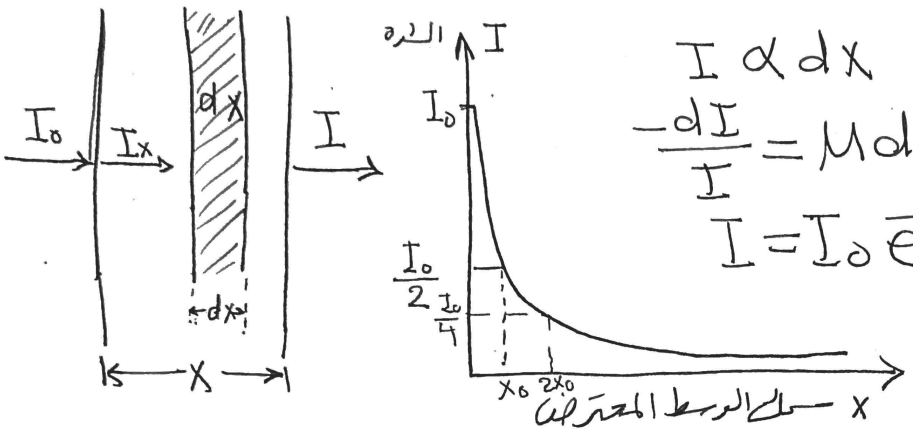
تفاعل أشعة كاما مع المادة

الامتصال الأسي

أن عملية توهين حزمة من أشعة كاما خلال مرورها في وسط معترض تختلف اختلافاً كبيراً عما يجري لحزمة الجسيمات المشحونة حيث تتعرض هذه الجسيمات لعدد كبير من التفاعلات الصغيرة والتي نادراً ما تؤثر على اتجاه حركة الجسيم المشحون. أما أشعة كاما وأثناء مرورها في وسط معترض فإن كل فوتون أما أن يتفاعل مع المادة ويحذف من الحزمة أو أن لا يتفاعل مطلقاً.

لو فرضنا أن حزمة من الأشعة مقدارها I_0 و x يمثل سمك الأختراق فإن شدة هذه الأشعة عند السمك x تكون I_x وأن نسبة الأشعة المحذوفة من الحزمة تتناسب مع dx :



$$I \propto dx$$

$$\frac{-dI}{I} = \mu dx$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث μ : معامل امتصاص الوسط

I : الجزء النافذ (الخارج) من الأشعة

$x_{1/2}$: سمك المادة الماصة اللازمة لتوهين أشعة الساقطة الى نصف شدتها الأولية

$$I = \frac{I_0}{2}$$

$$\therefore \quad I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu x_{1/2}}$$

$$x_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$$

* معامل الامتصاص الكتلي μ_m :

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$$

إذ أن

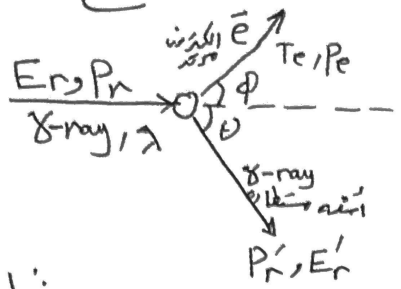
$$\mu = \mu_c + \mu_E + \mu_p$$

(μ_c الفاصل كومبتن، μ_E الفاصل التحزيز الكهروضوئي، μ_p تكوين الزوج)

انواع التفاعلات

① تأثير كومبتون :

عند تفاعل أشعة كاما مع الإلكترونات حيث يحدث ارتباط بالذرة فإن أشعة كاما يجب أن تنتظر مع فقدان معين للطاقة وهذا يسبب إعادة الإشعاع للأشعاع الكهرومغناطيسي



حفظ الزخم
$$P_r = P'_r\cos\theta + P_e\cos\phi \quad \text{—①}$$
$$0 = P_e\sin\phi - P'_r\sin\theta \quad \text{—②}$$

حفظ الطاقة
$$E_r = E'_r + T_e \quad \text{—③}$$

بحل ① و ② و ③ ونتخلص من زخم الإلكترون P_e والزاوية ϕ نتج

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta) \quad \text{—④}$$

$$P_r = \frac{h}{\lambda}\ ,\ E_r = h\nu\ ,\ P_e = mv\ ,\ w_e = m_0c^2 + T$$

حيث m_0 كتلة السكون للإلكترون و

λ / λ' الأطوال الموجية لأشعة كاما الساقطة والمتطايرة على التوالي.

عند الطاقات العالية :

$$E_r \simeq \frac{m_0c^2}{1-\cos\theta} \quad \text{—⑤}$$

عندما تكون طاقة الإلكترون المتطاير أقل ما يمكن فإن طاقة الإلكترون المرتد ستكون أعظم ما يمكن

$$T_e(Max) = E_r - E'_r(\theta = 180)$$

$$T_e(max) \simeq E_r - 0.255\ MeV$$

حيث $E'_r = \frac{1}{2}m_0c^2 = 0.255\ MeV$

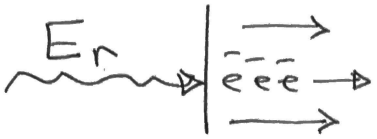
علمنا حقيقة أن طاقة الإرتداد للإلكترون لها أعظم احتمال $T_e^{(max)}$ عندما $(\theta = 180^\circ)$

$$\therefore\ E'_r = \frac{1}{2}m_0c^2 = 0.255\ MeV$$

كذلك عندما فإن: $E_r = h\nu \gg m_0c^2$

② التأثير الكهروضوئي

حيث يمتص بصورة كلية كل طاقة الفوتون الساقط من قبل الالكترون المداري لذرات الوسط



حفظ الزخم $P_r = P_e + P_a$ —①

حفظ الطاقة $E_r = T_e + T_a + E_B$ —②

E_B: طاقة ارتباط الالكترون مع الذرة وتسمى طاقة تأين الذرة

ان $\frac{m_0}{M_0} \simeq 10^{-4}$ لذلك T_a (الطاقة الحركية للذرة) تهمل في بعض القياسات

أي: $T_e = h\nu - E_B$ —③ (شرط حدوث الظاهرة)

اذا كانت $E_r > \frac{1}{2}$ MeV فان الكترونات الكهروضوئية المنبعثة تنبعث من الطبقة K لتحقق شرط الرنين الكلاسيكي. (حيث يتم عندها أعظمي امتصاص لطاقة الفوتون الساقط)

* لذلك يزداد احتمال حدوث الانبعاث الكهروضوئي عند طاقة او امتصاص (عندما تقترب $h\nu$ من E_B)

$h\nu_0 = E_B$

تردد طاقة الامتصاص $\nu_0 = \frac{E_B}{h}$

* يصاحب الانبعاث الكهروضوئي عادة انبعاث أشعة X أو الكترونات أيكار (Auger) وغالباً ما يمتص من قبل ذرات الوسط المتفاعل اذا كان الوسط كثيف.

③ ظاهرة انتاج الزوج

عندما يمر اشعاع من اشعة كاما قرب المجال الكولومبي للنواة يتولد الزوج الكترون - بوزترون.

حسب قانون حفظ الطاقة

$$h\nu = T_{\bar{e}} + T_{e^+} + 2m_0c^2 \quad \text{---(1)}$$

حسب قانون حفظ الزخم

$$P_r = P_{\bar{e}} + P_{e^+} \quad \text{---(2)}$$

بما أن $P_r = \frac{h}{\lambda}$ يمكن اثبات أن معادلة حفظ الطاقة لا يمكن أن تتحقق مع معادلة حفظ الزخم ولهذا فان زوج الكترون - بوزترون لا يمكن أن يتولد إلا بجوار جسم ثالث ولهذا الجسم هو النواة.

* عندما $T_{\bar{e}} \simeq T_{e^+} \simeq 0$ فان $h\nu = 2m_0c^2 = 1.022\ MeV$ وهي الطاقة الدنيا لتوليد الزوج.

* وجد أن مساهمة مقطع التفاعل في ظاهرة انتاج الزوج

$$\sigma_p = BZ^2 \quad \text{---(3)}$$

حيث Z عدد شحنة الهدف و B قيمة ثابتة وعليه فان معامل الامتصاص μ:

$$\mu = \frac{N_A \rho \sigma}{M} \quad \text{---(4)}$$

N_A: عدد افوكادرو

ρ: كثافة الوسط المعترض

M: الوزن الجزيئي للوسط المعترض

$$\text{كذلك } \mu_{Pb} = \frac{N_A \rho_{Pb} \sigma_{Pb}}{M_{Pb}}$$

$$\frac{\text{للمادة } \mu_p}{\text{للرصاص } \mu_{p,Pb}} = \frac{N_A \rho \sigma_p / M}{N_A \rho_{Pb} \sigma_{Pb} / M_{Pb}}$$

$$\text{أي أن } \mu_{\text{زوج}p} = \mu_{p\,\text{و}\,Pb} \frac{\rho}{11.3} \frac{207.2}{M} \frac{\sigma_p}{\sigma_{p\,\text{و}\,Pb}} \quad \text{---(5)}$$

كزلك فان بعد التعويض :

$$\mu_p = \mu_{p,pb} \frac{\rho}{11.3} \frac{207.2}{M} \left(\frac{Z}{82}\right)^2 \quad (6)$$ معامل الامتصاص لانتاج الزوج

$$\mu_e = \mu_{e,pb} \frac{\rho}{11.3} \frac{207.2}{M} \left(\frac{Z}{82}\right)^5 \quad (7)$$ معامل الامتصاص للظاهرة الكهروضوئية

$$\mu_c = \mu_{c,pb} \frac{\rho}{11.3} \frac{207.2}{M} \left(\frac{Z}{82}\right) \quad (8)$$ معامل الامتصاص لظاهرة كومبتون

μ_p : معامل امتصاص اي مادة في ظاهرة توليد الزوج

ρ و M : الكثافة والوزن الذري للمادة على التوالي

$\mu_{p,pb}$: معامل امتصاص الرصاص في ظاهرة توليد الزوج وهو ثابت

Z : العدد الذري للمادة

* انت وحدات μ_p و μ_e و μ_c هي cm^{-1}

التدريع shielding

استناداً للعلاقات السابقة فان معامل الامتصاص يزداد بزيادة العدد الذري . ان دالة التدريع تعطى بالعلاقة التالية :-

$$\tau_a = \phi_0 Z^5 \left(\frac{1}{137}\right)^4 4\sqrt{2} \left(\frac{m_0 c^2}{h\nu}\right)^{7/2}$$

* يستخدم الرصاص كوسط ماص جيد او درع واقي من اشعاعات X-ray وغاما (Z=82 للرصاص).