كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : ميكانيك الكم٢

المحاضرة :الثالثة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

محاضرة عملي لمقرر ميكانيك الكم 2 لطلاب السنة الرابعة فيزياء – د. سمر عمران

تطبيقات معادلة ديراك

دراسة حركة النكليون في حقل كهرطيسي خارجي – العزوم المغناطيسية الشاذة:

لوحظ تجريبياً امتلاك البروتون عزماً مغناطيسياً قيمته أكبر من القيمة $\mu_{\mathrm{p}} = \frac{\mathrm{e}\hbar}{2\mathrm{M_p c}}$ ، وذلك عندما يتحرك في حقل كهرطيسي خارجي، لكن المفاجأة كانت في امتلاك النترون عزماً مغناطيسياً بالرغم من أنَّ $e_{\mathrm{n}} = 0$، وسميت هذه العزوم بالعزوم المغناطيسية الشاذة، وقد أثبتت القياسات التجريبية أنَّ:

$$\mu_{\mathrm{p}}^{(\mathrm{a})} = 1.79\mu_N \ , \quad \mu_{\mathrm{n}}^{(\mathrm{a})} = -1.91\mu_N$$

لنفسر الآن منشأ هذه العزوم وفقاً لنظرية ديراك. بما أنَّ معادلة ديراك تصف حركة جسيم سبينه $\left(\frac{1}{2}\right)$ فهي تصف حركة النكليون $S_p = \mathrm{S_n} = \left(\frac{1}{2}\right)$.

تُعطى عبارة التأثير المتبادل بين الحقل الكهرطيسي وجسيم ديراك بالعلاقة التالية:

$$V_e = e\phi - e\left(\alpha\vec{A}\right) \qquad (1)$$

يؤدي امتلاك جسيم لسبين $\mathrm{s} = \frac{1}{2}\hbar\acute{\sigma}$ في التقريب اللانسبي إلى نشوء عزم مغناطيسي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\mu_{\mathrm{e}}^{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{e}\hbar}{2\mathrm{m_0 c}}\acute{\sigma}$$

لكن عند الانتقال إلى الحالة النسبية $(v \sim c)$، نُجري التحويل:

$$m_0 \to \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

وبالتالي $\mu_{\mathrm{e}}^{\mathrm{D}} \to 0$.

يمتلك كلا الجسيمين عزماً مغناطيسياً غير مرتبط لا بالشحنة الكهربائية ولا بالتقريب النسبي ولا ينعدم في الحركة النسبية، ولهذا السبب سميت العزوم المغناطيسية الشاذة.

لنوجد الآن طاقة التأثير المتبادل بين العزم المغناطيسي الشاذ والحقل الكهرطيسي. نلاحظ أنَّ الطاقة المعرفة بالعلاقة (1) مقدار سلمي إذ تُعطى مركبات الكمون المتجه والكمون السلمي المُشكلة للمتجهات الأربعة A_μ كما يلي:

$$A_1 = A_x \ , \qquad A_2 = A_y \ , \ A_3 = A_z \ , \ A_4 = i\phi$$

وهكذا تُكتب العبارة (1) بالصيغة التالية:

$$V_e = -e\sum_{j=1}^{4}(\alpha_j A_j) \qquad (2)$$

وكما يعين الحقل الكهرطيسي بتنسور ثنائي البعد من المرتبة الثانية وغير متناظر:

$$F_{\mathrm{ij}} = \frac{\partial A_j}{\partial X_i} - \frac{\partial A_i}{\partial X_j} \qquad (3)$$

حيث $X_4 = ict$

ومنه نجد:

$$F_{41} = i\varepsilon_x \ , \ F_{42} = i\varepsilon_y \ , \ F_{43} = i\varepsilon_z$$
$$F_{23} = B_x \ , \qquad F_{31} = B_y \ , \qquad F_{12} = B_z$$

أو:

$$\left.\begin{aligned} \vec{\mathrm{B}} &= (F_{23}, F_{31}, F_{12}) \\ \vec{\mathrm{E}} &= (F_{41}, F_{42}, F_{43}) \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

لذلك يجب أن تكتب العلاقة (1) بالشكل التالي:

$$V_m = \mu\sum_{i,j=1}^{4}(\alpha_{ij}F_{ij}) \qquad (5)$$

حيث: α_{ij} تنسور من المرتبة الثانية معرّف بمصفوفات ديراك التالية:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{23} & \alpha_{31} & \alpha_{12} \\ \alpha_{14} & \alpha_{24} & \alpha_{34} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_3\sigma_1 & \rho_3\sigma_2 & \rho_3\sigma_3 \\ i\rho_2\sigma_1 & i\rho_2\sigma_2 & i\rho_2\sigma_3 \end{pmatrix} \qquad (6)$$

تمثل العلاقة (5) طاقة التأثير المتبادل بين العزم المغناطيسي والحقل الكهرطيسي.

بالاستفادة من مركبات α_{ij} المبينة بالعلاقة (6) نجد:

$$V_m = \mu[\rho_3(\acute{\sigma}\, H) + \rho_2(\acute{\sigma}\, \varepsilon)] \qquad (7)$$

حيث μ العزم المغناطيسي الشاذ وقد أثبتت القياسات التجريبية أنَّ قيمته $\mu_p^a = 1.79\mu_N$. إذاً:

$$\mu_p = \mu_p^D + \mu_p^a \quad \Rightarrow \quad \mu_p = 2.79\mu_N$$

تحدد هذه العلاقة قيمة العزم المغناطيسي للبروتون في التقريب اللانسبي. وبما أنَّ $e_{\mathrm{n}} = 0$ فإنَّ $\mu_n^D = 0$ ، ولكن تجربة ألفاريز بلوخ أثبتت أنَّ قيمة العزم المغناطيسي الشاذ للنترون تساوي:

$$\mu_n^a = -1.91\mu_N$$

نشير هنا إلى أنَّ حقيقة نشوء العزم المغناطيسي الشاذ من التأثيرات المتبادلة النووية (تأثيرات متبادلة شديدة) نتيجةً للتأثير المتبادل بين حقول النكليونات وحقول الميزون التي تنقل التأثيرات المتبادلة بين النكليونات.