



# ГБОУ лицей №1511 при НИЯУ МИФИ

## Инновационные технологии в энергетике на основе электроядерных установок

Выполнил: Чеснаков К.Е.  
Научный руководитель: Окорочков В.А.  
к.ф.-м.н., доцент  
кафедра физики НИЯУ МИФИ

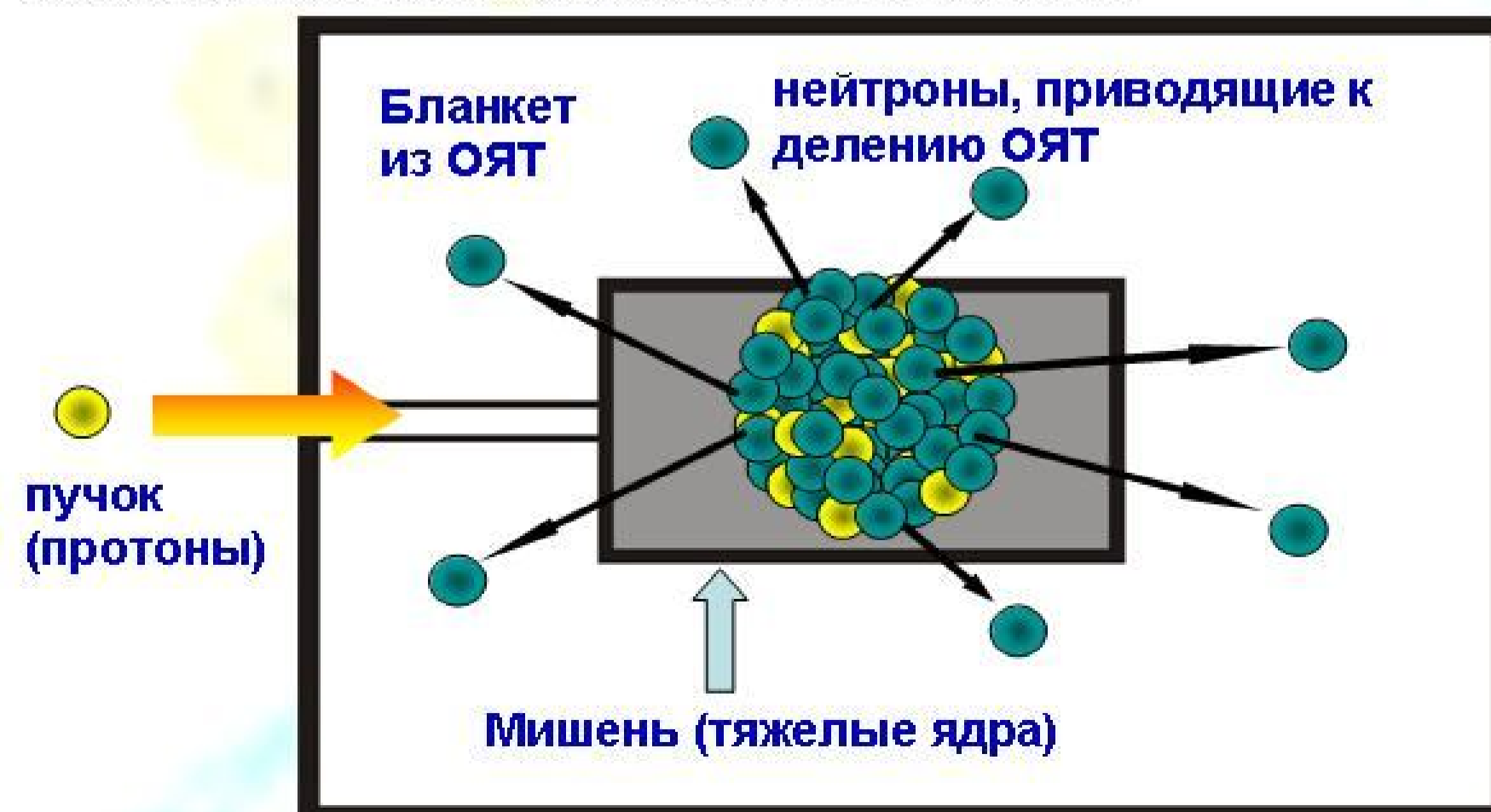
**Цель работы:** изучение реакций распада тяжелых ядер (актиноидов) в нейтронных полях. Отбор наиболее перспективных каналов реакций с точки зрения энерговыделения и радиационной экологии.

## Возможные пути решения

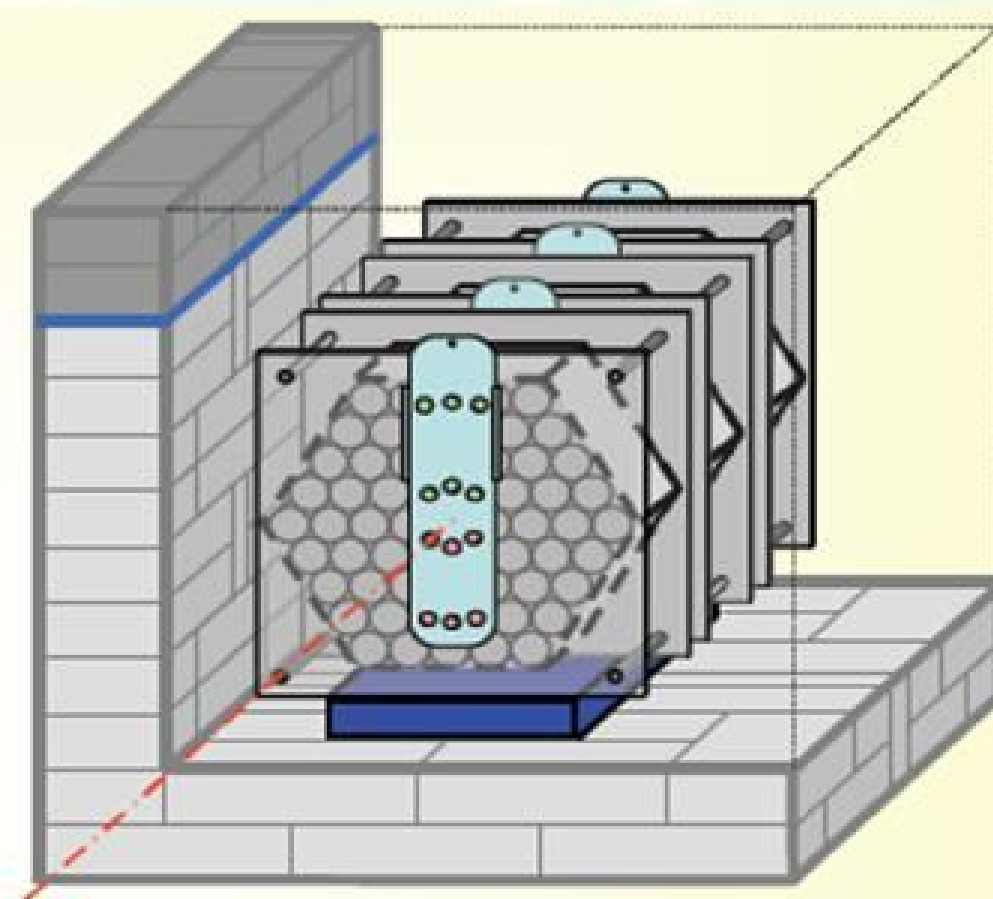
Для решения проблемы ОЯТ рассматривались, в частности, проекты использования ядерного реактора на быстрых нейтронах, подкритического реактора, термоядерного реактора в качестве «актиноидной печи», электроядерных установок и т.д.

Данная работа сфокусирована на проекте использования электроядерных установок для решения проблемы ОЯТ.

Принципиальная схема электроядерной установки. См., например, Бзручи С.А. и др. // ЭЧАЯ. 2003. Т.34. С.977-1032.  
Батяев В.Ф. и др. // Атомная энергия. 2008. Т.104. С.242-249.



Электроядерные установки, в состав которых входит протонный ускоритель, представляют интерес с точки зрения решения проблемы ОЯТ на основе трансмутации радиоактивных изотопов в нейтронных полях.



Многочисленные эксперименты – Россия, Япония, США, Европа. Например, установка «Квинта» (ОИЯИ, Дубна) – справа – и др.

Adam J. et al. (E&T RAW Collaboration). Preprint JINR. 2010. E1-2010-61.  
Балдин А.А. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 2011. Т.8. С1007-1023.

## Актуальность проблемы

Развитие энергетики – один из важных разделов концепции обеспечения национальной безопасности страны. В России существенно усиливается роль атомной отрасли.

Атомная энергетика, при всех своих преимуществах, содержит значительные опасности и проблемы, главная из которых – отработанное ядерное топливо (ОЯТ) и радиоактивные отходы (РАО). Проблема захоронения и дезактивации ОЯТ / РАО – критически важна.

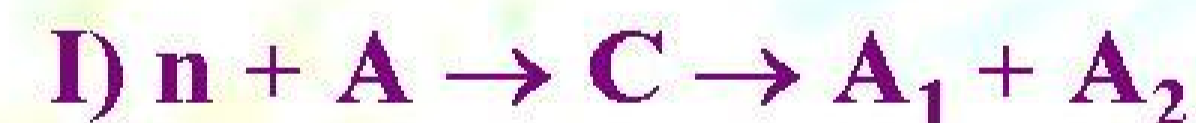
В настоящее время ни одна из стран не перешла к использованию технологий, позволяющих полностью решить проблему обращения с отработанным ОЯТ.



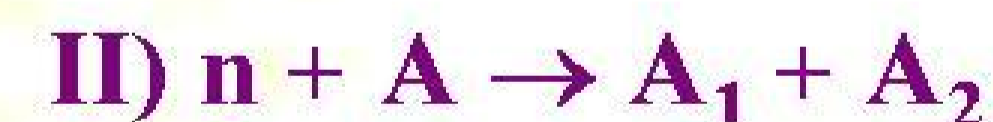
Высокоактивные отходы представляют экологическую опасность для биосферы Земли из-за присутствия в них долгоживущих продуктов деления (изотопов урана плутония и минорных актиноидов).

## Постановка задачи

Возможные механизмы деления тяжелых ядер при взаимодействии с нейтронами



(образование и последующий распад составного ядра);



(прямая реакция).

Для реакций типа I рассматривался  $\alpha$ -распад; для прямых реакций (тип II) рассмотрены три возможных случая:

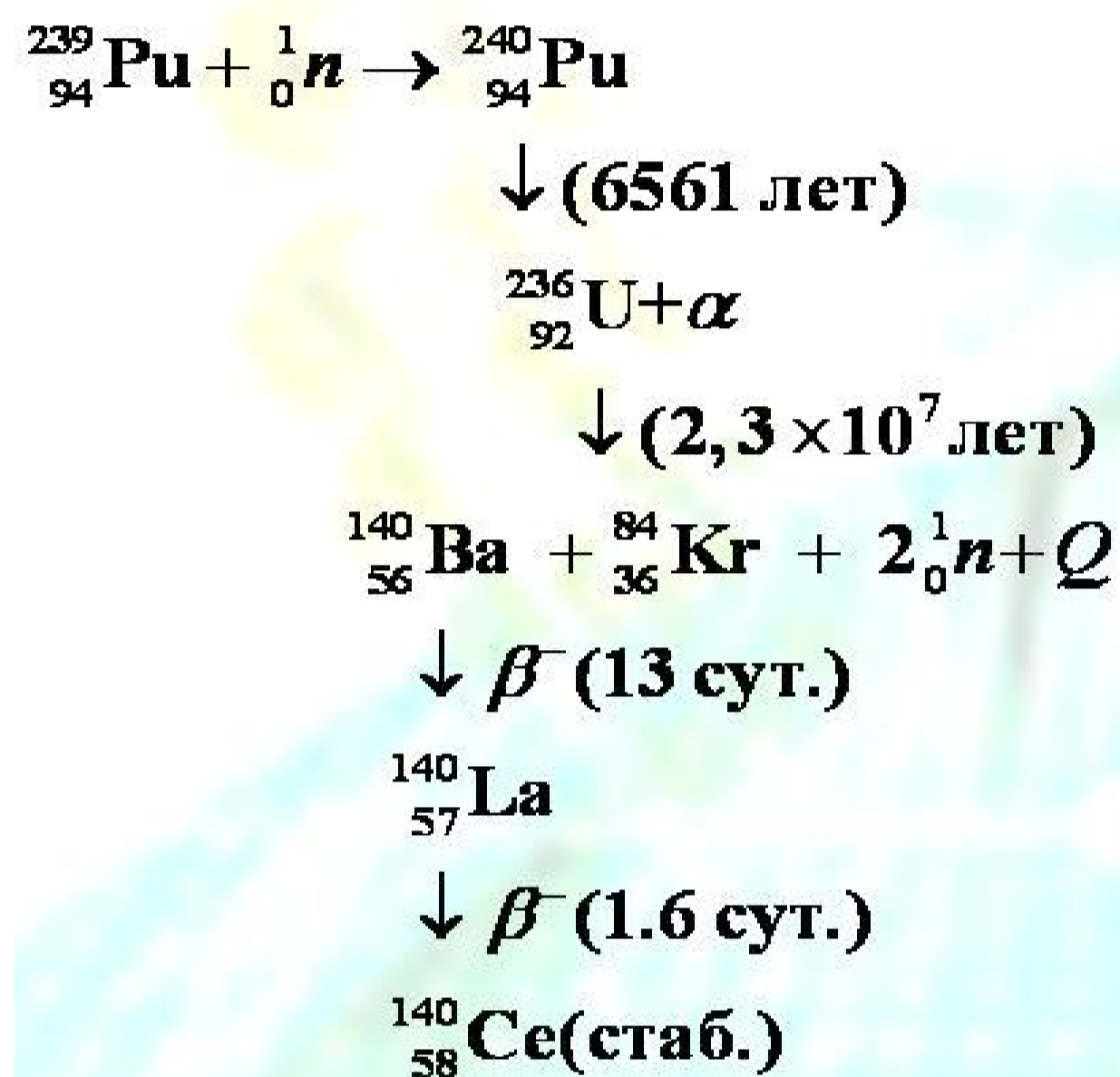
- с образованием  $\alpha$ -частиц ( $A_1 = {}^4\text{He}$ ),
- сильно асимметричного деления ( $A_1 \ll A_2$ ),
- наиболее вероятного деления ( $A_1 : A_2 \approx 2 : 3$ ).



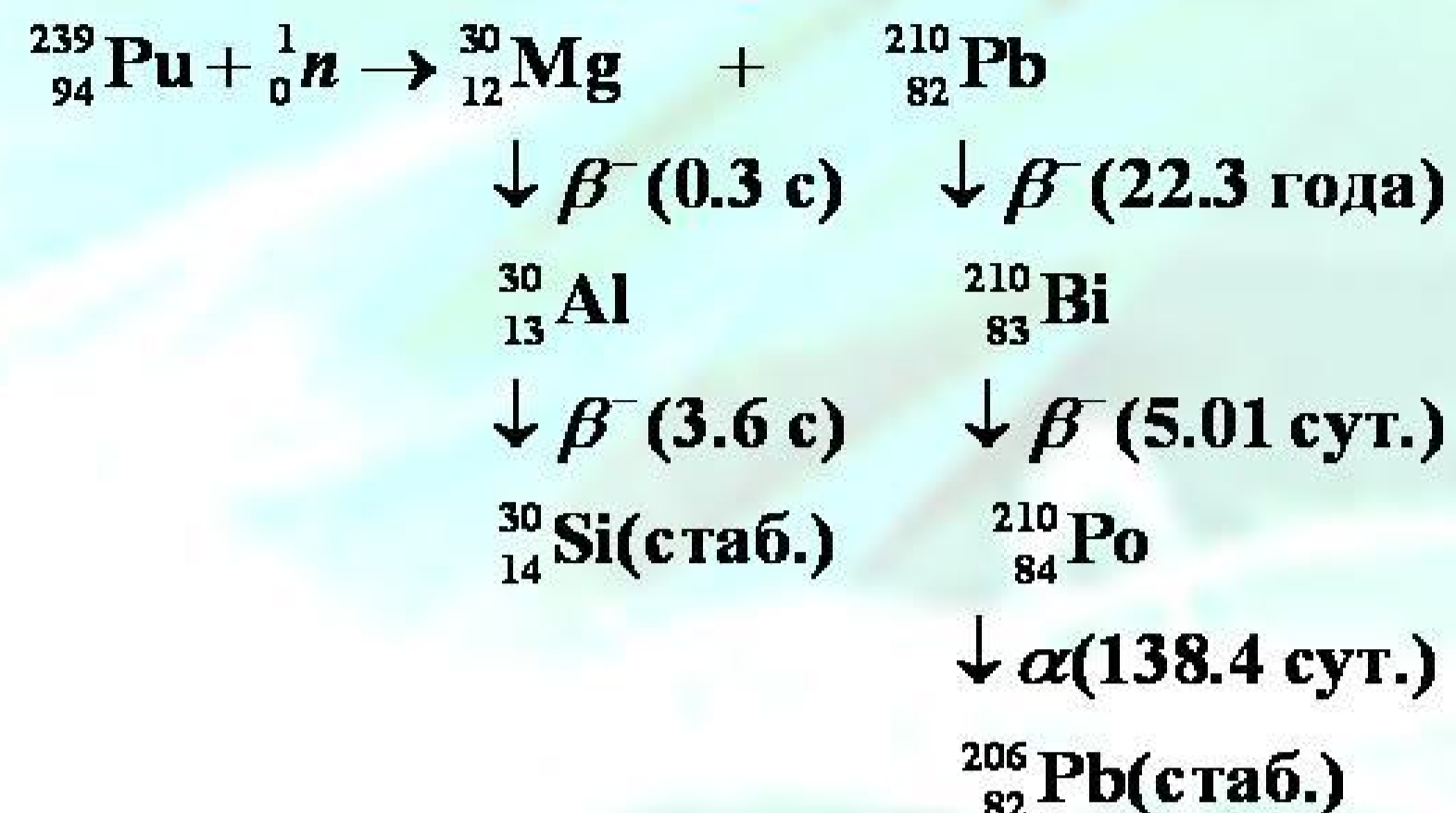
# ГБОУ лицей №1511 при НИЯУ МИФИ

## Возможные реакции: примеры

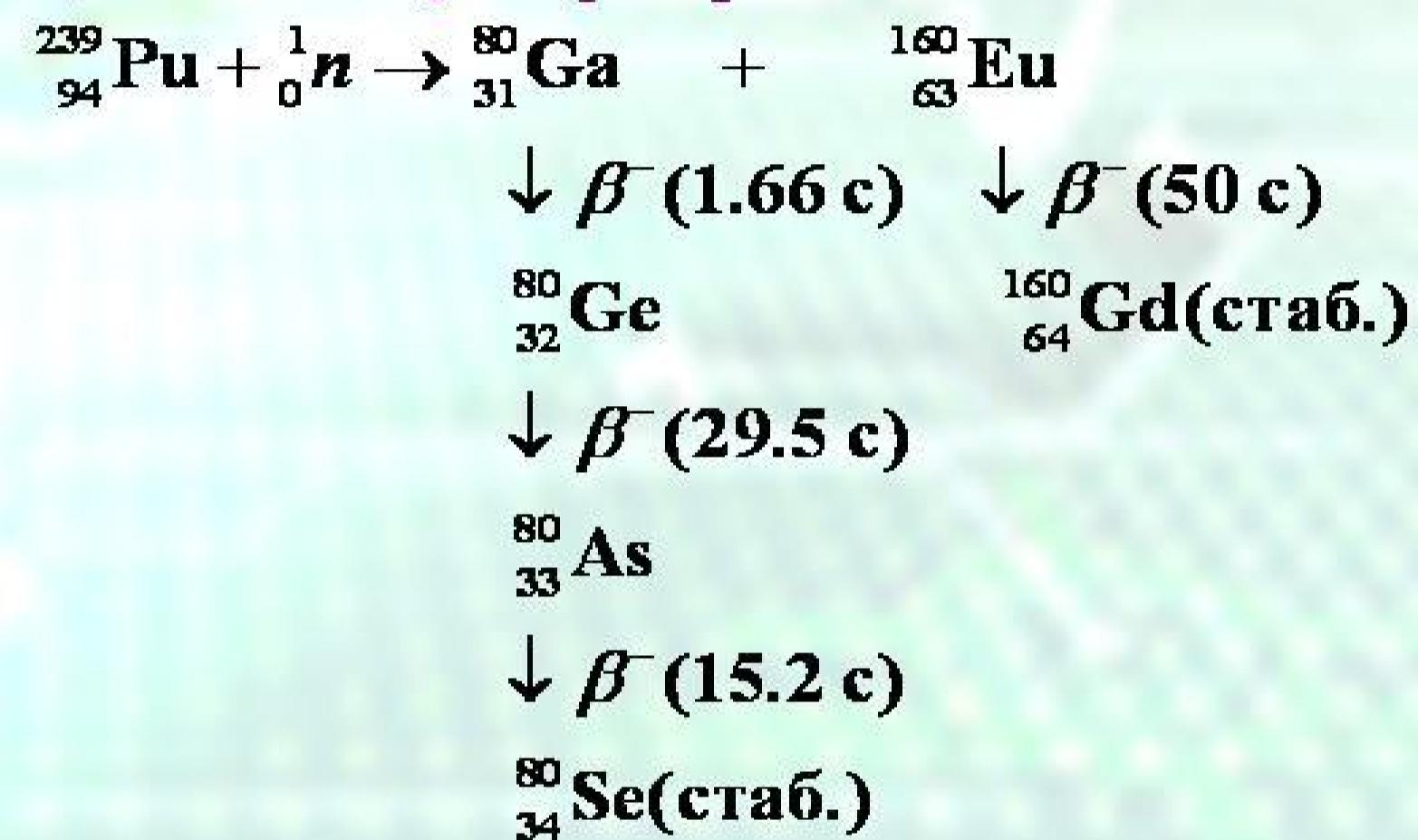
### 1) α - распад



### 2) деление при $A_1 : A_2 \approx 1 : 7$



### 3) деление при $A_1 : A_2 \approx 2 : 3$



## Оценки энергоэффективности

Таблица 1.

Нуклид	ΔQ, МэВ	
	реакция при $A_1 \ll A_2$	реакция при $A_1 : A_2 \approx 2 : 3$
${}^{235}\text{U}$	79.7	194.0
${}^{236}\text{U}$	60.9	191.7
${}^{238}\text{U}$	58.7	191.5
${}^{237}\text{Np}$	79.5	197.0
${}^{238}\text{Pu}$	81.6	201.1
${}^{239}\text{Pu}$	81.2	179.7
${}^{240}\text{Pu}$	78.5	199.1
${}^{241}\text{Am}$	78.9	203.5
${}^{243}\text{Am}$	76.2	202.1
${}^{242}\text{Cm}$	79.0	200.6
${}^{243}\text{Cm}$	77.1	192.6
${}^{244}\text{Cm}$	73.2	209.5

Энергия реакции распада (тип II):

$$\Delta Q = (\Delta A + \Delta n) - (\Delta A_1 + \Delta A_2),$$

Δ - дефекты масс соответствующих ядер.

«Физические величины». Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991.

Таблица 2.

Нуклид	Энерговывод, ГДж / 1 т ОЯТ		
	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	РБМК-1000
${}^{235}\text{U}$	$1.0 \times 10^7$	$9.8 \times 10^6$	$2.3 \times 10^6$
${}^{236}\text{U}$	$3.3 \times 10^6$	$4.5 \times 10^6$	$2.0 \times 10^6$
${}^{238}\text{U}$	$7.3 \times 10^8$	$7.2 \times 10^8$	$7.5 \times 10^8$
${}^{238}\text{Pu}$	$6.2 \times 10^4$	$1.0 \times 10^5$	$5.6 \times 10^4$
${}^{239}\text{Pu}$	$4.0 \times 10^6$	$4.0 \times 10^6$	$1.9 \times 10^6$
${}^{240}\text{Pu}$	$1.6 \times 10^6$	$1.9 \times 10^6$	$1.8 \times 10^6$
${}^{241}\text{Am}$	$4.2 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	$2.4 \times 10^5$
${}^{243}\text{Am}$	$5.6 \times 10^4$	$9.6 \times 10^4$	$5.9 \times 10^4$
${}^{244}\text{Cm}$	$1.2 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4$	$4.7 \times 10^3$

Оценка верхней границы энергосвечения для различных реакторов в расчете на 1 т ОЯТ

## Изученные нуклиды

Были рассмотрены следующие тяжелые ядра:

- **изотопы урана**  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{236}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ;
- **изотопы плутония**  ${}^{238}\text{Pu}$ ,  ${}^{239}\text{Pu}$ ,  ${}^{240}\text{Pu}$ ;
- **минорные актиниды**  ${}^{237}\text{Np}$ ,  ${}^{241}\text{Am}$ ,  ${}^{243}\text{Am}$ ,  ${}^{242}\text{Cm}$ ,  ${}^{243}\text{Cm}$ ,  ${}^{244}\text{Cm}$ .

Именно из этих нуклидов состоит в основном ОЯТ.

- Реакции с α-частицами характеризуются образованием долгоживущих радиоактивных изотопов – недостаток с точки зрения радиационной экологии,
- Поскольку предполагается использовать быстрые нейтроны с кинетической энергией  $T_n \sim 100$  МэВ, то в основном рассматривались реакции типа 2) и 3).

## Заключение

- Изучены различные реакции распада под действием нейтронов для широкого набора изотопов тяжелых ядер (U, Np, Pu, Am, Cm).

- Показано, что использование быстрых нейтронов позволяет получать

- изотопы с существенно меньшими периодами полураспада, что представляется актуальным с точки зрения радиационной экологии;
- дополнительную энергию, повторно используя ОЯТ в качестве источника (топлива);
- в некоторых случаях стабильные изотопы редкоземельных элементов, благородных металлов и т.д.

- Использование электроядерных установок может представлять интерес для решения проблемы ОЯТ, энергетики, химии редкоземельных металлов.