مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد /16/ العدد /3/ 1414 هـ 1994م.

لماذا يُعتبر مفعول مسباور عظيم الأهمية ؟

د. جهاد ملحم*

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى توضيح أهمية مفعول مسباور (ME) كونه طريقة تجريبية فريدة تسمح لنا بتحديد طاقة إشعاع γ بدقة تصل إلى جزء من 10^{13}، وهي أفضل دقة ممكنة يتم بها تحديد إشعاع كهرطيسي متاح في تجارب فيزيائية. علاوةً على ذلك، فإنَّ أطياف مسباور تعكس طبيعة وشدة التفاعلات فوق الدقيقة الحاصلة بين النواة والالكترونات المحيطة بها.

وحتى الوقت الحاضر فقد أمكن تسجيل مفعول مسباور لما يُقارب مئة انتقال نووي فيما يُقارب ثمانين نواة موزعة على 43 عنصراً. وبالطبع كما في طرق مطيافية عديدة أخرى لأسباب تتضح فيما بعد، لا تكون جميع هذه الانتقالات صالحة لتطبيقات عملية. بل يبقى منها فقط من 15 إلى 20 عنصراً قابلاً للاستخدام في الفيزياء والكيمياء وعلم المعادن وعلوم القمر.

* الدكتور جهاد ملحم أستاذ مساعد في قسم الفيزياء بكلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

1 ـ مقدمة:

توجد رغبة قوية وغير مفهومة لدى الفيزيائيين النوويين لاهمال الرابطة الكيميائية للذرات التي تكون نوياتها قيد الاختبار. وربما يعود ذلك إلى كون الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية أكبر بكثير من طاقة الروابط الكيميائية للذرات التي عادةً تُعتبر حرة عند دراسة الحوادث النووية. بشكل معاكس، فإنَّ الخواص النووية إذا استثنينا منها كتل النويات وعزوم السويات الأساسية لها، هي ذات أهمية ضئيلة بالنسبة للكيميائيين ولفيزيائي الجسم الصلب. غير أنَّ جملة من الاكتشافات الحاصلة ساهمت في ربط هذه الفروع مع بعضها بعضاً كان آخرها الاصدار حر الارتداد والامتصاص الطيني النووي لأشعة ـγ في الأجسام الصلبة، على يد العالم الألماني مسباور في عام 1957. فلقد وجد مسباور عند دراسة تشتت أشعة ـγ التي يصدرها عنصر ^{129}Ir على كل من Ir و Pt زيادة في درجة تشتت هذه الأشعة على ^{129}Ir عند درجات حرارة منخفضة بشكل يُناقض التنبؤات الكلاسيكية.

يستند اكتشاف مسباور على حقيقة بسيطة مفادها أنَّ بعض الطاقات المرافقة للتحولات النووية ليس من الضروري أن تكون أكبر من طاقات الروابط الكيميائية، $(1 \to 10eV)$ أو حتى من الطاقات المميزة للاهتزازات الشبكية $10^{-1} \to 10^{-2}eV$ بل هي أصغر منها بكثير، هذه الطاقات النووية المراد بها هي تلك التي تكسبها النواة المرتدة خلال اصدارها أشعة ـ ذات الطاقة المنخفضة 1] ., 2]

2 ـ اصدار النوى لأشعة ـγ:

في حالة ذرة حرة كتلتها M، تتحرك بسرعة $\vec{V}$ وتصدر اشعاع ـγ، فإنَّ قانون انحفاظ الطاقة يعطي ما يلي:

$$E_\circ - E = \frac{1}{2}Mv^2 - EV_x / C \quad (1)$$

حيث $E_\circ$ طاقة السوية الأساسية للذرة، E طاقة اشعاع ـγ الصادر، $\vec{V}$ سرعة ارتداد الذرة بعد عملية الاصدار، V_x السرعة وفق المحور X، C سرعة الضوء في الخلاء. يُمثل الحد $\frac{1}{2}Mv^2$ طاقة الارتداد وهو مستقل عن السرعة الابتدائية للذرة:

$$E_R = \frac{1}{2}Mv^2 = E_\gamma^2 / 2MC^2 \quad (2)$$

إذا رمزنا للفرق بين طاقة الانتقال النووي وبين طاقة اشعاع ـγ بـ δE ينتج لدينا:

$$\delta E = E_R - EV_x / C \quad (3)$$

حيث: $\delta E = E_\circ - E$ من الواضح أنَّ الحد الثاني يتناسب مع السرعة بشكل خطي ويدعى مفعول دوبلر ويؤدي إلى تعريض خط اشعاع ـγ بالمقدار $2\sqrt{E_R kT}$.

إنَّ جزء الطاقة الذي يتم خسارته تكسبه الذرة المرتدة وهو عبارة عن مقدار صغير جداً. فمن أجل اشعاع ـγ بطاقة 100 KeV ونواة رقمها الكتلي 100، تصل هذه الخسارة إلى 5 أجزاء فقط من 10^7. لقد كان من المستحيل قبل اكتشاف مسباور قياس طاقة اشعاع ـγ بدقة كافية تسمح بتسجيل مثل هذه الفروق الصغيرة جداً في الطاقة.

وعلى كل حال، تصبح هذه الخسارة في الطاقة مهمة عند مقارنتها بالعرض الذاتي لاشعاع ـγ، أي بالدقة التي يُمكننا بها تحديد طاقة اشعاع ـγ بوساطة خواص النواة. ينشأ العرض المحدد من الزمن المحدد الذي تقضيه النواة في السوية المثارة وعادةً يميز بنصف عمر السوية

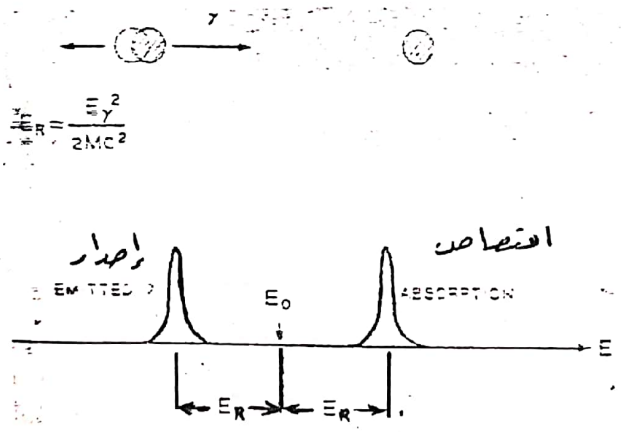
ضمن هذا المنظور، فإنَّ العرض المحدد يعود ألى مبدأ الارتياب في الطاقة والزمن. ويتوافق الارتياب في الطاقة مع عرض السوية النووية،Γ، فيظهر كعرض خطي لاشعاع ـγ في حين يتوافق الارتياب في الزمن مع العمر الوسطي،τ، للسوية النووية. يُمكن أن ننسب Γ إلى τ وفق علاقة الارتياب لهايزنبرغ:

$$\Gamma\tau = \frac{h}{2\pi} = \hbar \qquad (4)$$

أو:

$$\Gamma = \frac{0.693\hbar}{\tau_{1/2}} \qquad (5)$$

حيث: h ثابتة بلانك. توافقاً مع هذه العلاقة فإنَّ سوية عمرها الوسطي $\tau_{1/2} = 10^{-7} S$ يؤدي إلى عرض خطي مقداره $4.6 \times 10^{-9} eV$، وهو مقدار أصغر بكثير من خسارة الطاقة في عملية الارتداد النووي. نتيجةً لذلك لا يتطابق خط اشعاع ـγ الصادر مع خط اشعاع ـγ الممتص، ولا يحصل امتصاص طيني نووي كما هو مبين في الشكل(1).



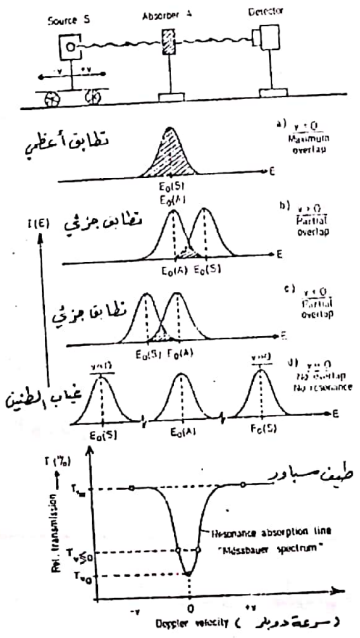
الشكل (1)

لقد كان P.B.Moon أول من أثبت صحة التحليل السابق، حيث أوجد طريقة يعوض بها الخسارة في الطاقة نتيجة لارتداد النواة، مما أدى إلى تطابق خطي الاصدار والامتصاص مع بعضهما بعضاً. استخدم مون ازاحة دوبلر التي تزيد في طاقة الاشعاع الصادر عن منبع متحرك بسرعة V بالمقدار E V/C وهذا المقدار يتناسب مع طاقة الاشعاع وسرعته [3.7].

3 ـ مطياف مسباور:

الحدث المهم في الامتصاص الطنيني النووي لأشعة ـγ كان على يد مسباور الذي وضع ترتيباً تجريبياً رائعاً لقياس العمر الوسطي للسوية التي طاقتها 129 KeV في ^{129}I ففي تجربة مسباور الشكل (2) يُمكن للمجرب أن يُحرك المنبع بالنسبة للماص أو العكس بطريقة مسيطر عليها ويسجل كوانتات ـγ كتابع للسرعة النسبية (سرعة دوبلر). ويكون طيف مسباور عبارة عن النفوذ النسبي بدلالة سرعة دوبلر، وهو يُبدي طنيناً أعظمياً وبالتالي نفوذاً نسبياً أصغرياً عند سرع نسبية حيث تتطابق خطوط الاصدار والامتصاص تطابقاً مثالياً مع بعضهما بعضاً.

ولفهم ظاهرة مسباور تقدم تحليلاً لاصدار وتشتت أشعة ـγ من ذرات مقيدة في الجسم الصلب، مميزين ثلاثة حالات مختلفة:



الشكل (2)

أ ـ عندما تكون طاقة ارتداد الذرة الحرة أكبر من طاقة ربط الذرة المقيدة ضمن الجسم الصلب أي تتراوح بين $15 \leftarrow 30eV$ فإنَّ الذرة المقيدة تترك موقعها في الشبكية ويكون التحليل الرياضي الوارد في الفقرة السابقة صالحاً.

ب ـ عندما تكون طاقة ارتداد الذرة الحرة أكبر من الطاقة المميزة لاهتزازات الشبكية (طاقة الفونون) ولكنها أصغر من طاقة ربط الذرة المقيدة، فتتحول عندئذٍ إلى طاقة حرارية تضيع في الشبكية.

جـ ـ عندما تكون طاقة ارتداد الذرة الحرة أقل من طاقة الفونون ينشأ مفعول جديد (مفعول مسباور) لأنَّ الشبكية عبارة عن جملة كوانتية لا يُمكن اثارتها كيفما اتفق.

في الحالة الأخيرة تكون طاقة الارتداد E_R أصغر من طاقة الفونون $(\hbar W_E)$ والتي هي مرتبة $10^{-2}eV$ ، لذلك تسبب تغيراً في الطاقة الاهتزازية للهزازات بمضاعفات صحيحة للمقدار $\hbar W_E$ على النحو التالي:

$$O,\pm\hbar W_E,\pm 2\hbar W_E \text{ -------}$$

حيث W_E تواتر أنشتاين. يُخبرنا نموذج أنشتاين عن احتمال محدد f، لا يحصل وفقه إثارة الشبكية أثناء اصدار أو امتصاص أشعة ـــγ يوافق ذلك انتقال طاقة مقدارها $(O\hbar W_E)$، تُسمى عملية فونون ـــ صفر. أحياناً يُسمى f، كسر الارتداد الحر ويدل على الجزء من الانتقالات النووية التي تحصل دون أن يُرافقها ارتداد:

$$f = e^{-E_R/\hbar W_E} \qquad (6)$$

إذن يسجل مسباور الشكل (2) الامتصاص الطنيني النووي عديم الارتداد لأشعة ـــγ يؤدي استخدام نموذج ديباي في الأجسام الصلبة إلى المعادلتين الآتيتين:

$$f = \exp\left[-\frac{E_R}{k_B\theta_D}\left(\frac{3}{2}+\frac{\pi^2T^2}{\theta_D^2}\right)\right], T << \theta_D \qquad (7)$$

$$f = \exp\left[-\frac{6E_RT}{k_B\theta_D^2}\right], T >> \theta_D \qquad (8)$$

حيث: k_B ثابتة بولتزمان، $\theta_D = \frac{\hbar W_D}{k_B}$ درجة حرارة ديباي، W_D تواتر ديباي.

نستنتج من العلاقتين السابقتين ما يلي:

- يزداد العامل f مع تناقص طاقة الارتداد E_R أي مع تناقص طاقة الانتقال E_γ.
- يزداد العامل f مع تناقص درجة الحرارة.
- يزداد العامل f مع تزايد درجة حرارة ديباي θ_D. تُعتبر θ_D قياساً لشدة الروابط بين ذرة مسباور وبين الشبكية.

يُسمى f عامل مسباور ـــ لامب (أو عامل ديباي ـــ ولر). تبلغ قيمته في ^{57}Fe حوالي 0.91 من أجل 14.4KeV طاقة انتقال أشعة ـــγ، وفي $^{191}I_r$ تبلغ قيمته 0.06 من أجل انتقال أشعة ـــγ بطاقة 129KeV [4,8].

4 ـ أهمية مفعول مسباور:

إنَّ خواص أشعة ـγ الموافقة لانتقال طاقة فونون ـ صفر التي حولت مفعول مسباور من دراسة أكاديمية صرفة إلى طريقة تجريبية ذات قيمة كبيرة يكمن في عروضها الخطية. فعندما تشار الشبكية في عملية اصدار أشعة ـγ ،يكون عرض خط اشعاع ـγ الفعال من مرتبة طاقة الفونون. أما عندما لا تشار الشبكية فإنَّ عروض السويات النووية التي تحدث بينها الانتقالات هي التي تحدد وحدها العرض الخطي لمركبة فونون ـ صفر. توافقاً مع مبدأ الارتياب، فإنَّ العمر الكلي النووي $10^{-7}S$ يتوافق مع خط بعرض $10^{-8}eV$، وهو أصغر بمقدار ست مرات من قيمته عندما تكون الشبكية مثارة. وعلى كل حال، فإنَّ الأهم من ذلك هو أنَّ هذا العرض الخطي أصغر من القيم المميزة لتفاعلات ثنائيات الأقطاب المغناطيسية للنوى ورباعيات الأقطاب الكهربائية العائدة لها مع ما يحيط بهذه النوى من الكترونات.

هذه الحقيقة جعلت دراسة مثل هذه التأثيرات ممكنة فقط باستخدام طريقة مسباور دون أي طريقة أخرى.

يوجد قياس بديل للعرض الخطي يُمكن الحصول عليه بقسمة العرض على الطاقة الكلية لإشعاع ـγ فعلى سبيل المثال/ من أجل طاقة انتقال مقدارها 14 KeV ومتوسط عمر مقداره $10^{-7}s$ نجد أنَّ هذه النسبة تساوي إلى:

$$\frac{\Gamma}{E}=\frac{10^{-8}}{14\times10^{3}}\approx10^{-13} \qquad (9)$$

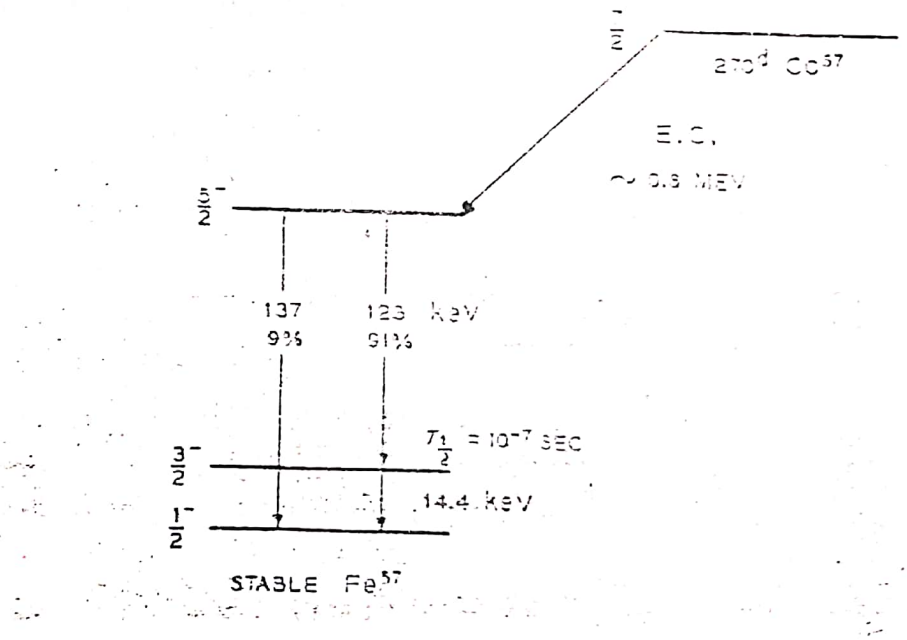
وهذا يعني أنه يُمكن تحديد طاقة إشعاع ـγ بدقة تصل إلى جزء واحد من 10^{13}، وهي أعظم دقة على الاطلاق يتم بها تحديد طاقة إشعاع كهرطيسي وفق أية طريقة تجريبية ممكنة.

5 ـ نموذج تطبيقي:

كي نبين فيما إذا كان لهذه الخاصة استخدام عملي نفتش عن عنصر مناسب يكون له متوسط عمر وطاقة انتقال مناسبتين في أوله سوية مثارة له. ولقد وجد أنَّ ^{57}Fe يجمع بين هاتين الميزتين لذلك كان استخدامه في التجارب العملية والأبحاث أكثر من أي نظير آخر. يبين الجدول (I) خواص عنصر الحديد ـ 57 إذ أنَّ معامل التحول الداخلي يساوي 9.7 ± 0.2 كما يبين الشكل (3) تفكك ^{57}Co إلى ^{57}Fe حيث يدل EC على أسر الالكترون [8].

	السوية الأساسية	أول سوية مثارة
الطاقة (KeV)	0	14.36
السبين والشفعية	$\frac{1^-}{2}$	$\frac{3^-}{2}$
العزم المغناطيسي (nm)	0.0903	−0.153
عزم رباعي الأقطاب (b)	0	0.29
العمر الكلي (S)	مستقرة	1.4×10^{-7}

الجدول (I)



الشكل (3)

إضافة إلى العمر الوسطي وطاقة الانتقال، فإنَّ الاعتبار الآخر يعطي إلى المقطع العرضي، $6_\circ$، لامتصاص أشعة γ في النظير الطنان [5]:

$$6_\circ = \frac{\lambda^2}{2\pi}\frac{1+2I_e}{1+2I_g}\frac{1}{1+\lambda} \qquad (10)$$

حيث I_e، السبين النووي للسوية المثارة، I_g السبين النووي للسوية الأساسية، α معامل التحول الداخلي لانتقال إشعاع γ يبلغ المقطع العرضي في ^{57}Fe حوالي $2.2 \times 10^{-18}\,cm^2$، وهو أكبر بمئتي مرة من المقطع العرضي لأهم عملية تالية وهي الامتصاص الكهرضوئي.

بناء على ذلك فإنَّ عملية الامتصاص الطنيني تصبح مسيطرة حتى عندما تشكل

نسبة النظير الطنان مقداراً صغيراً في تركيب الجسم الصلب الماص [6].

كما يُعطى المقطع العرضي الامتصاصي بتابعية الطاقة وفق علاقة بريت — ويغنر:

$$6(E) = 6_{\circ}\left[1+4\left(\frac{E-E_{\circ}}{\Gamma_a}\right)^2\right]^{-1} \quad (11)$$

حيث $E_{\circ}$ طاقة الانتقال النووي، Γ العرض الكلي للخط الطنيني عند نصف القيمة العظمى للامتصاص، إنَّ شكل خط لورنتز المحدد وفق المعادلة (10) يُطبق على كل من المقطع العرضي لكل من الاشعاع الصادر والممتص. فعندما تكون سماكة الماص قليلة، فإنَّ شكل الخط الطيفي المسجل تجريبياً يكون مجموع الخطين الطيفيين للإصدار والامتصاص وفق المعادلة.

$$6\exp(E) = \int_{-\infty}^{\infty} W(e)\sigma(E-e)de \quad (12)$$

حيث $W(e)$ تُعطي شكل الخط الطيفي لإشعاع γـ الصادر:

$$W(e) = \left[1+4\left(\frac{e-E_{\circ}}{\Gamma_s}\right)^2\right]^{-1} \quad (13)$$

حيث يشير الدليل S إلى المنبع والدليل a إلى الماص. هنا نصل إلى مكاملة العلاقة (12):

$$\sigma\exp(E) = 6_{\circ}\left[1+4\left(\frac{E-E_{\circ}}{\Gamma_s+\Gamma_a}\right)^2\right]^{-1} \quad (14)$$

بتعبير آخر فإنَّ عرضي الخطين الطيفيين للمنبع والماص مقداران جمعيان، فإذا تحقق عرض الخط الطبيعي في كليهما، فإنَّ العرض الخطي لمفعول مسباور يساوي تماماً ضعف العرض الخطي لاشعاع γـ.

ومن الواضح أنَّ المقطع العرضي الذي تُعطيه المعادلة (10)، هو المقطع العرضي الكلي للامتصاص الطنيني. من هنا فإنَّ المقطع العرضي الفعال في تجربة مسباور ينقص بمقدار جداء كسري الارتدادات الحرة المطبقة على عمليتي الامتصاص والإصدار.

Why Is Mossbauer Effect (ME) of Great Significance ?

Abstract

The purpore of this paper is to explain the importance of ME as an experimental method for defining the energy of γ-ray to within one part in 10^{13}. *This makes it most accurately defined electromagnetic radiation avalaible for physical experiments. Moreover, ME reflects the nature & strength of the hyperfine interactions between the nuclus & the surroundings electrons.*

up to the present time, the ME has been observed for nearly 100 nuclear transitions in about 80 nuclides distributed over 43 elemets, Of course,as with many other spectroscopic methods, not all of these transitions are suitable for actual studies, for reasons we shall discuss below. Only about 15- 20 elements remains for applications in physics, Chemistry,Metallurgy and Moon sciences.

المراجع باللغة الأجنبية

1 - Wertheim, G.K.ME. Principl & Applications, Academic Press. New York (1964).

2 - Gonser, U.MS,In topic In Applied physics, Vol 5.Berlin (1985).

3 - Moon,P.B., Proc Physics.Soc. 63, (1950).

4 D.L.Nagy.,Hyper fine Interactions 15|16 (1983) Baltzer Scientific Publishing Company.

5 - F.R.Metzger, Prog Nucl Physics, 7, (1959).

6 - May,L.An Introduction to MS New York Plenum Press (1981).

المراجع باللغة العربية

7 ـ د . جهاد ملحم – لاتجاهات الجديدة في مجال استخدام مفعول مسباور مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية المجلد 8 لعام 1986.

8 ـ د . جهاد ملحم –استخدام مفعول مسباور في دراسة الآثار اللاحقة للحوادث النووية. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – في المجلد 14 لعام 1992.