كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الرابعة**

المادة : فيزياء نووية٢

المحاضرة: الخامسة/نظري/د.سمر عمران

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

المحاضرة الخامسة لمقرر الفيزياء النووية 2 – د. سمر عمران

سنهتم ببعض الأمثلة من أجل تحديد التعريف الدقيق لعزم رباعي الأقطاب:

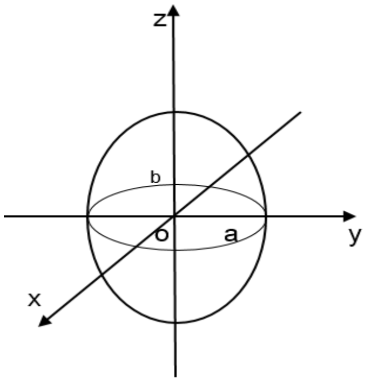
- **عزم رباعي الأقطاب الكهربائي الذاتي Q_{int} لنواة على شكل قطع ناقص (إهليليجية):**

بدايةً سوف نحسب عزم رباعي الأقطاب الكهربائي بالنسبة للمحور oz وبالتالي هذا المحور هو محور دوران للنواة المذكورة. وليكن مركز الدوران في النقطة o وليكن a,b نصفي قطر بالقطع الناقص.

وجدنا أنَّ عزم رباعي الأقطاب الكهربائي يُعطى بالعلاقة التالية: $Q_{int} = \iiint (3z^2 - r^2)\, \rho d\tau$

وإذا علمنا أنَّ معادلة القطع الناقص تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{z^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$$



يمكننا أن نكتب معادلة Q_{int} بالشكل التالي:

$$Q_{int} = \iiint (3z^2 - x^2 - y^2 - z^2)\, \rho d\tau$$

$$\Longrightarrow Q_{int} = \rho \iiint 2z^2\, d\tau - \rho \iiint (x^2 + y^2) d\tau$$

بعد الاستفادة من معادلة القطع الناقص وحساب التكاملات الواردة في العلاقة الأخيرة يمكن أن نجد التالي:

$$Q_{int} = \frac{8}{15} \pi a^2 b \rho (b^2 - a^2)$$

وبإظهار الشحنة النووية Ze المحتواة في حجم القطع الناقص الذي يساوي $\left(\frac{4}{3}\, \pi\, a^2 b\right)$:

$$Ze = \rho \left(\frac{4}{3}\, \pi\, a^2 b\right)$$

$$\Longrightarrow \pi\, a^2 b = \frac{3Ze}{4\rho}$$

نحصل على عزم رباعي الأقطاب الكهربائي لنواة على شكل قطع ناقص منسوب لمحور الدوران OZ:

$$Q_{int} = \frac{2Ze}{5}(b^2 - a^2) \qquad (27)$$

وبما أنَّ نصفي المحورين a و b للنواة الإهليليجية قطع ناقص متساويان تقريباً كون انحراف النواة عن الشكل الكروي غير كبير، فإننا نعرّف مربع نصف القطر الوسطي للنواة على الشكل التالي: $R^2 = \frac{(a^2+b^2)}{2}$، ونقيس انحراف النواة على الشكل الكروي باتجاه الشكل الإهليليجي بواسطة معامل التشوه المعرّف بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2}$$

$$\Longrightarrow \eta = \frac{b^2 - a^2}{2R^2} \Longrightarrow b^2 - a^2 = 2R^2\eta$$

بالتعويض في العلاقة (27) نحصل على:

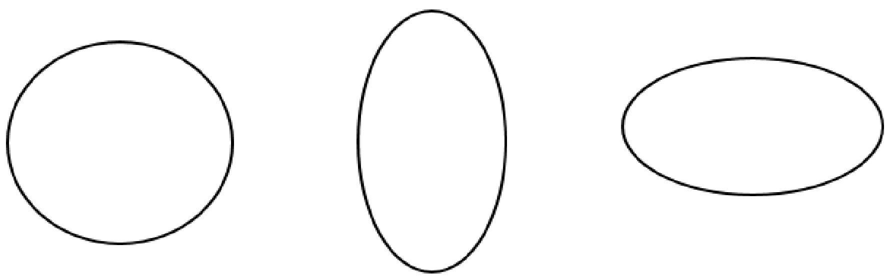
$$Q_{int} = \frac{4}{5}(Ze)R^2\eta \qquad (28)$$

نلاحظ من العلاقة الأخيرة ما يلي:

1- $Q_{int} = 0$ من أجل $\eta = 0$ هذا يعني أنَّ $b = a$ وبالتالي ونقول في هذه الحالة أنَّ النواة كروية الشكل. هذا يعني أنَّ الكمون النووي أو الجهد النووي هو كمون مركزي.

2- $Q_{int} > 0$ من أجل $b > a$ ونقول في هذه الحالة أنَّ النواة كروية تأخذ الشكل الاهليلجي المتطاول ولها عزم رباعي أقطاب كهربائي موجب.

3- $Q_{int} < 0$ من أجل $b < a$ ونقول في هذه الحالة أنَّ النواة كروية تأخذ الشكل الاهليلجي المسطح ولها عزم رباعي أقطاب كهربائي سالب.



$Q_{int} = 0$ $\quad$ $Q_{int} > 0$ $\quad$ $Q_{int} < 0$

$b = a$ $\quad$ $b > a$ $\quad$ $b < a$

النوعية:

أدخل الفيزيائي Laporte عام 1924 عدداً كوانتياً أطلق عليه اسم النوعية، وذلك لكي يأخذ بعين الاعتبار قواعد الانتقاء أو الاصطفاء الملاحظة أثناء الانتقالات الكهرومغناطيسية بين السويات الذرية (النووية). كما أنَّ النتائج التجريبية تدل على أنَّ توابع الموجة للسويات الذرية تكون إما زوجية أو فردية عندما نعكس الإحداثيات المكانية، أي عند استبدال (x, y, z) بـ $(-x, -y, -z)$. هذه الميزة التي تُسهّل تصنيف الحالات عُمّمت فيما بعد على بنيات أخرى وبشكل خاص على النوى والهادرونات.

مفهوم النوعية في الميكانيك الكوانتي:

لنعتبر مؤثر الانعكاس في الفراغ (أو العكس) P يؤثر على التابع الموجي بالشكل التالي:

$$\hat{P}\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots \ldots) = \Psi(-\vec{r}_1, -\vec{r}_2, \ldots \ldots)$$

كما نلاحظ أنَّ هذا المؤثر يعكس إحداثيات الموضع وعادةً نرمز للتوابع الخاصة والقيم الخاصة لهذا المؤثر بالرمزين Ψ_π و π على التوالي. درسنا سابقاً أنَّ معادلة القيم الخاصة تُكتب بالشكل التالي:

$$\hat{P}\Psi_\pi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots \ldots) = \pi\Psi_\pi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots \ldots) = \Psi_\pi(-\vec{r}_1, -\vec{r}_2, \ldots \ldots)$$

من الواضح بحسب التعريف السابق أنَّ التوابع الزوجية والتوابع الفردية هي توابع خاصة لـ P مع القيم الخاصة $\pi = +1$ و $\pi = -1$ على الترتيب. هاتان القيمتان هما الإمكانيتان الوحيدتان وبالتالي تطبيق مؤثر الانعكاس على التابع مرتين يعيدنا إلى نفس التابع الأصلي.

$$P^2\Psi_\pi = \mathrm{P}(\mathrm{P}\Psi_\pi) = \mathrm{P}\pi\Psi_\pi = \pi^2\Psi_\pi = \Psi_\pi$$

تحديد النوعية لجملة كوانتية:

إنَّ تحديد النوعية الكلية لجملة كوانتية ما ترتبط بنوعية مكونات هذه الجملة فعلى سبيل المثال نوعية النواة ترتبط بنوعية النكليونات التي تكونها.

بالتعريف، إنَّ النوعية الكلية لجملة تساوي جداء النوعية المدارية في النوعية الذاتية، أي أنَّ:

$$P_{tot} = P_{int}.P_{orb} \quad \text{أو} \quad \pi_{tot} = \pi_{int}.\pi_{orb}$$

حيث π_{tot} ,π_{int} ,π_{orb} تمثل النوعية المدارية والذاتية والكلية على الترتيب.

تمتلك الجسيمات الأولية نوعية ذاتية، فقد اصطلح على أن تكون النوعية الذاتية للإلكترون زوجية وكذلك الأمر بالنسبة للبروتون والنترون:

$$\pi_p = \pi_n = \pi_e = +1$$

ملاحظة: إذا كان للعزم المداري الكلي $\sum_i l_i$ قيمة زوجية تكون النوعية زوجية وإلا فالنوعية فردية.(حيث l_i العزم الزاوي المداري للنكليون i)

حساب النوعية لنواة الديترون أو الديتريوم d:

نعلم أنَّ الديترون مؤلف من نكليونين، وتبيّن بالقياس أنَّ قيمة سبين نواة الديترون يساوي $J_d = 1$. أظهرت التجربة أنَّ قياس العزم المغناطيسي للديترون يأخذ قيمة أكبر من مجموع العزم المغناطيسي لكل من البروتون والنترون، علماً أنَّ كل من البروتون والنترون يجب أن يتوضع في سوية مدارية تكافئ $l = 0$. وأيضاً التجربة بينت أنَّ هناك قيمة لعزم رباعي القطب الكهربائي لهذا الديترون هذا يعني أننا لا نستطيع التعبير عن حالة الديترون من خلال الحالة الأساسية فقط $l = 0$

بل يجب إرفاق وزن ولو كان ضعيفاً لموجة مقابل لعزم مداري $l = 2$ يُضاف إلى الموجة $l = 0$. ونعلم سابقاً أنَّ التابع الموجي في الحالة العامة مكوّن من جزأين جزء قطري يرتبط بـ $R(r)$ وجزء آخر زاوي نرمز لهُ بـ $Y_l^m(\theta,\varphi)$ ، بناءً على ذلك تكون هناك سيطرة واضحة للموجة الموصوفة بـ $Y_0^0(\theta,\varphi)$ وسعة ضعيفة للموجة $Y_2^m(\theta,\varphi)$ ، وبحسب خواص $Y_l^m(\theta,\varphi)$ فإنَّ كل من هذه السعات يتحول تحت تأثير تابع العكس أو الانعكاس P وفق التالي:

$$PY_l^m(\theta,\varphi) = Y_l^m(\pi-\theta,\pi+\varphi) = (-1)^l Y_l^m(\theta,\varphi)$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أنَّ تحويل $\vec{r}$ إلى $-\vec{r}$ مكافئ لتحويل (r,θ,φ) إلى $(r,\pi-\theta,\pi+\varphi)$.

وكذلك النوعية لتابع الموجة للديتريوم مرتبطة بقيمة العزم المداري l فعندما يكون ($l = 0$ أو قيمة زوجية) فالنوعية موجبة وإلا فهي سالبة، بناءً على ما تقدّم نعرّف النوعية المدارية لتابع الديتريوم بأنها نوعية موجبة $\pi_{orb} = +1$

$$\pi_d = \pi_p . \pi_n . \pi_{orb} = +1$$

وذلك لأن البرتون والنترون المكونين لنواة الديتريوم يوجدان في حالة عزمها الزاوي النسبي l زوجي.

تجدر الإشارة إلى أنَّ النوعية تكون محفوظة في الحالة العامة كالطاقة الحركية وكمية الحركة والعزم الزاوي وهي لا تتغير إلا بأسر أو تحرير فوتون أو جسيمات أخرى نوعيتها فردية.

نشير أيضاً إلى أنَّ كلّ سوية نووية تتميز عادةً بسبين كلي ونوعية محددة يُعبّر عن ذلك استناداً إلى الرموز الطيفية المستخدمة في الفيزياء الذرية والنووية بالرمز J^p أو J^π . فعلى سبيل المثال سبين نواة الليثيوم ${}_3^7Li_4$ يساوي $\frac{3}{2}$ ونوعيته فردية، فنعبّر عن ذلك كما يلي:

$$J^p \equiv J^\pi = \left(\frac{3}{2}\right)^{-1}$$

السؤال الآن: كيف يتم انحفاظ العزم الزاوي الكلي والنوعية في أي تفاعل نووي؟

للإجابة على هذا السؤال نأخذ المثال التالي:

إذا امتصت النواة السابقة بروتوناً فإنها تعطي نواة جديدة لعنصر البريليوم

$${}_{3}^{7}Li + {}_{1}^{1}p \rightarrow {}_{4}^{8}Be$$

فإذا علمنا أنَّ السبين لنواة الليثيوم والبروتون على التوالي هي: $J_{Li}^{\pi} = \left(\frac{3}{2}\right)^{-}, J_{p}^{\pi} = \left(\frac{1}{2}\right)^{+}$ فلنبحث الآن عن كيفية الحصول على العزم الزاوي المحتمل للنواة ${}_{4}^{8}Be$.

من أجل ذلك نعتمد على مبدأ انحفاظ العزم الزاوي الكلي قبل وبعد التفاعل (مبدأ المصونية)، ونعبّر عن ذلك بالعلاقة التالية: $J_i = J_f$

حيث: J_i العزم الزاوي الكلي للحالة البدائية ، J_f العزم الزاوي الكلي للحالة النهائية.

$$J_i^{\pi} = \left[J_{Li}^{\pi} \pm J_p^{\pi}\right] \pm (-1)^l = J_f^{\pi}$$

انطلاقاً من ذلك ومن انحفاظ النوعية نكتب:

$$\pi_i = \pi_{Li}.\pi_p.\pi_{orb} = \pi_{Li}.\pi_p.(-1)^l = \pi_f$$

π_i نوعية الحالة البدائية، π_f نوعية الحالة النهائية، l العزم المداري النسبي، وبحسب قيم l يمكننا أن نميز الحالات التالية:

1- إذا كان $l = 0$ أي المدار S:

$$J_i^{\pi} = \left[J_{Li}^{\pi} \pm J_p^{\pi}\right] \pm (-1)^l = \left[\left(\frac{3}{2}\right)^{-} \pm \left(\frac{1}{2}\right)^{+}\right] \pm 0^{+} = 1^{-}, 2^{-}$$

$$\Longrightarrow J_f^{\pi} = 1^{-}, 2^{-}$$

النوعية الناتجة هي نوعية سالبة لأنَّ: $(-) = (+) \times (+) \times (-)$

2- إذا كان $l = 1$ أي المدار P:

$$J_i^\pi = \left[J_{Li}^\pi \pm J_p^\pi\right] \pm (-1)^l = \left[\left(\frac{3}{2}\right)^- \pm \left(\frac{1}{2}\right)^+\right] \pm (-1)^- = 0^+, 1^+, 2^+, 3^+$$

$$\Longrightarrow J_f^\pi = 0^+, 1^+, 2^+, 3^+$$

النوعية الناتجة هي نوعية موجبة لأنَّ: $(-) \times (+) \times (-) = (+)$

3- إذا كان $l = 2$ أي المدار D:

$$J_i^\pi = \left[J_{Li}^\pi \pm J_p^\pi\right] \pm (-1)^l = \left[\left(\frac{3}{2}\right)^- \pm \left(\frac{1}{2}\right)^+\right] \pm (-2)^+ = 0^-, 1^-, 2^-, 3^-, 4^-$$

$$\Longrightarrow J_f^\pi = 0^-, 1^-, 2^-, 3^-, 4^-$$

النوعية الناتجة هي نوعية سالبة لأنَّ: $(-) \times (+) \times (+) = (-)$