

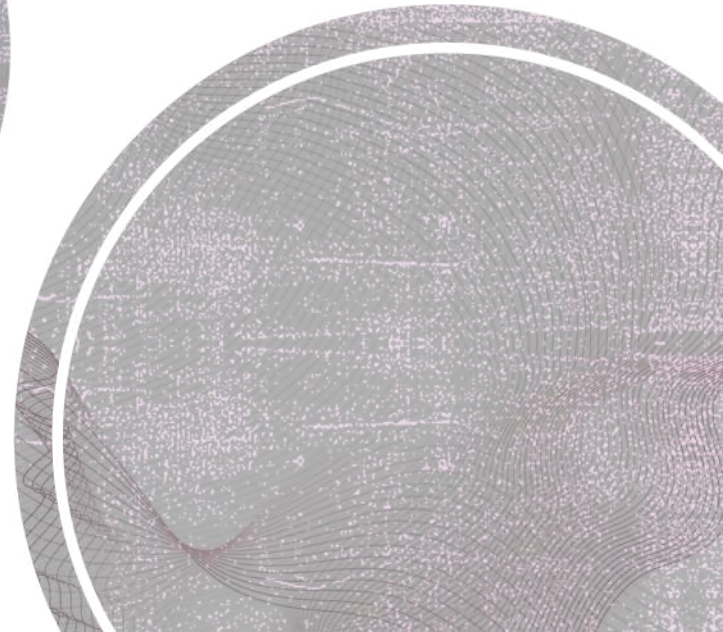
# INTERACTIONS DES RAYONNEMENTS AVEC LA MATIERE

By Giorgio Avenoso (Gio<sup>2</sup>r)

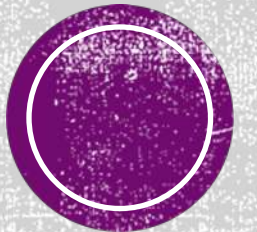


- 2 TYPES DE RAYONNEMENTS :**
- **ELECTROMAGNETIQUE (PHOTONS)**
  - **PARTICULAIRE (PARTICULE AVEC MASSE)**

- TRANSFERT D'ÉNERGIE À LA MATIÈRE DE 3 MANIÈRES :**
- **ÉCHAUFFEMENT DE LA MATIÈRE**
  - **EXCITATION DES ATOMES DE LA MATIÈRE**
  - **IONISATION DES ATOMES DE LA MATIÈRE**



# I. RAYONNEMENTS IONISANTS



# **RAYONNEMENTS DIRECTEMENT IONISANTS**

- Particules chargées : électrons, protons,  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$
- Ont des interactions obligatoires
- Ont des interactions électrostatiques / Coulombiennes



# **RAYONNEMENTS INDIRECTEMENT IONISANTS**

- Particules non chargées : REM gamma, X, neutron
- Ont des interactions non-obligatoires dites balistiques, statistique

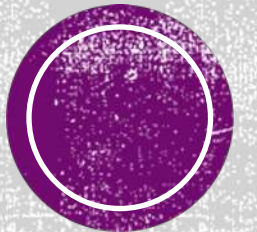


# CARACTÈRE IONISANT OU NON DES REM

- Pour être ionisant :  $E$  doit être  $\geq |W_x|$
- Avec  $|W|$  l'énergie de liaison de l'électron.
  - REM ionisant si  $E \geq 13,6 \text{ eV}$
- 13,6 eV est le seuil énergétique déterminé à partir de la molécule d'eau.

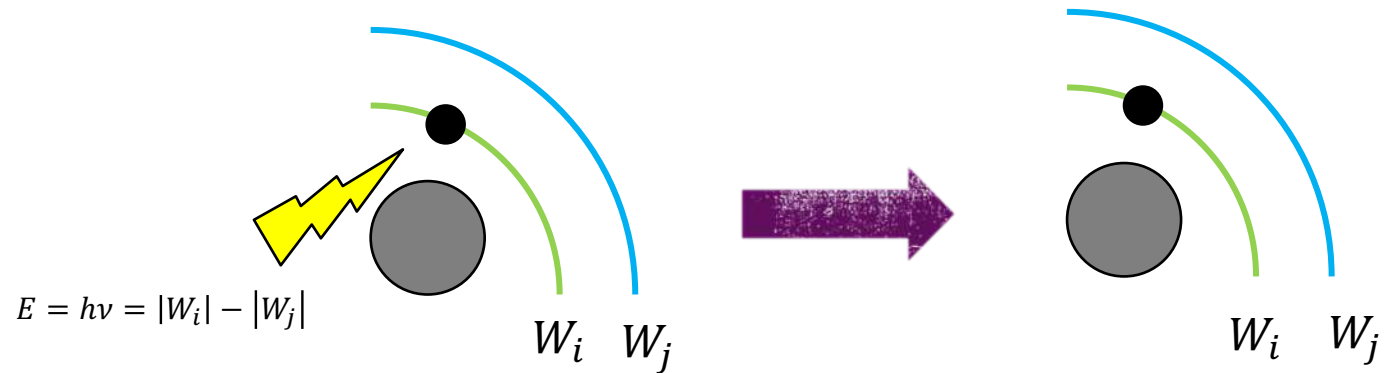


# II. LES INTERACTIONS ELEMENTAIRES



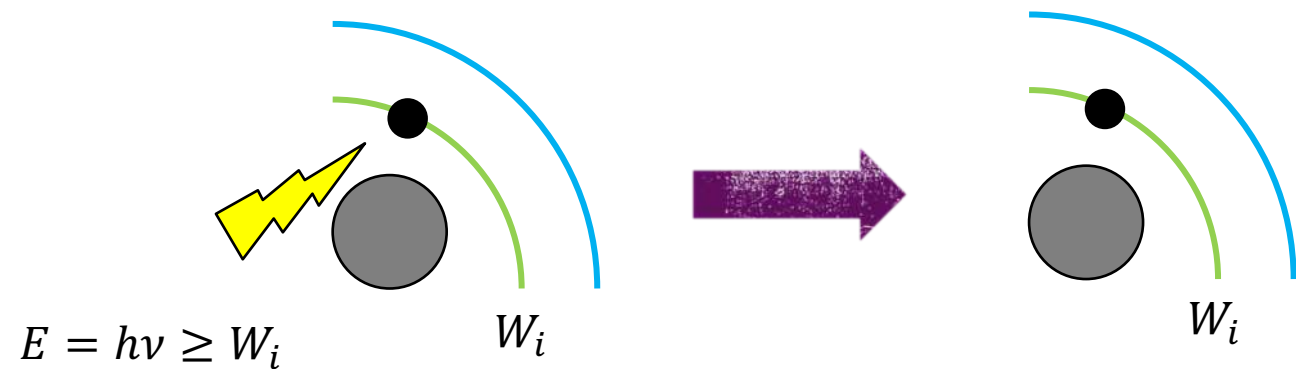
# INTERACTIONS PAR EXCITATION

- Soit un photon d'énergie,  $E < |W_i|$ .
- Mais égal à  $E = h\nu = |W_i| - |W_j|$ , soit l'écart entre 2 couches de l'atome.
- L'énergie absorbée est quantifiée !



# INTERACTIONS PAR IONISATION

- Soit un photon d'énergie,  $E = h\nu \geq |W_i|$ .
- L'électron est expulsé avec une énergie cinétique,  $T = h\nu - |W_i|$ 
  - L'énergie absorbée n'est pas quantifiée !



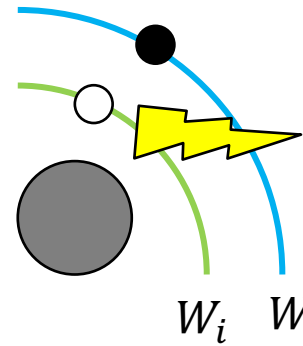
# III. CONSÉQUENCE POUR LA MATIÈRE



# ÉMISSION D'UN PHOTON DE FLUORESCENCE

Après une excitation :

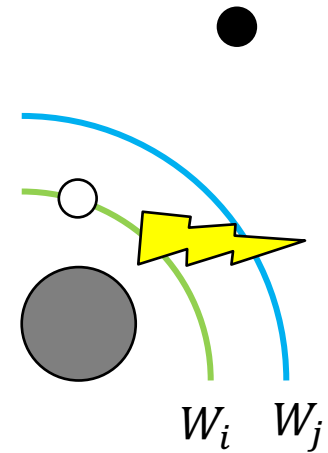
$$E = h\nu = |W_i| - |W_j|$$



Après une ionisation :

$$E = h\nu \geq |W_i|$$

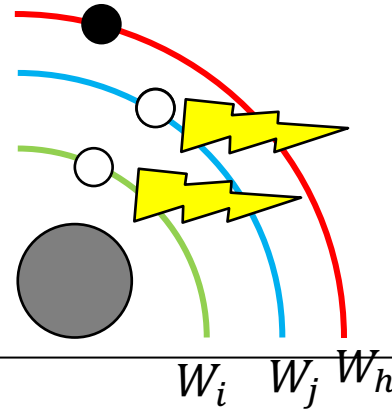
ICI ON PEUT UTILISER  
UN ELECTRON LIBRE



# ÉMISSION D'UN PHOTON DE FLUORESCENCE EN CASCADE

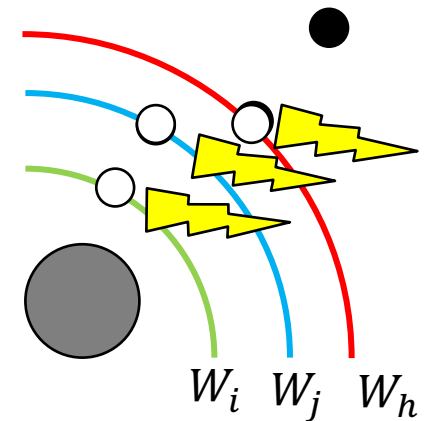
Après une excitation :

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= \\ &= (|W_i| - |W_j|) \\ &+ \\ &= (|W_j| - |W_h|) \\ &= (|W_i| - |W_h|) \end{aligned}$$



Après une ionisation :

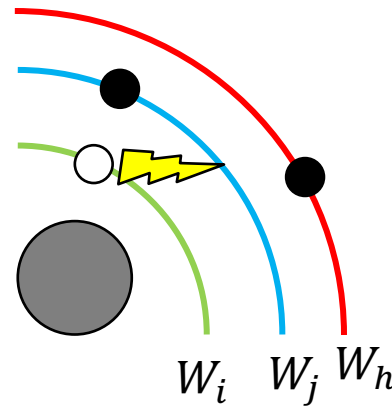
$$\begin{aligned} E_1 + E_2 + E_3 &= \\ &= (|W_i| - |W_j|) \\ &+ \\ &= (|W_j| - |W_h|) \\ &+ \\ &= |W_h| \\ &= |W_i| \end{aligned}$$



# ÉMISSION D'ÉLECTRON D'AUGER

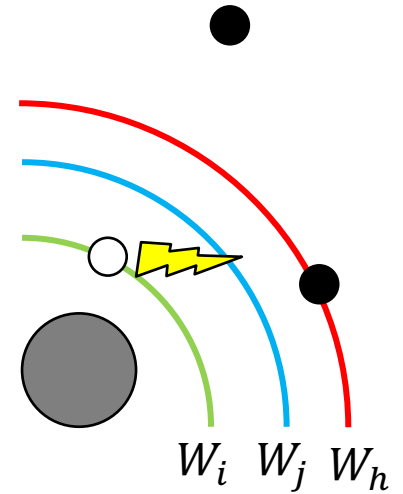
Après une excitation :

$$\begin{aligned} T &= h\nu - |W_x| \\ &= (|W_i| - |W_j|) - |W_h| \end{aligned}$$



Après une ionisation :

$$\begin{aligned} T &= h\nu - |W_x| \\ &= |W_i| - |W_x| \end{aligned}$$



$$\omega_i = \frac{\textit{Proba Fluorescence}}{\textit{Proba Auger}}$$

Ce rendement décrit la compétition : photon de fluorescence / électron d'auger

Il dépend du Z de l'atome :

- Z élevé = photon de fluorescence (émission radiative)
- Z faible = électron d'auger

# IV. INTERACTIONS DES PHOTONS AVEC LA MATIÈRE



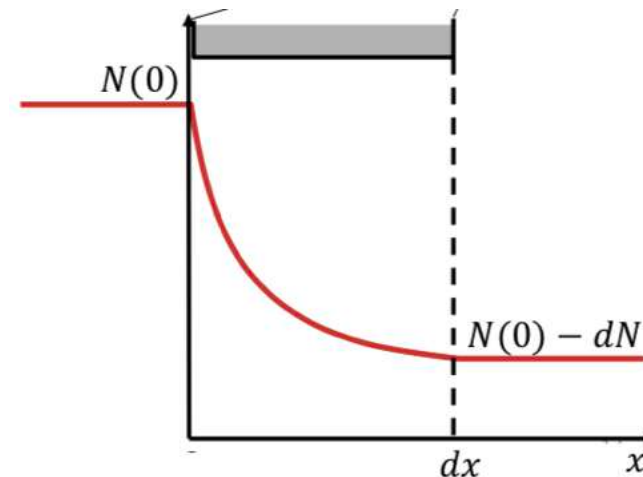
# LOI D'ATTÉNUATION:

$$N(x) = N(0)e^{-\mu x}$$

*Avec  $N(0)$ , la population initiale,  $\mu$  le coefficient linéique d'atténuation,  $x$  l'épaisseur.*

$$N(x) = N(0)e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho x}$$

*Avec  $N(0)$  la population initiale,  $\frac{\mu}{\rho}$  le coefficient massique d'atténuation,  $x$  l'épaisseur,  $\rho$  la masse volumique.*



# LA COUCHE DE DEMI- ATTÉNUATION (CDA)

$$\frac{N(0)}{2} = N(0)e^{-\mu \times CDA}$$

La CDA est la couche nécessaire pour diviser par 2 la population de photon incident.

$$CDA = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$

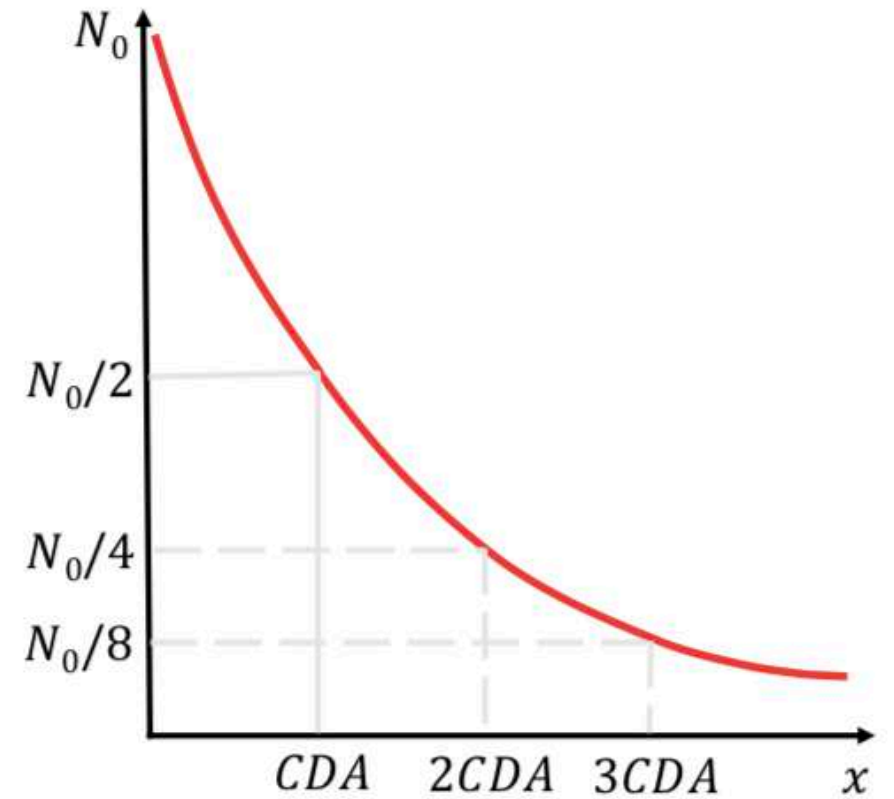
On peut réécrire la loi d'atténuation en fonction du nombre de CDA :

$$N(k \times CDA) = N(0) \left(\frac{1}{2}\right)^k = \frac{N(0)}{2^k}$$

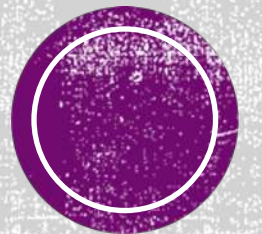
Au bout de 10 CDA, on considère le flux de photons transmis comme négligeable : 99,9 % sont atténués.



$x$	$N(x)/N(0)$	%
$CDA$	$1/2$	50
$2 \times CDA$	$(1/2)^2$	25
$3 \times CDA$	$(1/2)^3$	12,5
$n \times CDA$	$(1/2)^n$	
$10 \times CDA$	$1/1024$	0,1



# V. MÉCANISMES D'ATTÉNUATIONS



# EFFET PHOTO-ÉLECTRIQUE

## Principe :

Un photon incident d'énergie  $E = h\nu$  rencontre un électron et l'expulse de l'atome en lui cédant toute son énergie.

$$\text{Soit : } E = h\nu \geq W_i$$

T l'énergie cinétique de l'électron expulsé :

$$T = h\nu - |W_i|$$



# EFFET PHOTO-ÉLECTRIQUE

## Conséquences :

- L'atome se réarrange par émission de photon de fluorescence/ électron de Auger.
- L'électron expulsé perd de son énergie cinétique par ionisations successives.
- Le rayonnement disparaît car le photon donne toute son énergie à l'électron.



# EFFET PHOTO-ÉLECTRIQUE

Probabilité interactions  $\tau$  :

$$\tau = k\rho \frac{Z^3}{(h\nu)^3} \text{ ou } \frac{\tau}{\rho} = k \frac{Z^3}{(h\nu)^3}$$

Elle est proportionnelle à Z.

Elle est inversement proportionnelle à  $h\nu$ ,  
l'énergie du photon incident.



# EFFET COMPTON

Principe :

*L'énergie du photon incident se partage entre l'électron expulsé et le photon diffusé.*

*L'énergie du photon diffusé :*

$$E = h\nu_2$$

T l'énergie cinétique de l'électron expulsé :

$$T = h\nu - |W_i|$$

On en conclut que :

$$h\nu_1 = T + h\nu_2 + |W_i|$$



# EFFET COMPTON

## Conséquences :

- L'atome se réarrange.
- L'électron perd son énergie par ionisations successives (énergie absorbée  $E_a = T$ )
- Une partie du rayonnement est diffusée (énergie diffusée  $E_d = h\nu_2$ )



# EFFET COMPTON

Probabilité d'interactions  $\sigma$  :

$$\sigma = k\rho \frac{1}{h\nu} \text{ ou } \frac{\sigma}{\rho} = k \frac{1}{h\nu}$$

Elle est inversement proportionnelle à  $h\nu$ ,  
l'énergie du photon incident.



# DIFFUSION DE THOMPSON- RAYLEIGH

## Principe :

- Est un changement de direction du photon incident sans changement d'énergie, ni de longueur d'onde.
- Concerne les photons de basse énergie comme les infra-rouges, le visible, les ultra-violets.



# CRÉATION DE PAIRE OU MATÉRIALISATION

## Principe :

Un photon incident  $h\nu$  disparaît au profit de deux masses :

Un électron  $e^-$  et son antiparticule, le positon  $\beta^+$ .

L'électron continue son parcours dans la matière.

L'antiparticule  $\beta^+$  en rencontrant un autre électron, va se désintégrer en 2 photons d'énergie  $0,511\text{ MeV}$  ( $= 511\text{ keV}$ ) chacun, émis à  $180^\circ$  l'un de l'autre.



# CRÉATION DE PAIRE OU MATÉRIALISATION

Probabilité d'interactions  $\pi$  :

$$N(x) = N(0)e^{-\pi x}$$

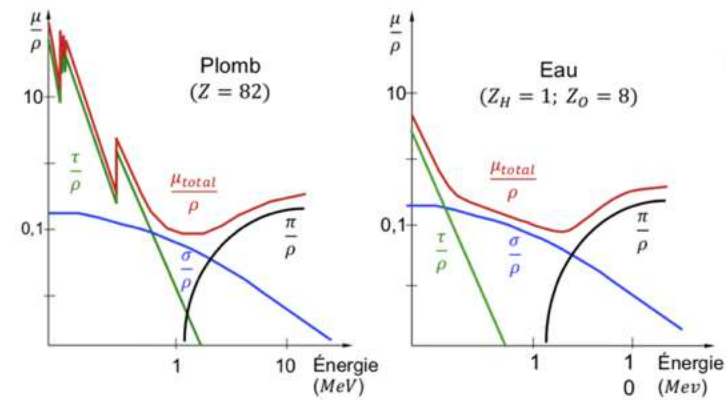
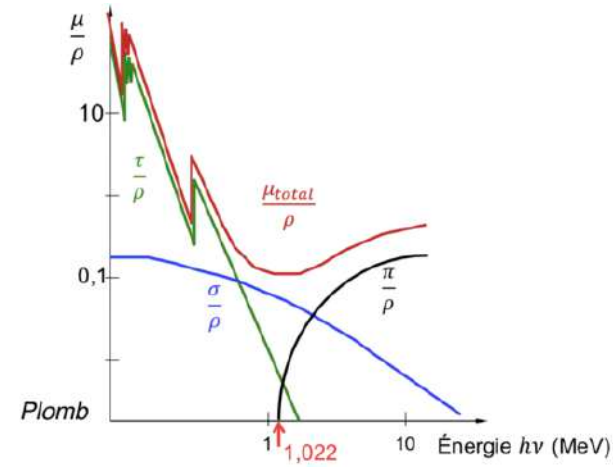
Probabilité augmente avec l'énergie du photon incident.

Possède un seuil énergétique de 1,022 MeV (ou 1022 keV).




# IMPORTANCE RELATIVE DES MÉCANISMES D'INTERACTION

Les mécanismes d'interactions dépendent de l'énergie et du milieu :





**FINN FINN FINN FINN FINN**



**FINNNNNNNNNNNN**

**COURAGE LES ENFANTS  
QUI VAUT LE COUT !!**

**!! EST UNE ANNEE**

**!!!!**