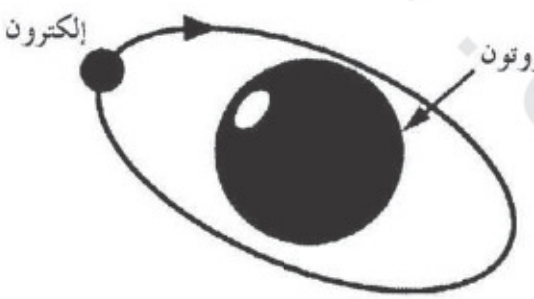
# الفصل الأول

## الدوران وظاهرة الرنين المغناطيسي النووي
## Spin and the Nuclear Magnetic Resonance Phenomenon

إن التصوير الطبي بالرنين المغناطيسي Magnetic Resonance MR يستخدم الإشارة الناتجة من دوران ذرات الهيدروجين ($^1H$) في تخليق (إنشاء) الصورة المطلوبة.

من المعروف أن ذرة الهيدروجين تتكون من نواة nucleus تحتوي على بروتون proton وحيد وإلكترون electron وحيد يدور حول هذه النواة كما في الشكل رقم (١). إن شحنة البروتون موجبة، وشحنة الإلكترون سالبة، وذرة الهيدروجين كوحدة واحدة تكون متعادلة كهربياً. ما يهمنا هنا هو البروتون.

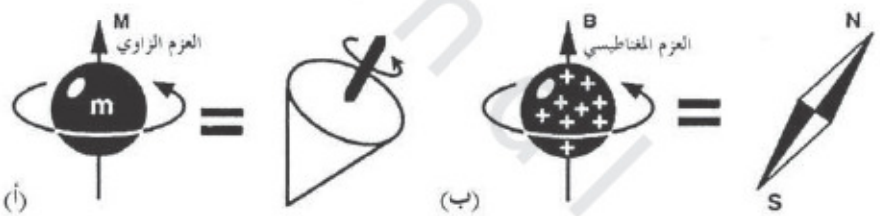



الشكل رقم (١).

فبعيداً عن كون شحنته موجبة، فإن البروتون له خاصية الدوران والتى هي خاصية ضمنية وجوهرية لكل الجزيئات الأولية تقريباً، وهذا يعني أن البروتون يدور حول محوره مثل المغزل. وهذا البروتون له خاصيتان مهمتان وهما:

ككتلة دوارة أو تدور حول محورها (m)، فإن البروتون يكون له عزم زاوي angular momentum بحيث يكون مثل المغزل الذي يحاول دائماً أن يحتفظ أو يستمر في الوضع المكاني أو الإزاحي لمحور الدوران كما في الشكل رقم (٢أ).

ككتلة دوارة، لها شحنة كهربية، فإن البروتون يكون له عزم مغناطيسي (B) magnetic moment ويتصرف مثل المغناطيس الصغير. لذا يتأثر البروتون بالمجالات المغناطيسية الخارجية وبالموجات الكهرومغناطيسية، وعندما يتحرك، فإنه يُحدث فرق جهد في ملف الاستقبال كما في الشكل رقم (٢ب).




الشكل رقم (٢)

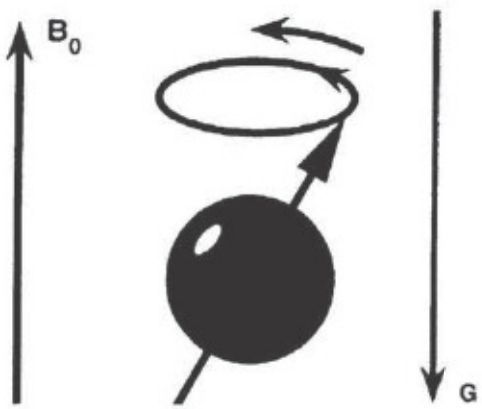
بالطبع تختلف نواة الهيدروجين عن المغزل الدوار في أننا لا نستطيع أن ننظر فيها لنرى ما يحدث، لذلك لا نستطيع رؤية العزم الزاوي الضمني للبروتون أو دورانه من الخارج، وفي هذا السياق فإن النواة تمثل صندوقاً أسود بالنسبة لنا، ومع ذلك فإنه يمكننا تحديد اتجاه محور دورانها بالنسبة لاتجاه المجال المغناطيسي B. هذه الحركة تعتبر مرئية (افتراضياً) بالنسبة لنا لأنها تولد إشارة في ملف استقبال تماما كما يفعل المغناطيس في المولد الكهربي (مثل دينامو الدراجة).

هناك فرق مهم أيضاً (بين المغزل ونواة ذرة الهيدروجين) وهو أنه بالرغم من أن المغزل الدوار يبطئ دورانه باستمرار حتى يقف، فإن دوران البروتون يكون دائماً أو مستمراً بنفس المقدار، ولا يمكن زيادة أو تقليل سرعته، وذلك ببساطة لأن هذا يعتبر خاصية أساسية في الجزيئات الأولية، التي يكون الدوران فيها دائماً وعلى طول الوقت!

كيف سيكون سلوك الجزيء الدوار عندما يكون في وجود مجال مغناطيسي قوي؟ لكي نجيب على هذا السؤال فإننا سنعود مرة ثانية إلى فرض المغزل الدوار:

عندما تؤثر قوة خارجية (ولتكن الجاذبية الأرضية G) على المغزل، وتحاول تغيير اتجاه محور دورانه، فإن المغزل يبدأ في التمايل أو الارتعاش أو الذبذبة، وهذه العملية تسمى المبادرة أو السبق precession. وفي نفس الوقت فإن الاحتكاك عند نقاط التلامس يسحب طاقة من المغزل مما يتسبب في تقليل سرعة دورانه. كنتيجة لذلك فإن محور دورانه يميل أكثر وأكثر إلى أن يقع المغزل في النهاية كما في الشكل رقم (٣).

الشكل رقم (٣).




الشكل رقم (٤).

عودة مرة أخرى إلى نواة ذرة الهيدروجين: عندما تتعرض هذه الذرات إلى مجال مغناطيسي قوى $B_0$، فإن العزوم المغناطيسية، أو الجزيئات الدوارة تأخذ اتجاه المجال المغناطيسي كما تفعل الإبرة المغناطيسية. هذه العزوم المغناطيسية، لا تأخذ فقط اتجاه المجال المغناطيسي، ولكن يحدث لها ذبذبة أيضاً مثل المغزل كما ذكرنا سابقاً وكما هو موضح في الشكل رقم (٤).

إن ذبذبة النواة تحدث بتردد مميز يتناسب طردياً مع شدة المجال المؤثر وهذه الذبذبة تسمى تردد لارمور Larmor frequency. إن محاذاة الجزيئات الدوارة مع اتجاه المجال المغناطيسي يحدث تدريجياً كما في حالة المغزل الدوار وتكون مصحوبة بفقد في الطاقة كما سنرى في المقطع ١, ٢.

إن تردد لارمور له مفهوم مهم جداً، وهو أساس أو قلب عملية التصوير بالرنين المغناطيسي MR imaging، ولذلك سنكرر هذا المفهوم:

**"تردد لارمور أو التسابق هو المعدل الذي يتذبذب عنده البروتون الدوار عند وضعه في مجال مغناطيسي".**

يتناسب تردد لارمور طردياً مع شدة المجال $B_0$ ويعطى بمعادلة تعرف بمعادلة لارمور:

$$\omega_0 = \gamma_0 \cdot B_0$$

حيث:

- $\omega_0$ هي تردد لارمور بالميجاهرتز [MHz]،
- $\gamma_0$ هي ثابت تناسب خاص بكل نواة ويسمى النسبة الجيرومغناطيسية gyromagnetic ratio.

و

- $B_0$ هي شدة المجال المغناطيسي بالتسلا (أو بوحدة الحث المغناطيسي) T] tesla].

obeikandi.com

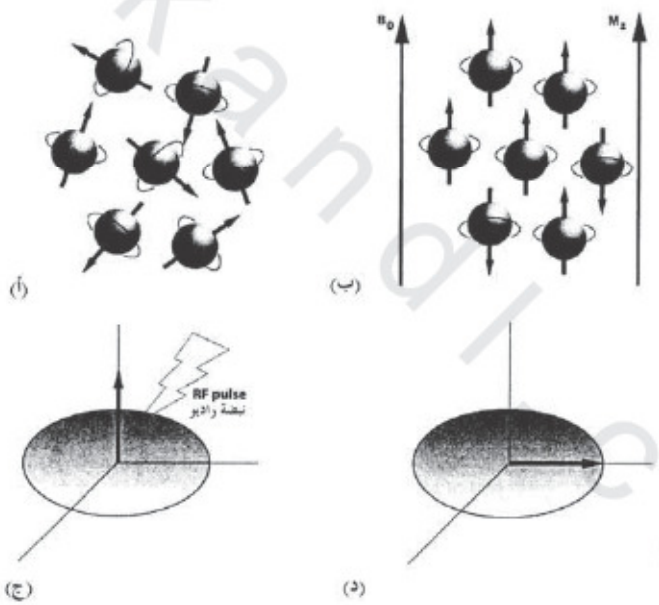
والنسبة الجيرومغناطيسية للبروتونات هي $\gamma_0$ = 42.58 MHz/T، ويعطي هذا تردد لارمور يساوي 63.9MHz عندما تكون $B_0$ = 1.5T، بينما يكون تردد لارمور يساوي 1KHz في المجال المغناطيسي للأرض. (للمقارنة فإن موجات التعديل الترددي FM لإرسال الراديو تعمل عند ترددات في المدى 88-108 MHz).

دعنا نرى الآن ماذا يحدث لعملية الدوران والتوجه البطيء داخل المجال المغناطيسي؟

مع تراخي نظام الدوران ووصوله إلى حالة استقرار فإنه تحدث عملية بناء لمغنطة طولية longitudinal magnetization $M_z$ في اتجاه المحور Z بسبب أن المتجهات المغناطيسية والتي تمثل العزوم المغناطيسية للجسيمات المنفردة تتجمع مع بعضها. وللعلم فهذا يحدث أيضاً في المجال المغناطيسي للأرض ولكن المغنطة الطولية تكون ضعيفة. المجال المغناطيسي $B_0$ لنظام تصوير بالرنين المغناطيسي MR يكون أقوى ٦٠٠٠٠ مرة، وبالمقابل فإن المغنطة الطولية تكون أقوى لكي تعطى إشارة قوية. في الحقيقة فإن الأشياء تكون أكثر تعقيدا من ذلك، حيث يحاول الجسيم الدوار أن يأخذ اتجاهاً موازياً أو عكسياً للمجال المغناطيسي، والمجال الموازي يكون أفضل قليلاً. وعلى ذلك فإنه في حالات الاستقرار فإن جزءاً أكبر قليلاً يتجه موازياً للمجال المغناطيسي الأساسي، وهذا الفرق البسيط هو في الحقيقة ما ينتج عنه المغنطة الكلية $M_z$ التي يمكن قياسها والتي يتم تمثيلها بالمتجه المغناطيسي التام Net Magnetization Vector, NMV. بما أن الفرق بين الاتجاهين يعتمد على شدة المجال المغناطيسي الخارجي، فإن المغنطة الكلية $M_z$ ستزداد بزيادة شدة هذا المجال.

يمكن دمج طاقة على مثل هذه الأنظمة الدورانية المستقرة عن طريق تطبيق موجة كهرومغناطيسية لها تردد يساوي تردد لارمور وهو يسمى بحالة الرنين. ويتم الحصول على الموجة الكهرومغناطيسية اللازمة من مرسل راديو قوي جداً ويتم توجيه هذه الموجة ناحية الهدف المراد تصويره عن طريق ملف هوائي. وتعرف عملية إضافة أو امتصاص الطاقة بإثارة نظام الدوران حيث تؤدي هذه الإثارة إلى مغنطة طولية تبعد الأنظمة الدورانية شيئاً فشيئاً عن اتجاه المحور z، وباتجاه المحور المستعرض xy والذي هو عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي الأساسي.

جميع المغنطة الطولية يتم دورانها إلى مستوى مستعرض عن طريق نبضة تردد راديو RF pulse تكون قوية بما فيه الكفاية ويتم تطبيقها بما يكفي لميل المغنطة ٩٠° تماماً، وتسمى (نبضة الراديو ذات ٩٠° RF pulse ٩٠°). المغنطة الناتجة في هذه الحالة يرمز لها بالرمز Mxy بدلاً من MZ لأنها تكون الآن في المستوى xy. عند وجود المغنطة المستعرضة فإنها تدور حول المحور Z للجسم الدوار والذي يعطى جهداً مترددا بنفس تردد لارمور في ملف الاستقبال تماماً مثل تأثير المولد الكهربي، هذا الجهد الناتج في الملف هو إشارة الرنين المغناطيسي MR. هذه الإشارة يتم تجميعها ومعالجتها بمستقبل خاص بالإضافة لحاسب آلي للحصول على صورة الرنين المغناطيسي MR كما في الشكل رقم (٥).




الشكل رقم (٥). (أ) في عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي تدور الأجسام حول محورها في اتجاهات عشوائية. (ب) في وجود مجال مغناطيسي فإن عدداً أكثر من الجسيمات الدوارة تأخذ اتجاهاً موازياً للمجال المغناطيسي $B_0$ ولذلك ينتج عنها مغنطة طولية Mz. (ج) موجة تردد راديو RF pulse (د) موجة الراديو تجعل متجه المغنطة يميل بمقدار ٩٠ درجة مما يجعل المغنطة الطولية تدور وتتحول إلى مغنطة مستعرضة Mxy.

## References المراجع

1- Hobbie RK (1988) Magnetic resonance imaging. In: Intermediate physics for medicine and biology. Wiley & Sons, New York

2- Elster AD, Burdette JH (2001) Questions and answers in magnetic resonance imaging, 2nd edn. Mosby, St. Louis

obeikandl.com