مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - آذار 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.25.06

# حساب قدرة الإيقاف لجسيمات الفا وأيونات الأوكسجين والكاربون في بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA)

تغريد خالد حميد
قسم الفيزياء ، كلية التربية ، الجامعة المستنصرية
taghreedkhalid@uomustansiriyah.edu.iq

**مستخلص:**

في العمل الحالي تم حساب قدرة التوقف لجسيمات الفا وايونات الاوكسجين والكاربون في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) لمدى طاقات ( MeV 0.02 MeV 90000 - )، وتم استخدام معادلة بيث–بلوخ لحساب قدرة التوقف ومقارنة النتائج مع القيم التجريبية لبرنامج SRIM2013, اظهرت النتائج توافقً مع النتائج التجريبية لاسيما للطاقات الواطئة .

**الكلمات المفتاحية** : قدرة التوقف ، معادلة بيث–بلوخ ، بولمر (PMMA).

# Calculation of stopping power for alpha particles, oxygen and carbon ions in polymethyl methacrylate (PMMA)

Taghreed Khalid Hameed
Department of Physics, College of Education, Al-Mustansiriyah University

**Abstract :**

In the present work, the stopping power of alpha particles, oxygen ions, carbon ions and carbon ions in polymethyl methacrylate (PMMA) polymer was calculated for the energy range of (0.02 - 90000) MeV. The Beth-Bloch equation was used to calculate the stopping power and the results were compared with the experimental values of the SRIM2013 program. The results showed agreement with the experimental results, especially for low energies.

**Keywords:** stopping power, Beth-Bloch equation, polymer (PMMA).

**المقدمة :**

عندما تدخل الجسيمات المشحونة بسرعة إلى المادة فإنها تتفاعل مع إلكترونات ونواة المادة وتبدأ عملية فقدان الطاقة أثناء الاختراق ويمكن رؤية التفاعلات على أنها تصادمات فردية بين الجسيمات المشحونة والإلكترونات الذرية المحيطة بالنواة والتي تعتبر منفصلة وتؤدي الطاقة المنبعثة أثناء هذه التصادمات إلى تأين وإنتاج أزواج من الأيونات والإلكترونات ويمكن أن تظهر أيضًا في شكل إشعاع كهرومغناطيسي وتسمى هذه العملية إشعاع الكبح [1] الهدف من هذا البحث هو دراسة قدرة الايقاف لجسيمات الفا المقذوفة وأيونات الأوكسجين والكاربون في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) باستخدام معادلات بيث-بلوخ تكمن اهمية البحث في دراسة تأثير العوامل الخارجية على مادة البولمر (PMMA) والتي تدخل في صناعة العدسات اللاصقة وشاشات الهاتف المحمول وغيرها .

**النظرية :**

بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) هو مركب عضوي صيغته الكيميائية $C_5H_8O_2$ ، والتي يمكن كتابتها على الشكل $CH_2=C(CH_3)COOCH_3$ وهو نوع من أنواع بوليمرات اللدائن الحرارية المتمثلة بالشفافية العالية وغالباً ما يستخدم (PMMA) وهو بلاستيك شفاف وصلب كبديل للزجاج في منتجات مثل النوافذ المقاومة للكسر، ومظلات الطائرات كما يستخدم ايضاً في العدسات اللاصقة للعين و مستحضرات التجميل، حيث يمكن العثور عليه في منتجات مثل كريمات العيون و واقيات الشمس وطلاء الأظافر وغيرها من التطبيقات الطبية والصناعية [2].

**قدرة الإيقاف :**

تعرف قدرة الإيقاف(-dE/dx) بأنها الطاقة التي يفقدها الجسيم المقذوف لوحدة المسافة في مادة الهدف والتي تعتمد على شحنة المقذوف وأيضًا على مادة الهدف[3]. تعد دراسة قدرة الإيقاف (-dE/dx) من اهم المواضيع التي تأخذ مساحة كبيرة في الدراسات نظرية وتجريبية وباستخدام طرق مختلفة[4]. بالنسبة للمركبات، وجد أن معادلة بيث-بلوخ تعمل بشكل جيد للغاية في هذا المجال والتي تنص على أن قدرة الإيقاف الكتلية للمادة التي تحتوي على عدة عناصر تؤخذ على أنها تساوي المجموع المرجح قدرة الإيقاف الكتلية للذرات المكونة لها[5] :

$$\left(\frac{-dE}{\rho dX}\right)_{com} = \sum_i \omega_i \left(\frac{-dE}{\rho dX}\right)_i \qquad (1)$$

حيث ان :

$$\omega_i = \frac{n_i A_i}{A_{comp}}$$

$\omega_i$ : نسبة وزن العناصر في المركب،

$n_i$ : عدد ذرات $j^{th}$ من الذرات في المركب

$\rho$ : كثافة الوسط ، $A_i$ :الكتلة الذرية للوسط

حيث ان : $\left(\frac{-dE}{\rho dX}\right)_i$ هي قدرة الايقاف للعناصر في المركب، $\left(\frac{-dE}{\rho dX}\right)_{com}$ هي قدرة الايقاف للكتلة المركبة ويمكن حساب القدرة الإيقافية للمركب من خلال الجمع الخطي للقوى الإيقافية للعناصر الفردية ويستخدم قانون براك لإيجاد القدرة الإيقافية للأهداف متعددة العناصر [6].

$$\left(\frac{-dE}{\rho dX}\right)_i = \frac{\omega_1}{\rho_1}\left(\frac{-dE}{dX}\right)_1 + \frac{\omega_2}{\rho_2}\left(\frac{-dE}{dX}\right)_2 + \ldots\ldots (2)$$

ويمكن حساب قوة إيقاف الجسيمات المشحونة باستخدام معادلة بيث - بلوخ حيث استخدم بور هذا التعبير لتشكيل أساس لتقييمه لفقدان الطاقة لجسيم ثقيل في وسط من الإلكترونات المرتبطة توافقيًا، قام بلوك بتقييم الاختلافات بين النهج الكلاسيكي (بور) والنهج الميكانيكي الكمي للجسيمات ذات السرعات الأكبر بكثير من الإلكترونات المستهدفة . ويمكن صياغة صيغة التوقف (ميكانيكا الكم) على النحو التالي[7]:

$$-\frac{dE}{dX} = K\frac{Z_2 Z_1^2}{A\beta^2} L_{Bethe} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث ان :

$$K = 4\pi r_0^2 m_e c^2 = 0.307075 \qquad L_{Bethe} = \ln\left[\frac{2m_e c^2\beta^2}{1-\beta^2}\right] - \beta^2 - \ln < I >$$

$r_o$ : يمثل تصف القطر الكلاسيكي للإلكترون:

$$2.818\times10^{-15} = \frac{e^2}{m_e c^2}$$

C : سرعة الضوء ، me : كتلة الالكترون

I : جهد التأين للمادة ، $\beta$ : السرعة النسبية V/C

و بالتعويض بالمعادلة 3 يكون :

$$-\frac{dE}{dX} = 0.307075\frac{Z_2 z_1^2}{A\beta^2} L_{Bethe}$$

حيث:

Z : العدد الذري للهدف .

z : العدد الذري للمادة المقذوفة .

A : العدد الكتلي لمادة الهدف .

**النتائج والمناقشة:** من خلال تطبيق المعادلات (3,2,1) وبتطبيق النتائج في برنامج MATLAB2016 نحصل على الجدول(1). الجدول (1) يمثل قدرة التوقف لجسيمات الفا وايونات الكاربون والأوكسجين في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) ومقارنة النتائج مع النتائج المستخرجة من برنامج SRIM2013.

الجدول (1) يمثل فيم قدرة التوقف لجسيمات الفا وايونات الاوكسجين والكاربون في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA)

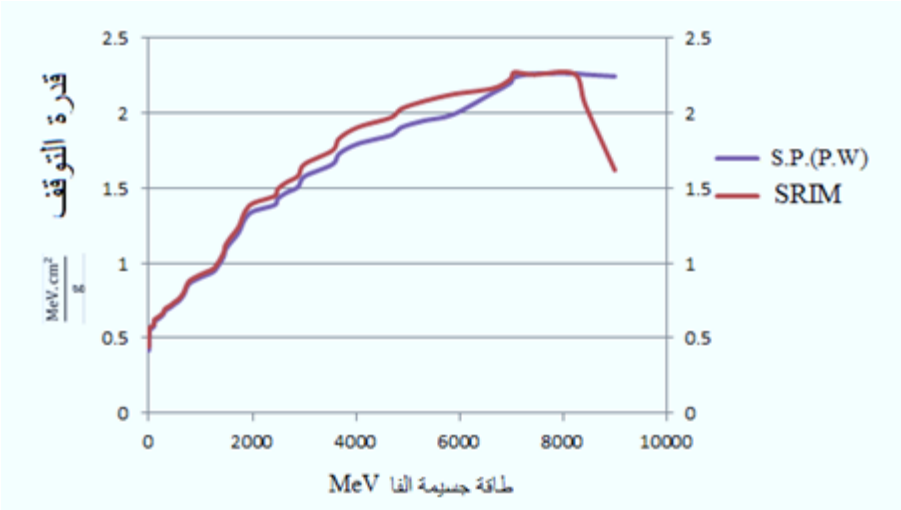
| ت | E (MeV) | جسيمات الفا $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | | الاوكسجين $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | | الكاربون $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S.P.(P.W) | SRIM | S.P.(P.W) | SRIM | S.P.(P.W) | SRIM |
| 1 | 0.02 | 0.4187 | 0.4443 | 0.4954 | 0.4922 | 0.3552 | 0.3726 |
| 2 | 0.10 | 0.4337 | 0.4573 | 0.5087 | 0.5072 | 0.3401 | 0.3559 |
| 3 | 0.2 | 0.4482 | 0.4702 | 0.5218 | 0.5221 | 0.3142 | 0.3272 |
| 4 | 0.40 | 0.4624 | 0.4828 | 0.5348 | 0.5366 | 0.2865 | 0.2978 |
| 5 | 0.70 | 0.4760 | 0.4952 | 0.5476 | 0.5508 | 0.2625 | 0.2736 |
| 6 | 1.30 | 0.4893 | 0.5075 | 0.5603 | 0.5649 | 0.2422 | 0.2533 |
| 7 | 3.45 | 0.5023 | 0.5196 | 0.5729 | 0.5786 | 0.2256 | 0.2361 |
| 8 | 5.40 | 0.5151 | 0.5315 | 0.5853 | 0.5922 | 0.2121 | 0.2213 |

| ت | E (MeV) | جسيمات الفا $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | | الاوكسجين $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | | الكاربون $\frac{MeV.cm^2}{g}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S.P.(P.W) | SRIM | S.P.(P.W) | SRIM | S.P.(P.W) | SRIM |
| 9 | 7.45 | 0.5274 | 0.5432 | 0.5976 | 0.6055 | 0.2005 | 0.2084 |
| 10 | 10.00 | 0.5514 | 0.5662 | 0.6217 | 0.6315 | 0.1902 | 0.1970 |
| 11 | 100.00 | 0.5799 | 0.5938 | 0.6511 | 0.6626 | 0.1808 | 0.1869 |
| 12 | 100.60 | 0.6070 | 0.6204 | 0.6798 | 0.6925 | 0.1642 | 0.1698 |
| 13 | 200.35 | 0.6331 | 0.6463 | 0.7077 | 0.7213 | 0.1502 | 0.1558 |
| 14 | 280.56 | 0.6582 | 0.6713 | 0.7348 | 0.7489 | 0.1383 | 0.1441 |
| 15 | 312.70 | 0.6823 | 0.6955 | 0.7612 | 0.7754 | 0.1281 | 0.1342 |
| 16 | 419.75 | 0.7055 | 0.7189 | 0.7869 | 0.8009 | 0.1194 | 0.1257 |
| 17 | 500.80 | 0.7278 | 0.7416 | 0.8119 | 0.8254 | 0.1120 | 0.1182 |
| 18 | 586.85 | 0.7497 | 0.7638 | 0.8363 | 0.8491 | 0.1000 | 0.1060 |
| 19 | 676.90 | 0.7912 | 0.8063 | 0.8831 | 0.8942 | 0.0910 | 0.0962 |
| 20 | 722.95 | 0.8305 | 0.8468 | 0.9275 | 0.9365 | 0.0839 | 0.0883 |
| 21 | 800.00 | 0.8680 | 0.8856 | 0.9698 | 0.9765 | 0.0783 | 0.0817 |
| 22 | 1000.05 | 0.9037 | 0.9229 | 1.0099 | 1.0149 | 0.0736 | 0.0761 |
| 23 | 1230.16 | 0.9380 | 0.9588 | 1.0481 | 1.0517 | 0.0695 | 0.0713 |
| 24 | 1320.15 | 0.9711 | 0.9937 | 1.0845 | 1.0874 | 0.0659 | 0.0671 |
| 25 | 1433.2 | 1.0337 | 1.0602 | 1.1523 | 1.1556 | 0.0626 | 0.0635 |
| 26 | 1487.25 | 1.0927 | 1.1234 | 1.2143 | 1.2210 | 0.0595 | 0.0602 |
| 27 | 1611.3 | 1.1481 | 1.1833 | 1.2713 | 1.2830 | 0.0566 | 0.0574 |
| 28 | 1734.35 | 1.2006 | 1.2404 | 1.3240 | 1.3419 | 0.0537 | 0.0548 |
| 29 | 1797.4 | 1.2503 | 1.2949 | 1.3731 | 1.3986 | 0.0482 | 0.0503 |
| 30 | 1866.45 | 1.2978 | 1.3471 | 1.4189 | 1.4524 | 0.4208 | 0.4446 |
| 31 | 2012.5 | 1.3428 | 1.3969 | 1.4622 | 1.5040 | 0.4349 | 0.4575 |
| 32 | 2432.55 | 1.3858 | 1.4446 | 1.5031 | 1.5532 | 0.4488 | 0.4704 |
| 33 | 2487.6 | 1.4269 | 1.4904 | 1.5422 | 1.6002 | 0.4623 | 0.4830 |
| 34 | 2654.65 | 1.4663 | 1.5345 | 1.5796 | 1.6454 | 0.4757 | 0.4955 |
| 35 | 2879.76 | 1.5042 | 1.5770 | 0.4954 | 0.4922 | 0.4887 | 0.5077 |
| 36 | 3004.55 | 1.5745 | 1.6558 | 0.5087 | 0.5072 | 0.5015 | 0.5197 |
| 37 | 3543.8 | 1.6547 | 1.7466 | 0.5218 | 0.5221 | 0.5141 | 0.5317 |
| 38 | 3678.85 | 1.7263 | 1.8273 | 0.5348 | 0.5366 | 0.5264 | 0.5434 |
| 39 | 4034.9 | 1.7911 | 1.9007 | 0.5476 | 0.5508 | 0.5504 | 0.5663 |
| 40 | 4674.95 | 1.8485 | 1.9654 | 0.5603 | 0.5649 | 0.5792 | 0.5940 |
| 41 | 4878.32 | 1.9000 | 2.0238 | 0.5729 | 0.5786 | 0.6068 | 0.6206 |

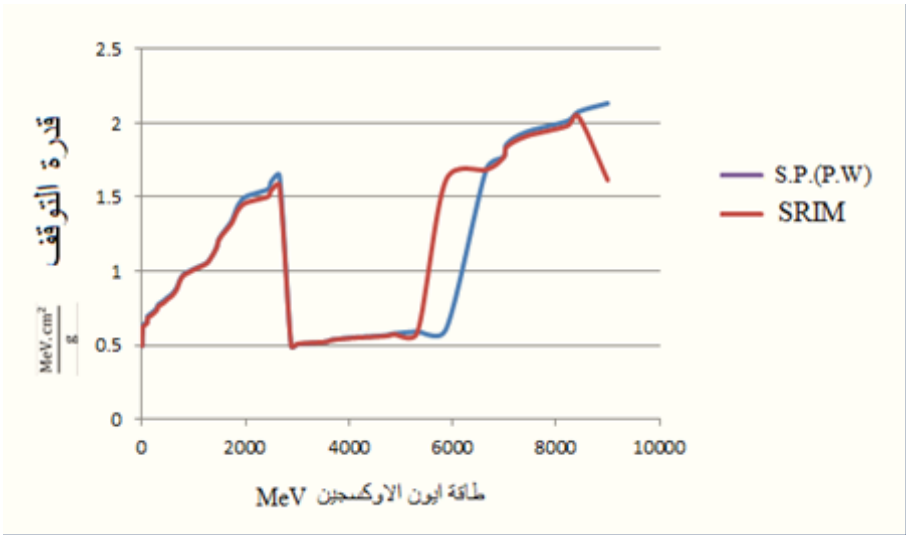
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 42 | 5321.05 | 1.9455 | 2.0748 | 0.5853 | 0.5922 | 0.6332 | 0.6465 |
| 43 | 5875.14 | 1.9858 | 2.1200 | 1.6156 | 0.6055 | 0.6585 | 0.6715 |
| 44 | 6654.15 | 2.1310 | 2.1598 | 1.6841 | 1.6887 | 0.6829 | 0.6957 |
| 45 | 6983.23 | 2.1949 | 2.2219 | 1.7647 | 1.7689 | 0.7064 | 0.7191 |
| 46 | 7054.25 | 2.2324 | 2.2657 | 1.8407 | 1.8602 | 0.7290 | 0.7418 |
| 47 | 7438.34 | 2.2564 | 2.2511 | 1.9127 | 1.9407 | 0.7509 | 0.7640 |
| 48 | 8216.35 | 2.2584 | 2.2563 | 1.9805 | 2.0134 | 0.7926 | 0.8067 |
| 49 | 8436.4 | 2.2513 | 2.0441 | 2.0441 | 2.0768 | 0.8319 | 0.8473 |
| 50 | 9000.00 | 2.2391 | 1.6156 | 1.6156 | 2.1334 | 0.8692 | 0.8862 |

ان الطاقات المستخدمة في العمل الحالي كانت متدرجة من الطاقات الواطئة ابتداءً من(0.02 MeV) لغاية الطاقات العالية نسبياً (90000 MeV ) للجسيم المقذوف والمتمثل بجسيمات الفا وايونات الكاربون والاوكسجين و تأثيرها على الهدف المتمثل في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) المستخدمة في العديد من مجالات الصناعية والطبية .

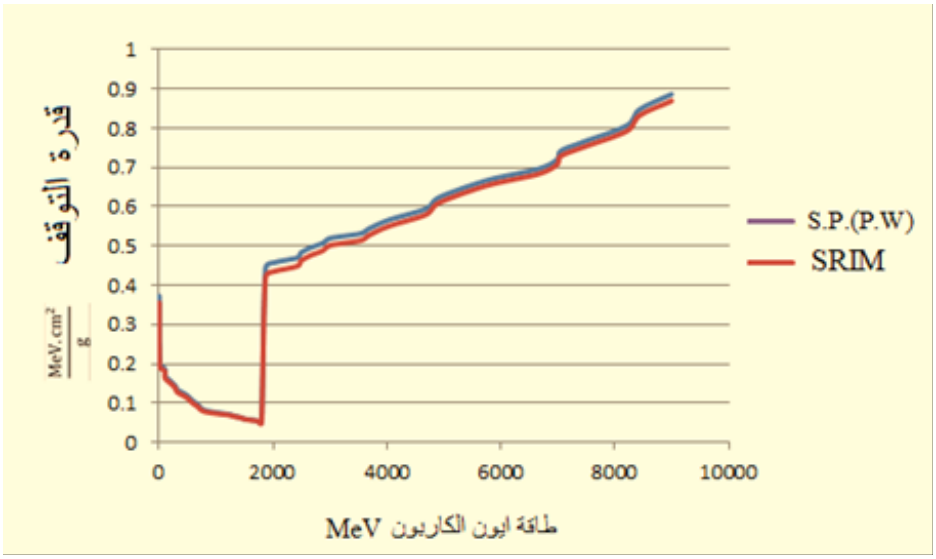
الشكل(1)يمثل قدرة التوقف لجسيمات الفا في مادة البولمر حيث كانت نتائج العمل الحالي متطابقة تماماً مع نتائج برنامج SRIM في الطاقات الواطئة ومتباينة في الطاقات المتوسطة والعالية الشكل(2) يوضح مقارنة بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الاوكسجين حيث كانت النتائج ايضا متطابقة للعمل الحالي مع نتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) للطاقات الواطئة والمتوسطة والعالية نسبياً حيث كان هناك عدم تطابق في الطاقات بين (7000-9000 MeV) ، الشكل(3) يوضح مقارنة بين العمل الحالي و نتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الكاربون حيث كان هناك تطابق الى حد كبير بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الكاربون.




شكل(1) يوضح مقارنة بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة جسيمات الفا




شكل(2) يوضح مقارنة بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM
لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الاوكسجين




شكل(3) يوضح مقارنة بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM
لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الكاربون

## الاستنتاجات

ان معادلة بيث-بلوخ مناسبة لقياس قدرة التوقف لجسيمات الفا و ايونات الكاربون و الاوكسجين لاسيما في الطاقات الواطئة.

كان هناك تطابق عالي في نتائج قدرة التوقف بين العمل الحالي و نتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة ايون الكاربون.

عدم تطابق نتائج قدرة التوقف بين العمل الحالي ونتائج برنامج SRIM لقدرة التوقف في بولمر (PMMA) كدالة لطاقة جسيمات الفا وايون الاوكسجين بالنسبة للطاقات العالية التي تتراوح بين ( MeV 7000 - 9000 MeV ).

## المصادر

1-Alia Hussein Ali, Mohammed Sami Abdul Ali, Mohammed Hamid Abdullah, "Study of the effect of gamma rays on the optical energy gap of polymethyl methacrylate (PMMA) films" Journal of Diyala University, Vol:6, No: 4, pp 6-11, (2010) .

2- Csete, Alexandru. »Experimental investigations of the energy loss of slow protons and antiprotons in matter« Diss. Aarhus U.,( 2002).

3- Raheem, Zeena J., and Bashair M. Saied. "Interaction of heavy ions with brain tissue." AIP Conference Proceedings. Vol. 2123. No. 1. AIP Publishing, 2019.

4- Getachew, Abebe. "Stopping power and range of Protons of variousenergies in Different materials." Depart. of Physics, Addis Ababa University (2007).

5- Lozeva, Radomira» A new developed calorimeter telescope for identification of relativistic heavy ion reaction channels« Diss. PhD thesis, Faculty of Physics ,University of Sofia, (2005).

6- Varentsov, Dmitry. Energy loss dynamics of intense heavy ion beams interacting with dense matter. Diss. Technische Universität,( 2003).

7- Raheem, Zeena J., and Bashair M. Saied. "Energy loss of carbon ion in lung tissue." AIP Conference Proceedings. Vol. 2190. No. 1. AIP Publishing, (2019).