JOINT QUANTUM INSTITUTE

PHYSICS FRONTIER CENTER

El francio depués de 80 años.

Luis A. Orozco
Instituto de Física, UNAM, Ciudad de México
Marzo 2019.
www.jqi.umd.edu

UNIVERSITY OF MARYLAND 18 56

NIST

Muchas Felicidades.

United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

Agradecimiento:

Por las discusiones sobre fuerza débil a:

John Behr
Betsy Beise
Victor Flambaum
Eduardo Gómez
Gerald Gwinner

Esta presentación está en:

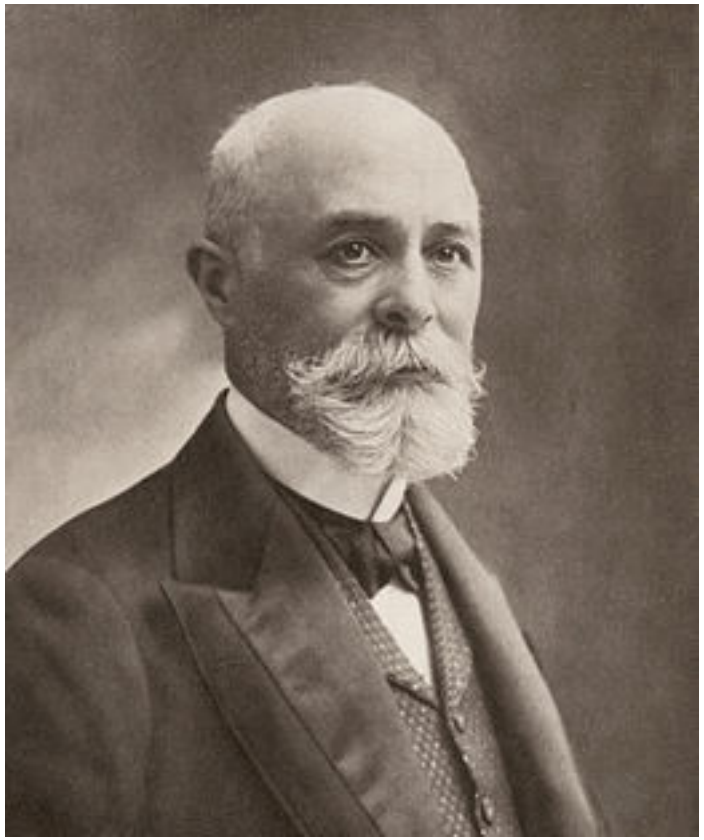
http://www.physics.umd.edu/rgroups/amo/orozco/results/2019/Results19.htm

FrPNC Colaboración (Invierno 2018-2019)

Seth Aubin; College of William and Mary, USA.
John A. Behr, Matt R. Pearson, Alexander Gorolov, Mukut R. Kalita; TRIUMF, Canada.
Victor V. Flambaum; University of New South Wales, Australia.
Eduardo Gómez; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
Gerald Gwinner SPOEKESPERSON Tim Hucko, Michael Kossin, ; University of Manitoba, Canada.
Luis A. Orozco; University of Maryland, USA.
Yanting Zhao; Shanxi University, Taiyuan, China.

Trabajo apoyado por NRC, TRIUMF, y NSERC de Canada, DOE, y NSF de EEUU, y CONACYT de México.

Radioactividad: ¡Algo probabilistico en la naturaleza!



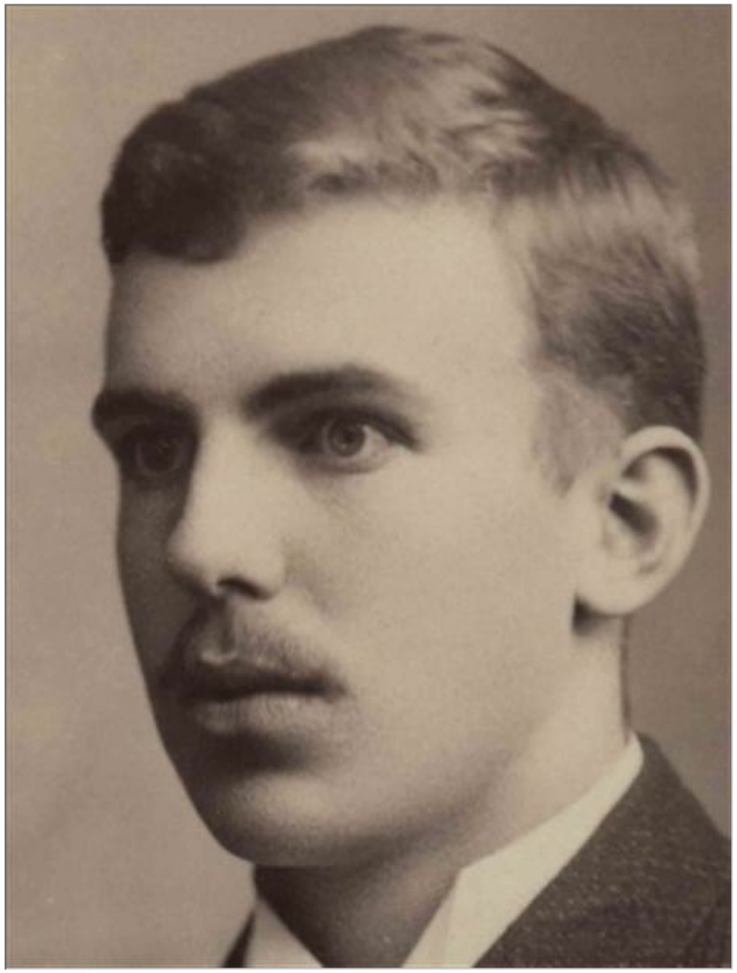
Henry Becquerel

27 de Febrero del 1896

Pierre Curie

Marie Curie

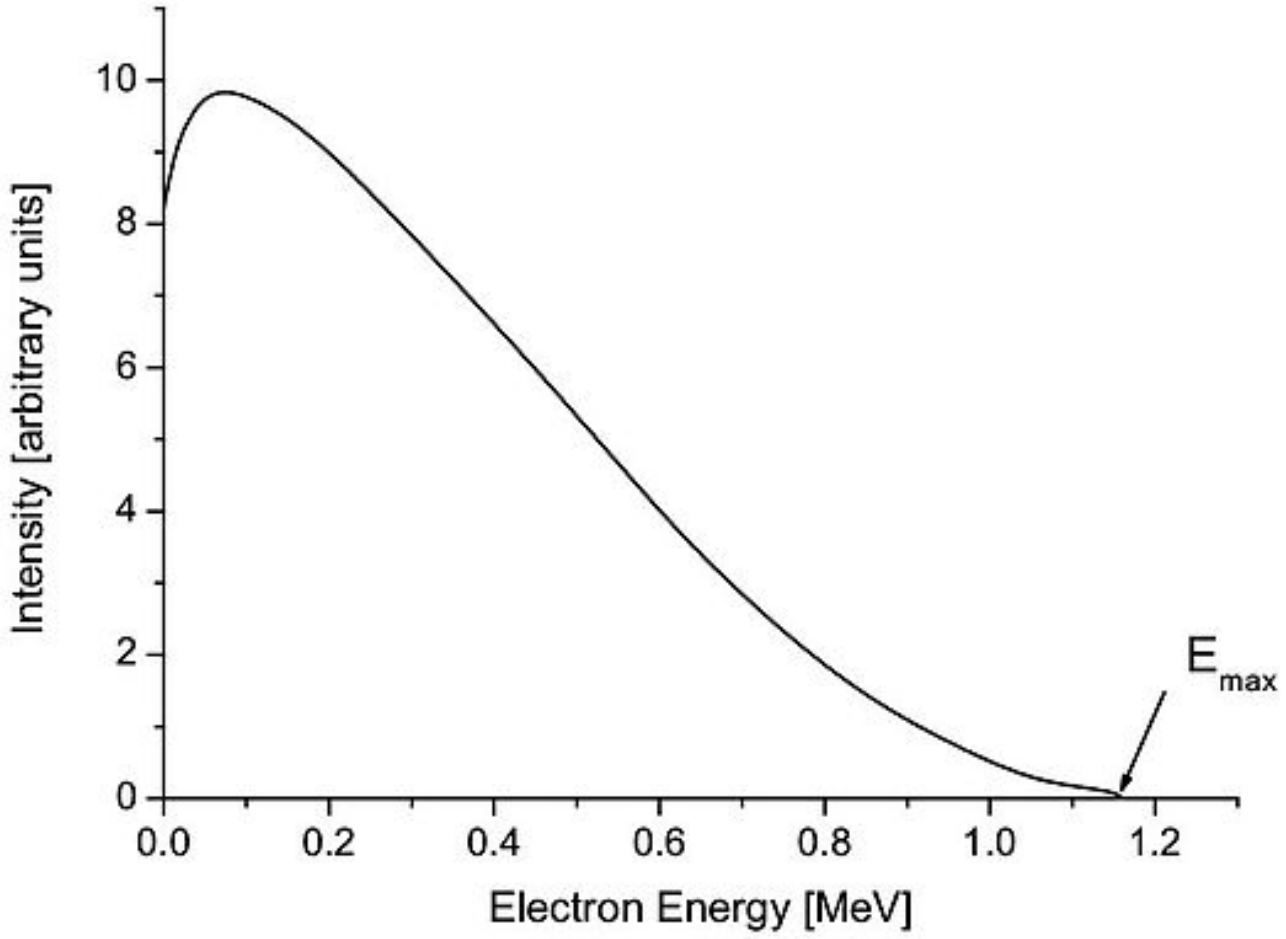
Rutherford descubre dos tipos de rayos (α, β) como parte de sus investigaciones en radioactividad



Ernest Rutherford

Decaimiento Beta:

Lise Meitner y Otto Hann (1911), Jean Danysz (1913) y James Chadwick (1914) miden el espectro y muestra un continuo de energías del electrón.

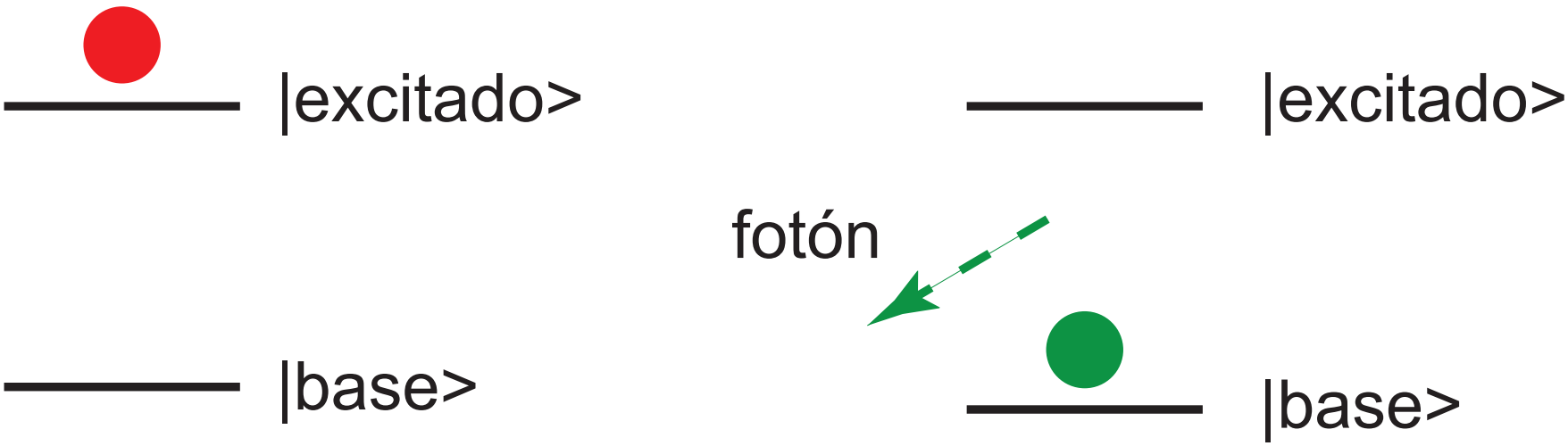


^{210}Bi

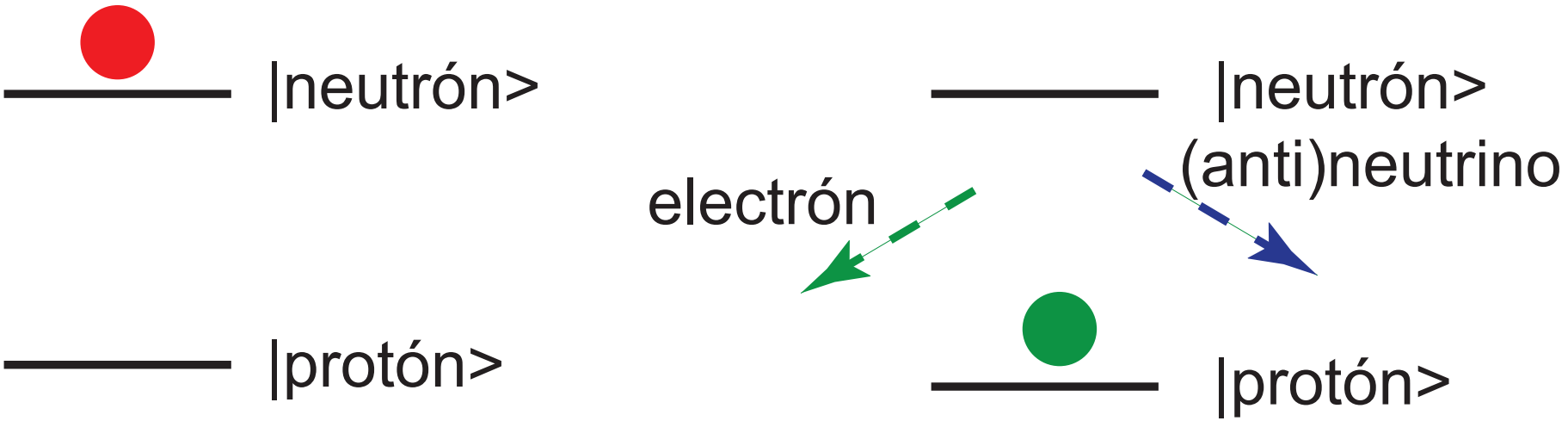
Teoría del decaimiento beta por Enrico Fermi en 1934, trata el proceso como si fuese emisión espontánea

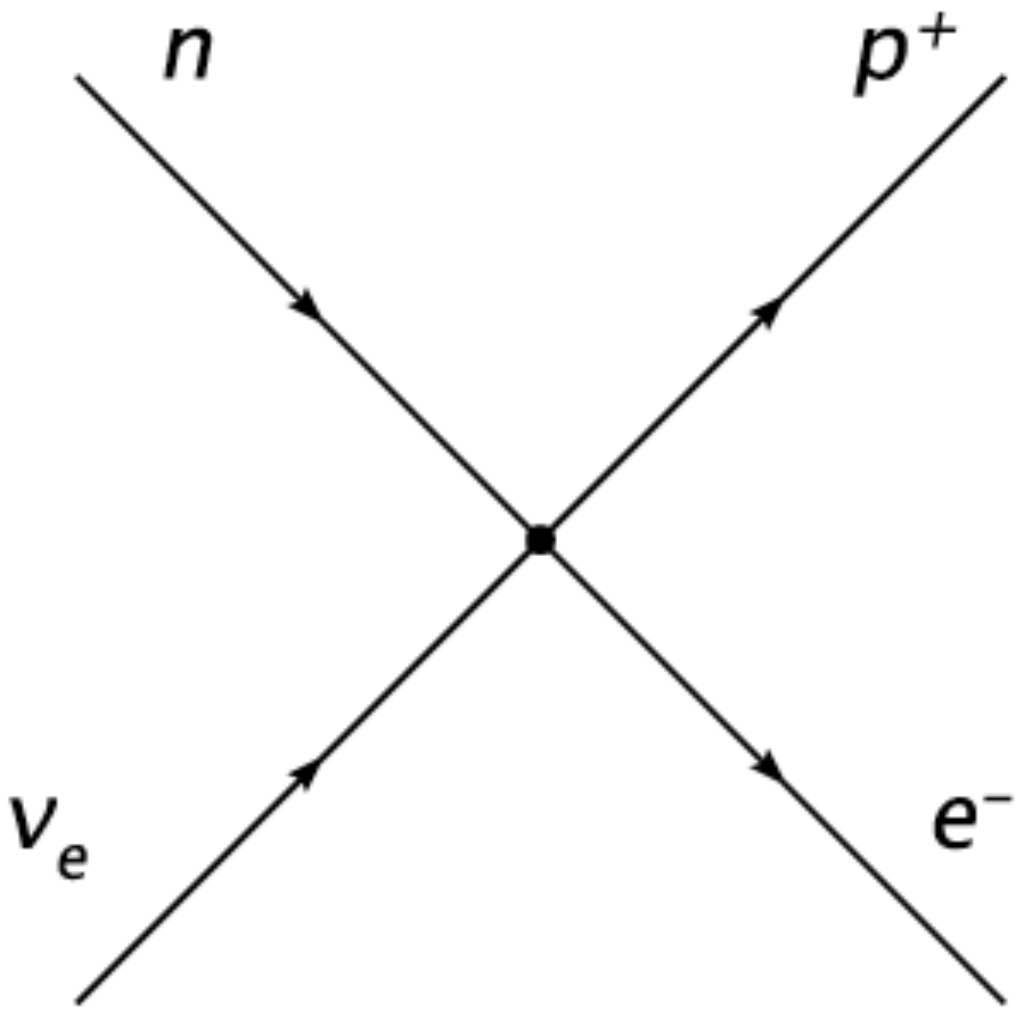
Enrico Fermi

Emisión espontánea



Decaimiento beta





Interacción de cuatro puntos de Fermi con dos corrientes, una leptónica y una bariónica

La interacción débil comienza a ser entendida:

- La interacción es muy pequeña, la vida media es muy larga.
- Es una fuerza que cambia el “sabor” de partículas; por ejemplo un neutrón se convierte en un protón.
- Hay otras partículas parecidas a electrón: el muón y el tau con sus correspondientes neutrinos.
- El decaimiento beta no solo se da en núcleos sino tambien con piones donde se producen muones.
- El valor de la interacción parece ser la misma en decaimiento de nucleos como en decaimiento de piones (universalidad)

Hans Bethe logra entender el incio del ciclo solar:

- ¿Por qué ha durado tanto tiempo el sol y no se apaga?

- El sol fusiona átomos de Hidrógeno para convertirlos en Helio. Pero el Helio tiene dos neutrones. ¿De dónde vienen los neutrones?

- La fuerza débil puede cambiar un protón en un neutrón.

$$p+p \rightarrow d+e^{+}+\nu_e \qquad d=pn$$

Una sorpresa en 1956

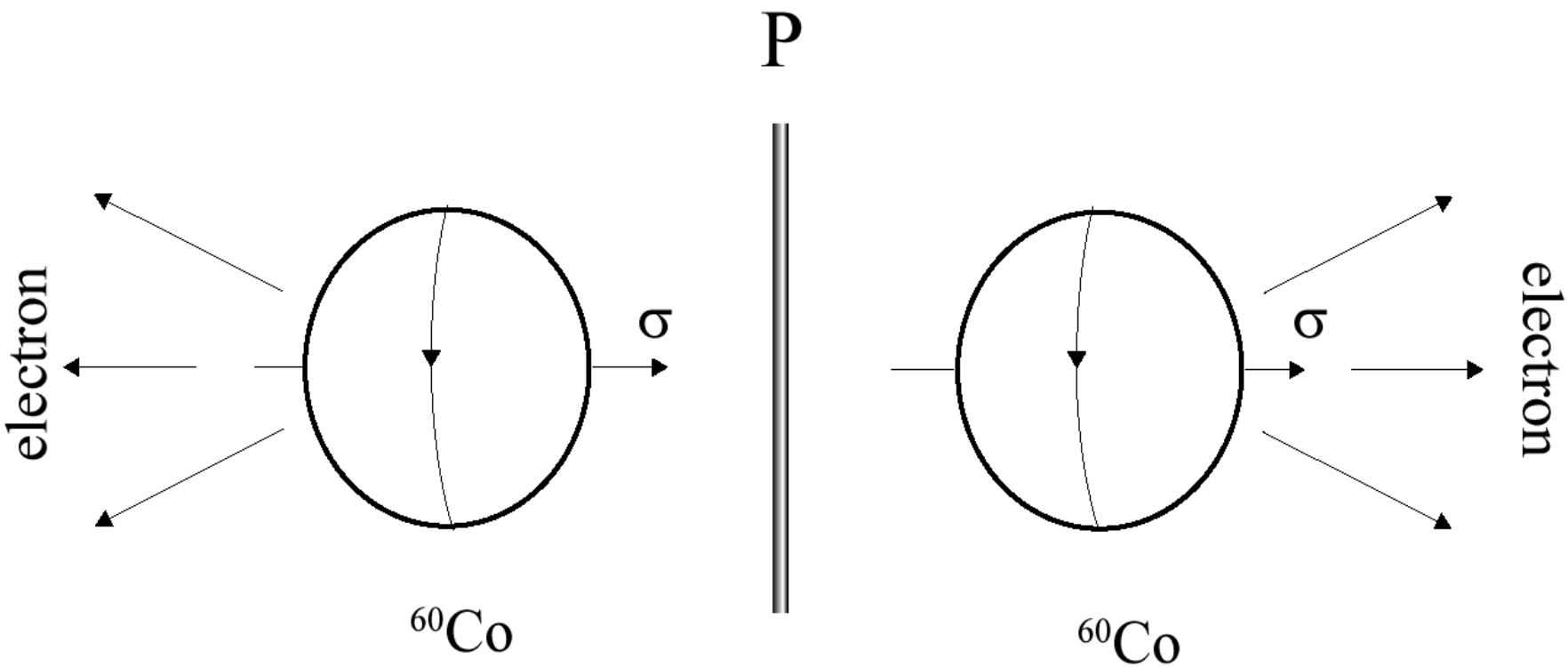
La naturaleza no tiene simetría P.

1950 Purcell y Ramsey dicen debería ser medida.

1956 T. D. Lee y C. N Yang apuntan a la falta de evidencia experimental sobre la conservación de P.

1957 Tres experimentos muestran que la interacción debil viola P: Wu, Lederman and Telegdi están asociados con los tres esfuerzos.

El experimento Columbia-NBS con Wu, Amber, Hayward, Hoppes and Hudson estudiaron decaimeinto β en ^{60}Co.



^{60}Co decaimiento β

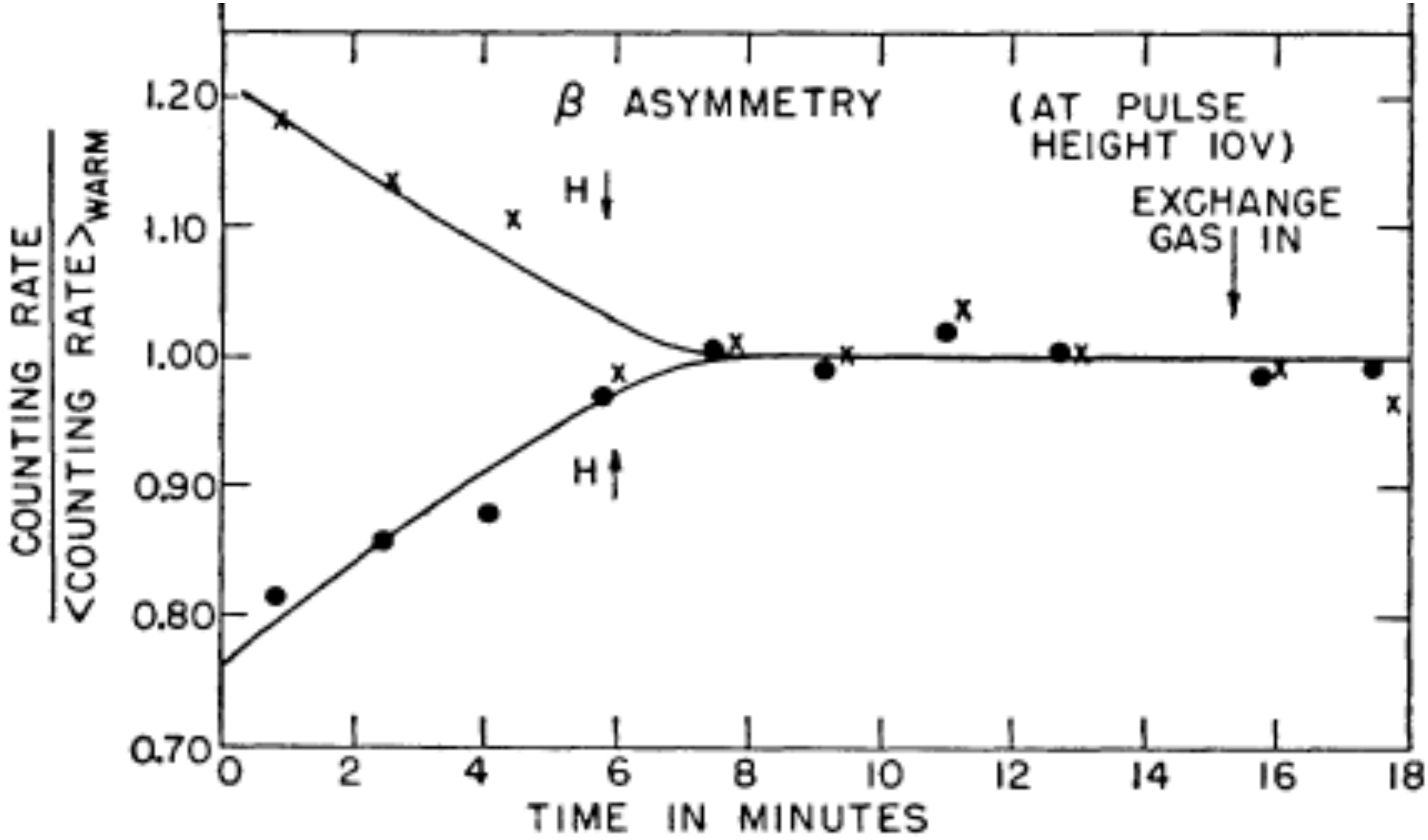
Wu, Ambler, Hayward, Hoppes, and Hudson; Columbia, National Bureau of Standards (ahora NIST).

Buscar una correlación entre :

espin nuclear σ y el momentum del electrón **p**

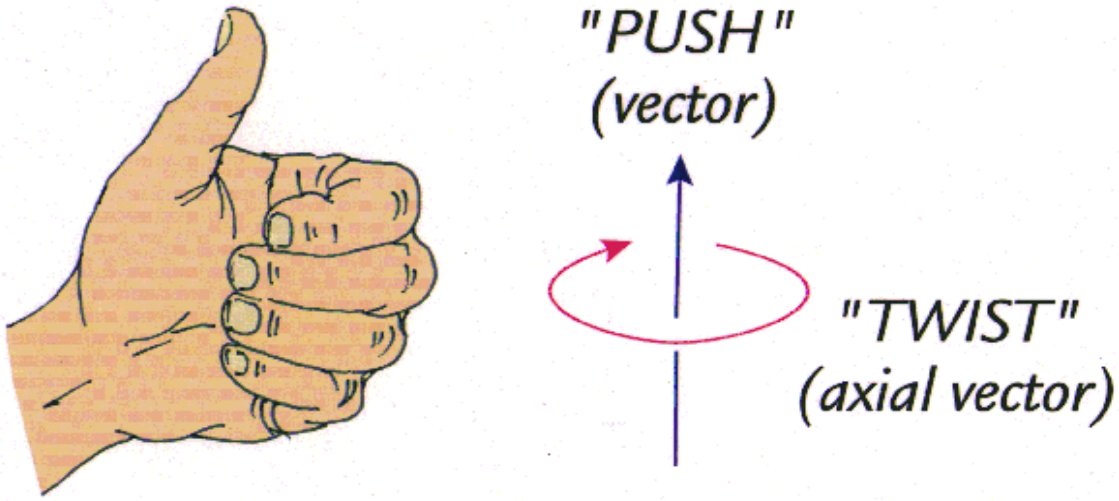
$$\langle \vec{\sigma} \cdot \vec{p} \rangle$$

Para alinear los espines del nucleo en el campo magnético externo y limitar el espacio de fase de los espines fue necesario enfriar la muestra.



Asimetría de los electrones respecto a la direccion del spin nuclear.
Physical Review,105,1413 (1957).

"Sentido de giro (Handedness)"



Una interacción con "sentido de giro" resulta de:

Un Vector – "V" *"Empuje"*

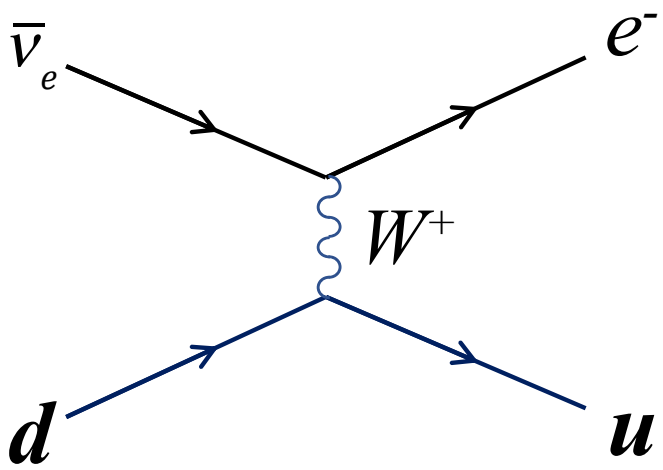
y

Un Vector Axial – "A" *"Vuelta"*

Los signos relativos del vector y del vector axial determinan la paridad

G. Green

La interacción "Ideal" entre quark y leptón en el Modelo Standard



operador "vector"o ***operador "vector-axial"***

$$H_{Weak} = G_{Weak} \left\langle \bar{\nu}_e \left| \gamma^\mu - \gamma^\mu \gamma^5 \right| e^- \right\rangle \left\langle d \left| \gamma^\mu - \gamma^\mu \gamma^5 \right| u \right\rangle$$

"V-A"

Vector "menos" Vector Axial implica una interacción "Zurda"

G. Green

Mas sorpresas de la interacción débil:

Los electrones en decaimiento beta son zurdos

Viola CP y T; preserva CPT

Los neutrinos se llevan la mayor parte de la energía en una explosión de supernova

Los neutrinos tienen masa y oscilan

…

Violación de paridad en átomos

- 1959 Zel'dovich sugiere que podría haber un efecto en la rotación óptica.

- 1967 El modelo de Weimberg-Salam de las interacciones electrodébiles incluye un bosón neutro Z^0 cuyo intercambio no cambia la carga

.

- 1974 M. A. Bouchiat y C. Bouchiat sugieren utilizar átomos pesados.

- 1978 El experimento en Novosibirsk con Bi obtiene un resultado de 4.5σ ; El experimento de Berkeley con Tl muestra un resultado de 2.1σ.

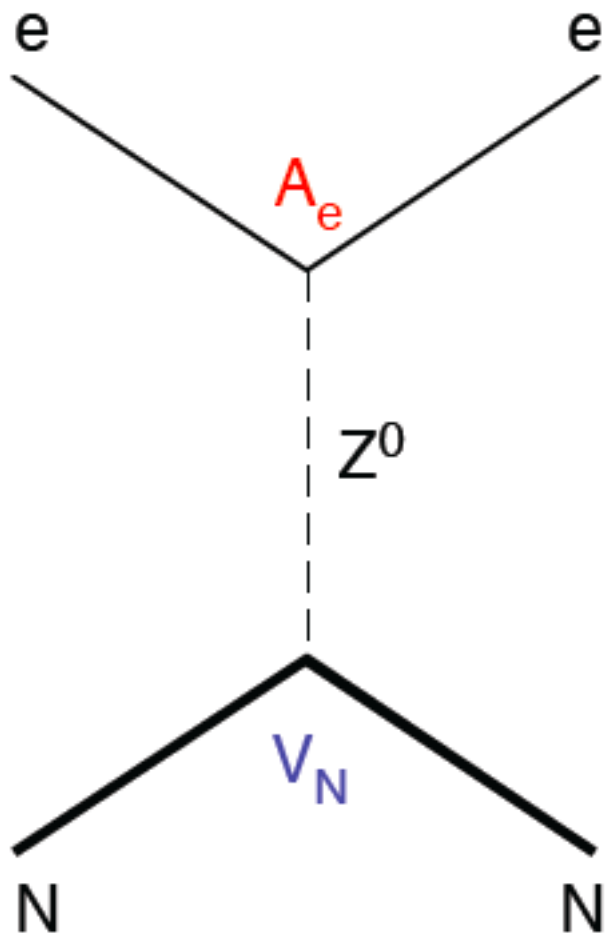


Diagrama de Feynmann que da origen a la violación de paridad en átomos, otro similar con A_N y V_e

parity conserving atom

$|\Psi> = |P_{1/2}>$

parity violating atom

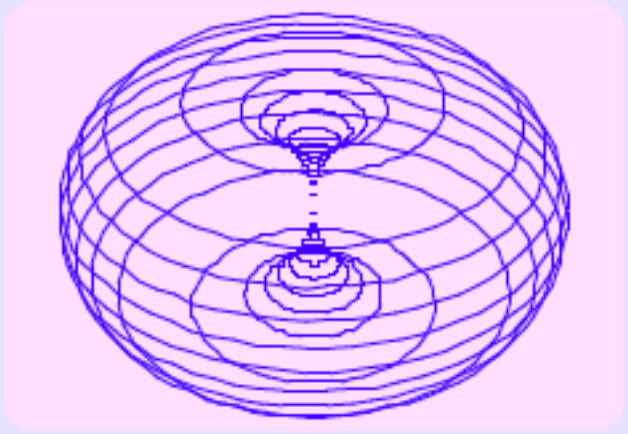
$|\Psi> = |P_{1/2}> + i\,\varepsilon_{pv}\,|S_{1/2}>$

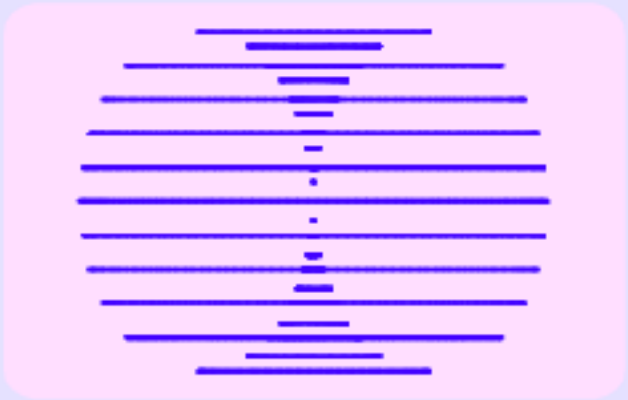
in H-atom: $\varepsilon = 10^{-11}$

here: $\varepsilon = 5\ \%$

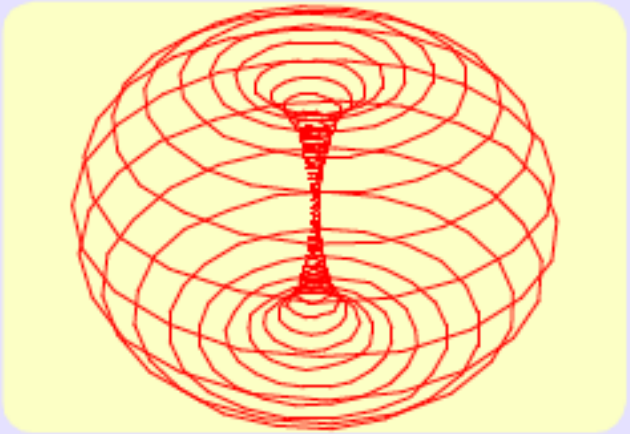
lines = electrical current $\vec{j} = e <\Psi|\ \vec{v}\ |\Psi>$ of electronic wave function $|\Psi>$

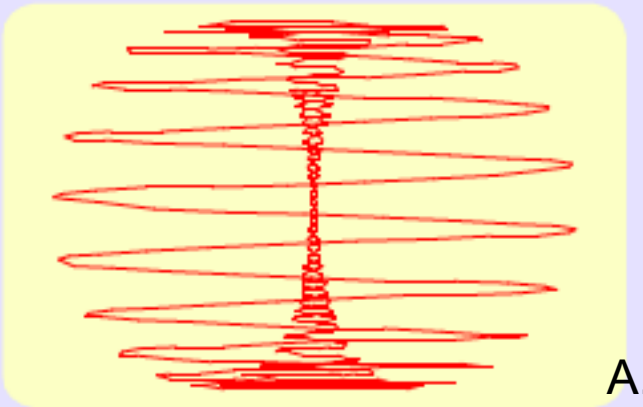
current = circles on torus





current = helix on torus





A. Weiss

El Lagrangiano con la violación de paridad entre el quark y el electrón a bajas energías:

$$\mathcal{L} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \sum_{i=u,d} \left[C_{1i} \bar{e} \gamma^\mu \gamma^5 e \bar{q}_i \gamma_\mu q_i + C_{2i} \bar{e} \gamma^\mu e \bar{q}_i \gamma_\mu \gamma^5 q_i \right]$$

$A_e - V_N$ $\qquad$ $V_e - A_N$

$C_{1u,d} \cdot C_{2u,d}$ [$x=\sin^2\theta_w(M_z)\approx 0.2323$]

$$C_{1u} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{8}{3}x\right)$$

$$C_{1d} = -\frac{1}{2}\left(1 - \frac{4}{3}x\right)$$

Las interacciones electromagnéticas conservan paridad.
La existencia del bosón Z^0 viola paridad.

El electrón tiene una probabilidad finita de estar en el nucleo e intercambiar un Z^0 con un protón o neutrón.

Los estados S adquieren un poco de caracter P.

$$|S'> = |S> + \delta_{pnc}|P>$$

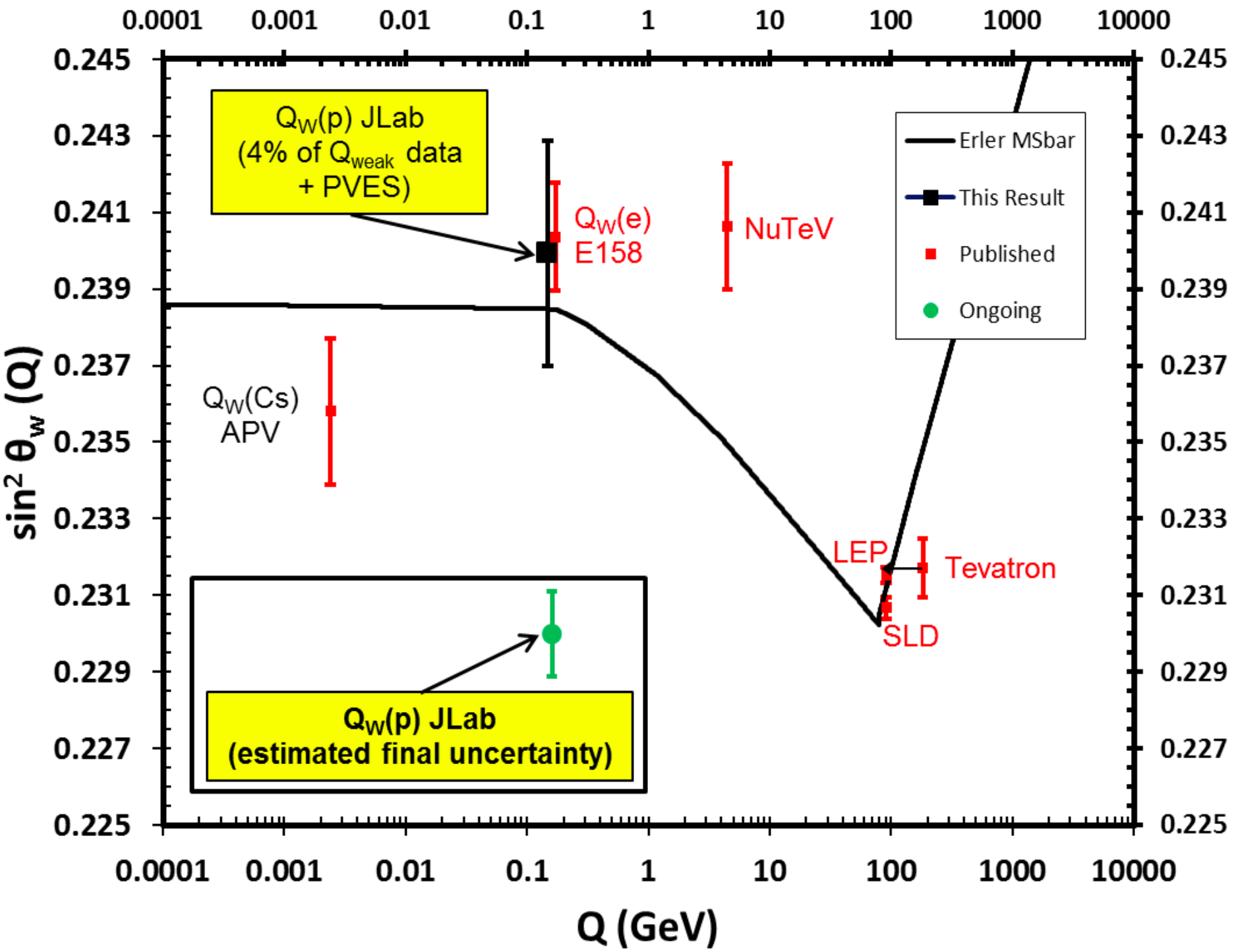
La transición dipolar n $|S'> \rightarrow n+1|S'>$ es permitida por

La carga débil está relacionada con δ_{pnc} via $<\gamma^5>$ que proveniente de calculos atómicos.

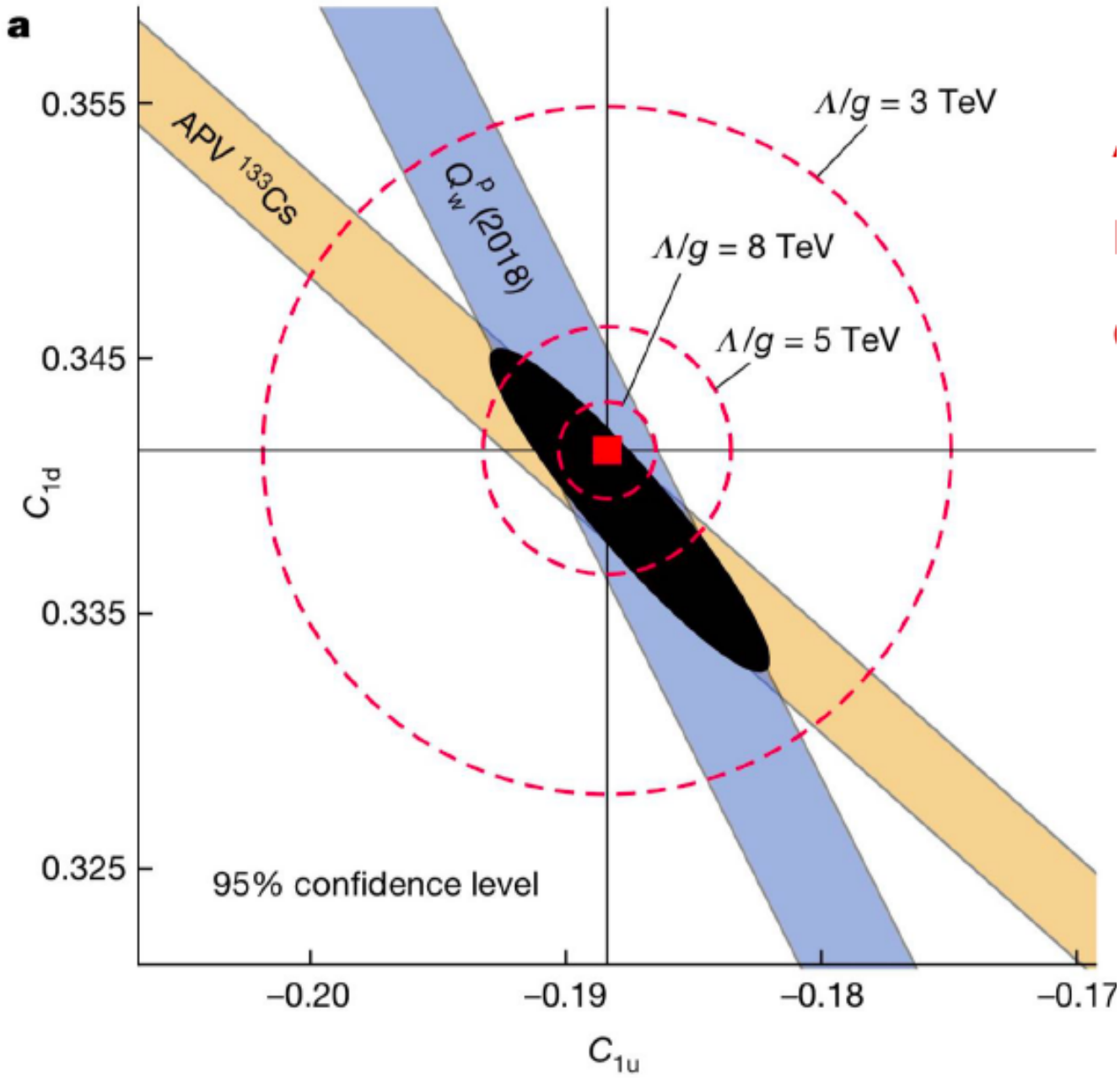
$$Q_W = -2[(2Z+N)\,C_{1u} + (Z+2N)\,C_{1d}] + \varepsilon$$

¿Es el valor de Q_w el del modelo estandard?

$$Q_w = \frac{\delta_{pnc}}{<\gamma^5>_{en\,el\,nucleo}}$$


0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10
100
1000
10000
0.245
0.243
0.241
0.239
0.237
0.235
0.233
0.231
0.229
0.227
0.225
$\sin^2\theta_w(Q)$
Q (GeV)
Q_W(p) JLab
(4% of Q_{weak} data
+ PVES)
Q_W(e)
E158
NuTeV
Q_W(Cs)
APV
LEP
Tevatron
SLD
Erler MSbar
This Result
Published
Ongoing
Q_W(p) JLab
(estimated final uncertainty)

Acoplamientos débiles electrón-quark



Q_{weak} 2018

La colaboración FrPNC

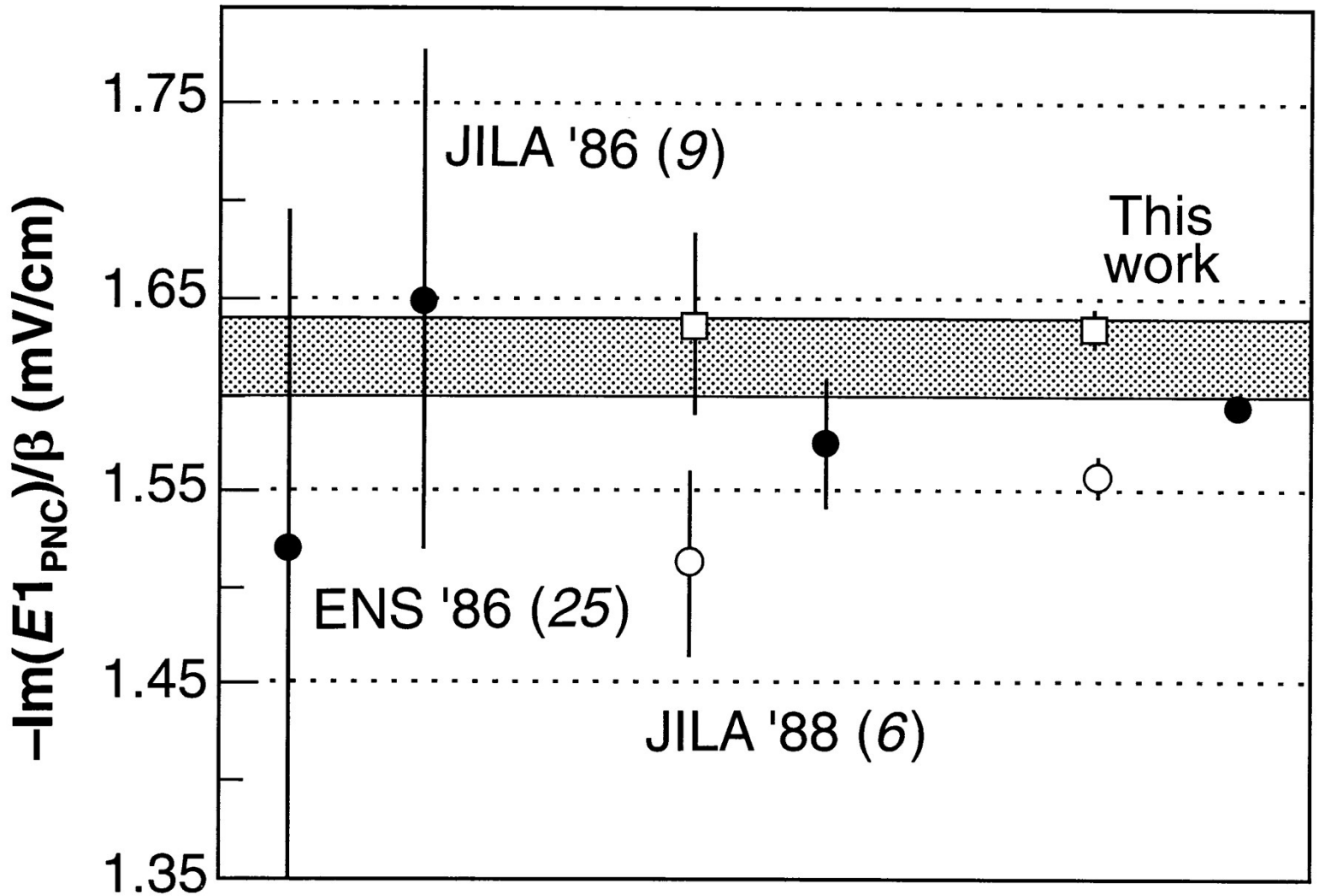
UNIVERSITY OF MANITOBA

¿Cómo medir la interacción débil en procesos de física atómica? Use Us ar la no conservación de la paridad.

Cesio en Boulder

1997 Wieman (Boulder) 0.35% de error en unaaa medición con un isótopo de Cesio. Es la prueba mas precisa en física atómica del modelo standard.

- Sigue la sugerencia de los Boucheats de utilizar átomos pesados.
- Usa interferencia con una transición inducida por efecto Stark para amplificar la señal.
- Tiene un aparato con sentido del giro bien definido.
- Utiliza un has de átomos.
- Usa una cavidad para excitar la transición 6S a 7S.



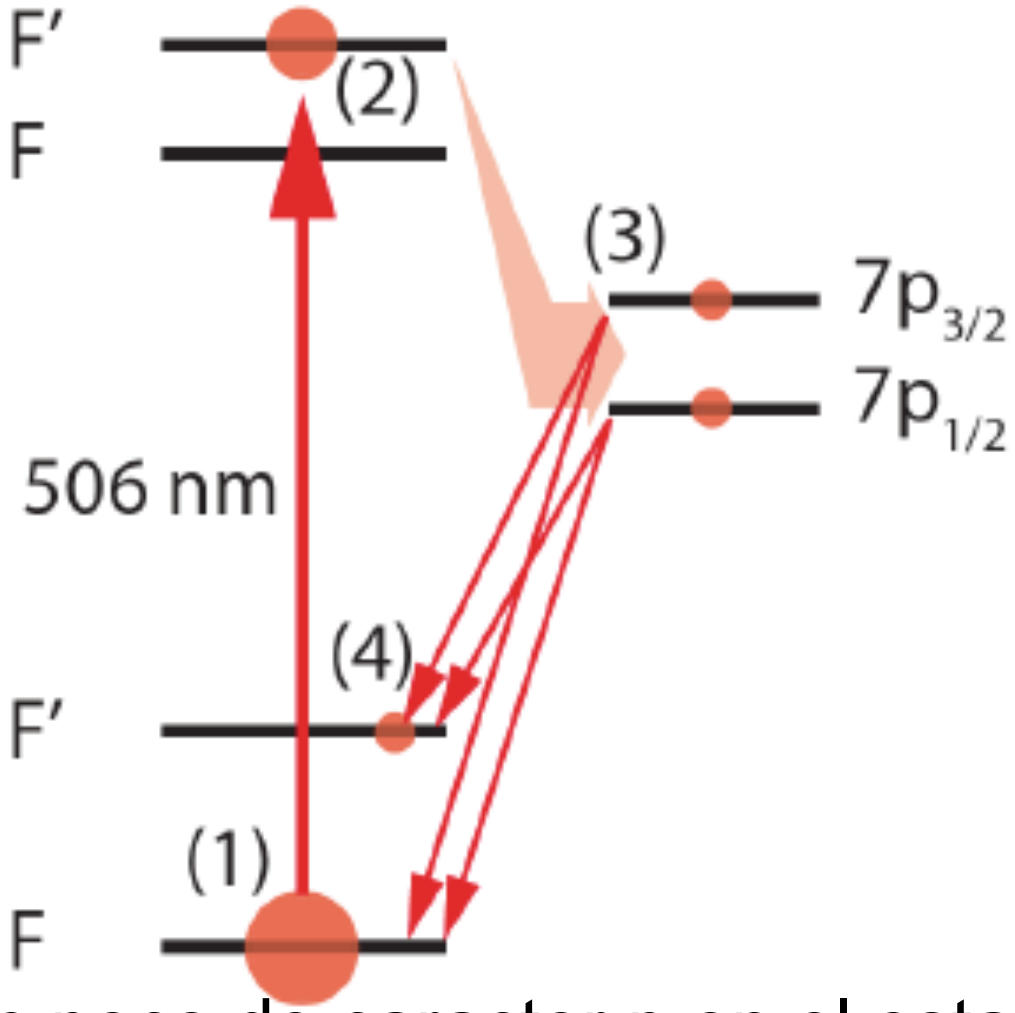
Resultados (JILA 1997) de violación de paridad en Cs y comparación con la predicción del modelo estandard

Violación de Paridad en átomos

$\overline{|8s\rangle} = |8s + \varepsilon p\rangle$

$|E1_{Stark} + M1 + E1_{PNC}|^2$

$\overline{|7s\rangle} = |7s + \varepsilon p\rangle$



La interacción débil mezcla un poco de caracter p en el estado s. Muy pequeña por lo que es necesario interferirla con una transición permitida. Medir la taza con un sentido de giro y lluego con el otro. La interacción débil ocasiona la diferencia k interaction.

Francium Trapping Facility en TRIUMF

ISAC I hall en TRIUMF, Francium Trapping Facility

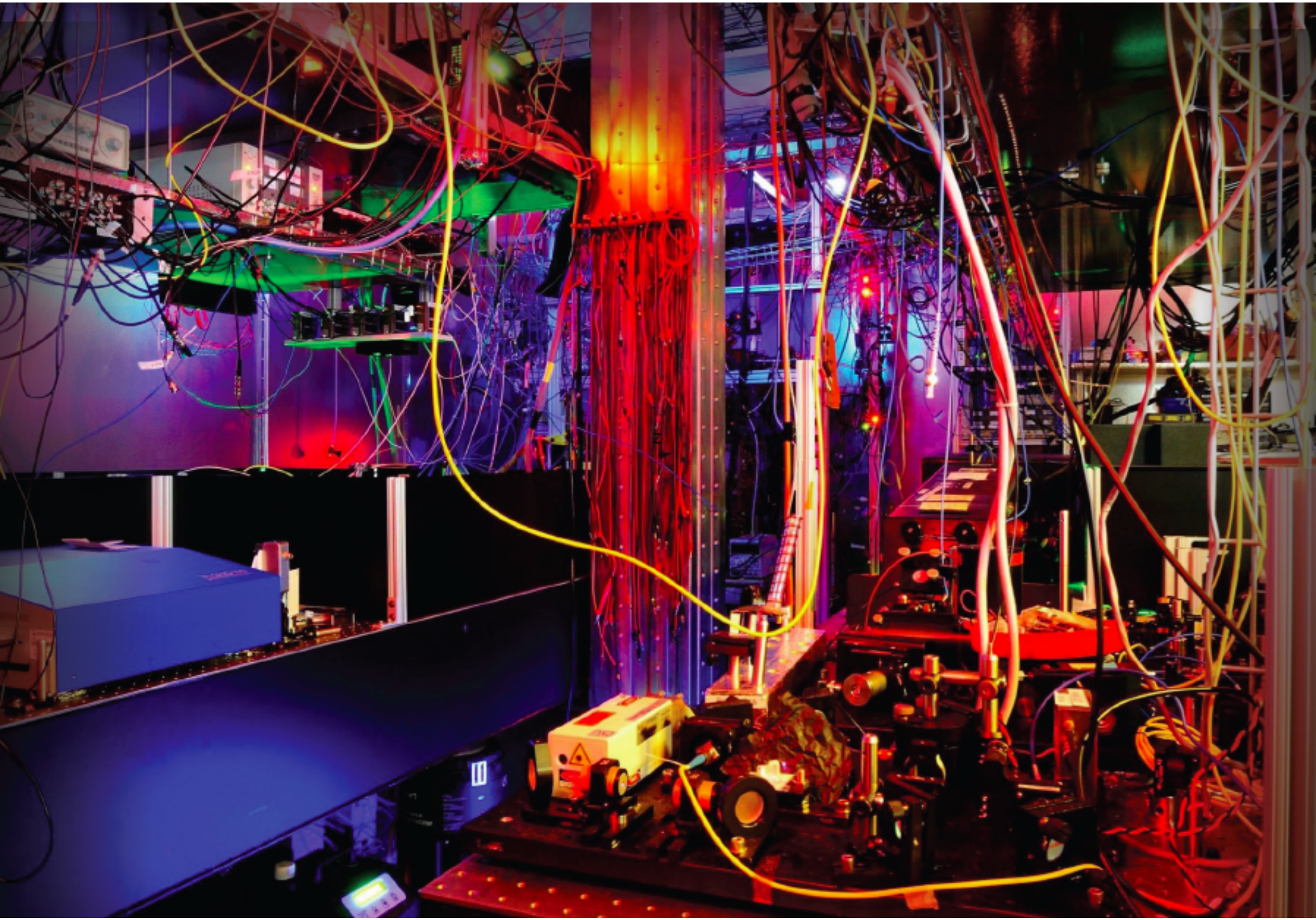
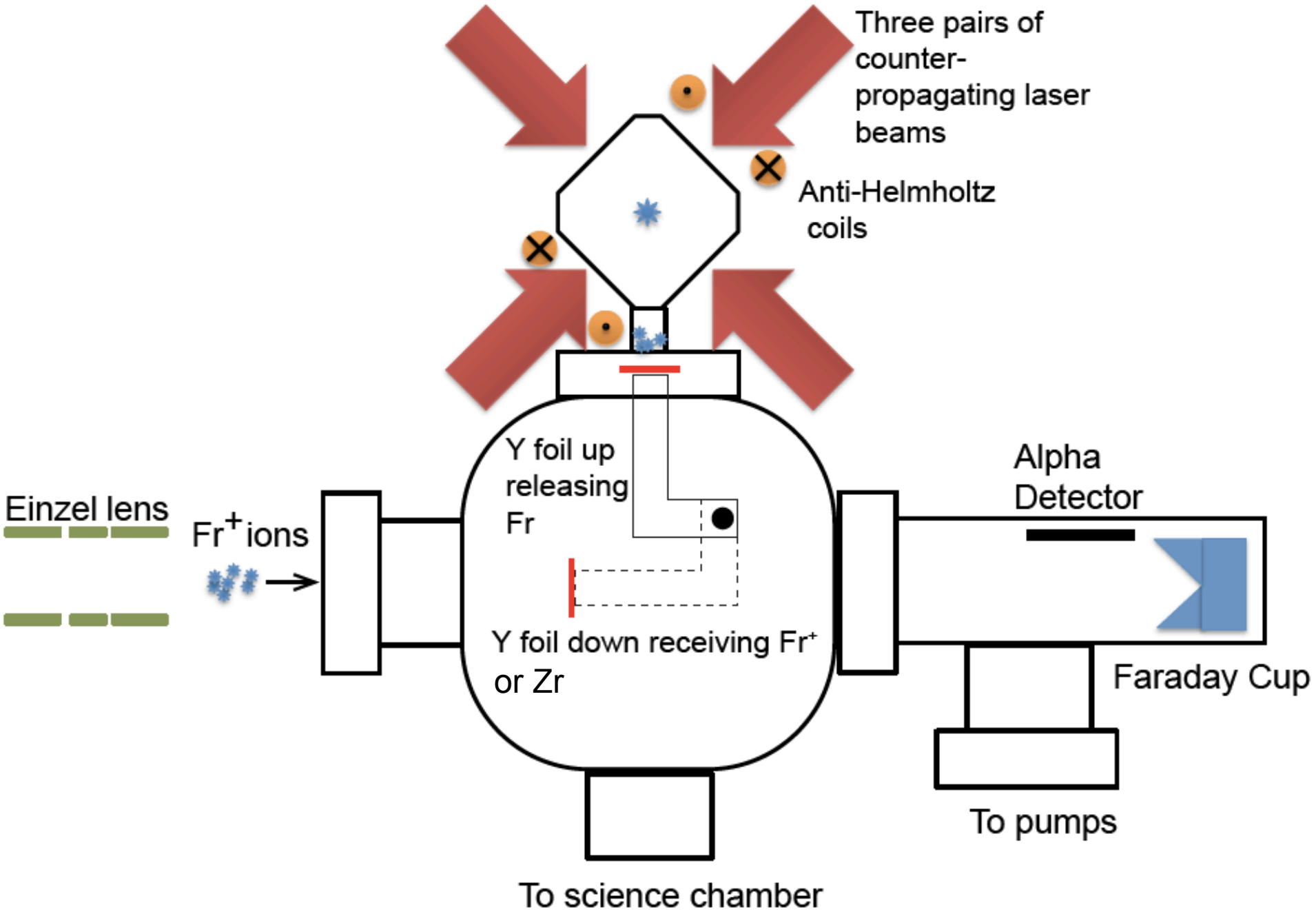
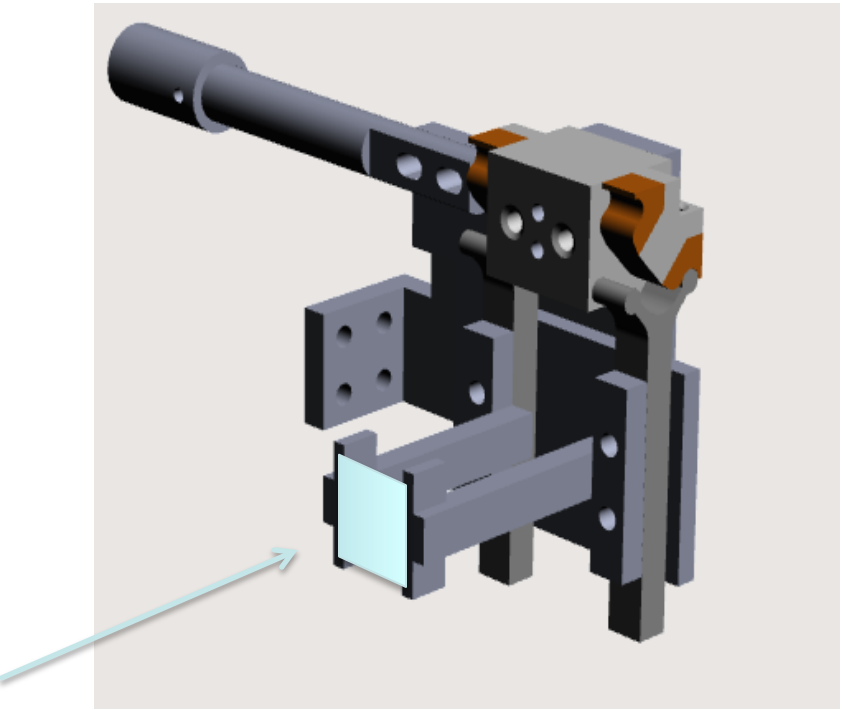


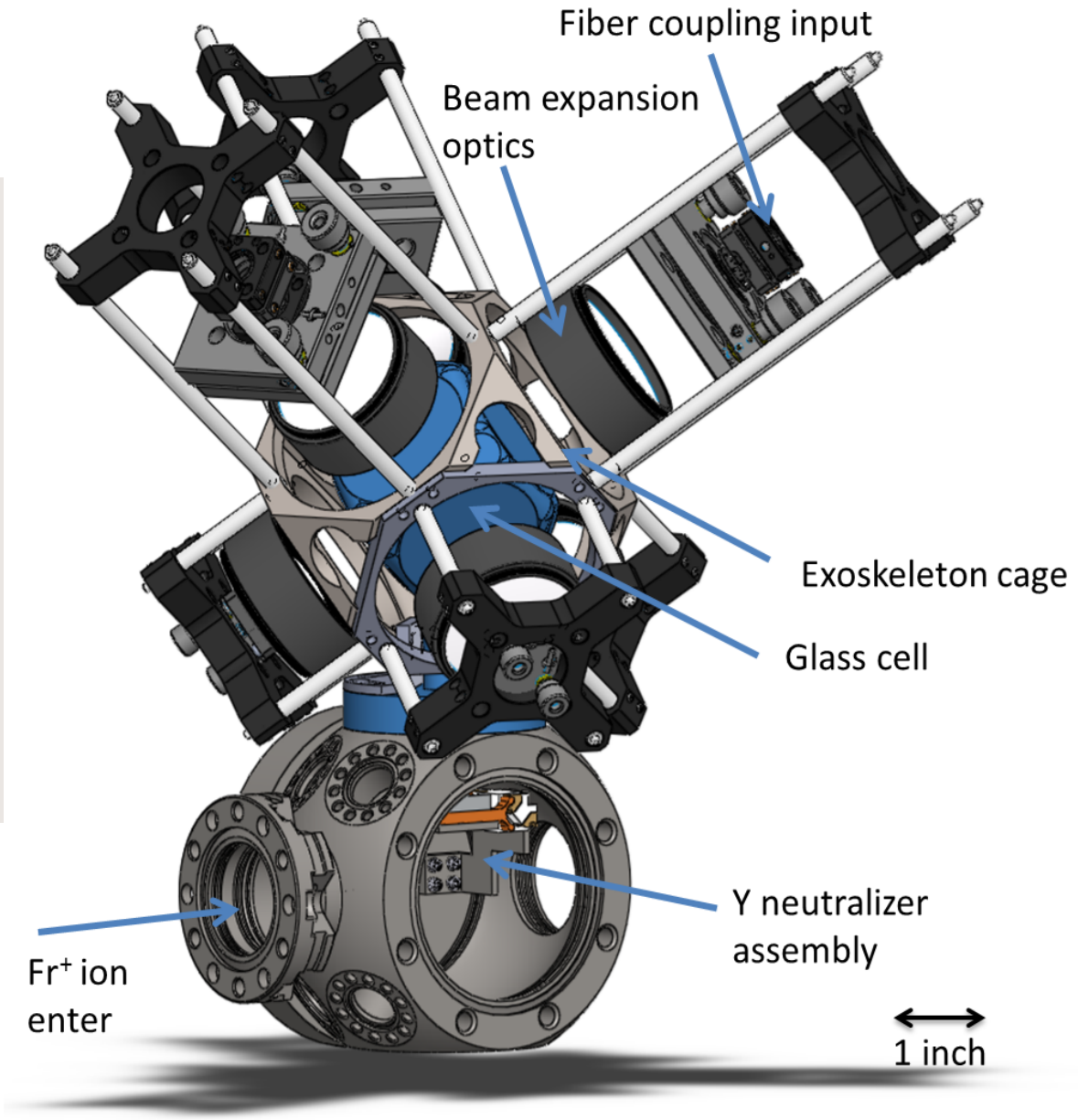
Photo M. Kossin

Trampa MOT para captura eficiente



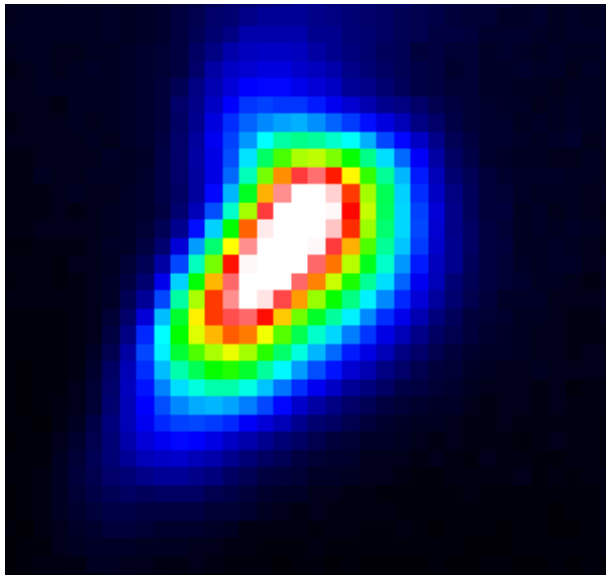


Fr beam onto Y or
Zr foil



Aparato puesta en marcha:

- Atomos atrapados: ~ 2.5×10^5 to 2.5×10^6
- Eficiencia ~ 1% ahora mas alta.
- Vida media de la trampa ~ 20s



El Descubrimiento del Francio

Revista Time 1930

Science: Alabamium

Monday, Feb. 17, 1930

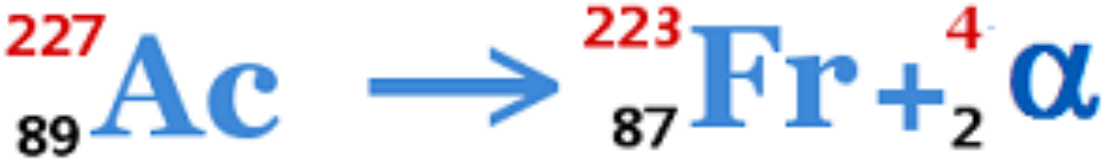
▸ Subscriber content preview. or Log-In

+ Share

Of the 92 elements which the late great Russian Dmitri Ivanovitch Mendelèeff (1834-1907) predicates with his Periodic Law, 16 have been discovered since 1894.* Two remain to be isolated—eka-iodine and eka-cesium.† Last week Dr. Fred Allison and Edgar Jackson Murphy of Alabama Polytechnic Institute at Auburn, Ala., reported that they had "evidence of considerable weight for the presence" of eka-cesium in certain salts they had reduced from lepidolite, a form of mica, and pollucite, a mineral consisting chiefly of cesium, aluminum and silicon. When they break down their salts they will get a...

(Quisieron llamarlo Virginio). Reporte retractado posteriormente

Descubrimiento del francio como producto del decaimiento alpha del actinio 1939 (Margarite Perey)

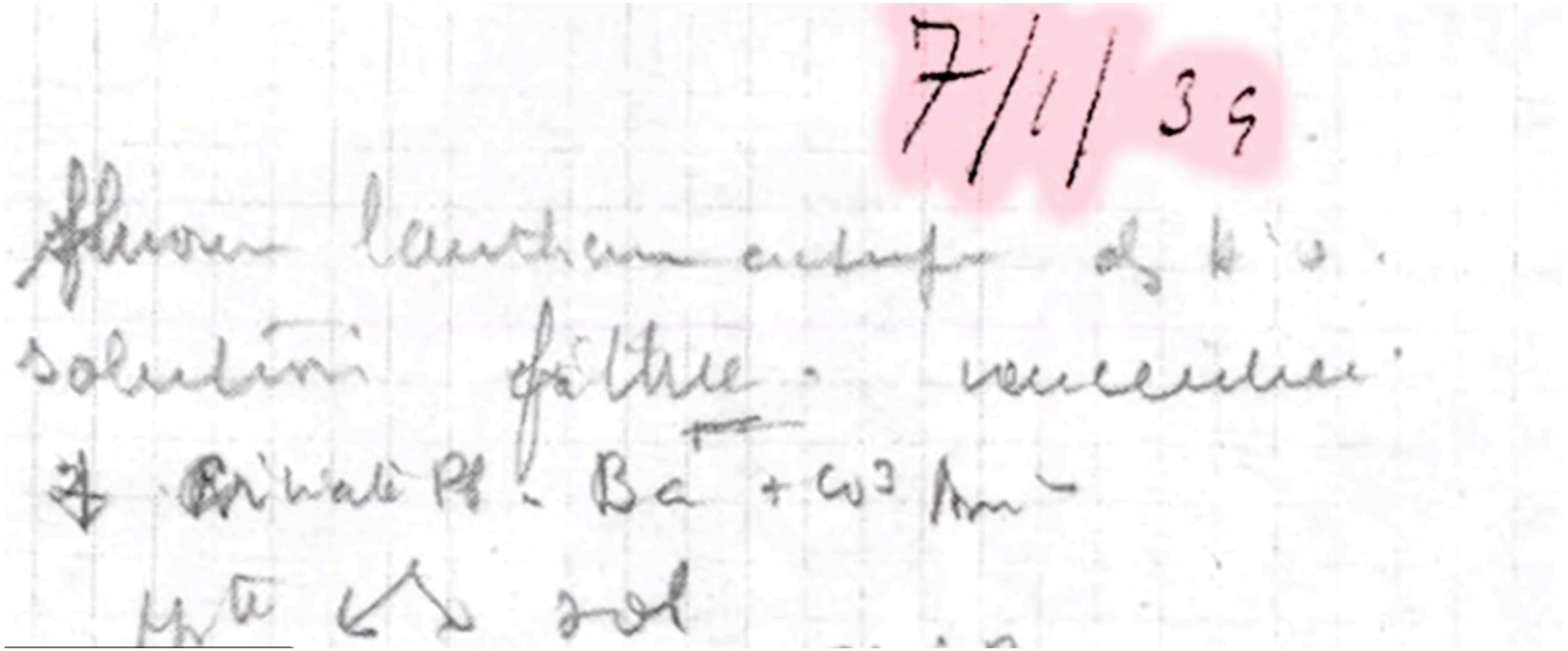


Ekacaesium (Mendeleeff)

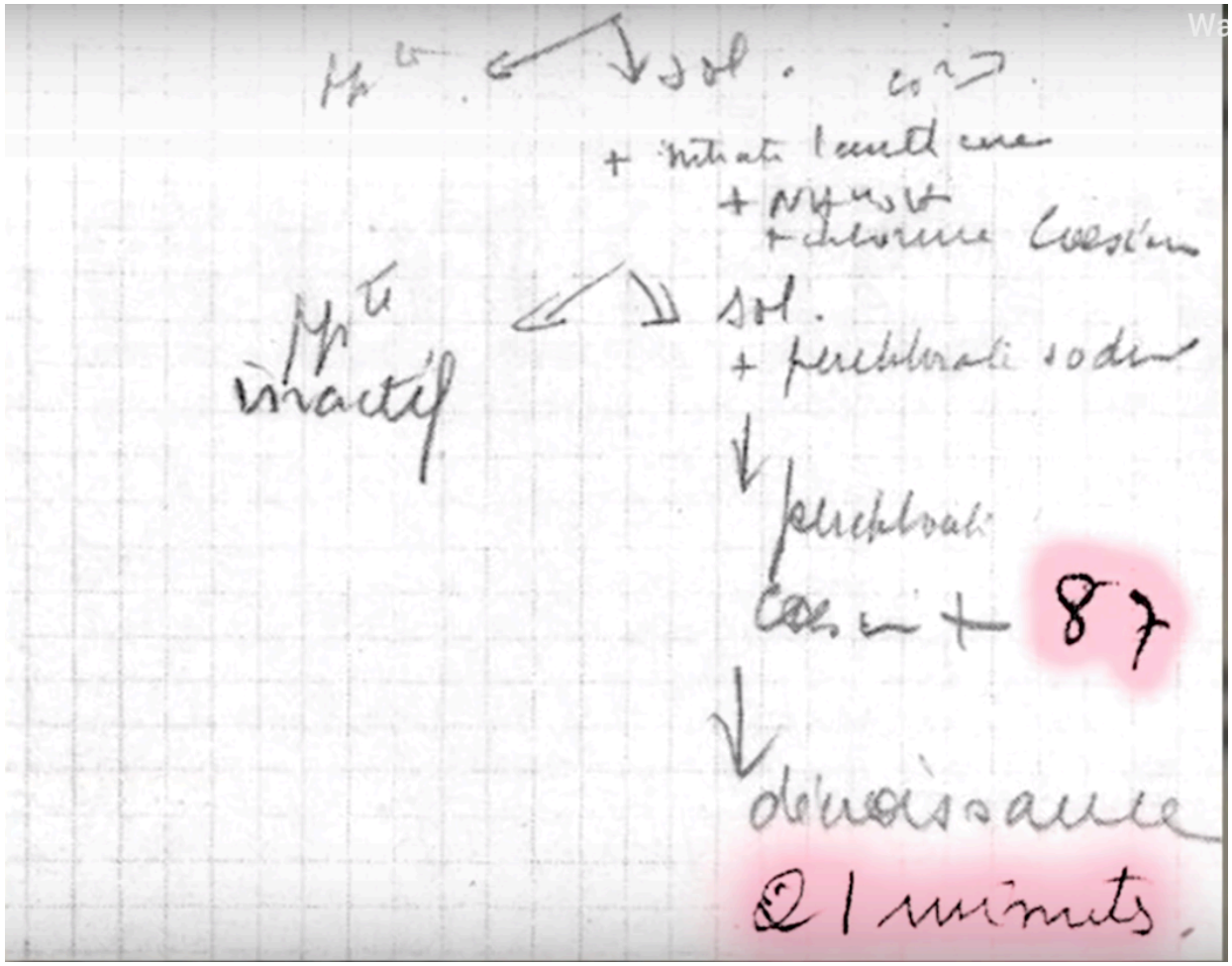
Margarite Perey, Institute du Radium, Paris~1939

Margarite Perey (1909-1975)

- Estudió para técnica de laboratorio
- Contratada por Mme. Marie Curie para purificar sustancias.
- Purificó un mineral con lántano que contenía actinio.
- Descubrió que la muestra de actinio tenía otro elemento que decaía con diferente energía y vida media.



- Le dieron una beca para estudiar y se doctoró en 1946.
- Professor at Strasbourg.
- Primera mujer electa como miembro correspondiente de la Academia de Ciencias Francesa (1962).



Veronique Greenwood, “My Great-Great-Aunt Discovered Francium. And It Killed Her.” New York Times Magazine Dec. 3, 2014

Comptes rendus a L'Academie de Sciences, **208**, 87 (1939)

RADIOACTIVITÉ. — *Sur un élément* 87, *dérivé de l'actinium.*
Note de M^lle^ **Marguerite Perey**, présentée par M. Jean Perrin.

Afin de connaître avec précision l'évolution de l'activité du rayonnement β émis par l'actinium privé de ses dérivés, nous en avons suivi l'accroissement, en nous efforçant de mesurer le plus tôt possible après la dernière purification l'activité β propre à l'actinium, avant que celle de ses successeurs intervienne.

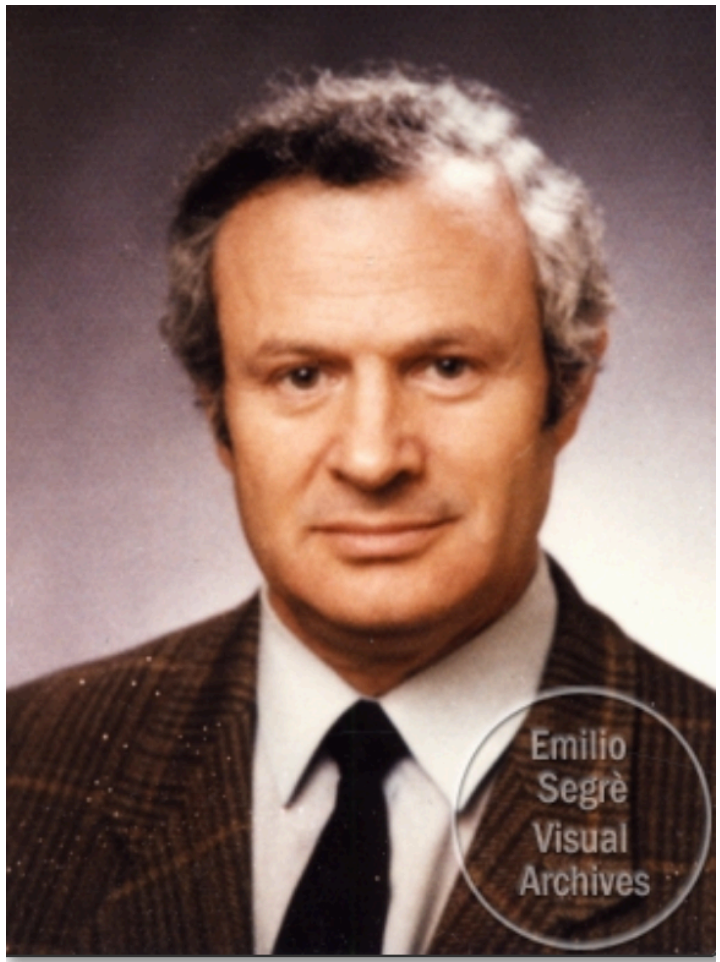
Entrada a la física atómica

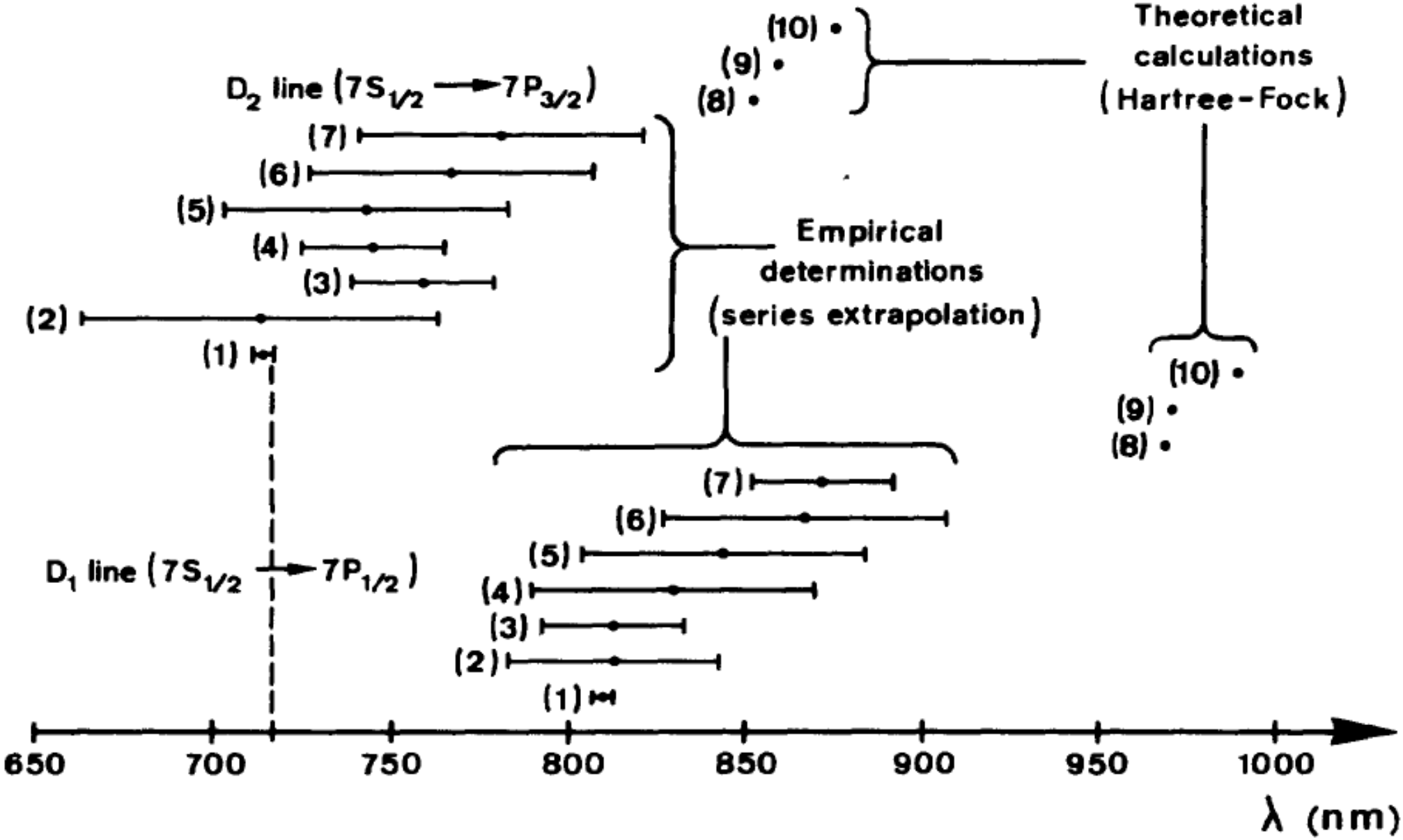
SPECTROSCOPIE ATOMIQUE. — *Première mise en évidence d'une transition optique dans l'atome de francium.* Note (*) de Sylvain Liberman, Jacques Pinard, Hong Tuan Duong, Patrick Juncar, Jean-Louis Vialle, Pierre Jacquinot, Membre de l'Académie, Gerhard Huber, François Touchard, Stephan Büttgenbac' Annie Pesnelle, Catherine Thibault, Robert Klapisch et Collaboration ISOLDE.

Sylvain Liberman
(1934-1988)

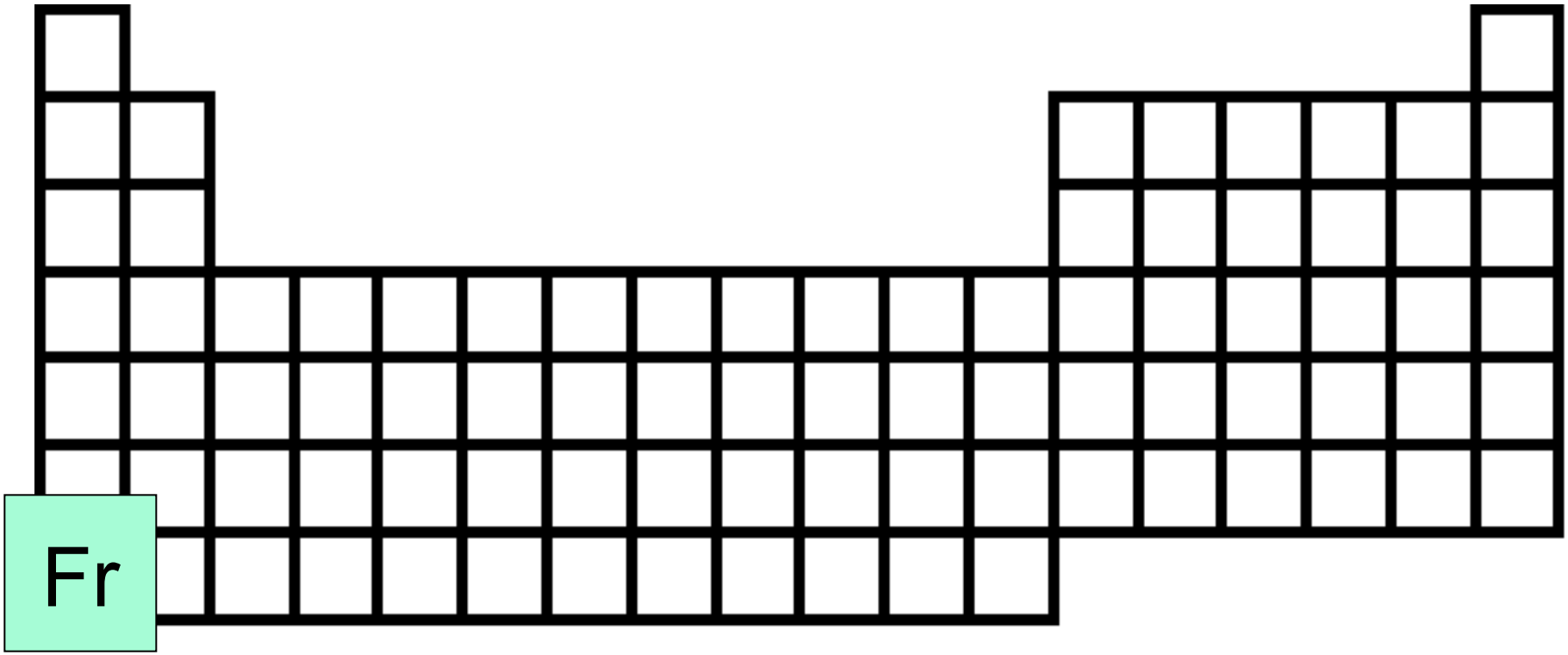
Encontró la linea D2 del Fr

Encontrar un peso entre CD de México y Guadalajara



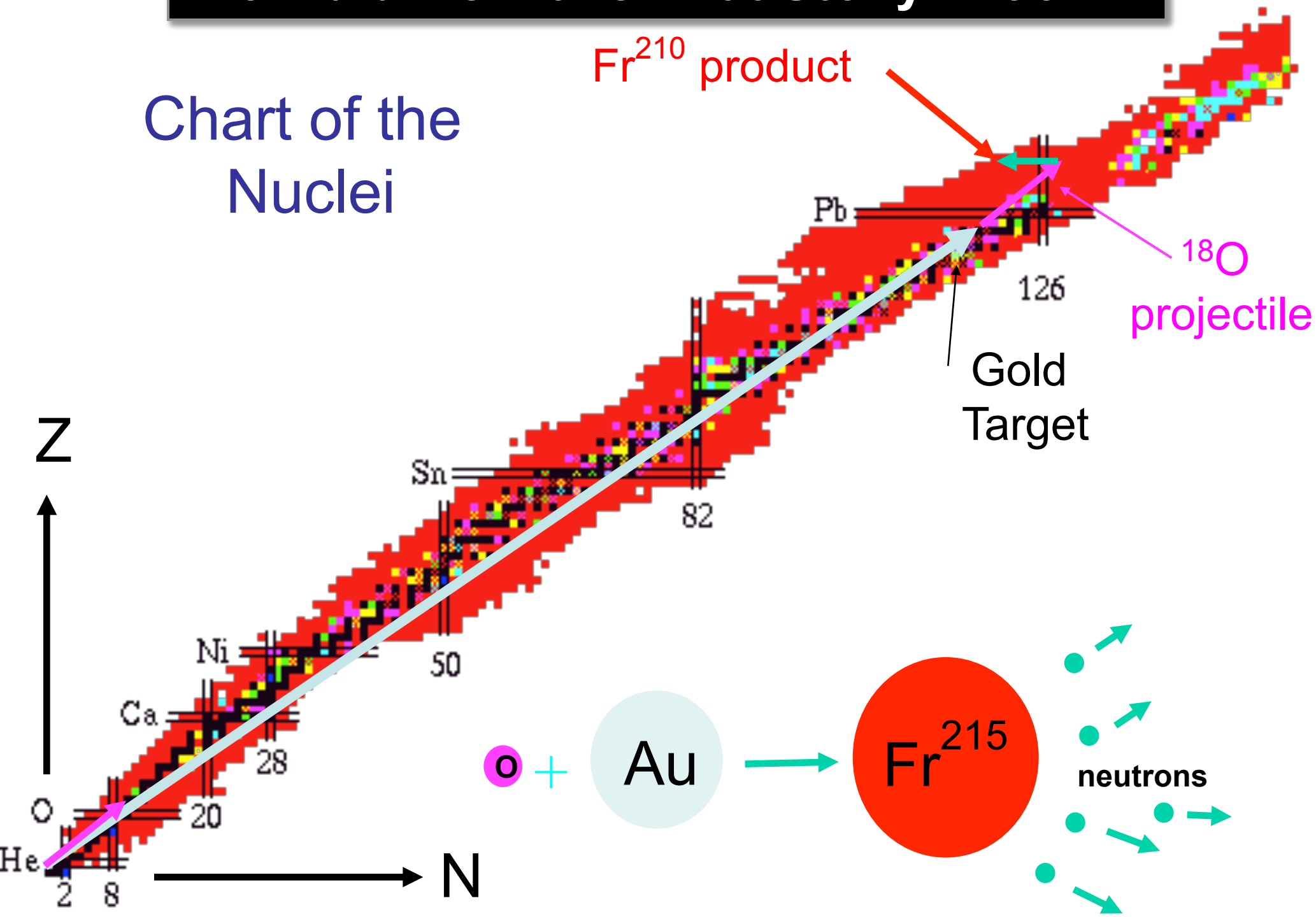


A highly sensitive method of detection coupled with a laser atomic beam experiment using on-line-produced Fr isotopes, has permitted finding and measuring the first optical resonance line of this element and its wavelength: $\lambda = 717.97 \pm 0.01$ nm. A high-resolution optical study has been undertaken, which has led to the determination of the hyperfine structure and isotope shifts for isotopes of mass number 208 to 213.



- Z=87; A=206-213 y el rico en neutrones 221 (TRIUMF)
- Radioactivo (^{212}Fr: $\tau_{1/2}$=20min; ^{209}Fr: $\tau_{1/2}$=1 min)
- Hacerlo y atraparlo.
- Tiene una estructura atómica cuantitativamente entendible
- Queremos usarlo como un laboratorio para entender la interacción débil mejor.

How did we make Fr at Stony Brook ?



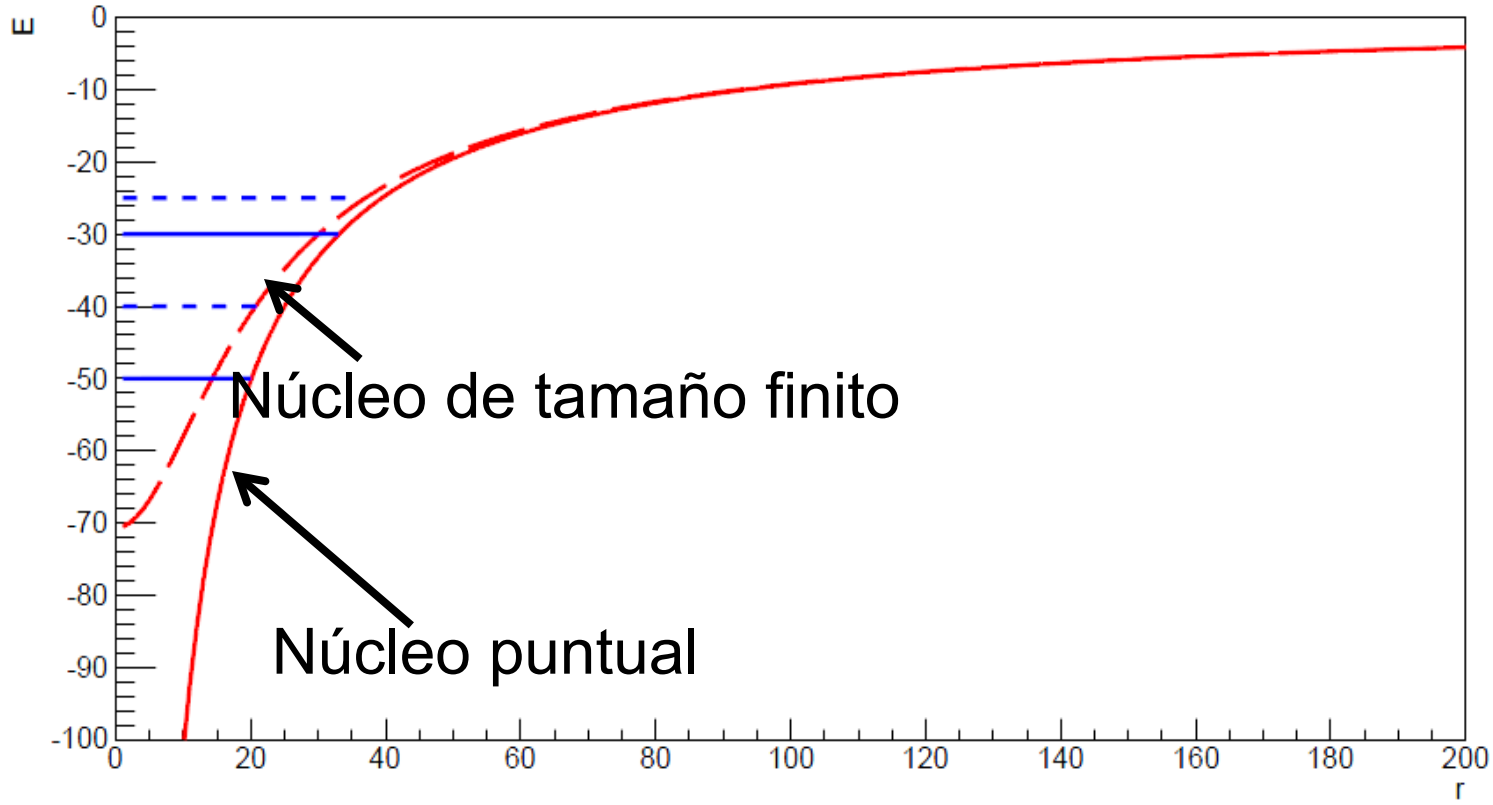
Necesitamos entender las prodiedades atómicas y nuclears que entran el los cálculos:

- El radio de carga.
- El radio de magnetización.

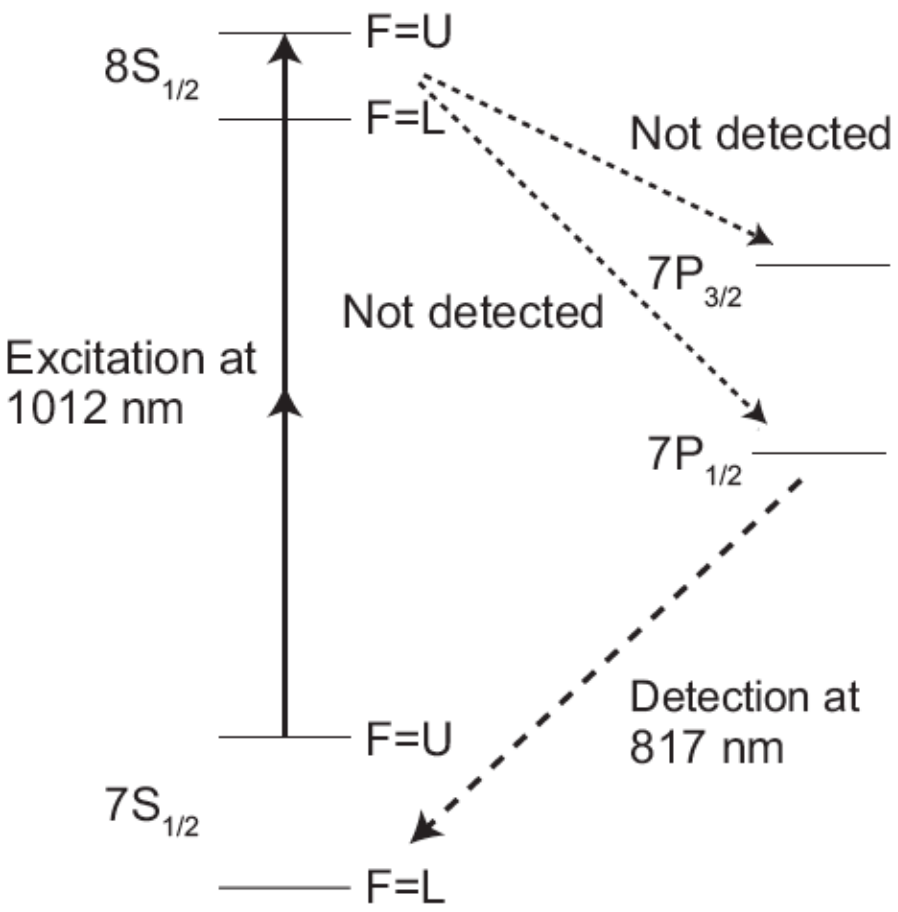
Medir las polarizabilididades escalar (alpha) y vectorial (beta) para la transición inducida por el efecto Stark.

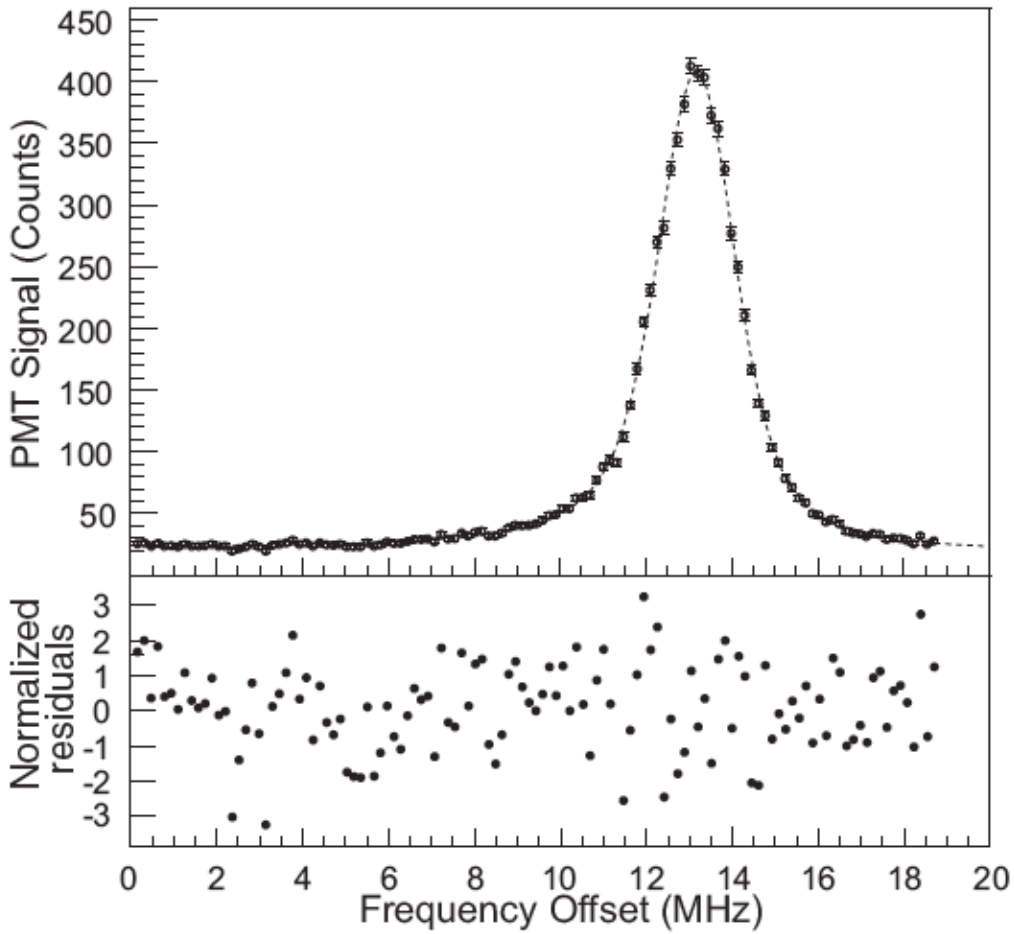
Corrimiento de isótopo

- Corrimiento por masa
  - Masa reducida
  - Correlaciones electrónicas
- Corrimiento de campo

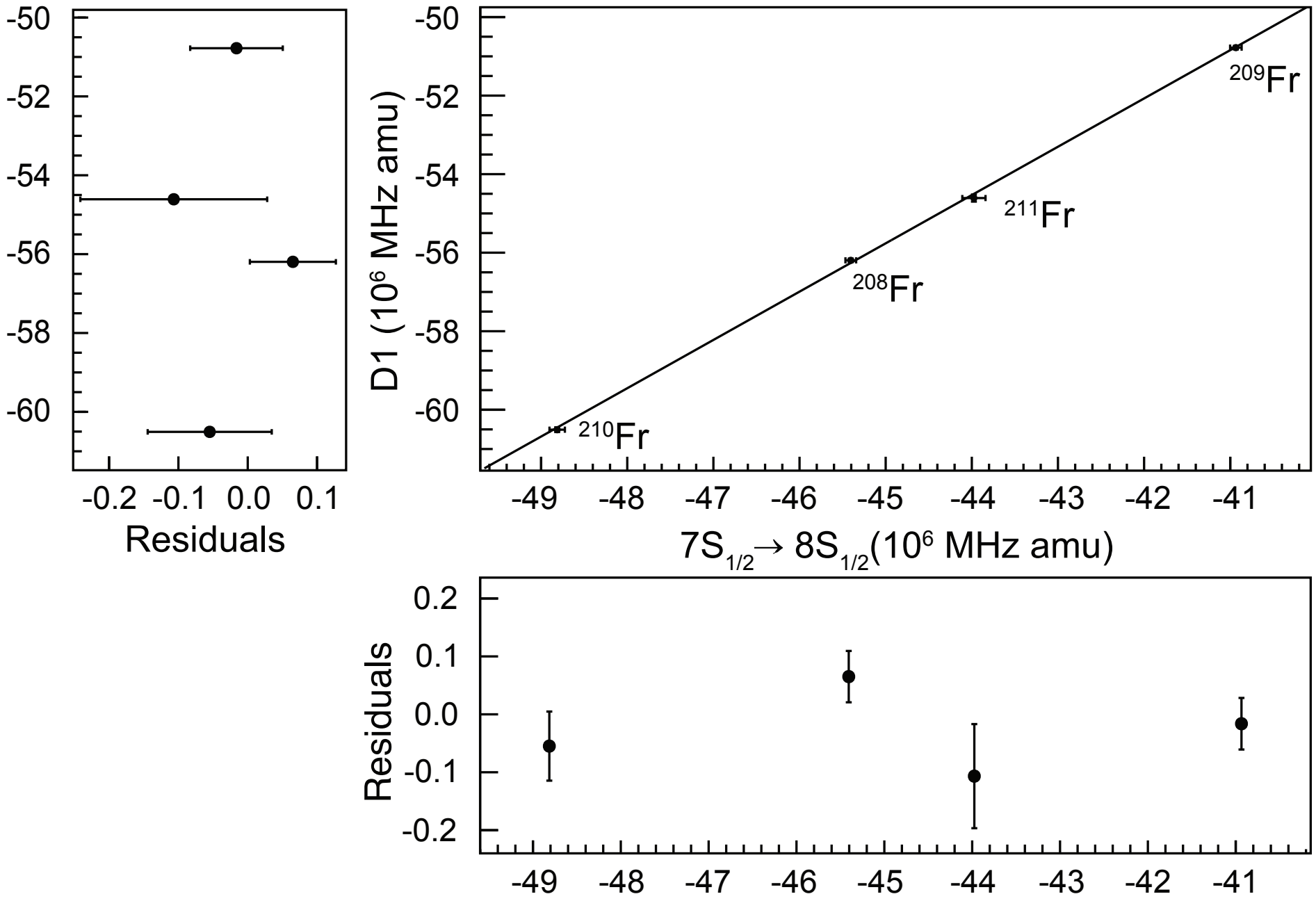


Two Photon Excitation





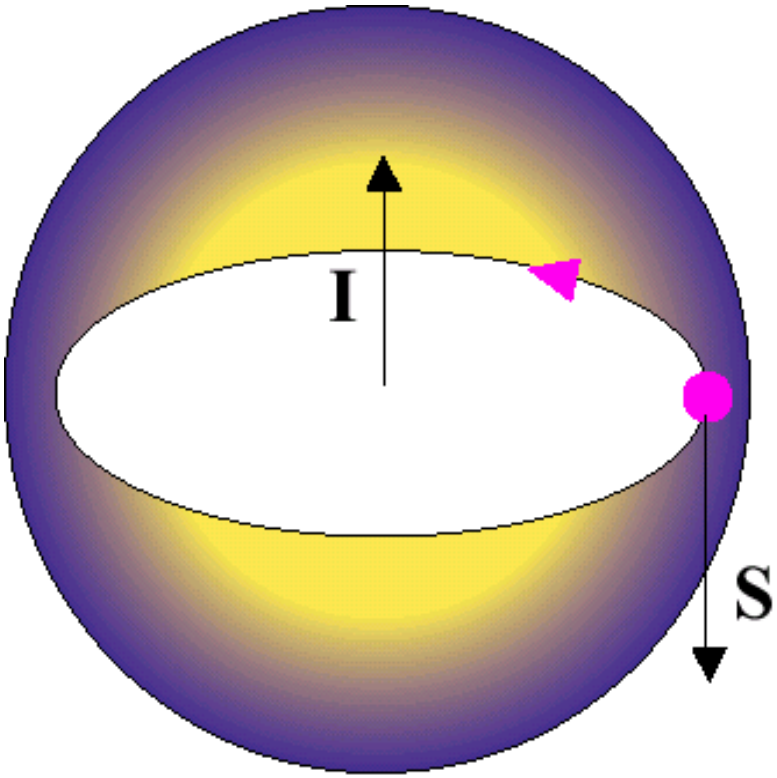
Gráfica de King dos fotones contra D1 (^{213}Fr)



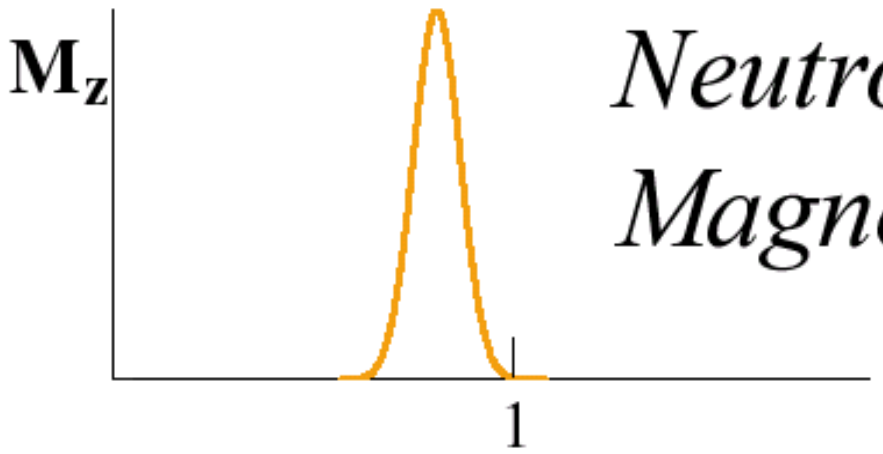
La pendiente del la gráfica de King

Experimento: 1.230 ± 0.019
Teoría: 1.234 ± 0.010

Magnetización Nuclear



Unpaired Neutron $2f_{5/2}$



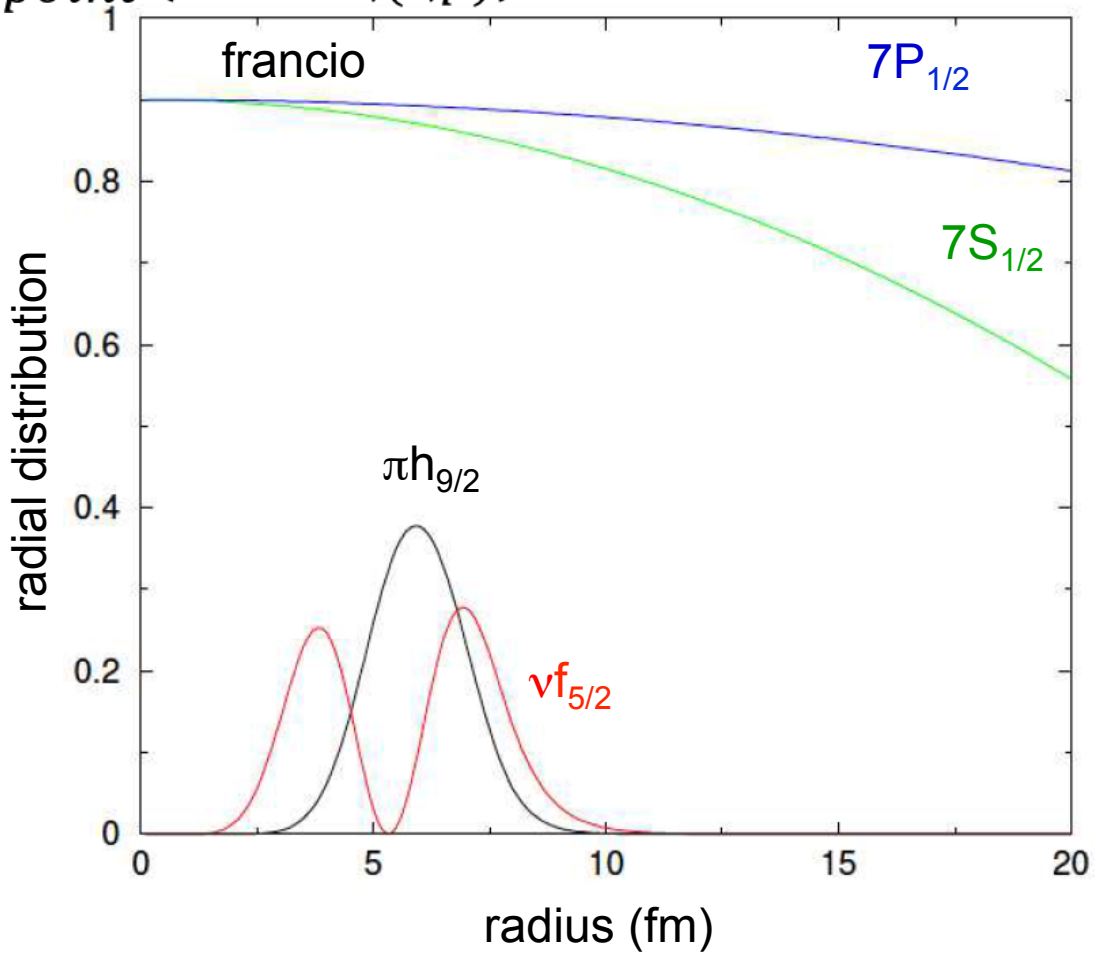
Neutron Magnetization

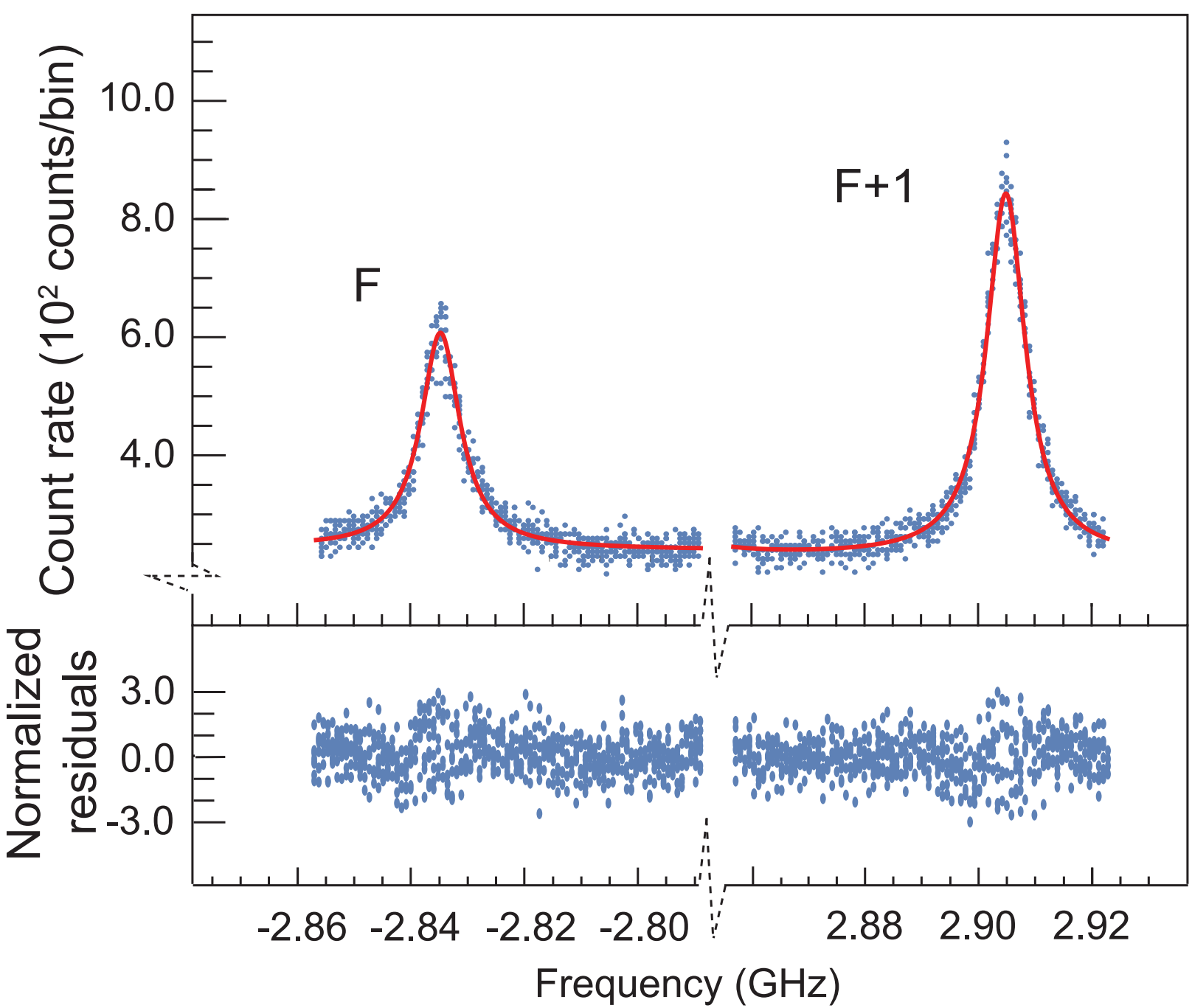
Interacción hiperfina: interacción del campo magnético generado por el electrón con el momento magnético del nucleo.
Anomalía hiperfina: ε quantifica el tamaño finito del nucleo.

$$W_{hyper} = h\, A_{S,P}[\rho]\, \vec{I} \cdot \vec{J}$$
$$= W_{point}^{S,P}\left(1 + \epsilon_{N,(s,p)}\right)$$

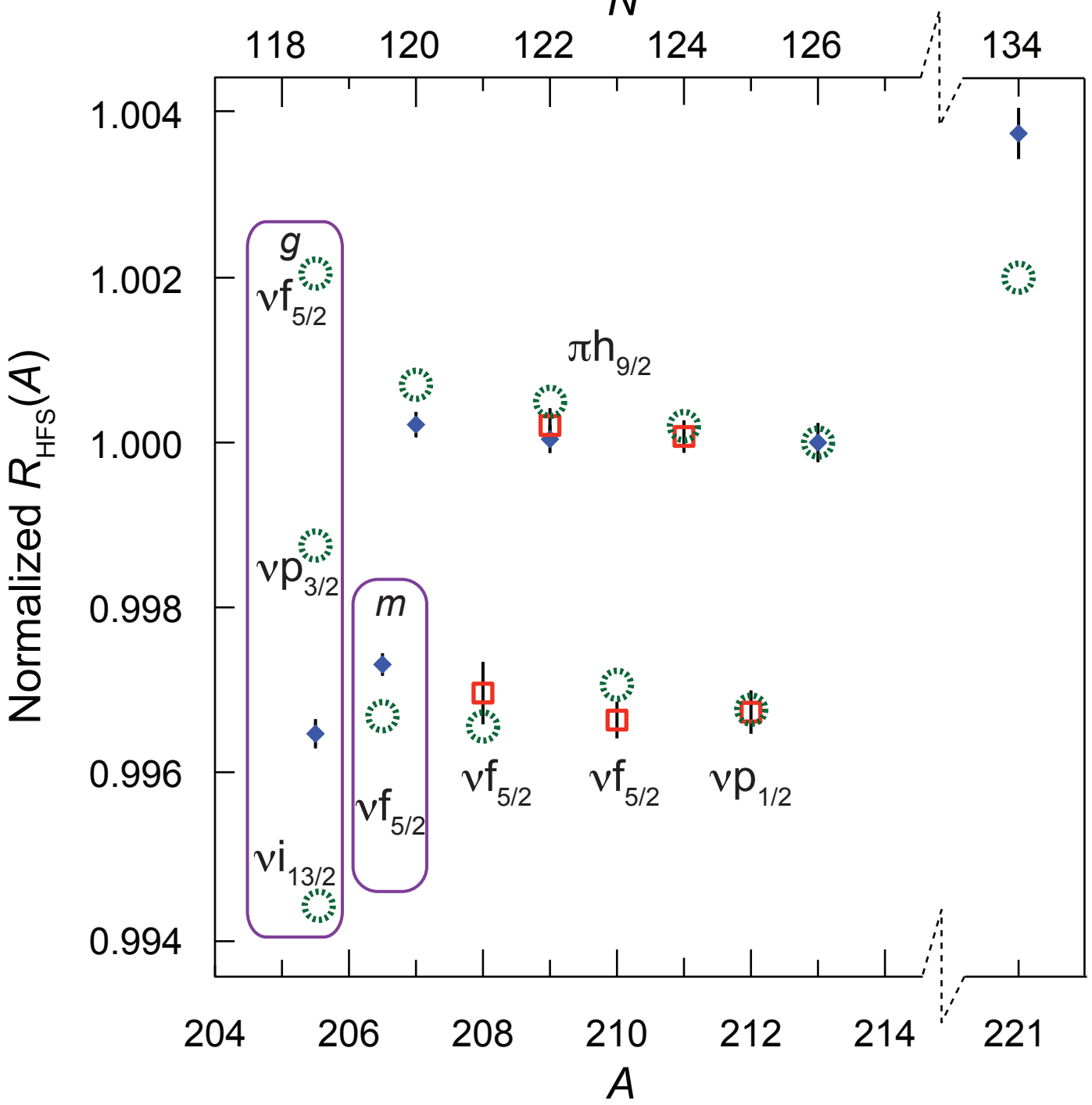
$A_{S,P}$ [ρ]= coeficiente hiperfino

ρ=distribución de magnetización




7P1/2 hyperfine splitting for 213Fr
Count rate (10² counts/bin)
10.0
8.0
6.0
4.0
F
F+1
Normalized residuals
3.0
0.0
-3.0
-2.86
-2.84
-2.82
-2.80
2.88
2.90
2.92
Frequency (GHz)

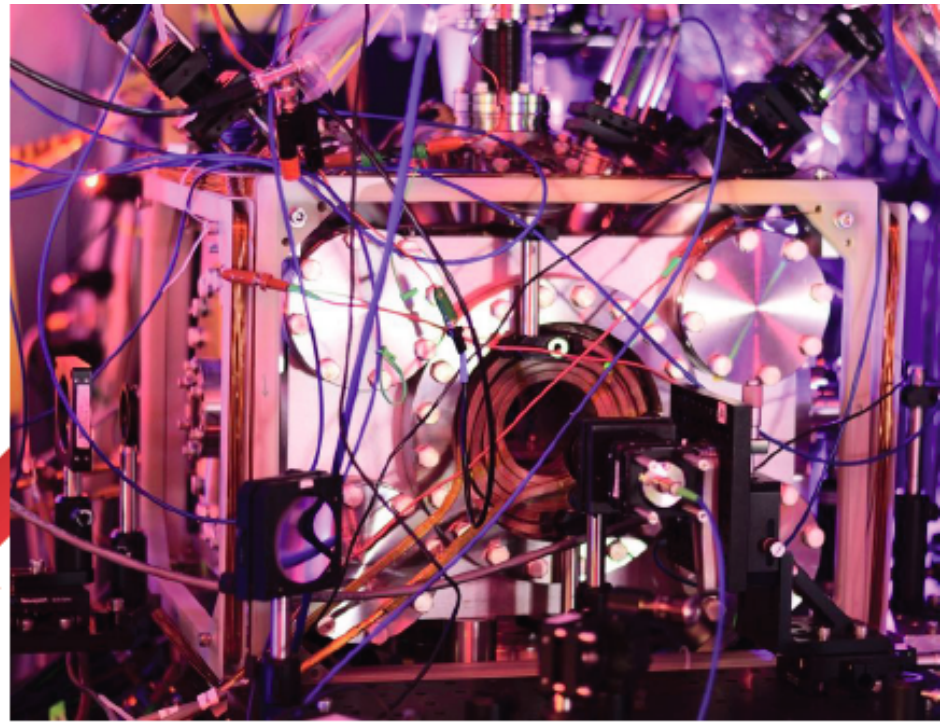
Anomalía HF

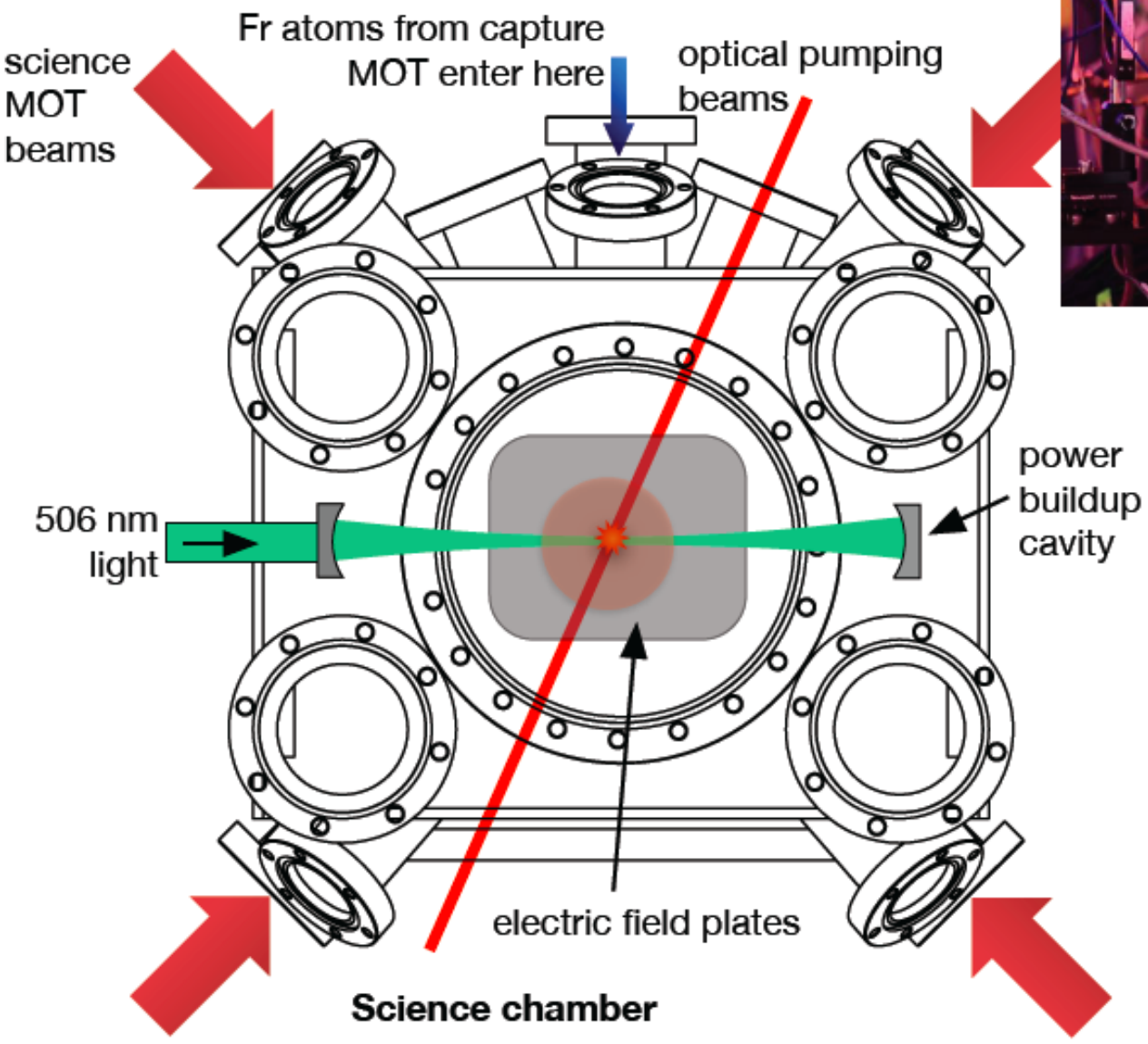


Verde: Teoría de la estructura nuclear.

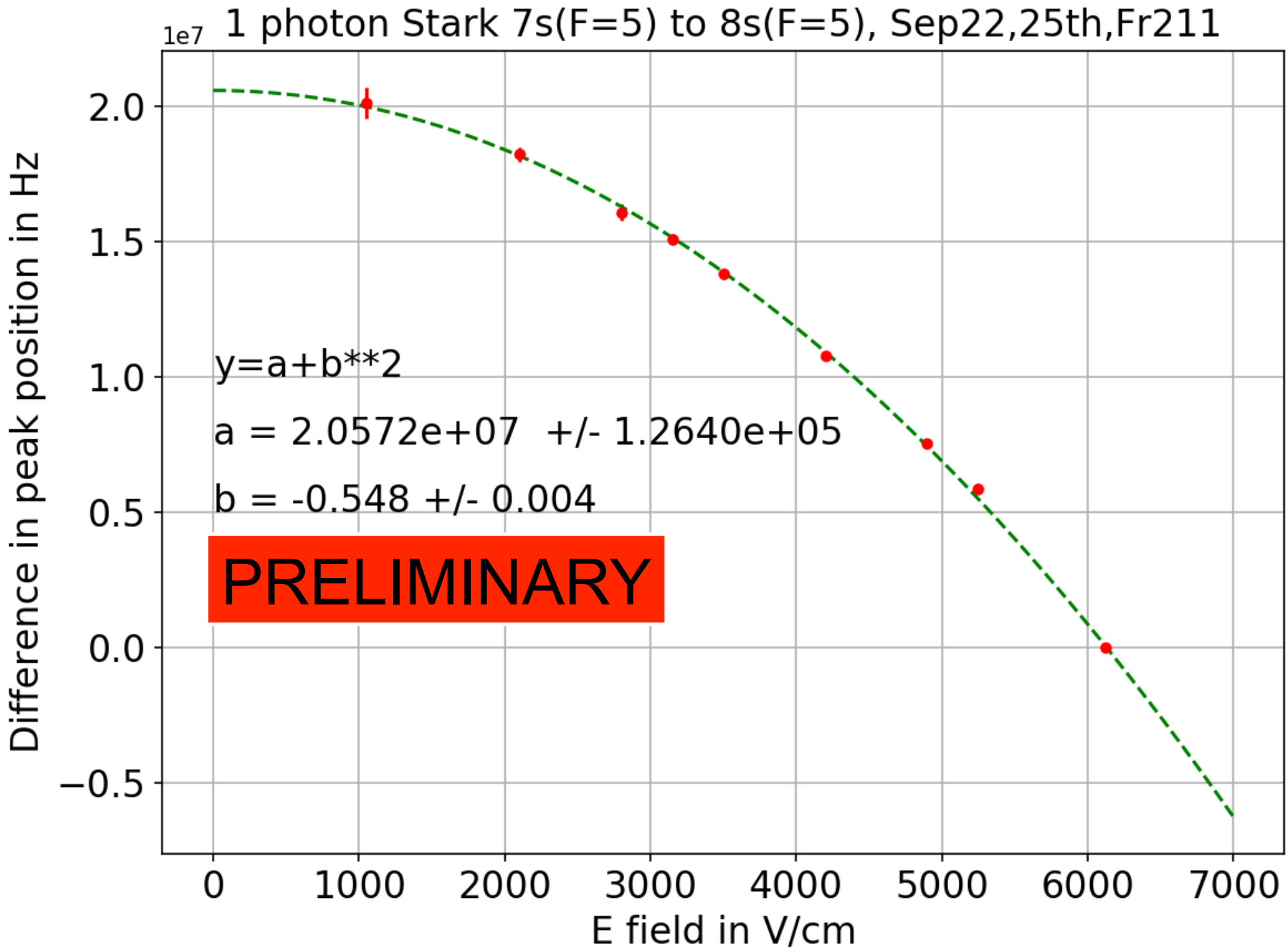
Azul y Rojo: Mediciones

Dos isómeros para 206 *g* y *m*

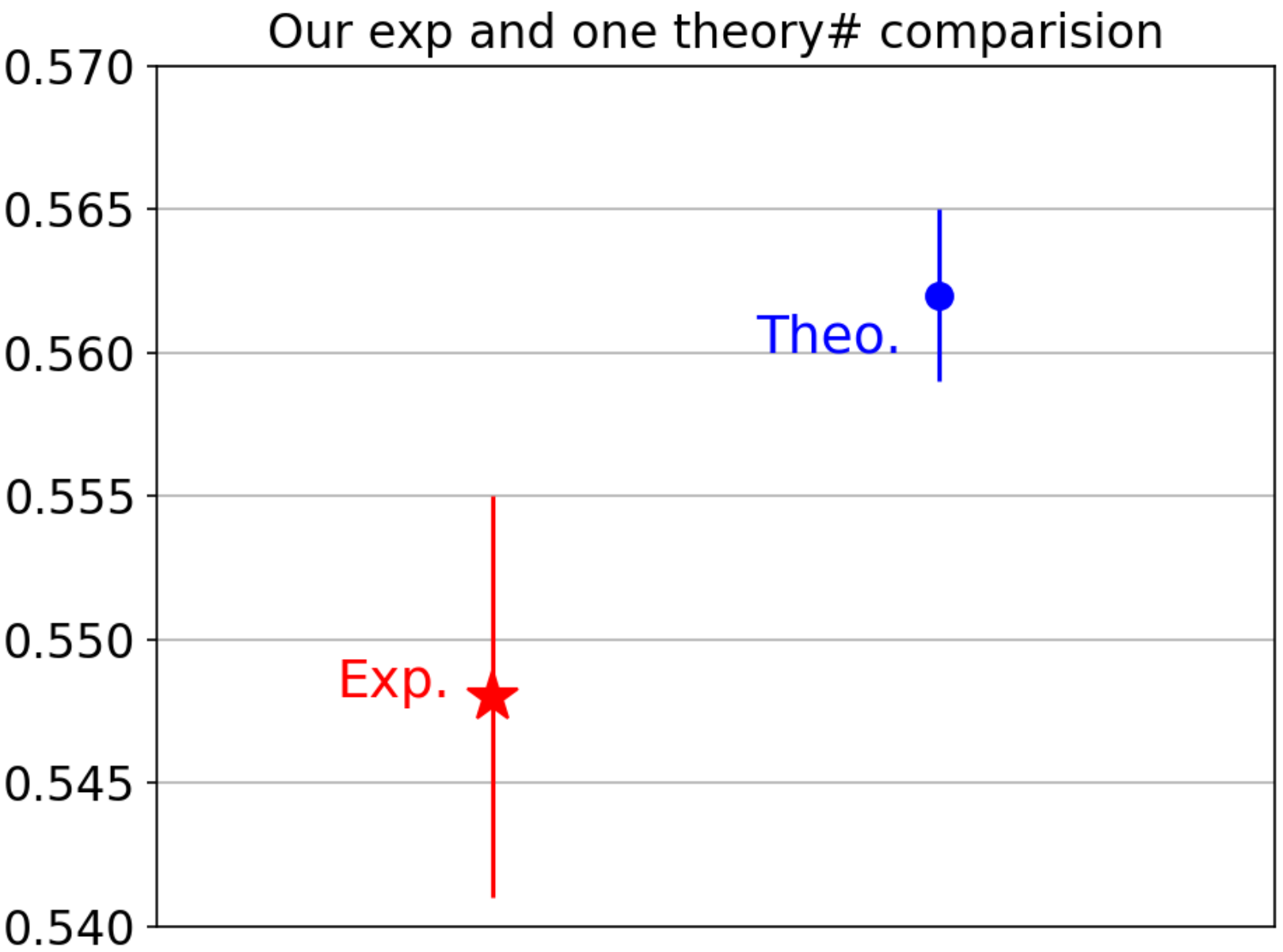



science
MOT
beams
Fr atoms from capture
MOT enter here
optical pumping
beams
power
buildup
cavity
506 nm
light
electric field plates
Science chamber

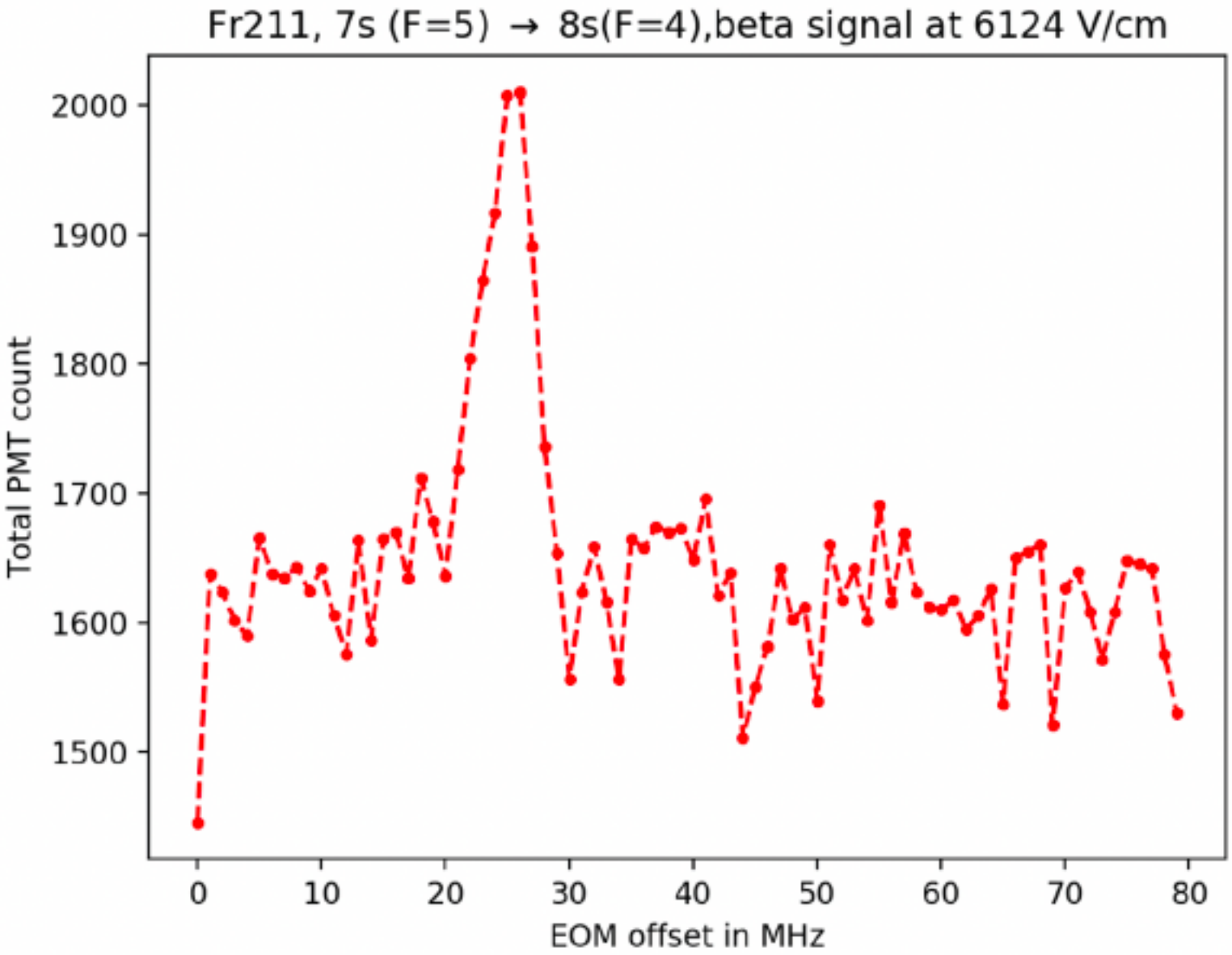
α (scalar) static polarizability in 7s to 8s



Preliminary α static polarizability in 7s to 8s

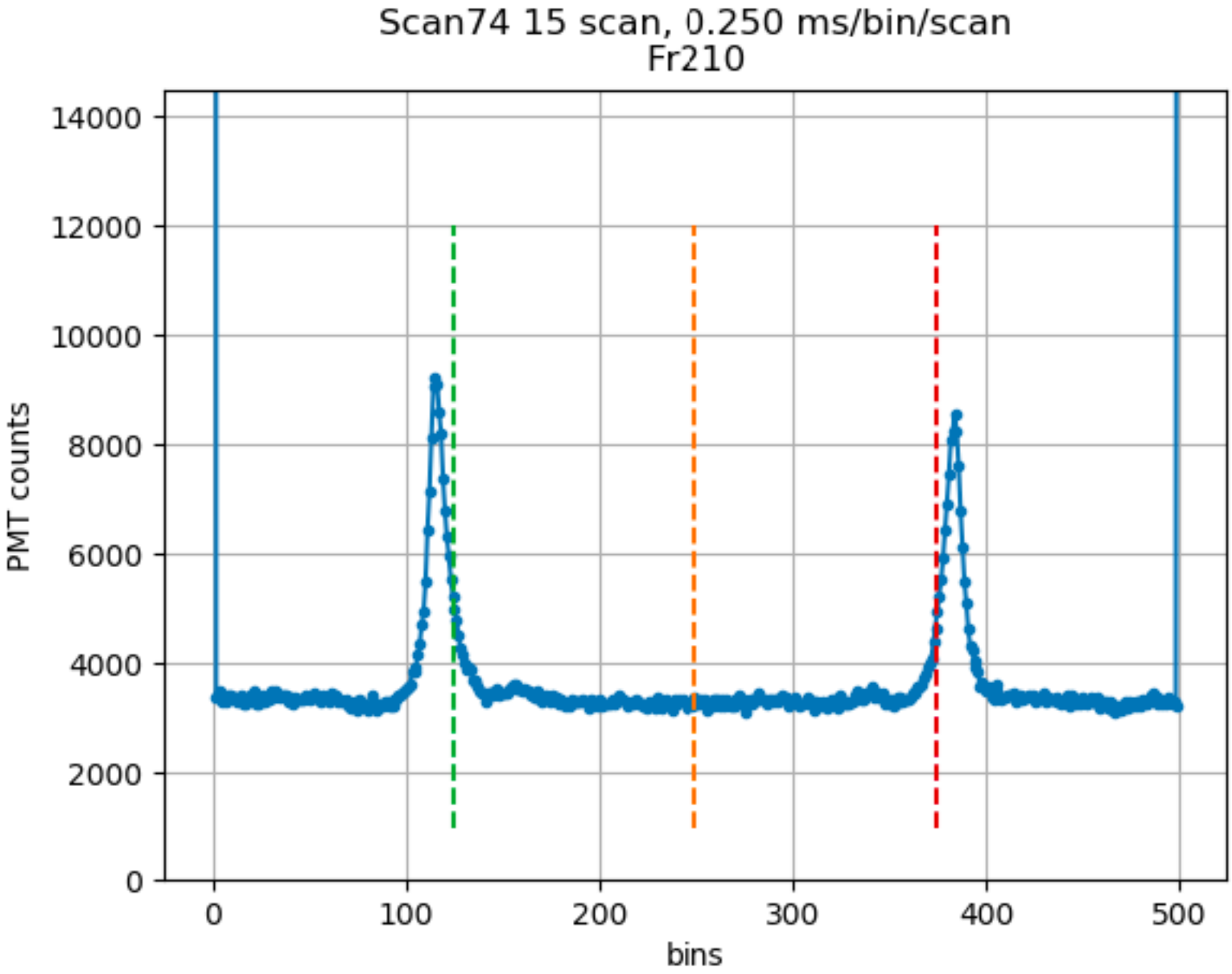


Observation of the ß (vector) Stark induced 7s-8s



10^9 To 10^{10} times weaker than a typical E1 transition.

December 2018 run: Observation of 7s hyperfine splitting in a few Fr isotopes



- Entendemos cuantitativamente los cambios en el radio de magnetización.
- Entendemos cuantitativamente los cambios en el radio de carga.
- La transición inducida por elefect Stark DC entre el 7s y el 8s con la polarizabilidad escalar (medida) y la polarizabilidad vectorial (observada).
- Estamos mas cerca de los estudios de la interacción débil.

Corrida en TRIUMF Septiembre 2018

Matt Pearson, Mukut R. Kalita, Gerald Gwinner, Tim Hucko, Michael Kossin, Seth Aubin.

Itaca

Constantino Cavafis

“Cuando emprendas el viaje hacia Itaca desea que tu camino sea largo….

Itaca te brindó tan hermoso viaje.
Sin ella no habrias emprendido el camino....

Aunque la halles pobre, Itaca no te ha engañado.
Asi, sabio como te has vuelto, con tanta experiencia, entenderás ya qué significan las Itacas.”

MUCHAS GRACIAS
y
felicidades a los dos octagenarios el IFUNAM y el Francio