

Использование малых энергий распада для задач фундаментальной физики

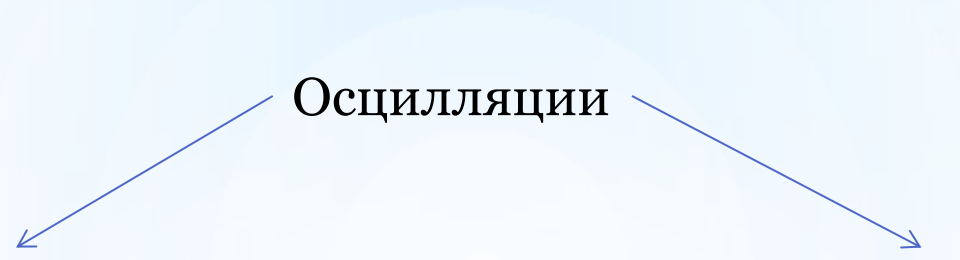
Докладчик: Филянин Павел Евгеньевич

ст. лаборант-исследователь ЛФЭЯ ПИЯФ
аспирант СПбГУ кафедры Ядерно-Физических Методов Исследования

27 февраля 2018

Малые энергии распада для нейтринной физики

Осцилляции



Атмосферных нейтрино

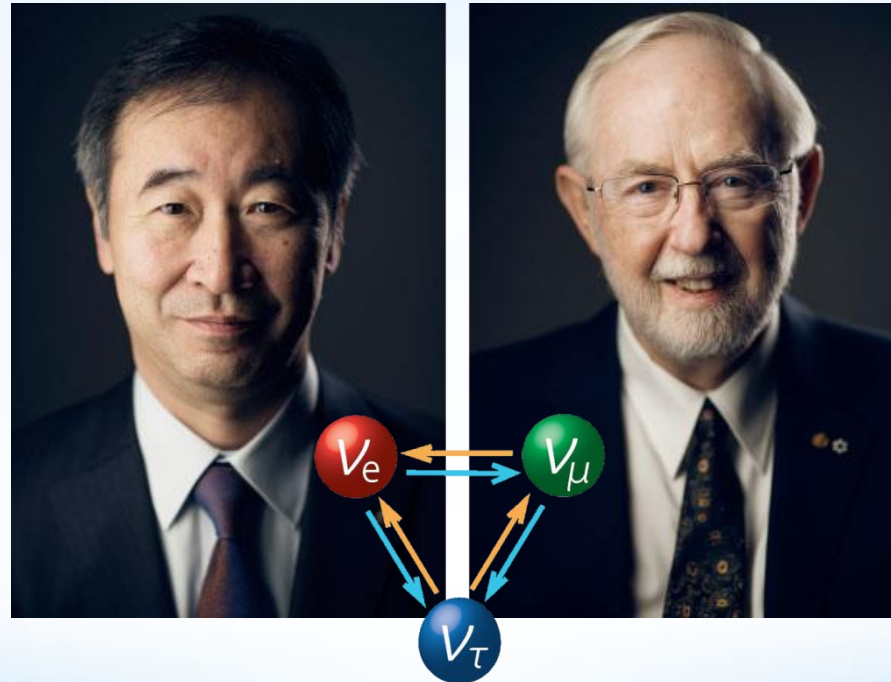
Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos /
Y. Fukuda et al. //
Phys. Rev. Lett. 1998. Vol. 81. P. 1562.

Солнечных нейтрино

Direct evidence for neutrino flavor
transformation from neutral-current
interactions in the Sudbury neutrino
observatory / Q. Ahmad et al. //
Phys. Rev. Lett. 2002. V. 89. 011301

У нейтрино есть масса!

Нобелевская премия по физике - 2015



Takaaki Kajita

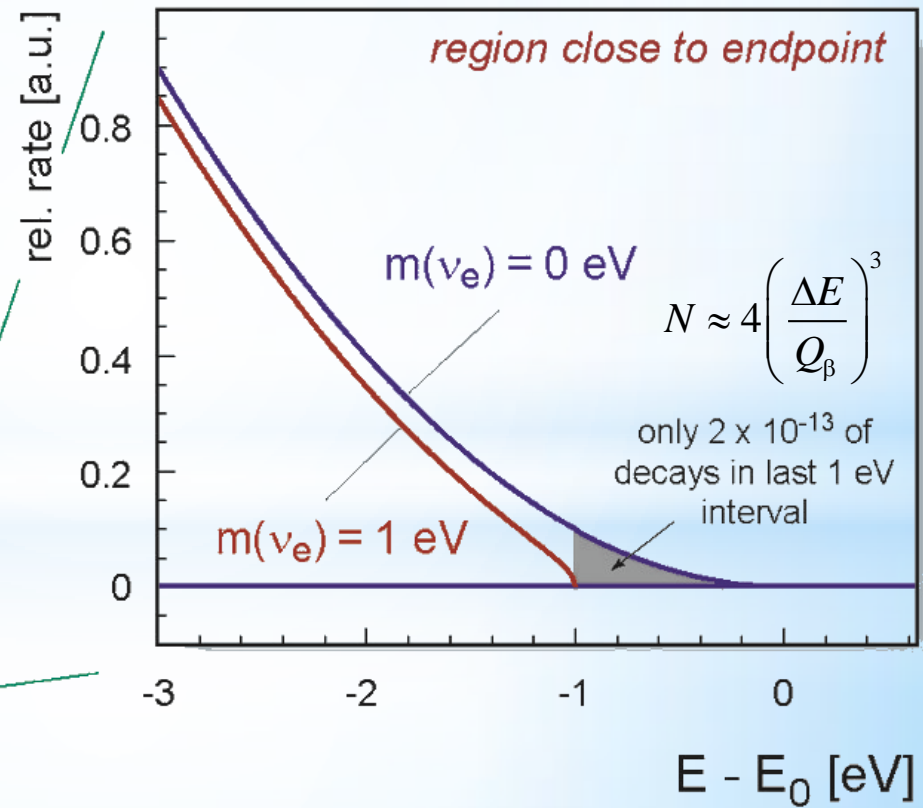
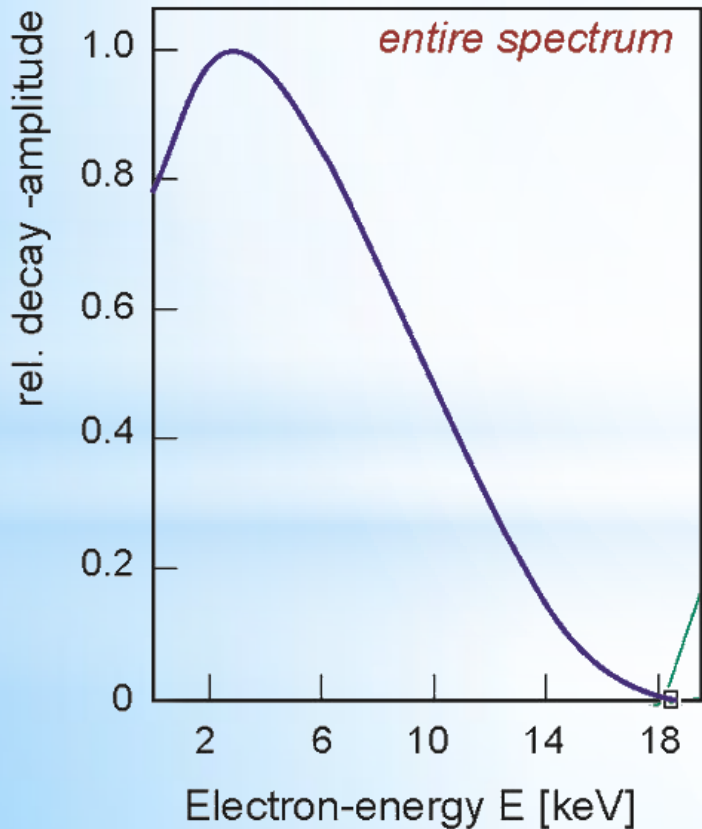
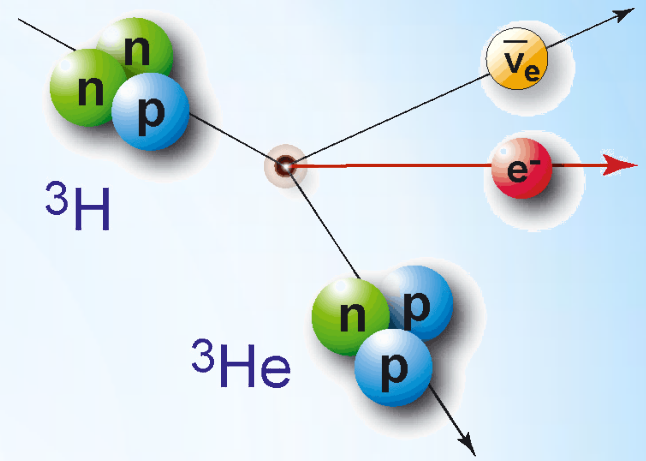
Arthur B. McDonald

**«За открытие нейтринных
осцилляций, означающих наличие
у нейтрино массы»**

Определение массы нейтрино

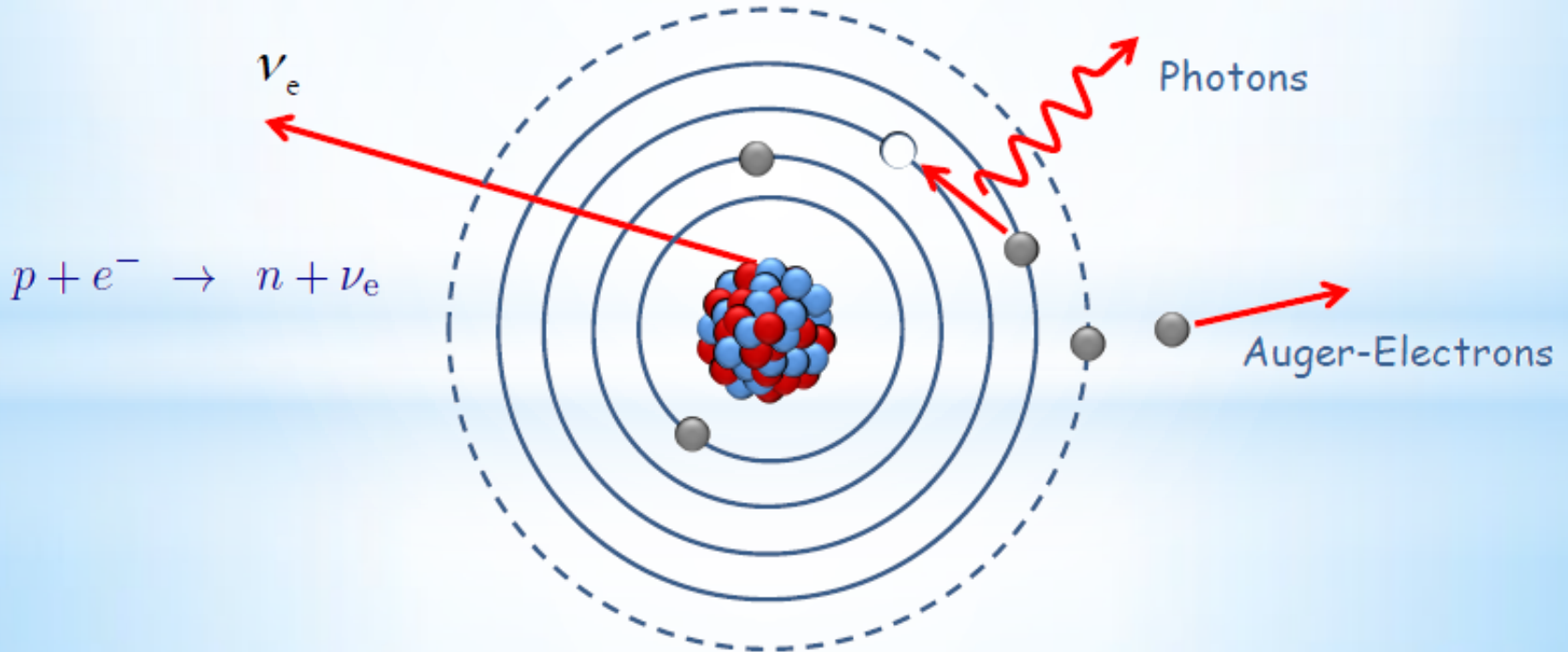
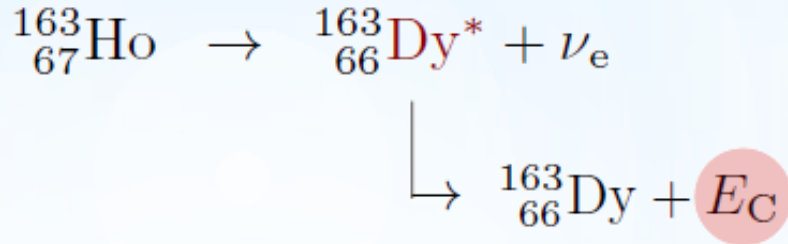
1) Масса антинейтрино в β^- -распаде

$$\frac{dN}{dE} \sim E(Q_\beta - E) \sqrt{(Q_\beta - E)^2 - m_\nu^2}$$



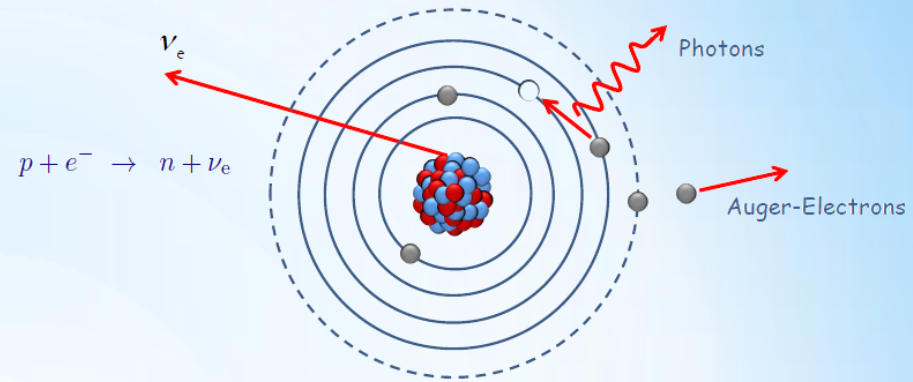
Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате

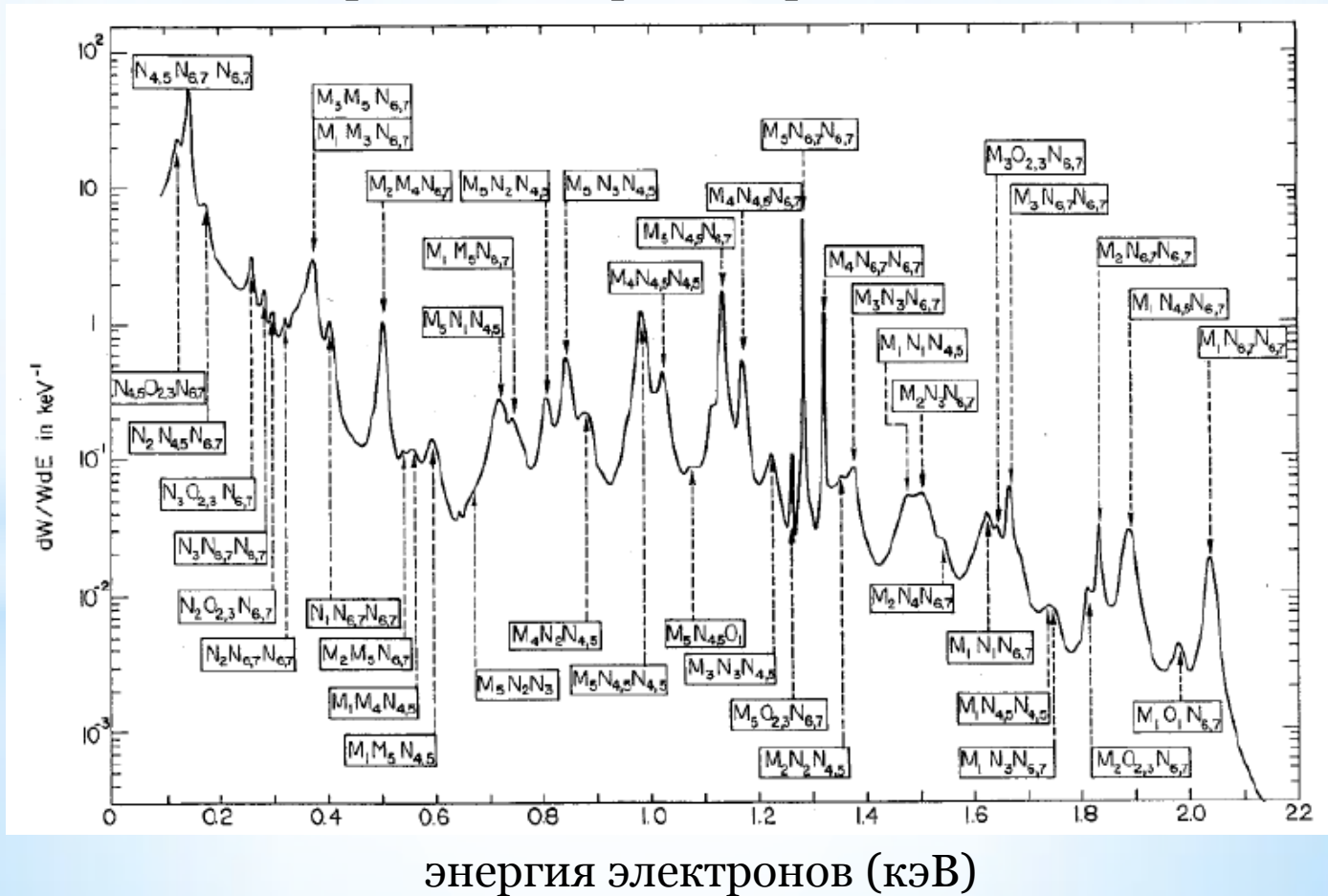


Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате

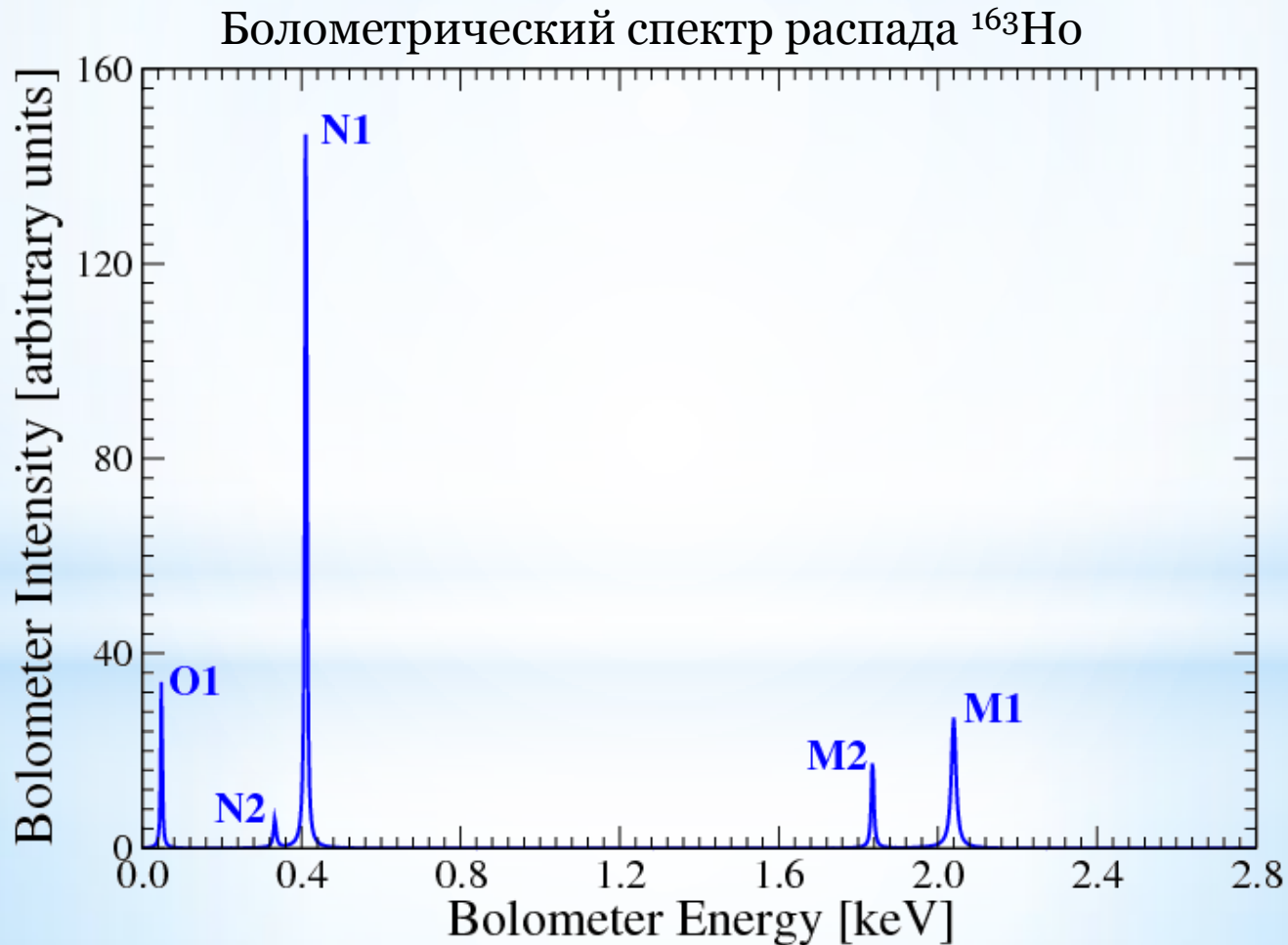
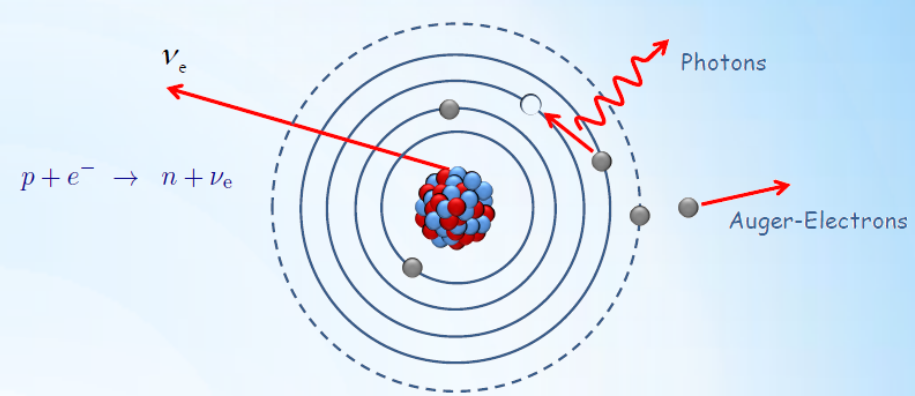


Спектр Оже-электронов в распаде ^{163}Ho



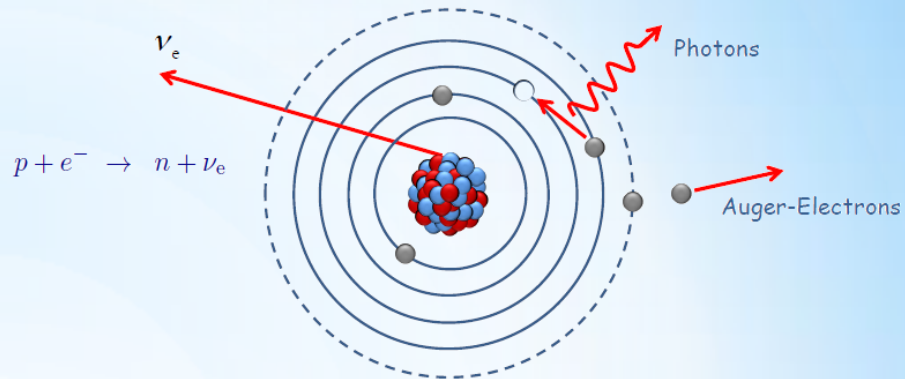
Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате

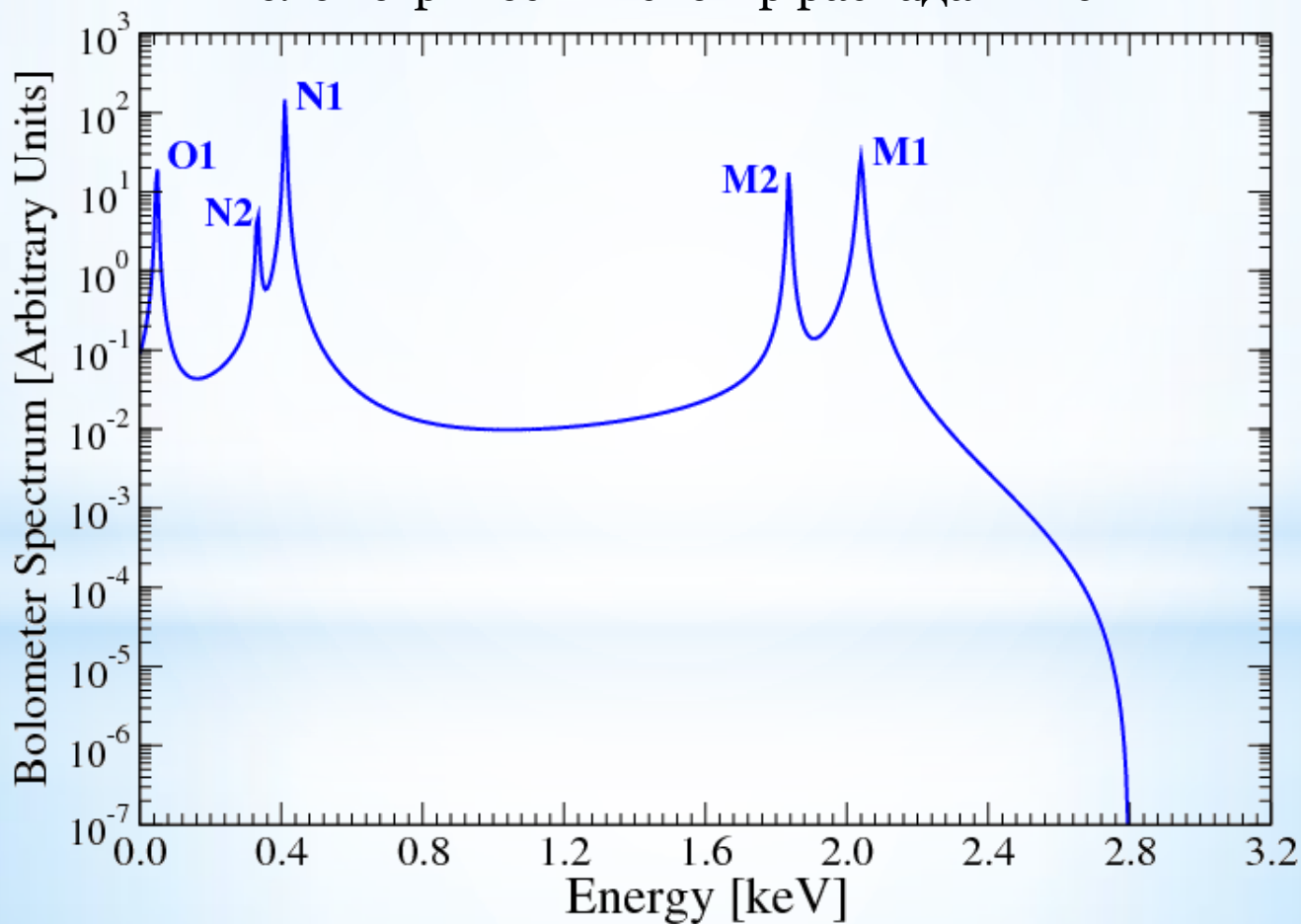


Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате

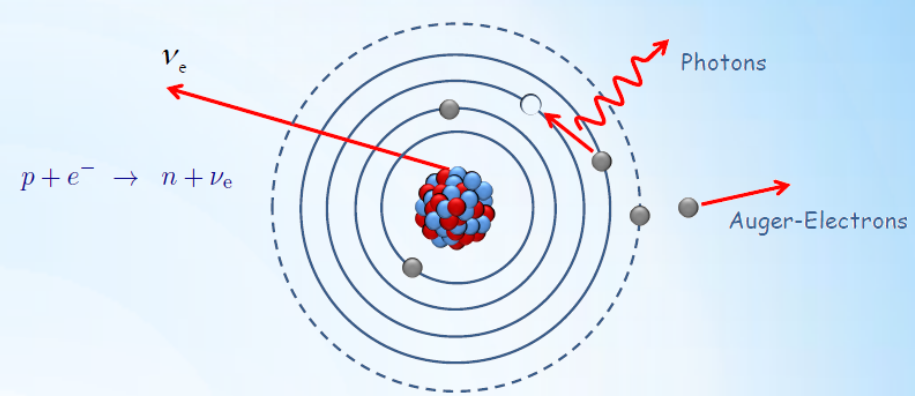


Болометрический спектр распада ^{163}Ho



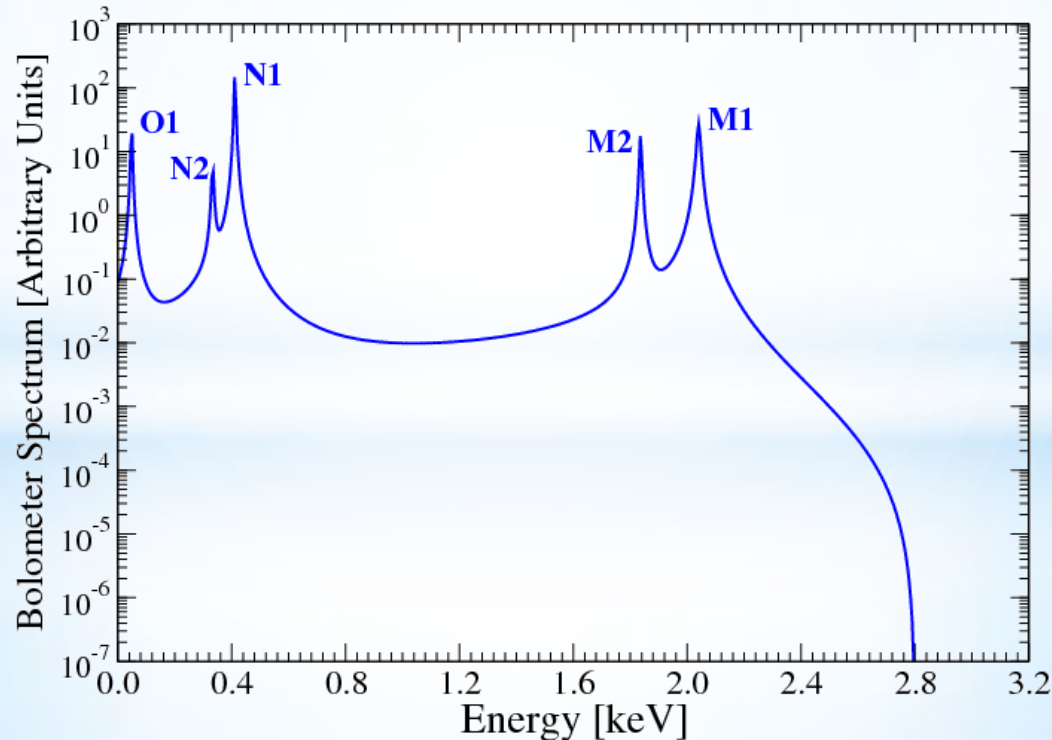
Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате



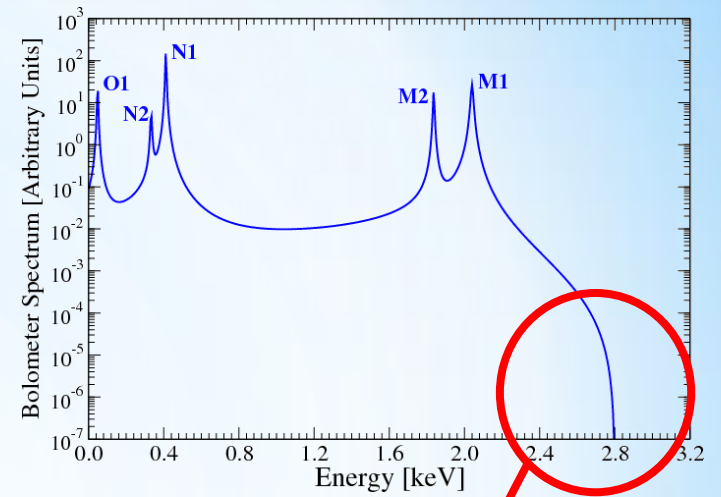
$$\frac{dN}{dE_c} \sim (Q_\epsilon - E_c) \sqrt{(Q_\epsilon - E_c)^2 - m_\nu^2} \sum_i |\psi_i|^2 \frac{\Gamma_i/2\pi}{(E_c - B_i)^2 + \Gamma_i^2/4}$$

Болометрический спектр распада ^{163}Ho

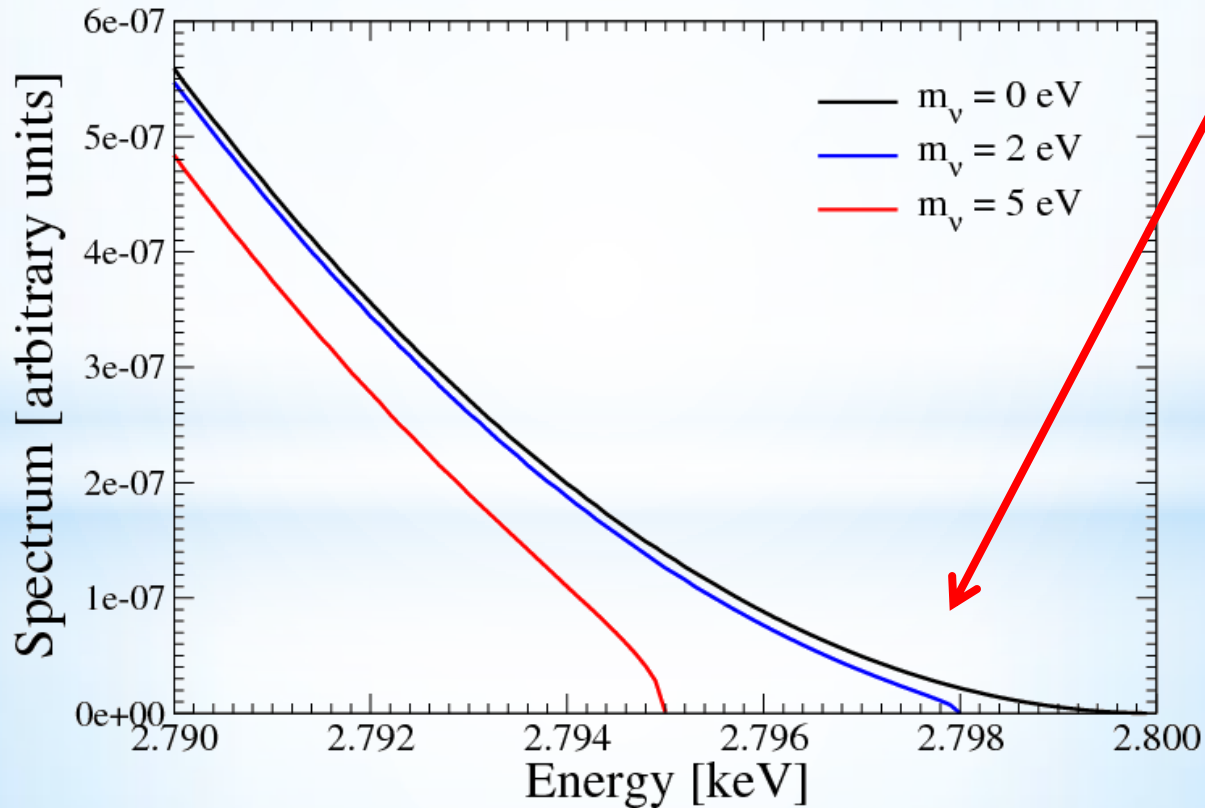


Определение массы нейтрино

2) Масса нейтрино в ϵ -захвате

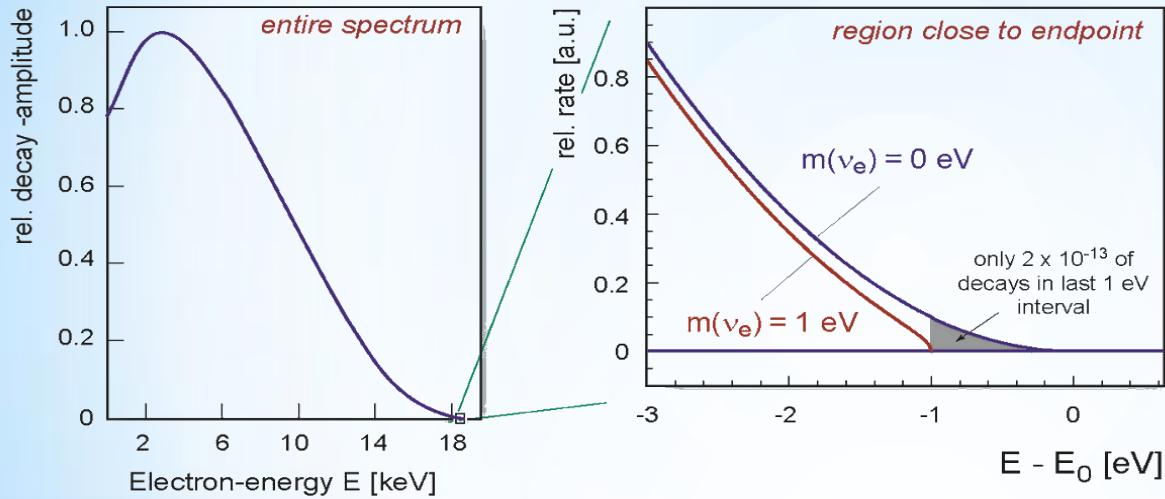


Спектр вблизи граничной энергии



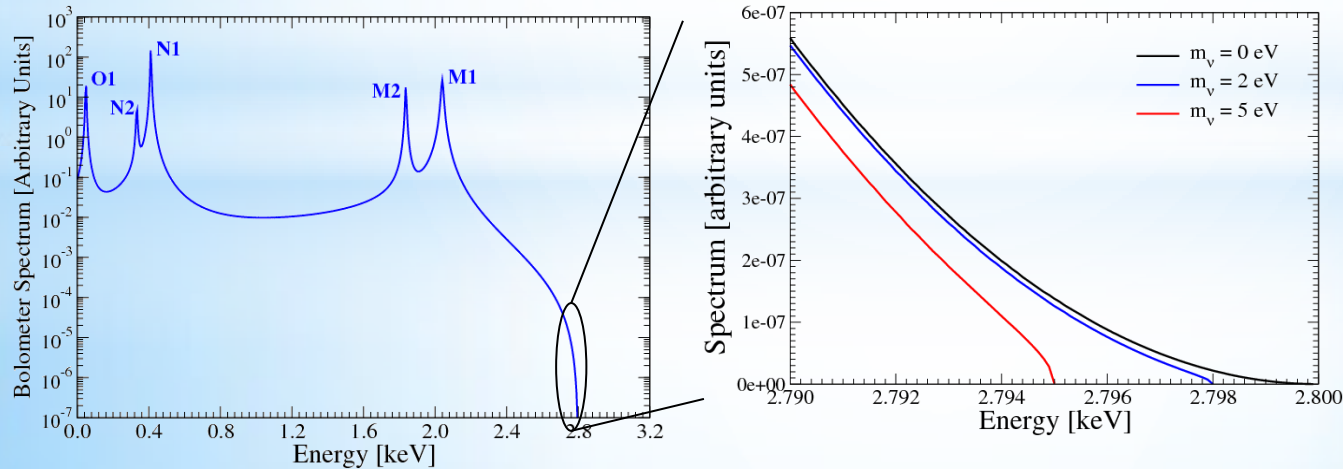
Определение массы нейтрино

1) β^- -распад



важна малость
 Q -значения

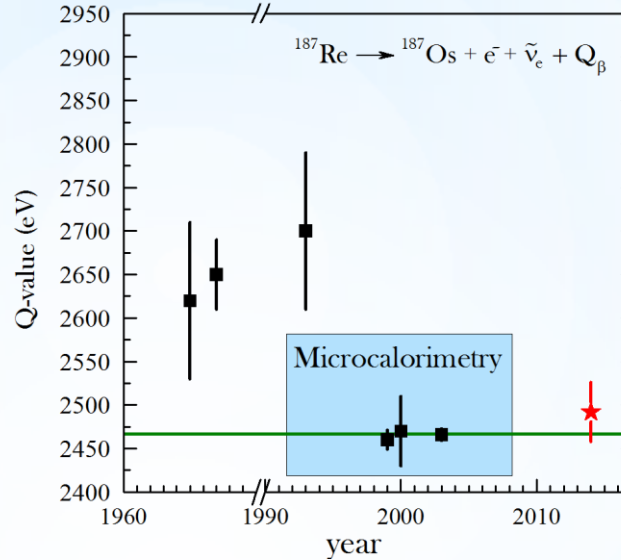
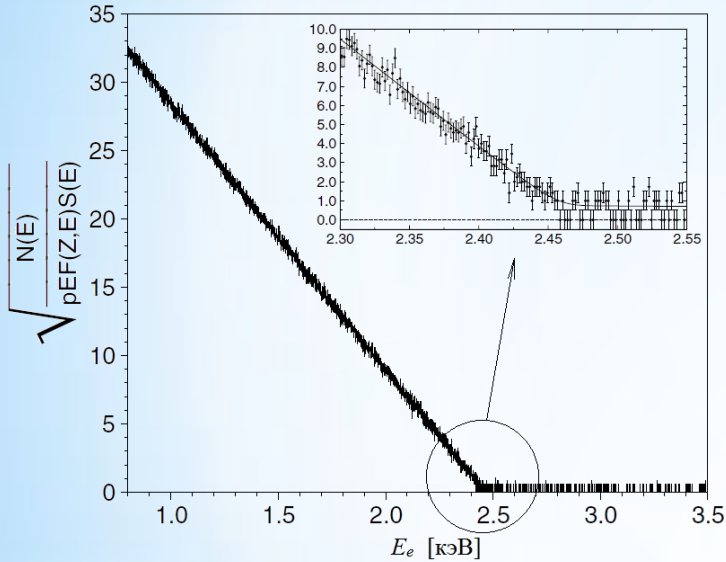
2) ϵ -захват



важна малость
 $(Q - B_i)$ -значения

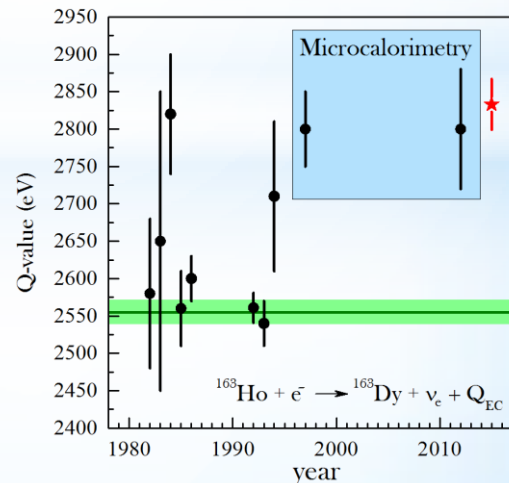
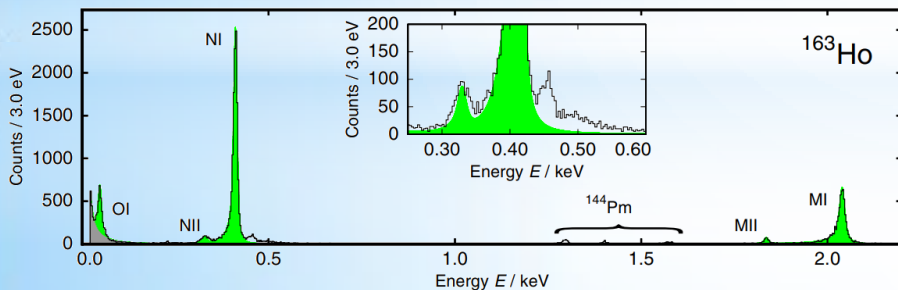
Определение массы нейтрино

1) β^- -распад: рекордсмен ^{187}Re $Q_\beta = 2466(1)$ эВ



важна малость
Q-значения

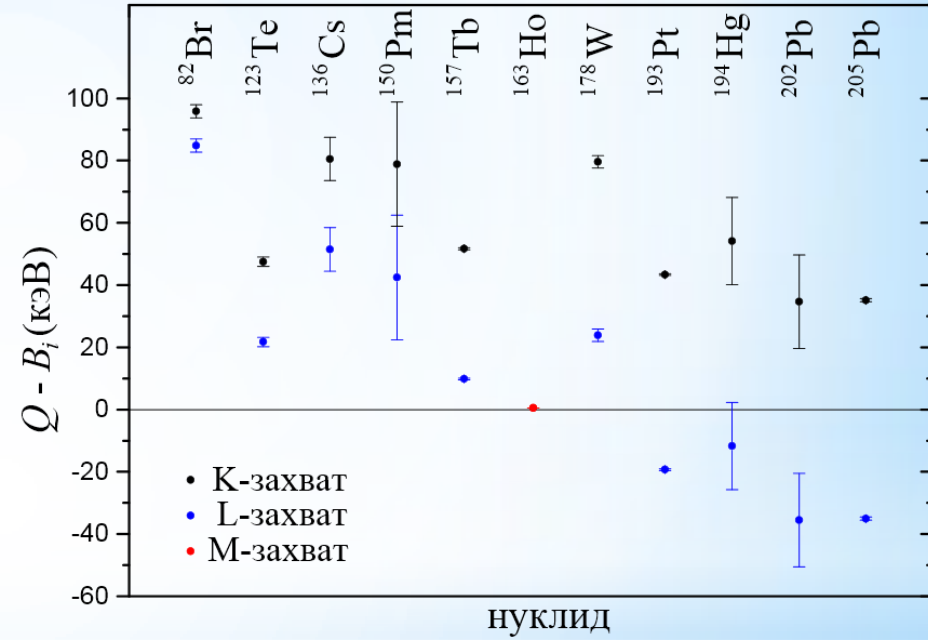
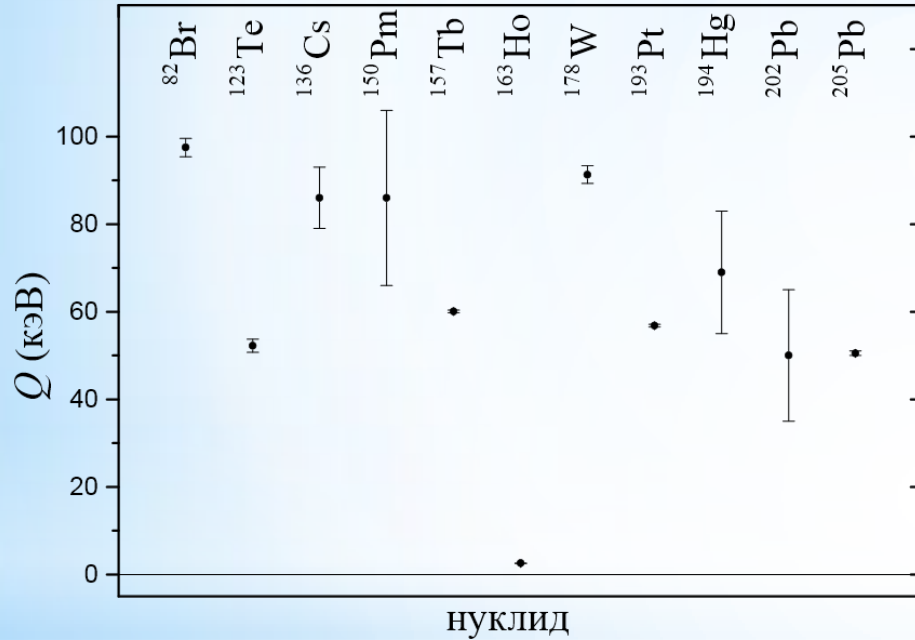
2) ϵ -захват: рекордсмен ^{163}Ho $Q_\epsilon = 2834(20)$ эВ, $(Q-B_{MI}) = 790$ эВ



важна малость
($Q-B_i$)-значения

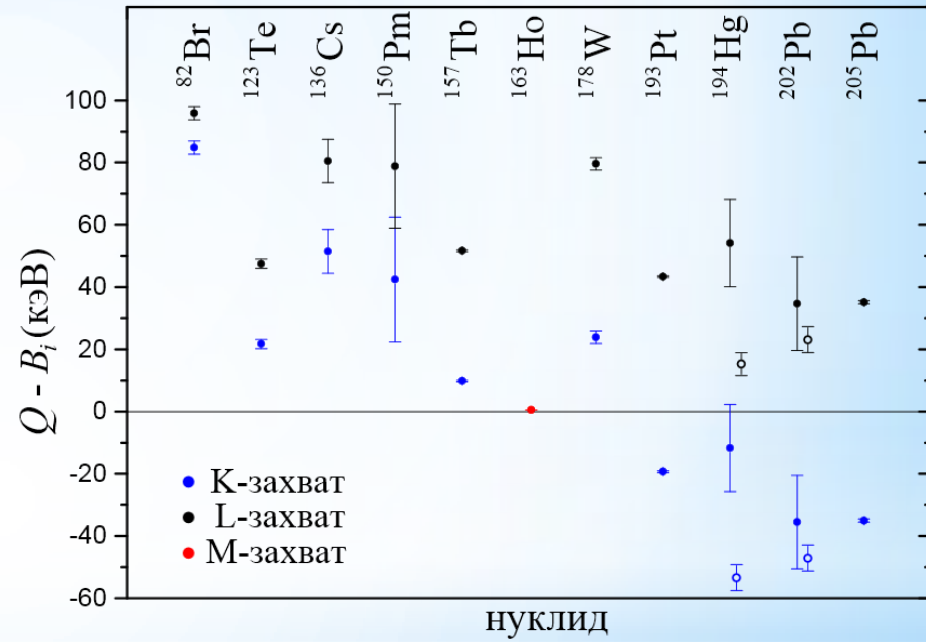
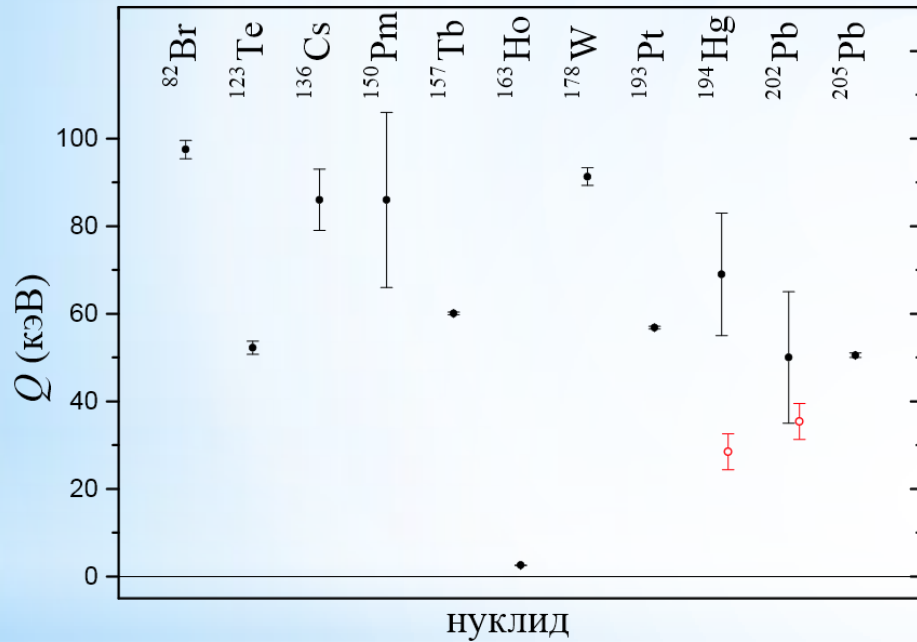
Поиск новых кандидатов для определения m_ν

1) сектор ε -распада из основного в основное состояние



Поиск новых кандидатов для определения m_ν

1) сектор ε -распада из основного в основное состояние



Поиск новых кандидатов для определения m_ν

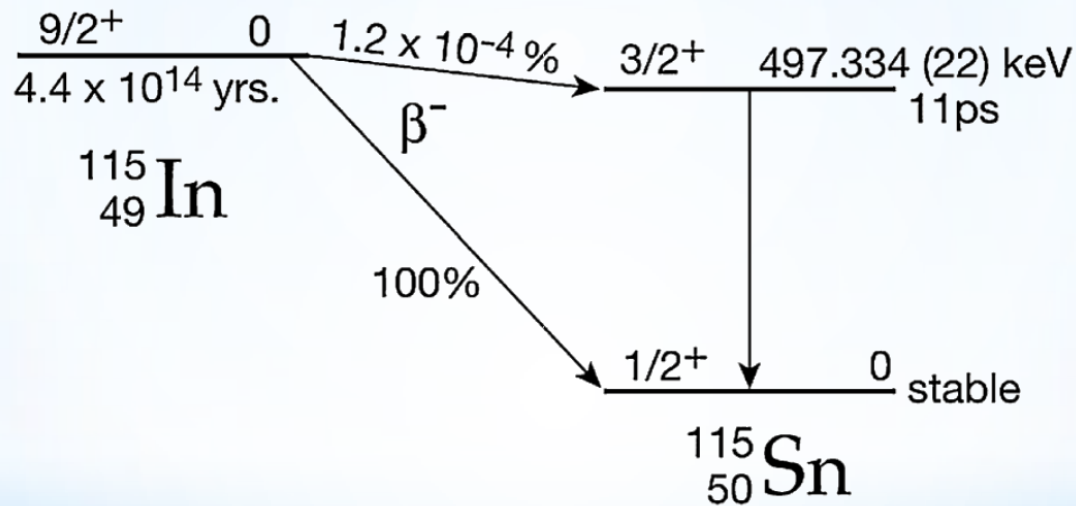
2) сектор β -распада из основного на возбужденное состояние

Реакция	ΔJ^P	$T_{1/2}$	$Q_{gg} \pm \Delta Q_{gg}$ (кэВ)	$E^* \pm \Delta E^*$ (кэВ)	$Q_{ge} \pm \Delta Q_{ge}$ (кэВ)	тип β -распада
$^{130}\text{Cs} \rightarrow ^{130}\text{Ba}^*$	1^+	29 мин	362 ± 9	357.38 ± 0.08	4.6 ± 9	β^-
$^{131}\text{Cs} \rightarrow ^{131}\text{Xe}^*$	0^+	9.7 д	355 ± 5	364.49 ± 0.004	-15 ± 5	L
					-9 ± 5	M
$^{134}\text{Ce} \rightarrow ^{134}\text{La}^*$	1^+	3.2 д	386 ± 29	355.479 ± 0.012	-8.4 ± 29	K
$^{140}\text{Nd} \rightarrow ^{140}\text{Pr}^*$	(2,3)	3.4 д	437 ± 27	419.9 ± 0.3	10.3 ± 27	L
					15.6 ± 27	M
$^{155}\text{Eu} \rightarrow ^{155}\text{Gd}^*$	2^-	4.7 г	252.1 ± 0.9	251.706 ± 0.001	0.39 ± 0.9	β^-
$^{159}\text{Dy} \rightarrow ^{159}\text{Tb}^*$	1^+	144 д	365.4 ± 1.2	363.545 ± 0.002	-0.12 ± 1.2	M
$^{161}\text{Ho} \rightarrow ^{161}\text{Dy}^*$	1^+	2.5 ч	858 ± 2.2	804.388 ± 0.003	0.2 ± 2.2	K
				858.792 ± 0.002	-2.8 ± 2.2	M
$^{171}\text{Tm} \rightarrow ^{171}\text{Yb}^*$	2^+	1.2 г	96.6 ± 1.0	95.282 ± 0.002	1.32 ± 1	β^-
$^{175}\text{Hf} \rightarrow ^{175}\text{Lu}^*$	2^-	70 д	683.7 ± 2.0	626.53 ± 0.15	-6.1 ± 2	K
	1^+			67.83 ± 0.15	0 ± 2	L
$^{201}\text{Tl} \rightarrow ^{201}\text{Hg}^*$	(2)	72.9 ч	484 ± 14	384.602 ± 0.018	16.3 ± 14	K
				464.41 ± 0.03	4.8 ± 14	L

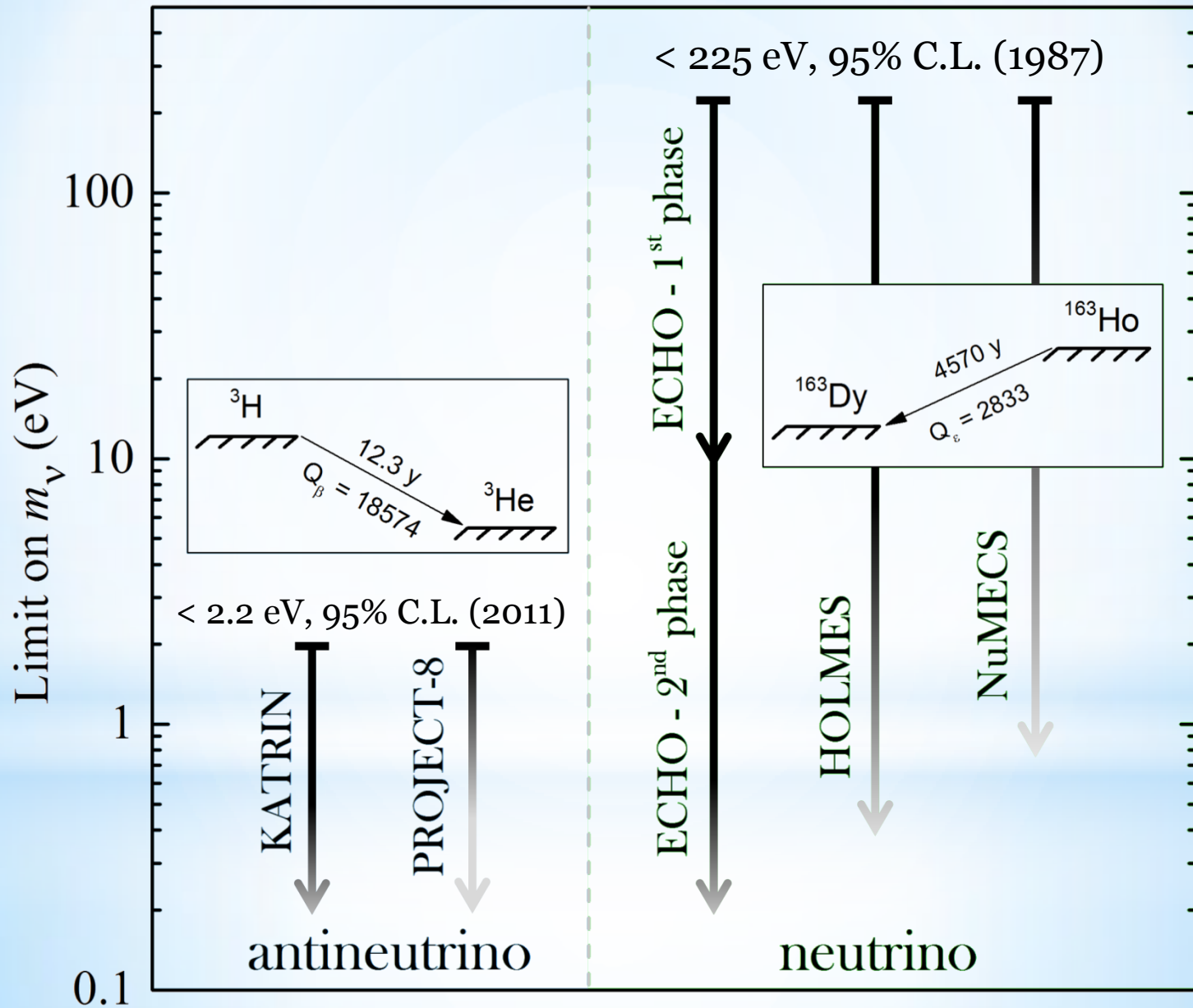
Поиск новых кандидатов для определения m_ν

2) сектор β -распада из основного на возбужденное состояние

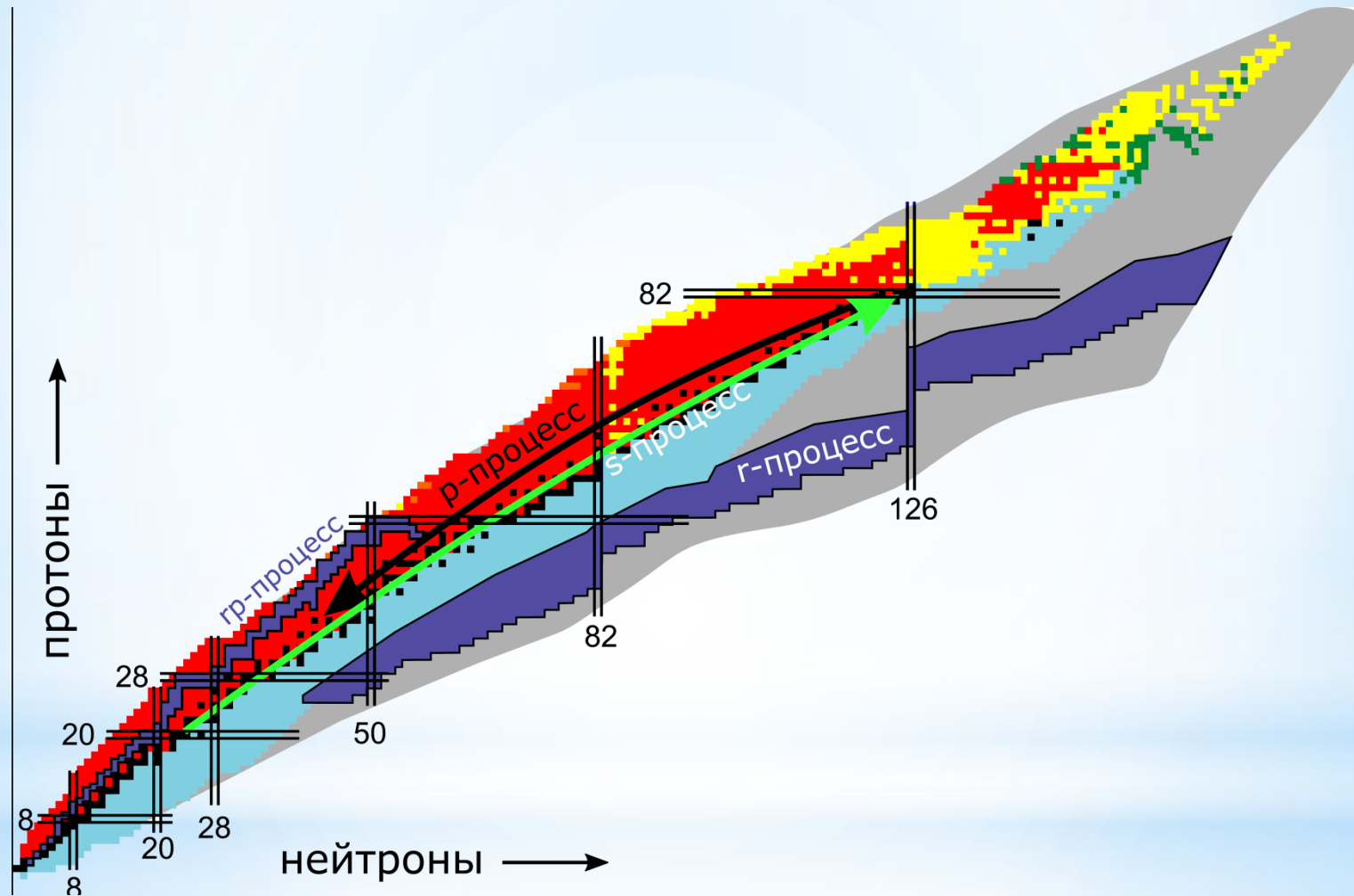
Рекордсмен: $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$, $Q_{ge} = 155(10)$ эВ, $10^{-4} \%$ – доля распада



Эксперименты по определению массы (анти)нейтрино



Малые энергии распада в ядерной астрофизике



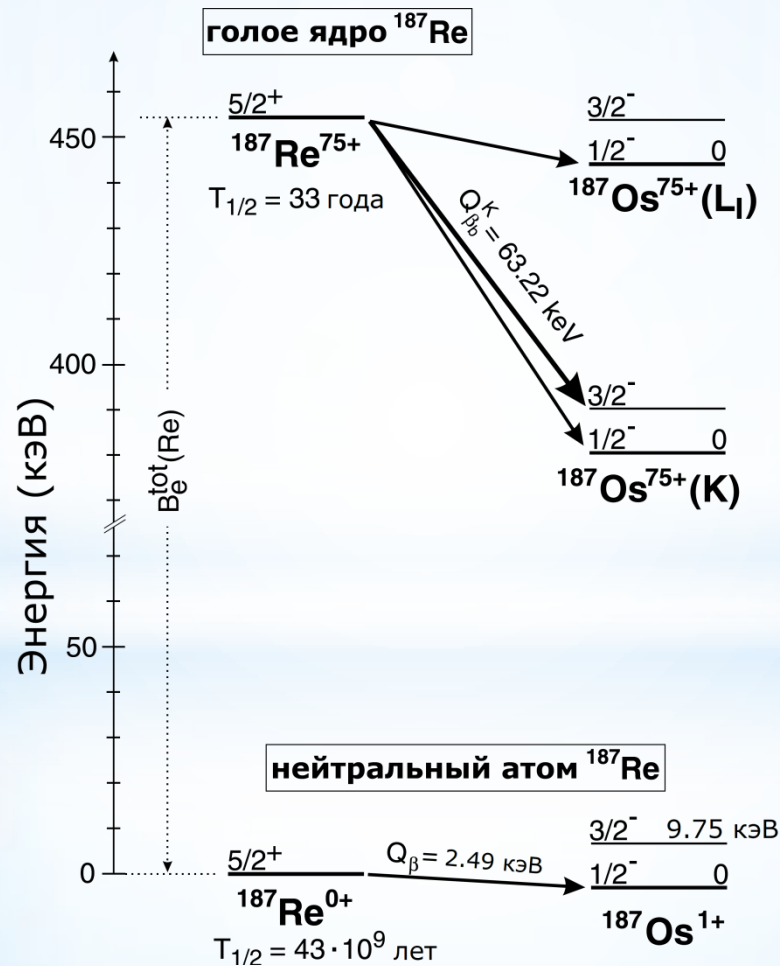
s-процесс (медленный захват нейтронов) $\tau_{\beta} \ll \tau_n$

τ_{β} – время жизни до β -распада, τ_n – время жизни до захвата n

T_{β} ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗВЕЗДАХ

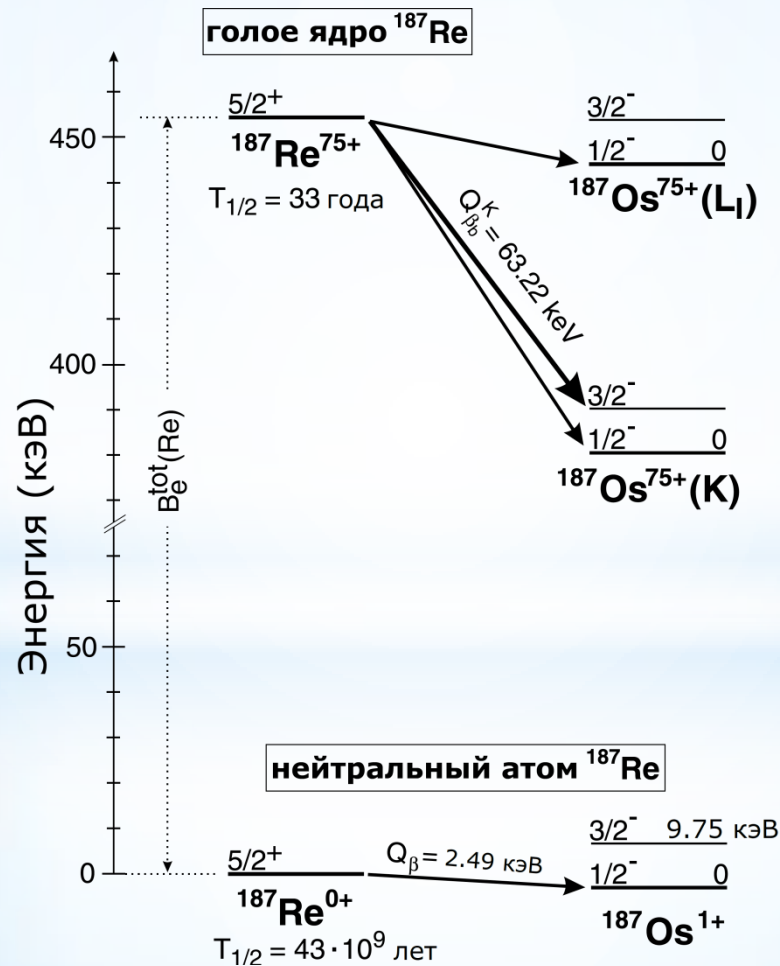
1) ввиду изменения энергии распада Q

Энергия β^- - и ϵ -распада $Q = M_{init}^{at} - M_{final}^{at}$



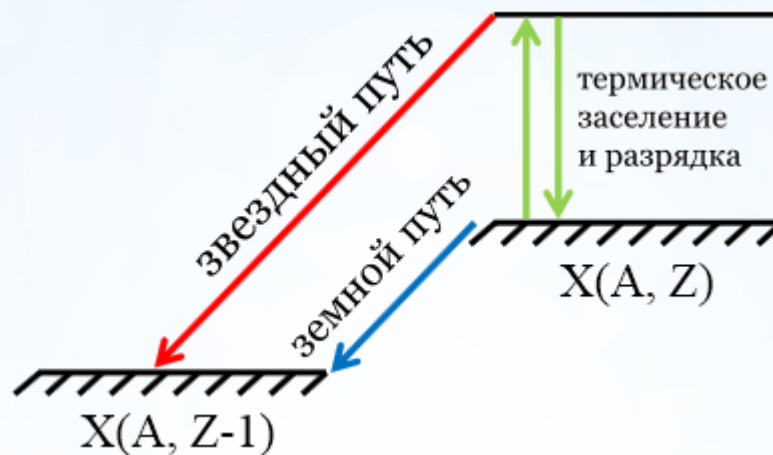
T_{β} ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗВЕЗДАХ

- 1) ввиду изменения энергии распада Q
- 2) ввиду открытия новых каналов распада



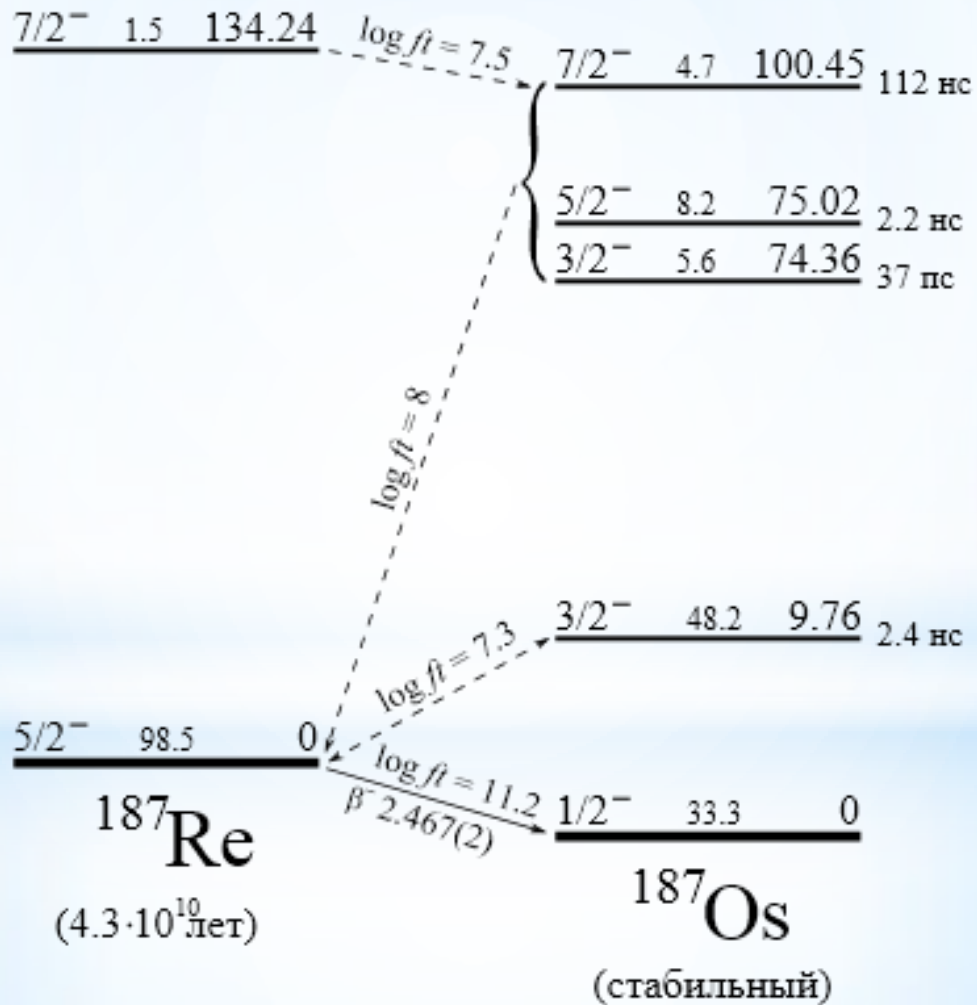
τ_{β} ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗВЕЗДАХ

- 1) ввиду изменения энергии распада Q
- 2) ввиду открытия новых каналов распада

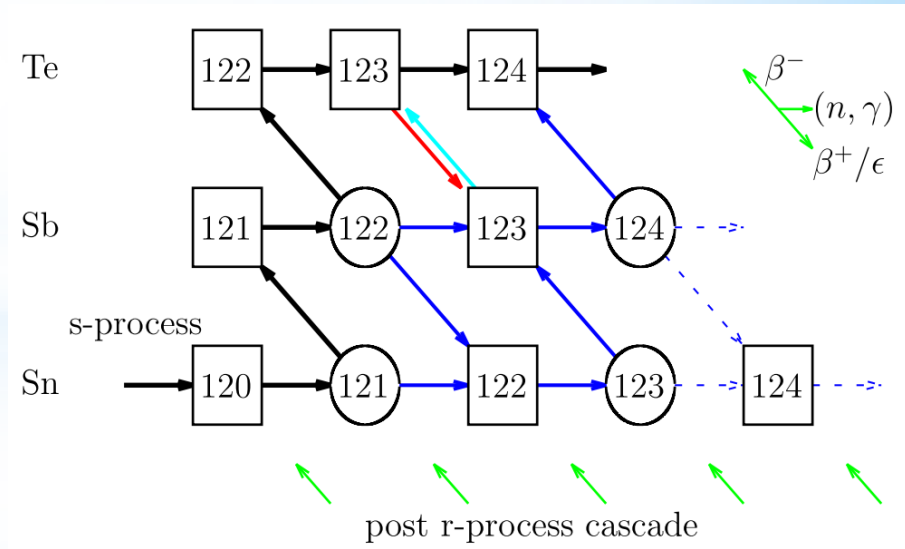
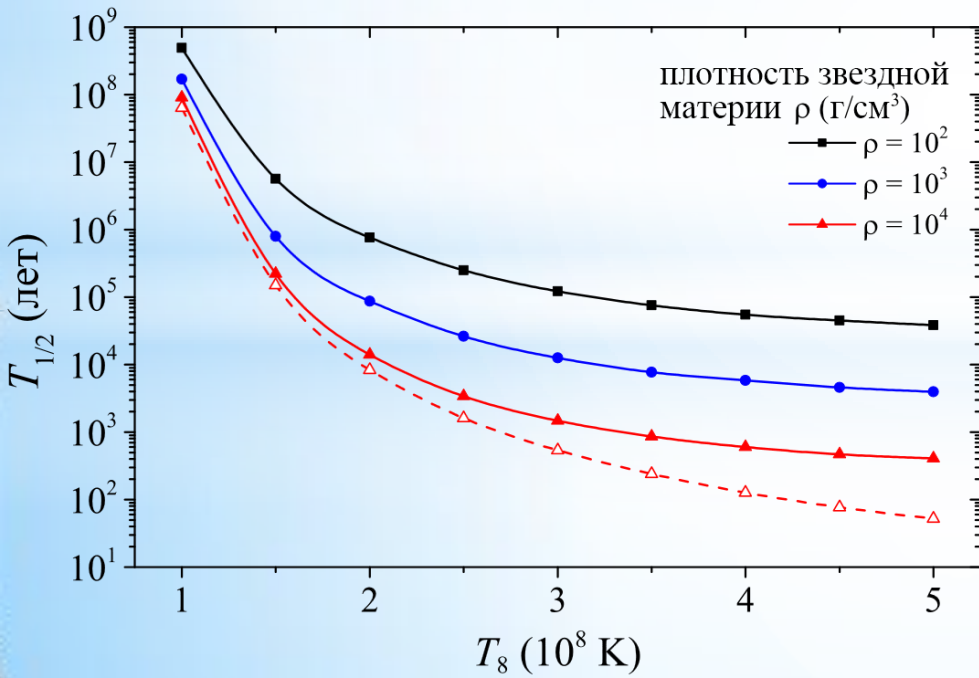
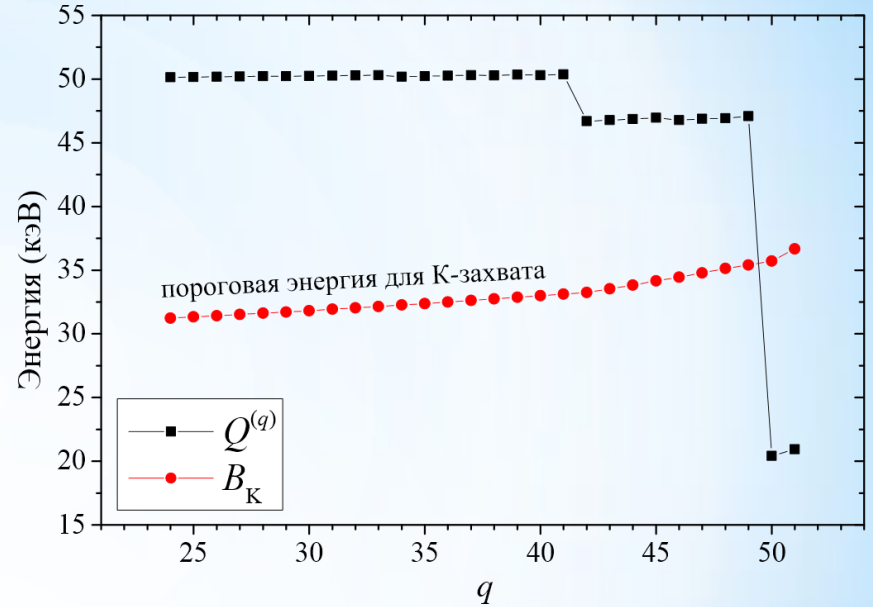
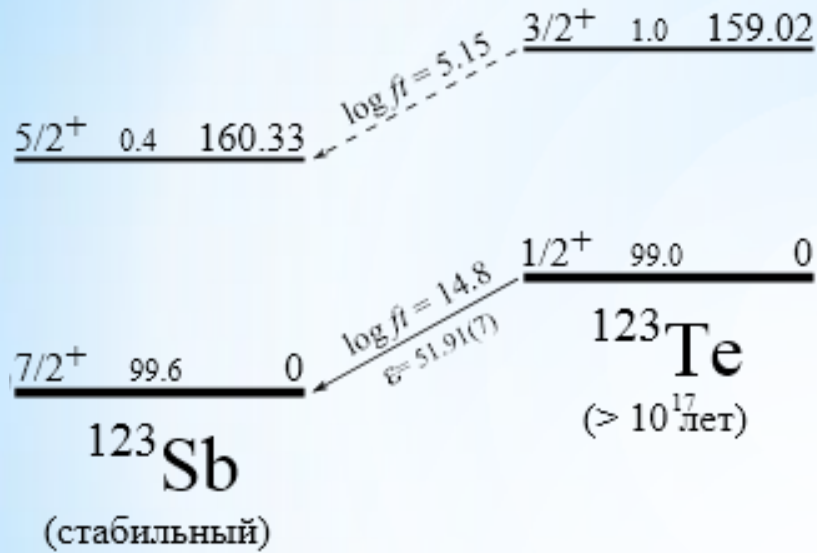


τ_β ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗВЕЗДАХ

- 1) ввиду изменения энергии распада Q
- 2) ввиду открытия новых каналов распада

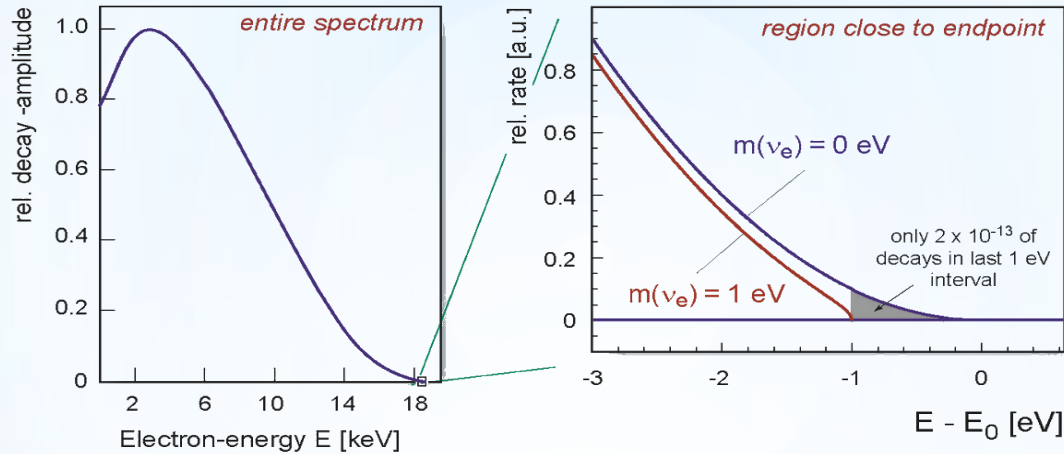


τ_β ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗВЕЗДАХ

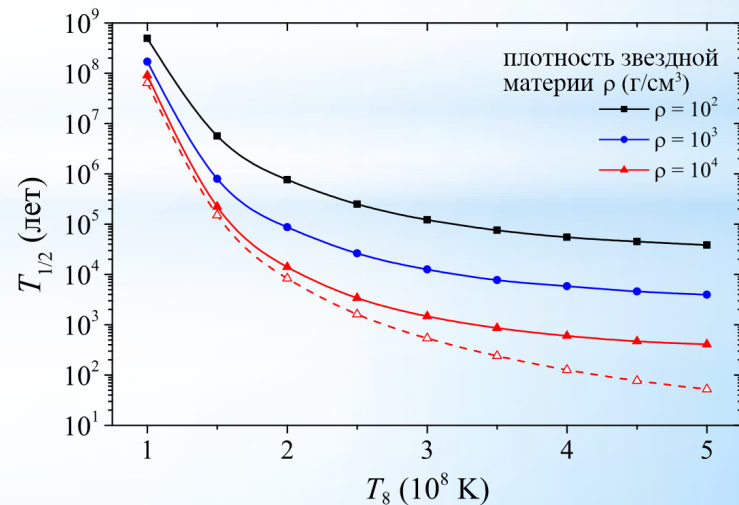
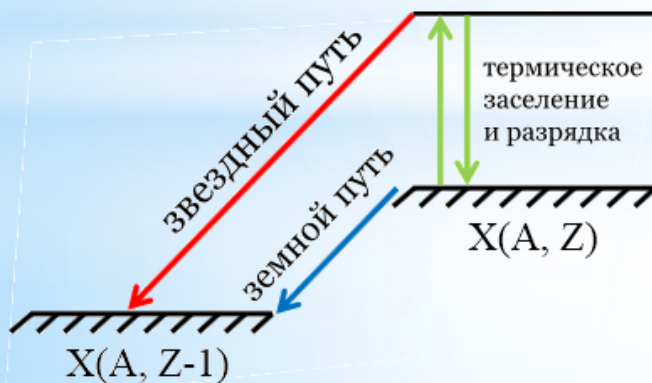


Нуклиды с малой до ~100 кэВ энергией β -распада:

- для задач нейтринной физики:



- особое внимание этим нуклидам
нужно уделять в ядерной астрофизике



Спасибо за внимание!