

«Основы производства радиоактивных изотопов»

Лекция 7. Производство радионуклидов на реакторе.

*и.о. доцента кафедры
теоретической и ядерной физики
PhD Зарипова Ю.А.*

ДИАГНОСТИКА

$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ^{18}F

ПЭТ

β^+ – излучатели
 $T_{1/2}$ от сек до час

^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{64}Cu

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

ОФЭКТ

γ – излучатели, 100 - 200 кэВ
 $T_{1/2}$ от мин до сут

^{123}I , ^{111}In , ^{67}Ga , ^{201}Tl (?)

РАДИОНУКЛИДНАЯ ТЕРАПИЯ

^{131}I

^{177}Lu

β^- – излучатели
200 - 2000 кэВ

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{89}Sr , ^{153}Sm ,
 $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$, ^{177}Lu , ^{32}P ,

^{225}Ac ^{223}Ra

α – излучатели с
высокой ЛПЭ
 ~ 100 кэВ/ $\mu\text{м}$

$^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$

^{125}I

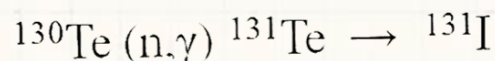
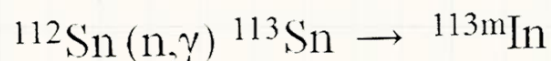
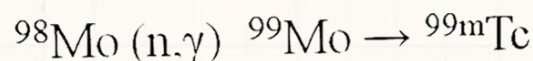
Радионуклиды,
распадающиеся
ЭЗ или ВЭК

^{111}In , ^{67}Ga ,
 ^{165}Er

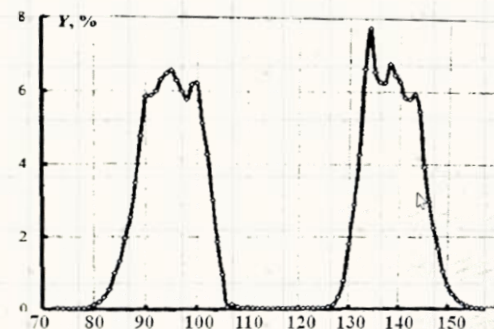
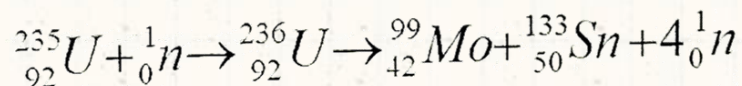
Реакторные нуклиды (^{131}I , ^{133}Xe) производят, либо помещая мишень из стабильного вещества в нейтронный канал реактора, либо выделяя продукты распада из ОЯТ (отработанное ядерное топливо) или урановых мишеней.

Реакторные радионуклиды получают в ядерных реакторах реакцией нейтронного захвата или делением тяжелых ядер.

1. Реакция радиационного захвата нейтрона – поглощение нейтрона ядром атома, приводящее к ядерным реакциям



2. Реакция деления тяжелых ядер, осколочные радионуклиды – поглощение нейтронов тяжелыми ядрами и их последующий распад на два легких ядра:



Реакторные радионуклиды и их применение в медицине

Радионуклид	$T_{1/2}$	Энергия распада, МэВ		Применение
		$E_{\beta_{\max}}$	E_{γ}	
^{99}Mo	67 ч	0.87	0.74	Изготовление РФП на основе ^{99m}Tc для диагностики
^{131}I	8.02 сут	0.61	0.28 0.36 0.64	Диагностика и лечение функциональных нарушений и рака щитовидной железы
^{32}P	14.3 сут	1.71	-	Диагностика, терапия, маркировка нуклеотидов
^{51}Cr	27.8 сут	-	0.323	Маркировка эритроцитов для биологических исследований
^{153}Sm	1.95 сут	0.81	0.07 0.103	Лечение боли в костях при метастазах
^{166}Ho	1.1 сут	1.60	0.08	Лечение ревматоидного артрита
^{125}I	60.2 сут	ЭЗ	0.028- 0.035	РИА, брахитерапия онкозаболеваний

ЭЗ – электронный захват, РИА – радиоиммунный анализ.

Наиболее распространенные мишени |

Радиоизотоп	Мишень	Природное содержание, %	Радионуклидные примеси
^{99}Mo	MoO_3 ^{98}Mo -24%	^{92}Mo (15.1), ^{94}Mo (9.3), ^{95}Mo (15.8), ^{96}Mo (16.5), ^{97}Mo (9.6), ^{100}Mo (9.7)	$^{93\text{m}}\text{Mo}$, ^{93}Mo , ^{101}Mo , ^{101}Tc , ^{99}Tc , $^{186+188}\text{Re}$
^{131}I	Te/TeO_2 ^{130}Te -34.5%	^{126}Te (18.8), ^{128}Te (31.7)	^{129}I , ^{75}Se , ^{125}Sb , ^{198}Au , $^{197+203}\text{Hg}$, др.
^{32}P	S ^{32}S -95%	^{33}S (0.75), ^{34}S (4.21)	^{33}P , ^{35}S
^{51}Cr	K_2CrO_4 ^{50}Cr -4.35%	^{52}Cr (83.9), ^{53}Cr (9.5)	^{42}K
^{125}I	Xe (газ) ^{124}Xe -0.1%	^{126}Xe (0.09), ^{132}Xe (26.9)	^{126}I , ^{127}I , ^{131}I , ^{133}Xe
^{153}Sm	Sm_2O_3 ^{152}Sm -26.7%	^{144}Sm (3.1), ^{154}Sm (22.7)	^{145}Sm , ^{151}Sm , ^{155}Sm , $^{154+155}\text{Eu}$, др.
^{166}Ho	Ho_2O_3	^{165}Ho (100)	Радиоантаноиды, ^{166}Dy
^{203}Hg	HgO ^{202}Hg -29.8%	^{196}Hg (0.15), ^{198}Hg (9.97)	^{197}Hg , ^{199}Hg , $^{198+199}\text{Au}$
^{82}Br	NH_4Br ^{81}Br -49.3%	^{79}Br (50.69)	$^{80\text{m}}\text{Br}$, $^{82\text{m}}\text{Br}$

Способы снижения в мишенях содержания примесей и очистки от них

- *выбор оптимальных параметров облучения;*
- *адекватное охлаждение мишени и контейнера;*
- *радиохимическая обработка и методы очистки:*
 - *растворение;*
 - *преципитация;*
 - *жидкостная экстракция/ионообменное разделение;*
 - *электрохимическое окисление/восстановление;*
 - *жидкостная хроматография высокого давления; - дистилляция, кристаллизация*

Продукты нейтронного облучения

Изотоп	$T_{1/2}$	Реакция	Применение
^{32}P	14 дн	$^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$	Используется при лечении истинной полицитемии (избыток красные кровяные клеток). Бета-излучатель.
^{24}Na	15 ч	$^{23}\text{Na}(\text{n},\gamma)^{24}\text{Na}$	Для исследования электролитов в организме.
^{42}K	12 ч	$^{41}\text{K}(\text{n},\gamma)^{42}\text{K}$	Используется для определения обменного калия в коронарном кровотоке.
^{51}Cr	28 дн	$^{50}\text{Cr}(\text{n},\gamma)^{51}\text{Cr}$	Для мечення красных кровяных телец и количественной оценки потери белка в желудочно-кишечном тракте.
^{59}Fe	46 дн	$^{58}\text{Fe}(\text{n},\gamma)^{59}\text{Fe}$	Используется в исследованиях метаболизма железа в селезенке.
^{60}Co	5.27 л	$^{59}\text{Co}(\text{n},\gamma)^{60}\text{Co}$	Для дистанционной лучевой терапии, для стерилизации.
^{75}Se	120 дн	$^{74}\text{Se}(\text{n},\gamma)^{75}\text{Se}$	Используется в виде селено-метионина для изучения производства пищеварительных ферментов
^{89}Sr	50 дн	$^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})^{89}\text{Sr}$	Очень эффективным в снижении боли при раке простаты и костей. Бета-излучатель.
^{90}Y	64 ч	$^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$	Используется при брахитерапии рака, а также для снятия боли при артрите в больших синовиальных суставах. Чистый бета-излучатель и приобретает все большее значение в терапии, особенно рака печени.
^{99}Mo	66 ч	$^{98}\text{Mo}(\text{n},\gamma)^{99}\text{Mo}$ $^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})^{99}\text{Mo}$	Родительский изотоп в генераторе $^{99\text{m}}\text{Tc}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 ч	$^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$	Используется для визуализации скелета и сердечной мышцы, а также мозга, щитовидной железы, легких (перфузии и вентиляции), печени, селезенки, почек (структура и скорость фильтрации), желчного пузыря, костного мозга, слюнных и слезных желез и пр. Производится из Мо-99 в генераторе.

^{103}Pd	17 дн	$^{102}\text{Pd}(n,\gamma)^{103}\text{Pd}$	Для производства крошечных радиоактивных источников, которые имплантируются в простату при ранних стадиях рака.
^{131}I	8 дн	$^{235}\text{U}(n,f)^{131}\text{I}$ $^{130}\text{Te}(n,\gamma)^{131}\text{Te} \rightarrow ^{131}\text{I}$	Используется для лечения рака щитовидной железы и ее визуализации. В диагностике нарушения функции печени, почечного кровотока и обструкции мочевыводящих путей. Сильный гамма-излучатель, но используется для бета-терапии.
^{125}I	59.4 дн	$^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe} \rightarrow ^{125}\text{I}$	Используется при брахитерапии рака (простаты и мозга), для оценки скорости фильтрации почек и диагностики тромбоза глубоких вен в ноге. Он также широко используется в радиоиммунном анализе.
^{133}Xe	5 дн	$^{235}\text{U}(n,f)^{133}\text{Xe}$	Используется для вентиляционных исследований легких.
^{137}Cs	30 л		Для стерилизации крови.
^{153}Sm	47 ч	$^{152}\text{Sm}(n,\gamma)^{153}\text{Sm}$	Является очень эффективным в облегчении боли вторичного рака в кости. Также очень эффективен при раке простаты и молочной железы. Бета-излучатель
^{165}Dy	2 ч	$^{164}\text{Dy}(n,\gamma)^{165}\text{Dy}$	Используется в качестве агрегированного гидроксида при СИНОВЭКТОМИИ в лечении артрита.
^{166}Ho	26 ч	$^{165}\text{Ho}(n,\gamma)^{166}\text{Ho}$	Используется для диагностики и лечения опухолей печени
^{169}Er	9.4 дн	$^{168}\text{Er}(n,\gamma)^{169}\text{Er}$	Используется для снятия боли в синовиальных суставах при артрите
^{169}Yb	32 дн	$^{168}\text{Yb}(n,\gamma)^{169}\text{Yb}$	Используется для исследований спинномозговой жидкости.
^{177}Lu	6.7 дн	$^{176}\text{Yb}(n,\gamma)^{177}\text{Yb} \rightarrow ^{177}\text{Lu}$	Используется для визуализации. Бета-излучение используется для терапии малых (например, эндокринных) опухолей.
^{186}Re	3.8 дн	$^{185}\text{Re}(n,\gamma)^{186}\text{Re}$	Для облегчения боли при раке костей. Бета-излучатель со слабым гамма для работы с изображениями.

^{188}W	68.9 дн	$^{186}\text{W}(\text{n},\gamma)$ $^{187}\text{W}(\text{n},\gamma)^{188}\text{W}$	Родительский изотоп в генераторе ^{188}Re
^{188}Re	17 ч	$^{188}\text{W} \rightarrow ^{188}\text{Re}$	Используется для бета облучения коронарных артерий.
^{192}Ir	74 дн	$^{191}\text{Ir}(\text{n},\gamma)^{192}\text{Ir}$	Используется в качестве внутреннего источника при лучевой терапии рака. Бета-излучатель.
^{198}Au	2.7 дн	$^{197}\text{Au}(\text{n},\gamma)^{198}\text{Au}$	Используется для сканирования печени, определение кровотока печени, регионарного лимфотока и сканирование лимфатических узлов. В качестве лечебного средства вводится в ткани, полости и лимфатические сосуды.
^{212}Bi	10.6 ч	Генераторный изотоп $^{228}\text{Th}/^{224}\text{Ra}$ и $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Bi}$	Со своим продуктом распада ^{212}Po используется в таргетной альфа терапии рака или альфа радиоиммунотерапии , особенно при меланоме, раке молочной железы и раке яичников.
^{213}Bi	46 м	Генераторный изотоп $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ac}$ и $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$	Используется в таргетной альфа терапии

Основные характеристики качества радионуклидной продукции:

1. Удельная активность (количество распадов на единицу массы);
2. Радионуклидная чистота.

Существует универсальная формула, которая позволяет проводить расчеты количества производимых радионуклидов, но она работает только в случае короткого облучения и тонкой мишени

$$N_2 = \sigma N_1 \Phi t$$

где N_1 -ядер в мишени, Φ -поток частиц (шт/см²/с), σ -сечение (см²)

Интегрированием выражения $N_2 = \sigma N_1 \Phi t$ можно получить выражение для толстой мишени без учета распада:

$$A = Y i t$$

где A -активность (Бк), Y -выход (Бк/мкАч), t -время облучения. И выражение для толстой мишени с учетом распада за время облучения:

$$A = Y i (1 - e^{-\lambda t}) / \lambda$$

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

