دراسة مقارنة بين علاقتين نظريتين لقدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون باستخدام طريقة التغاير

علي عبد الحميد غصه [1]
د. عبدالله رستناوي [2] د. سليمان ديبو [3]

الملخص

في هذا البحث، قمنا بحساب قدرة الإيقاف لجسيم الفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس Tsoulfanidis مع وبدون تأثير إشعاع الكبح عند المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]$ MeV والمجال الطاقي $[16 - 200]$ MeV والمجال الطاقي $[3000 - 30000]$ MeV يدويا وعن طريق برنامج الإكسل Excel و حساب قدرة الإيقاف أيضا بنفس الطريقة لجسيم الفا في السيليكون عند نفس المجالات من الطاقة بواسطة علاقة بيث–بلوخ Bethe–Bloch ومن ثم مقارنة نتائج هذه العلاقتين بتطبيق طريقة التغاير بواسطة الاكسل Excelحيث تم مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير إشعاع الكبح مع علاقة بيث–بلوخ ومن ثم قمنا بالمقارنة مع وجود تأثير إشعاع الكبح لدراسة الفروقات ومعرفة أسباب هذه الفروقات في نتائج العلاقتين حيث تم ملاحظة أن الاختلاف في نتائج العلاقتين أصبح كبير نوعا ما عند أخذ تأثير إشعاع الكبح بينما بإهمال تأثير إشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس تبين لنا أن نتائجها قريبة من نتائج علاقة بيث–بلوخ وهذا يدل على أهمية أخذ تأثير إشعاع الكبح بعين الاعتبار لكون فقد الطاقة عن طريقة إشعاع الكبح كبيرة مقارنة بفقد الطاقة عن طريقة الاصطدام(التأين والإثارة) وذلك عند الطاقات العالية وهذا ما تم ملاحظته من حساب التغاير بين هاتين العلاقتين رياضيا ومن خلال الرسوم البيانية.

[1] طالب ماجستير فيزياء نظرية في قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

[2] قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

[3] قسم الفيزياء بكلية العلوم في جامعة حمص.

الكلمات المفتاحية: علاقة تسولفانيديس، علاقة بيث–بلوخ، قدرة الإيقاف، طريقة التغاير

A comparative study between two theoretical relationships for the alpha particle stopping power in silicon using the covariance method

Ali Abd alhamed Ghassah[4]
Dr. Abdullah Rastanawi[5] Dr. Solaiman Dibo[6]

Abstract

In this research, we calculated the stopping power of the alpha particle in silicon using the Tsoulfanidis relationship with and without the effect of bremsstrahlung at the energy range E[0.01-4.5], the energy range E[16-200], and the range E[3000-30000] manually and using the Excel program, and also calculated the stopping power in the same way for the alpha particle at the same energy ranges using the Bethe-Bloch relationship, and then compared the results of these two relationships by applying the covariance formula using Excel, where the Tsoulfanidis relationship was compared without the effect of bremsstrahlung with the Bethe-Bloch relationship, and then we compared with the presence of the effect of bremsstrahlung to study the differences and find out the reasons for these differences in the results of the two relationship, where it was noted that the difference in the results of the two relationships became somewhat large when taking into account the effect of bremsstrahlung, while neglecting the effect of bremsstrahlung in the Tsoulfanidis relationship, it became clear to us that its results are close to the results of the Bethe-Bloch relationship , and this indicates that The importance of taking into account the effect of bremsstrahlung is that the energy loss through bremsstrahlung is large compared to the energy loss through collision (ionization and excitation) at high energies. This is what was observed from calculating the covariance between these two relationships mathematically and through graphs.

[4] Master student in Department of Physics- Faculty of Science- Homs University
[5] Department of Physics- Faculty of Science- Homs University.
[6] Department of Physics- Faculty of Science- Homs University.

Keywords: the Tsoulfanidis relationship, the Bethe-Bloch relationship, stopping power, the covariance method.

1. مقدمة

في العديد من المجالات، مثل قياس الجرعات الإشعاعية، وبيولوجيا الإشعاع، والكثير غيرها، مثل الكيمياء الإشعاعية، والعلاج الإشعاعي، والفيزياء النووية، وقدرة الإيقاف، وفقدان الطاقة، وتشتت المدى، ومعدل الجرعة المكافئة للأيونات في الهواء والأنسجة والبوليمرات. هي موضوعات ذات أهمية كبيرة جداً. يتزايد استخدام البروتونات أو الأيونات الأثقل (كجسيم ألفا) كبديل عن حزم الفوتون الخارجية في العلاج الإشعاعي، والسبب هو كونها تحافظ على الجرعة المستهدف بها، وتضمن توصيل جرعة أعلى إلى الورم، ويمكنها نقل الطاقة على شكل جرعة نقطية. من خلال الأنسجة المريضة بسبب منحنى براغ [1]. يتم قياس قدرة إيقاف الجسيمات المشحونة باستخدام مجموعة متنوعة من الطرق، بما في ذلك قياسات فقدان الطاقة المباشرة من خلال الأفلام، والتشتت الخلفي من الركائز السميكة مع طبقات الامتصاص المترسبة، وقياسات الازاحة التجاوبية لغاما gamma resonance shift measurements، وطرق الدعم الذاتي، والتحقق غير المباشر من قدرة الإيقاف. لقد تم الإعلان عن جميع الطرق المعتمدة على فقدان طاقة ألفا في الهواء كطرق لقياس قدرة إيقاف الجسيمات المشحونة في العديد من المراجع منها [2] [3] [4].

على سبيل المثال يمكن استخدام العديد من العلاقات النظرية، التي هي تطوير عن بعضها البعض، من أجل تعيين قدرة الإيقاف. في بحثنا سنقوم بحساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون لكون السيليكون يستخدم بشكل كبير في كواشف الايونات الثقيلة النصف الناقلة من أجل تحديد سماكة النصف الناقل الملائمة لكشف أيونات ثقيلة ذات طاقة معينة أو مجال طاقي معين باستخدام علاقة إلى بيث–بلوخ وبواسطة علاقة تسولفانيديس ومن ثم مقارنة نتائج هاتين العلاقتين مع بعضها البعض بواسطة طريقة التغاير لمعرفة ايهما أفضل في تحديد السماكة.

2. هدف ومشكلة البحث

إن الهدف من هذا البحث، هو دراسة التحسينات التي قام بها الباحثون في تطوير علاقة قدرة الإيقاف والفروقات بين هذه العلاقات من خلال إجراء مقارنة بين العلاقات النظرية عند مجالات طاقية مختلفة باستخدام طريقة التغاير وتفسير هذه الفروقات التي يمكن أن تعود إلى ظاهرة أو ظواهر قامو بملاحظتها وادخالها ك حدود إضافية في علاقاتهم وذلك كان لسعيهم للوصول إلى أدق علاقة نظرية تعطي نتائج مطابقة أو أقرب مايمكن للنتائج التجريبية وكنموذج سنطبق الدراسة على علاقتي تسولفانيديس و بيث–بلوخ كون هاتين العلاقين بينهما فترة زمنية بعيدة.

3. مواد وطرق البحث

3.1. طريقة التغاير(covariance).

يحتوي علم البيانات على العديد من المصطلحات القابلة للتبديل. هو علم تحليل وفهم البيانات لتقديم حل أفضل لمشكلة موجودة. يقوم التغاير بتحديد اتجاه العلاقة بين متغيرين. حيث يتيح لنا معرفة التناسب بين المتغيرين. ويمكن أن يوفر فهماً أساسياً للعلاقة بين المتغيرات. يمكن أن يكون المتغير متناسباً طرداً أو عكساً. تحتاج المتغيرات غير النسبية إلى تقنيات إحصائية متقدمة أخرى لفهمها ومراقبتها ودراستها، يمكن حساب التغاير يدوياً بمعادلة قياسية

$$\text{covariance} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

دلالات الرموز:[5]

- x_i : قيم المتغير الأول الموجودة في مجموعة البيانات.[6]
- $\bar{x}$: القيمة المتوسطة لجميع نقاط x.
- y_i : قيم المتغير الثاني الموجودة في مجموعة البيانات.
- $\bar{y}$: القيمة المتوسطة لجميع نقاط y.
- n : عدد العناصر في مجموعة البيانات.

4. الدراسة النظرية

لقد تم تعريف قدرة الإيقاف من قبل اللجنة الدولية لوحدات وقياسات الإشعاع أو ICRU (تايلور Taylor وآخرون، 1970)[7] على أنها متوسط الطاقة التي يتبددها الإشعاع المؤين في وسط لكل وحدة طول مسار انتقال الإشعاع في الوسط. من المستحيل، بالطبع، التنبؤ بكيفية تفاعل جسيم مشحون مع أي ذرة معينة من الوسط الممتص. وأيضًا، عندما نأخذ في الاعتبار أن القوى

الكولونية للجسيمات المشحونة سوف تتفاعل بشكل متزامن مع العديد من الذرات أثناء انتقالها عبر الوسط الممتص، يمكننا فقط التنبؤ بتأثير متوسط لفقد الطاقة لكل مسافة عبور للجسيم. مع الأخذ في الاعتبار شحنة الجسيم وكتلته وسرعته (طاقته)، والكثافة والعدد الذري للوسط الممتص، اشتق بيث Bethe (1933, 1953) [8,9] علاقة نظرية لقدرة الإيقاف الناتجة عن التفاعلات الكولونية للجسيمات الثقيلة المشحونة (جسيمات ألفا، بروتونات، ديوترونات،...) تنتقل عبر الوسائط الماصة. قام رورليش وكارلسون Rohrlich and Carlson (1954) [10] بتحسين الحسابات لتشمل فقدان الطاقة عبر إشعاع الكبح، وهو أمر مهم عندما تتفاعل الإلكترونات ذات الطاقة العالية وجسيمات بيتا مع ماصات ذات عدد ذري مرتفع. أيضًا، تم إجراء تحسينات على علاقات قدرة الإيقاف في مجالات الطاقة المنخفضة للجسيمات الثقيلة من قبل العديد من الباحثين بما في ذلك بور و ليندهارد Bohr and Lindhard(1954) [11]، ليندهارد و شارف ,1960) [12,13] Lindhard and Scharff(1961 ، نورثكليف Northcliffe(1963) [14] وموزومدر Mozumder وآخرون(1968) [15]. يمكن الحصول على اشتقاقات علاقات قدرة الإيقاف من نصوص فريدلاندر وآخرين(1964) .Friedlander et al [16]، روي وريد Roy(1968) [17] and Reed، سيجري Segre(1968) [18]، وإيفانز Evans(1972) [19]. تم أيضا اشتقاق علاقة لقدرة الإيقاف للجسيمات المشحونة الناتجة عن التفاعلات الكولونية (أي التأين والإثارة المدارية الإلكترونية) بشكل واضح من قبل تسولفانيديس Tsoulfanidis(1995) [20] .

تطبيق علاقة تسولفانيديس وعلاقة بيث–بلوخ من أجل حساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون Si في مجال طاقي محدد ومقارنة نتائج العلاقتين بتطبيق طريقة التغاير.

1.4. قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس

$$\frac{dE}{dx} = 4\pi {r_0}^2 z^2 \frac{mc^2}{\beta^2} NZ \left[\ln\left(\frac{2mc^2}{I}\beta^2\gamma^2\right) - \beta^2\right]$$

دلالات الرموز:

r_0: نصف القطر الكلاسيكي للالكترون

$$r_0 = e^2/mc^2 = 2.81777 \times 10^{-15}\ \text{m}$$

m : كتلة الالكترون السكونية وتساوي 9.109×10^{-31} kg

mc^2: طاقة الالكترون السكونية وتساوي 0.511 MeV

e: شحنة الالكترون -1.602×10^{-19} C

γ: عامل لورنتز ويساوي $1/\sqrt{1-\beta^2}$

$$\gamma = (T + MC^2)/MC^2$$

T: الطاقة الحركية للجسيم الساقط

MC^2 : الطاقة السكونية للجسيم الساقط

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$$

N عدد الذرات /m^3 في المادة التي يعبر الجسيم من خلالها

$$N = \rho(N_A/A)$$

ρ: كثافة المادة (الهدف)

N_A: عدد أفوغادرو ويساوي 6.022×10^{23} atoms/mol

A: الوزن الكتلي (الكتلة الذرية)

Z: العدد الذري للمادة (الهدف)

z: شحنة الجسيم الوارد

I : كمون الإثارة (التأين) الوسطي للمادة

المعادلة التقريبية من أجل كمون الإثارة (التأين) I

$$I(eV) = (9.76 + 58.8Z^{-1.19})Z \qquad Z \geq 13 \text{ أو } Z > 12$$

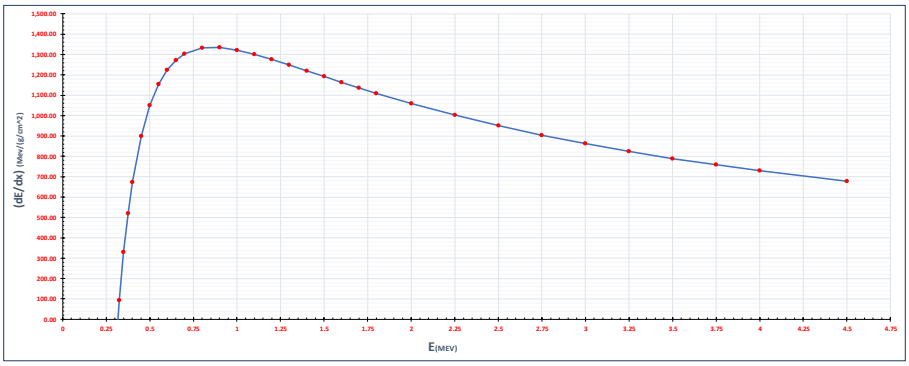
$$I(eV) = \left(12 + \frac{7}{Z}\right)Z \qquad Z < 13$$

قمنا بإدراج هذا الحساب على برنامج اكسل Excel وحساب قدرة الإيقاف.

أولا: بدون تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV

الجدول (1): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]$ MeV .

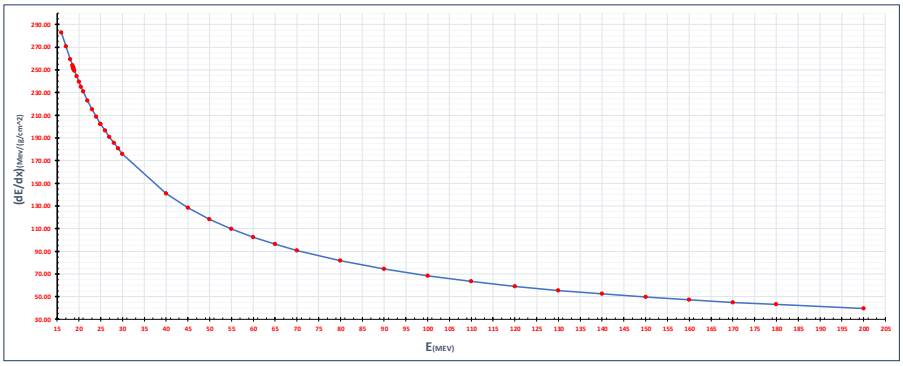
stopping power for alpha particle in silicon لسيليكون في الفا جسيم إيقاف قدرة											
E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/(g/cm^2))	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2	z^2	4πr0^2
0.01	-396955.1267	-92141224.01	-921412.2401	5.32522E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000005	0.511	4	9.97242E-29
0.011	-350912.7344	-81453863.91	-814538.6391	5.85774E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000006	0.511	4	9.97242E-29
0.012	-313338.6908	-72732176.91	-727321.7691	6.39026E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000006	0.511	4	9.97242E-29
0.013	-282161.1972	-65495257.09	-654952.5709	6.92278E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
0.014	-255924.707	-59405242.98	-594052.4298	7.4553E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
0.015	-233578.2348	-54218179.86	-542181.7986	7.98781E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000008	0.511	4	9.97242E-29
0.016	-214344.9517	-49753750.19	-497537.5019	8.52033E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
0.017	-197638.943	-45875951.44	-458759.5144	9.05285E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
0.018	-183010.4183	-42480378.29	-424803.7829	9.58537E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.00001	0.511	4	9.97242E-29
0.02	-158656.469	-36827339.58	-368273.3958	1.06504E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000011	0.511	4	9.97242E-29
0.0225	-135013.2487	-31339275.29	-313392.7529	1.19817E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000012	0.511	4	9.97242E-29
0.025	-116669.6135	-27081350.68	-270813.5068	1.3313E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000013	0.511	4	9.97242E-29
0.0275	-102081.107	-23695066.55	-236950.6655	1.46443E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000015	0.511	4	9.97242E-29
0.03	-90241.86281	-20946941.2	-209469.412	1.59755E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000016	0.511	4	9.97242E-29
0.0325	-80470.4102	-18678791.61	-186787.9161	1.73068E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000017	0.511	4	9.97242E-29
0.035	-72289.70816	-16779887.06	-167798.8706	1.86381E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000019	0.511	4	9.97242E-29
0.0375	-65356.49283	-15170549.12	-151705.4912	1.99694E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.00002	0.511	4	9.97242E-29
0.04	-59417.88031	-13792078.38	-137920.7838	2.13006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000021	0.511	4	9.97242E-29
0.045	-49808.56528	-11561564.17	-115615.6417	2.39632E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000024	0.511	4	9.97242E-29
0.05	-42406.58119	-9843415.625	-98434.15625	2.66257E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000027	0.511	4	9.97242E-29
0.055	-36560.37146	-8486393.423	-84863.93423	2.92882E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000029	0.511	4	9.97242E-29
0.06	-31847.45058	-7392430.229	-73924.30229	3.19507E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000032	0.511	4	9.97242E-29
0.065	-27982.77766	-6495362.351	-64953.62351	3.46132E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000035	0.511	4	9.97242E-29
0.07	-24767.614	-5749058.562	-57490.58562	3.72756E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000037	0.511	4	9.97242E-29
0.08	-19753.87652	-4585269.818	-45852.69818	4.26006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000043	0.511	4	9.97242E-29
0.09	-16055.35305	-3726768.549	-37267.68549	4.79255E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000048	0.511	4	9.97242E-29
0.1	-13239.26568	-3073098.35	-30730.9835	5.32503E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000053	0.511	4	9.97242E-29
0.11	-11040.17165	-2562644.642	-25626.44642	5.85751E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000059	0.511	4	9.97242E-29
0.12	-9287.051821	-2155710.469	-21557.10469	6.38998E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000064	0.511	4	9.97242E-29
0.13	-7865.232873	-1825677.854	-18256.77854	6.92245E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000069	0.511	4	9.97242E-29
0.14	-6695.236218	-1554098.231	-15540.98231	7.45492E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000075	0.511	4	9.97242E-29
0.15	-5720.419086	-1327823.678	-13278.23678	7.98738E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.00008	0.511	4	9.97242E-29
0.16	-4899.440381	-1137258.101	-11372.58101	8.51984E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000085	0.511	4	9.97242E-29
0.17	-4201.4994	-975252.0407	-9752.520407	9.0523E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000091	0.511	4	9.97242E-29
0.18	-3603.232151	-836382.2469	-8363.822469	9.58475E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000096	0.511	4	9.97242E-29
0.2	-2637.628718	-612246.3781	-6122.463781	0.000106496	0.00017225	14	4.977E+28	1.000107	0.511	4	9.97242E-29
0.225	-1743.093053	-404606.7595	-4046.067595	0.000119807	0.00017225	14	4.977E+28	1.00012	0.511	4	9.97242E-29
0.25	-1084.55402	-251746.6792	-2517.466792	0.000133118	0.00017225	14	4.977E+28	1.000133	0.511	4	9.97242E-29
0.275	-587.7378278	-136425.7046	-1364.257046	0.000146428	0.00017225	14	4.977E+28	1.000146	0.511	4	9.97242E-29
0.3	-205.5056606	-47701.97394	-477.0197394	0.000159738	0.00017225	14	4.977E+28	1.00016	0.511	4	9.97242E-29
0.325	93.28727199	21653.84157	216.5384157	0.000173048	0.00017225	14	4.977E+28	1.000173	0.511	4	9.97242E-29
0.35	329.9148941	76579.84523	765.7984523	0.000186357	0.00017225	14	4.977E+28	1.000186	0.511	4	9.97242E-29
0.375	519.3214917	120544.9046	1205.449046	0.000199667	0.00017225	14	4.977E+28	1.0002	0.511	4	9.97242E-29
0.4	672.2588985	156044.7355	1560.447355	0.000212976	0.00017225	14	4.977E+28	1.000213	0.511	4	9.97242E-29
0.45	898.3215464	208518.3973	2085.183973	0.000239593	0.00017225	14	4.977E+28	1.00024	0.511	4	9.97242E-29
0.5	1050.629471	243872.1128	2438.721128	0.000266209	0.00017225	14	4.977E+28	1.000266	0.511	4	9.97242E-29
0.55	1154.2529	267925.1831	2679.251831	0.000292824	0.00017225	14	4.977E+28	1.000293	0.511	4	9.97242E-29
0.6	1224.716835	284281.2718	2842.812718	0.000319438	0.00017225	14	4.977E+28	1.00032	0.511	4	9.97242E-29
0.65	1272.024496	295262.326	2952.62326	0.000346051	0.00017225	14	4.977E+28	1.000346	0.511	4	9.97242E-29
0.7	1302.834879	302414.032	3024.14032	0.000372663	0.00017225	14	4.977E+28	1.000373	0.511	4	9.97242E-29
0.8	1331.816819	309141.3199	3091.413199	0.000425883	0.00017225	14	4.977E+28	1.000426	0.511	4	9.97242E-29
0.9	1334.259069	309708.215	3097.08215	0.0004791	0.00017225	14	4.977E+28	1.000479	0.511	4	9.97242E-29
1	1321.944328	306849.7175	3068.497175	0.000532312	0.00017225	14	4.977E+28	1.000533	0.511	4	9.97242E-29
1.1	1301.37465	302075.0837	3020.750837	0.000585519	0.00017225	14	4.977E+28	1.000586	0.511	4	9.97242E-29
1.2	1276.290532	296252.5583	2962.525583	0.000638723	0.00017225	14	4.977E+28	1.000639	0.511	4	9.97242E-29
1.3	1248.909149	289896.7916	2898.967916	0.000691922	0.00017225	14	4.977E+28	1.000692	0.511	4	9.97242E-29
1.4	1220.571134	283318.9717	2833.189717	0.000745117	0.00017225	14	4.977E+28	1.000746	0.511	4	9.97242E-29
1.5	1192.095495	276709.2063	2767.092063	0.000798308	0.00017225	14	4.977E+28	1.000799	0.511	4	9.97242E-29
1.6	1163.982405	270183.5959	2701.835959	0.000851495	0.00017225	14	4.977E+28	1.000852	0.511	4	9.97242E-29
1.7	1136.53306	263812.0538	2638.120538	0.000904677	0.00017225	14	4.977E+28	1.000905	0.511	4	9.97242E-29
1.8	1109.92252	257635.2152	2576.352152	0.000957855	0.00017225	14	4.977E+28	1.000959	0.511	4	9.97242E-29
2	1059.542899	245941.0977	2459.410977	0.001064198	0.00017225	14	4.977E+28	1.001065	0.511	4	9.97242E-29
2.25	1002.061638	232598.5474	2325.985474	0.001197104	0.00017225	14	4.977E+28	1.001199	0.511	4	9.97242E-29
2.5	950.3722842	220600.4146	2206.004146	0.001329982	0.00017225	14	4.977E+28	1.001332	0.511	4	9.97242E-29
2.75	903.8859141	209809.9984	2098.099984	0.001462835	0.00017225	14	4.977E+28	1.001465	0.511	4	9.97242E-29
3	861.9722782	200081.0052	2000.810052	0.00159566	0.00017225	14	4.977E+28	1.001598	0.511	4	9.97242E-29
3.25	824.0461208	191277.5856	1912.775856	0.00172846	0.00017225	14	4.977E+28	1.001731	0.511	4	9.97242E-29
3.5	789.5922015	183280.1418	1832.801418	0.001861232	0.00017225	14	4.977E+28	1.001865	0.511	4	9.97242E-29
3.75	758.1670433	175985.7341	1759.857341	0.001993979	0.00017225	14	4.977E+28	1.001998	0.511	4	9.97242E-29
4	729.3924196	169306.5684	1693.065684	0.002126699	0.00017225	14	4.977E+28	1.002131	0.511	4	9.97242E-29
4.5	678.555642	157506.3356	1575.063356	0.002392059	0.00017225	14	4.977E+28	1.002398	0.511	4	9.97242E-29



الشكل (1): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV

الجدول (2): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي MeV [200 – 16].

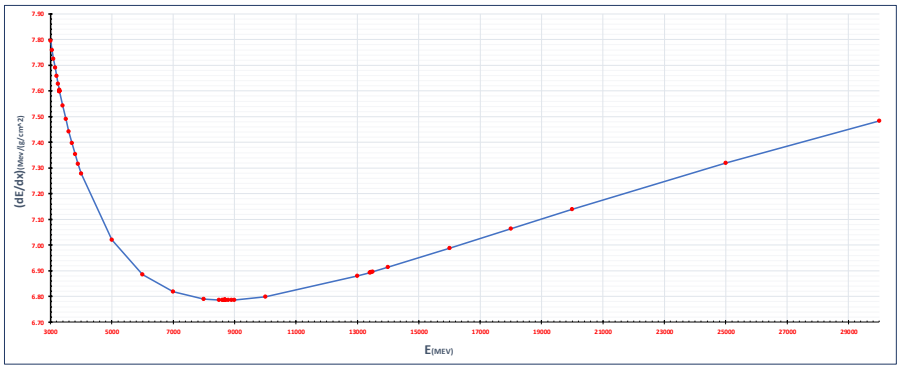
stopping power for alpha particle in silicon قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون											
E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/(g/cm^2)	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2	z^2	4πr₀^2
16	283.0696868	65706.13569	657.0613569	0.008466247	0.00017225	14	4.977E+28	1.008539	0.511	4	9.97242E-29
17	270.6230922	62817.03216	628.1703216	0.008991813	0.00017225	14	4.977E+28	1.009073	0.511	4	9.97242E-29
18	259.3397088	60197.93321	601.9793321	0.009516962	0.00017225	14	4.977E+28	1.009608	0.511	4	9.97242E-29
18.5	254.082677	58977.67099	589.7767099	0.00977938	0.00017225	14	4.977E+28	1.009876	0.511	4	9.97242E-29
18.6	253.0597332	58740.22527	587.4022527	0.009831851	0.00017225	14	4.977E+28	1.009929	0.511	4	9.97242E-29
18.7	252.0459672	58504.90991	585.0490991	0.009884318	0.00017225	14	4.977E+28	1.009983	0.511	4	9.97242E-29
18.72	251.8443041	58458.09986	584.5809986	0.009894811	0.00017225	14	4.977E+28	1.009994	0.511	4	9.97242E-29
18.73177746	251.725719	58430.5739	584.305739	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.97242E-29
18.73177747	251.7257189	58430.57388	584.3057388	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.97242E-29
18.8	251.0412514	58271.69527	582.7169527	0.009936781	0.00017225	14	4.977E+28	1.010037	0.511	4	9.97242E-29
19	249.0584716	57811.45242	578.1145242	0.010041694	0.00017225	14	4.977E+28	1.010144	0.511	4	9.97242E-29
19.5	244.2514114	56695.63762	566.9563762	0.010303904	0.00017225	14	4.977E+28	1.010411	0.511	4	9.97242E-29
20	239.6472186	55626.91237	556.2691237	0.010566009	0.00017225	14	4.977E+28	1.010679	0.511	4	9.97242E-29
20.5	235.2328625	54602.25204	546.0225204	0.01082801	0.00017225	14	4.977E+28	1.010947	0.511	4	9.97242E-29
21	230.9964255	53618.89029	536.1889029	0.011089907	0.00017225	14	4.977E+28	1.011214	0.511	4	9.97242E-29
22	223.0145119	51766.12849	517.6612849	0.01161339	0.00017225	14	4.977E+28	1.01175	0.511	4	9.97242E-29
23.0792	215.0622431	49920.24786	499.2024786	0.012177866	0.00017225	14	4.977E+28	1.012328	0.511	4	9.97242E-29
24	208.7601499	48457.40598	484.5740598	0.012659108	0.00017225	14	4.977E+28	1.012821	0.511	4	9.97242E-29
25	202.3660709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.97242E-29
25	202.3660709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.97242E-29
26	196.3937982	45586.92844	455.8692844	0.013703168	0.00017225	14	4.977E+28	1.013894	0.511	4	9.97242E-29
27	190.8015832	44288.86349	442.8886349	0.014224577	0.00017225	14	4.977E+28	1.01443	0.511	4	9.97242E-29
28	185.5531017	43070.58597	430.7058597	0.014745573	0.00017225	14	4.977E+28	1.014966	0.511	4	9.97242E-29
29	180.6165921	41924.72335	419.2472335	0.015266155	0.00017225	14	4.977E+28	1.015503	0.511	4	9.97242E-29
30	175.9641535	40844.7993	408.447993	0.015786326	0.00017225	14	4.977E+28	1.01604	0.511	4	9.97242E-29
40	140.7791084	32677.64665	326.7764665	0.020965437	0.00017225	14	4.977E+28	1.021414	0.511	4	9.97242E-29
45	128.3957448	29803.22028	298.0322028	0.023539676	0.00017225	14	4.977E+28	1.024107	0.511	4	9.97242E-29
50	118.2088706	27438.64303	274.3864303	0.026103776	0.00017225	14	4.977E+28	1.026803	0.511	4	9.97242E-29
55	109.6685365	25456.26068	254.5626068	0.028657789	0.00017225	14	4.977E+28	1.029503	0.511	4	9.97242E-29
60	102.3963018	23768.22959	237.6822959	0.031201769	0.00017225	14	4.977E+28	1.032207	0.511	4	9.97242E-29
65	96.12277404	22312.01831	223.1201831	0.033735767	0.00017225	14	4.977E+28	1.034914	0.511	4	9.97242E-29
70	90.65070609	21041.8419	210.418419	0.036259837	0.00017225	14	4.977E+28	1.037624	0.511	4	9.97242E-29
80	81.55405346	18930.32689	189.3032689	0.041278396	0.00017225	14	4.977E+28	1.043056	0.511	4	9.97242E-29
90	74.28463516	17242.94951	172.4294951	0.046257857	0.00017225	14	4.977E+28	1.048501	0.511	4	9.97242E-29
100	68.33185699	15861.19064	158.6119064	0.051198624	0.00017225	14	4.977E+28	1.053961	0.511	4	9.97242E-29
110	63.36095078	14707.3439	147.073439	0.056101098	0.00017225	14	4.977E+28	1.059435	0.511	4	9.97242E-29
120	59.14287267	13728.2436	137.282436	0.060965673	0.00017225	14	4.977E+28	1.064924	0.511	4	9.97242E-29
130	55.51538291	12886.23068	128.8623068	0.065792738	0.00017225	14	4.977E+28	1.070426	0.511	4	9.97242E-29
140	52.36020324	12153.85038	121.5385038	0.07058268	0.00017225	14	4.977E+28	1.075943	0.511	4	9.97242E-29
150	49.58898276	11510.59468	115.1059468	0.075335876	0.00017225	14	4.977E+28	1.081474	0.511	4	9.97242E-29
160	47.13433827	10940.8226	109.408226	0.080052702	0.00017225	14	4.977E+28	1.087019	0.511	4	9.97242E-29
170	44.94394437	10432.38837	104.3238837	0.084733529	0.00017225	14	4.977E+28	1.092578	0.511	4	9.97242E-29
180	42.97652386	9975.710719	99.75710719	0.089378721	0.00017225	14	4.977E+28	1.098151	0.511	4	9.97242E-29
200	39.58481476	9188.427202	91.88427202	0.098563641	0.00017225	14	4.977E+28	1.109341	0.511	4	9.97242E-29



الشكل (2): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$

الجدول (3): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي MeV [3000 – 30000].

stopping power for alpha particle in silicon قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون											
E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/(g/cm^2)	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2	z^2	$4\pi r_0^2$
3000	7.794716863	1809.309678	18.09309678	0.690941366	0.00017225	14	4.977E+28	3.235632	0.511	4	9.97242E-29
3050	7.758743822	1800.959616	18.00959616	0.69546586	0.00017225	14	4.977E+28	3.283704	0.511	4	9.97242E-29
3100	7.724155872	1792.931061	17.92931061	0.69989172	0.00017225	14	4.977E+28	3.332131	0.511	4	9.97242E-29
3150	7.690886464	1785.208566	17.85208566	0.704221794	0.00017225	14	4.977E+28	3.380912	0.511	4	9.97242E-29
3200	7.658873147	1777.777635	17.77777635	0.708458825	0.00017225	14	4.977E+28	3.430047	0.511	4	9.97242E-29
3250	7.628057258	1770.624651	17.70624651	0.712605461	0.00017225	14	4.977E+28	3.479537	0.511	4	9.97242E-29
3290	7.604229516	1765.093755	17.65093755	0.715859404	0.00017225	14	4.977E+28	3.519384	0.511	4	9.97242E-29
3295	7.6013011	1764.414011	17.64414011	0.716262258	0.00017225	14	4.977E+28	3.524381	0.511	4	9.97242E-29
3297	7.600132803	1764.142826	17.64142826	0.716423159	0.00017225	14	4.977E+28	3.526381	0.511	4	9.97242E-29
3298	7.599549311	1764.007386	17.64007386	0.716503559	0.00017225	14	4.977E+28	3.527381	0.511	4	9.97242E-29
3298.5	7.599257729	1763.939704	17.63939704	0.716543746	0.00017225	14	4.977E+28	3.527881	0.511	4	9.97242E-29
3298.7521	7.599110754	1763.905588	17.63905588	0.716564005	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.97242E-29
3298.7522	7.599110696	1763.905575	17.63905575	0.716564013	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.97242E-29
3300	7.598383636	1763.73681	17.6373681	0.716664255	0.00017225	14	4.977E+28	3.529382	0.511	4	9.97242E-29
3400	7.542258578	1750.709061	17.50709061	0.724528085	0.00017225	14	4.977E+28	3.630134	0.511	4	9.97242E-29
3500	7.490117598	1738.606097	17.38606097	0.732069016	0.00017225	14	4.977E+28	3.732304	0.511	4	9.97242E-29
3600	7.441622104	1727.349323	17.27349323	0.739304488	0.00017225	14	4.977E+28	3.835893	0.511	4	9.97242E-29
3700	7.396469728	1716.868553	17.16868553	0.746250778	0.00017225	14	4.977E+28	3.940899	0.511	4	9.97242E-29
3800	7.354389639	1707.100923	17.07100923	0.752923094	0.00017225	14	4.977E+28	4.047323	0.511	4	9.97242E-29
3900	7.315138558	1697.989962	16.97989962	0.759335657	0.00017225	14	4.977E+28	4.155165	0.511	4	9.97242E-29
4000	7.278497371	1689.48481	16.8948481	0.765501777	0.00017225	14	4.977E+28	4.264425	0.511	4	9.97242E-29
5000	7.019918028	1629.463373	16.29463373	0.81600764	0.00017225	14	4.977E+28	5.435008	0.511	4	9.97242E-29
6000	6.885485138	1598.25881	15.9825881	0.85179439	0.00017225	14	4.977E+28	6.747383	0.511	4	9.97242E-29
7000	6.818290886	1582.66168	15.8266168	0.878071807	0.00017225	14	4.977E+28	8.201549	0.511	4	9.97242E-29
8000	6.790346007	1576.175115	15.76175115	0.8979332	0.00017225	14	4.977E+28	9.797505	0.511	4	9.97242E-29
8500	6.786061797	1575.180664	15.75180664	0.906091428	0.00017225	14	4.977E+28	10.64866	0.511	4	9.97242E-29
8600	6.785804181	1575.120866	15.75120866	0.907605362	0.00017225	14	4.977E+28	10.82314	0.511	4	9.97242E-29
8650	6.785743162	1575.106703	15.75106703	0.908348637	0.00017225	14	4.977E+28	10.91091	0.511	4	9.97242E-29
8670	6.78573109	1575.103901	15.75103901	0.908643437	0.00017225	14	4.977E+28	10.94612	0.511	4	9.97242E-29
8680	6.785727666	1575.103106	15.75103106	0.908790305	0.00017225	14	4.977E+28	10.96375	0.511	4	9.97242E-29
8690	6.785725972	1575.102713	15.75102713	0.908936818	0.00017225	14	4.977E+28	10.98139	0.511	4	9.97242E-29
8695	6.785725773	1575.102666	15.75102666	0.909009942	0.00017225	14	4.977E+28	10.99021	0.511	4	9.97242E-29
8695.19138	6.785725774	1575.102667	15.75102667	0.909012739	0.00017225	14	4.977E+28	10.99055	0.511	4	9.97242E-29
8696	6.785725784	1575.102669	15.75102669	0.909024557	0.00017225	14	4.977E+28	10.99198	0.511	4	9.97242E-29
8697	6.785725813	1575.102676	15.75102676	0.909039167	0.00017225	14	4.977E+28	10.99374	0.511	4	9.97242E-29
8700	6.785726003	1575.10272	15.7510272	0.909082978	0.00017225	14	4.977E+28	10.99904	0.511	4	9.97242E-29
8800	6.785819412	1575.124402	15.75124402	0.910525431	0.00017225	14	4.977E+28	11.17636	0.511	4	9.97242E-29
8900	6.78607694	1575.184179	15.75184179	0.911933825	0.00017225	14	4.977E+28	11.3551	0.511	4	9.97242E-29
9000	6.786491479	1575.280402	15.75280402	0.913309226	0.00017225	14	4.977E+28	11.53525	0.511	4	9.97242E-29
10000	6.797928877	1577.935251	15.77935251	0.92545542	0.00017225	14	4.977E+28	13.41479	0.511	4	9.97242E-29
13000	6.879216673	1596.803774	15.96803774	0.949759229	0.00017225	14	4.977E+28	19.90415	0.511	4	9.97242E-29
13400	6.892886939	1599.976916	15.99976916	0.952074731	0.00017225	14	4.977E+28	20.86582	0.511	4	9.97242E-29
13435	6.894101197	1600.25877	16.0025877	0.952269683	0.00017225	14	4.977E+28	20.95104	0.511	4	9.97242E-29
13435.4451	6.894116656	1600.262358	16.00262358	0.952272155	0.00017225	14	4.977E+28	20.95213	0.511	4	9.97242E-29
13450	6.894622424	1600.379757	16.00379757	0.95235287	0.00017225	14	4.977E+28	20.98762	0.511	4	9.97242E-29
13500	6.896363392	1600.783871	16.00783871	0.952628594	0.00017225	14	4.977E+28	21.10978	0.511	4	9.97242E-29
14000	6.914047625	1604.888735	16.04888735	0.955258984	0.00017225	14	4.977E+28	22.35086	0.511	4	9.97242E-29
16000	6.98810095	1622.077993	16.22077993	0.963859298	0.00017225	14	4.977E+28	27.66963	0.511	4	9.97242E-29
18000	7.064212443	1639.744992	16.39744992	0.970198694	0.00017225	14	4.977E+28	33.55558	0.511	4	9.97242E-29
20000	7.139855489	1657.303256	16.57303256	0.975005425	0.00017225	14	4.977E+28	40.00868	0.511	4	9.97242E-29
25000	7.32012428	1699.147248	16.99147248	0.982941788	0.00017225	14	4.977E+28	58.62279	0.511	4	9.97242E-29
30000	7.484129506	1737.216141	17.37216141	0.987620955	0.00017225	14	4.977E+28	80.78167	0.511	4	9.97242E-29

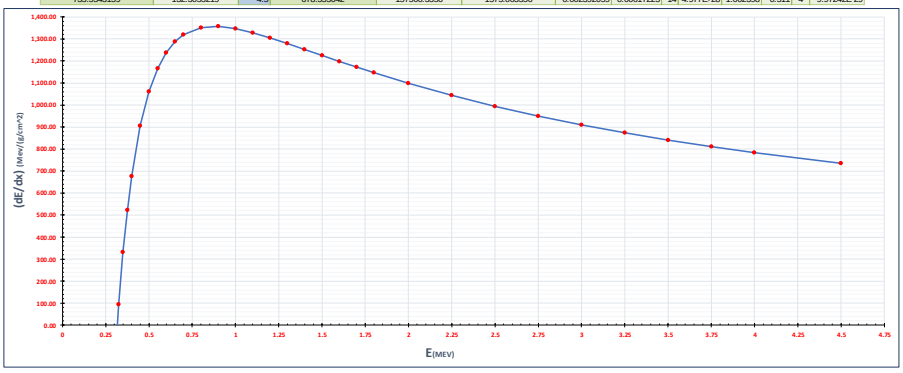


الشكل (3): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$

ثانيا: مع تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$

الجدول (4): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]\ \text{MeV}$.

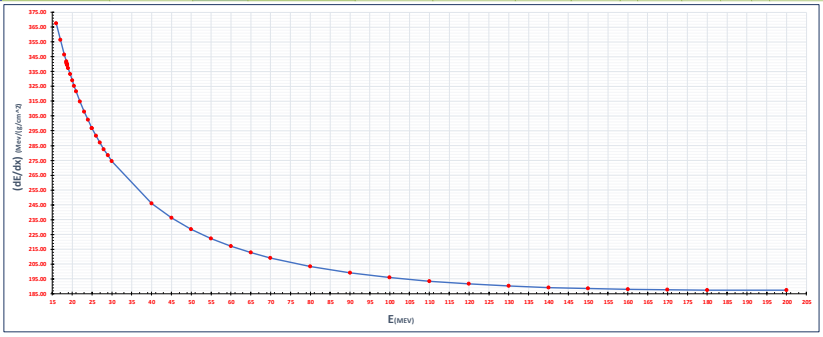
stopping power for alpha particle in silicon قدرة السيليكون على ايقاف الفا جسيم													
(dE/dx)total(Mev/(g/cm^2))	(dE/dx)rad(Mev/cm)	E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/(g/cm^2))	(dE/dx)ion(Mev/cm)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2 z^2	4πr^2	
-397029.225	-171.9969515	0.01	-396955.1267	-92141224.01	-921412.2401	5.32522E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000005	0.511	4	9.97242E-29
-350984.7885	-167.2519339	0.011	-350912.7344	-81453863.91	-814538.6391	5.85774E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000006	0.511	4	9.97242E-29
-313408.8787	-162.9200763	0.012	-313338.6908	-72732176.91	-727321.7691	6.39026E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000006	0.511	4	9.97242E-29
-282229.6683	-158.9351572	0.013	-282161.1972	-65495257.09	-654952.5709	6.92278E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
-255991.5886	-155.2457016	0.014	-255924.707	-59405242.98	-594052.4298	7.4553E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000007	0.511	4	9.97242E-29
-233643.6367	-151.8109036	0.015	-233578.2348	-54218179.86	-542181.7986	7.98781E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000008	0.511	4	9.97242E-29
-214408.9694	-148.5978672	0.016	-214344.9517	-49753750.19	-497537.5019	8.52033E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
-197701.6604	-145.5796859	0.017	-197638.943	-45875951.44	-458759.5144	9.05285E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.000009	0.511	4	9.97242E-29
-183071.9098	-142.734071	0.018	-183010.4183	-42480378.29	-424803.7829	9.58537E-06	0.00017225	14	4.977E+28	1.00001	0.511	4	9.97242E-29
-158715.7007	-137.4887344	0.02	-158656.469	-36827339.58	-368273.3958	1.06504E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000011	0.511	4	9.97242E-29
-135069.9543	-131.6249562	0.0225	-135013.2487	-31339275.29	-313392.7529	1.19817E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000012	0.511	4	9.97242E-29
-116724.0593	-126.3796365	0.025	-116669.6135	-27081350.68	-270813.5068	1.3313E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000013	0.511	4	9.97242E-29
-102133.5086	-121.634675	0.0275	-102081.107	-23695066.55	-236950.6655	1.46443E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000015	0.511	4	9.97242E-29
-90292.39825	-117.3029707	0.03	-90241.88281	-20946941.2	-209469.412	1.59755E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000016	0.511	4	9.97242E-29
-80519.22891	-113.3180025	0.0325	-80470.4102	-18678791.61	-186787.9161	1.73068E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000017	0.511	4	9.97242E-29
-72336.93744	-109.6285954	0.035	-72289.70816	-16779887.06	-167798.8706	1.86381E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000019	0.511	4	9.97242E-29
-65402.24238	-106.1938438	0.0375	-65356.49283	-15170549.12	-151705.4912	1.99694E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.00002	0.511	4	9.97242E-29
-59462.24566	-102.9808519	0.04	-59417.88031	-13792078.38	-137920.7838	2.13006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000021	0.511	4	9.97242E-29
-49850.40447	-97.11713905	0.045	-49808.56528	-11561564.17	-115615.6417	2.39632E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000024	0.511	4	9.97242E-29
-42446.16066	-91.87187917	0.05	-42406.58119	-9843415.625	-98434.15625	2.66257E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000027	0.511	4	9.97242E-29
-36597.90678	-87.12697248	0.055	-36560.37146	-8486393.423	-84863.93423	2.92882E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000029	0.511	4	9.97242E-29
-31883.11972	-82.79521856	0.06	-31847.45058	-7392430.229	-73924.30229	3.19507E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000032	0.511	4	9.97242E-29
-28016.7301	-78.81039652	0.065	-27982.77766	-6495362.351	-64953.62351	3.46132E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000035	0.511	4	9.97242E-29
-24799.97702	-75.12103187	0.07	-24767.614	-5749058.562	-57490.58562	3.72756E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000037	0.511	4	9.97242E-29
-19783.37564	-68.47338261	0.08	-19753.87652	-4585269.818	-45852.69818	4.26006E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000043	0.511	4	9.97242E-29
-16082.32604	-62.60971163	0.09	-16055.35305	-3726768.549	-37267.68549	4.79255E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000048	0.511	4	9.97242E-29
-13263.97898	-57.36450253	0.1	-13239.26568	-3073098.35	-30730.9835	5.32503E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000053	0.511	4	9.97242E-29
-11062.8408	-52.61963665	0.11	-11040.17165	-2562644.642	-25626.44642	5.85751E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000059	0.511	4	9.97242E-29
-9307.854818	-48.2879145	0.12	-9287.051821	-2155710.469	-21557.10469	6.38998E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000064	0.511	4	9.97242E-29
-7884.319171	-44.30311593	0.13	-7865.232873	-1825677.854	-18256.77854	6.92245E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000069	0.511	4	9.97242E-29
-6712.733102	-40.6137671	0.14	-6695.236218	-1554098.231	-15540.98231	7.45492E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000075	0.511	4	9.97242E-29
-5736.436259	-37.17906299	0.15	-5720.419086	-1327823.678	-13278.23678	7.98738E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.00008	0.511	4	9.97242E-29
-4914.073376	-33.96610862	0.16	-4899.440381	-1137258.101	-11372.58101	8.51984E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000085	0.511	4	9.97242E-29
-4214.832158	-30.94799809	0.17	-4201.4994	-975252.0407	-9752.520407	9.0523E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000091	0.511	4	9.97242E-29
-3615.339011	-28.1024435	0.18	-3603.232151	-836382.2469	-8363.822469	9.58475E-05	0.00017225	14	4.977E+28	1.000096	0.511	4	9.97242E-29
-2647.475865	-22.85715811	0.2	-2637.628718	-612246.3781	-6122.463781	0.000106496	0.00017225	14	4.977E+28	1.000107	0.511	4	9.97242E-29
-1750.414044	-16.9934839	0.225	-1743.093053	-404606.7595	-4046.067595	0.000119807	0.00017225	14	4.977E+28	1.00012	0.511	4	9.97242E-29
-1089.615272	-11.74817836	0.25	-1084.55402	-251746.6792	-2517.466792	0.000133118	0.00017225	14	4.977E+28	1.000133	0.511	4	9.97242E-29
-590.754882	-7.003186169	0.275	-587.7378278	-136425.7046	-1364.257046	0.000146428	0.00017225	14	4.977E+28	1.000146	0.511	4	9.97242E-29
-206.6564923	-2.671310541	0.3	-205.5056606	-47701.97394	-477.0197394	0.000159738	0.00017225	14	4.977E+28	1.00016	0.511	4	9.97242E-29
93.85321477	1.313666389	0.325	93.28727199	21653.84157	216.5384157	0.000173048	0.00017225	14	4.977E+28	1.000173	0.511	4	9.97242E-29
332.0703381	5.003216555	0.35	329.9148941	76579.84523	765.7984523	0.000186357	0.00017225	14	4.977E+28	1.000186	0.511	4	9.97242E-29
522.9567421	8.438143325	0.375	519.3214917	120544.9046	1205.449046	0.000199667	0.00017225	14	4.977E+28	1.0002	0.511	4	9.97242E-29
677.2784317	11.65134025	0.4	672.2588985	156044.7355	1560.447355	0.000212976	0.00017225	14	4.977E+28	1.000213	0.511	4	9.97242E-29
905.8674474	17.51554538	0.45	898.3215464	208518.3973	2085.183973	0.000239593	0.00017225	14	4.977E+28	1.00024	0.511	4	9.97242E-29
1060.435346	22.76139719	0.5	1050.629471	243872.1128	2438.721128	0.000266209	0.00017225	14	4.977E+28	1.000266	0.511	4	9.97242E-29
1166.10323	27.50698547	0.55	1154.2529	267925.1831	2679.251831	0.000292824	0.00017225	14	4.977E+28	1.000293	0.511	4	9.97242E-29
1238.433664	31.83950245	0.6	1224.716835	284281.2718	2842.812718	0.000319438	0.00017225	14	4.977E+28	1.00032	0.511	4	9.97242E-29
1287.458393	35.82516222	0.65	1272.024496	295262.326	2952.62326	0.000346051	0.00017225	14	4.977E+28	1.000346	0.511	4	9.97242E-29
1319.858588	39.51543352	0.7	1302.834879	302414.032	3024.14032	0.000372663	0.00017225	14	4.977E+28	1.000373	0.511	4	9.97242E-29
1351.705283	46.16510377	0.8	1331.816819	309141.3199	3091.413199	0.000425883	0.00017225	14	4.977E+28	1.000426	0.511	4	9.97242E-29
1356.674621	52.03098013	0.9	1334.259069	309708.215	3097.08215	0.0004791	0.00017225	14	4.977E+28	1.00048	0.511	4	9.97242E-29
1346.620622	57.27861393	1	1321.944328	306849.7175	3068.497175	0.000532312	0.00017225	14	4.977E+28	1.000533	0.511	4	9.97242E-29
1328.096209	62.02608386	1.1	1301.37465	302075.0837	3020.750837	0.000585519	0.00017225	14	4.977E+28	1.000586	0.511	4	9.97242E-29
1304.87944	66.36057307	1.2	1276.290532	296252.5583	2962.525583	0.000638723	0.00017225	14	4.977E+28	1.000639	0.511	4	9.97242E-29
1279.216011	70.34828809	1.3	1248.909149	289896.7916	2898.967916	0.000691922	0.00017225	14	4.977E+28	1.000692	0.511	4	9.97242E-29
1252.468727	74.04069127	1.4	1220.571134	283318.9717	2833.189717	0.000745117	0.00017225	14	4.977E+28	1.000746	0.511	4	9.97242E-29
1225.474169	77.47857776	1.5	1192.095495	276709.2063	2767.092063	0.000798308	0.00017225	14	4.977E+28	1.000799	0.511	4	9.97242E-29
1198.74668	80.69483399	1.6	1163.982405	270183.5959	2701.835959	0.000851495	0.00017225	14	4.977E+28	1.000852	0.511	4	9.97242E-29
1172.599042	83.71635841	1.7	1136.53306	263812.0538	2638.120538	0.000904677	0.00017225	14	4.977E+28	1.000905	0.511	4	9.97242E-29
1147.215916	86.56543232	1.8	1109.92252	257635.2152	2576.352152	0.000957855	0.00017225	14	4.977E+28	1.000959	0.511	4	9.97242E-29
1099.099167	91.8180098	2	1059.542899	245941.0977	2459.410977	0.001064198	0.00017225	14	4.977E+28	1.001065	0.511	4	9.97242E-29
1044.148227	97.69138992	2.25	1002.061638	232598.5474	2325.985474	0.001197104	0.00017225	14	4.977E+28	1.001199	0.511	4	9.97242E-29
994.7229908	102.9468602	2.5	950.3722842	220600.4146	2206.004146	0.001329982	0.00017225	14	4.977E+28	1.001332	0.511	4	9.97242E-29
950.2853911	107.7024658	2.75	903.8859141	209809.9984	2098.099984	0.001462835	0.00017225	14	4.977E+28	1.001465	0.511	4	9.97242E-29
910.2427258	112.0453629	3	861.9722782	200081.0052	2000.810052	0.00159566	0.00017225	14	4.977E+28	1.001598	0.511	4	9.97242E-29
874.0382521	116.0417352	3.25	824.0461208	191277.5856	1912.775856	0.00172846	0.00017225	14	4.977E+28	1.001731	0.511	4	9.97242E-29
841.178892	119.743026	3.5	789.5922015	183280.1418	1832.801418	0.001861232	0.00017225	14	4.977E+28	1.001865	0.511	4	9.97242E-29
811.2387364	123.1900139	3.75	758.1670433	175985.7341	1759.857341	0.001993979	0.00017225	14	4.977E+28	1.001998	0.511	4	9.97242E-29
783.8537203	126.4155711	4	729.3924196	169306.5684	1693.065684	0.002126699	0.00017225	14	4.977E+28	1.002131	0.511	4	9.97242E-29
735.5543159	132.3053219	4.5	678.555642	157506.3356	1575.063356	0.002392059	0.00017225	14	4.977E+28	1.002398	0.511	4	9.97242E-29



الشكل (4): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV.

الجدول (5): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي MeV [200 – 16] .

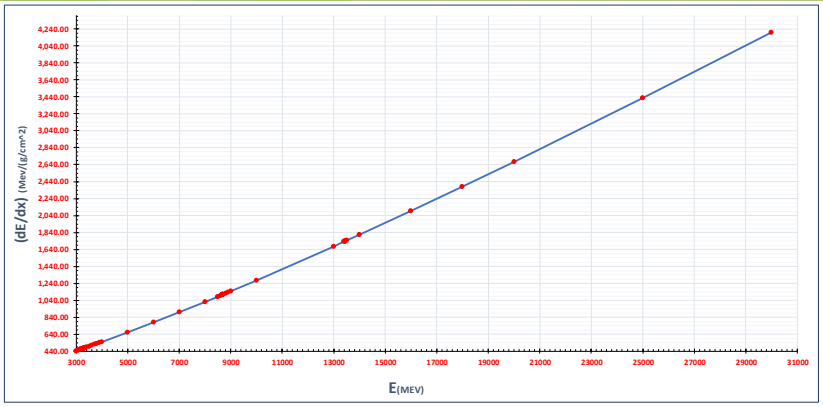
stopping power for alpha particle in silicon قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون													
(dE/dx)total(Mev/[g/cm^2])	(dE/dx)rad(Mev/cm)	E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/[g/cm^2])	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2	z^2	4πr^2
367.6131665	196.2423253	16	283.0696868	65706.13569	657.0613569	0.008466247	0.00017225	14	4.977E+28	1.008539	0.511	4	9.9724E-29
356.5008201	199.3393821	17	270.6230922	62817.03216	628.1703216	0.008991813	0.00017225	14	4.977E+28	1.009073	0.511	4	9.9724E-29
346.477851	202.2650556	18	259.3397088	60197.93321	601.9793321	0.009516962	0.00017225	14	4.977E+28	1.009608	0.511	4	9.9724E-29
341.8258948	203.6695572	18.5	254.082677	58977.67099	589.7767099	0.00977938	0.00017225	14	4.977E+28	1.009876	0.511	4	9.9724E-29
340.9220725	203.9460621	18.6	253.0597332	58740.22527	587.4022527	0.009831851	0.00017225	14	4.977E+28	1.009929	0.511	4	9.9724E-29
340.0268128	204.2211388	18.7	252.0459672	58504.90991	585.0490991	0.009884318	0.00017225	14	4.977E+28	1.009983	0.511	4	9.9724E-29
339.8487777	204.2759842	18.72	251.8443041	58458.09986	584.5809986	0.009894811	0.00017225	14	4.977E+28	1.009994	0.511	4	9.9724E-29
339.7440952	204.3082547	18.73177746	251.725719	58430.5739	584.305739	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.9724E-29
339.7440951	204.3082547	18.73177747	251.7257189	58430.57388	584.3057388	0.00990099	0.00017225	14	4.977E+28	1.01	0.511	4	9.9724E-29
339.1399945	204.4948026	18.8	251.0412514	58271.69527	582.7169527	0.009936781	0.00017225	14	4.977E+28	1.010037	0.511	4	9.9724E-29
337.3912095	205.0379512	19	249.0584716	57811.45242	578.1145242	0.010041694	0.00017225	14	4.977E+28	1.010144	0.511	4	9.9724E-29
333.1589252	206.372121	19.5	244.2514114	56695.63762	566.9563762	0.010303904	0.00017225	14	4.977E+28	1.010411	0.511	4	9.9724E-29
329.1155135	207.6738062	20	239.6472186	55626.91237	556.2691237	0.010566009	0.00017225	14	4.977E+28	1.010679	0.511	4	9.9724E-29
325.2486378	208.9446178	20.5	235.2328625	54602.25204	546.0225204	0.01082801	0.00017225	14	4.977E+28	1.010947	0.511	4	9.9724E-29
321.5470243	210.18605	21	230.9964255	53618.89029	536.1889029	0.011089907	0.00017225	14	4.977E+28	1.011214	0.511	4	9.9724E-29
314.5991381	212.5862343	22	223.0145119	51766.12849	517.6612849	0.01161339	0.00017225	14	4.977E+28	1.01175	0.511	4	9.9724E-29
307.7135808	215.0622851	23.0792	215.0622431	49920.24786	499.2024786	0.012177866	0.00017225	14	4.977E+28	1.012328	0.511	4	9.9724E-29
302.284697	217.0891788	24	208.7601499	48457.40598	484.5740598	0.012659108	0.00017225	14	4.977E+28	1.012821	0.511	4	9.9724E-29
296.8035707	219.2083244	25	202.3660709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.9724E-29
296.8035707	219.2083244	25	202.3660709	46973.21238	469.7321238	0.013181345	0.00017225	14	4.977E+28	1.013357	0.511	4	9.9724E-29
291.710255	221.2485594	26	196.3937982	45586.92844	455.8692844	0.013703168	0.00017225	14	4.977E+28	1.013894	0.511	4	9.9724E-29
286.9655811	223.215872	27	190.8015832	44288.86349	442.8886349	0.014224577	0.00017225	14	4.977E+28	1.01443	0.511	4	9.9724E-29
282.5355228	225.115596	28	185.5531017	43070.58597	430.7058597	0.014745573	0.00017225	14	4.977E+28	1.014966	0.511	4	9.9724E-29
278.3900739	226.9525024	29	180.6165921	41924.72335	419.2472335	0.015266155	0.00017225	14	4.977E+28	1.015503	0.511	4	9.9724E-29
274.5040794	228.7308761	30	175.9641535	40844.7993	408.447993	0.015786326	0.00017225	14	4.977E+28	1.01604	0.511	4	9.9724E-29
245.8941761	243.993095	40	140.7791084	32677.64665	326.7764665	0.020965437	0.00017225	14	4.977E+28	1.021414	0.511	4	9.9724E-29
236.2481704	250.3470503	45	128.3957448	29803.22028	298.0322028	0.023539676	0.00017225	14	4.977E+28	1.024107	0.511	4	9.9724E-29
228.5371497	256.0940017	50	118.2088706	27438.64303	274.3864303	0.026103776	0.00017225	14	4.977E+28	1.026803	0.511	4	9.9724E-29
222.2615672	261.350943	55	109.6685365	25456.26068	254.5626068	0.028657789	0.00017225	14	4.977E+28	1.029503	0.511	4	9.9724E-29
217.0801599	266.2041714	60	102.3963018	23768.22959	237.6822959	0.031201769	0.00017225	14	4.977E+28	1.032207	0.511	4	9.9724E-29
212.7517399	270.7191555	65	96.12277404	22312.01831	223.1201831	0.033735767	0.00017225	14	4.977E+28	1.034914	0.511	4	9.9724E-29
209.1009621	274.9467341	70	90.65070609	21041.8419	210.418419	0.036259837	0.00017225	14	4.977E+28	1.037624	0.511	4	9.9724E-29
203.34144	282.6928815	80	81.55405346	18930.32689	189.3032689	0.041278396	0.00017225	14	4.977E+28	1.043056	0.511	4	9.9724E-29
199.0828222	289.6815518	90	74.28463516	17242.94951	172.4294951	0.046257857	0.00017225	14	4.977E+28	1.048501	0.511	4	9.9724E-29
195.8846567	296.0755587	100	68.33185699	15861.19064	158.6119064	0.051196624	0.00017225	14	4.977E+28	1.053961	0.511	4	9.9724E-29
193.4621031	301.9907947	110	63.36095078	14707.3439	147.073439	0.056101098	0.00017225	14	4.977E+28	1.059435	0.511	4	9.9724E-29
191.6229075	307.5126567	120	59.14287267	13728.2436	137.282436	0.060965673	0.00017225	14	4.977E+28	1.064924	0.511	4	9.9724E-29
190.2327121	312.7058645	130	55.51536291	12886.23068	128.8623068	0.065792738	0.00017225	14	4.977E+28	1.070426	0.511	4	9.9724E-29
189.1948677	317.6206232	140	52.36020324	12153.85038	121.5385038	0.07058268	0.00017225	14	4.977E+28	1.075943	0.511	4	9.9724E-29
188.4381345	322.296651	150	49.58898276	11510.59468	115.1059468	0.075335876	0.00017225	14	4.977E+28	1.081474	0.511	4	9.9724E-29
187.9088952	326.7659016	160	47.13433827	10940.8226	109.408226	0.080052702	0.00017225	14	4.977E+28	1.087019	0.511	4	9.9724E-29
187.5660612	331.0544575	170	44.94394437	10432.38837	104.3238837	0.084733529	0.00017225	14	4.977E+28	1.092578	0.511	4	9.9724E-29
187.377644	335.1838802	180	42.97652386	9975.710719	99.75710719	0.089378721	0.00017225	14	4.977E+28	1.098151	0.511	4	9.9724E-29
187.3681232	343.0346155	200	39.58481476	9188.427202	91.88427202	0.098563641	0.00017225	14	4.977E+28	1.109341	0.511	4	9.9724E-29



الشكل (5): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV

الجدول (6): قدرة أيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع أخذ تأثير اشعاع الكبح في المجال الطاقي MeV [3000 – 30000] .

stopping power for alpha particle in silicon للسيليكون في ألفا جسيم إيقاف قدرة													
(dE/dx)total(Mev/(g/cm^2))	(dE/dx)rad(Mev/cm)	E(MEV)	(dE/dx)ion(Mev/(g/cm^2))	(dE/dx)ion(Mev/m)	(dE/dx)ion(Mev/cm)	β^2	I	Z	N	γ^2	mc^2	z^2	4πr0^2
444.2988612	1013.21342	3000	7.794716863	1809.309678	18.09309678	0.690941366	0.00017225	14	4.977E+28	3.235632	0.511	4	9.9742E-29
449.4898921	1025.346341	3050	7.758743822	1800.959616	18.00959616	0.69546596	0.00017225	14	4.977E+28	3.283704	0.511	4	9.9742E-29
454.695309	1037.509441	3100	7.724155872	1792.931061	17.92931061	0.69989172	0.00017225	14	4.977E+28	3.332131	0.511	4	9.9742E-29
459.9150106	1049.702637	3150	7.690886464	1785.208566	17.85208566	0.704221794	0.00017225	14	4.977E+28	3.380912	0.511	4	9.9742E-29
465.1489958	1061.925841	3200	7.658873147	1777.777635	17.77777635	0.708458825	0.00017225	14	4.977E+28	3.430047	0.511	4	9.9742E-29
470.3968642	1074.178955	3250	7.628057258	1770.624651	17.70624651	0.712605461	0.00017225	14	4.977E+28	3.479537	0.511	4	9.9742E-29
474.6053115	1084.002912	3290	7.604229516	1765.093755	17.65093755	0.715859404	0.00017225	14	4.977E+28	3.519384	0.511	4	9.9742E-29
475.1319941	1085.232245	3295	7.6013011	1764.414011	17.64414011	0.716262258	0.00017225	14	4.977E+28	3.524381	0.511	4	9.9742E-29
475.3427061	1085.724061	3297	7.600132803	1764.142826	17.64142826	0.716423159	0.00017225	14	4.977E+28	3.526381	0.511	4	9.9742E-29
475.4480704	1085.969987	3298	7.599549311	1764.007386	17.64007386	0.716503559	0.00017225	14	4.977E+28	3.527381	0.511	4	9.9742E-29
475.5007546	1086.092955	3298.5	7.599257729	1763.939704	17.63939704	0.716543746	0.00017225	14	4.977E+28	3.527881	0.511	4	9.9742E-29
475.5273185	1086.154956	3298.7521	7.599110754	1763.905588	17.63905588	0.716564005	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.9742E-29
475.5273291	1086.15498	3298.7522	7.599110696	1763.905575	17.63905575	0.716564013	0.00017225	14	4.977E+28	3.528133	0.511	4	9.9742E-29
475.6588156	1086.461875	3300	7.598383636	1763.73681	17.6373681	0.716664255	0.00017225	14	4.977E+28	3.529382	0.511	4	9.9742E-29
486.2242697	1111.116684	3400	7.542258578	1750.709061	17.50709061	0.724528085	0.00017225	14	4.977E+28	3.630134	0.511	4	9.9742E-29
496.8444674	1135.889317	3500	7.490117598	1738.606097	17.38606097	0.732069016	0.00017225	14	4.977E+28	3.732304	0.511	4	9.9742E-29
507.5186275	1160.778745	3600	7.441622104	1727.349323	17.27349323	0.739304488	0.00017225	14	4.977E+28	3.835893	0.511	4	9.9742E-29
518.2459789	1185.783881	3700	7.396469728	1716.868553	17.16868553	0.746250778	0.00017225	14	4.977E+28	3.940899	0.511	4	9.9742E-29
529.0257613	1210.903588	3800	7.354389639	1707.100923	17.07100923	0.752923094	0.00017225	14	4.977E+28	4.047323	0.511	4	9.9742E-29
539.8572256	1236.136692	3900	7.315138558	1697.989962	16.97989962	0.759335657	0.00017225	14	4.977E+28	4.155165	0.511	4	9.9742E-29
550.7396344	1261.481991	4000	7.278497371	1689.48481	16.8948481	0.765501777	0.00017225	14	4.977E+28	4.264425	0.511	4	9.9742E-29
662.2122673	1520.832481	5000	7.019918028	1629.463373	16.29463373	0.81600764	0.00017225	14	4.977E+28	5.435008	0.511	4	9.9742E-29
778.0598206	1790.049867	6000	6.885485138	1598.25881	15.9825881	0.85179439	0.00017225	14	4.977E+28	6.747383	0.511	4	9.9742E-29
897.7416333	2068.011262	7000	6.818293886	1582.66168	15.8266168	0.878071807	0.00017225	14	4.977E+28	8.201549	0.511	4	9.9742E-29
1020.81535	2353.754839	8000	6.790346007	1576.175115	15.76175115	0.8979332	0.00017225	14	4.977E+28	9.797505	0.511	4	9.9742E-29
1083.507867	2499.286654	8500	6.786061797	1575.180664	15.75180664	0.906091428	0.00017225	14	4.977E+28	10.64866	0.511	4	9.9742E-29
1096.133569	2528.594031	8600	6.785804181	1575.120866	15.75120866	0.907605362	0.00017225	14	4.977E+28	10.82314	0.511	4	9.9742E-29
1102.457072	2543.272289	8650	6.785743162	1575.106703	15.75106703	0.908348637	0.00017225	14	4.977E+28	10.91091	0.511	4	9.9742E-29
1104.988451	2549.148153	8670	6.78573109	1575.101901	15.75101901	0.908643437	0.00017225	14	4.977E+28	10.94612	0.511	4	9.9742E-29
1106.254562	2552.087059	8680	6.785727666	1575.103106	15.75103106	0.908790305	0.00017225	14	4.977E+28	10.96375	0.511	4	9.9742E-29
1107.520955	2555.026614	8690	6.785725972	1575.102713	15.75102713	0.908936818	0.00017225	14	4.977E+28	10.98139	0.511	4	9.9742E-29
1108.154257	2556.496634	8695	6.785725773	1575.102666	15.75102666	0.90900942	0.00017225	14	4.977E+28	10.99021	0.511	4	9.9742E-29
1108.178498	2556.552904	8695.19138	6.785725774	1575.102667	15.75102667	0.909012739	0.00017225	14	4.977E+28	10.99055	0.511	4	9.9742E-29
1108.280926	2556.790658	8696	6.785725784	1575.102669	15.75102669	0.909024557	0.00017225	14	4.977E+28	10.99198	0.511	4	9.9742E-29
1108.407597	2557.084688	8697	6.785725813	1575.102676	15.75102676	0.909038167	0.00017225	14	4.977E+28	10.99374	0.511	4	9.9742E-29
1108.787629	2557.966817	8700	6.785726003	1575.10272	15.7510272	0.909082978	0.00017225	14	4.977E+28	10.99904	0.511	4	9.9742E-29
1121.469755	2587.404351	8800	6.785819412	1575.124402	15.75124402	0.910525431	0.00017225	14	4.977E+28	11.17636	0.511	4	9.9742E-29
1134.179659	2616.905983	8900	6.78607694	1575.184179	15.75184179	0.911933825	0.00017225	14	4.977E+28	11.3551	0.511	4	9.9742E-29
1146.91706	2646.471076	9000	6.786491479	1575.280402	15.75280402	0.913309226	0.00017225	14	4.977E+28	11.53525	0.511	4	9.9742E-29
1275.744653	2945.479135	10000	6.797928877	1577.935251	15.77935251	0.92545542	0.00017225	14	4.977E+28	13.41479	0.511	4	9.9742E-29
1676.235796	3874.910492	13000	6.879216673	1596.803774	15.96803774	0.949759229	0.00017225	14	4.977E+28	19.90415	0.511	4	9.9742E-29
1731.033673	4002.075593	13400	6.892886939	1599.976916	15.99976916	0.952074731	0.00017225	14	4.977E+28	20.86582	0.511	4	9.9742E-29
1735.84276	4013.235627	13435	6.894101197	1600.25877	16.0025877	0.952269683	0.00017225	14	4.977E+28	20.95104	0.511	4	9.9742E-29
1735.903932	4013.377584	13435.4451	6.894116656	1600.262358	16.00262358	0.952272155	0.00017225	14	4.977E+28	20.95213	0.511	4	9.9742E-29
1737.904492	4018.02011	13450	6.894622424	1600.379757	16.00379757	0.95285287	0.00017225	14	4.977E+28	20.98762	0.511	4	9.9742E-29
1744.779938	4033.975354	13500	6.896363382	1600.783871	16.00783871	0.952628594	0.00017225	14	4.977E+28	21.10978	0.511	4	9.9742E-29
1813.78516	4194.109227	14000	6.914047625	1604.888735	16.04888735	0.955258984	0.00017225	14	4.977E+28	22.35086	0.511	4	9.9742E-29
2094.100918	4844.606271	16000	6.98810095	1622.077993	16.22077993	0.963859298	0.00017225	14	4.977E+28	27.66963	0.511	4	9.9742E-29
2380.639593	5509.543174	18000	7.064212443	1639.744992	16.39744992	0.970198694	0.00017225	14	4.977E+28	33.55558	0.511	4	9.9742E-29
2672.685905	6187.265489	20000	7.138855489	1657.303256	16.57303256	0.975005425	0.00017225	14	4.977E+28	40.00868	0.511	4	9.9742E-29
3423.378122	7929.353824	25000	7.32012428	1699.147248	16.99147248	0.982941788	0.00017225	14	4.977E+28	58.62279	0.511	4	9.9742E-29
4198.596653	9728.410389	30000	7.484129506	1737.216141	17.37216141	0.987620955	0.00017225	14	4.977E+28	80.78167	0.511	4	9.9742E-29



الشكل (6): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة تسولفانيديس مع تأثير إشعاع الكبح كدالة للطاقة من $E = 3000$ MeV حتى $E = 30000$ MeV

2.4. حساب قدرة الإيقاف لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi r_e^2 \, z^2 \frac{m_e c^2}{\beta^2} \, NZ \left[\ln\left(\frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right]$$

حيث:

$W_{\max}$: أقصى نقل للطاقة في تصادم واحد

$$W_{\max} = \frac{2m_e c^2 \eta^2}{1 + 2s\sqrt{1+\eta^2} + s^2}$$

حيث $s = m_e/M$ و $\eta = \beta\gamma$

إذا كان $M \gg m_e$ فإن

$$W_{\max} \cong 2m_e\, c^2\, \eta^2$$

تصحيحات الطبقات C والكثافة δ.

يتم إعطاء قيم δ بواسطة صيغة عائدة إلى ستيرنهايمر:

$$\delta = \begin{cases} 0 & X < X_0 \\ 4.6052\, X + C_0 + a(X_1 - X)^m & X_0 < X < X_1 \\ 4.6052\, X + C_0 & X > X_1 \end{cases}$$

حيث :

$$X = \log_{10}(\beta\gamma)$$

تعتمد البارامترات X_0 ، X_1 ، C_0، a و m على مادة الامتصاص.

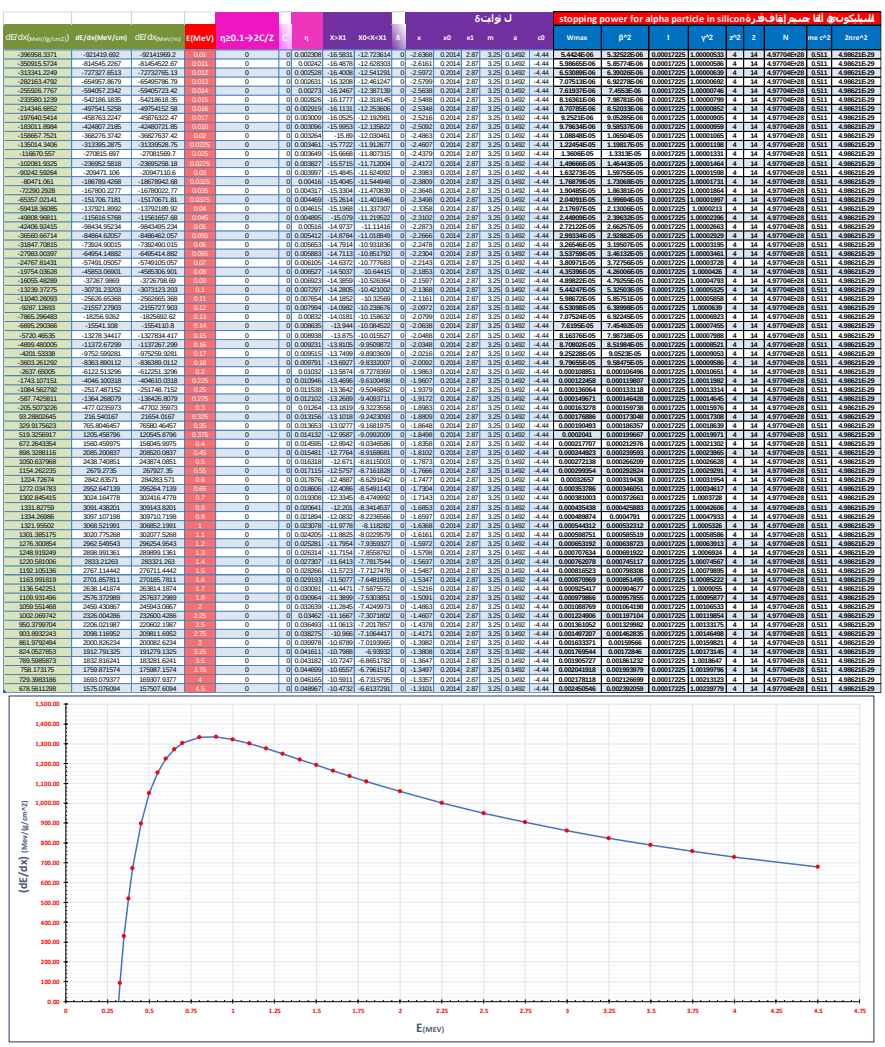
يتم إعطاء الصيغة التجريبية لتصحيح الطبقات (الغلاف) C ، وهي صالحة لـ $\eta \geq 0.1$:

$$C(I,\eta) = (0.422377\,\eta^{-2} + 0.0304043\,\eta^{-4} - 0.00038106\,\eta^{-6}) \times 10^{-6}\, I^2 + (3.850190\,\eta^{-2} - 0.1667989\,\eta^{-4} + 0.00157955\eta^{-6}) \times 10^{-9}\, I^3$$

حيث $\eta = \beta\gamma$ و I هو متوسط كمون الإثارة في eV.

قمنا بإدراج هذا الحساب على برنامج اكسل Excel وحساب قدرة الإيقاف.

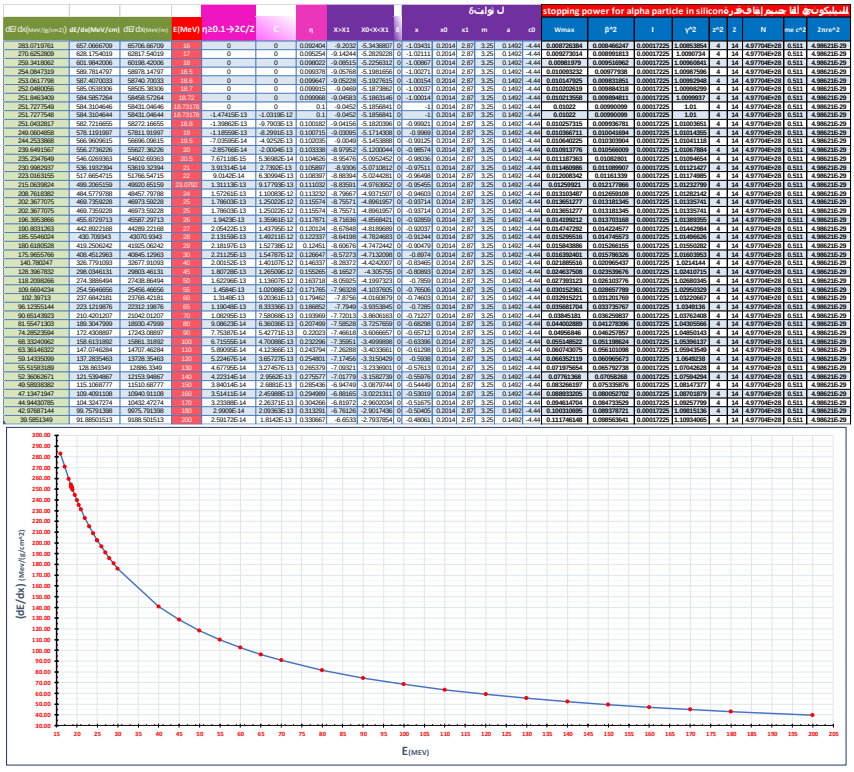
يبين الجدول (7): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]$ MeV.



dE/dx(MeV/g/cm^2)	dE/dx(MeV/cm)	dE/dx(MeV/m)	E(MeV)	η≥0.1→χ2/C2	C	η	X>X1	X0<X<X1	δ	x	x0	x1	m	a	c0	Wmax	β^2	I	γ^2	z^2	Z	N	mc^2	2πnre^2
-396958.3371	-921419.692	-92141999.2	0.01	0	0	0.003098	-16.5831	-12.723614	0	-2.6368	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	5.44245-06	5.3252E-06	0.00017225	1.00000533	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-350915.5724	-814545.2267	-81454522.67	0.011	0	0	0.00242	-16.4878	-12.628303	0	-2.6161	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	5.98665-06	5.8577E-06	0.00017225	1.00000586	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-313941.2249	-727327.6513	-72732765.13	0.012	0	0	0.002528	-16.4008	-12.541291	0	-2.5972	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	6.53085-06	6.3902E-06	0.00017225	1.00000639	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-282163.4792	-654957.8679	-65495786.79	0.013	0	0	0.002631	-16.3208	-12.461247	0	-2.5799	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	7.07513E-06	6.9227E-06	0.00017225	1.00000692	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-255026.7767	-594572.2242	-59457224.42	0.014	0	0	0.00273	-16.2467	-12.387139	0	-2.5639	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	7.61937E-06	7.4453E-06	0.00017225	1.00000746	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-233580.1239	-542186.1835	-54218618.35	0.015	0	0	0.002826	-16.1777	-12.318145	0	-2.5488	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	8.16361E-06	7.9878E-06	0.00017225	1.00000799	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-214346.6852	-497541.5258	-49754152.58	0.016	0	0	0.002919	-16.1131	-12.253606	0	-2.5348	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	8.70785E-06	8.5203E-06	0.00017225	1.00000852	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-197640.5414	-458763.2247	-45876322.47	0.017	0	0	0.003009	-16.0525	-12.193081	0	-2.5216	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	9.25215-06	9.0528E-06	0.00017225	1.00000905	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-183011.8984	-424807.2185	-42480721.85	0.018	0	0	0.003096	-15.9953	-12.135822	0	-2.5092	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	9.79634E-06	9.5853E-06	0.00017225	1.00000959	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-158657.7521	-368276.3742	-36827637.42	0.02	0	0	0.003264	-15.89	-12.030461	0	-2.4863	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.08848E-05	1.0650E-05	0.00017225	1.00001065	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-135014.3406	-313395.2875	-31339528.75	0.0225	0	0	0.003461	-15.7722	-11.912677	0	-2.4607	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.22454E-05	1.1981TE-05	0.00017225	1.00001198	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-116670.557	-270815.697	-27081569.7	0.025	0	0	0.003649	-15.6668	-11.807315	0	-2.4379	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.3606E-05	1.3313E-05	0.00017225	1.00001331	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-102081.9325	-236952.5818	-23695258.18	0.0275	0	0	0.003827	-15.5715	-11.712004	0	-2.4172	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.49668E-05	1.4643E-05	0.00017225	1.00001464	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-90242.59264	-209471.06	-20947110.6	0.03	0	0	0.003997	-15.4845	-11.624992	0	-2.3983	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.63273E-05	1.5975E-05	0.00017225	1.00001598	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-80471.061	-186789.4268	-18678942.68	0.0325	0	0	0.00416	-15.4045	-11.544948	0	-2.3809	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.76879E-05	1.7308E-05	0.00017225	1.00001731	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-72290.2928	-167800.2277	-16780022.77	0.035	0	0	0.004317	-15.3304	-11.470839	0	-2.3648	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	1.90485E-05	1.8638E-05	0.00017225	1.00001864	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-65357.02141	-151706.7181	-15170671.81	0.0375	0	0	0.004469	-15.2634	-11.403946	0	-2.3498	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	2.04091E-05	1.9969E-05	0.00017225	1.00001997	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-59418.36085	-137921.8992	-13792189.92	0.04	0	0	0.004615	-15.1968	-11.337307	0	-2.3358	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	2.17697E-05	2.1300E-05	0.00017225	1.0002213	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-49808.96611	-115616.5768	-11561657.68	0.045	0	0	0.004895	-15.079	-11.219267	0	-2.3102	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	2.40809E-05	2.3992E-05	0.00017225	1.00002398	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-42406.92415	-99434.95234	-9943495.234	0.05	0	0	0.00516	-14.9737	-11.11416	0	-2.2873	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	2.72122E-05	2.6857E-05	0.00017225	1.00002683	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-36500.66714	-84894.62057	-8489462.057	0.055	0	0	0.005412	-14.8784	-11.018849	0	-2.2666	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	2.99334E-05	2.9382E-05	0.00017225	1.00002929	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-31847.70815	-73924.90015	-7392490.015	0.06	0	0	0.005653	-14.7914	-10.931836	0	-2.2479	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	3.26546E-05	3.1950E-05	0.00017225	1.00003195	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-27983.00397	-64954.14882	-6495414.882	0.065	0	0	0.005883	-14.7113	-10.851792	0	-2.2304	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	3.53759E-05	3.4613E-05	0.00017225	1.00003461	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-24767.81431	-57491.05057	-5749105.057	0.07	0	0	0.006105	-14.6372	-10.777683	0	-2.2143	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	3.80971E-05	3.7256E-05	0.00017225	1.00003728	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-19754.03628	-45853.06903	-4585306.903	0.08	0	0	0.006527	-14.5037	-10.64415	0	-2.1853	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	4.35396E-05	4.2609E-05	0.00017225	1.0004426	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-16055.48289	-37267.9869	-3726798.69	0.09	0	0	0.006923	-14.3859	-10.526364	0	-2.1597	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	4.89622E-05	4.7925E-05	0.00017225	1.00004793	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-13239.37275	-30731.23203	-3073123.203	0.1	0	0	0.007297	-14.2805	-10.421002	0	-2.1368	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	5.44247E-05	5.3293E-05	0.00017225	1.00005325	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-11040.26093	-25626.65368	-2562665.368	0.11	0	0	0.007654	-14.1852	-10.32569	0	-2.1161	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	5.98725-05	5.8575E-05	0.00017225	1.00005858	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-9287.12693	-21557.27903	-2155727.903	0.12	0	0	0.007994	-14.0982	-10.238876	0	-2.0972	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	6.53098E-05	6.3898E-05	0.00017225	1.0006439	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-7865.296483	-18256.9262	-1825692.62	0.13	0	0	0.00832	-14.0181	-10.159632	0	-2.0799	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	7.07524E-05	6.9224E-05	0.00017225	1.00006923	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-6695.290366	-15541.108	-1554110.8	0.14	0	0	0.008635	-13.944	-10.084522	0	-2.0638	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	7.63395-05	7.4540E-05	0.00017225	1.00007454	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-5720.46535	-13278.34417	-1327834.417	0.15	0	0	0.008938	-13.875	-10.015527	0	-2.0488	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	8.16376E-05	7.9873E-05	0.00017225	1.00007988	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-4899.480005	-11372.67299	-1137267.299	0.16	0	0	0.009231	-13.8105	-9.9509872	0	-2.0348	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	8.70802E-05	8.5198E-05	0.00017225	1.00008521	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-4201.53138	-9752.599281	-975259.9281	0.17	0	0	0.009515	-13.7496	-9.8903939	0	-2.0216	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	9.2523E-05	9.0523E-05	0.00017225	1.00009053	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-3603.261292	-8363.890112	-836389.0112	0.18	0	0	0.009791	-13.6927	-9.8332007	0	-2.0092	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	9.79655E-05	9.5847E-05	0.00017225	1.00009586	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-2637.65005	-6122.513296	-612251.3296	0.2	0	0	0.01032	-13.5674	-9.7270369	0	-1.9863	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00010855	0.0001064	0.00017225	1.00010651	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-1743.107715	-4046.100318	-404610.0318	0.225	0	0	0.010946	-13.4696	-9.6109498	0	-1.9657	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00012458	0.0001198	0.00017225	1.00011982	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-1084.562792	-2517.487152	-251748.7152	0.25	0	0	0.011538	-13.3642	-9.5048852	0	-1.9379	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00013618	0.0001331	0.00017225	1.00013314	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-587.7425811	-1364.268079	-136426.8079	0.275	0	0	0.012102	-13.2686	-9.4093711	0	-1.9172	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00014671	0.0001464	0.00017225	1.00014645	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
-305.5073226	-477.0235973	-47702.35973	0.3	0	0	0.01264	-13.1819	-9.3223558	0	-1.8983	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00016278	0.0001597	0.00017225	1.00015976	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
93.28802645	216.540167	21654.0167	0.325	0	0	0.013156	-13.1018	-9.2423093	0	-1.8809	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00017686	0.0001734	0.00017225	1.00017308	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
329.9175823	765.8046457	76580.46457	0.35	0	0	0.013653	-13.0277	-9.1681075	0	-1.8648	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00019403	0.0001903	0.00017225	1.00018639	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
519.3256917	1205.458796	120545.8796	0.375	0	0	0.014132	-12.9587	-9.0992009	0	-1.8498	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.0002041	0.0001997	0.00017225	1.00019971	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
672.2643354	1560.459975	156045.9975	0.4	0	0	0.014595	-12.8942	-9.0346586	0	-1.8358	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00021707	0.0002127	0.00017225	1.00021302	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
866.3288116	2085.200837	208520.0837	0.45	0	0	0.015481	-12.7764	-8.9168681	0	-1.8102	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00023483	0.0002305	0.00017225	1.00023065	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1050.637968	2438.740851	243874.0851	0.5	0	0	0.016318	-12.671	-8.8115003	0	-1.7873	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00027213	0.0002662	0.00017225	1.00026628	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1154.260235	2679.2735	267927.35	0.55	0	0	0.017115	-12.5757	-8.7161826	0	-1.7666	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00029954	0.0002928	0.00017225	1.00029281	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1224.72674	2842.83571	284283.571	0.6	0	0	0.017876	-12.4887	-8.6291642	0	-1.7477	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00032657	0.0003194	0.00017225	1.00031954	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1272.034783	2952.647139	295264.7139	0.65	0	0	0.018606	-12.4086	-8.5490143	0	-1.7304	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00035786	0.0003466	0.00017225	1.00034617	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1302.845415	3024.164778	302416.4778	0.7	0	0	0.019308	-12.3345	-8.4748592	0	-1.7143	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00038303	0.0003726	0.00017225	1.0003738	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1331.82759	3091.438201	309143.8201	0.75	0	0	0.020041	-12.2631	-8.3414537	0	-1.6853	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00041538	0.0004038	0.00017225	1.00042836	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1334.26986	3097.107198	309710.7198	0.9	0	0	0.021894	-12.0832	-8.2236566	0	-1.6597	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00049874	0.0004791	0.00017225	1.00047933	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1321.99502	3068.521391	306852.1391	1	0	0	0.023078	-11.9735	-8.116262	0	-1.6368	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00054312	0.0005212	0.00017225	1.0005326	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1301.385175	3020.775268	302077.5268	1.1	0	0	0.024205	-11.8825	-8.0225579	0	-1.6161	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00058751	0.0005851	0.00017225	1.00058586	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1276.30854	2962.549543	296254.9543	1.2	0	0	0.025281	-11.7954	-7.9350327	0	-1.5972	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00063392	0.0006382	0.00017225	1.00063913	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1248.910349	2898.991361	289899.1361	1.3	0	0	0.026314	-11.7154	-7.8558762	0	-1.5796	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00070634	0.0007112	0.00017225	1.00071224	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1220.581006	2833.21263	283321.263	1.4	0	0	0.027307	-11.6413	-7.7817544	0	-1.5637	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00076287	0.0007645	0.00017225	1.00076457	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1192.105136	2767.114442	276711.4442	1.5	0	0	0.028266	-11.5723	-7.7127478	0	-1.5487	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00081523	0.0007698	0.00017225	1.00079895	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1163.991819	2701.857911	270185.7911	1.6	0	0	0.029193	-11.5077	-7.6481955	0	-1.5347	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00087969	0.0008314	0.00017225	1.00085222	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1136.542251	2638.141874	263814.1874	1.7	0	0	0.030091	-11.4471	-7.5875572	0	-1.5216	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00092417	0.0009047	0.00017225	1.0009055	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1109.931496	2576.372989	257637.2989	1.8	0	0	0.030964	-11.3899	-7.5303851	0	-1.5091	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00097866	0.0009578	0.00017225	1.00095877	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1059.551468	2459.430867	245943.0867	2	0	0	0.032639	-11.2845	-7.4249973	0	-1.4863	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00108769	0.0010644	0.00017225	1.00106533	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
1002.069742	2326.004286	232600.4286	2.25	0	0	0.03462	-11.1667	-7.3071802	0	-1.4607	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00122496	0.0011971	0.00017225	1.00119854	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
950.3789704	2206.021987	220602.1987	2.5	0	0	0.036493	-11.0613	-7.2017857	0	-1.4378	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00136162	0.0013298	0.00017225	1.00133175	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
903.8932243	2098.116952	209811.6952	2.75	0	0	0.038274	-10.9662	-7.1064417	0	-1.4171	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00149207	0.0014568	0.00017225	1.00146428	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
861.5792494	2000.826234	200082.6234	3	0	0	0.039978	-10.8789	-7.0193955	0	-1.3982	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00163371	0.0015956	0.00017225	1.00159821	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
824.0527853	1912.791325	191279.1325	3.25	0	0	0.041611	-10.7988	-6.93932	0	-1.3808	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00178944	0.0017484	0.00017225	1.00173345	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
789.5985873	1832.816341	183281.6341	3.5	0	0	0.043182	-10.7247	-6.8851782	0	-1.3647	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00195727	0.0019112	0.00017225	1.00191447	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
758.173175	1759.871574	175987.1574	3.75	0	0	0.044699	-10.6557	-6.7961517	0	-1.3497	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00214918	0.0019937	0.00017225	1.00199796	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
729.3083186	1693.079377	169307.9377	4	0	0	0.046165	-10.5913	-6.7315795	0	-1.3357	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00217615	0.0021269	0.00017225	1.00213123	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29
678.5611298	1575.076694	157607.6694	4.5	0	0	0.048967	-10.4732	-6.6137291	0	-1.3101	0.2014	2.87	3.25	0.1492	-4.44	0.00240584	0.0023926	0.00017225	1.00239779	4	14	4.97704E+28	0.511	4.98621E-29

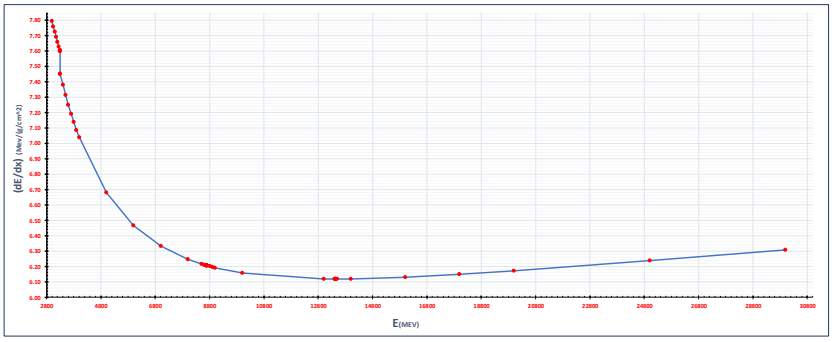
الشكل (7): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ كدالة للطاقة من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV

الجدول (8): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[16 - 200]$ MeV.



الشكل (8): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ كدالة للطاقة من $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV

الجدول (9): قدرة إيقاف جسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي E MeV [3000 – 30000].



الشكل (9): قدرة الإيقاف $\frac{dE}{dx}$ لجسيم ألفا في السيليكون بواسطة علاقة بيث–بلوخ كدالة للطاقة من $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$

5. النتائج والمناقشة

أولا: مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند نفس المجال الطاقي.

- في المجال الطاقي من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$

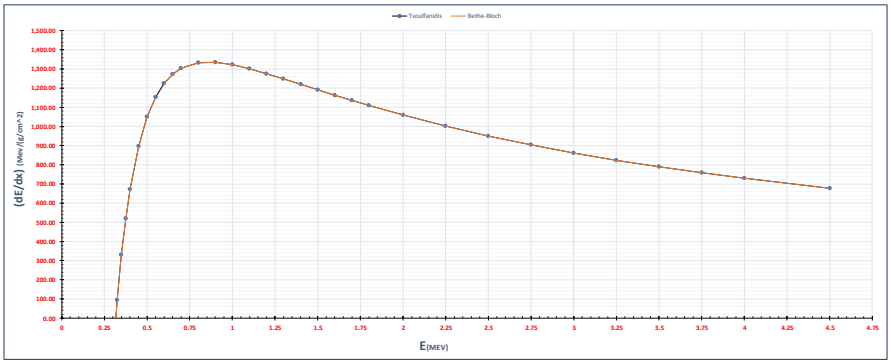
نقوم بتعريف المتغيرات وحساب التغاير عن طريق الاكسل Excel

الجدول (10): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]\ \text{MeV}$.

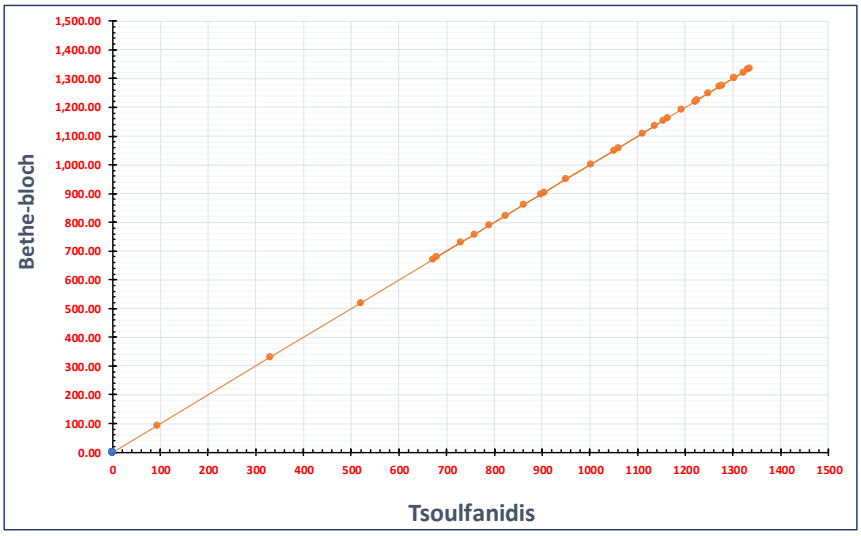
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) بدون تأثير اشعاع الكيرنج مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=0.01 MeV حتى E=4.5 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$ covariance	$(n-1)$ (المعادلة مقام)	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ (المعادلة بسط)	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	x_i
			1.19897E+11	-346260.1745	-346262.9749			-396955.1267	-396958.3371
			90131445699	-300217.7822	-300220.2102	-50694.95217	-50695.36217	-350912.7344	-350915.5724
			68982291338	-262643.7386	-262645.8628			-313338.6908	-313341.2249
8991150116	70	6.29381E+11	53577055885	-231466.245	-231468.117			-282161.1972	-282163.4792
			52523789632	-255924.707	-205231.4146			-255924.707	-255926.7767
			33446565558	-182883.2826	-182884.7617			-233578.2348	-233580.1239
			26781538946	-163649.9995	-163651.3231			-214344.9517	-214346.6852
			21592711063	-146943.9908	-146945.1792			-197638.943	-197640.5414
			17507524157	-132315.4661	-132316.5362			-183010.4183	-183011.8984
			11655783380	-107961.5168	-107962.39			-158656.469	-158657.7521
			7109632632	-84318.29655	-84318.97847			-135013.2487	-135014.3406
			4352691136	-65974.6613	-65975.19487			-116669.6135	-116670.557
			2640558260	-51386.15479	-51386.57038			-102081.107	-102081.9325
			1563970789	-39546.91064	-39547.23047			-90241.86281	-90242.59264
			886585070.7	-29775.45802	-29775.69883			-80470.4102	-80471.061
			466337257.6	-21594.75599	-21594.93063			-72289.70816	-72290.2928
			214962513.1	-14661.54066	-14661.65924			-65356.49283	-65357.02141
			76090090.6	-8722.928134	-8722.99868			-59417.88031	-59418.36085
			785688.0801	886.386894	886.3940627			-49808.56528	-49808.96811
			68697649.15	8288.370984	8288.438016			-42406.58119	-42406.92415
			199787987.7	14134.58071	14134.69502			-36560.37146	-36560.66714
			355231189.2	18847.50159	18847.65402			-31847.45058	-31847.70815
			515847042.9	22712.17451	22712.3582			-27982.77766	-27983.00397
			672232301.3	25927.33817	25927.54786			-24767.614	-24767.81431
			957357905.1	30941.07565	30941.32589			-19753.87652	-19754.03628
			1199911532	34639.59913	34639.87927			-16055.35305	-16055.48289
			1402939797	37455.68649	37455.98941			-13239.26568	-13239.37275
			1572514336	39654.78053	39655.10124			-11040.17165	-11040.26093
			1714628078	41407.90035	41408.23524			-9287.051821	-9287.12693
			1834399691	42829.7193	42830.06568			-7865.232873	-7865.296483
			1935990661	43999.71595	44000.0718			-6695.236218	-6695.290366
			2022724985	44974.53309	44974.89682			-5720.419086	-5720.46535
			2097245862	45795.51179	45795.88216			-4899.440381	-4899.480005
			2161658633	46493.45277	46493.82879			-4201.4994	-4201.53338
			2217648030	47091.72002	47092.10088			-3603.232151	-3603.261292
			2309525016	48057.32345	48057.71212			-2637.628718	-2637.65005
			2396303891	48951.85912	48952.25502			-1743.093053	-1743.107151
			2461211510	49610.39815	49610.79938			-1084.55402	-1084.562792
			2510753235	50107.21434	50107.61959			-587.7378278	-587.7425811
			2549204826	50489.44651	50489.85485			-205.5056606	-205.5073226
			2579466127	50788.23944	50788.65019			93.28727199	93.28802645
			2603558115	51024.86707	51025.27973			329.9148941	329.9175623
			2622923040	51214.27366	51214.68786			519.3214917	519.3256917
			2638611713	51367.21107	51367.6265			672.2588985	672.2643354
			2661887421	51593.27372	51593.69098			898.3215464	898.3288116
			2677626875	51745.58164	51746.00014			1050.629471	1050.637968
			2688361809	51849.20507	51849.6244			1154.2529	1154.262235
			2695673831	51919.66901	51920.08891			1224.716835	1224.72674
			2700588505	51966.97667	51967.39695			1272.024496	1272.034783
			2703791725	51997.78705	51998.20758			1302.834879	1302.845415
			2706806583	52026.76899	52027.18976			1331.816819	1331.82759
			2707060716	52029.21124	52029.63203			1334.259069	1334.26986
			2705779404	52016.8965	52017.31719			1321.944328	1321.95502
			2703639869	51996.32682	51996.74734			1301.37465	1301.385175
			2701031913	51971.2427	51971.66302			1276.290532	1276.300854
			2698186550	51943.86132	51944.28142			1248.909149	1248.919249
			2695243358	51915.52331	51915.94317			1220.571134	1220.581006
			2692287489	51887.04767	51887.4673			1192.095495	1192.105136
			2689370846	51858.93458	51859.35399			1163.982405	1163.991819
			2686524588	51831.48523	51831.90442			1136.53306	1136.542251
			2683766747	51804.87469	51805.29366			1109.92252	1109.931496
			2678549423	51754.49507	51754.91364			1059.542899	1059.551468
			2672602851	51697.01381	51697.43191			1002.061638	1002.069742
			2667261110	51645.32446	51645.74214			950.3722842	950.3799704
			2662461624	51598.83809	51599.25539			903.8859141	903.8932243
			2658137956	51556.92445	51557.34142			861.9722782	861.9792494
			2654228651	51518.99829	51519.41495			824.0461208	824.0527853
			2650679747	51484.54437	51484.96076			789.5922015	789.5985873
			2647444888	51453.11922	51453.53534			758.1670433	758.173175
			2644484604	51424.34459	51424.76049			729.3924196	729.3983186
			2639258650	51373.50781	51373.9233			678.555642	678.5611298

التغاير = 8991150116



الشكل (10): مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV



الشكل (11): يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 0.01$ MeV حتى $E = 4.5$ MeV

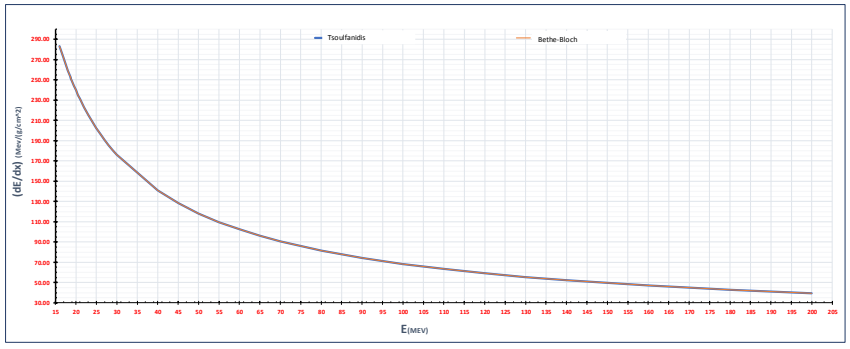
- في المجال الطاقي $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV

الجدول (11): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[16 - 200]$ MeV.

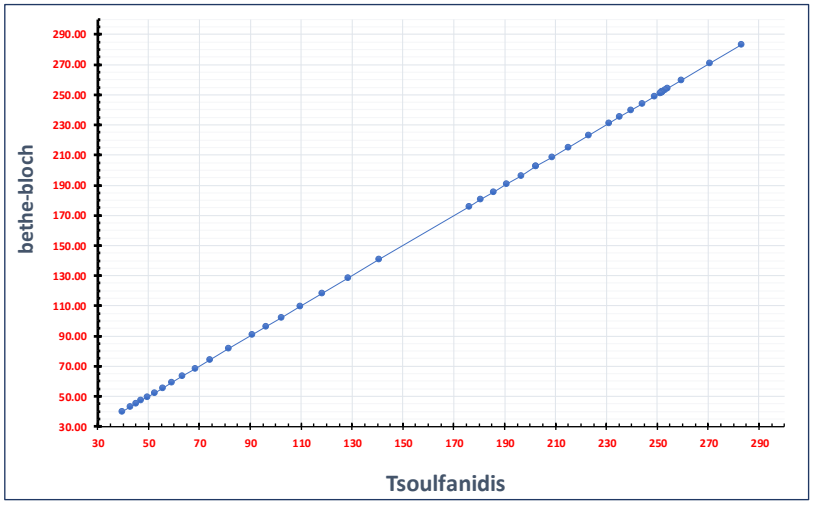
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) بدون تأثير اشعاع الكبح مع Bethe–Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=16 MeV حتى E=200 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$ covariance	$(n-1)$ (المعادلة مقام)	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ (المعادلة بسط)	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	X_i
			14136.36824	118.8959794	118.8969409			283.0696868	283.0719761
			11331.56317	106.4493848	106.4502457	164.1737074	164.1750351	270.6230922	270.6252809
			9056.641072	95.16600142	95.16677108			259.3397088	259.3418062
7148.879354	43	307401.8122	8083.688198	89.90896964	89.90969678			254.082677	254.0847319
			22493.65589	253.0597332	88.88674466			253.0597332	253.0617798
			7721.596493	87.87225981	87.87297048			252.0459672	252.0480056
			7686.195684	87.67059668	87.67130572			251.8443041	251.8463409
			7665.416738	87.55201165	87.55271973			251.725719	251.7277549
			7665.41672	87.55201155	87.55271963			251.7257189	251.7277548
			7546.03123	86.86754401	86.86824655			251.0412514	251.0432817
			7205.481462	84.88476417	84.88545067			249.0584716	249.0604858
			6412.490548	80.07770406	80.07835169			244.2514114	244.2533868
			5696.296959	75.47351119	75.47412158			239.6472186	239.6491567
			5049.444359	71.05915509	71.05972978			235.2328625	235.2347649
			4465.311773	66.82271815	66.82325858			230.9964255	230.9982937
			3462.268273	58.84080448	58.84128036			223.0145119	223.0163155
			2589.664008	50.88853568	50.88894725			215.0622431	215.0639824
			1987.96693	44.58644247	44.58680306			208.7601499	208.7618382
			1458.668429	38.19236353	38.19267241			202.3660709	202.3677075
			1458.668429	38.19236353	38.19267241			202.3660709	202.3677075
			1038.14265	32.22009084	32.22035142			196.3937982	196.3953866
			709.0495045	26.62787581	26.62809116			190.8015832	190.8031263
			457.0821978	21.37939431	21.37956722			185.5531017	185.5546024
			270.3706434	16.44288469	16.44301767			180.6165921	180.6180528
			139.0157431	11.79044608	11.79054144			175.9641535	175.9655766
			547.3116858	-23.3945989	-23.39478814			140.7791084	140.780247
			1280.072961	-35.7779626	-35.77825196			128.3957448	128.3967832
			2112.783311	-45.9648368	-45.96520857			118.2088706	118.2098266
			2970.837684	-54.5051709	-54.50561174			109.6685365	109.6694234
			3816.4787	-61.7774055	-61.77790516			102.3963018	102.39713
			4630.966981	-68.0509333	-68.0514837			96.12277404	96.12355144
			5405.675437	-73.5230013	-73.52359591			90.65070609	90.65143923
			6826.06242	-82.6196539	-82.62032211			81.55405346	81.55471303
			8080.110653	-89.8890722	-89.8897992			74.28463516	74.28523594
			9185.734577	-95.8418504	-95.84262552			68.33185699	68.33240962
			10163.29409	-100.812757	-100.8135719			63.36095078	63.36146322
			11031.56546	-105.030835	-105.0316841			59.14287267	59.14335099
			11806.72696	-108.658324	-108.6592032			55.51538291	55.51583189
			12502.36082	-111.813504	-111.8144084			52.36020324	52.36062671
			13129.7653	-114.584725	-114.5856513			49.58898276	49.58938382
			13698.32471	-117.039369	-117.0403157			47.13433827	47.13471947
			14215.85136	-119.229763	-119.2307273			44.94394437	44.94430785
			14688.87609	-121.197184	-121.1981637			42.97652386	42.97687144
			15522.5177	-124.588893	-124.5899002			39.58481476	39.5851349

التغاير $= 7148.879354$



الشكل (12): مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$



الشكل (13): يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV

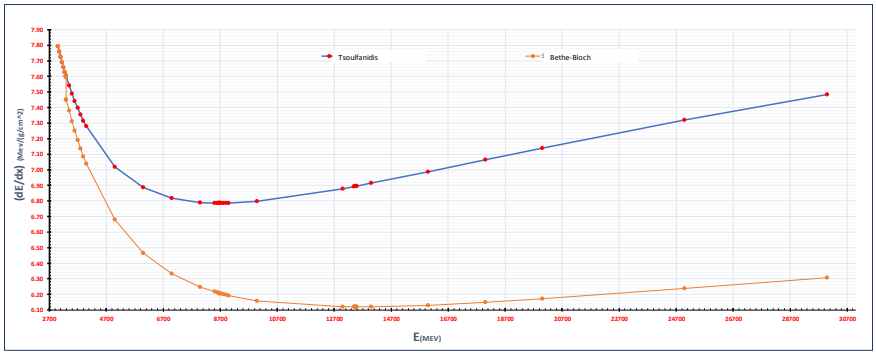
في المجال الطاقي $E = 3000$ MeV حتى $E = 30000$ MeV

الجدول (12): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي MeV [3000 – 30000].

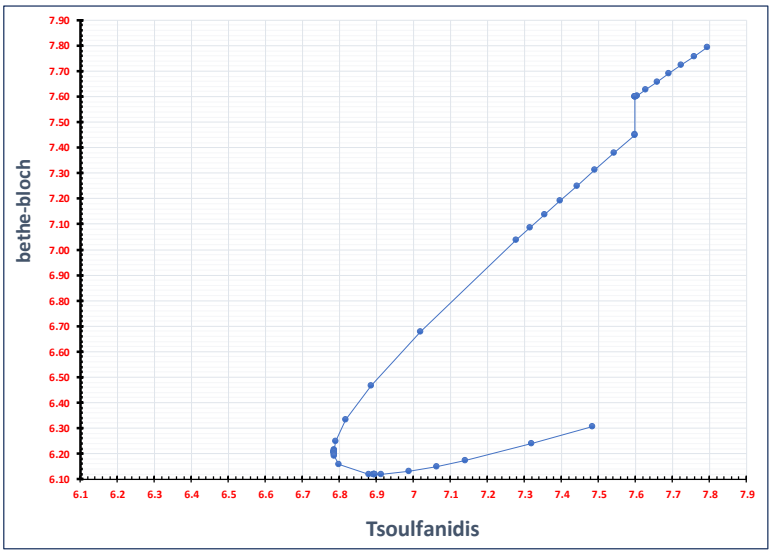
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) بدون تأثير اشعاع الكبح مع Bethe–Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=3000 MeV حتى E=30000 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$ covariance	$(n-1)$ (المعادلة عام)	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ (المعادلة مبسط)	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	x_i
			0.675687595	0.632206095	1.068777413			7.794716863	7.794779903
			0.615791933	0.596233055	1.032804081	7.162510767	6.72600249	7.758743822	7.758806571
			0.560643047	0.561645105	0.998215852			7.724155872	7.724218341
0.35617836	51	18.1650963	0.509854108	0.528375697	0.964946175			7.690886464	7.690948664
			7.145212429	7.658873147	0.932932599			7.658873147	7.658935089
			0.419977151	0.46554649	0.90211646			7.628057258	7.628118949
			0.387956508	0.441718748	0.878288525			7.604229516	7.604291015
			0.384099544	0.438790333	0.875360086			7.6013011	7.601362576
			0.382565587	0.437622036	0.87419178			7.600132803	7.600194269
			0.381800492	0.437038544	0.873608283			7.599549311	7.599610772
			0.381418414	0.436746961	0.873316698			7.599257729	7.599319188
			0.381225889	0.436599987	0.873169722			7.599110754	7.599172212
			0.316541291	0.436599929	0.725014527			7.599110696	7.451017017
			0.315614438	0.435872869	0.724097461			7.598383636	7.450099951
			0.248008878	0.379747811	0.653088369			7.542258578	7.379090859
			0.192207374	0.327606831	0.586701362			7.490117598	7.312703852
			0.146405997	0.279111337	0.524543354			7.441622104	7.250545844
			0.109086577	0.233958961	0.466263727			7.396469728	7.192266217
			0.078967514	0.191878871	0.411548771			7.354389639	7.137551261
			0.054963859	0.152627791	0.36011698			7.315138558	7.08611947
			0.036154769	0.115986604	0.311715045			7.278497371	7.037717535
			0.006681161	-0.14259274	-0.046854846			7.019918028	6.679147644
			0.07204693	-0.27702563	-0.260073158			6.885485138	6.465929332
			0.135381207	-0.344219881	-0.393298627			6.818290886	6.332703862
			0.17815689	-0.37216476	-0.478704351			6.790346007	6.247298138
			0.191718268	-0.37644897	-0.509280894			6.786061797	6.216721596
			0.193864544	-0.376706586	-0.514630088			6.785804181	6.211372401
			0.194870689	-0.376767606	-0.517217209			6.785743162	6.208785281
			0.195260831	-0.376779678	-0.5182361			6.78573109	6.20776639
			0.195453281	-0.376783102	-0.518742163			6.785727666	6.207260327
			0.195643991	-0.376784795	-0.519245982			6.785725972	6.206756507
			0.195738695	-0.376784995	-0.519497054			6.785725773	6.206505436
			0.195742311	-0.376784994	-0.519506653			6.785725774	6.206495837
			0.195757583	-0.376784983	-0.519547201			6.785725784	6.206455289
			0.195776455	-0.376784954	-0.519597326			6.785725813	6.206405164
			0.195832965	-0.376784765	-0.519747568			6.785726003	6.206254922
			0.197628294	-0.376691356	-0.524642498			6.785819412	6.201359992
			0.199255311	-0.376433827	-0.529323607			6.78607694	6.196678882
			0.200718801	-0.376019288	-0.533799216			6.786491479	6.192203274
			0.207385441	-0.36458189	-0.56883089			6.797928877	6.1571716
			0.171845261	-0.283294095	-0.606596692			6.879216673	6.119405798
			0.163667874	-0.269623828	-0.607023032			6.892886939	6.118979457
			0.162931498	-0.268409571	-0.607025665			6.894101197	6.118976825
			0.162922114	-0.268394111	-0.607025664			6.894116656	6.118976826
			0.162614966	-0.267888344	-0.607025164			6.894622424	6.118977326
			0.161555848	-0.266147375	-0.607016501			6.896363392	6.118985989
			0.150660868	-0.248463143	-0.606371094			6.914047625	6.119631396
			0.103918964	-0.174409817	-0.595832078			6.98810095	6.130170412
			0.056718136	-0.098298324	-0.577000031			7.064212443	6.149002459
			0.012541688	-0.022655278	-0.553587883			7.139855489	6.172414607
			-0.07674773	0.157613513	-0.486936228			7.32012428	6.239066261
			-0.134630185	0.321618738	-0.418601807			7.484129506	6.307400683

التغاير = 0.35617836



الشكل (14): مقارنة علاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 3000$ MeV حتى $E = 30000$ MeV



الشكل 15: يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس بدون تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$

ثانيا: مقارنة مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند نفس المجال الطاقي.

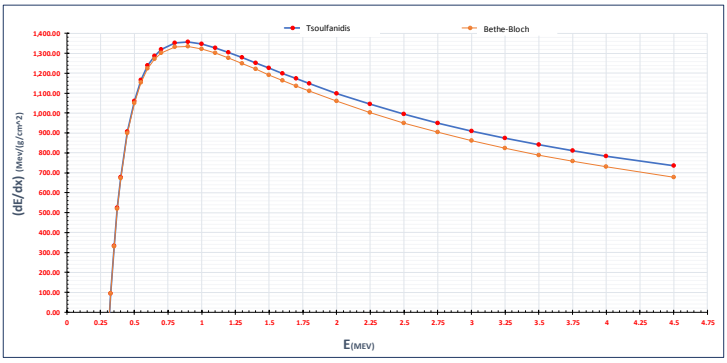
- في المجال الطاقي من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$

الجدول (13): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[0.01 - 4.5]\ \text{MeV}$.

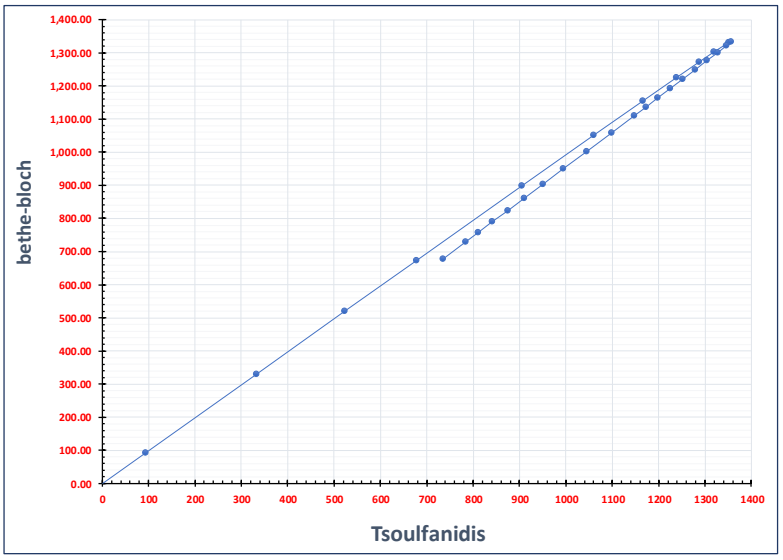
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح مع Bethe–Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=0.01 MeV حتى E=4.5 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$	$(n-1)$	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	X_i
covariance	(المعادلة مقام)	(المعادلة بسط)	1.1992E+11	-346325.4003	-346262.9749			-397029.225	-396958.3371
			90150414089	-300280.9638	-300220.2102	-50703.82466	-50695.36217	-350984.7885	-350915.5724
			68998395568	-262705.054	-262645.8628			-313408.8787	-313341.2249
8993910643	70	6.2957E+11	53590851067	-231525.8436	-231468.117			-282229.6683	-282163.4792
			52537515849	-255991.5886	-205231.4146			-255991.5886	-255926.7767
			33456903926	-182939.812	-182884.7617			-233643.6367	-233580.1239
			26790563532	-163705.1448	-163651.3231			-214408.9694	-214346.6852
			21600623316	-146997.8357	-146945.1792			-197701.6604	-197640.5414
			17514486522	-132368.0851	-132316.5362			-183071.9098	-183011.8984
			11661220286	-108011.8761	-107962.39			-158715.7007	-158657.7521
			7113665868	-84366.12962	-84318.97847			-135069.9543	-135014.3406
			4355697845	-66020.23463	-65975.19487			-116724.0593	-116670.557
			2642795073	-51429.68394	-51386.57038			-102133.5086	-102081.9325
			1565618444	-39588.57359	-39547.23047			-90292.39825	-90242.59264
			887774497.5	-29815.40425	-29775.69883			-80519.22891	-80471.061
			467165569.7	-21633.11277	-21594.93063			-72336.93744	-72290.2928
			215503191.9	-14698.41772	-14661.65924			-65402.24238	-65357.02141
			76399694.78	-8758.420995	-8722.99868			-59462.24566	-59418.36085
			756466.5885	853.420189	886.3940627			-49850.40447	-49808.96811
			68443136.2	8257.663998	8288.438016			-42446.16066	-42406.92415
			199382847.4	14105.91789	14134.69502			-36597.90678	-36560.66714
			354726135.1	18820.70494	18847.65402			-31883.11972	-31847.70815
			515277418.2	22687.09456	22712.3582			-28016.7301	-27983.00397
			671623249.6	25903.84765	25927.54786			-24799.97702	-24767.81431
			956719689.7	30920.44902	30941.32589			-19783.37564	-19754.03628
			1199284533	34621.49862	34639.87927			-16082.32604	-16055.48289
			1402346464	37439.84569	37455.98941			-13263.97898	-13239.37275
			1571967228	39640.98386	39655.10124			-11062.8408	-11040.26093
			1714134057	41395.96984	41408.23524			-9307.854818	-9287.12693
			1833962233	42819.50549	42830.06568			-7884.319171	-7865.296483
			1935611187	43991.09156	44000.0718			-6712.733102	-6695.290366
			2022403654	44967.3884	44974.89682			-5736.436259	-5720.46535
			2096982054	45789.75129	45795.88216			-4914.073376	-4899.480005
			2161451258	46488.9925	46493.82879			-4214.832158	-4201.53338
			2217495716	47088.48565	47092.10088			-3615.339011	-3603.261292
			2309478176	48056.3488	48057.71212			-2647.475865	-2637.65005
			2396379841	48953.41062	48952.25502			-1750.414044	-1743.107151
			2461400588	49614.20939	49610.79938			-1089.615272	-1084.562792
			2511046637	50113.06978	50107.61959			-590.754882	-587.7425811
			2549594691	50497.16817	50489.85485			-206.6564923	-205.5073226
			2579945492	50797.67788	50788.65019			93.85321477	93.28802645
			2604120819	51035.895	51025.27973			332.0703381	329.9175623
			2623563620	51226.7814	51214.68786			522.9567421	519.3256917
			2639325313	51381.10309	51367.6265			677.2784317	672.2643354
			2662734506	51609.69211	51593.69098			905.8674474	898.3288116
			2678593405	51764.26001	51746.00014			1060.435346	1050.637968
			2689436279	51869.92789	51849.6244			1166.10323	1154.262235
			2696846670	51942.25833	51920.08891			1238.433664	1224.72674
			2701851645	51991.28306	51967.39695			1287.458393	1272.034783
			2705138281	52023.68325	51998.20758			1319.858588	1302.845415
			2708302934	52055.52995	52027.18976			1351.705283	1331.82759
			2708688621	52060.49928	52029.63203			1356.674621	1334.26986
			2707524522	52050.44528	52017.31719			1346.620622	1321.95502
			2705490643	52031.92087	51996.74734			1328.096209	1301.385175
			2702978844	52008.7041	51971.66302			1304.87944	1276.300854
			2700221694	51983.04067	51944.28142			1279.216011	1248.919249
			2697359975	51956.29339	51915.94317			1252.468727	1220.581006
			2694479795	51929.29883	51887.4673			1225.474169	1192.105136
			2691633820	51902.57134	51859.35399			1198.74668	1163.991819
			2688853835	51876.4237	51831.90442			1172.599042	1136.542251
			2686158384	51851.04058	51805.29366			1147.215916	1109.931496
			2681055849	51802.92383	51754.91364			1099.099167	1059.551468
			2675237305	51747.97289	51697.43191			1044.148227	1002.069742
			2670009861	51698.54765	51645.74214			994.7229908	950.3799704
			2665313617	51654.11005	51599.25539			950.2853911	903.8932243
			2661084094	51614.06739	51557.34142			910.2427258	861.9792494
			2657261322	51577.86291	51519.41495			874.0382521	824.0527853
			2653792485	51545.00355	51484.96076			841.178892	789.5985873
			2650632135	51515.0634	51453.53534			811.2387364	758.173175
			2647741529	51487.67838	51424.76049			783.8537203	729.3983186
			2642642710	51439.37898	51373.9233			735.5543159	678.5611298

التغاير = 8993910643



الشكل (16): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$



الشكل (17): يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$

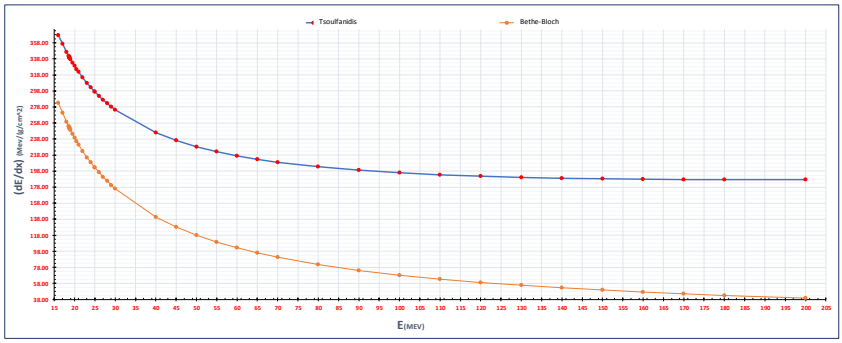
- في المجال الطاقي $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$

الجدول (14): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[16 - 200]\ \text{MeV}$.

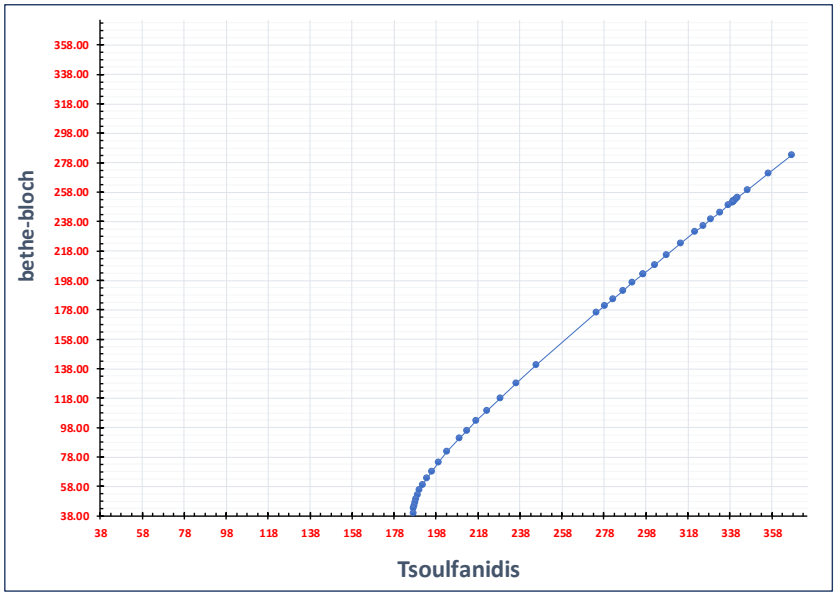
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح مع Bethe-Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=16 MeV حتى E=200 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$ covariance	$(n-1)$ (المعادلة مقام)	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ (المعادلة بسط)	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	X_i
			11541.13629	97.06840397	118.8969409			367.6131665	283.0719761
			9150.043449	85.95605756	106.4502457	270.5447626	164.1750351	356.5008201	270.6252809
			7226.306842	75.9330884	95.16677108			346.477851	259.3418062
5751.121275	43	247298.2148	6408.864988	71.28113226	89.90969678			341.8258948	254.0847319
			30303.45321	340.9220725	88.88674466			340.9220725	253.0617798
			6105.594151	69.48205025	87.87297048			340.0268128	252.0480056
			6075.973497	69.30401512	87.67130572			339.8487777	251.8463409
			6058.589773	69.19933261	87.55271973			339.7440952	251.7277549
			6058.589758	69.19933252	87.55271963			339.7440951	251.7277548
			5958.747524	68.59523199	86.86824655			339.1399945	251.0432817
			5674.290771	66.8464469	84.88545067			337.3912095	249.0604858
			5014.038937	62.61416265	80.07835169			333.1589252	244.2533868
			4420.575977	58.57075094	75.47412158			329.1155135	239.6491567
			3887.242595	54.70387528	71.05972978			325.2486378	235.2347649
			3408.137327	51.00226178	66.82325858			321.5470243	230.9982937
			2592.21586	44.05437551	58.84128036			314.5991381	223.0163155
			1891.482029	37.16881822	50.88894725			307.7135808	215.0639824
			1415.182206	31.73993443	44.58680306			302.284697	208.7618382
			1002.894056	26.25880811	38.19267241			296.8035707	202.3677075
			1002.894056	26.25880811	38.19267241			296.8035707	202.3677075
			681.9596032	21.1654924	32.22035142			291.710255	196.3953866
			437.2550536	16.42081856	26.62809116			286.9655811	190.8031263
			256.3572656	11.99076029	21.37956722			282.5355228	185.5546024
			129.005526	7.845611348	16.44301767			278.3903739	180.6180528
			46.68248928	3.959316842	11.79054144			274.5040794	175.9655766
			576.6952482	-24.65058648	-23.39478814			245.8941761	140.780247
			1227.072116	-34.29659217	-35.77825196			236.2481704	128.3967832
			1930.888684	-42.00761282	-45.96520857			228.5371497	118.2098266
			2631.705099	-48.28319534	-54.50561174			222.2615672	109.6694234
			3302.931151	-53.46460264	-61.77790516			217.0801599	102.39713
			3932.900941	-57.79302268	-68.0514837			212.7517399	96.12355144
			4517.569159	-61.4438005	-73.52359591			209.1009621	90.65143923
			5552.360161	-67.2033226	-82.62032211			203.34144	81.55471303
			6423.699468	-71.46194034	-89.8897992			199.0828222	74.28523594
			7155.620568	-74.66010587	-95.84262552			195.8846567	68.33240962
			7770.978237	-77.0826595	-100.8135719			193.4621031	63.36146322
			8289.295357	-78.9218551	-105.0316841			191.6229075	59.14335099
			8726.643415	-80.31205046	-108.6592032			190.2327121	55.51583189
			9096.090368	-81.34989484	-111.8144084			189.1948677	52.36062671
			9408.241454	-82.10662806	-114.5856513			188.4381345	49.58938382
			9671.727997	-82.63586732	-117.0403157			187.9088952	47.13471947
			9893.610917	-82.9787014	-119.2307273			187.5660612	44.94430785
			10079.70204	-83.16711852	-121.1981637			187.377644	42.97687144
			10362.9692	-83.17663937	-124.5899002			187.3681232	39.5851349

التغاير $=$ 5751.121275



الشكل (18): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث-بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 16$ MeV حتى $E = 200$ MeV



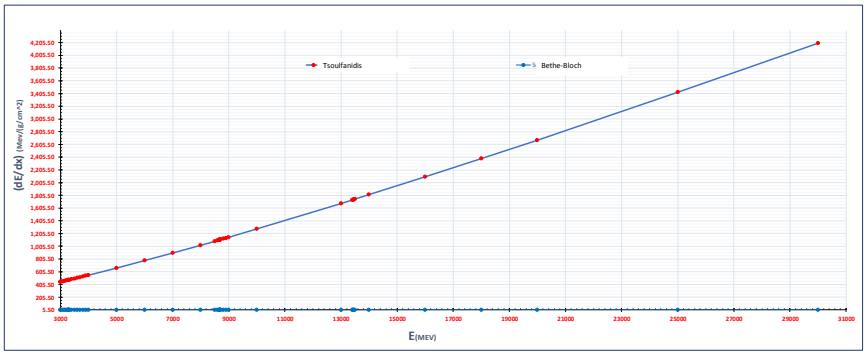
الشكل (19): يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$ في المجال الطاقي $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$

الجدول (15): التغاير لمقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ في المجال الطاقي $[3000 - 30000]\ \text{MeV}$.

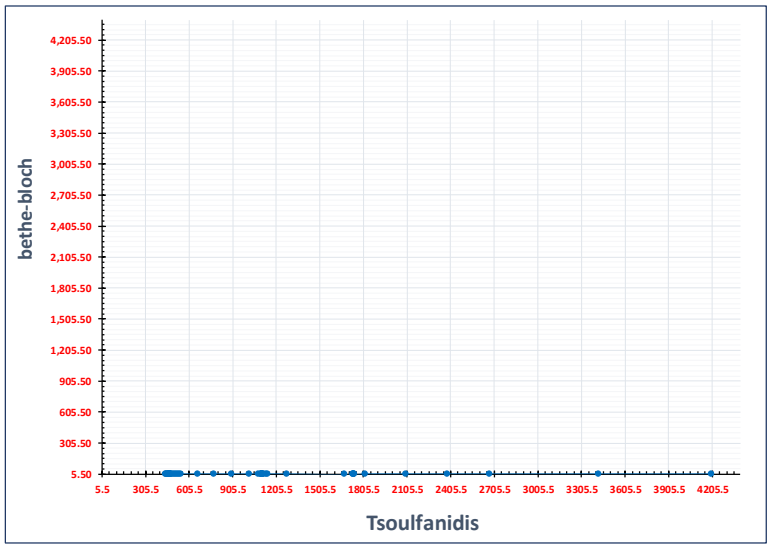
التغاير لمقارنة Tsoulfanidis (1995) مع تأثير اشعاع الكبح مع Bethe–Bloch (1933) في المجال الطاقي من E=3000 MeV حتى E=30000 MeV

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{n-1}$	$(n-1)$	$\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$	$(x_i-\bar{x}).(y_i-\bar{y})$	$y_i-\bar{y}$	$x_i-\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_i	X_i
covariance	(المعادلة مقام)	(المعادلة مبسط)	-702.8506527	-657.62117	1.068777413			444.2988612	7.794779903
			-673.8325105	-652.4301391	1.032804081	1101.920031	6.72600249	449.4898921	7.758806571
			-646.0699772	-647.2247222	0.998215852			454.695309	7.724218341
-317.5704863	51	-16196.0948	-619.5002887	-642.0050206	0.964946175			459.9150106	7.690948664
			433.9525682	465.1488958	0.932932599			465.1488958	7.658935089
			-569.7074436	-631.523167	0.90211646			470.3968642	7.628118949
			-550.9633199	-627.3147197	0.878288525			474.6053115	7.604291015
			-548.66523	-626.7880371	0.875360086			475.1319941	7.601362576
			-547.748747	-626.5773251	0.87419178			475.3427061	7.600194269
			-547.2910938	-626.4719608	0.873608283			475.4480704	7.599610772
			-547.0624141	-626.4192766	0.873316698			475.5007546	7.599319188
			-546.947151	-626.3927127	0.873169722			475.5273185	7.599172212
			-454.1438085	-626.3927021	0.725014527			475.5273291	7.451017017
			-453.4741559	-626.2612155	0.724097461			475.6588156	7.450099951
			-402.1037406	-615.6957615	0.653088369			486.2242697	7.379090859
			-354.9986574	-605.0755638	0.586701362			496.8444674	7.312703852
			-311.7893062	-594.4014037	0.524543354			507.5186275	7.250545844
			-272.146039	-583.6740522	0.466263727			518.2459789	7.192266217
			-235.7739327	-572.8942698	0.411548771			529.0257613	7.137551261
			-202.4083602	-562.0628056	0.36011698			539.8572256	7.08611947
			-171.8112223	-551.1803968	0.311715045			550.7396344	7.037717535
			20.60243969	-439.7077639	-0.046854846			662.2122673	6.679147644
			84.22734759	-323.8602106	-0.260073158			778.0598206	6.465929332
			80.3030836	-204.1783979	-0.393298627			897.7416333	6.332703862
			38.82516393	-81.10468144	-0.478704351			1020.81535	6.247298138
			9.37696347	-18.41216427	-0.509280894			1083.507867	6.216721596
			2.977887702	-5.78646249	-0.514630088			1096.133569	6.211372401
			-0.277766944	0.537041188	-0.517217209			1102.457072	6.208785281
			-1.590165746	3.068419483	-0.5182361			1104.988451	6.20776639
			-2.248504019	4.334531066	-0.518742163			1106.254562	6.207260327
			-2.908257224	5.600923883	-0.519245982			1107.520955	6.206756507
			-3.238661865	6.234225664	-0.519497054			1108.154257	6.206505436
			-3.251315407	6.258467318	-0.519506653			1108.178498	6.206495837
			-3.304784906	6.360894446	-0.519547201			1108.280926	6.206455289
			-3.370921965	6.487566035	-0.519597326			1108.407597	6.206405164
			-3.569417173	6.867597645	-0.519747568			1108.787629	6.206254922
			-10.25661583	19.54972362	-0.524642498			1121.469755	6.201359992
			-17.07578273	32.25962812	-0.529323607			1134.179659	6.196678882
			-24.0193787	44.99702885	-0.533799216			1146.91706	6.192203274
			-98.87681409	173.8246214	-0.56883089			1275.744653	6.1571716
			-348.3780431	574.3157648	-0.606596692			1676.235796	6.119405798
			-381.8864709	629.1136422	-0.607023032			1731.033673	6.118979457
			-384.8073661	633.9227288	-0.607025665			1735.84276	6.118976825
			-384.8444988	633.9839013	-0.607025664			1735.903932	6.118976826
			-386.0585715	635.9844611	-0.607025164			1737.904492	6.118977326
			-390.2265711	642.859907	-0.607016501			1744.779938	6.118985989
			-431.6544367	711.865129	-0.606371094			1813.78516	6.119631396
			-591.1731992	992.1808869	-0.595832078			2094.100918	6.130170412
			-737.8212273	1278.719562	-0.577000031			2380.639593	6.149002459
			-869.5569541	1570.765874	-0.553587883			2672.685905	6.172414607
			-1130.402047	2321.458091	-0.486936228			3423.378122	6.239066261
			-1296.27443	3096.676622	-0.418601807			4198.596653	6.307400683

التغاير $= -317.5704863$



الشكل (20): مقارنة علاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ بدلالة الطاقة من $E = 3000$ MeV حتى $E = 30000$ MeV



الشكل (21): يوضح التغاير لعلاقة تسولفانيديس مع تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث–بلوخ عند حسابها في المجال الطاقي من $E = 3000$ MeV حتى $E = 30000$ MeV

6. الاستنتاجات

عند اهمال تأثير اشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس

1-عند مجال الطاقة المنخفض فإن حد تصحيح الطبقات وحد تصحيح الكثافة في علاقة بيث-بلوخ لم يكن لهم تأثير وبالتالي كانت نتائج هذه العلاقة مطابقة تماما لنتائج علاقة تسولفانيديس.

2-عند مجال الطاقة الأعلى $E \geq 18.73177747$ يدخل حد تصحيح الطبقات $\boldsymbol{C}$ في علاقة بيث-بلوخ وعندها لم نلاحظ فرقا كبيرا ايضا في نتائج العلاقتين وعند الطاقة $E \geq 3298.7522\text{MeV}$ يدخل حد تصحيح الكثافة δ في علاقة بيث-بلوخ وعندها نلاحظ فرق طفيف في نتائج العلاقتين حتى عند الطاقات الكبيرة.

عند ادخال تأثير اشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس

3-عند مجال الطاقة المنخفض جدا فإن حد تصحيح الطبقات وحد تصحيح الكثافة في علاقة بيث-بلوخ لم يكن لهم تأثير و في علاقة تسولفانيديس كان الفقد بالاصطدام كبير مقارنة بالفقد بالإشعاع وبالتالي كان هناك اختلاف طفيف في نتائج هذه العلاقتين.

4-عند مجال الطاقة الأعلى $E \geq 18.73177747$ يدخل حد تصحيح الطبقات $\boldsymbol{C}$ في علاقة بيث-بلوخ و نلاحظ اختلاف في نتائج قدرة الايقاف بين العلاقتين لكن هذا الاختلاف لم يعود لدخول حد تصحيح الطبقات في علاقة بيث-بلوخ وانما يعود السبب بأن فقد الطاقة بإشعاع الكبح اصبح كبير مقارنة بالفقد بالاصطدام في علاقة تسولفانيديس وهو مايفسر وجود الفارق بين النتيجتين وعند الطاقة $E \geq 3298.7522\text{MeV}$ يدخل حد تصحيح الكثافة δ في علاقة بيث-بلوخ ونلاحظ انه أصبح الفارق في نتائج قدرة الايقاف بين العلاقتين كبير جدا وهذا لايعود سببه لدخول حد تصيحيح الكثافة في علاقة بيث-بلوخ الذي جعل الفرق طفيف في نتيجة علاقة بيث-بلوخ وانما سببه ان فقد الطاقة بإشعاع الكبح اصبح كبير جدا مقارنة بالفقد بالاصطدام وهو الذي جعل الفارق كبير بين النتيجتين حيث لاحظنا انه مع زيادة الطاقة تدريجيا تنخفض قيمة فقد الطاقة بالاصطدام و يزداد الفقد بإشعاع الكبح في علاقة تسولفانيديس حتى يصبح الفقد بالاصطدام لايكاد يذكر مقارنة بالفقد بإشعاع الكبح عند الطاقات الكبيرة جدا.

تفسير التغاير covariance

عند مقارنة علاقة تسولفانيديس **بدون** تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث-بلوخ

-عند المجال الطاقي من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو 8991150116 تعني الاشارة الموجبة أن نتائج علاقة تسولفانيديس تميل للتزايد مع تزايد نتائج علاقة بيث-بلوخ ، وإن حجم الرقم كما نلاحظ كبير جداً وهذا يدل على الاتصال القوي بين نتائج العلاقتين، حيث نري ذلك واضحا في الشكل (10) الذي يوضح الاتصال القوي عند المقارنة بين العلاقتين بدلالة الطاقة ومن الشكل (11) الذي يوضح التغاير الموجب في نتائج تلك العلاقتين .

-عند المجال الطاقي من $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو 7148.879354 أيضل تدل الاشارة الموجبة أن نتائج علاقة تسولفانيديس تميل للتزايد مع تزايد نتائج علاقة بيث-بلوخ ، وإن حجم الرقم كما نلاحظ كبير وهذا يدل على الاتصال القوي بين نتائج العلاقتين، حيث نرى ذلك واضحا في الشكل (12) الذي يوضح الاتصال القوي عند المقارنة بين العلاقتين بدلالة الطاقة ومن الشكل (13) الذي يوضح التغاير الموجب في نتائج تلك العلاقتين .

-عند المجال الطاقي $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو 0.35617836 كما نلاحظ الرقم ليس كبير جدا حيث هناك أختلاف طفيف في نتائج تلك العلاقتين نرى ذلك واضحا في الشكل (14) و الشكل (15).

عند مقارنة علاقة تسولفانيديس **مع** تأثير اشعاع الكبح مع علاقة علاقة بيث-بلوخ

-عند المجال الطاقي من $E = 0.01\ \text{MeV}$ حتى $E = 4.5\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو 8993910643 يدل حجم الرقم واشارته الموجبة على الاتصال القوي بين العلاقتين حيث تتزايد قيم علاقة تسولفانيديس مع تزايد علاقة بيث-بلوخ ، و نلاحظ من الشكل (16) والشكل (17) هذا التقارب في النتائج مع وجود فروقات صغيرة في نتائج تلك العلاقتين.

-عند المجال الطاقي من $E = 16\ \text{MeV}$ حتى $E = 200\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو 5751.121275 ويدل الرقم على التقارب في نتيجة العلاقتين لكن حجم الرقم ليس كبير الذي يدل على وجود أختلاف بينهما كما يوضح الشكل (18) والشكل (19).

–عند المجال الطاقي $E = 3000\ \text{MeV}$ حتى $E = 30000\ \text{MeV}$ فإن التغاير الناتج هو -317.5704863 إن الرقم سالب وصغير مقارنة بقيم البيانات ويدل على عدم الترابط عند حساب التغاير لتلك العلاقتين وهذا واضح من الشكل (20) والشكل (21).

بما ان النتائج قريبة واحيانا مطابقة بين العلاقتين بدون تأثير إشعاع الكبح وعند إدخال هذا التأثير أصبح هناك فروقات تدريجياً مع زيادة الطاقة واصبحت كبيرة بشكل واضح عند الطاقات العالية ممكن ان يعود السبب على أن علاقة بيث–بلوخ لم تأخذ بعين الاعتبار الفقد عن طريق إشعاع الكبح، وتفسير زيادة الفروقات مع زيادة الطاقة وعند الطاقات العالية أن الفقد عن طريق إشعاع الكبح يصبح اكبر تدريجيا مع زيادة الطاقة وعند الطاقات العالية يصبح الفقد بشكل كبير عند طريق إشعاع الكبح والفقد بالاصطدام (التأين والإثارة) يصبح اقل ولايكاد يذكر عن تلك الطاقات العالية.

7. المراجع

[1] Tufan, M.C. and Gümüs, H. (2008) Stopping Power Calculations of Compounds by Using Thomas-Fermi-Dirac-Weizsäcker Density Functional. Acta Physica Polonica A, 114, 703-711. https://doi.org/10.12693/APhysPolA.114.703

[2] Ahmed, I., Nowrin, H. and Dhar, H. (2020) Stopping Power and Range Calculations of Protons in Human Tissues. Baghdad Science Journal, 17, Article No. 1223. https://doi.org/10.21123/bsj.2020.17.4.1223

[3] Usta, M., Tufan, M.Ç., Aydın, G. and Bozkurt, A. (2018) Stopping Power and Dose Calculations with Analytical and Monte Carlo Methods for Protons and Prompt Gamma Range Verification. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 897,106-113. https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.04.045

[4] Almutairi, A.S. and Osman, K.T. (2021) Mass Stopping Power and Range of Protons in Biological Human Body Tissues (Ovary, Lung and Breast). International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 11, 48-59. https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=115221 https://doi.org/10.4236/ijmpcero.2022.111005

[5] ↑http://mathworld.wolfram.com/Covariance.html
[6] ↑http://mathworld.wolfram.com/Sigma.html
[7] Taylor, L. S., Tubiana, M., Wyckoff, H. O., Allisy, A., Boag, J. W., Chamberlain, R. H., Cowan، E. P., Ellis, F., Fowler, J. F., Fra ¨nz, H., Gauwerky, F., Greening, J. R., Johns, H. E، Lide ´n, K., Morgan, R. H., Petrov, V. A., Rossi, H. H., and Tsuya, A. (1970). ‘‘Linear Energy Transfer.’’ ICRU Report 16. International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, D.C.
[8] Bethe, H. A. (1933). Quantenmechanik der Ein- und Zwei-Electronen-Probleme. In ‘‘Handbuch der Physik’’ (H. Geiger and K. Scheel, Eds.), 2nd ed., Vol. 24, Part I, Springer, Berlin.
[9] Bethe, H. A. and Ashkin, J. (1953). Passage of radiations through matter. In ‘‘Experimental Nuclear Physics’’ (E. Segre ´, Ed.), Vol. 1, J. Wiley, New York.
[10] Rohrlich, F. and Carlson, B. C. (1954). Positron-electron differences in energy loss and multiple scattering. Phys. Rev. 93, 38–44.
[11] Bohr, N. and Lindhard, J. (1954). Electron capture and loss by heavy ions penetrating through matter. Kgl. Danske Videnskab Selskab, Mat.-Fys. Medd. 28(7), 1–30.
[12] Lindhard, J. and Scharff, M. (1960). Recent developments in the theory of stopping power. I. Principles of the statistical method. In ‘‘Penetration of Charged Particles in Matter’’، National Academy of Sciences-National Research Council, Publication 752, p. 49.
[13] Lindhard, J. and Scharff, M. (1961). Energy dissipation by ions in the keV region. Phys. Rev. 124, 128–130.
[14] Northcliffe, L. C. (1963). Passage of heavy ions through matter. Ann. Rev. Nucl. Sci. 13, 67–102. O’Leary, G.J. and Incerti, M. (1993). A field comparison of three neutron moisture meters. Aust. J. Exp. Agric. 33, 59–69.
[15] Mozumder, A., Chatterjee, A., and Magee, J. L. (1968). Theory of radiation chemistry. IX. Mode and structure of heavy particle tracks in water. Amer. Chem. Soc. Series Adv. in Chem. 1، p. 27.
[16] Friedlander, G., Kennedy, J. W., and Miller, J. M. (1964). ‘‘Nuclear and Radiochemistry,’’ 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
[17] Roy, R.R. and Reed, R.D. (1968). ‘‘Interactions of Photons and Leptons with Matter.’’ Academic Press, New York.

[18] Segre ′, E. (1968). ‘‘Nuclei and Particles.’’ W. A. Benjamin, New York.
[19] Evans, R. E. (1972). ‘‘The Atomic Nucleus’’. Chap. 26–28 and Appendix G. McGraw Hill, New York.
[20] Tsoulfanidis, N. (1995). ‘‘Measurement and Detection of Radiation.’’ 2nd ed., Taylor and Francis, Washington, DC.