

ثالثا : الانفلاق رباعي القطب الكهربى

Electric Quadruple Splitting

مقدمة :

في حالة I.S أو التفاعل أحادي القطب الكهربى درسنا التفاعل الإلكتروستاتيكي بين الشحنات الإلكترونية والنوية وتأثيره على مكان (أي قيمة) مستويات الطاقة . ولقد افترضنا أن النواة لها شكل كروي (مثل البطيخة) Spherically Symmetric وأن كثافة شحنة الإلكترونات منتظمة . ولكن في حالة مستويات الطاقة التي لها رقم كم مغزلي $1 > 1/2$ Spin quantum فإن توزيع الشحنات يكون غير كروي (مشوه) Deformed [أبيضوي Ellipse أي عبارة عن سلسلة من الأقطاب المتعددة Q في الشحنة Charge deformation يوصف بالعزم النووي الرباعي القطب Nuclear quadruple moment ويعطى بالمعادلة .

$$eQ = \int dx^3 P(r)X_iX_i$$

حيث $i, j = 1,2,3$, $X_1 = X$, $X_2 = Y$, $X_3 = Z$

P كثافة الشحنة النووية في عنصر الحجم dx^3 الذي يبعد مسافة r من مركز النواة ويصنع زاوية θ مع محور الكم المغزلي النووي . ويساوي ϕ ،

$$dx^3 = dx_1 dx_2 dx_3 = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$$

$$dx^3 = r^2 dr \sin \theta d\theta d\phi = d^2 dr d\Omega$$

حيث $d\Omega$ هي الزاوية المجسمة التي يصنعها المتجه r مع عنصر الحجم ، وتعتمد إشارة Q على شكل التشوه في النواة . فالقيمة السالبة تعني أن النواة يحدث لها تفلطح oblate كما يوجد في الشكل والقيمة الموجبة تعني الاستطالة في النواة Prolate وكما سبق أن ذكرنا فإن التفاعل فوق الدقيق ينتج من حد نووي (eQ) nuclear term مضروبا في حد ذري (grad atomic term)

E) يتوقف علي توزيع الإلكترونات حول ذرة موسباور بالإضافة لأي ذرة أخرى لها رباط كيميائي Chemical Bond مع الذرة المعنية .

ويكون توزيع الشحنات غير متماثل أي ليس متساويا عند نفس الأبعاد حول النواة في جميع الاتجاهات مثل مكعب مشوه Deformed cube أي يوجد منحدر المجال الكهربائي للإلكترونات عند النواة electric field gradient at nucleus يعبر عنه بالمعادلة .

$$\text{Grad } \epsilon = \nabla E = -\nabla \nabla V \text{ } \} \text{ atomic term}$$

$$= - \begin{vmatrix} V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ V_{yx} & V_{yy} & V_{yz} \\ V_{zx} & V_{zy} & V_{zz} \end{vmatrix} = |-V_{ij}| = \left| \frac{\partial^2 V}{\partial i \partial j} \right| , i, j = x, y, z$$

حيث V_{xy} هو التغير في المجال الكهربائي E_x في اتجاه محور Y ، V_{zx} التغير في E_z في اتجاه X حيث V الجهد الكهروستاتيكي وعادة نعرف المحور الرئيسي للذرة $V_{zz} = eq$ لمنحدر المجال الكهربائي ، ومعادلة لابلاس لمنحدر لمجال الكهربائي تعطي بعلاقة الاستقلال independence .

$$V_{xx} + V_{yy} + V_{zz} = 0$$

أي أن تغيرات مركبات المجال الكهربائي متوازنة أي مجموعها يساوي صفر ، ويكفي لوصف منحدر المجال الكهربائي معرفة V_{zz} معامل عدم التماثل asymmetry parameter .

$$\pi = \frac{V_{xx} - V_{yy}}{V_{zz}} , 0 < \pi < 1 , |V_{xx}| \geq |V_{yy}| \geq |V_{zz}|$$

وفي حالة المجال المتماثل حول المحور axially symmetric مثل شكل الشمامة فإن صفر =

$$\pi \text{ حيث } V_{xx} = V_{yy}$$

(٢) الانفلاق رباعي القطبية الكهربائية :

إن طاقة التفاعل Interaction energy بين عزم رباعي القطب ومنحدر المجال الكهربائي

تعطي بمؤثر الهاميلوتن Hamiltonian Operator

$$H = eQ \quad \times \quad \text{grad (E)}$$

↙
↘

Nuclear term atomic term

وهذه المعادلة تتكون من حد نووي (eQ) مضروبا في حد ذري (grad E) وحل هذه المعادلة يعطي القيم الذاتية eigen values وهي القيم التي نقيسها عمليا وتحسب منها طاقة كل مستوى نتيجة انفلاق رباعي القطب حيث l عدد الكم المغزلي ، m مسقط l علي محور z ويأخذ القيم

$$m_l = 1, 1 - 1.000.i$$

وتعطي قيم الطاقة من المعادلة

$$E_Q = \frac{eQV_{zz}}{4/(2l+1)} \left\{ 3m_l^2 - l(l+1) \right\} \left(1 + \frac{l+1}{3} \right)^{1/2}$$

ويلاحظ أن هذه المعادلة تحتوي علي مربع m_l أي قيم الطاقة لكل من 3/2 - 3/2 + تكون متساوية أو منطبقة أو متداخلة degenerate شكل (٢٤).

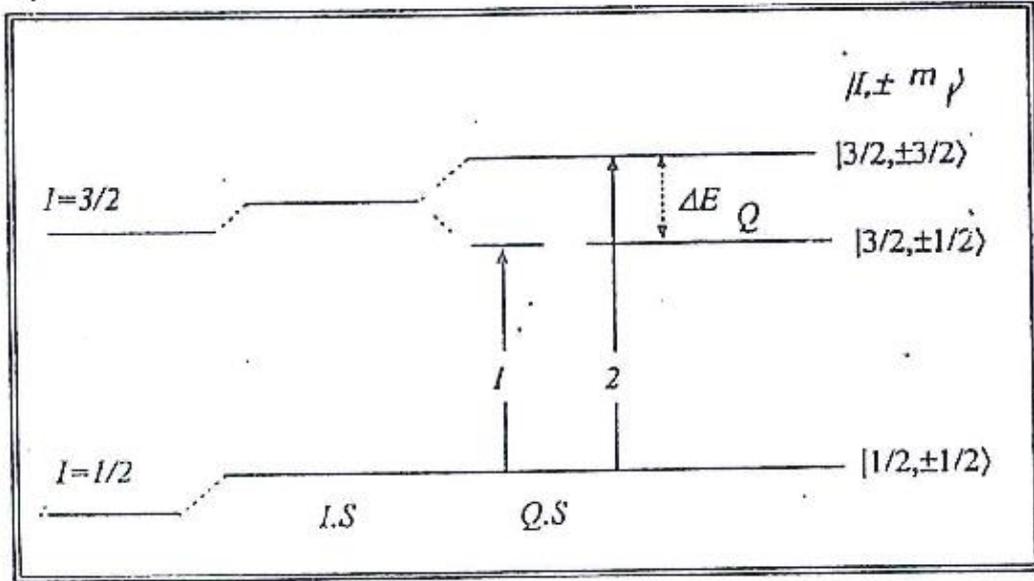
وفي حالة المجال المتماثل (n = 0) فإن :

$$E_Q (\pm 3/2) = \frac{3e Qv_{zz}}{12} \quad \text{for } l = 3/2, m_l = \pm 3/2$$

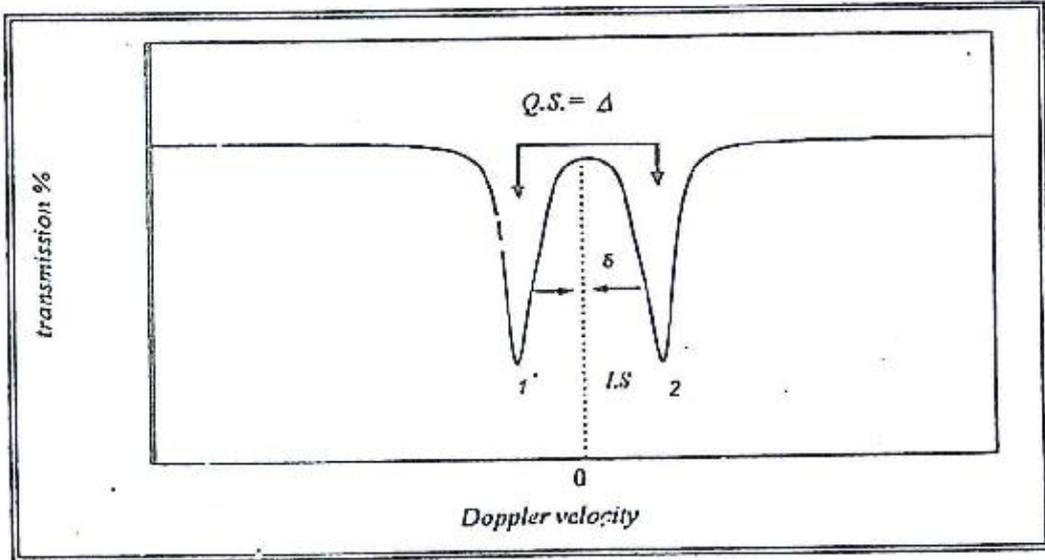
$$E_Q (\pm 1/2) = \frac{-3e Qv_{zz}}{12} \quad \text{for } l = 3/2, m_l = \pm 3/2$$

$$\Delta E_Q = E_Q (\pm 3/2) - E_Q (\pm 1/2) = \frac{eQV_{zz}}{2}$$

$$V_{zz} = eq \rightarrow \Delta E_Q = \frac{e^2 q Q}{2} (1 + n^2 / 3)^{1/2}$$



شكل (٢٣)



شكل (٢٤)

أما في البارامتر من بارامترات موسباور وهو الانفلاق المغناطيسي فوق الدقيق فإن هذه المساواة أو الانطباق أو التداخل سيزول من كل من $m1$ المستوى المستثار وكذلك الانفلاق رباعي القطب للأرضي لذلك فإننا سنحصل علي ستة خطوط بدلا من خطين .

وقياس البارامتر ($Q \cdot S = \nabla$) في المعمل (الطرف الأيسر من المعادلة السابقة) يعطي تغير المجال الكهربائي نتيجة شحنة الذرة الذاتية $q_{valence}$ ونتيجة لشحنات شبكية التركيب البلوري $q_{lattice}$ حيث ميل (تدرج) المجال الكهربائي الكلي يعطي بالمعادلة .

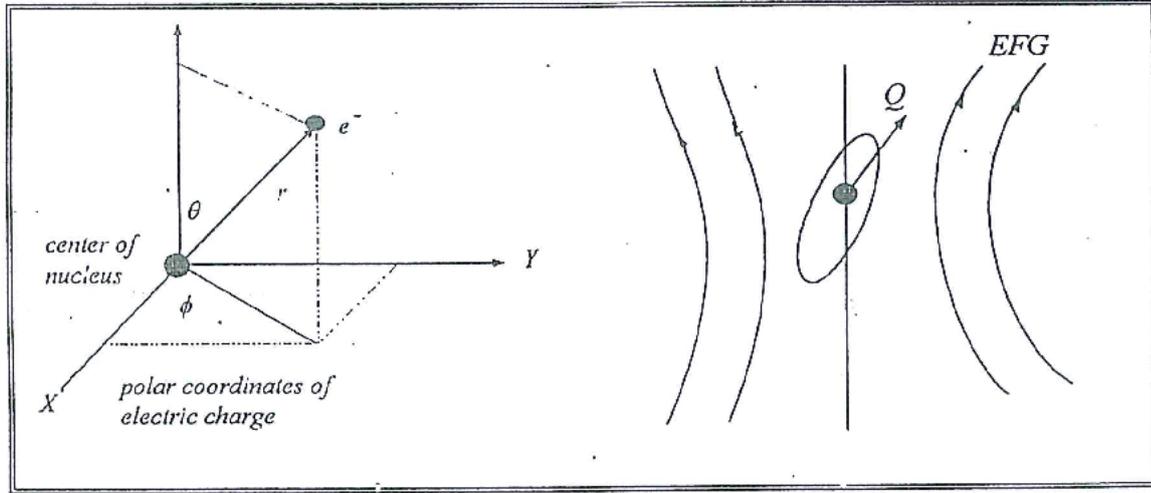
$$q = q_{\text{valence}} + q_{\text{lattice}}$$

حيث أن تشوه نواة الحديد Q ثابت لجميع مركبات الحديد ويكون التغير ناتجا من تغير Ligands حول الحديد . وشكل (٢٤) يوضح شكل طيف الامتصاص الرنيني لأشعة جاما في حالة وجود انفلاق رباعي القطب فقط .

أباب تدرج (ميل) المجال الكهربائي عند النواة

١- عدم تماثل توزيع شحنة الإلكترونات الذاتية للحديد عند النواة الناتج من Partially (3d⁶) Filled 3 d orbitals وليس (3d⁵) لأنها تساوي صفرا أو من حدوث استقطاب لشحنات الإلكترونات المزدوجة electron pair في المدارات الممتلئة بالإلكترونات

q_{valence} polarization of electron pairs in filled electron shells



شكل (٢٥)

٢- الشحنات الخارجية external charges الناتجة من الأيونات ions أو ثنائي القطب dipole في البلورات الأيونية شكل (٢٥) حيث تسبب تدرج (ميل) مجال كهربائي خارجي External EFG ويعرض الجدول التالي مركبات ممتد (متشعب) tensor ميل المجال الكهربائي q_{lattice} tensor components of the electric field gradient

$$V_{xx} = \sum_i q_i r_i - 3 (3 \sin^2 \theta_i \cos^2 \phi_i - 1)$$

$$V_{yy} = \sum_i q_i r_i - 3 (3\sin^2\theta_i \cos^2\phi_i - 1)$$

$$V_{zz} = \sum_i q_i r_i - 3 (3\sin^2\theta_i \cos^2\phi_i - 1)$$

$$V_{xy} = V_{yx} = \sum_i q_i r_i - 3 (3\sin^2\theta_i \cos^2\phi_i - 1)$$

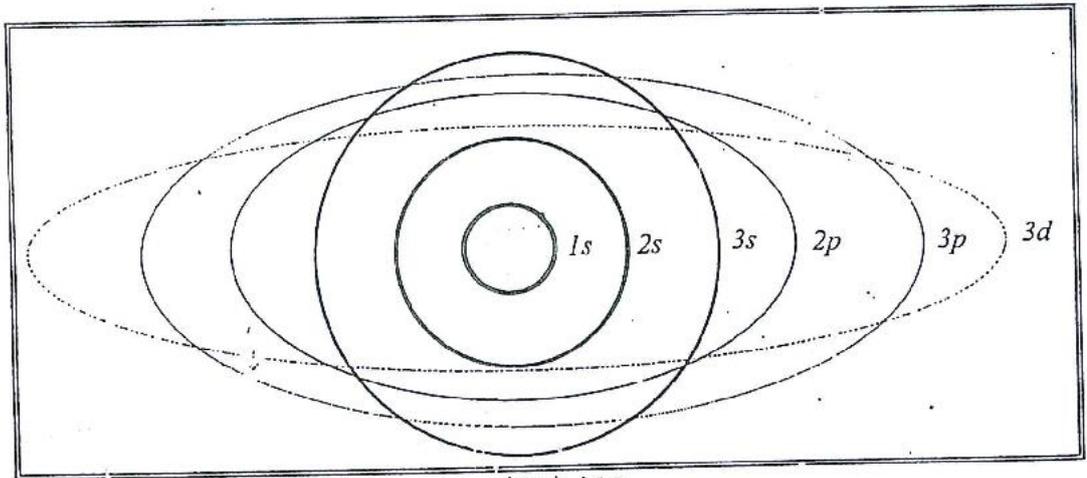
$$V_{xz} = V_{zx} = \sum_i q_i r_i - 3 (3\sin^2\theta_i \cos^2\phi_i - 1)$$

$$V_{yx} = V_{xy} = \sum_i q_i r_i - 3 (3\sin^2\theta_i \cos^2\phi_i - 1)$$

والشحنات الخارجية الناتجة من الإلكترونات التي تكون الأربطة bonding electrons في المترابكات ligands حول نواة Fe^{57} تؤثر تأثيرا مباشرا علي مدرج المجال الكهربي وكذلك بطريق غير مباشر تسبب استقطابا للإلكترونات الخارجية الكروية الشحنة والغير مشتركة في اربطة مثل إلكترونات S شكل (٢٦).

ونعبر عن ذلك رياضيا بإضافة حد يدل علي هذا الحجب (ساتر) Shield بمعامل Sternheimer الموجب $R=0.2$ والسالب $y_\infty = 10$ ويصبح .

$$EFG = eq = (1 - y_\infty)q_{lig(lat)} + (1 + R)q_{el(val)}$$



شكا (٢٦)

ويجدر أن نذكر هنا أنه بالنسبة لمركبات الحديدوز Fe^{+2} فإن $q = q_{val} + q_{lat}$ أما بالنسبة الحديدية Fe^{+3} فإن $q_{val} = 0$ ، كذلك $q_{lat} = 0$ للتوزيع ثماني الأوجه المثالي undeformed Octahedral ويمكن حساب كل من q_{val} ، q_{lat} بالتعويض في معادلات الجدول السابق ، حيث - $q = v_{zz} / e = zr^{-3} (3\cos^2\theta - 1)$.

٤ (شدة خطى الانفلاق رباعي القطب :

أن احتمال الانتقال النسبي relative transition probability واعتماد شدة الخط على زاوية خروجه angular intensity dependence لكل من الحطين .

الانتقال transition	احتمال الانتقال النسبي relative transition probability	تأثير الزاوية angular dependence
$\underline{+} 3/2 \rightarrow \underline{+} 1/2$	1	$3 / 2 (1 + \cos^2 \theta)$
$\underline{+} 1/2 \rightarrow \underline{+} 1/2$	1	$2 / 3 \sin^2 \theta$

يمكن أن تختلف شدة الخطين للأسباب الأتية :-

(١) البللورة الأحادية single crystal : شدة كل خط تعتمد على الزاوية θ بين اتجاه شعاع جاما واتجاه تدرج المجال الكهربائي ، وتعطي نسبة احتمال حدوث الانتقالين من كل من $1 = 1/2$, $1 = 3/2$

$$\frac{m_1 = \underline{+} 3/2 \rightarrow \underline{+} 1/2}{m_1 = \underline{+} 1/2 \rightarrow \underline{+} 1/2} = \frac{1 + \cos^2\theta}{5/3 + \cos^2\theta}$$

(٢) عديد البللورات polycrystalline : أن التكامل الذي يصف الاحتمال في كل حاله يكون متساوي (حيث $\cos^2\theta = 1/3$, $\sin^2\theta = 1/2$)

$$\frac{\int_0^\pi (1 + \cos^2\theta) f(\theta) \sin \theta d \theta}{\int_0^\pi (5/3 + \cos^2\theta) f(\theta) \sin \theta d \theta} = 1$$

وهذا يعطي شدة متساوية للخطين ، ولكن Goldanskii – Kargagin لاحظ عدم تماثل الخطين في بعض الحالات نتيجة عدم تماثل معامل (f(θ)) Debye – Waller .

$$\frac{\int_0^\pi (1 + \cos^2\theta) f(\theta) \sin\theta d\theta}{\int_0^\pi (5/3 + \cos^2\theta) f(\theta) \sin\theta d\theta} \neq 1$$

(٣) استرخاء اللف البارامغناطيسي paramagnetic spin relaxation يسبب أيضا عدم تساوي قمتي الانفلاق رباعي القطب . السبب في هذا أن الحركة الترنجحية للعزم النووي المغناطيسي Precession يعتمد علي عدد الكم المغناطيسي (m) ، ولهذا فإن قيم r للخطوط التي تختلف في قيم m₁ ستختلف خلال زمن الاسترخاء المميز للحالة } في الحالة :

$T_{P.S.R} < T_{Moss} (\omega_L)^{-1}$ سوف نشاهد خطين بدلا من ستة خطوط وأيضا علاقة اتساع الخط الرنيني r يعطي بالعلاقة .

$$r = \frac{h}{\tau} = \frac{hc_s}{a_0} = h\omega_D$$

حيث a₀ المسافة بين ذرتين متجاورتين ، c_s سرعة الصوت في المادة ، ω_D تردد ديبياي النهائي Debye cutoff frequency أي أنه في هذا المدى يكون اتساع الخط مساويا للطاقة الحرارية للذرة المشعة .

٥- الزاوية السحرية Magic angle

تنتج شدة أشعة جاما المنبعثة أو الممتصة لخطي انفصال رباعي القطب الكهربي في النواة :
احتمالات الانتقال المعطاة بالمعادلتين :

$$1_{1/2 \rightarrow 1/2} = 5/3 - \cos^2\theta$$

$$1_{1/2 \rightarrow 3/2} = 1 + \cos^2\theta$$

حيث θ الزاوية بين المحور الأساسي للتدرج في المجال الكهربي واتجاه أشعة جاما .

من المعادلتين السابقتين نجد أن النسبة بين شدة الخطين تتراوح بين 3 : 5 (في حالة $\theta = 90^\circ$ و 3 : 1 (في حالة $\theta = 0^\circ$) . وفي أغلب الحالات تتساوى شدة الخطين حيث تأخذ θ قيم عشوائية نتيجة لعدم وجود اتجاه مفضل للمحور الأساسي للتمايل في المجال الكهربائي داخل العينة . أما في حالة عدم تساوي شدة الخطين فإن هذا يعزى دائما إلى تأثيرات النسيج texture effects ، ويظهر هذا واضحا في العينات التي لها تركيب طبقي حيث تتكون المادة من طبقات رقيقة جدا يمكن نزعها عن بعضها بسهولة كما في حالة معادن الميكا . وفي مثل هذه المواد يصعب تحويل المادة إلى صورة مسحوق بالكامل ولكن إلى قشور صغيرة مما يتيح الفرصة لظهور اتجاه مفضل بين المحور الأساسي للتدرج في قشور صغيرة مما يتيح الفرصة لظهور اتجاه مفضل بين المحور الأساسي للتدرج في المجال الكهربائي وبين اتجاه أشعة جاما . وفي مثل هذه الحالات يمكن ببساطه إعادة شدة الخطين إلى التساوي وذلك عن طريق وضع العينة بزوايا $\theta = 54.7^\circ$ بالنسبة لأشعة جاما الساقطة عليها وهذه الزاوية تسمى بالزاوية السحرية magic angle وهي القيمة الناتجة من حل المعادلتين السابقتين معا .

(٦) أمثلة :

وبالمثل يمكن ربط قيمة الانفلاق رباعي القطب مع حالة تأكسد الحديد ونوعية الرابطة الكيميائي في المركب ففي مركبات الحديدوز d^6 يوجد في المدار الأخير ستة إلكترونات (Fe^{2+}) فيكون لها تدرج (ميل في المجال الكهربائي) أكبر منه في حالة مركبات Fe^{3+} لذلك فإنه في حالة أيون Fe^{3+} المتماثل في توزيع الخمسة إلكترونات حول النواة (d^3) فإن $q_{valcnce}$ تساوي صفر وتصبح $q = q_{lattice}$ وفي هذه الحالة نكتب ممتد تدرج المجال الكهربائي EFG Tensor علي الصورة .

$$\nabla E = \nabla \nabla V = \sum_i \frac{q_i}{|r_i|^5} (3 f_i f_i - 1)$$

ومن الأسهل أن نستخدم الإحداثيات القطبية :

$$V_{zz} = \sum_i q_i \frac{3 (\cos^2 \theta_i - 1)}{r_i^3}$$

$$\pi = \frac{1}{V_{zz}} \sum_i q_i \frac{3 \sin^2 \theta \cos^2 \phi_i}{r^2}$$

حيث : r_i, θ_i, ϕ_i هي المحاور الكروية spherical coordinates للشحنة q_i ومن المهم أن نذكر هنا أن مركبات الحديدوز Fe^{2+} يكون لها انفلاق رباعي القطب اكبر من مركبات الحديد Fe^{3+} لأن لها $q_{valence}$ لا تساوي صفر .

ملحوظة :

لما كان تدرج المجال الكهربائي يعتمد علي التوزيع الإلكتروني في جزيئات المادة التي تعتمد بدورها علي نوعية الأربطة لذا كان من أن الضروري نضع تذييل (1) خاص بالأربطة الكيميائية في المركبات .

حيث $\mu_B = \text{Bohr magneton} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ j/t}$, ($T = \text{Tesla} = 10^4 \text{ gauss}$)

وهي وحدة قياس العزم المغناطيسي ، وبالمثل داخل النواه فإن العزم المغناطيسي للنكليونات يسمى المغنيطون النووي nuclear Magneton ويعطي بالعلاقة $\mu_B = eh/2m_n C$ ويساوي $5.05 \times 10^{-27} \text{ j/t}$.

*** العزم المغناطيسي الناتج عن اللف الذاتي للإلكترون Magnetic moment due to electron spin يدور الإلكترون حول محوره فيسلك مثل مغناطيس صغير له عزم مغناطيسي μ_s ونظرا لأننا لا نعلم شيئاً عن شكل أو توزيع الشحنة للإلكترون فإننا نفرص له القيمة التي تتفق مع النتائج التجريبية .

$$\mu_s = 2S\mu_B$$

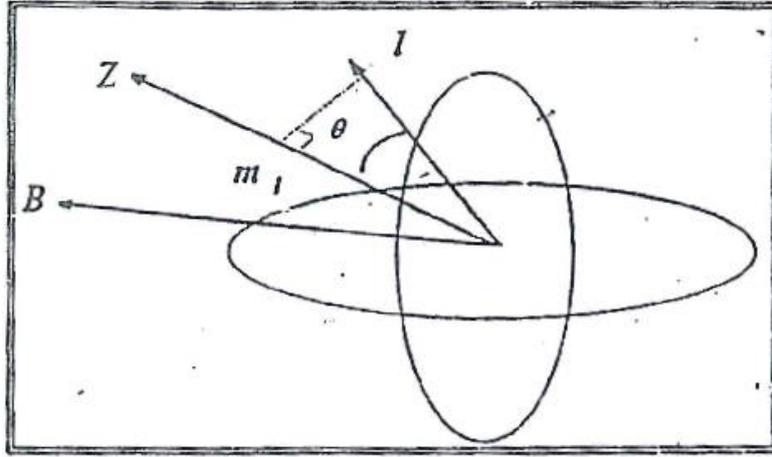
$$S = \sqrt{s(s+1)} = \sqrt{1/2(1/2+1)}$$

$$\mu_s = \sqrt{1/2(1/2 + 1)}\mu_B = \sqrt{3}\mu_B J/t$$

*** اعداد الكم المغناطيسية Magnction quantum numbers وهو مسقط عزم الدوران

المداري حول محور المجال المغناطيسي الخارجي B ويساوي $m_l = l \cos \theta$

θ هي زاوية الترنج precession angle لعزم الدوران المداري حول المجال المغناطيسي عندما يؤثر مجال مغناطيسي خارجي B علي الذرة شكل (٢٨).



شكل (28)

في هذه الحالة تتأثر الإلكترونات (التي لها عزم مغناطيسي أيضا) بازدواج مغناطيس يعمل علي توجيه الإلكترونات في اتجاه معين في الفراغ يتحدد بقيمة M_l ويكتسب الإلكترون طاقة قيمتها . AE

ثالثا : الانفلاق المغناطيسي فوق الدقيق Magnetic Hyperfine Splitting Nuclear

Zeeman Splitting

(١) مقدمة:

عندما يكون مركب الحديد في المادة الممتصة له خواص مغناطيسية مثل الهيماتيت Fe_2O_3 أو الماجنيتيت Fe_3O_4 فإن كل ذرة حديد في شبكية التركيب البلوري تتأثر بمجال مغناطيسي داخلي ناتج عن إلكترونات الذرة بالإضافة إلي الكترونات الذرات المحيطة . هذا المجال يسبب إنفلاق

لمستويات الطاقة داخل نواة ذرة الحديد - نفس التأثير يمكن أن يحدث إذا وضعنا المادة الممتصة في مجال مغناطيسي خارجي .

ملحوظة :

** * متجه كمية التحرك الكلية للذرة Total atomic spin angular momentum vector
 (J) ويساوي متجه كمية التحرك الزاوية المدارية لكل ذرة total atomic orbital angular momentum (L)
 Total intrinsic spin momentum مضافا إلي كمية التحرك الزاوية المغزلية لكل ذرة
 . angular (S) momentum

$$\Rightarrow \sum J = L + S \quad J = \sum j \quad , j = \sum I + \sum S$$

وحدات L أو S هي وحدات ثابت بلانك h الدفع force × time = action بالجول . ثانية .

** العزم المغناطيسي للإلكترون المداري Magnetic moment of orbital electron .

الشحنة الكهربائية للإلكترون e المتحرك في مدار مستوى مساحته A وزمنه الدوري τ يعطي تيار كهربائي شدته I وكتلة الإلكترون M وعزم الإلكترون المغناطيسي المداري .

$$I_{emu} = e_{esu}/C.t$$

$$\mu_{\ell} = I \times A = (e/C.t)A$$

$$\mu_{\ell} = (e/c.t) \frac{1}{2} \int 2\pi r^2 d\phi = (e/c.t) \frac{1}{2} I t (\tau/m)$$

$$\mu_{\ell} = (eh/2mc)\ell = \mu_B \ell$$

$$\Delta E = \mu_B B \cos \theta (eh/2Mc) B m_{\ell}$$

$$\Delta E = eh B m_l / 2Mc \text{ (Zeeman effect)}$$

وعمليا نشاهد مستوى طاقة منفصل يناظر كل قيمة من m أي ستة مستويات طاقة منفصلة في

حالة الحديد .

***** المعامل الجيمي g g-factor أو معامل لاندي lande factor أو النسبة الجيرومغناطيسية $g = \mu/\ell$ ويساوي النسبة بين العزم المغناطيسي μ للإلكترون وكمية التحرك المدارية L للإلكترون وكذلك فإن كل من ℓ يتحركان حركة ترنجيه Precession حول محصلتهما J مع المحافظة علي وضع كل منهما بالنسبة للآخر .

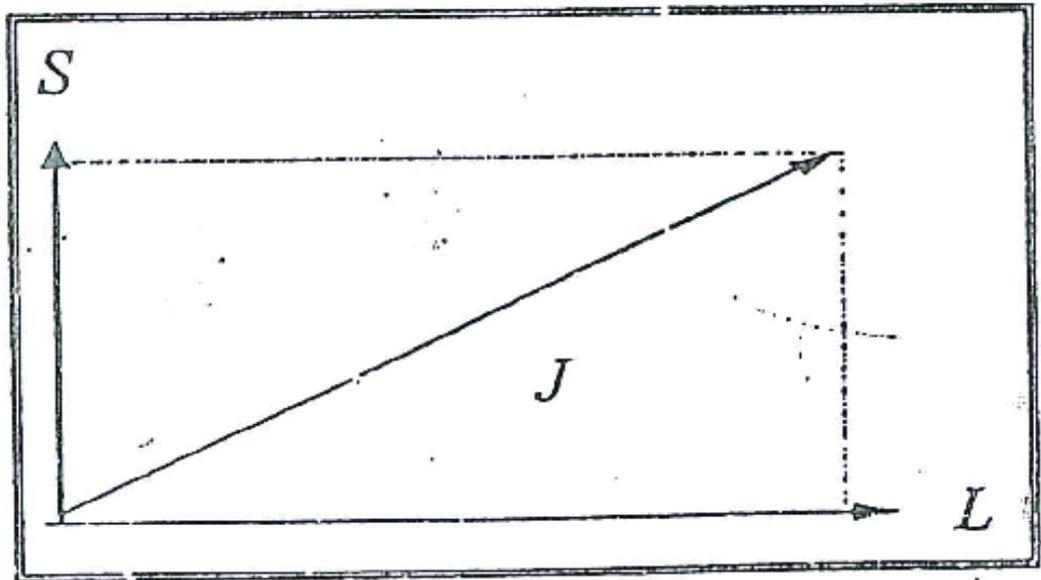
$$\mu_s = \frac{S \times e \times h}{2\pi} mc, \mu_\ell = \frac{\ell \times e \times h}{2\pi} mc$$

$$\mu_J = \mu_L \cos(L, J) + \mu_S \cos(S, J) = \mu_B \times g_j \times J$$

$$g_j = \frac{\mu_j}{\mu_B J}$$

معنى ذلك أنه يوجد لكل مستوى طاقة معامل وهو النسبة بين العزم المغناطيسي الكلي بوحدات مغنطيون بوهرالي عزم الدوران الكلي . وفي حالة النواة فإننا نستخدم μ_N بدلا من μ_B أي أن :

$$g_j = \frac{\mu_j}{\mu_N J}$$



شكل (29)

انفلاق زيمان النووي Nuclear Zeeman Splitting

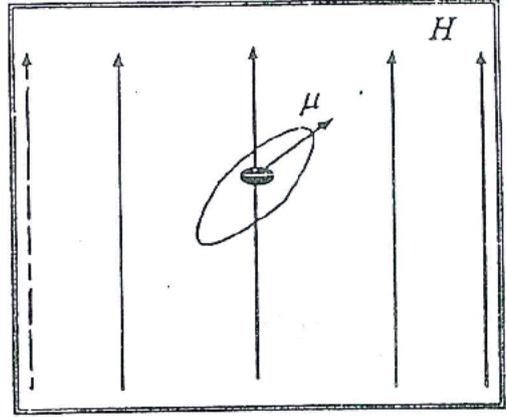
بعد هذه المقدمة نعود إلي تأثير زيمان النووي وعلاقة هاميلتون التي توصف المزدوج المغناطيسي

magnetic dipole التفاعل فوق الدقيق هي :

$$\mathcal{H} = -\mu_I \cdot H$$

\swarrow \searrow
 nuclear term atomic term

$$\mathcal{H} = -g_I \mu_N I \cdot H$$



حيث μ_N المغنطيون النووي nuclear magneton ويختلف عن بوهر مغنطيون في ان (الكتلة) M هي وزن النيكلون بينما في حالة بوهر مغنطيون كانت m تمثل وزن الألكترون ، H هي كثافة الفيض المغناطيسي الداخلي أو الخارجي . ويحل معادلات الهاميلتون نحصل علي القيم الذاتية eigen values أو القيمة المناظر المعملة للطاقة :

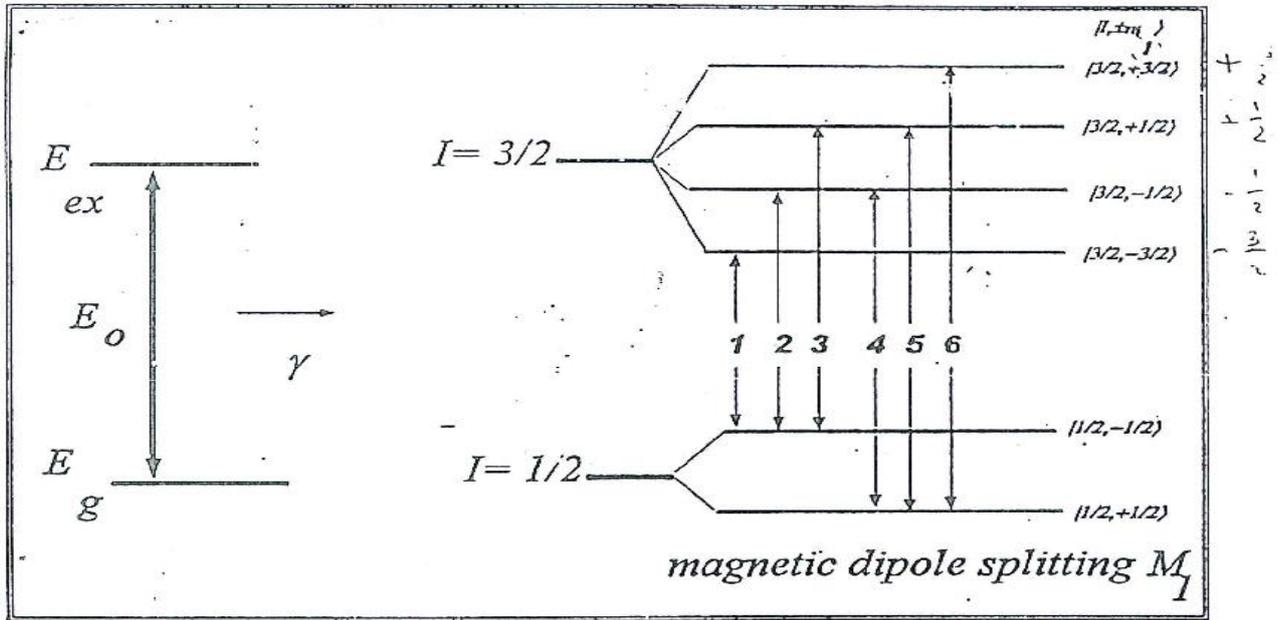
$$E_m = \frac{-\mu_I \times H \times m_I}{I} = -g_I \mu_N H m_I$$

$$\mu_I = g_I \times \mu_N \times I \text{ حيث}$$

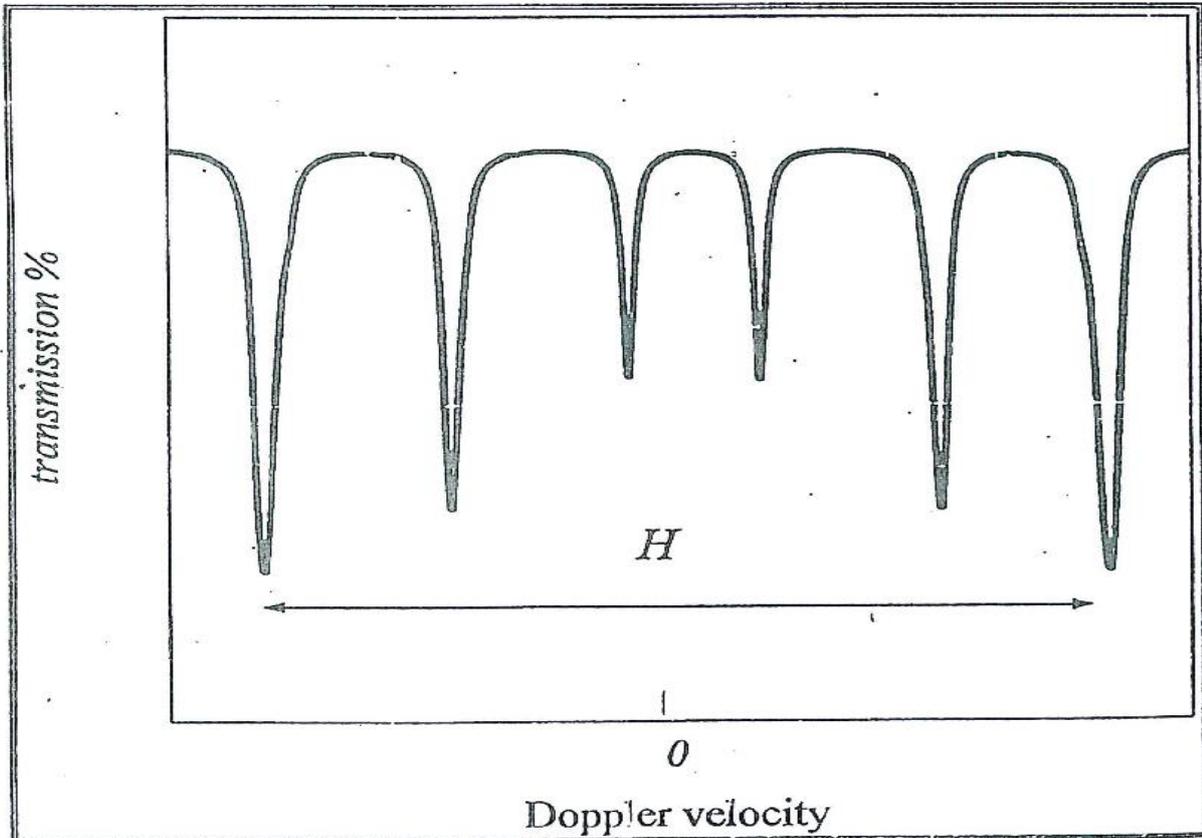
$$g_I = \frac{\mu_I}{\mu_N I}$$

ويكون عدد المستويات الناتجة بعد الانفصال مساويا $2I+1$ ويكون مسافات الانفصال بينهم متساوية وتساوي $\Delta E = \mu_I H$ كما أن المسافة بين أُل مستوى وبين أعلى مستوى هي قيمة للمجال المغناطيسي الداخلي المؤثر H (effective internal rules for allowed gamma transitions) Selection rules for الذي تراه النواه . وطبقا لقاعدة الانتقاء لانتقالات جاما (allowed gamma transitions) ($\Delta m = 0, \pm 1$) تكون عدد الانتقالات في نواة الحديد

^{57}Fe ستة انتقالات (أربعة $3/2$ + اثنتين $1/2$) لذلك ينتج طيف مكون من ستة قمم شكل (30) ، والمسافة بين القمتين 1 و 6 تتناسب مع قيمة H شكل (31) ، والازاحة الأيزوميرية تساوي المسافة بين السرعة صفر وبين السرعة عند منتصف الطيف .



شكل (30)



شكل (31)

وشدة خطوط زيمان الستة تعطي بالنسبة

Angular dependence	Transition	Am
$1_1 = 1_6 = 9/4 (1 + \cos^2\theta)$	$\pm 3/2 \rightarrow \pm 1/2$	± 1
$1_2 = 1_5 = 3(\sin^2\theta)$	$\pm 1/2 \rightarrow \pm 1/2$	0
$1_3 = 1_4 = 3/4 (1 + \cos^2\theta)$	$\pm 1/2 \rightarrow \pm 1/2$	∓ 1

حيث θ هي الزاوية بين شدة المجال الداخلي المؤثر واتجاه أشعة جاما وبما أن النطاقات المغناطيسية magnetic domains موزعه توزيعا عشوائيا randomly distributed وكذلك فإن طيف أشعة جاما بين المستويين الأرضي والمستثار الأول يكون متساوي في جميع الاتجاهات أي isotropic أو spherically symmetric فإن النسبة بين مساحة (ارتفاع) خطوط زيمان الستة sextet تنتج من التكامل علي جميع الاتجاهات $\int_0^{2\pi} d\phi$ وتعطي القيم : 3 : 2 : 1 : 1 : 2 : 3 (وذلك باعتبار أن متوسط $\cos 2\theta$ علي الكره يساوي 1/3 ومتوسط $\sin 2\theta$ يساوي 2/3).

ملحوظة :

أمكن حساب الشدة أو احتمال الانتقال transition probability بين المستويات الفرعية المغناطيسية magnetic – Gordon coefficients (سنعرض لها لاحقا عند حساب شدة خط الطيف) .

وشكل (٣٠) يعطي طيف الامتصاص الرنيني لأشعة جاما في حالة وجود انفلاق زيمان النووي فقط وتتناسب المسافة بين القمتين 6 , 1 مع قيمة المجال المغناطيسي المؤثر $h_{int} = h_{eff}$.

(٣) منشأ المغناطيسية الذاتية (الداخلية) التي تراها النواه origin of internal magnetic field

($H_{EFFECTIVE}$) أو ($H_{internal}$) أو ($H_{hyperfine}$) .

يوجد ثلاث مصادر للمغناطيسية الداخلية وهي :-

H_C وتسمى تفاعل التلامس لفرمي Fermi contact interaction

$$H_C = \frac{8\pi}{3} \mu_B \sum_n [|\psi_{ns}(0) \uparrow|^2 - |\psi_{ns}(0) \downarrow|^2]$$

وهذا يتناسب مع كثافة الغزل عند النواة حيث μ_B بوهر مغنيطون و $|\psi(0) \downarrow|^2$ و $|\psi(0) \uparrow|^2$ هي كثافة الألكترونات التي لها مسقط $\pm 1/2$ أو $\mp 1/2$ داخل النواة ، ونفس هذه الألكترونات هي التي تسبب الازاحة الأيزوميرية التي تعتمد علي الكثافة الكلية $|\psi(0) \uparrow|^2 + |\psi(0) \downarrow|^2$ بينما H_C تعتمد علي فرق كثافة الغزل (اللف) لكل من الحالتين $|\psi(0) \uparrow|^2 - |\psi(0) \downarrow|^2$ ومن المعروف أن كثافة الغزل (اللف) تنتج عن الكترونات S الغير متكافئة uncompensated أي $\psi \uparrow \neq \psi \downarrow$ مباشرة أو غير مباشرة نتيجة تأثير الكترونات d التي تسبب استقطابا polarization بالتفاعل المتبادل بين الألكترونات حيث تجذب الألكترونات ذات اللف اليمنى \uparrow Parallel spins وتبعد الألكترونات ذات اللف اليساري \downarrow antiparallel spins . أي أن الاستقطاب يحدث اختلاف في كثافتي اللف عند النواة .

٢- مجال العزم المغناطيسي المداري L للإلكترون المداري magnetic moment of the orbital(HL)

$$H_L = -2\mu_B \langle r^{-3} \rangle \langle L \rangle$$

٣- مجال العزم المغناطيسي الذاتي (S) للإلكترون

$$H_D = -2\mu_B \left\langle \frac{2r(s \cdot r)}{r^5} - \frac{s}{r^3} \right\rangle$$

حيث L العزم المداري ، S العزم الذاتي ، r متجه الإلكترون في الفراغ electron space . vector

وحساب بارمتر موسباور للمجال المغناطيسي الداخلي له تطبيقات كثيرة في دراسة الخواص المغناطيسية للمواد وتغيرها بتغير تركيب المادة الممتصة أو درجات حرارة المادة الممتصة حيث تزول المغناطيسية الداخلية عند درجة حرارة تسمى درجة حرارة كوري Curie temperature في حالة المواد الفيرووحديدية Ferromagnetic materials وعند درجة حرارة تسمى درجة حرارة نيل Neel temperature في حالة المواد الأنتيفيرومغناطيسية antiferromagnetic materials ، ويتكون الطيف في كل منهما من ستة خطوط وا يمكن التمييز بين الخواص المغناطيسية من طيف موسباور لأن ظاهرة موسباور هي ظاهرة ميكروسكوبية Microscopic وليست ظاهرة ماكروسكوبية Macroscopic . أما في حالة المواد البارامغناطيسية Paramagnetic materials فيتكون طيفها من خط واحد أو خطين فقط ، المواد الفيرومغناطيسية Ferrimagnetic materials يتكون طيفها من مجموعتين من خطوط زيمان أحدهما صغير H_1 والآخر أكبر H_2 .

ملحوظة :

لما كانت جزيئات المادة تعطي خواص مغناطيسية أو خواص غير مغناطيسية لذا كان من الواجب ان نضع تذييل (2) خاص بالخواص المغناطيسية للمواد .

رابعاً: وجود الانفلاق المغناطيسي والانفلاق رباعي القطب معا

Combined Magnetic Field and Quadrupole splitting

في معظم المواد المغناطيسية فان ذرات الحديد لا تشغل مواقع ذات تماثل تكعيبي (بالنسبة للشحنة)؛ وبذلك ينشأ انفلاق رباعي القطب الكهربي في نفس الوقت مع الانفلاق المغناطيسي. وفي هذه الحالة فأن طيف موسباور من أماكن الخطوط مباشرة يصبح اكثر تعقيدا ولا يمكن الحصول في هذه الحالة على بارامترات موسباور من أماكن الخطوط مباشرة حيث تتغير مواضع مستويات الطاقة . ويكتب مؤثر هاملتون في هذه الحالة كمجموع تفاعل زيمان المغناطيسي وتفاعل رباعي القطب الكهربي

وبحساب القيم الذاتية eigen value لمؤثر هاملتون يمكن تحديد قيم مستويات الطاقة وبالتالي مواقع خطوط انفلاق زيمان الستة ، التي لن تكون متماثلة الازاحة antisymmetric spectrum وتعطى قيم انقسام مستويات الطاقة في هذه الحالة

حيث هي الزاوية بين المجال المغناطيسي فوق الدقيق والمحور الرئيسي لمنحدر المجال الكهربي وستنقصر دراستنا على الحالة الخاصة التالية :

عندما يكون معامل عدم التماثل ، ويكون التفاعل رباعي القطب الكهربي صغير جدا بالنسبة لانفلاق المجال المغناطيسي فوق الدقيق () فانه في هذه الحالة يمكن اعتبار كما لو كانت اضطراب طفيف perturbation على مؤثر تفاعل زيمان وفي هذه الحالة يحدث إزاحة يحدث إزاحة لمستويات الطاقة كما هو مبين بالشكل (٣٣) . وينتج عنها إزاحة للخطوط الأربعة الداخلية (من خطوط انقسام زيمان) بالنسبة للخطين بالنسبة للخطين الخارجيين كما هو مبين بالشكل وهذه الازاحة الناتجة عن تفاعل رباعي القطب الكهربي تعطى

ونتيجة لارتباط الازاحة بالزاوية فإنها تختلف في قيمتها عن ولذلك تسمى بإزاحة رباعي القطب الكهربى quadrupole shift وليس انقسام رباعي القطب الكهربى وليس quadrupole splitting . ويمكن حساب قيمة إزاحة رباعي القطب الكهربى من مواقع الخطوط من العلاقة :

وفى الحالة الخاصة عندما يكون اتجاه المحور الرئيسى لانحدار المجال الكهربى مواز لاتجاه المجال المغناطيسى فوق الدقيق ، فان إزاحة رباعي القطب تكون هي نفسها الانقسام رباعي القطب .

الشكل السابق يوضح انفلاق مستويات الطاقة وطيف موسباور الناتج في حالة :

-A وجود تفاعل مغناطيسي فوق الدقيق فقط

-B في حالة وجود تفاعلين مغناطيسي وكهربي سويا

باستخدام عمر النصف () احسب عرض المنتصف النظري لخط موسباور لعنصر .

الحل

احسب في حالة في حالة ثم ناقش القيمة مع المثال السابق ثم قارن قيمة R(resolution لكل منهما.

الحل

بالمقارنة يتضح ان خط القصدير اضيق فيعطى بارامترات موسباور ادق.

اثبت ان الازاحة الأيزوميرية تعطى بالعلاقة

حيث

الحل

طاقة اشعة جاما الخارجة من المنبع المشع

طاقة اشعة جاما الساقطة على المادة الممتصة

But

في حالة احسب طاقة الانفاق رباعى القطب للمستوى الارضى والمستوى المستنار الأول () في حالة المجال الكهربى المتماثل حول المحور .

الحل

في حالة مستوى الطاقة الأرضي وهذا يعطى

وبالنسبة للمستوى المستنار

إذا كانت الازاحة الايزوميرية تساوى 1.5 mm/S فأحسب الاختلاف في كثافة الكترونات
المستوى الفرعى S حول النواة بين المصدر والمادة الماصة إذا كانت علما بان

الحل

حيث تم الضرب في للتحويل الى وحدات طاقة

إذا كانت المسافة بين القمتين تساوى وكانت فهل يمكن ملاحظة الانفلاق رباعي القطب. إذا
كانت فأحسب منحدر المجال الكهربى في حالة المجال المتماثل حول المحور.

الحل

أى انه يمكن مشاهدة الانفلاق رباعي القطب حيث ان المسافة بين القمتين اكبر من

احسب الانفلاق رباعي القطب الناتج من شحنتين مقدار كل منهما e على مسافة من ايون
الحديديك .

الحل

في الشكل الموضح : اذا كانت الشحنات موزعة توزيعا متماثلا حول ايون الحديدك . فاحسب الانفلاق رباعي القطب لأيونات الحديد علما بان طول ضلع المكعب يساوى .

الفصل الأول

ظاهرة الرنين

يشاهد الرنين في فروع كثيرة من علم الفيزياء ويسمى عادة طبقاً لنوع الأشعة او الموجات الوسيطة لحدوث الرنين فيختص الرنين الميكانيكي بالموجات الصوتية او الميكانيكية والرنين الذري بالموجات الضوئية الذرية التي تنطلق من حركة الكتلونات الذرة – اما الرنين الكهربى (اللاسلكى) فيختص بالموجات الكهرومغناطيسية في دوائر التوليف داخل جهاز الراديو- والرنين النووي بأشعة جاما الخارجة من نواه الذرة .

الرنين الميكانيكي (الصوتي) :

Mechanical (sonic) Resonance:

عندما نطرق شوكة رنانة اي عندما نحدث لها اثاره ميكانيكية فان الشوكة تتذبذب ويصدر منها موجات صوتيه فاذا كان لدينا شوكة رنانة لها تردد 512 هرتز مثلا وحدثت لها اثاره قسريه بطريقه ميكانيكا فينتج في الوسط المحيط بالشوكة (الهواء) موجات صوتية (علي هيئه تخلخلات وتضاغطات) فاذا اسقطت هذه الموجات علي شوكة رنانة أخرى لها نفس التردد 512 فأنها تمتص هذه الطاقة الساقطة عليها وتتذبذب لفترة زمنية محدودة ثم تشع نفس الطاقة التي اثارتها في البداية علي هيئة موجات صوتية في جميع الاتجاهات ونكشف عن الموجات عن طريق الاذن التي تقوم بعمل الكاشف واذا لم تسمع الاذن الصوت الصادر من الشوكة الثانية اي انها لم تتذبذب فمني ذلك انه لم يحدث رنين .

شروط حدوث الرنين في اي تجربة رنين :

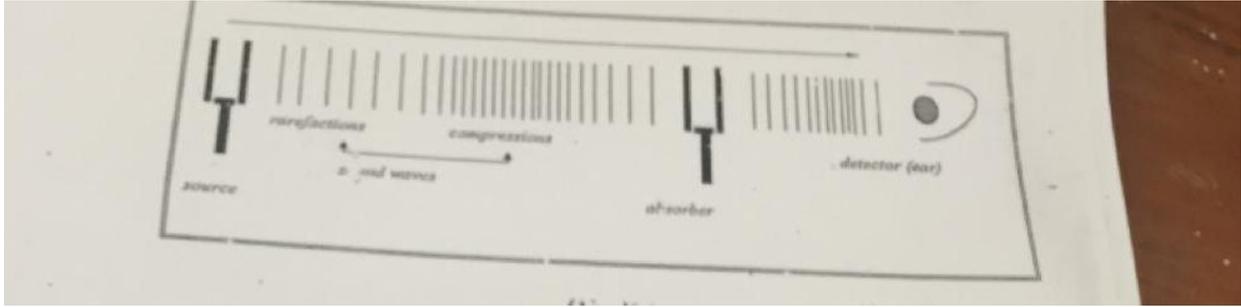
وجود مصدر مستثار

خروج الموجات من المصدر

امتصاص هذه الموجات بواسطة المستقبل الذي لابد ان يطابق المصدر لكنه يكون

في حاله غير مستثارة اي في الحالة الأرضية .

كاشف وهو الجهاز الذي تؤثر فيه هذه الموجات ويكشف عن وجودها.



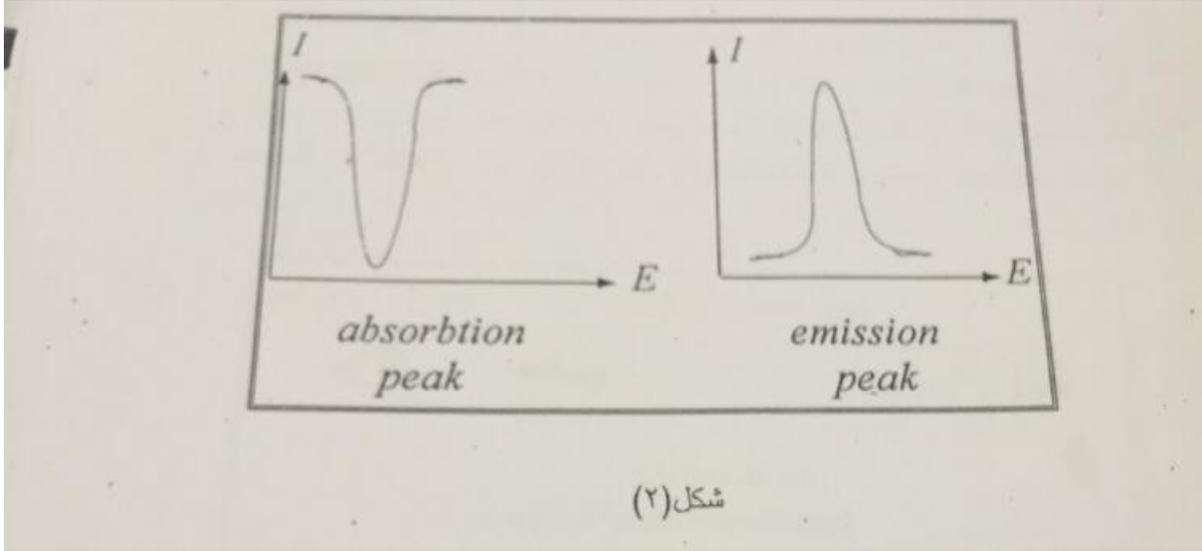
وفي تجربة رنين الصوت (شكل 1) عندما نطرق الشوكة الاولى فأنها تبعث موجات صوتية تنتقل في الهواء وتمتص بواسطة الشوكة الثانية اي يحدث لها اثاره ثم تشع الموجات الصوتية التي نسمعها بواسطة الاذن (الكاشف) . وهذا ما نسميه الرنين .

والمقصود بالرنين هنا هو انبعث الصوت من الشوكة الثانية دون ان تقترب منها اي انها تثار نتيجة امتصاص الموجات من الوسط .

أي انه حدث توافق بين الطاقة الساقطة مع الطاقة الذاتية للشوكة الثانية.

مما سبق نلخص تجربة الرنين بأنها ظاهره فيزيائية تصدر فيها موجات من مصدر مستثار .تنتشر هذه الموجات وعندما تقابل مادة ممتصة مماثلة للمصدر ولكنها في حالة مستقرة .فأنه يحدث توافق بين طاقة الموجة والطاقة الداخلية للمادة الممتصة .اي يحدث امتصاص رنيني يستمر هذا الامتصاص والاحتفاظ بالطاقة الممتصة لفترة زمنية محددة تتوقف علي خواص المادة الممتصة .وبعد ذلك يحدث اشعاع من المادة الممتصة . ولكي نكشف عن وجود الموجات يلزمنا كاشف لنوع الموجات المستخدمة في التجربة ويمكن تمثيل عمليه الامتصاص (او الانبعث) فيزيائيا بالرسم البياني (شكل 2) الذي يوضح ان الطيف يعرف بأنه خليط من الطاقات (او الترددات والطول الموجي) ويهتم علم الاطياف بفصل مكونات الطيف ودراستها بقدره تحليل (اي مقدار اتساع خط الطيف عند منتصف القمة بالنسبة لطاقة الرنين.

تتوقف علي نوع جهاز المطياف وفي حالة دراسة طيف الامتصاص شكل (2) نجد ان لجميع قيم الطاقة شدة خلفيه معينة ثم تنقص كثيرا عند طاقة الرنين والعكس في حالة طيف الانبعاث نلاحظ ان شدة الطيف تزداد كثيرا عند قيمة طاقة محده تحدد قيمة قمة الانبعاث.



ونلخص تكوين المطياف في حالة الرنين الصوتي من الاجزاء الرئيسية الاتية:-

- 1-المصدر المستثار(الشوكة الرنانة الاولى)
- 2-الموجات (موجات الصوت التي تخرج من المصدر)
- 3-المستقبل (الشوكة الرنانة المستقرة الثانية المماثلة تماما للشوكة الاولى)
- 4-الكاشف (الأذن حيث تتأثر بموجات الصوت)

الرنين الذري :

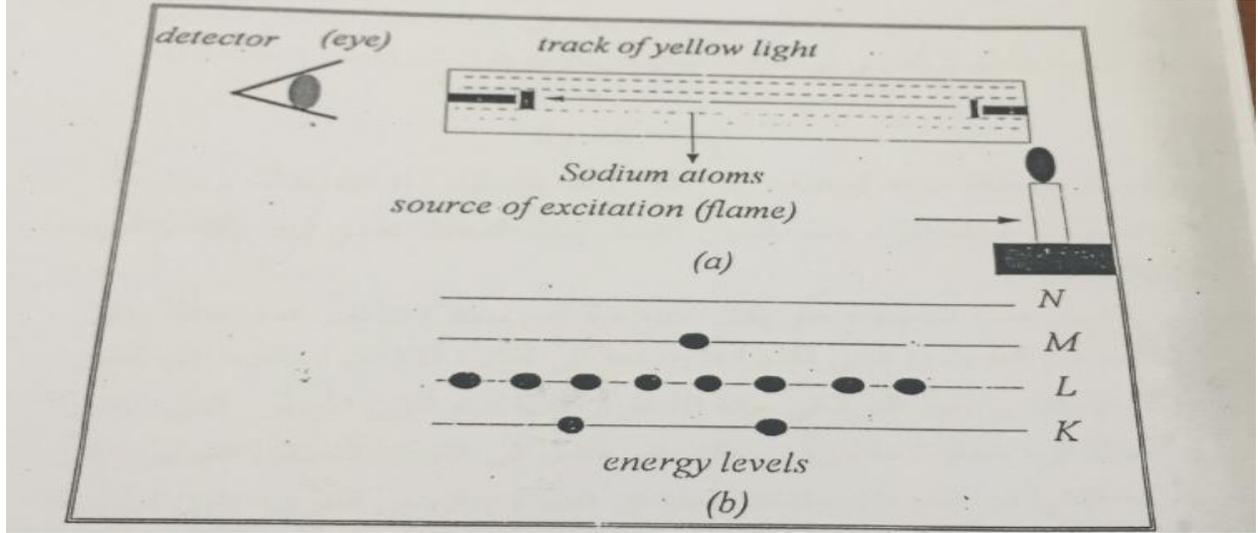
ATOMIC RESONANCE:

في حالة دراسة الخواص الكهربية والمغناطيسية والضوئية للإلكترونات متجاهلين نواة الذرة فإن هذا التخصص يسمى علم الفيزياء الذرية او فيزياء الجوامد وعندما ندرس نواة الذرة متجاهلين تأثير الكترونات الذرة فإن هذا التخصص من الفيزياء يسمى الفيزياء النووية . ولكن عندما نأخذ في الاعتبار التفاعل المتبادل بين الالكترونات والنواة (هذا التأثير يكون ضعيف جدا).

نتيجة لتغير عدد الالكترونات بالزيادة او النقصان علي خواص النواة العامة فأننا ندرس التفاعلات فوق الدقيقة .

والان نعود الى الرنين الذري (حيث أكتشف وود في بداية هذا القرن الرنين الذري) الذي يحدث في الالكترونات لذره الصوديوم كمثل عندما نضعها في لهب حراري (أي نحدث لها اثاره حرارية) نلاحظ ظهور لون اصفر نتيجة حركة الالكترون الاخير في الصوديوم الي مدار اعلي ثم عودته لأصله. أي ان اثاره الذرة تولد موجات ضوئية . ولأجراء تجربة الرنين الذري يلزم ان يكون لدينا نفس ذرات الصوديوم ولكنها في حاله مستقرة غير مستثارة وتقوم عين الانسان بدور الكاشف عن الموجات الضوئية .

وفي الشكل انبوبة طويلة تحتوى علي ذرات الصوديوم وعندما نحدث اثاره بواسطة طاقة حرارية من لهب بوضعه لفترة قصيرة عند احد طرفي الانبوبة ثم ابعاده . نلاحظ ان اللون الاصفر يتكون في البداية عند منطقة الاثاره ثم ينتشر الضوء .



وشروط اجراء تجربة الرنين متوفرة حيث يوجد ذرات الصوديوم المثارة تمثل المصدر ونفس الذرات المستقرة تمثل الممتص والعين تمثل الكاشف واللون الاصفر يمثل الموجات الكهرومغناطيسية .

وينشأ اللون الاصفر من ذرة الصوديوم التي تحتوى 11 الكترون موزعة طبقا لنظرية بوهر

كما يلي :2الالكترون في القشرة ك . ثم 8 الكترونات في القشرة ل . والالكترون 1 في القشرة م. عندما يكتسب هذا الالكترون الاخير طاقة حرارية فانه يترك مكانه الي الخارج وهذا يسمى التأين او اي مستوى اعلي ذات طاقة اعلي , وتسمى الذرة هنا في حالة اثاره , ويستمر فيها لفترة زمنية محددة ثم يعود الي مكانه ويخرج فرق الطاقة علي هيئة ضوء نجده يقع في منطقة اللون الاصفر من الطيف الكهرومغناطيسي المرئي في حالة الصوديوم ويحسب طول الموجة من المعادلة الآتية :-

$$E_f - E_i = h\nu$$

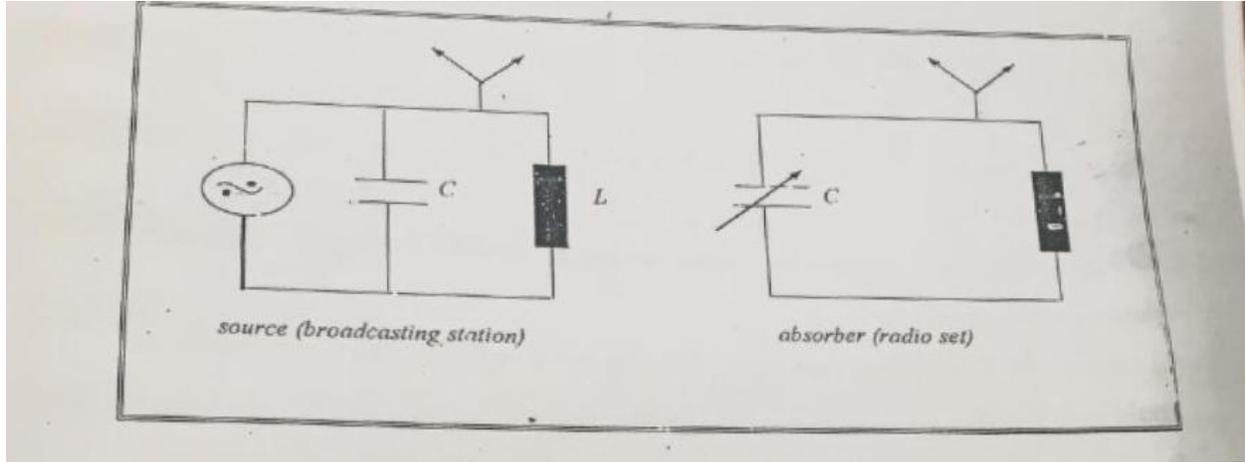
ينتشر هذا الضوء حتي يقابل ذرة صوديوم مستقرة فتمتص هذه الطاقة وتثير .

الالكترون الموجود في المستوى م وترفعه الي المستوى ن (اى ان الذره الان تعتبر مثارة) ولكي تعود الذرة الي حالة الاستقرار فأنها تشع اللون الاصفر الذي يمتص بواسطة ذرة مستقرة مجاورة , وهكذا حتي تصل الي الذرات المستقرة الموجودة في الطرف الثانی من الانبوبة . ونشاهد عمليا ان الضوء ينتقل من الطرف الاول من الانبوبة الي الطرف الثانی بدون استخدام لهب في الطرف الثانی ووهذا ما يسمى بالرنين الذري .

ونلخص تكوين المطياف في حالة الرنين الذري من الاجزاء الرئيسية الاتية :-

- 1-المصدر (ذرات الصوديوم المثارة)
- 2-الموجات (موجات كهرومغناطيسية صفراء اللون من ذرات الصوديوم)
- 3-المستقبل (ذرات الصوديوم المثارة)
- 4-الكاشف (عين الانسان التي تتأثر بالموجات الكهرومغناطيسية صفراء اللون)

الرنين المغناطيسي :-



نأخذ المثال في هذه التجربة محطة الاذاعة حيث يتكون مطياف الرنين الكهربائي من الاجزاء الرئيسية الاتية :-

- 1-المصدر : محطة الارسال ومنها تصدر (من هوائي محطة الارسال) موجات كهرومغناطيسية نتيجة اثاره المجال المغناطيسي في ملف الدائرة وكذلك المجال الكهربائي في مكثف الدائرة بواسطة تيار متردد له ذبذبات عالية جدا .
- 2- المستقبِل :جهاز الاستقبال وهو عباره عن الراديو الموجود بالمنزل حيث يقوم بتعديل قيمة المكثف المتغير أي يغير الطاقة المستقبلية وفقا للمعادلة :

$$U = 1/2\pi \text{ sqr } LC$$

حيث L هو معامل الحث الذاتي في ملف الراديو

Cقيمة السعة في المكثف المتغير التي يناظر محطة الاذاعة التي ترددتها U

ونغير سعة المكثف ليتغير التردد حتي نسمع الصوت، واذا تغيرت سعة المكثف بمقدار بسيط فتتغير الطاقة ولا نسمع صوتا اي لا يحدث رنين .

مطياف الرنين النووي بأشعة جاما :

يتكون من الاجزاء الرئيسية التالية :-

1-المصدر المشع : وهو عبارة عن نواة النظير غير المستقر المشع الذي ينتج من التفاعل النووي , هذا النظير يشع أشعة جاما لكي يصل الى حالة الاستقرار .

2-المادة الممتصة : هي عبارة نواة النظير ولكنها في الحالة المستقرة وذلك لان هذه النواة المستقرة يكون لها نفس مستويات الطاقة للنظير الغير مستقر الذي ينتج في التفاعل النووي .

3-الكاشف : يستخدم أحد الكاشفات النووية والاصح ان يكون العداد التناسبي او عداد بلورة يوديد الصوديوم الوميضية .

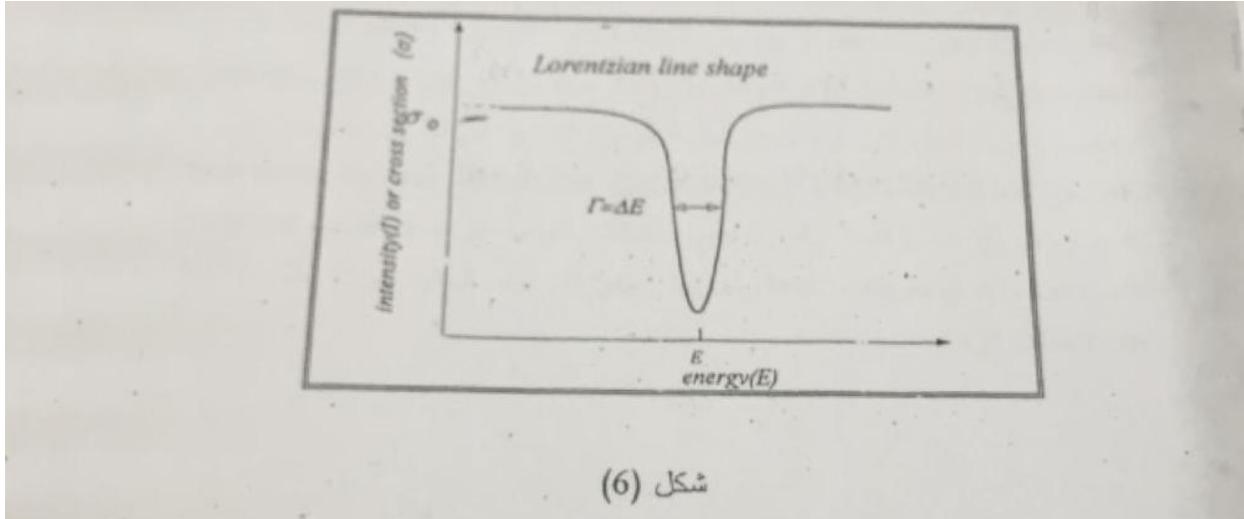
ويحدث الرنين النووي في هذه التجربة عندما تخرج اشعة جاما ذات طاقة محددة من المصدر وتمتص بواسطة نواة المادة الممتصة وهي النواة المستقرة للنظير .

تنتقل نواة الممتص من مستوى طاقة منخفض الي اخر اعلى يكون الفرق بينهما 0 ويستمر احتفاظ النواة الممتصة بأشعة جاما لفترة زمنية محددة تتوقف علي الخواص النووية .

(اعداد الكم) لهذه النواة ثم تشعها بعد ذلك لتصل الي الكاشف ويمثل طيف أشعة جاما الذي نسجته بصورة طيف الامتصاص.

ملحوظة:

1- يعرف اتساع خط الرنين بأنه الاتساع عند منتصف القمة شكل 6



2- يعرف المقدار E/E_0 بالقدرة علي التحليل.

3- المعادلة الرياضية التي توصف الشكل الهندسي للمنحنى (الموجود في شكل 6) هي معادلة شكل خط لورانتز - اما المعادلة الفيزيائية فهي معادلة بریت - فاجنر للامتصاص الرنيني .

$$\sigma(E) = \sigma_0 \left(1 + \frac{4(E - E_0)^2}{(\Delta E)^2} \right)$$

حيث

$$\sigma_0 = \frac{\lambda^2}{2\pi} \frac{(1 + 2I_e)}{(1 + 2I_g)} \frac{1}{1 + \alpha}$$

حيث σ هي مساحة مقطع التفاعل النووي nuclear reaction section و σ_0 القيمة العظمى عند الرنين ونحصل عليها عندما تكون طاقة اشعة جاما E مساوية للطاقة بين أي مستويين للطاقة يحدث بينهما الانتقال داخل نواة المصدر او المادة الممتصة E_0 .

وحدات القياس ل σ هي البارن barn حيث السم المربع = 10^{24} barn

I_e هو عزم الانتقال الدوراني الكلي **total spin angular momentum** لمحتويات مستوى الطاقة المستثار الأول داخل النواة . I_g لمستوى الطاقة الأرضي . هي معامل التحول الداخلي لأشعة جاما **internal conversion coefficient** ومعنى ان فرق الطاقة بين بين المستويين $I_{ex} - I_g$ يظهر على هيئة فوتونات اشعة جاما الكهرومغناطيسية وعددها N_γ او يظهر على هيئة الكترونات عددها N_e . وفي الحالة الخاصة للحديد Fe^{57} فإننا نشاهد خروج عشرة الكترونات مصاحبة لفوتون واحد من اشعة جاما اي ان $\alpha = N_e / N_\gamma = 10$

معنى هذا اننا يمكن ان نجرى تجربة الرنين النووي عن طريق قياس الالكترن وتسمى هذه الطريقة **Conversion Electron Mossbour Spectroscopy (CEMS)** او عن طريق قياس اشعة جاما ويكون الاختلاف الوحيد هو نوع الكاشف المستخدم و لكل طريقة مزاياها و عيوبها , وفي الدراسة الحالية سوف نستخدم اشعة جاما لإحداث الرنين .

اكتشاف الظاهرة :

نجم العالم الألماني رودلف موسباور (Radulf Mossbauer) في الاثبات المعلمي لظاهرة الرنين النووي بأشعة جاما عام 1958 بألمانيا في رسالة للحصول على شهادة الدكتوراة في الفيزياء النووية في بحثه في خواص اشعة جاما من قسم الفيزياء النووية بمعهد ماكس بلانك للأبحاث الطبية في مدينة هاينلبرج بألمانيا و في عام 1961 حصل على جائزة نوبل في الفيزياء لهذا الاكتشاف و لقد نجح موسباور في تفسير اسباب عدم مشاهدة الرنين النووي في المعمل حتى عام 1958 و الذي فشل علماء كثيرون قبله في قياسه في المعمل حيث حصل مون (Moon) عام 1934 بإنجلترا و غيره من العلماء قبل موسباور على طيف رنين شدته ضعيفة تدخل في حدود الخطأ الإحصائي للنتائج العملية شكل (9) ، لأن المفاهيم الفيزيائية التي كانت سائدة قبله في تفهم الرنين النووي كانت خاطئة و صححها موسباور عندما أدخل مفهوم ان بعض الذرات المقيدة في التركيب البلوري لا تفقد طاقة ارتداد (recoilless emission or absorption) و كذلك لا يخرج فوتون من شبكية التركيب البلوري Zero phonon مصاحباً لما تخرج من نواتها من اشعة جاما و بناء عليه فلقد قام موسباور بتبريد المادة الماصة بعكس السابقين الذين كانوا يستخدمون العينات باستعواض الطاقة المفقودة في الارتداد فحصل على طيف رنين شدته كبيرة شكل (9) .

تتفاعل اشعة جاما مع المادة بعديد من الطرق أهمها التفاعل الكهربائي و تفاعل كومبتون و انتاج زوجي الالكترونات و البوزيترونات و التي يمكن ان نعتبر الامتصاص الرنيني احد هذه الطرق و للمقارنة بين في σ_0 احتمالات حدوث هذه التفاعلات فإننا نقارن قيمة مساحة مقطع التفاعل لكل منها و وجد ان قيمة و هي أكبر 200 مرة من قيمة مساحة مقطع التفاعل 10^{-18} cm^2 X تساوى Fe57 2.2 حالة الذي تحدثه أشعة جاما عندما تتفاعل مع المادة photoelectric cross section الكهروضوئي

$$\sigma_{total} = \sigma_{photo} + \sigma_{compt} + \sigma_{pair} + \sigma_{resonance\ absorption} + \dots$$

حيث σ_{photo} هي مساحة مقطع تفاعل اشعة جاما لحدوث التفاعل الكهروضوئي

σ_{compt} هي مساحة مقطع تفاعل اشعة جاما لحدوث تفاعل كومبتون Compton

σ_{pair} هي مساحة مقطع أشعة جاما لحدوث تفاعل انتاج زوجى الكترون و بوزيترون

$\sigma_{resonance\ absorption}$ هي مساحة مقطع أشعة جاما لحدوث الرنين النووي دائماً طاقة أشعة جاما التي تعطى تفاعل رنيني تكون صغيرة أقل من 100 keV

و يكون $\sigma_{resonance\ absorbtion} > \sigma_{photo} > \sigma_{Compt} > \sigma_{pair}$

معنى ذلك ان احتمال حدوث تفاعل الرنين الامتصاصي لاشعة (موسباور) أكبر 200 مرة من احتمال حدوث أى تفاعل آخر بواسطة اشعة جاما . يحدث ذلك حتى لو كانت الوفرة النظرية abundance لنظير موسباور ^{17}Fe في الحديد الخام في الطبيعة مثلاً أقل ما يمكن مثل

$\text{Fe}^{58} 0.4\% : \text{Fe}^{57} 2.17\% : \text{Fe}^{56} 91.96\% : \text{Fe}^{54} 5.9\%$

و لقد اصبحت ظاهرة موسباور من الاكتشافات العلمية الاساسية التي لها تطبيقات لا نهائية في مختلف فروع العلم ، فلقد جذبت اهتمام العلماء أكثر من أى طريقة أخرى لدراسة التركيب و الخواص الفيزيائية (حيود الأشعة السينية – امتصاص الاشعة تحت الحمراء و البنفسجية – حيود البروتونات – طرق قياس الخواص المغناطيسية – طرق قياس الخواص الميكانيكية)

و طريق موسباور تدرس التركيب فوق الدقيق الناتج من تفاعل الخواص النووية مع الخواص الذرية لذلك تسمى هذه الدراسة فيزياء جوامد نووية nuclear solid state physics كما هو موضح في تصنيف العلوم النووية الذى أورده مجلة TOMKERNENERGIE الالمانية

Atomic and nuclear physics
Reactor physics
Nuclear solid state physics

Nuclear and radio chemistry
Radiation research
Radiation protection and ecology
Reactor technology and safty
Nuclear facilities
New techniques of energy production

ملحوظة :

نظرا للصغر المتناهي لسعة خط الرنين فإنه يمكن ملاحظة وتحليل المتغيرات الطيفية لمطاقة اشعة جاما . وتنشأ هذه المتغيرات في طاقة جاما نتيجة التفاعلات فوق الدقيقة بين بارامترات الالكترونات و الأيونات المحيطة بنواة موسباور و اهم هذه التفاعلات هي :

1- التفاعل الكهربائي أحادي القطب (تفاعل كولوم)

2- التفاعل الكهربائي رباعي القطب .

3- التفاعل المغناطيسي ثنائي القطب .

و ينتج عن هذه التفاعلات ازاحة أو انقسام لمستويات الطاقة النووية و يمكن تعيينها من طيف موسباور . و عملياً تقاس بارامترات بواسطة أشعة جاما الخارجة من النواة ثم الممتصة داخل مستويات الطاقة للمادة تحت الدراسة أى اننا نستخدم الخواص النووية لاستنتاج الخواص الذرية أو الوسط المحيط (فيزياء الجوامد) و لذلك فإن التخصص في أحدث تقسيم للعلوم النووية يسمى فيزياء الجوامد النووية Nuclear solid state و وضحت اهمية بحوث اطيف الموسباور منذ بداية اكتشاف موسباور للظاهرة عام 1958 حين حصل على درجة دكتوراة الفلسفة في مختلف الفروع و ينشرون بحوثهم في المجلات العلمية التأسختت تتزايد حتى عقد المؤتمر الاول في يونيو ١٩٦٠ بامريكا و المؤتمر الثانى في فرنسا عام 1961 م و نظراً لازدياد عدد الباحثين الذين يطبقون هذه الظاهرة في مختلف فروع العلم فقد تعاقبت المؤتمرات في مختلف دول العالم و تشكلت لجنة دولية لتنظيم مؤتمرات تطبيقات موسباور في انحاء العالم و تسمى ICAME و فيما يلى بيان بهذه المؤتمرات :

الدولة	العام
الاكتشاف	١٩٥٨
نشر الاكتشاف	١٩٥٩
امريكا	١٩٦٠
فرنسا ، جائزة نوبل	١٩٦١
روسيا	١٩٦٢
أمريكا	١٩٦٣
نيوزيلاندا	١٩٦٦
بلغاريا	١٩٦٧
المجر	١٩٦٩
المانيا الشرقية	١٩٧١
اسرائيل	١٩٧٢
تشيكوسلوفاكيا	١٩٧٣
فرنسا	١٩٧٤
بولندا	١٩٧٥
اليونان	١٩٧٦
رومانيا	١٩٧٧
اليابان	١٩٧٨
يوغسلافيا	١٩٧٩
الهند	١٩٨١
روسيا	١٩٨٣
بلجيكا	١٩٨٥
استراليا	١٩٨٧
المجر	١٩٨٩
الصين	١٩٩١
كندا	١٩٩٣
إيطاليا	١٩٩٥
البرازيل	١٩٩٧
المانيا	١٩٩٩
انجلترا	٢٠٠١

عمان	٢٠٠٣
فرنسا	٢٠٠٥
الهند	٢٠٠٧

أيضًا يعقد مؤتمر دولي كل 4 سنوات خاص بالتطبيقات الصناعية لظاهرة الموسباور

(international symposium on the industrial application of Mossbauer ISIAME)

Effect و قد عقد المؤتمر في عام 1996 في جوهانسبرج بجنوب افريقيا عام 2000 في أمريكا .

هذا و لقد نظمت جامعة الازهر بالاشتراك مع هيئة الطاقة الذرية المؤتمر الدولي الأول لبحوث ظاهرة الموسباور و عقد المؤتمر في مارس 1993 بفندق سونستا بالقاهرة و يجرى الان الاعداد للمؤتمر الثانى . 1996

و فيما يلى بيان بأسماء أهم الكتب و المراجع التى تناولت شرح مبادئ و تطبيقات ظاهرة موسباور .

1- the Mossbauer Effect

Ed : Hans Frauenfelder 1963

Pub : W . A .Bengamin Inc .

2- Mossbauer Effect Methodology

Ed ; Irwin J.Gruverman

Vol. 1 1965

Vol. 2 1966

Vol. 3 1967

Vol. 4 1968

Vol. 5 1969

Vol. 6 1970

Vol. 7 1971

Vol. 8 1973

Vol. 9 1974

Vol. 10 1976

Pub.: plenum press . New York

3- Chemical Applications of Mossbauer Spectroscopy

ed : V.I.Goldanski and R.H.Herber 1958

pub .: Academic Press , New York , London

4- Mossbauer Spectroscopy

ed . N.N Greenwood and T.C. Gibb 1971

pub .: Chapman and Hall Ltd . London

5- Mossbauer Effect Principles and Applications

ed .: Gunther and K.Wertheim 1972

pub .: Academic Press , New York , London .

6- Mossbauer Spectroscopy and its Applications

editor and publisher : International Atomic Energy Agency
, Vienna ,

Austria , 1972

7- Mossbauer Spectroscopy

ed .: U.Gonser 1975

pub .: Springer - Verlag , Berlin Heidelberg , New York

8- Mossbauer somer Shifts

ed : G.K. Shenoy and F.E.Wagner 1978

pub .: North Hlland

9- Mossbaner Spectroscopy

ed .: A.Verts , I.Korcez and K.Burger 1979

pub .: Academy Press , Budapest , Hungary

10 - International Applications of the Mossbauer Effect

ed . J.Gary Long and John Stevens 1984

pub .: Plenum Press . New York

11- Mossbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry , vol . I

ed Gary J.Long , 1984

pub plenum press , New York and London

12- Microscopic Methods in Metals

ed . U.Gonser 1986

Pub Springer - Verlag . Bertin Heildelberg , New York , London , Paris , Tokyo

13- Mossbauer Spectroscopy

ed . Dominic P.E.Dickson , Frank J.Berry 1986

Pub . Cambridge University Press , Cambribge , London , New York , Melborn

14- Application of Nuclear Gamma Resonance Spectroscopy

ed . N.A.Fissa and G.Denardo 1986

pub : world scientific , Singapor , New Jersy , London

15- Mossbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry , vol . 2

ed Gary J.Long , 1987

pub plenum press , New York and London

16- Mossbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry , vol . 3

ed . Gary J.Long , 1989

pub plenum press , New York and London

17 - Mossbauer Spectroscopy and Transition metal Chemistry

ed .: P.Gutlich , R. Link and A.traut wein 1991

- pub Springer - Verleg . Berlm Heidelberg , New York

18- Applied Mossbauer Spectroscopy Theory and Practice for Geochemists and Archaeologists

ed . S.Mitra 1992

pub Pergoman press , Oxford New York , Tokyo

19- Mossbauer Spectroscopy Applied to Magnetism and Materials Science . vol.1

editor: Gary J.Long and Fernande Grandjean , 1993

publisher : plenum press , New York and London

20- Mossbauer Effect Data Index (series 1968-1975) .
Mossbauer Effect data journal (1976 - till now)

ed . Jhon Stevens and verginia Stevens

pub . : Plenum press . New York

21 - Proceedings of the mentioned ICAME conferences

امثلة محلولة على الباب الاول

١) احسب الطاقة اللازمة لاثارة ذرة الصوديوم ($\lambda = 5890\text{\AA}$) وخروج اللون
الاصفر

الحل

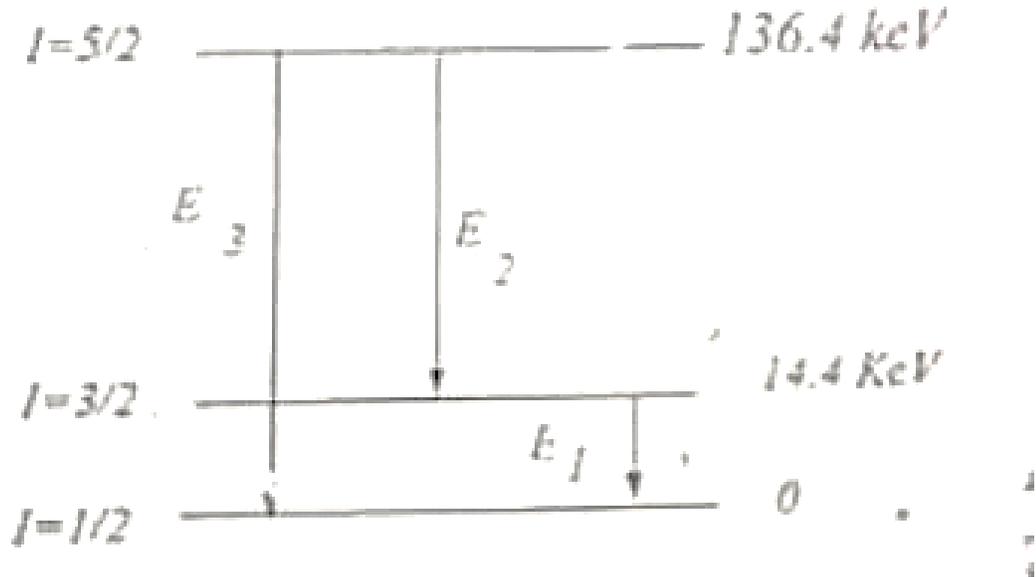
$$\Delta E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$$

$$1. \Delta E = \frac{(6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(5890 \times 10^{-10} \text{ m})}$$

$$\Delta E = 3.18 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

٢) باستخدام نموذج التحلل الموضح للحديد Fe^{57} احسب مساحة مقطع نفاعل الامتصاص الرنيني لكل طاقات اشعة جاما بفرض ان α ثابتة لجميع اشعة جاما و تساوى ١٠ و ان τ ثابتة لجميع المستويات وتساوي 10^{-7} s

الحل



$$\sigma(E) = \sigma_0 \left\{ 1 + \frac{\Gamma^2}{4(E - E_0)^2} \right\}$$

$$\sigma_0 = \frac{\lambda^2 (1 + 2I_c)}{2\pi (1 + 2I_g)} \frac{1}{1 + \alpha}$$

$$\text{Where } \lambda^2 = \frac{h^2 c^2}{E_\gamma^2} \rightarrow \sigma_0 = \frac{h^2 c^2 (1 + 2I_c)}{2\pi E_\gamma^2 (1 + 2I_g)} \frac{1}{1 + \alpha}$$

$$h = 6.66 \times 10^{-34} \text{ J.s} \text{ , } c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s} \text{ , } h^2 c^2 = 3.92 \times 10^{-50} \text{ J}^2 \cdot \text{m}^2$$

للطاقة الاولى:

$$\alpha = 10 \text{ , } E_\gamma = 14.4 \text{ KeV} = 14.4 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \text{ , } I_e = \frac{3}{2} \text{ , } I_g = 1/2$$

$$\sigma_0(14.4) = \frac{(3.92 \times 10^{-50} \text{ J}^2 \cdot \text{m}^2)}{2\pi (14.4 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J})^2} \times \frac{(2 \times (\frac{3}{2}) + 1)}{(2 \times (\frac{1}{2}) + 1)} \times \frac{1}{1 + 10}$$

$$= \frac{(3.92 \times 10^{-50} \text{ J}^2 \cdot \text{m}^2)}{(530.8416 \times 10^{-32} \text{ J}^2)} \times \frac{2}{2\pi} \times \frac{1}{11} = 201379 \times 10^{-22} \text{ m}^2$$

$$= 2.1379 \times 10^6 \text{ barn} \text{ , } \text{since } 1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$\Gamma \tau = \hbar = 1.0545 \times 10^{-34} \text{ J.s} \therefore \Gamma = \hbar / \tau$$

$$\Gamma = \frac{1.0545 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{10^{-27}} = 1.0545 \times 10^{-27} \text{ J} = 6.9147 \times 10^{-9} \text{ eV}$$

$$\sigma(14.4) = \sigma_0(14.4) \left\{ 1 + \frac{(6.691 \times 10^{-9} \text{ eV})^2}{4(14.4 \times 10^3 \text{ eV})^2} \right\}$$

$$= \sigma_0(14.4) \left\{ 1 + \frac{(47.813 \times 10^{18} (\text{eV})^2)}{829.44 \times 10^6 (\text{eV})^2} \right\}$$

$$\sigma(14.4) = \sigma_0(14.4) \times \{5.764 \times 10^{-26}\}$$

$$= 2.1379 \times 10^6 (\text{barn}) \times 5.764 \times 10^{-26}$$

$$\sigma(14.4) = 1.232 \times 10^{-19} \text{ barn}$$

بالنسبة للطاقة الثانية 122KeV

$$\alpha = 10, E_\gamma = 122K_{eV}, I_{ex} = \frac{5}{2}, I_g = \frac{3}{2}, \tau = 10^{-7}s$$

$$\sigma_0(122) = \frac{(3.92 \times 10^{-50} J^2 m^2)}{2\pi \times (122 \times 10^3 \times 16 \times 10^{-19} J)^2} \times \frac{(2 \times (\frac{5}{2}) + 1)}{(2 \times (\frac{3}{2}) + 1)} \times \frac{1}{1 + 10}$$

$$\sigma_0(122) = \frac{(3.92 \times 10^{-50} J^2 m^2)}{(381 \times 10^{-28} J^2)} \times \frac{1}{2\pi} \times \frac{6}{4} \times \frac{1}{11} = 1.984 \times 10^{-24} m^2$$

$$\sigma_0(122) = 1.984 \times 10^4 \text{ barn}$$

$$\begin{aligned} \sigma(122) &= \sigma_0(122) \left\{ 1 + \frac{(6.691 \times 10^{-9} eV)^2}{4(122 \times 10^3 eV)^2} \right\} \\ &= \sigma_0(122) \left\{ 1 + \frac{(47.813 \times 10^{18} (eV)^2)}{(5.9536 \times 10^{10} (eV)^2)} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma(122) &= \sigma_0(122) \times (8.03 \times 10^{-28}) \\ &= 2.1379 \times 10^6 (\text{barn}) \times 5.764 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

$$\sigma(122) = 2.295 \times 10^{-23} \text{ barn}$$

بالنسبة للطاقة الثالثة 136.4 KeV

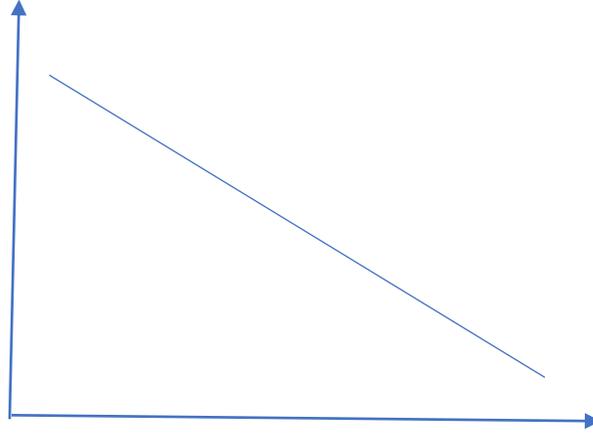
$$\alpha = 10, E_\gamma = 136.4 KeV, I_{ex} = \frac{5}{2}, I_g = \frac{1}{2}, \tau = 10^{-7}s$$

$$\begin{aligned} \sigma(136.4) &= \sigma_0(136.4) \times \left\{ 1 + \frac{(6.691 \times 10^{-9})^2}{4(136.4 \times 10^3 eV)^2} \right\} \\ &= \sigma_0(136.4) \left\{ 1 + \frac{(47.813 \times 10^{18} (eV)^2)}{(7.44198 \times 10^{10} (eV)^2)} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma(136.4) &= \sigma_0(136.4) \times (6.4247 \times 10^{-28}) \\ &= 3.5726 \times 10^4 (\text{barn}) \times 6.4247 \times 10^{-28}\end{aligned}$$

$$\sigma(136.4) = 1.593 \times 10^{-23} \text{ barn}$$

وبمقارنة تغيير $Gres.abc$ مع الطاقة يلاحظ ان σ تنقل بزيادة طاقة اشعة جاما E كما بالشكل.



٣- أكتب طيف الأشعة الكهرومغناطيسية موضحةً قيمة التردد و طول الموجة و منشأ الطيف في كل حالة ؟

الاسم	$\lambda(m)$	F _{HZ}	المنشأ
اشعة جاما	$10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-14} - 10^{-11}$	اعادة ترتيب الجسيمات النووية
الاشعة السينية	$10^{-14} - 10^{-11}$ $10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-14} - 10^{-11}$ $10^{-14} - 10^{-11}$	اعادة ترتيب الالكترونات في المدارات الداخلية
الاشعه فوق البنفسجية	$10^{-14} - 10^{-11}$ $10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-14} - 10^{-11}$ $10^{-14} - 10^{-11}$	اعادة ترتيب الالكترونات في المدارات الخارجية
الضوء المرئى	3000 - 7000 A		اعادة ترتيب الالكترونات في المدارات المختلفة
الموجات الميكرونية	$10^{-4} - 10^{-1}$	$10^{-12} - 10^3$	الانتقال بين مستويات الطاقة الدورانية

الموجات التليفزيونية			التغير في المجال الكهرومغناطيسى
الموجات الترددية المحملة			-
موجات السعة المحملة			-
الموجات الطولية	-	-	-
الرنين الالكترونى	-	10^2	انعكاس غزل الالكترونات
الرنين النووى المغناطيسى	-	10^2	انعكاس غزل النواة

الفصل الثاني

تجربة موسباور

Mossbauer experiment

Mössbauer Spectrometer

مطياف موسباور

هو مطياف أشعة جاما أي هو مجموعة الأجهزة المستعملة لفصل مكونات طيف أشعة جاما المعقد الذي يحتوي على الطاقات المختلفة من أشعة جاما الصادرة من المصدر المشع ، ومضاف إليها وحدات التعديل قيمة طاقات جاما حتى تحدث رنين مع انوية المادة الممتصة وتحليل طيف موسباور بواسطة تحديد شكل خط **complex Mossbauer spectrum** المعقد رنين موسباور هل هو شكل لورنتز أم شكل جاوس أم خليط منهما طبقا لنوع مادة الممتص (هل هي بلورية أم امورفيه أم مكونه من حبيبات وبتحديد شكل خط (**distribution**) أو لها توزيع **uniform** حجمها منتظم الرتين يمكن استخلاص الخواص الكيميائية والكهربية والمغناطيسية والتركيبية لذرات المادة الممتصة وذلك بمقارنة اشعة جاما الرنينيه قبل وبعد خروجها من نواة الممتص كما سيتضح ذلك من الابواب التالية .

geometrical ويستخدم عادة أحد نظامين للترتيب الهندسي

لأجهزة المطياف عند إجراء تجارب موسباور وهما arrangement
ونظام الاستثارة transmission geometry نظام النفاذية
scattering geometry

1. نظام النفاذية :- يستخدم هذا النظام في تجارب الامتصاص
عندما يراد دراسة التركيب الداخلي للمادة absorption experiment
الممتصة حيث تخترقها أشعة جاما، ويوضح شكل (١١) ترتيب الأجهزة
في هذه الحالة

2. نظام الاستطارة :- ويستخدم عندما يراد دراسة السطح الخارجي
للمادة الممتصة حيث تقام اشعة جاما المنعكسة من السطح ويوضح شكل
(١٢) ترتيب الأجهزة في هذه الحالة

- :مطياف موسباور

يوجد نوعان من مطياف موسباور وهما

1) Constant velocity spectrometer مطياف السرعة الثابتة

وفي هذا النوع يكتسب المصدر المشع سرعة دوپلر النسبية ذات قيمة ثابتة ومحدده بتركيبه علي موتور ثابت السرعة ونسجل الرنين ثم نغير السرعة إلى قيمه أخرى ثابتة ونقيس الرنين وتكرر هذه التغيرات إلى قيم متضاعفة من السرعة وفي هذه الحالة يتكون المطياف ذو السرعة الثابتة : (شكل ١٣) من الوحدات الرئيسية التالية

1. مثبت على مواد (موتور) radioactive source مصدر مشع للسرعة الثابتة
2. وهي مسحوق أو شريحه رقيقه من absorber المادة الماصة .المادة المراد قياس طيف الرنين لها
3. التناسبي أو البلوري) : يحول (y-detector كاشف أشعة جاما اشعة جاما الكهرومغناطيسية الي جهد كهربى يتناسب مع طاقه أشعه جاما .
4. ليسمح (single channel analyzer (SCA محلل احادي القناة فقط للنبضة الكهربائية الناتجة من اشعة جاما ذات الطاقات التي تعطى رنين بالمرور بينما يلغى باقي النبضات الاقل أو الأعلى من النبضة المطلوبة
5. يعطي عدد اشعة جاما (النبضات الكهربائية) عند كل counter عداد سرعة.

ولكن هذا المطياف يتكلف زمن قياس طويل جدا ويحتاج الى **
أجهزة دقيقة ومعقدة ولذلك نستخدم النوع الثاني وهو

2) **acceleration مطياف موسباور ذو العجلة الثابتة spectrometer**
ذو السرعة المتغيرة وفي هذا المطياف يكتسب المصدر المشع عديد من سرعات دوبلر النسبية في عملية تشغيل واحده يوضح الرسم التخطيطي شكل (١٤) الاجزاء الرئيسية التي يتكون منها .
مطياف موسباور ذو العجلة الثابتة .

- 1) **radioactive source** المصدر المشع
- 2) **absorber** المادة المختصة
- 3) **temperature variation unit (TVU)** أجهزة تغيير درجات الحرارة
- 4) **(digital function generator (DFG** مولد النبضات
- 5) **transducer velocity sensor** مولد حركة دوبلر ومجسن السرعة
- 6) **y- detector** كشف أشعة جاما
- 7) **pulse amplifier** مكبر النبضات
- 8) **(single channel analyzer (SCA** محلل أحادي القناة

9) multichannel (وحدة تخزين المعلومات (محل متعدد القنوات analyzer (MCA

10) computer جهاز كمبيوتر لتحليل النتائج وتسجيلها ورسمها

المصدر المشع: - مصدر الكوبالت - الحديد-

يحضر المصدر المشع عن طريق إجراء التفاعلات النووية باستخدام الايونات المعجلة أو النيوترونات من المفاعلات الذرية لإجراء التفاعل المتسلسل مع (اليورانيوم 235) الذي يعمل كوقود للمفاعلات النووية فمن نواتج الشطار اليورانيوم تحصل على العديد من النظائر المشعة ، وفي من Co-57 حالتنا عندما تريد دراسة مركبات الحديد فإننا نفصل نظير ويفصل على fission products of نواتج انشطار اليورانيوم 235 (شكل 15) Fe-57 هيئة سائل كلوريد الكوبالت الذي يتحلل الى

substrate ويتم تركيزه وتوضع منه عدة قطرات على شريحة حامله حتى cubic lattice structure) يكون لها تركيب بلوري متماثل (مكعب لا تحدث تغيير في مستويات الطاقة في نواة الحديد نتيجة تأثير رباعي القطب الكهربائي كذلك يكون لها خاصية الايام مغناطيسية حتى لا تحدث وتصنع الشريحة من nuclear Zeeman effect. تأثير زيمان النووي "Rh" أو الروديوم "Cr" " او عنصر الكروميوم "Pd" " عصير البلاديوم تستخدم طريقة الترسيب الكهربائي Cr أو Pd ولتثبيت الكوبالت على للحصول على توزيع متجانس للمادة المشعة فوق المادة الحاملة. معنى أو Cr تتكون داخل شبكية من الكوبالت مترسبة على Fe-57 هذا أن نويات

او... وهذه الشبكية تختلف عن الشبكية التي سيوجد فيها المادة Pd الممتصة ولذلك نستخدم مولد سرعات دو بلر لتعديل طاقة أشعة جاما (الاحداث الرنين كما ذكرنا في نهاية الباب السابق (ملخص ما سبق

من التفاعل النووي الناتج عن Fe-57 وتوجد طريقه ثانيه للحصول على بالديوترونات المعجلة بمعجل السيكلوترون Fe-56 قذف الحديد
cyclotron accelerator

بواسطة الأسر الالكتروني لأحد الالكترونات Co-57 من Fe-57 ثم يتكون في Fe-57 ، وتتولد نويات K القريبة من النواه مثل الكترونات المدار وشدته ٩١% التي تعطي الحالة (Kev الحالة الاستثارة ذات الطاقة ١٣٦ يعطي Kev 123 الأرضية عن طريقين الأول يخرج منه اشعة جاما بطاقة الذي isomeric state Fe-57 مستوي الطاقة المستثار الأول المتماثل يعطي خط جاما موسباور وطاقته sec متوسط عمره ١.٤ * ١٠^{-٧} $\alpha=9.7$ الذي له معامل التحول تداخل Kev 14.4

وشدتها ٩% Kev 137.4 والطريق الثاني يخرج أشعة جاما طاقتها decay scheme. وذلك موضح في نموذج التحلل

نتيجة الفجوة Kev 5 ويصاحب هذه الانتقالات انبعاث أشعة سينية طاقتها Co-57. في K المتولدة من عملية الأسر الالكتروني من المدار

الذي يترك L يعطى فجوه تمتلئ بالكترون من المدار K ان الأسر الكتروني وهذه السلسلة من الالكترونات تسمى M فجوه، فتمتلاً بالكترون من المدار وقد تتسبب 10^{-4} sec وتحدث في زمن Auger cascade سلسلة اوجي ، والجدول التالي يوضح valence state of Fe في تغيير تكافؤ الحديد . الأشعة الخارجة من المصدر المشع .

- Absorber المادة الممتصة

وهي عبارة عن المادة الصلبة المراد دراستها وإجراء البحوث عليها مع ملاحظة أن هذه المادة يجب أن تحتوى على نفس نظهر عنصر المصدر powder المشع في أحد مركباته كما يجب تحضيرها على هيئة مسحوق
 (=200 mg) ٢٠٠ mil thin sheet 1 inch = أو شريحه رقيقه)
 لابد أن تكون Fe-57 وبالتالي مثلا في حالة ما يكون المصدر (1000 mil وهو موجود في الطبيعة Fe-57 المادة الممتصة محتوية على الحديد بنسبة ٢٠% } مثل كبريتات الحديد - كلوريد الحديد - abundance
 (... الصلب - سباتك الحديد

- Temperature variation unit وحدة تغيير درجات الحرارة

ونظرا لتغيير الخواص الفيزيائية للمادة المراد دراستها مع تغيير درجة الحرارة، لذلك يلزم في بعض الاحيان استخدام وحدة التبريد (وفرن

التسخين) لتبريد (أو تسخين) عينات المادة الممتصة عند درجات حرارة مختلفة سواء منخفضة او مرتفعة . كذلك في حالة دراسة بعض المولد السائلة فإنه يلزم قياسها في درجات منخفضة حتى تتجمد وتصبح على هيئة مادة صلبة كما يستخدم التبريد التسخين لدراسة خواص الشبكية البلورية للمواد حيث تتغير الخواص الفيزيائية بتغير درجات الحرارة

- **Digital function generator** مولد الدالة (الموجات) الرقمي
- **sine wave generator** عباره عن دائرة الكترونيه يخرج منها موجات على هيئة منحنى أو نبضه **saw tooth** على هيئة اسنان المنشار **trigonal wave** ثلاثية تخرج أحد هذه الأشكال (الثلاثية شكل ١٦) إلى وحده مولد حركة سرعه دوبلر والطريق (a) وتسير (١٤) في طريقين مع النبضة التي تغذي **synchronized** وتذهب اليه في زمن (b) الآخر يعملان في نفس اللحظة (b) و (a) المحلل متعدد القنوات أي ان الفرعين أي ان الحركة تتولد وفي نفس اللحظة المحلل متعدد القنوات كل قناه بعد الأخرى لتستقبل نبضات اشعه جاما الرنينيه وتعطى طيف رنين الامتصاص نفس في الالكترونات **scattering**. (شكلي ١٦ و ١٣) او الاستطاره (شكل ١٢) **CEMS**

- **Doppler driving motion transducer** مولد حركة دوبلر

ان نظريه تغيير السرعة النسبية للمصدر بالنسبة للمادة الممتصة تبني على اساس ظاهرة دوبلر عن طريق توليد حركة ميكانيكية ذات سرعة v ، ويتكون $\Delta E = E\gamma v/c$ وتعمل تغير في الطاقة E تناسب طرديا مع الطاقة ، يمر فيه التيار المتردد أي النبضة الثلاثية L المولد من ملف كهربي طوله (سالب ثم موجب) الوارد من مولد النبضات الرقمي وهذا الملف موضوع فتولد في الملف قوة لورنتز B داخل مجال حث مغناطسي ثابت مقداره وعندما نثبت المصدر المشع (أو (Lorentz force F المغناطيسية المادة الممتصة لان السرعة أو الحركة نسبيه) على قضيب من الالمونيوم التي تحددها مقدما بالتعويض في المعادلة v فانه يتحرك بالسرعة المطلوبة مقسومه q شدة التيار ويساوي الشحنة الكهربائية I حيث $F=qvB=iLB$ بين مولد $feed\ back$ على الزمن) . وتستخدم طريقة التغذية الخلفية النبضات ومواد الحركة لضبط اي خطأ في السرعة، كذلك تتحول السرعة (من قيمة موجبه الى سالبه في الدورة الكاملة للنبضة الكهربائية شكل (١٦

- Gamma detector كاشف أشعة جاما

يستخدم في دراسة ظاهرة موسباور مدى عريض من طاقات جاما تبدأ ويستخدم اي كاشف كهربي لتحويل اشعة جاما $150\ KV$ حتى Kev ببضع إلى نبضات كهرييه يتناسب جهدها مع طاقة اشعه جاما الخارجة من المادة الممتصة

- Proportional counter (العداد (الكاشف التناسبي

يعمل بقدره تحليل عالية في مدى الطاقة الصغيرة ولكن كفاءته تقل بصورة Kev كبيرة عندما تريد طاقة جاما عن ٤٠

- Scintillation counter العداد (الكاشف) الوميضي

حتى نهاية مدى طاقة جاما التي تحدث رنين ولكن قدرته 5 Kev يعمل من التحليلية ضعيفة جدا عند الطاقات المنخفضة لدرجة يصعب معها التفريق والفصل بين أشعة جاما والأشعة السينية التي تتولد من حركة الالكترونات خارج نفس النواه.

- Pulse amplifier المكبر

حيث أن preamplifier ويتصل بكاشف أشعة جاما وحدة المكبر المبدئي high impedance قدرة تكبيره ليست كبيرة ولكن معاوقته كبيره لكي يحفظ النبضة الكهربية الخارجة من العداد من التشوه لأنها output "main amplifier" صغيرة للغاية في حدود ملل فولت ثم المكبر الأساسي ويقوم بتكبير الإشارة الخارجة من المكبر المبدئي كما أن قوة تكبيره " عالية حيث يصل بالإشارة إلى بضع فولتات حتى يسهل التعامل معها بعد ذلك في الوحدات التالية

- المحلل أحادي القناة:

Single channel analyzer (discriminator) مميز النبضات

تستخدم تجربته موسباور طاقة محددة القيمة في حين يخرج من المصدر المشع عدة طاقات لذلك يستخدم المحلل أحادي القناة في فصل الطاقة المطلوبة فقط عن باقي الطاقات للتعامل معها. حيث يسمح بمرور نبضه لها Kev ثلاثة طاقات لأشعة جاما هي Fe57 جهد محدد و يخرج من مصدر هي التي Kev 14.4 من هذه الطاقات فان الطاقة 136, 122, 14.4 Kev تعطي رنين لذلك يلزم التخلص من النبضات الناتجة عن الطاقات و يقوم بذلك المحلل احادي القناة. وهنا يجب ان نذكر اننا 136, 122 ونتجاهل الطاقات Kev 14.4 سوف نستخدم في الدراسة الحالية طاقة الأخرى لان مساحة مقطع الرنين النووي لهذه الطاقات صغير جدا

- Multichannel analyzer محلل متعدد القنوات

يتكون من ٢٥٦ محلل احادي القناة أو أكثر، كل قناه تسمح بمرور نبضه لها جهد محدد ثم القناة التي بعدها تسمح بمرور نبضه لها جهد اعلى synchronized بمقدار صغير ومحدد وكذا وتقوم موجة زمن التوافق بفتح كل قناة على (b) الواردة من مولد النبضات الرقمي خلال السار التوالي لاستقبال اشعة جاما ذات الطاقة المناظر، لكل قناه. وتتكون الموجه في شكل (١٦) من خطوات تناظر كل خطوة قيمة محدودة للسرعة وبالتالي قيمة محددة لطاقة أشعه جاما تقوم كل خطوة من هذه الخطوات بفتح قناة في جهاز متعدد وتسجيل النبضة الخاص بشدة أشعة جاما عند هذه الطاقة داخل هذه القنوات. وكل قناة تناظر زيادة في السرعة مقدارها يمضى أزمنه shaft drive معنى هذا أن عمود الحركة الالمنيوم $v\Delta$ أي ان تغير السرعة $v\Delta$ متساوية عند كل زياده من السرعة مقدارها

يتزامن مع تغير رقم القناة. وهذا يؤدي إلى أن أشعة جاما التي لها سرعة (طاقة) محددة سوف تسجل في نفس القناة باستمرار، ويمكن أن نرى الطيف المتراكم على الشاشة بعد ملايين من النبضات الخارجة من مولد النبضات والتي تستغرق عديد من ساعات القياس أي ساعات تجميع الطيف.

الكمبيوتر -

يستخدم في تشغيل بعض وحدات المطياف طبقاً لأوامر تصدر من الكمبيوتر للوحدات عن طريق برنامج خاص. كذلك يستخدم الكمبيوتر في استدعاء الطيف وتحليله ببرنامج خاص مبني على اساس ان شكل خط Lorentzian or الطيف هو شكل لورنتز او جاوس او خليط منهما ثم يقوم بحساب بارامترات Gaussian or Voigt line shape موسباور لكل موقع من مواقع الحديد (الإزاحة الايزوميرييه - الانفلاق رباعي القطب - شدة المجال المغناطيسي الداخلي الناتج من انفلاق زيمان - اتساع خط الرنين - شدة خط الرنين - نسبة الحديد وز الى الحديدك.....) عند توصيله fitted او الملائم analyzed ثم تقوم برسم الطيف (المحلل printer بطابعه.