

Neutron Skin Surrounds the Heavy Nuclei and Fission Mechanism

Dr. Mufid Abbas*
Dr. Mohey- Aldin Nizam**
Abdulla Taleb***

(Received 1 / 8 / 2021. Accepted 9 / 11 / 2021)

□ ABSTRACT □

The nucleus, during fission, whether induced or spontaneous, performs amoebic movement that alternates between elongation and flattening, until a neck is formed in the form of congestion near the middle during the elongation period. Followed by a relatively high probability of separating the two nuclei formed on both sides of the neck from each other, and this is accompanied by the emission of two or three neutrons, which are actually the neutrons in the neck, this accident called nuclear fission.

Induced fission can affect any nucleus, but with probability close to zero, except for the nucleus of the natural isotope ${}_{92}^{235}\text{U}$, and the nuclei of a few transuranic isotopes, the most important of them is that have the compound excitation energy, that resulting from the absorption of thermal neutron is greater than 6MeV by and have mass number $A > 200$. Heavy and medium nuclei are consisting of a core containing neutrons and protons, the neutrons within this core reduce electrical repulsion between the protons within it. The outer layer of the nucleus is a skin containing only neutrons, the job of this neutron skin affects on that protons to confine them within the nucleus and prevent them from releasing because of the Coulomb repulsion, that subjected to it, which is greater than its binding energy when it is located on the surface of the core. The neutron skin surrounding the fissile nucleus must be of sufficient degree of cohesion to not be interrupted by amoebic movements that precede fission, and also flexible enough to allow these movements, and what determines these two things is the thickness and density of this skin, and thus the mean binding energy for its neutrons. In this research, an attempt is made to determine the density of the neutron skin surrounding the fissile nuclei, and then depend on that, determine the relation between the parameters of this skin of thickness with each of A and Z for the fissile nuclei. There are reference methods to determine the thickness of the neutron skin surrounding the nucleus, also the density within it, it will be determined in this work by calculating the length of the neck formed between the two nuclei that result from fission just before fission occurs in a method that was found in this work.

Key Words :Nucleus– Nucleon – Neutron Skin

*Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria
mufidmohamadmonirabbas@tishreen.edu.sy

**Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria
moheyaldinhamednizam@tishreen.edu.sy

***Postgraduate Student, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria, abdullahmohammedtaleb@tishreen.edu.sy

الغلاف النيوتروني المحيط بالنوى الثقيلة وآلية الانشطار

د. مفيد عباس*

د. محي الدين نظام**

عبدالله طالب***

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2021. قُبِلَ للنشر في 9 / 11 / 2021)

□ ملخص □

تقوم النواة أثناء الانشطار سواءً كان محرض أم تلقائي بحركات أميبية تتناوب ما بين الاستطالة والتقلص إلى أن يتشكل عنق على شكل اختناق قرب الوسط أثناء إحدى نوبات الاستطالة ليتبع ذلك باحتمال كبير نسبياً انفصال النواتين المتشكلتين على جانبي العنق إحداهما عن الأخرى ويترافق ذلك مع إصدار نيوترونين أو ثلاثة، هي في الواقع النيوترونات الموجودة في العنق، تسمى هذه الحادثة بالانشطار النووي. يمكن للانشطار المحرض أن يطال أية نواة ولكن باحتمال قريب من الصفر ماعدا نواة النظير الطبيعي $^{235}_{92}U$ ونوى عدد قليل من النظائر الصناعية لعناصر فوق اليورانيوم. يتطلب الانشطار المحرض أن تحقق النواة شروط معينة، أهمها أن تكون طاقة تهيجها، الناتجة عن امتصاصها لنيوترون حراري، أكبر من $6MeV$ وأن يكون عددها الكتلي $A > 200$. تتألف النوى الثقيلة والمتوسطة من لب يحوي نيوترونات وبروتونات تعمل النيوترونات ضمن هذا اللب على تخفيف التدافع الكهربائي بين البروتونات الموجودة ضمنه، أما الطبقة الخارجية من النواة فهي عبارة عن غلاف يحوي نيوترونات فقط، يعمل هذا الغلاف على حصر البروتونات ضمن النواة ومنعها من التحرر بفعل الدفع الكولوني الذي تخضع له، والذي يفوق طاقة ارتباطها عندما تقع على سطح اللب، يجب أن يكون الغلاف النيوتروني المحيط بالنوى الانشطارية على درجة كافية من التماسك كي لا ينقطع بفعل الحركات الأميبية التي تسبق الانشطار وأن يكون أيضاً على درجة كافية من المرونة ليسمح بهذه الحركات، وما يحدد هذين الأمرين هو سماكة هذا الغلاف وكثافته وبالتالي طاقة الارتباط الوسطى لكل من نيوتروناته. تمت في هذا البحث محاولة لتحديد كثافة الغلاف النيوتروني المحيط بالنوى الانشطارية ومن ثم انطلاقاً من ذلك تحديد العلاقة بين متحولات هذا الغلاف من سماكة وكثافة بكل من Z و A للنوى الانشطارية. توجد طرق مرجعية لتحديد سماكة الغلاف النيوتروني المحيط بالنواة أما الكثافة ضمنه فسيتم تحديدها في هذا العمل عن طريق حساب طول العنق المتشكل من بين النواتين اللتين تنتجان عن الانشطار، قبل حصول الانشطار مباشرة، بطريقة تم إيجادها في هذا العمل.

الكلمات المفتاحية: نواة-نوكلينون- طبقة نيوترونية

* أستاذ - قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية mufidmohamadmonirabbas@tishreen.edu.sy

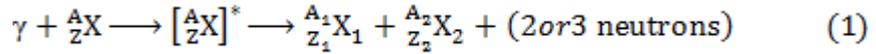
**أستاذ - قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية moheyalدينhamednizam@tishreen.edu.sy

***طالب دكتوراه- قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية abdullahmohammedtaleb@tishreen.edu.sy

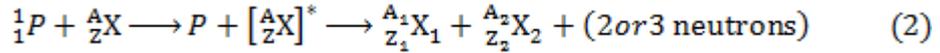
مقدمة:

يقسم الانشطار إلى نوعين محرض (Induced Fission) ورمزه (IF) وتلقائي (Spontaneous Fission) ورمزه (SF). يؤدي الانشطار بنوعيه إلى زيادة طاقة الارتباط الوسطى للنوكليون ، وذلك على اعتبار أن شظيتي الانشطار (النواتين المتوسطتين اللتين تنتجان عن الانشطار تكون فيهما طاقة الارتباط الوسطى للنوكليون أعلى من نظيرتها في النواة الثقيلة التي حصل فيها الانشطار) [1]. تحصل الانشطارات التلقائية لنوى ثقيلة تلقائياً (دون محرض خارجي) ، بالمقابل تحتاج الانشطارات المحرزة لمحرض خارجي وتتم هذه الأخيرة باحتمال (مقطع عرضي فعال σ) أكبر بكثير من الأول [2]. وتتم عملية الانشطار المحرض بإحدى الطرق الآتية [3] :

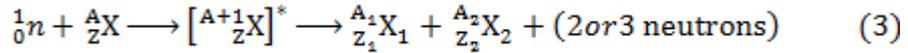
- الانشطار المحرض بالفوتونات (Induced Photo Fission) : يحصل عند تسليط حزمة من أشعة γ (فوتونات طاقة ذات طول موجي قصير) على نواة قابلة للانشطار، يحصل الانشطار عندها وفق المعادلة التالية :



- الانشطار المحرض بالبروتونات (Proton Induced fission) : ويحصل عندما يصدم بروتون طاقته عالية إحدى النوى القابلة للانشطار فيؤدي إلى تهيجها دون أن تمتصه ويمكن تلخيص ذلك بالمعادلة :



- الانشطار المحرض بالنيوترونات (Neutron Induced Fission) يحصل عندما تمتص النواة القابلة للانشطار نيوترون ذو طاقة مناسبة ويؤدي ذلك إلى تشكل النواة المركبة (المهيجة) $\left[\frac{A+1}{Z}X\right]^*$ ومن ثم انشطارها وفق المعادلة :



يعتبر الانشطار المحرض بالنيوترون الحراري فعال بشكل خاص للأسباب التالية :
أولاً - القدرة العالية بصورة عامة للنيوترونات على النفوذية .

ثانياً - المقطع العرضي الفعال σ للانشطار المحرض بالنيوترونات الحرارية للنوى الانشطارية عالٍ حيث تتراوح قيمته من $100ba$ حتى $1000ba$ [2]

ثالثاً - لا توجد حاجة لمنابع للنيوترونات في المفاعلات النووية بعد أن تبدأ عملها ، لأنها تتولد تلقائياً من عمليات الانشطار ويوفر ذلك سلسلة انشطارات مستمرة تلقائياً .

أهمية البحث وأهدافه

تتأتى أهمية هذا البحث من كونه يعالج مراحل الانشطار وشروطه بشكل مفصل ، ويربط ذلك بمتحولات النوى الانشطارية وخاصة كثافة و سماكة الطبقة النيوترونية المحيطة بها .

طرائق البحث ومواده

تم في هذا البحث استخدام بيانات من المراجع الورقية والإلكترونية ومعالجة هذه البيانات بطرائق رياضية و بيانية وباستخدام تقنيات الحاسوب (برنامج Excel) في المعالجة والحساب الرياضي وكذلك في الرسم البياني، وفي استنتاج العلاقات الرياضية ، التي تربط المتحولات المختلفة في مختلف مراحل الانشطار .

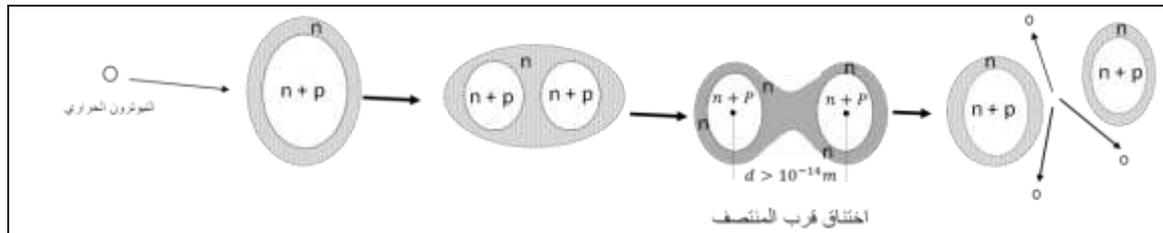
آلية الانشطار النووي

يسبق كل من الانشطارين المحرض والتلقائي حركات اضطرابية تتراوح بين التقلطح والاستطالة ثم الاختناق قرب الوسط ، ثم انفصال النواة الثقيلة إلى نواتين متوسطتين مع إصدار عدد من النيوترونات [4]. تتركز معظم الدراسات حول الانشطار، على الانشطار المحرض بالنيوترون الحراري كونه يتم باحتمال أكبر بكثير من الانشطارات المحرزة بطرق أخرى وكذلك من الانشطارات التلقائية [5].

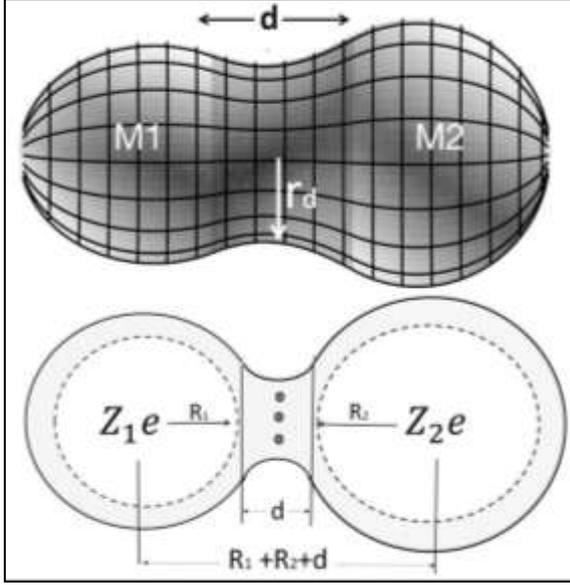
يوجد عدد كبير من النوى الطبيعية والصناعية الثقيلة القابلة للانشطار التلقائي ، لكن بمقطع عرضي صغير جداً كما ذكر سابقاً ، وبالمقابل يوجد عدد قليل من النوى القابلة للانشطار المحرض بالنيوترون الحراري البطيء الذي طاقته من مرتبة $10^{-2} eV$ ، إن نواة النظير $^{235}_{92}U$ وهي النواة الوحيدة المتواجدة طبيعياً والقابلة للانشطار باحتمال كبير نسبياً، حيث تتحول في البداية إلى نواة مركبة مهيجة $^{236}_{92}U^*$ ، وتبلغ طاقة تهيج هذه النواة المركبة حوالي $6.5465 MeV$ وهذه القيمة أعلى من حاجز الانشطار البالغ $6 MeV$. إن طاقة التهيج هذه تعمل على إزاحة هذه النواة عن شكلها الكروي قليلاً بحيث تأخذ شكل بيضوي اهليلجي يعطى نصف القطر الكبير R له بالعلاقة [6] التالية :

$$R = 1.8 \times A^{\frac{1}{3}} [fm] \quad (4)$$

فيصبح نصف القطر الكبير للنواة $^{236}_{92}U^*$ بحسب العلاقة (4) بالتالي $R \approx 0.1 [fm]$ ويتوافق ذلك مع انفصال البروتونات إلى مجموعتين المسافة بين مركزيهما من مرتبة $10^{-14} m$ وتكون القوى المسيطرة في هذه الحالة بالتالي هي قوى التدافع الكهربائي الساكن (الكولوني) ، وباعتبار أن الغلاف النيوتروني المحيط بالنواة كان على درجة كافية من التماسك والمرونة ، فإن قوى التدافع الكولوني هذه لن تؤدي إلى تقطع الغلاف النيوتروني مباشرةً وتتفكك النواة عن طريق إصدار جسيمات أو فوتونات ، وإنما تقوم النواة بفعل قوى التدافع الكهربائي هذه ، بدل من ذلك بحركات أميبية متناوبة (استطالة ونقلص) إلى أن يتشكل اختناق (عنق) قريب من المنتصف في إحدى نوبات الاستطالة ، وينفصل الجزيئين المتشككين على جانبي الاختناق أحدهما عن الآخر ويتوافق ذلك مع إصدار النيوترونات المتواجدة في الاختناق وعددها اثنان أو ثلاثة ، ويظهر لنا الشكل(1) تخطيطياً هذه المراحل ، والتي يتم كل منها في زمن معين وباحتمال محدد [7].



الشكل (1): المراحل التي تسبق الانشطار تخطيطياً [7]



النتائج والمناقشة

لا توجد قوى تسبب الحركات الأميبية ثم الاختناق وفي النهاية الانشطار للنواة الانشطارية إلا قوى التدافع الكهربائي بين كرتي البروتونات المتجمعتين على جانبي الاختناق وتكون المسافة بين مركزي الشحنتين بحسب الشكل (2) [8] مساوية لـ $(R_1 + R_2 + d)$ ، حيث R_1 و R_2 نصف قطري شظيتي الانشطار ، و d يرمز إلى طول العنق المتشكل بين شظيتي الانشطار ، و r_d يرمز إلى نصف قطر هذا العنق وتعطى طاقة E_c التدافع الكهربائي بين شظيتي الانشطار بالتالي بالعلاقة :

الشكل (2): شكل تخطيطي يوضح المرحلة التي تسبق الانشطار [8]

$$E_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{(Z_1 \cdot Z_2) e^2}{R_1 + R_2 + d} \right) \quad (5)$$

وعليه تتوزع طاقة التدافع الكهربائي E_c إلى طاقة الانشطار E ، وطاقة تحطيم الروابط التي تشكلها النيوترونات الموجودة في العنق وعددها اثنين أو ثلاثة ويمكن بناءً على ما سبق بالتالي كتابة العلاقة :

$$E_c = E + (2or3) \overline{BE}_n \quad (6)$$

حيث \overline{BE}_n طاقة الارتباط الوسطى للنيوترون في نواة النظير $[^{236}_{92}U]^*$ (لأن النواة قبل الانشطار مباشرة تكون ما تزال في نطاق نواة النظير $[^{236}_{92}U]^*$) وتعطى بالعلاقة التالية [9] :

$$\overline{BE}_n = \frac{BE + Z\overline{E}_c}{N + Z} \quad (7)$$

حيث BE هي طاقة الارتباط الكلية والتي يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية [7]:

$$BE = [Z(m_p + m_e) + Nm_n - M] 931.49 \text{ (MeV)} \quad (8)$$

حيث m_p ، m_e ، m_n ، M هي ، على الترتيب : كتلة النيوترون ، كتلة الإلكترون ، كتلة البروتون ، كتلة النواة وتكون جميعها بوحدة الكتل الذرية .

وأما \overline{E}_c فهي القيمة الوسطى لطاقة الدفع الكولوني التي يخضع لها البروتون ضمن النواة وتعطى بالعلاقة [9] :

$$\overline{E}_c = \frac{1}{A} \cdot \frac{3Q^2}{20\pi\epsilon_0 R} \quad (9)$$

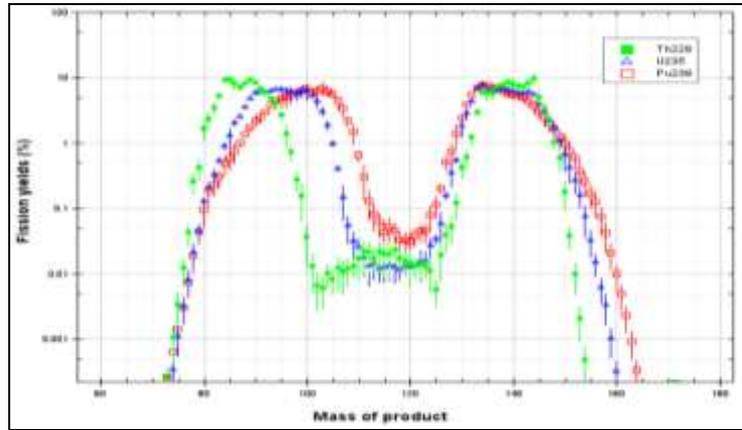
حيث : $Q = Ze$ شحنة النواة ، A عددها الكتلي ، R نصف قطرها.

يمكن حساب طاقة الانشطار باستخدام العلاقة التالية [10]:

$$E = [m_n + M(\frac{A}{Z}X) - M(\frac{A_1}{Z_1}X_1) - M(\frac{A_2}{Z_2}X_2) - (2or3)m_n] 931.49 \text{ (MeV)} \quad (10)$$

حيث $M(\frac{A}{Z}X)$ ، $M(\frac{A_1}{Z_1}X_1)$ ، $M(\frac{A_2}{Z_2}X_2)$ هي ، على الترتيب : كتلة النواة الانشطارية ، كتلة شظية الانشطار الأولى ، كتلة شظية الانشطار الثانية .

لا ينتج عن الانشطار المحرض لنواة انشطارية دوماً نفس شظيتي الانشطار ، فعلى سبيل المثال يمثل الشكل (3) [11] منحنيات الأعداد الكتلية لنواتج انشطار كل من نوى $^{239}_{94}Pu$ ، $^{235}_{92}U$ ، $^{229}_{90}Th$ بواسطة النيوترون الحراري



الشكل (3): منحنى الاحتمال بتابعة العدد الكتلي [11]

وبحسب الشكل (3) يمكن أن ينتج عن انشطار أي من هذه النظائر الثلاث أي زوج من النوى الطبيعية أو الصناعية شريطة أن يكون مجموع عدديهما الذريين مساوٍ للعدد الذري للنواة الانشطارية ومجموع عدديهما الكتليين مساوٍ للعدد الكتلي للنواة الانشطارية مطروحاً منه واحد أو اثنان وأن تكون قيمة العدد الكتلي لكل منهما متراوحاً بين 76 وحوالي 160 . تظهر النسب المئوية لتواجد شظايا الانشطار الناتجة عن الانشطار المحرض بنيوترون حراري للنوى القابلة للانشطار منحنيات بيانية مماثلة لتلك الموضحة في الشكل (3) مع انزياحات بسيطة ، لذلك سيتم فيما يلي القيام بحسابات على نظير انشطاري واحد هو النظير $^{235}_{92}U$. والذي له عدد كبير جداً من معادلات الانشطار حيث يمكن كتابة مجموعتين من المعادلات لكل زوج من شظايا الانشطار المترافقة (التي تحقق الشروط المذكورة أعلاه) وتتضمن كل من هاتين المجموعتين العشرات من معادلات الانشطار ، فعلى سبيل المثال عندما يكون النظيرين الناتجين عن الانشطار هما ثنائيات للعنصرين $^{35}_{57}Br$ ، $^{146}_{57}La$ فإنه يمكن كتابة مجموعة أولى من المعادلات تتضمن $2n$ ومجموعة ثانية تتضمن $3n$ ولقد أدرج في الجدول (1) أمثلة على هاتين المجموعتين لهذه الثنائية مع الإشارة إلى أنه يمكن كتابة عدد أكبر بكثير من المعادلات على هاتين المجموعتين ، كما يمكن كتابة عدد كبير جداً من المعادلات على ثنائيات أخرى ولكن سيكتفى بما ورد في الجدول (1) كنماذج للحسابات في هذا المجال .

الجدول (1) : يتضمن شظيتي الانشطار نظيرين للعنصرين $^{35}_{57}Br$ ، $^{146}_{57}La$

مجموعة أولى مع إصدار نوترونين ($2\frac{1}{0}n$)	مجموعة ثانية مع إصدار ثلاث نوترونات ($3\frac{1}{0}n$)
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{87}_{35}Br + ^{147}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{87}_{35}Br + ^{146}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{88}_{35}Br + ^{146}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{88}_{35}Br + ^{145}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{89}_{35}Br + ^{145}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{89}_{35}Br + ^{144}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{90}_{35}Br + ^{144}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{90}_{35}Br + ^{143}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{91}_{35}Br + ^{143}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{91}_{35}Br + ^{142}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{92}_{35}Br + ^{142}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{92}_{35}Br + ^{141}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$
$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{93}_{35}Br + ^{141}_{57}La + 2(\frac{1}{0}n)$	$\frac{1}{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow [^{236}_{92}U]^* \rightarrow ^{93}_{35}Br + ^{140}_{57}La + 3(\frac{1}{0}n)$

أمكنا في هذا العمل حساب d (طول العنق بين شظيتي الانشطار) الموضح في الشكل (2) باستخدام العلاقة (5) وذلك بعد حساب E_c من العلاقة (6) ويتم حساب E (طاقة الانشطار) في العلاقة (6) من العلاقة (10) أما \overline{BE}_n فتحسب من العلاقة (7) أما R_1 و R_2 اللذين هما نصفي قطري شظيتي الانشطار فيتم حسابهما من العلاقة التالية [6]:

$$R = 1.2 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

يعطى نصف قطر العنق r_d بالعلاقة التالية [12]:

$$r_d = \left(\frac{2\lambda R^2 Z_1 Z_2 e^2}{a_s (1 - KI^2) r^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

حيث : a_s ثابت الطاقة السطحية ، $I = \frac{N-Z}{A}$ معامل اللاتناظر ، K ثابت عدم التناظر الهندسي ، R نصف قطر النواة الانشطارية ، r البعد بين مركزي النواتين المتوسطتين باعتبارهما شحنتين نقطيتين ، λ طول موجة كومبتون (إن المدى الفعال لتأثير قوة يوكاوا بين النوكليونات هو في نطاق طول موجة كومبتون) . أي أن نصف قطر العنق لا يتعلق بعدد النيوترونات التي ستصدر عن الانشطار لاحقاً. سنأخذ في دراستنا هذه بالقيمة المرجعية التقريبية لنصف قطر العنق $(r_d = 2 fm)$ [12]. ويمكن بالتالي باستخدام حساب V (حجم العنق) على أساس أنه أسطوانة تقريباً ، ومنه حساب ρ كثافة النيوترونات في العنق بالتالي :

$$\rho = \frac{2 \text{ or } 3}{V} = \frac{2 \text{ or } 3}{\pi r_d^2 d} \quad (13)$$

تم إدراج قيم d (البعد بين شظيتي الانشطار) التي تم احتسابها بالطريقة السابقة في الجدول (2) الذي يتضمن بالإضافة إلى ذلك شظيتي الانشطار ، بالإضافة للفرق ΔN بين شظيتي الانشطار وطاقة الانشطار E المحسوبة من العلاقة (10) ويتضمن كذلك ρ كثافة النيوترونات في العنق .

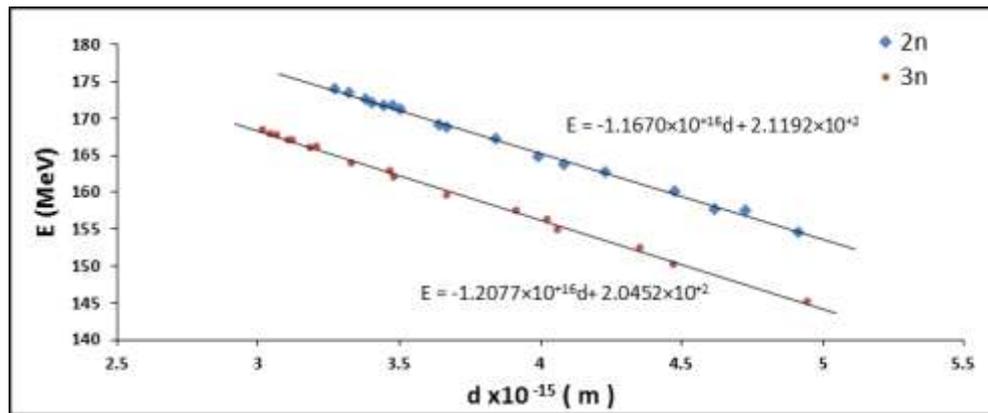
الجدول (2) : يتضمن قيم $E, d, \rho, \Delta N$ وذلك من أجل نيوترونين وثلاثة نيوترونات

$(2\frac{1}{2}n)$ شظيتي الانشطار	$d \times 10^{-15} m$	$E \text{ MeV}$	$\rho \times 10^{43} n/m^3$	$\Delta N (n)$
${}_{35}^{81}Br + {}_{57}^{153}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.7255	157.4246	3.3680	50
${}_{35}^{82}Br + {}_{57}^{152}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.4782	160.0466	3.5540	48
${}_{35}^{83}Br + {}_{57}^{151}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.2305	162.7556	3.7621	46
${}_{35}^{84}Br + {}_{57}^{150}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.8408	167.2396	4.1438	44
${}_{35}^{85}Br + {}_{57}^{149}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.4773	171.6246	4.5770	42
${}_{35}^{86}Br + {}_{57}^{148}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.5054	171.1926	4.5402	40
${}_{35}^{87}Br + {}_{57}^{147}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.3233	173.4206	4.7891	38
${}_{35}^{88}Br + {}_{57}^{146}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.3806	172.6146	4.7079	36
${}_{35}^{89}Br + {}_{57}^{145}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.2702	173.9536	4.8668	34
${}_{35}^{90}Br + {}_{57}^{144}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.4434	171.6896	4.6221	32
${}_{35}^{91}Br + {}_{57}^{143}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.4026	172.1276	4.6774	30
${}_{35}^{92}Br + {}_{57}^{142}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.6407	169.1036	4.3716	28
${}_{35}^{93}Br + {}_{57}^{141}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.6702	168.6836	4.3364	26
${}_{35}^{94}Br + {}_{57}^{140}La + 2(\frac{1}{2}n)$	3.9939	164.7666	3.9850	24
${}_{35}^{95}Br + {}_{57}^{139}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.0832	163.6776	3.8978	22
${}_{35}^{96}Br + {}_{57}^{138}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.6171	157.6706	3.4471	20
${}_{35}^{97}Br + {}_{57}^{137}La + 2(\frac{1}{2}n)$	4.9161	154.4596	3.2374	18

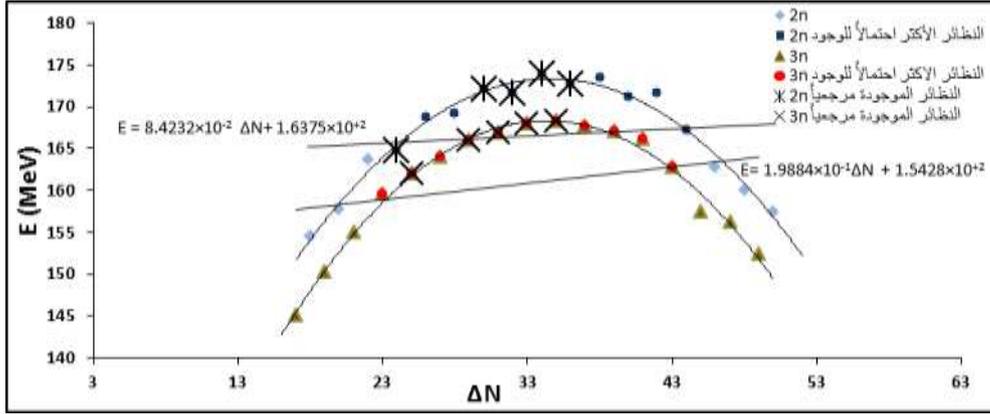
$3\left(\frac{1}{2}n\right) + \text{شظيئي الانشطار}$				
${}_{35}^{81}\text{Br} + {}_{57}^{152}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	4.3545	152.4533	5.4824	49
${}_{35}^{82}\text{Br} + {}_{57}^{151}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	4.0244	156.1753	5.9322	47
${}_{35}^{83}\text{Br} + {}_{57}^{150}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.9153	157.3843	6.0975	45
${}_{35}^{84}\text{Br} + {}_{57}^{149}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.4695	162.7683	6.8808	43
${}_{35}^{85}\text{Br} + {}_{57}^{148}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.2064	166.0633	7.4455	41
${}_{35}^{86}\text{Br} + {}_{57}^{147}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.1219	167.0903	7.6470	39
${}_{35}^{87}\text{Br} + {}_{57}^{146}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.0684	167.7193	7.7804	37
${}_{35}^{88}\text{Br} + {}_{57}^{145}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.0172	168.3233	7.9124	35
${}_{35}^{89}\text{Br} + {}_{57}^{144}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.0447	167.8823	7.8410	33
${}_{35}^{90}\text{Br} + {}_{57}^{143}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.1097	166.9493	7.6770	31
${}_{35}^{91}\text{Br} + {}_{57}^{142}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.1840	165.9073	7.4979	29
${}_{35}^{92}\text{Br} + {}_{57}^{141}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.3311	163.9443	7.1668	27
${}_{35}^{93}\text{Br} + {}_{57}^{140}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.4804	161.9953	6.8593	25
${}_{35}^{94}\text{Br} + {}_{57}^{139}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	3.6692	159.6063	6.5065	23
${}_{35}^{95}\text{Br} + {}_{57}^{138}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	4.0604	154.8993	5.8795	21
${}_{35}^{96}\text{Br} + {}_{57}^{137}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	4.4732	150.1883	5.3370	19
${}_{35}^{97}\text{Br} + {}_{57}^{136}\text{La} + 3\left(\frac{1}{2}n\right)$	4.9462	145.0883	4.8266	17

يظهر الجدول (2) أن قيم الكثافة ρ في منطقة العنق المتشكل قبل الانشطار مباشرة قريبة من بعضها وهي من نفس مرتبة القيمة المرجعية [13] $\rho = 3.4591 \times 10^{+43}$ لكثافة النيوترونات الموجودة في الغلاف النيوتروني المحيط بالنواة ${}_{92}^{236}\text{U}$.

بعد حساب القيم السابقة والموضحة في الجدول (2) و باستخدام برنامج (Excel) قمنا بتمثيل E بيانياً بتابعية كل من d و ΔN لكل من مجموعتي كل ثنائية وكما يظهر الشكل (4) ترتبط E مع d تقريباً بعلاقة خطية متناقصة، ونلاحظ بالمقابل أن قيم E تزداد في البدء مع تزايد ΔN ثم تتناقص بشكل يمثل منحني غوصي كما يظهر في الشكل (5).



الشكل (4) : قيم E بتابعية d لشظيئي الانشطار ${}_{35}\text{Br}, {}_{57}\text{La}$

الشكل (5) : قيم E بتابعية ΔN لشظيتي الانشطار ${}^{35}\text{Br}$, ${}^{57}\text{La}$

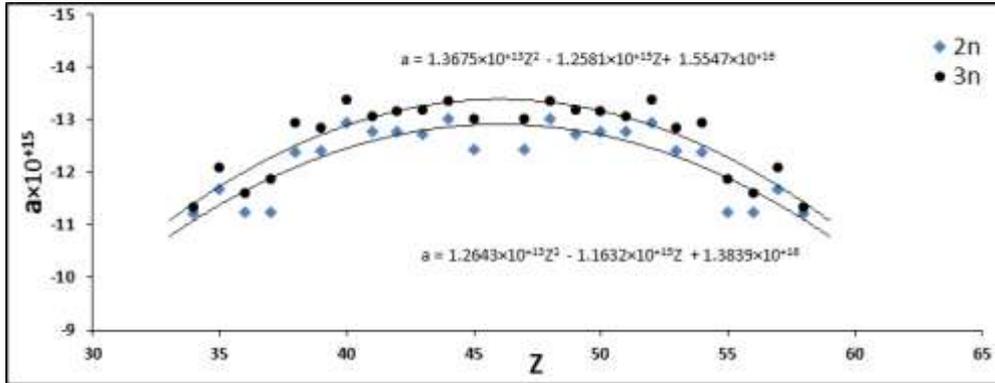
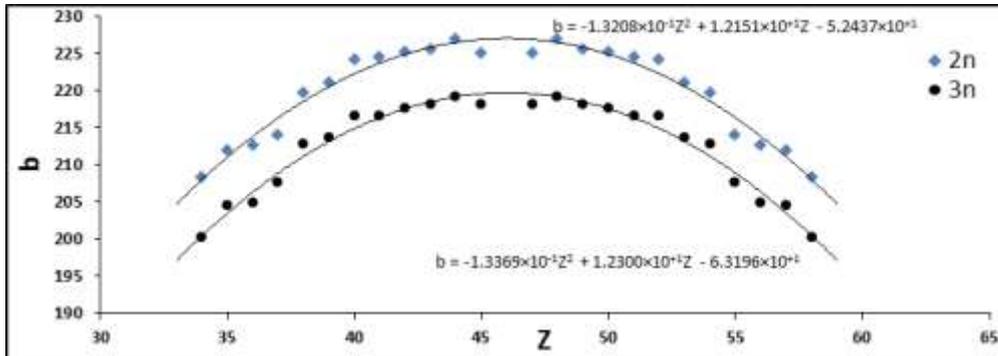
من الشكل (4) نجد أن E ترتبط مع d من أجل كل ثنائية بعلاقة خطية من الشكل :

$$E = ad + b \quad (14)$$

حيث أن a و b ثابتان يرتبطان بالعدد الذري Z ويختلفان في حال $2n$ عنهما في حال $3n$.

تم إجراء نفس الحسابات والتمثيل البياني السابق وحساب قيم الثوابت a و b لجميع نواتج الانشطار المحرض لـ ${}^{235}_{92}\text{U}$ وتمثيلها بتابعية العدد الذري Z ($34 \leq Z \leq 58$) من أجل $2n$ ثم من أجل $3n$ فحصلنا على الشكلين

(6) و (7) :

الشكل (6) : قيم الثابت a بتابعية العدد الذري Z الشكل (7) : قيم الثابت b بتابعية العدد الذري Z

ويتبدل قيم كل من a و b في العلاقة (13) أمكن الوصول إلى العلاقات العامة التي تعطي قيم الطاقة بتابعة Z التي تتغير قيمتها من 34 إلى 58 حيث تعطي من أجل الانشطارات التي يتم فيها إصدار نيوترونين ($2n$) بالعلاقة التالية :

$$E = [1.2643 \times 10^{+13} Z^2 - 1.1632 \times 10^{+15} Z + 1.3839 \times 10^{+16}]d - 0.1321Z^2 + 12.151Z - 52.437 \quad (15)$$

و من أجل الانشطارات التي يتم فيها إصدار ثلاثة نيوترونات ($3n$) بالعلاقة :

$$E = [1.3675 \times 10^{+13} Z^2 - 1.2581 \times 10^{+15} Z + 15.547 \times 10^{+16}]d - 0.1337Z^2 + 12.300Z - 63.196 \quad (16)$$

ويظهر الجدول (3) مقارنة لقيمة الطاقة E المحسوبة من العلاقة (10) و القيمة المحسوبة من العلاقتين (15) و (16) من أجل $2n$ و $3n$ على الترتيب مع القيم المرجعية [14]:

الجدول (3) : يتضمن مقارنة لقيم E المحسوبة من العلاقات (10)، (15)، (16) مع القيمة المرجعية [14].

نواتج الانشطارات	قيمة E من (10)	قيمة E من (15) و (16)		قيمة E المرجعية
		$Z = 36$	$Z = 56$	
${}^{144}_{56}Ba + {}^{89}_{36}Kr + 3({}^1_0n)$	173.02 (MeV)	172.5037(MeV)	172.5141 (MeV)	177 (MeV)

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات :

1- تم في هذا العمل إيجاد طريقة لحساب طول العنق المتشكل بين شظيتي الانشطار قبل الانشطار مباشرة وتم كذلك إيجاد طريقة لحساب كثافة النيوترونات الموجودة في هذا العنق ، وقد وجد أن هذه الكثافة من نفس مرتبة القيمة المرجعية في الغلاف النيوتروني المحيط بالنواة المركبة (${}^{236}_{92}U^*$) المتشكلة قبل الانشطار مباشرة ، وهذا يدل على أن العنق ما يزال جزء من الغلاف النيوتروني المحيط بالنواة المركبة للنظير (${}^{236}_{92}U^*$) ، وكما يوضح الجدول (2) فإن الاختلاف بين قيمتي الكثافة هاتين ناتج عن التحول في شكل النواة من كروي إلى أهليلجي ثم تشكل كرتي بروتونات على جانبي العنق ، ويكون العدد الذري Z لكل منهما أقل منه للنواة المركبة فتتناقص سماكة هذا الغلاف النيوتروني الذي يتعلق بـ Z كما تظهر القيم المرجعية . (فمن أجل ${}^{90}_{40}Zr$ تكون قيمتها [15] $\Delta R = 0.07 \pm 0.04 fm$ ، ومن أجل ${}^{208}_{82}Pb$ هي [16] $\Delta R = 0.283 \pm 0.071 fm$) ، مما يؤدي لزيادة الكثافة .

2- تتواجد النيوترونات التي تتحرر مترافقة مع الانشطار المحرض ، قبل الانشطار مباشرة في العنق (الاحتراق) المتشكل بين شظيتي الانشطار ، ويكون عدد الروابط التي تربط هاتين الشظيتين (النواتين اللتين ستنتجان عن الانشطار) مساوٍ لعدد النيوترونات التي ستتحرك مترافقة مع الانشطار وتكون كل من هذه الروابط مساوية تقريباً لطاقة الارتباط الوسطى للنيوترون في النواة المركبة $[{}^{236}_{92}U^*]$ المتشكلة عن امتصاص ${}^{235}_{92}U$ لـ n_{th} .

3- ترتبط طاقة الانشطار E مع طول العنق d بثبات نصف قطره r_d بعلاقة خطية متناقصة ، حيث أن هذه الزيادة في طول العنق d تؤدي إلى إنقاص قوى التدافع الكولوني بين شظيتي الانشطار كما توضح العلاقة (5) وبالتالي سوف تتناقص طاقة الانشطار بحسب العلاقة (6) ويتوافق ذلك مع تناقص قيمة الكثافة ρ التي تتناسب عكساً مع طول العنق d وفق العلاقة (13) ، وترتبط E بالتالي مع الكثافة في العنق بعلاقة متزايدة حيث تكون قيمة

الكثافة أعلى مع زيادة الطاقة لتحافظ على تماسك الغلاف النيوتروني خلال عملية الانشطار وتزداد أيضاً قيمة الكثافة مع زيادة عدد النيوترونات المصدرة خلال الانشطار المحرض .

4- ترتبط طاقة الانشطار ضمن كل مجموعة انشطارية لـ $^{235}_{92}\text{U}$ بالفرق ΔN بين عدد النيوترونات لشظيئي الانشطار وتكون القيمة العظمى لطاقة الانشطار أكبر عندما عدد النيوترونات الناتجة $2n$ منها عندما عدد النيوترونات الناتجة $3n$ ، وتزايد طاقة الانشطار مع زيادة ΔN حتى تصل قيمتها العظمى من أجل قيمة محددة لـ ΔN لتتناقص بعدها بحيث تشكل العلاقة بينهما منحنى غوسي .

التوصيات :

نوصي بمتابعة هذا العمل من أجل نوى أخرى قابلة للانشطار المحرض للوصول إلى علاقات عامة تربط متحولات الانشطار (طول العنق وطاقة الانشطار) بمتحولات النواة الانشطارية (عددها الذري). ونوصي أيضاً بتطبيق نفس الدراسة على النوى القابلة للانشطار التلقائي.

Reference

- [1]-RAYMOND,A.S.*Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*.1st .ed., Sounders College Publishing ,1996, 1355.
- [2]- WILSONA,J.N; LEBOISA,M; HALIPRÉA,P; OBERSTEDTB.S. *Prompt Emission in Fission Induced with Fast Neutrons*. Physics Procedia 64 , 2015, 107 – 113.
- [3]- COOK, N.D. *Models of The Atomic Nucleus*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg .2nd .ed, 2010.141-174.
- [4]- HADIGSON,P.E;GADIOLI ,E. *Introductory Nuclear Physics*.1st .ed., OXFORD science publication New York ,1997 .14-16.
- [5]- GABRO,D;Al-ADILI,A.*Virtual Studies of Nuclear Fission*.Upssala University , 2017,29.
- [6]- TIPLER , P. A; LLEWELLYN,R. A. *Modren Physics* . fifth .ed.,W. H. Freeman and Company . NewYork,2008,758.
- [7]- KRANE,K.S. *Introductory Nuclear Physics*. 2nd .ed, Oregon State University,1988.431
- [8]- MOLLER,P; MADLAND, D. G; SIERK, A. J; IWAMOTO,A .*Nuclear Fission Modes and Fragment Mass Asymmetries in a Five-dimensional Deformation Space*. Macmillan Magazines Ltd. VOL (409) . 2001,785-790.
- [9]-ABBAS,M;AHMAD,M;ALSAYEEL,A . *Kinetic equation of Nucleons as Fermi liquid Within Nucleus* .Tishreen University .Syria.2015,8.
- [10]-JLACOVE,K . *Atomic Energy*.1st. ed.VERLAG MIR MOSKAU,1974,220.
- [11]- WAHL,A.C. *At Data and Nucl Data Tables*.1988 . 156.
- [12]-DAVIES.k.T ; MANAGAN.R.A ; NIX,J.R; SIERK,A.J. *Rupture of the Neck in Nuclear Fission*.Phys-Rev.C.16.1890,1977,438-442.
- [13]-ABBAS,M;NIZAM,M;TALEB,A. *Parameters of Neutronic Shell That Enveloped the Nucleus* .Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research - Basic Sciences Series . Vol(42) No(4) 2020,56-73.
- [14]-MULLIGON,J. *Partical Physics : The Production and Conservation of Energy*. Mc Grow-Hill.1980.526.

- [15]- YAKO,K; SAGAWA,H; SAKAI,H. *Neutron Skin Thickness of ^{90}Zr Determined By Charge Exchange Reactions*. PHYSICAL REVIEW C **74**, 051303(R), 2006.1-4.
- [16]- ADHIKARI,D ; ALBATAINEH,H ; ANDROIC,D ; ANIOL,K. *Accurate Determination of the Neutron Skin Thickness of ^{208}Pb through Parity-Violation in Electron Scattering (PREX II)* .arXiv:2102.10767v2 [nucl-ex] , 2021,1-7.