

Резонансные реакции с антинейтрино

Отчет о научно-исследовательской работе

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, Криворученко Михаил Иванович
Студент: Скворцов Павел Александрович, Б22-102

Введение

В прошлых работах уже рассказывалось о резонансных реакциях с антинейтрино

Процесс в реакторе (бета-распад)

$$\beta^- : (A, Z) \longrightarrow (A, Z + 1) + e^- + \bar{\nu}_e$$

Процесс в детекторе (вынужденный электронный захват)

$$(A, Z) + e^- + \bar{\nu}_e \longrightarrow (A, Z - 1)$$

В этом семестре были добавлены правила отбора по квантовым числам и четности для вынужденного электронного захвата, а также введен расчет сечения в программу

Разрешенные переходы

Амплитуда реакции зависит от моментов электрона и антинейтрино

$$M_{EC} \sim (p_e R)^{j_e} (p_\nu R)^{j_\nu}$$

$$p_e R \sim p_\nu R \sim 40 \text{ keV } 5 \text{ fm} = \frac{40 \text{ keV} \times 5}{200 \text{ MeV}} = 10^{-3} \ll 1$$

Вероятность максимальна при минимальных орбитальных моментах электрона и антинейтрино, а значит, орбитальные моменты равны нулю

На изменение спина ядра тогда накладывается условие: $\Delta I = 0, \pm 1$

Такие переходы называются разрешенными.

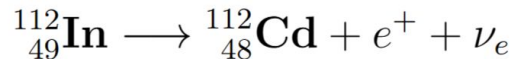
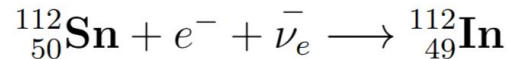
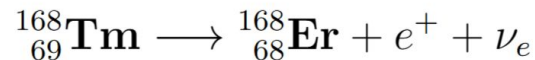
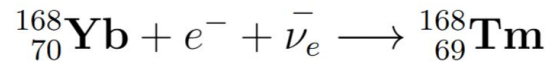
Позитронный распад

$$(A, Z + 1) + e^- + \bar{\nu}_e \longrightarrow (A, Z)$$

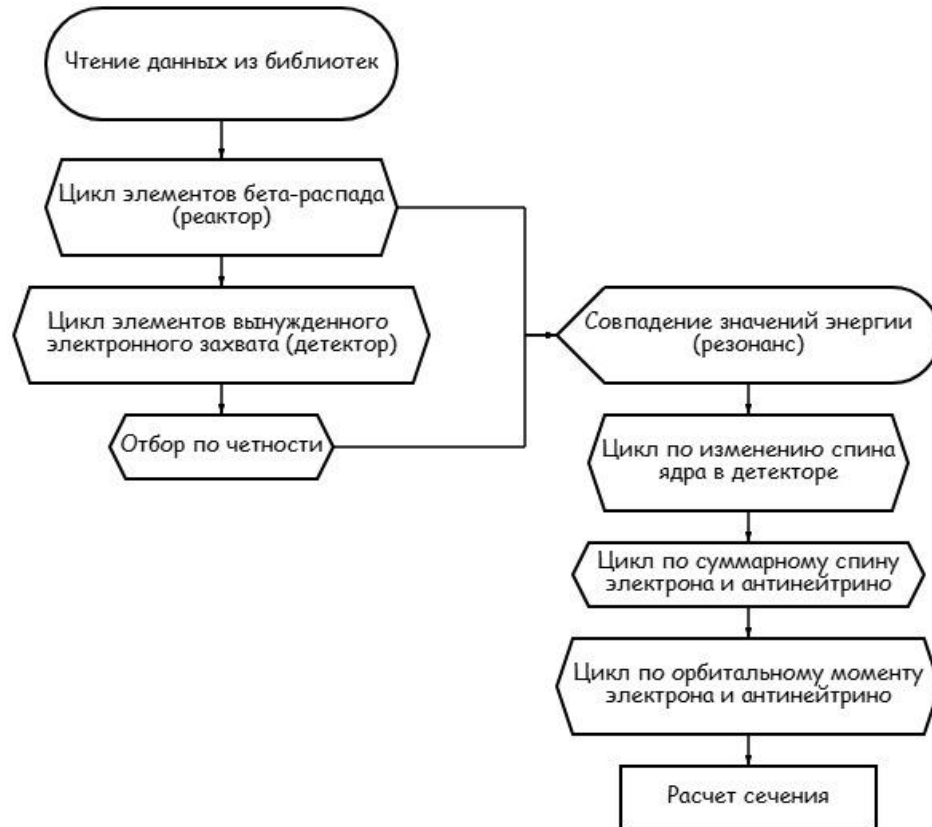
$$(A, Z) \longrightarrow (A, Z - 1) + e^+ + \nu_e$$

$$M(A, Z) > M(A, Z - 1) + 2m_e$$

Реакции, рассчитанные программой:



Алгоритм работы программы



Принцип расчета сечения

Перебор всех возможных значений изменений спина ядра

$$|j_p - j_d| \leq J_t \leq j_p + j_d$$

Перебор всех возможных орбитальных моментов электрона и антинейтрино

$$|J_t - s| \leq L_t \leq J_t + s$$

Расчет сечения по формуле

$$\sigma = \frac{1}{4} G_{\beta}^2 C_x \beta_x^2$$

$$C_x(p_{\nu_x}) = \sum_{K, k_\nu} M_K(k_x, k_\nu) + \text{sign}(\kappa_x) m_K(k_x, k_\nu)^2$$

$$M_k(k_x, k_\nu) + \text{sign}(\kappa_x) m_K(k_y, k_\nu) = (p_x R)^{k_x-1} (p_y R)^{k_\nu-1} \sum_{Ls} F_{KLs} C_{KLs}(k_x, k_\nu)$$

$$\begin{aligned} C_{KLS}(k_x, k_\nu) = & \delta_{k_x+k_\nu-2,L} \sqrt{\frac{(2K-2)!!}{(2k_x-1)!(2k_\nu-1)!(2K-1)!!}} \\ & \times \left[\delta_{L,K-1} \delta_{s,1} + \delta_{L,K} \delta_{s,0} \sqrt{\frac{2K(K+1)}{(2k_x-1)(2k_\nu-1)(2K+1)}} \right. \\ & \left. + \delta_{L,K} \delta_{s,1} (k_x - k_\nu) \sqrt{\frac{2}{(2k_x-1)(2k_\nu-1)(2K+1)}} \right] \end{aligned}$$

Результат работы программы

El_R	El_D	Q_{diff}	ΔQ	σ	K	L	s
127SB	81BR	$-0.60015220 * 10^1$	$0.61276021 * 10^1$	$0.37169409 * 10^{-40}$	1	1	0
32SI	106CD	$0.36378856 * 10^1$	$0.77036629 * 10^1$	$0.33976341 * 10^{-40}$	1	1	0
129I	106CD	$-0.18580020 * 10^1$	$0.83579807 * 10^1$	$0.56779853 * 10^{-42}$	1	1	0
141CE	64ZN	$0.13105929 * 10^1$	$0.36022062 * 10^1$	$0.39219057 * 10^{-42}$	1	1	0
151SM	63CU	$0.13062281 * 10^1$	$0.35577135 * 10^1$	$0.35553723 * 10^{-42}$	1	1	0
147PM	32P	$-0.20132034 * 10^1$	$0.34140401 * 10^1$	$0.19563427 * 10^{-42}$	1	1	0

Где El_R - элемент в реакторе, El_D - элемент в детекторе, Q_{diff} - разность энергий процессов (кэВ), ΔQ - экспериментальная ошибка (кэВ), σ - сечение реакции, K - изменение спина ядра, L - орбитальный момент электрона и антинейтрино, s - спин электрона и антинейтрино

Заключение

В данной работе была усовершенствована программа для автоматического нахождения резонансных процессов с антинейтрино. Были проверены реакции позитронного распада после вынужденного электронного захвата. Были добавлены условия отбора по квантовым числам и четности. А также, был добавлен расчет сечения реакции вынужденного электронного захвата. В дальнейшем планируется включить вероятность бета-распада в связанное состояние, чтобы рассчитать вероятность всей цепочки реакций и выяснить сколько ожидается событий в день на каждую пару на один килограмм источника и один килограмм детектора