

Clase 2: Práctica radiación gamma: Instrumentación

Experimentos Cuánticos II - 2025

Arreglo experimental

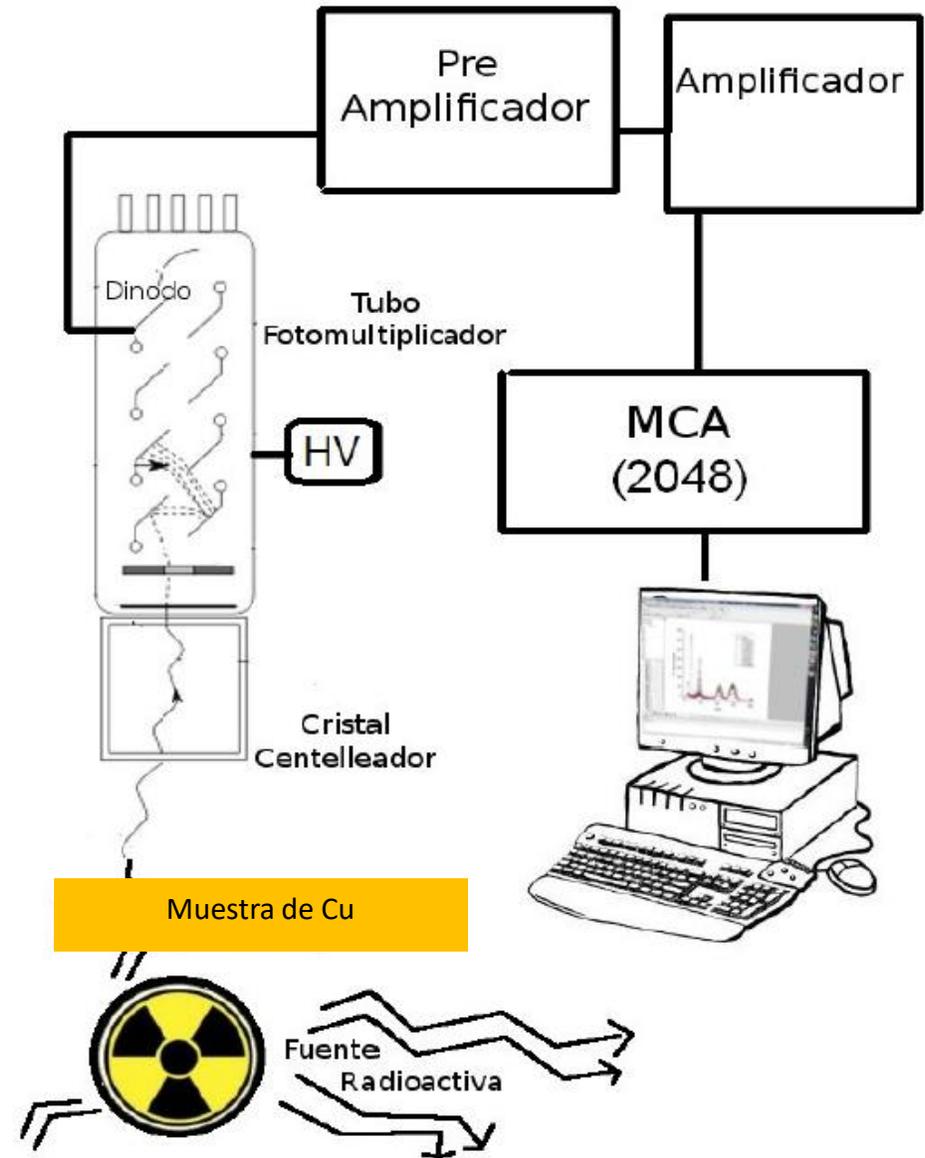
Atenuación de la radiación γ con el espesor de láminas de Cu:

OBJETIVOS y PROCEDIMIENTOS:

Analizar la atenuación de la radiación gama en función del espesor de un blanco de Cu.

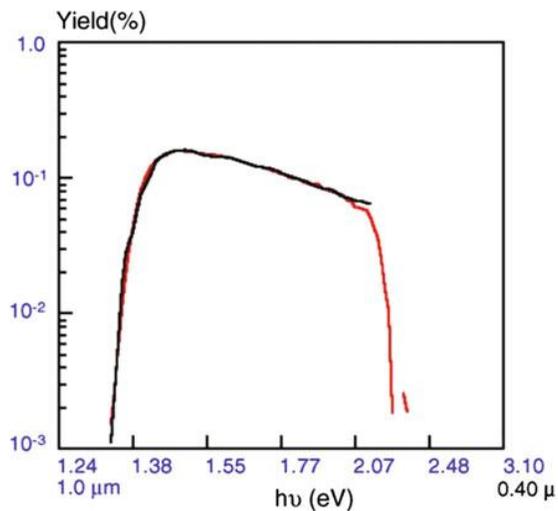
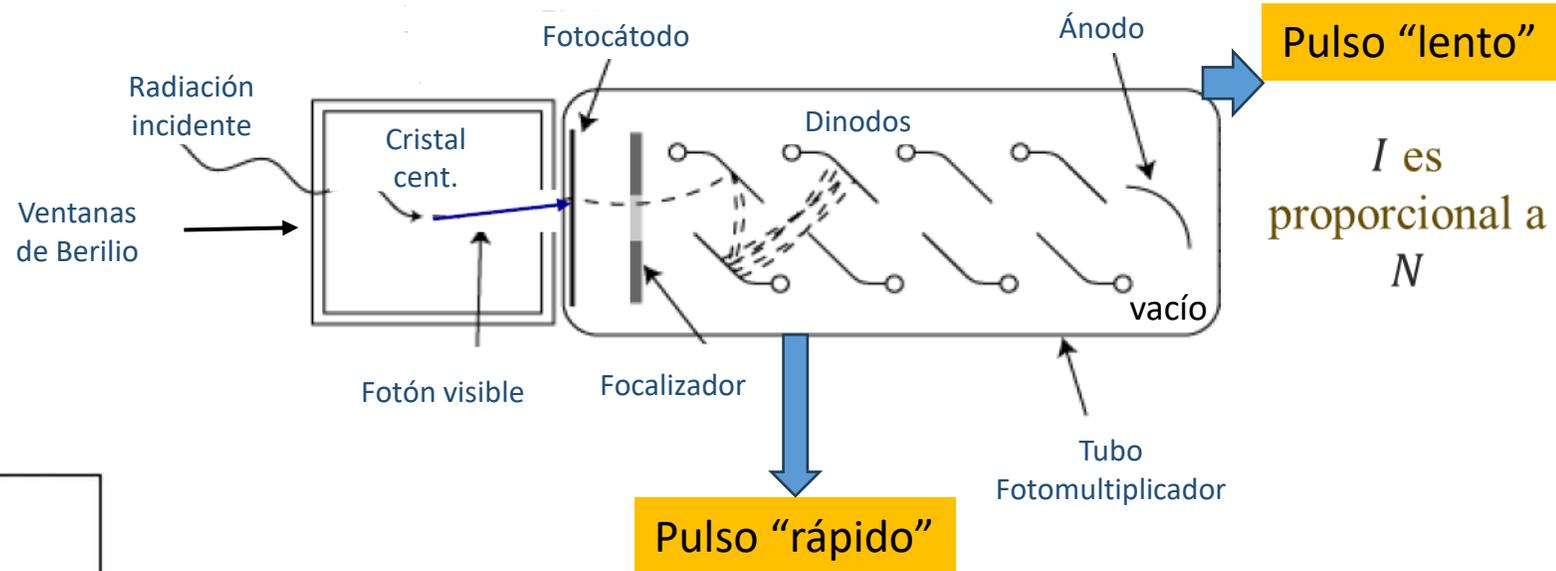
Se utilizar fuentes fijas constituidas por diferentes isotopos radioactivos y se deberá variar el espesor de las láminas de Cu.

Determinar experimentalmente la atenuación y analizar la misma a través de los modelos empíricos propuestos en la teoría



Detector de centelleo

Atenuación de la radiación γ con el espesor de láminas de Cu:



Eficiencia cuántica de un cristal de GaAs (material fotosensible)
Nro. Fotoelectrones / Nro. Fotones incidentes

CLASE 3:
Técnicas de caracterización
Laboratorio de Sincrotrón

Experimentos Cuánticos II - 2025

Objetivos

- Contar con un criterio cualitativo para escoger técnicas apropiadas (y descartar las no apropiadas) para abordar un problema determinado.
- Contribuir a disponer de criterios primarios para la elección de tipos de técnicas avanzadas de caracterización según el problema a resolver.
- Disponer de información básica sobre las técnicas disponibles en un laboratorio de sincrotrón, en especial aquellas apropiadas para estudiar el problema en cuestión.

Preguntas iniciales:

Cuáles son los aspectos relevantes para tener en cuenta en la caracterización?



Propiedades fundamentales:

TAMAÑO
ESTRUCTURA
FORMA
ESPECIACIÓN (Análisis químico)
ESTRUCTURA LOCAL
ELECTRÓNICA

Propiedades específicas:

Magnetismo
Dureza
Resistividad
...

Cuáles es la mejor forma de alcanzar una caracterización relevante?

OBJETIVOS:



Sensibilidad
Eficiencia



Resolución temporal
Resolución espacial
Resolución en energía



Determinaciones "in situ" / operando
Determinaciones en un mismo experimento

Análisis experimental de la materia: Introducción

Microscopía electrónica de transmisión

Microscopía de efecto túnel

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X

Cuáles es la mejor forma de alcanzar
una caracterización relevante?

OBJETIVOS:



Sensibilidad
Eficiencia



Resolución temporal
Resolución espacial
Resolución en energía



Determinaciones “in situ” / operando
Determinaciones en un mismo experimento

Análisis experimental de la materia: Introducción

Cuáles es la mejor forma de alcanzar
una caracterización relevante?

Microscopía electrónica de transmisión

Microscopía de efecto túnel

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X



Análisis experimental de la materia: Introducción

Cuáles es la mejor forma de alcanzar
una caracterización relevante?

Microscopía electrónica de transmisión

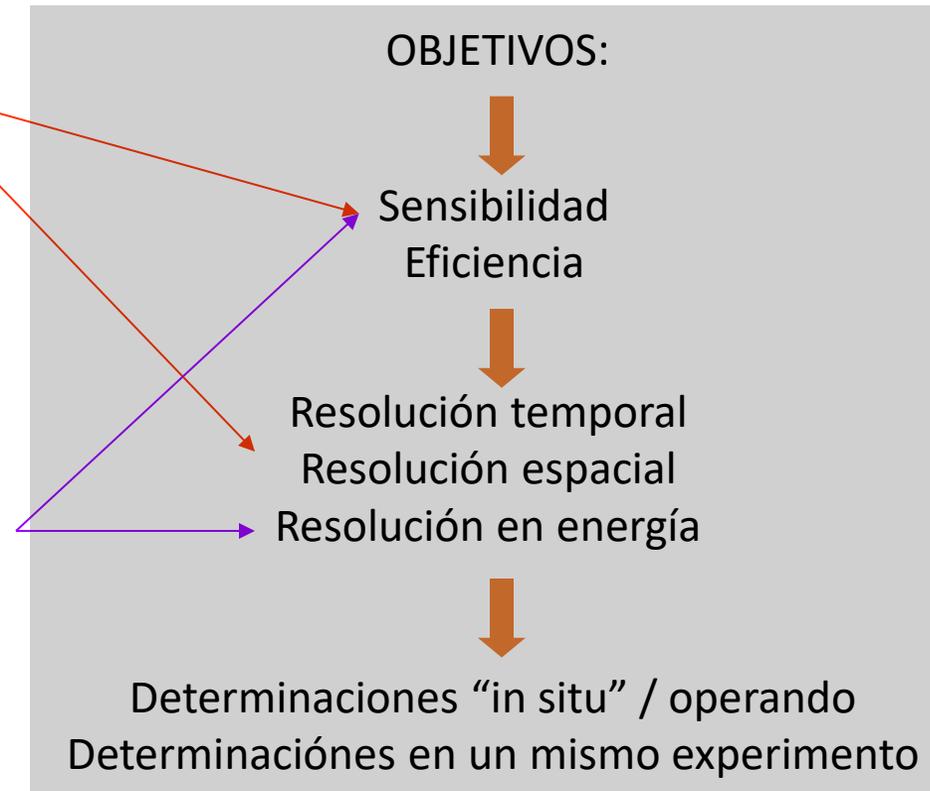
Microscopía de efecto túnel

QUÉ HAY?
COMO ESTA?

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X

QUÉ HAY?
COMO ESTA?



Análisis experimental de la materia: Introducción

Cuáles es la mejor forma de alcanzar
una caracterización relevante?

Microscopía electrónica de transmisión

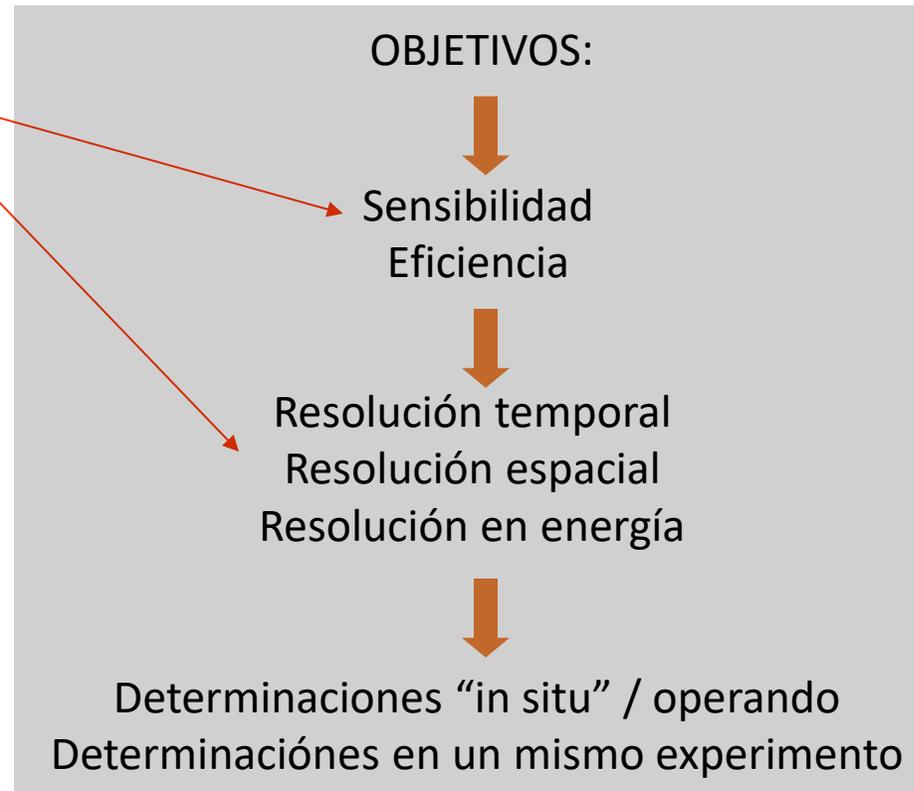
Microscopía de efecto túnel

~~QUÉ HAY?~~
COMO ESTA?

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X

~~QUÉ HAY?~~
~~COMO ESTA?~~



Análisis experimental de la materia: Introducción

Microscopía electrónica de transmisión

Microscopía de efecto túnel

COMO ESTA?

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X

QUÉ HAY?



INTENTOS
(relativamente exitosos)

TEM con análisis químico
(EELS)

(Resolución limitada en energía)

QUÉ HAY?

XPS con resolución espacial
XANES con resolución espacial

(Resolución espacial limitada)

COMO ESTA?

Análisis experimental de la materia: Introducción

Microscopía electrónica de transmisión

Microscopía de efecto túnel

COMO ESTA?

Espectroscopía de fotoelectrones por rayos X

Espectroscopía por absorción de rayos X

QUÉ HAY?

OTRAS PREGUNTAS:

COMO CAMBIA?

EL EXPERIMENTO REPRESENTA
EL PROBLEMA ESTUDIADO?

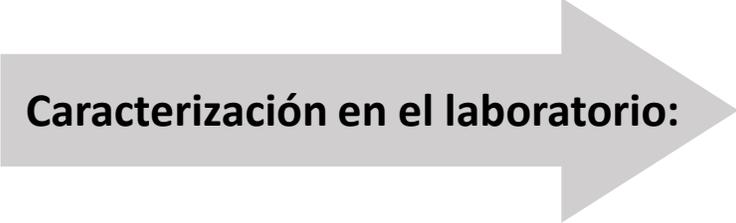
Estudios “in situ”
Resolución temporal

2 - Caracterización por imágenes

Limitaciones:

- TEM: condiciones de vacío (UHV), muestras delgadas, contraste, **fuerte interacción con la muestra**.
- STM: muestras conductoras, restringida a films.
- AFM (SPM en general): resolución, tip-dependientes (reproducibilidad, estabilidad, etc).
- **En general: técnicas locales, sin “sensibilidad” ni “selectividad química”.**

Motivación



Caracterización en el laboratorio:

- Orden local (estructura)
- Electrónica
- Magnetismo
- In situ (equilibrio termodinámico)
- Selectividad química
- Sensibilidad (bajas concentraciones, objetos diluidos)
- Sensibilidad superficial
- Modelado teórico
- Resolución espacial (xy, z)
- Determinaciones cuantitativas

- Disponibilidad!

En general: las técnicas basadas en la luz de sincrotrón satisfacen varios de estos aspectos. En particular la absorción de rayos X resulta una técnica versátil y conveniente para estudios experimentales.

2da parte

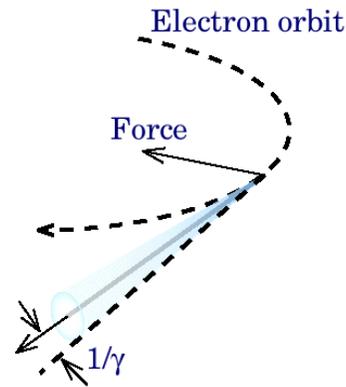
Laboratorio de Sincrotrón

Radiación y materia

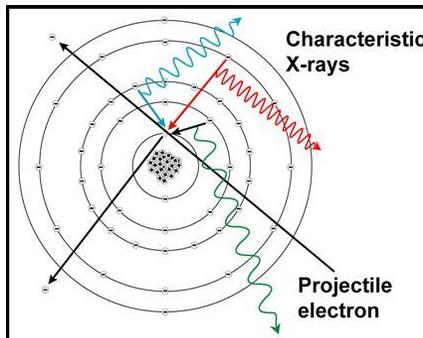
Origen de la radiación:

- Radiación γ :
 - decaimientos nucleares
 - aceleradores lineales (FEL)
- Radiación X:
 - radiación de frenado
 - emisiones características (fluorescentes)
 - sincrotrón (partículas cargadas aceleradas a $v \sim c$)
 - aniquilación de partículas (e^+ y e^-)

Radiación de partículas cargadas con $v \sim c$

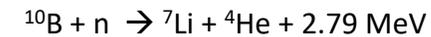
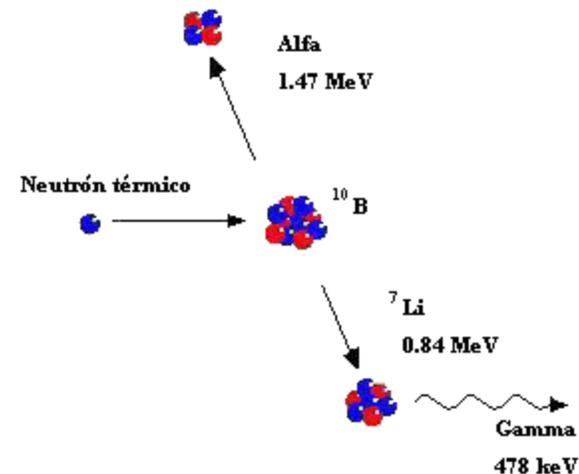
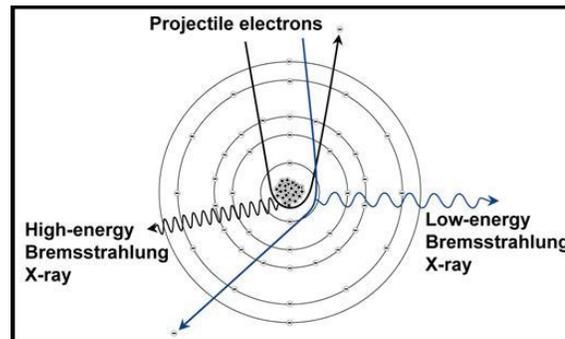


Sincrotrón de 4ta generación FEL



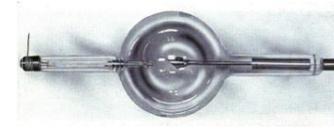
Emisión característica luego de un proceso de fotoabsorción

Emisión continua de frenado luego de una colisión entre una partícula cargada con un átomo.

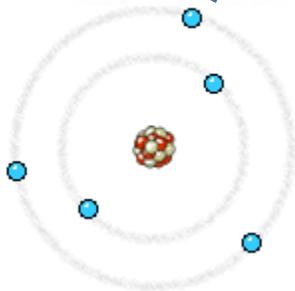
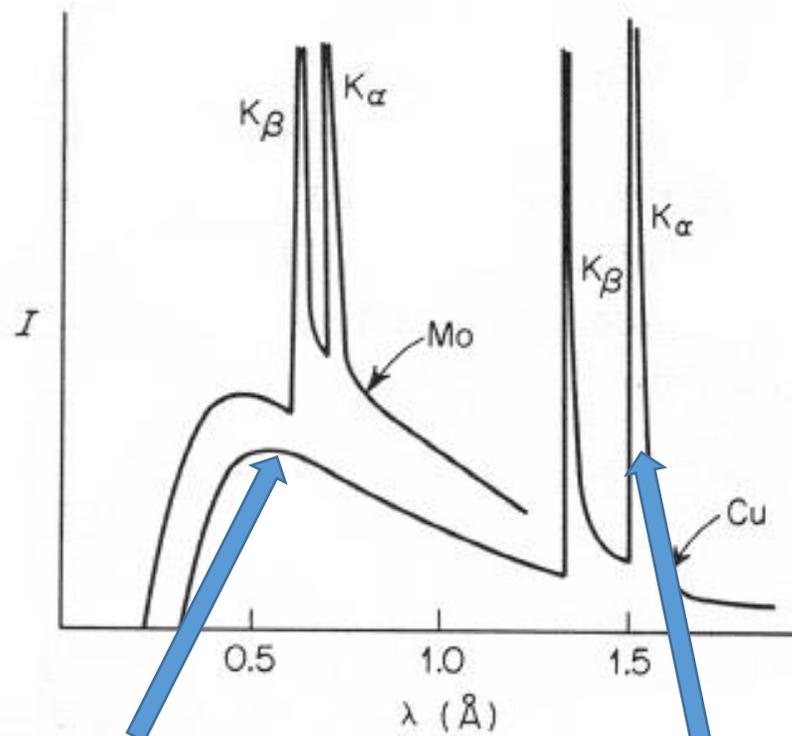


Reacción nuclear

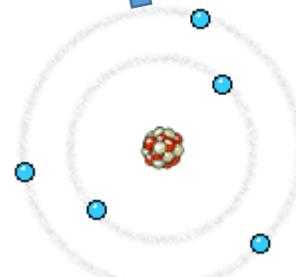
Producción de Rayos X



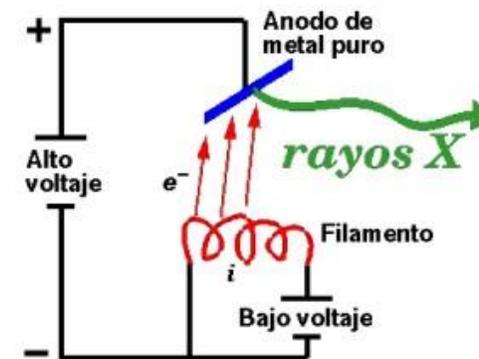
Fuente “convencional”:



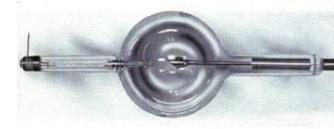
Espectro continuo de emisión



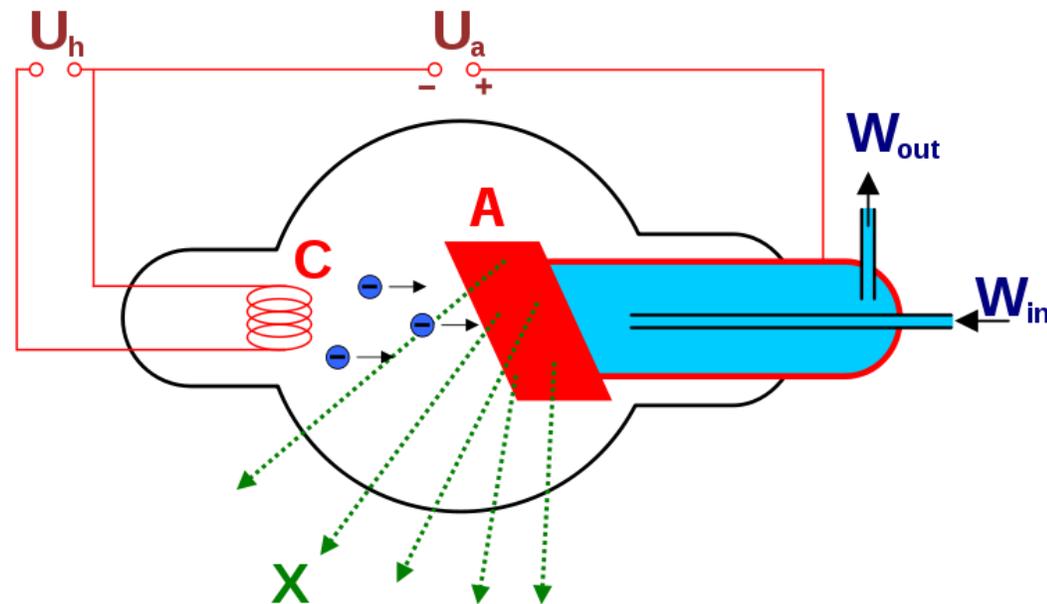
Espectro característico de emisión



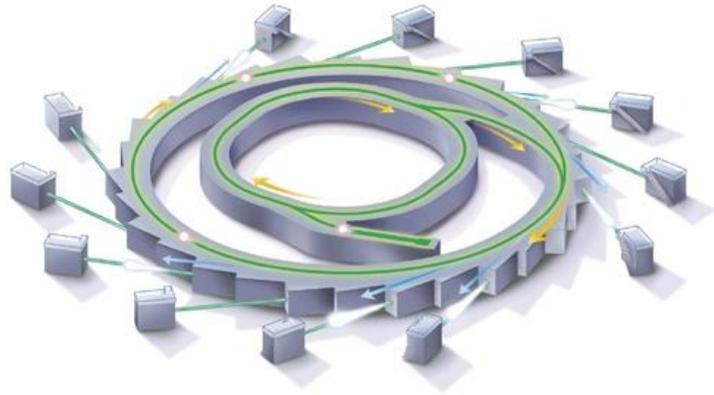
Producción de Rayos X



Fuente “convencional”:



¿Qué es un laboratorio de sincrotrón?



Es una máquina o “facility” en la que se produce radiación en un amplio rango de energías y con un alto brillo. Se trata de una fuente sintonizable de radiación X.

Esta radiación es utilizada para realizar diferentes tipos de experimentos en las “líneas de luz”.

Características:

- 1 - Amplio rango espectral (pocos eV hasta varias decenas de keV)
- 2 - Excelente coherencia espacial
- 3 - Polarización bien definida
- 4 - Estabilidad
- 5 - Gran flujo de fotones

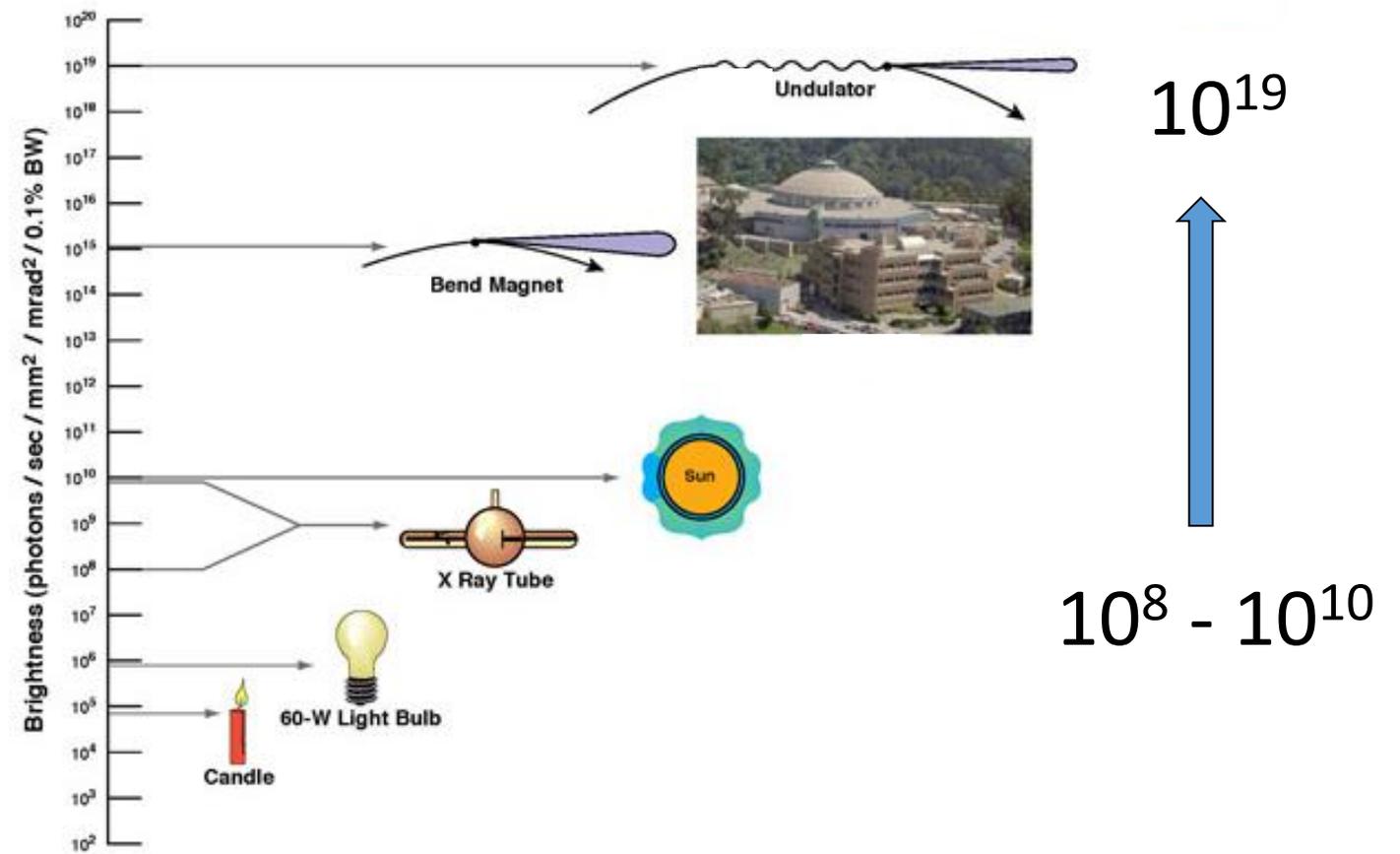
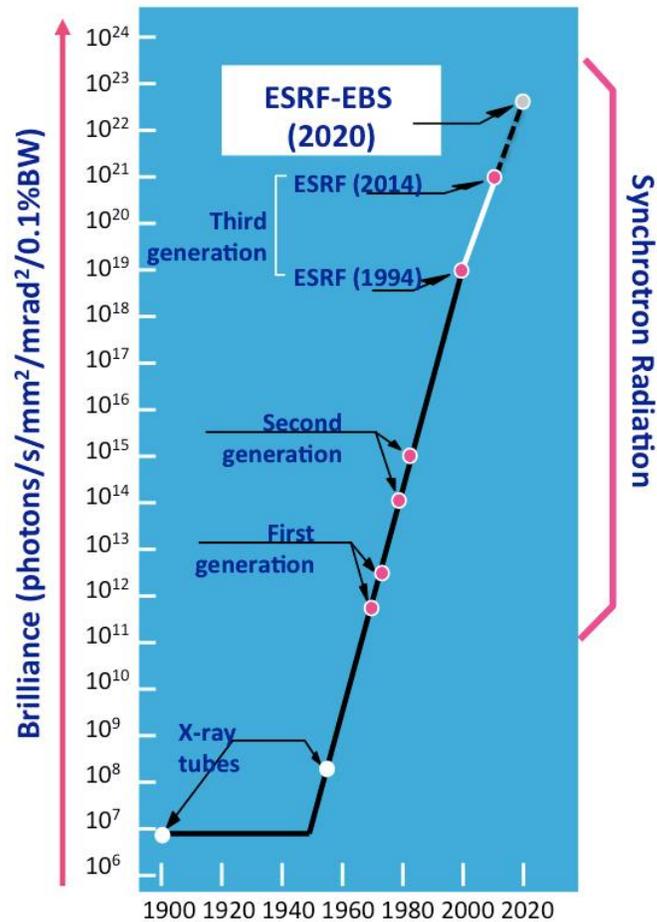
Primeros experimentos: 1940

Primer laboratorio dedicado como fuente de luz: 1970

Sincrotrones en el mundo: más de 50

Brillo de las fuentes de luz

Recién a partir de 1970 aparecen sincrotrones dedicados a producir radiación X (2^{da} generación) !! (Daresbury, Inglaterra)



Aplicaciones de la radiación X: no solo difracción!



The Nobel Prize in Physics 1939



Ernest Orlando Lawrence

USA

University of California
Berkeley, CA, USA

b. 1901

d. 1958

<http://nobelprize.org/physics/laureates/1939/index.html>

"for the invention and development of the cyclotron and for results obtained with it, especially with regard to artificial radioactive elements"

Premios Nobel por descubrimientos que emplearon radiación X

Física		Química		Fisiología y Medicina	
1901	Wilhelm Röntgen	1936	Peter Debye	1946	Hermann Joseph Muller
1914	Max von Laue	1962	Max Perutz and Sir John Kendrew	1962	Francis Crick, James Watson and Maurice Wilkins
1915	Sir William Henry Bragg and Sir William Lawrence Bragg	1964	Dorothy Hodgkin	1979	Alan M. Cormack and Sir Godfrey N. Hounsfield
1917	Charles Barkla	1976	William Lipscomb		
1924	Karl Manne Siegbahn	1985	Herbert Hauptman and Jerome Karle		
1927	Arthur Compton	1988	Johann Deisenhofer,		
1981	Kai Siegbahn Robert Huber and Hartmut Michel				
1997	Paul D. Boyer and John E. Walker				

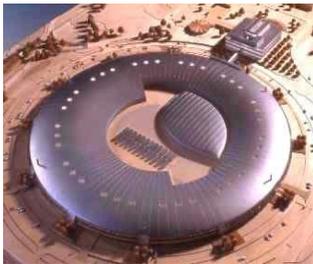
Sincrotrones en el mundo



ALS, USA



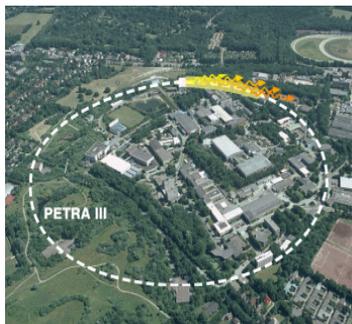
ESRF, FR



Diamond, UK.



CLS, CA



Petra III, GE
(en construcción).



SPRING8, JA



LNLS, BR



NSLS, USA



APS, USA

ALS, Berkeley, CA, USA:

Total Staff: 175 **Visiting Researchers/Users:** 2000+ per year and growing

Funding Agency: U.S. Department of Energy, Office of Basic Energy Sciences

ALS Construction Costs: \$99.5 million

Construction Started: 1987

Construction Completed: March, 1993

Facility Dedicated: October 22, 1993

Nature of Particles in the Storage Ring: Electrons with a nominal energy of 1.9 GeV

Size of Electron Beam: ~0.20 mm × 0.02 mm (about the width of a human hair)

Operating Beamlines: 35 plus the Beam Test Facility

Possible Beamlines: ~50

Size: ~50 m diameter

Sincrotrones en el mundo

Australia	Boomerang
Brazil	
Campinas	LNLS-1
Canada	
Saskatoon	CLS (Canadian Light Source)
China (PRC)	
Beijing	BEPC (Inst. High Energy Phys.) BLS (Inst. High Energy Phys.)
Hefei	NSRL (Univ. Sci. Tech. China)
Shanghai	SSRF (Inst. Nucl. Res.)
Denmark	
Aarhus	ASTRID (ISA) ASTRID II (ISA)
England	
Daresbury	SRS (Daresbury) DIAMOND (Daresbury/Appleton) SINBAD (Daresbury)
France	
Grenoble	ESRF SOLEIL
Germany	
Berlin	BESSY I BESSY II
Bonn	ELSA (Bonn Univ.)
Dortmund	DELTA (Dortmund Univ.)
Hamburg	DORIS III (HASYLAB/DESY) PETRA II (HASYLAB/DESY)
Karlsruhe	ANKA
Middle East	
	SESAME

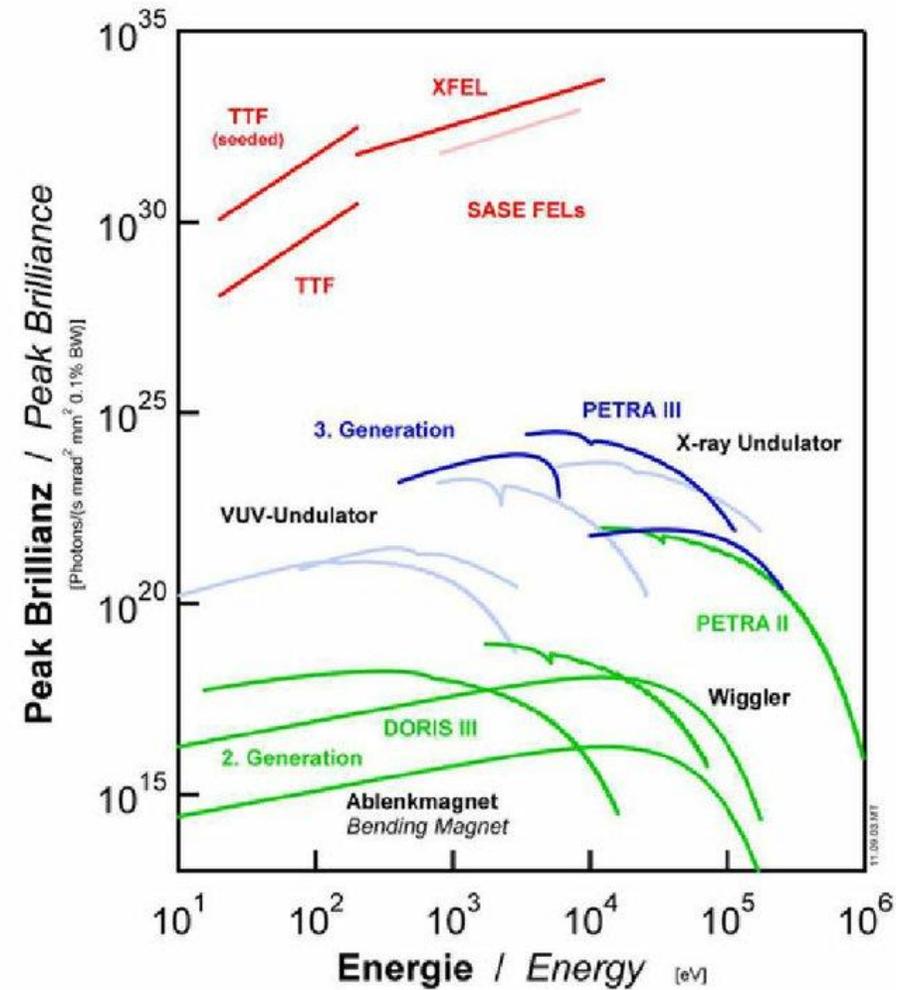
Russia	
Moscow	Siberia I (Kurchatov Inst.)
	Siberia II (Kurchatov Inst.)
Dubna	DELSY (JINR)
Novosibirsk	VEPP-2M (BINP)
VEPP-3 (BINP)	
VEPP-4 (BINP)	
Siberia-SM (BINP)	
Zelenograd	TNK (F.V. Lukin Inst.)
Singapore	
	Helios2 (Univ. Singapore)
Spain	
Barcelona	Catalonia SR Lab
Sweden	
Lund	MAX I (Univ. Lund) MAX II (Univ. Lund) New Ring (Univ. Lund)
Switzerland	
Villigen	SLS (Paul Scherrer Inst.)
Taiwan (ROC)	
Hsinchu	SRRC (Synch. Rad. Res. Ctr.)
Thailand	
Nakhon Ratchasima	SIAM (Suranaree Univ. Tech.)
Ukraine	
Kharkov	Pulse Stretcher/Synch. Rad.
Kiev	ISI-800 (UNSC)
USA	
Argonne, IL	APS (Argonne Nat. Lab.)
Baton Rouge, LA	CAMD (Louisiana State Univ.)
Berkeley, CA	ALS (Lawrence Berkeley Nat. Lab.)
Durham, NC	FELL (Duke Univ.)
Gaithersburg, MD	SURF III (NIST)
Ithaca, NY	CESR (CHESS/Cornell Univ.)
Raleigh, NC	NC STAR (N. Carolina State Univ.)
Stanford, CA	SPEAR2 (SSRL/SLAC) SPEAR3 (SSRL/SLAC)
Stoughton, WI	Aladdin (Synch. Rad. Ctr.)
Upton, NY	NSLS I (Brookhaven Nat. Lab.)

Características de la radiación de sincrotrón

- Flujo y brillo
- Distribución angular de la radiación
- Distribución espectral de la radiación
- Polarización

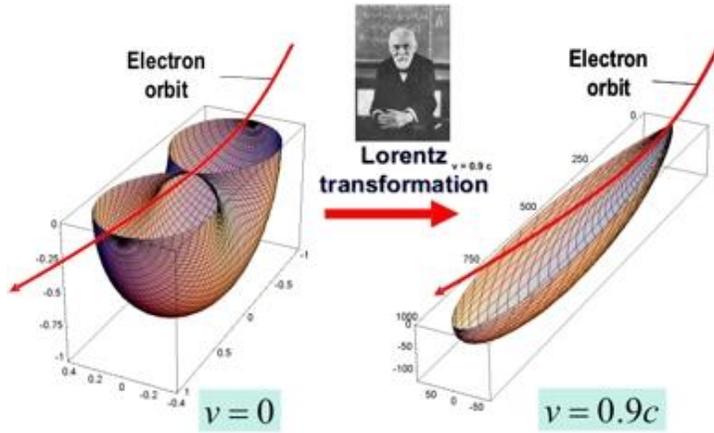
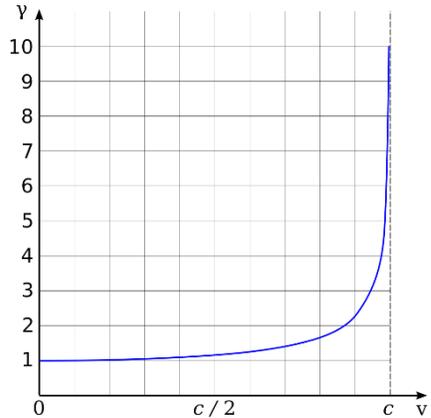
Características de la radiación de sincrotrón

Radiación dipolar:



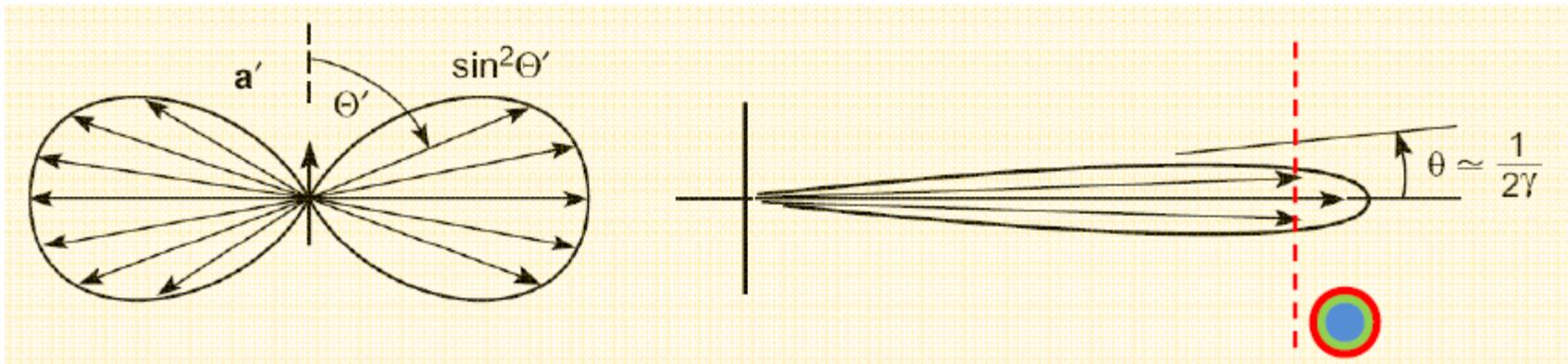
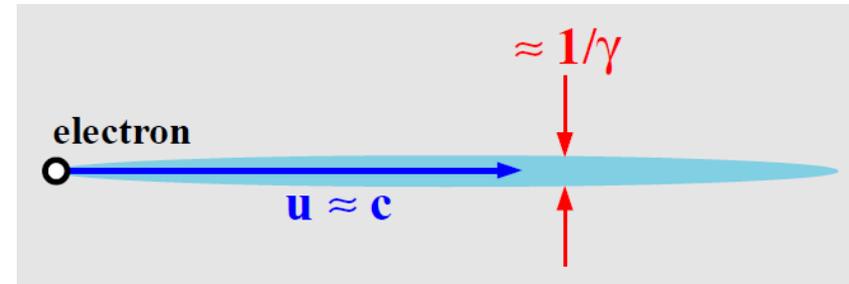
Características de la radiación de sincrotrón

Distribución angular de la radiación



Toda partícula cargada acelerada emite radiación:

- $v \ll c$: La emisión será distribuida en todas direcciones
- $v \rightarrow c$: La emisión se ve concentrada en la dirección de v



$$\theta \approx \pi/4$$

Radiación dipolar

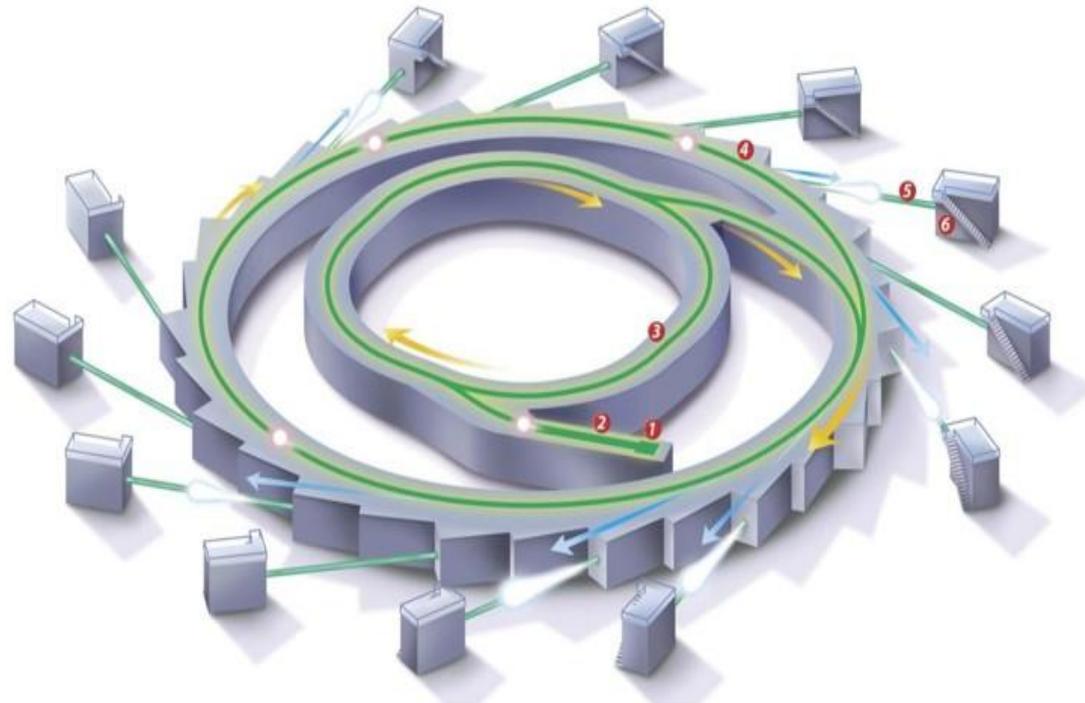
$$\tan \theta' \approx \frac{\tan \theta}{\gamma(1 - \beta \cos \theta)}$$

Radiación dipolar «transformada»

$$\theta' \approx 0.4/\gamma$$

Partes de un sincrotrón

1. Cañón de electrones
2. Acelerador lineal
3. Booster
4. Anillo de almacenamiento
5. Líneas de luz
6. Estación terminal

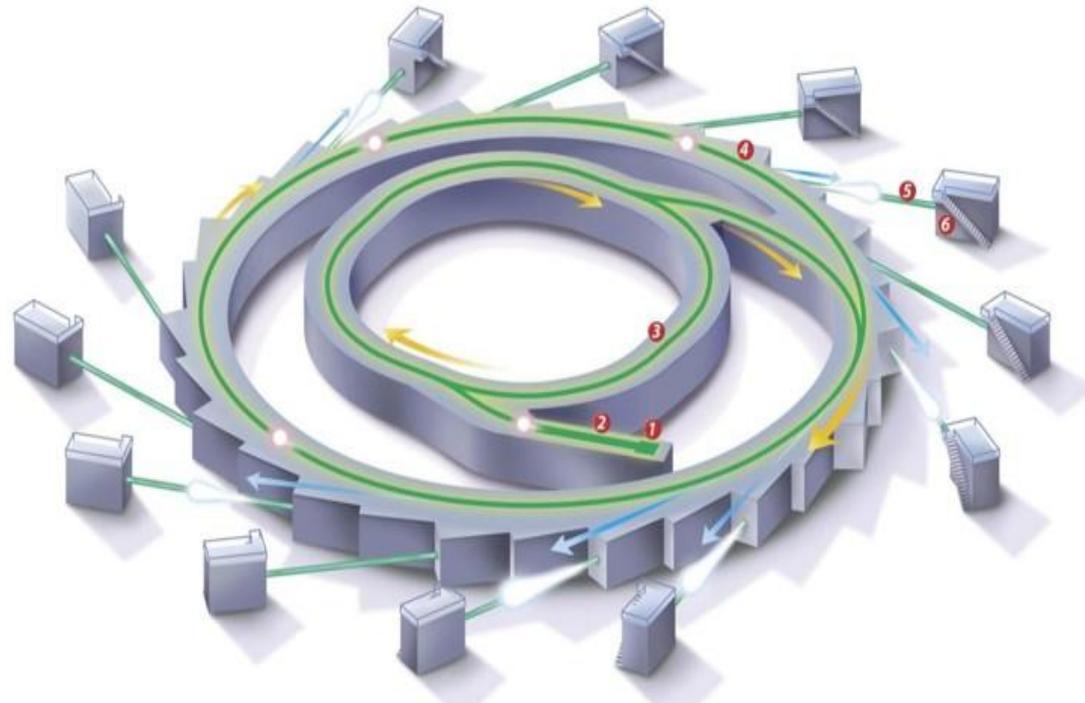


Las primeras 5 deberán estar en ultra alto vacío (al menos).

El vacío en el anillo deberá estar entre 10^{-9} y 10^{-11} Torr. Este vacío será un factor determinante de la vida media del haz.

Partes de un sincrotrón

1. Cañón de electrones
2. Acelerador lineal
3. Booster
4. Anillo de almacenamiento
5. Líneas de luz
6. Estación terminal



Las primeras 5 deberán estar en ultra alto vacío.

El vacío en el anillo deberá estar entre 10^{-9} y 10^{-11} Torr. Este vacío será un factor determinante de la vida media del haz.

Acelerador lineal



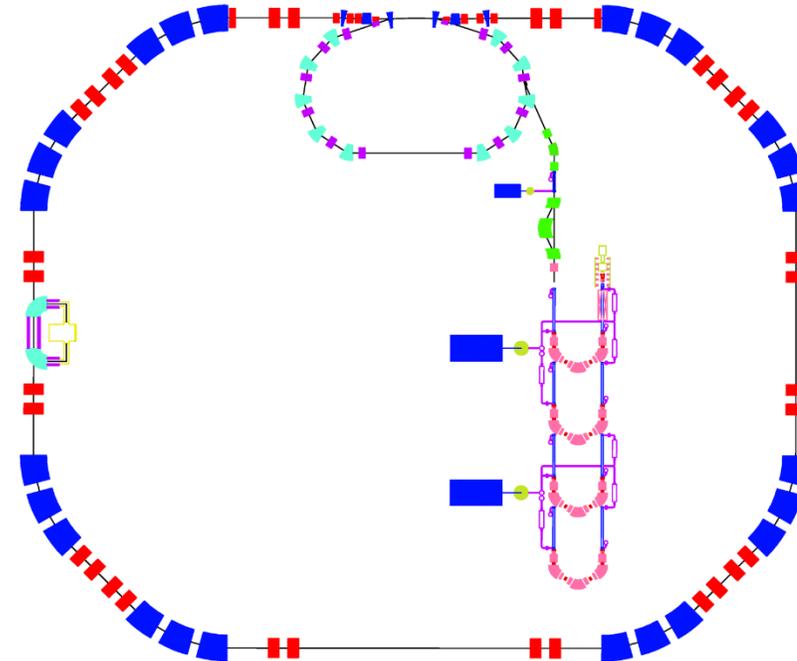
Booster



En el booster se realiza la primer etapa de aceleración de los electrones.

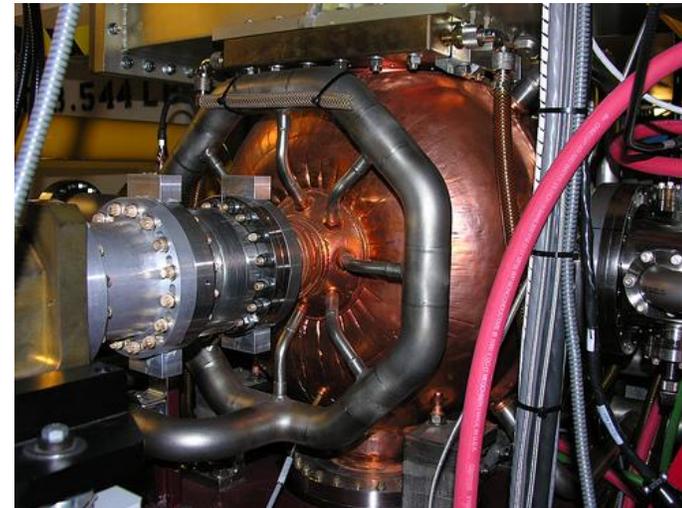
Anillo de almacenamiento

- Compuesto por sectores rectos y curvos alternados.
- Los curvos son utilizados para desviar el haz y obtener la radiación.
- En los rectos se colocan diferentes dispositivos para devolver la energía a los electrones o en los sincrotrones de 3ra generación para obtener radiación con características especiales.
- Para evitar que los electrones se desvíen o sean absorbidos se debe mantener UHV (10^{-10}).



Anillo de almacenamiento

- Bending magnets
- Cuadrupolos
- Cavidades de radiofrecuencias
- Dispositivos de inserción: wigglers y undulators



Anillo de almacenamiento

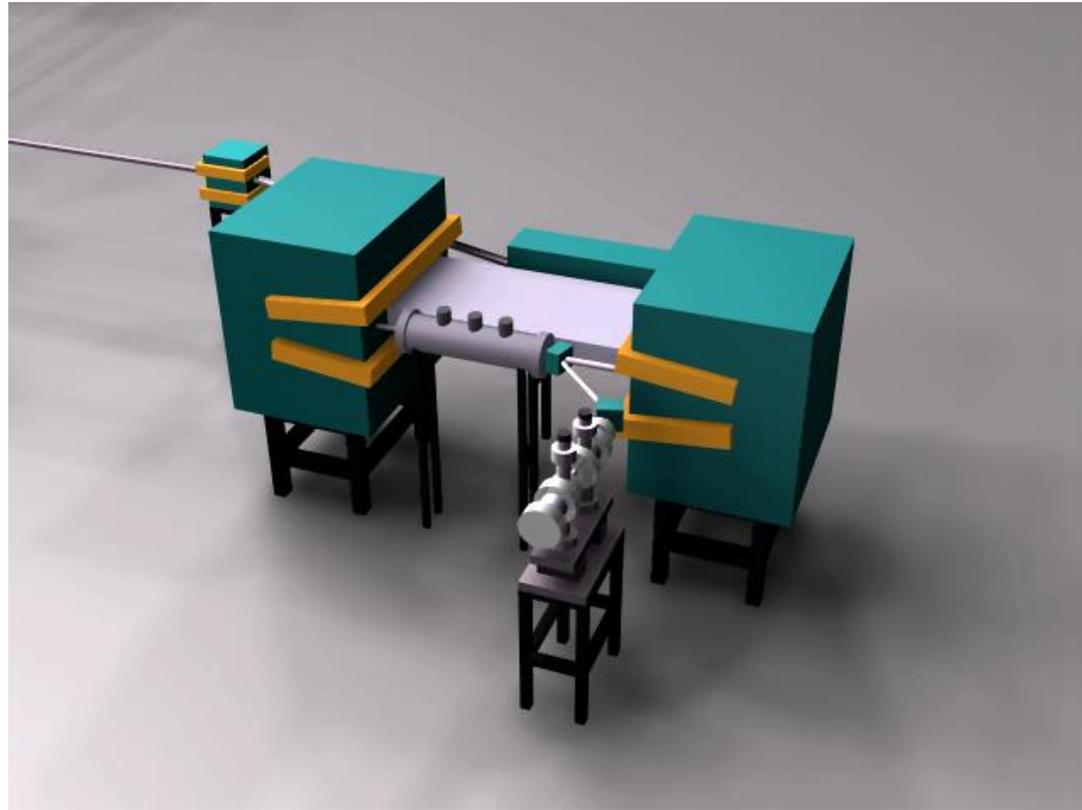


Wiggler



Undulator

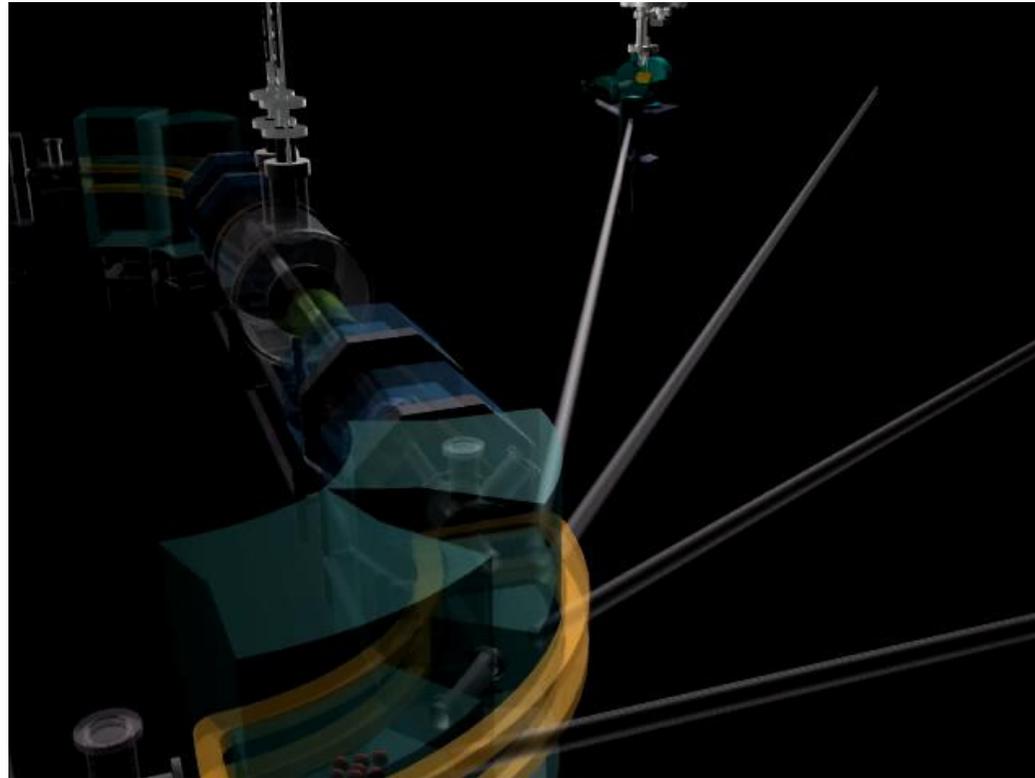
Inyectando electrones en el anillo



Produciendo radiación X



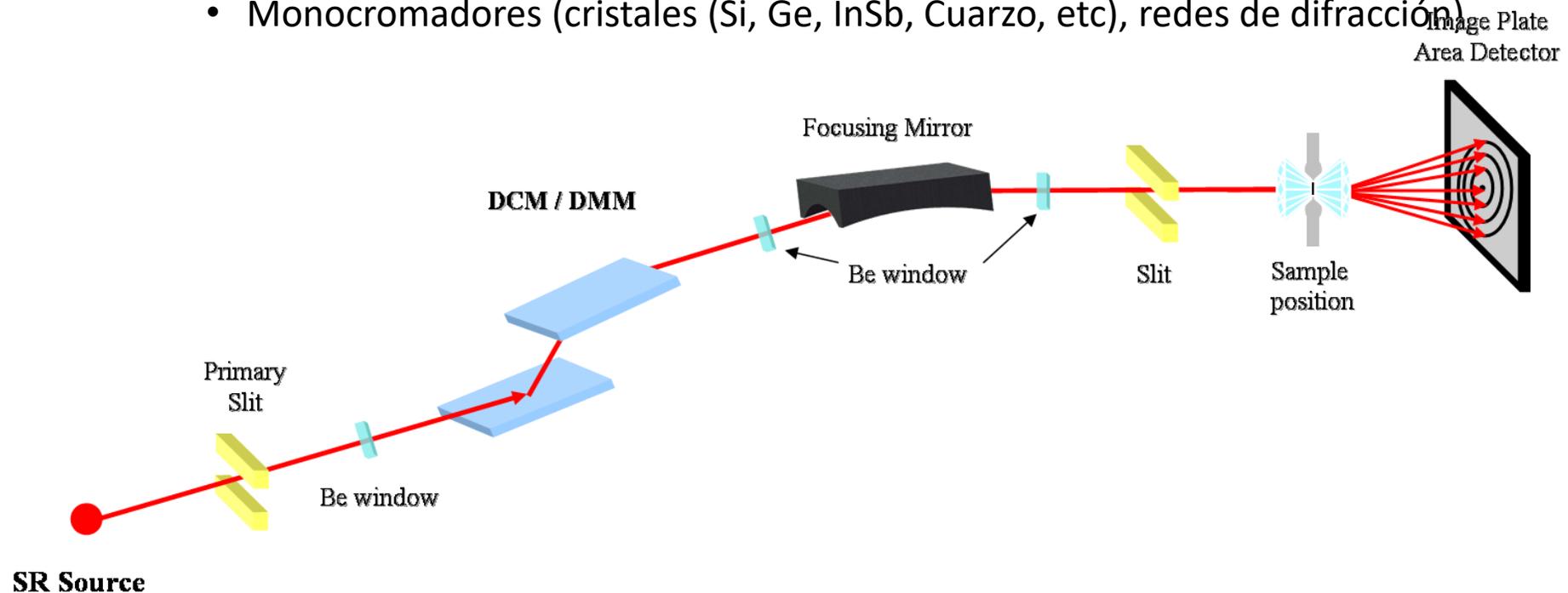
Utilizando la radiación X en un “beamline”



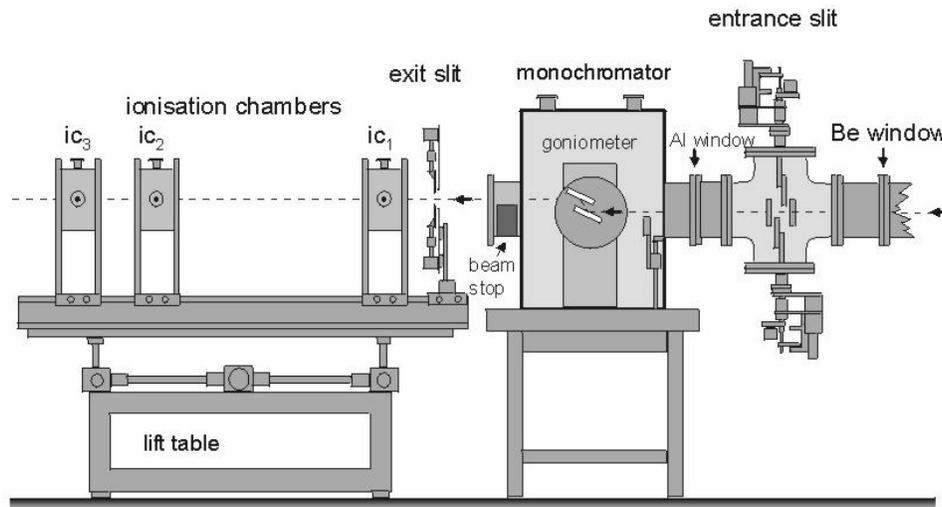
Beamlines

Componentes de una línea de luz

- Ventanas (Be)
- Rendijas (colimadoras)
- Espejos
- Monocromadores (cristales (Si, Ge, InSb, Cuarzo, etc), redes de difracción)

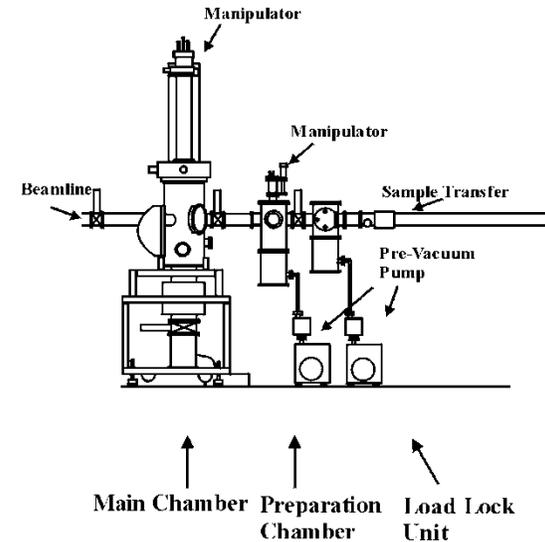


Laboratorio XAFS:



Rayos X “duros”

If $\lambda_p = 1 \text{ \AA}$
 $E_{\text{photon}} = hc/\lambda_p \implies 12,4 \text{ keV}$



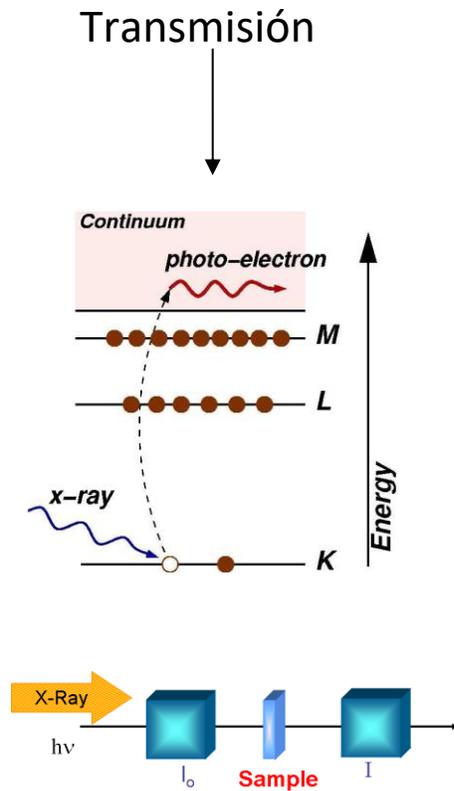
Rayos X “blandos”

If $\lambda_e = 1 \text{ \AA}$
 $E_{\text{electrom}} = h^2/2m\lambda_e^2 \implies 150 \text{ eV}$

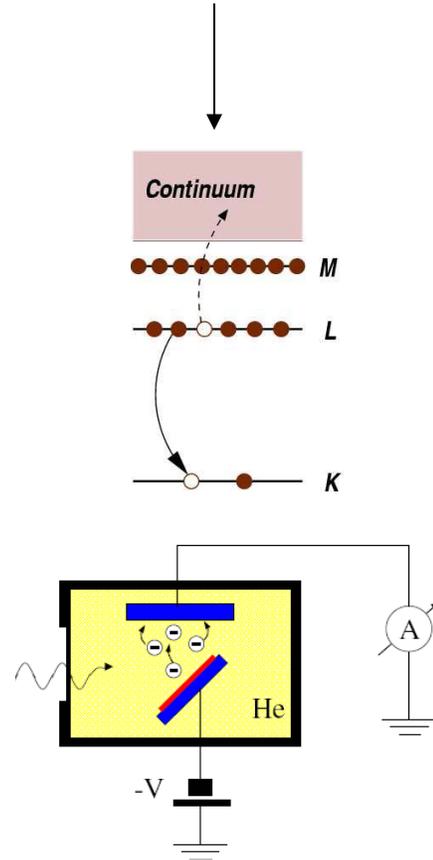
Condiciones de ultra alto vacío (UHV)

Laboratorio XAFS:

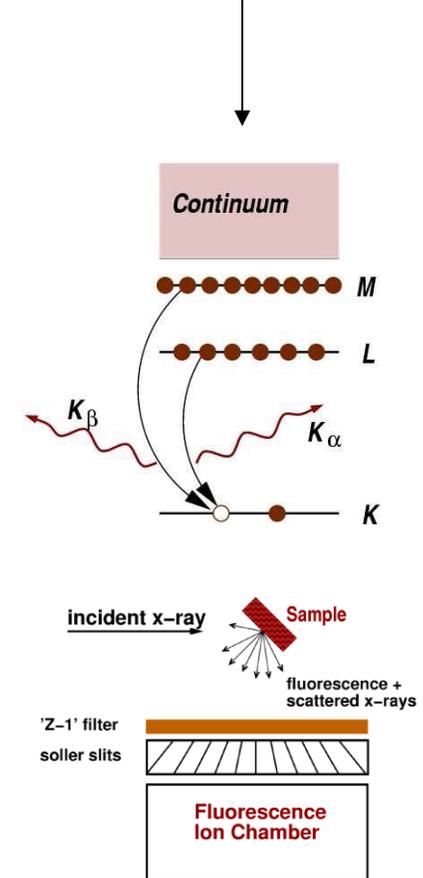
Modos de detección:



Total electron yield (TEY)



Fluorescencia



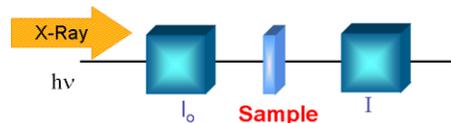
Laboratorio XAFS:

Modos de detección:

Transmisión
↓
Concentración atómica
(> 1%)

Muestras:

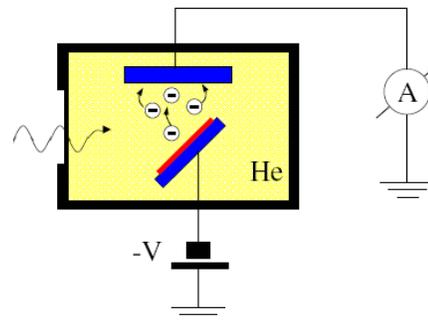
sólidos (polvo)
líquidos, gases
sustratos livianos
HOMOGENEAS



Total electron yield (TEY)
↓
Concentración atómica
(> 1%)

Muestras:

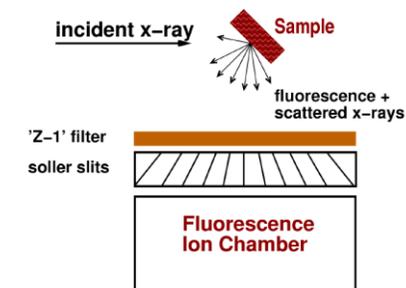
elementos livianos
películas delgadas
análisis de superficies
CONDUCTORAS



Fluorescencia
↓
Concentración atómica
(< 1%)

Muestras:

sólidos (polvo)
líquidos, gases
cualquier sustrato
elementos pesados
ESTABLES (tiempo de adq.)

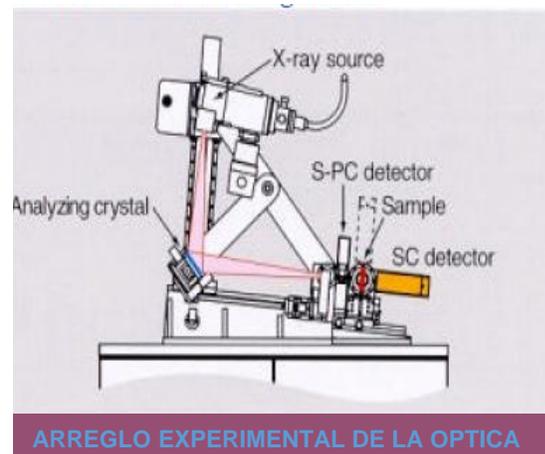


Laboratorio XAFS “in house”:

Radiación de frenado:



R-XAS spectrometer



Laboratorio “In house” de absorción de rayos X, INIFTA, La Plata. ARGENTINA

Laboratorio XAFS “in house”:

MONOCROMADORES y REGION EN ENERGÍA

Ge(220): 5.000 eV- 11.000 eV (Ti - As)

Ge(111): 5.000 eV- 7.000 eV (Ti - Mn)

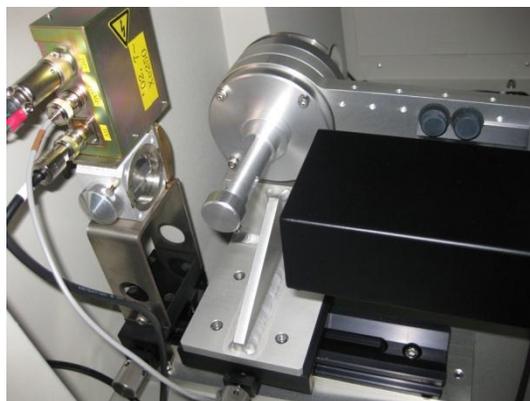
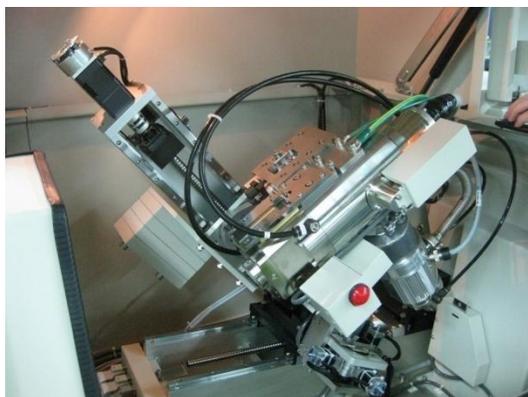
Ge(400): 6.300 eV- 16.000 eV (Mn - Rb)

Ge(311): 5.000 eV- 13.000 eV (Ti - Se)

Ge(840): 14.000 eV- 25.000 eV (Kr - Pd)

Si(400): 6.300 eV- 17.000 eV (Mn - Sr)

Si(620): 10.000 eV- 25.000 eV (Ga - Pd)



H																	He		
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											K Edges		Al	Si	P	S	Cl	Ar
												L Edges							
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Rn	Ac																	
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			



FIN DE LA CLASE