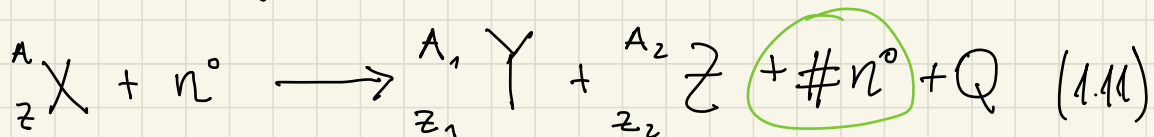


1.4. Fisión y Fusión Nuclear

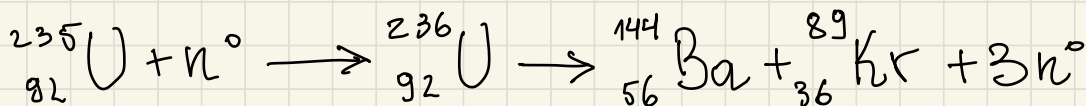
La fisión nuclear es el fenómeno donde un núcleo pesado absorbe un neutrón para luego decaer en dos o más núcleos.

De forma general tenemos: también como γ .



con X, Y, Z núcleos y $\#n^0$ el número de neutrones liberados. usualmente 2 o 3.

• Fue descubierta en 1938 por Hahn y Strassmann después de bombardear uranio con neutrones:



• En 1939, Meitner y Frisch describieron físicamente este proceso. Ellos le dieron el nombre de fisión a este proceso.

Esto llevó al desarrollo de "tecnología nuclear" para fines militares y después, para crear energía limpia.

• Una reacción en cadena ocurre cuando uno de estos neutrones liberados induce otra fisión.

Para ver si es sostenible o no, hacemos uso del factor de multiplicidad k :

$$k = \frac{\text{número de neutrones en una generación}}{\# \text{ n.ºs en generación anterior}} \quad (1.12)$$

con $k < 1$: reacción se detiene

$k = 1$: crítica, estable \leftarrow reactor

$k > 1$: supercrítica \leftarrow bomba

TAREA

Con esto, decimos que la masa crítica es la cantidad de material tal que $k > 1$.

Dependerá de su tamaño y forma, densidad, pureza, etc.

La energía liberada en este proceso es de aprox. 200 MeV por fisión.

Ejemplo,

- Consideremos 1 kg de uranio-235 y calculemos la energía total liberada:

Primero, tenemos que

$$1 \text{ MeV} \approx 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\rightarrow 200 \text{ MeV} \approx 3.20 \times 10^{-11} \text{ J}$$

Después, calculamos el número de núcleos en 1 kg de uranio-235:

$$\text{moles} = \frac{1 \text{ Kg}}{235 \text{ gr/mol}} \approx 4.25 \text{ mol}$$

$$\Rightarrow N = (4.25 \text{ mol})(6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ \approx 2.5 \times 10^{24} \text{ núcleos.}$$

Considerando el caso extremo donde todo se fisiona:

$$E_{\text{tot}} = (200 \text{ MeV})(2.5 \times 10^{24}) \\ \approx 500 \times 10^{24} \text{ MeV} \\ \approx 8 \times 10^{13} \text{ J}$$

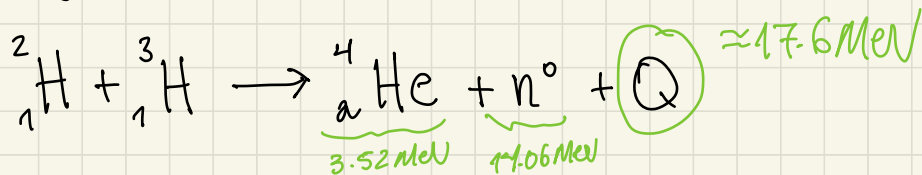
Pasamos a kilotones: 1 Kiloton TNT = $4.18 \times 10^{12} \text{ J}$

$$\approx 19 \text{ Kilotones de TNT}$$

¡Mucha energía!

La fusión nuclear sucede cuando dos núcleos ligeros se combinan y forman un núcleo más pesado.

Por ejemplo,



Esta energía es aprox. $\approx 2.81 \times 10^{-12} \text{ J}$

→ 10 veces menor a la registrado por fisión nuclear.

Sin embargo, estos núcleos ligeros tienen una energía mayor por nucleón que los pesados.

- Hablemos un poco sobre dónde se aplica esto:

→ Nucleosíntesis Estelar

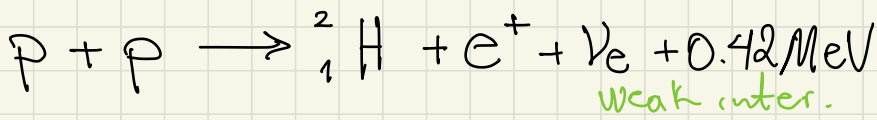
Sabemos que el Sol toma Hidrógeno y lo convierte en Helio.

¿Cómo?

En el caso de una estrella como la nuestra, el proceso es llamado proton-proton chain.

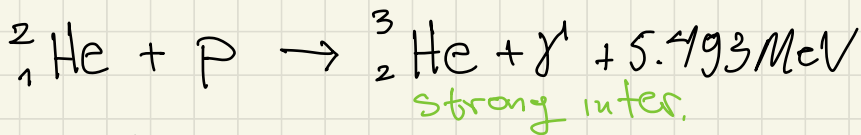
→ fusión nuclear de protones.

Primero, dos protones se fusionan en deuterio:

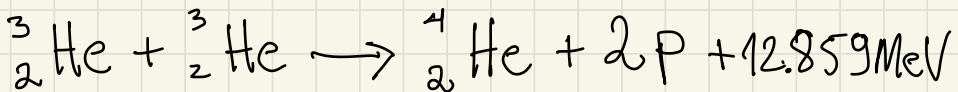


En este proceso, uno de los protones sufre un p^+ decay.

Después, otro protón se suma a la reacción y se obtiene helio-3:



Finalmente, dos núcleos de helio-3 pueden fusionarse para formar berilio-6, que luego eyecta dos protones:

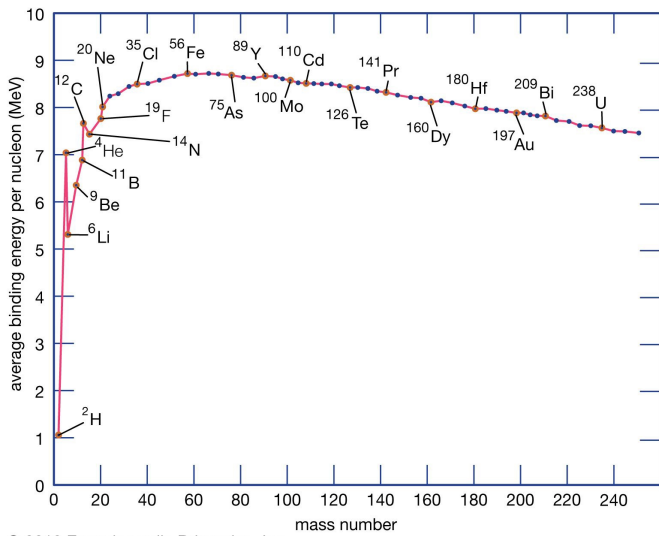


Este proceso depende de la temperatura y es conocido como **p-p I branch**.

• Hay más branches y tipos de fusiones. **TAREA.**

Todo esto fue teorizado por Eddington en los 20's y Bethe desarrolló la teoría en 1939.

→ del II branch.



• Un poco más sobre estabilidad.

• Binding energy per nucleon:

$$\rightarrow \frac{\text{Binding energy}}{A}$$

• Recordemos:
Binding energy es la energía necesaria para "desmontar" el núcleo.

• Entonces, binding energy grande \rightarrow mayor estabilidad.

Núcleos ligeros:

- Crece mientras agregamos más nucleones
 \rightarrow fuerza fuerte.

- Helio-4 extra estable \rightarrow doubly magic

Núcleos medianos:

- saturación. Balance entre fuerza fuerte y EM.

Núcleos pesados:

- Binding energy decae; comienza a ganar EM.

Nota: ^{56}Fe y ^{62}Ni son los más estables;
no se fisionan.

TAREA

2. Las partículas Elementales

2.1. Propiedades de las partículas

- Hasta ahora nos hemos enfocado en el aspecto nuclear. Es hora de ir más abajo.
- Una partícula elemental es aquella que no está compuesta de otras.

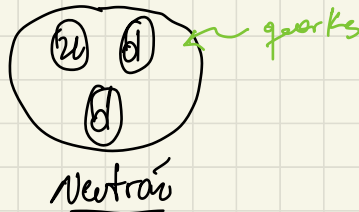
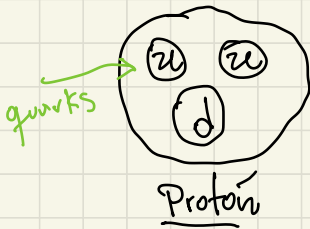
Ejemplos,

- Electrón, neutrinos, quarks (hasta donde sabemos)

- Entonces, una partícula compuesta está formada por partículas fundamentales.

Ejemplos,

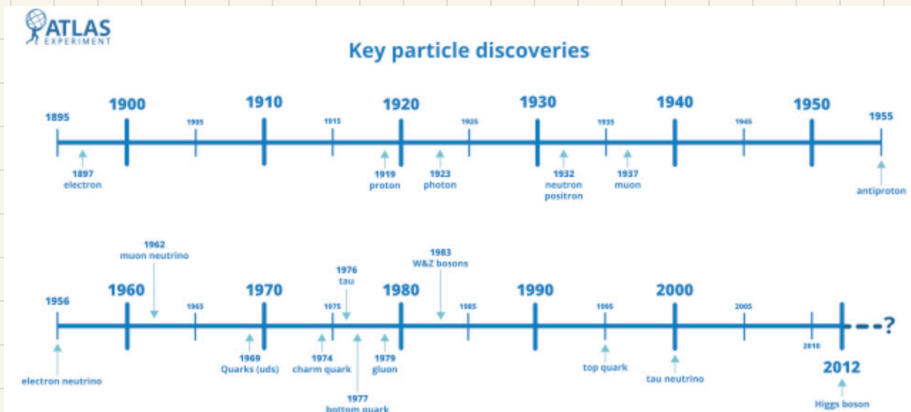
- Protón, neutrón, piones, Kaones, etc.



- Estas partículas elementales o fundamentales, son descritas por el Modelo Estándar:

	I	II	III	
Mass	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
Charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name	u	c	t	γ
Quarks	up	charm	top	photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d	s	b	g
	down	strange	bottom	gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z ⁰
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e	μ	τ	W [±]
	electron	muon	tau	weak force

Bosons (forces)



• Existen dos grandes familias:

- Fermiones → Quarks
→ Leptones

- Bosones: → Escalares (Higgs)
→ Gauge (γ, g, W, Z)

- La teoría "unifica" las fuerzas EM, fuerte y débil bajo el grupo

$$\underset{\text{fuerte}}{SU(3)} \times \underset{\text{electrodébil}}{SU(2) \times U(1)}. \quad (2.1)$$

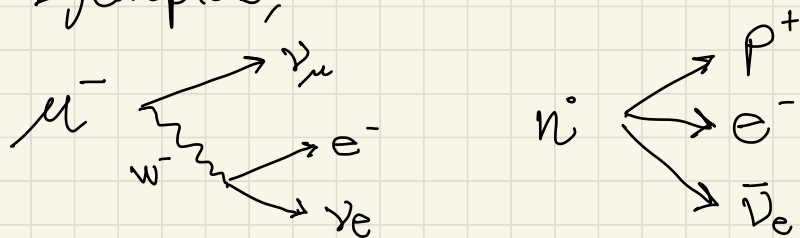
- El Lagrangiano del SM es invariante bajo esta acción de grupo.

(Más sobre esto próximamente).

- Gravity? \rightarrow ignorar, muy débil *¡ja!*

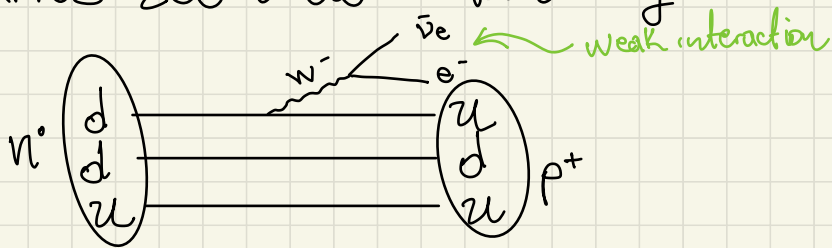
Las partículas interactúan entre sí por medio de los bosones de gauge.

Ejemplos,

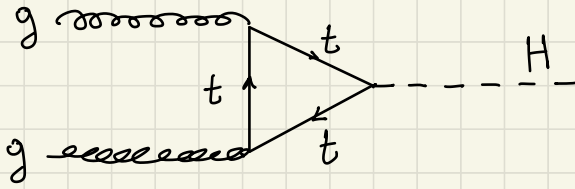


Nota: Estos no son diagramas de Feynman.

- Hagamos zoom al beta decay:



También el Higgs interactúa:



Este sí es un Feynman diagram.

gluones interactuando
con top quarks.

→ Cómo pasar de dos gluones
a un Higgs.