدث **حالة الاتزان**. حالة الاتزان هي الحالة الطبيعية للبروتونات في غياب أي مؤثر خارجي (ماعدا المجال المغناطيسي الخارجي B_0) تبقى حالة الاتزان كما هي وحتى تتم استثارتها بواسطة موجات الراديو RF.



يتم إرسال موجات راديو RF فتحصل حالة الاستثارة وتنتقل المغنطة الطولية إلى المغنطة العرضية. تسمى موجات تردد الراديو باسم degree RF pulse 90 وذلك لأنها تجعل المغنطة الطولية تتحرك بزاوية 90 درجة لكي تصبح المغنطة العرضية.

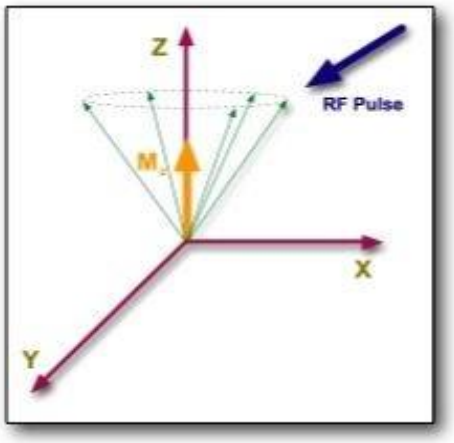
معلومة إضافية

مبدئياً في الرنين المغناطيسي يوجد نوعان فقط من موجات تردد الراديو 90 درجة أو 180 درجة. ويمكن معرفة وظيفتها من اسمها. فالأول يحرك المغنطة الطولية لتصبح بزاوية 90 درجة (هذا ما سنركز عليه الآن) والآخر بزاوية تقدر بـ 180 في الجهة المعاكسة (له استخدامات أخرى قد اتطرق إليها لاحقاً). توجد أيضاً موجات راديو بزوايا أكبر من 180، ولكن ليس لها أي استخدام يستفاد منه في الرنين المغناطيسي في المجال الطبي وتستخدم في المجالات البحثية.



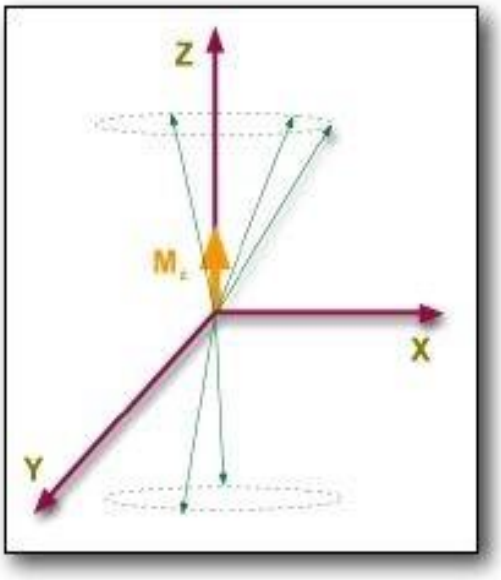
لكن ماذا حدث للبروتونات لكي تجعل المغنطة الطولية تختفي وتولد مغنطة جديدة ألا وهي المغنطة العرضية؟ بمعنى آخر كيف اختفت المغنطة الطولية وحدثت المغنطة العرضية؟

المثال الثاني: (تلاشي المغنطة الطولية وتكون المغنطة العرضية). لنفرض أنه لدينا خمس بروتونات في حالة الاتزان وتُكون جميعها المغنطة الطولية. لنتذكر أن هذه البروتونات لديها طاقة ضعيفة، لذلك هي تكون مع اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي كما في شكل (24).



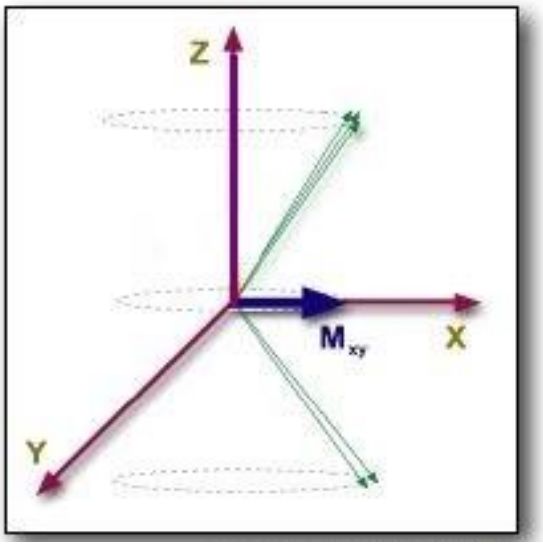
شكل 24 خمس بروتونات تدور في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي يتم استثارتها بواسطة موجات تردد الراديو

تكتسب البروتونات هذه الطاقة الإضافية (طاقة موجات تردد الراديو) بحيث اثنان منهما يصبح له طاقة كبيرة بحيث (يتحدان) يستطيعان أن يكونوا في عكس اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. لنلاحظ أيضاً في الصورة التي في الأسفل تراجع قوة المغنطة الطولية. فلم يعد يصنع المغنطة الطولية خمس بروتونات، بل ثلاث بروتونات فقط.

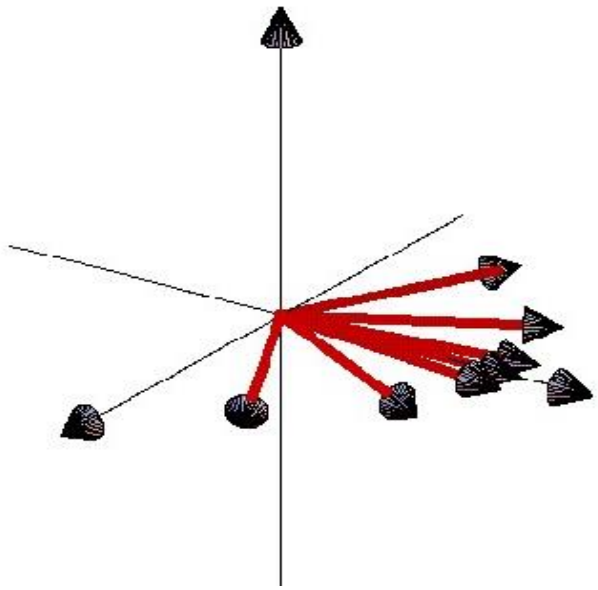


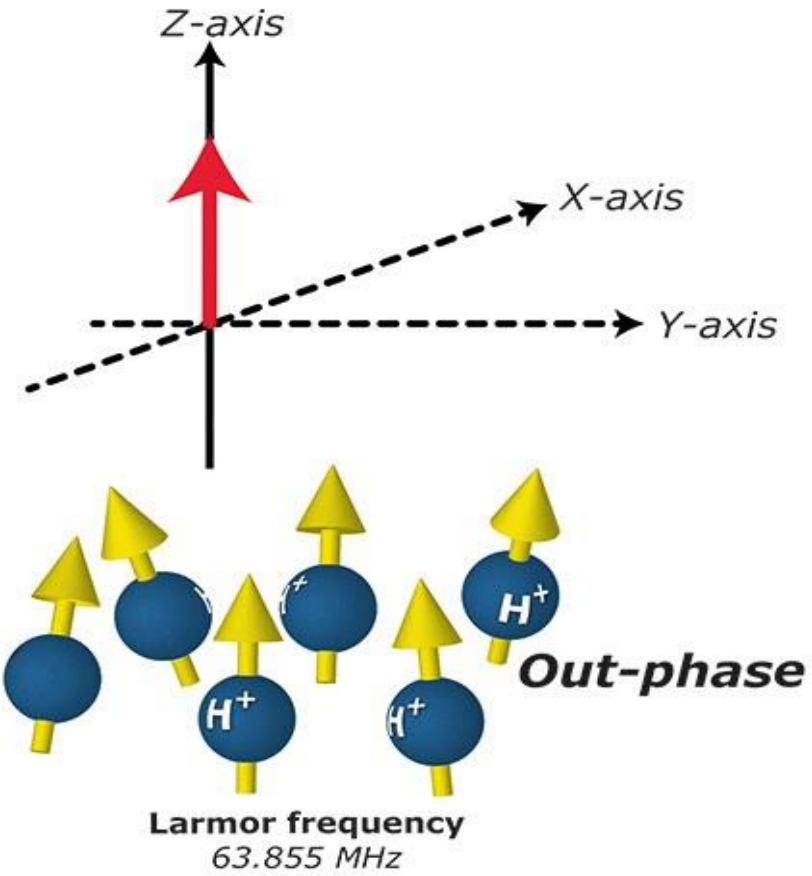
شكل 25 بروتونان يكتسبان الطاقة بشكل كافي لهما بحيث يستطيعان معاكسة المجال المغناطيسي الخارجي

لكن الآن نحن نلاحظ أن المغنطة الطولية قد تناقصت لكنها لم تزل موجودة! أيضاً المغنطة العرضية لم تنشأ بعد رغم أننا أرسلنا موجات تردد الراديو RF. هذا يعني اكتساب الطاقة لم يكن كافي للإنشاء المغنطة العرضية. إذن ما هو الشيء الناقص؟ لموجات تردد الراديو RF لها تأثير آخر على البروتونات بالإضافة إلى إعطائها للطاقة. التأثير الآخر هو جعلها تتحرك في نفس الطور in-phase. أي تتحرك بشكل متماثل ومتناغم مع بعضها البعض. هذا التأثير يكون على كلا البروتونات التي مع أو عكس أتجاه المجال المغناطيسي الخارجي.



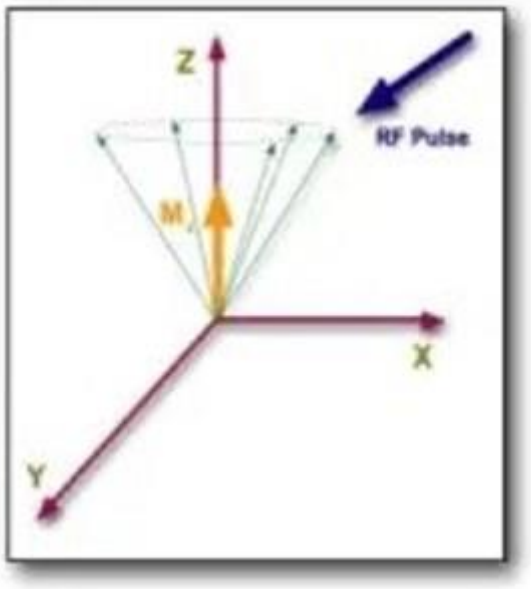
شكل 26 تلاشي المغنطة الطولية ونشوء المغنطة العرضية بسب بموجات الراديو





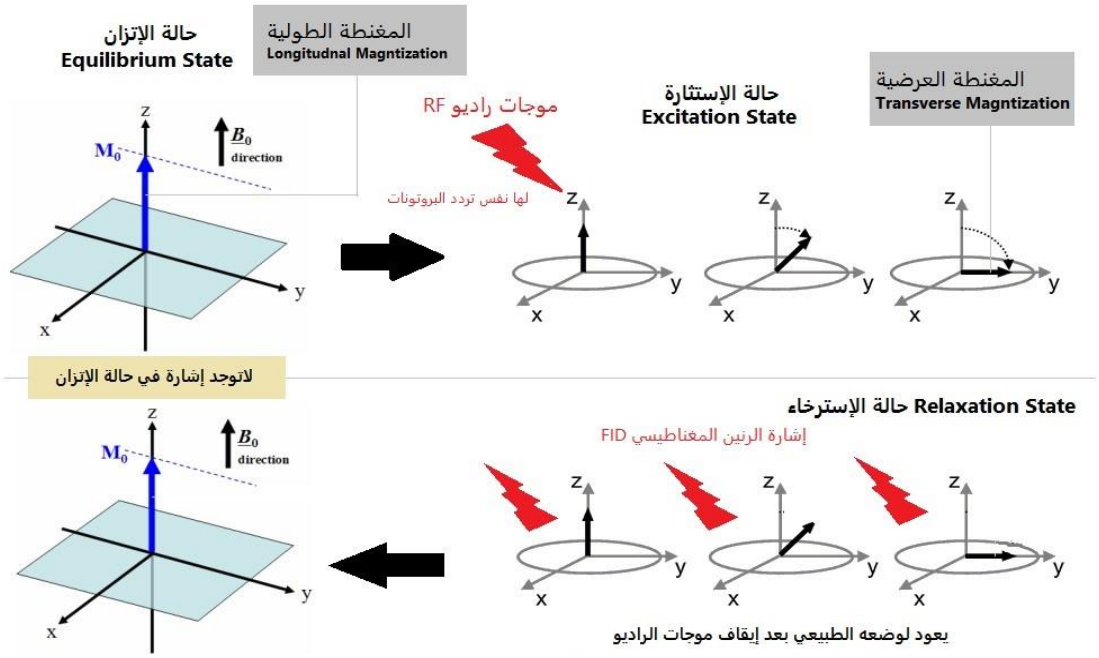
نلاحظ أنه البروتونات لم تغير اتجاه مجالاتها المغناطيسية بشكل منفرد نحو المغنطة العرضية. وإنما الذي تغير هو مجموع المحصلة المغناطيسية مما أنشأ مغنطة عرضية. ملاحظة: المغنطة الطولية والمغنطة العرضية هي عبارة عن قوة vector ناتجة من أو مجموع محصلة مغناطيسية في اتجاه معين. علينا دائما

تصور تأثير البروتونات كحزمة وليست منفردة. لذلك في الرنين المغناطيسي نتعامل فقط مع المحصلة المغناطيسية وهي مجموع قوة جميع المجالات المغناطيسي للبروتونات.



قوة المغنطة العرضية في المثال الذي في الأعلى هو 5 بروتونات. أيضاً المغنطة الطولية قوتها في المثال الذي في الأعلى 5 بروتونات

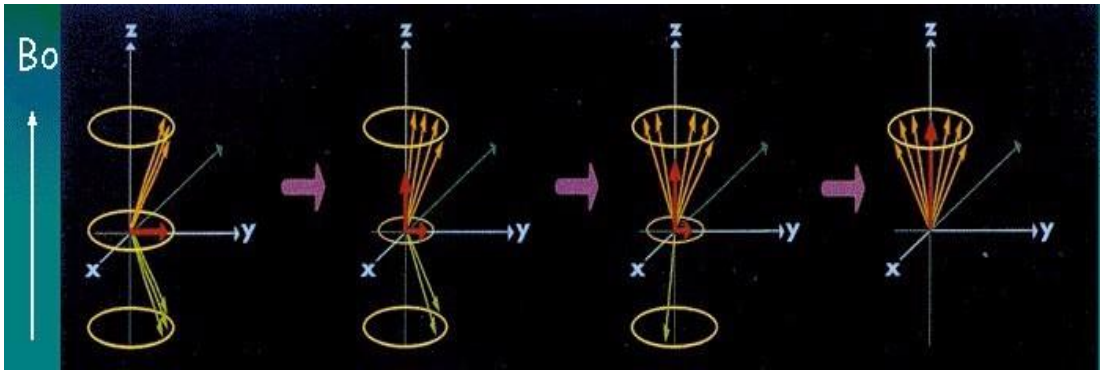
القاعدة الثانية عشرة: لموجات تردد الراديو RF تأثيران على البروتونات: الأول هو إعطاء بعضها الطاقة بحيث تكون قادرة على الدوران عكس المجال المغناطيسي الرئيسي. التأثير الثاني هو جعلها تدور في نفس الطور in-phase. إذن النتيجة النهائية هي تلاشي المغنطة الطولية ونشوء المغنطة العرضية. كما نعرف سابقاً أنه تحدث حالة الاسترخاء للبروتونات بعد إيقاف موجات تردد الراديو RF عنها. وكما قلت سابقا أن إشارة الرنين المغناطيسي تحدث عند الاسترخاء مع خسارة طاقة موجات تردد الراديو RF المكتسبة. لكن كما ناقشنا ماذا حدث بالضبط فيما يتعلق بكيفية نشوء المغنطة العرضية ونقصان المغنطة الطولية. هنا (في حالة الاسترخاء) سنتحدث ونشرح العكس.



<u>كيف تختفي المغنطة العرضية وترتفع المغنطة الطولية؟ ومتى تكون إشارة الرنين المغناطيسي؟</u>

عندما يتم إيقاف موجات تردد الراديو RF تخسر البروتونات التي اكتسبت الطاقة وتعود إلى وضعها الطبيعي في حالة الاتزان. يحدث هذا على مرحلتين.

<u>أولاً:</u> تخرج البروتونات عن مرحلة الدوران في نفس الطور لتكون في خارج الطور out of phase. ومن ثم يعود اتجاه البروتونات (مجالها المغناطيسي) للدوران مرة اخرى في اتجاه المجال المغناطيسي الرئيسي. أي أنه ما يحدث للبروتونات هو عكس ما حصل لها بعد تعرضها لموجات تردد الراديو RF.



تفاصيل خسارة المغنطة العرضية ونشوء المغنطة الطولية. الانتقال من حالة الاستثارة إلى حالة الاتزان بعد إيقاف موجات تردد الراديو.

قبل الدخول في شرح الزمن الأول والزمن الثاني يتبقى فقط أن اتحدث قليلاً عن إشارة الرنين المغناطيسي وتوضيح الفرق بين الإشارة الضعيفة والقوية وكيف تظهر على الصورة.

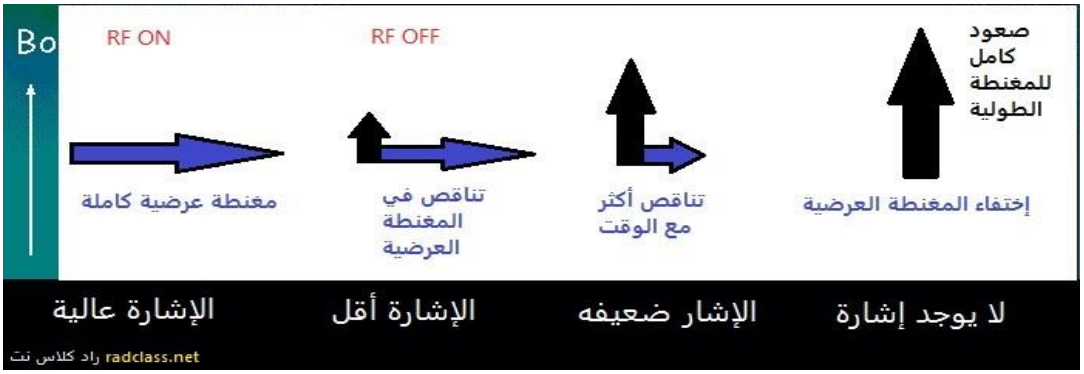
متى تكون إشارة الرنين المغناطيسي وكيف نستطيع التفريق بين نسيجين مختلفين؟

في الرنين المغناطيسي نحن فقط نستطيع تصوير أو التقاط المغنطة العرضية. لماذا؟ أيضاً لابد أن تكون البروتونات في نفس الطور in-phase لكي نأخذ إشارة الرنين المغناطيسي.

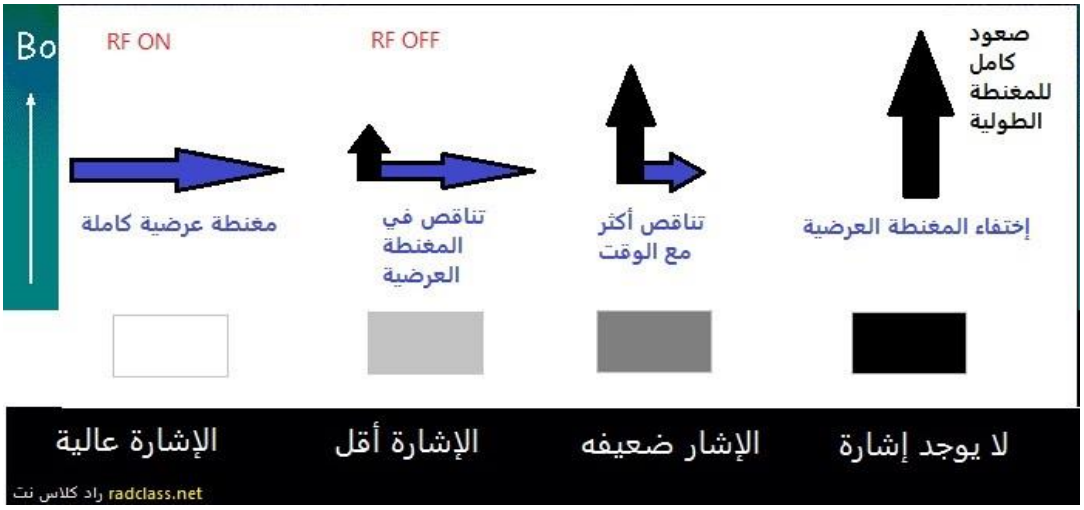
الإجابة: كما ذكرنا في الجزء الأول، لأننا لا نستطيع تمييز إشارة الرنين المغناطيسي المغمورة في اتجاه المجال المغناطيسي الرئيسي. تذكر مثال السيارات العديدة والمخرج في الجزء الأول.

أكرر مرة أخرى أن مستقبل إشارة الرنين المغناطيسي (ملف التردد RF coil) يستقبل الإشارة فقط من المغنطة العرضية. إذا كانت المغنطة العرضية أكبر تكون الإشارة أكبر.

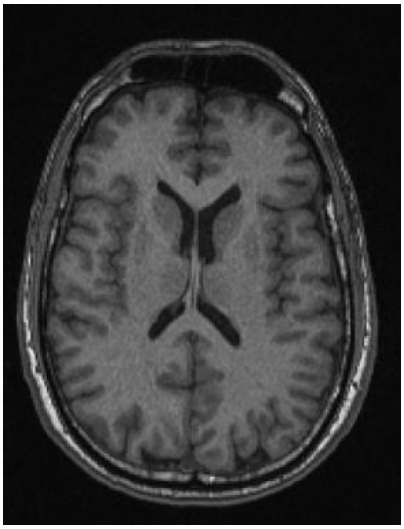
وكلما صغرت المغنطة العرضية قلت معها الإشارة حتى تختفي تماماً.



كما نعلم أن صورة الرنين المغناطيسي هي تدرج بين اللونين الأبيض والأسود. اللون الأبيض في الصورة يعني أن الإشارة قوية. واللون الأسود يعني عدم وجود الاشارة. تدرج الطيف الرمادي بين الأبيض والأسود يعكس قوة الإشارة. كلما كانت الاشارة أقوى كانت أقرب للبياض كما هو موضح في الصورة ادناه.

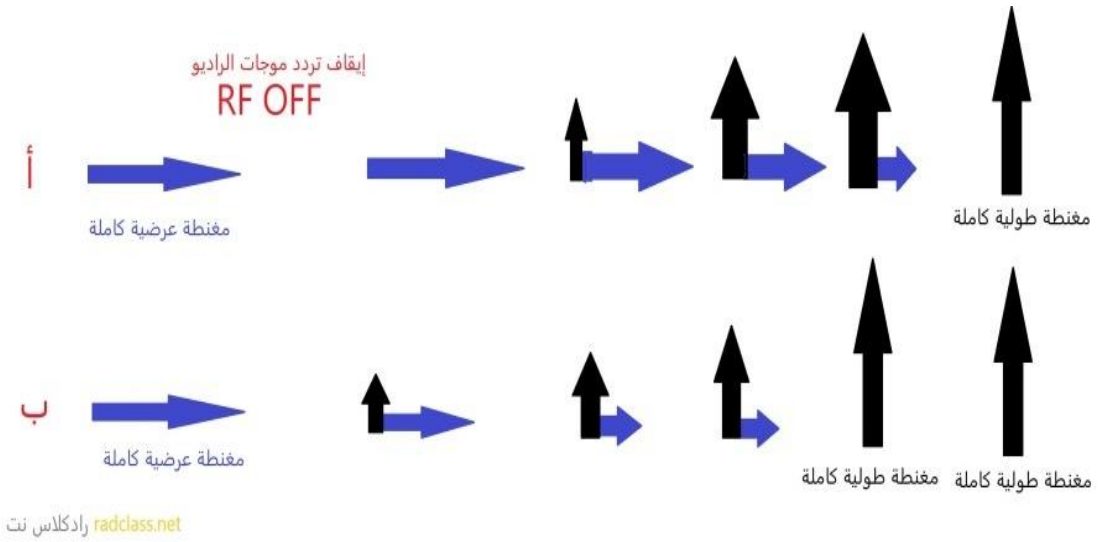


اللون الأبيض في صورة يعني أن الإشارة عالية (مغنطة عرضية كاملة) أما الأسود فيعني قلة أو عدم وجود الإشارة وتدرج الرمادي يعكس بقية الأنسجة



صورة الرنين المغناطيسي تدرج في الطيف الرمادي ما بين الأبيض والأسود

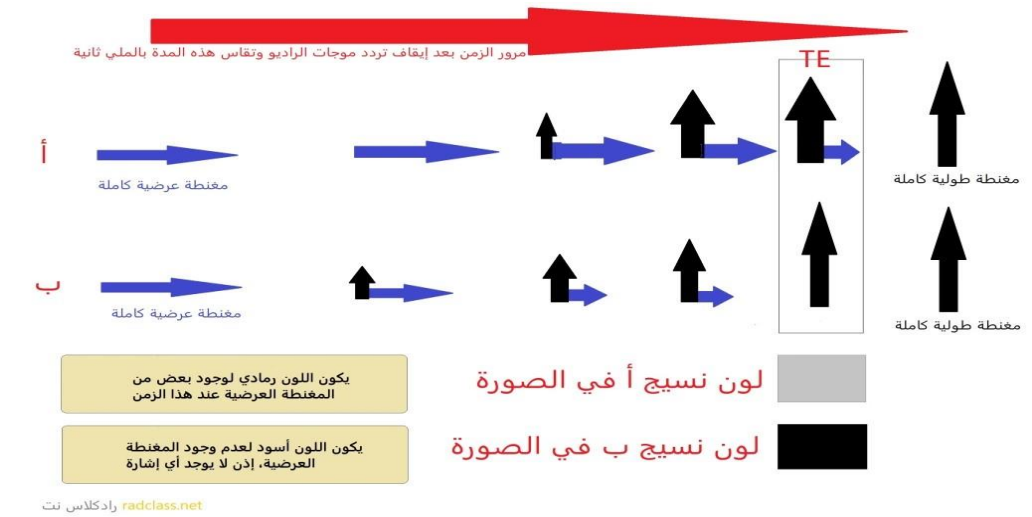
عودة المغنطة العرضية إلى المغنطة الطولية له زمن معين لكل نسيج. يختلف هذا الزمن باختلاف نوع النسيج أو المادة. بعض الأنسجة تعود بسرعة والبعض الآخر يعود ببطء. لنفرض أنه لدينا نسيجين مختلفين أحدهما له زمن عودة بطيء (أ) والآخر له زمن عودة لسريع (ب) كما هو موضح في الأسفل.



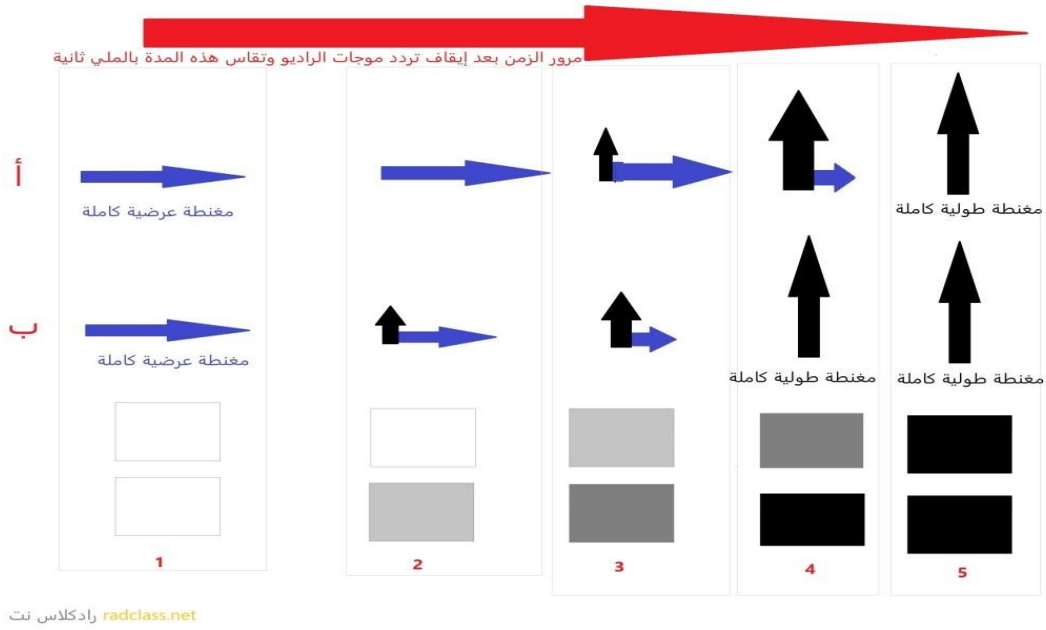
النسيج الأول لو زمن رجوع سريع والنسيج الآخر له زمن عودة بطيء- يرجع على أقل من مهله: d نلاحظ أن النسيج ب قد عاد إلى حالة الاتزان بشكل أسرع من النسيج أ.

لكن كيف يمكننا تطبيق ذلك على صور الرنين المغناطيسي؟

لنفرض أننا أخترنا التصوير عند زمن محدد بعد إيقاف RF ولنسميه زمن الصدى TE time to echo:



إذن يمكننا التحكم بزمن الصدى للحصول على الصورة الأمثل التي نريد. على سبيل المثال لو أخترنا أوقات أخرى لحصنا على الصور التالية:



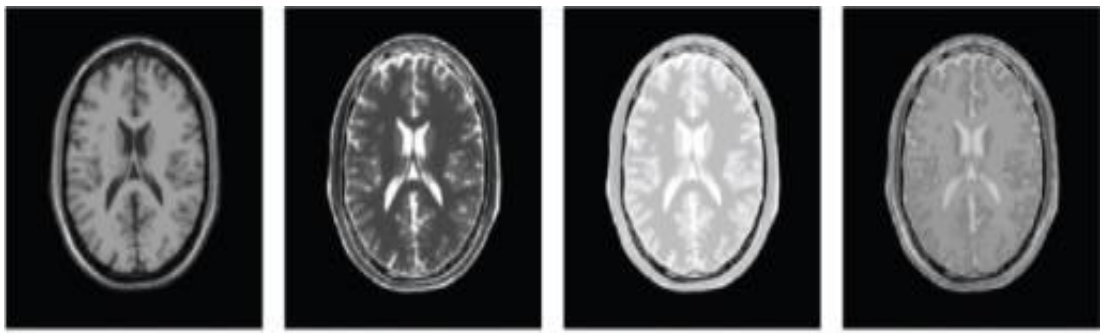
مثال افتراضي بين نسيجين افتراضيين

في **الصورة الأولى**، كان التصوير والمغنطة العرضية في أوجها بالنسبة للنسيجين. لذلك كلاهما سيظهر باللون الأبيض في الصورة. هذا يعطينا صورة غير مرغوبة لعدم وجود تباين بين الأنسجة. ما فائدة الصورة إن لم توضح مكونات النسيج؟! من هنا نستنتج إنه للحصول على صورة جيدة لا بد من الانتظار لوقت معين. (نستطيع تحديده بحسب نوع الصورة التي نريد، سنعرف ذلك في الجزء الثالث) أقول مجدداً أنه لا بد من الانتظار لوقت معين نسميه وقت الصدى TE وإلا لن نحصل على التباين بين الأنسجة.

في الصورة الثانية، حصلنا على بعض التباين بين النسيجين عند اختيار زمن صدى قليل. الوضع نفسه تقريباً في الصورة الثالثة والرابعة. في الصورة الخامسة، عندما كان زمن الصدى TE طويل جداً تلاشت المغنطة العرضية تماماً ولم يعد بإمكاننا الحصول على أي إشارة.

القاعدة الثالثة عشرة: إشارة الرنين المغناطيسي هي المغنطة العرضية وقوتها. كلما زادت المغنطة العرضية كانت إشارة الرنين المغناطيسي قوية وزاد اللون الأبيض في الصورة. وكلما كانت ضعيفة أو غير موجودة كانت غامقة أو سوداء في الصورة. نستطيع توقيت (اختيار) وقت التصوير (وقت الصدى TE) بحيث نتحكم بقوة الإشارة وضعفها في الأنسجة المختلفة. وهذا يمكننا من رؤية التباين بين الأنسجة المختلفة.

أحب أن اذكر أن المثال الذي في الأعلى هو مثال افتراضي لتقريب الصورة. سأذكر العوامل التي تتدخل في تكوين صورة الرنين المغناطيسي لاحقاً. خاصة أنه يوجد عامل آخر مهم جداً وهو وقت الإعادة time to repeat (TR) لكن هذا تمهيد لفكرة أنه باختلاف زمن التصوير ممكن أن نحصل على صور متعددة. مثلاً نستطيع اختيار الوقت المناسب لكي يكون السائل النخاعي الشوكي في الدماغ CSF أبيض وأنسجة الدماغ سوداء وتسمى هذه الصورة بـ صورة الزمن الثاني الموزونة (الصور الثانية من اليسار ادناه). أو العكس عندما تكون السوائل في الدماغ سوداء بينما نسيج الدماغ أبيض، تسمى هذه بـ صورة الزمن الأول الموزونة (الصورة الأولى على اليسار). اختلاف انواع الصور يمكننا من تشخيص أمراض مختلفة قد لا تظهر في أحد الصور وتكون واضحة في الأخرى. وسأناقش كيف يتم أخذ هذه الصور بالتفصيل لاحقاً.



أي صورة تفضل؟

الآن أعتقد أن لدينا الخلفية المناسبة لمناقشة ظاهرة الزمن الأول T1 وظاهرة الزمن الثاني T2 وهما تقريباً إعادة ما ذكرناه بالأعلى في تفصيل حالة الاسترخاء لكن مع توضيح بعض النقاط. نلاحظ أنه تختلف الألوان في هذه الصور. هذا ليس اختلاف في النوافذ windowing كما في الأشعة المقطعية أو الأشعة السينية. بل كل صورة تختلف عن الصورة فالعوامل ومكونات الصورة. نلاحظ أنه في الصورة التي على اليمين أنه لا يمكننا مشاهدة السائل النخاعي الشوكي CSF وتم تضعيف الإشارة الخارجة منها، أما نظيرتها التيفي المنتصف فتوضح جميع السوائل بما فيها الـ CSF باللون الأبيض. هذا بسبب أن الأمراض تختلف مكوناتها

ولذلك للتشخيص الكامل لا بد من أخذ عدة أنواع من الصور. طبعاً هذا لا يحدث في أنواع الأشعة الأخرى، هذا ما يجعل جهاز الرنين المغناطيسي مميز وكأنه أكثر من جهاز.

يوجد ثلاث خصائص (رئيسية – يوجد عوامل اخرى) تتحكم في التباين في صور الرنين المغناطيسي. كل صور الرنين المغناطيسي لا بد أن توجد فيها هذه الخصائص، لكن بنسب مختلفة. هذه الخواص الثلاثة هي صفات داخلية (أو ظواهر) في البروتونات تختلف باختلاف بروتونات نسيج عن آخر. ماهي هذه الخصائص؟

1. استرخاء الزمن الأول T1
2. استرخاء الزمن الثاني T2
3. كثافة البروتونات في النسيج

ملاحظة: يوجد اختلاف بين ظاهرة الزمن الأول T1 وصورة الزمن الأول الموزونة T1. مع العلم أنه يوجد علاقة بينهما سنتعرف عليها لاحقاً، ولكنهما ليس نفس الشيء. كذلك نفس الاختلاف ينطبق على ظاهرة الزمن الثاني وصورة الزمن الثاني الموزونة. أقول مجدداً جميع صور الرنين المغناطيسي لا بد أن يكون فيها جميع هذه الخصائص أو الظواهر. لكن تختلف النسبة. هذه الخصائص كلها تتعلق ببعضها البعض ويرتبط حدوث أحدها بحدوث الآخر كما سنشاهد لاحقاً. لكن يمكننا بتغيير عدة عوامل أن نستطيع أن نلعب في النسب بين ظاهرة وأخرى. على سبيل المثال، إذا أردنا أن نأخذ صورة الزمن الأول الموزونة فإننا نستطيع تغيير بعض العوامل لزيادة ظاهرة الزمن الأول في الصورة وإضعاف ظاهرتي الزمن الثاني وكثافة البروتون وهكذا.

القاعدة الرابعة عشر: يوجد ثلاث أنواع رئيسية من صور الرنين المغناطيسي يتحكم فيها ثلاث ظواهر تكون من الخواص الداخلية في البروتونات:

- صورة الزمن الأول الموزونة ويتحكم فيها بشكل رئيسي ظاهرة الزمن الأول.
- صورة الزمن الثاني الموزونة ويتحكم فيها بشكل رئيسي ظاهرة الزمن الثاني
- صورة كثافة البروتون الموزونة ويتحكم فيها بشكل رئيسي عدد البروتونات في النسيج

ما هو سبب تسمية الصور بالموزونة؟

كما قلت سابقاً أن أي نوع من الصور تكون فيه جميع الخصائص أو الظواهر الثلاثة لكن أحدها يكون بنسبة أكبر. يمكن التحكم بذلك بعدة عوامل وكأننا نستخدم ميزان لاختيار الصورة التي نريد. التلاعب أو التحكم بوقت هذه العوامل يُمكننا من زيادة تأثير أحد هذه الظواهر في الصورة وتضعيف الظاهرتين الأخرى.

العوامل الرئيسية التي تتحكم في التباين في صور الرنين المغناطيسي

سأذكر اثنان هما الأهم في هذه المرحلة

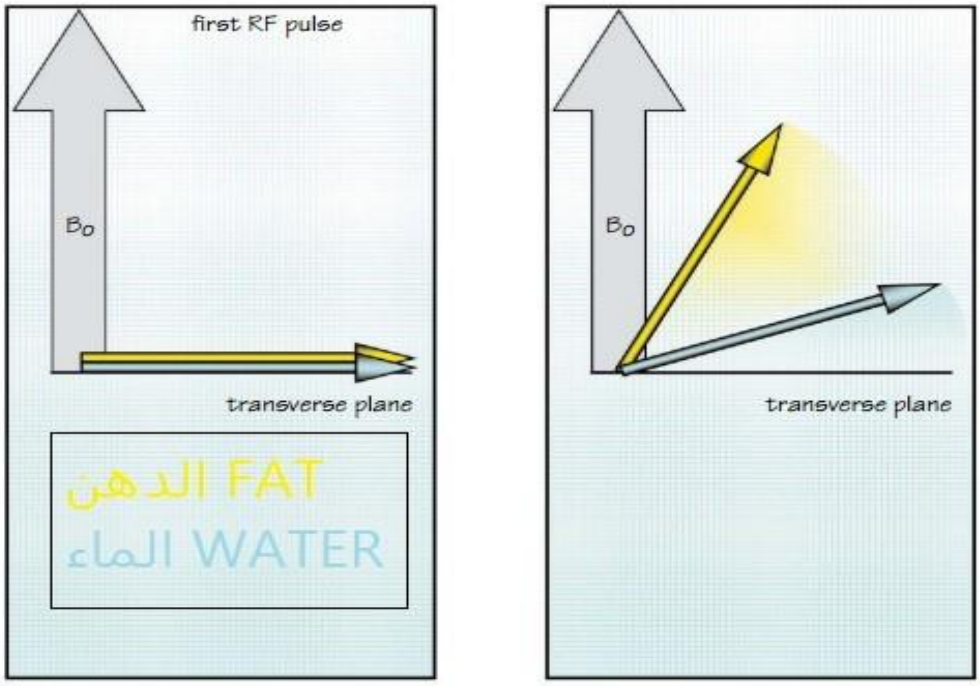
- **زمن التكرار**: المقصود هنا هو تكرار موجات تردد الراديو RF. هذا يعني وقت الانتظار بين موجات تردد الراديو RF. هذا يعني أنها ليست موجة واحدة فقط، بل متعاقبة، هذا يمكننا من التحكم بالصورة
- **زمن الصدى TE.** هو الوقت الذي نصور فيه (وقت التصوير ويسمى هنا صدى، لأننا نحن نعطي موجات راديو ثم ترجع لنا عند الاسترخاء ونصورها) المقصود هنا مدة وقت الانتظار بعد إرسال موجة تردد الراديو RF لكي نأخذ الصورة. نستطيع التحكم في ذلك أيضاً. سنتعلم كيف يحدث ذلك لا حقاً بالتفصيل.

القاعدة الخامسة عشر: يوجد عاملان رئيسيان للتحكم بالتباين أو نوع صورة الرنين المغناطيسي:

- **زمن التكرار TR**
- **زمن الصدى TE**

ظاهرة استرخاء الزمن الأول T1-Relaxation

ينتج هذا الاسترخاء نتيجة خسارة الطاقة من البروتونات إلى محيطها وهذا ما يسمى Spin-Lattice Energy Transfer. عندما تخسر البروتونات الطاقة يحدث ضعف تدريجي في المغنطة العرضية حتى تختفي بشكل كامل مع اكتمال نظيرتها المغنطة الطولية. هذا يعني الرجوع لحالة الاتزان. تختلف سرعة رجوع المغنطة العرضية إلى المغنطة الطولية بين الأنسجة. لكن في الرنين المغناطيسي يكون الماء water والدهن fat طرفا نقيض وكل ما عداهما يكون في المنتصف. لذلك دائماً سأناقش الفرق في وقت الاسترخاء بين الماء والدهن. يكون زمن الاسترخاء بالنسبة للبروتونات في الدهن خلال ظاهرة استرخاء الزمن الأول قصير. أي يحدث استرخاء بسرعة (مما يعني حدوث تلاشي للمغنطة العرضية بشكل سريع). أما الماء فهو العكس. الوقت الذي تستغرقه بروتونات الماء للاسترخاء في ظاهرة الزمن الأول يعتبر طويل (لذلك تستغرق بروتونات الماء وقت طويل للعودة) دعني أقول ذلك بصيغة اخرى، بعد استثارة البروتونات الموجودة في الدهن والماء بواسطة موجات تردد راديو RF تصبح جميعها في المغنطة العرضية بشكل كامل. بعد إيقاف موجات تردد الراديو RF تعود البروتونات الموجودة في الدهن بشكل أسرع من البروتونات الموجودة في الماء. لو انتظرنا ولم نفعل شيء، سيعود الدهن أولاً ومن ثم سيعود الماء للمغنطة الطولية.



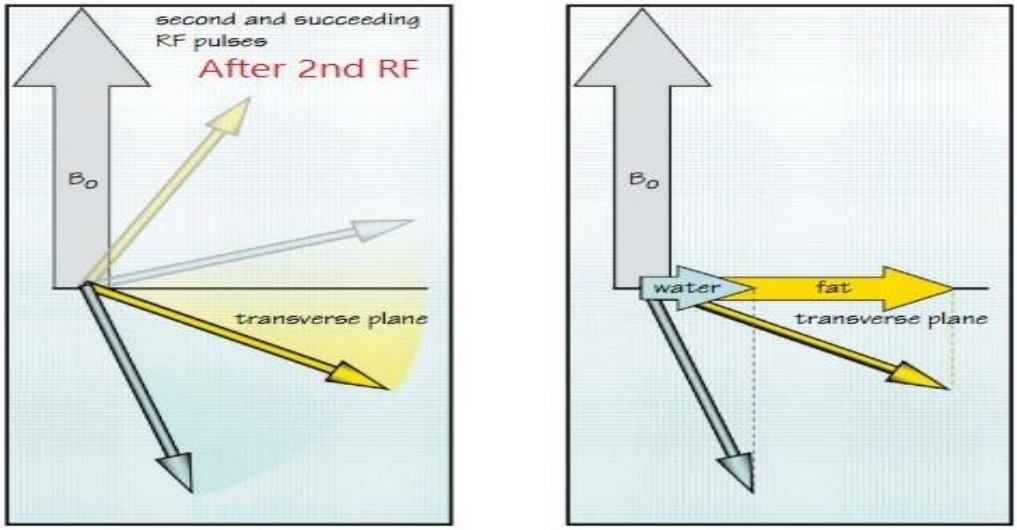
شكل 27 الدهن والماء لهما وقت استرخاء مختلف، الدهن يعود أسرع من الماء

لكن كيف نأخذ صورة الزمن الأول الموزونة T1-weighted images؟

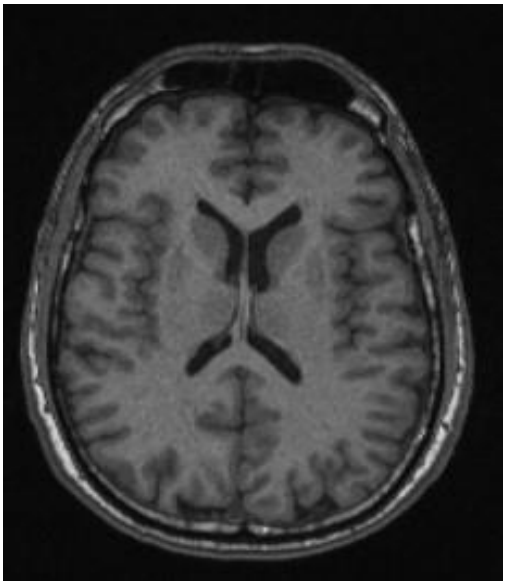
الحقيقة أننا لا ننتظرها حتى تعود بشكل كامل في ظاهرة الزمن الأول، لأننا نريد أن نستغل الفرق في المغنطة العرضية بين الدهن والماء وتمثيل ذلك على صورة الزمن الأول الموزونة. (لو انتظرنا وقت طويل سنزيد من ظاهرة الزمن الثاني في الصورة. سنعرف ذلك لاحقاً) يكون ذلك من خلال تكرار إرسال موجة تردد راديو RF بعد زمن معين نسميه زمن التكرار TR. هنا علينا ألا ننتظر طويلاً لإرسال موجة تردد الراديو RF الثانية، لأنه لو انتظرنا طويلاً سيعود كلاهما للمغنطة الطولية وسيتلاشى القرقبين الدهن والماء. لهذا السبب يكون وقت التكرار TR متحكماً في ظاهرة الزمن الأول. لذلك ننتظر وقت قصير ونرسل موجة تردد الراديو الثانية.

تذكر: يتم أخذ إشارة الرنين المغناطيسي عند المغنطة العرضية فقط!

عندما ننتظر وقت TR قصير يكون هناك فرق بين الدهن والماء، الدهن رجع مسافة أطول من الماء لأنه أسرع. لكن عندما نرسل موجة تردد راديو RF آخري يتم إبعاد الماء مسافة أبعد عن الدهن كما في الصورة في الأسفل. بذلك يكون الدهن أقرب للمغنطة العرضية من الماء. عندها ننتظر وقت صدى قصير TE لاستغلال هذه النقطة عندها نلتقط صورتنا. بهذا تكون الإشارة في الدهن أعلى من الإشارة في الماء. وهذا يعطينا صورة الزمن الأول الموزونة T1-wighted image.



بواسطة موجة تردد الراديو الثانية يتم إبعاد الماء بمساحة أكبر عن الدهن. يكون الدهن أقرب من المغنطة العرضية والإشارة منه أكبر، أما الإشارة من الماء فتكون ضعيفة لأنه بعيد عن المغنطة العرضية. ما أن الإشارة من الدهن أكبر، فإنه يظهر على صورة الزمن الأول الموزونة باللون الأبيض. أما الماء فيكون لونه أسود في الصورة لأنه بعيد عن المغنطة العرضية. ولو أخذنا صورة الزمن الأول الموزونة على الدماغ فإن نسيج الدماغ (دهن) يكون أبيض أما السائل النخاعي الشوكي CSF (ماء) فيكون أسود. تشتهر هذه الصورة بأنه صورة التشريح لأنها توضح المكونات بشكل واضح. مثلاً في الدماغ المادة الرمادية تكون لونها في الصورة رمادي. أما المادة البيضاء فتكون بيضاء في الصورة كما في الشكل (28). (صورة الزمن الثاني الموزونة العكس)



شكل 28 صورة الرنين

ملاحظة: كما قلت سابقاً الدهن والماء هما على طرفا نقيض وبقية الأنسجة تكون فيما بينهما. لكن الصورة بشكل عام تكون بتدرج الرمادي لتعكس مختلف الأنسجة.

القاعدة السادسة عشر: تعتمد ظاهرة استرخاء الزمن الأول على عودة المغنطة الطولية لحالة الاتزان. في ظاهرة استرخاء الزمن الأول T1-Relaxation بعد إيقاف موجات تردد الراديو RF تعود البروتونات المتواجدة في الدهن إلى حالة الاتزان بشكل سريع. أما البروتونات التي في الماء فتعود بشكل بطيء. تكون خسارة الطاقة هنا للأنسجة المجاورة spin-lattice relaxation.

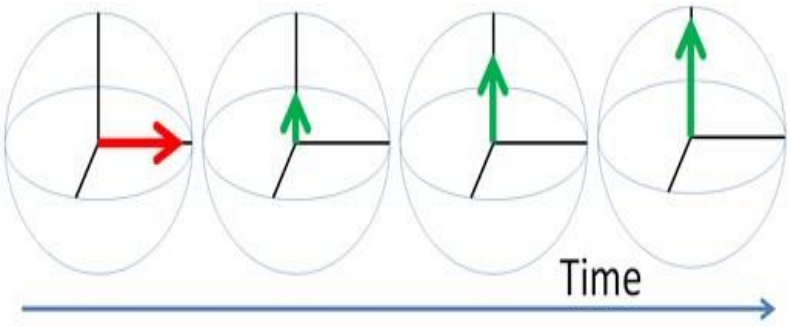
معلومة اضافية: لكيلا تنسى، المثال الذي في الأسفل سيساعدك على التذكر بشكل أسهل. من كتاب mri made easy.

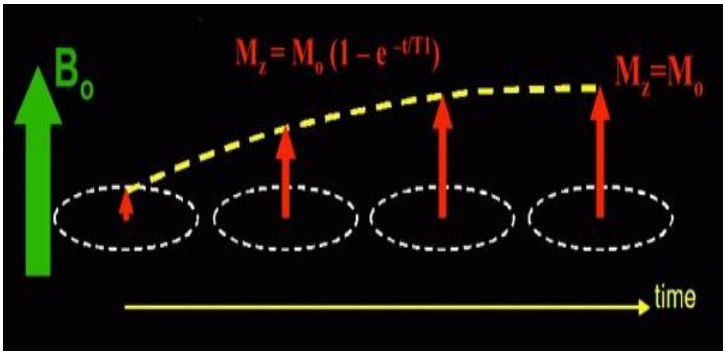
القاعدة السابعة عشر: زمن التكرار TR هو المتحكم الأساسي في صورة الزمن الأول الموزونة T1-weighted image. لا بد أن يكون زمن التكرار TR وزمن الصدىTE قصيران للحصول على صورة الزمن الأول الموزونة. يكون فيها الدهن عالي الإشارة باللون الأبيض، أما الماء فيكون ضعيف الإشارة باللون الأسود.

استخدام الرسم البياني

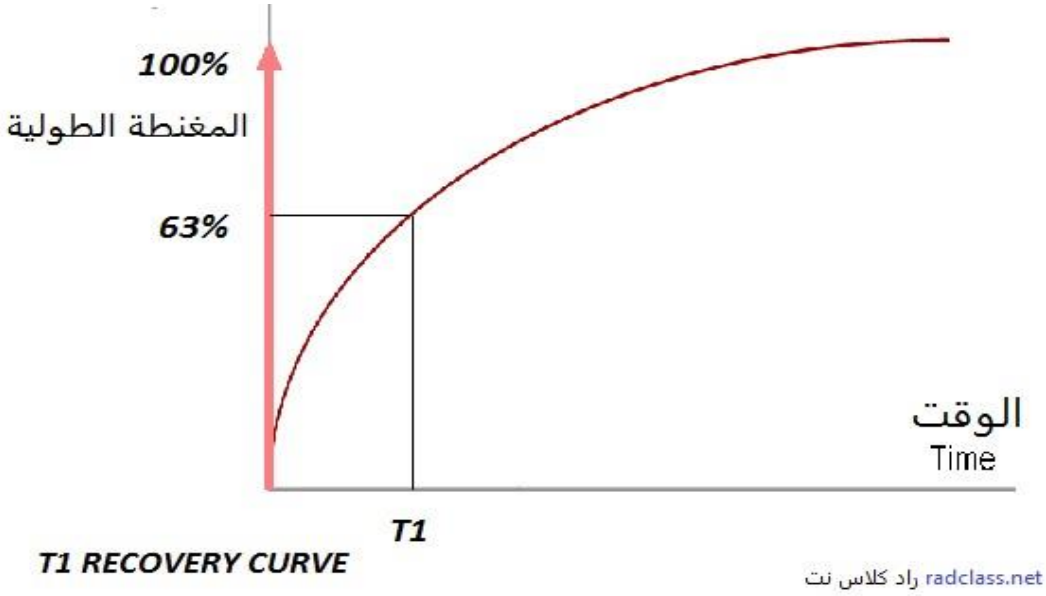
الكتب تلجأ لوصف الكلام الذي في الأعلى أيضاً باستخدام الرسم البياني. سأعرج على هذه الطريقة لكي تكون المعلومة لديك مكتملة ولكي تكون هذه الرسوم مألوفة لديك عندما تجدها في الكتب. وهي طريقة علمية جداً. أكرر أنني لن أشرح شيء جديد، ولكنني سأعيد شرح السابق بطريقة أخرى وهي الرسم البياني.

تعتمد ظاهرة الزمن الأول على عودة المغنطة الطولية إلى وضعية الاتزان (هنا لننسى المغنطة العرضية قليلاً ونركز على المغنطة الطولية، لكن تذكر أنه على الرغم أن المغنطة الطولية هي المهمة في الزمن الأول، إلا أن الإشارة التي نلتقطها هي المغنطة العرضية، كلاهما مرتبط ببعض لكن التوقيت يختلف). مع وجود موجات تردد الراديو RF تكون المغنطة الطولية تقريباً صفر. بعد إيقاف RF تتم عودة أو صعود المغنطة الطولية بشكل تدريجي حتى تكون في بشكل كامل عند وصولها لحالة الاتزان كما في الصور ادناه.

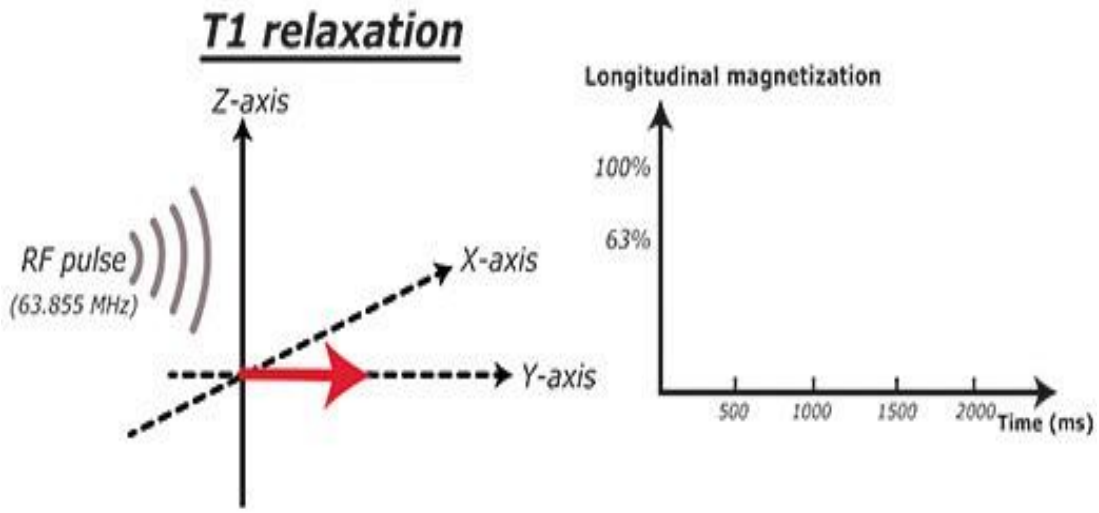




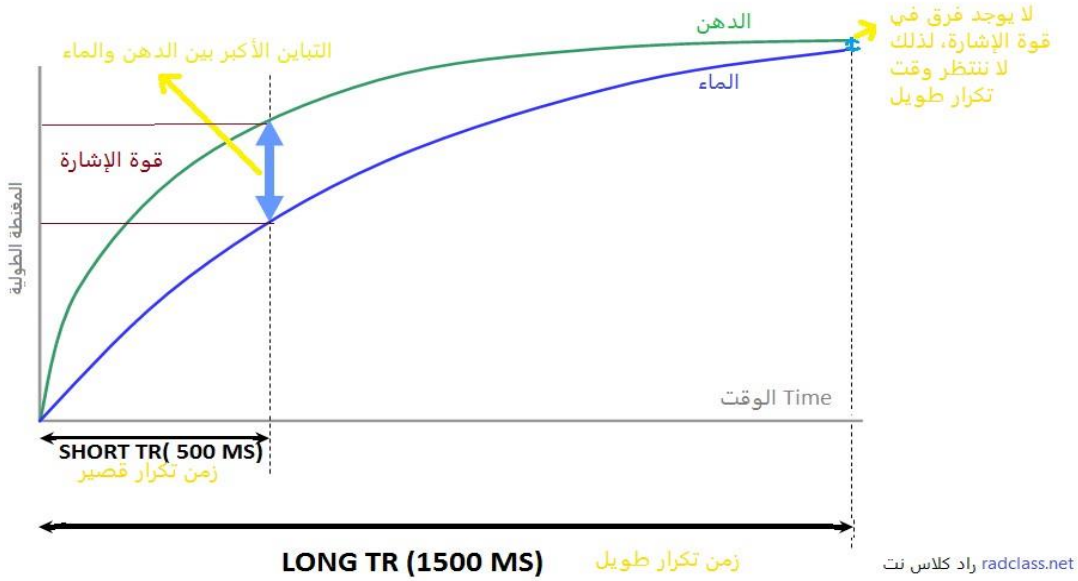
يمكننا رسم هذه العلاقة بواسطة الرسم البياني لتكون هكذا:



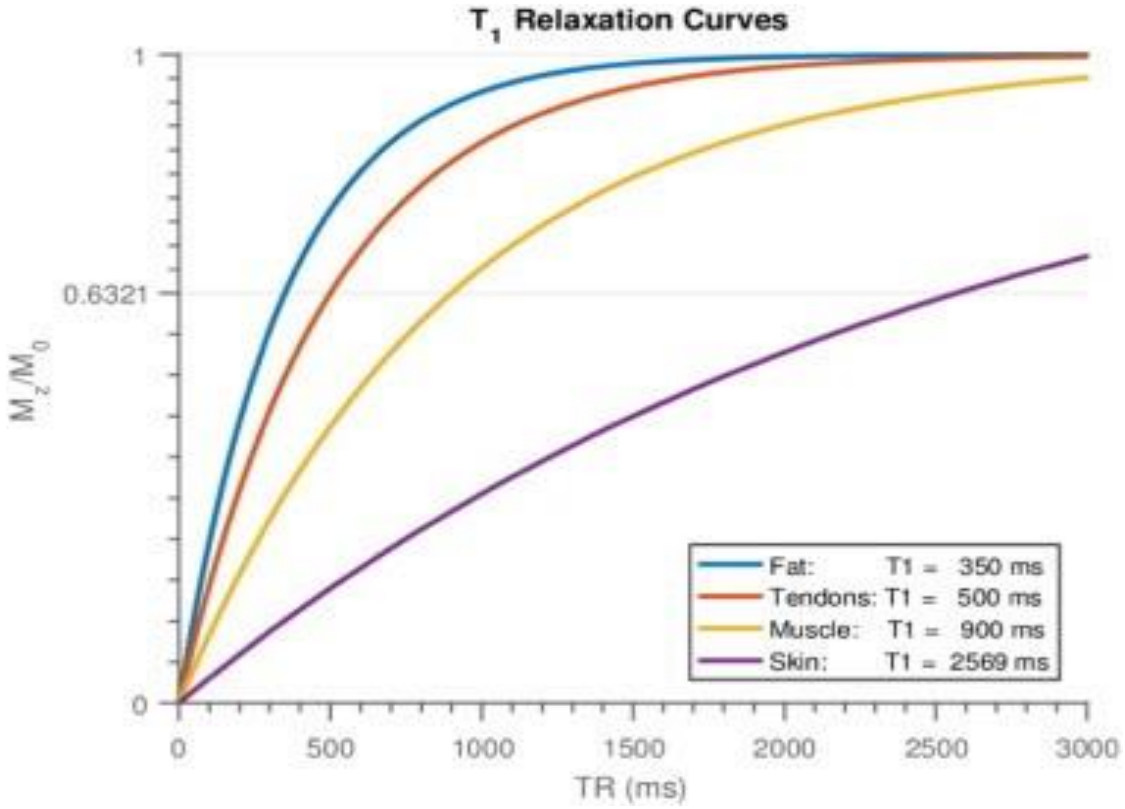
نلاحظ أن المغنطة الطولية تزيد مع زيادة الوقت



وإذا ما أخذنا في الاعتبار الدهن والماء:

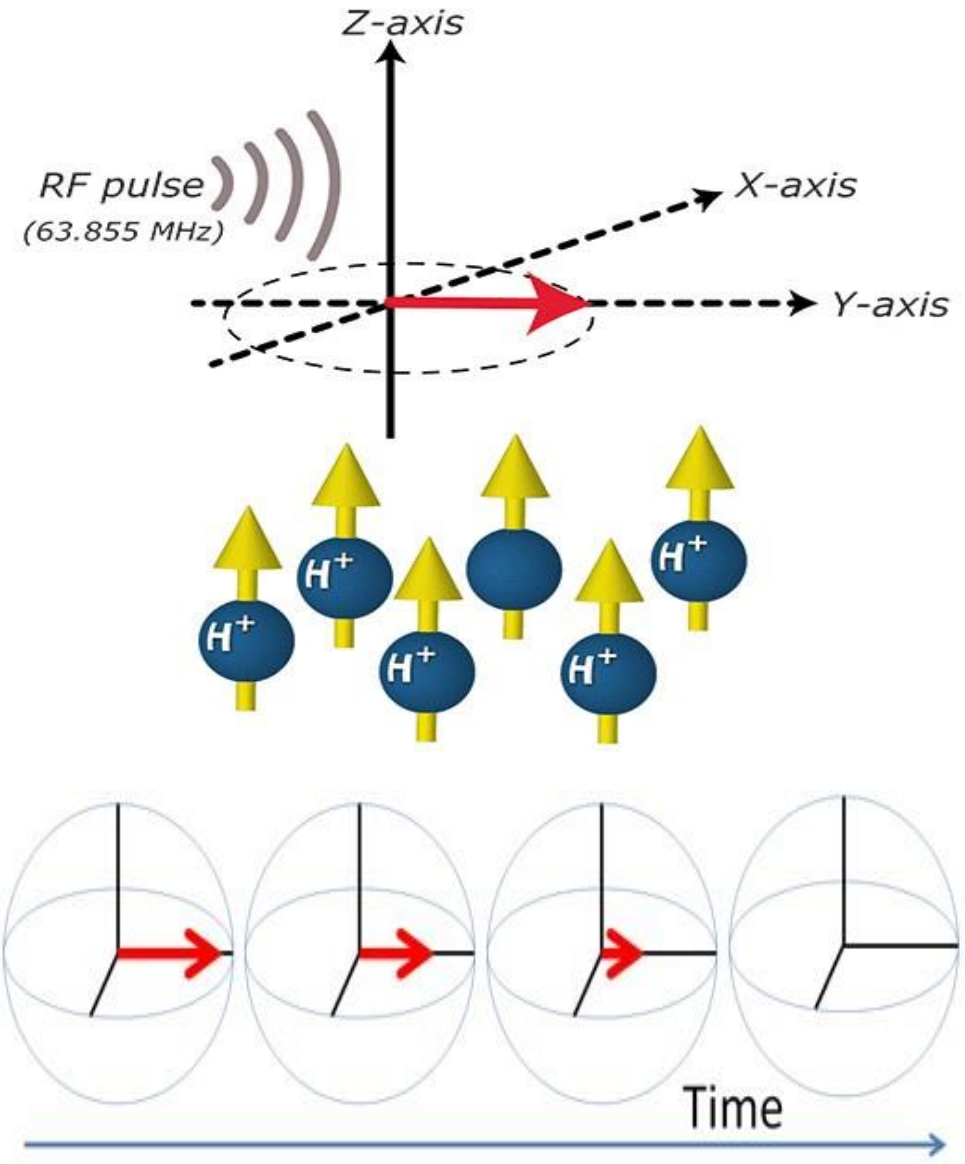


للتذكير: صورة الرنين المغناطيسي لا تتكون من فقط دهن وماء. هذا يستخدم للتبسيط. انظر الصورة ادناه لتقريب الفكرة أكثر:

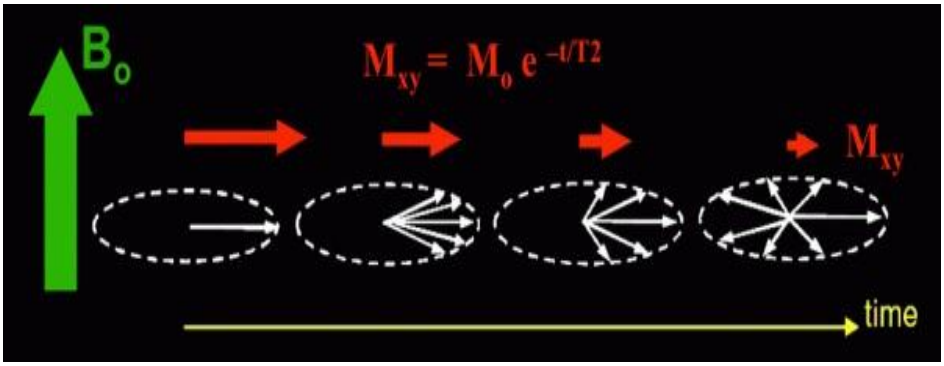


ظاهرة استرخاء الزمن الثاني T2-Relaxation

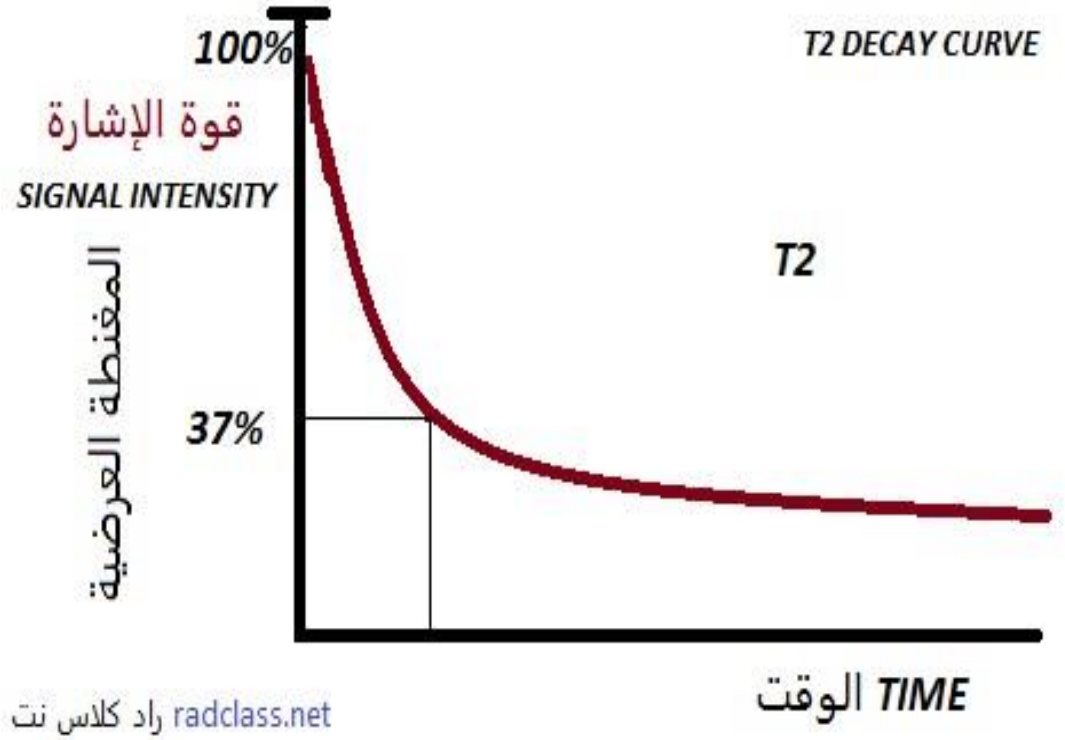
أما بالنسبة لظاهرة الزمن الثاني فإنها تعتمد على تلاشي ونقصان في المغنطة العرضية نتيجة لخسارة البروتونات الطاقة إلى البروتونات المجاورة لها ويمكن تسميتها بspin-spin relaxation . في ظاهرة استرخاء الزمن الثاني (كما في ظاهرة الزمن الأول) تحدث خسارة الطاقة للبروتونات المجاورة نتيجة لفقد البروتونات خاصية الدوران في نفس الطور in phase. يكون زمن خسارة البروتونات للطاقة بالنسبة للدهون قصير. أما بالنسبة للماء فيكون الزمن طويل. خسارة البروتونات لخاصية الدوران في نفس الطور، هذا يؤدي إلى تقلص في المغنطة العرضية حتى قبل صعود المغنطة الطولية



نقصان المغنطة العرضية نتيجة خروج البروتونات عن الدوران في نفس الطور

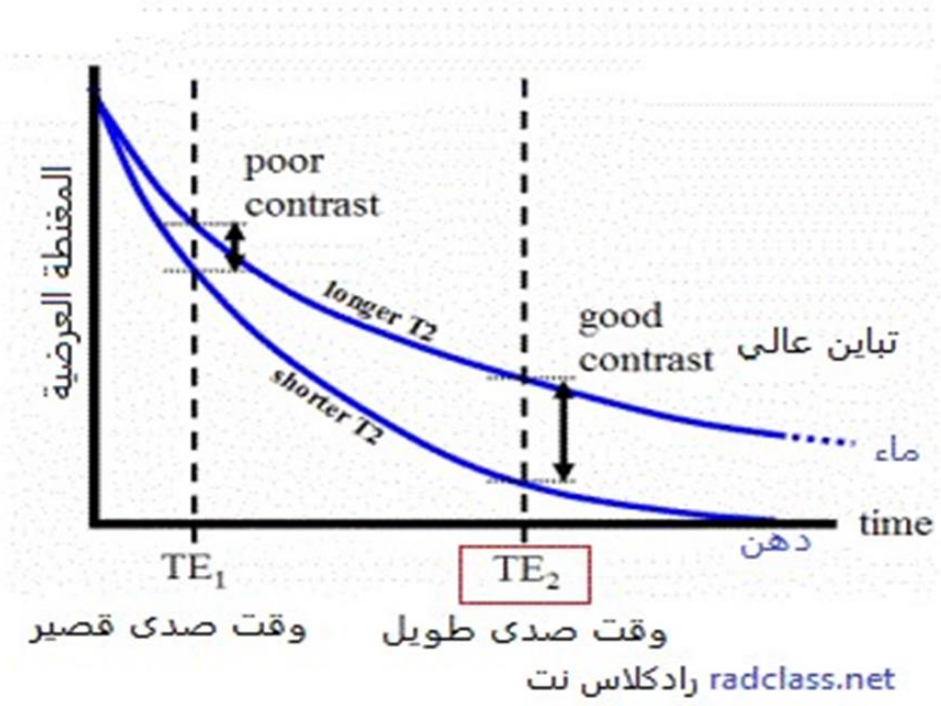


يمكننا رسم العلاقة بين المغنطة العرضية والزمن في ظاهرة استرخاء الزمن الثاني كالتالي:



تتناقص المغنطة العرضية مع مرور الزمن في ظاهرة الزمن الثاني

أما للمقارنة بين الدهن والماء فإن العلاقة تكون كالتالي:



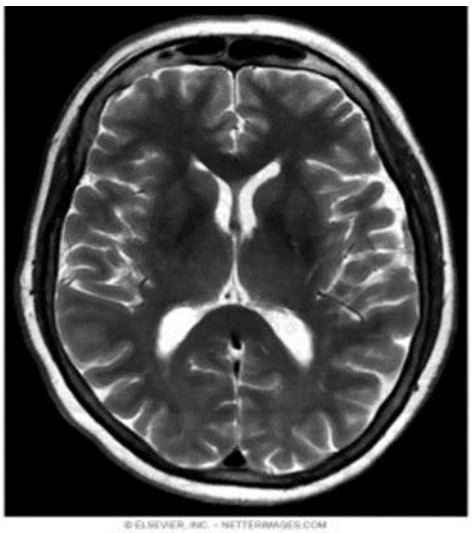
في صورة الزمن الثاني الموزونة نختار زمن صدى طويل لأن فيه يكون زيادة فالتباين بين النسيجين

هذا يعني أن المغنطة العرضية للدهن تتلاشى بشكل أسرع من المغنطة العرضية للماء في ظاهرة الزمن الثاني. بصيغة أخرى، بروتونات الماء تستغرق وقت أطول لخسارة الطاقة للبروتونات المجاورة مقارنة بالدهن.

القاعدة الثامنة عشرة: تعتمد ظاهرة استرخاء الزمن الثاني على تلاشي أو نقصان المغنطة العرضية. في ظاهرة استرخاء الزمن الثاني T2-Relaxation بعد إيقاف موجات تردد الراديو RF تفقد البروتونات أولا خاصية الدوران في نفس الطور in-phase ويصبح لها dephasing. يكون زمن خسارة البروتونات للطاقة بالنسبة للدهون قصير. أما بالنسبة للماء فيكون الزمن طَويل. تكون خسارة الطاقة هنا للبروتونات المجاورة spin-spin relaxation.

صور الزمن الثاني الموزونة T2-weighted image

العامل المتحكم في صورة الزمن الثانية الموزونة هو وقت الصدى TE. لا بد أن يكون طويل بحيث يكون هناك تباين بين الماء والدهن في الصورة. فلو اخترنا وقت صدى قصير يكون التباين قليل بين الدهن والماء. نلاحظ في الرسم البياني اعلاه أن الإشارة في الماء هي أعلى من الإشارة من الدهن. وهذا ما يعطينا صورة الزمن الثاني الموزونة. الماء يكون أبيض والدهن اسود. زمن الإعادة TR لا بد أن يكون طويل كذلك. لماذا؟



T2 Weighted Image

معلومة إضافية:

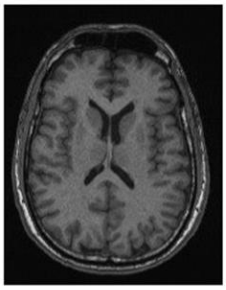
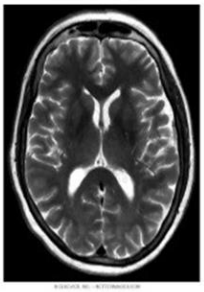
لأننا لو أخترنا زمن تكرار TR قصير فإننا سنسمح بخواص ظاهرة الزمن الأول بالظهور على صورتنا. ونحن لا نريد ذلك. نحن نريد الحصول على صورة الزمن الثاني الموزونة ويكون ذلك بـ:

- نختار زمن صدى طويل TR فهو العامل المتحكم في ظاهرة الزمن الثاني.

❖ نختار وقت تكرار TR طويل لكي نتفادى أو نخفف من ظاهرة الزمن الأول.

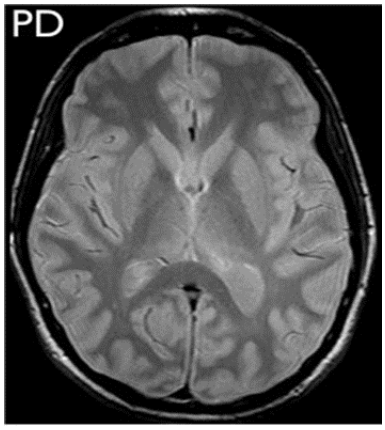
القاعدة التاسعة عشرة: زمن الصدى TE هو المتحكم الأساسي في صورة الزمن الثاني الموزونة T2-weighted image. لا بد أن يكون زمن التكرار TR وزمن الصدى TE طويلان للحصول على صورة الزمن الثاني الموزونة. يكون فيها الماء عالي الإشارة باللون الأبيض، أما الدهن فيكون ضعيف الإشارة باللون الأسود.

الفرق بين صورة الزمن الأول الموزونة و صورة الزمن الثاني الموزونة

	صورة الزمن T1-Weighted Image الأول الموزونة	صورة الزمن T2-Weighted Image الثاني الموزونة
شكل الصورة		
TR زمن التكرار	قصير Short هو العامل المتحكم في الزمن الأول	طويل Long لكي نقلل من ظاهرة الزمن الأول في الصورة
TE زمن الصدى	قصير Short لكي نقلل من ظاهرة الزمن الثاني في الصورة	طويل Long هو العامل المتحكم في الزمن الثاني
بعض خصائص الصورة	الماء يكون غامق الدهن يكون فاتح	الماء يكون فاتح الدهن يكون غامق
تشتهر بـ	صورة التشريح Anatomy Picture	صورة الأمراض Pathology Picture
ظاهرة الإسترخاء المتسيدة	ظاهرة إسترخاء الزمن الأول أكبر	ظاهرة إسترخاء الزمن الثاني أكبر

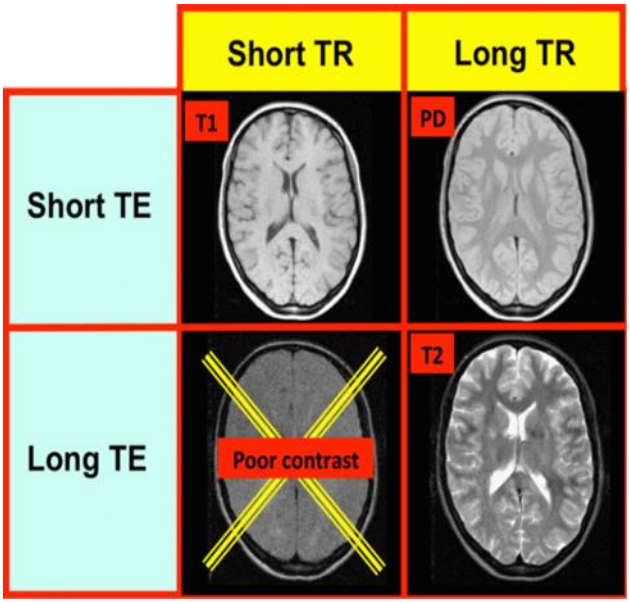
صورة كثافة البروتون الموزونة Proton Density Weighted Image

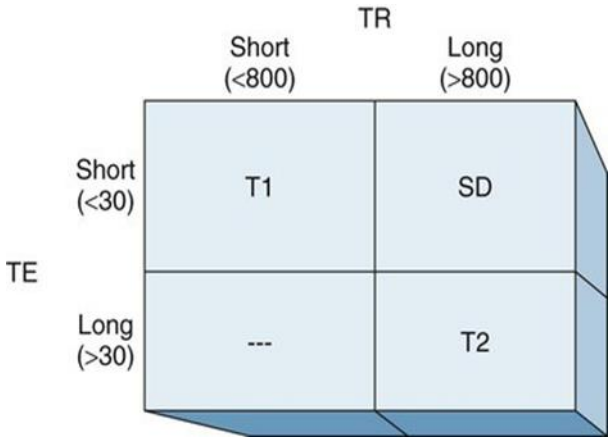
نريد صورة تعطي الفرق في الخواص بين كثافة (تركيز أو أعداد) البروتونات في الأنسجة. للحصول على هذه الصورة لا بد من اختيار زمن التكرار TR وزمن الصدىTE المناسب لكي نقلل من تأثير ظاهرة الزمن الأول وظاهرة الزمن الثاني في الصورة. تكون الصورة معتمدة بشكل كبير على كثافة البروتونات في الأنسجة. للحصول على ذلك نختار وقت تكرار TR طويل، ووقت صدى قصير. الأول لتقليل تأثير ظاهرة الزمن الأول والثاني لتقليل تأثير ظاهرة الزمن الثاني. تكون الأنسجة قليلة الكثافة في البروتونات غامقة أو سوداء. أما الأنسجة كثيرة البروتونات فتكون بلون فاتح أو بيضاء.



PD Density Weighted

القاعدة العشرين: صورة كثافة البروتون الموزونة PD-weighted image تعطي الفرق في الخواص بين كثافة (تركيز أو أعداد) البروتونات في الأنسجة. للحصول على هذه الصورة لا بد من اختيار زمن التكرار TR وزمن الصدى TE المناسب لكي نقلل من تأثير ظاهرة الزمن الأول وظاهرة الزمن الثاني في الصورة. تكون الصورة معتمدة بشكل كبير على كثافة البروتونات في الأنسجة. للحصول على ذلك نختار وقت تكرار TR طويل، ووقت صدى قصير. الأول لتقليل تأثير ظاهرة الزمن الأول والثاني لتقلي لتأثير ظاهرة الزمن الثاني. تكون الأنسجة قليلة الكثافة في البروتونات غامقة أو سوداء. أما الأنسجة كثيرة البروتونات فتكون بلون فاتح أو بيضاء.





السلامة والأمان في الرنين المغناطيسي

يعتبر التصوير بالرنين المغناطيسي آمن حيث لا يستدعي استخدام الإشعاع المؤين مقارنةً بالفحوصات الإشعاعية الأخرى مثل الأشعة السينية. بالإضافة إلى ذلك، لا يسبب التصوير بالرنين المغناطيسي أي ألم أو تلف معروف للأنسجة. ومع ذلك، بسبب المجال المغناطيسي القوي المستخدم؛ يجب اتخاذ الاحتياطات الصارمة لضمان السلامة. من المعروف أن المواد المعدنية محظورة في مجال التصوير بالرنين المغناطيسي. في فحوصات الرنين المغناطيسي، يمكن أن تكون موانع الاستعمال إما: مطلقة: حيث لا يمكن إجراء التصوير بالرنين المغناطيسي على الإطلاق أو نسبية: حيث يتم تقييم المخاطر والمنافع لتحديد ما إذا كان سيتم إجراء التصوير بالرنين المغناطيسي أم لا. أمثلة من كل نوع:

1. **موانع مطلقة:**

- ❖ المقتنيات الشخصية المعدنية أو الممغنطة: كالمجوهرات، والجوال، والساعة، ومشابك الشعر، والبطاقات البنكية. الخ.
- ❖ جهاز عظم الصدر القابل للزرع للأطفال: يستخدم هذا الجهاز في حالة تعرف بـ "الصدر المقعّر" وهو تشوه خلقي في جدار الصدر، حيث يتم وضع مغناطيسين في مواقع مختلفة لإنتاج عملية(سحب) في الصدر.
- ❖ أجسام معدنية غريبة في العين: يمكن أن يحدث بشكل خاص مع الأشخاص الذين يعملون في المعامل المعدنية، وقد تتمركز بعض الأجزاء الصغيرة المعدنية في العينين أو حولها.
- ❖ عدسة "Triggerfish" اللاصقة: عدسة ذكية توفر التسجيل التلقائي والمستمر لضغط العين الداخلي.
- ❖ جهاز ارتجاع المعدة
- ❖ مضخات الأنسولين
- ❖ منظم نبضات القلب: ما لم تكن آمنة التصوير بالرنين المغناطيسي. ومع ذلك، يجب تنفيذ الفحص تحت إجراءات صارمة.

- ❖ جهاز مزيل الرجفان المزروع.
- ❖ مشبك تمدد الأوعية الدموية الدماغية.
- ❖ زراعة مواد مغناطيسية في الأسنان.
- ❖ قوقعة الأذن المزروعة.

2. موانع نسبية:

- ❖ الشظايا: إذا كانت في أو بالقرب من الشرايين الكبيرة أو الأعضاء الحيوية مثل العين؛ تعتبر موانع مطلقة.
- ❖ الحمل: يمكن اللجوء للتصوير بالرنين المغناطيسي في هذه الحالة: إذا كانت فحوصات الأشعة الأخرى غير كافية أو سيتم تعريض المرأة الحامل لجرعة إشعاعية مؤينة كالتصوير بالأشعة المقطعية.
- ❖ مضخات الأدوية القابلة للغرس.
- ❖ أنابيب تغذية.
- ❖ موسعات نسيج الثدي.
- ❖ صمامات القلب الاصطناعية.

3. انجذاب الأجسام:

المجال المغناطيسي القوي يسبب انجذاب شديد للأجسام المعدنية والممغنطة حيث يسحبها لترتطم في مركز المجال المغناطيسي في جهاز الرنين المغناطيسي. من أمثلة هذه الأجسام:

- ❖ الكرسي المتحرك.
- ❖ الساعات.
- ❖ البطاقات البنكية أو الشخصية.
- ❖ وبعض الأجهزة الطبية.

هذا الانجذاب القوي للأجسام قد يسبب أضرار جسيمة ومن الممكن أن تكون مميتة، وأيضًا قد يسبب عطل للأجهزة المرتطمة. لتقليل احتمالية حدوث هذه الحالات، يجب اتباع تعليمات صارمة في القسم، مثل:

- ❖ الطلب من المريض خلع جميع المواد المعدنية أو الممغنطة قبل الدخول لغرفة الفحص مع إخباره بخطورة المواد المعدنية في المجال المغناطيسي القوي.
- ❖ وضيح المنطقة المحيطة بالمجال المغناطيسي القوي عن طريق وضع تحذيرات وإرشادات السلامة داخل القسم، مع مراقبة موظفين مختصين.
- ❖ قد يحتاج المريض إلى ارتداء اللباس الخاص بالمستشفى لإجراء الفحص إذا كانت ملابسه تحتوي على قطع معدنية.

- ❖ قد يتم اللجوء إلى استخدام أجهزة حساسة لاستشعار المواد المعدنية قبل دخول المريض لغرفة الفحص.

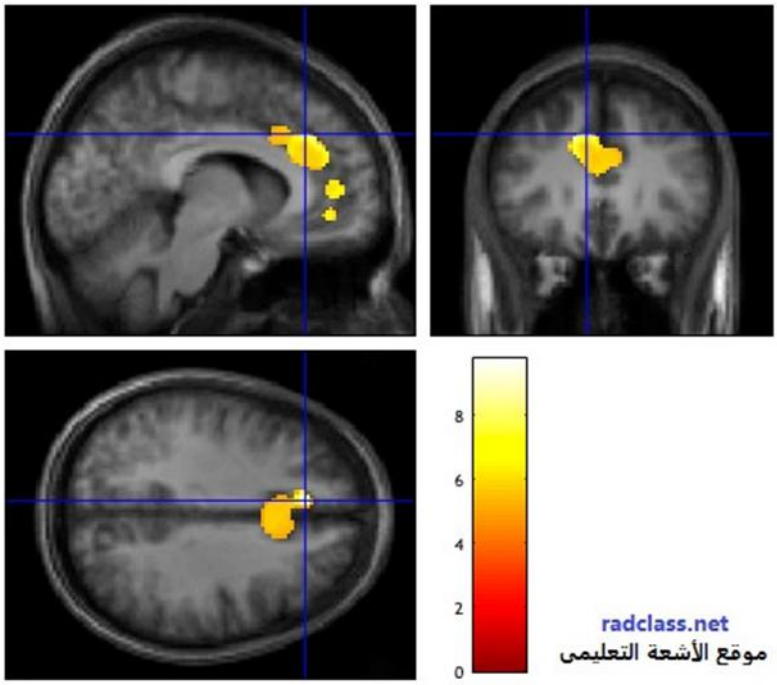
جهاز تنظيم نبضات القلب وعلاقته بالتصوير بالرنين المغناطيسي:

خلافًا للماضي، أجهزة تنظيم نبضات القلب في الوقت الحالي لديها تكوين جديد وقد تحتوي على كمية أقل من المواد المعدنية أو لا تحتوي عليها على الإطلاق، وهذا يجعلها قابلة بشكل كبير للخضوع لفحص الرنين بشكل آمن نسبيًا. عمومًا، عند القيام بفحص الرنين المغناطيسي في هذه الحالة، يجب اتباع تعليمات خاصة وصارمة، مثل:

- ❖ أخذ موافقة المريض الشفهية والمكتوبة
- ❖ يجب مراقبة واختبار الجهاز قبل وبعد الفحص مع مراقبة مستمرة أثناء الفحص.
- ❖ يلزم حضور طبيب القلب أثناء الفحص وحتى انتهائه.
- ❖ مراقبة مستمرة للمريض (ضغط الدم، نبضات القلب ومستوى الأوكسجين)
- ❖ الحرص على التواصل المستمر مع المريض عن طريق النظر والكلام،
- ❖ إرشاد المريض لإخبار المختصين بالفحص عن أي شعور غريب.

الرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI

في هذه الأيام لا يكاد يمر عليك وقت طويل إلا وتصادف خبراً في وسائل الإعلام عن اكتشاف جديد تم عن طريق الرنين المغناطيسي الوظيفي. الرنين المغناطيسي الوظيفي Functional Magnetic Resonance Imaging -fMRI هي طريقة لقياس نشاط الدماغ. بواسطته يمكننا أن نحصل على نافذة لرؤية كيف يقوم الدماغ بوظائفه وكيف يتصرف عند القيام بمهمة معينة.

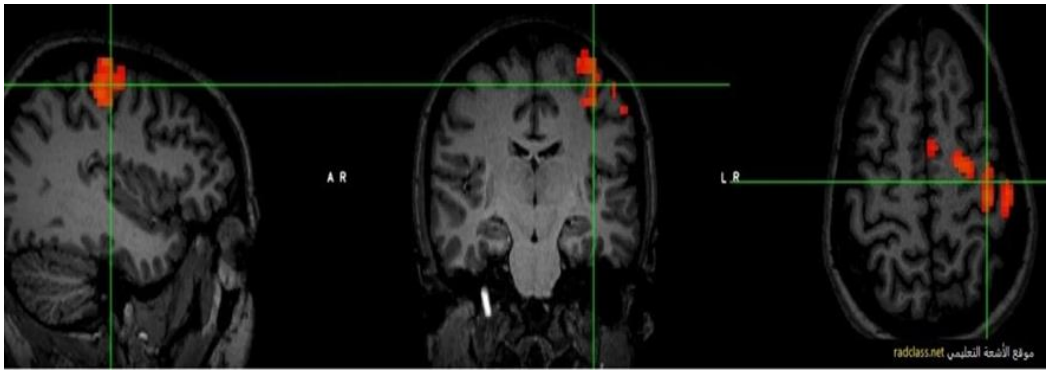


الدمج مع الصورة التشريحية T1 باستخدام SPM12مقدمة

أول من اكتشف هذه الطريقة هو الياباني أوجاوا Ogawa عام 1990 ميلادي. اكتشف أوجاوا أن الخواص المغناطيسية في الدم تختلف باختلاف نسبة الأكسجين فيه. تنبأ أوجاوا في نهاية بحثه أنه من الممكن استخدام هذه الطريقة لقياس نشاط الدماغ باستغلال اختلاف كمية الأكسجين في الدم عندما تقوم الخلايا بنشاط معين مقارنة بالخلايا الأخرى. قام أوجاوا بالمزيد من الأبحاث لإثبات أن طريقته من الممكن أن تنجح في قياس نشاط الدماغ شاركه في ذلك العديد من العلماء في العالم. فعلاً تم إثبات فعالية هذه الطريقة وتم تطويرها لتصبح الآن أهم الأدوات في كشف أسرار الدماغ. تم في السنوات العشر الأخيرة تزايد استخدام هذه التقنية بشكل كبير وملحوظ خاصة في مجال دراسة الدماغ ووظائفه والأبحاث المتعلقة بذلك. تعتبر دراسة وظائف الدماغ وكيف يقوم بعمله تحدي صعب، وذلك لأن الدماغ محصن داخل عظام قوية لحمايته (عظام الجمجمة). طور العلماء العديد من الطريق لدراسة الدماغ وليس المجال هنا سردها، ولكن تقنية الرنين المغناطيسي الوظيفي قد تكون أهم هذه الطرق وذلك لأنها آمنة ولا تتضمن أي إشعاع ولا أي تدخل جراحي. بجانب التطبيقات البحثية للرنين المغناطيسي الوظيفي، أصبح استخدامه المجال الإكلينيكي في المستشفيات وتطبيقاته فيها في تزايد، خاصة في حالات ما قبل العمليات الجراحية للدماغ. الطريقة التي أكتشفها أوجاوا - وهي الأكثر استخداما اليوم وتسمى بـ BOLD وهي اختصارا لـ Blood Oxygenation Level Dependent وهي تعتمد بشكل أساسي على اختلاف مستوى الأكسجين في حالتي النشاط والخمول.

الفرق بين التصوير بالرنين المغناطيسي المعتاد والوظيفي

التصوير عن طريق الرنين المغناطيسي المعتاد يعطينا صور توضح شكل أنسجة الدماغ، إذا ما كانت سليمة أو يوجد بها عدة أمراض وهكذا. التصوير بالرنين المغناطيسي المعتاد بواسطته يمكننا رؤية الدماغ، أما التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي يعطينا معلومات عن نشاط الدماغ عند القيام بنشاط ما. مثلاً عند الطلب من الشخص الذي بداخل الرنين المغناطيسي القيام بتحريك أصعبه يزيد النشاط في المناطق المسؤولة عن تحريك الأصبع في الدماغ. بذلك نستطيع تصوير الوظيفة بدلاً عن الشكل (التشريح). في الأسفل (صورة 1) مثال لتجربة على شخص تم الطلب منه فقط النقر بأصابعه (الضغط المتكرر finger tapping) بسبابة وإبهام اليد اليمنى داخل الجهاز. يلاحظ النشاط في المنقطة الحركية motor area من الجزء الأيسر من الدماغ (يسار الدماغ مسؤول عن الجزء الأيمن من الجسم والعكس صحيح).

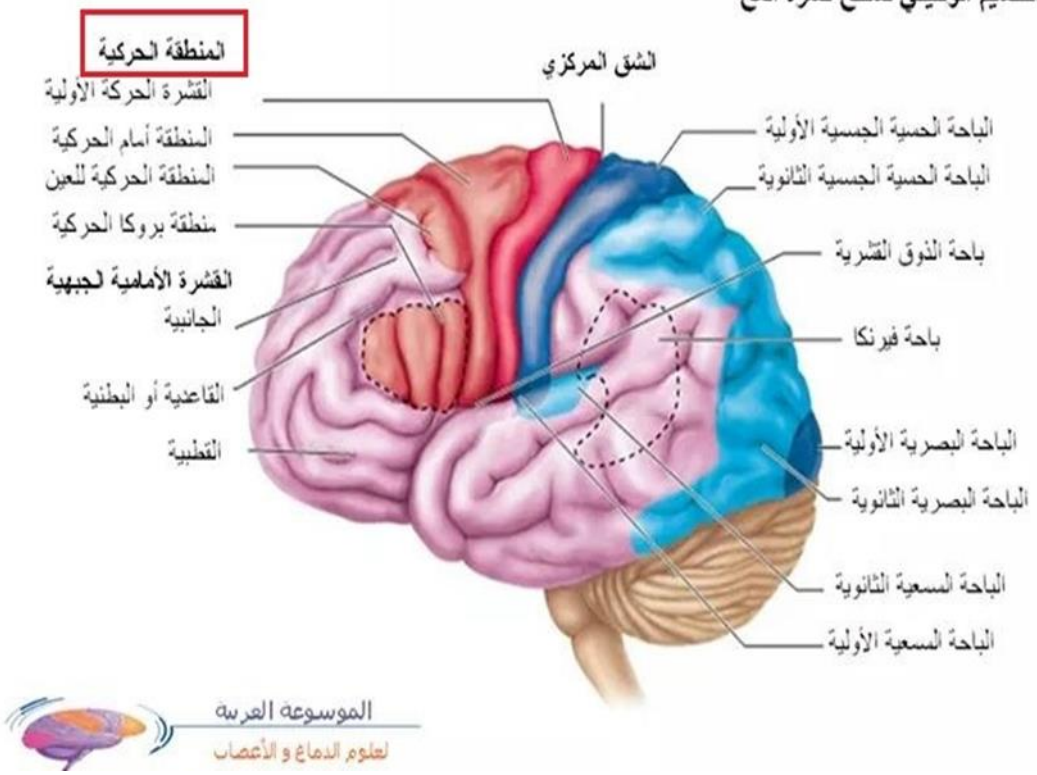


تجربة النقر على الأصابع بالرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI باستخدام برنامج FSL. التقاطع باللون الأخضر يشير إلى أعلى قيمة.

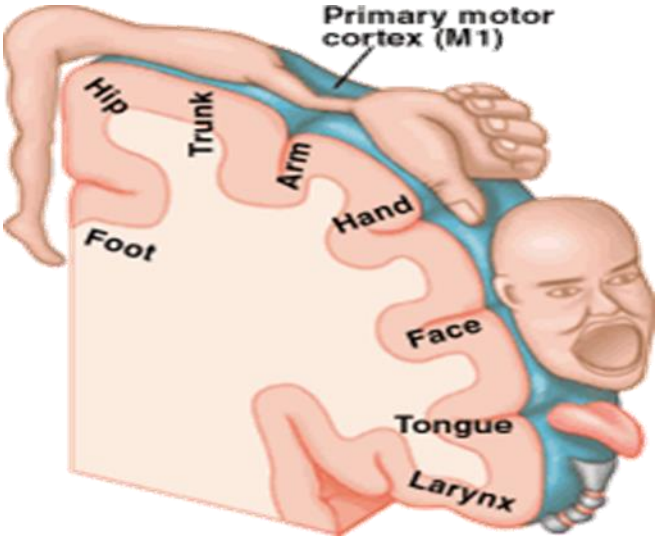
يمكنك مقارنة الصور بالأعلى بالصور التشريحية للمنطقة الحركية، أيضاً المنطقة الحركية بدورها مسؤولة عن حركة عدة أعضاء في الجسم والجزء الخاص بحركة اليد تقع تقريباً في منتصف مقطع المنطقة الحركية. إذن يمكننا أن نستنتج أن الرنين المغناطيسي قد تمكن تحديد هذه المنطقة بدقة عالية.

المفاهيم الأساسية

- التقسيم الوظيفي لسطح قشرة المخ



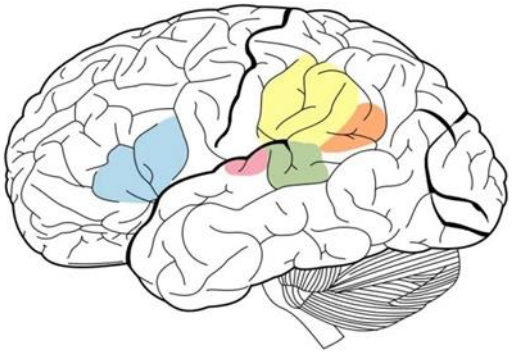
المنطقة الحركية بالأحمر



موضع اليد في المنطقة الحركية

مناطق في الدماغ مسؤولة عن وظائف مختلفة

نحن نعرف العديد من المعلومات عن الدماغ قبل ظهور الرنين المغناطيسي الوظيفي بواسطة طرق مختلفة لدراسة الدماغ ولعل أقدمها هو التشريح بعد الوفاة. على سبيلا لمثال تم اكتشاف منطقة بروكا (هي منطقة تقع في الفص الأمامي في أحد جانبي المخ وغالبا ما تكون في الجانب الأيسر من العقل البشري مسؤولة عن الكلام والنطق) عن طريق تشريح دماغ شخص كان سليم ومعافى، لكنه بعد ذلك اصابه مرض (ما يعرف اليوم بجلطة الدماغ)وفقد معه القدرة على الكلام. تم تشريح دماغ هذا الشخص بعد وفاته من قبل الطبيب بروكا واكتشف وجود موت للخلايا في الدماغ في منطقة معينة، استنتج الطبيب أن هذه المنطقة مسؤولة عن الكلام وفعلاً أثبتت التجارب اللاحقة صحة كلامه وتم تسمية هذه المنطقة باسم منطقة بروكا تيمناً به. الشيء الرائع هو أن الرنين المغناطيسي الوظيفي اتى ليؤكد صحة هذه الاكتشافات (أو بشكل ادق- اضافة أدلة أخرى). وهذا ما يعطينا بعض الثقة في هذه التقنية ونتائجها خاصة مع توارد هذه الأدلة بواسطة دراسات الدماغ المختلفة. يتكون الدماغ من عدة مناطق لها وظائف مختلفة ومتنوعة. الأبحاث المتعلقة بوظائف الدماغ مازالت تحاول فهم الدماغ، وعلى الرغم من أننا نعرف الكثير عن الدماغ وأسراره إلا أنه هناك أيضاً الكثير مما نجهل. أهم الطرق لدراسة الدماغ والتي أصبحت من أهم الأدوات هو الرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI. وذلك لأنه تقنية آمنة على المتطوعين ولا تسبب لهم الأذى. الدماغ يتكون من عدة مناطق وظيفية، قد تختلف وأحياناً تتفق في وظائفها. مثلاً منطقة بروكا Broca's Area مسؤولة عن إنتاج الكلام والتحدث بشكل عام، أي مرض في هذه المنطقة (ك جلطات الدماغ أو الأورام) قد ينتج عنها عدم القدرة على الكلام أو التحدث بطريقة غير مفهومة. لنأخذ مثال آخر شهير هو منطقة فيرنك Wernicke's Area وهي منطقة من الدماغ مسؤولة عن فهم الكلام أو استيعابه، مثلاً أي مرض يتواجد في منطقة فيرنك قد ينتج عنه أن المريض يتحدث بلغة غير مفهومة. قد يتحدث بطريقة نطق سليمة لأن منطقة بروكا لم تتأثر، ولكن كلماته ليس لها أي معنى ويشبهه البعض بالسلطة word salad. هذه لمحة عن التشريح الوظيفي في الدماغ الهدف منها التعريف بكيف يمكننا الاستفادة من الرنين المغناطيسي الوظيفي في فهم آلية عمل الدماغ، وليس كشرح لوظائف الدماغ وهو موضوع آخر متوسع بحد ذاته. يتبقى نقطة أحب الإشارة إليها بأن الدماغ مترابط ببعضه البعض ولا توجد منطقة تستطيع القيام بوظائفها على حده، لذلك قد تتعدد الوظائف لمنطقة محددة من الدماغ، أو أن يقوم بالوظيفة عدة مناطق من الدماغ. لذلك يجب علينا أن نكون حذرين عند تفسير نتائج الرنين المغناطيسي الوظيفي. على سبيل المثال لا يمكن لمنطقة بروكا وحدها إنتاج الكلام، بل نحتاج مناطق أخرى من الدماغ مسؤولة عن حركة العضلات في الوجه وتنسيقها، أيضاً قد نحتاج للمنطقة المسؤولة عن الذاكرة لاسترجاع الكلمات المحفوظة منها. وهذا هو ما يزيد الدماغ جمالاً وتعقيداً في نفس الوقت.



لمحة عن التشريح الوظيفي للدماغ، مثلاً منطقة بروكا في الدماغ (بالأزرق) مسؤولة عن إنتاج الكلام بينما منطقة فيرنك (الأخضر) فهي مسؤولة عن فهم الكلام.

كيف يتم التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي

تعتمد هذه التقنية على تصوير التغيرات في تدفق الدم ونسبة الأكسجين فيه عند القيام بنشاط معين. على سبيل المثال عندما تنشط منطقة معينة من الدماغ بواسطة القيام بمهمة ما -مثلاً رؤية شيء معين- فإنها تستهلك المزيد من الغذاء "هنا الأكسجين" مما يزيد من تدفق الدم نحو هذه المنطقة، في مثالنا هنا تكون هذه المنطقة هي القشرة البصرية visual cortex. مثال آخر، عند الطلب من الشخص المتواجد داخل الرنين المغناطيسي تذكر شيء معين فإن المنطقة المسؤولة عن الذكريات واسترجاعها تنشط مما يزيد حاجتها للأكسجين والدم. يتم التقاط الزيادة في الدم والتغير في نسبة الأكسجين بواسطة الجهاز، يتم تحديد هذه المنطقة التي حدث فيها التغيرات بلون معين على صورة الدماغ. عندها يمكننا الاستنتاج أن هذه المنطقة قد يكون لها دور في الذاكرة. يستطيع جهاز الرنين المغناطيسي التقاط الاختلاف بين الدم المؤكسد وغير المؤكسد. يرجع ذلك إلى اكتشاف أوجاوا والذي يشير إلى الاختلاف في الخواص المغناطيسية بين الدم المؤكسد وغير المؤكسد. وبما أن جهاز الرنين المغناطيسي يعتمد على الخواص المغناطيسية فإنه يكون حساس لأي اختلاف في المغنطة في الدم. ليس الموضوع بهذه البساطة، ولكن هذه هي الفكرة الرئيسية للرنين المغناطيسي الوظيفي.

الحذر والتأني في تحليل البيانات وتفسير النتائج

تحليل صور الرنين المغناطيسي يحتاج إلى وقت كبير مما قد يؤدي إلى الوقوع في الأخطاء. بالإضافة إلى ذلك، فإن إجراء التجربة وتفسير النتائج لا بد أن يكون بشكل واعي ومنطقي ومتماشياً مع الأبحاث الأخرى. لنأخذ مثال على الأخطاء المحتملة في إجراء التجربة أو التفسير الخاطئ للنتائج. في مثالنا السابق عن الذاكرة لو فرضنا مثلا أننا سألنا هذا الشخص تذكر حدث سابق. لسوء حظنا، تذكر هذا الشخص حدث سابق، ولكنه حزين، عندها قد تكون المنطقة التي نحصل عليها ليست المنطقة المسؤولة عن الذاكرة، ولكن الحزن! لذلك لا بد من التخطيط الجيد لإجراء تجربة رنين مغناطيسي وظيفي. لذلك من المعتاد في تجارب وأبحاث الرنين المغناطيسي إجراء التجارب على عدة متطوعين للحصول على بيانات تكون نسبة الخطأ فيها أقل.

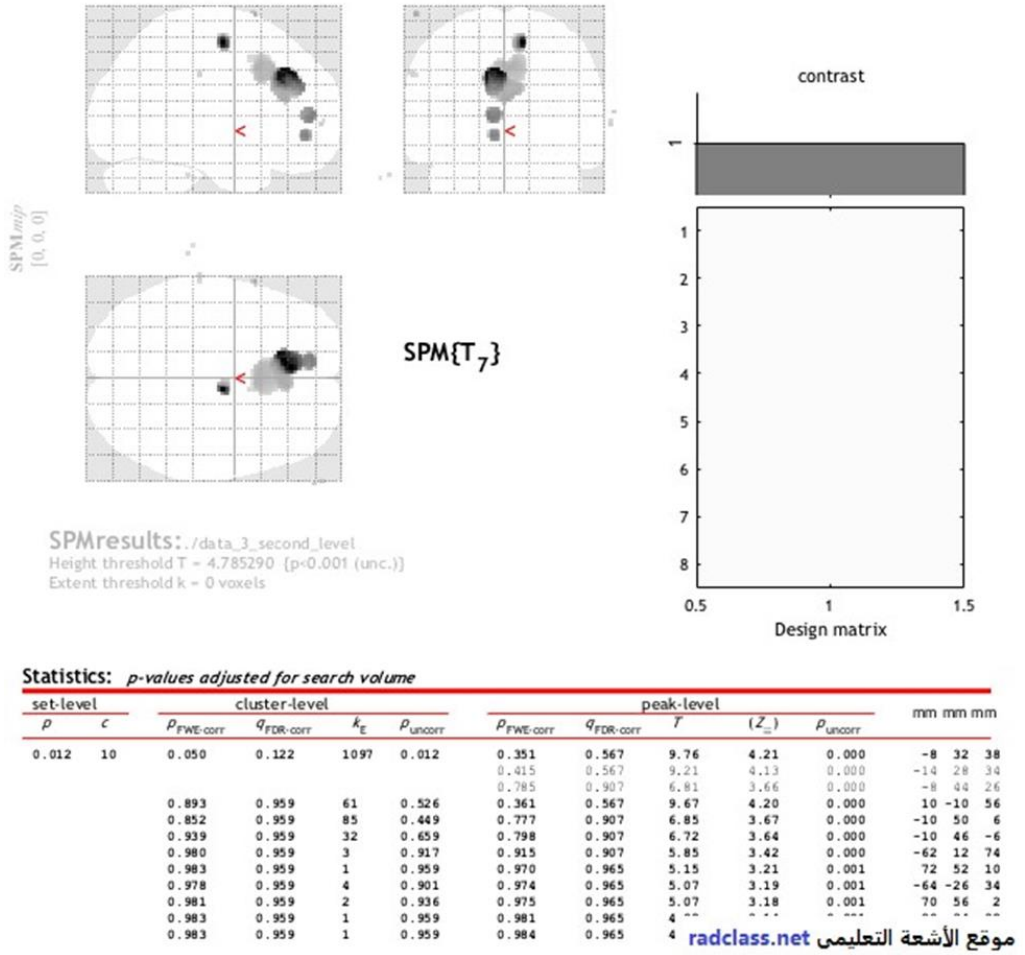
أمثلة لاستخدامات الرنين المغناطيسي الوظيفي في دراسة الدماغ

كما ذكرت، تُظهر هذ التقنية ما يفعله الدماغ خلال أداء نشاط معين. يتم ذلك بواسطة متطوعين في تجارب مختلفة داخل جهاز الرنين المغناطيسي الوظيفي. عادة ما يتم مطالبتهم بتنفيذ مهمة معرفية خلال التصوير لمعرفة كيف يستجيب الدماغ لهذا المؤثر. من الأمثلة لبعض المؤثرات التي يمكن استخدامها هو إعطاء مؤثرات بصرية أو سمعية، أو القيام بعملية حسابية، أو تذكر أو تخيل شيء ما، أو القيام بحركة ما بواسطة اليد أو القدم. وفي الوقت نفسه، يقيس الجهاز تدفق الدم من وإلى الأجزاء المختلفة في الدماغ ويرسم النتيجة بالألوان على صورة تشريحية. ببساطة يمكننا القول بأن المناطق التي تجذب معظم الدم هي تلك التي تكون أكثر نشاطاً. وذلك لأن الدم يحمل الأكسجين، وهو "الوقود" الذي تستخدمه خلايا الدماغ لتوليد الكهرباء ونقل ومعالجة الإشارات.

على مدى العقد الماضي، قدمت هذه التقنية لنا نظريات ومعلومات جديدة في مجالات متعددة تختص بالدماغ كالذاكرة واللغة، والألم، والتعلم، والعاطفة. العديد من الأبحاث كانت علمية ورصينة، والبعض الآخر يشوبه بعد الأخطاء والتسرع في تفسير النتائج. حتى الشركات قامت بركوب الموجة وتمويل بعض الأبحاث، لدرجة أن أحد الدراسات بحثت ردة فعل الدماغ للأشخاص عندما يشاهدون تلفوناتهم (أيفون) واكتشفوا أنها تكون مشابهة عندما يرون أشخاص يحبونهم. استنتجوا من بحثهم أن الناس يحبون تلفوناتهم بشكل مشابهة لأحبابهم، هنا تتداخل الدعاية والتسويق مع البحث العلمي.

صور الرنين المغناطيسي الوظيفي

صور الرنين المغناطيسي الوظيفي هي **صورة إحصائية statistical maps** يمكن معها استنتاج تغير تدفق الدم في الدماغ.



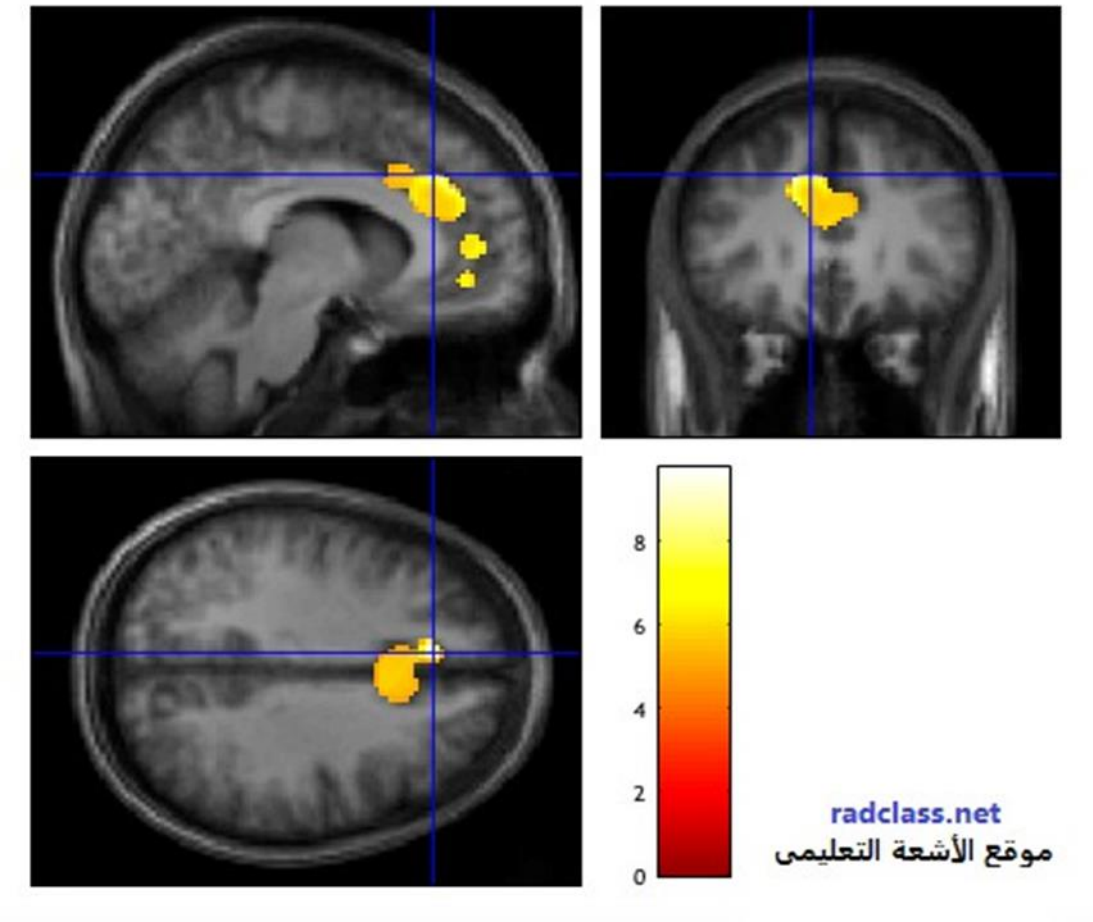
Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm
p	c	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	T	$(Z_{\equiv})$	p_{uncorr}	
0.012	10	0.050	0.122	1097	0.012	0.351	0.567	9.76	4.21	0.000	-8 32 38
						0.415	0.567	9.21	4.13	0.000	-14 28 34
						0.785	0.907	6.81	3.66	0.000	-8 44 26
		0.893	0.959	61	0.526	0.361	0.567	9.67	4.20	0.000	10 -10 56
		0.852	0.959	85	0.449	0.777	0.907	6.85	3.67	0.000	-10 50 6
		0.939	0.959	32	0.659	0.798	0.907	6.72	3.64	0.000	-10 46 -6
		0.980	0.959	3	0.917	0.915	0.907	5.85	3.42	0.000	-62 12 74
		0.983	0.959	1	0.959	0.970	0.965	5.15	3.21	0.001	72 52 10
		0.978	0.959	4	0.901	0.974	0.965	5.07	3.19	0.001	-64 -26 34
		0.981	0.959	2	0.936	0.975	0.965	5.07	3.18	0.001	70 56 2
		0.983	0.959	1	0.959	0.981	0.965	4			
		0.983	0.959	1	0.959	0.984	0.965	4			

radclass.net موقع الأشعة التعليمي

المنطقة النشطة من الدماغ fMRI (uncorrected) Clusters using SPM12

بعد ذلك يتم دمج صورة الرنين المغناطيسي الإحصائية على صور تشريحية غالباً تكون T1، وهذه هي الصورة التي غالباً ما يتم عرضها في المجلات العلمية أو الأخبار.



الدمج مع الصورة التشريحية T1 باستخدام SPM12مميزات التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي

التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي هي تقنية سهلة وآمنة وتعطي نتائج موثوقة إلى درجة كبيرة. من أهم المميزات أن هذه التقنية لا تحتوي على أي نوع من الإشعاع الضار المتواجد في أجهزة (كالأشعة السينية والأشعة المقطعية والطب النووي)، . أغلب دراسات الدماغ تكون من خلال إجراء التجارب على متطوعين. ولا يمكن تعريض هؤلاء الأشخاص إلى احتمالية حصول ضرر من الإشعاع وإن كانت قليلة، فهؤلاء المتطوعون يختلفون عن المرضى في أنهم ليسوا بحاجة إلى إجراء هذا النوع من الفحوصات عكس المرضى. لذلك الضرر عليهم سيكون كبير مقارنة بالفائدة المرجوة من هذه الأبحاث وهذا ما يجعل الرنين المغناطيسي الوظيفي الآمن تقنية واسعة الاستخدام لدراسة الدماغ.

الخاتمة

الرنين المغناطيسي الوظيفي اثبت فعالية في معرفة نشاط الدماغ، العديد من الأبحاث والدراسات اجريت بواسطته على الدماغ واستخدامه كذلك في ازدياد ملحوظ. يجب العمل بشكل حذر في تفسير نتائج هذه التقنية لعدم الوقوع في الأخطاء، مع تصميم هذه الدراسات بشكل محكم.

المراجع:

1- الرنين المغناطيسي النووي، سهام عفيف قندلا، دار الميسرة للنشر والتوزيع والطباعة، يناير 2001.
2- الرنين المغناطيسي النووي، جاسم محمد جندل، دار وائل للطباعة والنشر والتوزيع، ديسمبر 2017.
3- مدخل إلى التصوير التشخيصي بالرنين المغناطيسي، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، يناير 1997.
4- www.alfreed-ph.com
5- www.wikipedia.org