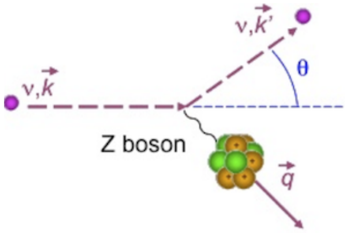
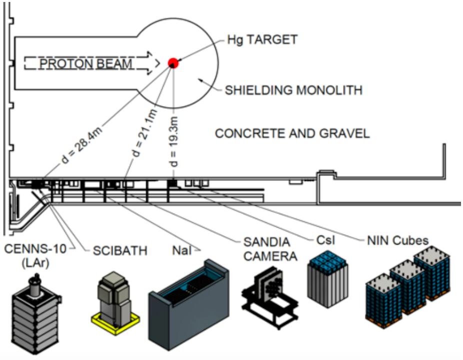
QRPA de carga conservada e interações semileptônicas

Aluno: Mateus dos Santos
Orientador: Dr. Arturo Rodolfo Samana

Coherent Collaboration- Coherent Elastic neutrino Nuclear Scattering ($CE\nu NS$)[1]

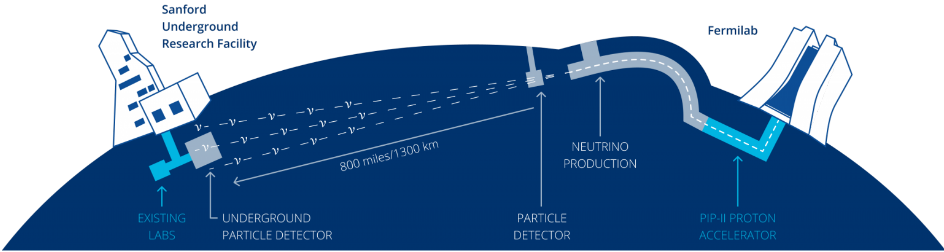
- Construção de detectores cada vez menores e com sensibilidade cada vez maior;
- Por a prova modelos nucleares;
- Obter informações além do modelo padrão.

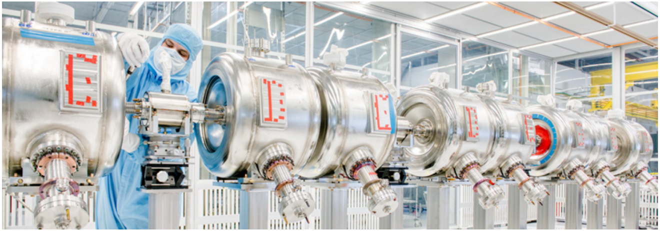




[1] D. Akimov, J. B. Albert, P. Awe et al., Science, vol. 357, 2017.

Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) [2]





[2] Francesco Capozzi et al.,Physical Review Letters 123, 131803 (2019)

A interação nuclear fraca [3]

Reação:

$$\nu_e + (Z, A) \rightarrow (Z, A)^* + \nu_e'$$

Seção de choque:

$$\sigma(E_\nu, J_f) = \frac{|\mathbf{q}'|E_\nu}{2\pi} \int_{-1}^{1} d(\cos\theta)\mathcal{T}_\sigma(q, J_f)$$

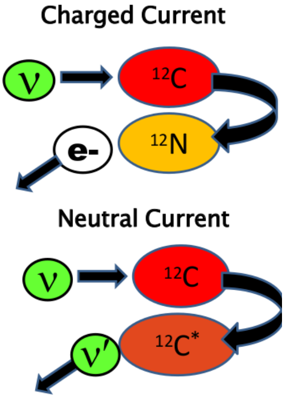
onde $\theta \equiv q \cdot q'$ é o ângulo entre o neutrino incidente e o neutrino ejetado.

Amplitude de transição

$$\mathcal{T}_\sigma(k, J_f) = \frac{1}{2J_i + 1} \sum_{S_\nu} \sum_{M_i, M_f} |\langle J_f M_f | H_W | J_i M_i \rangle|^2$$

onde H_w é o Hamiltoniano da interação fraca.

$$H_w(r) = \frac{G}{\sqrt{2}} J_\alpha l_\alpha e^{-ir\cdot k}$$



[3] A.R. Samana, F. Krmpotić, and C.A. Bertulani., Computer Physics Communications, 181(6), 2010.

Transições na triade $\{^{12}B, ^{12}C, ^{12}N\}$[4]

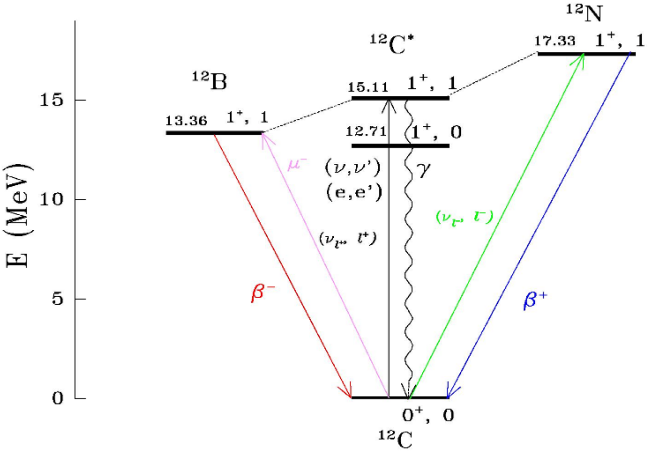


Figura: *Processos semileptônicos na triade* $\{^{12}B, ^{12}C, ^{12}N\}$. *São indicados os primeiros estados excitados* 0^+ *e* 1^+ *de* ^{12}C *com isospin 0 e 1. Existem dados experimentais para os observáveis dessas transições.*

4 A.R.Samana, PhD Thesis, La Plata (2002)

Transições eletromagnéticas em estados de partícula simples [5]

Probabilidade de transição reduzida:

$$B(\sigma\lambda; \mathcal{E}_i J_i \rightarrow \mathcal{E}_f J_f) \equiv \frac{1}{2J_i + 1} |(\mathcal{E}_f J_f || \mathcal{M}_{\sigma\lambda} || \mathcal{E}_i J_i)|^2$$

onde $\mathcal{M}_{E\lambda} = Q_\lambda \quad e \quad \mathcal{M}_{M\lambda} = M_\lambda$

Regras de seleção:

$$\pi_i \pi_f = \begin{cases} (-1)^\lambda, & para \quad E\lambda, \\ (-1)^{\lambda-1}, & para \quad M\lambda. \end{cases}$$

$$|J_i - J_f| \leq \lambda \leq J_i + J_f$$

$\Delta J = \lvert J_f - J_i \rvert$	0^a	1	2	3	4	5
$\pi_i \pi_f = -1$	E1	E1	M2	E3	M4	E5
$\pi_i \pi_f = +1$	M1	M1	E2	M3	E4	M5

[a]Not $0 \rightarrow 0$.

[5] J. Suhonen,Theoretical and Mathematical Physics, Springer, Berlin, Germany, 2007.

Transições eletromagnéticas em estados de partícula simples

Transição $\sigma = E$:

$$(a||\mathbf{Q}_\lambda||b) = \varsigma_{ab}^{(E\lambda)} \frac{e}{\sqrt{4\pi}} (-1)^{j_b+\lambda-\frac{1}{2}} \frac{1+(-1)^{l_a+l_b+\lambda}}{2} \hat{\lambda}\hat{j}_a\hat{j}_b \begin{pmatrix} j_a & j_b & \lambda \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix} R_{ab}^{\lambda}$$

Transição $\sigma = M$:

$$(a||\mathbf{M}_\lambda||b) = \varsigma_{ab}^{(M\lambda)} \frac{\mu_N/c}{\sqrt{4\pi}} (-1)^{j_b+\lambda-\frac{1}{2}} \frac{1-(-1)^{l_a+l_b+\lambda}}{2} \hat{\lambda}\hat{j}_a\hat{j}_b \begin{pmatrix} j_a & j_b & \lambda \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix}$$
$$\times(\lambda-\kappa)\left[g_l\left(1+\frac{\kappa}{\lambda+1}\right)-\frac{1}{2}g_s\right] R_{ab}^{(\lambda-1)}$$

Onde

$$R_{ab}^{\lambda} = \int_0^\infty g_{n_a l_a}(r)^{\lambda} g_{n_b l_b}(r) r^2 dr$$

$$\kappa \equiv (-1)^{l_a+j_a+\frac{1}{2}}(j_a+\frac{1}{2}) + (-1)^{l_b+j_b+\frac{1}{2}}(j_b+\frac{1}{2})$$

QRPA: Quase Random Phase Approximation

Equação de BCS:

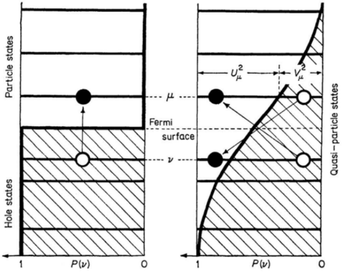
$$2(e_k - \lambda_t)u_k v_k = (u_k^2 - v_k^2)\Delta_k$$

onde u_k e v_k são as probabilidades de ocupação.

QRPA: problema de autovalor

$$\begin{pmatrix} A & B \\ B & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \omega \begin{pmatrix} X \\ -Y \end{pmatrix}$$

onde



$$\begin{aligned}
A_{ab,cd}(J) &\equiv (E_a + E_b)\delta_{ac}\delta_{bd} - 2\mathcal{N}_{ab}(J)\mathcal{N}_{cd}(J)[(u_a u_b u_c u_d + v_a v_b v_c v_d)G(abcdJ) \\
&+ (u_a v_b u_c v_d + v_a u_b v_c u_d)F(abcdJ) \\
&- (-1)^{j_c+j_d+J}(u_a v_b v_c u_d + v_a u_b u_c v_d)F(abdcJ)] \\
B_{ab,cd}(J) &\equiv 2\mathcal{N}_{ab}(J)\mathcal{N}_{cd}(J)[(u_a u_b v_c v_d + v_a v_b u_c u_d)G(abcdJ) \\
&- (u_a v_b v_c u_d + v_a u_b u_c v_d)F(abcdJ) \\
&+ (-1)^{j_c+j_d+J}(u_a v_b u_c v_d + v_a u_b v_c u_d)F(abdcJ)]
\end{aligned}$$

Transições eletromagnéticas em QRPA

Considerando a excitação:

$$|\omega\rangle = Q_\omega^\dagger |QRPA\rangle$$

com

$$Q_\omega^\dagger = \sum_{a\leq b}[X_{ab}^\omega A_{ab}^\dagger(JM) - Y_{ab}^\omega \tilde{A}_{ab}(JM)]$$

Desenvolvendo o problema de autovalor, obtemos o elemento de matriz reduzido:

$$\begin{aligned}(QRPA||\mathcal{M}_{\sigma\lambda}||\omega) = \delta_{\lambda J}\sum_{a\leq b}\mathcal{N}_{ab}(J)\theta^{l_b}(v_a|u_b| \pm v_b|u_a|)(a||\mathcal{M}_{\sigma\lambda}||b)\\ \times (X_{ab}^\omega + \varsigma^\lambda Y_{ab}^\omega)\\ + \quad for \quad \sigma = E, - \quad for \quad \sigma = M\end{aligned}$$

Proxímos passos

- Concluir a programação dos elementos de matriz perturbados;
- Começar os testes com ^{24}Mg e comparar com os resultados obtidos por Suhonen [6];
- Programar a parte da interação fraca para a obter a seção de choque.
- Iniciar testes com ^{12}C e comparar os resultados obtidos com dados experimentais e com outros cálculos teóricos.
- Extender os cálculos para outros núcleos de interesse.

[6] J. Suhonen,Theoretical and Mathematical Physics, Springer, Berlin, Germany, 2007.


thank you!