معادلة تحليلية عامة لتدفق الحزمة النيوترونية العابرة لعينة ذات أبعاد كبيرة

د. عبدالله رستناوي[1]، د. سليمان ديبو[2]، الطالب: علي الدود[3]

الملخص

في هذا البحث، تم أولا استنتاج معادلة تدفق حزمة النيوترونات العابرة بصورة مباشرة من أجل عينة كبيرة.

تم وضع تعريفاً للعينة الكبيرة، وتم إدخال مصطلحاً جديداً هو العينة الكبيرة للغاية، كما تم وضع تعريفاً له. وبناء على ذلك، وضعنا نظرية وطريقة تجريبية جديدتين لتعيين المقطع العرضي لأسر النيوترون، إن هذه الطريقة يتوقع أن تعطي نتائج أدق لأنها تأخذ بعين الاعتبار تدفق حزمة النيوترونات التي تخرج من كافة جوانب العينة، إضافة لتدفق حزمة النيوترونات التي تخرج بصورة مباشرة من العينة، خلافاً للطريقة المتبعة التي تأخذ بعين الاعتبار فقط تدفق حزمة النيوترونات التي تخرج بصورة مباشرة. كما تم إيجاد العلاقة التحليلية بين المقطع العرضي للأسر (الامتصاص) والمقطع العرضي للتشتت، وإيجاد المعادلة العامة لتدفق الحزمة النيوترونية العابرة لعينة ذات أبعاد كبيرة.

كلمات مفتاحية:

المقطع العرضي للتشتت، العينات الكبيرة، تدفق حزمة نيوترونية.

[1] قسم الفيزياء بكلية العلوم– جامعة البعث.

[2] قسم الفيزياء بكلية العلوم– جامعة البعث.

[3] طالب دكتوراه في الفيزياء النظرية في قسم الفيزياء.

A General Analytical Equation of the Neutron Beam Flux Transit a Large Size Sample

Dr. Abdullah Rastanawi[4]

Dr. Soleiman Dibo[5]

Student : Ali Al-Doud[6]

Abstract

In this paper, we first derive the equation for flux beam transient neutrons directly for a large sample.

We set a definition for the large sample, and we introduced a new term which is the very large sample, and we also put a definition for it. Accordingly, we developed a new theory and experimental method for determining the cross-section of the neutron capture. This method is expected to give more accurate results because it takes into account the flux of the neutron beam that comes out from all sides of the sample, in addition to the flux of the neutron beam that comes out directly from the sample, unlike the method. A method that takes into account only the flux of a beam of neutrons directly outside. We also found the analytical equation between the capture cross-section (absorption) and the scattering cross-section, and found the general equation for neutron beam flux transient through for a sample of large dimensions.

Key words:

scattering cross section, Large Sample, neutron beam flux.

[4] Department of Physics in faculty of science-AL-Baath university.
[5] Department of Physics in faculty of science-AL-Baath university.
[6] PhD Student in Theoretical Physics.

1. مقدمة

إن **العينة الكبيرة** كمصطلح يستخدم في التحليل بالتنشيط النيوتروني Neutron Activation Analysis NAA لن يكون ذا معنى ما لم يوضع له تعريف واضح يمكن من خلاله تحديد أبعاد هذه العينة. لكن مما يؤسف له هو أنه في كافة البحوث المنشورة عن التحليل بالتنشيط النيوتروني للعينات الكبيرة LSNAA Large Sample Activation Analysis Neutron لم نجد أياً من الباحثين كان قد وضع تعريفاً للعينة الكبيرة، ولهذا نعتقد بأن هذا هو السبب في عدم القدرة على استنتاج المعادلة التحليلية العامة قابلة للتطبيق لتدفق حزمة النيوترونات التي تخرج من كافة جوانب العينة.

فمثلاً في بحث لـ دي بروين De Bruin [1] يقول فيه إن التقانة التي تستخدم للتعيين الدقيق لآثار العناصر عن طرق تحليل بالتنشيط النيوتروني لعينات كبيرة LSNAA استخدمنا فيها **حجوم للعينة كانت كتلتها من رتبة الكيلوغرامات.** أما هيندريك ويليم Hendrik Willem [2] فقد أطلق الوصف "عينات كبيرة" على عينات أسطوانية ذات **حجوم $13\ dm^3$ (بطول 100 cm، ونصف قطر 13 cm)**، ثم علق قائلاً إن مفعول اللاتجانس effect of inhomogeneity يظهر في العينات الكبيرة التي تقع **حجومها بين 1 liters وبين 15 liters، أو من $(1-15)\ dm^3$**. أما بالنسبة للعينات التي قام بتحليليها خِليفي Khelifi وزملاؤه [3] بواسطة LSNAA والتي وصفوها بالكبيرة فقد كانت **حجومها 125 liters**، وهي أيضاً ذات شكل أسطواني مكوَّنة من ماء وبوليثيلين polyethylene. وبالنسبة لتزيكا Tzika وزميله [4] اللذان قدما طريقة لإنجاز تحليل LSNAA متعدد العناصر لا تخريبي عميق فقد كانت حجوم العينات التي وصفوها بأنها كبيرة لا يتجاوز **1 liters**. من الدراسة المرجعية هذه يتضح بسهوله أن هنالك تفاوتاً كبيراً في أبعاد العينات الموصوفة بالكبيرة، ثم فضلاً إلى ذلك، لم نلاحظ أن أياً من هؤلاء الباحثين كان قد قدم تعريفاً يتم على أساسه تحديد أبعاد العينات المحللة. لكن على الأرجح حينما يقولون عينة كبيرة إنما يقصدون أنها أكبر من تلك

العينات التي تستخدم في طريقة التحليل بالتنشيط النيوتروني NAA الاعتيادية التي تكون فيها العينة صغيرة نسبياً.

في الحقيقة لقد جرى استنتاج المعادلة التي تعطي تدفق حزمة النيوترونات التي تخرج بصورة مباشرة من العينة من أجل عينة صغيرة الحجم (السماكة) [5]، مما يجعل احتمال تفكك النيوترون في أثناء مروره خلال العينة مهملاً، ومما يجعل احتمال تشتت النيوترون في أثناء عبوره للعينة مهملاً أيضاً. وبالتالي فإن تدفق الحزمة التي تخرج بصورة مباشرة من العينة يتعلق إلى حد كبير جداً فقط باحتمال أن يتفاعل النيوترون تفاعل أسر (امتصاص) في أثناء مروره في العينة. وبناء على ذلك، فقد وجد أن احتمال أن لا يتفاعل نيوترون حر تفاعل أسر في أثناء عبوره لعينة سماكتها x بصورة مباشرة يعطى بالعلاقة:

$$P_{r'}(x) = e^{-n\sigma_c x} \qquad (1)$$

حيث n هو تركيز النوى في العينة، و σ_c هو المقطع العرضي الفعال للأسر[7] أو (الامتصاص).

لكن في الحقيقة من أجل عينة كبيرة حيث لا يجوز لنا إهمال تأثير احتمال أن لا يتفكك النيوترون الحر في أثناء اجتيازه لعينة سماكتها x على تدفق الحزمة العابرة بصورة مباشرة، على الأقل من أجل نيوترونات ليست حرارية. ففي بحث سابق [6,7] كنا قد أوجدنا أن احتمال التفكك يعطى بالعلاقة:

$$P_{d'}(x) = e^{-\frac{\lambda}{v}x} \qquad (2)$$

حيث λ هو احتمال أن يتفكك نيوترون خلال وحدة الزمن. والزمن $t = x/v$ هو الزمن اللازم للنيوترون لكي يجتاز عينة سماكتها x (بمسار مستقيم)، و v هي سرعة النيوترون في العينة.

[7] وهنا يفترض ضمناً بأن أسر النيوترون يقود إلى امتصاص فقط للنيوترون من غير أن يؤدي ذلك إلى حدوث انشطار النواة الآسرة.

إنَّ احتمال عدم تشتت النيوترون في عينة سماكتها x [9,10]:

$$P_{S\prime}(x) = e^{-n\sigma_S x} \quad (3)$$

حيث n هو تركيز النوى في العينة، و σ_s هو المقطع العرضي الفعال للتشتت.

بناء على ما سبق يكون احتمال خروج النيوترون بصورة مباشرة من العينة بعد اجتيازه مسافة قدرها x هو احتمال مركب من ثلاثة احتمالات: هي احتمال أن لا يتفاعل النيوترون تفاعل أسر مضروب باحتمال أن لا يتفكك النيوترون مضروب باحتمال أن لا يتشتت النيوترون؛ أي:

$$P_{r\prime.d\prime.s\prime}(x) = e^{-(n\sigma_c+\frac{\lambda}{v}+n\sigma_S)x}$$

وبالتالي فإن تدفق الحزمة العابرة بصورة مباشرة من أجل عينة كبيرة سيكون:

$$\Phi(x) = \Phi(0)e^{-(n\sigma_c+\frac{\lambda}{v}+n\sigma_S)x} \quad (4)$$

حيث $\Phi(x)$ هو تدفق حزمة النيوترونات العابرة بصورة مباشرة من عينة كبيرة سماكتها x.

2. هدف البحث

لقد بنينا هذا البحث على مشكلة ذات أهمية كبيرة وهي عدم وضع أياً من الباحثين الذين يشتغلون في التحليل بالتنشيط النيوتروني للعينات الكبيرة LSNAA تعريفاً واضحاً لمصطلح العينة الكبيرة. وبناء عليه، فقد كان هدفنا من هذا البحث بدايةً هو أن نضعَ تعريفاً واضحاً لمصطلح العينة الكبيرة لكي نحوله إلى مفهوم يمكن الاعتماد عليه في استنتاج معادلة تحليلية عامة لتدفق حزمة النيوترونات التي تخرج من كافة جوانب عينة كبيرة الحجم. ثم أنه لمَّا وجدنا أن وضع هذا التعريف لم يكن كافياً لجعل تلك المعادلة قابلة للتطبيق وجدنا أنفسنا مضطرين لكي ندخل مصطلحاً جديداً آخراً هو **العينة الكبيرة للغاية**، الذي وضعنا أيضاً له تعريفاً واضحاً لكي نحوله إلى مفهوم. ثم بناء على كلٍ من هذين المفهومين يتبين أننا قد وضعنا أساساً نظرياً وتجريبياً لتعيين المقطع العرضي للأسر نتوقع أنه سيمكننا من التعيين التجريبي لتابعية المقطع العرضي للأسر لطاقة

النيوترون بصورة أدق. وباستنتاج معادلة احتمال أن لا يتشتت النيوترون سنكون قادرين على استنتاج **المعادلة العامة لتدفق الحزمة النيوترونية التي تخرج من كافة جوانب العينة** التي ستكون صالحة من أجل كافة العينات مهما تكن حجومها، وحزمة نيوترونية أحادية الطاقة، وستكون النتائج التي تعطيها أدق. علماً أننا في هذا البحث من أجل تبسيط الدراسة سنعتبر عينة مؤلفة من عنصر واحد يتكون من نظير واحد.

3. المعادلة العامة لتدفق الحزمة النيوترونية

3.1. العينة الكبيرة $(\mathcal{L},\mathcal{L})$

اعتمادا على مفهوم المسار الحر الوسطي لتشتت نيوترون حر في مادة العينة التي يمر خلالها النيوترون، نعرِّف **العينة الكبيرة** بأنها عينة أسطوانية ذات سماكة ونصف قطر يساوي كل منهما إلى المسار الحر الوسطي للنيوترون $\mathcal{L}$ في هذه العينة.

يعطى المسار الحر الوسطي للنيوترون $\mathcal{L}$ من أجل عينة تحتوي على عنصر واحد مكون من نظير واحد بالعلاقة [11]:

$$\mathcal{L} = 1/\sigma_s n$$

حيث إن n هو تركيز ذرات أو نوى نظير العنصر الذي تتكون منه العينة، و σ_s هو المقطع العرضي الفعال لتشتت النيوترون على نوى هذا النظير.

وبما أن تركيز النوى في مادة يعطى بالعلاقة التالية [8]:

$$n = \frac{\rho}{\mu} N_A$$

حيث N_A هو عدد أفوكادرو، و ρ الكثافة المطلقة (كتلة وحدة الحجوم) لهذه العينة، و μ هي الكتلة المولية للعينة، وهي في هذه الحالة تكون مساوية للعدد الكتلي للنظير؛ أي $\mu = A$، وبالتالي فإن:

$$\mathcal{L} = \frac{A}{\sigma_s \rho N_A} \qquad (1)$$

3.2. العينة الكبيرة للغاية (X,X)

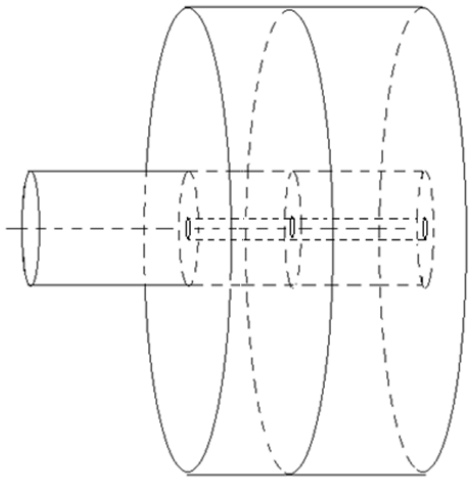
واعتمادا على المسافة القصوى التي يمكن أن يجتازها نيوترون حر في مادة (العينة) ما، نعرف **العينة الكبيرة للغاية** بأنها عينة لا تسمح لأي نيوترون يدخل فيها من الخروج منها، وبكلام آخر، إن أي نيوترون يدخل إلى هذه العينة فإنه إما أن يؤسر فيها من قبل أحد نواها أو أنه يتفكك فيها سواءً أ كان قد عانى تشتتاً أم لا.

لكن عملياً بسبب الهندسية المفروضة على علمية التشعيع، نفترض بأنه يجري التشعيع بحزمة نيوترونية متوازية ترد عمودياً على قاعدة عينة أسطوانية، وعندئذ يمكن لبعض النيوترونات التي تعاني تشتتاً خلفياً مفرداً أن تخرج من العينة من دون أن تتفكك أو تؤسر. وعملياً، إن عدد النيوترونات التي تشتت للخلف هو عدد صغير للغاية. لذلك، فإنه يمكننا إهماله.

إذن فيما يلي سنعتبر أن للعينة الكبيرة للغاية شكلاً أسطوانياً، وسنرمز لها بالرمز (X,X)، حيث يمثل الرمز X الذي على الجهة اليسرى نصف قطر قاعدة الأسطوانة، والرمز X الذي على الجهة اليمنى ارتفاع أو سماكة هذه العينة.

3.2.1. تحديد أبعاد العينة الكبيرة للغاية (X,X)

من أجل تعيين **أبعاد العينة الكبيرة للغاية** سوف ننطلق من التعريف الذي وضعناه للعينة الكبيرة للغاية. ومن أجل التبسيط، كما ذكرنا، نفرض بأن للعينة الكبيرة للغاية شكلاً أسطوانياً، وأنها مكوّنة من عنصر كيميائي واحد وهذا العنصر مكوّن من نظير واحد، وأن سماكتها (ارتفاعها) هو X وأن نصف قطر قاعدتها هو X، ولنفرض أن الكثافة المطلقة لهذه العينة هي ρ، وأن الكتلة المولية لها هي $\mu = A$، ولنفرض أن تركيز الذرات (النوى) فيها هو n، ولنفرض أن المقطع العرضي الفعّال لأسر النيوترون من قبل هذه النوى هو σ_c. ولنفرض أن حزمة نيوترونية ترد عمودياً على مساحة صغيرة نسبياً من قاعدة هذه الأسطوانة نصف قطرها r بتدفق $\Phi(0)$. لنأخذ حول محور العينة الكبيرة للغاية أسطوانة مقطعها πr^2؛ أي نصف قطر قاعدتها r، وطولها مساو لسماكة العينة الكبيرة للغاية X، ولنسمها **أسطوانة محورية**، الشكل (1)،



الشكل (1): عينة أسطوانية كبيرة للغاية أبعادها (X, X).

عندئذ، فإن حجم الأسطوانة المحورية هذه سيكون:

$$V_C = X\pi r^2$$

ويكون عدد النوى فيها N_C هو:

$$N_C = n\, V_C = n\, X\pi r^2$$

لكن بما أن تركيز النوى في مادة يعطى بالعلاقة [6]:

$$n = \frac{\rho}{A} N_A$$

حيث N_A هو عدد أفوكادرو، فإن:

$$N_C = \frac{\rho}{A} N_A\, X\pi r^2$$

وعندئذ سيكون **مجموع مساحات المقاطع العرضية الفعّال لكافة النوى الموجود في الأسطوانة المحورية $(\sigma_c N_C)$[8] مساوٍ بالضبط لمقطع الأسطوانة المحورية**

[8] يجب التفريق بين الدليلين في العلاقة $\sigma_c N_C$، فدليل المقطع العرضي الفعال للأسر c يعود لكلمة أسر capture، بينما دليل عدد النوى C فيعود لكلمة أسطوانة Cylinder.

$(\boldsymbol{\pi r^2\ cm^2})$[9]، لأن أي نيوترون يعبر بصورة مباشرة (بدون تشتت) مسافة قدرها X، فإنه لن يتمكن من الخروج من هذه الأسطوانة، لأنه حتماً سيؤسر ما لم يكن قد تفكك أو تتشتت، وأن النيوترون المتشتت أيضاً سيؤسر حتماً ما لم يكن قد تفكك، باستثناء حالات التشتتات الخلفي باتجاه قاعدة الورود التي تكون على الأغلب هي تشتتات مفردة، وهذه التشتتات، كما ذكرنا سنهملها لندرتها، وبالتالي فإن:

$$\sigma_c\, N_C = \pi r^2 \Rightarrow \sigma_c \frac{\rho}{A} N_A\, X \pi r^2 = \pi r^2$$

وبالتالي فإن:

$$X = \frac{A}{\sigma_c \rho N_A} \qquad (2)$$

من العلاقة (2) إذا ما عرفت سماكة العينة الكبيرة للغاية X فإنه يمكن معرفة المقطع العرضي للأسر σ_c، لأن كافة المقادير الأخرى إما أنها معلومة أو أنها قابلة للقياس. وبالتالي إذا ما استطعنا تعيين X، فإنه سيمكننا تعيين σ_c.

وعلى الرغم من أن عدد النيوترونات التي تعاني تشتتاً مفرداً في الأسطوانة المحورية، والتي تخرج من سطحها الجانبي يكون كبيراً جداً، إلا أنها جميعاً بدورها إما أن تؤسر أو تتفكك حتى ولو عانت تتشتت تشتتاً مضاعفاً ضمن العينة الكبيرة للغاية، لأن نصف قطر العينة الكبيرة للغاية هو أيضاً X. لكن، على كل حال، يبقى عدداً نادراً من النيوترونات المتشتتة يمكنه أن يخرج من قاعدة العينة الكبيرة للغاية التي ترد عليها النيوترونات نتيجة لتشتتات خلفية مفردة على الأغلب.

إذن بناء على تعريف العينة الكبيرة للغاية السابق، يمكن من جديد أن نعرف **العينة الكبيرة للغاية بأنها عينة أسطوانية ذات سماكة ونصف قطر يُعين كل منهما بالعلاقة** (2)، حيث إن أي نيوترون يتشتت ولو تشتتاً مرناً مفرداً وحتى لو كان اتجاهه معامد

[9] في هذ الدراسة يجب أن يقدر المقطع العرضي الفعال بالمتر المربع m^2، وأن تقدر أبعاد العينة بالمتر m، وتقدر الكثافة المطلقة بالكيلوغرام على المتر المكعب $(k\mathrm{g}/\mathrm{m}^3)$.

للسطح الجانبي للأسطوانة المحورية، فإنه حتماً سيؤسر خلال اجتيازه مسافة تساوي على الأكثر نصف قطر الأسطوانة الكبيرة X ما لم يكن قد تفكك أو تشتت ثانياً. فإذا كان التشتت المفرد الوحيد الذي عاناه النيوترون هو تشتت مرن فسيكون طول مساره مساو لـ X، وإذا كان التشتت المفرد الوحيد الذي عاناه النيوترون هو تشتت غير مرن فسيكون طول مساره أصغر من X.

من الواضح من العلاقة (2) أنه، كلما كان العدد الكتلي A أكبر (كلما كان العنصر أثقل) كان حجم العينة الكبيرة للغاية أكبر، وكلما كانت كثافة العينة أصغر كان حجم العينة الكبيرة للغاية أكبر، وكلما كان المقطع العرضي الفعال للأسر σ_c أصغر، كان حجم العينة الكبيرة للغاية أكبر. وبالتالي كان احتمال خروج النيوترون من العينة سواء العابر مباشرة أو الذي يتشتت أصغر.

4. العلاقة بين المقطع العرضي للتشتت σ_s والمقطع العرضي للأسر σ_c

بنسب المعادلة (1) إلى المعادلة (2) ينتج:

$$\frac{X}{\mathcal{L}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \qquad (3)$$

ملاحظة: لم نتحدث عن دور استقطاب النيوترونات بفعل الحقول الكهرطيسية للعينة في تعيين أبعاد العينة أولاً لضعف هذه الحقول وثانياً لأن النيوترونات جميعاً تستقطب بشكل متماثل تقريباً وثالثاً لأن تأثير مثل هذا الاستقطاب ينحصر في زيادة المقطع العرضي الفعال للأسر σ_c بشكل صغير جداً.

5. استنتاج معادلة التدفق من أجل عينة (X, x)

ليكن لدينا عينة كبيرة للغاية نصف قطر قاعدتها هو X وسماكتها (ارتفاعها) X (أي أكبر بكثير من المسار الحر الوسطي للنيوترون $\lambda = 1/\sigma_s n$) في هذه العينة)، ولنفرض أن **حزمة من النيوترونات ذات مجال طاقي ضيق معين** تسقط عمودياً على قاعدة الأسطوانية المحورية. كما ذكرنا إن احتمال خروج أي نيوترون متشتت من العينة

الكبيرة للغاية سيكون معدوماً تقريباً، وذلك لأن النيوترون المتشتت إما أنه سيتفاعل تفاعل أسر أو أنه سيتفكك، فإن لم يتفاعل تفاعل أسر أو لم يتفكك، فإنه سيتشتت من جديد، وهكذا تستمر عملية التشتت السابقة (تشتت مضاعف)، وكلما كان عدد التشتتات أكبر صار احتمال أن يتفاعل النيوترون تفاعل أسر واحتمال أن يتفكك أكبر، بسبب طول المسافة التي يجتازها في العينة وطول الزمن الذي يستغرقه فيها، مما يجعل احتمال خروج النيوترون المتشتت من العينة، من قاعدتي العينة الأسطوانية أو من سطحها الجانبي، معدوماً تقريباً. وبالتالي في مثل هذه العينة، فإن كل نيوترون يدخل هذه العينة إما أن يتفاعل تفاعل أسر أو أن يتفكك، طبعاً إذا ما أهملنا التشتتات الخلفية المفردة لندرتها.

5.1. استنتاج معادلة التدفق للحزمة النيوترونية من أجل عينة (X, x)

لنفرض أننا أبقينا نصف قطر العينة الكبير للغاية X كما هو، لكننا جعلنا سماكتها (ارتفاعها) x أصغر بكثير من X. ولنفرض مرة أخرى أن حزمة من النيوترونات ذات مجال طاقي ضيق معين ترد عمودياً على قاعدة الأسطوانة الكبيرة للغاية التي سنسميها من الآن فصاعداً **قاعدة الورود**، وبالتحديد ترد على قاعدة الأسطوانة المحورية. عندئذ، فإنه من الممكن للنيوترونات الداخلة إلى هذه العينة أن تخرج فقط من القاعدة الثانية للعينة الأسطوانية (X, x) المقابلة لقاعدة الورود.

وإن الجزء من النيوترونات التي لم تخرج من العينة المذكورة إما أنها قد تفاعلت تفاعل أسر أو أنها تفككت، سواءٌ أ كانت قد عانت تشتتاً أم لا.

وإن الجزء من النيوترونات التي تخرج من العينة المذكورة إنما تخرج فقط من القاعدة المقابلة لقاعدة الورود، وهي إما أن تخرج **بصورة مباشرة معامدة** من قاعدة العينة المقابلة لقاعدة الورود **من دون أن تكون قد عانت تفاعلاً أو تفككاً أو تشتتاً، أو** أنها تخرج من القاعدة المقابلة لقاعدة الورود **بصورة غير مباشرة من دون أن تكون قد عانت تفاعلاً أو تفككاً لكنها قد عانت تشتتاً** إن مفرداً أو مضاعفاً.

وبالتالي فإن تدفق النيوترونات الخارجة (العابرة) لسطح القاعدة المقابلة لقاعدة الورود $\Phi(x)$ سيكون مجموع تدفقين؛

أولاً تدفق النيوترونات التي تخرج بصورة مباشرة معامدة من سطح القاعدة المقابلة لقاعدة الورود $\Phi'(x)$ لكونها لم تعاني تفاعلاً أو تفككاً أو تشتتاً،

وثانياً تدفق النيوترونات التي تخرج بصورة غير مباشرة غير معامدة من سطح القاعدة المقابلة لقاعدة الورود $\Phi''(x)$ لكونها لم تعاني تفاعلاً أو تفككاً لكنها كانت قد عانت تشتتاً إن مفرداً أو مضاعفاً، أي أن:

$$\Phi(x) = \Phi'(x) + \Phi''(x) \qquad (4)$$

5.1.1. لنوجد أولاً $\Phi'(x)$

إن تدفق النيوترونات التي تخرج بصورة مباشرة معامدة للقاعدة المقابلة لقاعدة الورود $\Phi'(x)$ يساوي إلى تدفق الحزمة النيوترونية الواردة على قاعدة الورود $\Phi(0)$ مضروباً باحتمال عبور النيوترون مسافة قدرها x بصورة مباشرة وعمودية على القاعدة المقابلة لقاعدة الورود من دون أن يتفكك أو يتفاعل أو يتشتت؛ أي باحتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر وأن لا يتشتت في أثناء عبوره مسافة قدرها x؛ أي: $P_{d\prime,r\prime,s\prime}(x)$؛ أي:

$$\Phi'(x) = \Phi(0)P_{d',r',s'}(x) \qquad (5)$$

إذن لدينا ثلاثة حوادث، الحدث الأول هو عدم حدوث تفكك للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل d'، والحدث الثاني هو عدم حدوث تفاعل أسر للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل r'، والحدث الثالث هو عدم حدوث تشتت للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل s'.

وبما أن هذه الحوادث مستقلة عن بعضها البعض، فإن احتمال عبور النيوترون مسافة قدرها x بصورة مباشرة من دون أن يتفكك أو يتفاعل أو يتشتت $P_{d\prime,r\prime,s\prime}(x)$ سيكون احتمالاً مركباً من جداء ثلاثة احتمالات هي: احتمال أن لا يتفكك النيوترون عند عبوره عينة سماكتها x؛ أي $P_{d\prime}(x)$، واحتمال أن لا يتفاعل النيوترون تفاعل أسر عند

عبوره عينة سماكتها x؛ أي $P_{r'}(x)$، واحتمال أن لا يتشتت النيوترون عند عبوره عينة سماكتها x؛ أي $P_{s'}(x)$؛ أي:

$$P_{d',r',s'}(x) = P_{d'}(x) \cdot P_{r'}(x) \cdot P_{s'}(x) \quad (6)$$

وبما أن $x \ll X$، فيمكننا، بتقريب جيد، اعتبار أن النيوترونات المتشتتة وغير المتشتتة تتوزع بصورة منتظمة في الحيز (X, X)، وبالتالي فإن هذا الاحتمال يمثل نسبة حجم الأسطوانة $(r, X - x)$ إلى حجم الأسطوانة الكلية (X, X)؛ أي:

$$P_{d',r',s'}(x) = \frac{\pi r^2 (X - x)}{\pi X^2 X} = \frac{r^2 X - r^2 x}{X^3} \quad (7)$$

وبالتالي من المعادلتين (6) و (7) نجد أن:

$$P_{s'}(x) = \frac{\frac{r^2 X - r^2 x}{X^3}}{P_{d'}(x) \cdot P_{r'}(x)} \quad (8)$$

5.1.2. ثانياً لنوجد $\Phi''(x)$

إن تدفق النيوترونات التي تخرج بصورة غير مباشرة غير معامدة للقاعدة المقابلة لقاعدة الورود $\Phi''(x)$ يساوي إلى تدفق الحزمة النيوترونية الواردة على قاعدة الورود $\Phi(0)$ مضروباً باحتمال عبور النيوترون مسافة قدرها x بصورة غير مباشرة وغير عمودية على القاعدة المقابلة لقاعدة الورود؛ أي باحتمال أن لا يتفاعل النيوترون تفاعل أسر وأن لا يتفكك وأن يتشتت في أثناء عبوره مسافة قدرها x ويخرج بصورة غير معامدة للقاعدة المقابلة لقاعدة الورود؛ أي: $P_{d',r',s}(x)$؛ أي:

$$\Phi''(x) = \Phi(0) P_{d',r',s}(x) \quad (9)$$

إذن لدينا ثلاثة حوادث، الحدث الأول هو عدم حدوث تفكك للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل d'، والحدث الثاني هو عدم حدوث تفاعل أسر للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل r'، والحدث الثالث هو حدوث تشتت للنيوترون وقد أشرنا إليه بالدليل s.

إن احتمال عبور النيوترون سماكة قدرها x بصورة غير مباشرة من دون أن يتفكك أو يتفاعل وأن يتشتت $P_{d\prime,r\prime,s}(x)$ سيكون احتمالاً مركباً من جداء احتمال أن لا يتفكك النيوترون عند عبوره سماكة x؛ أي $P_{d\prime}(x)$، مضروب باحتمال أن لا يتفاعل النيوترون تفاعل أسر عند عبوره سماكة x؛ أي $P_{r\prime}(x)$، مضاف إليهما احتمال أن يتشتت النيوترون عند عبوره سماكة x؛ $P_s(x)$؛ أي:

$$P_{d\prime,r\prime,s}(x) = P_{d\prime}(x) \cdot P_{r\prime}(x) + P_s(x) \qquad (10)$$

مرة ثانية، بما أن $x \ll X$، فيمكننا، بتقريب جيد، اعتبار أن النيوترونات تتوزع بصورة منتظمة في الحيز (X, X)، وبالتالي فإن هذا الاحتمال يمثل نسبة حجم الماسورة الأسطوانية $(X - r, X - x)$ إلى حجم الأسطوانة الكلية (X, X)؛ أي:

$$P_{d\prime,r\prime,s}(x) = \frac{\pi X^2(X-x) - \pi r^2(X-x)}{\pi X^2 X}$$
$$= \frac{X^3 - X^2 x - r^2 X + r^2 x}{X^3} \qquad (11)$$

من المعادلتين (10) و (11) نجد أن:

$$P_s(x) = \frac{X^3 - X^2 x - r^2 X + r^2 x}{X^3} - P_{d\prime}(x) \cdot P_{r\prime}(x) \qquad (12)$$

أخيراً فإن تدفق الحزمة النيوترونية التي تخرج من العينة (X, x) من قاعدتها المقابلة لقاعدة الورود يكون:

$$\Phi(x) = \Phi'(x) + \Phi''(x) = \Phi(0)\{P'_{d,r,s}(x) + P'_{d,r,s'}(x)\}$$
$$= \Phi(0)\left\{\frac{r^2 X - r^2 x}{X^3} + \frac{X^3 - X^2 x - r^2 X + r^2 x}{X^3}\right\}$$
$$= \Phi(0)\left\{\frac{X^3 - X^2 x}{X^3}\right\} = \Phi(0)\left\{1 - \frac{x}{X}\right\} \qquad (10)$$

مثال تطبيقي:

فيما يلي نقدم مثالاً تطبيقياً لتعيين التدفق الذي يجتاز عينة أسطوانية أبعادها (X, x)، تحتوي على نظير الزرنيخ ^{75}As، حيث تم حساب السماكة X، من أجل

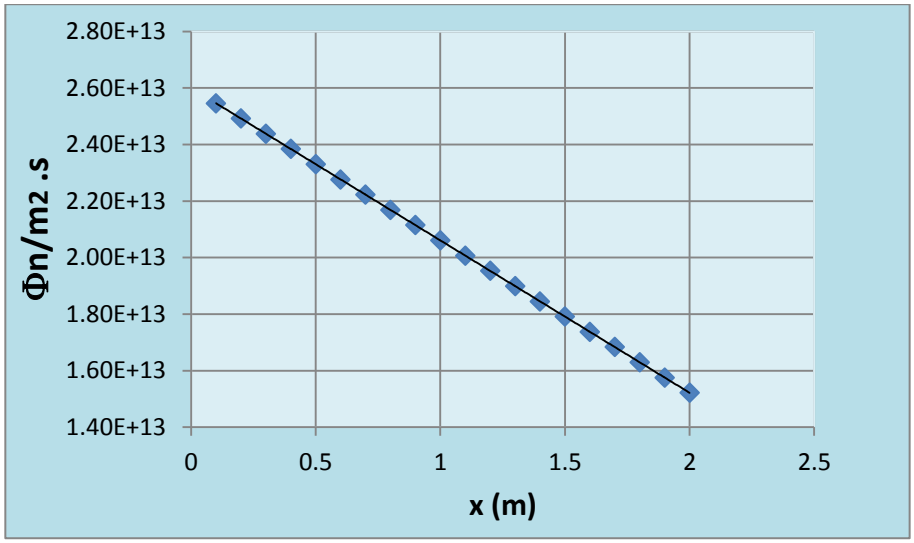
الطاقة $E_n = 1$ MeV، والتي توافق مقطعاً عرضياً للأسر $\sigma_c = 0.04491$ barn [12]، وإن كثافته هي $\rho = 5.75\ \mathrm{gr/cm^3}$ [13]، وعدد أفوغادرو $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ nucl/mol، عندئذ تكون $X = 4.82$ m.

وعند تعريض العينة لتدفق نيوتروني قدره $\Phi(0) = 2.6 \times 10^{13}\ \frac{\mathrm{neut}}{\mathrm{sec.m^2}}$ [14]، فإن التدفق سينخفض من أجل سماكات مختلفة للعينة يبينها الجدول (1) وذلك بحسابه من العلاقة (10).

الجدول (1): قيم التدفق $\Phi(x)$ من أجل سماكات x مختلفة للعينة:

$\Phi(x)$ $(\mathrm{neut/sec.\,m^2})$	x (m)
2.55E+13	0.1
2.49E+13	0.2
2.44E+13	0.3
2.38E+13	0.4
2.33E+13	0.5
2.28E+13	0.6
2.22E+13	0.7
2.17E+13	0.8
2.11E+13	0.9
2.06E+13	1
2.01E+13	1.1
1.95E+13	1.2
1.90E+13	1.3
1.85E+13	1.4
1.79E+13	1.5
1.74E+13	1.6
1.68E+13	1.7
1.63E+13	1.8
1.58E+13	1.9
1.52E+13	2

يوضح الشكل (2) تابعية التدفق $\Phi(x)$ للسماكة x، حيث نلاحظ تناقص التدفق مع زيادة السماكة x.



الشكل (2): تابعية التدفق $\Phi(x)$ للسماكة x.

5.1.3. الاحتمال الأكيد من أجل العينة (X,x)

إن مجموع احتمال أن لا يخرج نيوترون من العينة (X,x) من قاعدتها المقابلة لقاعدة الورود؛ أي $P'(X,x)$، واحتمال أن يخرج نيوترون من العينة (X,x) من القاعدة المقابلة لقاعدة الورود؛ $P(X,x)$، هو الاحتمال الأكيد؛ أي أن:

$$P'(X,x)+P(X,x)=1 \qquad (1)$$

(1)− إن احتمال أن لا يخرج نيوترون من العينة (X,x) من القاعدة المقابلة لقاعدة الورود؛ أي احتمال أن يتفكك النيوترون أو يتفاعل تفاعل أسر (يمتص) ضمن العينة (X,x) يمثل مجموع احتمالين: احتمال أن يتفكك النيوترون أو يتفاعل تفاعل أسر في الأسطوانة (r,x) وأن لا يتشتت فيها؛ أي $P_{d.r,s'}(x)$، واحتمال أن يتفكك النيوترون أو يتفاعل تفاعل أسر في الماسورة الأسطوانية $(X-r,x)$ بعد أن تشتت ضمن الأسطوانة (r,x)؛ أي $P_{d.r,s}(x)$. وبالتالي:

$$P'(X,x)=P_{d.r,s'}(x)+P_{d.r,s}(x) \qquad (2)$$

(a)- إن احتمال أن يتفكك النيوترون أو يتفاعل تفاعل أسر في الأسطوانة (r,x) وأن لا يتشتت فيها يمثل نسبة حجم الأسطوانة (r,x) إلى حجم الأسطوانة الكلية (X,X)؛ أي أن:

$$P_{d.r,s\prime}(x)=\frac{\pi r^2 x}{\pi X^2 X}=\frac{r^2 x}{X^3} \qquad (3)$$

(b)- إن احتمال أن يتفكك النيوترون أو يتفاعل تفاعل أسر في الماسورة الأسطوانية $(X-r,x)$ بعد أن تشتت ضمن الأسطوانة (r,x) يمثل نسبة حجم الماسورة الأسطوانية $(X-r,x)$ إلى حجم الأسطوانة الكلية (X,X)؛ أي أن:

$$P_{d.r,s}(x)=\frac{\pi X^2 x-\pi r^2 x}{\pi X^2 X}=\frac{X^2 x-r^2 x}{X^3} \qquad (4)$$

وبالتالي، فإن احتمال أن لا يخرج النيوترون من العينة (X,x) يكون:

$$P'(X,x)=P_{d.r,s\prime}(x)+P_{d.r,s}(x)=\frac{X^2 x}{X^3} \qquad (5)$$

(2)- إن احتمال أن يخرج نيوترون من العينة (X,x) من القاعدة المقابلة لقاعدة الورود؛ أي احتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر (يمتص) ضمن العينة (X,x) يمثل مجموع احتمالين: احتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر في الأسطوانة (r,x) وأن لا يتشتت فيها؛ أي $P_{d\prime.r\prime,s\prime}(x)$، واحتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر في الماسورة الأسطوانية $(X-r,x)$ بعد أن تشتت ضمن الأسطوانة (r,x)؛ أي $P_{d\prime.r\prime,s}(x)$. وبالتالي:

$$P(X,x)=P_{d'.r'.s'}(x)+P_{d'.r'.s}(x) \qquad (6)$$

(a)- إن احتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر في الأسطوانة (r,x) وأن لا يتشتت فيها يمثل نسبة حجم الأسطوانة $(r,X-x)$ إلى حجم الأسطوانة الكلية (X,X)؛ أي أن:

$$P_{d\prime,r\prime,s\prime}(x)=\frac{\pi r^2 (X-x)}{\pi X^2 X}=\frac{r^2 X-r^2 x}{X^3} \qquad (7)$$

(b)- إن احتمال أن لا يتفكك النيوترون وأن لا يتفاعل تفاعل أسر في الماسورة الأسطوانية $(X-r,x)$ بعد أن تشتت ضمن الأسطوانة (r,x) يمثل نسبة حجم الماسورة الأسطوانية $(X-r,X-x)$ إلى حجم الأسطوانة الكلية (X,X)؛ أي:

$$P_{d\prime,r\prime,s}(x)=\frac{\pi X^2(X-x)-\pi r^2(X-x)}{\pi X^2 X}$$
$$=\frac{X^3-X^2x-r^2X+r^2x}{X^3} \qquad (8)$$

وبالتالي، فإن احتمال أن يخرج النيوترون من العينة (X,x) يكون:

$$P(X,x)=P_{d'.r'.s'}(x)+P_{d'.r',s}(x)=\frac{X^3-X^2x}{X^3} \qquad (9)$$

بجمع المعادلتين (5) و (9):

$$P'(X,x)+P(X,x)=\frac{X^2x}{X^3}+\frac{X^3-X^2x}{X^3}=1 \qquad (10)$$

يتبين بوضوح أن مجموع الاحتمالين هو الاحتمال الأكيد.

6. الاستنتاجات

1. تم استنتاج معادلة تدفق حزمة النيوترونات العابرة بصورة مباشرة من أجل عينة كبيرة.

2. تم إدخال مصطلح جديد هو **العينة الكبيرة** وقد تم تعريفه على أنه عينة أسطوانية ذات سماكة ونصف قطر يساوي كل منهما إلى المسار الحر الوسطي للنيوترون λ في هذه العينة.
3. تم إدخال مصطلح جديد ثان هو **العينة الكبيرة للغاية** وقد تم تعريفه على أنه عينة لا تسمح لأي نيوترون يدخل فيها من الخروج منها، وبكلام آخر، إن أي نيوترون يدخل إلى هذه العينة فإنه إما أن يؤسر فيها من قبل أحد نواها أو أنه يتفكك فيها سواءً أ كان قد عانى تشتتاً أم لا.
4. بناء على المصطلحين تمت صياغة نظرية جديدة لإيجاد تدفق الحزمة النيوترونية من كافة جوانب عينة أسطوانية. تم فيها إيجاد العلاقة التحليلية بين المقطع العرضي للأسر (الامتصاص) والمقطع العرضي للتشتت، وإيجاد المعادلة العامة لتدفق الحزمة النيوترونية العابرة لعينة ذات أبعاد كبيرة. كما تم إيجاد العلاقة التي تعطي احتمال تشتت نيوترون على نوى العينة.
5. تم وضع طريقة تجريبية جديدة من أجل تعيين المقطع العرضي لأسر النيوترون.
6. من المتوقع أن تعطي نتائج أدق لأنها تأخذ بعين الاعتبار تدفق حزمة النيوترونات التي تخرج من كافة جوانب العينة، وهذا ما لم يؤخذ بالاعتبار سابقاً.

المراجع العربية

[6] د. عبدالله رستناوي، د. سليمان ديبو، علي الدود، دراسة تحليلية لتأثير تفكك النيوترونات على تدفق حزمة نيوترونية عابرة لعينة ذات سماكة كبيرة، مجلة جامعة البعث، المجلد 39، سوريا، 2017.

[9] د. عبدالله رستناوي، د. سليمان ديبو، علي الدود، دراسة تحليلية لاحتمال تشتت نيوترون على نواة من أجل تعيين طول التشتت لها، مجلة جامعة البعث، المجلد 41، سوريا، 2019.

[14] د. عبدالله رستناوي، د. جمال العرجة، استخدام مطياف أشعة غاما للنشاطات المنخفضة لتعيين تدفق منبع نيوتروني نظائري، مجلة جامعة البعث للعلوم الأساسية، المجلد 29، العدد5، 1428هـ، 2007م.

Reference

[1] M. de Bruin, J. Radioanal. Nucl. Chem. 169 (1993) 5-12.

[2] Hendrik Willem BAAS, Neutron Activation Analysis of Inhomogeneous Large Samples, DUP Science, Netherlands, 2004.

[3] R. Khelifi, P. Bode, A. Amokrane, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 274, No.3 (2007) 639–642.

[4] F. Tzika and I. E Stamatelatos, MONTE CARLO SIMULATIONS FOR NON-DESTRUCTIVE ELEMENTAL ANALYSIS OF LARGE SAMPLES BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS, Institute of Nuclear Technology and Radiation Protection, NCSR 'Demokritos', Greece, 11-14 October 2007.

[5] Л. Митрани, Атомна Физика, държавно издателство наука и изкуство, София 1957.

[7] Abdullah Rastanawi, Soleiman Dibo, Ali Al-Doud, An Applied Study of the Effect of Decay of Fast Neutron in Concrete, Chemistry and material Journal, vol.9 No 10, 2017, USA.

[8] H.Das, A.Faanhof, H. Van Der Sloot, Radioanalysis in Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, 1989

[10] Abdullah Rastanawi, Soleiman Dibo, Ali Al-Doud, AN APPLIED STUDY OF THE EFFECT OF SCATTERING OF THERMAL NEUTRON THROUGH A SAMPLE CONATION'S ARSENIC ELEMENT, Ally-Since.ru Journal, vol. 45, Russia, 2020.

[11] J. Margueron, J. Navarro and N. V. Giai. Nucl. Phys. A 719 (2003) 169c.

[12] Harl'O M. Fisher, A Nuclear Cross Section Data Handbook, Los Alamos,New Mexic, Jan 1991.

[13] CRC Handbook for Chemistry and Physics, 91st ed., 2010–2011, CRC Press.