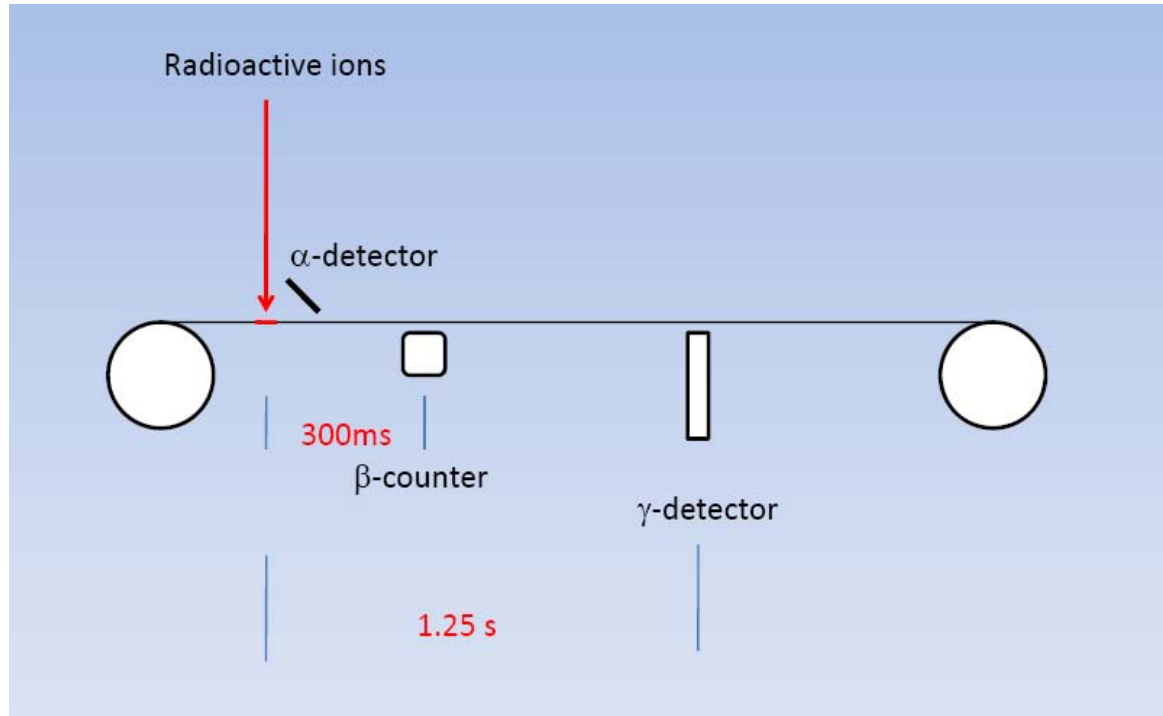


Механизмы получения радиоактивных ядер из урановых мишеней

А. Е. Барзах , Ю. М. Волков, В. С. Иванов, А. М. Ионан,
К. А. Мезилев, П. Л. Молканов, Ф. В. Мороз, С. Ю. Орлов,
В. Н. Пантелеев, Д. В. Федоров

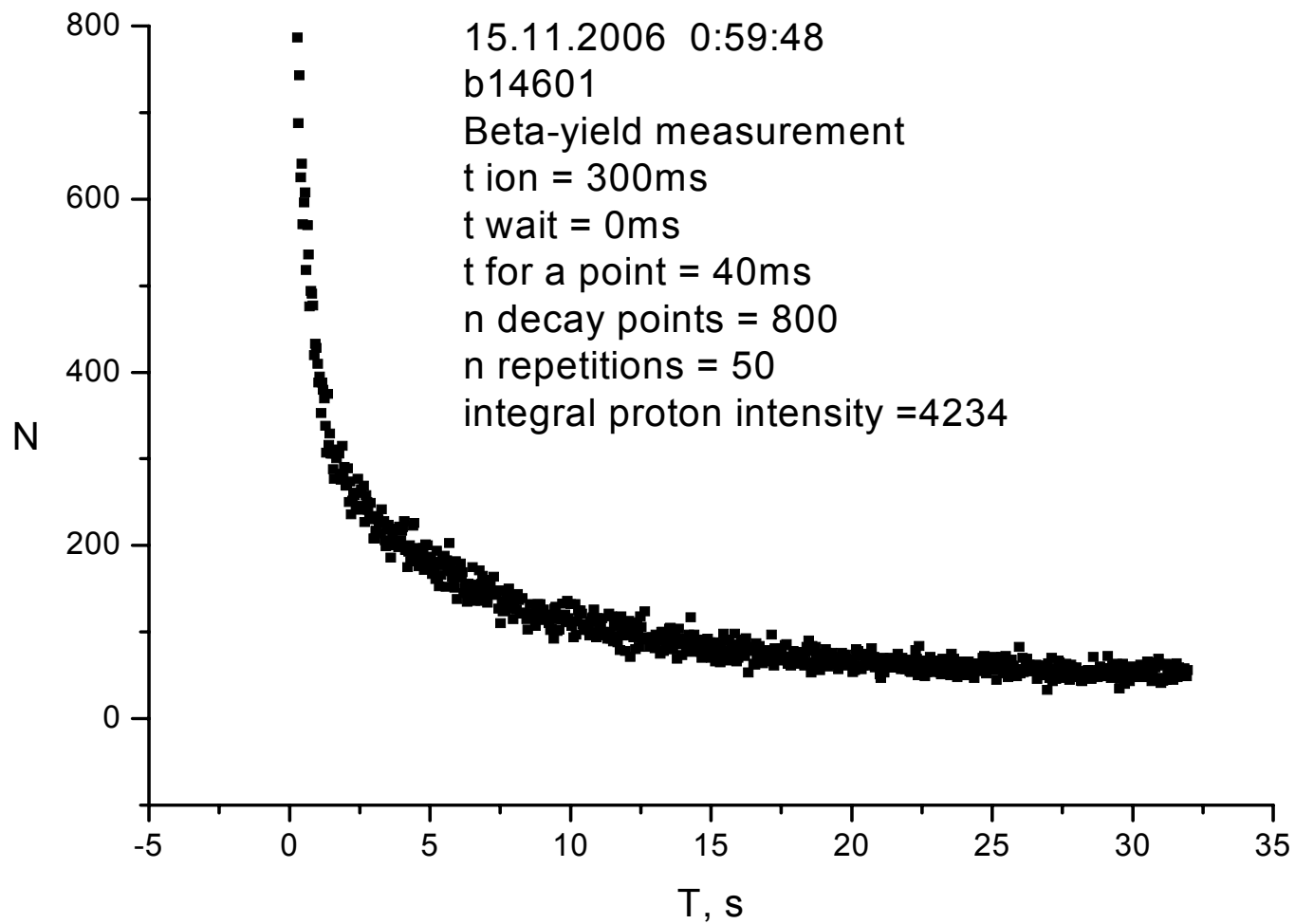
1. Методика измерения выходов радиоактивных ядер.
 - a. Гамма и альфа измерения
 - b. Анализ бета-распадных кривых
2. Диффузионно-эффузионная (Д-Э) модель выделения изотопов из мишени.
 - a. Зависимость эффективности выделения изотопа от времени жизни.
 - b. Релизная кривая.
3. Проверка применимости Д-Э модели: изотопы Fr.
4. Вклад вторичных нейтронов в полное сечение образования нейтронно-избыточных изотопов

Измерения интенсивностей гамма и альфа линий



$$Y_{\gamma(\alpha)} = \frac{S}{\exp(-\lambda \cdot tt) \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot tc)) \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot tm))} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{tr} \cdot b(E_{\gamma(\alpha)}) \cdot \varepsilon_{det}(E_{\gamma(\alpha)})}$$

Анализ бета-распадной кривой



$$(Z, N) \xRightarrow{\beta^-} (Z+1, N-1) \xRightarrow{\beta^-} (Z+2, N-2)$$

$$\Downarrow \beta^-$$

$$(Z+1, N-2) \xRightarrow{\beta^-} (Z+2, N-3)$$

$$N(t) = A_i \cdot \left[C_1 \cdot Tp_1 \cdot M_1 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_1)} \right) \cdot \exp(-\lambda_1 t) - \right. \\ \left. C_2 \cdot Tp_2 \cdot M_2 \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_2 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_2)} \right) \cdot \exp(-\lambda_2 t) + \right. \\ \left. C_3 \cdot Tp_3 \cdot M_3 \cdot \left(\frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_3 \cdot (\lambda_3 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_2)} \right) \cdot \exp(-\lambda_3 t) \right]$$

где: $C_i = 1 - \exp(-\lambda_i \cdot tc)$; $Tp_i = \exp(-\lambda_i \cdot tt)$; $M_i = 1 - \exp(-\lambda_i \cdot tm)$

Contribution of each decay channel to the decay curve:

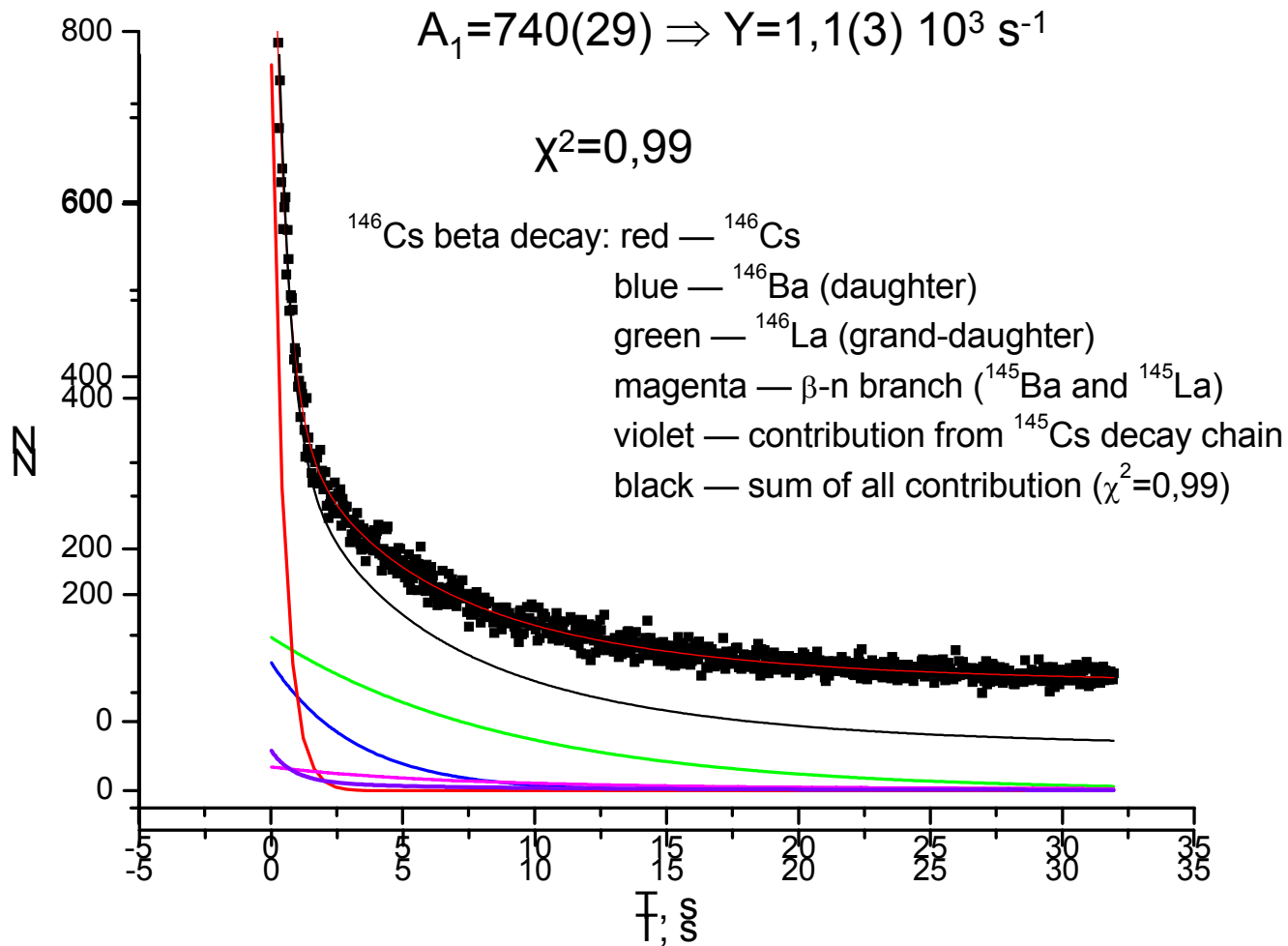
1 — index for the main isotope; 2 — for the daughter isotope; 3 — for the grand-daughter isotope

λ_i — decay constant for nuclide i

tm — measurement time (for a point on the curve)

tc — collection time

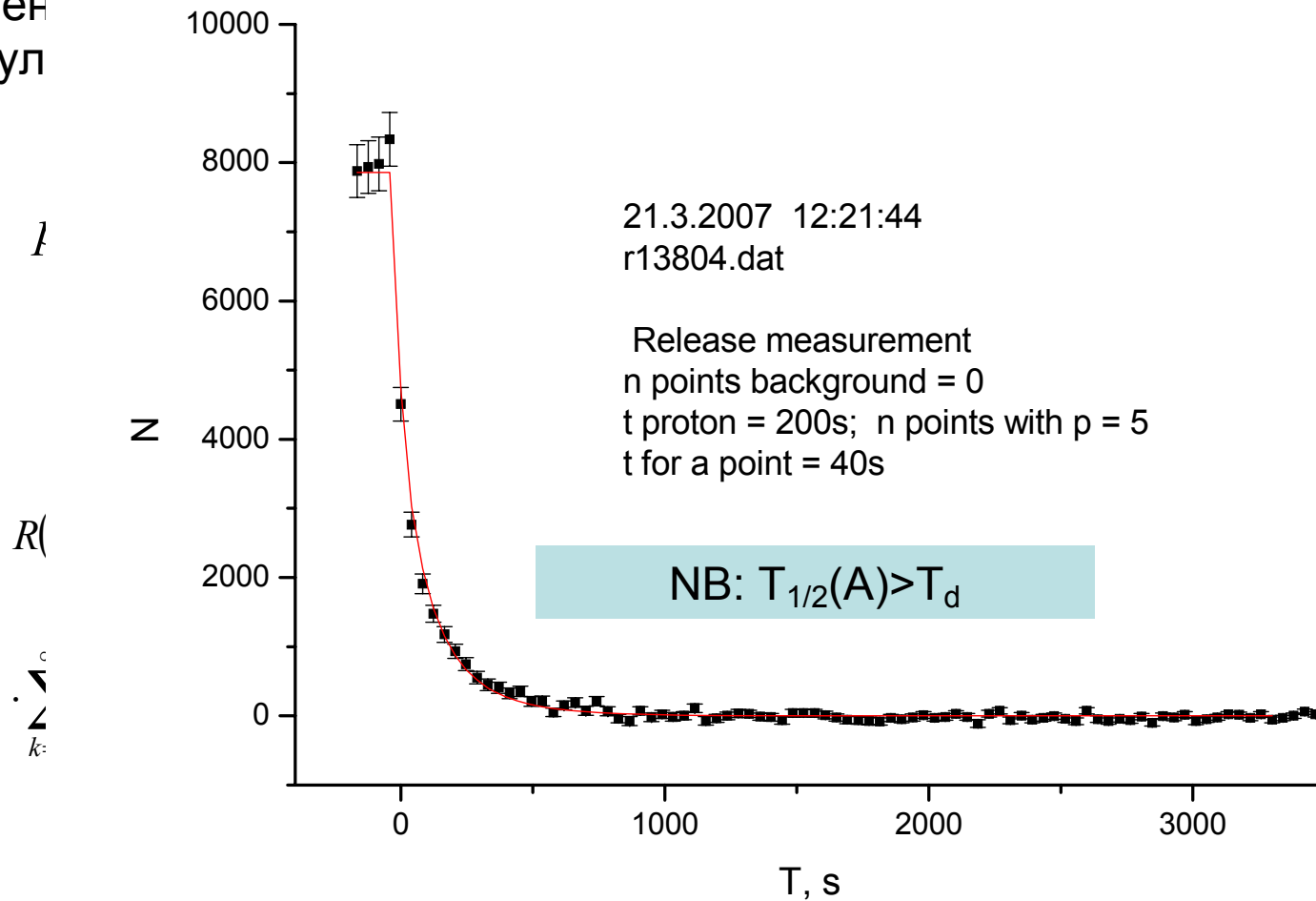
tt — time of the tape driving (waiting time included)



Анализ релизной кривой

Вероятность
в момент
формулы

ЭГОСЯ
1



Анализ эффективностей

$$Y_{\text{in target}}(A) = \sigma_A \cdot th \cdot I_0 \cdot \frac{1 - \exp(-\sigma_T \cdot th)}{\sigma_T \cdot th} \equiv \sigma_A \cdot th \cdot I^*$$

$$Y(A) = Y_{\text{in target}}(A) \cdot \varepsilon_{\text{diff}}(T_{1/2}) \cdot \varepsilon_{\text{eff}}(T_{1/2}) \cdot \varepsilon_{\text{ioniz}} \equiv Y_{\text{in target}}(A) \cdot \varepsilon_R(T_{1/2})$$

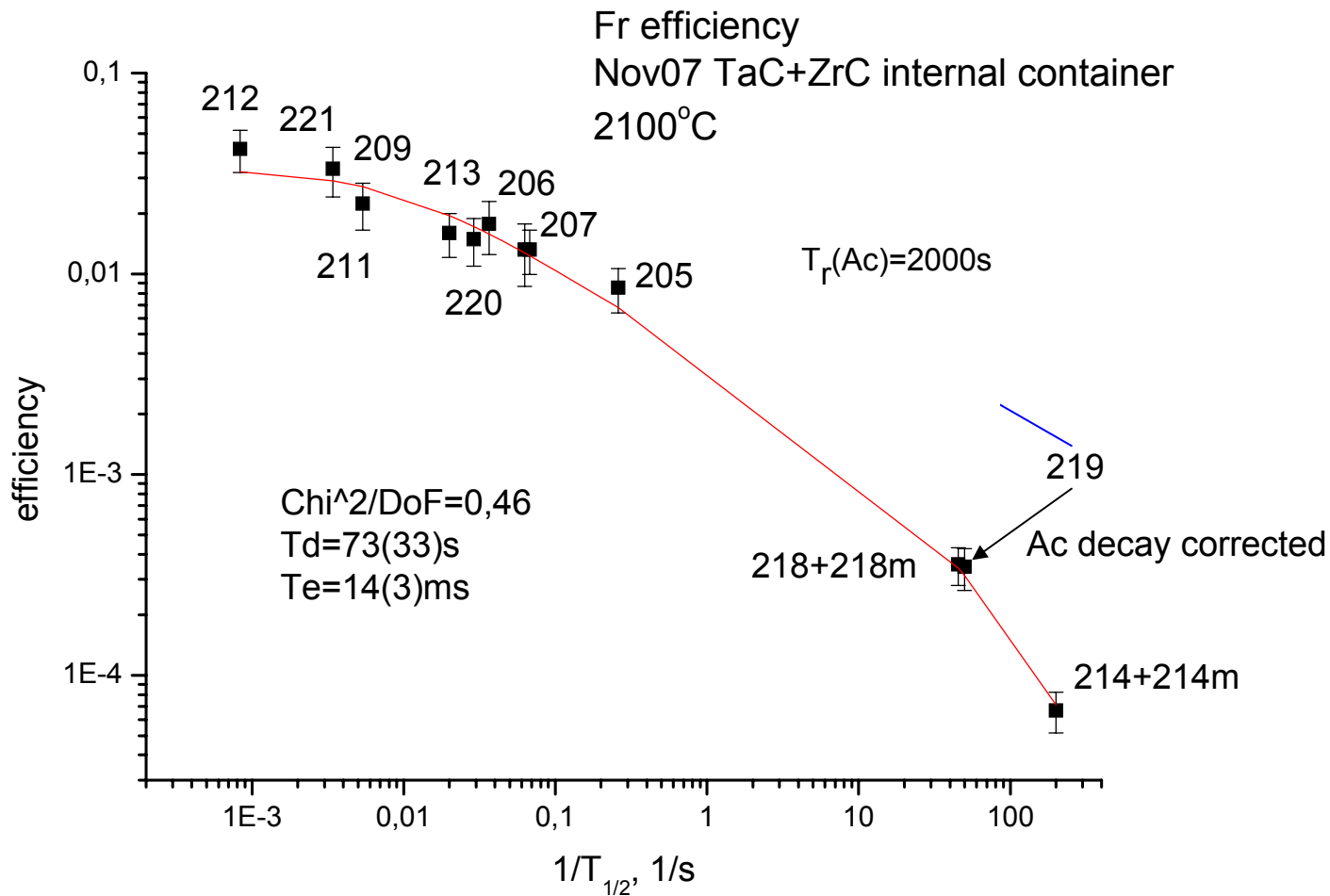
$$\varepsilon_{\text{diff}} = 3 \cdot \alpha^{1/2} \left[\coth(\alpha^{-1/2}) - \alpha^{1/2} \right] \quad \alpha = \frac{T_{1/2}}{\pi^2 \cdot t_d} \quad t_d \text{ — время диффузии}$$

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{T_{1/2}}{T_{1/2} + t_e} \quad t_e \text{ — время эффузии}$$

Эффективность получения ядер (экспериментальные значения):

$$\varepsilon_R(T_{1/2}(A)) = \frac{Y_{\text{exp}}(A)}{Y_{\text{in target}}(A)} = \varepsilon_{\text{ioniz}} \cdot \varepsilon_{\text{diff}}(T_{1/2}, t_d) \cdot \varepsilon_{\text{eff}}(T_{1/2}, t_e)$$

Проверка применимости диффузионно-эффузионной модели



Коррекция:

$$\alpha = \frac{Y_{m,in\ target}(A)}{Y_{g,in\ target}(A)} = \frac{Y_{g,exp}(A)}{\varepsilon_R(T_{1/2,g})} / \frac{Y_{m,exp}(A)}{\varepsilon_R(T_{1/2,m})}$$

для ядер в мишени

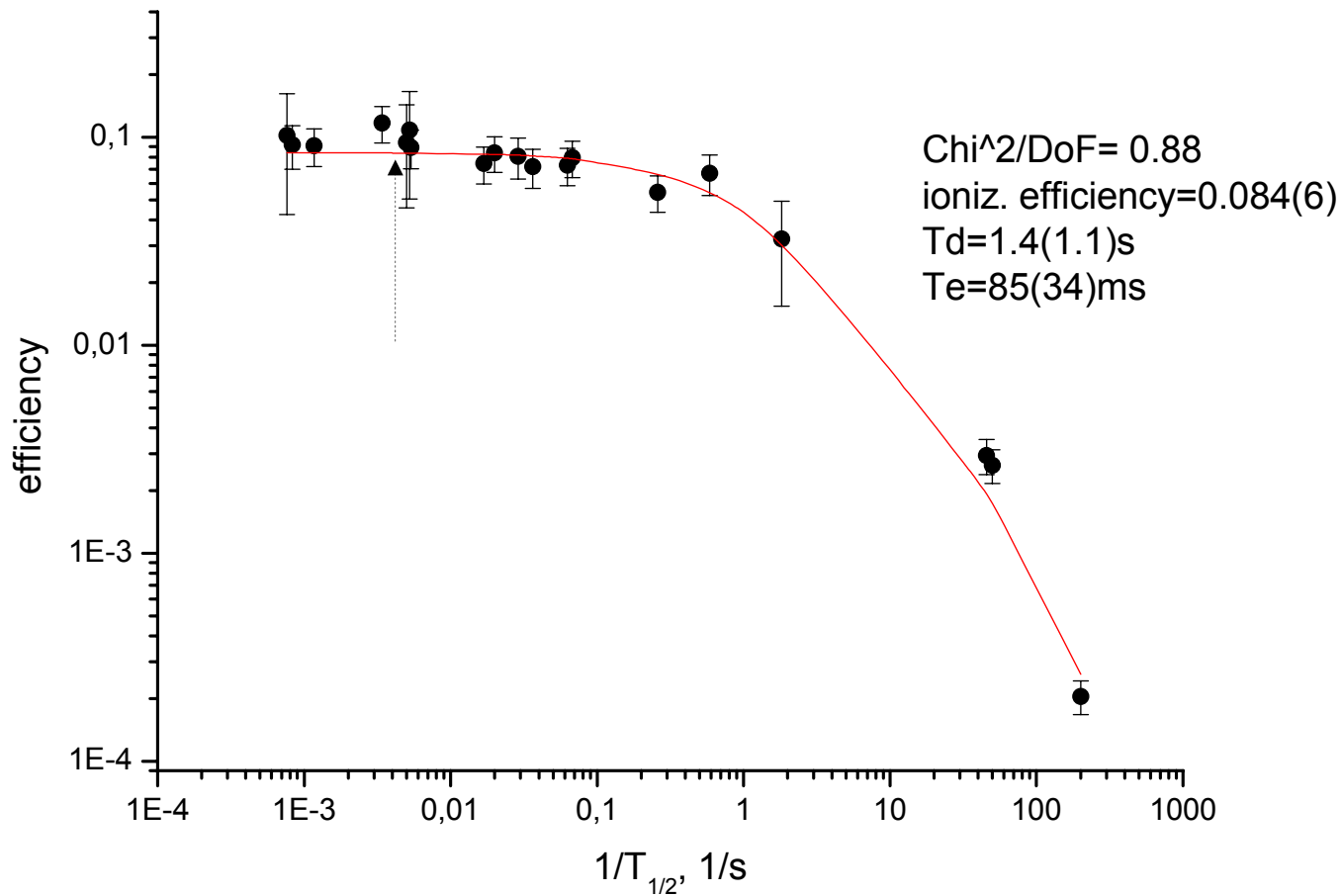
для случая 2 изомеров

коррекция:

$$\alpha(^{4m}\text{Fr})=0,29(8)$$

с разным временем жизни

Fr efficiency June07



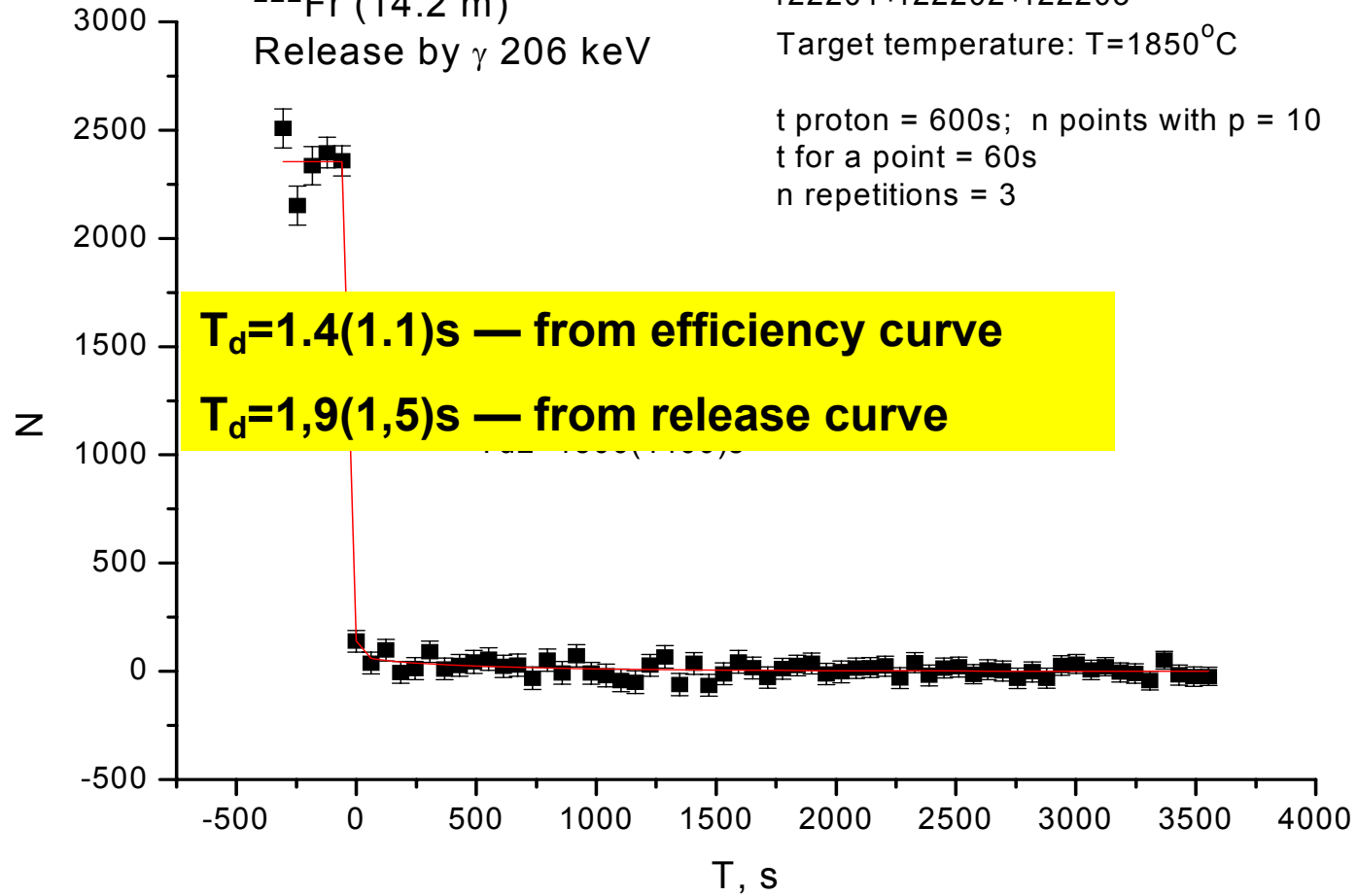
Определено значение брэнчинга для линии ^{225}Fr 182,3 кэВ:
 $b(182,3 \text{ кэВ}, ^{225}\text{Fr})=0,08(3)$

HDP, 6.3 g/cm²
²²²Fr (14.2 m)
Release by γ 206 keV

20.6.2007 21:12:20
r22201+r22202+r22203

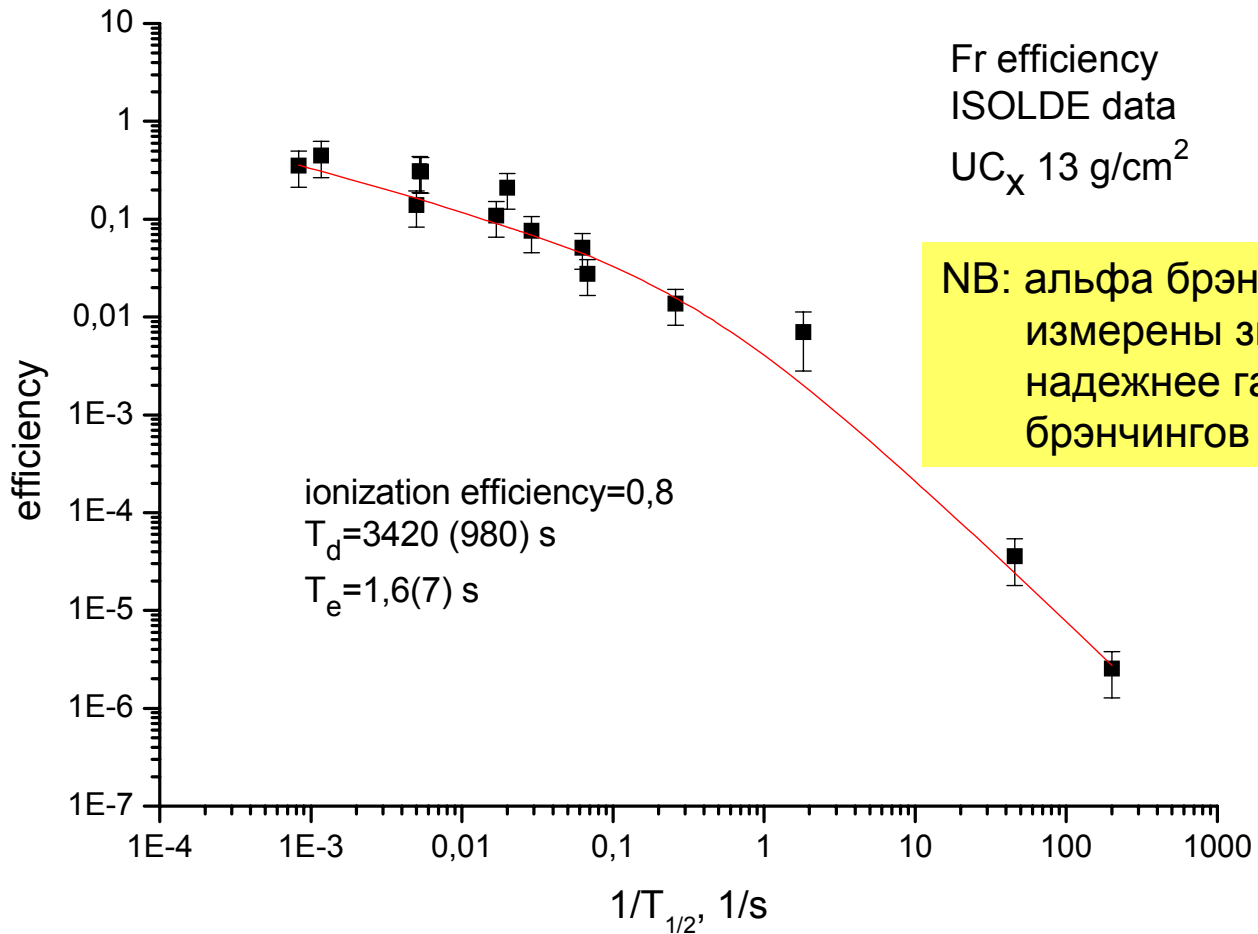
Target temperature: T=1850°C

t proton = 600s; n points with p = 10
t for a point = 60s
n repetitions = 3

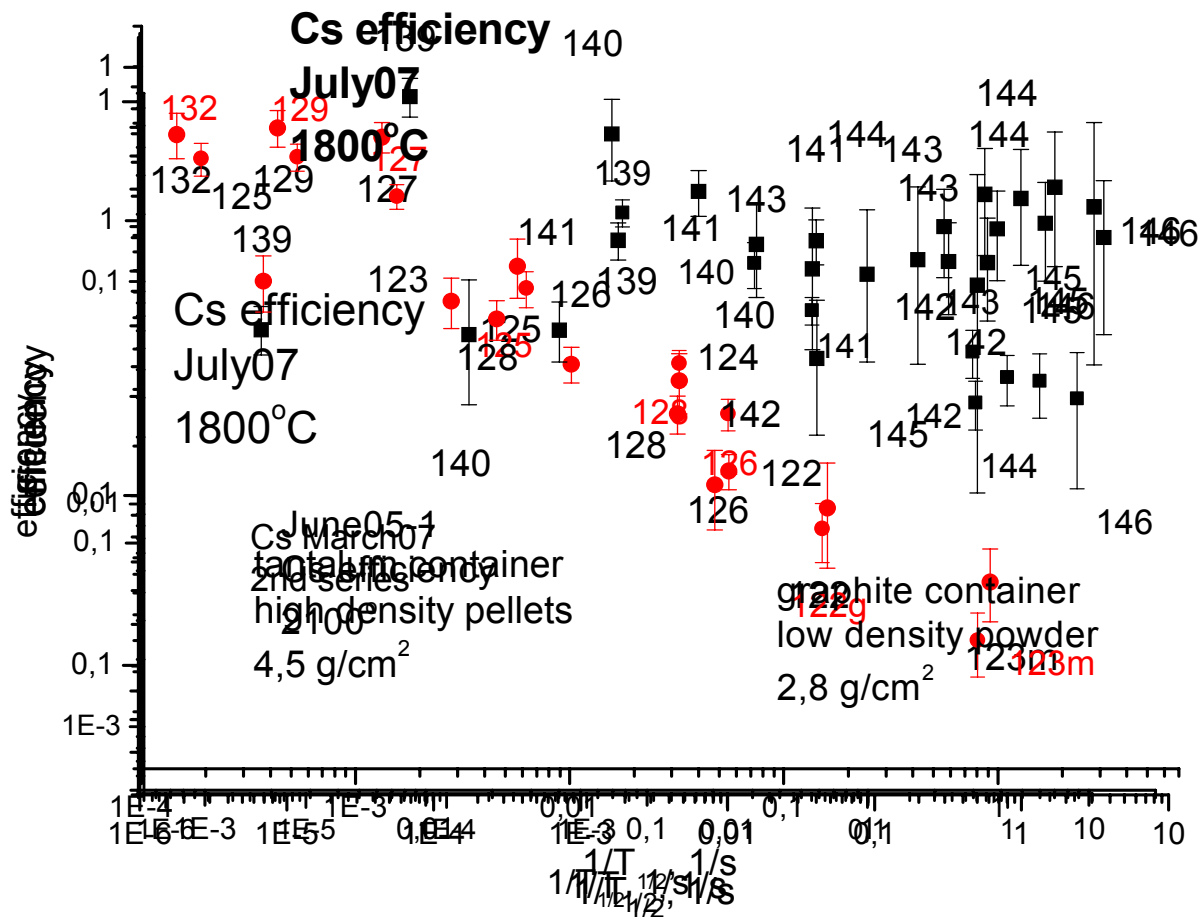


Параметры релизной кривой (двухэкспоненциальная модель):

$$\tau_f = 0.6 \text{ s}, \tau_s = 6 \text{ s}, \alpha = 0.9 \text{ (Ulli Köster)}$$

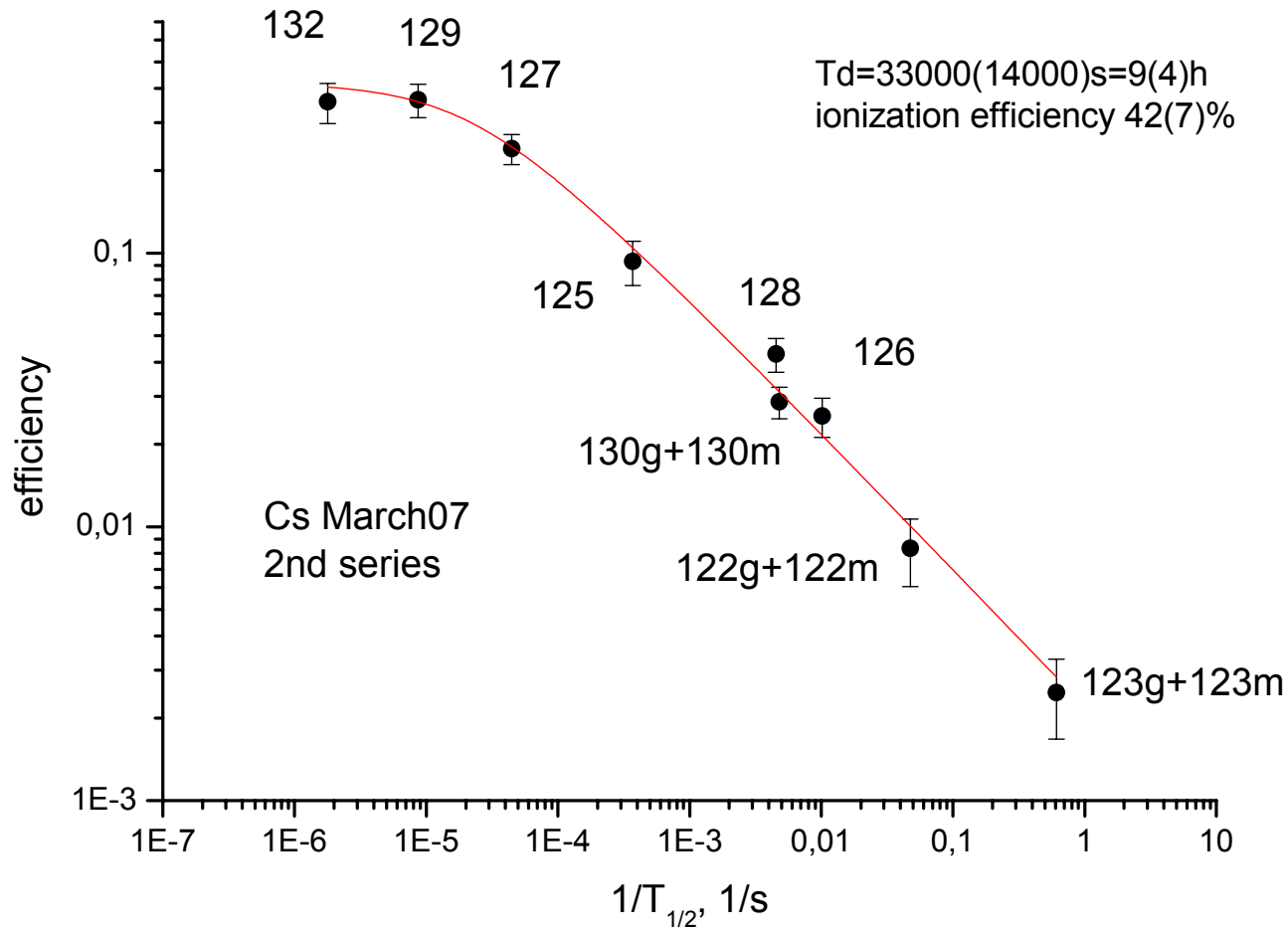


Причины расхождения: а. измерение релиза для короткоживущего изотопа,
б. использование двухэкспоненциальной, а не диффузионной модели

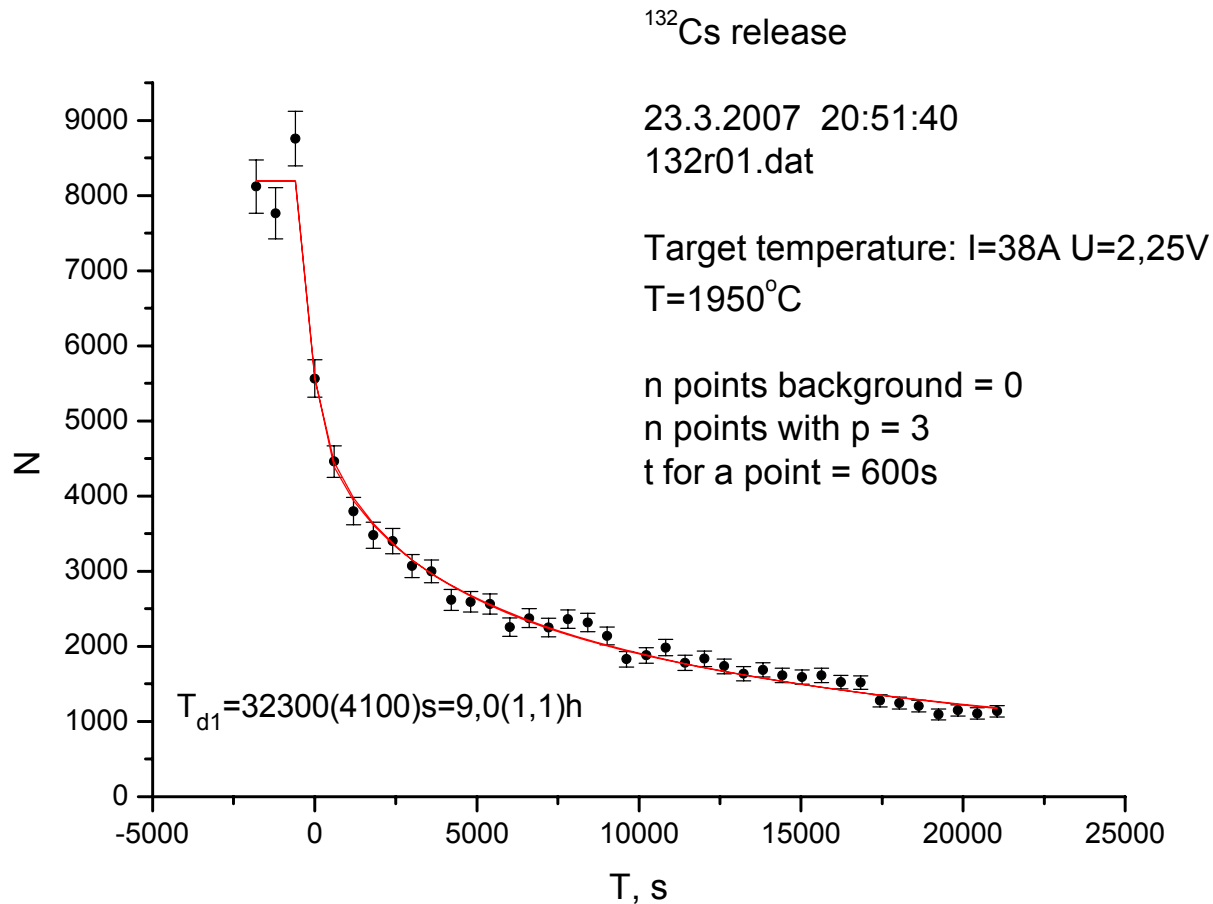


В некоторых случаях эффективности для нейтронно-избыточных изотопов, вычисленные с использованием только протонных сечений, не могут быть описаны Д-Э моделью

A. Нейтронно-дефицитные ядра: анализ эффективностей

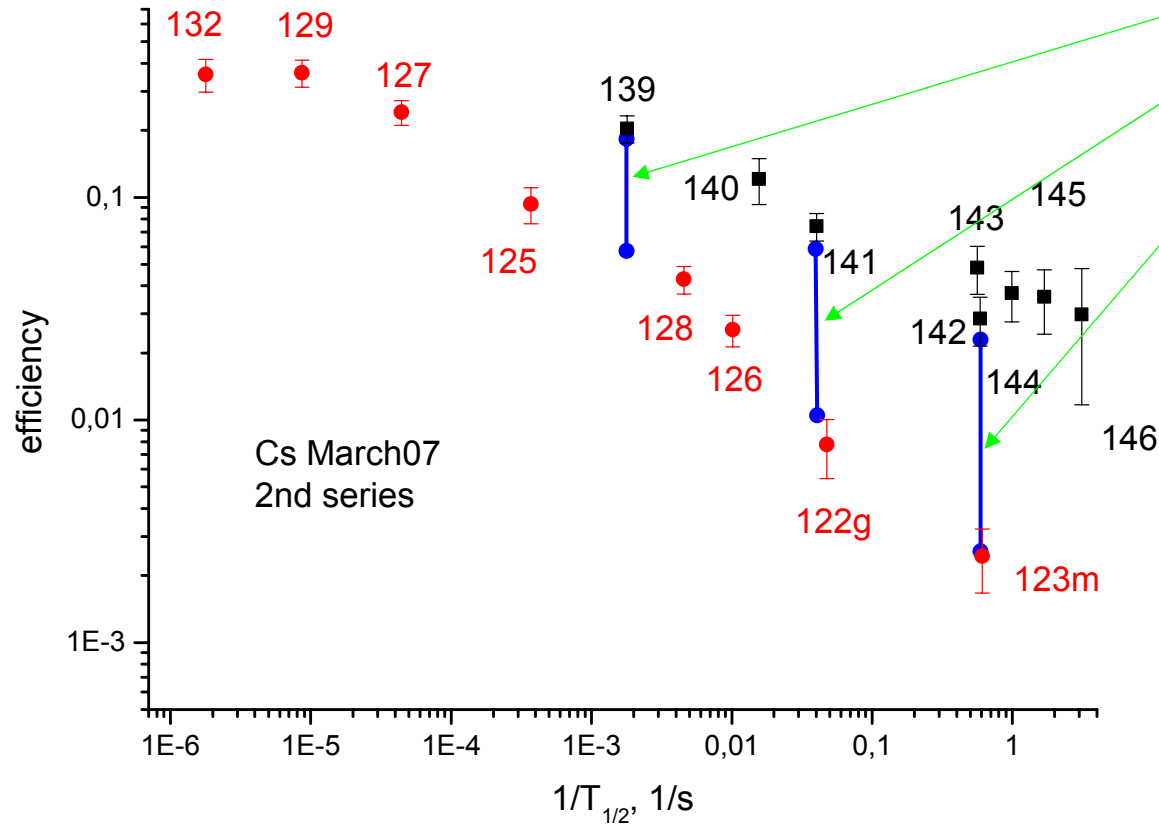


В. Нейтронно-дефицитные ядра: анализ релизных кривых



T_d (efficiency curve) = 33000(14000) s
 T_d (release curve) = 32300(4100) s

Вклад вторичных нейтронов

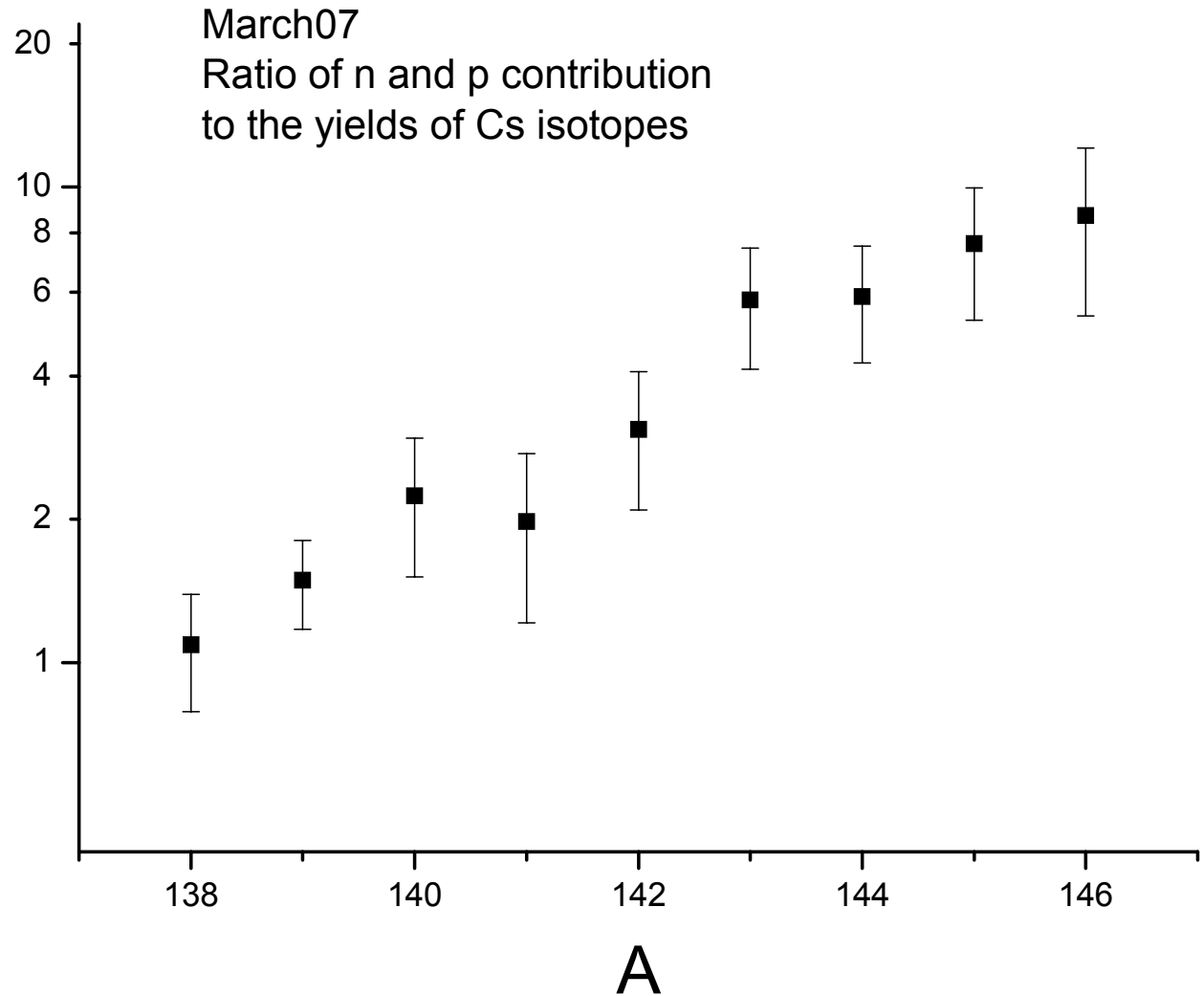


$$Y_p^* = \sigma_A \cdot th \cdot I^* \cdot \varepsilon_{diff}(T_{1/2}) \cdot \varepsilon_{ioniz}$$

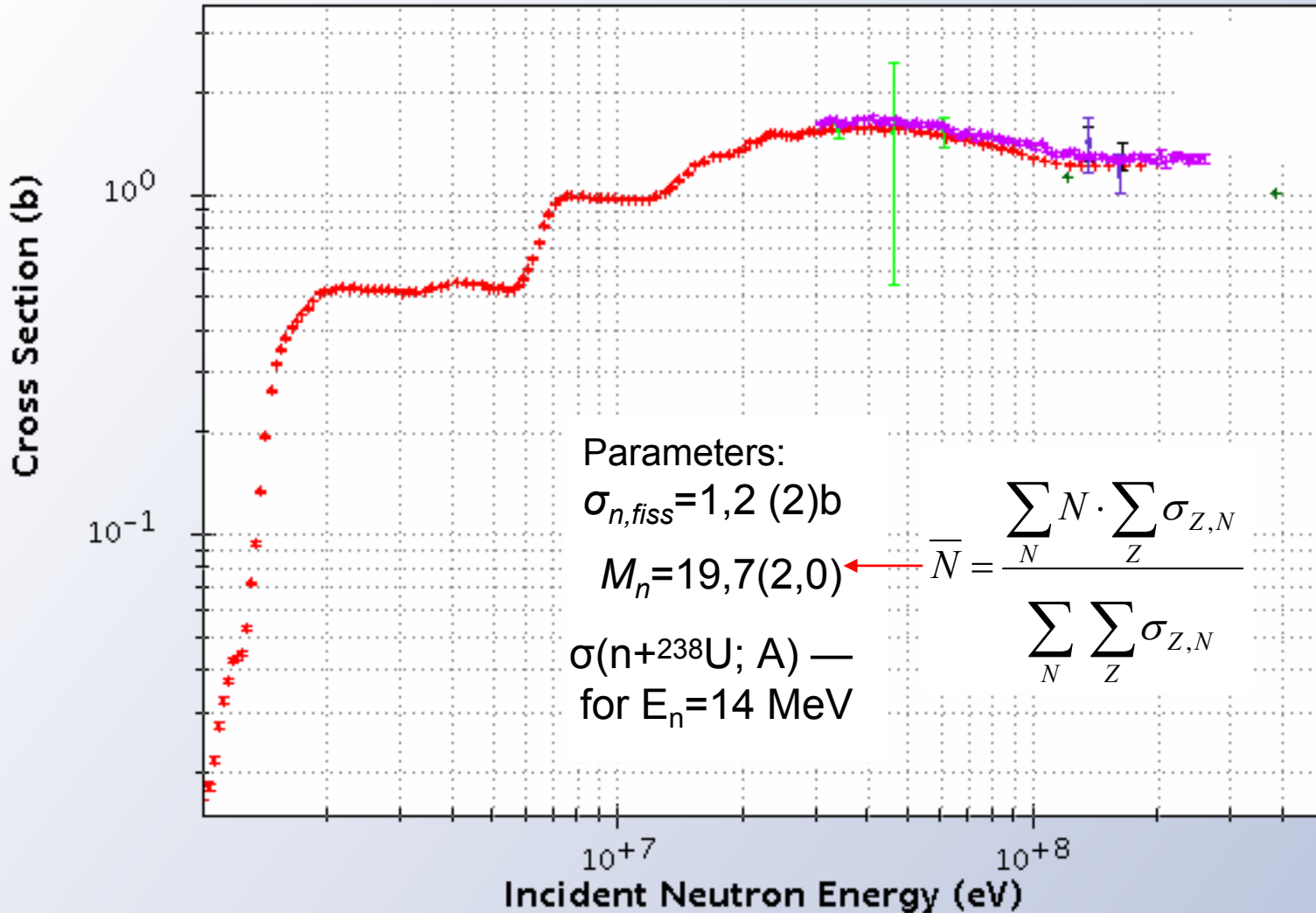
$$Y_n = Y_A^{\text{exp}} - Y_p^*;$$

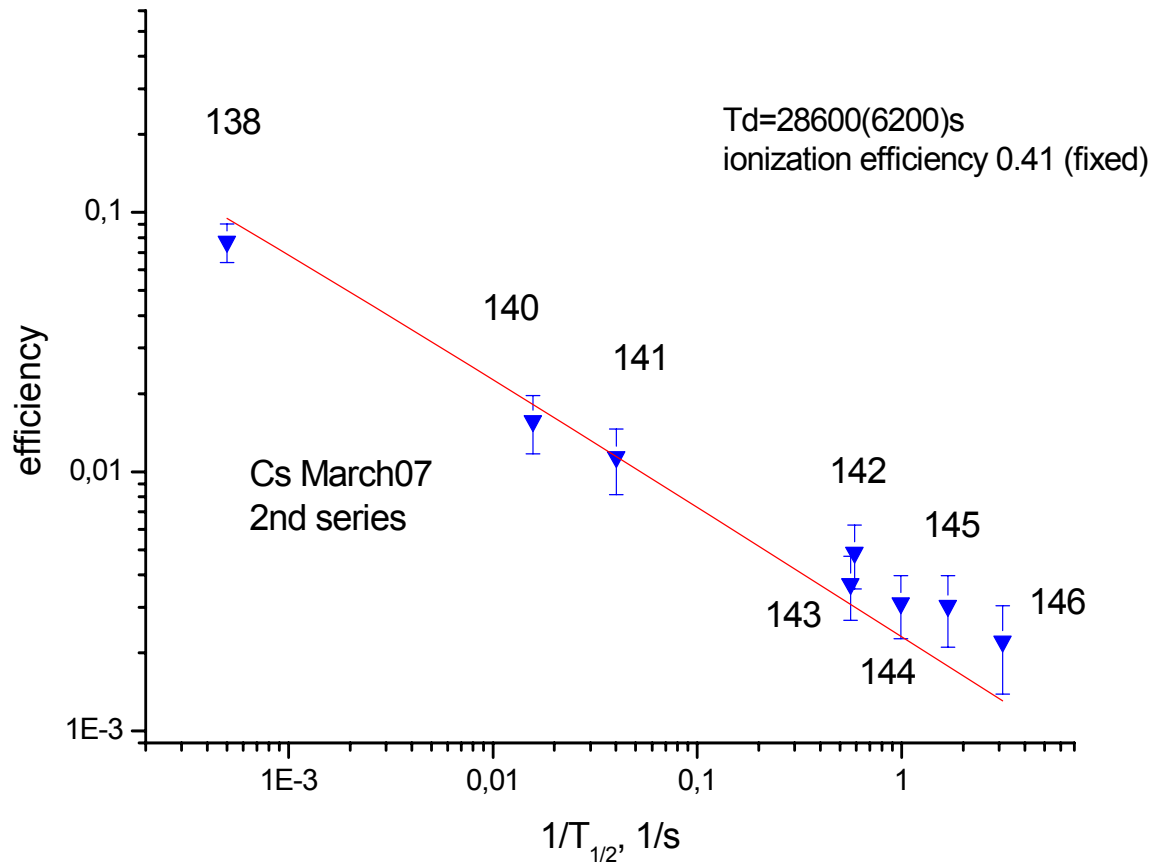
$$r = \frac{Y_n}{Y_p^*}$$

$$r$$
$$(Y_n/Y_p^*)$$



92-U-238(n,total fission) ENDF/B-VII.0

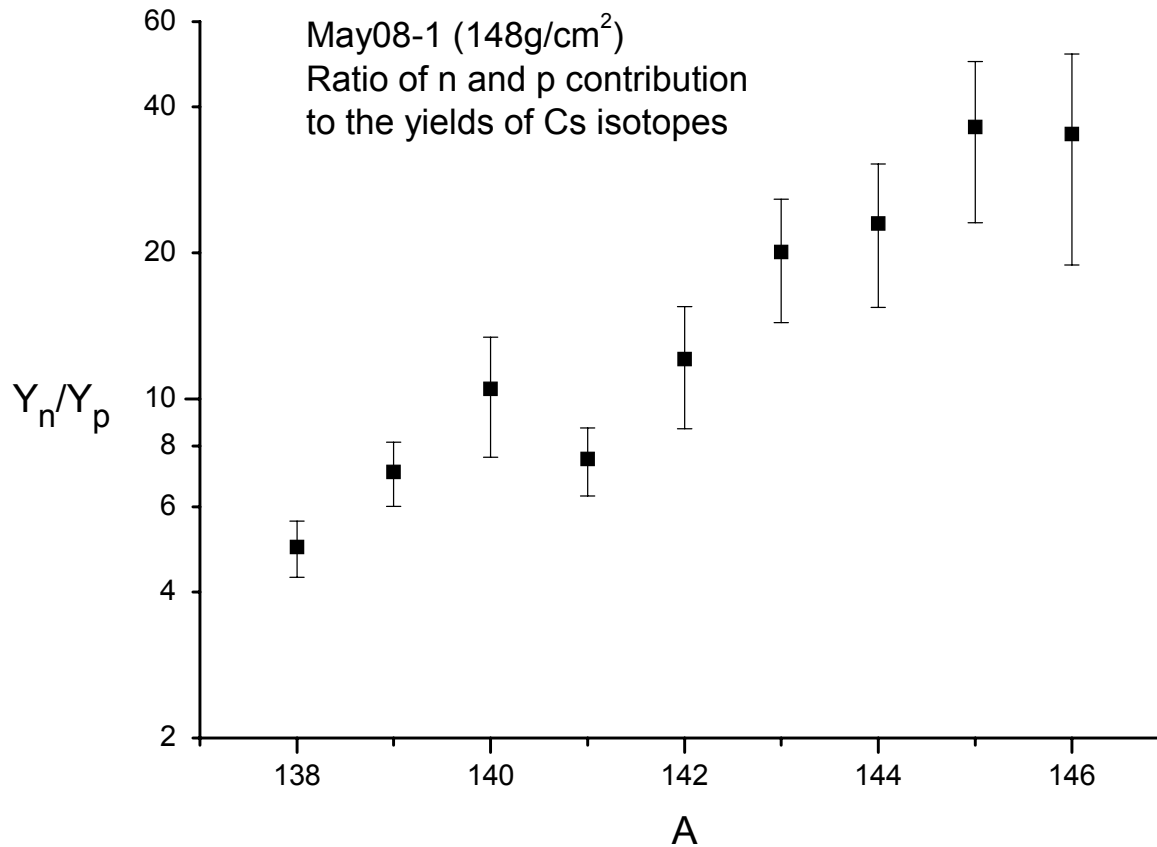




$T_d=33000(14000)s$ — from neutron deficient Cs isotopes (efficiencies)

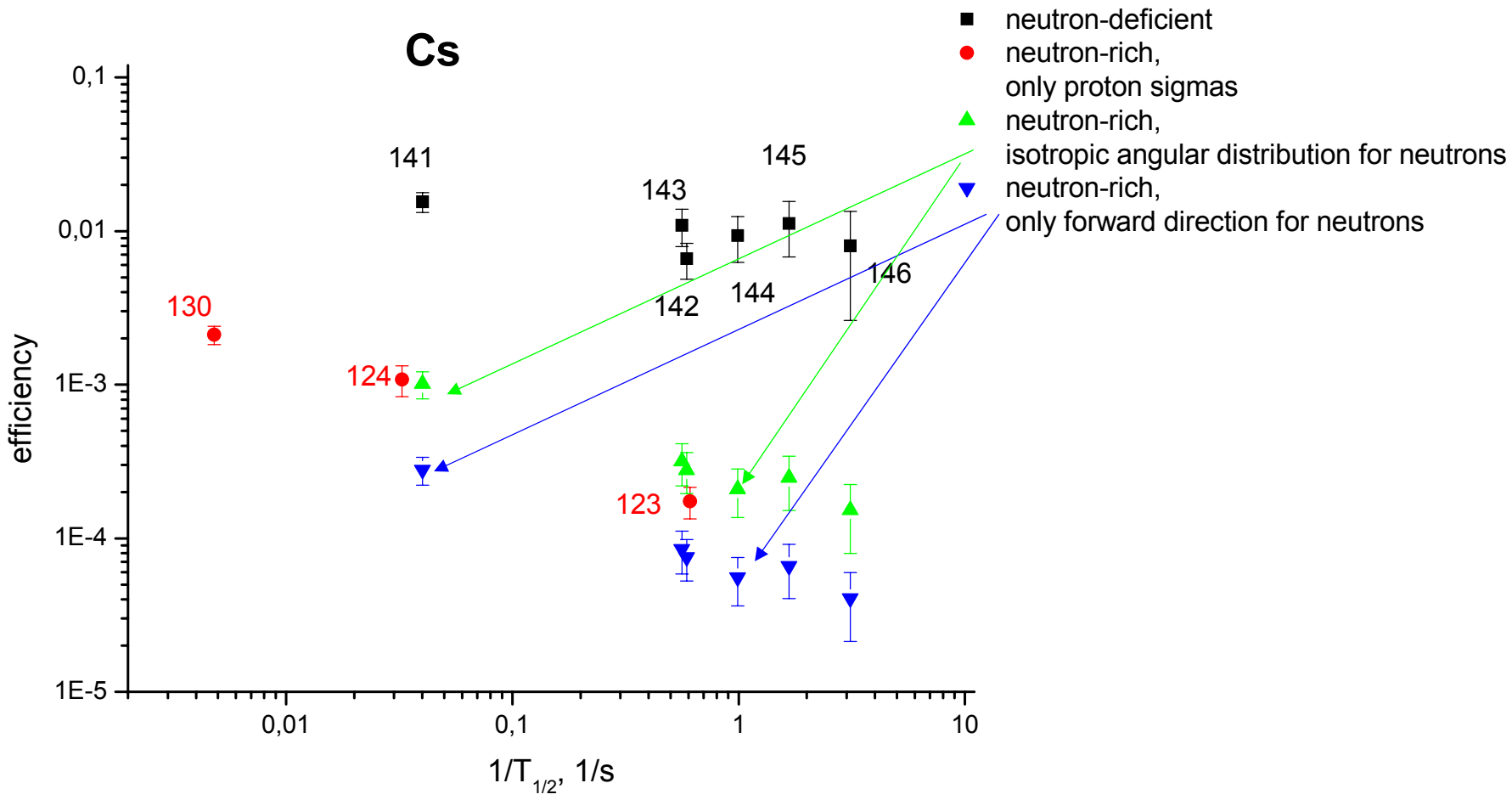
$T_d=32300(4100)s$ — from ^{132}Cs release curve

$T_d=28600(6200)s$ — from neutron rich Cs isotopes (efficiencies)



No simple scaling: thickness increases 20 times,
but relative neutron contribution
increases less than 4 times.

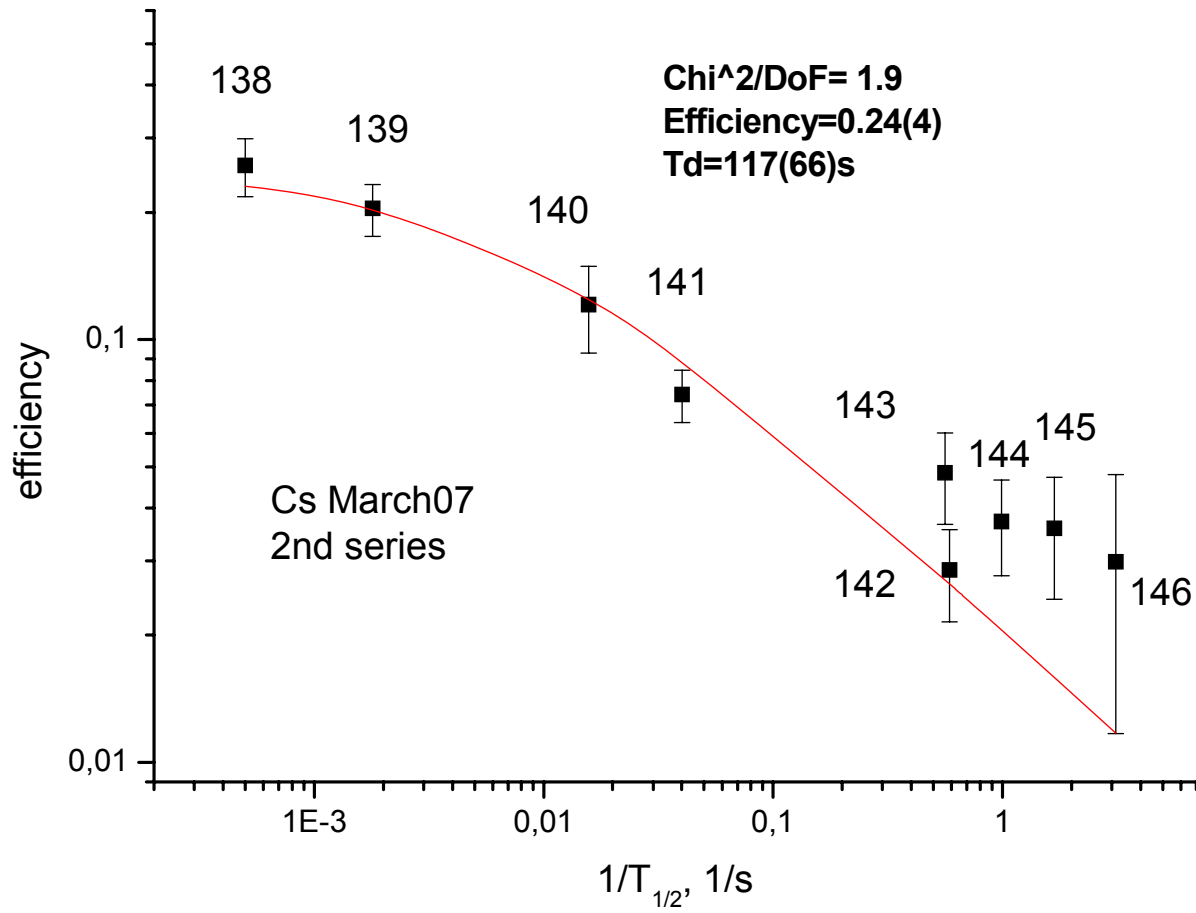
Cs



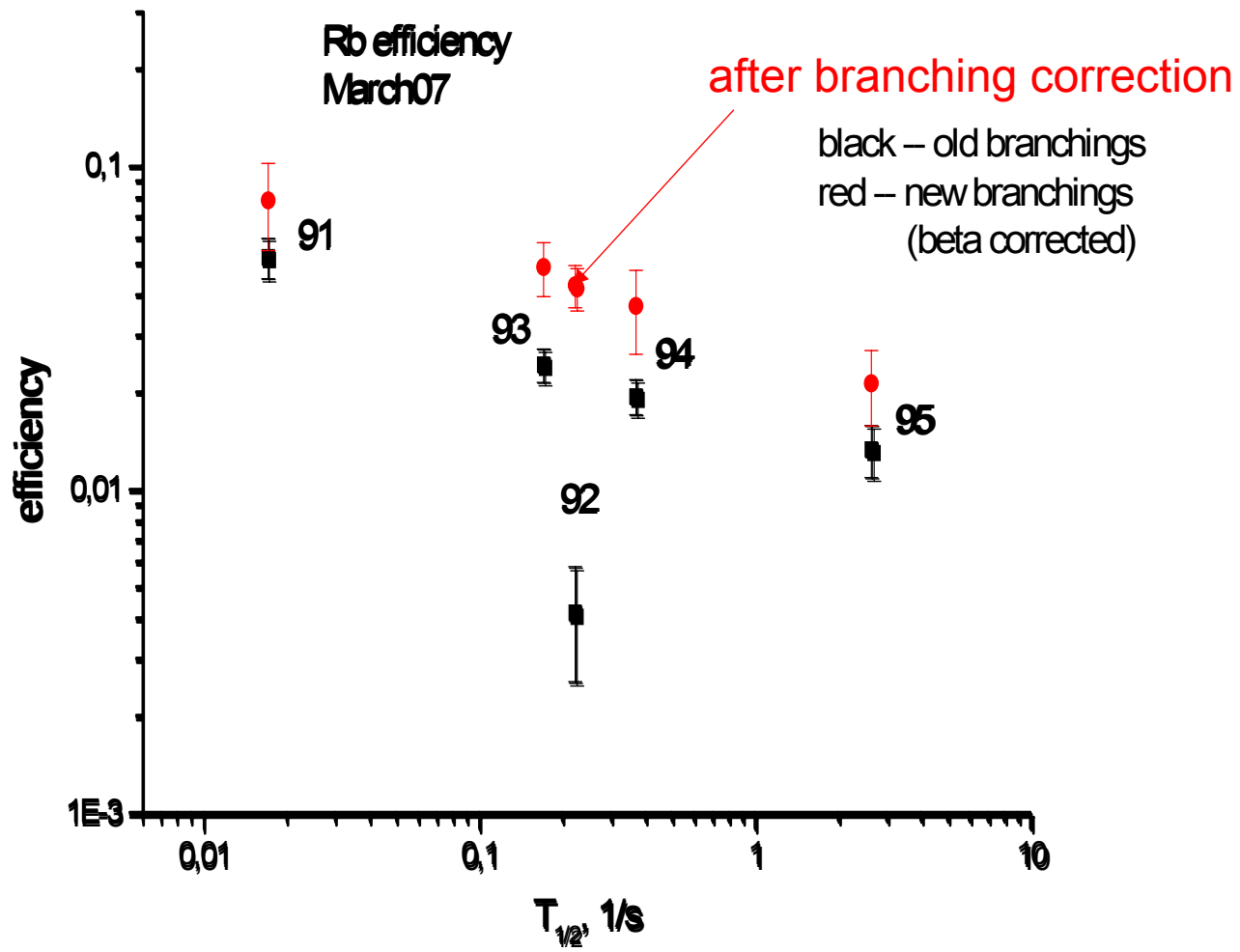
Выводы

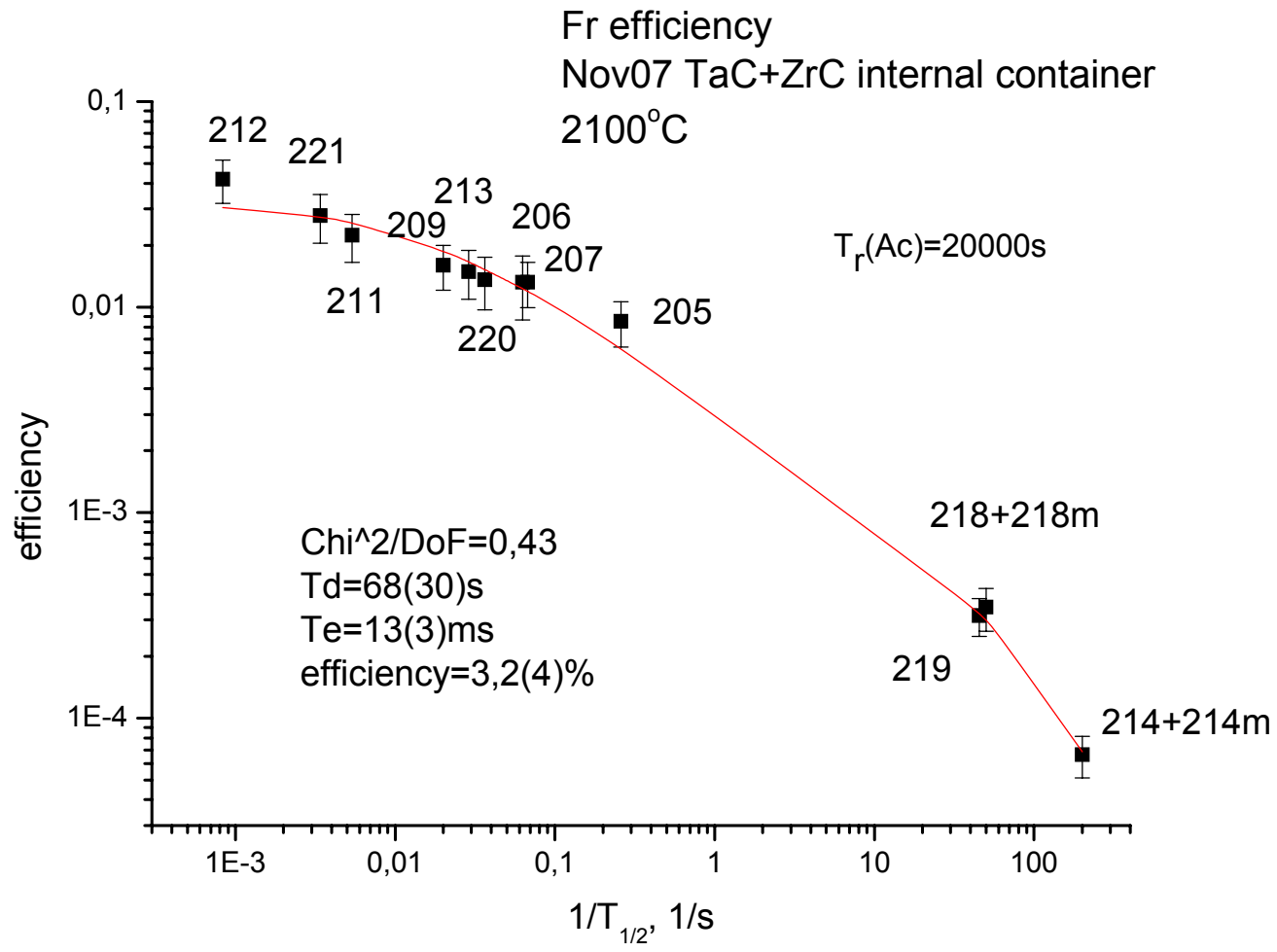
1. Разработана экспериментальная методика исследования свойств мишеней и методы анализа экспериментальных данных.
В ходе анализа получены побочные результаты, представляющие интерес для ядерной спектроскопии: уточнены (или впервые определены) абсолютные значения брэнчингов для двенадцати ядер Cs, Rb и Fr, а также изомерные отношения для ряда изотопов.
2. Показано, что диффузионно-эффузионная модель хорошо описывает данные по выходам и релизам.
3. Продемонстрировано, что главным источником нейтронно-избыточных изотопов Cs и Rb при взаимодействии протонов с энергией 1 ГэВ с урановой мишенью, является не прямая реакция, а деление ядер урана вторичными нейтронами.
4. Получено удовлетворительное соответствие данных для нейтронно-дефицитных изотопов (для которых отсутствует вклад вторичных нейтронов) и нейтронно-избыточных изотопов с учетом вклада вторичных нейтронов при использовании нейтронных сечений для нейтронов с энергией 14 МэВ.

A(Rb)	E gamma	br %, NDS	br %, present work
91	93,63	33,8(2,0)	20,2(3,2)
92	814,98	33(12)	3,2(0,2)
93	432,61	20,2(1,0)	9,5(1,7)
94	836,90	87,1(0,4)	44,2(6,4)
95	352,02	49(3)	29,3(6,3)



Td (release curve) = 32000(14000) s





21.3.2007 12:21:44
r13804.dat

Release measurement
n points background = 0
t proton = 200s; n points with p = 5
t for a point = 40s

