كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : السادسة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الفيزياء الاشعاعية

المحاضرة-6

تفاعل الجسيمات المشحونة مع الوسط (تتمة)

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

1.قدرة التوقيف التصادمية للجسيمات المشحونة الخفيفة:

- تفاعلات الالكترون التصادمية مع الالكترونات المدارية للوسط الماص تختلف عن تفاعلات الجسيمات المشحونة الثقيلة بالنقاط الثلاثة التالية:
  - تُصبح التأثيرات النسبية مهمة عند الطاقات الحركية المنخفضة نسبياً.
  - قد تؤدي التصادمات مع الإلكترونات المدارية إلى نقل كبير للطاقة يصل إلى 50% من الطاقة الحركية للإلكترون الساقط. وقد تؤدي أيضاً إلى تشتت الإلكترونات المرن واللا مرن.
  - قد تؤدي تصادمات الإلكترونات مع نوى المادة الماصة إلى إنتاج إشعاع الكبح (الخسارة الإشعاعية).

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

1.قدرة التوقيف التصادمية للجسيمات المشحونة الخفيفة:

- الطاقة المنقولة من الالكترونات والبوزيترونات بسبب التصادمات اللينة والقاسية تُعطى بعلاقة موللر للمقاطع العرضية للالكترونات الحرة وفقاً لتقرير ICRU-37:

$$S_{\text{col}} = 2\pi r_e^2 \frac{Z}{A} N_A \frac{m_e c^2}{\beta^2} \left[\ln \frac{E_K}{I} + \ln(1+\tau/2) + F^{\pm}(\tau) - \delta \right]$$

- حيث يُعطى التابع $F^{-}(\tau)$ الخاص بالالكترونات بالعلاقة:

$$F^{-}(\tau) = (1-\beta^2)\left[1 + \tau^2/8 - (2\tau+1)\ln 2\right]$$

- و يُعطى التابع $F^{+}(\tau)$ الخاص بالبوزيترونات بالعلاقة:

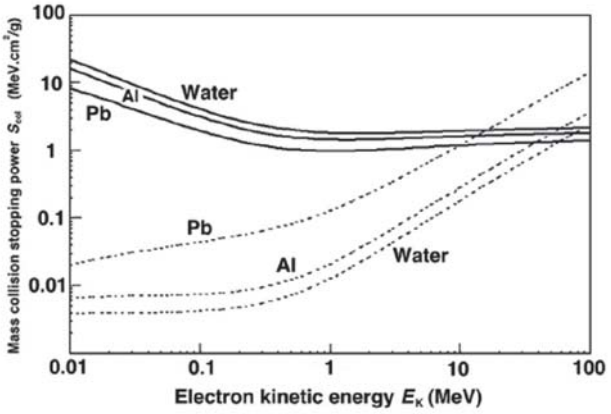
$$F^{+}(\tau) = 2\ln 2 - (\beta^2/12)\left[23 + 14/(\tau+2) + 10/(\tau+2)^2 + 4/(\tau+2)^3\right]$$

حيث أن τ هي الطاقة الحركية للالكترون أو البوزيترون منسوبة الى $m_e c^2$، $\tau = \frac{E_K}{m_e c^2}$. و β هي سرعة الالكترون أو البوزيترون منسوبةً الى سرعة الضوء $\beta = \frac{\vartheta}{c}$.

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

1.قدرة التوقيف التصادمية للجسيمات المشحونة الخفيفة:

- تُظهر البيانات أن المواد الماصة ذات العدد الذري الأعلى لديها S_{col} أقل من المواد الماصة ذات العدد الذري الأقل عند نفس طاقات الإلكترونات.
- يعتمد S_{col} على وسط التوقف نتيجة عاملين موجودين في علاقة قدرة التوقف ، وكلاهما يُقلل S_{col} بزيادة Z لوسط التوقف:
  - العامل Z/A يجعل S_{col} يعتمد على عدد الإلكترونات في وحدة الكتلة للمادة الماصة. Z/A يكون 1 للهيدروجين؛ 0.5 للمواد الماصة ذات العدد الذري المنخفض؛ ثم ينخفض تدريجياً إلى ~0.4 للمواد الماصة ذات العدد الذري المرتفع.
  - مصطلح $-lnI$ يُقلل S_{col} مع زيادة Z، لأن I يزداد بشكل شبه خطي مع زيادة Z.



قدرة التوقيف التصادمية الكتلية للالكترونات في الماء و الألمنيوم والرصاص بتغير الطاقة الحركية للالكترونات. قدرة التوقيف التصادمية تم رسمها بالخطوط المستمرة وقدرة التوقيف الاشعاعية تم رسمها بالخطوط المنقطة.

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

2. قدرة التوقيف الكتلية الكلية

- بشكل عام، يتم إعطاء قدرة التوقف الكتلية الكلية S_{tot} للجسيمات المشحونة من خلال مجموع مكونين: قدرة التوقيف الإشعاعية S_{rad} وقدرة التوقيف التصادمية S_{col}، أي:

$$S_{tot} = S_{rad} + S_{col}$$

- بالنسبة للجسيمات المشحونة الثقيلة تكون قدرة التوقيف الإشعاعية ضئيلة $(S_{rad} = 0)$، وبالتالي

$$S_{tot} = S_{col}$$

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

2. قدرة التوقيف الكتلية الكلية

- بالنسبة للجسيمات المشحونة الخفيفة، تُساهم كلا المركبتين في قدرة التوقيف الكلية.
- ضمن نطاق واسع من الطاقات الحركية الأقل من 10 MeV، يكون فقدان الطاقة عن طريق التفاعلات التصادمية (التأيين) هي السائدة $S_{col} > S_{rad}$؛
- و يكون الوضع معكوساً عند الطاقات الحركية العالية حيث $S_{col} < S_{rad}$.
- يحدث التقاطع بين الوضعين عند طاقة حركية حرجة $((E_K)_{crit})$ حيث تكون قدرة التوقيف متساوية، أي $S_{rad} = S_{col}$ لمادة ماصة ذات عدد ذري Z .
- يمكن تقدير الطاقة الحركية الحرجة $(E_K)_{crit}$ من العلاقة التجريبية التالية:

$$(E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{crit}} \approx \frac{800\ \mathrm{MeV}}{Z}$$

فهي تأخذ قيمة 105 MeV في الماء، و 61 MeV في الألمنيوم، و 10 MeV في الرصاص.

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

2. قدرة التوقيف الكتلية الكلية

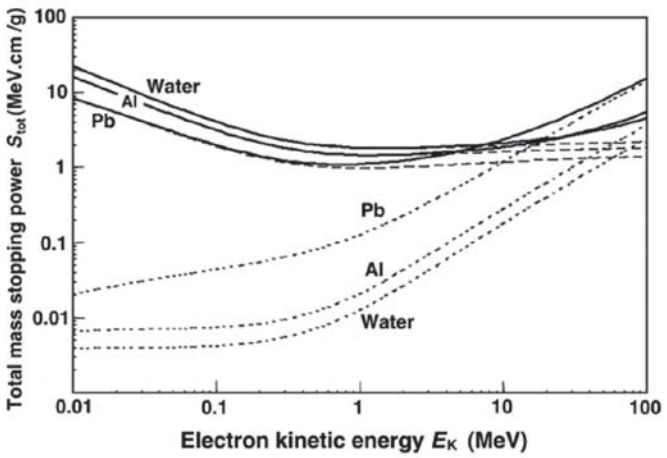
- بالنسبة للمواد الماصة ذات العدد الذري المرتفع، يبدأ سيطرة فقدان الطاقة بالتفاعلات الإشعاعية على التفاعلات التصادمية عند طاقات حركية أقل مما هو عليه في المواد الماصة ذات العدد الذري المنخفض.
- ومع ذلك، حتى في الأوساط ذات العدد الذري المرتفع مثل الرصاص واليورانيوم تكون الطاقة الحركية الحرجة $(E_K)_{crit}$ حوالي $10\ MeV$، وهو ما يقع ضمن المنطقة النسبية.
- نسبة قوة التوقف التصادمية إلى الإشعاعية $\frac{S_{col}}{S_{rad}}$ عند طاقة حركية معينة للإلكترون يمكن تقديرها كما يلي:

$$\frac{S_{\mathrm{col}}}{S_{\mathrm{rad}}} = \frac{800\ \mathrm{MeV}}{Z\,E_{\mathrm{K}}} = \frac{(E_{\mathrm{K}})_{\mathrm{crit}}}{E_{\mathrm{K}}}$$

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

2. قدرة التوقيف الكتلية الكلية

قدرة التوقيف الكلية لمادة معينة هي حاصل مجموع قدرة التوقيف التصادمية و الاشعاعية.



قدرة التوقيف الكلية الكتلية للالكترونات في الماء و الألمنيوم والرصاص بتغير الطاقة الحركية للالكترونات وقد تم رسمها بالخطوط المستمرة . و للمقارنة تظهر قدرة التوقيف التصادمية بالخطوط المتقطعة وقدرة التوقيف الاشعاعية بالخطوط المنقطة.

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

3. أشعة الكبح

- العائد الإشعاعي B(E_{K0}) لجسيم مشحون بطاقة حركية ابتدائية E_{K0} يصطدم بمادة ماصة يُعرف بأنه الجزء من الطاقة الحركية الابتدائية التي تُصدر كإشعاع الكبح من خلال عملية تباطؤ الجسيم في المادة الماصة.
- من أجل الجسيمات الثقيلة فأن $B(E_{K0}) = 0$.
- من أجل الجسيمات الخفيفة (الكترونات وبوزيترونات) فأن العائد الاشعاعي B(E_{K0}) يُحدد بالعلاقة التالية:

$$B(E_{\mathrm{Ko}}) = \frac{\int_0^{E_{\mathrm{Ko}}} \frac{S_{\mathrm{rad}}(E)}{S_{\mathrm{tot}}(E)} dE}{\int_0^{E_{\mathrm{Ko}}} dE} = \frac{1}{E_{\mathrm{Ko}}} \int_0^{E_{\mathrm{Ko}}} \frac{S_{\mathrm{rad}}(E)}{S_{\mathrm{tot}}(E)} dE$$

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

3. أشعة الكبح

- بالنسبة لتفاعلات البوزيترون، فإن الفناء البوزيتروني يُنتج أيضاً فوتونات؛ ومع ذلك، يتم تجاهل هذا التأثير عموماً في حساب عائد الإشعاع B(E_{K0}).
- الطاقة E_{rad} التي يتم اشعاعها من قبل كل جسيم مشحون:

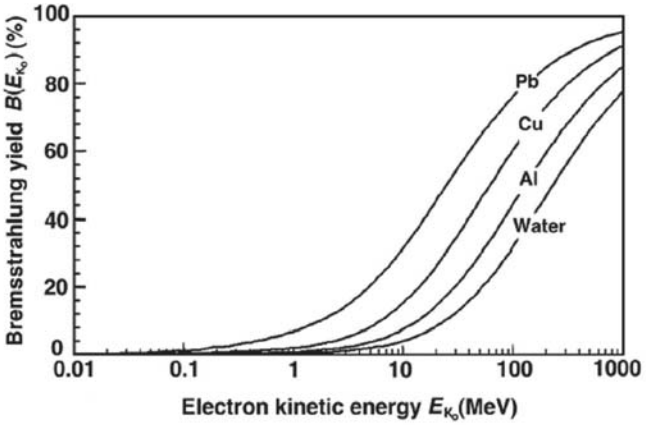
$$E_{\mathrm{rad}} = E_{\mathrm{Ko}}\, B(E_{\mathrm{Ko}}) = \int_0^{E_{\mathrm{Ko}}} \frac{S_{\mathrm{rad}}(E)}{S_{\mathrm{tot}}(E)} dE$$

- بينما E_{col} المفقودة بسبب التأيين لكل جسيم مشحون تكون:

$$E_{\mathrm{col}} = E_{\mathrm{Ko}} - E_{\mathrm{rad}} = E_{\mathrm{Ko}}\,[1 - B(E_{\mathrm{Ko}})] = \int_0^{Eo} \frac{S_{\mathrm{col}}(E)}{S_{\mathrm{tot}}(E)} dE$$

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

3. أشعة الكبح



العائد الاشعاعي لأشعة الكبح في الماء و الألمنيوم والنحاس والرصاص بتغير الطاقة الحركية للالكترون.

- في القياسات الاشعاعية يتم تعريف كمية تُسمى الجزء الاشعاعي $\bar{g}$ وهي تُمثل القيمة الوسطية للطاقة المنقولة من الفوتونات الى الالكترونات والبوزيترونات والتي تضيع في مرحلة لاحقة على شكل أشعة تكون أشعة الكبح هي المسيطرة فيها ولكنها يمكن أن تتضمن الفناء البوزيتروني. وهذه الكمية تظهر في العلاقة التالية:

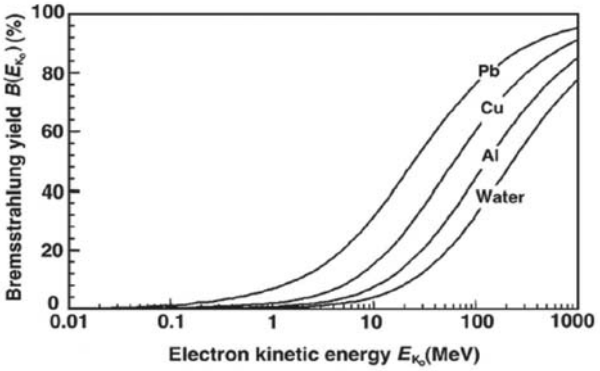
$$\frac{\mu_{\mathrm{ab}}}{\rho} = \frac{\mu_{\mathrm{tr}}}{\rho}(1-\bar{g})$$

$$K_{\mathrm{col}} = K(1-\bar{g})$$

حيث $\frac{\mu_{ab}}{\rho}$ هو معامل الامتصاص الكتلي لحزمة من الفوتونات، و $\frac{\mu_{tr}}{\rho}$ هو معامل نقل الطاقة الكتلي لحزمة من الفوتونات، و K_{col} هي الكيرما التصادمية، و K هي الكيرما الكلية.

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

3. أشعة الكبح



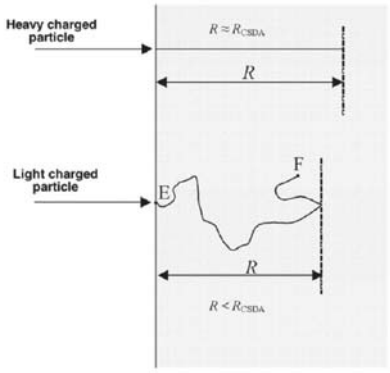
العائد الاشعاعي لأشعة الكبح في الماء و الألمنيوم والنحاس والرصاص بتغير الطاقة الحركية للالكترون.

- الجزء الاشعاعي $\bar{g}$ هو القيمة الوسطية للعائد الاشعاعي ($B(E_{K0}$ من أجل كل الالكترونات والبوزيترونات بطاقات حركية بدئية متنوعة E_{Ki} والموجودة في طيف الجسيمات المشحونة الخفيفة المتولدة في الوسط بتأثير فوتونات وحيدة طول الموجة أو فوتونات بأطوال موجية مختلفة.
- ($B(E_{K0}$ هو العائد الاشعاعي المعرف من أجل حزمة من الالكترونات وحيدة الطاقة

تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

4. مدى الجسيمات المشحونة

- عندما يجتاز الجسيم المشحون الوسط فأنه يفقد طاقته عن طريق التأيين والاثارة وهذا يؤدي الى حرف مساره عدة مرات، اضافةً الى أنه يمكن أن يعاني عدد كبير من التشتتات اللامرنة.
- التغيير في مسار الجسيم المشحون هو ملاحظ بشدة في حال الجسيمات المشحونة الخفيفة عنه في الجسيمات المشحونة الثقيلة.
  - ✓ الجسيمات المشحونة الثقيلة لا تخضع لضياع طاقة اشعاعي، انما يتم نقل جزء صغير من طاقتها من خلال التصادمات التأينية الفردية مع الالكترونات المدارية، وهو ما ينتج عنه انحراف صغير عن مسارها في التصادمات المرنة. مرورها خلال الوسط الماص لها هو خطي.
  - ✓ أما في حال الالكترونات بطاقة حركية E_K فأنها يمكن أن تخسر 50% من طاقتها في تصادم تأييني فردي. وبما أنها تتشتت بزوايا كبيرة فأن مرورها في الوسط يكون متعرج.



مسار الجسيمات المشحونة في الوسط حيث يكون المسار مستقيماً للجسيمات الثقيلة و متعرجاً للجسيمات الخفيفة.

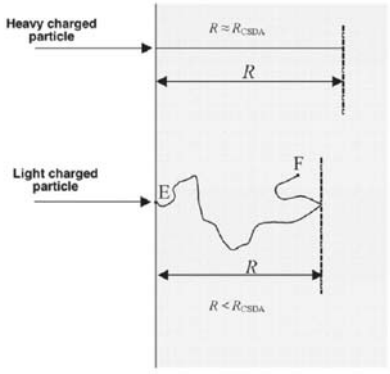
تفاعل الجسيمات المشحونة الخفيفة مع الوسط

4. مدى الجسيمات المشحونة

- مدى الجسيمات المشحونة في الوسط هو فكرة تجريبية تعني سماكة الوسط التي يمكن للجسيم أن يخترقها. وهي تتعلق بالطاقة الحركية للجسيم، كتلته و شحنته، وكذلك بتركيب الوسط.
- يجب التمييز بين مفهوم المدى R وطول مسار الجسيم المشحون.
- يتم حساب المدى من العلاقة:

$$R_{\mathrm{CSDA}} = \int_0^{E_{\mathrm{K_i}}} \frac{dE}{S_{\mathrm{tot}}(E)} ,$$

- حيث R_{CSDA} يُمثل المدى (طول المسار الوسطي) للجسيم المشحون في الوسط الماص.
- E_{Ki} هي الطاقة الحركية البدئية للجسيم المشحون.
- $S_{tot}(E)$ هي قدرة التوقيف الكلية للجسيم المشحون كتابع للطاقة الحركية E للجسيم.



مسار الجسيمات المشحونة في الوسط حيث يكون المسار مستقيماً للجسيمات الثقيلة و متعرجاً للجسيمات الخفيفة.