



ИОННЫЕ ЛОВУШКИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АСТРОФИЗИКИ

Проект SHIPTRAP (ГСИ)
в 2016 г.

Ю.Н. Новиков

Лаборатория Физики Экзотических Ядер

Отчёт на Учёном Совете ОФВЭ 26 декабря 2016 г.



Нейтринная физика:

- ✗ масса нейтрино (проект ЕСНО-PENTATRAP в Гейдельберге),
- ✗ двойной электронный захват (SHIPTRAP в ГСИ).

Астрофизика:

- ✗ разности масс квазистабильных нуклидов, участвующих в завершающих стадиях астрофизических s- и r-процессов (SHIPTRAP в ГСИ),
- ✗ массы экзотических нейтроно-избыточных нуклидов, участвующих во взрывном r-процессе (проект ПИТРАП – ионной ловушки на реакторе ПИК)



**2016 –
ГОД АСТРОФИЗИКИ**

РЕКОНСТРУКЦИЯ SHIPTRAP В 2016

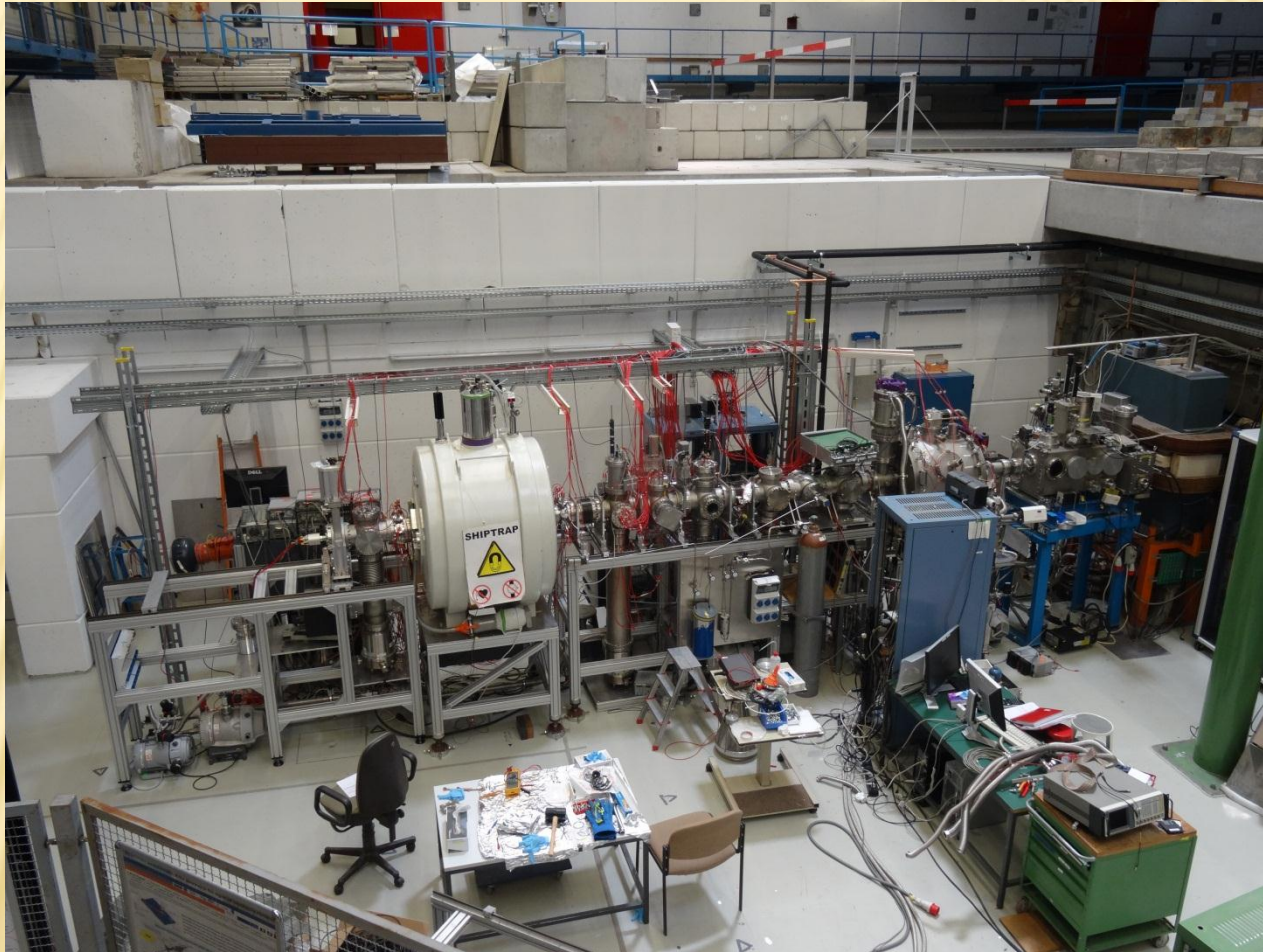


ПРЕЖНЕЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЛОВУШКИ (ось ловушки перпендикулярна блоку защиты)



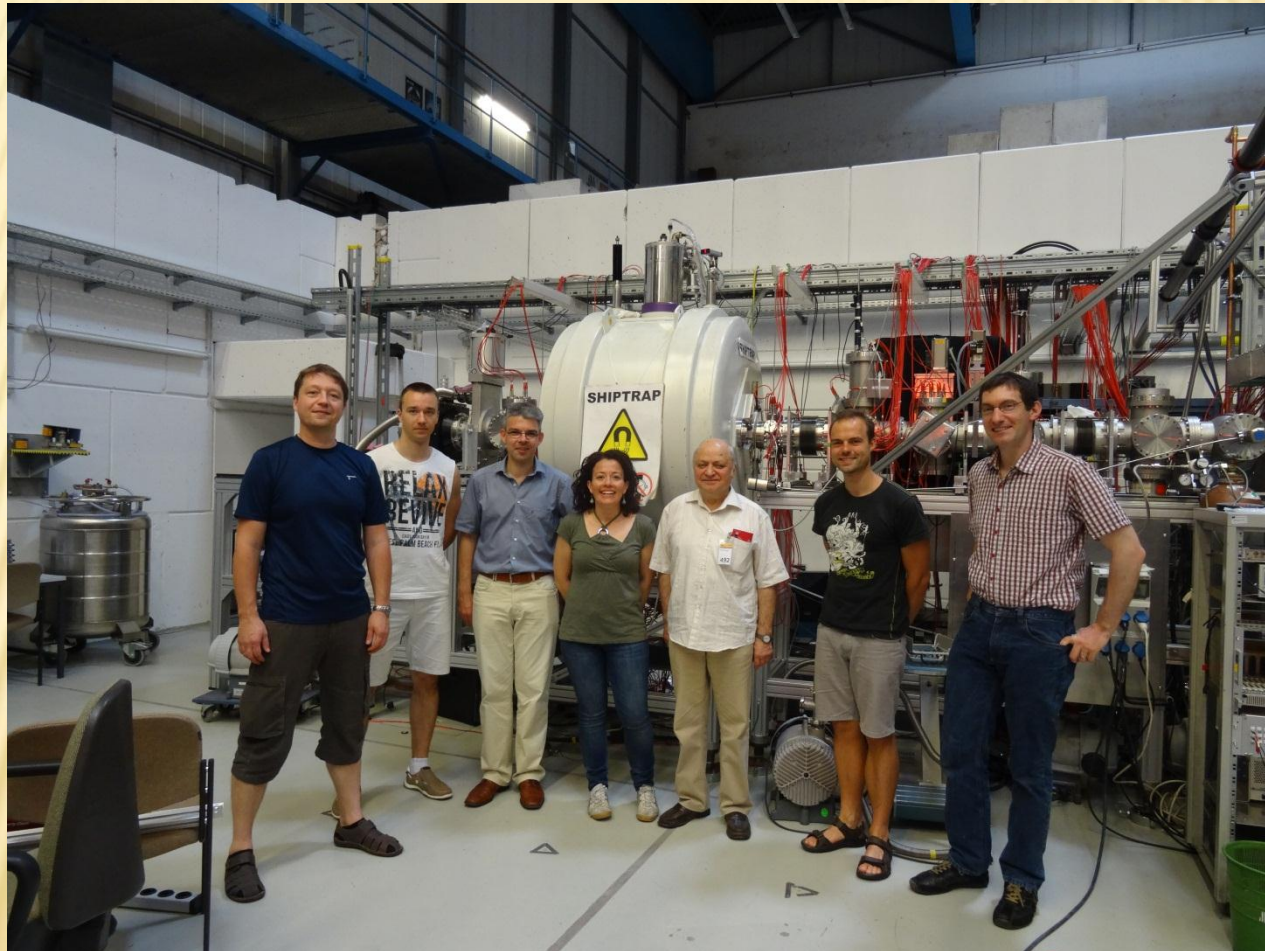


НОВОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЛОВУШКИ (ОСЬ - ПАРАЛЛЕЛЬНА БЛОКУ ЗАЩИТЫ)



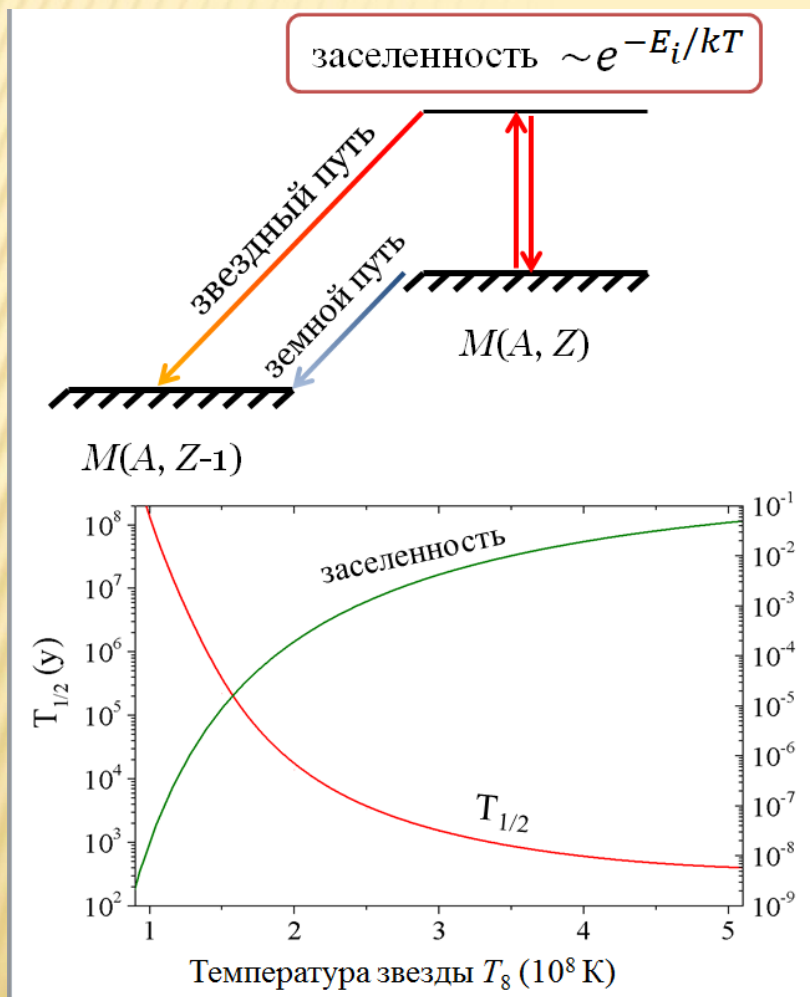


СЧАСТЛИВЫЕ ЧЛЕНЫ ГРУППЫ SHIPTRAP



КВАЗИСТАБИЛЬНЫЕ НУКЛИДЫ В АСТРОФИЗИКЕ

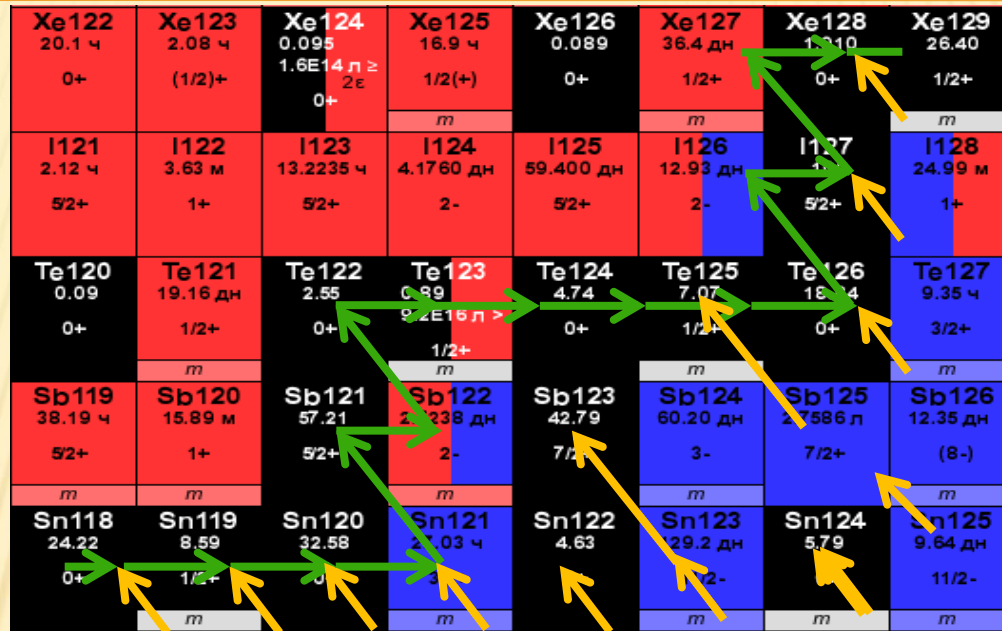
Эти нуклиды имеют времена жизни, равные или больше возраста вселенной $1.4 \cdot 10^{10} \text{y}$



- ✘ Благодаря высоким температурам в звёздных условиях, происходит заселение возбуждённых ядерных состояний. Вероятность заселения зависит как от энергии уровня, так и от температуры среды (см. кривую заселённости),
- ✘ Это приводит к открытию новых сильных каналов разрядки с этих состояний на уровни дочернего ядра («звёздный путь» на рисунке). «Земной путь» связан только с распадом с основного состояния, который в силу квазистабильности имеет ничтожную вероятность разрядки,
- ✘ В результате нуклид, представленный как основным, так и возбуждёнными состояниями, в звёздных условиях получает эффективное время жизни, на много порядков величины превосходящее земное (см. рисунок),
- ✘ Это должно приводить к нарушению баланса синтеза элементов в природе (см. ниже случай распада ^{123}Te).

→ Путь медленного захвата нейтронов (s-процесс)

→ Путь быстрого захвата нейтронов (r-процесс)



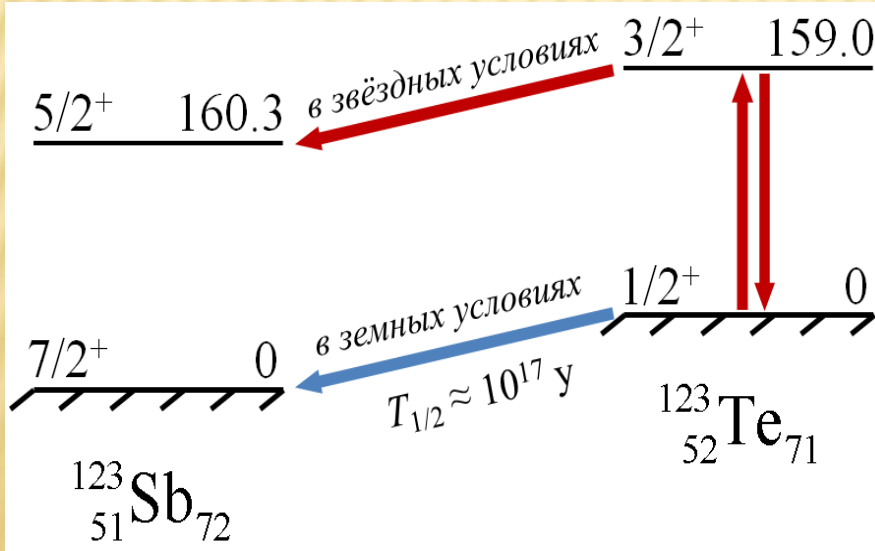
П. Филянин-КМУС-2015



^{123}Te КАК АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ — ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПРОДУКТ S-ПРОЦЕССА

Ce122 21.18 с 1+	Ce123 5.88 м 1/2+	Ce124 30.9 с 1+	Ce125 46.7 м 1/2(+)	Ce126 1.64 м 1+	Ce127 6.25 ч 1/2+	Ce128 3.66 м 1+	Ce129 32.05 ч 1/2+	Ce130 29.21 м 1+	Ce131 9.689 дн 5/2+
Xe121 40.1 м (9/2+)	Xe122 20.1 ч 0+	Xe123 2.08 ч (1/2)+	Xe124 0.095 1.6E14 л \geq 2ε 0+	Xe125 16.9 ч 1/2(+)	Xe126 0.089 0+	Xe127 36.4 дн 1/2+	Xe128 1.910 0+	Xe129 26.40 1/2+	Xe130 4.071 0+
I120 81.6 м 2-	I121 2.12 ч 5/2+	I122 3.63 м 1+	I123 13.2235 ч 5/2+	I124 4.1760 дн 2-	I125 59.400 дн 5/2+	I126 12.93 дн 2-	I127 100 5/2+	I128 24.99 м 1+	I129 1.57E7 л 7/2+
Te119 16.05 ч 1/2+	Te120 0.09 0+	Te121 19.16 дн 1/2+	Te122 2.85 0+	Te123 0.89 9.2E16 л > 1/2+	Te124 4.74 0+	Te125 7.07 1/2+	Te126 18.84 0+	Te127 9.35 ч 3/2+	Te128 31.74 8.8E18 л 2β- 0+
Sb118 3.6 м 1+	Sb119 38.19 ч 5/2+	Sb120 15.89 м 1+	Sb121 57.21 5/2+	Sb122 2.7238 дн 2-	Sb123 42.79 7/2+	Sb124 60.20 дн 3-	Sb125 2.7586 л 7/2+	Sb126 12.35 дн (8-)	Sb127 3.85 дн 7/2+
Sn117 7.68 1/2+	Sn118 24.22 0+	Sn119 8.59 1/2+	Sn120 32.58 0+	Sn121 27.03 ч 3/2+	Sn122 4.63 0+	Sn123 129.2 дн 1/2-	Sn124 5.79 0+	Sn125 9.64 дн 1/2-	Sn126 2.30E5 л 0+
In116 14.10 с 1+	In117 43.2 м 9/2+	In118 5.0 с 1+	In119 2.4 м 9/2+	In120 3.08 с 1+	In121 23.1 с 9/2+	In122 1.5 с 1+	In123 6.17 с (9/2)+	In124 3.12 с (1)+	In125 2.36 с 9/2+

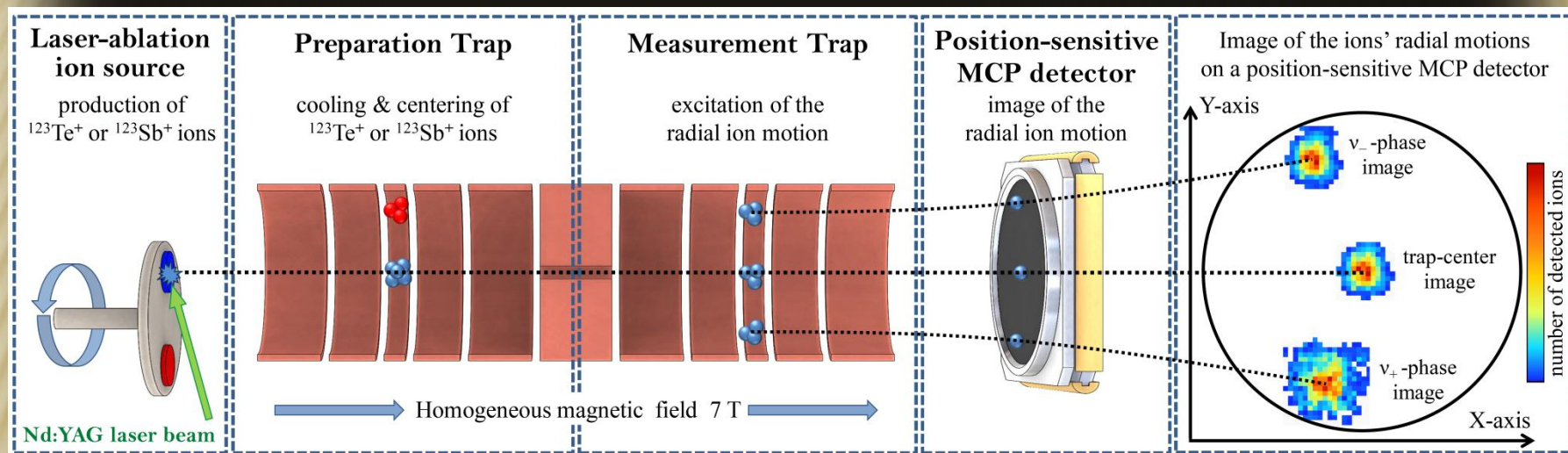
- ✘ ^{123}Te образуется в медленном s-процессе захвата нейтронов в звёздах при температурах $\approx (3-5) \cdot 10^8$ К. Возможность его образования после взрывного r-процесса экранировано стабильностью ^{123}Sb ,
- ✘ Из-за большой разницы спинов и предполагаемой малой энергии бета-переход между основными состояниями запрещён, и время жизни в земных условиях достигает $\sim 10^{17}$ лет,
- ✘ В звёздных условиях, благодаря заселённости уровня 159 кэВ в ^{123}Te , открывается канал его разрешённого бета-перехода, что на много порядков величины должно изменить эффективное время жизни ^{123}Te ,
- ✘ Так как бета-переходы представляют собой захват электронов, то их вероятность во многом определяется энергией перехода, то есть разностью масс.





ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ РАСПАДА ^{123}Te (РАЗНОСТИ МАСС ^{123}Te И ^{123}Sb)

С помощью ионной ловушки SHIPTRAP (ГСИ, Германия) было выполнено достоверное и точное измерение разности масс нейтральных атомов ^{123}Te и ^{123}Sb

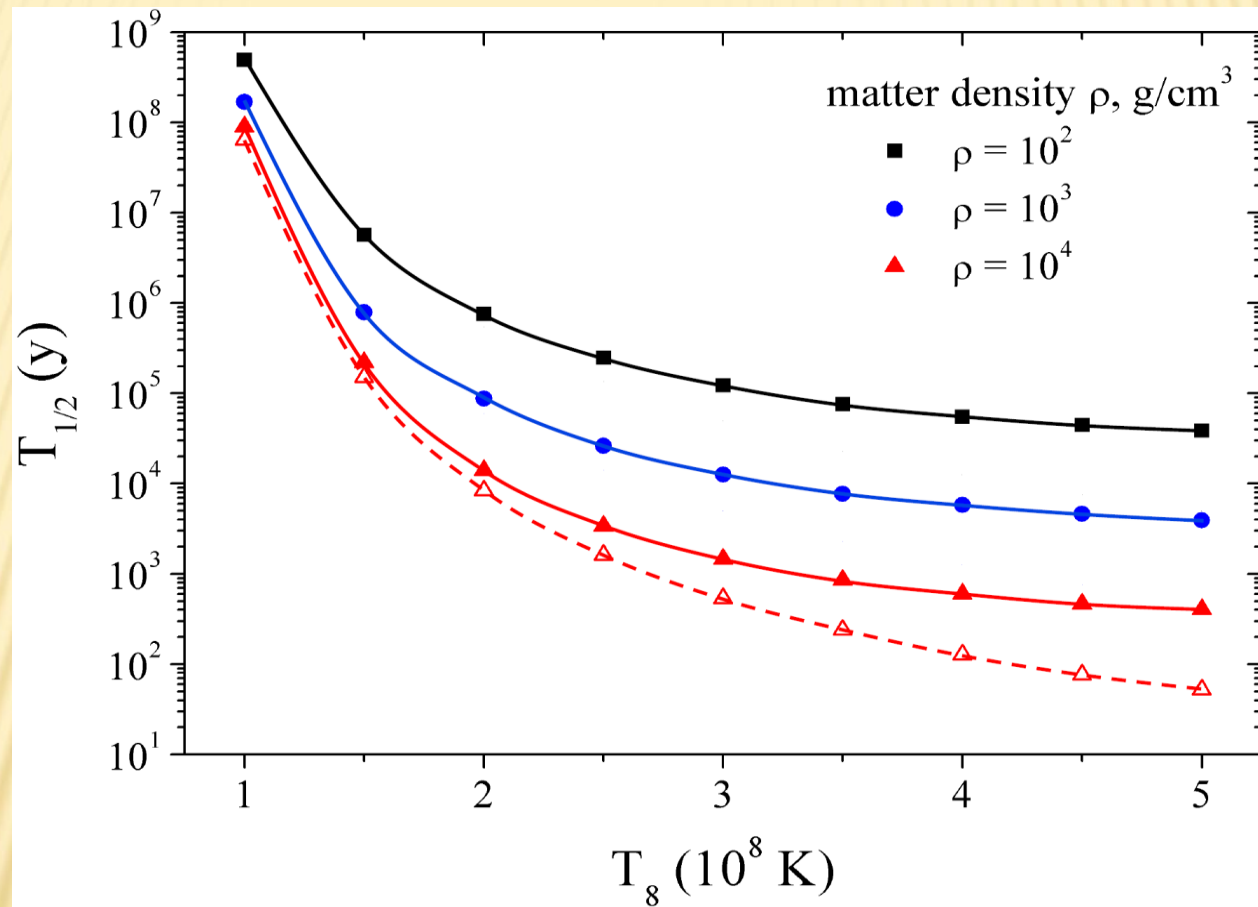


Полученное нами прямым методом значение $Q_{\text{neut}} = 51.912 \pm 0.067$ кэВ хорошо подтверждает литературное косвенное значение 52.7 ± 1.6 кэВ

- 1) **P. Filianin**, S. Schmidt, K. Blaum, M. Block, **S. Eliseev**, F. Giacoppo, M. Goncharov, F. Lautenschlaeger, **Yu. Novikov**, K. Takahashi. "The decay energy of the pure s -process nuclide ^{123}Te " Physics Letters B 758 (2016) 407–411



ВРЕМЯ ЖИЗНИ ^{123}Te В ЗВЁЗДНЫХ УСЛОВИЯХ



- 1) K. Takahashi, K. Blaum, **Yu.N. Novikov** . "SYNTHESIS OF THE S-ONLY $^{122,123,124}\text{Te}$ ISOTOPES AND THE SELECTIVE DEPLETION OF ^{123}Te BY ELECTRON CAPTURE PROCESS IN MASSIVE STARS". The Astrophysical Journal, 819:118 (7pp), 2016 March 10; doi:10.3847/0004-637X/819/2/118.



СПАСИБО!

Группе SHIPTRAP (M. Block et al.)
Группе PENTATRAP (K. Blaum et al.)



- ✘ С Новым Годом!
- ✘ С Новыми успехами!
- ✘ Хорошего здоровья!