

Rodolfo (Rolo) M. Id Betan

idbetan@ifir-conicet.gov.ar

Edificio Ifir, Of. 235
(Esmeralda y Ocampo)
Tel. 4853200 Int. 486

Legalidades del curso IFN 2023

Contenido del archivo legalidades.pdf

Sobre cursado, trabajos prácticos, condición de regularización, examen, actividades de campo, otros, ...

VER EN PARTICULAR LAS

CONDICIONES PARA LA

REGULARIDAD/PROMOCION

VER link de interés

Actividades de Taller y Campo

- Talleres de cálculo numérico: (i) ecuación de Schroedinger de un cuerpo: espectro de energía y función de onda, (ii) cálculo de phase shift o espectro de dos cuerpos, (iii) código para reacciones nucleares (demostrativo)
- Actividad de campo: visita reactor/resonador magnético nuclear.

Objetivos específicos del curso

- Introducir las propiedades básicas de los núcleos atómicos
- Presentar teorías microscópicas para calcular propiedades en sistemas finitos
- Álgebra angular. Segunda cuantización
- Aprender métodos de Mecánica Cuántica en sistemas de muchos cuerpos

Objetivos globales del curso

- Divulgar la ciencia nuclear como ciencia de interés actual en contraposición a ciencia vieja
- Informarse sobre las actividades en Ciencia Nuclear en Argentina
- Preparar a aquellos que decidan desarrollar su carrera de investigación en el área de Física o Tecnología Nuclear.

??Inquietudes

??Preguntas

Contenido de esta clase

(sobre generalidades de la FN)

Incógnitas actuales en el área de la Física Nuclear.

Aplicaciones tecnológica de los núcleos atómicos.

Algunos benchmark históricos.

Origen de los núcleos atómicos.

Límite Tabla Periódica de Mendeléyev.

Núcleos estables y radiactivos conocidos y por conocer.

Isla de estabilidad. Tabla de nucleidos.

Línea de estabilidad y línea de goteo.

Descubrimiento de los núcleos por año.

Abundancia de los distintos elementos atómicos.

Laboratorios actuales de producción de núcleos radioactivos.

Estructura interna de los protones y neutrones.

Lecturas recomendadas para esta clase y el Trabajo Práctico:

Fundamentals in Nuclear Physics (Introducción). J.L. Basdevant, J. Rich and M. Spiro

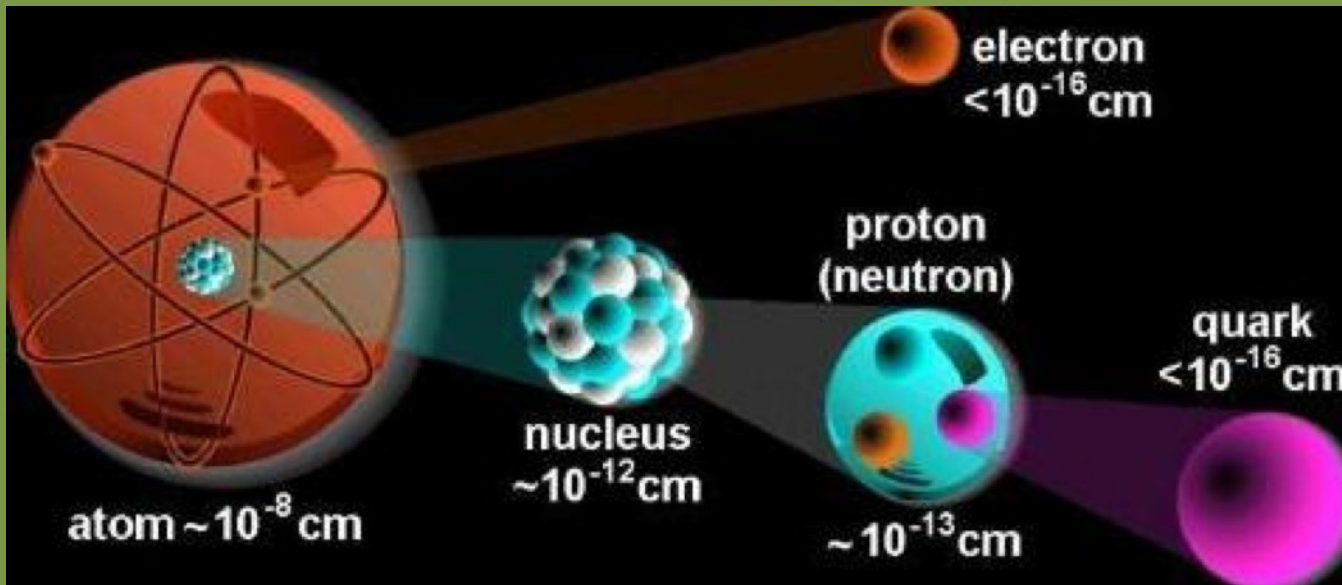
Introductory Nuclear Physics (Prefacio y Sec. 1.1). S. S. M. Wong

Generalidades sobre la Física Nuclear

Sobre las dimensiones y las energías

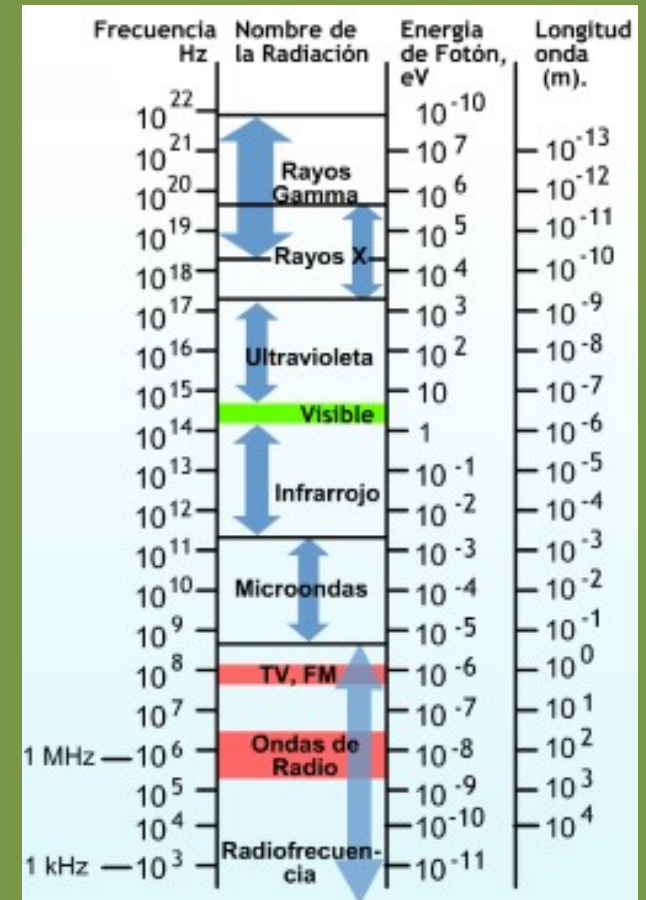
$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

fm=femtometer=fermi



Credito: islam.org.sv

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$



Credito: ikastaroak.ulhi.net

El 99.99% de la materia visible se encuentra en los núcleos atómico

- ¿Cómo surgió la materia visible?
- ¿Dónde, cuándo, cómo se generaron cada uno de los elementos de la Tabla Periódica?

Origen de los elementos químicos

H-He-Li-Be-B

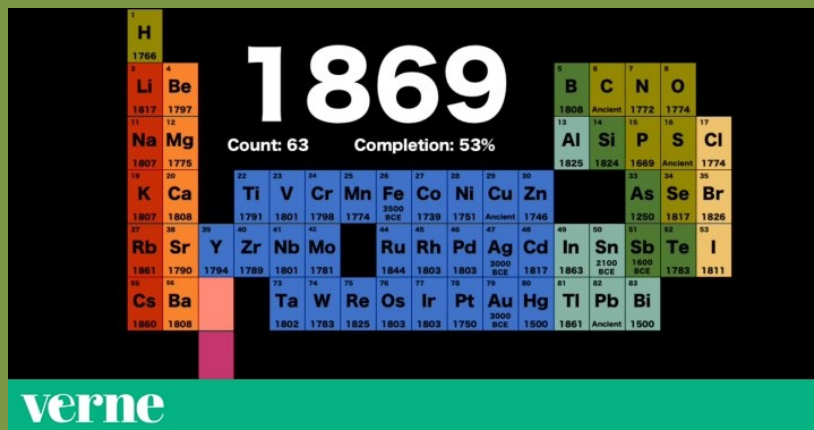
Intermedios

Pesados

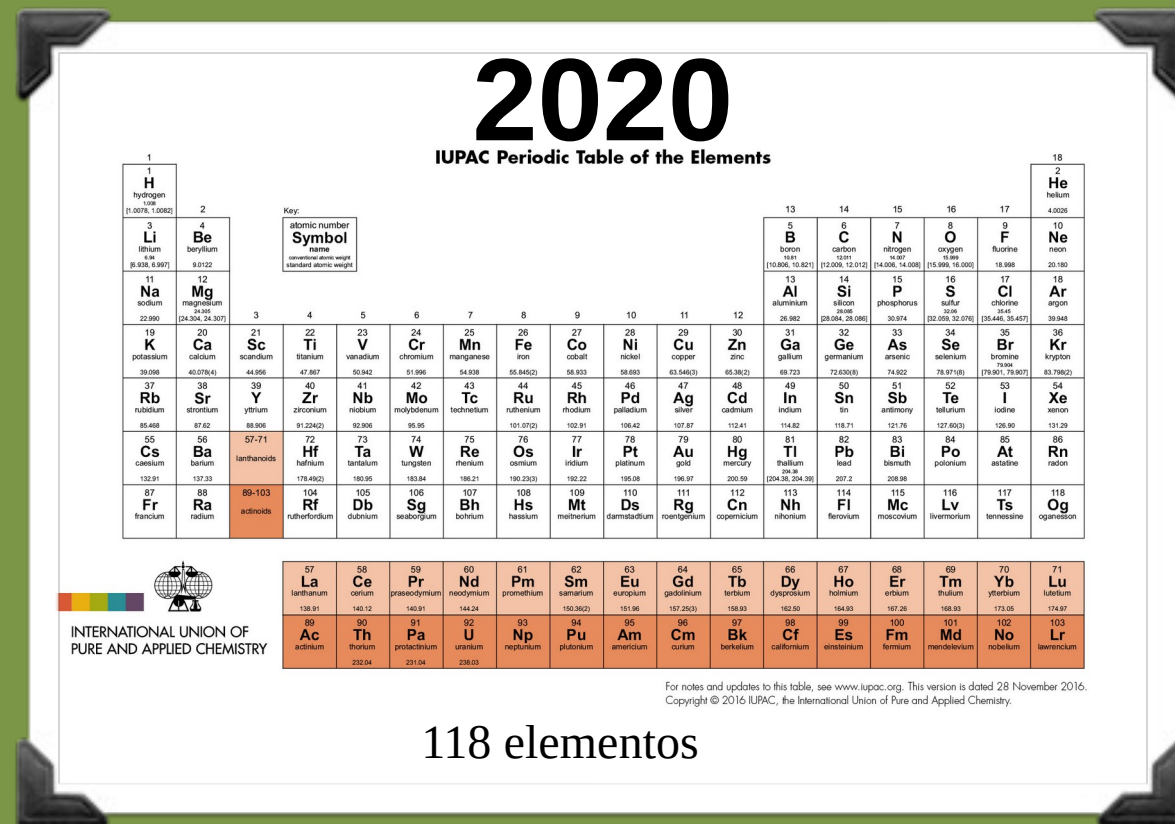


Incógnitas que plantea la existencia de los núcleos atómicos

¿Cuál es el límite de la existencia de los elementos?



63 elementos



For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

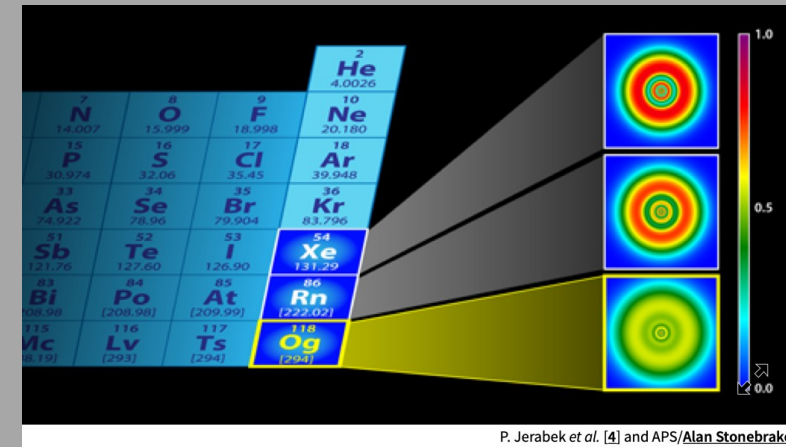
Descubrimiento de los más pesados conocidos.

Efectos relativistas

2006: Z=118 (Oganesson) en JINR en Dugna (Rusia).

Cambiando paradigmas

2010: Z=117 (Tennessine) en JINR en Dugna (Rusia) + Oak Ridge (USA)



Últimos elementos nombrados

2016: Asignación de nombres por la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)

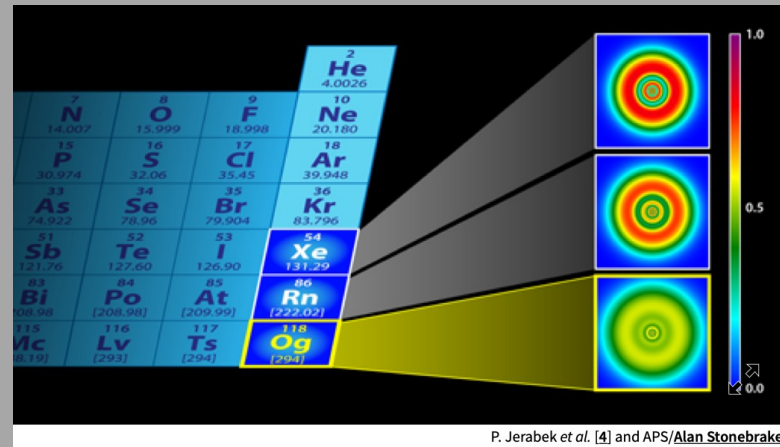
Z=113 Nihonio

Z=115 Moscovio

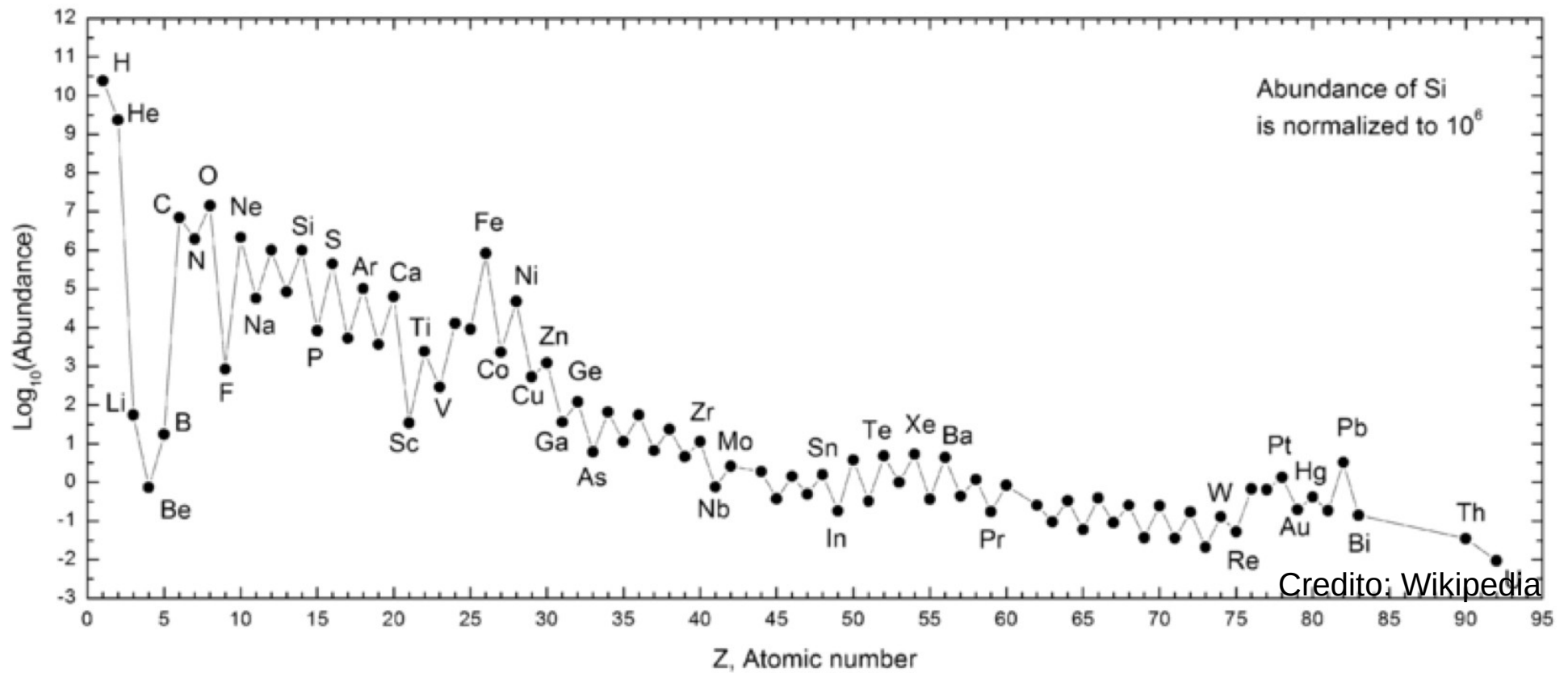
Z=117 Téneso

Z=118 Oganesón

Cambiando paradigmas



Abundancia de Elementos en el Universo



Credito: Wikipedia

Descubrimiento de los núcleos por año

1940-1950: 8

Año	Z	Nombre
1944	95	Americio (Am)
1944	96	Curio (Cm)
1949	97	Berkelio (Bk)

Año	Z	Nombre
1950	98	Californio (Cf)
1952	99	Einstenio (Es)
1953	100	Fermio (Fm)
1955	101	Mendelevio (Md)
1957	102	Nobelio (No)

Descubrimiento de los núcleos por año

1960-1970: 5

Año	Z	Nombre
1944	95	Americio (Am)
1944	96	Curio (Cm)
1949	97	Berkelio (Bk)

Año	Z	Nombre
1974	106	Seaborgio (Sg)
1976	107	Bohrio (Bh)

Año	Z	Nombre
1950	98	Californio (Cf)
1952	99	Einstenio (Es)
1953	100	Fermio (Fm)
1955	101	Mendelevio (Md)
1957	102	Nobelio (No)

Año	Z	Nombre
1961	103	Laurencio (Lr)
1964	104	Rutherfordio (Rf)
1967	105	Dubnio (Db)

Descubrimiento de los núcleos por año

1980-1990: 7

Año	Z	Nombre
1944	95	Americio (Am)
1944	96	Curio (Cm)
1949	97	Berkelio (Bk)

Año	Z	Nombre
1974	106	Seaborgio (Sg)
1976	107	Bohrio (Bh)

Año	Z	Nombre
1950	98	Californio (Cf)
1952	99	Einstenio (Es)
1953	100	Fermio (Fm)
1955	101	Mendelevio (Md)
1957	102	Nobelio (No)

Año	Z	Nombre
1982	109	Meitnerio (Mt)
1984	108	Hassio (Hs)

Año	Z	Nombre
1961	103	Laurencio (Lr)
1964	104	Rutherfordio (Rf)
1967	105	Dubnio (Db)

Año	Z	Nombre
1994	110	Darmstadtio (Ds)
1994	111	Roentgenio (Rg)
1996	112	Copernicio (Cn)
1999	114	Flerovio (Fv)
1999	116	Livermorio (Lv)

Descubrimiento de los núcleos por año

2000-2023: 4

Año	Z	Nombre
1944	95	Americio (Am)
1944	96	Curio (Cm)
1949	97	Berkelio (Bk)

Año	Z	Nombre
1974	106	Seaborgio (Sg)
1976	107	Bohrio (Bh)

Año	Z	Nombre
1950	98	Californio (Cf)
1952	99	Einstenio (Es)
1953	100	Fermio (Fm)
1955	101	Mendelevio (Md)
1957	102	Nobelio (No)

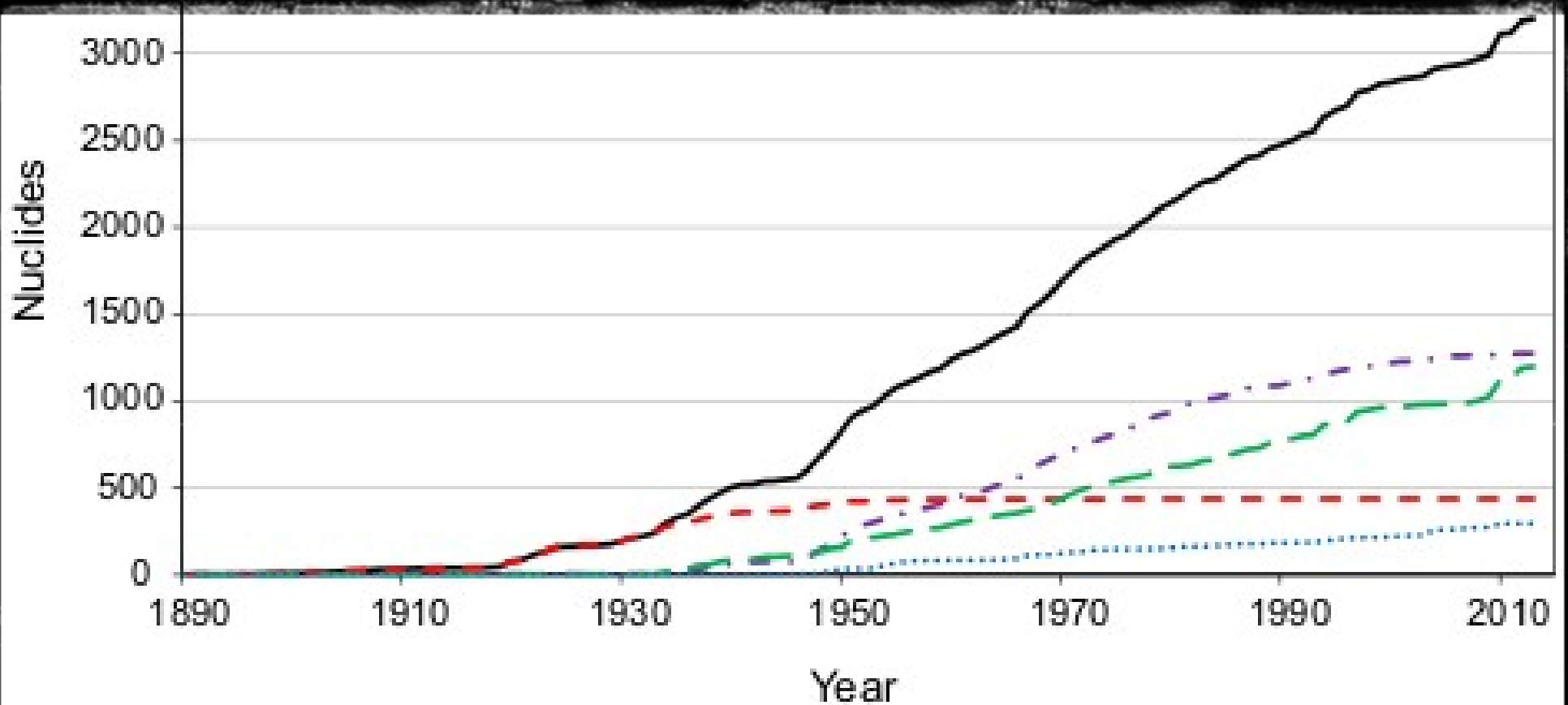
Año	Z	Nombre
1982	109	Meitnerio (Mt)
1984	108	Hassio (Hs)

Año	Z	Nombre
1994	110	Darmstadtio (Ds)
1994	111	Roentgenio (Rg)
1996	112	Copernicio (Cn)
1999	114	Flerovio (Fv)
1999	116	Livermorium (Lv)

Año	Z	Nombre
1961	103	Laurencio (Lr)
1964	104	Rutherfordio (Rf)
1967	105	Dubnio (Db)

Año	Z	Nombre
2004	113	Japonium(2016)
2004	115	Moscovium (Mc)(2016)
2006	118	Organesson (Og) (2016)
2010	117	Tennessine (Ts) (2016)

Descubrimiento de los núcleos por año

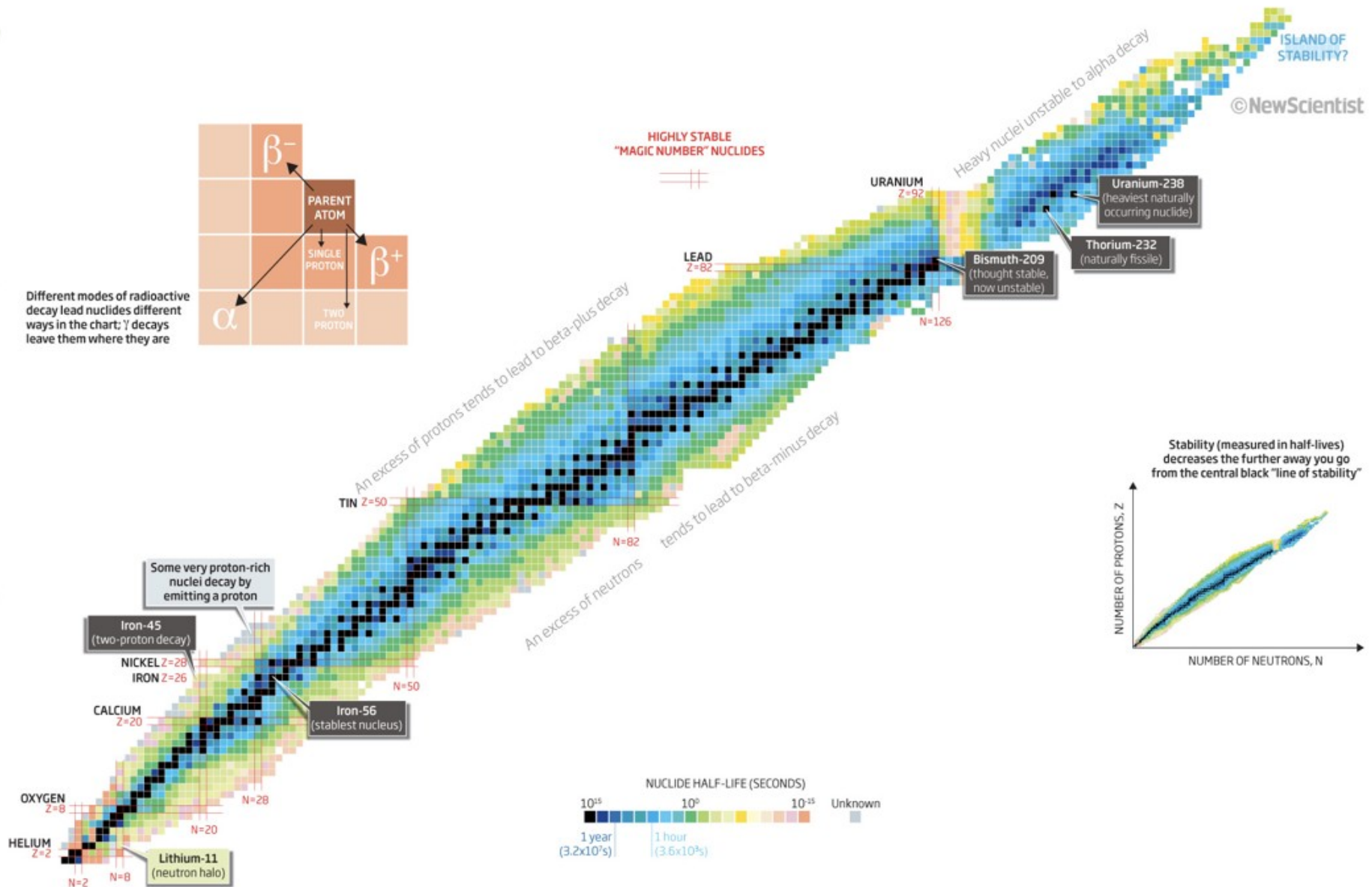


Crédito: M. Thoennessen. ArXiv:1402.1663

??Inquietudes

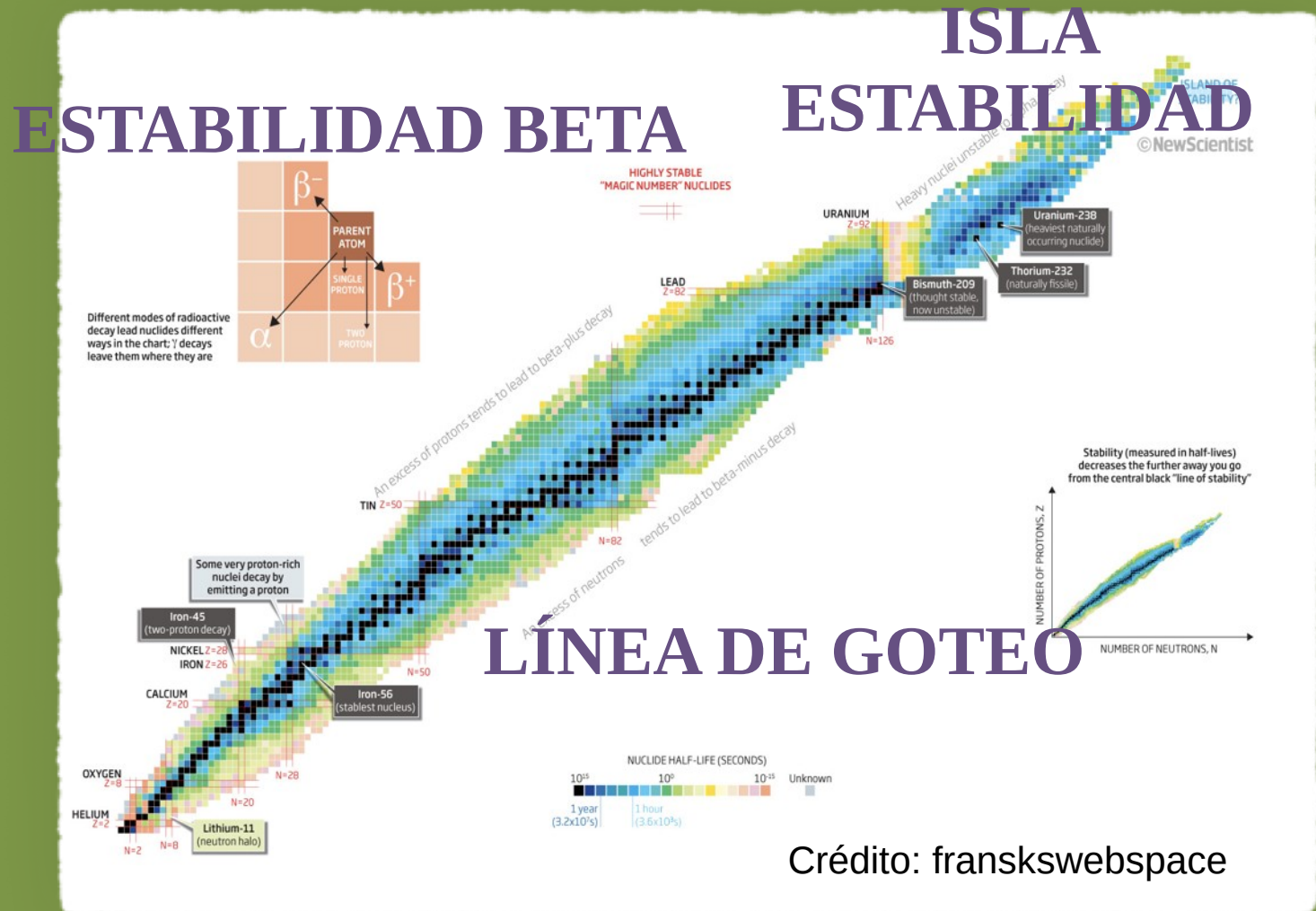
??Preguntas

Tabla de nucleidos (Segre)



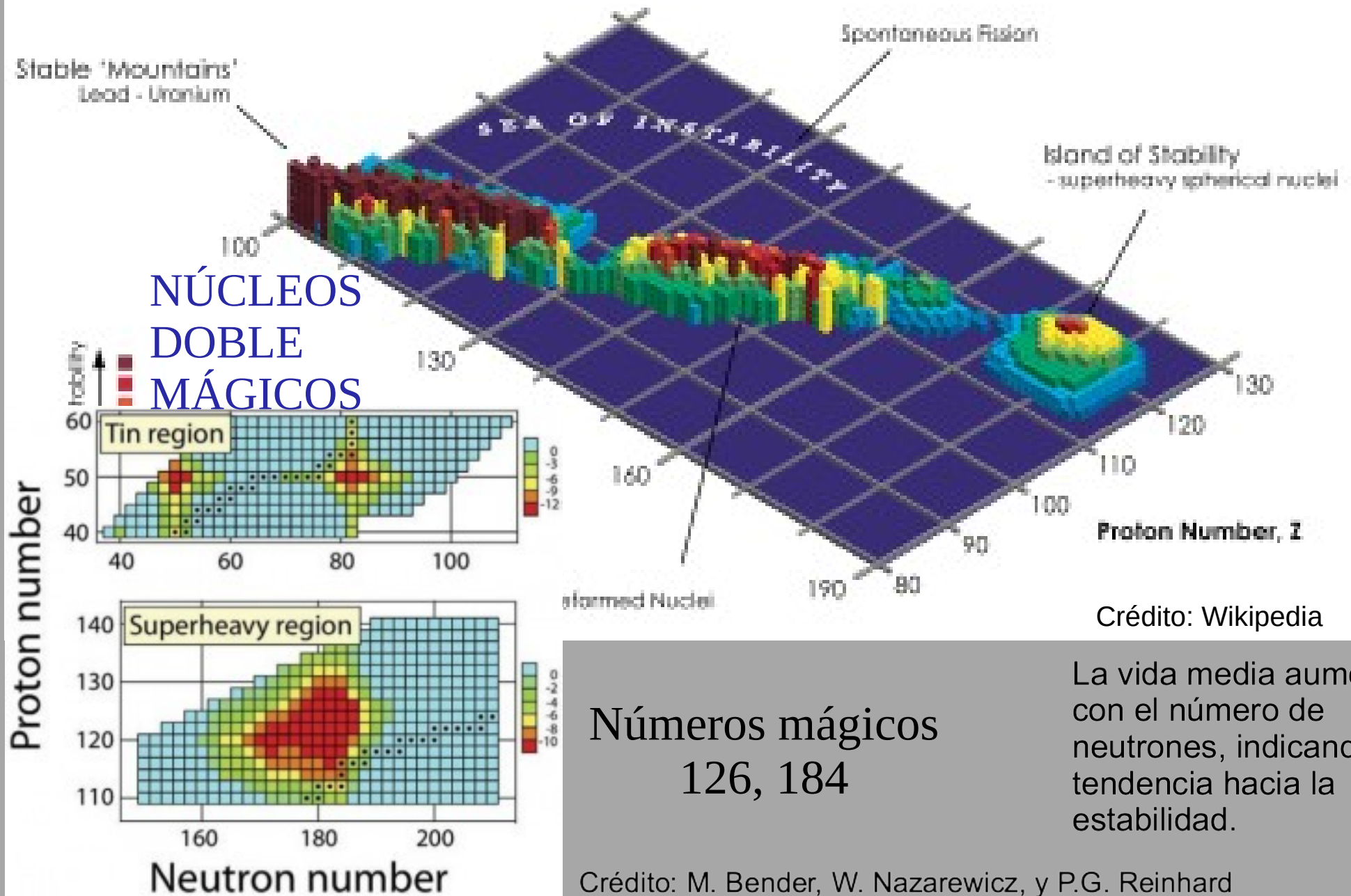
Crédito: frankswebspa

Cuál es el límite de existencia de núcleos atómicos



Algunos conceptos

Isla de estabilidad



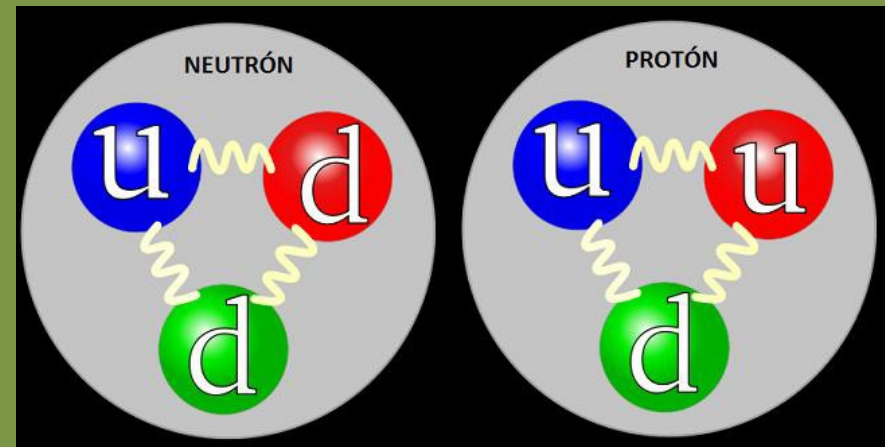
Otra preguntas que se hace la Física Nuclear:

- ¿Cuál es el origen microscópico de la fuerza entre protones y neutrones?

Algunos conceptos

Vida media del Neutrón (fuera del núcleo):
15 minutos

Vida media del Protón: 10^{35} años



Crédito: cpan

Nucleón designa en forma genérica, un protón o neutrón.

Los hadrones sienten la interacción fuerte, mientras los leptones no

Carga del Protón: +e
Carga del Neutrón: 0
Spin: 1/2

ANÉCDOTA SUPER-KAMIOKANDE

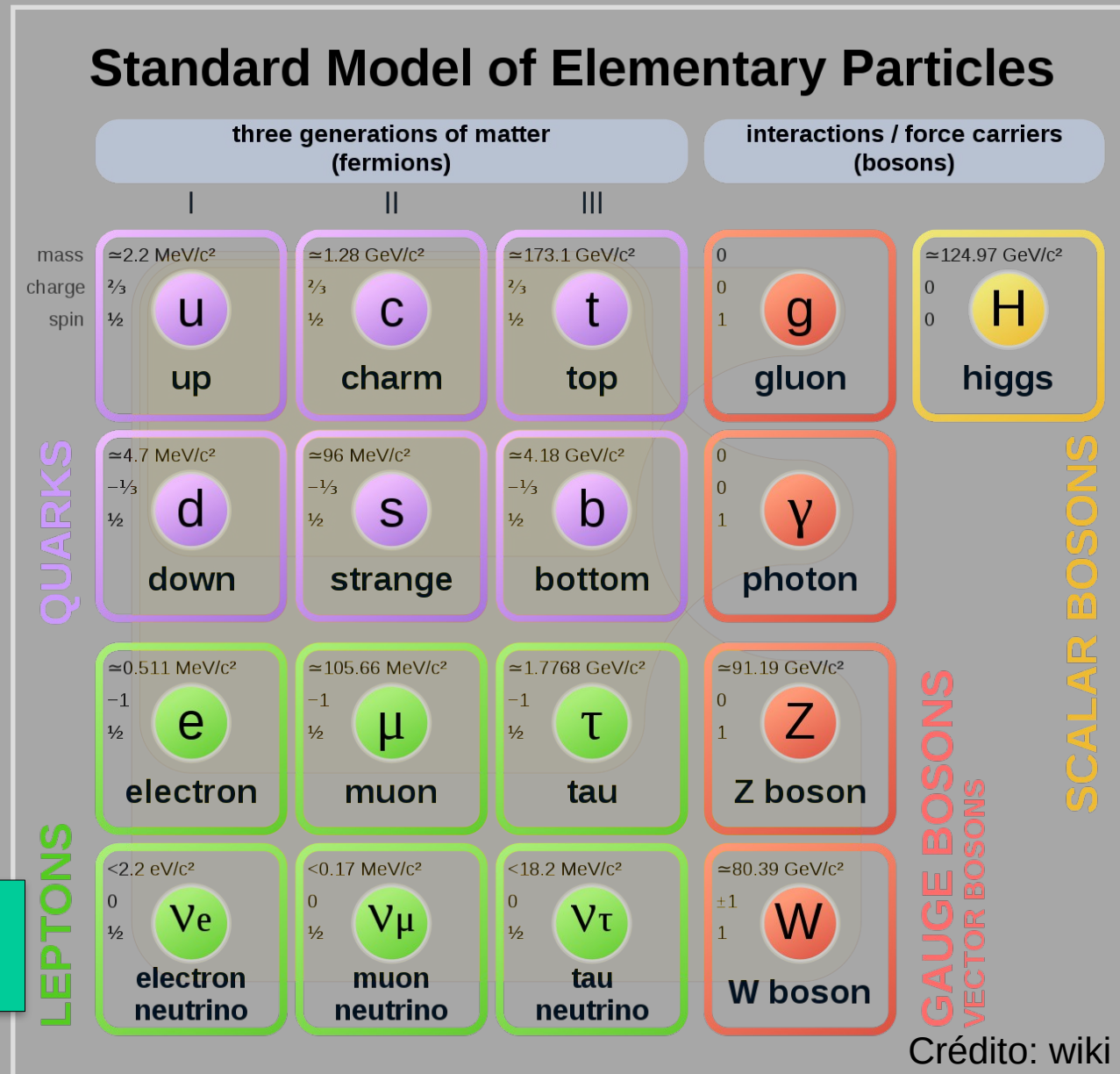
Nociones sobre el Modelo Estándar

Leptones son las partículas elementales con spin 1/2

Los nucleones están formados por la primera familia de Fermiones

Sobre la masa De los neutrinos y el modelo standard

Sobre la masa de los nucleones



Simetrías de SM: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$
(sus gages dan las tres interacciones)

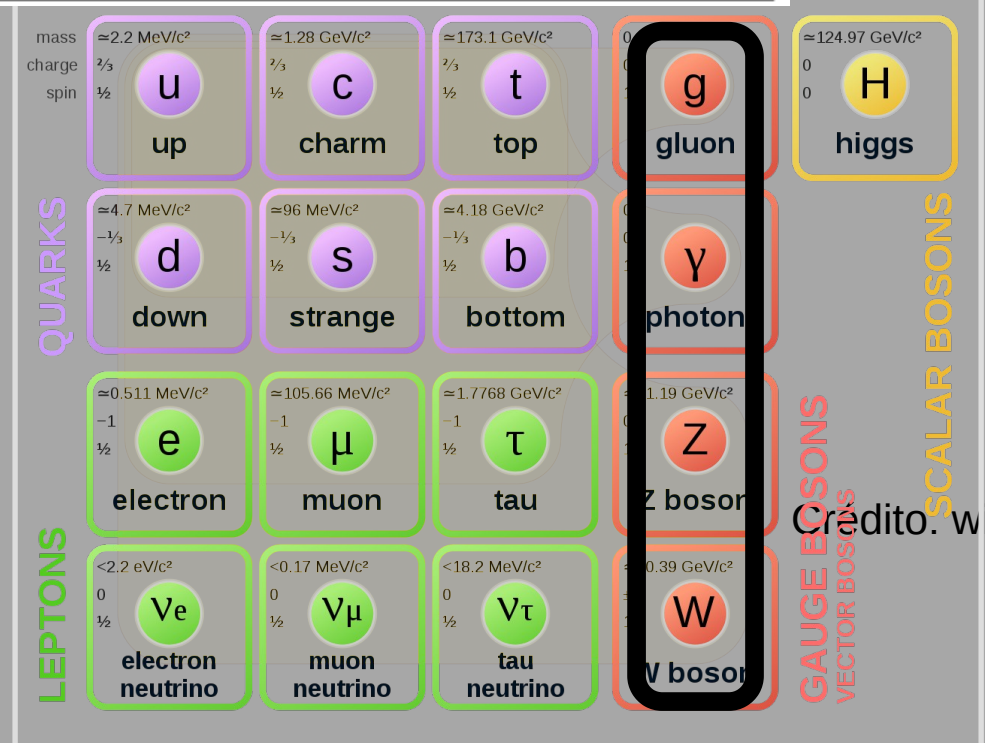
SU: special unitary group
(Lie group of unitary, $\det=1$)

Nociones sobre interacciones

Fuente: libro Basdevant

interaction	examples of reactions	exchanged particle
weak neutral current	$\nu n \rightarrow \nu n$	Z
weak charged current	$\nu n \rightarrow e^- p$	W
electromagnetic	$ep \rightarrow ep$	γ
strong	$np \rightarrow np$	π and other hadrons
chromodynamic	quark-quark scattering	gluons

Hadrones: sienten la interacción fuerte



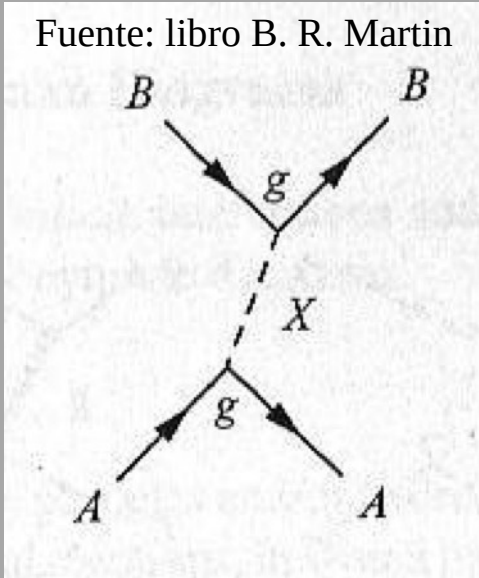
particles

force carriers (bosons)

Credito: wiki

Rango (cualitativo) de las interacciones

Fuente: libro B. R. Martin

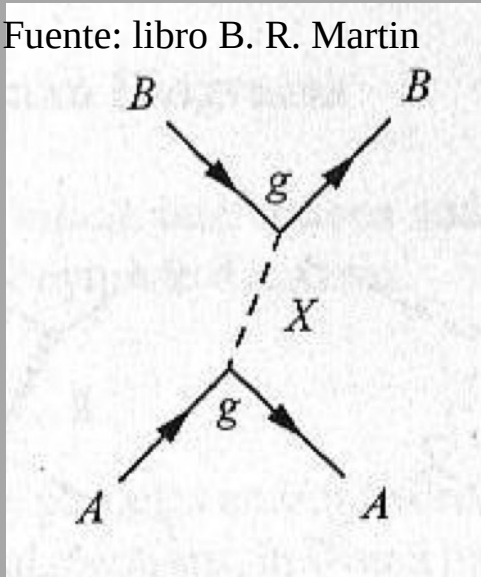


$$R = \frac{\hbar}{m_X c}$$

Interaction	Field quantum	Range (m)	Relative strength	Typical cross section (m ²)	Typical time scale (s)
Strong	Gluon	10 ⁻¹⁵	1	10 ⁻³⁰	10 ⁻²³
Weak	W [±] , Z ⁰	10 ⁻¹⁸	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴⁴	10 ⁻⁸
Electromagnetic	Photon	∞	$\alpha = \frac{1}{137}$	10 ⁻³³	10 ⁻²⁰
Gravity	Graviton	∞	10 ⁻³⁸	-	-

Rango (cuantitativo) de las interacciones

Fuente: libro B. R. Martin



$$R = \frac{\hbar}{m_X c}$$

Fuerza Electromagnética: $M_{foton} = 0 \Rightarrow R = \infty$

Fuerza Fuerte: Gluón: $g, m_{gluon} = 0 \quad R = \infty$

Fuerza Débil: Z^0, W^\pm ; con $m_{Z^0} = 90.2 \text{ GeV}/c^2$;
 $m_{W^\pm} = 80.4 \text{ GeV}/c^2$
 $R = 2 \times 10^{-3} \text{ fm}$
 Ocurre dentro del nucleón

Fuerte Nuclear 'Efectiva': $m_{\pi^0} = 134.9766 \text{ MeV}/c^2$, $R = 1 - 2 \text{ fm}$.
 $m_{\pi^\pm} = 139.57018 \text{ MeV}/c^2$ Distancia 2-3 veces el diámetro

Comparación de fuerzas características en diferentes sistemas

Fuente: libro A. deShalit and H, Feshbach

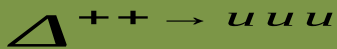
	Strength of Interaction	Range	Importance of Relativity	Characteristic Excitation Energies	Number of Particles
(1) Atoms	Weak	Long	Little	$1-10^5$ eV	1 to many
Molecules	Weak	Long	Little	$10^{-3}-10^{-1}$ eV	2 to many
Solids	Weak	Long	Little	$10^{-4}-1$ eV	very many
(2) Nuclei	Moderate	Short	Some	10^5-10^7 eV	2 to many
(3) Hadrons (partículas formadas por quarks)	Strong	Short	Great	10^7-10^9 eV	?

Algunos conceptos

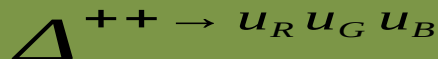
Clases de Hadrones(int. fuerte)

- **Bariones:** partículas compuestas de de tres quarks: protones y neutrones.
- **Mesones:** partículas hechas de un quark y un antiquark: piones.
- **Bariones exóticos:** formados por más de tres quarks.

Violación del principio de exclusión??!!

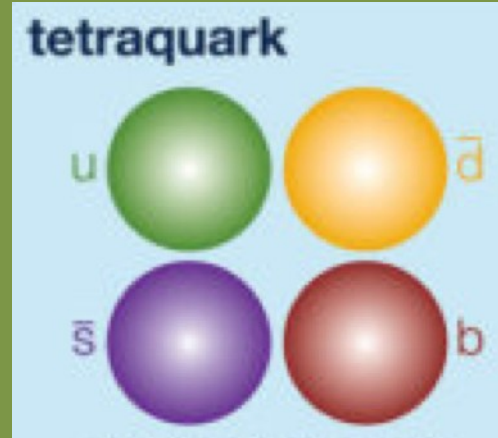


Sobre el color de los nucleones



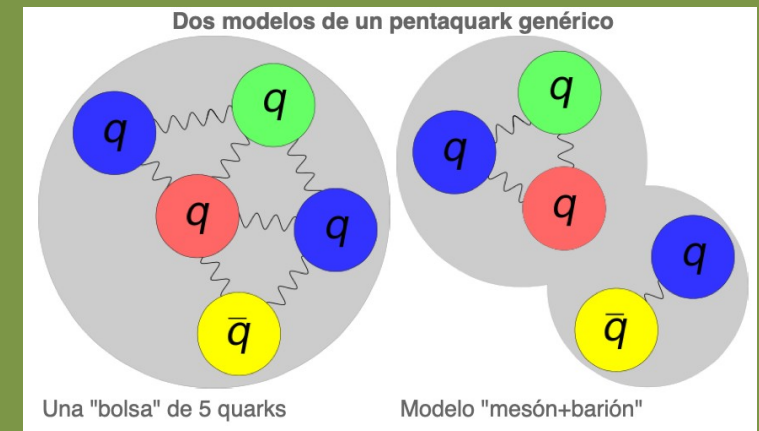
Cuál es la regla de selección?

Fuente: wikipedia



Bariones exóticos

Pentaquark



Fuente: wikipedia

??Inquietudes

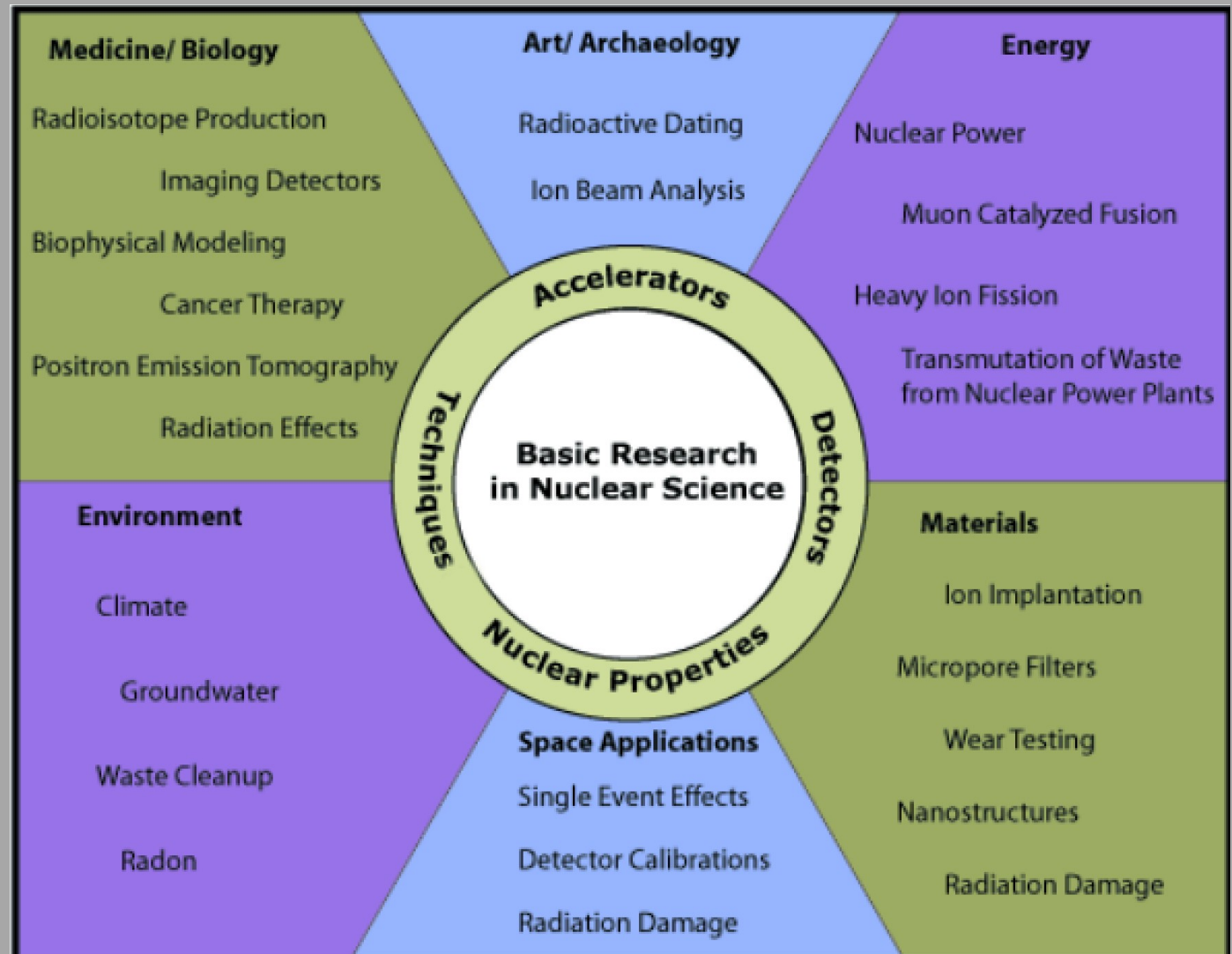
??Preguntas

Más preguntas que se hace la Física Nuclear:

- ¿Existe materia nuclear en el cual los quarks están libres? (Interior de estrellas neutrones???)
- ¿Qué papel juega las reacciones nucleares en la evolución de las supernovas, las estrellas de neutrones y las uniones de estrellas?

Otra:

- ¿Cómo puede beneficiar a la sociedad del conocimiento de las propiedades de los núcleos? (Medicina, metalurgia, energía, datación, preservación de alimentos...)



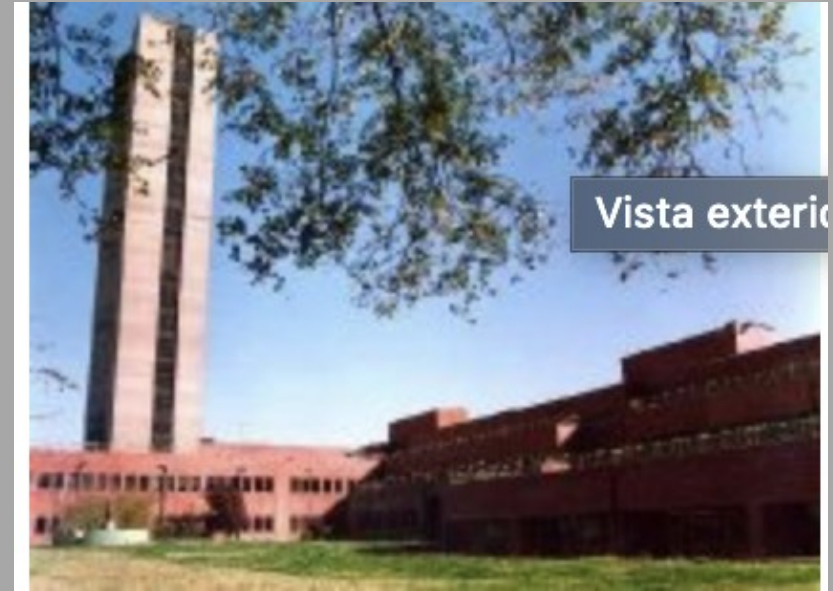
Crédito: A Teacher Guide To The Nuclear Science

Tecnología Nuclear en Argentina



Reactor
multipropósito
RA10

Laboratorio
Argentino de
haces de
neutrones



Vista exterior

Tandar 20Mv



Centro Arg. de Protonterapia

Reactores de investigación

RA-1

RA-3

RA-6

RA-0

RA-4



Tecnología Nuclear en Argentina



Reactor
multipropósito
RA10



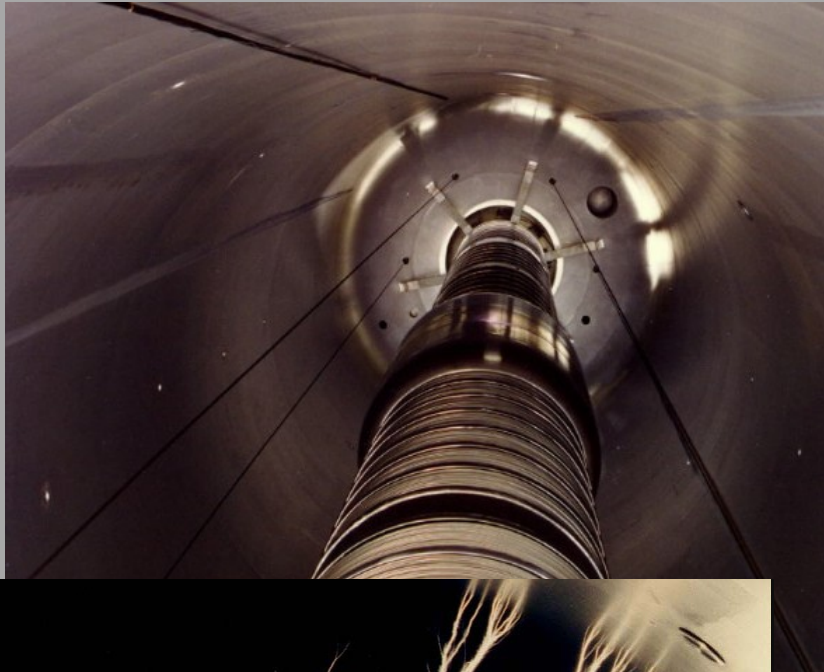
Tecnología Nuclear en Argentina



Laboratorio
Argentino de
haces de
neutrones



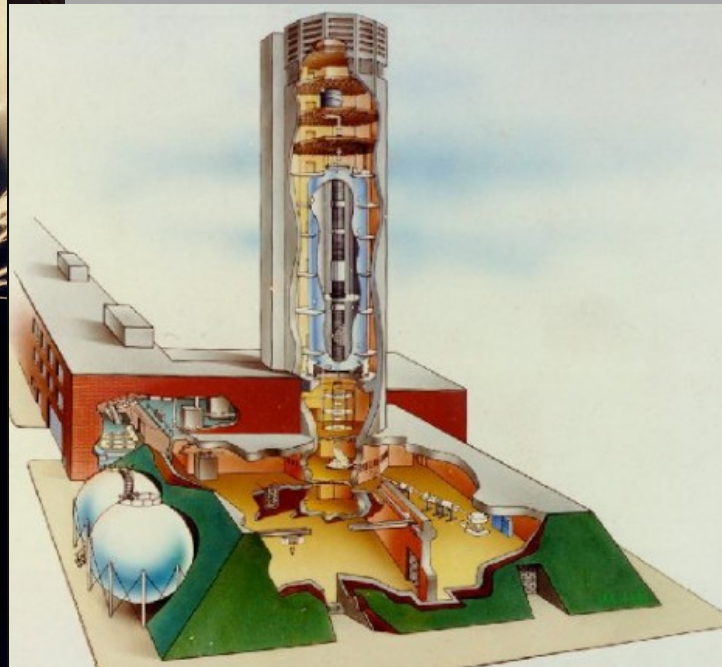
Tecnología Nuclear en Argentina



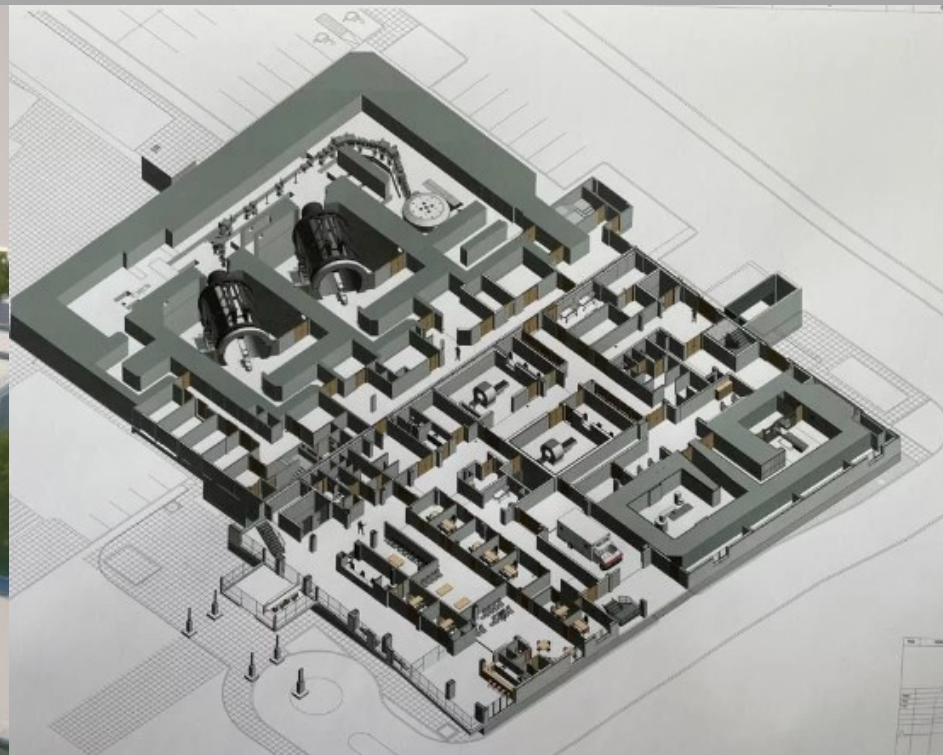
Tandar 20Mv



Vista exterior



Tecnología Nuclear en Argentina



Centro Arg. de Protonterapia



Tecnología Nuclear en Argentina



RA3 - Radioisótopos

CONSTITUYENTES

EZEIZA



EZEIZA

BARILOCHE

CÓRDOBA

ROSARIO

Reactores de investigación

RA-1 1958 40 kW

RA-3 1967 10 MW

RA-6 1982 3 MW

RA-0 1Watt

RA-4 1972 1Watt



Tecnología Nuclear en Argentina

Irradiación gamma

Planta de Irradiación Semi Industrial

Esterilización y descontaminación gamma

Preservación de bienes culturales por irradiación

Irradiación de alimentos

Mejoramiento de los polímeros

Estudios de biocompatibilidad

Técnica del Insecto Estéril

Aplicaciones agroalimentarias

argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear



Instituto de datación y arqueometría (Jujuy)

indya.conicet.gov.ar



Esterilización de mosquitos



Instituto de Oncología Ángel Roffo



Centro de Medicina Nuclear y Radioterapia de la Patagonia Austral

Centros de medicina nuclear

<https://www.argentina.gob.ar/cnea/tecnologia-nuclear-para-la-salud/centros-de-medicina-nuclear>



Servicio de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas Gral. San Martín



Centro de Medicina Nuclear de Entre Ríos



Instituto de Tecnologías Nucleares para la Salud

Tecnología Nuclear en Argentina

Espectró
metro de
masas

InDyA

Instituto de Datación y Arqueometría (CONICET - Provincia de Jujuy - UNT - UNJu)

Unidad Ejecutora



??Inquietudes

??Preguntas

Algunos hitos históricos de Física Nuclear

Algo de Historia

- **1896:** Antoine Henri **Becquerel** descubre la radioactividad en la sales de Uranio.
- **1897:** Ernest **Rutherford** demuestra que el Uranio decae en partículas alfa y beta.
- **1898:** Marie Sklodowska **Curie** y Pierre Curie aíslan el Polonio y el Uranio.
- **1900:** Max Carl Ernst Ludwig **Planck** desarrolla la teoría de cuantización.
- **1900:** Paul **Villiard** descubre los rayos gamma.

Algo de Historia

- **1911:** Ernest **Rutherford** desarrolla el modelo atómico con el núcleo en el centro.
- **1912:** Hans **Geiger** desarrolla una ley empírica que relaciona la constante de desintegración de un núcleo con la energía de la partícula alfa emitida.
- **1913:** Niels Henrik David **Bohr** desarrolla su teoría del átomo.

Algo de Historia

- **1919:** Ernest **Rutherford** produce la primera transmutación de laboratorio (Nitrógeno + Alfa → Hidrógeno + Oxígeno).
- **1925:** Wolfgang **Pauli** introduce el principio de exclusión.
- **1928:** George **Gamow** explica teóricamente el decaimiento alpha (Geiger 1912).
- **1931:** Harold **Urey** descubre el deuterio (antes que el neutrón).
- **1931:** Robert Jemison **Van De Graaff** inventa su acelerador de partículas para la investigación en física nuclear.

Algo de Historia

- **1931:** Wolfgang **Pauli** introduce la idea del neutrino en el decaimiento beta.
- **1931:** Ernest Orlando **Lawrence** & Miton Stanley Livingston construyen el primer ciclotrón.
- **1932:** James **Chadwick** descubre el neutrón.
- **1934:** Enrico **Fermi** desarrolla la teoría del decaimiento beta (neutrino 1931).
- **1935:** Hidek **Yukawa** desarrolla la teoría de la fuerza nuclear por intercambio de partículas (pión).

Algo de Historia

- **1937:** Niels **Bohr** desarrolla la teoría nuclear de la gota líquida (modelo colectivo-fisión).
- **1942:** Enrico **Fermi** et al. construyen el primer reactor nuclear (proyecto Manhattan).
- **1945:** 16 de Julio explosión 1ra bomba nuclear.
- ~**1946:** Mario **Báncora** (Rosario) construyó el primer ciclotrón latinoamericano de 35 cm (proyecto Richter)
- **1948:** H. **Bethe** & G. **Gamow** explican la nucleosíntesis del Big Bang (anécdota).

Algo de Historia

- **1948:** A. H. **Snell** & L. C. **Miller** descubren el decaimiento del neutrón.
- **1949:** **Mayer & Jensen** desarrollan el modelo de capas nuclear (anécdota Feynman).
- **1952:** **Teller** desarrolla la bomba de hidrógeno.
- **1964:** Murray **Gell-Mann** & Georege **Zweig** introducen los quarks.
- **1972:** Harald **Fritsch** & M. **Gellmann** introducen la Cromodinámica Cuántica.

Algo de Historia

- **1977:** L. M. **Lederman** descubre el quark bottom en el Fermilab (teoría 1964)
- **1985:** Construcción acelerador Tandar, Bs. As. De 20MV (Oak Ridge 25 MV)
- **1996:** Descubrimiento (Japón) del primer núcleo exótico **^{11}Li** .
- **2015:** Descubrimiento del pentaquark en el LHC ($4q+1aq$)

Algo de Historia

- **2106:** Descubrimiento del tetraquark en el Fermilab ($2q+2aq$)
- **2018:** Confirmación producción núcleos pesados en unión estrellas neutrones - mucho oro ;)

??Inquietudes

??Preguntas

**Laboratorios actuales
dedicados al estudio de
núcleos atómicos**

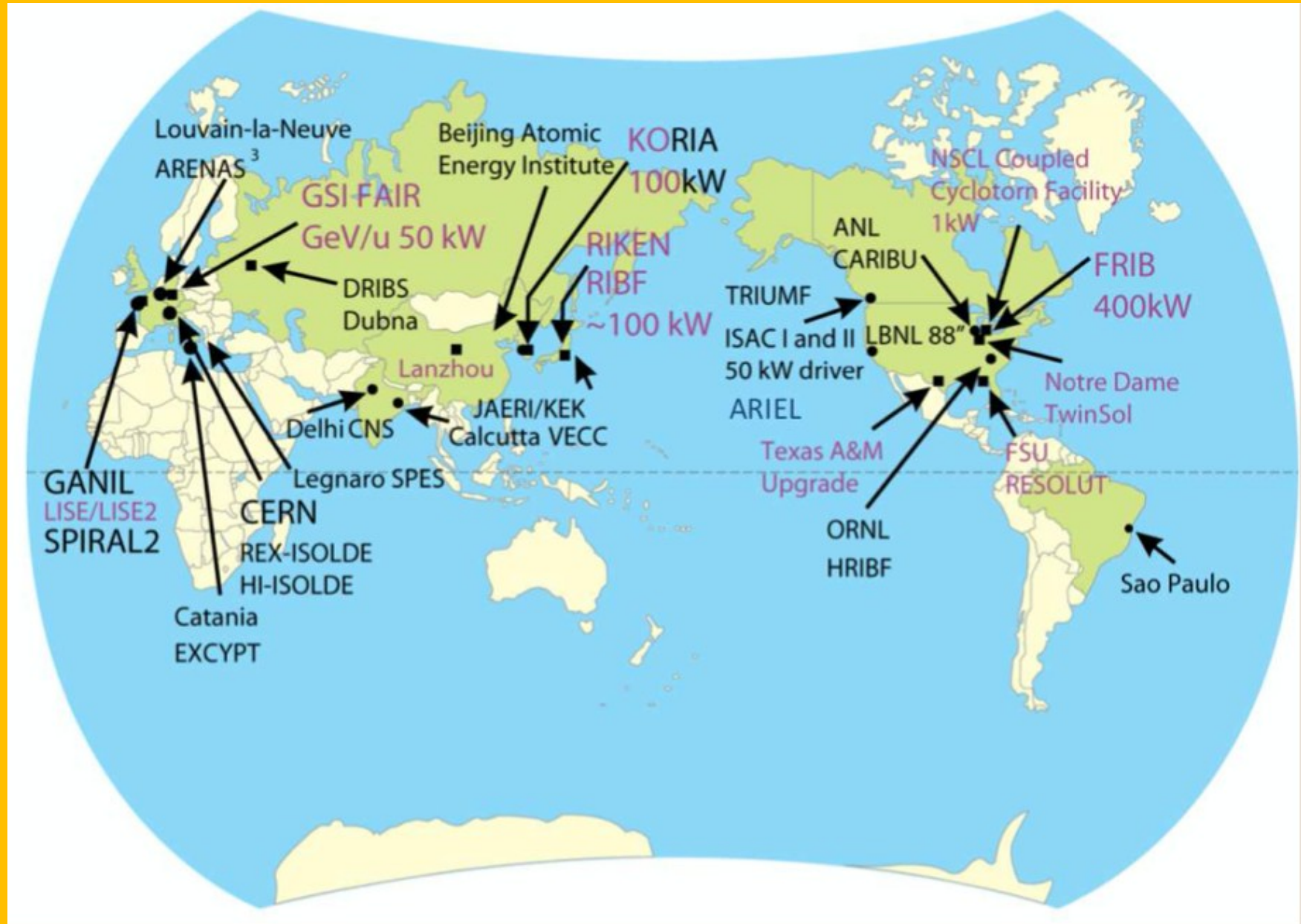
Laboratorios de haces radioactivos

- **JINR** (RUSIA-Dubna): Joint Institute for Nuclear Research.
- **ATLAS** (USA-Argonne): Argonne Tandem Linac Accelerator Systems.
- **NSCL/FRIB** (USA-Michigan): National Superconducting Cyclotron Laboratory/Facility for Rare Isotopes Beams.
- **RIBF-RIKEN** (JAPON-Wako): Radioisotope Bean Factory.

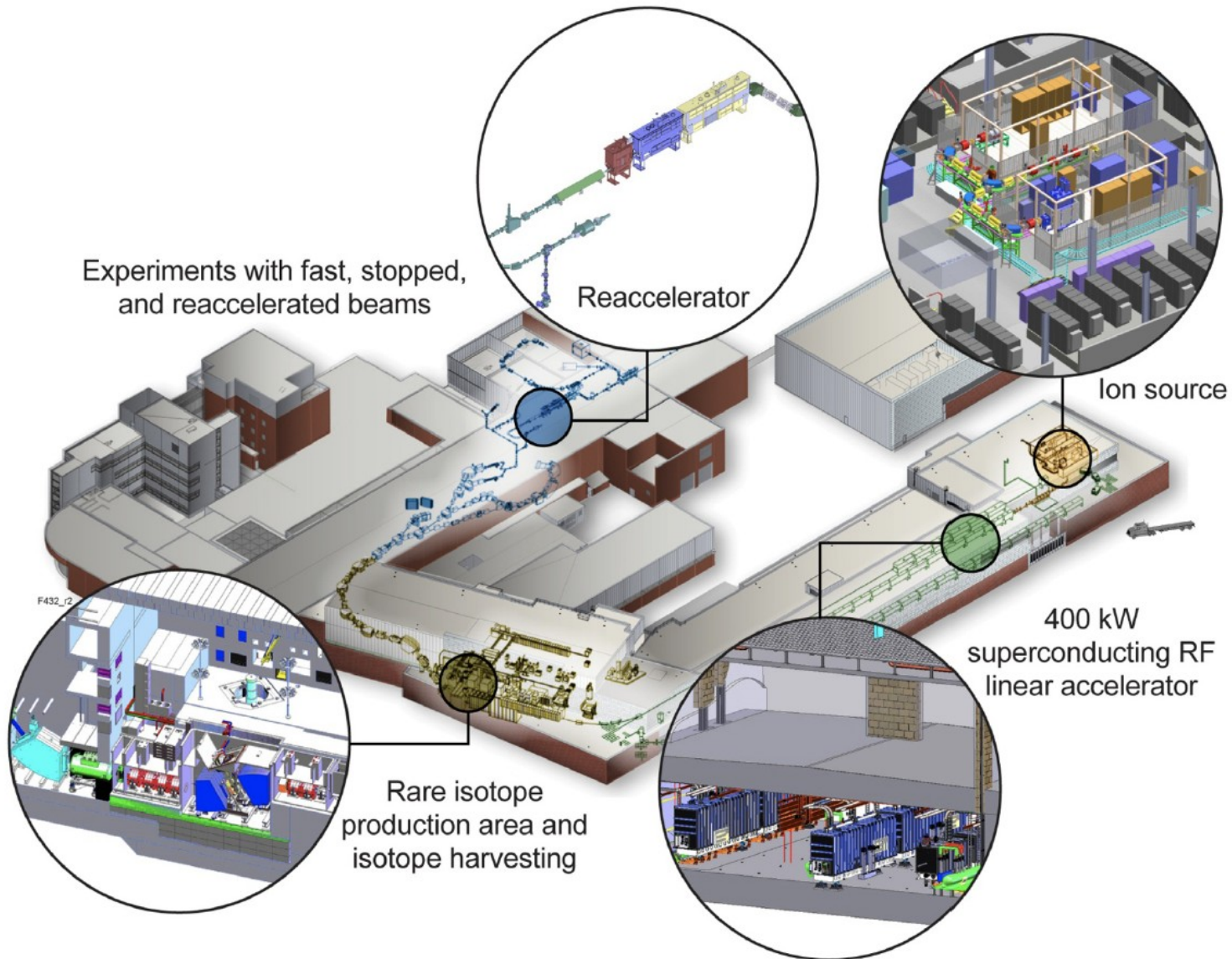
Laboratorios de haces radioactivos

- **FAIR-GSI** (ALEMANIA-Darmstadt): Facility for Antiproton and Ion Research.
- **SPIRAL2-GANIL** (FRANCIA): System for Producing Online Accelerated Radioactive Ions.
- **ISAC-TRIUMF** (CANADA-Vancouver)
- **RIBLL** (CHINA-Lanzhou): Radioactive Ion Beam Line.

Laboratorios de haces radioactivos

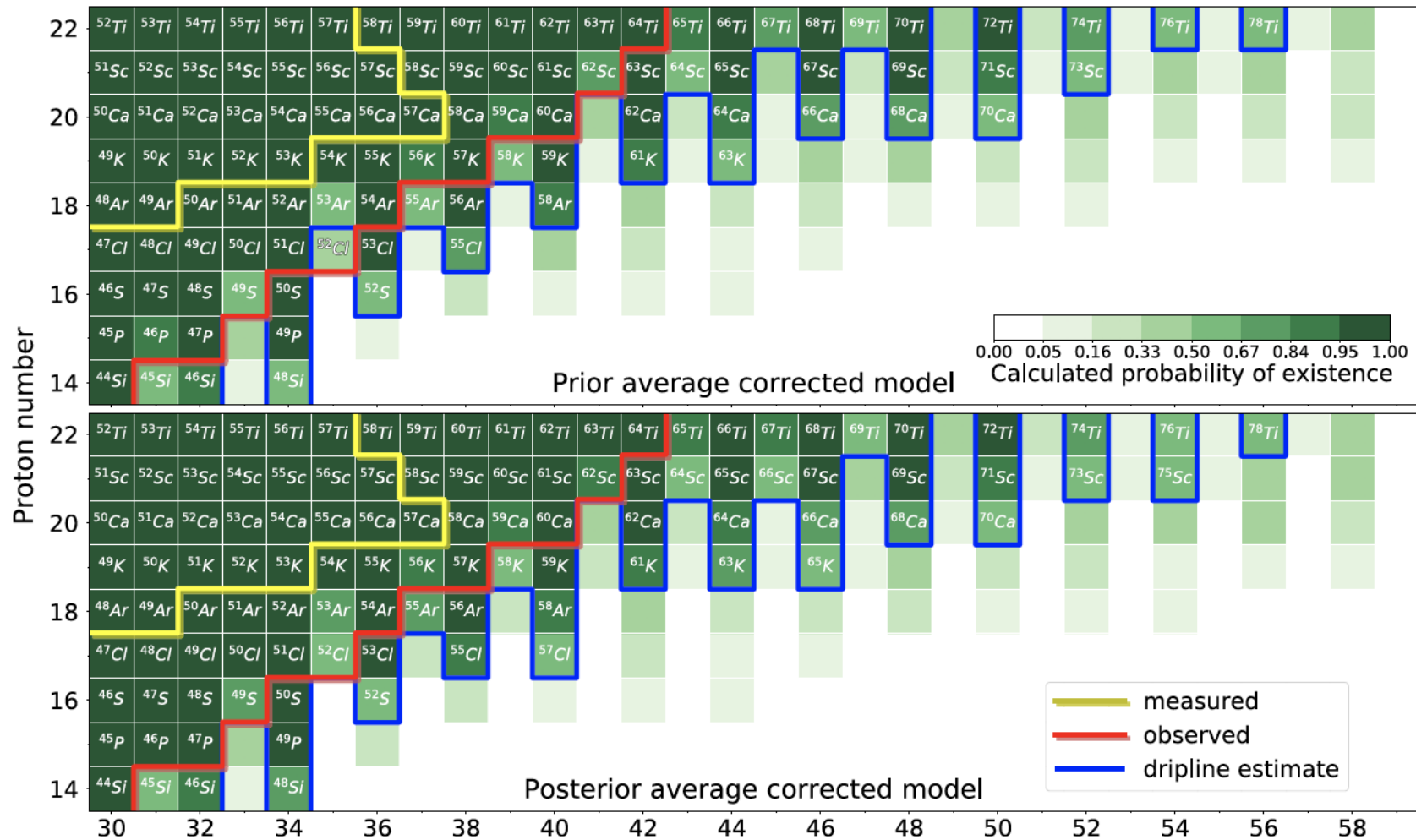


Ejemplo: FRIB (Michigan)



Ejemplo: límite de estabilidad

PHYSICAL REVIEW LETTERS 122, 062502 (2019)



Ejemplo: interacción nuclear por dispersión de electrones

Nature 578, 540 (2020). A. Schmidt, et al.

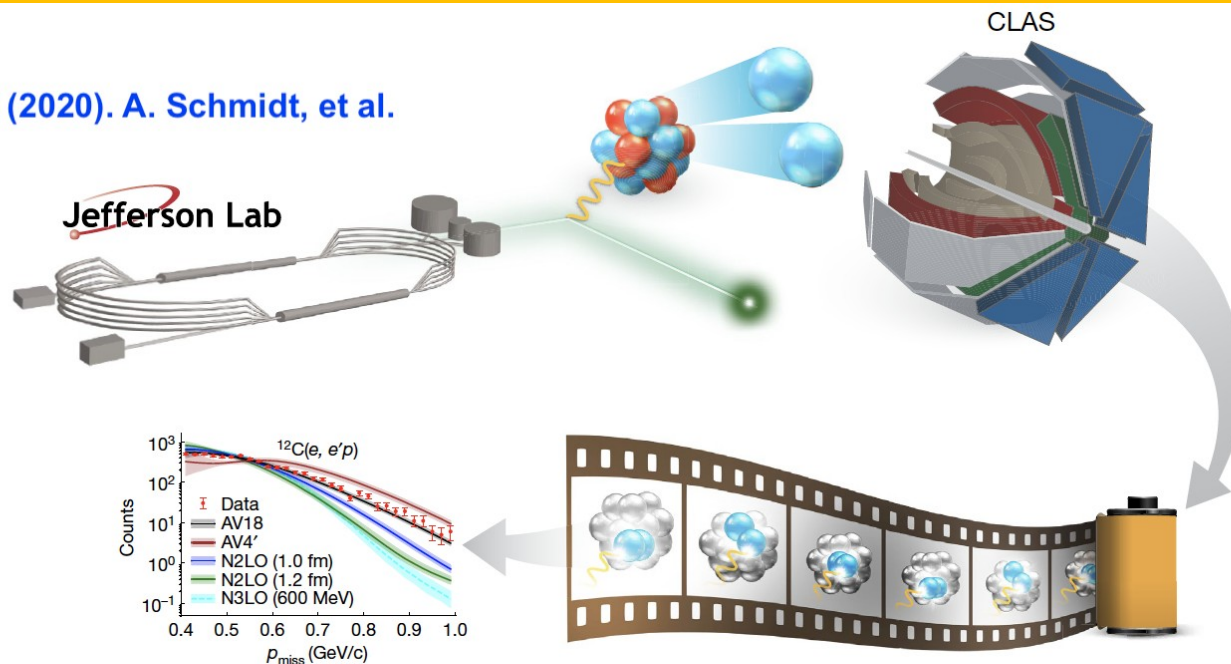
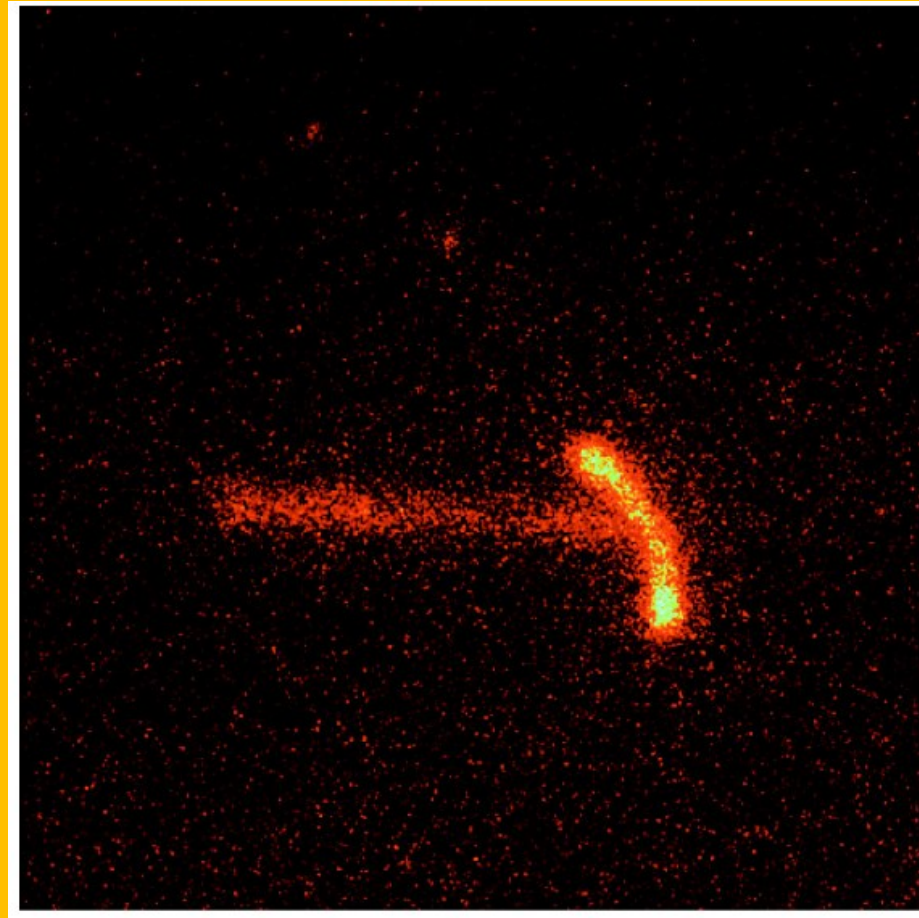


Fig. 1 | Using electron scattering measurements to test the nuclear interaction. 5-GeV electrons from the Jefferson Lab accelerator (top left) impinge on nuclei and break apart SRC nucleon pairs (top middle). The CLAS spectrometer (top right) is used to detect the scattered electrons (green spheres) and knockout protons (blue spheres), which enables the

reconstruction of their initial state inside the nucleus. By combining many such observations, the distribution of such pairs inside the nucleus is assembled and compared to theoretical calculations using different models of the strong nuclear interaction. Bottom left, representative data reproduced from Extended Data Fig. 8.

Ejemplo: observación directa del decaimiento exótico dos protones



(últimas)

?? **Inquietudes**

?? **Preguntas**

Fin