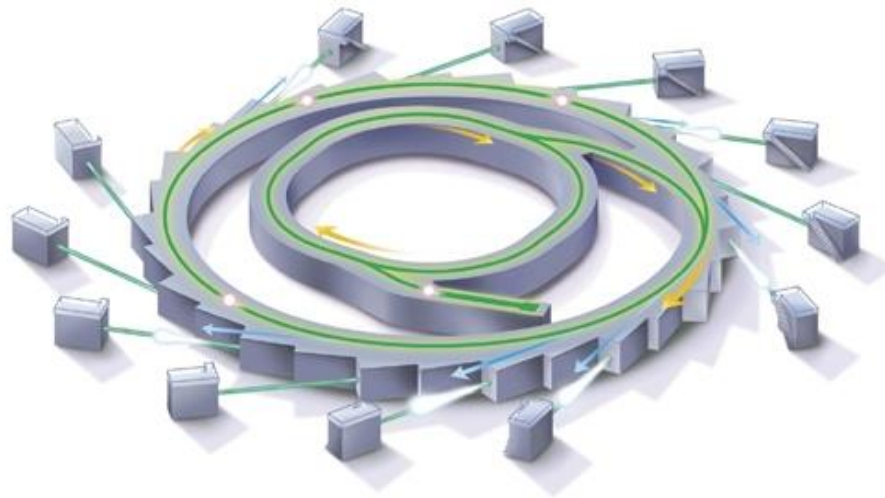


Laboratorio de luz de sincrotrón



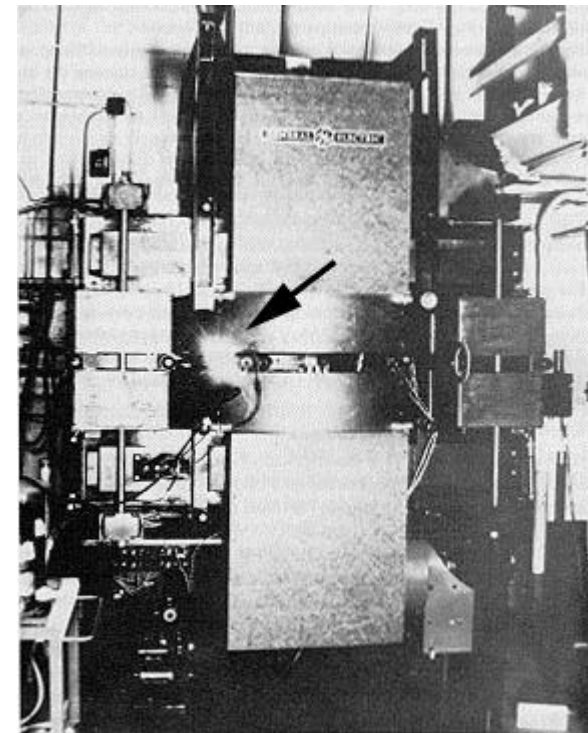
¿Qué es un sincrotrón?



- Es una máquina o “facility” en la que se produce radiación en un amplio range de energías y con un alto brillo: fuente sintonizable de radiación X
- Esta radiación es utilizada para realizar diferentes tipo de experimentos en las líneas experimentales
- Las aplicaciones pueden ir desde la física o química a la biología, o incluso para

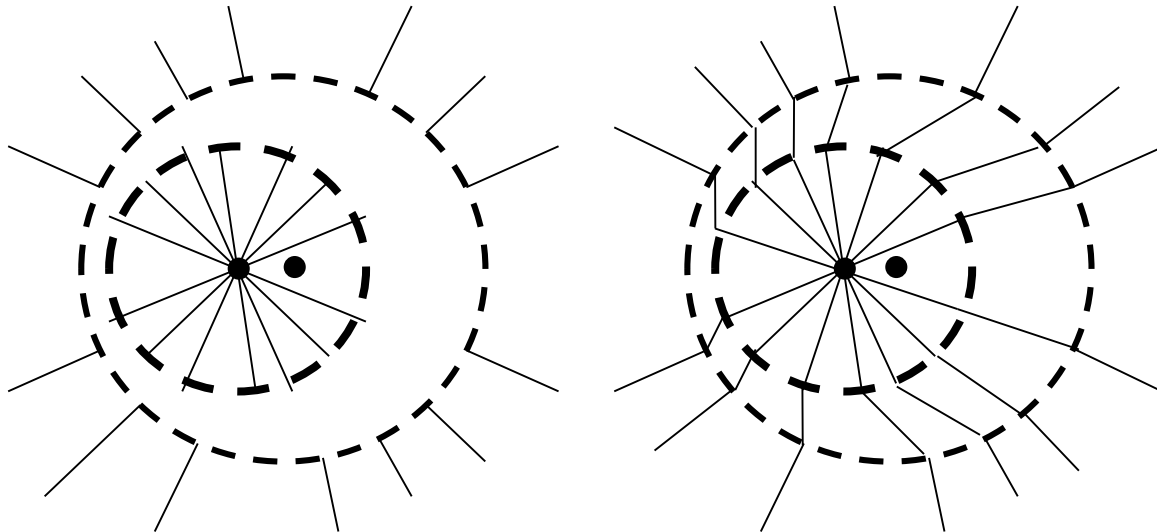
[Antecedentes]

- 1897 Larmor: expresión potencia radiada por una carga acelerada
- 1940 Primer betatron. 2.3-MeV construido por Kerst @ University of Illinois
- 1944 Ivanenko y Pomeranchuk calculan las pérdidas radiativas en un betatrón (límite de energía 0.5 GeV)
- 1947 Observación visual de la radiación de sincrotrón en un sincrotrón de 70 MeV de GE
- 1956 Tombouliau y Hartman, primer experimento con luz de sincrotrón en el sincrotrón de 320 MeV en Cornell
- 1961 National Bureau of Standards modifica su sincrotrón de 160 MeV para realizar experimentos con la radiación emitida
- 1ra generación: funcionamiento parásito en aceleradores de partículas
- 2da generación (1981): máquinas especialmente diseñadas para trabajar con radiación de sincrotrón
- 3ra generación (ESRF 1994): optimización de la radiación emitida para mayor brillo con la utilización de nuevos dispositivos para la generación de la radiación
- 4ta generación: FEL

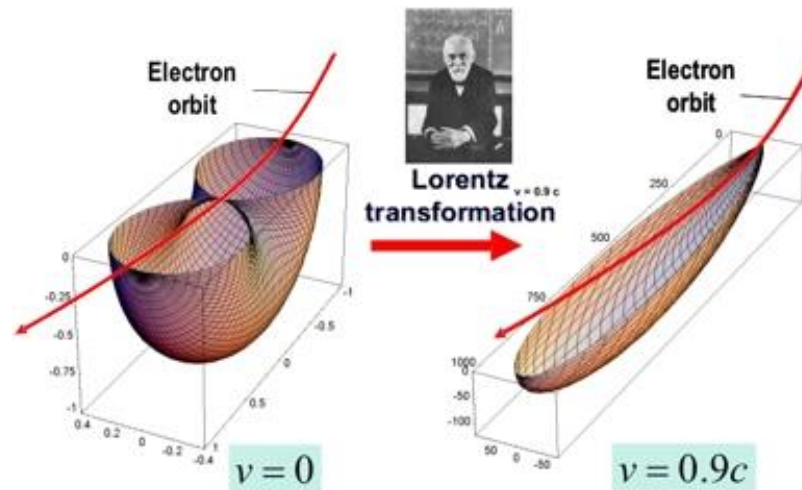


¿Por qué una partícula cargada acelerada emite radiación?

- Consecuencia directa del valor finito de la velocidad de la luz
- Una carga en movimiento uniforme emite un campo que se mueve uniformemente
- Si la carga es acelerada por un corto período de tiempo el campo también se acelerará
- Pero esa información viaja a la velocidad de la luz
- Cerca de la partícula las líneas de campo apuntarán hacia la partícula, pero lejos, apuntarán hacia donde estaría si no fue acelerada
- Esa distorsión de las líneas de campo viaja alejándose de la partícula a la velocidad de la luz



Radiación de sincrotrón



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

Radiación de sincrotrón

Potencia total radiada clásica:

$$P = \frac{2Ke^2}{3c^3} a^2$$

Para un electrón relativista:

$$a = \frac{1}{m} \frac{dp}{d\tau} = \frac{1}{m} \gamma \frac{d(\gamma mv)}{dt} = \gamma^2 \frac{dv}{dt} = \gamma^2 \frac{v^2}{r}$$

$$\tau = \frac{t}{\gamma} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$P = \frac{2Ke^2 \gamma^4 v^4}{3c^3 r^2}$$

Para velocidades
altamente relativistas

$$P \propto E^4$$

Radiación de sincrotrón

Para el LEP, E=50 GeV y r=4.3 km

$$P = \frac{2Ke^2\gamma^4 c}{3r^2} = \frac{2(8.987 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2 (97833)^4 (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3(4300 \text{ m})^2}$$

$$P = 2.28 \times 10^{-7} \text{ watts / electrón}$$

Para el LNLS, E=1.37 GeV y r=15 m

$$P = \frac{2Ke^2\gamma^4 c}{3r^2} = \frac{2(8.987 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2 (2680)^4 (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3(15 \text{ m})^2}$$

$$P = 1.05 \times 10^{-8} \text{ watts / electrón}$$

La pérdida de energía por vuelta será:

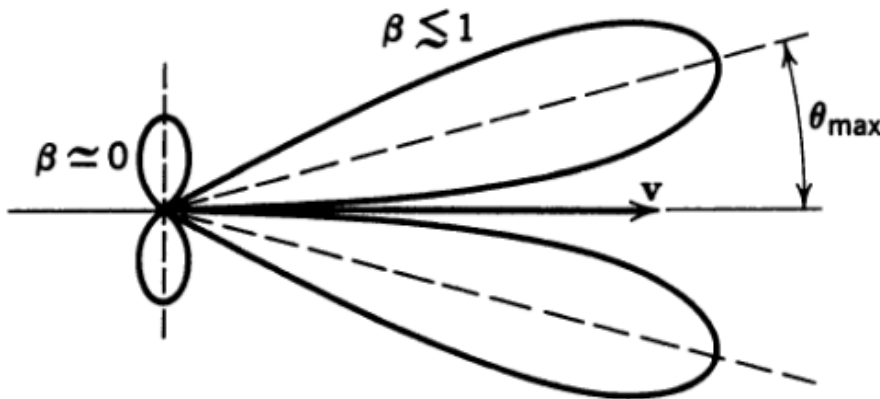
$$\Delta E = P \left(\frac{2\pi r}{v} \right) = \frac{4\pi Ke^2 \gamma^4 \beta^3}{3r}$$

Radiación de sincrotrón

Distribución Angular

$$\frac{dP(t)}{d\Omega} = \frac{e^2 \beta^2}{4\pi c^3} \frac{\sin^2 \theta}{(1 - \beta \cos^2 \theta)}$$

Donde θ es el ángulo de observación medido en la dirección de β . Cuando $\beta \rightarrow 1$, La distribución angular está cada vez más dirigida hacia adelante



$$\theta_{\max} = \cos^{-1} \left[\frac{1}{3\beta} \left(\sqrt{1 + 15\beta^2} - 1 \right) \right] \rightarrow \frac{1}{2\gamma}$$

$$\langle \theta^2 \rangle^{1/2} = \frac{1}{\gamma} = \frac{mc^2}{E}$$

Con E del orden de los GeV, el ángulo de emisión medio es del orden de 0.1 mrad

¿Cómo se produce la radiación?

Necesidad de acelerar los electrones

Solución eficiente: acelerarlos tangencialmente

Diferentes dispositivos:

- Bending magnets
- Super bends
- Undulators
- Wigglers

bending magnet



superbend



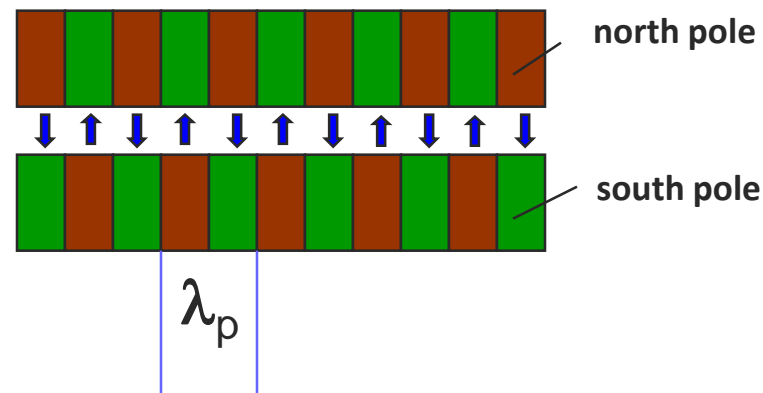
¿Cómo se produce la radiación?

Necesidad de acelerar los electrones

Solución eficiente: acelerarlos tangencialmente

Diferentes dispositivos:

- Bending magnets
- Super bends
- Undulators
- Wigglers

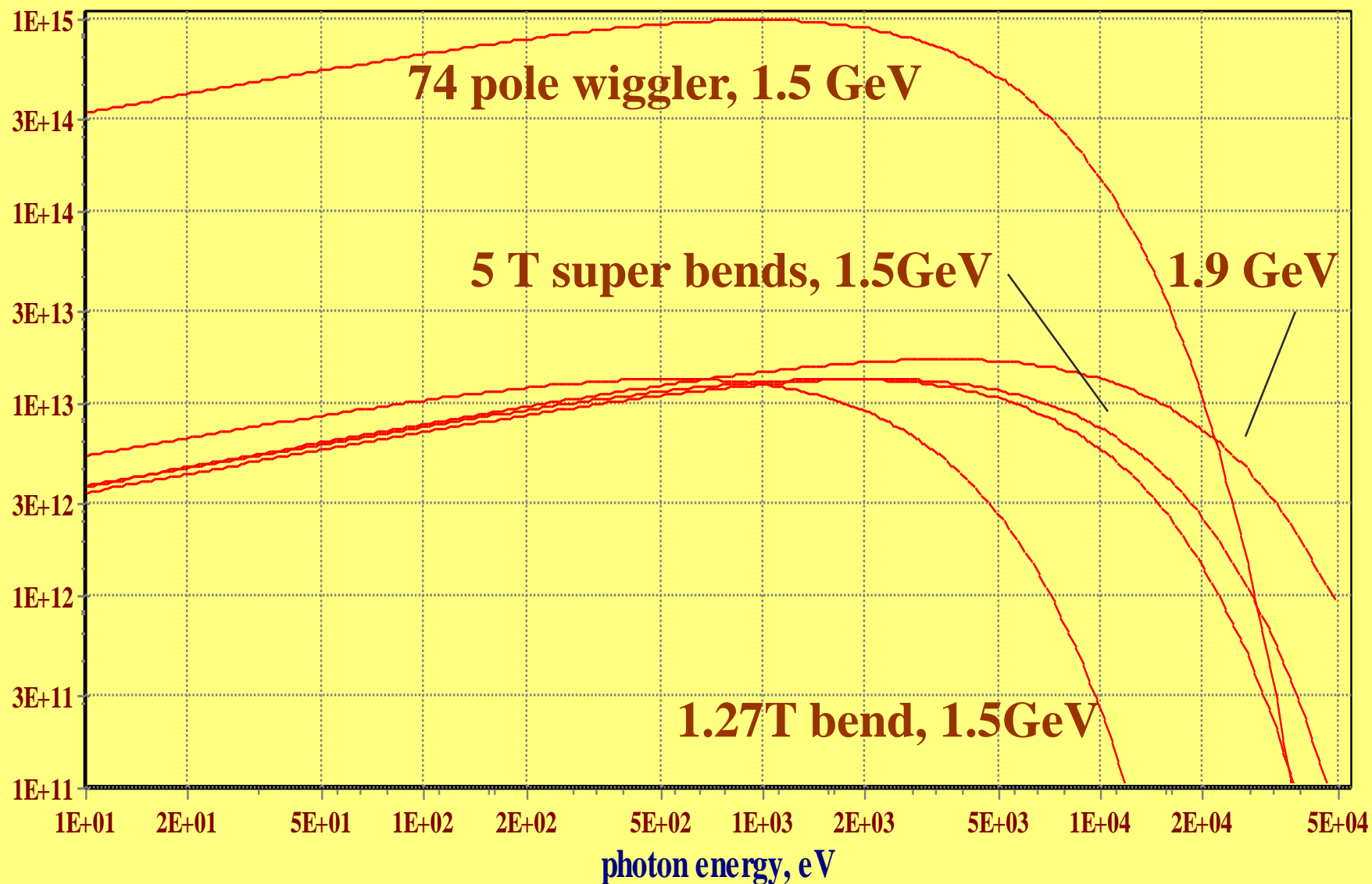


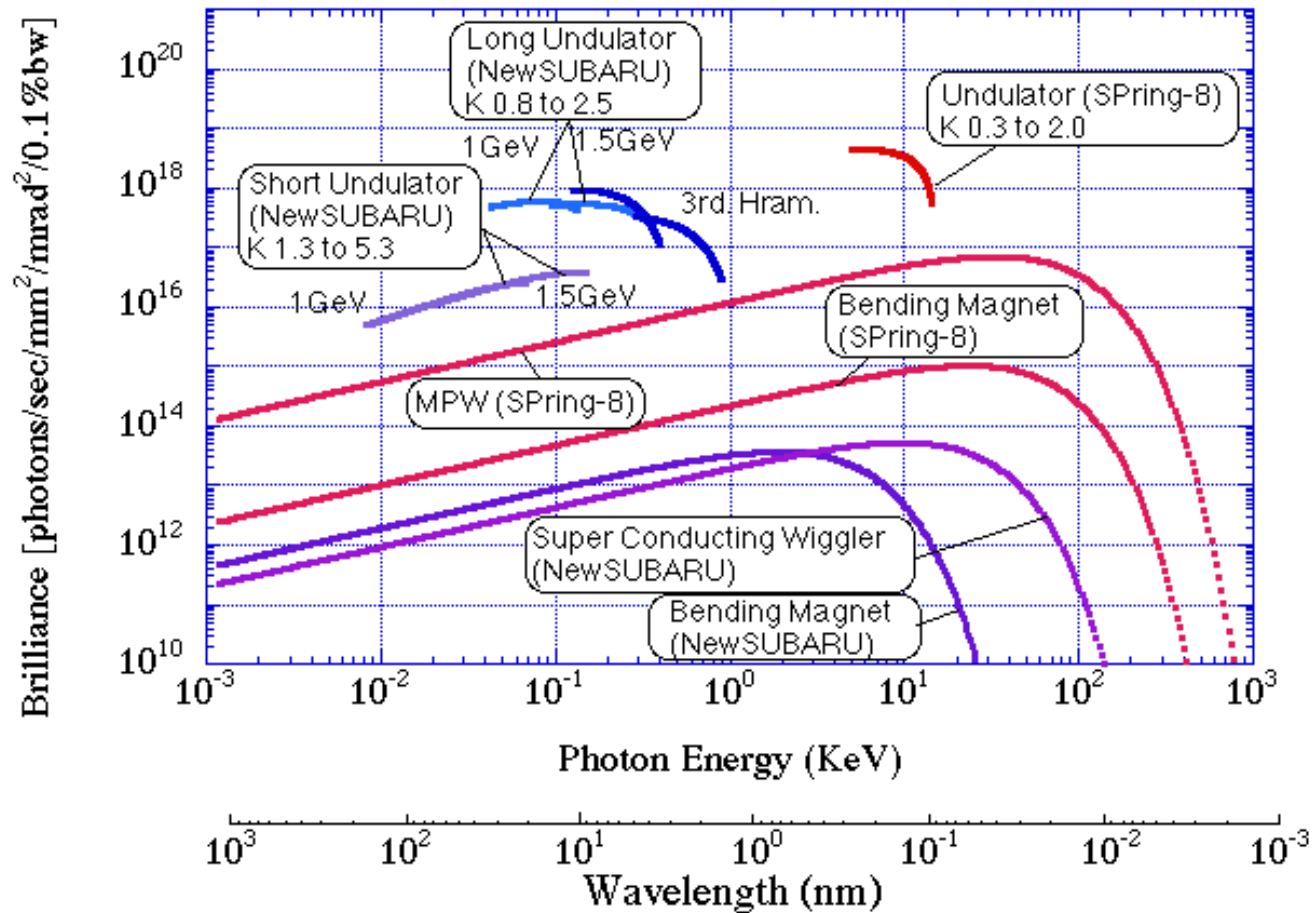
Wiggler magnets, campo intenso

Undulators, campo débil

Wiggler produce radiación intensa y en un ancho espectral mayor; la intensidad crece con el número de polos

Photon fluxes (ph/s/mr) for ALS (400 mA)





Descripción técnica

¿COMO SE PRODUCE “LUZ”
EN UN SINCROTRON?

- ✓ Características generales
- ✓ Partes de un sincrotrón

¿COMO INTERACTUA LA
“LUZ” CON LA MATERIA?

- ✓ Modos de detección
- ✓ Algunas técnicas experimentales

Características generales

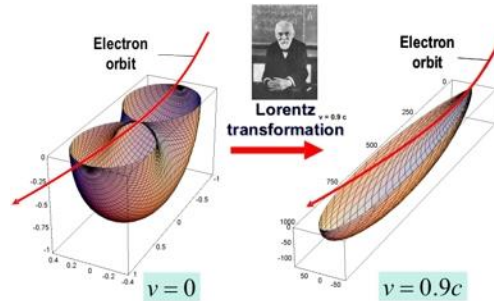
Ventajas:

- 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

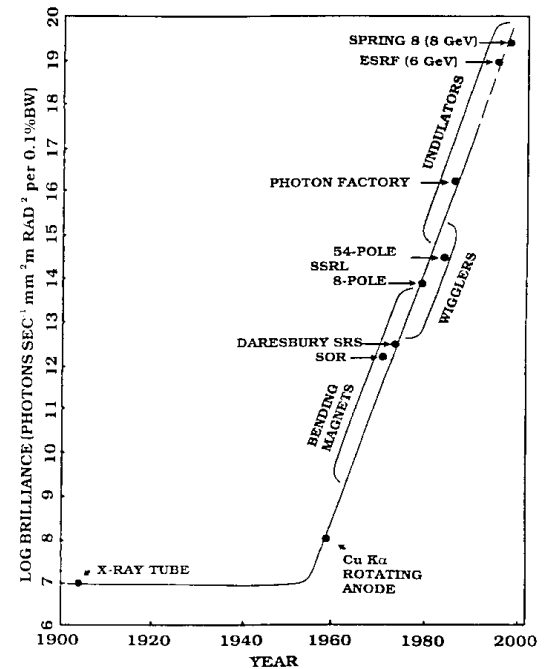
Primeros experimentos: 1940

Primer dedicado como fuente de luz: 1970

Sincrotrones en el mundo: más de 50



Emisión

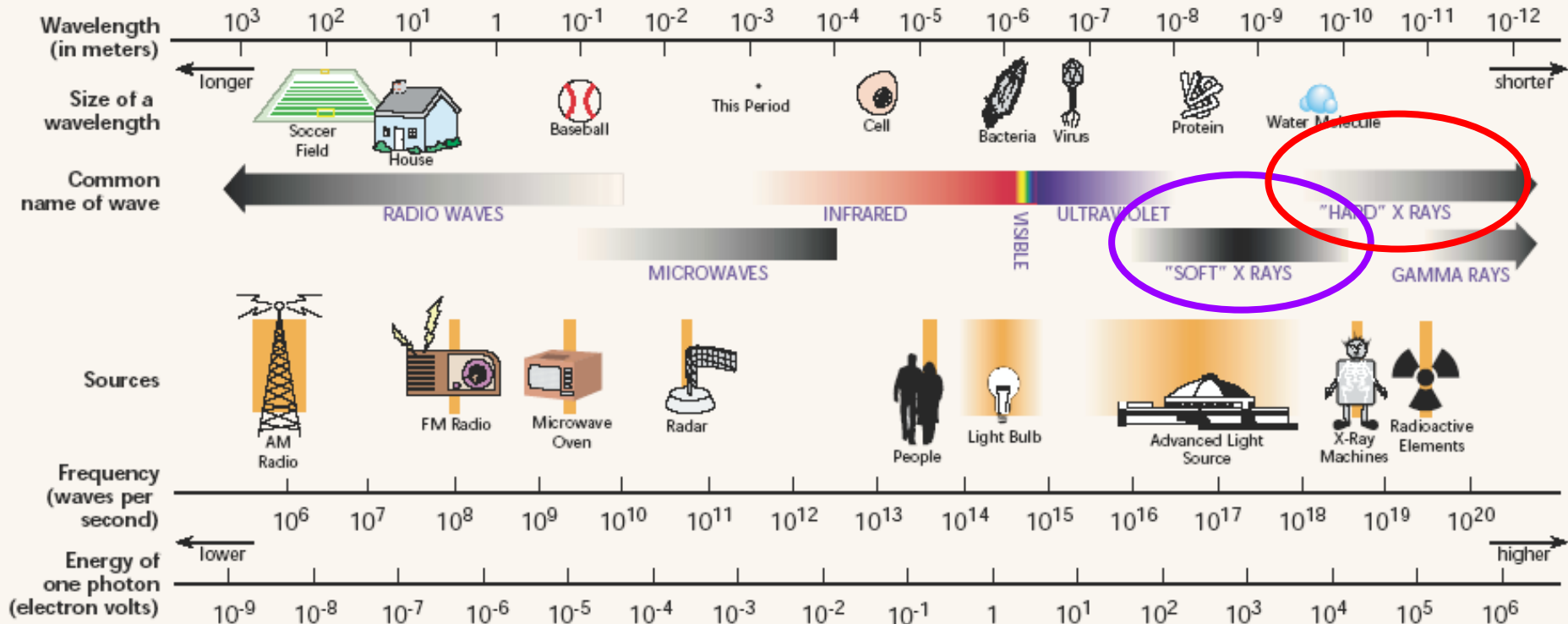


The historical development of available X-ray flux

Flujo

Regiones de energía:

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



COMIENZA AQUI

LINAC

Cañón de electrones

Anillo del Booster

Cámara
aceleradora

Injector

Anillo de almacenamiento

Imán curvo

Partes de un sincrotrón

Undulator

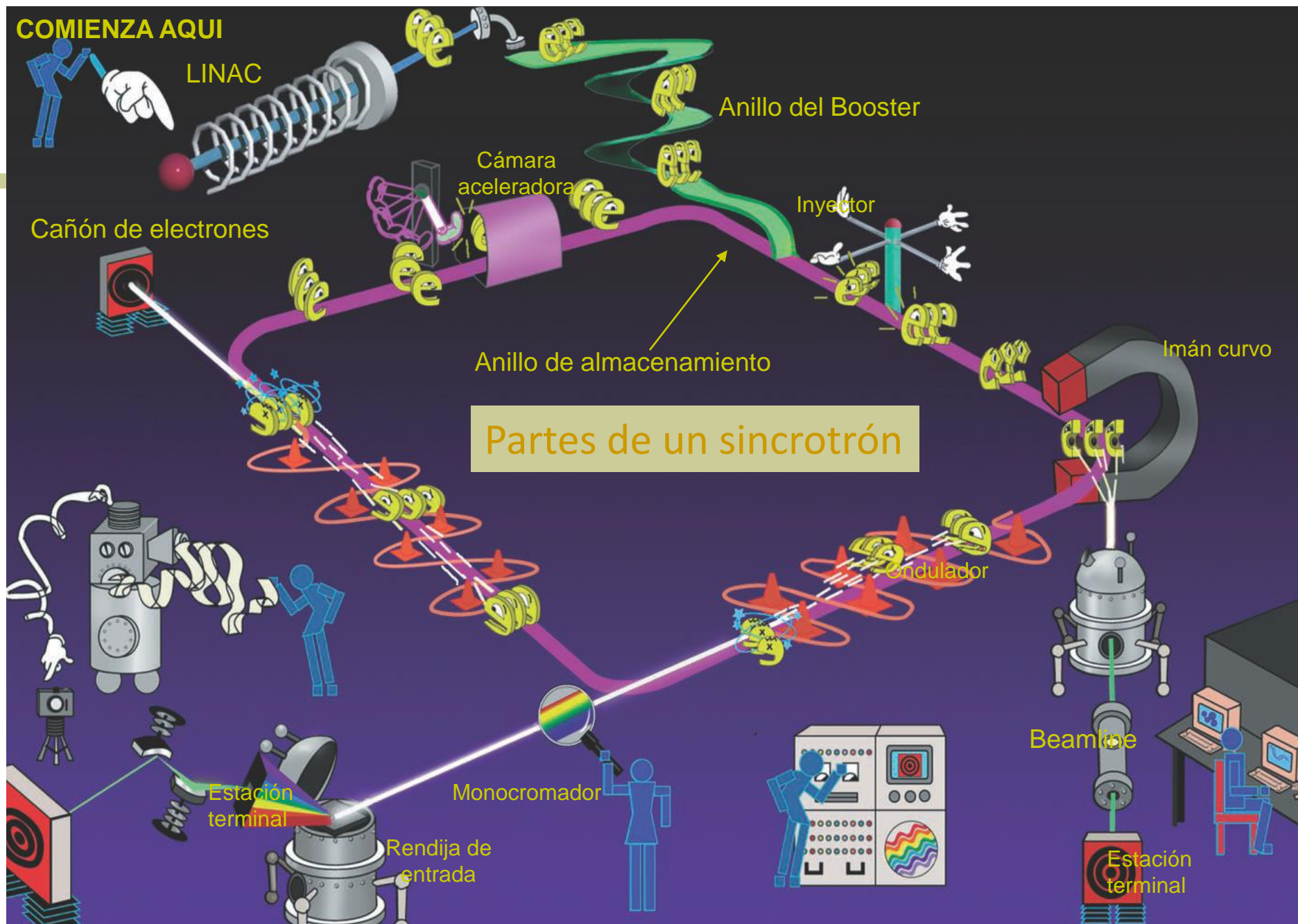
Estación
terminal

Monocromador

Rendija de
entrada

Beamline

Estación
terminal

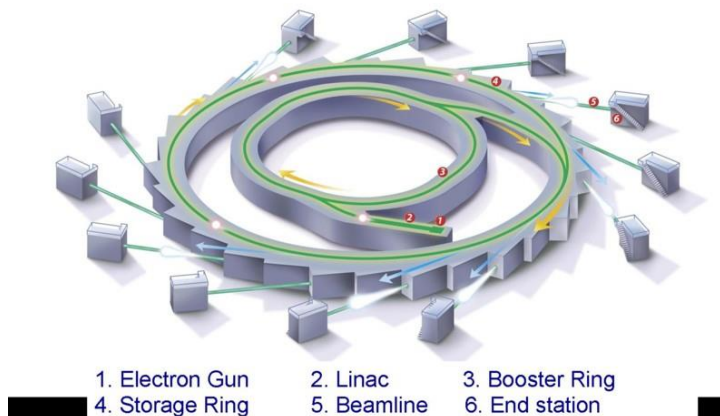


Partes de un sincrotrón

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



Cañón de electrones: cátodo de aluminato de bario

LINAC: $E(\text{final})$: 50 MeV

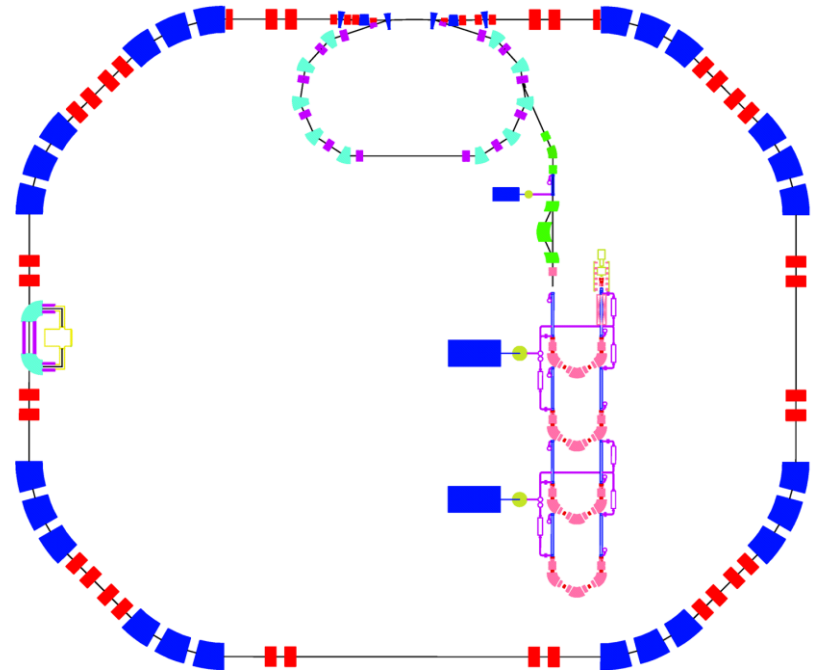
[Booster]



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

Anillo de almacenamiento

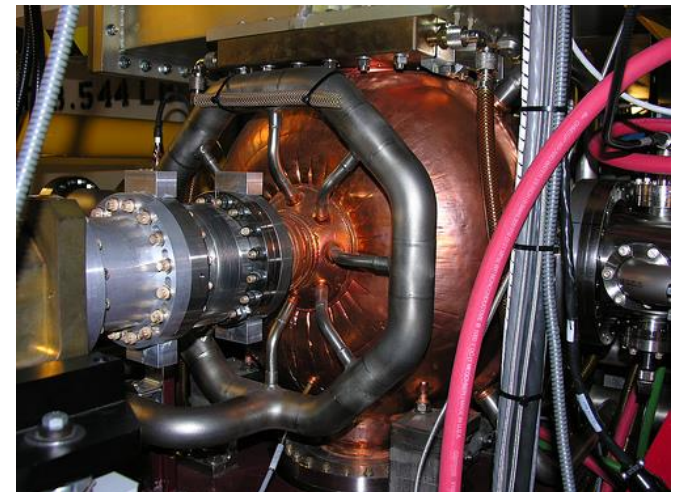
- Compuesto por sectores rectos y curvos alternados
- Los curvos son utilizados para desviar el haz y obtener la radiación
- En los rectos se colocan diferentes dispositivos para devolver la energía a los electrones o en los sincrotrones de 3ra generación para obtener radiación con características especiales
- 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]

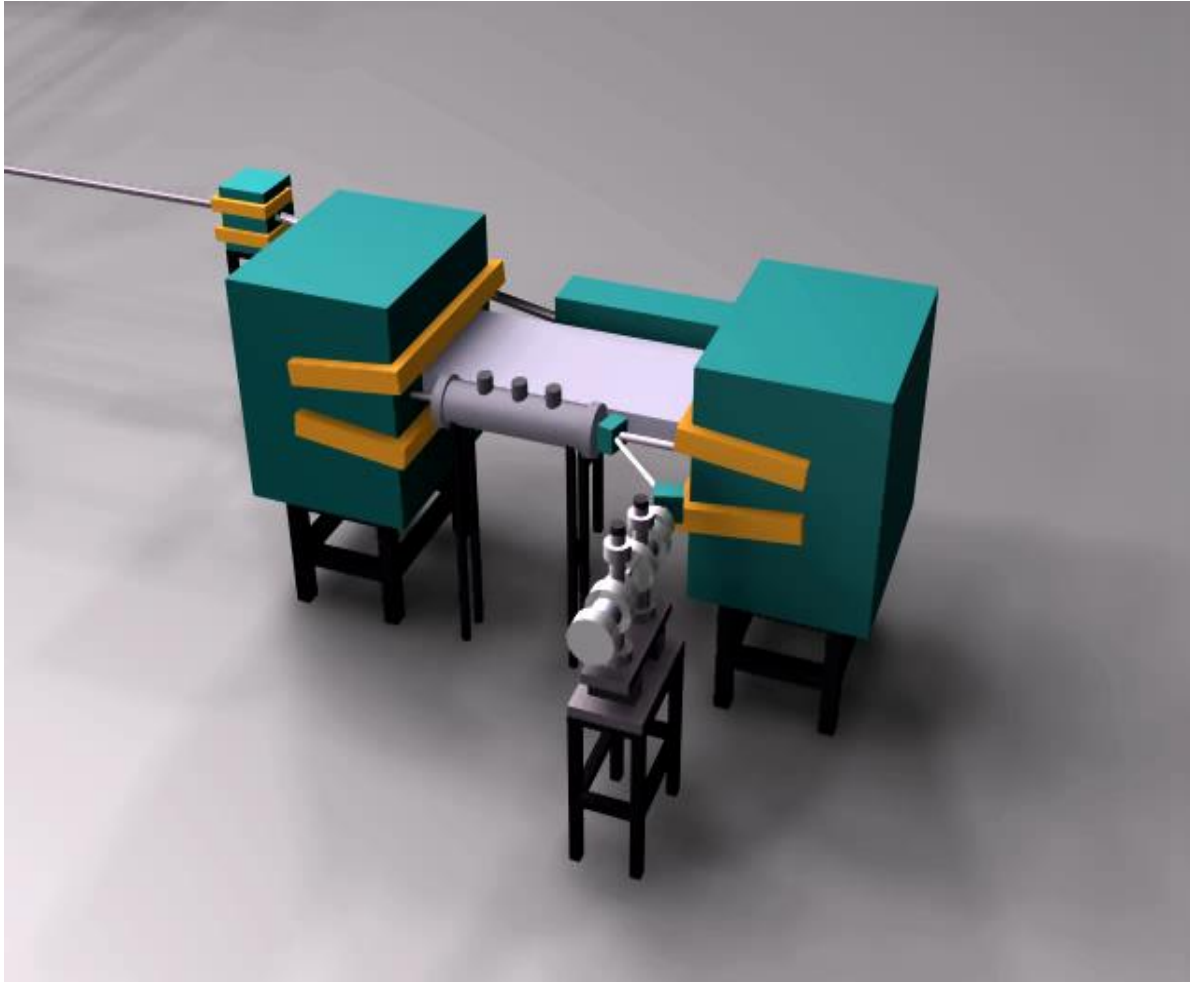


Wiggler



Undulator

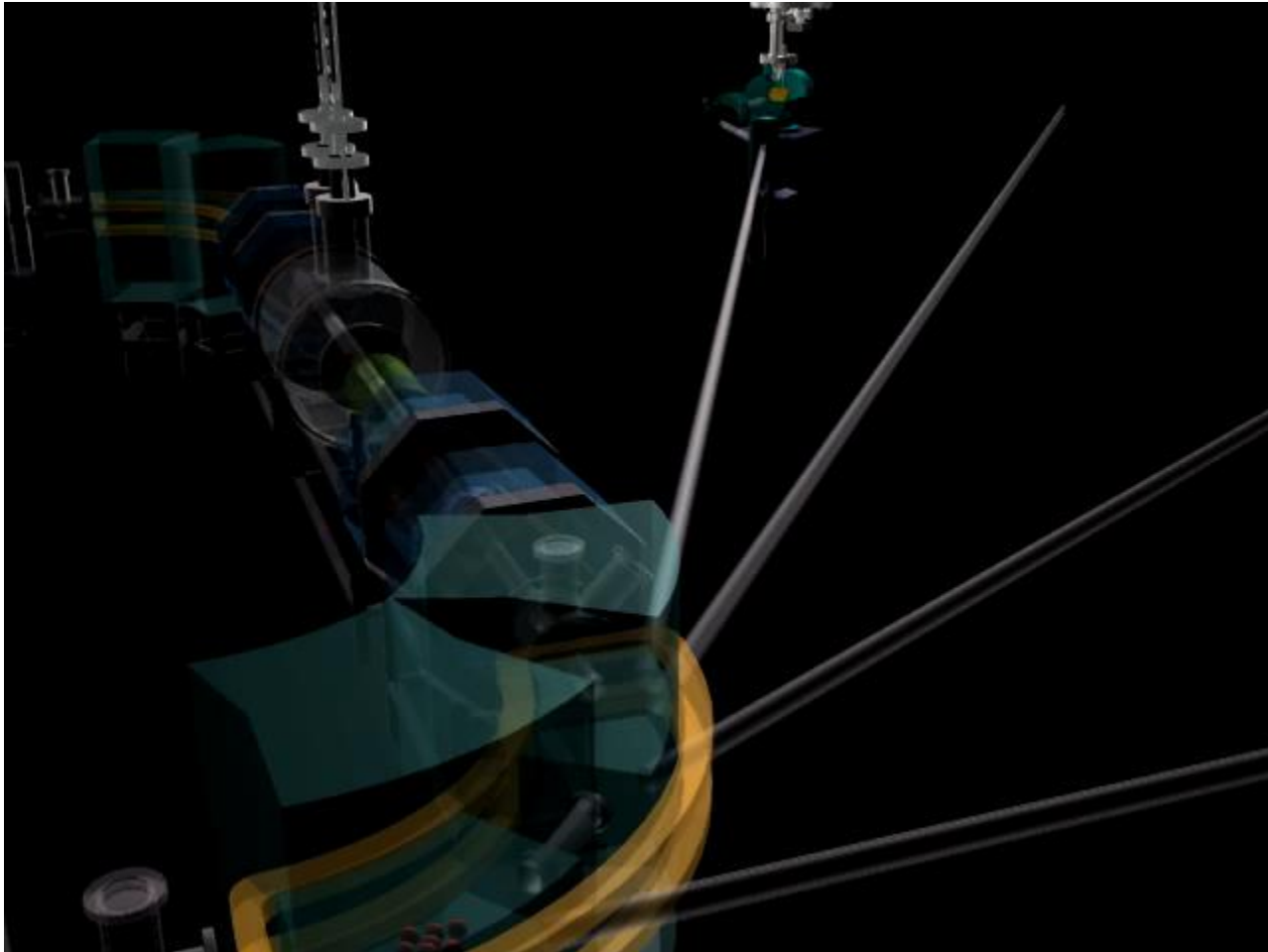
Inyectando electrones en el anillo



Produciendo radiación X



Utilizando la radiación X en un beamline



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

Orsay

DCI (LURE)

SuperACO (LURE)

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.)

Sincrotrones en el mundo



ALS, USA



ERSF, FR

ALS, Berkeley, CA, USA:

Total Staff: 175 **Visiting Researchers/Users:** 1900+ 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

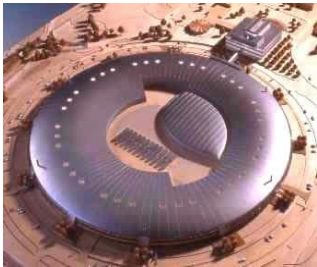
Nature of Particles in the Storage Ring: Electrons with a nominal energy of 1.9 GeV

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

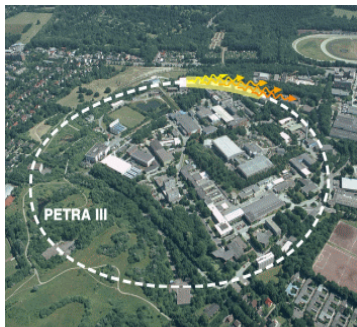
Size: ~50 m diameter



Diamond, UK .



CLF, CA



Petra III, GE
(en construcción).



SPRING8, JA



LNLS, BR



NSLS, USA



APS, USA

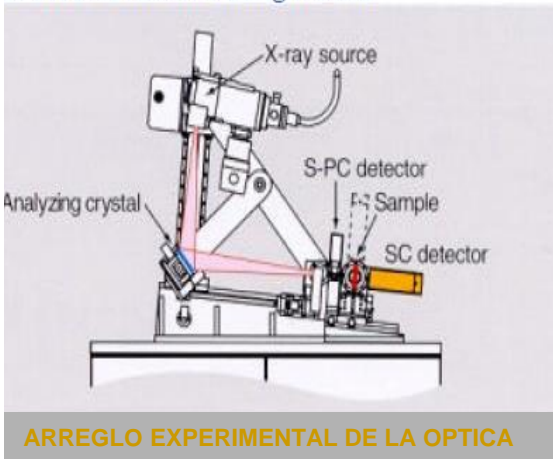


Fuentes de rayos X: laboratorios “in house”

Radiación de frenado:



R-XAS spectrometer



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

Fuentes de rayos X: laboratorios “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)

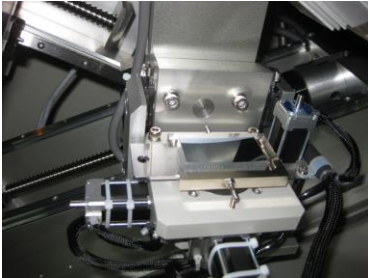
Ge(400): 6.300 eV- 16.000 eV (Mn - Rb)

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

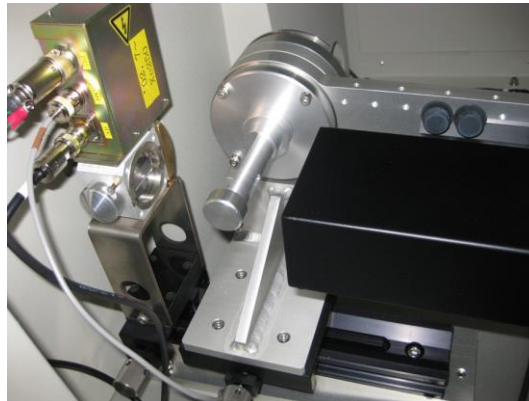
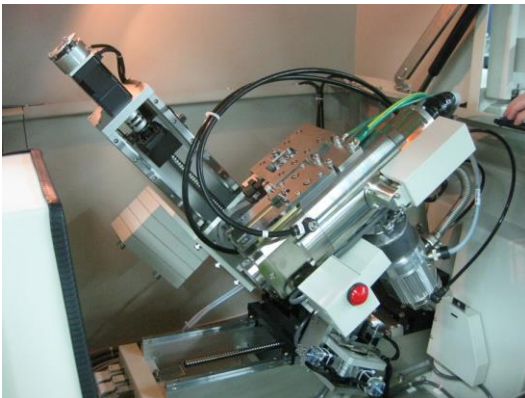
Ge(840): 14.000 eV- 25.000 eV (Kr - Pd)

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

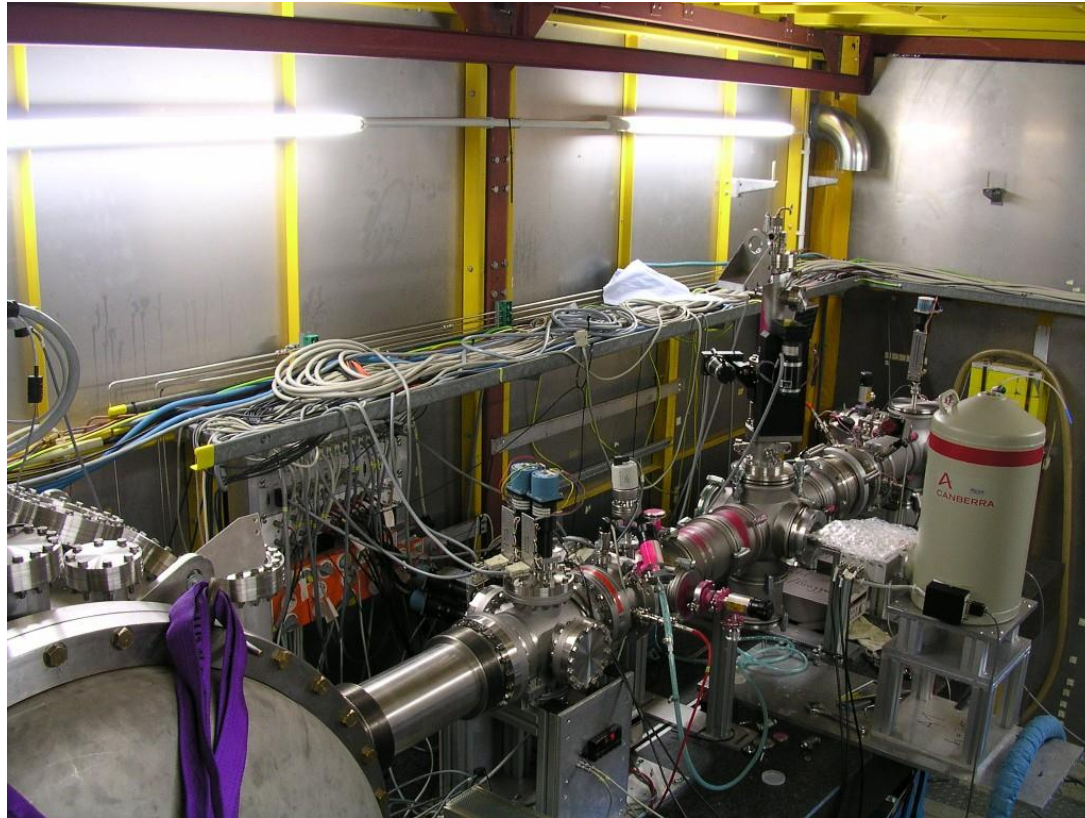
Si(620): 10.000 eV- 25.000 eV (Ga - Pd)



H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
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	



Beamlines



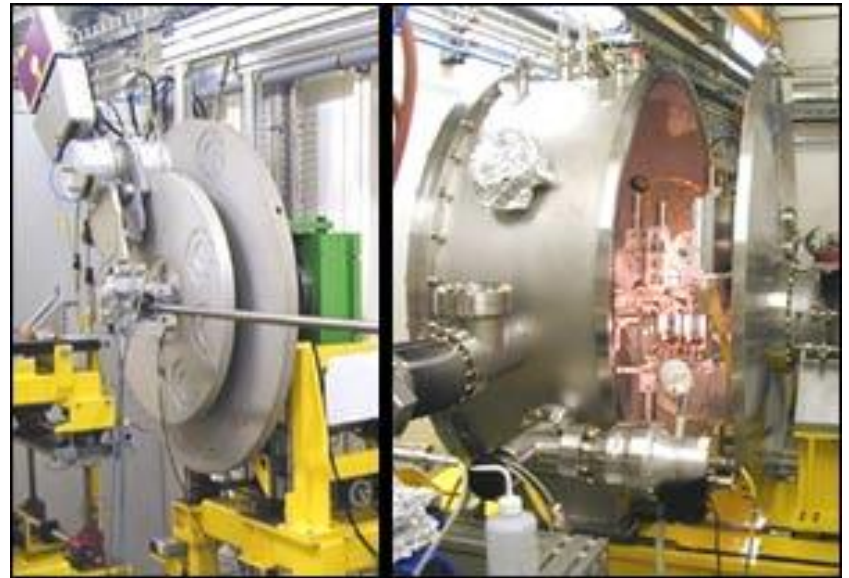
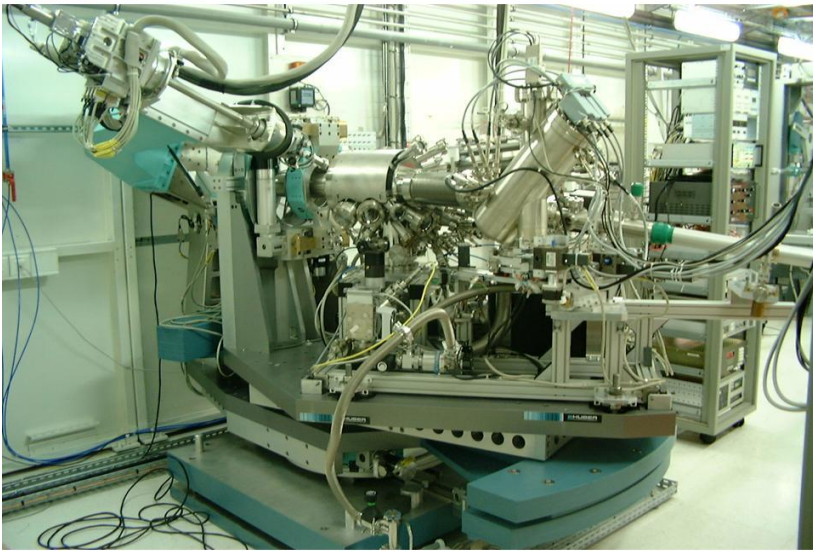
XAFS Beamline @ DESY

Beamlines



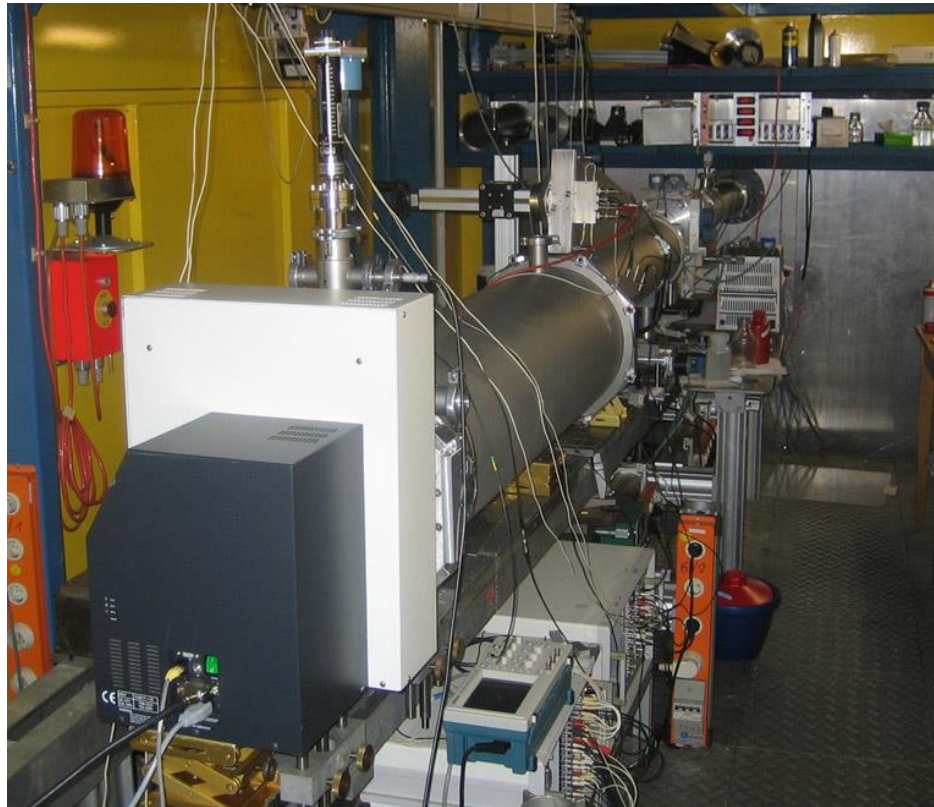
XAFS Beamline @ , SLC, Japan

[Beamlines]



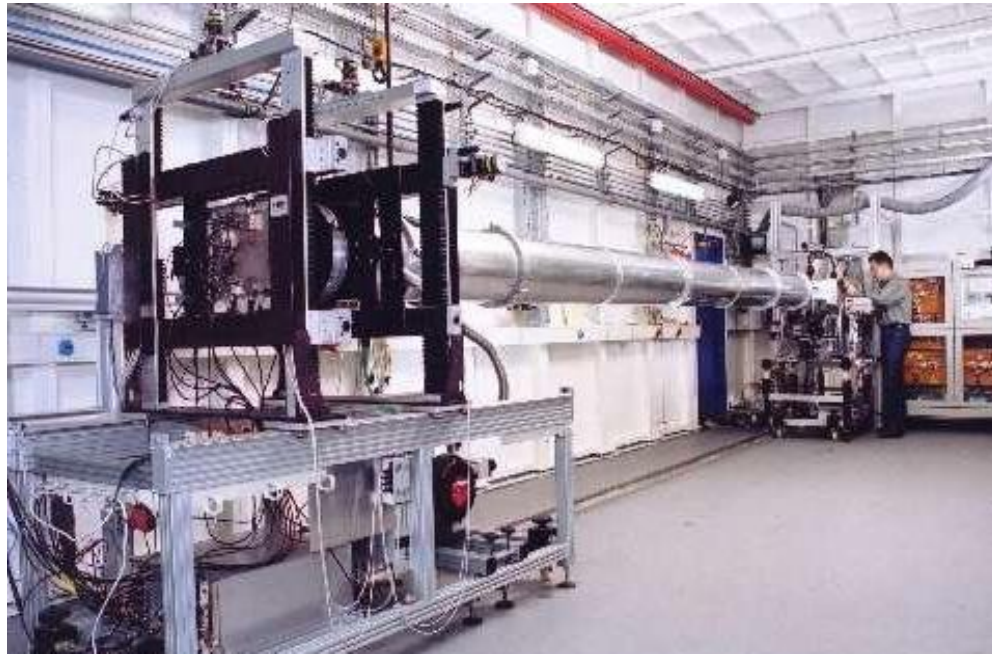
X-ray Diffraction Beamlines @ , ESRF, Grenoble

[Beamlines]



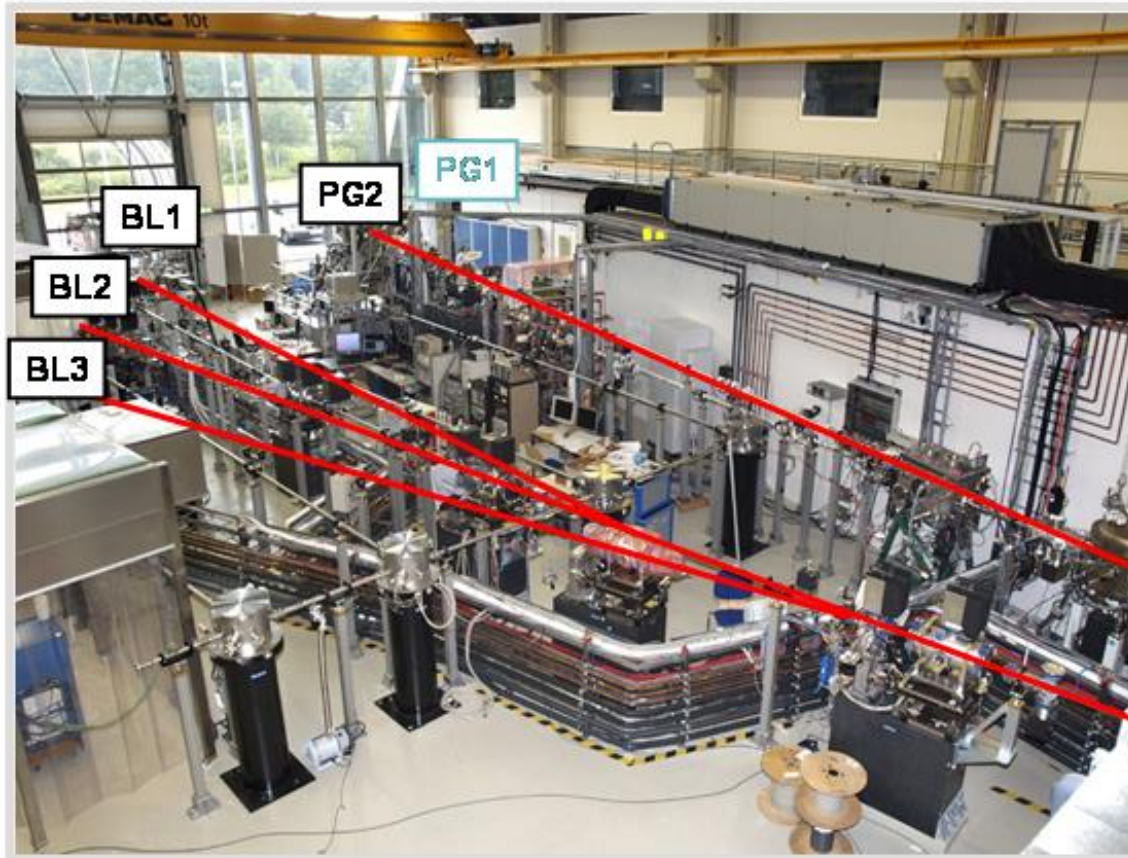
SAXS Beamline @ , DESY, Hamburg

[Beamlines]



SAXS/WAXS Beamline @ , ESRF, Grenoble

Beamlines



5 Beamlines @ DESY, Hamburg