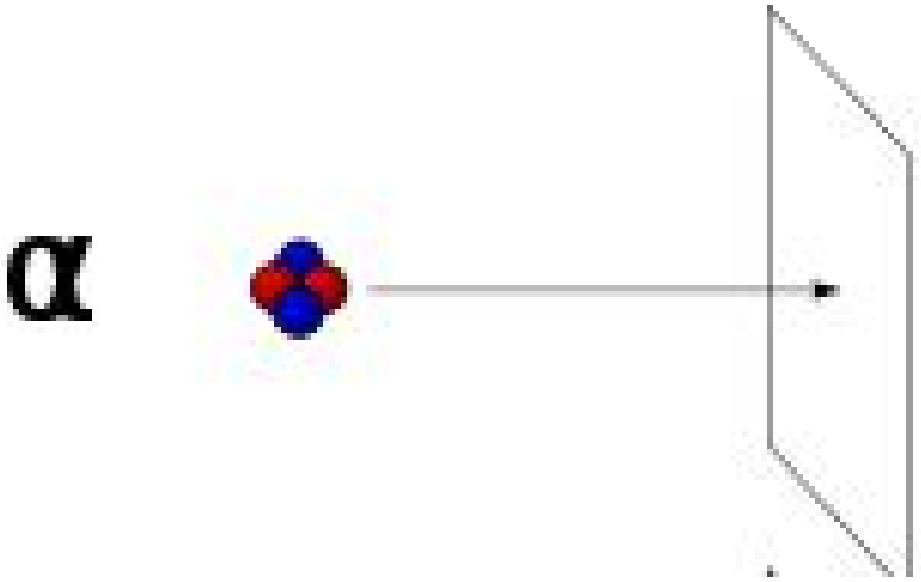
الفصل الثاني

تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة مع المادة

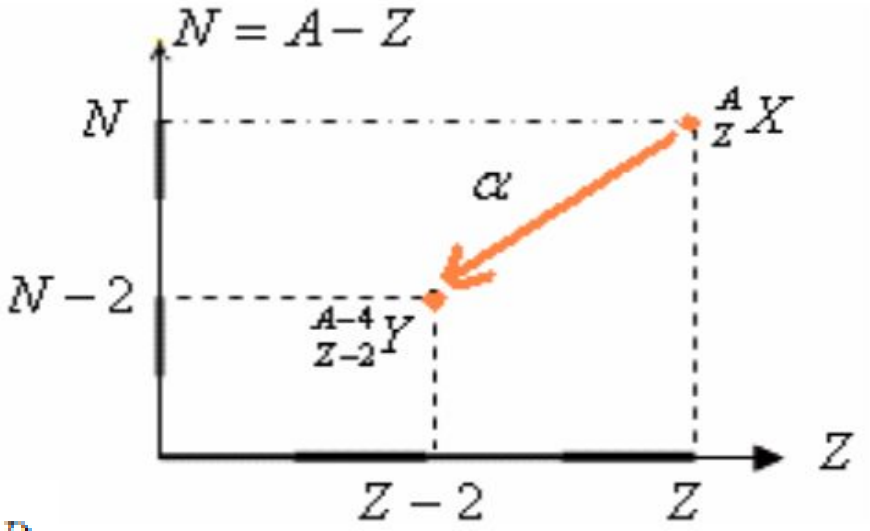


الجسيمات الثقيلة المشحونة : هي جملة الجسيمات ((عدا الالكترونات) المشحونة ولها كتلة كبيرة أمام كتلة الالكترون

مصدر الجسيمات ألفا

النشاط الإشعاعي ← إنحلال ألفا

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He $$

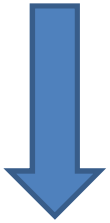


^{218}Po → ^{214}Pb + alpha (6.00MeV)

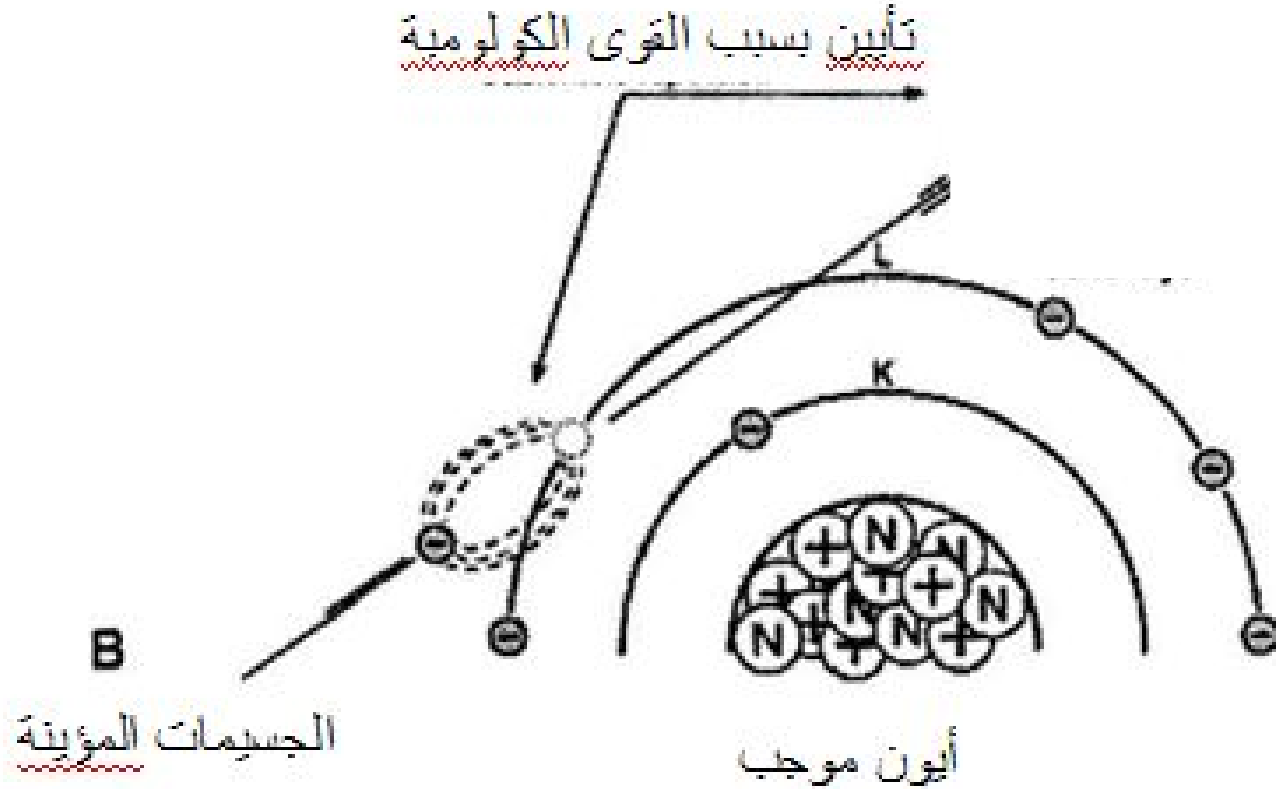
^{214}Bi → ^{210}Pb + alpha (7.68MeV)

بعض خصائص الجسيمات ألفا

$$m = 6{,}644657 \times 10^{-27}\ kg$$



3727,38 MeV



إنتاج الزوج
إلكترون - أيون

حسب مبدأ التصادم

$$W_{max} = \frac{1}{2} M v^2 \left(\frac{4 m_e M}{(m_e + M)^2}\right)$$

$M \gg m_e$

$$W_{max} = E \left(\frac{4 m_e}{M}\right)$$

شرط التأيين

تكوين زوج

(الكترون - أيون)

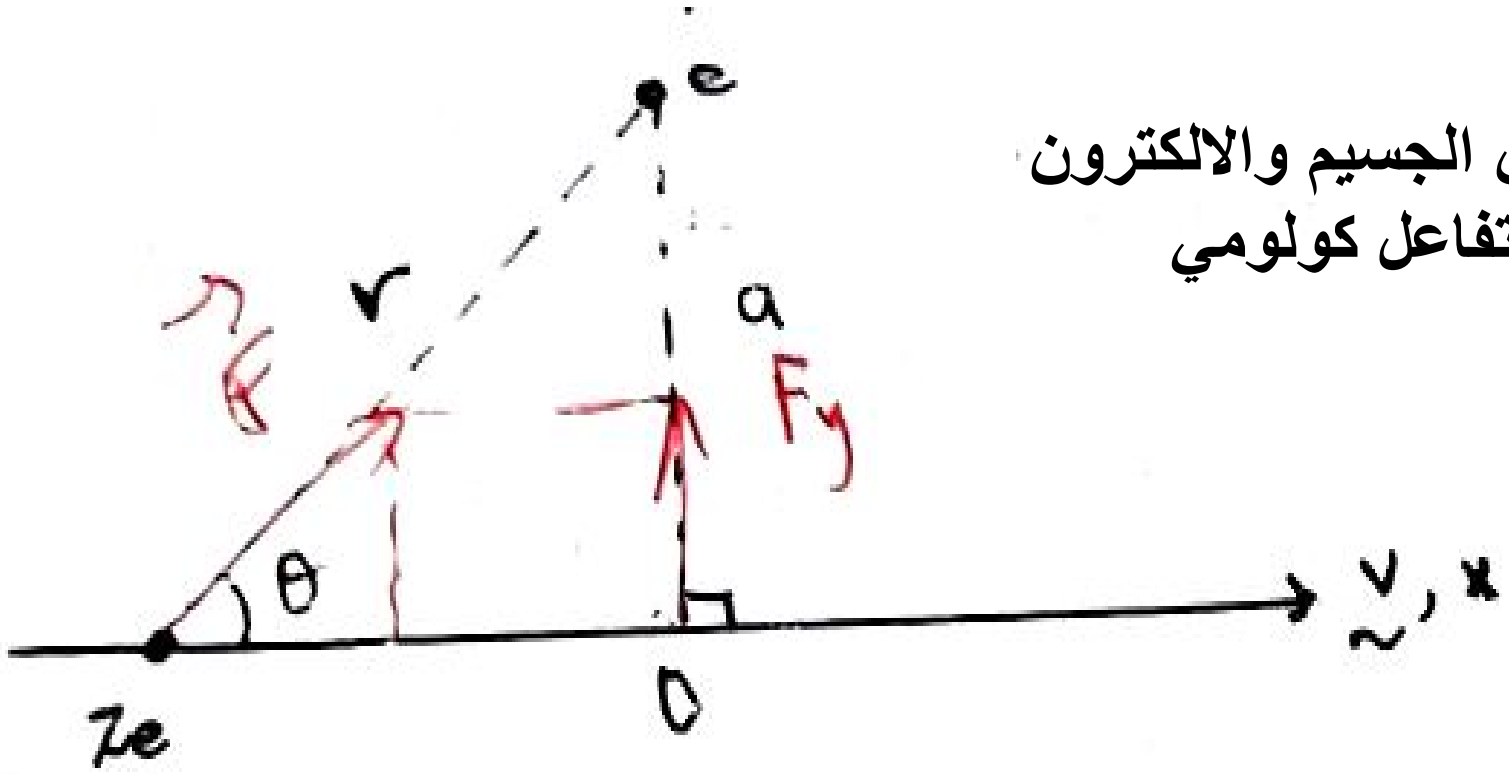
Wmax ≥ I

$$E = I \left(\frac{M}{4 m_e}\right)$$

إيجاد علاقة الضياع في الطاقة

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

التفاعل بين الجسيم والالكترون
هو تفاعل كولومي



كمية الحركة المكتسبة من الالكترون نتيجة قوة كولوم

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} F_y \; dt$$

/ Fy المركبة العمودية لـ F

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{z\, e^2}{(4\pi\varepsilon_0) r^2} . sin\theta \; dt$$

Sin θ= a / r $\Rightarrow$ $\frac{1}{r^2} = sin^2\theta / a^2$

$v = dx/dt \Rightarrow dt = dx/v$

x بعد الجسيم على المحور x

$x = \frac{-a}{tan\theta} \Rightarrow dx = \frac{-a}{sin^2\theta} d\theta \Rightarrow dt = \frac{-a}{v sin^2\theta} d\theta$

نعوض في علاقة كمية الحركة

$$P = \int_0^{\pi} \frac{ze^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sin^2\theta}{a^2} \cdot \sin\theta \left(\frac{-a}{\sin^2\theta v} \right) d\theta$$

$$= \frac{-ze^2}{4\pi\varepsilon_0 av} \cdot \int_0^{\pi} \sin\theta \, d\theta$$

$$= \frac{-ze^2}{4\pi\varepsilon_0 av} (-\cos\theta))_0^{\pi}$$

$$P = \frac{-ze^2}{2\pi\varepsilon_0 av} \quad \text{.....(2)}$$

a : البعد الفعال

v سرعة الجسيم

الطاقة الحركية المحولة للالكترون:

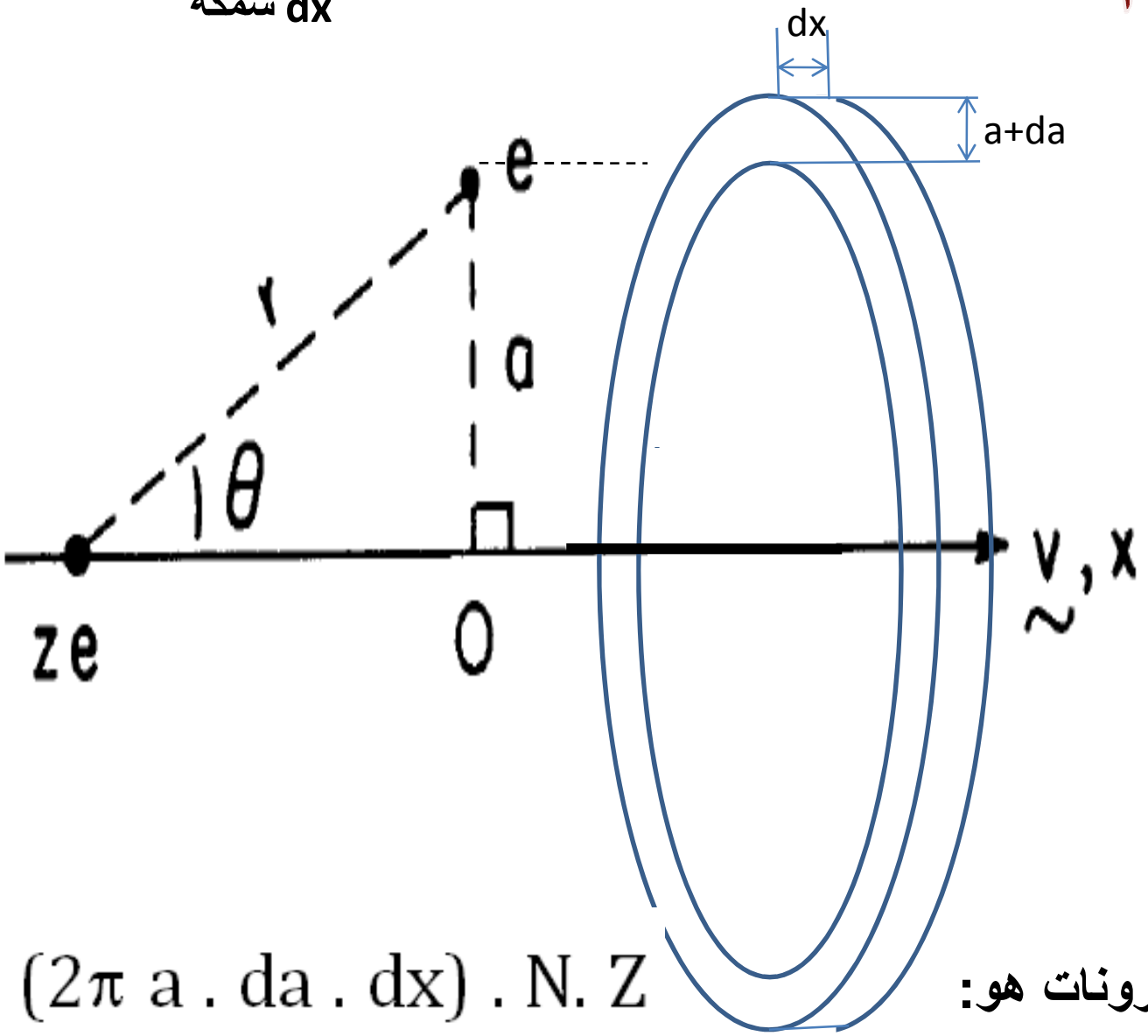
$$dE_e = \frac{p^2}{2m_e}$$

$$dE_e = \frac{z^2 e^4}{4\pi^2 \epsilon_0^2 a^2 v^2} \cdot \frac{1}{2m_e}$$

$$dE_e = \frac{z^2 e^4}{8\pi^2 \epsilon_0^2 a^2 v^2} \frac{1}{m_e} \quad \text{.....(3)}$$

تعميم

نعتبر الآن توزيعا منتظما للالكترونات في مجال محصور بين
a et (a+da)
سمكه dx



عدد الالكترونات هو:

$$dN_e = (2\pi\ a\ .\ da\ .\ dx)\ .\ N.\ Z$$

N عدد الذرات في النطاق ذات العدد الشحني **Z**

التحويل الطاقوي في هذا الحجم سيكون:

$$dW_e = dN_e \,.\, dE_e$$

$$\Rightarrow \quad dWe = (2\pi a\, da\, dx)N.Z.\frac{z^2e^4}{8\pi^2\varepsilon_0^2v^2a^2m_e}$$

$$\Rightarrow \quad dWe = \frac{z^2e^4}{4\pi\varepsilon_0^2v^2am_e}N.Z(\, da\, dx).$$

ضياع الطاقة في وحدة الطول هو:

$$\frac{-dE}{dX} = \int_{amin}^{amax} \frac{dWe}{dx}$$

$$\frac{-dE}{dX} = \int_{amin}^{amax} \frac{z^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 v^2 am_e} N.Z(\,da/\,\mathrm{a}\,)$$

$$\frac{-dE}{dX} = \frac{z^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 v^2 am_e} N.Z \ln\left(\frac{a_{max}}{a_{min}}\right)$$

عبارة a_{max} , a_{min}

عند a_{max}

يجب أن تكون قيمة التحويل الطاقوي : $dE_e = I$

$$\frac{2z^2e^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 a_{max}^2 m_e v^2} = I$$

$$a_{max} = \frac{z}{(4\pi\varepsilon_0)} \frac{e^2}{m_e v^2} \sqrt{\frac{2}{m_e I}}$$

عند a_{min}

ستكون قيمة التحويل الطاقوي أعظمية: $dE_{e(max)}$

$$dE_e = \frac{4m_e}{M} E$$

$$dE_e = \frac{4m_e}{M} \cdot \frac{1}{2} M v^2 = 2m_e v^2$$

$$\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{2ze^2}{m_e v^2 a_{min}^2} = 2m_e v^2$$

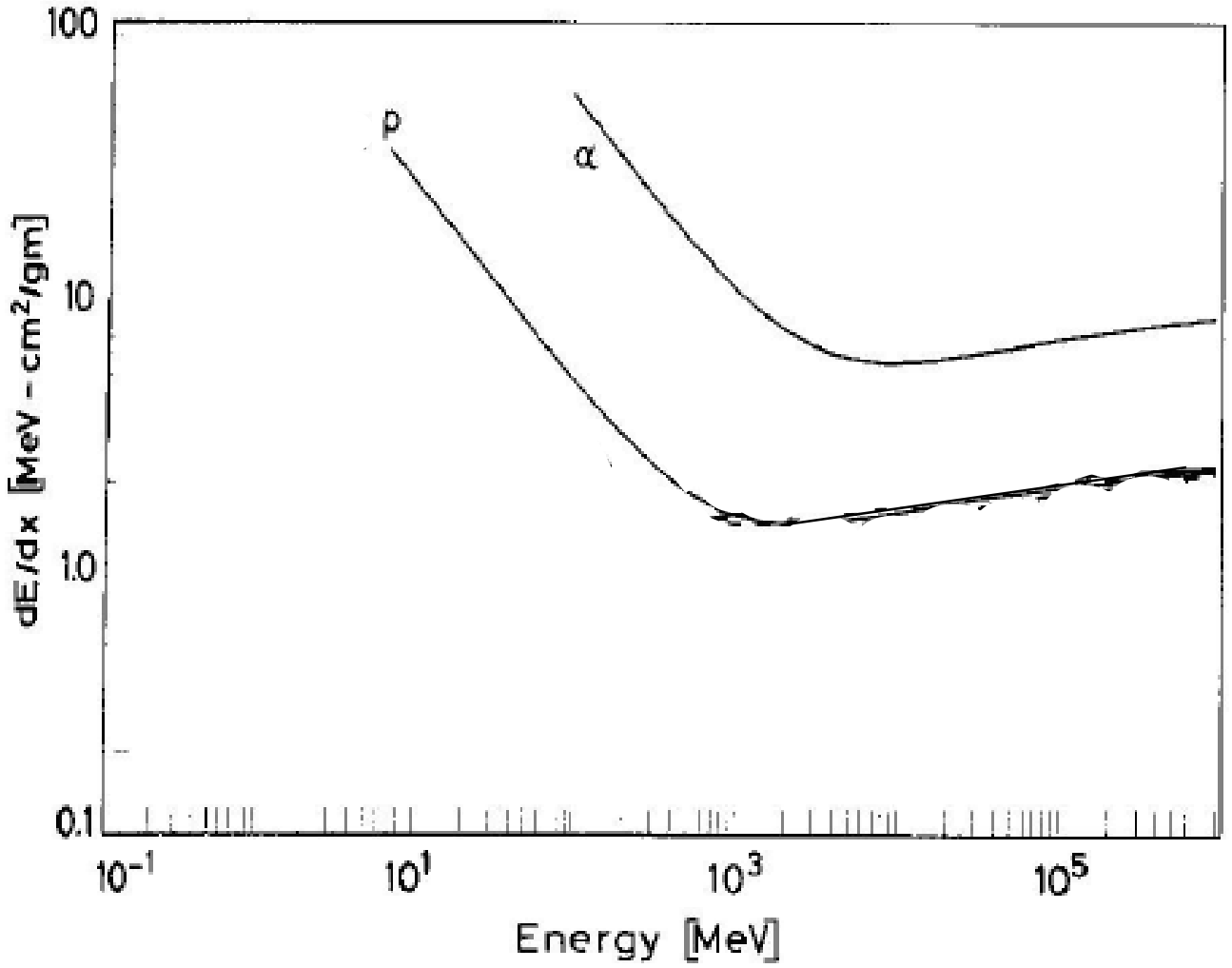
$$a_{min} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)} \cdot \frac{ze^2}{m_e v^2}$$

بالتعويض في علاقة الضياع في الطاقة نجد:

$$\frac{-dE}{dx} = N.Z.\frac{z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0{}^2\, m_e v^2} ln\left[\sqrt{\frac{2m_e v^2}{I}}\right]$$

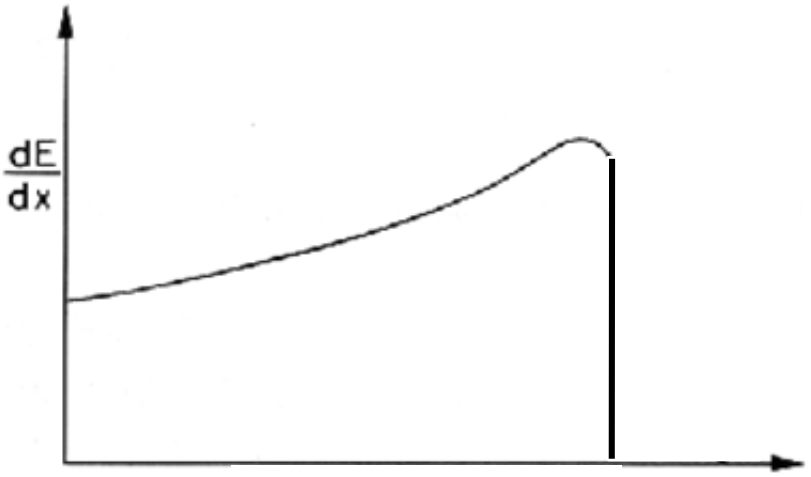
تعرف أيضا بعلاقة بيتي **BETHE**

وحدتها: **Mev / Cm**



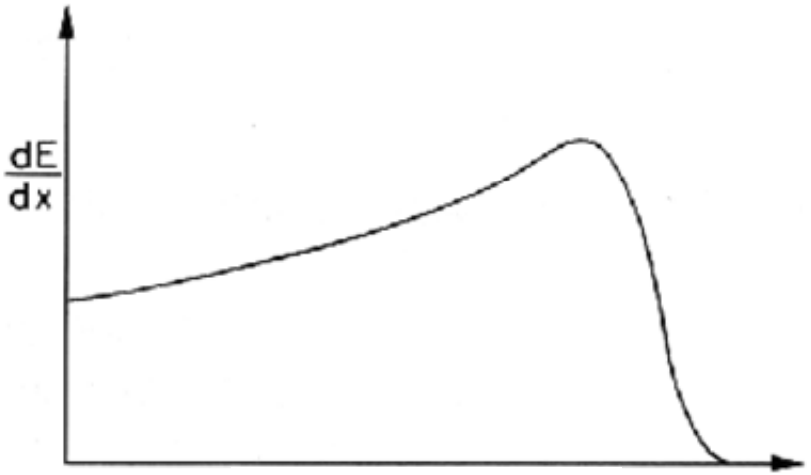
قدرة الإيقاف لوحدة الكتلة لجسيمات المشحونة الثقيلة (α و p) بدلالة طاقتها الابتدائية

منحني براغ



(أ)

منحني براغ لقدرة الايقاف لجسيم واحد



(ب)

مدى جسيمات ألفا

منحني براغ لقدرة الايقاف لحزمة من الجسيمات

مدى الجسيمات في المادة: R

$$R = \int_{E_0}^{0} dx = \int_{E_0}^{0} \frac{-dE}{\frac{-dE}{dx}}$$

لدينا:

$$\frac{-dE}{dx} = K\frac{z^2}{v^2}$$

و $E = \frac{1}{2}mv^2$

$$dE = mvdv$$

و $v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$

$$R = -\int_{v}^{0} \frac{mvdv}{\frac{Kz^2}{v^2}}$$

$$= -\frac{m}{Kz^2}\int_{v}^{0} v^3 dv$$

وعليه فإن مدى الجسيم يكون:

$$R = \frac{mv^4}{4Kz^2}$$

علاقة المدى في مادة إذا عرف في مادة أخرى

$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{\rho_0\sqrt{A_1}}{\rho_1\sqrt{A_0}}$$

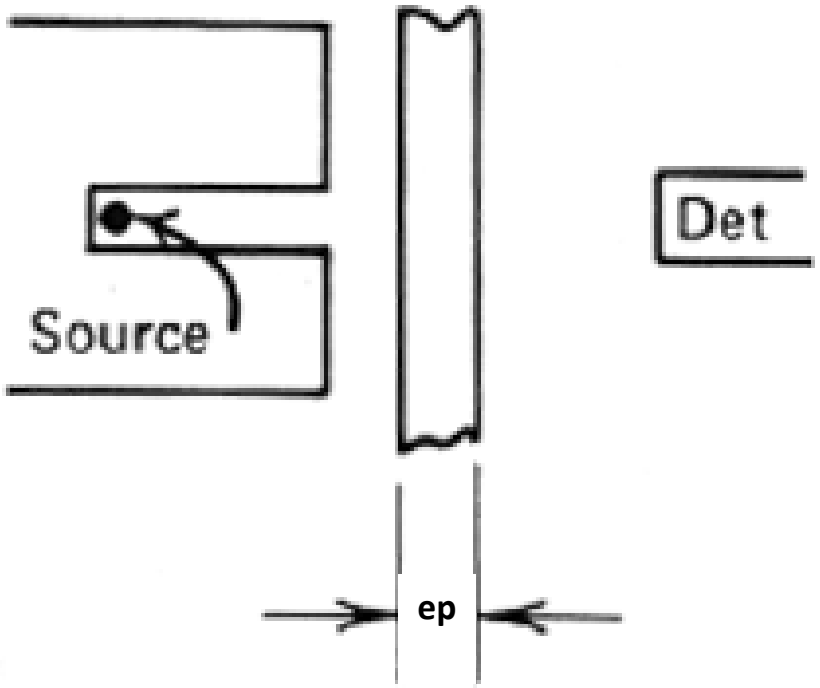
زمن الإيقـــاف T_s

هو الزمن التقريبي لايقاف الجسيمات داخل المادة

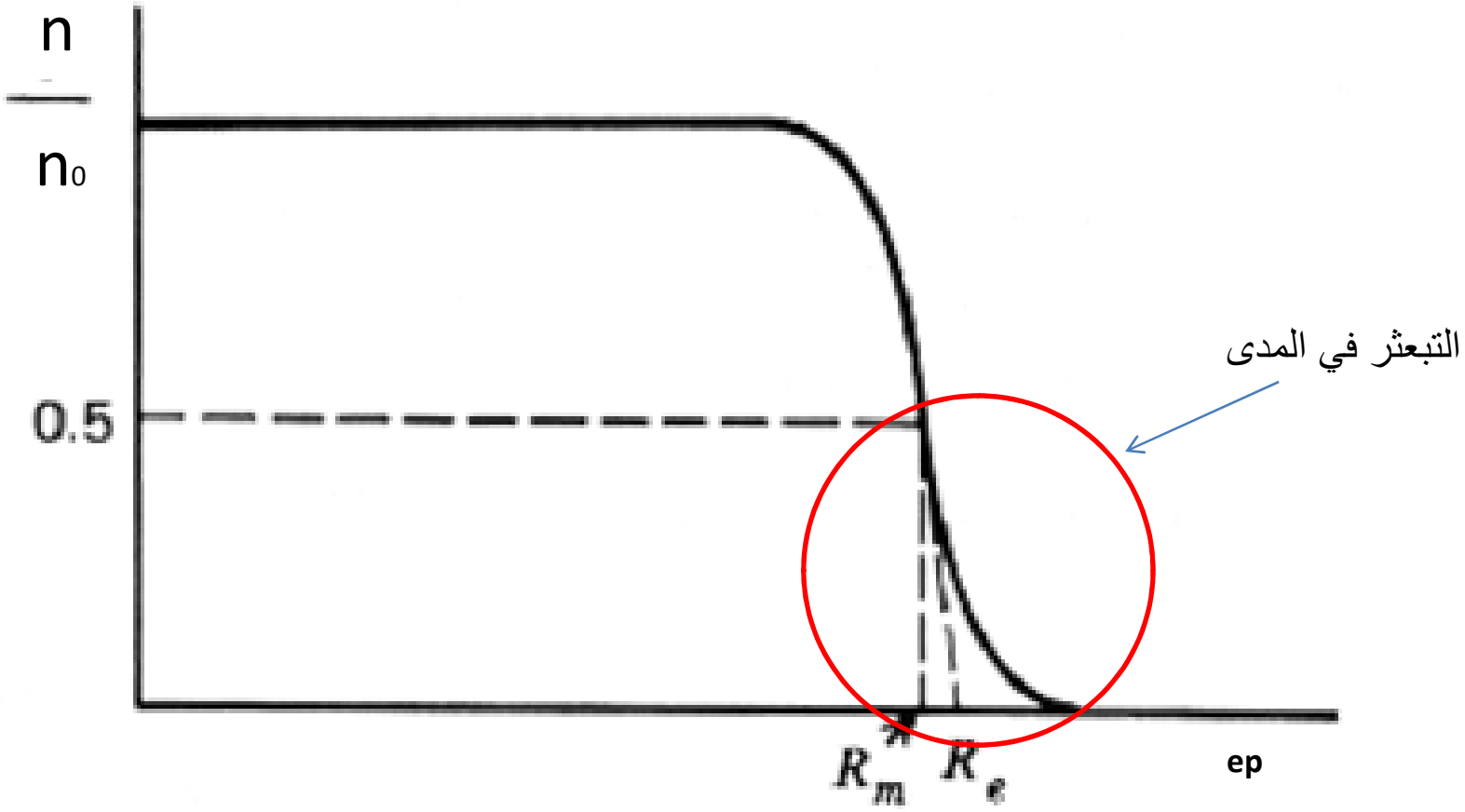
تجريبيا:

$$T_s = 1{,}2 \cdot 10^{-7} R \sqrt{\frac{M}{E}}$$

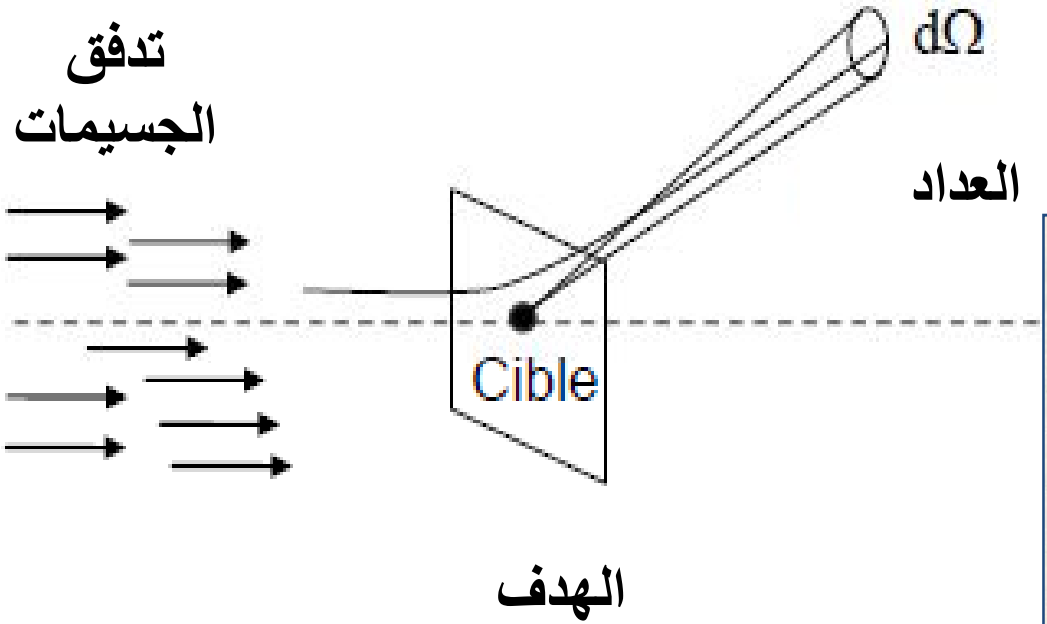
التبعثر في المدى: Δ

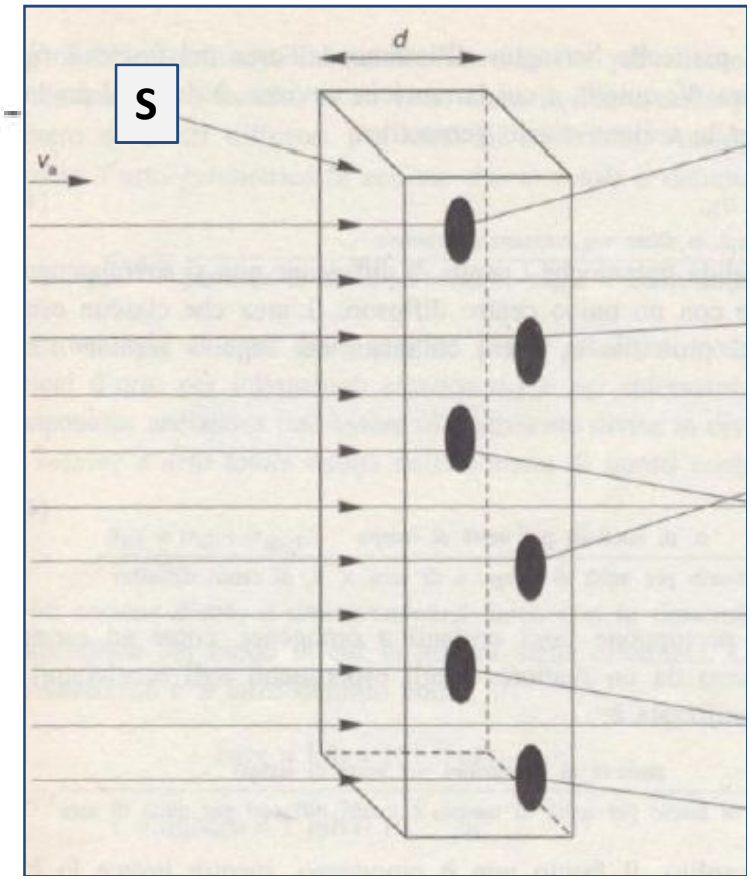


التركيب التجريبي لإيجاد التبعثر و ثابت التبعثر


n
n0
0.5
التبعثر في المدى
ep
R_m
R_e

المقطع الفعال σ



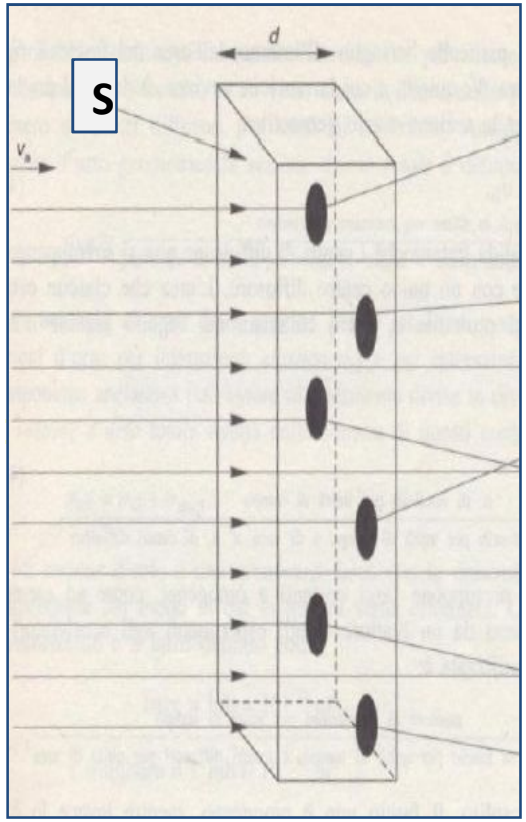


$$T = \sigma \Phi N_{cible} = \sigma \Phi s_{cible} S$$

$$n_{cible} = N_{cible}/V = (n_{mol} N_A)/V = \left(\frac{M}{A} N_A\right)/V = \rho N_A/A$$

$$s_{cible} = N_{cible}/S = (n_{cible} S d)/S = n_{cible} d$$

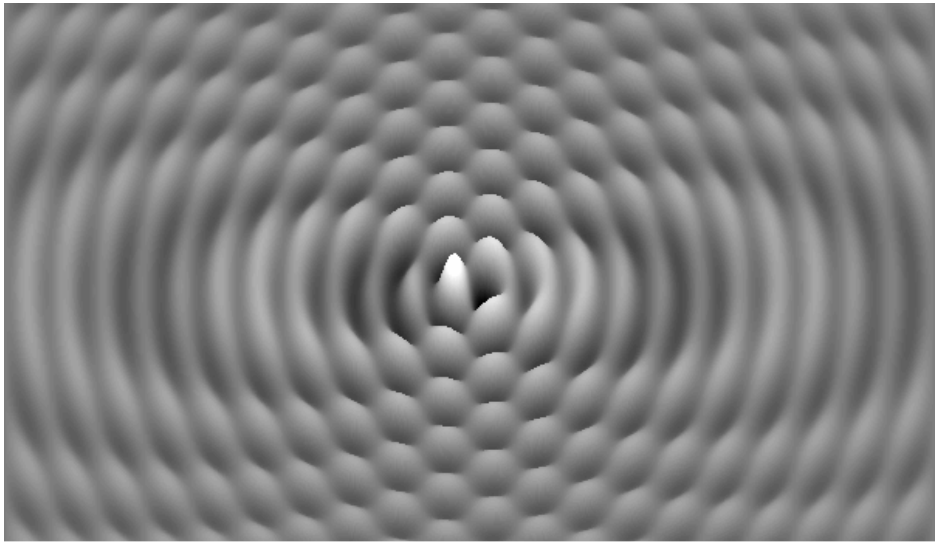
$$s_{cible} = (\rho \cdot d) N_A/A \quad \text{cm}^{-2}$$

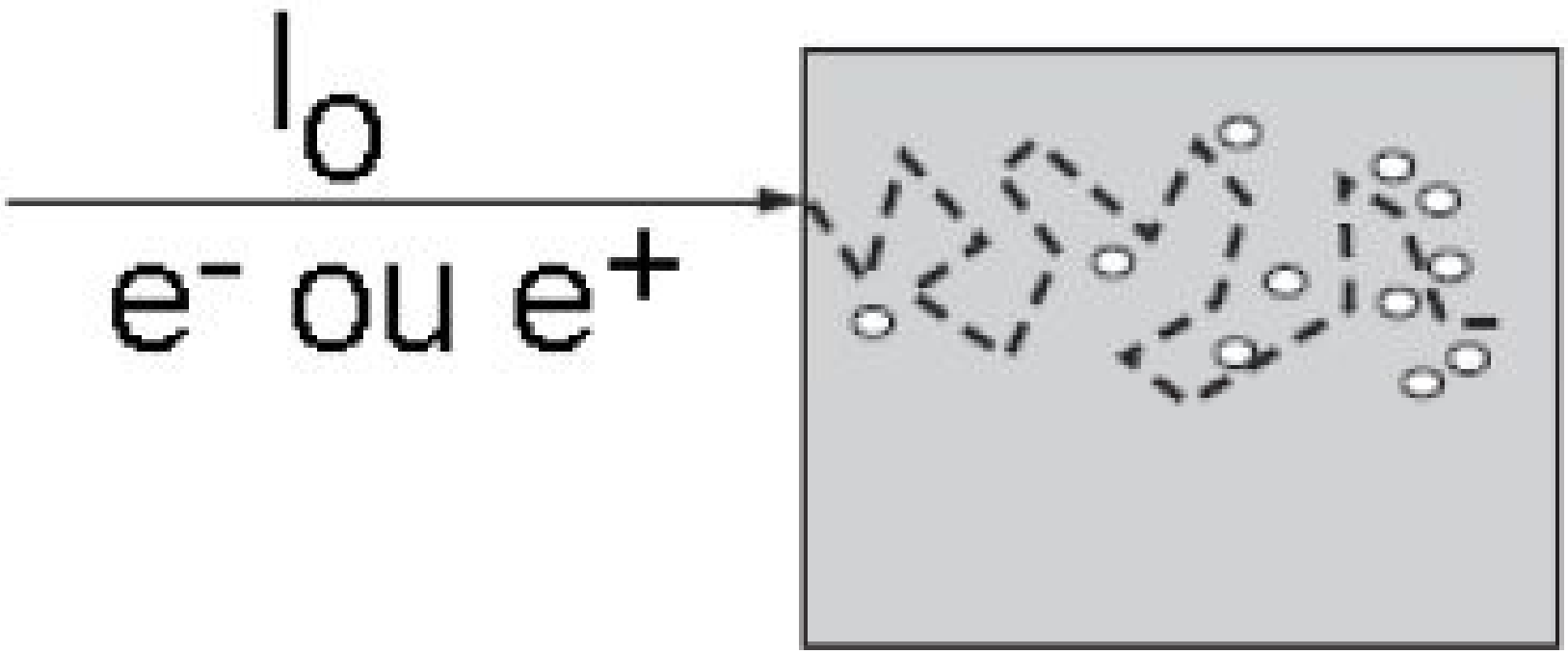


$$p = \frac{T}{\Phi S} = \sigma\, s_{cible} = \sigma \cdot N_A(\rho \cdot d)/A$$

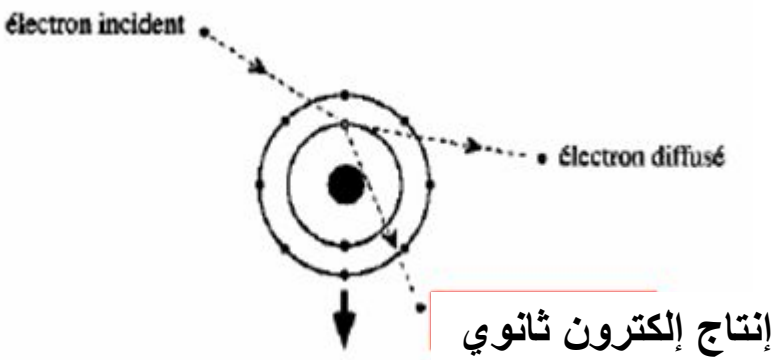
احتمالية التفاعل

الفصل الثالث:
تفاعل الجسيمات الخفيفة المشحونة مع المادة

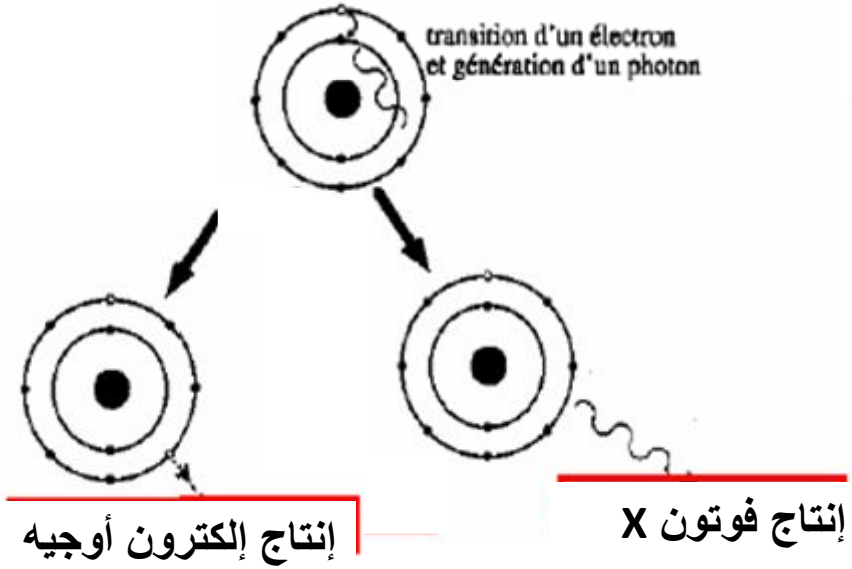



I_0
e^- ou e^+

آليات التفاعل بين الاشعاع الالكتروني والمادة

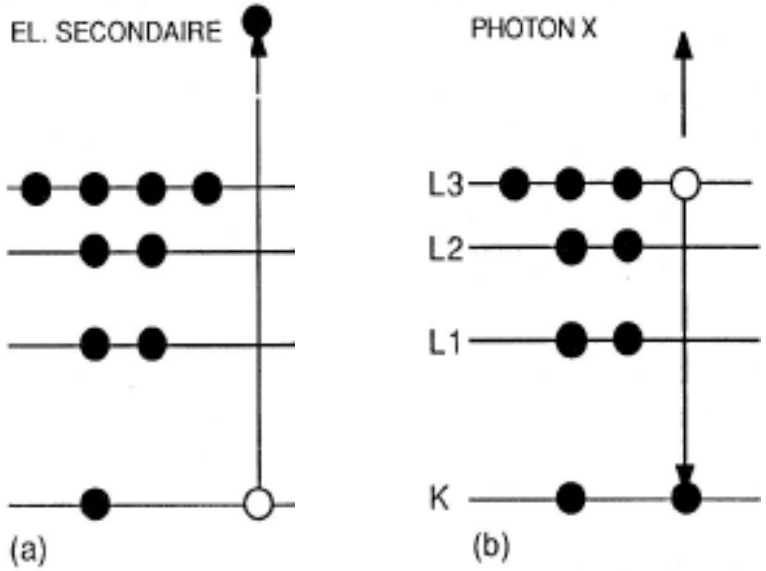


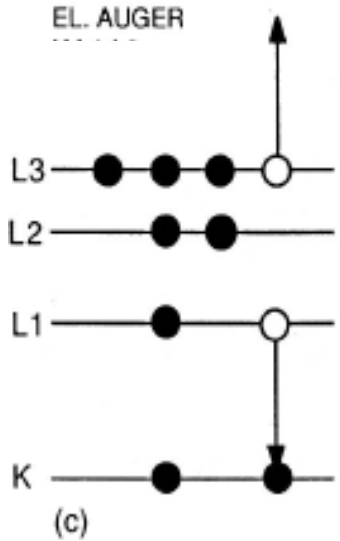
إنتاج إلكترون ثانوي



إنتاج إلكترون أوجيه

إنتاج فوتون X





مبدأ انحفاظ الطاقة:

حالة إنتاج إلكترون ثانوي:

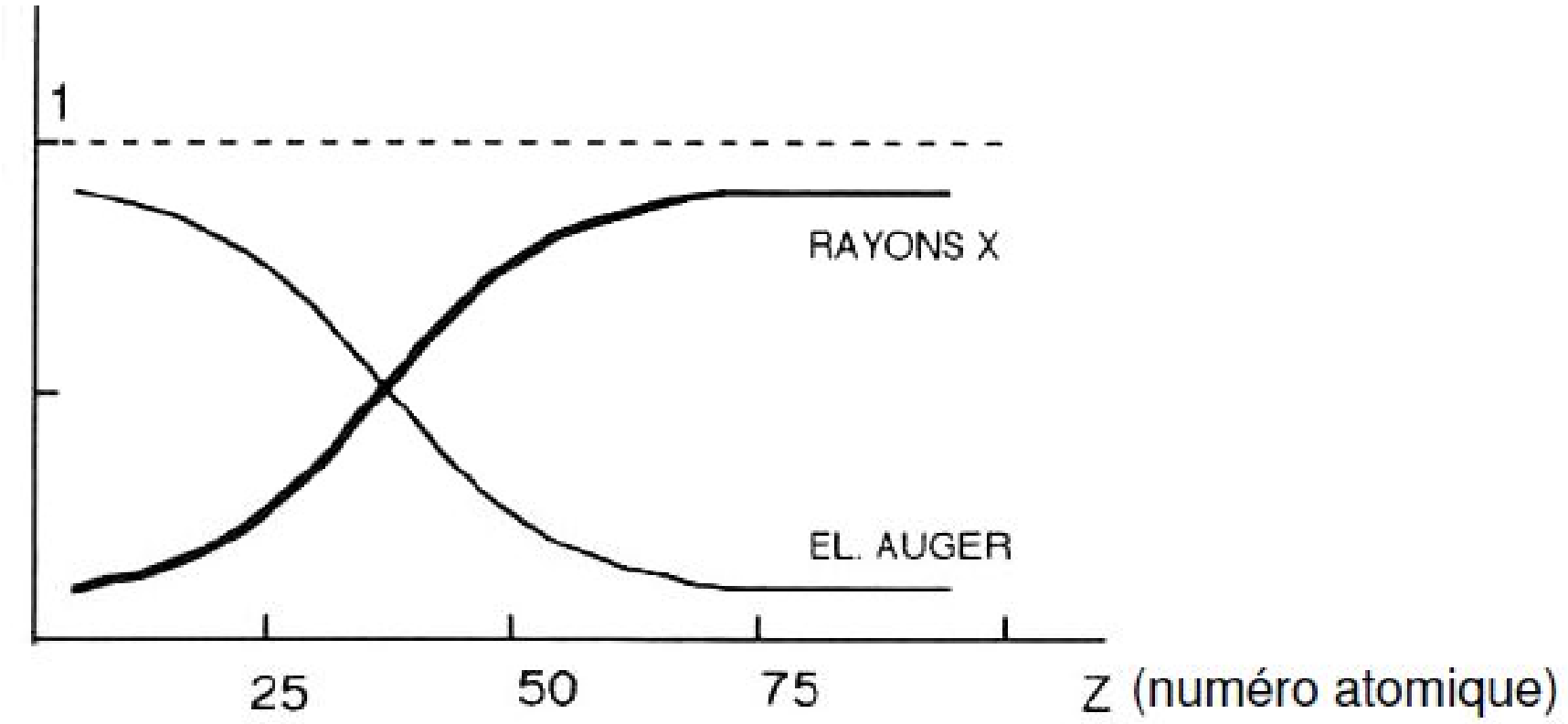
$$E_{c_0} = E_c - E_c'$$

حالة إنتاج فوتون X:

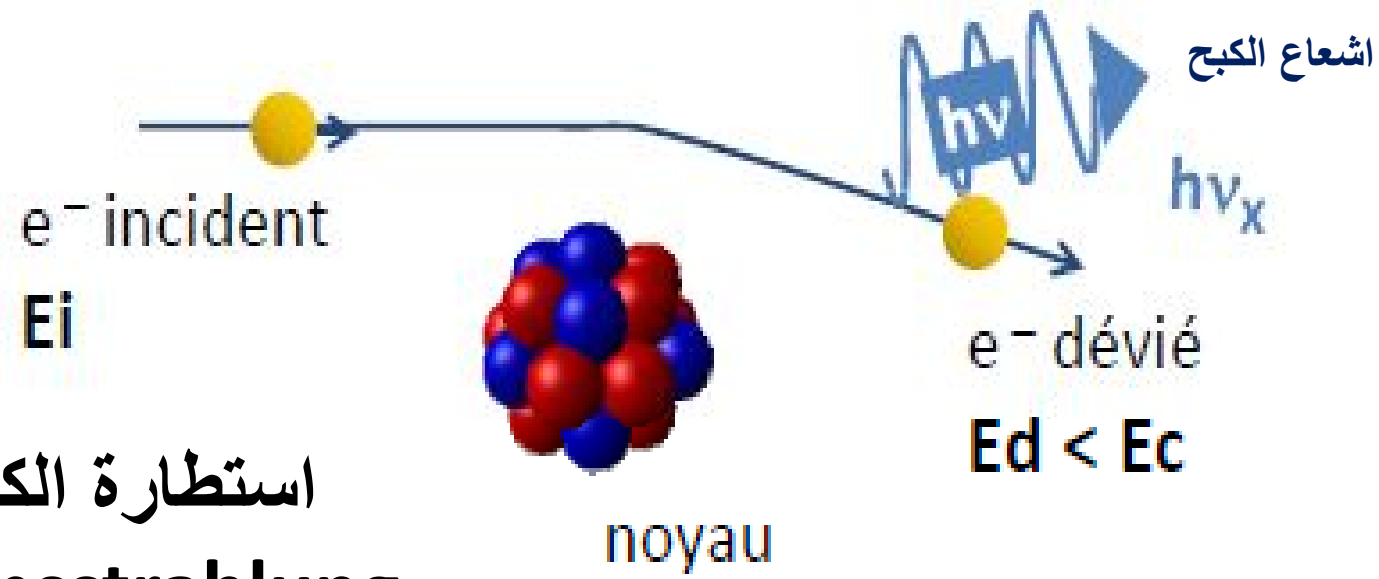
$$E_{ph} = E_2 - E_1$$

حالة إنتاج إلكترون أوجيه:
مثال الشكل السابق

$$E_{cA} = (W_K - W_{L1}) - W_{L3}$$

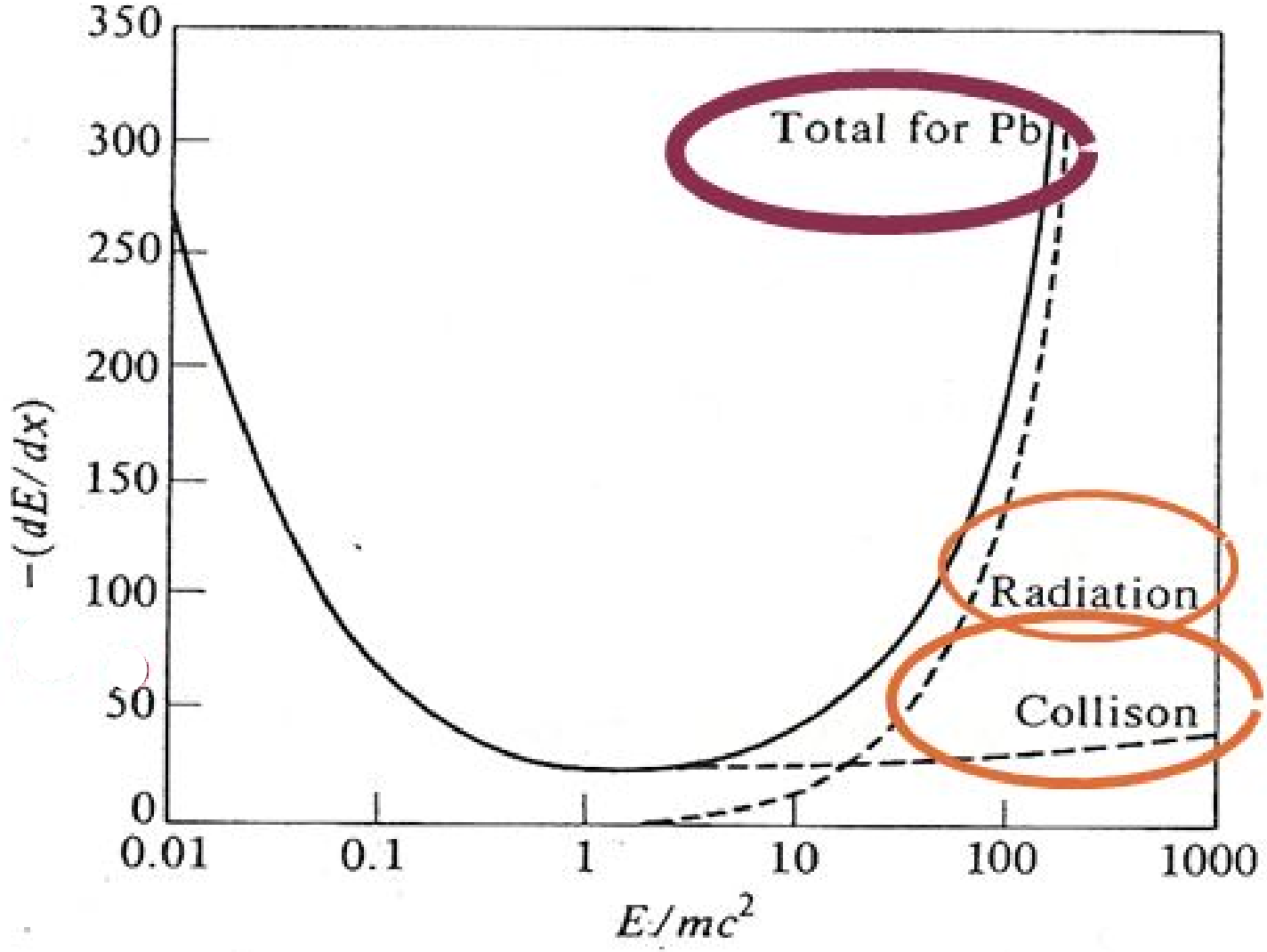


احتمالية اصدار فوتون X أو الكترون أوجي من الطبقة K حسب Z

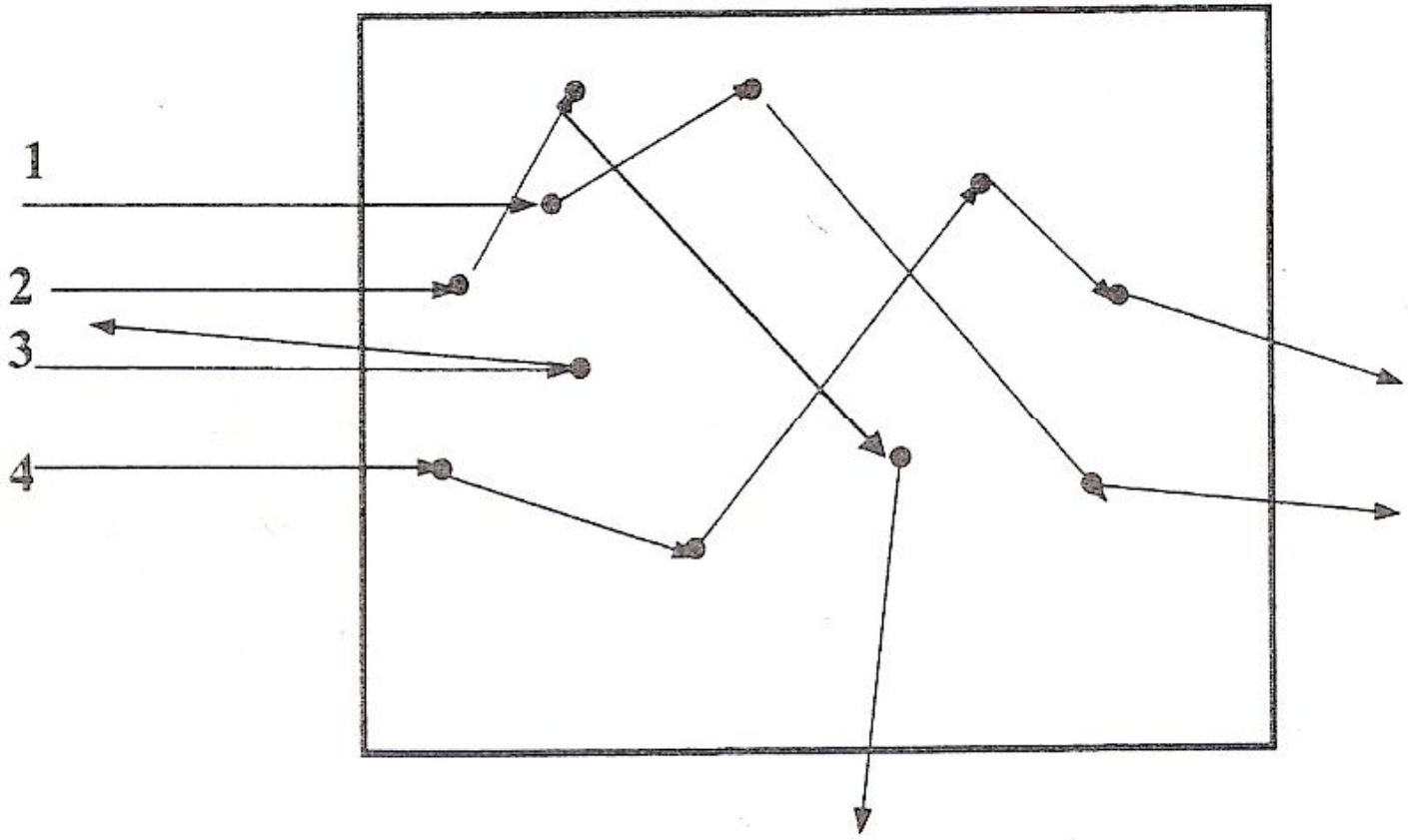


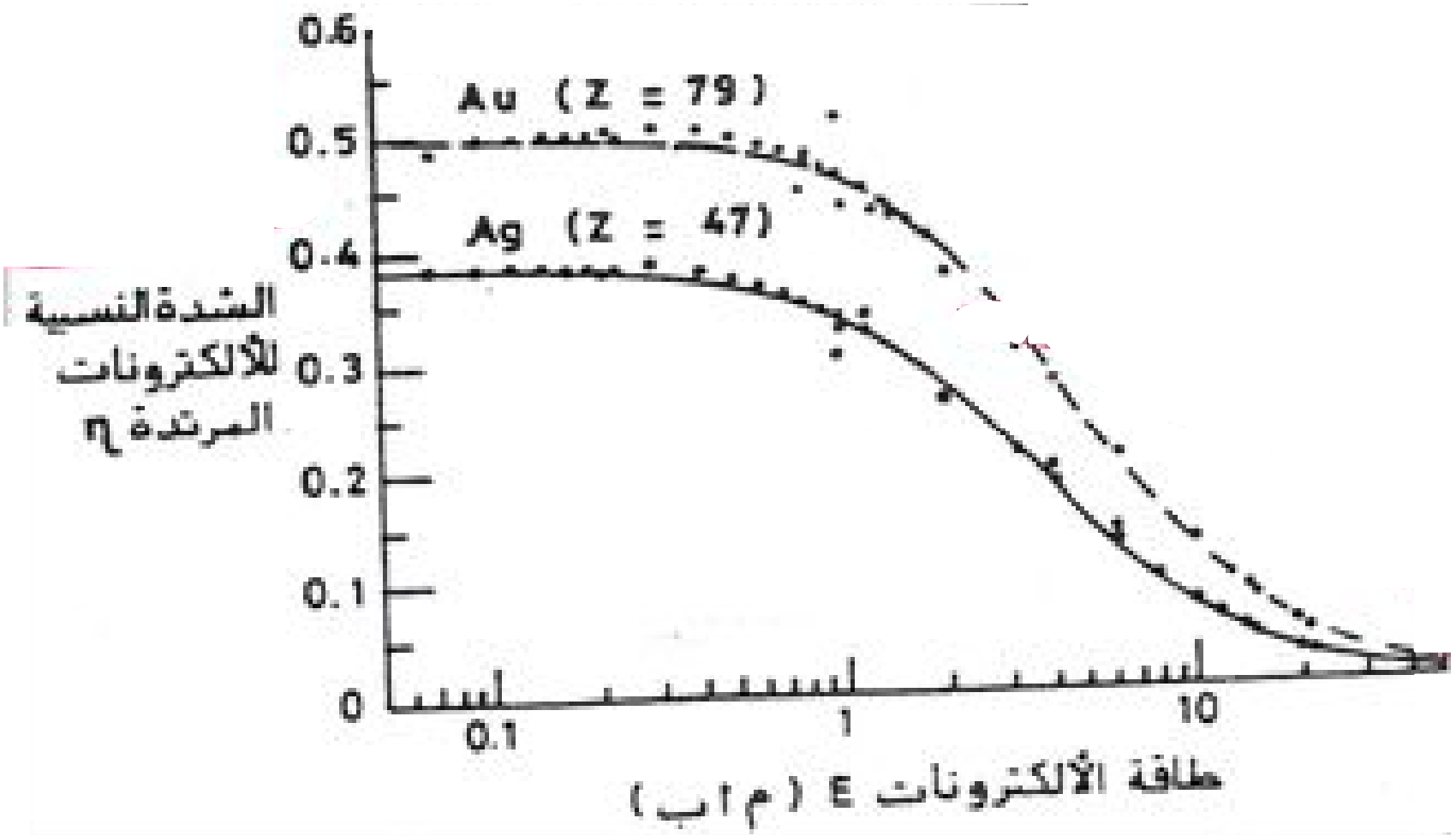
استطارة الكبح

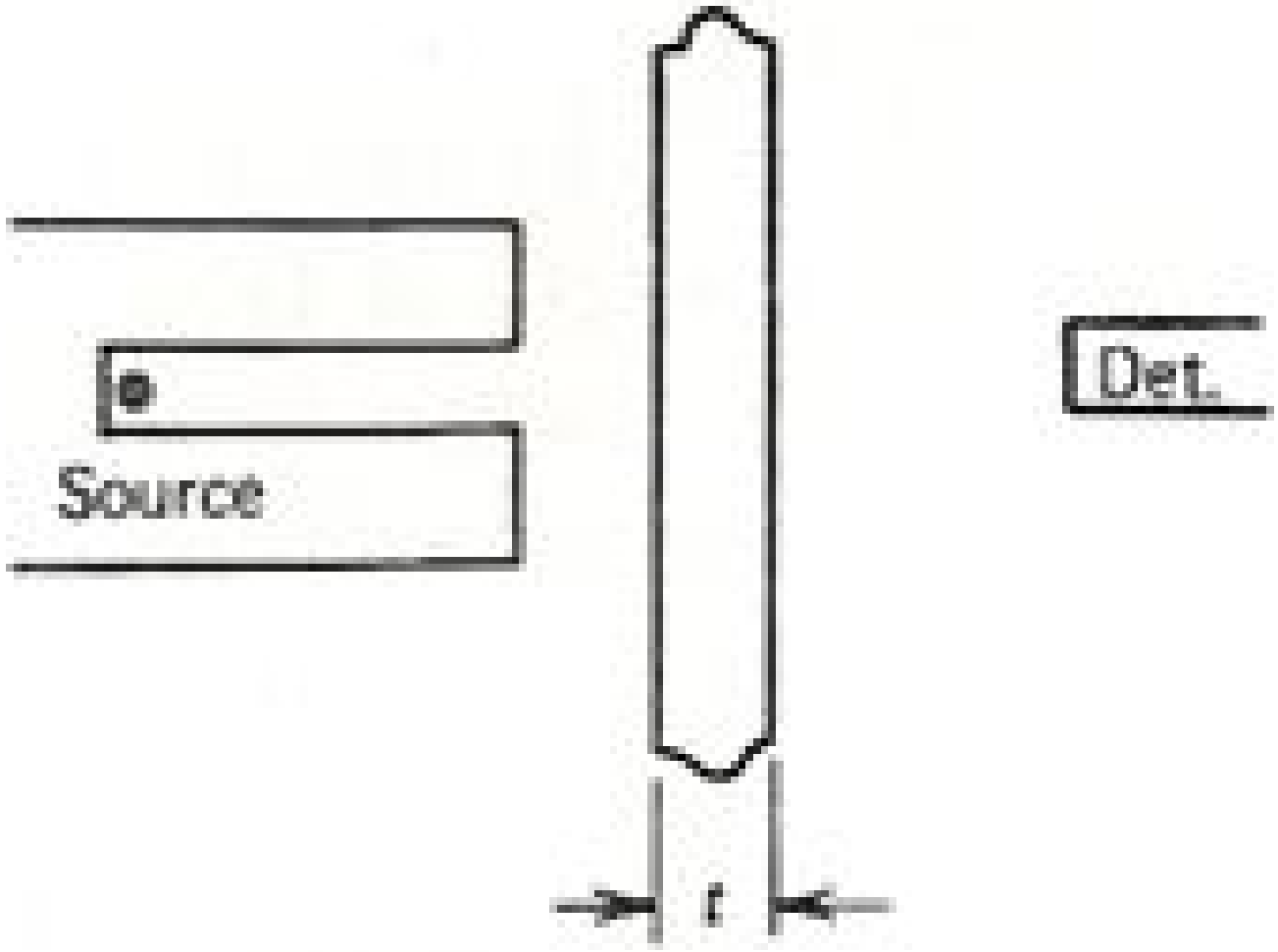
Bremsstrahlung

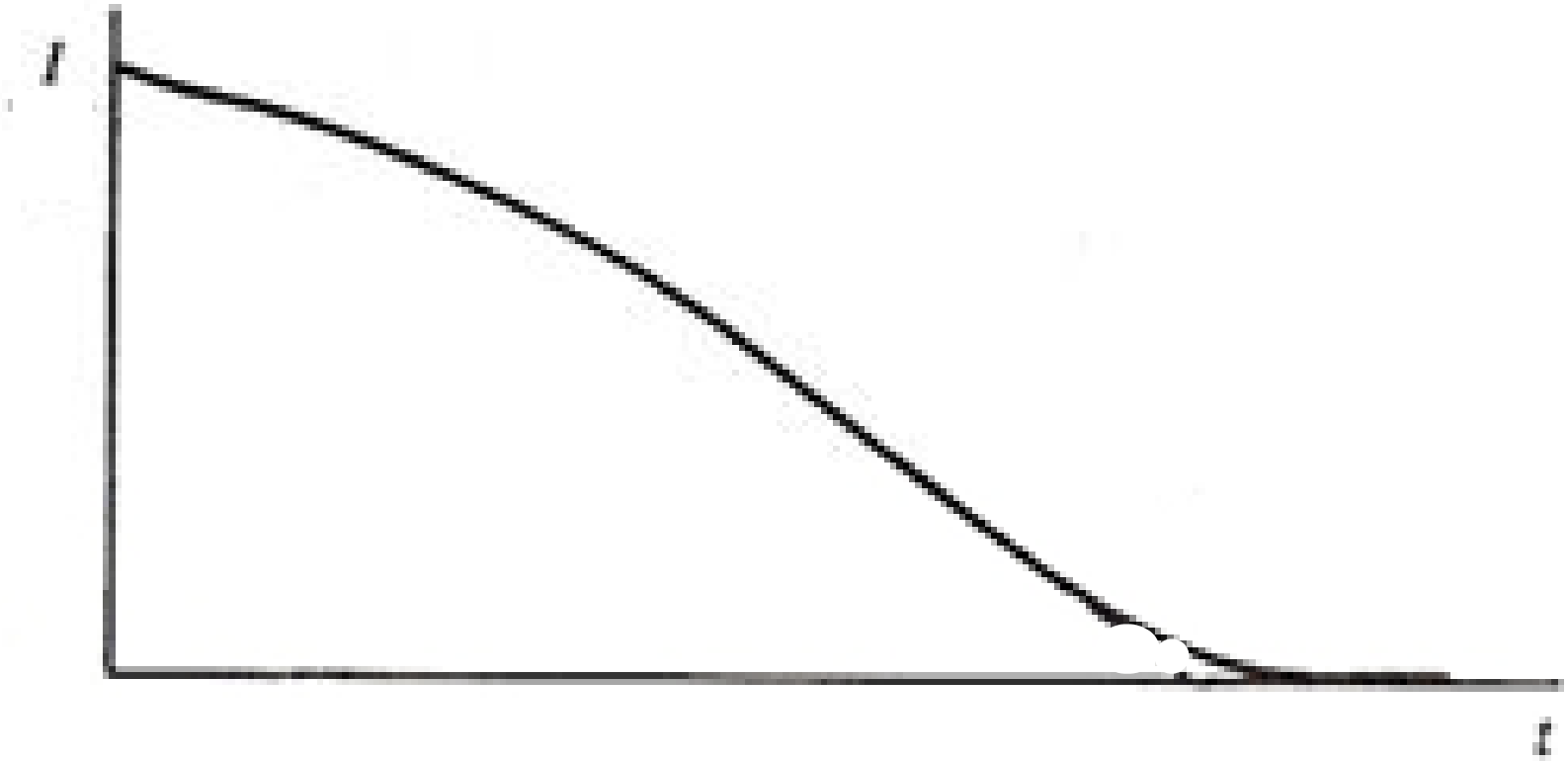

350
300
250
200
150
100
50
0
$-(dE/dx)$
0.01
0.1
1
10
100
1000
E/mc^2
Total for Pb
Radiation
Collison

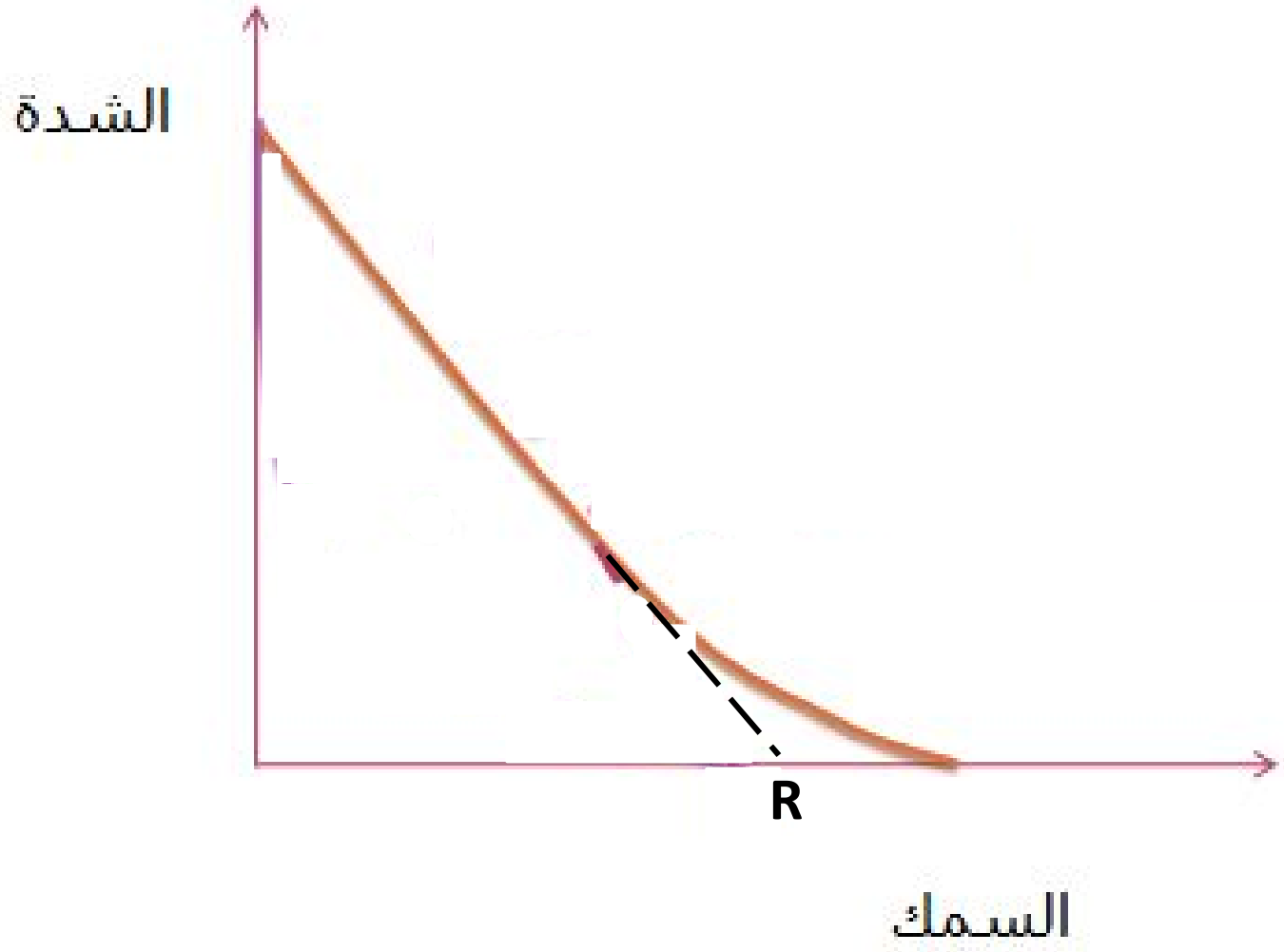
امتصاص الالكترونات

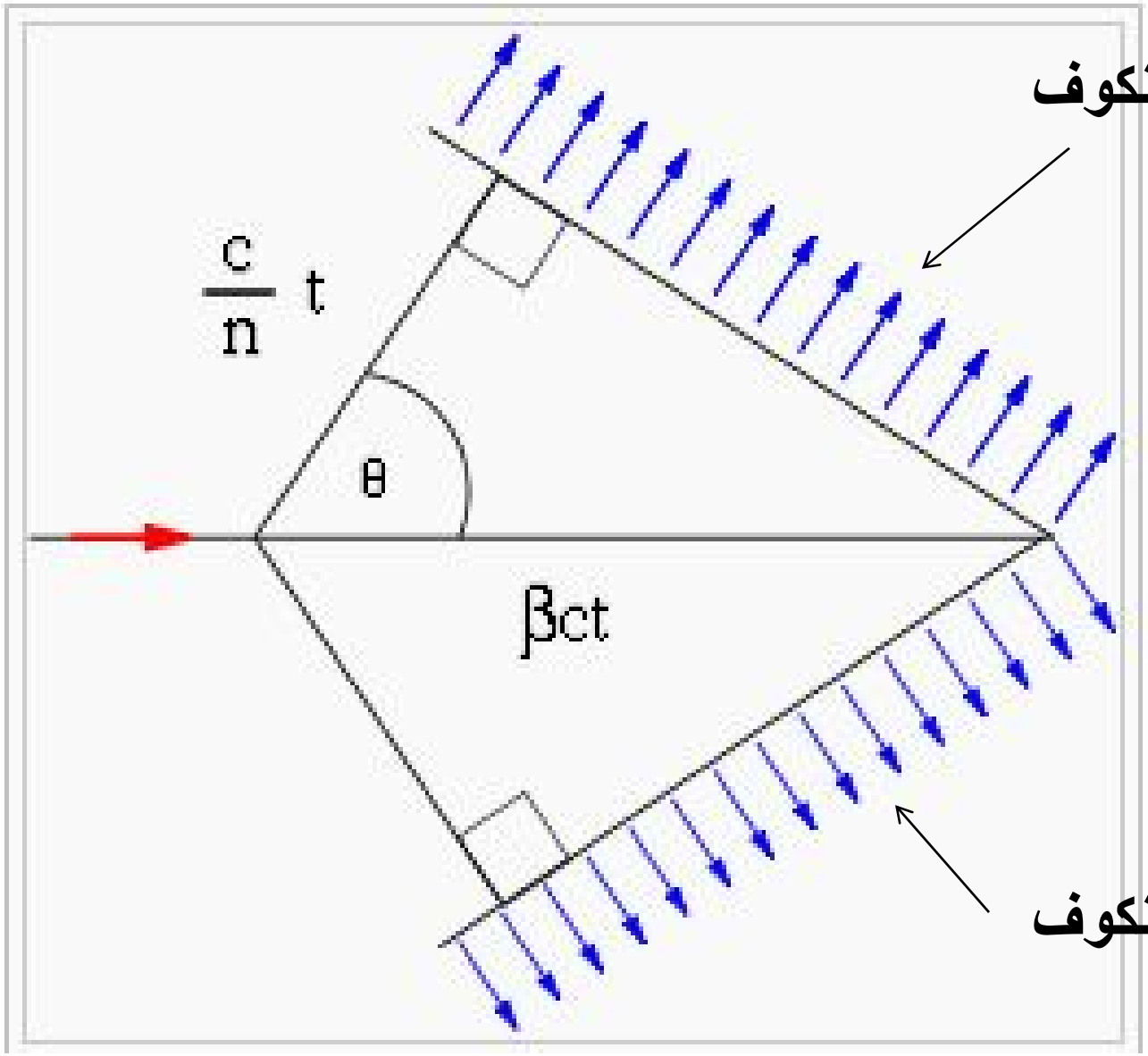


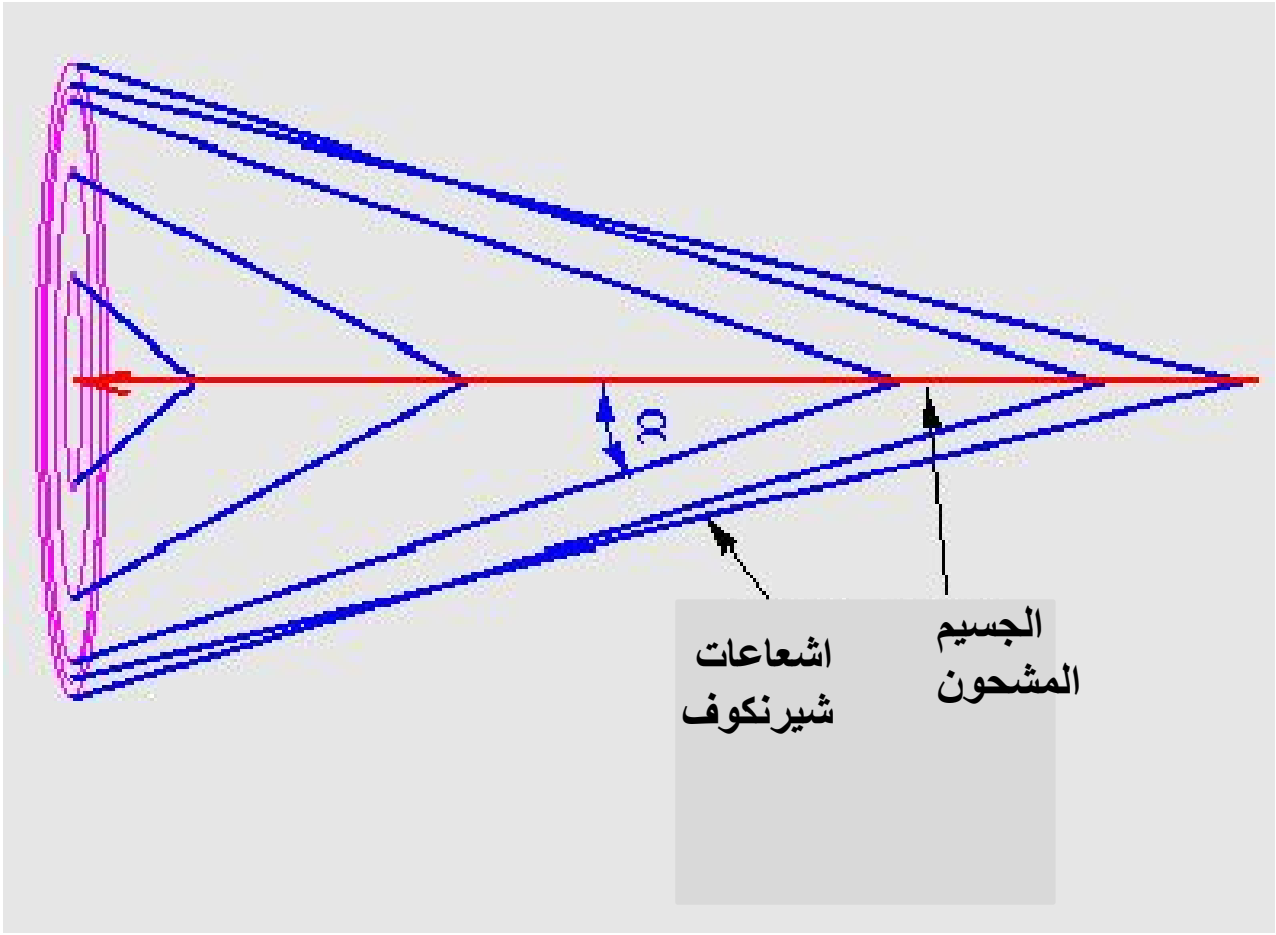

0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Au (Z = 79)
Ag (Z = 47)
الشدة النسبية للألكترونات المرتدة η
0.1
1
10
طاقة الألكترونات E (م ا ب)


Source
Det.
t

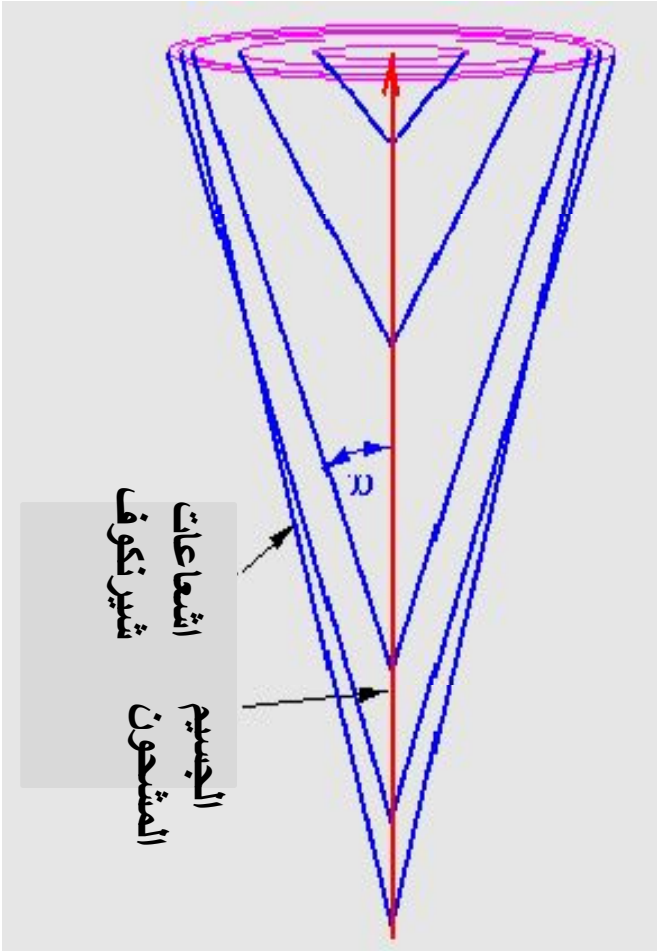

I
t


الشدة
R
السمك


اشعاع شیرنکوف
$\frac{c}{n}t$
θ
βct
اشعاع شیرنکوف

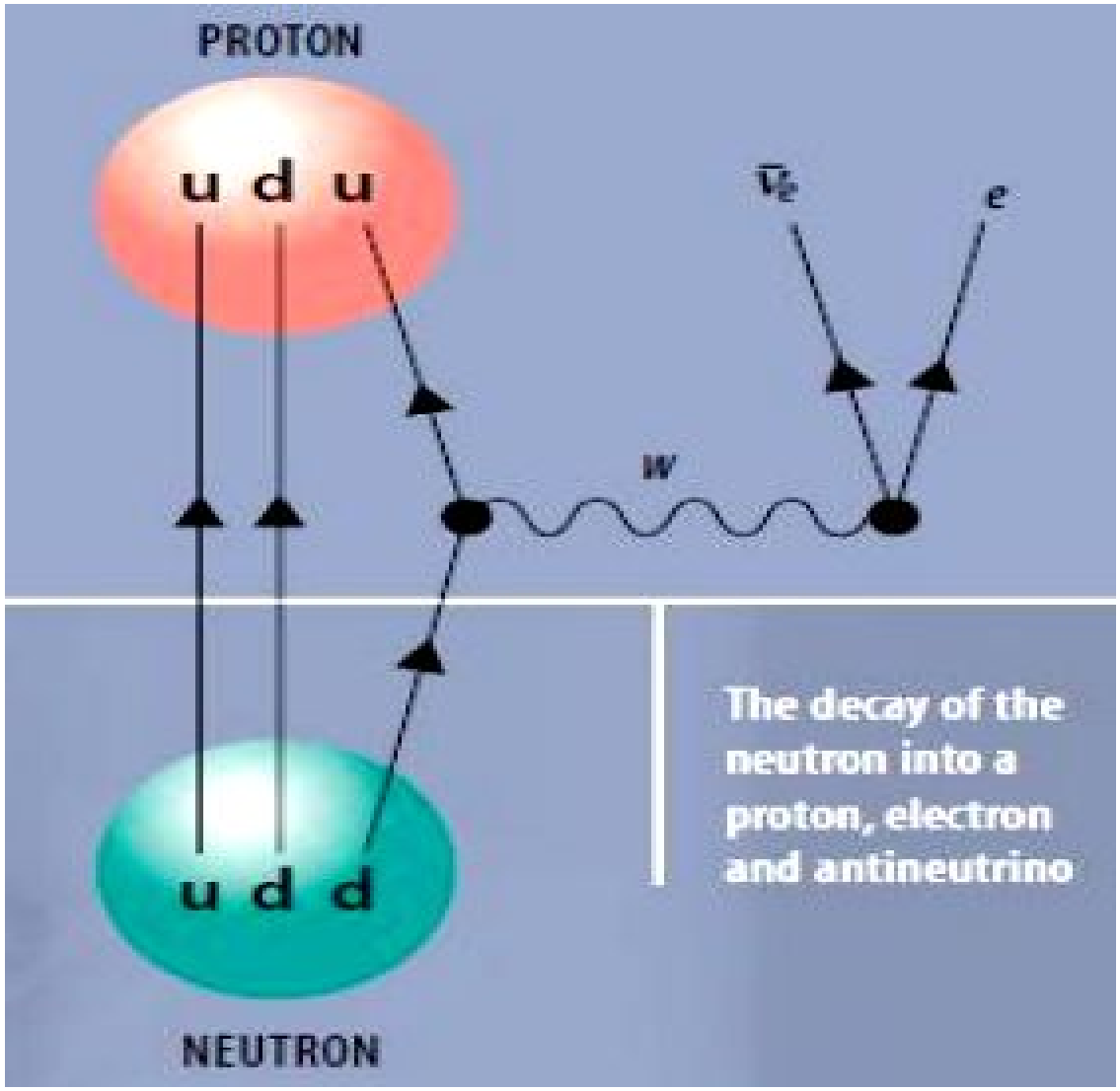

α
اشعاعات
شيرنكوف
الجسيم
المشحون

اشعاع شيرنكوف
في المفاعلات النووية



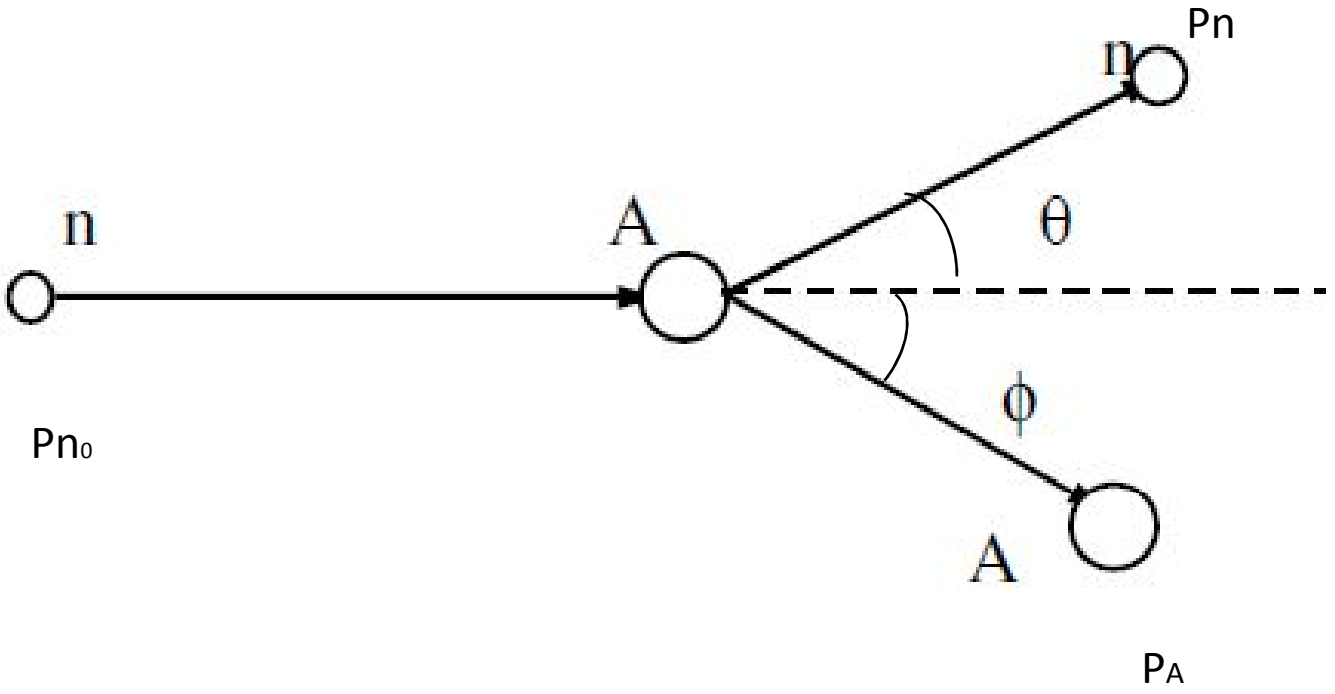
الفصل الرابع

تفاعل النيترونات مع المادة

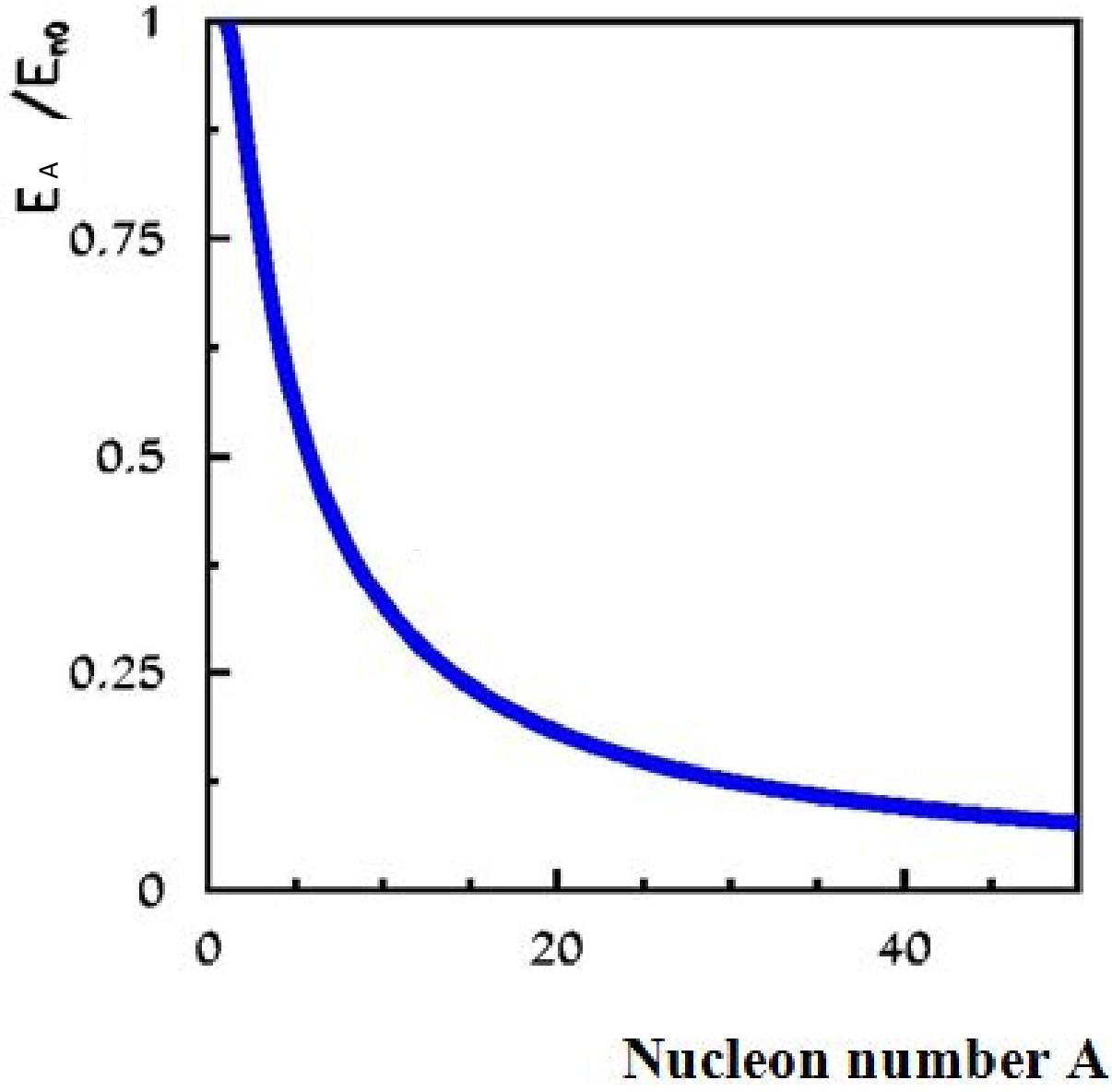

PROTON
u d u
$\bar{\nu}_e$
e
W
u d d
NEUTRON
The decay of the neutron into a proton, electron and antineutrino

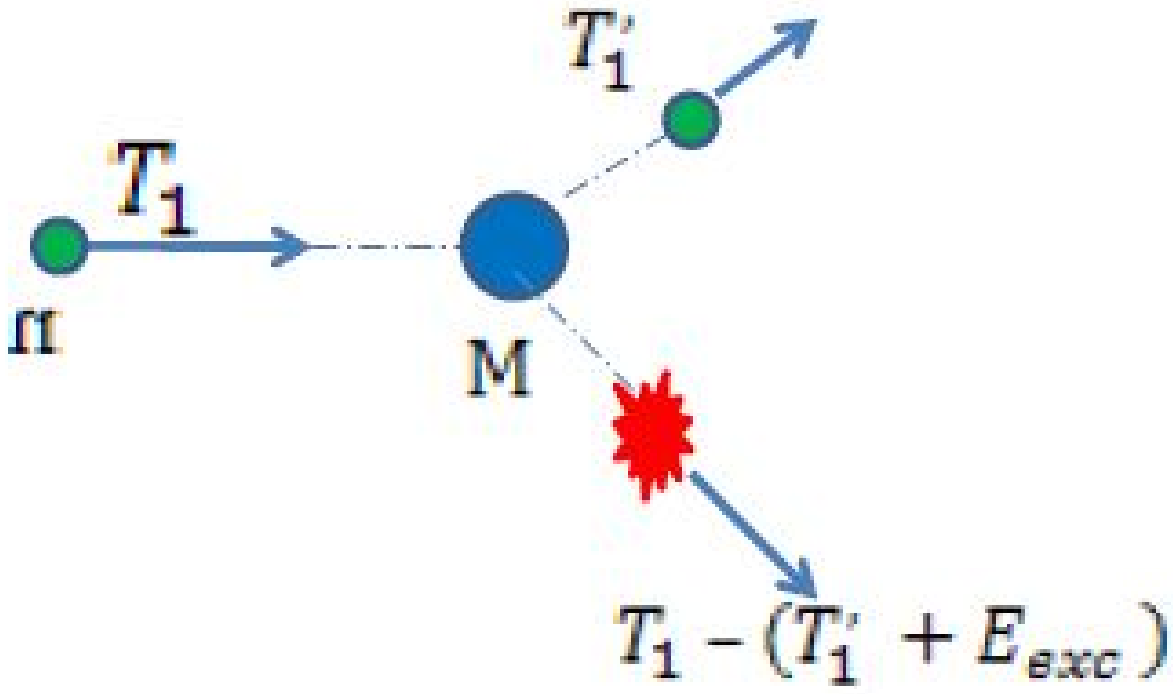
أقسام النيترونـــــات

القسم	الطاقة
نيترونات الطاقة العالية	>10 MeV
نيترونات سريعة	10 KeV – 10 MeV
نيترونات متوسطة	100 eV – 10 KeV
نيوترونات بطيئة	0,03 eV – 100 eV
نيوترونات فوق حرارية	~ 1 eV
نيترونات حرارية	0,025 eV



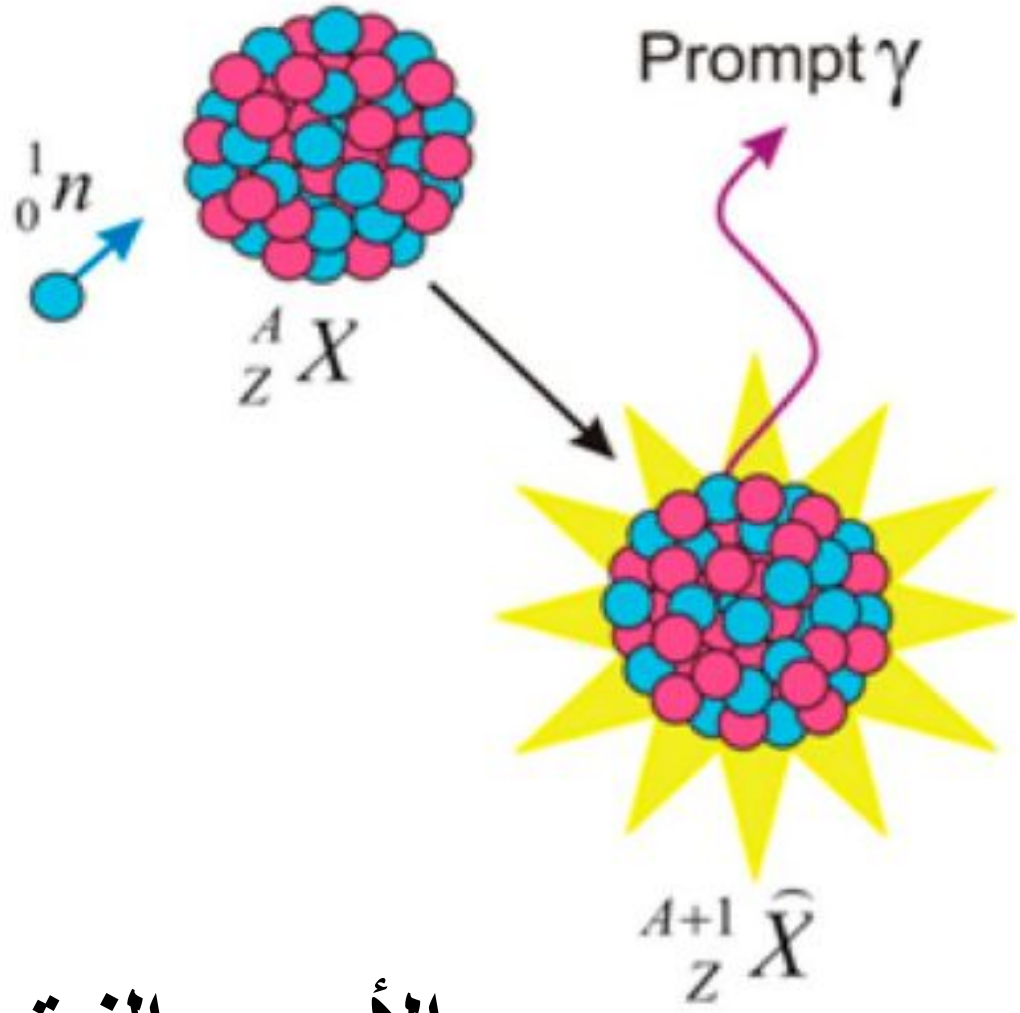
التشتت المرن للنيوترونات


E_A / E_{n0}
1
0.75
0.5
0.25
0
0
20
40
Nucleon number A



Ec أو T غير محفوظة

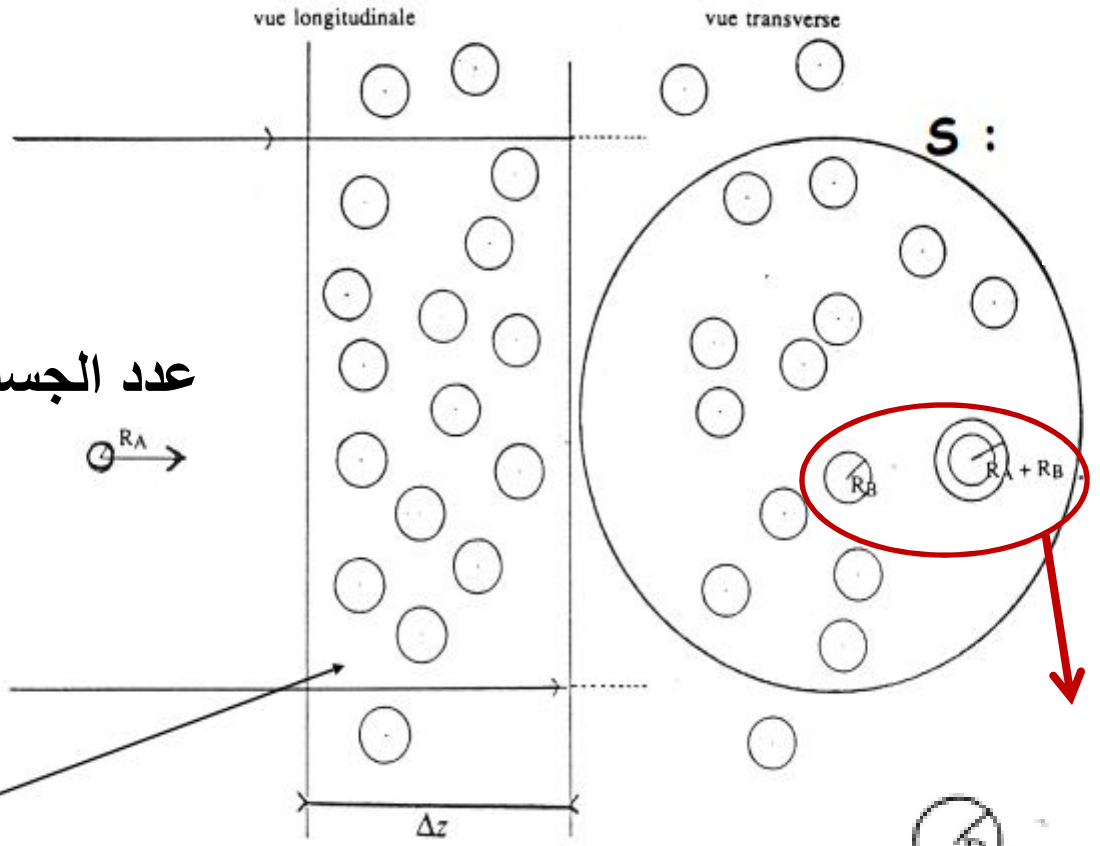
التشتت غير المرن

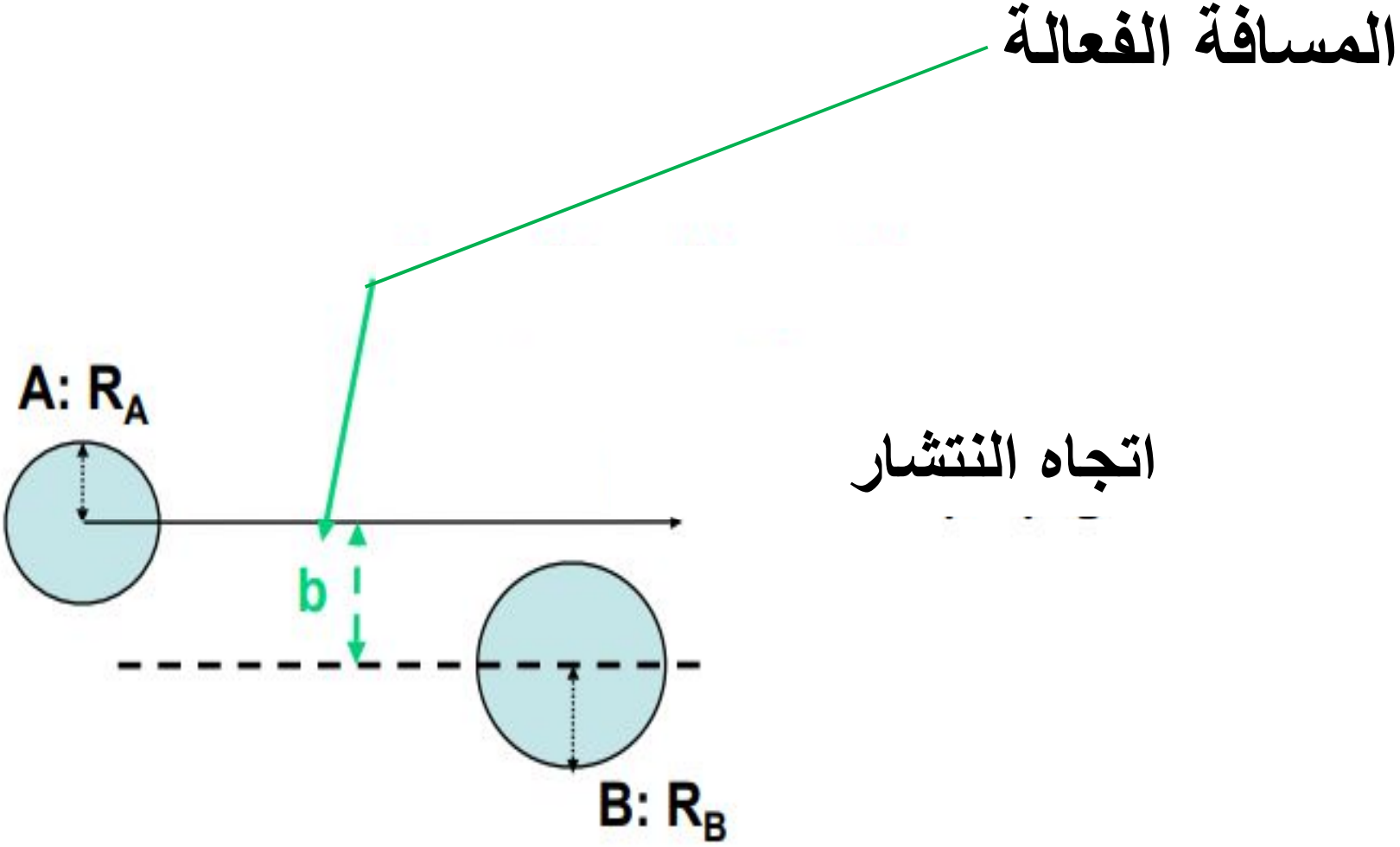


الأســـر النيتروني

ملحق

المقطع الفعال




المسافة الفعالة
A: R_A
اتجاه النتشار
b
B: R_B

في حالة : $v > c$

$$-\frac{dE}{dx} = N.Z.\frac{z^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2}\left[\ln\sqrt{\frac{2m_e v^2}{I}} - \ln\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{v^2}{c^2}\right]$$

علاقة بيتي – بلوخ (Bethe-Bloch)