السنة الرابعة

دراسة قانون قدرة التوقيف التصادمية الكتلية الكلاسيكية وتأثير كل من العدد الذري وشحنة القذيفة والطاقة بثبات باقي المتغيرات

إعداد الطلاب:

محمود ناصيف راما عواد زينب خليل ربيع سلوم

يزن علي حسين حسن طالب علي هناء عيسى

بإشراف الدكتورة:

فاتن الأحمد

ضياع الطاقة

الغاية من التجربة:

تهدف هذه التجربة إلى دراسة فقدان الطاقة لجسيمات ألفا أثناء مرورها في المادة مع التركيز على قدرة التوقيف التصادمية وفق قانون بيت–بلوخ وتحليل تأثير كل من شحنة الجسيم وسرعته وطبيعة المادة على مقدار الفقد الطاقي.

المقدمة:

تتناول هذه التجربة دراسة ظاهرة ضياع الطاقة الميكانيكية التي تتعرض لها الجسيمات المشحونة عند مرورها داخل المادة نتيجة تفاعلها مع مكونات الوسط المادي، يُعد فقدان الطاقة من الظواهر الأساسية في فيزياء الإشعاع حيث يعتمد مقدار الفقد على خصائص الجسم المقذوف وطبيعة المادة الممتصة.

آلية فقدان الطاقة داخل المادة:

تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها بشكل رئيسي عبر التأيين ولإثارة، فعند مرور الجسيم بالقرب من إلكترونات الذرة يمارس قوى كولومية تسبب:

- تأيين الذرات عبر قلع الإلكترونات.
- أو إثارتها إلى مستويات طاقة أعلى.

هذه التفاعلات المتكررة هي التصادمات مع الالكترونات وهي تفاعلات غير مرنة:

- ينقل فيها الجسم جزءًا من طاقته إلى الالكترون سواء عبر التأيين أو الإثارة وتعد الأساس الفيزيائي الذي تعتمد عليه نماذج قدرة التوقيف.

أنواع فقدان الطاقة:

ينقسم فقدان الطاقة للجسيمات المشحونة إلى نوعين:

1) الفقدان التصادمي (Collisional losses):

ينشأ من تفاعل الجسيم مع إلكترونات المادة عبر التأيين والإثارة وهو الكلية المسيطرة للجسيمات الثقيلة والبطيئة نسبيًا مثل جسيمات ألفا ويعتمد قانون بيت–بلوخ بشكل مباشر على هذا النوع.

2) الفقدان الإشعاعي (Radiative losses):

ينتج عن تباطؤ الجسيم في المجال الالكتروني للأنوية وإصداره لإشعاع فرملة هذا النمط ضعيف جدًا في حال جسيمات ألفا بسبب كتلها العالية وسرعتها المتوسطة لذا يمك إهماله في هذه التجربة.

الخصائص الفيزيائية التي تجعل جسيمات ألفا مناسبة للتجربة:

خصائص جسيمات ألفا:

1. تحمل شحنة كهربائية موجبة عالية.
2. كتلتها كبيرة مقارنة بالإلكترونات والبروتونات.
3. تملك مدى قصير في المادة.
4. تسبب تأيناً كثيفاً على طول مسارها.

سبب اختيارها في التجربة:

- تظهر فقدًا تصادميًا هينًا مما يجعل تطبيق قانون بيت–بلوخ دقيقاً وواضحاً.
- ذات مسار قصير داخل المادة، مما يجعل تغيرات قدرة التوقيف واضحة وسهلة التحليل.
- تملك شحنة عالية ← قدرة توقيف كبيرة.
- مساراتها ضمن المجال الذي تكون فيه الإشعاعات الفرملية مهملة مما يبسط التحليل.

قدرة التوقيف التصادمية:

تعريف قدرة التوقيف: هي معدل فقدان الجسيم المشحون لطاقته أثناء مروره داخل المادة، أي كمية الطاقة التي يخسرها الجسيم لكل وحدة طول يقطعها داخل الوسط، وتكتب رياضياً:

$$S = -\frac{dE}{dx}$$

حيث أن:

- S قدرة التوقيف.
- dE مقدار الطاقة المتغيرة.
- dx المسافة التي يقطعها الجسيم.
- الإشارة السالبة: لأن الطاقة تتناقص أثناء الحركة داخل المادة.

قانون بيت–بلوخ (القوة التصادمية للتوقيف):

يعطى فقدان الطاقة التصادمي لجسيم مشحون ثقيل داخل مادة، بواسطة الصيغة:

$$S = 4\pi \frac{Z}{A} N_A \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \frac{z}{m_e v_m^2} \ln\left(\frac{2m_e v_m^2}{I}\right)$$

حيث أن:

- Z العدد الذري للمادة.
- z شحنة الجسيم.
- v سرعة الجسيم.
- N_Aعدد أفوغادرو (عدد الذرات في وحدة الحجم).
- I طاقة التأين الوسطية للمادة.

- m_e كتلة الإلكترون.
- e شحنة الإلكترون.
- ε_0 سماحية الفراغ.

العوامل المؤثرة في قوة التوقيف:

تتأثر قدرة التوقيف بعدة عوامل سيتم دراسة كل منها على حدة عند ثبات البقية:

1. **العدد الذري للمادة(Z)**: كلما ازداد العدد الذري للمادة:
   - ازداد عدد الإلكترونات المتاحة للتصادم.
   - ازدادت شدة المجال الكهربائي للنواة، مما يؤدي لزيادة قدرة التوقيف.
2. **شحنة القذيفة (z)**: قدرة التوقيف تتناسب مع مربع الشحنة، لذا زيادة شحنة الجسيم تؤدي إلى تفاعل أقوى مع الإلكترونات، مما يؤدي إلى قدرة توقيف أعلى بشكل كبير .

$$(-\frac{dE}{dx}\alpha\, Z^2)$$

3. **سرعة الجسيم (v)**: تتغير قدرة التوقيف مع السرعة وفق قانون بيت–بلوخ:
   - عند السرعات المنخفضة: قدرة التوقيف عالية بسبب التفاعل الأطول.
   - عند السرعات العالية: تقل نسبياً.
   - قرب نهاية المسار : ترتفع فجأة (قمة براغ).

القسم العملي:

- في هذا القسم العملي تم تحليل قدرة التوقيف التصادمية لجسيمات ألفا اعتماداً على قانون بيت–بلوخ، وذلك من خلال دراسة تأثير عدد من المتغيرات الفيزيائية مع تثبيت باقي العوامل.
- ولتمثيل تأثير خواص المادة الموقفة تم اختيار ثلاث مواد مختلفة هي الكربون والألمنيوم والنحاس لما بينها من اختلاف في العدد الذري والنسبة $\frac{A}{Z}$ مما يسمح بدراسة واضحة لتأثير المادة على قدرة التوقيف التصادمية.

1) القانون المعتمد:

$$S_c = 4\pi \frac{Z}{A} N_A (\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0})^2 \frac{z}{m_e v_m^2} \ln(\frac{2m_e v_m^2}{I})$$

2) الثوابت الفيزيائية:

- **عدد أفوغادرو:** $N_A = 6.022 \times 10^{23}\, mol^{-1}$
- **شحنة الإلكترون:** e =1.602×10^{-19} C
- **سماحية الفراغ:** ε_0=8.854×10^{-12} F/m
- **كتلة الإلكترون:** m_e=9.11×10^{-31} kg
- **طاقة التأين الوسطية:** I =1.6×10^{-17} J

- نبدأ بتحديد نوع الجسيم المدروس في هذه التجربة وهو جسيم ألفا، وهو جسيم ثقيل نسبياً ومشحون بشحنة $+2e$ لذلك يتميز بسلوك واضح في فقدان الطاقة داخل المادة.
- حساب سرعة جسيم ألفا انطلاقاً من طاقته الحركية:
  - تعطى الطاقة الحركية لجسيم ألفا بالعلاقة:

$$E_K = \frac{1}{2} m_\alpha\, v^2$$

حيث أن m_α كتلة جسيم ألفا ، v سرعة الجسيم.

- التعويض بالقيم الفيزيائية:

كتلة جسيم ألفا تساوي تقريباً $m_\alpha = 6.64 \times 10^{-27}\, kg$

نفترض أن جسيم ألفا يمتلك طاقة حركية نموذجية مقدارها $M_e V$ وهي طاقة شائعة لجسيمات ألفا الصادرة عن المصادر المشعة.

نحول الطاقة من $M_e V$ إلى J باستخدام العلاقة : $1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$

- استخراج السرعة : بإعادة ترتيب معادلة الطاقة $v = \sqrt{\frac{2\,E_k}{m_\alpha}}$
- بالتعويض عن قيمة E_k و m_α نحصل على سرعة من الرتبة $v \approx 1.0 \times 10^{+7}\, m/s$

بناءً على الحساب السابق تم اعتماد قيمة سرعة جسيم ألفا $v \approx 1.0 \times 10^{+7}\, m/s$ وذلك لأنها ناتجة مباشرة عن طاقته الحركية وليست قيمة مفترضة عشوائياً مما يجعل استخدامها في قانون بيت–بلوخ مبرراً فيزيائياً.

خصائص جسيم ألفا:

- $v \approx 1.0 \times 10^{+7}\, m/s$
- $Z = 2$

3) حساب الحدود المشتركة:

الحد الكهروستاتيكي:

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{(1.602 \times 10^{-19})^2}{4\pi(8.854 \times 10^{-12})} \approx 2.307 \times 10^{-28}$$

$$\rightarrow \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \approx 5.32 \times 10^{-56}$$

حد الشحنة والسرعة:

$$\frac{z^2}{m_e v^2} = \frac{4}{9.11 \times 10^{-31} \times (10^7)^2} \approx 4.39 \times 10^{16}$$

الحد اللوغاريتمي:

$$\ln(\frac{2m_e v_m^2}{I}) = \ln\left(\frac{2 \times 9.11 \times 10^{-31} \times 10^{14}}{1.6 \times 10^{-17}}\right) = \ln(11.4) \approx 2.43$$

هذا الحد ثابت لكل المواد طالما:

- نفس الجسيم.
- نفس السرعة.

4) تحليل المتغيرات:

أولًا: تأثير العدد الذري للمادة:

- نثبت شحنة الجسيم $Z = 2$ والسرعة $v \approx 1.0 \times 10^{+7}\ m/s$

المتغير هو $\frac{Z}{A}$:

$$S_c = \underbrace{4\pi N_A(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0})^2 \frac{Z^2}{m_e v^2} \ln(\frac{2m_e v^2}{I})}_{\text{ثابت}} \times \frac{Z}{A}$$

$$S_c = 4\pi \times 6.022 \times 10^{23} \times 5.32 \times 10^{-56} \times 4.39 \times 10^{16} \times 2.43 \times \frac{Z}{A}$$

$$S_c = 4.3 \times 10^{-14} \times \frac{Z}{A}$$

- حساب قدرة التوقيف لكل مادة:

1. الكربون: $Z = 6, A = 12 \rightarrow \frac{Z}{A} = \frac{6}{12} = 0.5$

$$S_c(C) = 0.5 \times 4.3 \times 10^{-14} = 2.15 \times 10^{-14}$$

2. الألمنيوم: $Z = 13, A = 27 \rightarrow \frac{Z}{A} = \frac{13}{27} = 0.48$

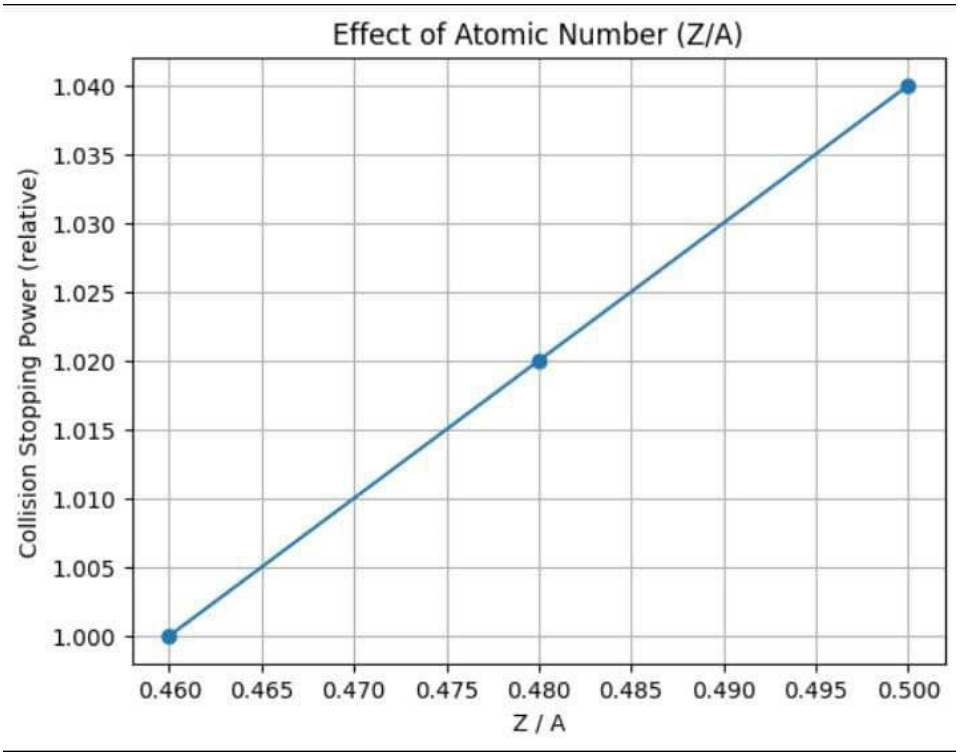
$$S_c(Al) = 0.48 \times 4.3 \times 10^{-14} = 2.06 \times 10^{-14}$$

3. النحاس: $Z = 29, A = 63.5 \rightarrow \frac{Z}{A} = \frac{29}{63.5} = 0.46$

$$S_c(Cu) = 1.98 \times 10^{-14}$$

نتيجة:

على الرغم من أن قانون بيت–بلوخ يظهر اعتماد قدرة التوقيف التصادمية على النسبة $\frac{Z}{A}$ إلا أن هذا التأثير يكون محدوداً في حالتنا لأن قيمة $\frac{Z}{A}$ تبقى تقريباً ثابتة لمعظم المواد المدروسة. بالتالي فإن تأثير العدد الذري يعد ثانوياً مقارنة بتأثير شحنة الجسيم وسرعته، لذلك غالباً ما يجعل تأثير العدد الذري عند المقارنة بين مواد مختلفة طالما أن ترتيب $\frac{Z}{A}$ لا يتغير بشكل كبير.



ثانيًا: تأثير العدد الذري للمادة:

تأثير سرعة الجسيم:

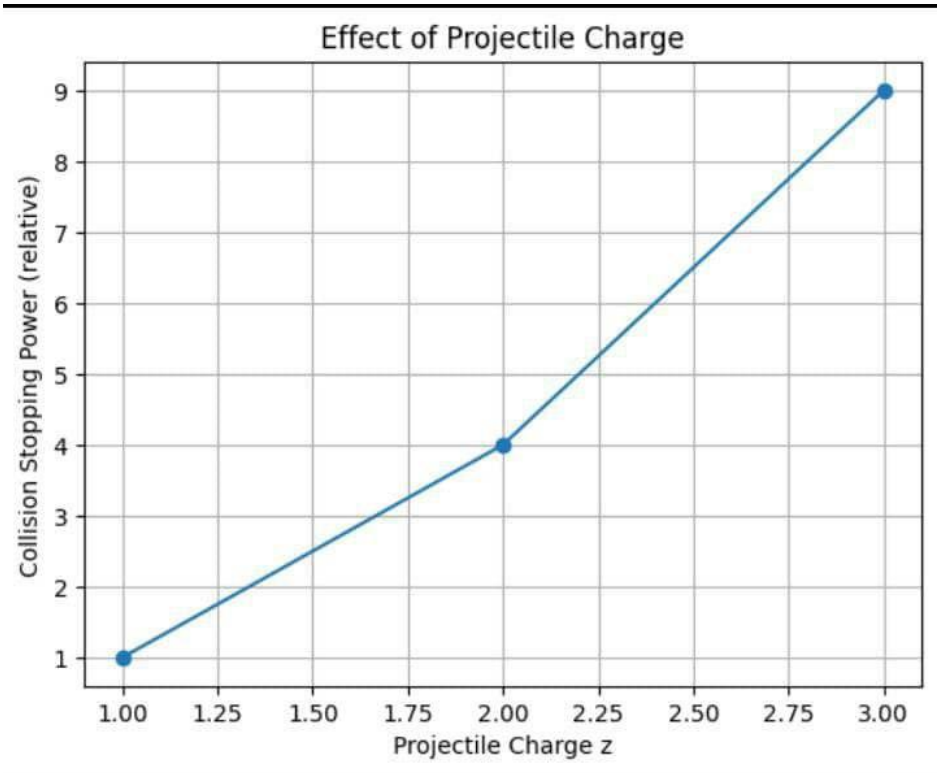
- نثبت المادة والسرعة، والمتغير هو الشحنة z.
- لدينا من القانون $S_c \, \alpha \, Z^2$.
- بالتعويض:

جسيم بشحنة $Z = 1 \leftarrow Z^2 = 1 \leftarrow S_c = 1C$.

جسيم ألفا $Z = 2 \leftarrow Z^2 = 4 \leftarrow S_c = 4C$

نتيجة:

زيادة شحنة الجسيم تؤدي إلى زيادة قدرة التوقيف التصادمية تربيعياً.



ثالثًا: تأثير سرعة الجسيم:

- نثبت المادة والشحنة، والمتغير هو السرعة v.
- نطبق الخطوات التالية:

1. نختار ثلاث قيم للطاقة لجسيم ألفا (قيم شائعة فيزيائياً):

$$E_1 = 1\ M_eV \qquad E_2 = 4\ M_eV \qquad E_3 = 9\ M_eV$$

تحويل من M_eV إلى جول J: $1\ M_eV = 1.6 \times 10^{-13} J$

2. حساب السرعة من الطاقة:

نستخدم علاقة الطاقة الحركية:

$$E_K = \frac{1}{2} m_\alpha\ v^2 = \sqrt{\frac{2E}{m_\alpha}} \quad ; \quad m_\alpha = 6.64 \times 10^{-27} kg$$

- حساب السرعة الأولى(V_1) $\qquad E_1 = 1\ M_e$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-13}}{6.64 \times 10^{-27}}} \approx 6.9 \times 10^{-27}\ m/s$$

- حساب السرعة الثانية(V_2) $\quad E_2 = 4\ M_eV$

$$V_2 = \sqrt{4}\ V_1 = 2\ V_1 = 1.38 \times 10^{7} \frac{m}{s}$$

- حساب السرعة الثالثة (V_3) $\quad E_3 = 9\ M_eV$

$$V_3 = \sqrt{9}\ V_1 = 3\ V_1 \approx 2.07 \times 10^{7}\ m/s$$

3. حساب الحد $\frac{1}{V^2}$

$$\frac{1}{V_1^2} = 2.1 \times 10^{-14}$$

$$\frac{1}{V_2^2} = 5.2 \times 10^{-15}$$

$$\frac{1}{V_3^2} = 2.3 \times 10^{-14}$$

نلاحظ أن هذا الحد ينخفض بسرعة كبيرة.

4. حساب الحد اللوغاريتمي:

- نستخدم قيمة نموذجية لطاقة الإثارة: $I \approx 100\ eV = 1.6 \times 10^{-17}$
- كتلة الإلكترون m_e=9.11×10^{-31} kg

النتائج المحسوبة للحد $\ln(\frac{2m_e v_m^2}{I})$

- عند السرعة V_1: $\ln(5.4 \times 10^3) \approx 8.6$
- عند السرعة V_2: $\ln(4 \times 5.4 \times 10^3) = \ln(2.16 \times 10^4) \approx 10.0$
- عند السرعة V_3: $\ln(9 \times 5.4 \times 10^3) = \ln(4.88 \times 10^4) \approx 10.8$

نلاحظ أن الحد اللوغاريتمي يزداد بشكل واضح مع زيادة السرعة.

5. حساب قدرة التوقيف (S_c) لكل نسبة:

نحسب فقط الجزء المتغير $S_c \propto \frac{1}{V_2}\ln(\frac{2m_e v_m^2}{I})$

$$S_{c_1} \propto (2.1 \times 10^{-14}) \times 8.6 = 1.8 \times 10^{-13}$$

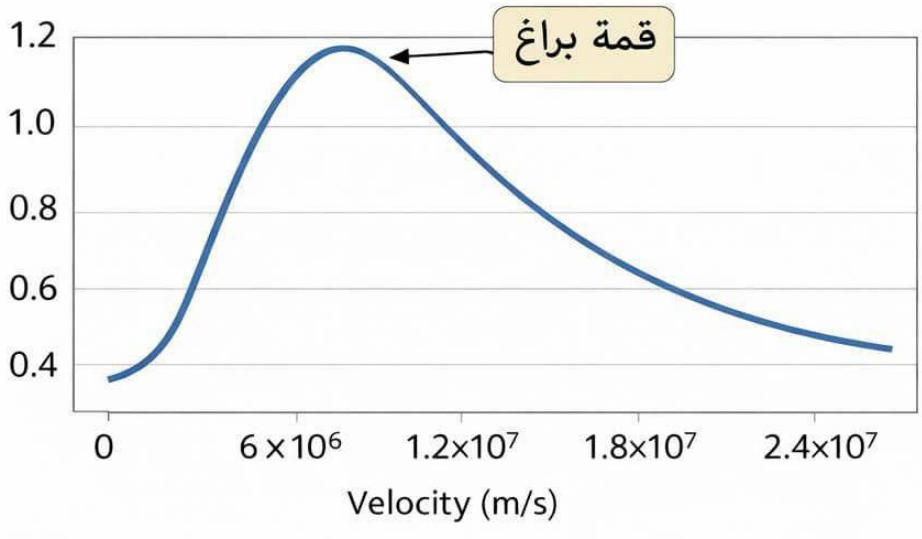
$$S_{c_2} \propto (5.2 \times 10^{-14}) \times 10.0 = 5.2 \times 10^{-14}$$

$$S_{c_3} \propto (2.3 \times 10^{-14}) \times 10.8 = 2.5 \times 10^{-14}$$

نتيجة:

تبين أن قوة التوقيف التصادمية تنخفض بزيادة سرعة الجسيم نتيجة سيطرة الحد العكسي $\frac{1}{V^2}$ في قانون بيت–بلوخ، رغم وجود الحد اللوغاريتمي ويكون الفقد الطاقي أعظمياً عند السرعات المنخفضة خاصة قرب نهاية مسار الجسيم (قمة واغ).

تأنير سرعة الجسيم



الخاتمة

في هذه التجربة تم دراسة ظاهرة ضياع الطاقة لجسيمات ألفا داخل المادة بالاعتماد على قانون بيته–بلوخ لقدرة التوقيف التصادمية. أظهرت النتائج أن شحنة الجسيم وسرعته تلعبان الدور الأساسي في تحديد مقدار الفقد الطاقي، في حين يكون تأثير طبيعة المادة محدوداً نسبياً. تؤكد هذه الدراسة أهمية فهم آليات فقدان الطاقة في تفسير سلوك الإشعاعات المؤينة داخل المواد المؤينة وتطبيقاتها المختلفة.