

Atenuación, Haces Angostos y Problema de Transporte

Rafael Martín-Landrove
Escuela de Física

Univesidad Central de Venezuela



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics
LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

UAN
UNIVERSIDAD
ANTONIO NARIÑO





Atenuación Exponencial Simple (Como Primera Aprox.)

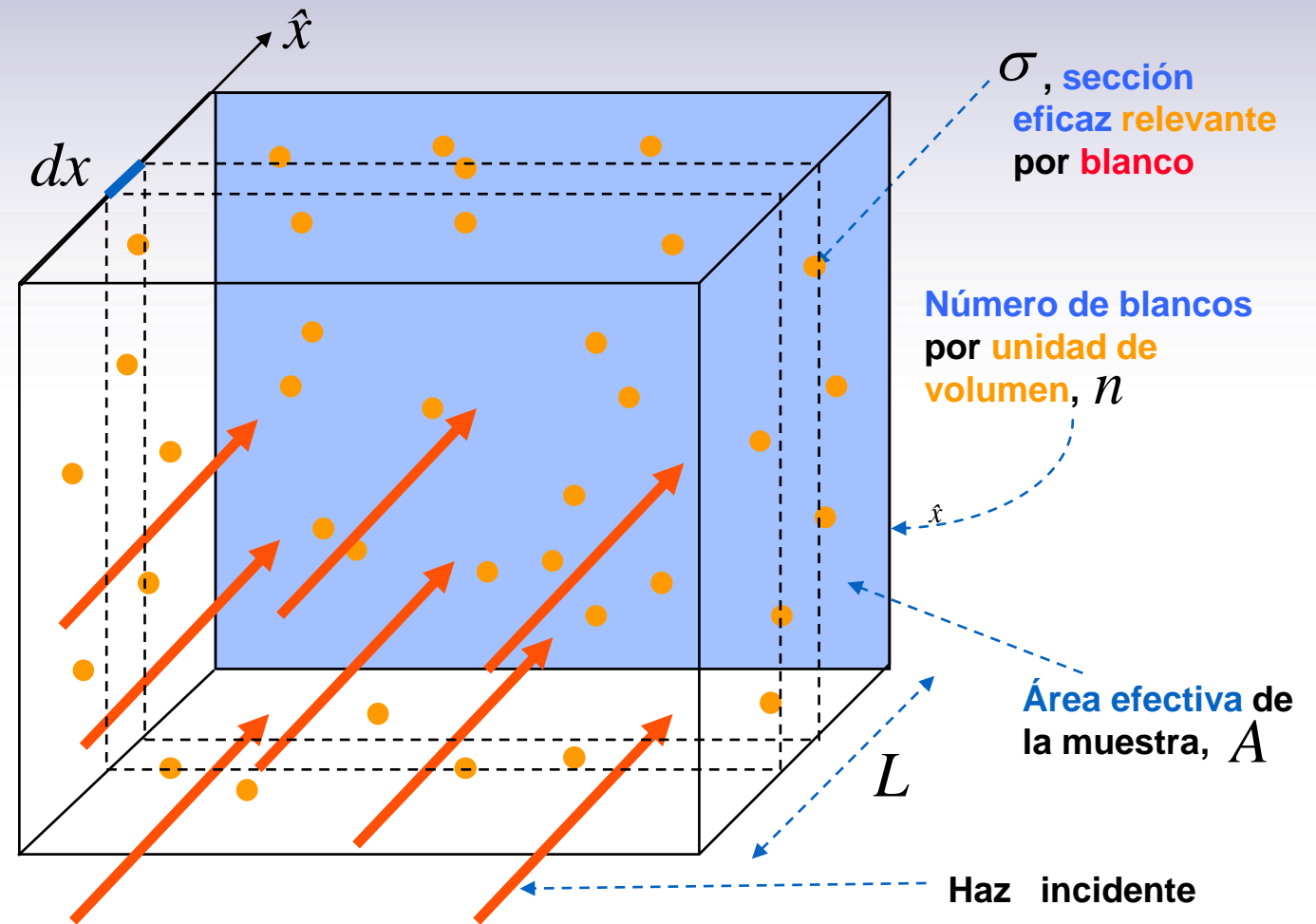
Suposiciones básicas:

- (1) Incidencia normal de partículas neutras.
- (2) Hay absorción total ó continua en la misma dirección.
- (3) No se generan partículas secundarias.

Fracción de pérdida por absorción:

$$\frac{dN(x)}{N(x)} = -\frac{\sigma n A dx}{A} = -n\sigma dx = -\mu dx$$

$N(x)$, número de partículas a una profundidad x





Atenuación Exponencial Simple

Integrando se obtiene:

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} \quad [N_0 \equiv N(x=0)]$$

“Ley de Atenuación Exponencial” (situación ideal)

μ → Coeficiente de atenuación lineal

$\frac{\mu}{\rho}$ → Coeficiente de atenuación másico

$\frac{1}{\mu}$ → Representa el camino libre medio:

• La distribución relevante es $P(x) \propto e^{-\mu x}$

• Normalizada: $P(x) = \mu e^{-\mu x}$

• Valor esperado de x : $\langle x \rangle = \int_0^{\infty} x dx e^{-\mu x} / \int_0^{\infty} dx e^{-\mu x} = \frac{1}{\mu}$



Atenuación Exponencial para Varios Modos de Absorción

Como antes tenemos las suposiciones básicas:

- (1) Incidencia normal de partículas neutras.
- (2) Hay absorción total ó continua en la misma dirección.
- (3) No se generan partículas secundarias ó dispersadas.

Puede haber más de un proceso:

- Al evaluar la fracción de pérdida por absorción, notamos que hay k procesos a considerar:

$\sigma_i \longrightarrow$ Sección eficaz asociada al i -ésimo proceso
 $\mu_i = n\sigma_i$

$$\begin{aligned}\frac{dN(x)}{N(x)} &= -n\sigma_1 dx - n\sigma_2 dx - n\sigma_3 dx - \dots - n\sigma_k dx \\ &= -\mu_1 dx - \mu_2 dx - \mu_3 dx - \dots - \mu_k dx\end{aligned}$$

$$N(x) = N_0 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k)x}$$

$$\mu_T \equiv \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_k = \sum_{i=1}^k \mu_i$$



¿Qué representa la fracción μ_i/μ_T ?

- Dada una profundidad x dentro del material, es la probabilidad de que tenga lugar el i -ésimo proceso a esa profundidad.
- La fracción μ_i/μ_T es importante en simulaciones de Monte Carlo cuando hay competencia de procesos. En general μ_T y los μ_i 's pueden depender de la profundidad x . ¿Cómo se modifica lo anterior?

(1) Para un solo proceso (No hay competencia)

$$\frac{dN(x)}{N(x)} = -\mu(x) dx \rightarrow N(x) = N_0 e^{-\int_0^x \mu(x') dx'}$$

¿En qué situación física real puede tener lugar esto? Como $\mu_i = n_i \sigma_i$, σ_i depende de la energía, pero la densidad n_i puede depender de x (para tejidos biológicos este puede ser efectivamente el caso).



(2) ¿Qué pasa cuando compiten varios procesos?

Tenemos una superposición:

$$\frac{dN(x)}{N(x)} = -\mu_1(x) dx - \mu_2(x) dx - \mu_3(x) dx - \dots - \mu_k(x) dx$$

que al integrar resulta: $N(x) = N_0 e^{-\sum_{i=1}^k \int_0^x dx' \mu_i(x')}$

Si suponemos de nuevo la independencia con x :

Número total de interacciones entre 0 y x :

$$\Delta N(x) = N_0 - N(x) = N_0 \left(1 - e^{-\sum_i \mu_i x} \right) = N_0 \left(1 - e^{-\mu_T x} \right)$$

¿Qué número de interacciones hay para procesos del tipo i ?

$$\Delta N_i(x) = N_0 \left(1 - e^{-\mu_T x} \right) \frac{\mu_i}{\mu_T}$$



Atenuación de Haz Angosto

El proceso ó procesos descritos anteriormente corresponden a un haz angosto y describen solamente una parte de la realidad.

Suposiciones fundamentales: (1) Solamente hay absorción. (2) No hay radiación secundaria, no hay dispersión de la radiación primaria (elástica e inelástica).

Notamos que como radiación secundaria podemos incluir partículas neutras.

Resultado:

- El número de partículas que emerge de la placa atenuadora tiene que ser mayor.**
- Lo desarrollado anteriormente aunque es muy sencillo, no es rigurosamente válido.**



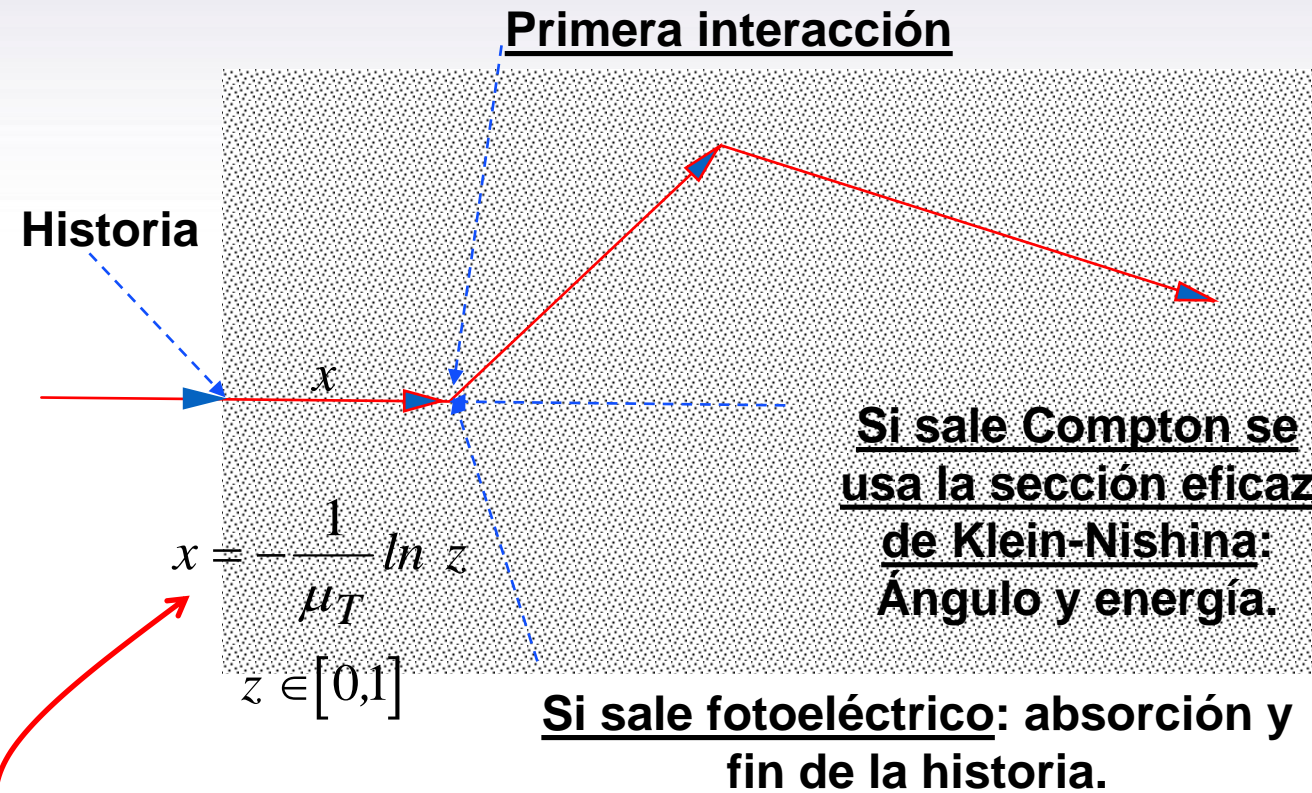
¿Cómo podemos tratar de mejorarlo?

- **Primero:** La radiación secundaria cargada que se produce, podemos considerar que no sale del material y es absorbida (su carga es responsable de ello).
- **Segundo:** Consideramos que la radiación secundaria neutra que pueda generarse es el resultado de un proceso de absorción que viene seguido de su emisión. Esto se pondera con el uso de secciones eficaces en múltiples formas.
- **Tercero:** La energía de interés en el problema puede limitar procesos.
- **Ejemplo:** Rayos-X con energía (al incidir) que está por debajo del umbral para la formación de pares (**1.022 MeV**).



Problema de Transporte Planteado

Las suposiciones anteriores permiten mantener la simplicidad de la geometría con la que iniciamos la discusión. **Ejemplo:** Suponemos que tenemos Fotones (rayos-X) incidiendo normalmente en la interfaz plana.



Hay: Efecto fotoeléctrico (absorción total) y Compton (dispersión inelástica). No hay: Formación de pares, si la energía del fotón es menor que 1.022 MeV y fotones secundarios.

Base para simulación con Monte Carlo

$$z = \mu_T \int_0^x dx' e^{-\mu_T x'}$$

$$\mu_T = \mu_{\text{fotoelectrico}} + \mu_{\text{compton}}$$
$$P_{\text{fotoelectrico}} = \mu_{\text{fotoelectrico}} / \mu_T$$

→ **Tabulados**

$$P_{\text{compton}} = \mu_{\text{compton}} / \mu_T$$



Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia

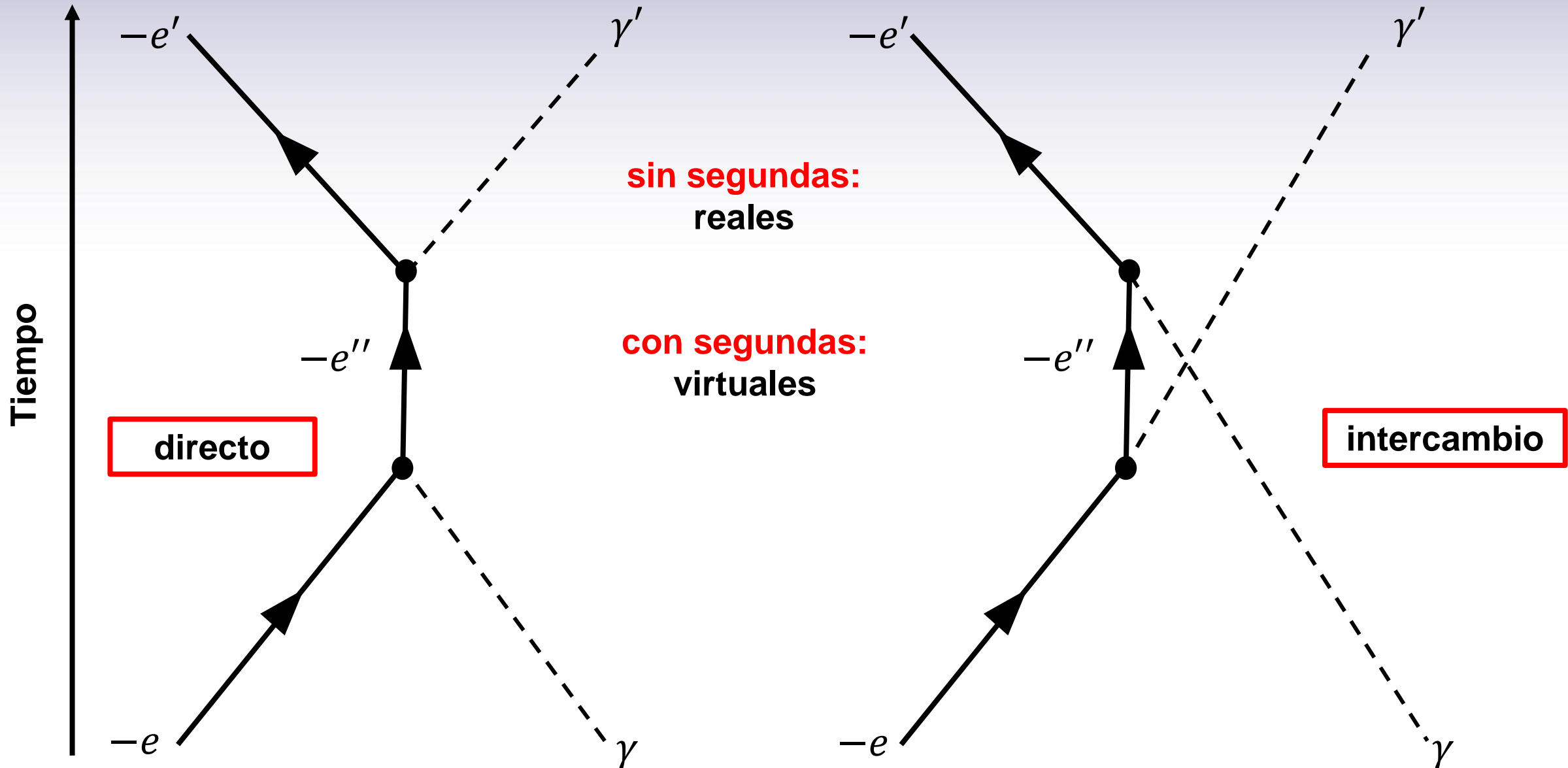
- Hay cinco tipos de interacciones de rayos-X y gamma en la materia que tienen relevancia en física radiológica:

- **Efecto Compton** (dispersión inelástica de un electrón por un fotón)



Efecto Compton

(Diagramas en el orden más bajo en Electrodinámica Cuántica)





Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia

- Hay cinco tipos de interacciones de rayos-X y gamma en la materia que tienen relevancia en física radiológica:
- **Efecto Compton** (dispersión inelástica de un electrón por un fotón)
- **Dispersión Rayleigh** (dispersión elástica de un electrón por un fotón)



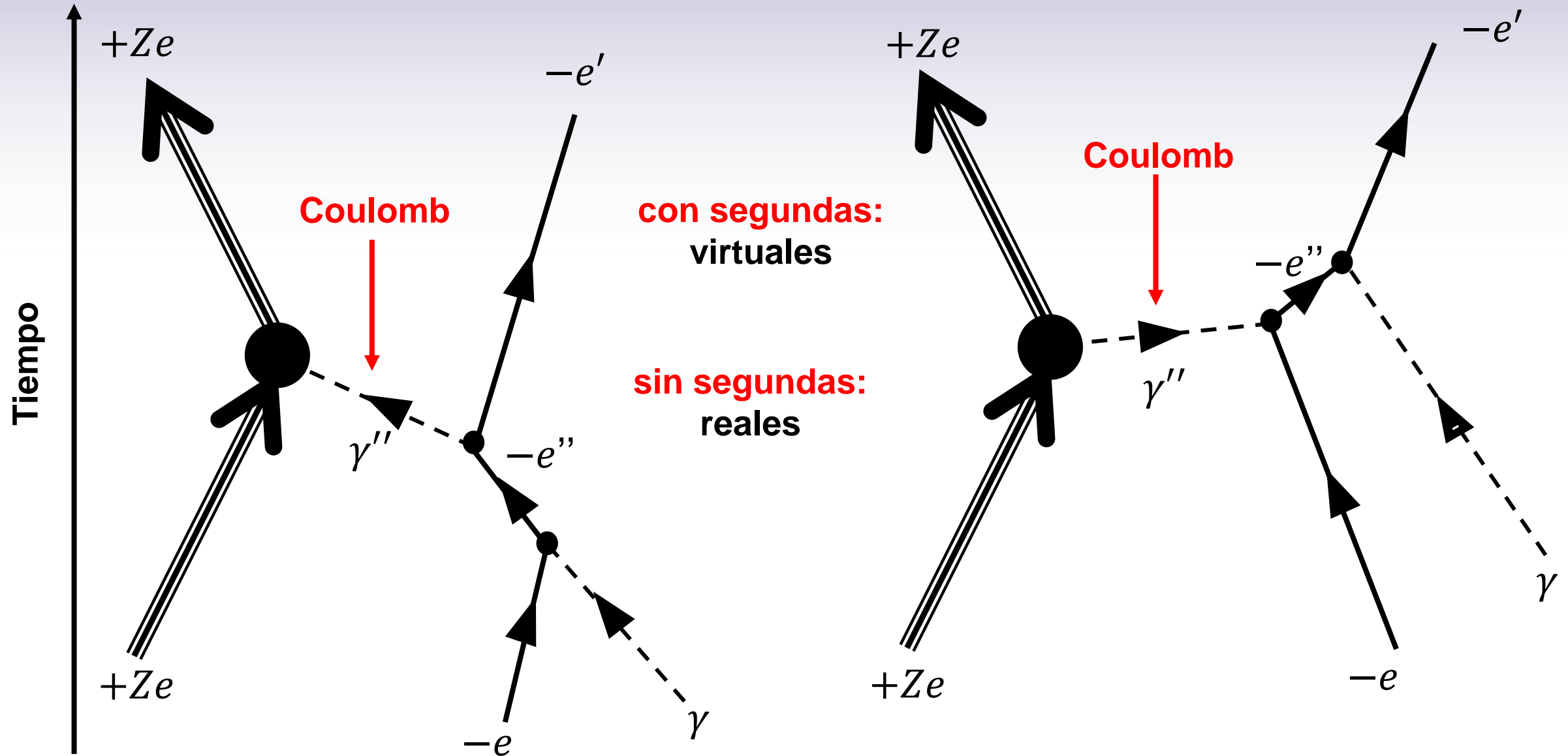
Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia

- Hay cinco tipos de interacciones de rayos-X y gamma en la materia que tienen relevancia en física radiológica:
- **Efecto Compton** (dispersión inelástica de un electrón por un fotón)
- **Dispersión Rayleigh** (dispersión elástica de un electrón por un fotón)
- **Efecto Fotoeléctrico** (absorción de un fotón por un electrón ligado con eyección del electrón)



Efecto Fotoeléctrico

(Diagramas en el orden más bajo en Electrodinámica Cuántica)





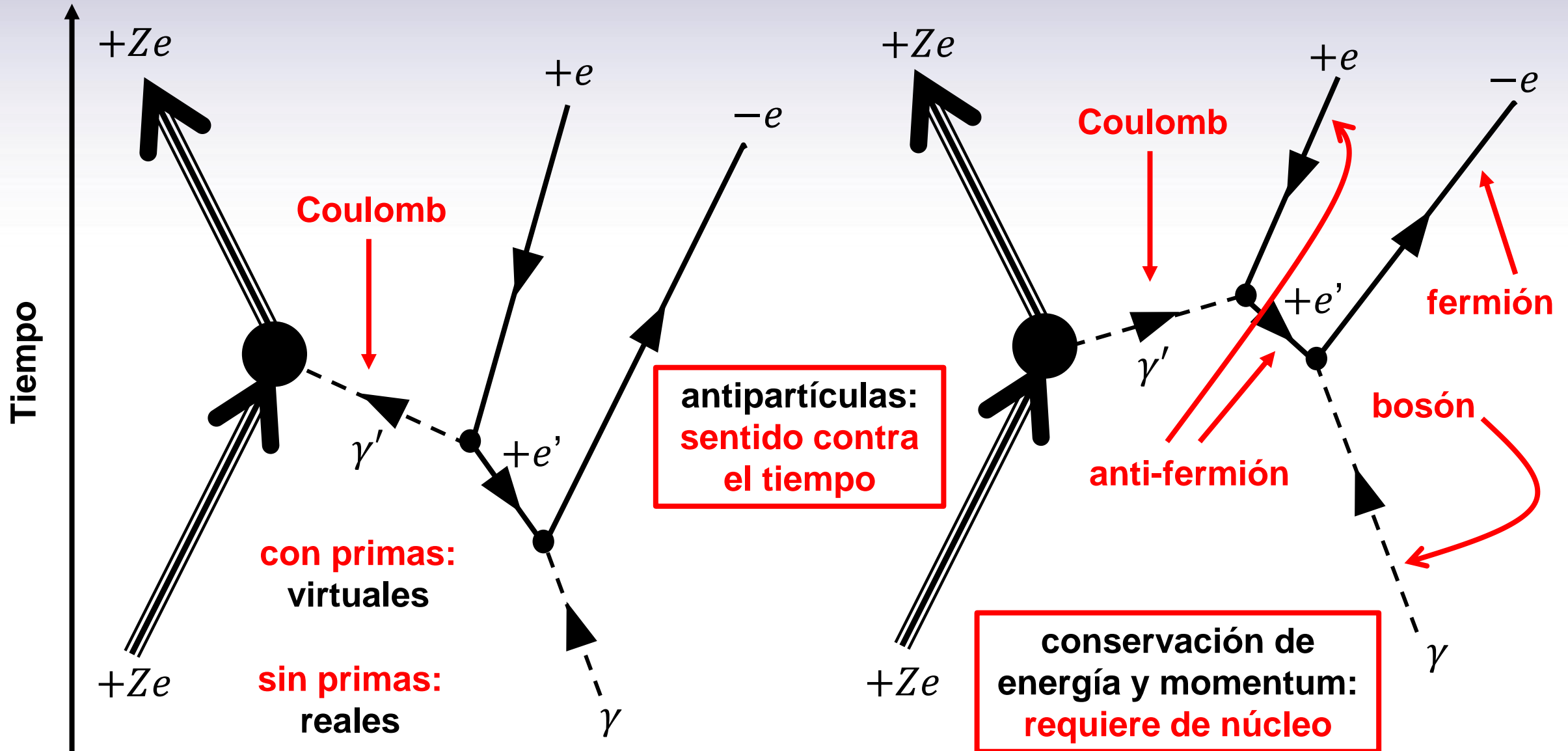
Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia

- Hay cinco tipos de interacciones de rayos-X y gamma en la materia que tienen relevancia en física radiológica:
- **Efecto Compton** (dispersión inelástica de un electrón por un fotón)
- **Dispersión Rayleigh** (dispersión elástica de un electrón por un fotón)
- **Efecto Fotoeléctrico** (absorción de un fotón por un electrón ligado con eyección del electrón)
- **Producción de Pares** (formación de un par electrón-positrón cuando un fotón con suficiente energía pasa cerca de un núcleo atómico)



Producción de Pares

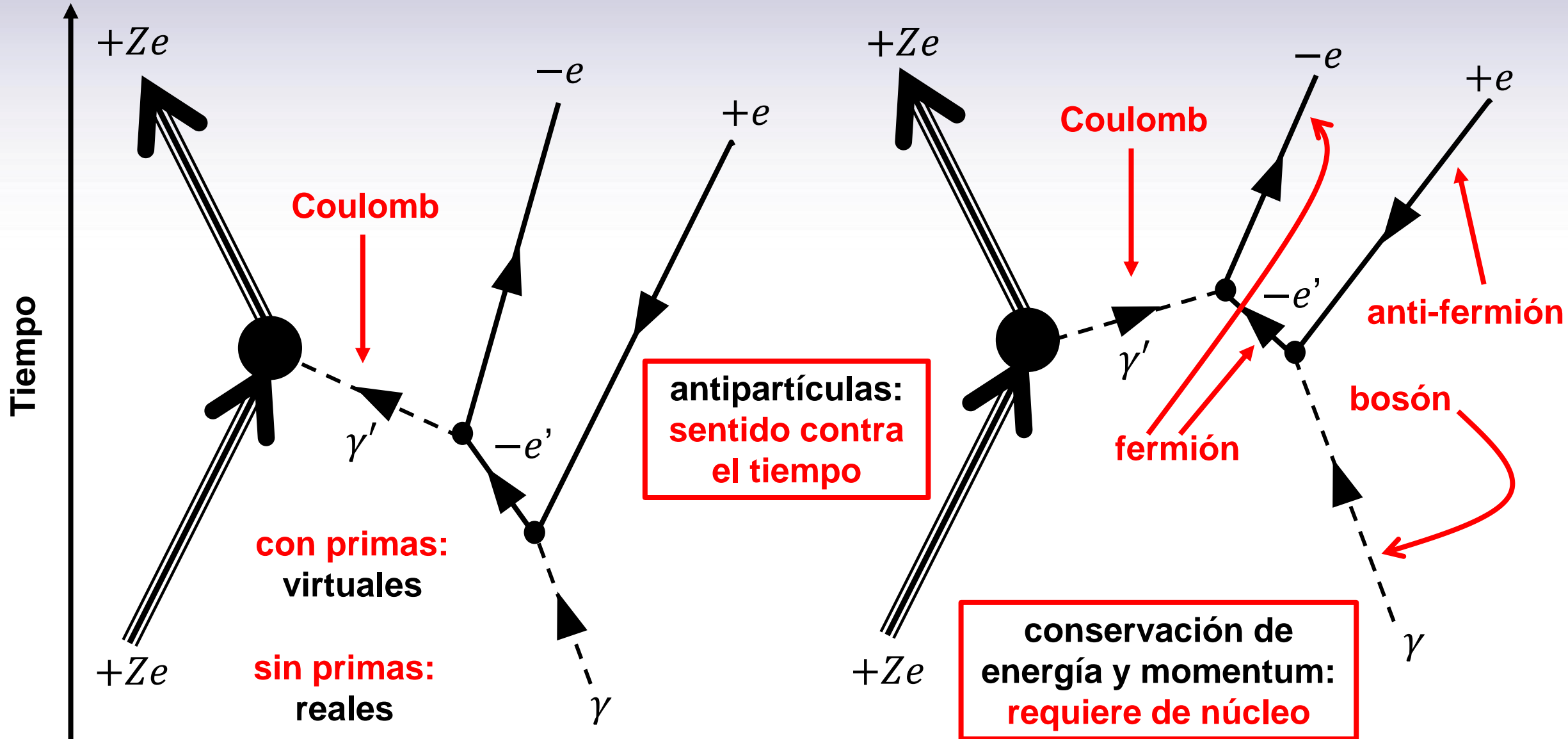
(Diagramas 1 y 2 de 4, en el orden más bajo en Electrodinámica Cuántica)





Producción de Pares

(Diagramas 3 y 4 de 4, en el orden más bajo en Electrodinámica Cuántica)



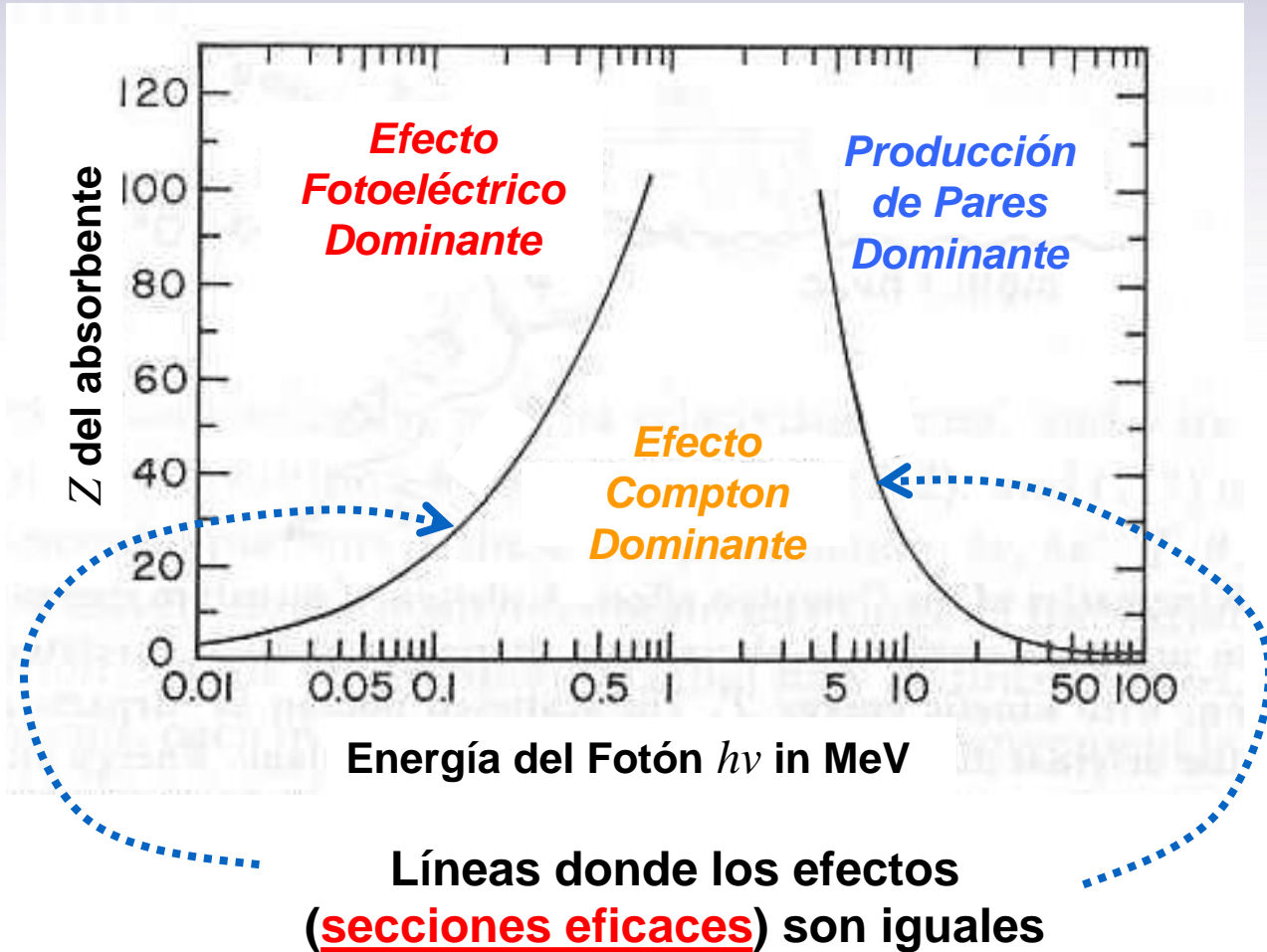


Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia

- Hay cinco tipos de interacciones de rayos-X y gamma en la materia que tienen relevancia en física radiológica:
- **Efecto Compton** (dispersión inelástica de un electrón por un fotón)
- **Dispersión Rayleigh** (dispersión elástica de un electrón por un fotón)
- **Efecto Fotoeléctrico** (absorción de un fotón por un electrón ligado con eyección del electrón)
- **Producción de Pares** (formación de un par electrón-positrón cuando un fotón con suficiente energía pasa cerca de un núcleo atómico)
- **Interacciones fotonucleares** (un fotón interactúa con el núcleo con eyección de diferentes clases de fragmentos)



Interacciones de Rayos-X y Gamma en la Materia



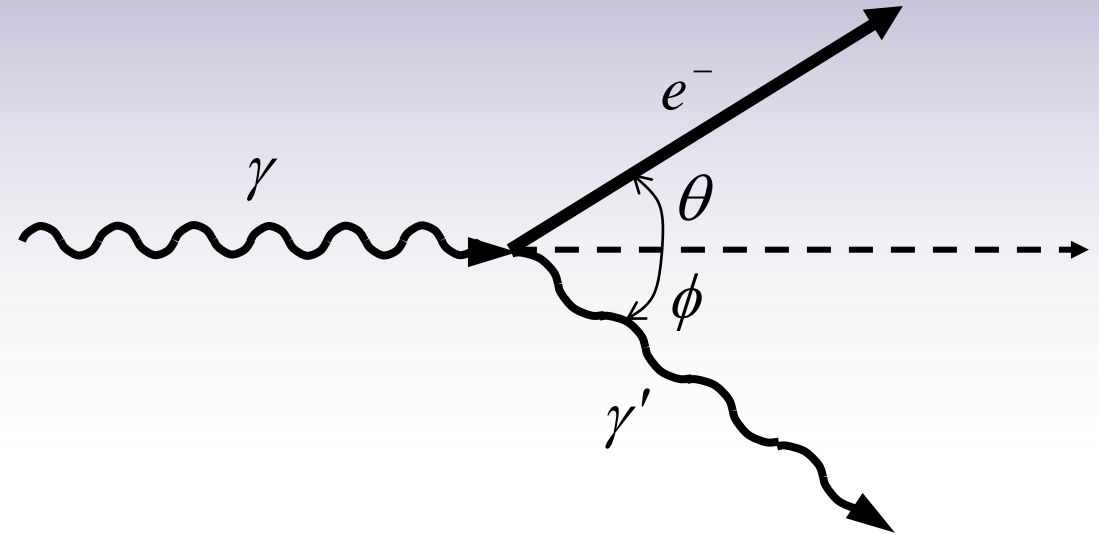
- Notamos que para bajo Z (situación frecuente en tejido vivo) el **efecto Compton** es dominante para prácticamente todo el rango de uso clínico.
- Para alto Z el **efecto Compton** va perdiendo importancia (material de los equipos y blindaje) a favor del **efecto fotoeléctrico** y la **formación de pares**.



Determinación de $\mu_{Compton}$: Cinemática del Efecto Compton

- Para tratar la **colisión de un fotón con un electrón** vamos a suponer que el electrón:
 - **No está ligado.**
 - **Está en reposo.**
 - Esta aproximación es válida si trabajamos a altas energías.
- El balance de energía antes y después de la colisión nos lleva a

$$h\nu + m_e c^2 = h\nu' + \sqrt{p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4}$$



- Conservación de la cantidad de movimiento se puede escribir como

$$\vec{p}_\gamma = \vec{p}_{\gamma'} + \vec{p}_e$$



Cinemática del Efecto Compton

- A partir de la conservación de energía y del momentum podemos escribir

$$(h\nu + m_e c^2 - h\nu')^2 - m_e^2 c^4 = p_e^2 c^2$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_e = \vec{p}_\gamma - \vec{p}_{\gamma'} \quad \longrightarrow \quad p_e^2 c^2 &= (\vec{p}_\gamma - \vec{p}_{\gamma'})^2 c^2 = p_\gamma^2 c^2 + p_{\gamma'}^2 c^2 - 2p_\gamma p_{\gamma'} c^2 \cos \phi \\ &= h^2 \nu^2 + h^2 \nu'^2 - 2h\nu h\nu' \cos \phi \end{aligned}$$

- Igualando $p_e^2 c^2$ en lo anterior y simplificando, llegamos a

$$m_e c^2 (h\nu - h\nu') = h\nu h\nu' (1 - \cos \phi) \quad \longrightarrow \quad \frac{1 - \cos \phi}{m_e c^2} = \frac{1}{h\nu'} - \frac{1}{h\nu}$$

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \phi)} \quad \frac{h\nu'}{h\nu} = \frac{1}{1 + 2\alpha \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)} \quad \alpha \equiv h\nu / m_e c^2$$



Cinemática del Efecto Compton

- Conservación de la cantidad de movimiento nos lleva también a las ecuaciones

$$h\nu = h\nu' \cos \phi + p_e c \cos \theta \quad h\nu' \sin \phi = p_e c \sin \theta \quad \alpha \equiv h\nu/m_e c^2$$

- Entonces para el electrón encontramos, usando el resultado anterior

$$\tan \theta = \frac{h\nu' \sin \phi}{h\nu - h\nu' \cos \phi} = \frac{h\nu'}{h\nu} \frac{\sin \phi}{1 - \frac{h\nu'}{h\nu} \cos \phi} \quad \frac{h\nu'}{h\nu} = \frac{1}{1 + 2\alpha \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)}$$

- Obtenemos

$$\tan \theta = \frac{\sin \phi}{1 + 2\alpha \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right) - \cos \phi} = \frac{2 \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \cos \left(\frac{\phi}{2} \right)}{2(1 + \alpha) \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)} = \frac{1}{(1 + \alpha) \tan \left(\frac{\phi}{2} \right)}$$



¿En qué Régimen Vamos a Trabajar Realmente?

- Notemos que el régimen a considerar es realmente **relativista**, así para electrones con energía cinética $T = 4 \text{ MeV}$ tenemos que su energía total es

$$E = T + m_e c^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_e^2 c^4}$$

A partir de esto podemos escribir

$$pc = \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4} = \sqrt{(E_e - m_e c^2)(E_e + m_e c^2)}$$

$$pc = \sqrt{T(T + 2m_e c^2)} = \sqrt{T(T + 2m_e c^2)}$$

y entonces

$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{pc}{E} = \frac{\sqrt{T(T + 2m_e c^2)}}{T + m_e c^2} = \frac{\sqrt{1 + 2\xi}}{1 + \xi} = 0.99356\dots$$

$$\xi \equiv \frac{m_e c^2}{T} = 0.12775\dots$$

Aún para 500 keV tenemos $\beta = 0.86286\dots$ y para 50 keV resulta $\beta = 0.41268\dots$



Obtención de los Coeficientes Másicos

- Consideremos la sección eficaz diferencial de Klein-Nishina dada por

$$\frac{d_c \sigma}{d\Omega_\gamma} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{h\nu'}{h\nu} \right)^2 \left(\frac{h\nu}{h\nu'} + \frac{h\nu'}{h\nu} - \sin^2 \theta_\gamma \right)$$

- Teniendo presente

$$r_0 \equiv \frac{e^2}{m_e c^2} = 2.8179403227(19) \text{ fm}$$

$$\frac{h\nu'}{h\nu} = \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta_\gamma)}$$

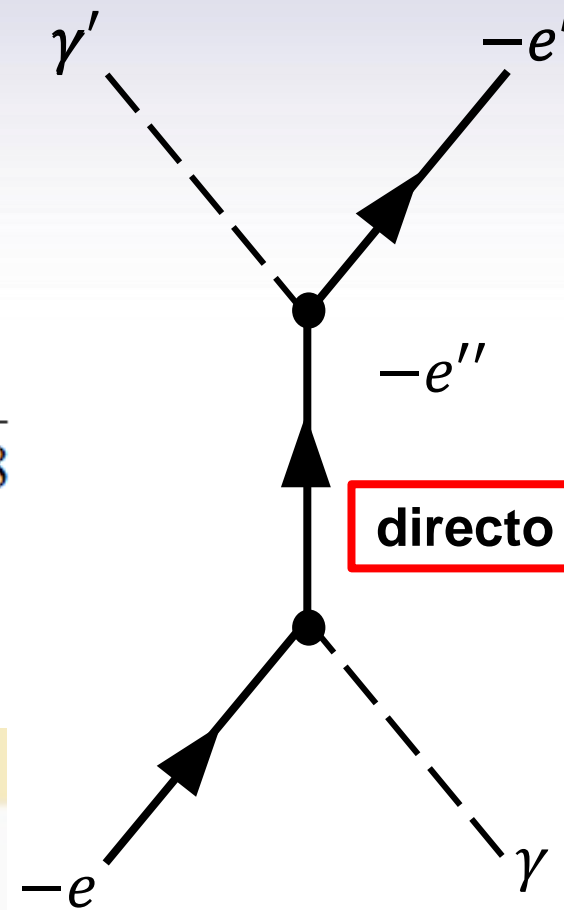
$$\alpha \equiv \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

$$\alpha_{FS} \equiv \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137.08}$$

- La sección eficaz total se puede calcular como

$${}_c \sigma_T = 2\pi \int_0^\pi \sin \theta_\gamma d\theta_\gamma \frac{d_c \sigma}{d\Omega_\gamma}$$

$$\chi_\gamma \equiv \cos \theta_\gamma$$



(en reposo,
no ligado)



Obtención de los Coeficientes Másicos

Con el resultado

$$\begin{aligned}
{}_c\sigma_T &= \frac{\pi r_0^2}{\alpha} \left\{ \ln(1+2\alpha) + \frac{1}{1+2\alpha} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2(1+2\alpha)^2} \right. \\
&\quad \left. + \frac{2(1+\alpha)^2}{\alpha(1+2\alpha)} - \frac{2(1+\alpha)}{\alpha^2} \ln(1+2\alpha) + \frac{2}{\alpha} \right\} \\
&= 2\pi r_0^2 \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{\ln(1+2\alpha)}{\alpha} \right] \right. \\
&\quad \left. + \frac{\ln(1+2\alpha)}{2\alpha} + \frac{(1+2\alpha)^2 - \alpha^3}{\alpha^2(1+2\alpha)^2} \right\}
\end{aligned}$$

- Notamos su independencia en Z (resultado de la aproximación asociada a electrón no ligado).

- El coeficiente de atenuación másico debido al efecto Compton viene dado por

$$\frac{\mu_C}{\rho} = \frac{n_{\text{electrónica}}}{\rho} {}_c\sigma_T = Z \frac{n_{\text{atómica}}}{\rho} {}_c\sigma_T = Z \frac{N_A}{w_A} {}_c\sigma_T \quad \frac{n_{\text{atómica}}}{\rho} \rightarrow \frac{N_A}{w_A}$$

densidad electrónica densidad atómica peso atómico

$$\frac{\mu_C}{\rho} = \frac{Z}{w_A} N_A {}_c\sigma_T \quad \text{número de Avogadro}$$

[Menu](#)

PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY

[About PML](#)[Divisions](#)[Products/Services](#)[News/Multimedia](#)[Programs/Projects](#)[Facilities](#)[Email Newsletter](#)

XCOM: Photon Cross Sections Database



NIST Standard Reference Database 8 (XGAM)

M.J. Berger, J.H. Hubbell, S.M. Seltzer, J. Chang, J.S. Coursey, R. Sukumar, D.S. Zucker, and K. Olsen
NIST, PML, Radiation Physics Division

Last Update to Data Content: November 2010 | NBSIR 87-3597 | [Version History](#) | [Disclaimer](#) |

DOI: <https://dx.doi.org/10.18434/T48G6X>

© 1990, 1998 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved. NIST reserves the right to charge for these data in the future.

CONNECT WITH US



<https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database>



Contents

1. [Introduction](#)
2. [Database for Elements](#)
3. [Interpolation and Combination](#)
4. [How to Run the XCOM Program](#)
5. [References](#)
6. [Database Search Form](#)
7. [ASCII output for text-based browsers](#)
8. [Download Your Own Copy of XCOM Version 3.1](#)

**Aunque no lo dice. hay
que presionar aquí**



This work was supported in part by the Department of Energy, Office of Health and Environmental Research, Washington, DC 20585; NIST's [Standard Reference Data Program](#), and by NIST's Systems Integration for Manufacturing Applications (SIMA) Program.



Manejo del XCOM

NIST
National Institute of
Standards and Technology
Physical Meas. Laboratory



**En línea: Hay que
presionar aquí**

Download Your Own Copy of XCOM Version 3.1

The following compressed files contain the data files, FORTRAN-77 source code, and compiled executables (for Dos only).

These are not necessarily the same versions of XCOM as the one that is available [on line](#). They are not as fully featured and are not updated as regularly.

◆ 1990, 1998 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved. NIST reserves the right to charge for these data in the future.

Disclaimer:

National Institute of Standards and Technology (NIST) uses its best efforts to deliver a high quality copy of the Database and to verify that the data contained therein have been selected on the basis of sound scientific judgement. However, NIST makes no guarantees, expressed or implied, about its quality, reliability, or any other characteristic, and shall not be liable for any damage that may result from errors or omissions in the Database. Moreover, NIST assumes no responsibility whatsoever for its use by other parties.

Certain trade names and company products may be mentioned in the text to specify adequately computer products and/or equipment needed to use the Database. In no case does such identification imply endorsement by NIST of these computer products and/or equipment, nor does it imply that these products and/or equipment are necessarily the best available for the purpose.

[Dos](#) [Mac or Unix](#)
(272 kb) (173 kb)

Note: No technical support is available.



NIST
National Institute of
Standards and Technology
Physical Meas. Laboratory

Element/Compound/Mixture Selection

In this database, it is possible to obtain photon cross section data for a single element, compound, or mixture (a combination of elements and compounds). Please fill out the following information:

[Help](#)

Identify material by:

- Element
- Compound
- Mixture

Method of entering additional energies: (optional)

- Enter additional energies by hand
- Additional energies from file (*Note: Your browser must be file-upload compatible*)



Elegir la forma en la que se va a trabajar, antes de someter

Energías a considerar

Presionar aquí para comenzar



Manejo del XCOM

Fill out the form to select the data to be displayed:

[Help](#)

| | |
|---|---|
| <p>Select by: (only elements 1 - 100)</p> <p>Atomic Number: <input type="text"/></p> <p>or</p> <p>Symbol: <input type="text" value="O"/></p> | <p>Options for output units:</p> <p><input checked="" type="radio"/> All quantities in cm^2/g</p> <p><input type="radio"/> All quantities in <i>barns/atom</i></p> <p><input type="radio"/> Partial interaction coefficients in <i>barns/atom</i> and total attenuation coefficients in cm^2/g</p> |
| <p>Graph options:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Total Attenuation with Coherent Scattering</p> <p><input type="checkbox"/> Total Attenuation without Coherent Scattering</p> <p><input type="checkbox"/> Coherent Scattering</p> <p><input type="checkbox"/> Incoherent Scattering</p> <p><input type="checkbox"/> Photoelectric Absorption</p> <p><input type="checkbox"/> Pair Production in Nuclear Field</p> <p><input type="checkbox"/> Pair Production in Electron Field</p> <p><input type="checkbox"/> None</p> | <p>Additional energies in MeV: (optional) (up to 100 allowed)</p> <p>Note: Energies must be between 0.001 - 100000 MeV (1 keV - 100 GeV) (only 4 significant figures will be used). One energy per line. Blank lines will be ignored.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div> <p><input checked="" type="checkbox"/> Include the standard grid</p> <p>Energy Range:</p> <p>Minimum: <input type="text" value="0.001"/> MeV</p> <p>Maximum: <input type="text" value="100000"/> MeV</p> |

Rayleigh

Compton

¿Cómo manejamos las reacciones fotonucleares?



National Nuclear Data Center

National Nuclear Data Center

Databases

Structure & Decay

Reactions

Resources

Brookhaven National Laboratory

NSR

XUNDL

ENSDF

NuDat

Databases

MIRL

Sigma

EXFOR

ENDF

Presionar aquí

Chart of Nuclides

Atlas of Neutron Resonances

Tool and Publications

Nuclear Data Sheets

Nuclear Wallet Cards

Networks

CSEWG

USNDP

NDWG

Tweets from @NNDC_BNL

National Nucle... @NNDC_... · Mar 8

In our library, we recently uncovered this edition of "NUCLEAR DATA": an early predecessor to our NuDat, ENSDF, and ENDF databases. It was published in 1950 by four women (!!!), including Kay Way and Lilla Fano. #IWD2023 #nuclear #nucleardata

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE, Charles Dreyfus, Secretary
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, B. S. Pons, Director

NUCLEAR DATA

a Collection of Experimental Values of Half-Lives, Radiation Energies, Relative Branch Ratios, Neutron Masses, and Cross Sections

Compiled by
Kay Way, Lilla Fano, Michael W. Smith, and Wade Wain
January 1950

<https://www.nndc.bnl.gov>



National Nuclear Data Center: Menú de Sigma

Evaluated Nuclear Data File (ENDF) Retrieval & Plotting

Periodic Table Browse

Directory Tree Browse

Basic Retrieval

Advanced Retrieval

Plot Cart

Computations

Select first a library, then a sublibrary and finally click on a chemical element to obtain results.
Data are available for materials with a cyan background.

Library: ENDF/B-VII.1(USA, 2011) ▼

Sublibrary: Neutron reactions ▼

| | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 1 | | | | | | | | | |
| n | H | | | | | | | | | |
| | 3 | 4 | | | | | | | | |
| | Li | Be | | | | | | | | |
| | 11 | 12 | | | | | | | | |
| | Na | Mg | | | | | | | | |
| | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni |
| | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 |
| | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd |
| | 55 | 56 | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 |
| | Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt |
| | 87 | 88 | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 |
| | Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds |
| | | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | |
| | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | |
| | | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | |
| | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | |

- Neutron reactions
- Thermal neutron scattering
- Neutron cross section standards
- Photonuclear reactions
- Proton reactions
- Deuteron reactions
- Triton reactions
- He-3 reactions
- Alpha reactions
- Decay data
- Neutron-induced fission yields
- Spontaneous fission yields
- Photo-atomic
- Atomic relaxation
- Electro-atomic

Version History:

- [-] **New: (December 2011)**
 - ENDF/B-VII.1 evaluated neutron library.
- [+] New in version 3.1 (October 2009)
- [+] New in version 3.0 (February 2009)
- [+] New in version 2.0 (April 2008)
- [+] New in version 1.0 (April 2007)



National Nuclear Data Center: Base de Datos Sigma

Evaluated Nuclear Data File (ENDF) Retrieval & Plotting

Periodic Table Browse

Directory Tree Browse

Basic Retrieval

Advanced Retrieval

Plot Cart

Computations

Select first a library, then a sublibrary and finally click on a chemical element to obtain results.
Data are available for materials with a cyan background.

Library:

Sublibrary:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| n | H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| | 3 | 4 | | | | | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| | 11 | 12 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |
| | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| | 55 | 56 | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| | Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| | 87 | 88 | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | | | | | | | |
| | Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | | | | | | | |
| | | | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | | |
| | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| | | | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | | |
| | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | |

Version History:

- New: (December 2011)
 - ENDF/B-VII.1 evaluated neutron library.
- New in version 3.1 (October 2009)
- New in version 3.0 (February 2009)
- New in version 2.0 (April 2008)
- New in version 1.0 (April 2007)



Base de Datos Sigma: Reacciones Fotonucleares, ^{12}C

Evaluated Nuclear Data File (ENDF) Retrieval & Plotting

Periodic Table Browse

Directory Tree Browse

Basic Retrieval

Advanced Retrieval

Plot Cart

Computations

Select first a library, then a sublibrary and finally click on a chemical element to obtain results.
Data are available for materials with a cyan background.

Library: ENDF/B-VII.1(USA, 2011) ▾

Sublibrary: Photonuclear reactions ▾


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| n | H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | |
| 11 | 12 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | |
| 55 | 56 | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | |
| 87 | 88 | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | | | | | | | | |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | | | | | | | | |
| | | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | | | |
| | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | |
| | | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | | | |
| | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | | |

Results for ENDF-6 format Human-readable

Z=6

12

13

- Whole file - 
- introduction [Interpreted](#)
- Cross sections:
 - (γ ,absorption) [Interpreted](#) [Plot](#)
 - (γ ,absorption) [Interpreted](#) [Plot](#)
 - (γ ,n'_k) (click to expand)
 - (γ ,p_k) (click to expand)
- Energy-angle distributions:
 - (γ ,anything) [Interpreted](#)
 - (γ ,n'_k) (click to expand)
 - (γ ,p_k) (click to expand)

Version History:

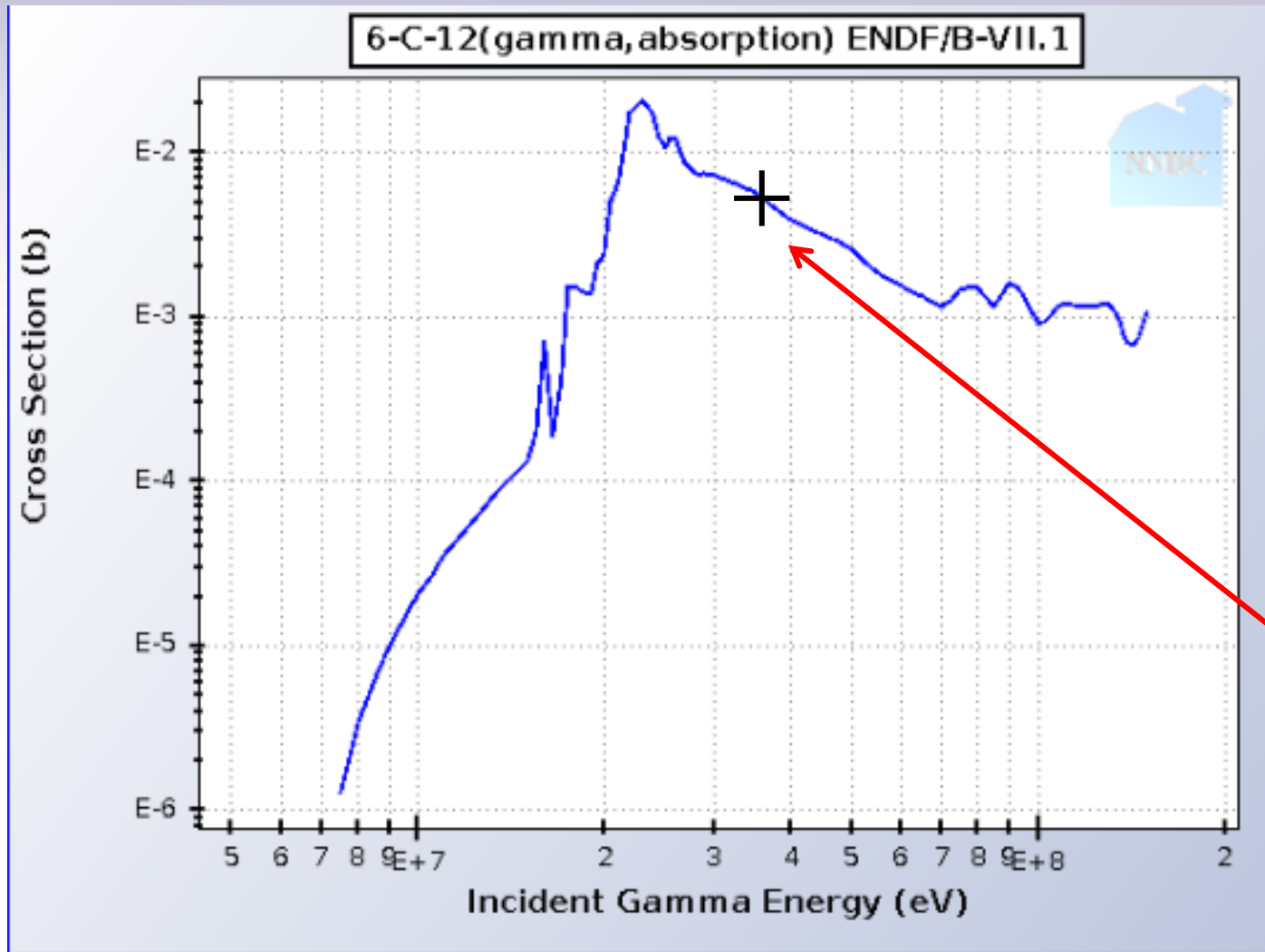
- [-] New: (December 2011)
 - ENDF/B-VII.1 evaluated neutron library.
- [+] New in version 3.1 (October 2009)
- [+] New in version 3.0 (February 2009)
- [+] New in version 2.0 (April 2008)
- [+] New in version 1.0 (April 2007)

Presionar aquí

Y presionar aquí



Reacciones Fotonucleares, ^{12}C : Absorción γ



Update Plot | Reset | Add to plot cart

$1.3855\text{E}7 \leq E_n \text{ (eV)} \leq 1.3855\text{E}7$ | Log \downarrow

$9.3105\text{E}-5 \leq \sigma \text{ (b)} \leq 9.3105\text{E}-5$ | Log \downarrow

Normalization: 1.0

[View evaluated data](#)

[Plot experimental data \(EXFOR\)](#)

[Add your data](#)

[Help](#)

para cambiar escala

para ver datos calculados

para ver datos experimentales

para añadir datos propios a la gráfica

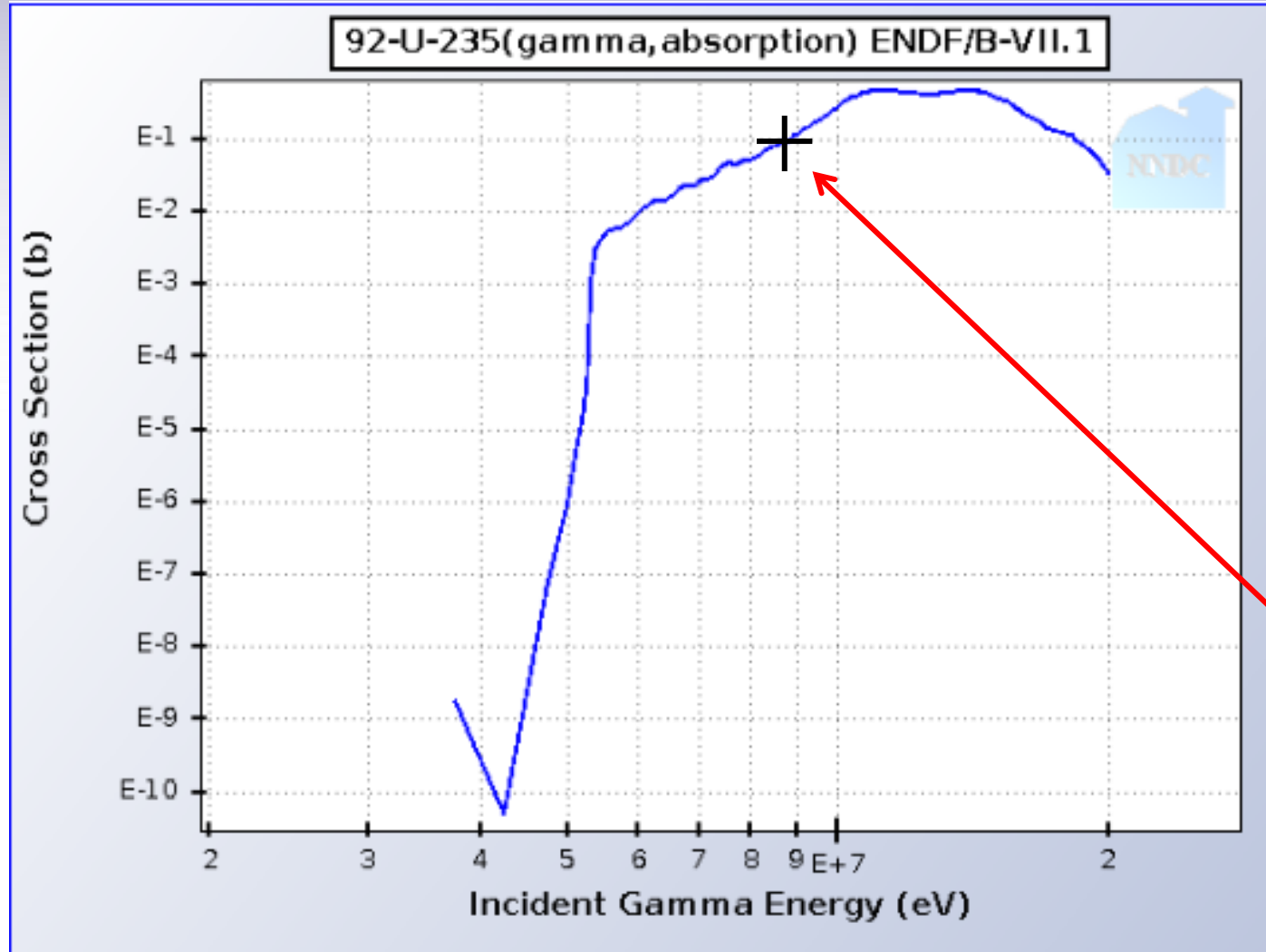
cursor permite leer la gráfica

Cursor at: x = $3.8557\text{E}7$ (eV) y = $4.3050\text{E}-3$ (b)

To Zoom, left click on one of the limits and release the button on the other limit. Zooming will work with the latest versions of FireFox and Internet Explorer.



Reacciones Fotonucleares, ^{235}U : Absorción γ



Update Plot Reset Add to plot cart

$\leq E_n$ (eV) \leq Log \downarrow

$\leq \sigma$ (b) \leq Log \downarrow

Normalization:

[View evaluated data](#)

[Plot experimental data \(EXFOR\)](#)

[Add your data](#)

[Help](#)

para cambiar escala

para ver datos calculados

para ver datos experimentales

para añadir datos propios a la gráfica

cursor permite leer la gráfica

Cursor at: x = (eV) y = (b)

To Zoom, left click on one of the limits and release the button on the other limit.
Zooming will work with the latest versions of FireFox and Internet Explorer.



<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.