

Física de altas energías: Futuro y expectativas

Prof. Gabriela Navarro
Universidad Antonio Nariño

Network School 2022
Santa Marta, 5 de diciembre de 2022



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



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea





- Física de partículas:
 - Modelo Estándar (ME)
 - Ruptura Espontánea de la Simetría
 - Mecanismo de Higgs
 - Física más allá del ME
- Cómo observamos en física de partículas?
 - Aceleradores de partículas
 - Experimentos de neutrinos
 - Experimentos de Materia oscura
- Futuros experimentos



Qué es la Física de partículas?

Responder preguntas fundamentales del universo:

- ▶ Descubrir sus componentes más fundamentales
- ▶ Describir las interacciones entre dichos componentes



Credits: NASA, ESA, CSA, and STScI



Física de partículas : Modelo Estándar

Modelo Estándar:

Teoría Cuántica de campos descrita por:

- ▶ $SU(3)_{\text{color}} \times SU(2)_L \times U(1)_Y$
- ▶ Fermiones: quarks y leptones
- ▶ Bosones mediadores:
 - Gluon: interacción fuerte
 - W^\pm , Z: interacción débil
 - Fotones: interacción electromagnética

Spin 1/2

mass	$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

QUARKS

LEPTONS

SCALAR BOSONS

GAUGE BOSONS

Spin 1



Masas de los Bosones de gauge prohibidos por el principio de gauge: ~~$m^2 A_\mu A^\mu$~~

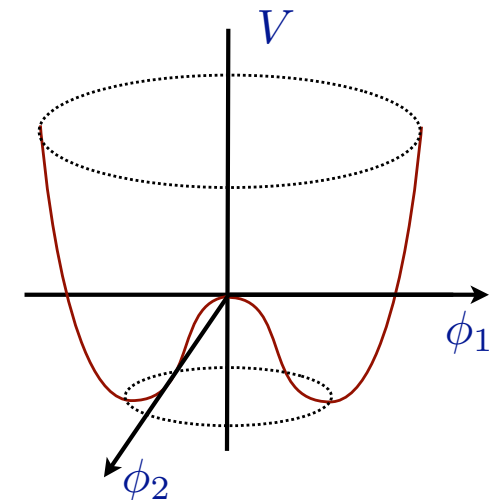
Masas de los leptones prohibidas: las componentes derechas e izquierdas transforman bajo SU(2) ~~$-m_j \bar{\psi}_L \psi_R = -m_j (\bar{\psi}_L \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_L)$~~

Solución: **ruptura espontánea de la simetría**

Introducimos un campo escalar complejo: $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1 + i\phi_2)$

$$\mathcal{L}_\phi = |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

$$V(\phi) = \mu^2 |\phi|^2 + \lambda |\phi|^4$$





Solución: **ruptura espontánea de la simetría**

Mínimo del potencial:

$$|\langle \phi \rangle|^2 = \frac{-\mu^2}{2\lambda} \equiv v^2$$

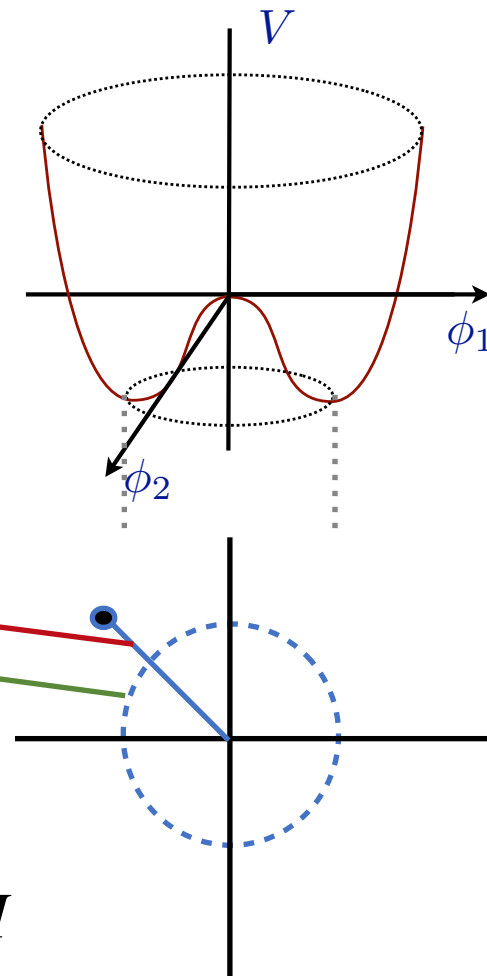
$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\chi(x)/v} (v + H(x))$$

Masa del campo H

Masa de los bosones

Interacciones

$$|D_\mu|^2 = \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial^\mu H - \frac{1}{2} (-2\mu^2 H^2) + \frac{q^2 v^2}{2} A_\mu A^\mu + \frac{q^2}{2} A_\mu A^\mu H^2 + v q^2 A_\mu A^\mu H$$





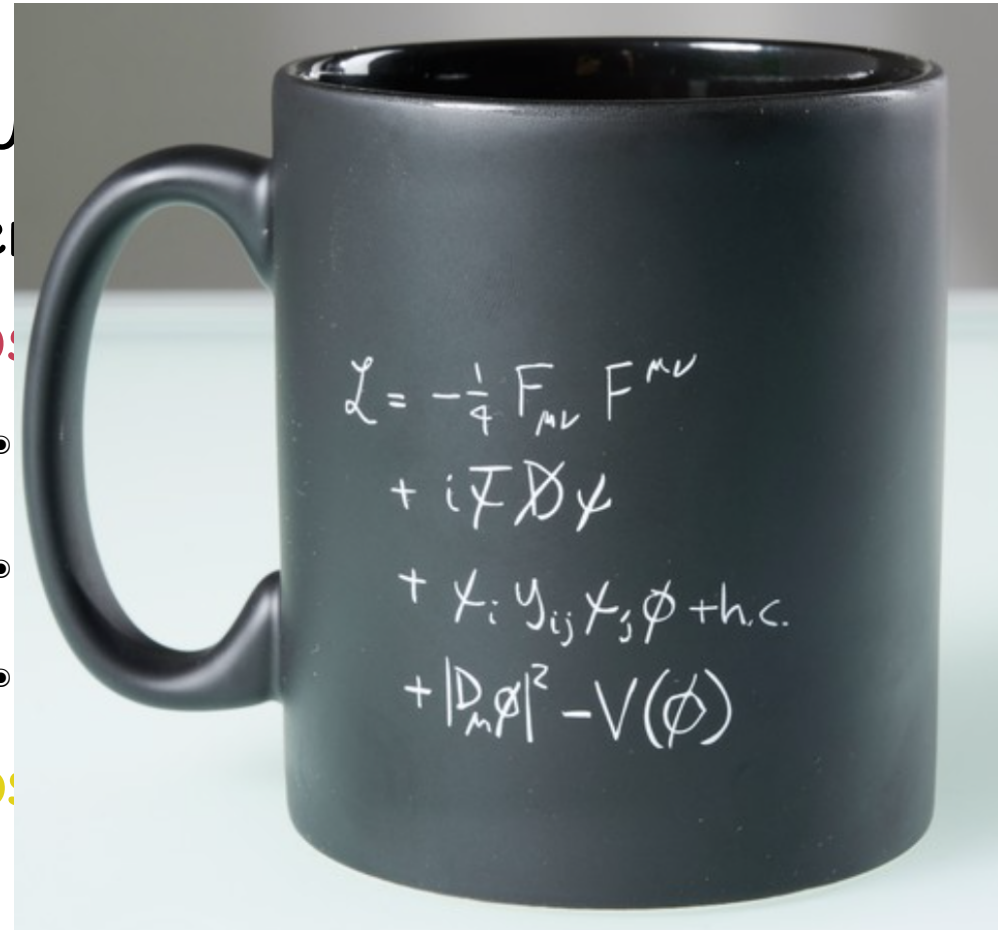
Física de partículas : Modelo Estándar completo

mass	$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
charge	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs
QUARKS					
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
					SCALAR BOSONS
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
					GAUGE BOSONS
LEPTONS					
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

Modelo Estándar:

Teoría Cuántica de campos descrita por:

- ▶ SU
- ▶ Fe
- ▶ Bos
-
-
-
- ▶ Bos



nética

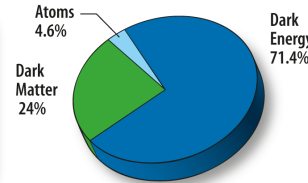


Más allá del Modelo Estándar

Existen preguntas que el modelo Estándar no puede responder:

Solución al problema de la jerarquía

Origen de la Materia Oscura

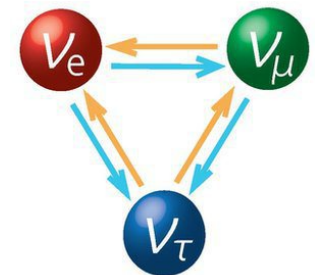


Oscilación de neutrinos y Masas de los neutrinos

Category	Particle	Mass (MeV/c^2)	Charge	Spin
QUARKS	u (up)	≈ 2.4	$2/3$	$1/2$
	c (charm)	≈ 1.275	$2/3$	$1/2$
	t (top)	≈ 172.44	$2/3$	$1/2$
	d (down)	≈ 4.8	$-1/3$	$1/2$
	s (strange)	≈ 95	$-1/3$	$1/2$
	b (bottom)	≈ 4.18	$-1/3$	$1/2$
SCALAR BOSONS	H (Higgs)	≈ 125.09	0	0
	Z boson	≈ 91.19	0	1
	W boson	≈ 80.39	± 1	1
	photon (γ)	0	0	1
LEPTONS	ν_e (electron neutrino)	< 2.2	0	$1/2$
	ν_μ (muon neutrino)	< 1.7	0	$1/2$
	ν_τ (tau neutrino)	< 15.5	0	$1/2$
	e (electron)	≈ 0.511	-1	$1/2$
	μ (muon)	≈ 105.67	-1	$1/2$
	τ (tau)	≈ 1.7768	-1	$1/2$
GAUGE BOSONS	gluon (g)	0	0	1
	photon (γ)	0	0	1



Sector de Higgs no minimal
 Decaimientos invisibles
 Higgs como portal a DM
 Modelos extendidos: 2HDM, MSSM ...
 Charged scalars ...



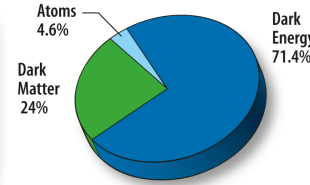


Más allá del Modelo Estándar

Existen preguntas que el modelo Estándar no puede responder:

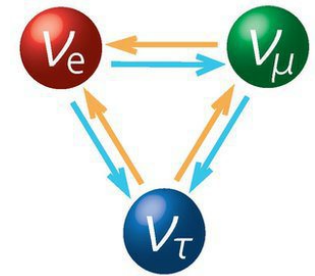
Solución al problema de la jerarquía

Origen de la Materia Oscura



Oscilación de neutrinos y Masas de los neutrinos

	mass	charge	spin	Symbol	Name
QUARKS	$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	u	up
	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	c	charm
	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	t	top
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	d	down
	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	s	strange
	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	b	bottom
LEPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$	e	electron
	$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$	μ	muon
	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	-1	$1/2$	τ	tau
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	0	$1/2$	ν_e	electron neutrino
	$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$	ν_μ	muon neutrino
	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$	ν_τ	tau neutrino
SCALAR BOSONS	0	0	1	g	gluon
	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$	0	0	H	Higgs
	0	0	1	γ	photon
	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	0	1	Z	Z boson
	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	± 1	1	W	W boson
GAUGE BOSONS					



Señales "Exóticas": larga variedad de modelos y teorías.

- Bosones vectoriales pesados (Z' , W')
- Vector-like quarks, quarks excitados
- Modelos de DM no supersimétricos
- Lepto-quarks
- ...

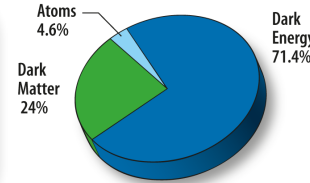


Más allá del Modelo Estándar

Existen preguntas que el modelo Estándar no puede responder:

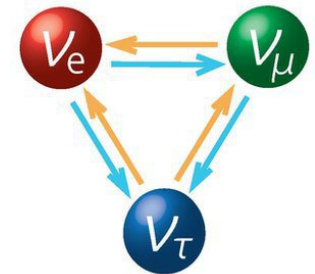
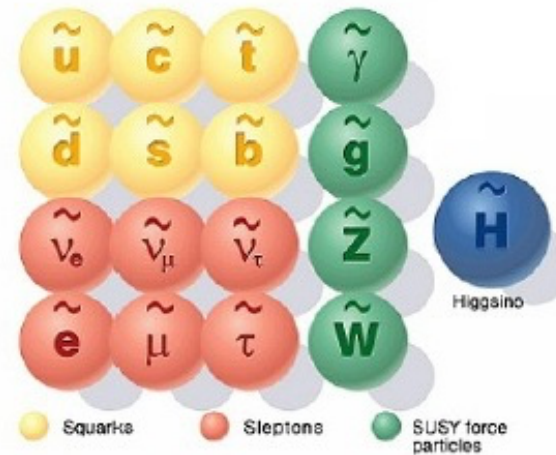
Solución al problema de la jerarquía

Origen de la Materia Oscura



Oscilación de neutrinos y Masas de los neutrinos

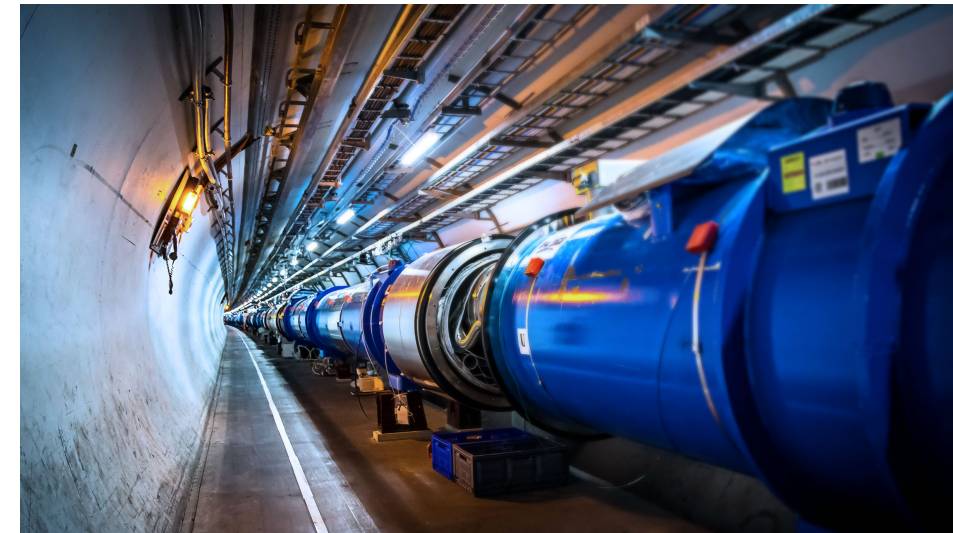
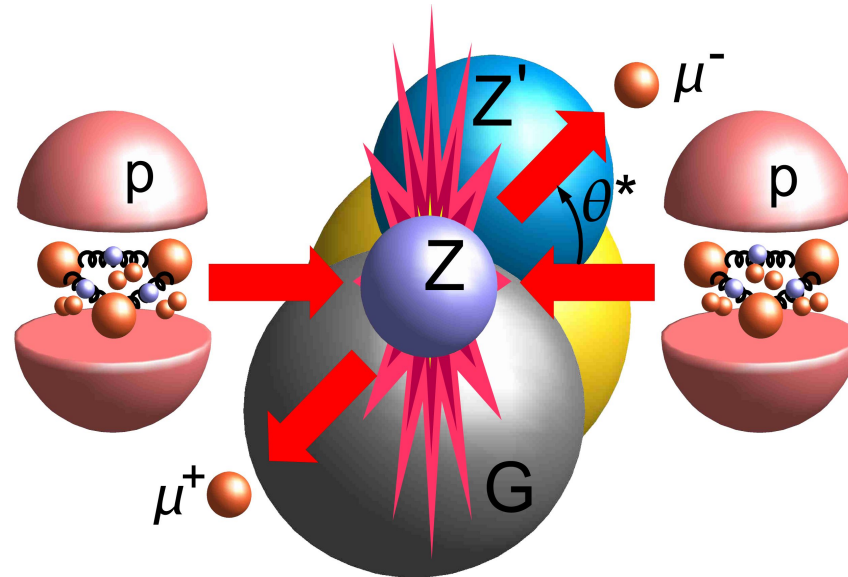
mass	$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS



- Introduce nuevas partículas que son los compañeras supersimétricas de las partículas del SM.
- Provee candidato para la DM.
- Unifica las fuerzas a una escala 10^{16} GeV



Aceleradores de partículas
Colisión de partículas a alta energía para mirar
que resulta de la misma





Experimentos en el tiempo ...

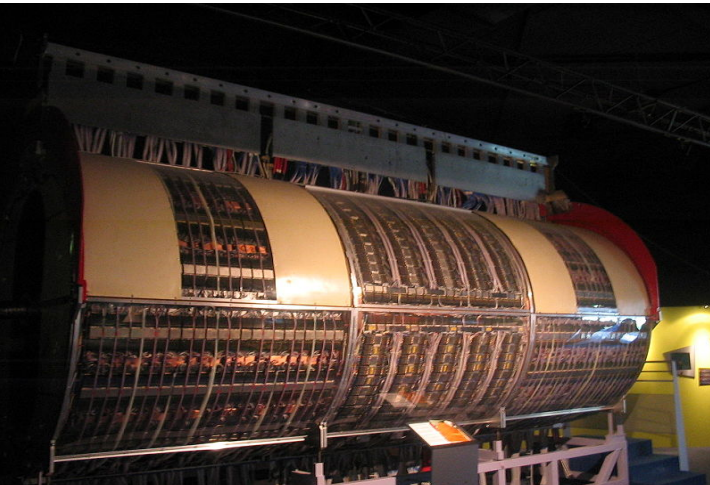
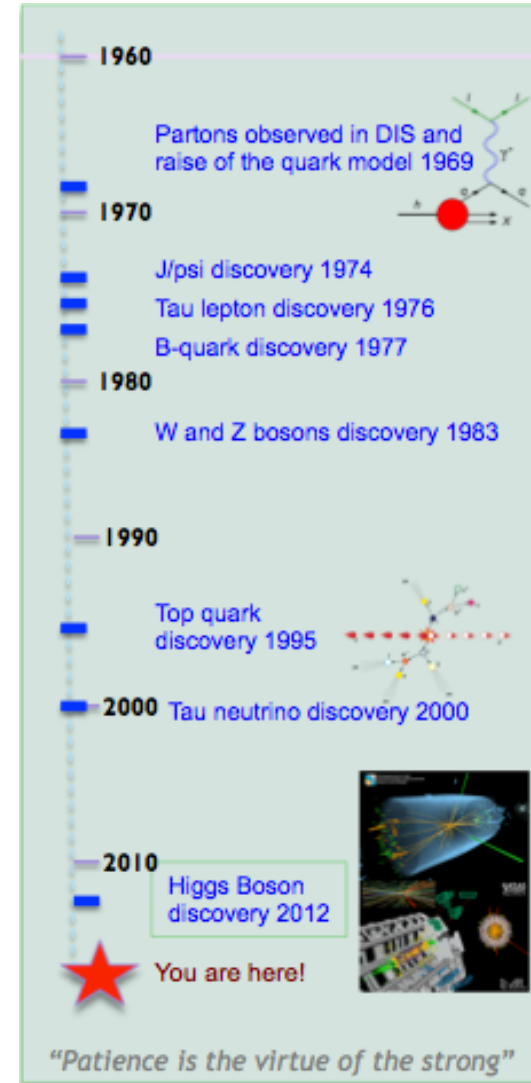
Slac: quarks livianos



Desy (Hera): gluones



Aceleradores de partículas



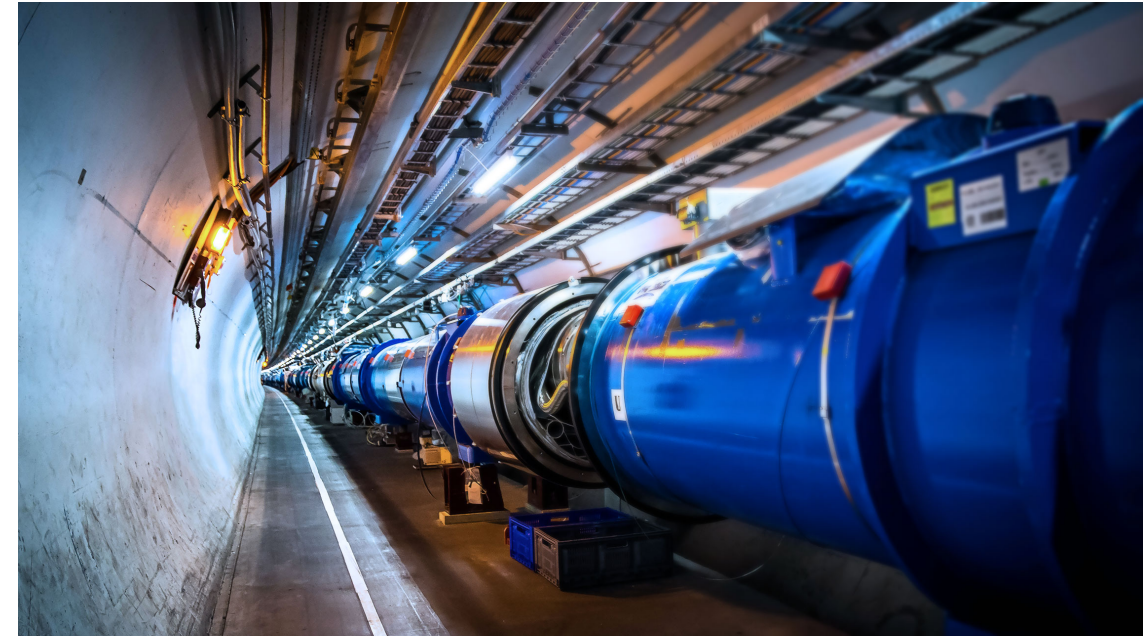
CERN-LEP : Bosones W y Z



Fermilab - Tevatron : quark top



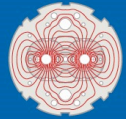
El Gran Colisionados de Hadrones (LHC)



CERN: Centro europeo para la investigación nuclear.

Anillo de 27 km de circunferencia, ubicado en la frontera franco-Suiza

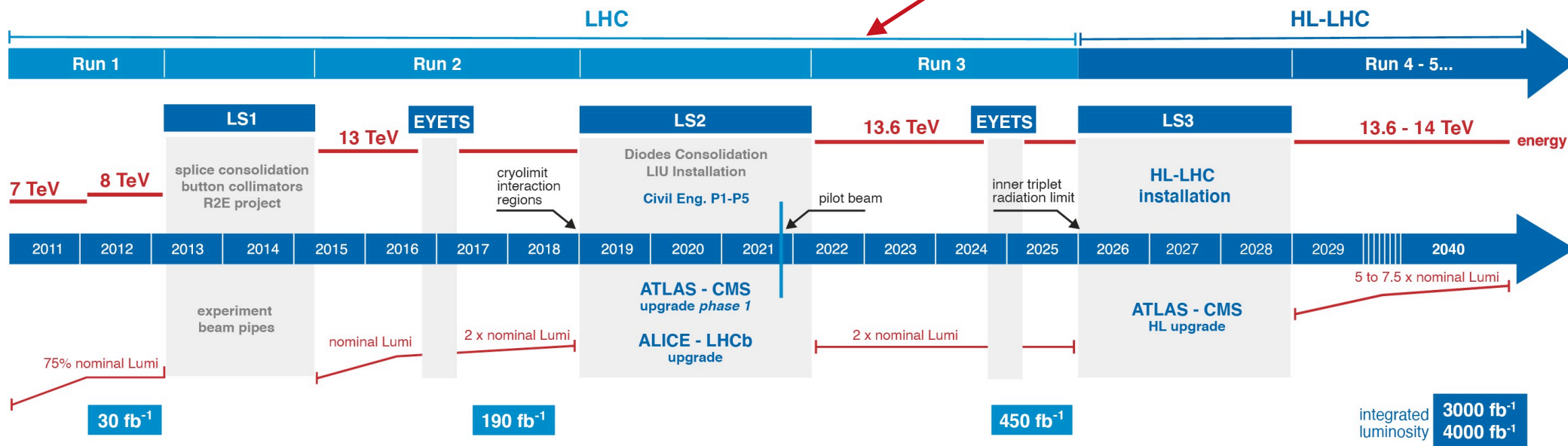
Colisión: protón-protón a una energía de 13.6 TeV



LHC / HL-LHC Plan



Presente



HL-LHC TECHNICAL EQUIPMENT:

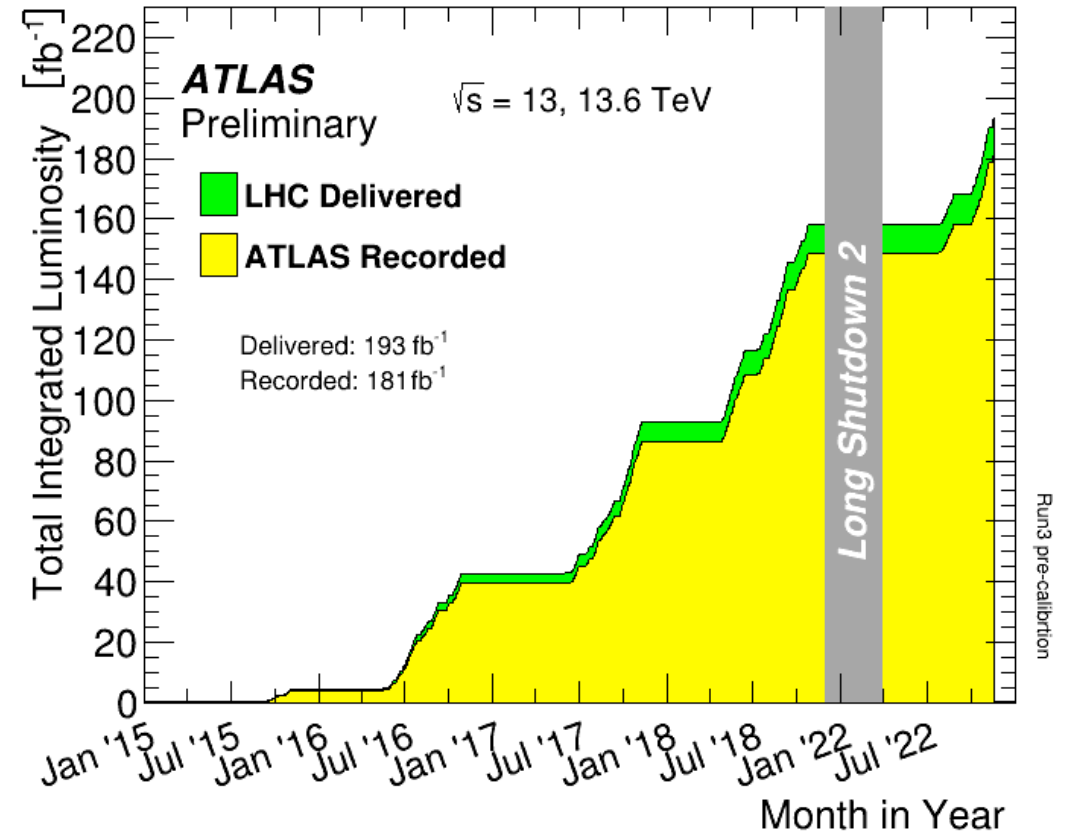
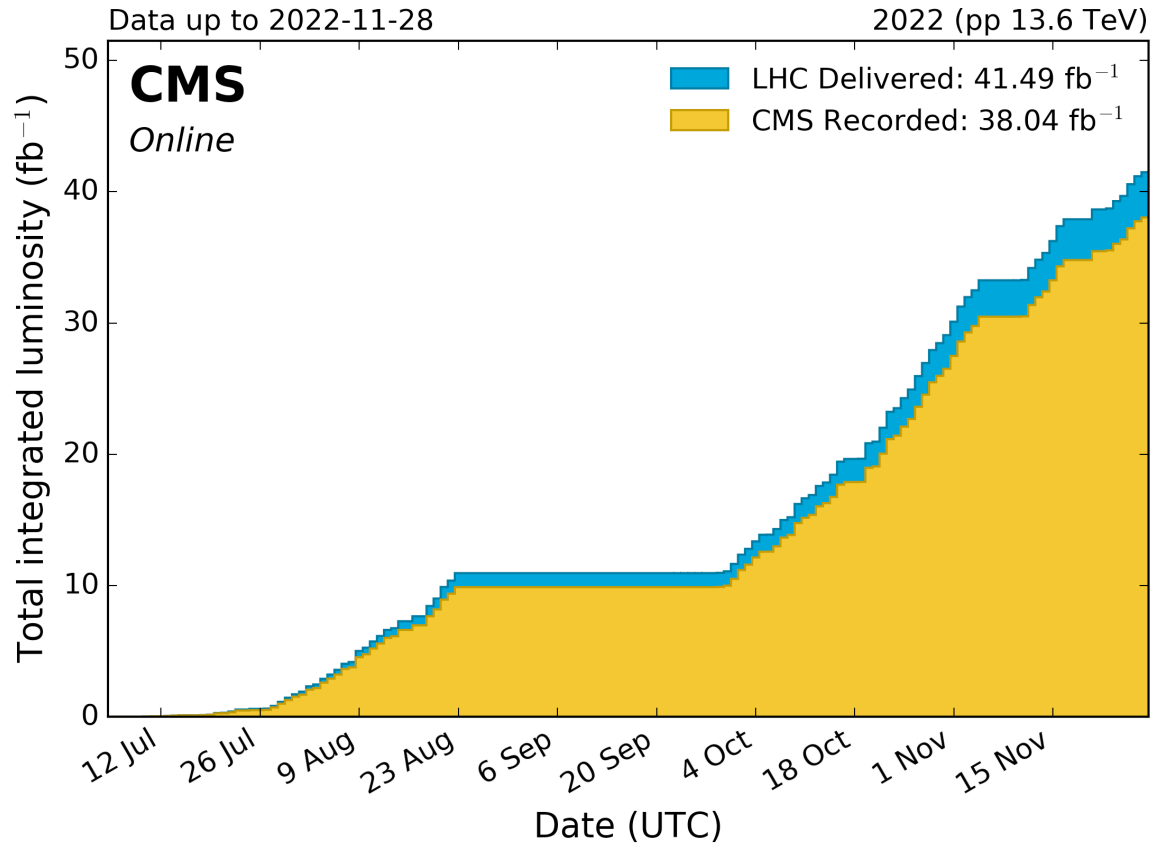


HL-LHC CIVIL ENGINEERING:





Datos recolectados



Gran cantidad de datos recolectados hasta ahora
Excelente funcionamiento del LHC hasta ahora



ATLAS y CMS

- Detectores multiprósito
- Mediciones de precisión del ME
- Búsqueda del Bosón de Higgs
- Búsqueda de Física más allá del ME

Image: CERN

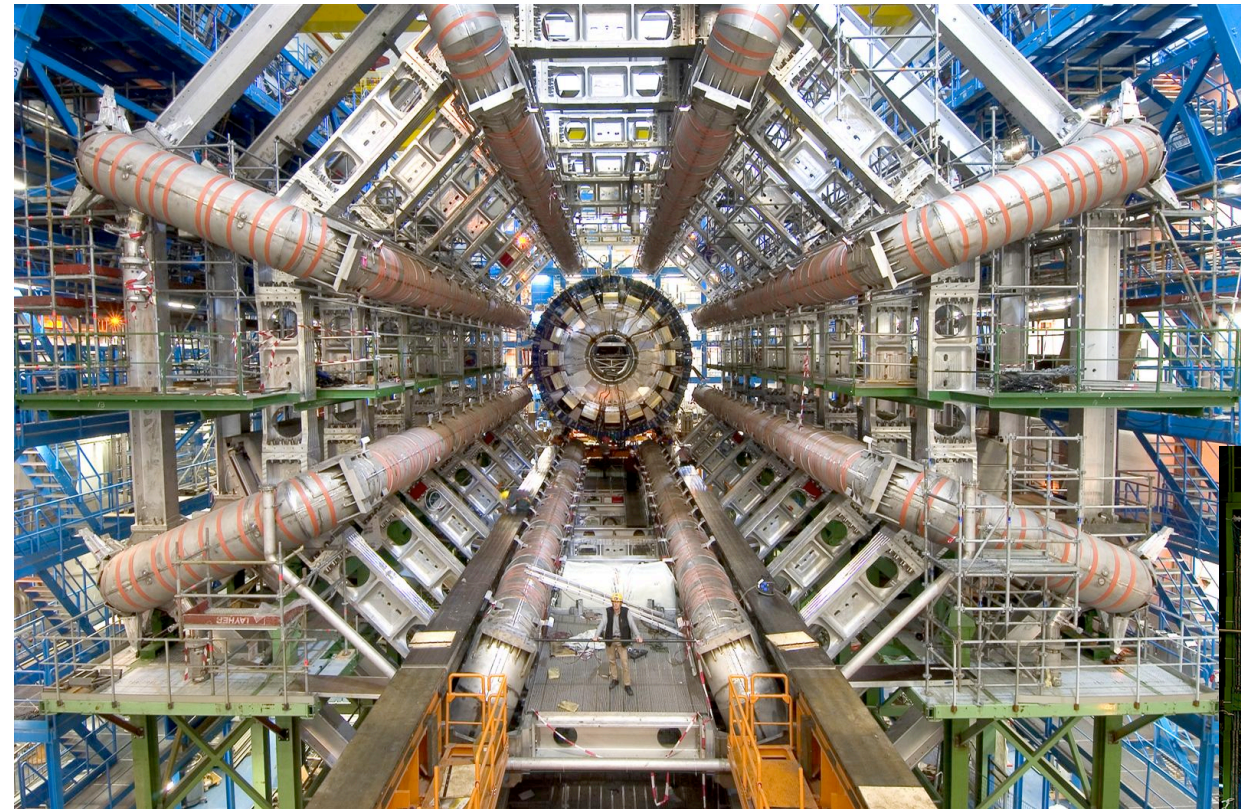
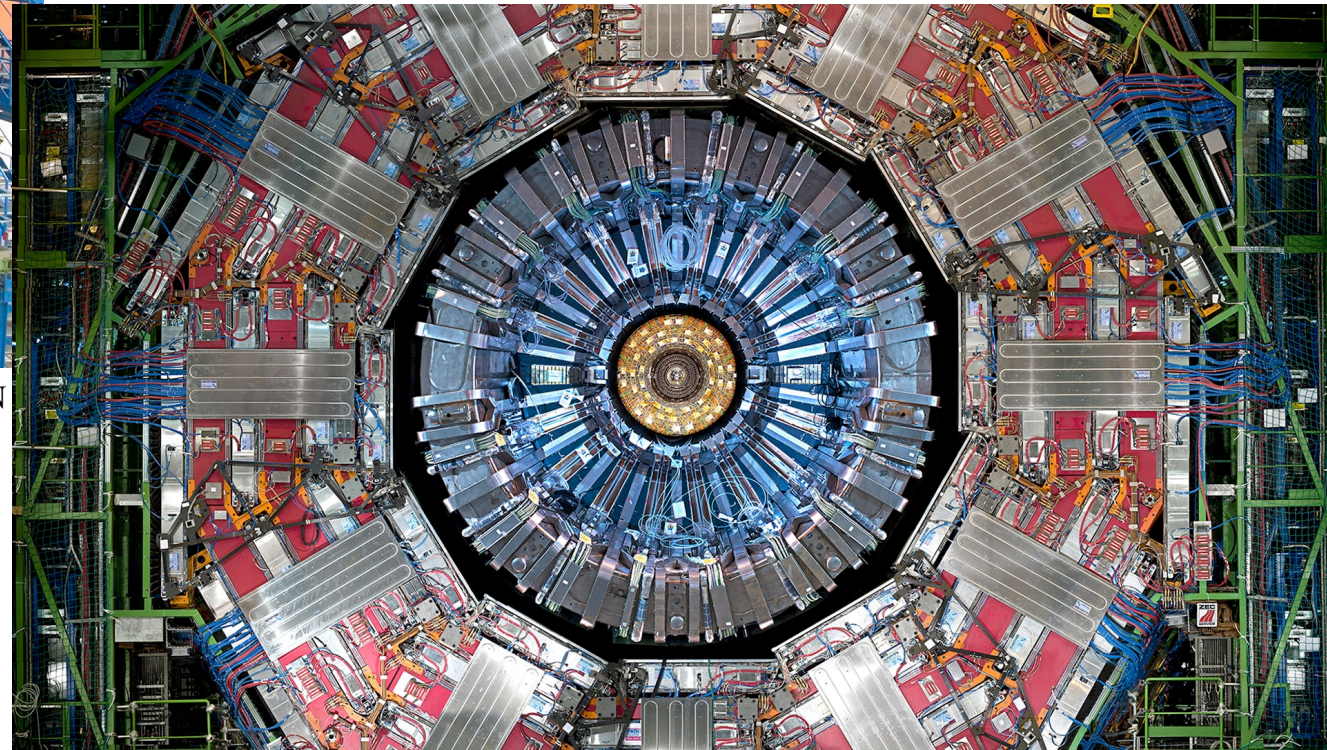


Image: CERN

- Física del quark b
- Estudios de física con iones pesados



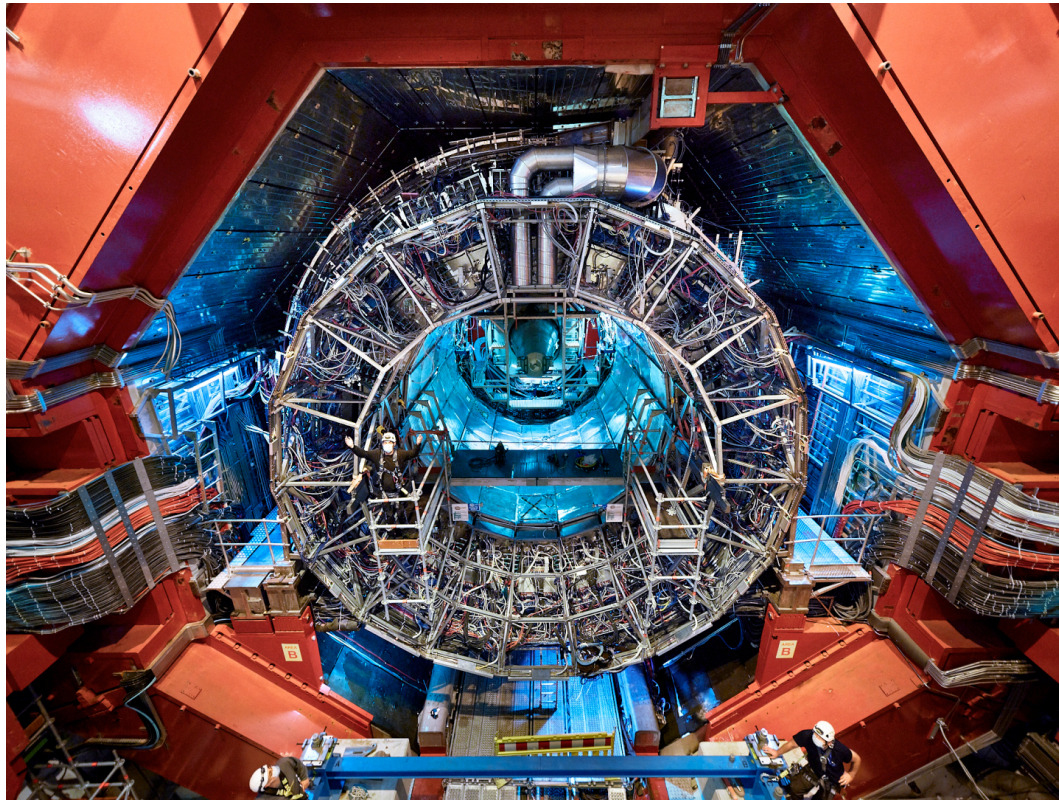


Image: CERN

ALICE

- Diseñado especialmente para el estudio del plasma de quarks-gluones

LHCb

- Diseñado especialmente para estudiar la física del quark b



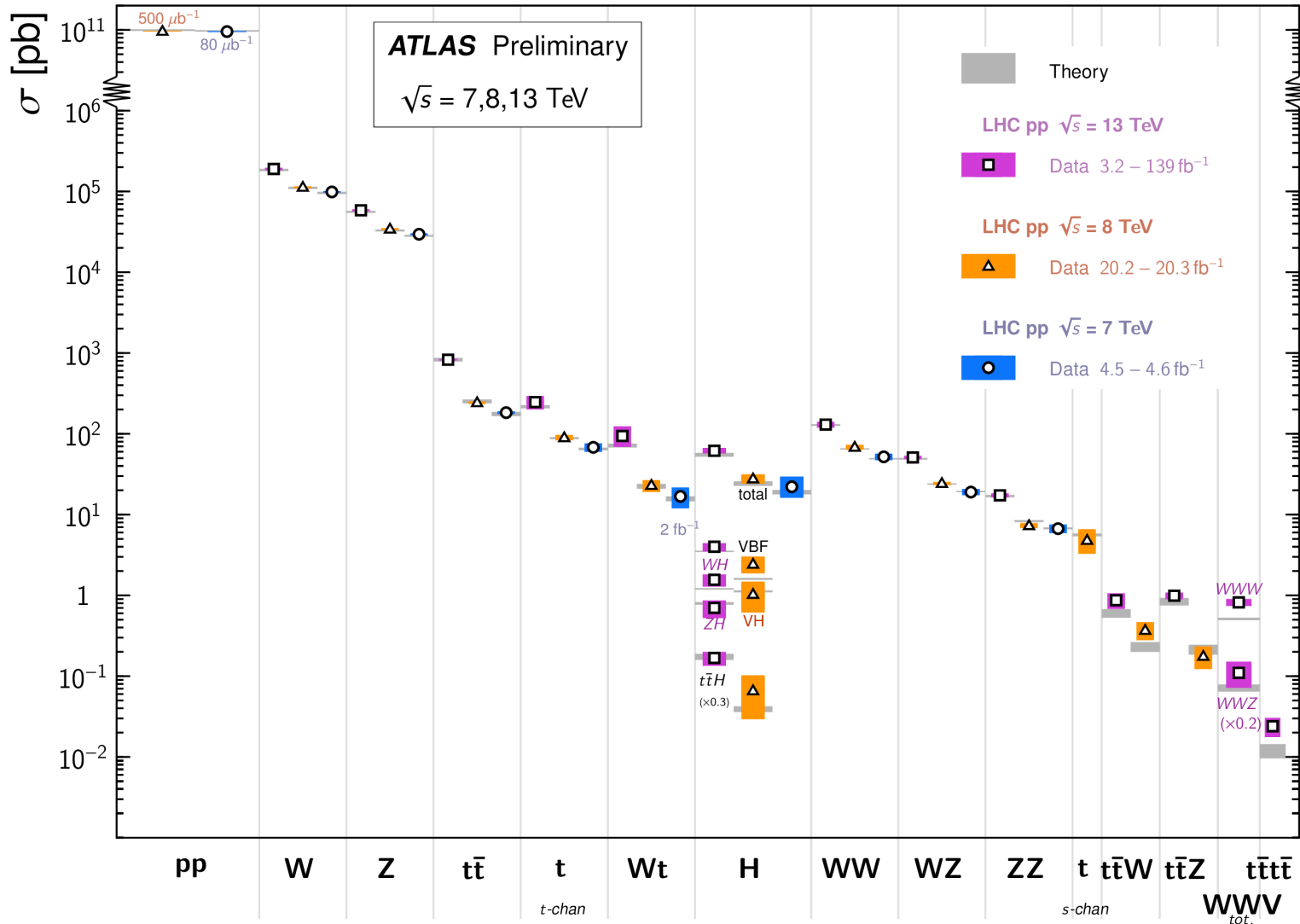
Image: CERN



Algunos resultados: Modelo Estándar

Standard Model Total Production Cross Section Measurements

Status: February 2022

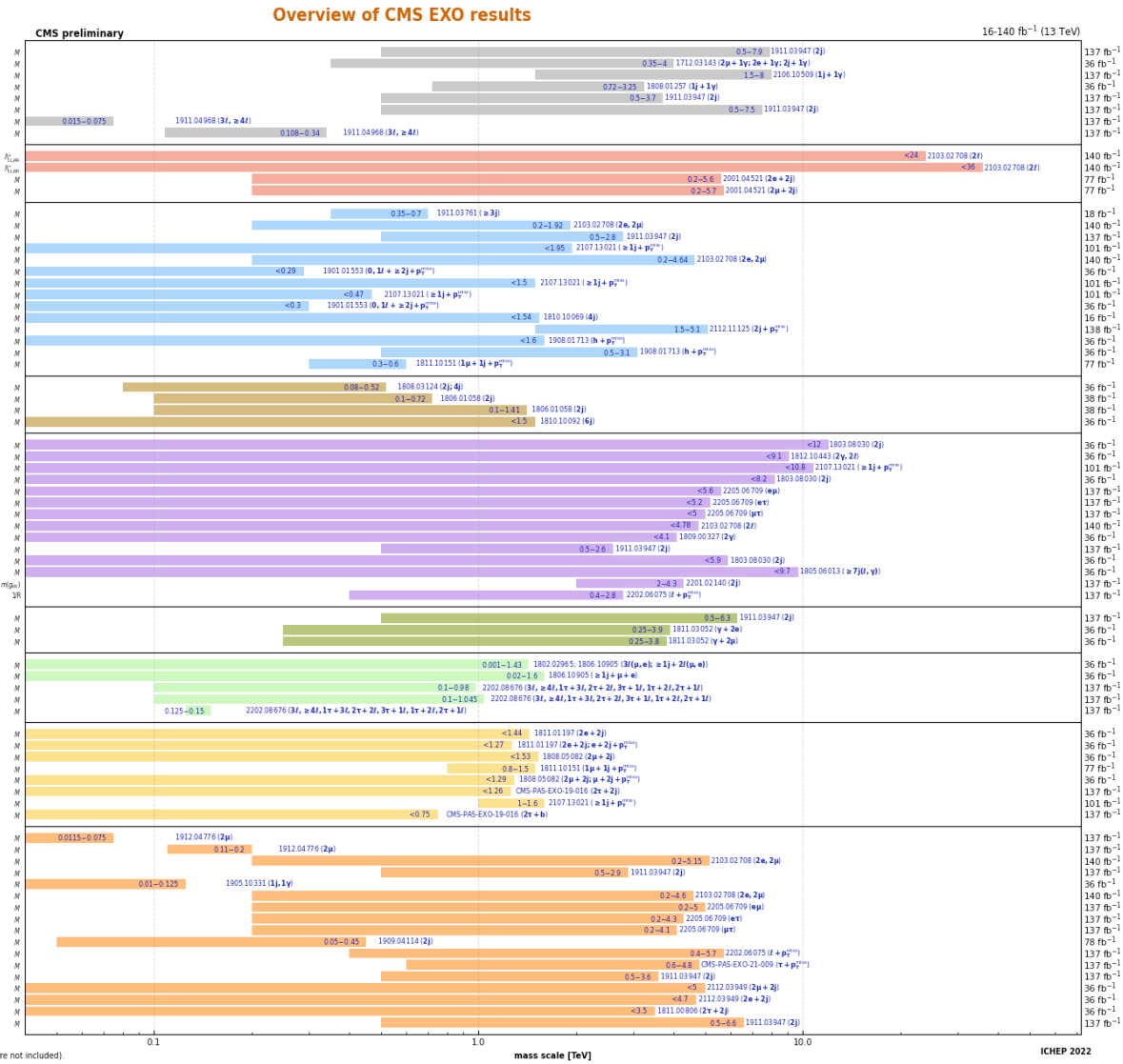


- Gran cantidad de resultados de mediciones de precisión en el ME:
- Secciones eficaces
 - Observación de procesos por primera vez
 - Propiedades de los acoplamientos
 - Propiedades del quark top
 - Descubrimiento y medición de propiedades del Bosón de Higgs
 - ...



Algunos resultados: Más allá del Modelo Estándar

- Other**
 - String resonance
 - Z_y resonance
 - W_y resonance
 - Higgs y resonance
 - Color Octet Scalar, $k_1^2 = 1/2$
 - Scalar Dipark
 - $\tilde{t}^2 + \phi$, pseudoscalar (scalar), $g_{\tilde{t}^2} \times BR(\tilde{t} \rightarrow Zt) > 0.03(0.004)$
 - $\tilde{t}^2 + \phi$, pseudoscalar (scalar), $g_{\tilde{t}^2} \times BR(\tilde{t} \rightarrow Zt) > 0.03(0.04)$
- Contact Interactions**
 - quark compositeness (fl), $\eta_{L,R} = -1$
 - quark compositeness (fl), $\eta_{L,R} = -1$
 - Excited Lepton Contact Interaction
 - Excited Lepton Contact Interaction
- Dark Matter**
 - vector mediator (q \bar{q}), $g_v = 0.25, g_{\tilde{q}\tilde{q}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - vector mediator (ff), $g_v = 0.1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 0.01, m_\chi > 1$ TeV
 - (axial)vector mediator (qq), $g_a = 0.25, g_{\tilde{q}\tilde{q}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - (axial)vector mediator (ff), $g_a = 0.25, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - (axial)vector mediator (ff), $g_a = 0.1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} > m_{\tilde{f}\tilde{f}}/2$
 - scalar mediator (+tt \bar{t}), $g_s = 1, g_{\tilde{t}\tilde{t}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - scalar mediator (fermion pair), $g_s = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - pseudoscalar mediator (+ff), $g_p = 1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - pseudoscalar mediator (+ff), $g_p = 1, g_{\tilde{f}\tilde{f}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - complex sc. med. (dark QCD), $m_{\tilde{u}} = 20$ GeV, $v_{\tilde{u}} = 0.3, v_{\tilde{u}} = v_{\tilde{d}}^{SM}$
 - Z² mediator (dark QCD), $m_{\tilde{u}} = 20$ GeV, $v_{\tilde{u}} = 0.3, v_{\tilde{u}} = v_{\tilde{d}}^{SM}$
 - Baryonic Z², $g_p = 0.25, g_{\tilde{u}\tilde{u}} = 1, m_\chi = 1$ GeV
 - Z² - ZHDM, $g_p = 0.8, g_{\tilde{u}\tilde{u}} = 1, \tan\beta = 1, m_\chi = 100$ GeV
 - Leptoquark mediator, $\beta = 1, \beta = 0.1, A_{\tilde{u}\tilde{u}} = 0.1, 800 < M_{\tilde{u}\tilde{u}} < 1500$ GeV
- RPV**
 - RPV stop to 4 quarks
 - RPV squark to 4 quarks
 - RPV gluino to 4 quarks
 - RPV gluinos to 3 quarks
- Extra Dimensions**
 - ADD (ij) HZ, $n_{ij} = 3$
 - ADD (ij) HZ, $n_{ij} = 3$
 - ADD G_{ij} emission, $n_{ij} = 2$
 - ADD (OH) (ij), $n_{ij} = 6$
 - ADD (OH) (ij), $n_{ij} = 4$
 - ADD (OH) (ij), $n_{ij} = 4$
 - ADD (OH) (ij), $n_{ij} = 4$
 - RS G_{ij}(ij), $k/\tilde{M}_* = 0.1$
 - RS G_{ij}(ij), $k/\tilde{M}_* = 0.1$
 - RS (OH) (ij), $n_{ij} = 1$
 - non-rotating BH, $M_* = 4$ TeV, $n_{ij} = 6$
 - 3-brane WED $W_{ij}(\tilde{g} + g + gpp)$, $g_{\tilde{u}\tilde{u}} = 6, g_{\tilde{u}\tilde{u}} = 3, \epsilon = 0.5, m_{ij}/(m_{\tilde{g}\tilde{g}}) = 0.1$
 - split-UED, $\mu \geq 2$ TeV
- Excited Fermions**
 - excited light quark (qq), $A = m_*$
 - excited electron, $f_e = f = F = 1, A = m_*$
 - excited muon, $f_e = f = F = 1, A = m_*$
- Heavy Fermions**
 - mSM, $|V_{cb}|^2 = 1.0, |V_{ub}|^2 = 1.0$
 - mSM, $|V_{cb}|^2/|V_{ub}|^2 + |V_{cb}|^2 = 1.0$
 - Type-III seesaw heavy fermions, Flavor-democratic
 - Vector like taus, Doublet
 - Vector like taus, Singlet
- Leptoquarks**
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 1st gen. fermions, $\beta = 1$
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 1st gen. fermions, $\beta = 0.5$
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 2nd gen. fermions, $\beta = 1$
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 2nd gen. fermions, $\beta = 1$
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 2nd gen. fermions, $\beta = 0.5$
 - scalar LQ (pair prod.), coupling to 3rd gen. fermions, $\beta = 1$
 - scalar LQ (single prod.), coupling to 1st gen. fermions, $\beta = 0, \lambda = 1$
 - scalar LQ (single prod.), coupling to 3rd gen. fermions, $\beta = 1, \lambda = 1$
- Heavy Gauge Bosons**
 - Z_n narrow resonance
 - Z_n narrow resonance
 - SSM Z (q)
 - SSM Z (q)
 - Z (qq)
 - Supersyming Z_q
 - LFV Z, BR(1 ℓ) = 10%
 - LFV Z, BR(1 ℓ) = 10%
 - LFV Z, BR(1 ℓ) = 10%
 - LFV Z, BR(1 ℓ) = 10%
 - Leptophobic Z'
 - SSM W (f)
 - SSM W (f)
 - SSM W (q)
 - LRSM W_L(N_L), $M_{N_L} = 0.5M_{W_L}$
 - LRSM W_L(N_L), $M_{N_L} = 0.5M_{W_L}$
 - LRSM W_L(N_L), $M_{N_L} = 0.5M_{W_L}$
 - Avignon, Colson, $cd\theta = 1$



- Gran cantidad de búsquedas de señales de BSM:
- SUSY
 - Materia Oscura
 - Modelos con Higgs extras
 - Búsquedas de Bosones pesados
 - Búsquedas de neutrinos pesados
 - ...
 - Todo consistente con el ME
 - Se establecen límites.

Selection of observed exclusion limits at 95% C.L. (theory uncertainties are not included).

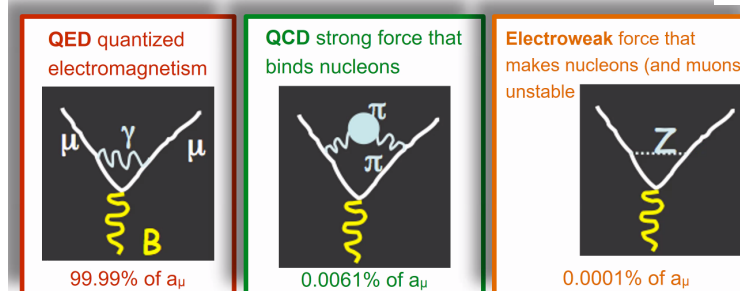


Otros resultados interesantes: Muon g-2

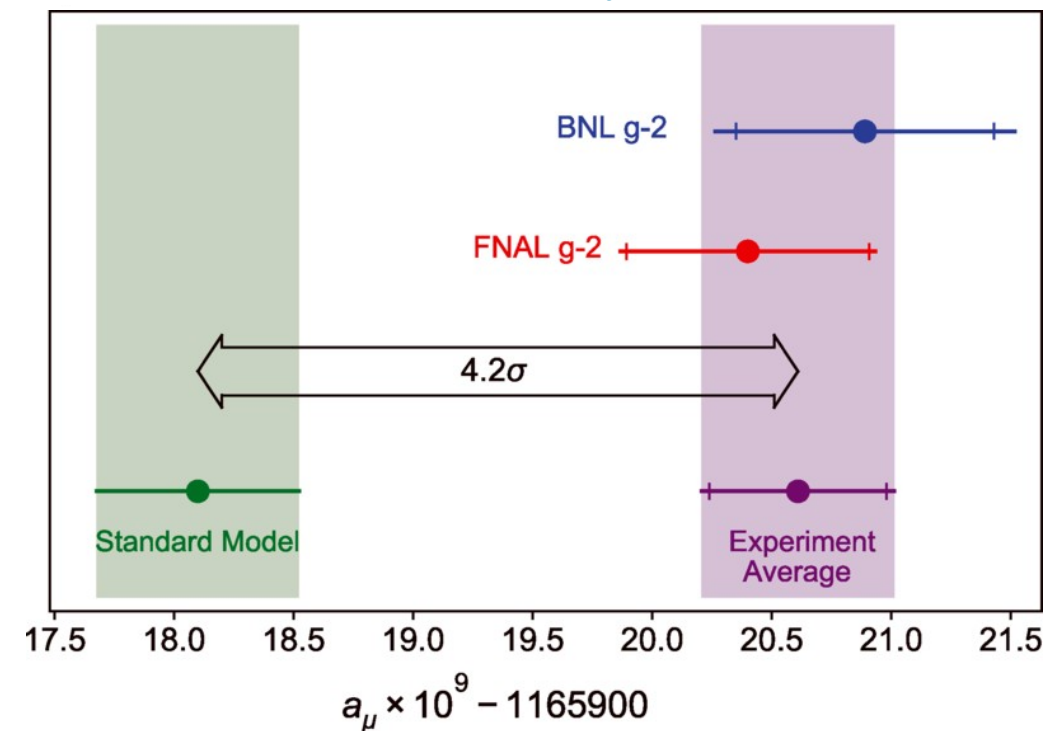
- ✓ El vacío cuántico es el estado mas bajo de energía del Modelo Estándar
- ✓ En el espacio vacío hay partículas virtuales (principio de incertidumbre) y sus efectos físicos pueden ser predichos y medidos
- ✓ Efectos virtuales en el momento magnético del muón están predichos con una inmensa precision.
- ✓ Resultado experimento Muon g-2 en Fermilab muestran tension con el Modelo Estándar

$$g(\text{exp}) \ 2.00233184178$$

$$g(\text{thy}) \ 2.00233183620$$



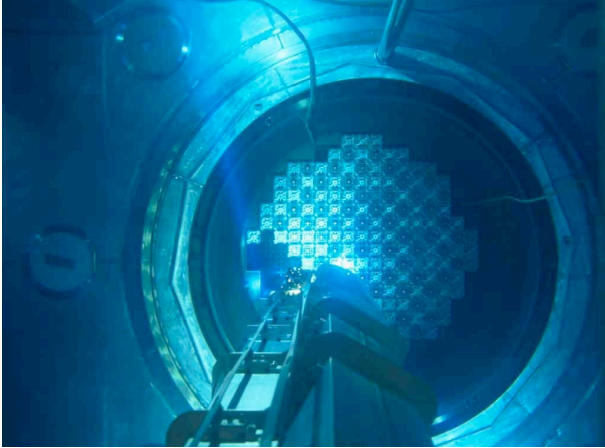
Phys. Rev. Lett. 126, 141801





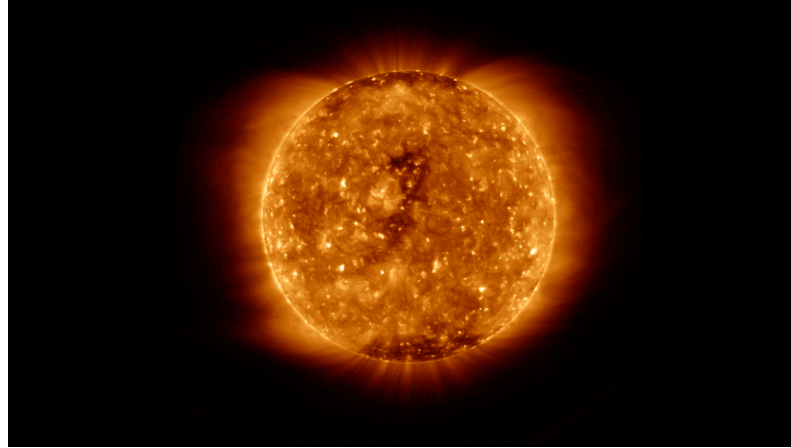
Fuentes de neutrinos

Reactores



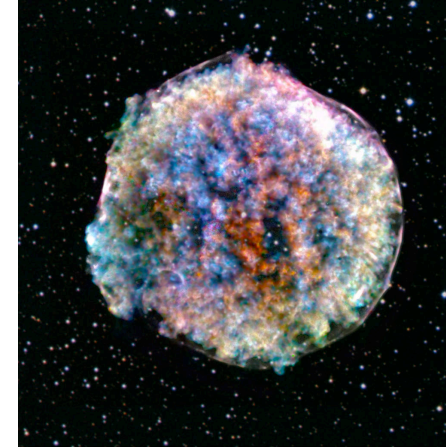
Few MeV

Sol



0.1 - 14 MeV

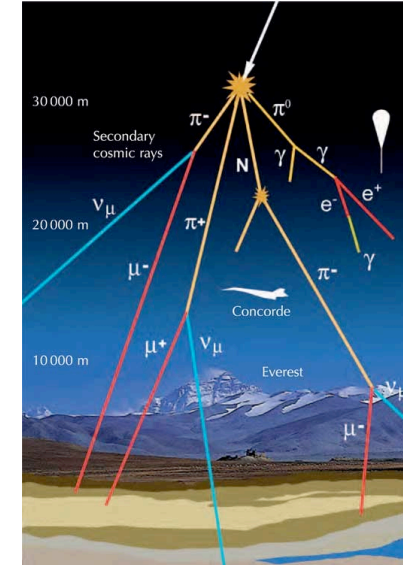
Supernova



~ 10 MeV

X-ray: NASA/CXC/RIKEN & GSFC/T. Sato et al; Optical: DSS

Atmosféricos



~ 1 GeV



Accleradores ~ 1-20 GeV



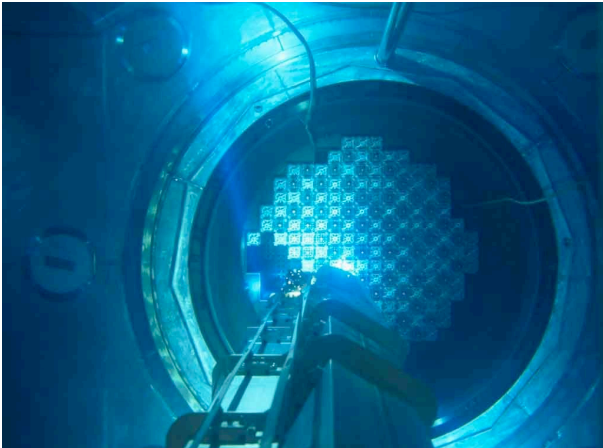
Extra-galácticos TeV - PeV

Imagen cortesía de CAEN

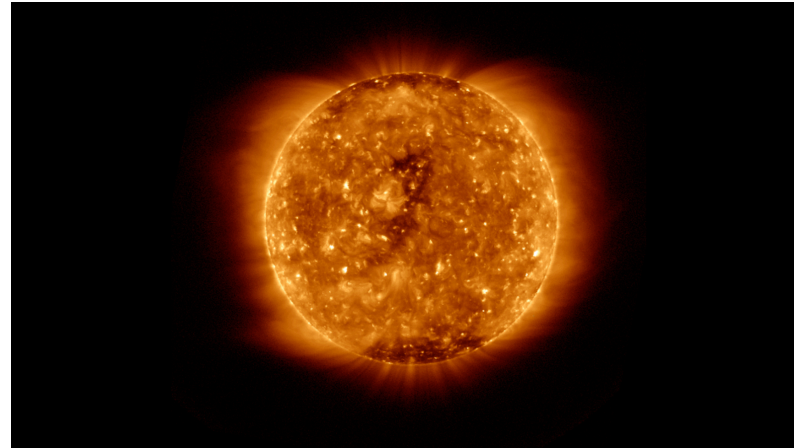


Fuentes de neutrinos

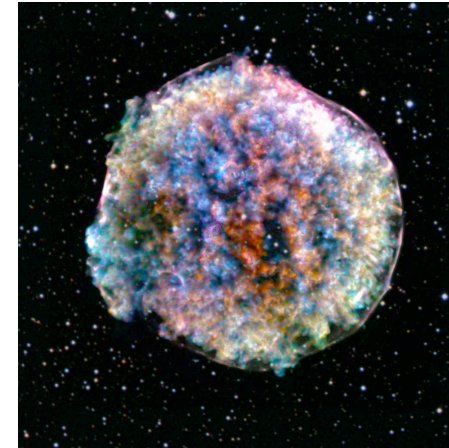
Daya Bay



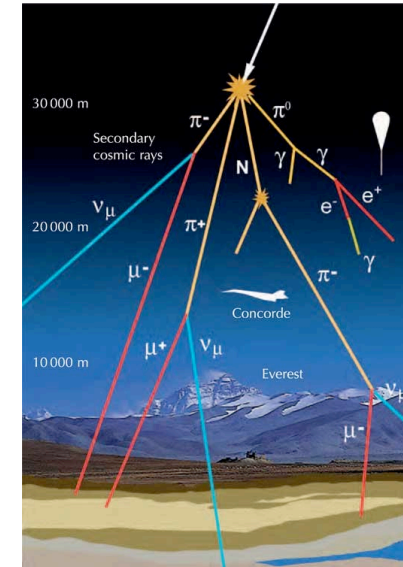
Borexino



SuperKamiokande - GD



SuperK



T2K - NoVA



IceCUBE



Experimentos de neutrinos : qué miden?

Un ejemplo: NoVA

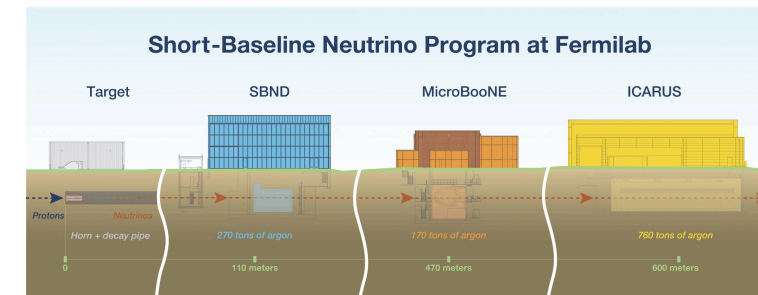
- ▶ Experimento "Long-baseline" de oscilación de neutrinos
 - ▶ El haz de ν se genera en Fermilab y se envía a un detector en Ash River, Minnesota \rightarrow detector de 14000 tons.
 - ▶ El haz (NuMI beam) se crea haciendo colisionar protones con un blanco de grafito.
- ▶ Mediciones de precisión de las propiedades de oscilación de neutrinos
- ▶ Ordenamiento de las masas de neutrinos
- ▶ Estudios de violación de CP





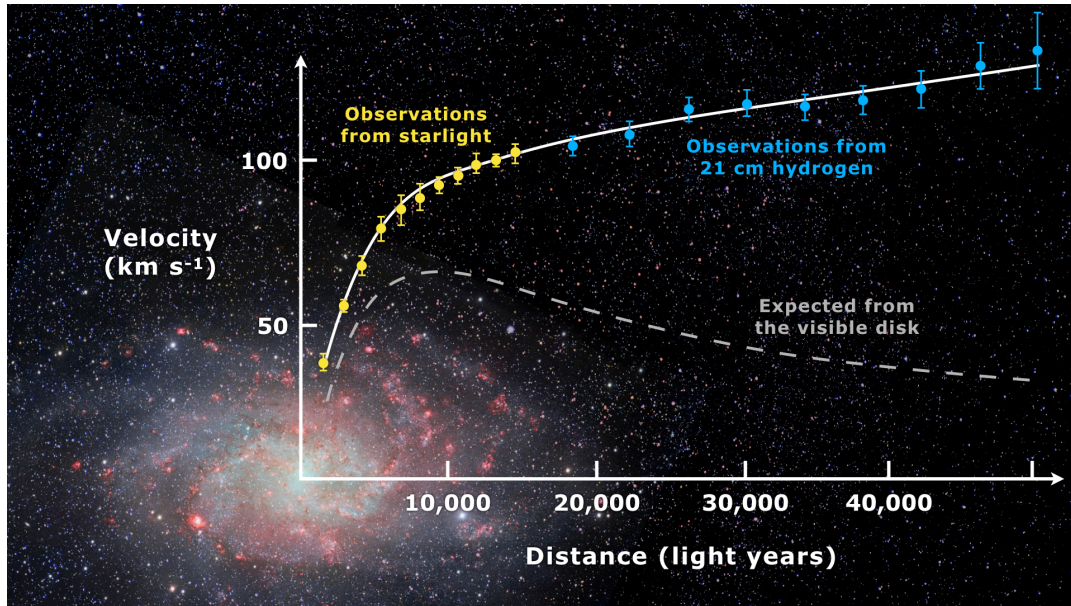
Experimentos de neutrinos : qué miden?

- Medición de la masa absoluta: **KATRIN, ECHO**
- Aceleradores "short baseline": **Microboone, SBND, ICARUS**
- Reactores: **Daya Bay, RENO, Double Chooz, ...**
- Experimentos de $0\nu\beta\beta$: **CUORE, GERDA, EXO, ...**
- Dispersión elástica de neutrinos: **COHERENT, TEXONO, ..**
- Colisionadores de alta energía (LHC): **FASER ν , SND@LHC**
- Telescopios de neutrinos





- Sabemos que la materia oscura existe:



- Observación de la velocidad de rotación de las estrellas alrededor del centro galáctico.
- Las curvas de rotación indican la existencia de una mayor cantidad de masa : materia oscura

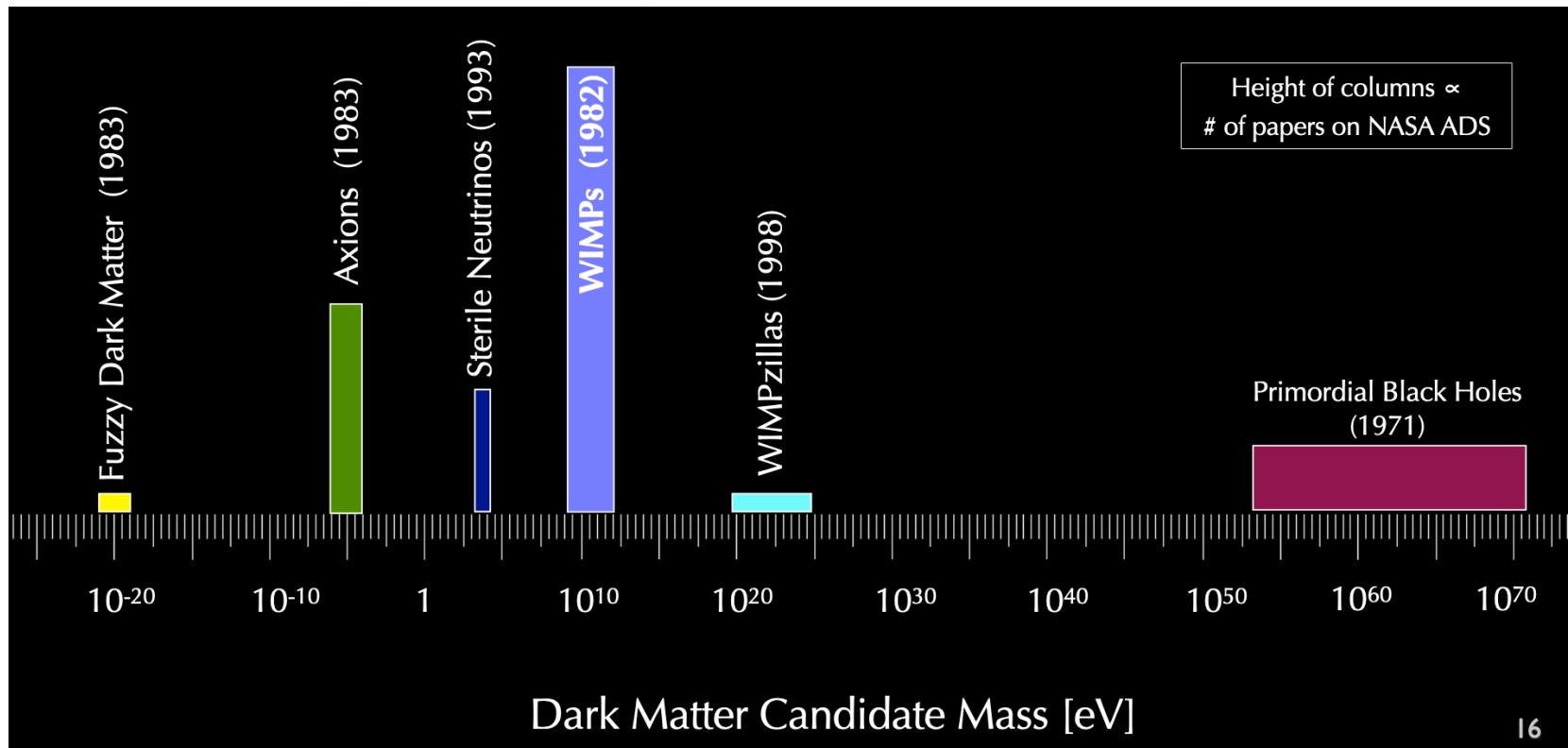


- Lentes gravitacionales
- Desviación de la luz de objetos luminosos ubicados detrás de objetos no luminosos, que produce un efecto análogo al de una lente óptica.



Naturaleza de la materia oscura

- ✓ Decenas de modelos teóricos, cada uno con su fenomenología
- ✓ Los modelos incluyen 90 órdenes de magnitud en la masa del candidato al MO



[G.Bertone](#) at ICHEP2022

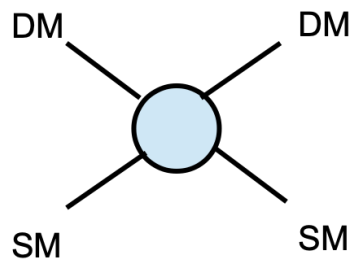


Experimentos de materia oscura

No conocemos la naturaleza de la materia oscura

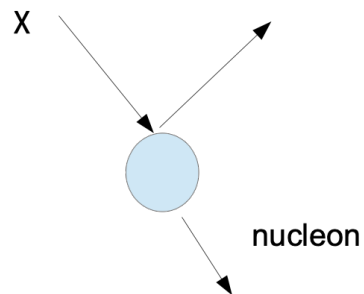
Diferentes tipos de experimentos para estudiar sus propiedades

Detección directa

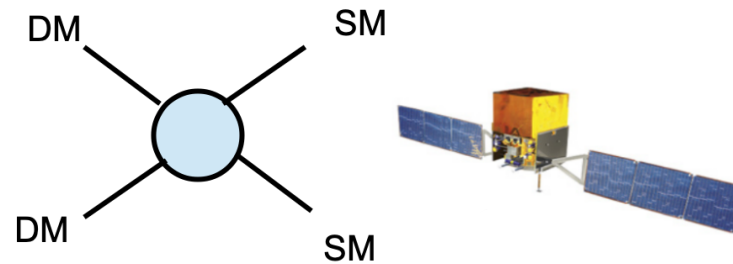


Elastic scattering on detector nuclei
In the lab

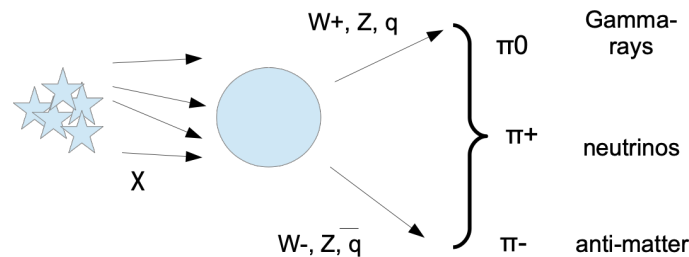
$$\chi + N \rightarrow \chi + N$$



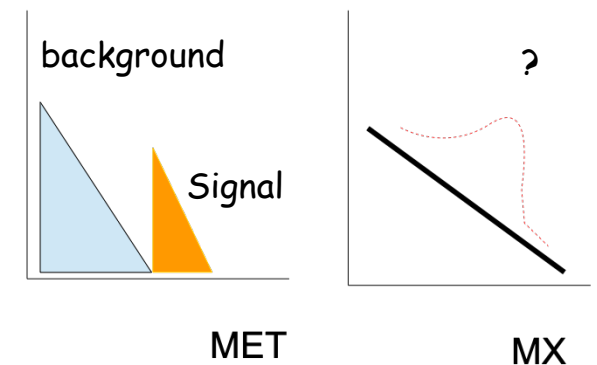
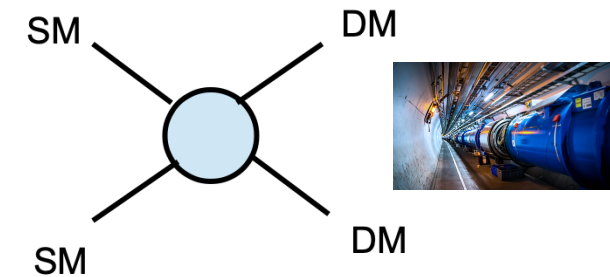
Detección indirecta



Annihilation products from gamma-rays
and antimatter



Colisionadores



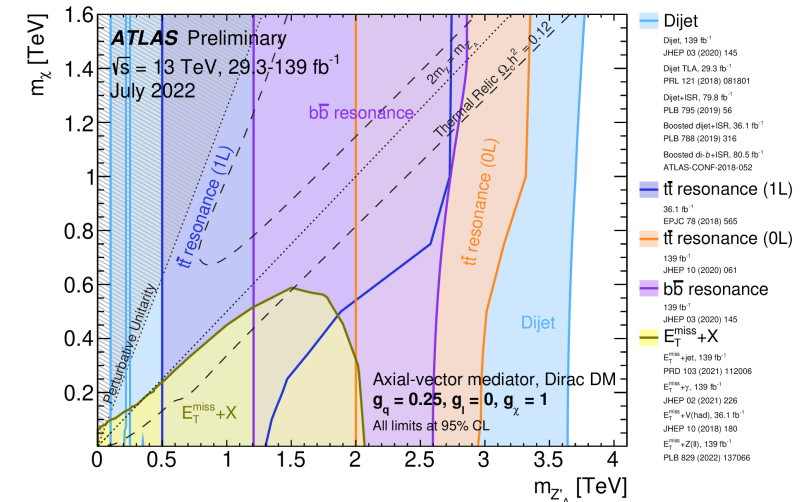
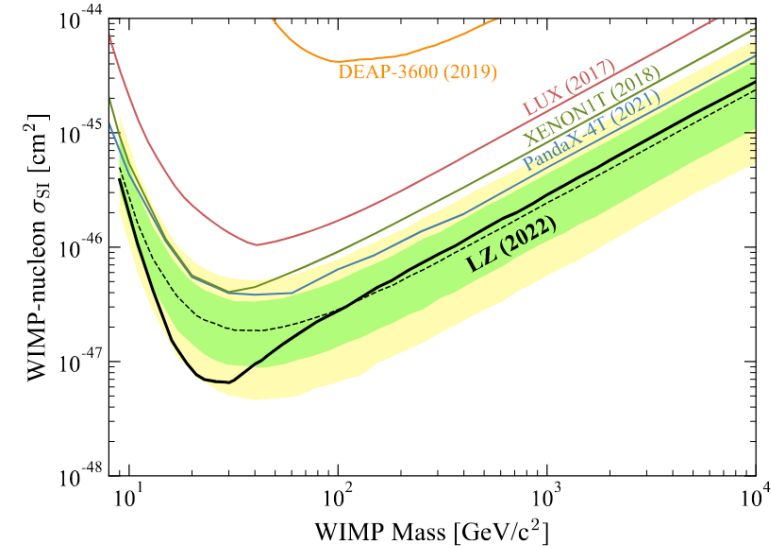


Experimentos de Materia Oscura

<https://www.interactions.org/hub/dark-matter-hub>

- ✓ Búsquedas directas e indirectas están progresando, cubriendo un gran rango en masas de MO y sección eficaz.
- ✓ Se exploran diferentes modelos: WIMPs, MO liviana, ALPs, fotones oscuros ...
- ✓ Los excesos actuales no están confirmados o tienen explicaciones alternativas a la MO
- ✓ Importante programa de búsqueda de MO en el LHC.
- ✓ Necesidad de más datos que pronto estarán disponibles.

<https://arxiv.org/pdf/2207.03764.pdf>



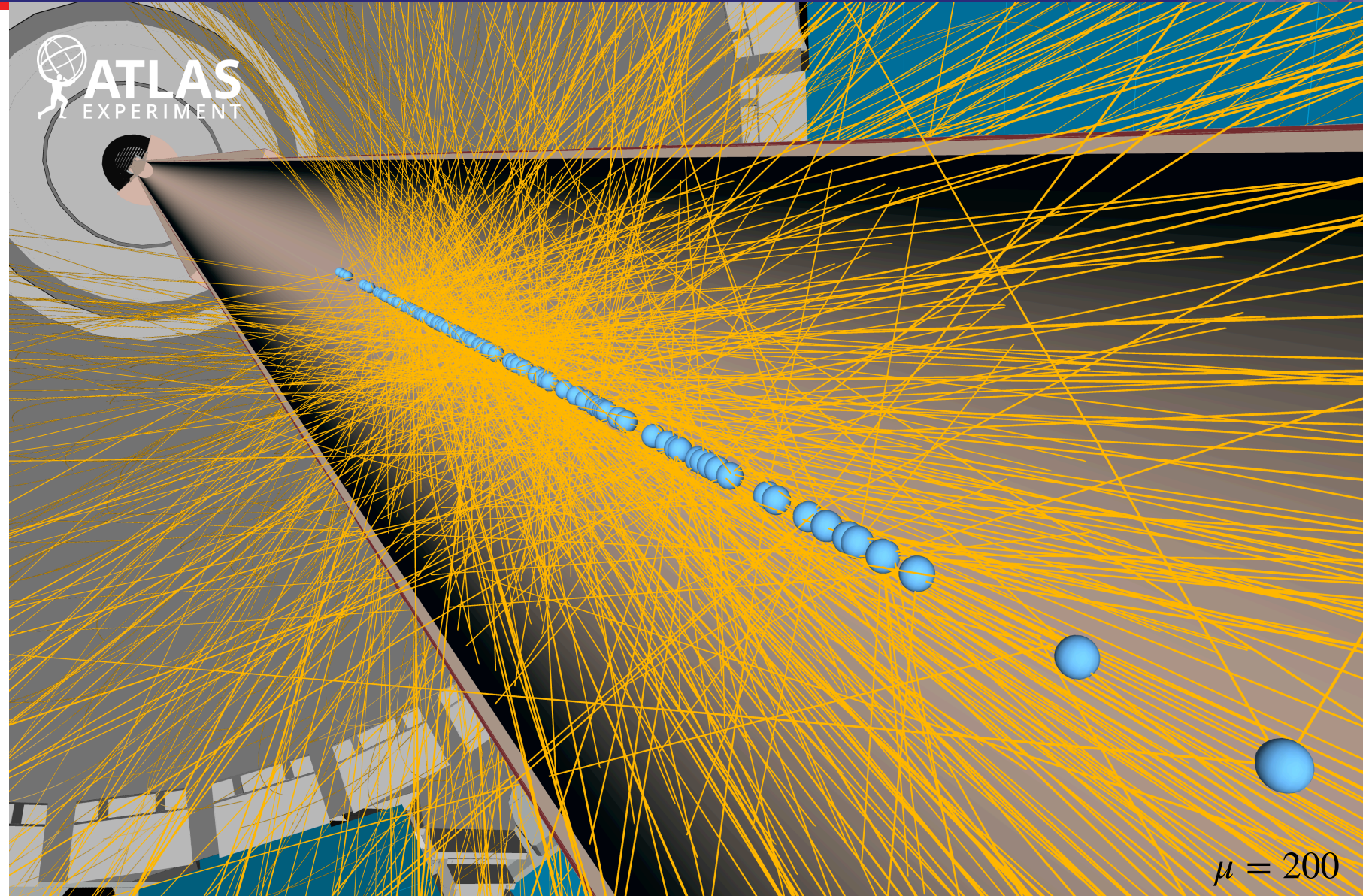
[ATL-PHYS-PUB-2022-036](https://arxiv.org/abs/2207.03764)



HL-LHC



- ✓ Nuevos algoritmos tendrán que implementarse para los triggers (IA)
- ✓ Gran reto estudio de backgrounds.
- ✓ Nuevas técnicas de análisis de datos para separar background de señal.

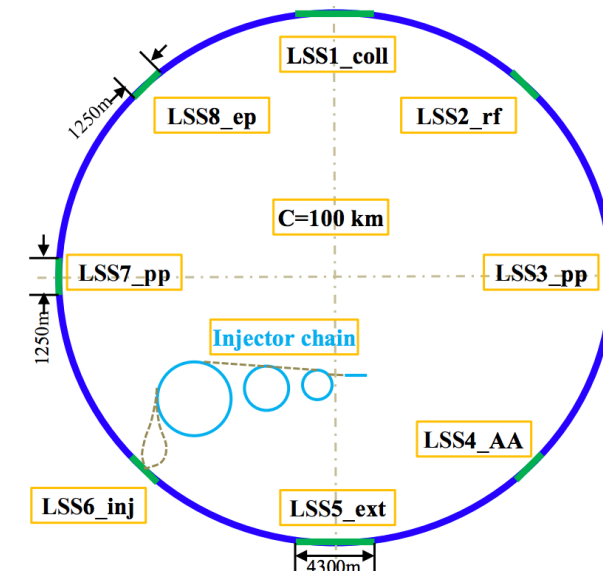
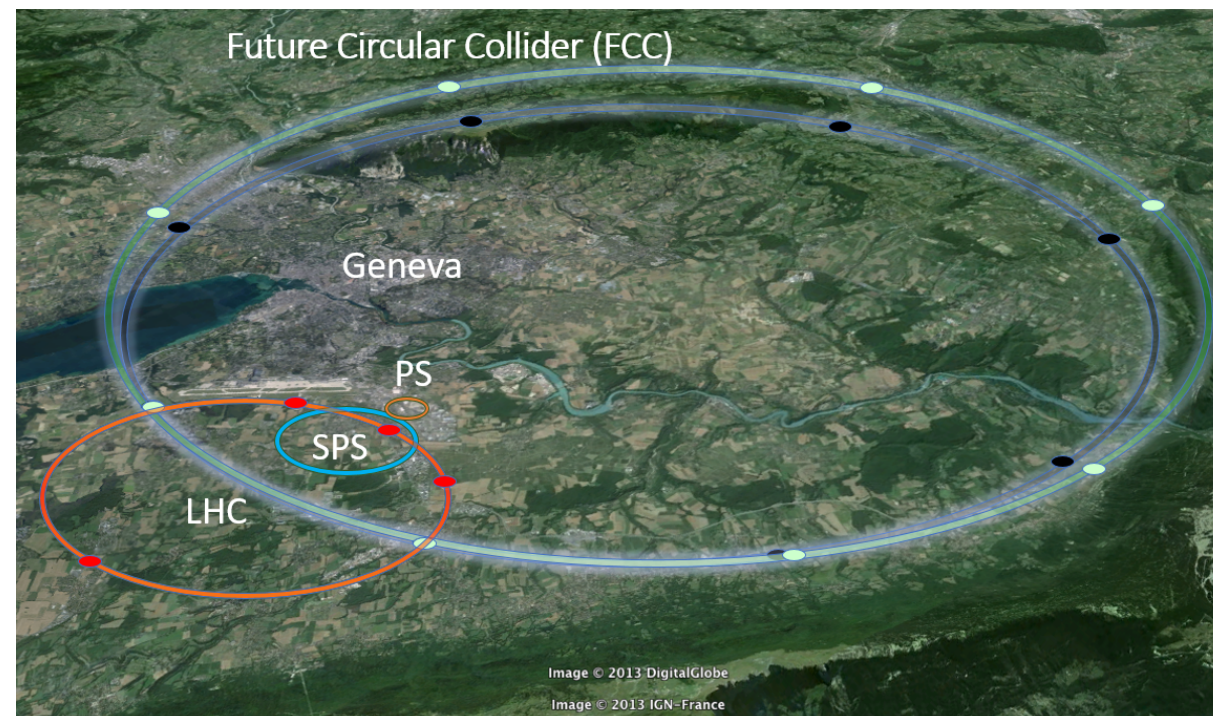




Futuros aceleradores

- ✓ Planes para colisionadores de ~ 100 TeV en el CERN "Future Circular Collider" (FCC-hh) y el "Super Proton-Proton Collider" (SppC) en China.
- ✓ Ambos requieren imanes super-conductores que no existen aún
- ✓ La nueva generación de colisionadores tomará un buen tiempo

8 years preparation	10 years tunnel and FCC-ee construction	15 years FCC-ee operation	11 years preparation for FCC-hh and installation	25 years FCC-hh operation pp/PbPb/eh
2020-2028		2038-2053		2064-2090

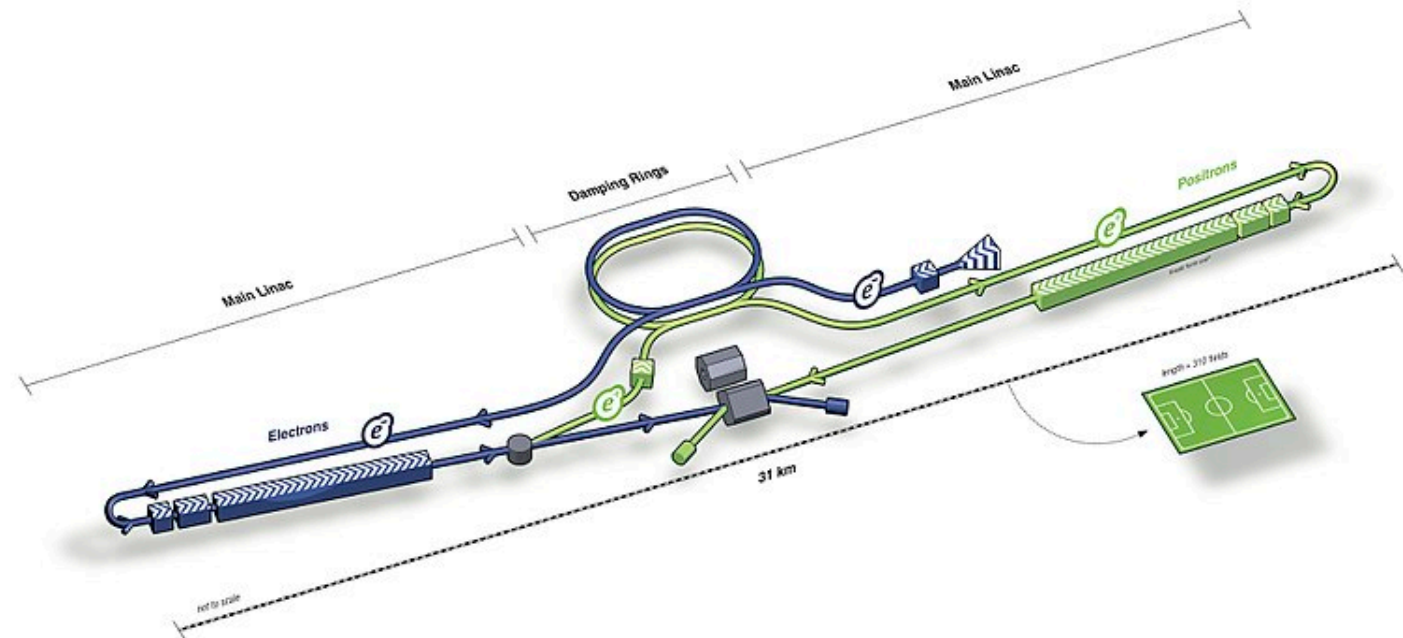




International Linear Collider



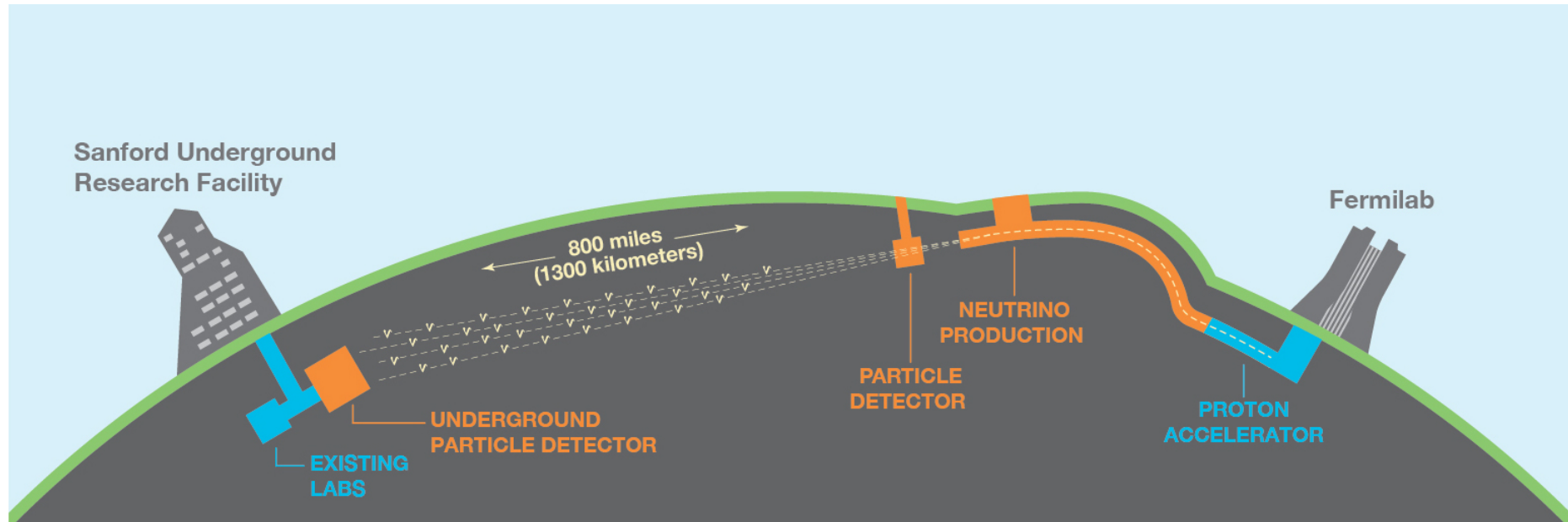
- ✓ La ILC es la única opción realizable en un plazo de ~15 años
- ✓ Colisionador Electron-Positron con energía de 250 GeV → H and ZH son posibles
- ✓ Permitirá estudiar la física del Higgs con una precisión sin precedentes
- ✓ Upgrades permitirían 500 GeV, 1 TeV, 3 TeV, 30 TeV





Experimento de neutrinos

- ✓ Origen de la materia
- ✓ Decaimiento del protón
- ✓ Neutrinos provenientes de supernovas
- ✓ Dos prototipos en CERN



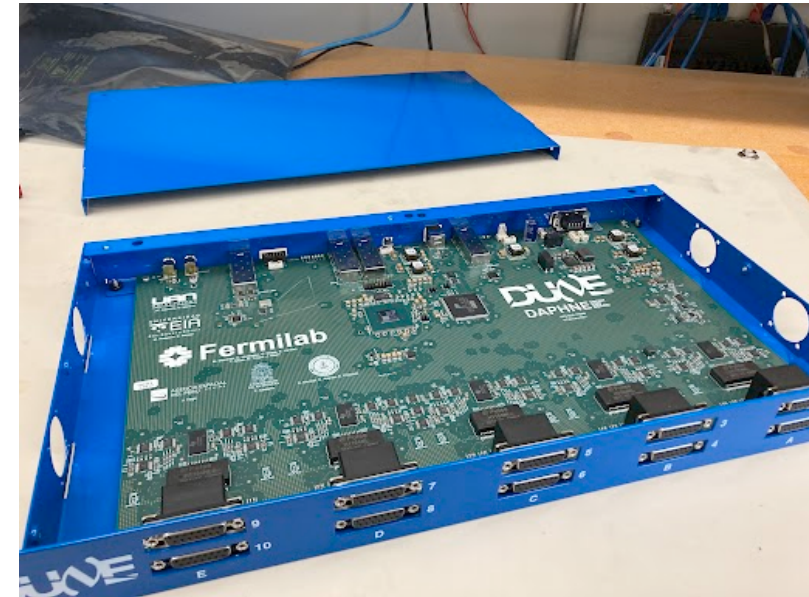
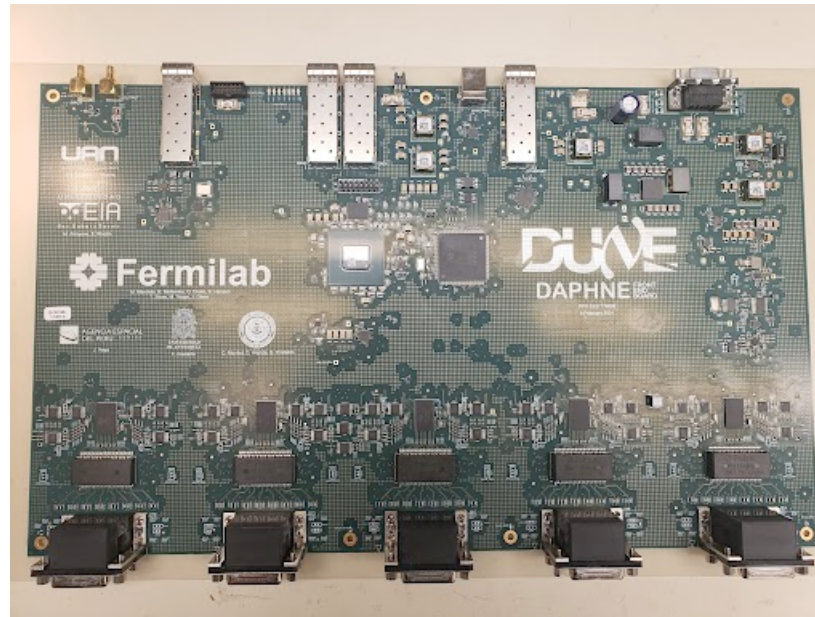


Futuros experimentos de neutrinos



Experimento de neutrinos

- ✓ Fuerte participación latinoamericana: Brasil, Colombia, Paraguay, Perú (grupo teórico de Chile).
- ✓ Implementación del detector de fotones
- ✓ Tarjeta de digitalización de datos para el experimento DUNE en Fermilab (U.S).
- ✓ La tarjeta es resultado del trabajo con universidades de Estados Unidos y Latinoamérica con el liderazgo de la UAN





Mensaje y conclusiones

- ✓ El campo de la física de partículas está en continuo progreso, tanto teórico como experimental.
- ✓ **Desafíos teóricos muchos:**
 - Obtención de observables a niveles superiores en la teoría de perturbaciones.
 - Nuevos modelos para explicar fenómenos más allá del ME y su fenomenología ...
- ✓ **Desafíos experimentales muchos:**
 - Nuevas tecnologías para los próximos experimentos: aceleradores, neutrinos, DM ...
 - Nuevos algoritmos para enfrentar los retos de la toma de datos.
 - Nuevas técnicas de análisis de datos.
- ✓ **Mucho por hacer y en qué contribuir!**



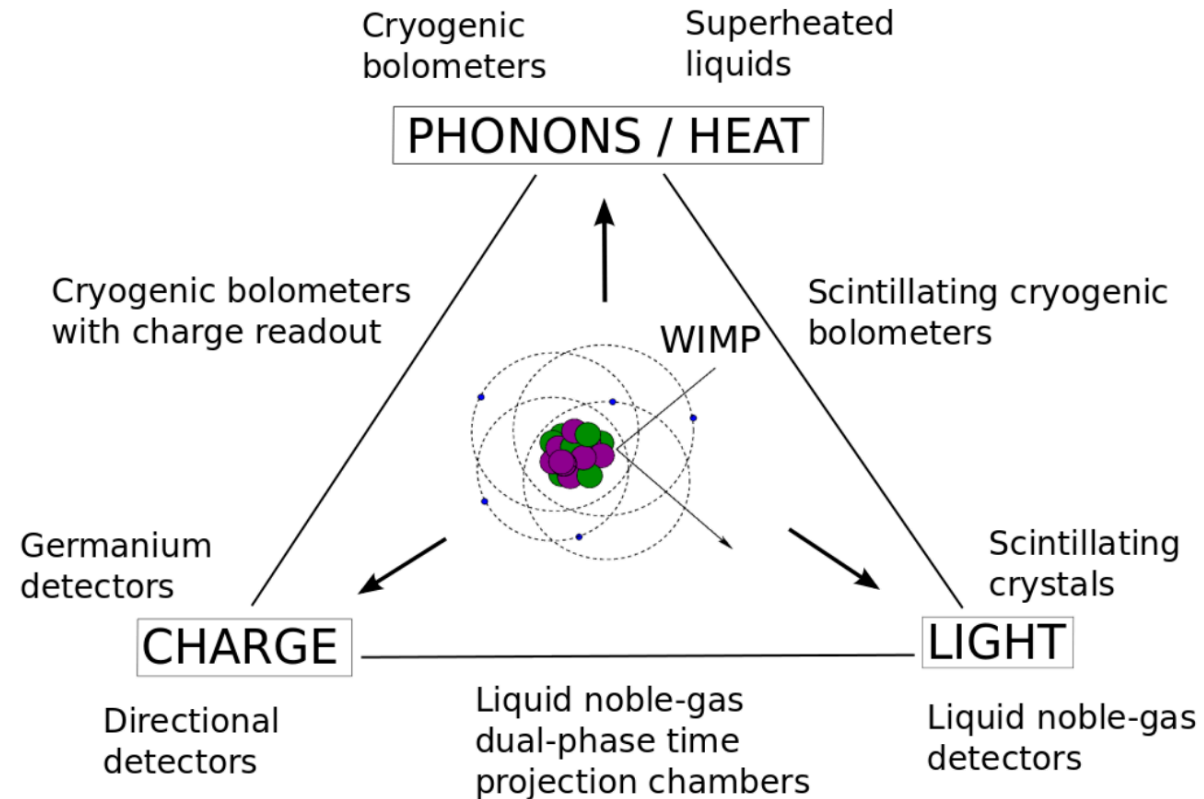
¡gracias!!



Backup Slides



Búsqueda directa de MO



<https://arxiv.org/pdf/1509.08767.pdf>



Búsqueda indirecta de MO

