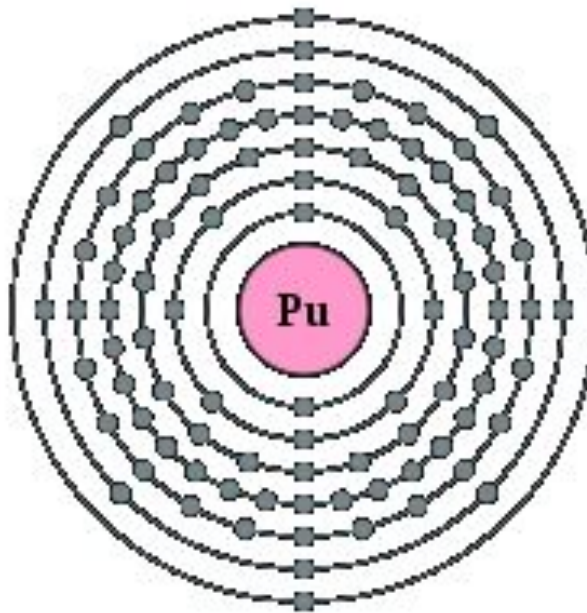


ПРОИЗВОДСТВО ОРУЖЕЙНОГО ПЛУТОНИЯ

94: Plutonium

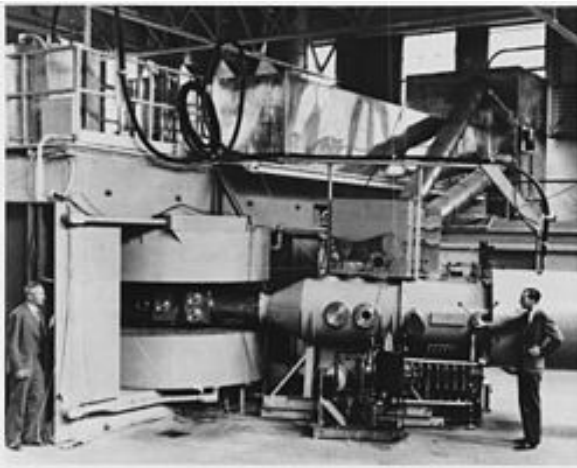
2, 8, 18, 32, 24, 8, 2



ПЛУТОНИЙ



- Плутóний (обозначается символом Pu; атомное число 94) – тяжёлый хрупкий радиоактивный металл серебристо-белого цвета.
- В периодической таблице располагается в семействе актиноидов.

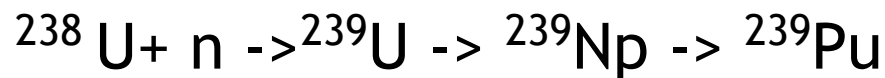
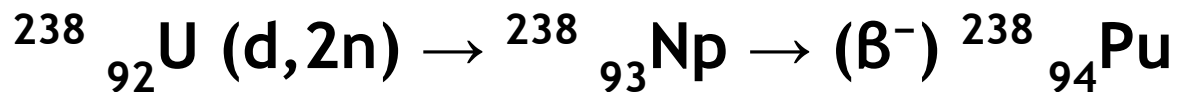


Циклотрон в Беркли, использовавшийся для получения нептуния и плутония.

- Стабильных изотопов не имеет. «Природными» изотопами плутония считаются самый долгоживущий изотоп из всех трансурановых элементов ^{244}Pu и ^{239}Pu . В природе находится преимущественно в виде диоксида (PuO_2), который в воде еще менее растворим, чем песок (кварц). Нахождение элемента в природе настолько мало, что его добыча нецелесообразна.
- Широко используется в производстве ядерного оружия (т. н. «оружейный плутоний»), ядерного топлива для атомных реакторов гражданского и исследовательского назначения и в качестве источника энергии для космических аппаратов

- Второй после нептуния (ошибочно «получен» в 1934 году группой Э. Ферми; первый изотоп ^{239}Np синтезирован и идентифицирован в мае 1940 года Э. Макмилланом и Ф. Абельсоном) искусственный элемент, полученный в микрограммовых количествах в конце 1940 г. в виде изотопа ^{238}Pu . Первый искусственный химический элемент, производство которого началось в промышленных масштабах. В первой ядерной бомбе в мире, созданной и испытанной в 1945 году в США, использовался плутониевый заряд. Того же типа была и первая бомба, испытанная СССР в 1949 году. Соответственно США, а затем и СССР были первыми странами, освоившими его получение.

- Производство плутония очень затратное. Один грамм плутония-238 стоил 1000 долларов США (примерно до 1971 года), в наше время ~4000, а один килограмм — миллион.
- Для получения плутония применяется как обогащенный, так и природный уран.
- Общее количество плутония, хранящегося в мире во всевозможных формах, оценивалось в 2003 г. в 1239 т.



- Самый первый в мире промышленный реактор по производству плутония - В-реактор в Хэнфорде. Заработал 26 сентября 1944, мощность - 250 МВт, производительность - 6 кг плутония в месяц. Он содержал около 200 тонн металлического урана, 1200 тонн графита и охлаждался водой со скоростью 5 кубометров/мин.

Панель загрузки хэнфордского реактора кассетами с ураном:

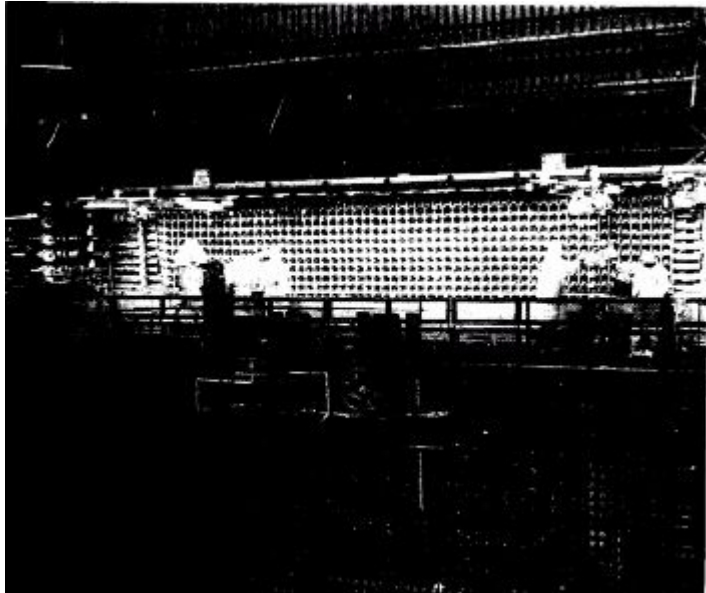
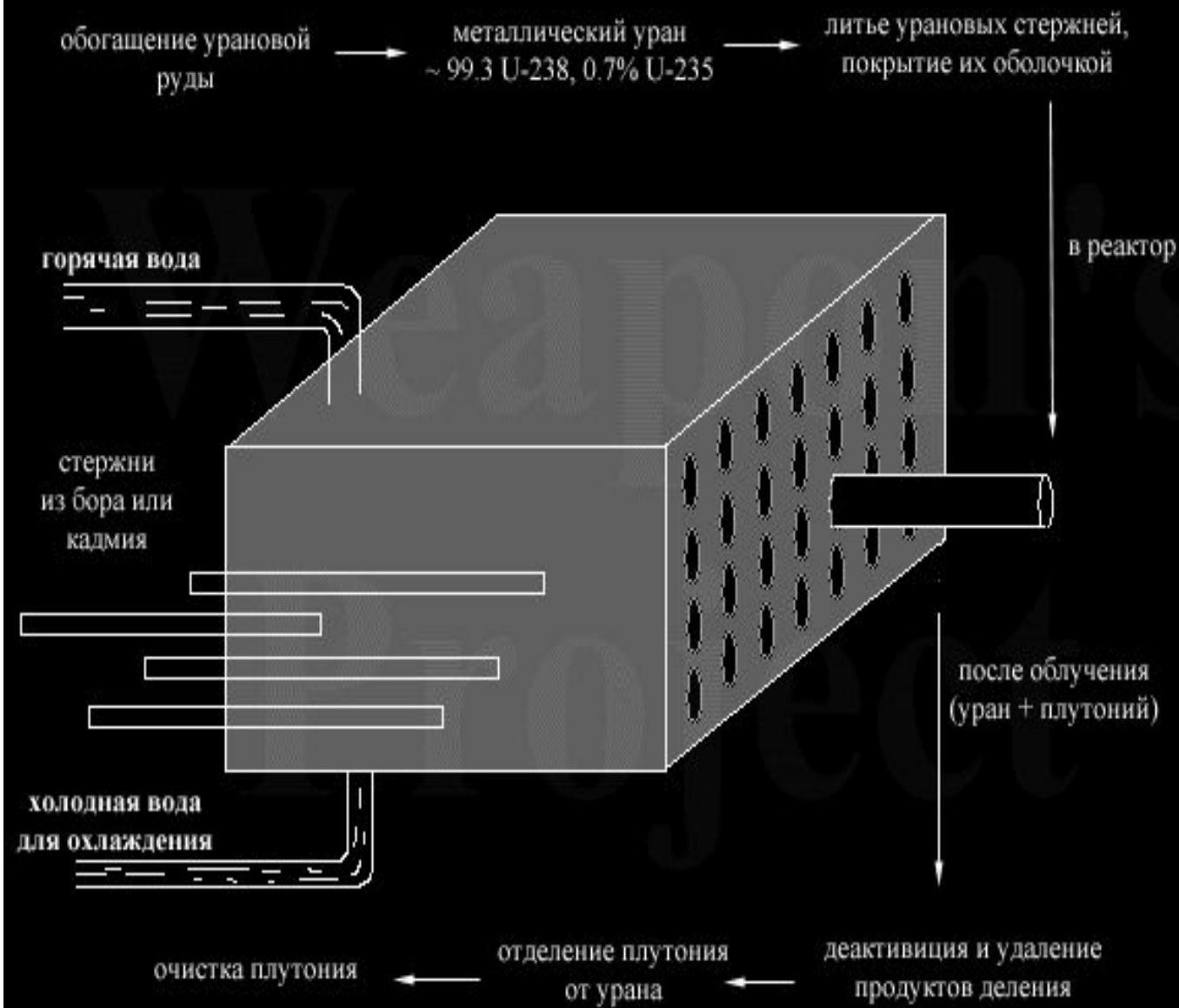
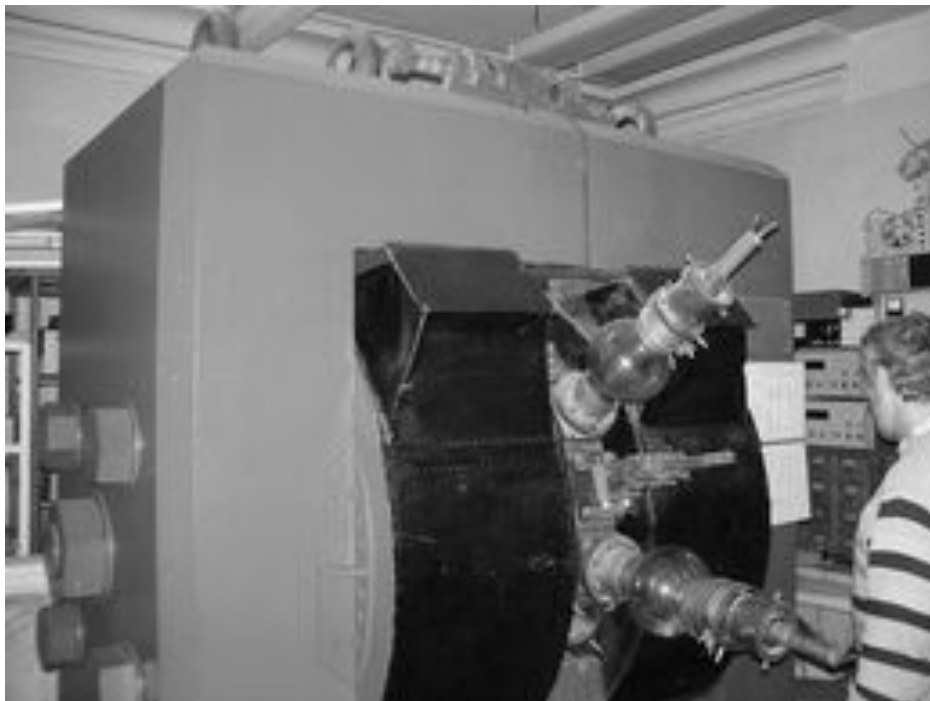


Схема его работы. В реакторе для облучения урана-238 создаются нейтроны в результате стационарной цепной реакции деления ядер урана-235. В среднем на одно деление U-235 возникает 2.5 нейтрона. Для поддержания реакции и одновременной наработки плутония необходимо, чтобы в среднем один или два нейтрона поглотились бы U-238, а один вызвал бы деление следующего атома U-235.

производство плутония (по [2])





Первый циклотрон в СССР использовавшийся для получения плутония.

- Из изотопов плутония на данный момент известно о существовании 19-ти его нуклидов с массовыми числами 228–247. Только 4 из них нашли свое применение. Свойства изотопов имеют некоторую характерную особенность, по которой можно судить об их дальнейшем изучении – четные изотопы имеют большие периоды полураспада, чем нечетные (однако данное предположение относится только к менее важным его нуклидам).

- Министерство энергетики США делит смеси плутония на три вида:
 - 1) оружейный плутоний (содержание ^{240}Pu в ^{239}Pu менее 7 %)
 - 2) топливный плутоний (от 7 до 18 % ^{240}Pu) и
 - 3) реакторный плутоний (содержание ^{240}Pu более 18 %)

Масса	Период полураспада	Излучение	Энергия излучения	Методы получения
232	36 м.	э. з. α	98% 6.58 (2%)	U ²³⁵ (α , 7n)
233	20 м.	э. з. α	99% 6.30 (0.1%)	U ²³³ (α , 4n)
234	9 ч.	э. з. α	94% 6.19 (6%)	U ²³⁵ (α , 5n) Cm ²³⁸ α -распад
235	26 м.	э. з. α	99% 5.85 ($3 \cdot 10^{-3}$ %)	U ²³⁵ (α , 4n)
236	2.85 г.	α	5.763 (69%), 5.716 (31%), 5.610 (0.18%), 5.448	U ²³⁵ (d , n)
237m	с. д., $3.5 \cdot 10^9$ л.	γ	0.047, 0.110	Cm ²⁴⁰ α -распад
237	0.18 с. 45.6 д.	и. п. э. з. α	99% 5.65, 5.36 ($3.3 \cdot 10^{-3}$ %)	Cm ²⁴¹ α -отдача U ²³⁸ (α , 5n) U ²³⁵ (α , 2n)
238	86.4 г.	γ α	0.033, 0.043, 0.059 5.495 (72%), 5.452 (28%), 5.352 (0.09%)	U ²³⁸ (d , 2n) Cm ²⁴² α -распад
239m	с. д., $3.8 \cdot 10^{10}$ л. $1.93 \cdot 10^{-7}$ с.	γ и. п.	0.043	Np ²³⁷ (n , γ) Np ²³⁸ β^- Cm ²⁴³ α -распад
239m	$1.1 \cdot 10^{-9}$ с.	и. п.		Np ²³⁹ β^- -распад Cm ²⁴³ α -распад
239	24360 л.	α	5.147 (72.5%), 5.134 (16.8%), 5.096 (10.7%), 5.064 (0.037%), 4.999 (0.013%), 4.917 (0.005%)	Np ²³⁹ β^- -распад
240	с. д., $5.5 \cdot 10^{15}$ л. 6580 л.	γ α	0.012, 0.051 5.162 (76%), 5.118 (24%), 5.014 (0.1%)	Pu ²³⁹ (n , γ)
241	с. д., $1.2 \cdot 10^{11}$ л. 13.0 л.	γ β^- α	0.045 0.0208 (99%) 4.893, 4.848 ($3 \cdot 10^{-3}$ %)	Pu ²⁴⁰ (n , γ)
242	$3.79 \cdot 10^5$ л.	α	4.898 (76%), 4.858 (24%)	Pu ²⁴¹ (n , γ)
243	с. д., $7.1 \cdot 10^{10}$ л. 4.98 ч.	β^- γ	0.579 (62%), 0.490 (38%) 0.042, 0.054, 0.084, 0.096, 0.381	Pu ²⁴² (n , γ)
244	$7.6 \cdot 10^7$ л.	α		Pu ²⁴³ (n , γ)
245	с. д., $2.5 \cdot 10^{10}$ л. 10.1 ч.	β^-		Pu ²⁴⁴ (n , γ)
246	10.85 д.	β^- γ	0.15 (73%), 0.33 (27%) 0.027, 0.047, 0.175, 0.215	Pu ²⁴⁵ (n , γ)

- Термин «сверхчистый плутоний» используется для описания смеси изотопов плутония, в которых содержатся 2–3 процента ^{240}Pu .
- Всего два изотопа этого элемента (^{239}Pu и ^{241}Pu) являются более способными к ядерному делению, нежели остальные; более того, это единственные изотопы, которые подвергаются ядерному делению при действии тепловых нейтронов.
- Среди продуктов взрыва термоядерных бомб обнаружены также ^{247}Pu и ^{255}Pu , периоды полураспада которых несоизмеримо малы.



Кольцо чистого, электрорафинированного оружейного плутония (99,9 %). Кольцо весит 5,3 кг, имеет размер 11 см в диаметре. Эта форма не позволяет ему иметь критический размер.

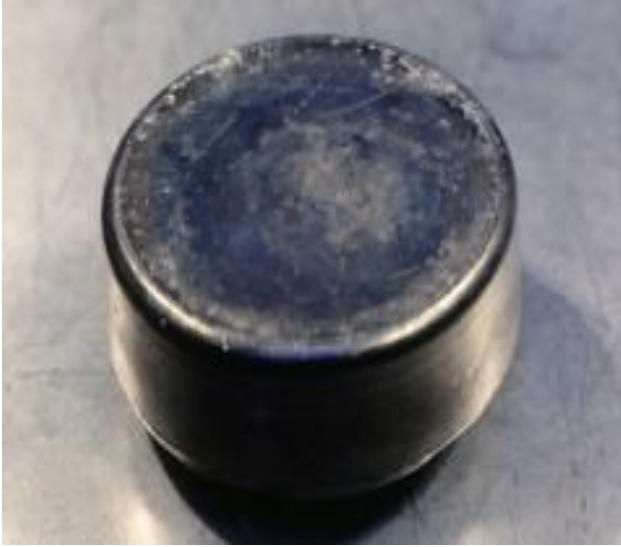
PU-240 ВРЕДЕН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРУЖИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ПРИЧИНАМ:

- 1. Он менее делящийся материал, чем Pu-239, поэтому требуется чуть большее количество плутония для изготовления оружия.
- 2. Вторая, гораздо более важная причина. Уровень спонтанного деления у Pu-240 гораздо выше, что создает сильный нейтронный фон.

- Плутоний, производящийся в специальных реакторах, содержит относительно небольшой процент Pu-240 (<7%), плутоний "оружейного качества"; в реакторах АЭС отработанное ядерное топливо имеет концентрацию Pu-240 более 20%, плутоний "реакторного качества".
- В реакторах специального назначения уран находится относительно небольшой промежуток времени, в течении которого выгорает не весь U-235 и не весь U-238 переходит в плутоний, зато образуется и меньшее количество Pu-240.

- **Непосредственная отливка и обработка плутония выполняется вручную в герметичных камерах с перчатками для оператора. Вроде таких:**






- Отливка из плутониево-галлиевого сплава, рекуперированного из оружейного ядра



- Пресс для горячего прессования плутониево-галлиевого сплава в виде полусфер. Этот пресс использовался в Лос-Аламосе для изготовления плутониевых ядер для зарядов, взорванных в Нагасаки и в операции Тринити.

A photograph of a forested landscape with a river in the foreground and an industrial facility with two tall smokestacks in the background. The smokestacks are red and white striped. The text is overlaid in a large, bold, yellow font.

Радиохимия окружающей среды

Глобальное загрязнение некоторых стран плутонием

(В атмосферу выброшено 8-10 тонн плутония)

Район	Q	Район	Q
ФРГ	67-148	Украина: район ЧАЭС	>3700
Ирландия	33-127	Россия:	
Англия	33-122	Район ПО Маяк	~1400
Япония	90	Район БелАЭС	~150
		Район ЛенАЭС	~180

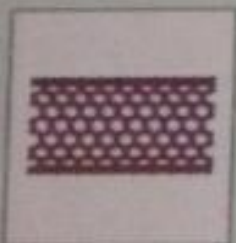
Q – плотность загрязнения плутонием ($\text{Бк}/\text{м}^2$)
($37 \text{ Бк}/\text{м}^2 = 1 \text{ мКи}/\text{км}^2$)

Основные направления исследований поведения радионуклидов в биосфере

- Разработка принципов и методов радиозэкологического мониторинга районов размещения предприятий ЯТЦ и территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению
- Развитие современных методов и средств исследования поведения радиоактивных веществ в природных средах
- Накопление, систематизация и анализ данных о содержании и формах нахождения радионуклидов в загрязнённых районах
- Долгосрочный прогноз поведения радионуклидов в биосфере

Новые тенденции в методах выделения, концентрирования и разделения радионуклидов

Сорбционные материалы на основе углеродных нанотрубок:



Углеродные нанотрубки «Таунит»:

Извлечение U, Pu, Am, Eu, Tc из природных и технологических растворов (pH=3-10)



Твердофазные экстрагенты

[«Таунит» + фосфорорганические лиганды]

Извлечение U, Pu, Np, Am, Eu из растворов 3-8M HNO₃



Композиционные материалы

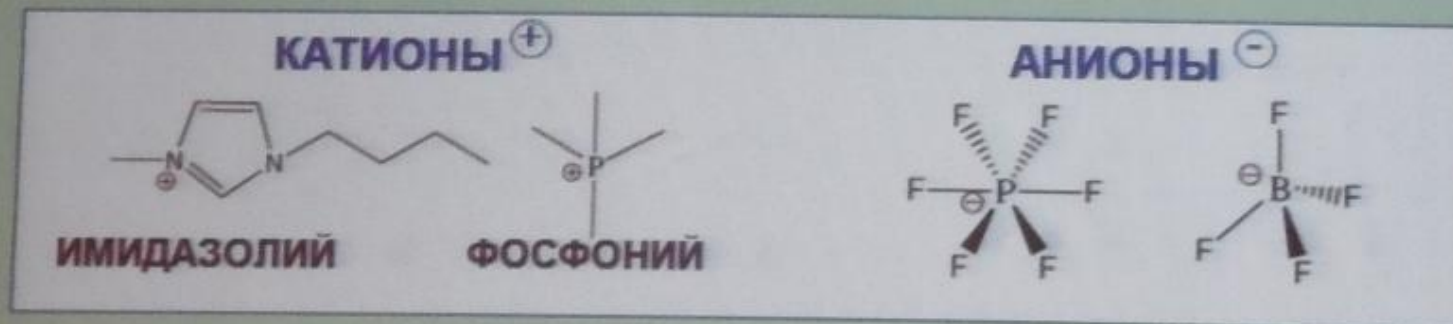
[«Таунит» + комплексообразующие полимеры]

[«Таунит» + ферроцианиды Ni (Fe)]

Извлечение Pd из азотнокислых растворов,
извлечение Cs, Sr из нейтральных растворов

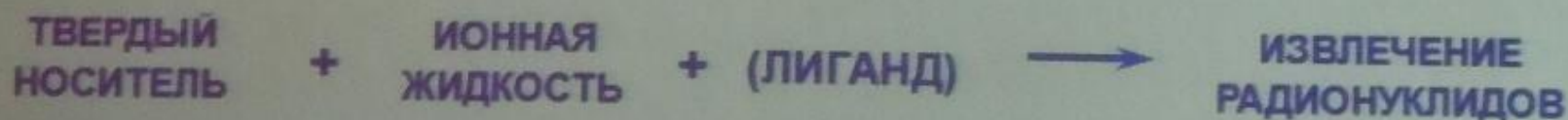
Ионные жидкости для разделения и концентрирования радионуклидов

ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ

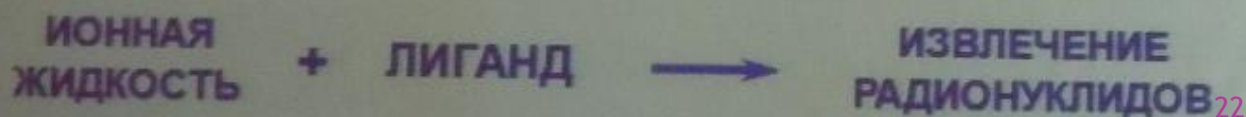


ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ:

↓ твердофазные экстрагенты



↓ альтернативные растворители в жидкостной экстракции



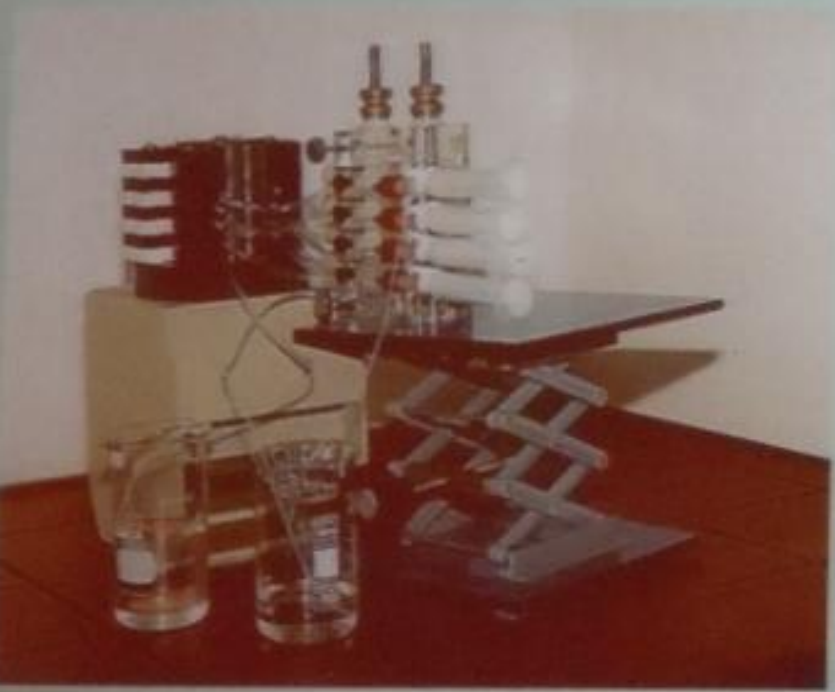
Изучение форм нахождения радионуклидов в окружающей среде

- Получение дополнительной информации об источниках поступления радионуклидов в биосферу;
- Выявление изотопных и неизотопных носителей с целью оптимизации радиозэкологических исследований;
- Разработка моделей физико-химических процессов с участием радионуклидов (окислительно-восстановительных реакций, гидролиза и комплексообразования, коллоидообразования и сорбции на вмещающих породах);
- Создание двух и трехмерных моделей локальной миграции радионуклидов в процессах, обусловленных гидродинамическими и гидрохимическими условиями;
- Прогноз глобального изменения радиационной ситуации в исследуемых регионах;
- Разработка методов реабилитации природных вод и почв.

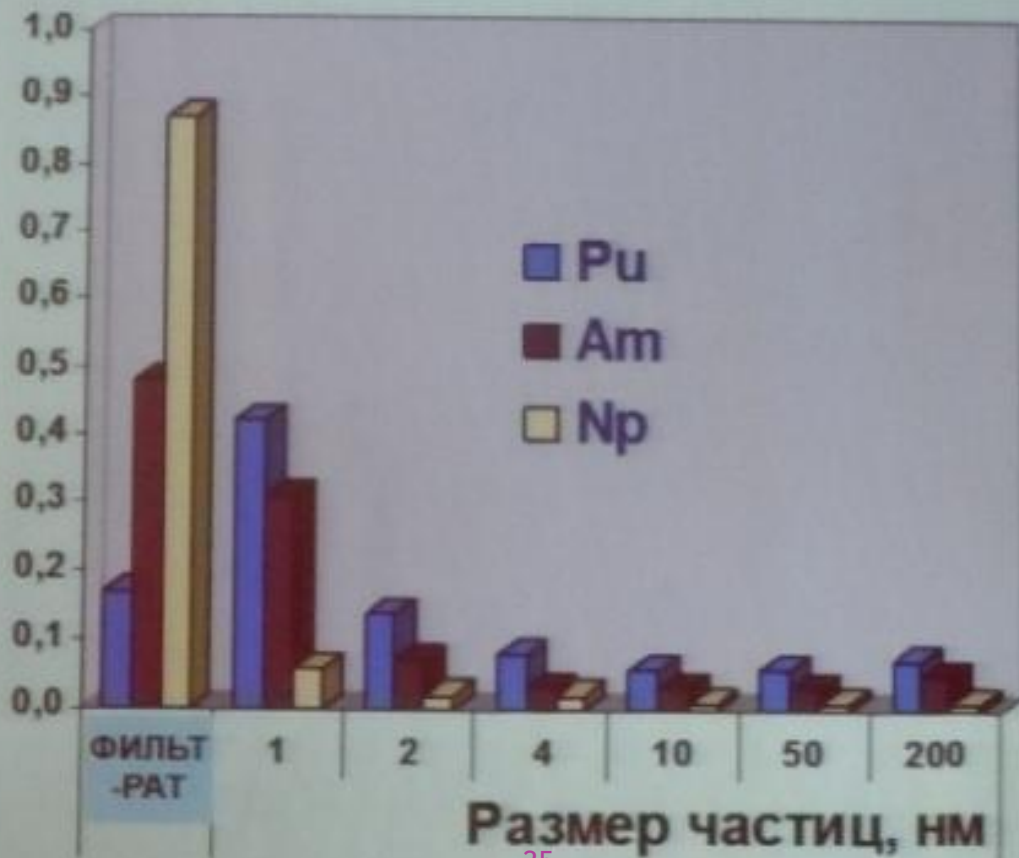
Методы определения форм существования радионуклидов в жидких и твердых образцах



Определение форм существования актинидов мембранным фракционированием



Доля



Радиохимические исследования в зонах воздействия ФГУП ПО «МАЯК»

Наземные экосистемы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ радионуклидов в образцах почвенных разрезов и подстилающих породах

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ нахождения и динамики миграции радионуклидов

Объекты: почвы ВУРС, ОНИС и промплощадки

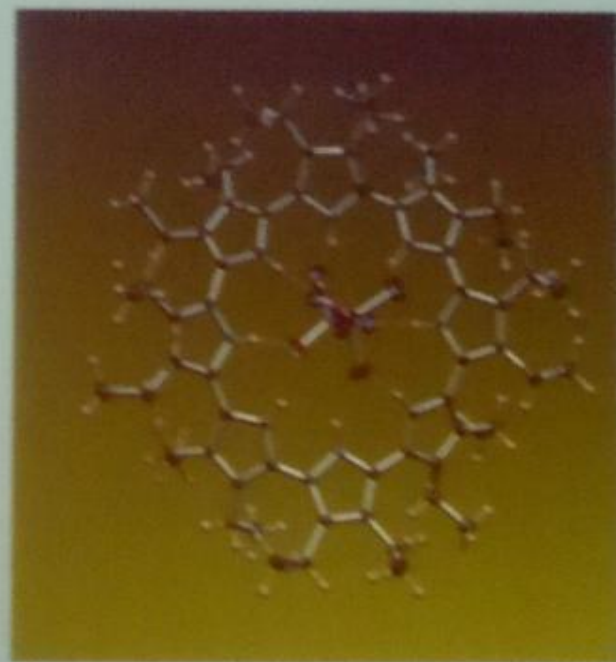
Водные экосистемы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ФОРМ нахождения радионуклидов в образцах воды, взвесей и донных отложений

Объекты: водоемы-накопители № 9, 4, 10, 11 и грунтовые воды

Впервые созданы карты загрязнения района озера Карачай опасным долгоживущим радионуклидом Тс-99

Определение Тс(VII) проводилось с использованием циклических лигандов на основе полипиррольных производных и оснований Шиффа



Ореол загрязнения по ^{99}Tc вокруг:

Водоёма-9 – 220 Бк/л, 11,7 км²

Водоёма-17 – 220 Бк/л, 1,2 км²

Глубокоэшелонированная защита современной АЭС



Влияние на здоровье населения Европы способов производства электроэнергии



Реакторы на быстрых нейтронах

Создание и опыт эксплуатации реактора БН-1200 позволит решить проблемы:

- перевода атомной энергетики на МОКС-топливо
- замыкание ядерного топливного цикла

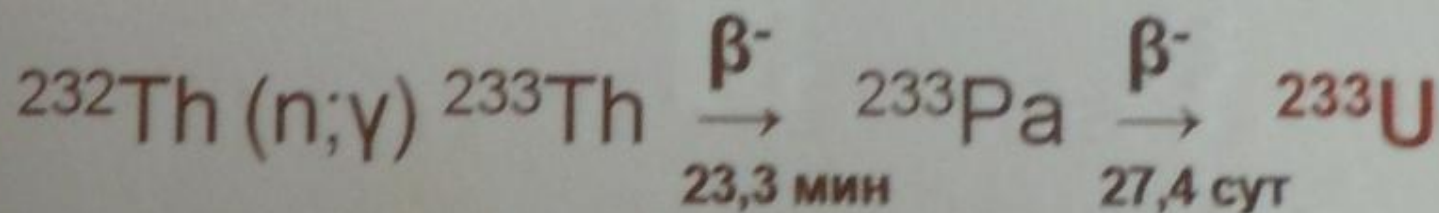
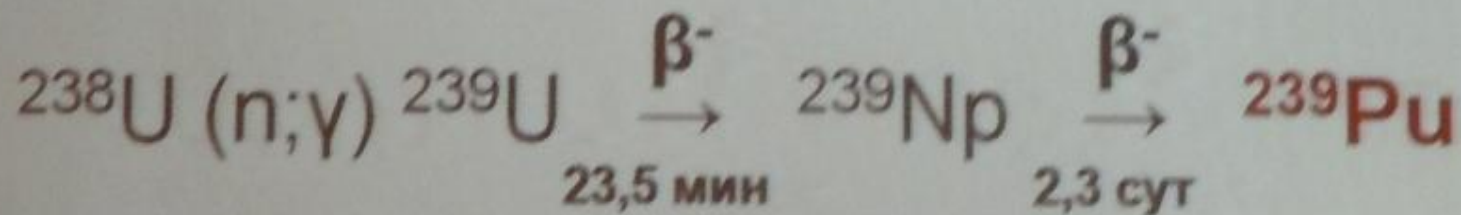


БН-1200

Параметр	БН-1200
Мощность реактора, МВт: тепловая электрическая	2800 1200
Ожидаемый КИУМ, %	~90
Среднее выгорание топлива, МВт·сут/кг	до 120
Проектный срок службы, лет	60

Уран-плутониевый и торий-урановый топливные циклы для производства тепла и электроэнергии

Синтез вторичного ядерного топлива (^{239}Pu , ^{233}U)



Преимущества использования торий-уранового цикла

- Запасы природного тория в три раза больше запасов урана
- Более высокий уровень ядерной и экологической безопасности
- Встроенная система очистки топлива от ПД
- Меньшее накопление высокотоксичных изотопов плутония и ТПЭ (~2000 раз)
- Возможность работы в режиме реактора-накопителя
- Непрерывная работа в течение 10-50 лет
- Снижение опасности распространения делящихся материалов