$N = \sigma \cdot \phi$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{\phi} \cdot \frac{dN_s}{d\Omega}$$

$$N_s = \phi(0)\left[1 - e^{-n_{target} \cdot \sigma \cdot d}\right] \quad ; \; n_{target} = \rho \frac{N_A}{A}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta,\phi)|^2$$

$$f^B(\theta,\phi) = -\frac{m}{2\pi\hbar^2}\int e^{i(\vec{k_i}-\vec{k_f})\cdot\vec{r}}\, V(\vec{r})\, d^3r$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{point} |F(q)|^2$$

931,494 MeV/uma

$$A_{esp} = \frac{\lambda N_A}{P_{at}}$$

$$\lambda = \sum \lambda_i$$

$$BR = \frac{\lambda_i}{\lambda} \rightarrow N_{Di} = N_{Ho} \cdot BR\,(1 - e^{-\lambda t})$$

$$Q_\alpha = T_\alpha\left(1 + \frac{m_\alpha}{M_{N\,(hija)}}\right)$$

$$Q_{IT} = T_i + B_i$$

$$p\,(GeV/c) = 0{,}3 \cdot B[T] \cdot \rho\,(m)$$

$$\underset{v \to c}{\theta} = \frac{1}{\gamma} = \frac{511}{E[keV]}$$

$$L \sim 10^{30}\ cm^{-2}\, s^{-1}$$

$$L = \gamma\, n_b \frac{N_1 N_2}{A} \quad A \ldots \text{superficie}$$

$$\boxed{\frac{dN}{dt} = L\,\sigma} \rightarrow \boxed{N = \sigma \int L\,dt = \sigma L_{int}}$$

Blanco fijo $\propto \sqrt{2Emc^2}$

Colisión $\rightarrow \leftarrow \;\propto 2\sqrt{E_1 E_2}$

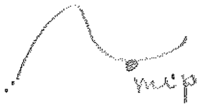
$$\Delta E/\text{vuelta} \propto \left(\frac{E}{m_0}\right)^4 \cdot \frac{1}{\rho}$$

$$E_{max}(RF) \sim 10\,(\rho\,\Delta E_{max})^{1/4}$$

$$-\frac{dT}{dx} = -\frac{dE}{dx} \rightarrow S = -\frac{dE}{\rho\,dx}$$

$$\left.\frac{dE}{dx}\right|_{total} = \left.\frac{dE}{dx}\right|_{col} + \left.\frac{dE}{dx}\right|_{rad}$$

$$S_{col} = 0{,}1535 \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left\{ \ln\left(\frac{2m_ec^2\beta^2\gamma^2 T_{max}}{I^2}\right) - 2\beta^2 - \underbrace{\delta - 2\frac{C}{Z}}_{\text{correcciones}} \right\}$$ Bethe - Bloch



mip $\gamma \approx 3$ ; $\beta = 0{,}96$

$S_{total} = \sum S_i$ o $\frac{1}{\beta^2} = \ldots$ Regla de escala

$$\sigma_{Ph} \propto \frac{Z^5}{E_\gamma^{-7/2}}$$

$$\sigma_{com} \propto \frac{Z}{E_\gamma^2} \qquad T_{cmax} = E_\gamma \frac{2\gamma}{1+2\gamma} ; \; \gamma = \frac{E_\gamma}{m_ec^2}$$

$$\cancel{T_{cmax}} = \sigma_{pares} \propto \frac{Z^2}{E_\gamma^3} \; ; \; \text{umbral}$$

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-\mu x} = \phi_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho x}$$

$$R = \frac{FWHM}{H_0}$$

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{E}} \qquad \vec{E} = \frac{V_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\phi(r) = \frac{V_0}{\ln(b/a)} \ln\left(\frac{b}{r}\right) \qquad \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2+a^2}}\right)$$

$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2}\, \sigma$$

$$M_{at} = M_N + Z m_e - B_i = A \cdot 1u + \Delta$$

$$= Z M({}^1_1H)\; N m_n - E_L$$

$$Z_{min} = \frac{A/2}{1 + \frac{\alpha_c}{4\alpha_A} A^{2/3}} \simeq \frac{A}{1{,}98 + 0{,}015 A^{2/3}}$$

$$p = 0{,}3 \cdot B \cdot \rho$$

$$N = \frac{m\, N_A}{P_{at}}$$

$$T_e = Q_{Gr} - B_L$$

$$\sigma \propto \mu \qquad \omega_{Larm} = \frac{g_s \mu_N B_0}{h}$$

$RC \gg Z_r \rightarrow$ modo ~~V~~ voltaje

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{point} \cdot |F(q)|^2$ $\qquad \sigma \to F \to r^2$

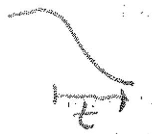
$F(\vec{q}) = \int \rho \cdot e^{i\frac{\vec{q}\vec{r}}{\hbar}} \cdot d^3\vec{r} = \dots \simeq 1 - \frac{1}{6}\frac{q^2}{\hbar}\langle r^2\rangle = \frac{4\pi}{q}\int \rho(r)\cdot r \sin(qr)\, dr$

$\langle r^2 \rangle = \frac{3}{5}R^2 \to R = 1{,}29\sqrt{\langle r^2\rangle}$

$R = r_0 \cdot A^{1/3} \to \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx cte = 0{,}14 \times 10^{45}/m^3$ ; $R_0 \sim 1{,}23\, fm$

$\rho(r) = \frac{1}{2\pi r^2}\int F(q)\cdot q \cdot \sin(qr)\, dq \approx cte$ ; anchura $\sim$ cte $\sim 2{,}3\, fm$

$\boxed{\rho_{Fermi} \sim \frac{\rho_0}{1+e^{(r-R)/a}}}$ S-Wo.Sa



$\rho_{prot} = \rho_0 \cdot e^{-q_0 r}$

$\sigma_{ruth} \sim \left(\frac{z}{T}\right)^2 \frac{1}{\sin^4\theta/2}$ ; radio carga $\simeq$ radio materia

$\rho_M = 2{,}3 \cdot 10^{17}\, kg/m^3 \to$ indep $A \to$ corto alcance, saturación

$\delta = \Delta M_{C-H}$

- Thomson $y = \frac{2E}{\ell^2 B^2}\frac{m}{q}x^2$
- Q
- espectr. $v = \frac{E}{B}$

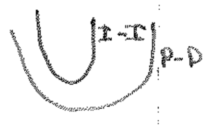
separa isótopos $\to$ centrifugar

$B_{nuclear}(N) = z M(^1H) + N m_n - M(^A_Z X_N)^{at}$

$B/A \sim 8\,MeV \to$ satura

$B(Z,A) = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C Z(Z-1)A^{-1/3} - a_{sim}\frac{(A-2Z)^2}{2A} + \delta \begin{cases} -a_P A^{-3/4} & i-i \\ 0 & p-i \\ +a_P A^{-3/4} & p-p \end{cases}$

$Z_{min} \simeq \frac{A/2}{1+\frac{a_C}{4a_s}\cdot A^{2/3}} \sim \frac{A}{2+0{,}015A^{2/3}}$




$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \to$ Nucleón, $\vec{J} = \vec{L} + \frac{\vec{1}}{2} \to$ Núcleo A par $\to J$ entero; impar $\to J$ semi

$J_{par}^{par} = 0$

$P\psi = (-1)^L \psi \to$ se conserva EM, Fuerte

$P(\text{nucleón}) = +1 \to P(\text{núcleo}) = (-1)^L$

$I = 1/2 \to I_{p,n} = \pm 1/2$

$N-N \to \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \begin{cases} + \to 1 \to 2\cdot 1+1 = \text{triplete} \to \text{sim} \\ - \to 0 \to 2\cdot 0 + 1 = \text{singlete} \to \text{antiS.} \end{cases}$

$\frac{Z+N}{2} \geq I \geq \frac{|Z-N|}{2}$, $I_z = \frac{Z-N}{2}$, $Q = I_z + \frac{A}{2}$

nuclear depende $I$, no $I_z$

e.m. conserva $I_z$

$\langle z^2 \rangle = \langle x^2 \rangle \to Q_0 = 0$ esf.

$>$ oblongo (prolate)

$<$ achatado (oblate)

$\vec{\mu} = \vec{\mu_\ell} + \vec{\mu_s} = (g^{(\ell)} \vec{\ell} + g^{(s)} \vec{s}) \frac{\mu_N}{\hbar}$

$\vec{\mu} = g_J \frac{\mu_N}{\hbar} \vec{J}$

$\langle \mu \rangle = [g_\ell (j \pm 1/2) \pm \frac{1}{2} g_s] \mu_N$

$g_s \approx \cdot 4$

$\Downarrow$

$\frac{\mu_{(c)}}{\mu_N} = j \left[g_\ell + \frac{g_s - g_\ell}{2\ell+1}\right]$

con $j = \ell + 1/2$

---

RNM

$V = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \to 2J+1$ niveles

fotones

$\omega = g_J \mu_N B_0 \to$ precesión $\to$ apagar $\to \gamma(\omega_L)$

$\vec{B} = (B\cos\omega t, B\sin\omega t, B_0)$

$\omega_L$ (médico); $B_0$ cambia con entorno químico

nucleones idénticos $\to 0^+$ $(\ell = 0)$ por apareo

Modelo colectivo $<$ vibr. $A < 150$ / rotac. $A > 150$

Par-par $\to 0^+$ (apareados)

A impar $\to$ partícula indep.

$J = j$

$P = (-1)^\ell$

$\ell = j \pm \frac{1}{2} \to \ell$ fija $j$

$\to$ nºs mágicos picos, abundantes

$\to$ no interacción cruzada $\to$ Vcentral efectivo (Hartree-Fock)

pozo, armónico $\to$ parte

Saxon-Woods $\frac{-V_0}{1 + e^{(r-R)/a}}$ $\to$ Nºs mágicos 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184

Potencial espín-órbita

$(n\ell_j)^x$ $\to$ Protones $(\pi p_{1/2})^{-1}_{1/2}$

$\to$ Neutrones $(\nu d_{5/2})^2_0$

$\hookrightarrow$ bien cerca capa cerrada

$1s_{1/2}$

$1p_{3/2}$

$1p_{1/2}$

$1d_{5/2}$

$2s_{1/2}$

$\vdots$

; $\boxed{\begin{array}{l} 2j+1 \text{ estados} \\ \ell = j \pm 1/2 \end{array}}$

$Q_{sp} = -\frac{2j-1}{2(j+1)} \langle r^2 \rangle$

$\langle r \rangle^2 = \left(\frac{3}{5} r_0 A^{1/3}\right)^2$

$r_0 = 1.2$ fm

$$P(E_f) = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(E_f - M)^2 + \Gamma^2/4}$$ → Breit-Wigner

$\Delta E = \Gamma = \hbar/2$

$\Xi$ ideal → $A_2 = max$ → $t_m = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{\tau_1}{\tau_2}$

$\Xi$ secular → $\lambda_2 >> \lambda_1$ → $\frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}(1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$ → ~ 1

$\Xi$ transitorio → $\lambda_2 > \lambda_1$ → $\frac{A_2}{A_1} \sim \frac{T_1}{T_1 - T_2}$

$\not\Xi$ No equilibrio → $\lambda_2 < \lambda_1$ → $A_2 \sim N_{20} \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$

$$A_n = N_{10} \left( \prod_{i=1}^{n} \lambda_i \right) \left[ \sum_{k=1}^{n} \frac{e^{-\lambda_k t}}{\prod_{j=1, j\neq k}^{n} (\lambda_j - \lambda_k)} \right]$$

si $\Xi$ secular
→ $\lambda_i N_i = \lambda_n N_n$

Radiact artificial
→ $A_2 = R(1 - e^{-\lambda t})$ $(N_1 \simeq cte = N_{10},\ \lambda_1 \ll \lambda_2)$

$R = N_1 \cdot \sigma \phi = \lambda_1 N_1$ ; $\lambda_1 = \sigma \phi$

Rendim $r = R \lambda_2$

---

$\alpha$ Geiger-Nuttal $\log T_{1/2} = C + \frac{D}{\sqrt{T_\alpha}}$ ; $C, D\ (A)$ → núcleos par-par

$f = \frac{v_\alpha}{2a}$ → solo con efecto túnel ⊓ ó ∩
falta $\psi$

$\alpha$ → fuerte + e.m → paridad se conserva

$J^P(\alpha) = 0^+$ $\vec{J_i} = \vec{J_f} + \vec{L_\alpha}$ → $|J_i - J_f| \le L_\alpha \le J_i + J_f$

$P_f = P_i (-1)^{L_\alpha}$ → $L_\alpha$ par si $P_i$ par → $\Delta J$ par

si $J^P = 0^+$, sólo $0^+ \to 0^+, 1^-, 2^+, 3^-$ → $P_f = (-1)^L$
(núcleos par-par) → $J_f = L$

---

$\beta$ $\lambda = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle f|V|i\rangle|^2 \rho(E_f)$ ; $V_{fi} = \frac{G_F}{V} M_{fi}$ → cte. de Fermi

$\vec{S}_{e,\nu} = \{ \vec{0}$ → Fermi ; $\vec{1}$ → G-T → cambia signo bajo parid

Helicid $\lambda = \frac{\vec{\sigma} \cdot \vec{p}}{|\vec{\sigma} \cdot \vec{p}|}$ cambia S, no T ; $O_X = C_\mp + g_A \lambda C_\mp$ → cambia T

$T_{emax} = Q$ ; $\beta^+$ añadir Coulomb → función de Fermi $F = \frac{x}{1 - e^{-x}}$ ; $x = \frac{\mp 2\pi Z e^2}{p}$

transic. prohib → $M \neq cte(E)$ → $S = p^2 + q^2$ factor de forma nuclear $1^a$ p.

Plot. de Kurie permitidas ↘, baja E interacción con fuerte

Masa $\nu$ → $m_\nu \neq 0$

Semividas comparativas

$\lambda = K_1 G_F^2 |M_{fi}|^2 f(Z', Q)$ Integral de Fermi

$ft = \frac{\ln 2}{K_1 G_F^2 |M_{fi}|^2}$ → sólo depende núcleo  $\log ft$ { 3 – 4 superp → $0^+ \to 0^+$ (Fermi puro) ; 4 – 6 Permitidas ; 6 – 10 $1^{\underline{a}}$ p ; 10 – 13 $2^{\underline{a}}$ ; > 15 $3^{\underline{a}}$ }

sólo pa/ mat

Fermi → $S=0$, $|M_{fi}| = 1$

↳ leptones: singlete S

superp → $M_{fi} = \sqrt{2}$ → triplete I → sacas $G_F$

CE

$\psi_K \propto e^{-r/a_0}$

$\lambda_{CE} \propto Z^3$

$\lambda_\beta \propto p^2$

$\log ft = \log f + \log t_{1/2}$

$L=0$ Permitidas; $L>0$ prohibidas

No conserva parid x ø si $\vec{J_i} = \vec{J_f} + \vec{L} + \vec{S}$ ; $\boxed{P_i = (-1)^L P_f}$ → empezar x aquí, L + bajo)

$L$ dado, $\vec{S}$ $\begin{cases} 0 \to \vec{\Delta J} = \vec{L} \\ 1 \to \vec{\Delta J} = \vec{L} + \vec{1} = \begin{cases} L+1 \\ L \\ L-1 \end{cases} \end{cases}$

$\boxed{\vec{\Delta J} = \vec{L} + \vec{S}}$ ≙ proyecc. {L+S}

F $L = 0 = S = 0$ → $\Delta J = 0$, $\Delta T_z = \pm 1$ ; $\Delta I = 0$ ; $I_i + I_f \neq 0$, $\Delta P = +$

GT $L = 0, S = 1$ → $\vec{\Delta J} = \vec{1}$ → $\Delta J = 0, \pm 1$ → $|J_f - 1| \leq J_i \leq J_f + 1$

$\Delta T_z = \pm 1$, $\Delta P = +$

Reines – Cowan  $\bar{\nu_e} + p \to n + e^+$

↳ captura cadmio (disuelto en agua)

γ

$\tau_\gamma \Gamma_\gamma = \hbar$

Estimadores de Weisskopf  $\lambda \left( \frac{E}{M} L \right) \ldots (s^{-1})$, multipolarid L

$\boxed{\vec{J_i} = \vec{L} + \vec{J_f}}$ → empezar x aquí, luego $\boxed{0 < |J_i - J_f| < L \leq J_i + J_f}$

$\boxed{\Delta P = + \to \begin{matrix} \text{par } E \\ \text{impar } M \end{matrix}}$

$\lambda(E_1) \gg \lambda(M_1)$

$\lambda(E_2) \sim \lambda(M_1) \gg \lambda(E_3)$

$0 \to 0$ prohibido porque $L \neq 0 \geq 1$ (espín γ)

CI

$\lambda = \lambda_\gamma + \lambda_{ce}$ → $\alpha = \frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma}$ → $\lambda = \lambda_\gamma (1 + \alpha)$

$\alpha = \alpha_K + \alpha_L + \alpha_M$

Mg reglas selección, pero $0 \to 0$ permitido (E0) con $\Delta P = +$

# Dosimetría

$<$ Estocásticos / Deterministas ; Daño $<$ directo / indirecto

$1\,Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}\,Bq$ (actividad)

Exposición $X \Rightarrow \frac{Q}{m} \rightarrow 1R \;\hat{=}\; 8{,}8\,mGy$ ... 1 esu... ; $q_e = 4{,}8 \times 10^{-10}$ esu

$m_{aire} = 1{,}293 \times 10^{-3}\,g$

Dosis absorbida → Gray

rad = 100 erg/g = 0,01 Gy → 1 Gy = 100 rad = $10^4$ erg/g

Dosis equivalente → Sievert

$H = W_F \cdot D \rightarrow W_F = \begin{cases} 1 & \gamma, e^-, X, \mu \\ 5 & n, p \\ 20 & \alpha, \ldots \end{cases}$

Dosis eq. efect $H_e = \sum w_i H_i$

Tasa $\dot{X} = \Gamma \frac{A}{d^2}$ ... cte específica de tasa de exposición.

ALARA

Dosis letal (50% muerte en 30 días) → 2-3 Sv

Dosis medias ~ 2,50 mSv/año

---

- Datación $^{14}C$

$t - t_0 = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N(t_0)}{N(t)}$

50 años — 60.000 años

- AMS (espectrometría de masas con aceleradores)

reducir ruido → ionizar → isóbaros ; stripper $e^-$

- Geológica → $Rb^{27\%}$ ; U

$10^{10}$ $10^{9}$

$y = mx + n$ $P(t_0) + H(t_0) = P(t) + H(t)$

---

- Absorción resonante — efecto Mössbauer

↳ fotón, resonancia, $\tau \sim 1\,ps$ emisor - absorbente

$2T_R = E_\gamma^2 / Mc^2$

$> T$ → efecto Doppler, resonancia fluorescente

↳ acelerar → centrifugadoras ⟶ sin retroceso = Mössbauer

→ CE

⟶ permite medir desplazamiento químico, Q, $\vec{\mu}$, planetas, cambio al rojo, ...

- NAA: análisis x act. neutrónica

- irradiar con n $A_1 = R(1 - e^{-\lambda_1 t})$ ; $R = N\sigma\phi$

↳ no destructiva → pintura

- delgadas → cargadas, rayos X

- Tracing $<$ tiroides, sangre / vitaminas, Hg / fugas, protección

- Gauging $I = I_0\, e^{-\mu_m \rho t}$

↳ espesor, nivel, colapso

- esterilización

- Imagen $<$ rayos X / γ / TC / PET, SPECT

- Radioterapia.

# Fisión

compite $A > 250$
elipsoide
$-a_s S, a_c Z$

$Z^2/A > 47 \begin{cases} Z > 114 \\ A > 270 \end{cases}$ → fisión instantánea $Q > E_{barr}$; $E_{act} > 0$

$\lesssim$ → fisión espontánea $Q \sim E_{barrera}$; $E_{act} \sim 0$

absorción → fisión inducida ~ barrera $E_{act} < 0$, $Q < E_{bar}$
inhibida < "

Energía de activ. $\equiv E_{max} - E_0$

→ neutrones térmicos mínimo en $A_1 = A_2$
energéticos máximo " "

fisión → $10^{-16}$ s → neutrones prompt ; $\sigma = 1{,}08$
xa equilibrar $Z/A$

→ s → desintegración $\beta$ → neutrones delayed ~2,5% n, 1% fisions

basura nuclear → serie radioactiva, $\tau$ large
$\sigma$(n térmicos) ~ $10^3$ $\sigma$(n rápidos) ($^{235}U$) ; $^{238}U$ → sólo los rápidos $\frac{235}{238}$
235 ↔ 238 ⟺ $\delta$ ~0,6 MeV

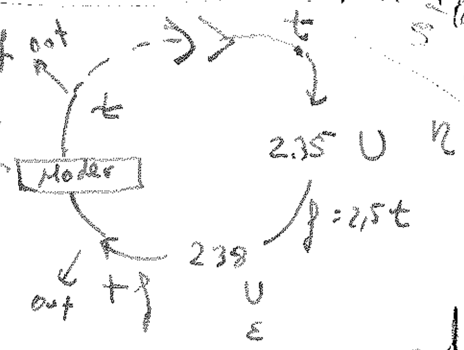
$Q/fis$ ~200 MeV → $T_{frag}$ ~80%
Prompt ~2% ; 2,5/fis → 5 MeV, $\gamma$ prompt → 8 MeV
$\beta$ → 19 MeV (30%)
12 MeV → $\nu$ , 7 MeV $\gamma$

$\Sigma$ : lo largo
$\lambda$ ~ $10^{-6}$ colisiones

$\boxed{I = I_0 \cdot \sigma_{tot} \cdot \frac{dN}{dS}}$ $N_{col} = \frac{1}{\xi} \ln \frac{T_0}{T}$

$I_0 = I_0 e^{-\sigma_t N x}$ $N = \frac{N_A t}{V}$ → $\Sigma_{tot} = \sigma_{tot} \cdot \frac{dN}{dV}$
$e^{-\Sigma t}$

frenar n → moderación → $\frac{E}{E_0} = \frac{A^2 + 1 + 2A\cos\theta}{(A+1)^2}$




$k_\infty$ → sin pérdidas $K_\infty = \eta \varepsilon p f$
$k = 1$ Pila crítica Reactividad $\rho = \frac{K-1}{K}$
$k < 1$ " sub "
$K > 1$ " super "

$\eta = \nu \frac{\sigma_{fis}}{\sigma_{fis} + \sigma_{abs}} = 1{,}33$ (U natural) → $K = K_\infty (1 - l_r)(1 - l_t)$
$1{,}84$ (3% enriq)

$L^2 = \frac{D}{\Sigma_a}$ $\Sigma = \sigma \frac{dN}{dV}$
$D^{-1} 3\Sigma(1 - \frac{2}{3A})$

$M$ = longitud migr. = $\sqrt{L_d^2 + L_m^2} = \sqrt{L_d^2 + \tau_{ter}^2}$ $L_m = \frac{D}{\xi \Sigma_s}$
Longitud difusión $L_d$ (n ter abs)
" frenado /Moder. ≡ edad Fermi térmica (n rap → n ter)

$k_\infty - k \propto \frac{M^2}{S}$ ; $S_c \propto \frac{M^2}{k_\infty - k}$ ; ?

$N(t) = N_0 e^{(K-1)t/\tau}$ ; $\tau$ : cte de tiempo neutrónica ($t$ moder. + ab) $10^{-6}$ … $10^{-3}$

control K → barras Cadmio, boro, samario
parada
fino grueso

Neutrones retrasados → 1%
Envenenamiento pile → $\underline{\underline{Xe}}$, Sm, $\sigma_{neutr}$ alta → extinción Savannah River

U nat → 0,72% $U^{235}$
U enriq 3% " → difusión $UF_6$

- captura, A alto
- $H_2O$ água ligera, alta $\sigma$
- $D_2O$
- Be, BeO

Fusión

vencer $E_{coul}$ ≥ 21,2 MeV
→ acelerar iones 20 keV, pero $\sigma$ peq
→ calentar $10^{11}$ gas ne
$^2H + ^2H \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} ^3He + n \\ ^3H + p \end{array} \right\}$ reacciones D−D

$^2H + ^3H \rightarrow ^4He + n$ → reacción D−T

$4p \rightarrow ^4He$
Plasma → mezcla neutra iones± → confinamiento magnético + inercial
→ pérdidas radiac

↳ TOKAMAK, ITER, acelerador
 → contiene y empuja

## T. 6

partículas extrañas → $10^{-23}$ s prod. $10^{-10}$ s desint en ν (débil)
↳ copiosa, por pares (fuerte)

sabor: extrañeza → se viola débil

mismo $J^P$ → m ≈ multiplete de isospín → geometría Q, S

bariones $\{q_1 q_2 q_3\}$ quarks u d s → $Q = \frac{1}{2}(BA+S) + I_3$
mesones $\{q_1 \bar{q_2}\}$

$I_3(u) = \frac{1}{2} = -I_3(d)$ ; $I_3(s) = 0$

$S(s) = -1$, $BA(q) = 1/3$

Lé se conserva
$\begin{Bmatrix} e^- \\ \nu_e \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{Bmatrix}$

| | I | $I_3$ |
|---|---|---|
| u | 1/2 | 1/2 |
| d | 1/2 | -1/2 |

| | C | S |
|---|---|---|
| c | 1 | 0 |
| s | 0 | -1 |

| | T | B |
|---|---|---|
| t | 1 | |
| b | | -1 |

Leptones
Hadrones: Bariones BA = 1 (hiperones) – Fermiones; Mesones BA = 0 – Bosones

S se conserva en fuertes, se viola en débil
→ Se conserva nº bariónico (ferm), no el bosónico
nº quarks

$$Q_{eléct} = I_3 + \frac{BA + S + C + B + T}{2}$$ Gell-Mann – Nishijima

simetría isospín no es exacta × efectos EM-débil

Resonancias → bariones/mesones excitados, σ Breit-Wigner
↳ cambia J

Simetrías
Tma. Noether: Simetría ∞ Conserva
Continuas → Aditivos
Discretas → multiplicativos (paridad, conjuga carga)

- conserva nº leptónico, bariónico;
- $I_3 = Q - \frac{BA+S}{2}$ ; $I_{p,n} = 1/2$ ; $I_\pi = 1$ → se conserva en fuertes, no en EM/débil

$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ → 0: $|00\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|pn\rangle - |np\rangle)$ ; 1: $\begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}$ . . .
→ se conserva I total
→ $A_{3/2}$, Clebsch-Gordan

$\Gamma/\sigma \propto |\langle f|H|i\rangle|^2 \cdot \rho(E)$

- $S(K^\pm) = \pm 1$
- Paridad → $P(q, \ell) = +1$ ; $P(\bar{q}, \bar{\ell}) = -1$ → se conserva f, em; NO EN débil
+ orbital $(-1)^L$

$P_{mes} = (-1)^{L+1} = P_{mes}$ ; $P_{ferm\ \overline{ferm}} = (-1)^{L+1}$ ; $P_{bosón} = P_{bosón}$
$P_{bar} = (-1)^{L_{12}}(-1)^{L_3} = -P_{\overline{bar}}$

$\lambda$ = helicid = $\frac{\vec{\sigma}\cdot\vec{p}}{|\vec{\sigma}||\vec{p}|}$ → cambia signo bajo paridad
= +1 dextróg
0 transversal
-1 levóg

neutrinos → levóg
anti " → dextróg.

- Conjugación de carga $C = -1^{(1)}$
↳ partícula → antipartícula sin cambiar $\vec{p}$, $\vec{S}$
↳ todos los nº cuánticos, $\vec{\mu}$, ...
↳ propio sii bosón neutro → $\gamma$, $\pi^0$, $\eta^0$, ... · partícula - antipartícula
↳ bariones y leptones no son propios de C $C(\gamma) = -1$

- fuertes + EM invariantes bajo C → cargas se mantienen
débiles violan C
- CP → $\bar{\nu}$ también se viola Kshort-long levφ
oscilan kaones (estados mezcla)

$S(q_i) = \frac{1}{2}$

$C(f\bar{f}) = (-1)^{L+S}$

$C(b\bar{b}) = (-1)^{L}$

$P(f\bar{f}) = (-1)^{L+1}$

$P(b\bar{b}) = (-1)^{L}$

## T. 7

Klein-Gordon

$E^2 = p^2 + m^2$ , Dirac

proyección espín sobre $\vec{p}$ , helicidad

## QED

acoplo $e^- - \gamma$ → $\Delta_{\mu}$ ≡ γ (propagador)

$M_{fi}$ → diagrama , interaccionan mientos , $\sigma \propto |M_{fi}|^2$

partículas ≡ líneas externas, sentido tiempo

Amplitud
↳ cte acoplamiento en cada vértice
↳ campo ferm. externo
↳ propagador del bosón virtual (líneas internas)

En cada vértice se conserva $p, q$ , pero no se verifica $E^2 = p^2 + m^2$

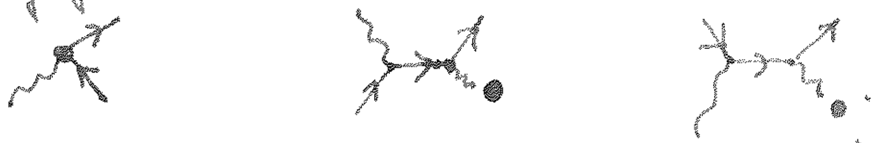
durante $\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$ $\quad R = c\Delta t = \frac{\hbar}{mc}$ → alcance interacción nuclear

Cada vértice → $\sqrt{\alpha}$ , $\sigma \propto (\sqrt{\alpha})^2$

Vértice de menor orden es de orden 2

Difus. $e^-e^-$ $\quad$ $e^-e^+$ $\quad$ Aniquilación $\quad$ P. pares $\quad$ D.f. Compt

Ef. fotoel. (átomo) $\quad$ Bremsstr. (núcleo) $\quad$ P. pares (núcleo)



... es otro vértice $Z\sqrt{\alpha}$

No hay acoplamiento entre γ (QED abeliana)

$\alpha > \alpha_{eff}$

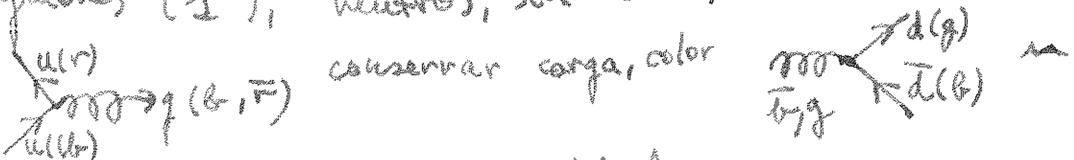
## QCD

Color (quarks), acoplamiento gluones , $\sqrt{\alpha_s} \sim 1$

↳ para no violar ppo. exclusión Pauli $(\Delta^{++}, \Omega^-)$ $(\uparrow\uparrow\uparrow, sss)$ ... $J = 3/2$

hadrones → singletes de color

gluones ($1^-$), neutros, sin masa, bosones , bicoloreados (8)

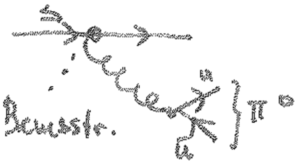


conservar carga, color

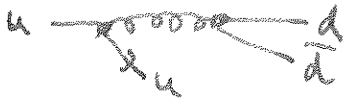
fuerzas efectivas tipo Van der Waals

$\alpha_s \sim 35\sqrt{\alpha}$

gluones entre ellos

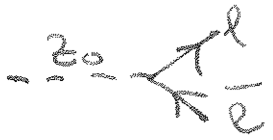


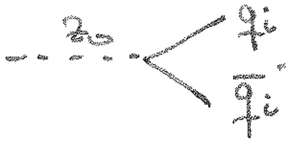

$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$
vía



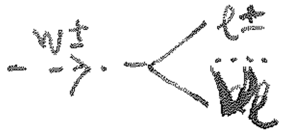

polarizaó vacío → vértices $qqg$, $gg$ → compiten
$\alpha_s$ < a cortas dtcias
↳ libertad asintótica → quarks no interaccionan si muy pegados
↳ confinaó quark → ∄ estado libre, intensiσ > con la dtcia
→ separación entre quarks produce $q\bar{q}$
3 jets, no ves color sino su hadronizaó

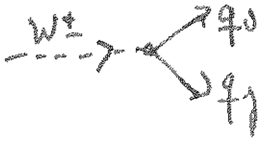
Interacc. débil
Corrientes cargadas
" neutras } alcance ∞




→ misma familia de quarks




(conservar Q)
xo cambiar sabor

W y Z se acoplan entre sí
W también acopla al fotón
débil es perturbativa, $\alpha_{W,eff} \sim 10^{-4}\alpha$