

حساب قدرة الايقاف النسبية RSP للبروتونات وجسيمات الفا في الماء

وفاء نصيف جاسم

جامعة الكوفة / كلية التربية للبنات

الخلاصة

الكلمات المفتاحية:

- قدرة الإيقاف النسبية
- المدى
- البروتونات
- جسيمات الفا

تم في هذا البحث دراسة وحساب قدرة الايقاف النسبية RSP للبروتونات وجسيمات الفا في الماء بطاقة (35-150)MeV وذلك بحساب المدى لهذه الجسيمات في الماء وفي الهواء، حيث حسب مدى البروتونات في الماء باستخدام برنامج الـ PSTAR واستخدم برنامج الـ ASTAR لحساب مدى جسيمات الفا في الماء ولنفس المدى من الطاقة. وتم حساب مدى البروتونات في الهواء باستخدام معادلة شبه تجريبية بينما استخدمت قاعدة براك كليمان في حساب مدى جسيمات الفا في الهواء.

Calculation of the Relative Stopping Power of Protons and Alpha Particles In Water

*Wafaa Nsaif Jasim Abuirqeba

Kufa University /College of Educationfor girls.

*Corresponding author. E-mail addresses: wafaan.jassim@uokufa.edu.iq

KEY WORDS :

- Relative stopping power
- Range
- Protons
- Alpha particles

ABSTRACT :

In this research we studied and calculated the relative stopping power (RSP) of protons and alpha particles in water with energy (35-150)MeV by calculating the range of these particles in water and air, where the range of protons in water calculated by use PSTAR program and ASTAR program to calculate the range of alpha particles in water for the same range of energy. The range of protons in air calculate by semi empirical equation while by using Bragg and Kleeman rule in calculation the range of alpha particle in air.

DOI: <http://dx.doi.org/10.31257/2018/JKP/100217>

احتمالية تصادمه بالذرات نفسها [1]. أذ تصنف هذه التصادمات الى:

١- التصادم غير المرن (Inelastic Collision) : وهو التصادم الذي يحدث بين الايونات الثقيلة الساقطة والكترونات ذرات الوسط المادي مسببا تأين او تهيج ذرات ذلك الوسط ويعبر عنه بالمقطع العرضي للإيقاف الالكتروني (Electronic Stopping Cross-Section, S_e).

٢- التصادم المرن (Elastic Collision) : وهو التصادم الذي يحدث بين الايونات الثقيلة الساقطة ونوى ذرات الوسط الموقوف والذي يدعى بالمقطع العرضي للإيقاف النووي (Nuclear Stopping Cross-Section, S_n). ان قدرة

١. مقدمة

ان الجسيم المشحون عند مروره في وسط يتكون من ذرات متعادلة يتفاعل من خلال تأثيره بقوة كولوم مع الالكترونات الموجودة في ذرات ذلك الوسط بشكل رئيسي . وعلى الرغم من ان كل الكترون يعترض هذا الجسيم يؤدي الى فقدان في طاقة الجسيم الحركية بمقدار لا يتجاوز بضعة الكترون فولت فإن تأين وتهيج الذرات هو المسؤول عن اعظم فقدان في الطاقة لكل وحدة طول من مسار الجسيم المشحون. ان فقدان في الطاقة الحركية للجسيم من اعراض نوى الذرات للجسيم تكون اكبر بكثير و لكن احتمالية تصادم الجسيم المشحون بنوى ذرات الوسط هو جدا قليل بالمقارنة مع

بسبب صعوبة التوصل الى معادلة لحساب المدى التجأ العلماء الى طرق تجريبية للوصول الى صيغ تعبر عن المدى . براك وكليمان (Bragg and Kleeman) أعطوا صيغة لحساب مدى الجسيمة في وسط اذا كان مدى هذه الجسيمة معلوم في وسط اخر [6]:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \left[\frac{A_1}{A_2} \right]^{1/2} \dots (4)$$

حيث A, ρ يمثلان الكثافة والعدد الكتلي للمواد.

ولجسيمتين مشحونتين لهما نفس السرعة الابتدائية β ، النسبة بين مدياتها هو [3]:

$$\frac{R_1(\beta)}{R_2(\beta)} = \frac{Z_2^2 M_1}{Z_1^2 M_2} \dots (5)$$

حيث M_1 و M_2 هو الكتلة السكونية و Z_1 و Z_2 هو العدد الذري لكلا الجسيمتين . هنالك عدة دراسات نظرية وتجريبية لحساب مدى البروتونات في المواد ، تلك الدراسات قادت الى تطوير علاقات تجريبية [6] . لحسن الحظ عدد هذه الدراسات جدا عالي في الوقت الحالي . ففي الهواء مدى البروتونات يعطى بالعلاقة التالية:

$$R_p^{air}[m] = \left[\frac{E_p}{9.3} \right]^{1.8} \text{ for } E_p < 200 \text{ MeV} \dots (6)$$

حيث E_p طاقة البروتونات بوحدة MeV .

وكذلك الامر بالنسبة لجسيمات الفا فمدى جسيمات الفا في الهواء عند درجة 15°C وضغط 1 atm يعطى بالعلاقة شبه التجريبية الاتية [6]:

$$R_\alpha^{air}[cm] = \begin{cases} 0.56 E_\alpha & \text{for } E_\alpha < 4 \text{ MeV} \\ 1.24 E_\alpha - 2.62 & \text{for } 4 \text{ MeV} \leq E_\alpha \leq 15 \text{ MeV} \end{cases} \dots (7)$$

حيث E_α طاقة جسيمات الفا بوحدة MeV .

فضلا عن ذلك مدى جسيمات الفا في الهواء بوحدة الملمتر يعطى بالعلاقة شبه التجريبية الاتية [7]:

$$R_\alpha^{air}(mm) = \begin{cases} e^{1.61\sqrt{E_\alpha}} & \text{for } E_\alpha < 4 \text{ MeV} \\ (0.05 E_\alpha + 2.85) E_\alpha^{3/2} & \text{for } 4 \text{ MeV} \leq E_\alpha \leq 15 \text{ MeV} \end{cases} \dots (8)$$

قدرة الايقاف النسبية :

تعرف قدرة الايقاف النسبية لمادة ما بأنها النسبة بين مدى الجسيم في الهواء R_{air} في درجة 15°C وضغط 76 mm زئبق ، ومدى الجسيم في المادة R_s اي ان [7]:

الايقاف الالكترونية ($-dE/dx$) يعبر عنها بشكل عام بالمعادلة الاتية [2]:

$$-\frac{dE}{dx} = N(S_e + S_n) = NS$$

$$= \frac{4\pi e^4 Z_2}{m_e v^2} Z_1^2 L \dots (1)$$

S : المقطع العرضي لقدرة الايقاف .

N : كثافة الهدف .

Z_2 : العدد الذري للهدف .

m_e : كتلة الالكترون .

v : سرعة الفذيفة .

e : شحنة الالكترون .

Z_1 : العدد الذري للفذيفة .

L : يدعى (عدد الايقاف) سواء كان الميكانيك الكلاسيكي او الكمي مطبقا وهو كمية بدون وحدات. ان الجسيم المشحون الذي يجتاز مادة ما سوف يسلك مسارا متصلا ويتوقف هذا الجسيم عندما تستنفذ طاقته ، هذه المسافة التي يقطعها الجسيم قبل ان يتوقف تعرف بطول المسار او المدى (Range) وهذا يعني ان الجسيمات تفقد طاقتها أثناء انتقالها خلال الوسط وما يتبقى لها من طاقة حركية يعتمد على المسافة المقطوعة داخل المادة فإذا كانت هذه المسافة مساوية للمدى في الوسط فان طاقة الجسيمات تكون قد استنفذت تماما . ولكون الجسيمات المشحونة تفقد طاقتها بشكل عشوائي فانه يمكن للبعض منها ان تقطع مسافة اكبر من تلك التي يقطعها البعض الاخر ، وبذلك يعرف المدى (R) بأنه متوسط طول المسار لعدد كبير من الجسيمات المشحونة ذات الطاقة الابتدائية المتساوية . ولان الخسارة في الطاقة تعتمد على مادة الوسط فان مدى الجسيمة تتوقف قيمته ايضا على طبيعة المادة التي تنتقل فيها [3,4] .

٢. النظرية:

ان تحديد مدى الجسيمات المشحونة الثقيلة بشكل دقيق لا يخلو من صعوبة بسبب وجود فروق إحصائية في مقدار الطاقة المفقودة في وحدة طول المسار (dE/dx) [3] ، و المدى بدلالة قدرة الايقاف يعبر عنه كالآتي [4]:

$$R = \int_E^0 dx = \int_E^0 \frac{dE}{-dE/dx} = \int_E^0 \frac{dE}{S.N} = \int_0^E \frac{dE}{S.N} \dots (2)$$

ولحساب معدل مسافة انتقال حزمة من الجسيمات في وسط بواسطة تكامل قدرة الايقاف كدالة لطاقة الجسيمات الساقطة يمكن استخدام التعبير الاتي [2,5]:

$$R(T) = \int_0^E \left[-\frac{dE}{dx} \right]^{-1} dE \dots (3)$$

لهذا المدى من طاقة جسيمات الفا . اما مدى البروتونات وجسيمات الفا في الماء فقد تم ايجاده باستخدام برنامج SRIM وكذلك بالاستعانة ببرنامجي الـASTAR وPSTAR لكل من البروتونات وجسيمات الفا على التوالي . ان برنامج الـASTAR وPSTAR هما برامج لحساب قدرة الايقاف والمدى لكل من البروتونات وجسيمات الفا مباشرة على الانترنت في مواد مختلفة ،اذ يجب اختيار الوسط الموقوف وادخال الطاقة المطلوبة للجسيمة المشحونة (بروتونات او جسيمات الفا) ويجب ان تكون الطاقة في المدى من 0.001MeV الى 10000MeV . كما تم في هذا البحث مقارنة مدى البروتونات وجسيمات الفا في الماء الذي حسب باستخدام برنامجي الـASTAR وPSTAR مع مدى هذه الجسيمات المحسوب باستخدام طريقة المربعات الصغرى least square method كما موضح في الشكلين (١) و(٢) اذ يبين الشكل (١) مدى البروتونات في الماء بينما الشكل (٢) يبين مدى جسيمات الفا في الماء . باستخدام طريقة المربعات الصغرى توصلنا الى العلاقة شبه التجريبية التالية لكل من البروتونات وجسيمات الفا:

$$R=aE+b$$

$$a = \frac{10 \sum Er - \sum E \sum r}{10 \sum E^2 - (\sum E)^2}$$

$$b = \frac{\sum T^2 \sum r - \sum T \sum Tr}{10 \sum T^2 - (\sum T)^2}$$

أذن : مدى الجسيمة المشحونة في الماء والمحسوبة باستخدام برنامج SRIM.

والجدول التالي يبين قيم الثوابت a و b لكل من البروتونات وجسيمات الفا في الماء.

جدول رقم (٢)

E(MeV)	Protons		Alpha	
	a	b	a	B
(35-150MeV)	124.152497729337	-4047.67983651226	10.4731425976385	-345.906267029973

$$RSP = \frac{R_{air}}{R_s} \dots (9)$$

في اغلب الاحيان يعبر عن سمك المادة اللازم لإيقاف الجسيم بالسمك المكافئ t_E بوحدات mg/cm^2 حيث :

$$t_E = 1000 R_s \rho \dots (10)$$

وتمثل ρ كثافة المادة بوحدات gm/cm^3 و R_s مدى الجسيم في المادة بوحدات cm . اما سمك المادة بوحدات mg/cm^2 المكافئ لسنتمتر واحد من الهواء بالنسبة بين السمك المكافئ للمادة ومدى الجسيم في الهواء . اي :

$$t_s(1cm \text{ of air}) = \frac{t_E}{R_{air}}$$

$$= \frac{R_s \rho}{R_{air}}$$

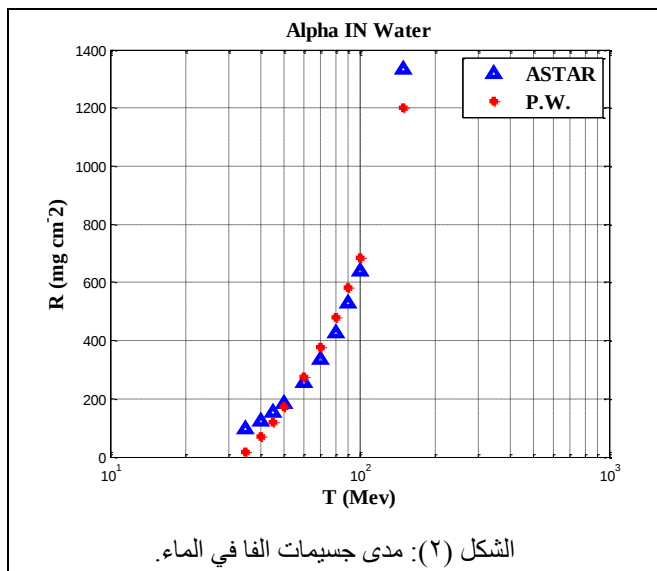
$$= \frac{1000\rho}{RSP} \dots (11)$$

٣. النتائج والمناقشة :

تم في هذا البحث حساب قدرة الايقاف النسبية RSP للبروتونات وجسيمات الفا المارة في الماء بطاقة (35-150)MeV بإيجاد المدى لهذه الجسيمات المشحونة في الهواء أولاً ومن ثم ايجاد مداها في الماء والتعويض عن قيم المدى في المعادلة (٩) لحساب قدرة الايقاف النسبية حيث كانت النتائج كما مبين في الجدول ادناه

E(MeV) الطاقة	RSP (protons) قدرة الايقاف النسبية للبروتونات	RSP(α particles) قدرة الايقاف النسبية لجسيمات α
35	3784.58918001553	59120.1786000344
40	1535.16158538732	19817.2900046028
45	1128.89401965775	14108.0058236702
50	971.183275365784	11975.3585217904
60	855.253178656271	10420.5224824241
70	826.477165949227	10014.6357218781
80	829.023605044103	10013.7455872069
90	846.086790184488	10198.8620915424
100	870.893444895674	10482.7503140270
150	1036.95836443782	12437.8224933768

ان مدى البروتونات في الهواء تم ايجاده باستخدام المعادلة (٦) بينما استخدمت قاعدة براك وكليمان Bragg (and Kleeman) لإيجاد مدى جسيمات الفا في الهواء والمبينة بالمعادلة (٥) لعدم توفر علاقة شبه تجريبية مناسبة

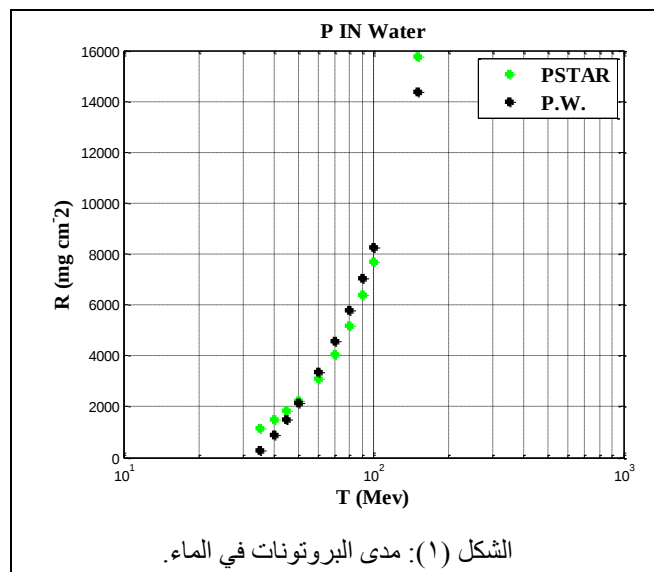


الشكل (٢): مدى جسيمات الفا في الماء.

٤. الاستنتاجات:

من مقارنة قيم قدرة الايقاف النسبية للبروتونات وجسيمات الفا في الماء نلاحظ ان قدرة الايقاف النسبية لجسيمات الفا اكبر من قدرة الايقاف النسبية للبروتونات ولنفس المدى من الطاقة وسبب ذلك هو ان مدى البروتونات في الماء اكبر من مدى جسيمات الفا في الماء كما نلاحظ من خلال الشكلين (١) و (٢) اعلاه ، فمن النتائج التي تم الحصول عليها نجد ان اعظم مدى للبروتونات $14385.7874659401 \text{ mgcm}^{-2}$ بينما لجسيمات الفا $1199.362882833792 \text{ mgcm}^{-2}$ عند الطاقة 100 MeV لان جسيمة الفا لديها قدرة اختراق ضعيفة مع قدرة ضعيفة على النفاذ لثقلها وانخفاض سرعتها.

جرى رسم وبرمجة المعادلات ايضا باستخدام برنامج الـ Mathlab



الشكل (١): مدى البروتونات في الماء.

المصادر

- [1] Meyerhof, W.E, "Elements of Nuclear physics" (1967) 74-79.
- [2] Al-Obiady, N.J., "Kinetic ,Free Electron Gas And Harmonic Oscillator Theories Of Particle Stopping In Medium", MSC. Thesis, Al-Mustansiriyah University (2001) 7-10.
- [3] Turner, s, J., "Atoms, Radiation ,and Radiation Protection", (1995) 5-9.
- [4] Al- Jobouri, M.M., "Energy Resolution Power Of The Plastic Nuclear Track Detector PM-355 For Alpha Particles and The Effect Of The Heating Treatment" , M.Sc. Thesis ,University Of Tikret (2004) 8-10.
- [5] Al- Rubyi, A. A., "Increase The Range Of Stopping Power Of Energies ($1 < E(\text{MeV/u}) \leq 0.1$) ", MSC. Thesis ,Al-Mustansiriyah University (1999) 5-34.
- [6] Ahmed ,S. N. , " physics and Engineering of Radiation Detection" , Queen,s University ,Kingston ,Ontario (2007) 118-120.
- [7] Al- Kafjy , T., N., Hamady, A., Mosha, H., " Atomic Physics" , 1980, 261-262.