كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : ميكانيك الكم٢

المحاضرة : الرابعة/نظري/ كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

استخدام سوية الطاقة مزدوجة د تأثير كمون اضطراب $\hat{V}$

نضع التابع الموجي المفروض

$$\psi^0 = C_1 \psi_1^0 + C_2 \psi_2^0 \quad \ldots (27)$$

نأخذ المعادلات 27 الشكل الثاني أخذين بعين الاعتبار التقريب الأول فقط

$$\left.\begin{aligned} (V_{11} - E^{(1)}) C_1 + V_{12} C_2 = 0 \\ V_{21} C_1 + (V_{22} - E^{(1)}) C_2 = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots (28)$$

أما الطاقة الاضطرابية $E^{(1)}$ فهي جذور للمعادلة التالية

$$\begin{vmatrix} (V_{11} - E^{(1)}) & V_{12} \\ V_{21} & (V_{22} - E^{(1)}) \end{vmatrix} = 0 \quad \ldots (29)$$

$$(V_{11} - E^{(1)})(V_{22} - E^{(1)}) - |V_{12}|(V_{21}) = 0$$

$$V_{11}V_{22} - V_{11}E^{(1)} - V_{22}E^{(1)} + |E^{(1)}|^2 - V_{12}V_{21} = 0$$

$$|E^{(1)}|^2 - E^{(1)}(V_{11} + V_{22}) + V_{11}V_{22} - V_{12}V_{21} = 0$$

$$(E^{(1)})^2 - E^{(1)}(V_{11} + V_{22}) + V_{11}V_{22} - |V_{12}|^2 = 0 \quad \ldots (30)$$

حلها من الشكل ←

مكتبة A to Z - كلية العلوم (جامعة طرطوس) - TEL:0931497960

$$E^{(1)} = \frac{1}{2}\left[(V_{11}+V_{22}) \pm \sqrt{(V_{11}+V_{22})^2 - 4V_{11}V_{22} + 4|V_{12}|^2}\right]$$

[31] .....

وبالتالي تنحسم الويت الطاقية الى سويتين

$$E^{\pm} = E^{\circ} + \frac{1}{2}\left[(V_{11}+V_{22}) \pm \sqrt{(V_{11}+V_{22})^2 + 4|V_{12}|^2}\right]$$

[32] .....

لحساب العاملين C_1 و C_2

نبدل العاملين بجمتهم في [28]

$$C_1 = -V_{12}C \qquad C_2 = (V_{11} - E^{(1)})C$$

[33] .....

4° التنظيم b حيث c هي وضوح من بشي

$$|C_1|^2 + |C_2|^2 = 1$$

$$C^2\left[|V_{12}|^2 + |V_{11} - E^{(1)}|^2\right] = 1$$

دفعة (1) في نهائياً $e^{i\delta}$

$$C = \frac{e^{i\delta}}{\sqrt{|V_{12}|^2 + |V_{11} - E^{(1)}|^2}}$$

حيث δ وضوح طوري يمكن ان يساوي الصفر

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$C = \left[|V_{12}|^2 + |V_{11} - E^{(1)}|^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

وبالتعويض في (33)

$$C_1 = -\frac{V_{12}}{\sqrt{|V_{12}|^2 + |V_{11} - E^{(1)}|^2}}$$

$$C_2 = \frac{V_{11} - E^{(1)}}{\sqrt{(V_{12})^2 + |V_{11} - E^{(1)}|^2}}$$

انقسام الخطوط الطيفية (معدل زيمان)

نبحث أولاً عن المؤثر المقابل لتفاعل الشحنة q وتردد في حقل مغناطيسي $\vec{B}$

من المعلوم أن مؤثر هاملتون يوضح بالصيغة

$$H = \frac{P^2}{2m_0} + V(r) = \frac{1}{2m_0}\left(P - \frac{q}{c}A\right)^2 + V(r)$$

$P = m_0 v$ هو الاندفاع الخطي

$\vec{A}$ هو الكمون الشعاعي يحقق

$$\vec{A} = \frac{1}{2}\vec{B} \times \vec{r}$$

حيث بتعويض هذه القيمة في (1) نجد:

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\hat{H} = \frac{p^2}{2m_0} - \frac{q}{2m_0c}(\vec{B}\cdot\vec{L}) + \frac{q}{8m_0c^2}(\vec{B}\times\vec{r})^2 + V(r)$$

ان المقدار [3] $\vec{\mu} = \frac{qL}{2m_0c}$ سمي العزم المغناطيسي μ

للشحنة q الموجود في حقل المغناطيس $\vec{B}$

$\vec{L}$ العزم الحركي لجسيم $\vec{L} = \vec{r}\times\vec{p}$

$q = -e$ الالكترون

$q = e$ البروتون

في ميكانيك الكم يكون $\hat{\mu}$ مؤثراً يؤثر على $Y_{lm}(\theta,\phi)$

وبالتالي

$$\hat{\mu}_z|l_m\rangle = \frac{qL_z}{2m_0c}|l_m\rangle = \frac{q\hbar m}{2m_0c}|l_m\rangle \quad \ldots[4]$$

اذا كان الالكترون $q = -e$

$$-\frac{e\hbar}{2m_0c}$$

سمي مغناطون بور

$q = +e$ [2] $\Leftarrow$ $m_0 = m_p$

$$\frac{e\hbar}{2m_pc} = \mu_N$$

واذا رمزنا للقيمة الخاصة μ_z عندما يؤثر على $|l_m\rangle$

يمكن وضع المعادلة [4] بالشكل

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\hat{\mu}_z |lm\rangle = -\mu_0 m |lm\rangle$$

$$\hat{\mu}_z = -\mu_0 m \quad \ldots\ldots [5]$$ وبالتالي

نضع المعادلة (3) بالشكل

$$\hat{\mu}_l = g_l \mu_0 \hat{l} \quad \ldots [6]$$

l مؤثر العزم الحركي بواحدات $\hbar$

g_l البنية الجيرومغناطيسية المدارية وتساوي 1+ للبروتون

و 1- للالكترون

واعتماداً على ما سبق نعرف مؤثر العزم المغناطيسي

بدلالة سبين $(\hat{S})$

$$\hat{\mu}_s = g_s \mu_0 \hat{S} \quad \ldots [7]$$

$\hat{S}$ مؤثر السبين لواحدات $\hbar$

g_s البنية الجيرومغناطيسية للسبين

أما مؤثرها بتكون المقابل لـ m_s يساوي

$$H_s = -\mu_s \hat{B} =$$

$$-g_s \mu_0 |\hat{S}\hat{B}| \quad \ldots [8]$$

أثبتت التجربة أن g_s تساوي -2 للالكترون

وتساوي 5,586 للبروتون

" -3,826 للنترون مع العلم

أن السنترون n معدوم ولا يحمل حجم واحد تساوي عدد

g_s و g_l وبالتالي فإن العزم الكلي يساوي

$$\hat{\mu} = \hat{\mu}_l + \hat{\mu}_s = \mu_0 (\hat{g}_l \hat{l} + \hat{g}_s \hat{S})$$

$\ldots\ldots [9]$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

أما في حالة كون المجال مرتبط في حالة أن $\vec{B}$ باتجاه oz

$$V_{mag} = -\hat{\mu}\hat{B} = -\hat{\mu}_z \hat{B}_z$$

$$= -\mu_0 B (g_p \hat{I} + g_s \hat{S}) \quad (10)$$

من المعلوم في الفيزياء الذرية أن انعدام الخطوط الطيفية الناتج عن تأثير الحقل المغناطيسي يتوقف عن العلاقة بين تأثير العلاقة (LS) و التفاعل السبين المداري $\hat{S}.\hat{L}$ وقد يكون التأثير المغناطيسي أكبر بكثير من التفاعل السبين المداري في حالة حقل قوي حيث تنعدم الخطوط الى ثنائية أو ثلاثية وهو مايسمى بـ مفعول زيمان العادي نلاحظ حالتين

1) حقل مغناطيسي قوي (مفعول باشن باك)

2) عندما تنعدم مجموع السبينات الالكترونية في الذرة (حالة الباراهيليوم) وحيث ذلك عندما يوجد الكترونات في الطبقة الخارجية متعاكسة السبينات

أما النوع (2) من مفعول زيمان هو مفعول زيمان الشاذ حيث عندما يكون الحقل $\vec{B}$ ضعيفاً حيث يهمل تأثير السبين المداري $\hat{S}.\hat{L}$

لدراسة النوعين نضع الهاملتون بالشكل

$$\hat{V} = \hat{V}_{mag} + \hat{V}_{ls}$$

$$\hat{V}_{ls} = \frac{\hbar}{2m_0c^2} \frac{\partial V}{\partial r} \hat{L}.\hat{S} \quad \dots (11)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ولتكن E_{nl} طاقة البوية التي ستقسم بتأثير V'

$$\lambda_{nl} = \frac{\hbar^2}{2m_0 c^2} \left\langle \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} \right\rangle_{nl}$$

لحساب عناصر المصفوفة

$|n_l j m_j\rangle$ او $|n l m_l m_s\rangle$

ملاحظة :

حيث تكون عناصر المصفوفة V_{mag} ظريبة بـ m_g وقد تكون ظريبة او غير ظريبة من العدد الكوانتي ن

وبالتالي

$$\langle n_l j m_j | V_{mag} | n_l j m_j \rangle = -\mu_0 B_g B_j \quad \text{...[12]}$$

حيث g

$$g = g_l + \frac{g_s - g_l}{j(j+1)} \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{j(j+1)}$$

العناصر المصفوفية V_{LS}

$$\langle n_l, m_l, m_s | V_{LS} | n_l m_l m_s \rangle =$$

$$\lambda_{n_l m_l m_s} \quad \text{...[14]}$$

الا غير ظريبة

$$\langle n_l, j = l + \tfrac{1}{2}, m_j | V_{mag} | n_l, j = l - \tfrac{1}{2}, m_j \rangle \quad \text{...[13]}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$|n\ell, m_\ell = m_j - \frac{1}{2}, m_s = \frac{1}{2}\rangle$ $|V_{1s}|$

$|n\ell, m_\ell = m_j + \frac{1}{2}, m_s = -\frac{1}{2}\rangle = |n\ell\rangle$ [15]

يمكننا تمييز حالتين

حالة الحقل المغناطيسي $\mu_0 B$ أصغر بكثير من

$\mu_0 B \ll n\ell \mid \lambda n\ell$

نعتبر V_{mag} مؤثر مغناطيسي بمثابة اضطراب على

هاملتون $|n\ell, j = e \pm \frac{1}{2}|$

$\Delta E_n e_j \quad m_j = -\mu_0 B g m_j$ و $(n_j = j \longrightarrow j_z)$

[16]

وهنا يزول الانطباق كلياً مع العلم إن الحد بين الويتين

$l \pm \frac{1}{2} = j$ قبل تطبيق الحقل المغناطيسي أكبر بكثير

من الفرق بين الويات الجزئية

[2] حالة الحقل المغناطيسي القوي:

$\mu_0 B \gg \lambda n\ell$

حيث انقسام الخطوط الطيفية بتفاعل العزمان المغناطيسي

والمداري و السبين μ_s, μ_p كلاً على حدا

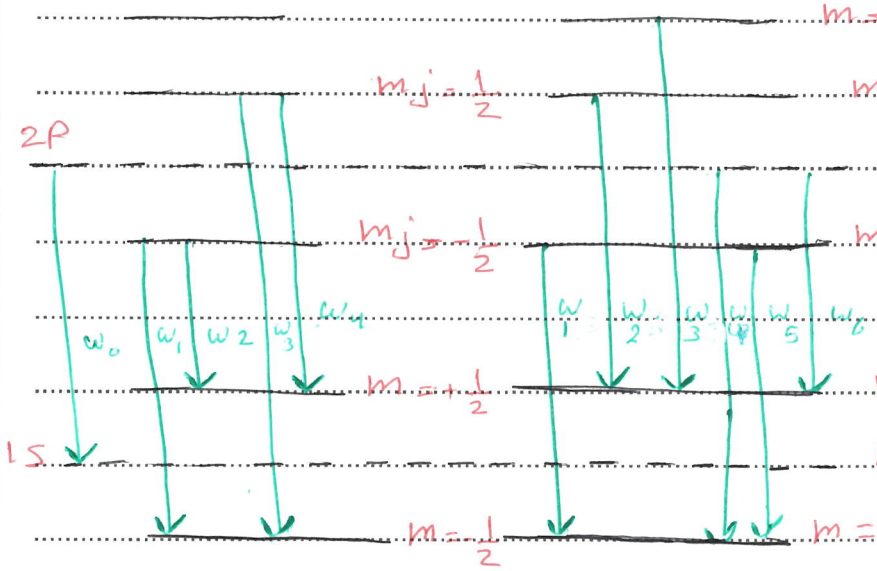
و يمكن التعبير عن طيف الطاقة من العلاقة

$\Delta E_{n\ell m_\ell m_s} = \mu_0 B (g_\ell m_\ell + g_s m_s)$

[17]

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

يمثل الشكل انحلام السويات الطاقية في معقول # زيمان العادي والشاذ



#

معادلة ديراك

اقترح العالم الفيزيائي ديراك 1928 كتابة المعادلة النسبية الطاقية بشكل جذري كما انها من المرتبة (1) بالنسبة للطاقة

$$E = c\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad \ldots\ldots (1)$$

في الميكانيك النسبي

$$E^2 = c^2 \sum_{\mu=0}^{3} p_\mu p_\mu = c^2 (p^2 + m_0^2 c^2) \quad \ldots (2)$$

حيث $p_\mu (p_0 . p_i)$

اقترح ديراك كتابة العلاقة (1)

$$E = c \sum_{\mu=0}^{3} \alpha_\mu p_\mu \; ^s$$

$$c (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \beta m_0 c) \quad \ldots (3)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

كما في (2) و (3)

نربع (3) ونحذف c^2

$$(p_i + mac^2) = (\alpha_i p_i + \beta mac)^2 \quad \text{مل (4)}$$

حيث $i = 1, 2, 3$

بمطابقة العدد بين الطرفين في (4)

$$\alpha_i \alpha_j + \alpha_j \alpha_i = 2\delta_{ij}$$
$$\alpha_i \beta + \beta \alpha_i = 0$$
$$\alpha_i^2 = 1 \qquad \beta^2 = 1 \qquad [5]$$

3 ملاحظة

نذكر ببرمان هوفنات باولي التي تصف عزم الإلكترون السبيني $\frac{1}{2} = s$ عندما الخواص السابقة نفسها

ولكي يعمل باولي لهدفه يحتاج إلى (4) هوفنات وليس (3) وبالتالي العياس وللتخلص من هذه المشكلة

أخذ تركيب هوفنات بالتالي الأبعاد α_i و β ترتبط مع الهوفنات (3) أبعاد

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z