КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ
Физико-технический факультет
Кафедра теоретической и ядерной физики

«Основы производства радиоактивных изотопов»

Лекция 10. Применение радиоактивных изотопов.

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

Цель лекции: сформировать представление об основных направлениях применения радиоактивных изотопов, раскрыть физические принципы их использования в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях, а также показать значение радиоизотопных технологий и необходимость соблюдения требований радиационной безопасности.

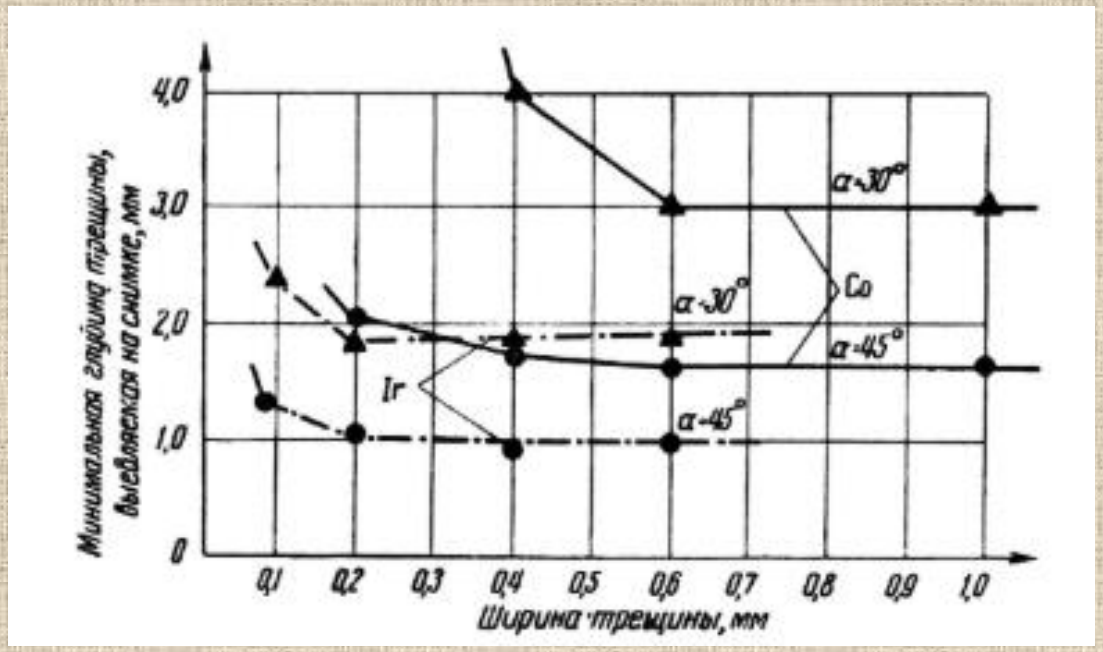
Результаты обучения:

По завершении лекции обучающийся будет способен:

1. Характеризовать основные направления применения радиоактивных изотопов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.
2. Объяснять принципы радионуклидной диагностики и терапии, различать основные методы медицинской визуализации (сцинтиграфия, ОФЭКТ, ПЭТ).
3. Описывать применение радиоактивных изотопов в промышленной дефектоскопии, измерительных системах и технологических процессах.
4. Объяснять использование радиоизотопных методов в сельском хозяйстве, научных исследованиях и изучении природных процессов.
5. Характеризовать основные требования радиационной безопасности при работе с радиоактивными изотопами и радиофармацевтическими препаратами.

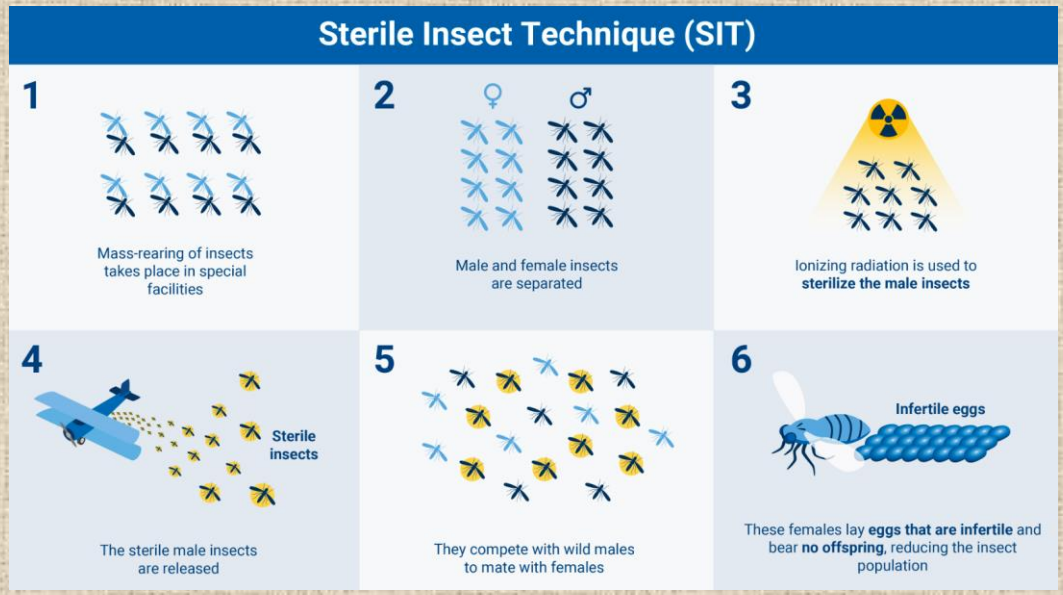
Применение радиоактивных изотопов





Выявляемость трещин в угловых швах в зависимости от направления основного пучка для излучений Co-60 и Ir-192.

Ионизирующее излучение используется для облучения насекомых, после чего они теряют способность к размножению. Метод широко применяется для борьбы с насекомыми, заражающими сельхозкультуры (метод стерильных самцов).



Ядерная медицина - раздел клинической медицины, в котором для диагностики и лечения используются радионуклидные фармацевтические препараты (РФП).

Области применения (на примере США):

- ✓**Кардиология** - 46% от общего числа диагностических исследований;
- ✓**Онкология** (радиобиология опухолей) - 34%;
- ✓**Неврология** - 10%.

Ядерная медицина потребляет свыше половины радиоактивных изотопов в мире.

Основные методы ядерной медицины и используемые радионуклиды

Диагностика

^{18}F

ПЭТ (PET)
β^+-излучатели
$T_{1/2}$ от ~ сек до ~ часов

^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, $^{68}Ge/^{68}Ga$

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

ОФЭКТ (SPECT)
γ-излучатели, 100-200 кэВ
$T_{1/2}$ от ~ мин. до ~ суток

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

Радионуклидная терапия

^{131}I

β-излучатели
200-2000 кэВ

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

α-излучатели

^{211}At, $^{225}Ac/^{213}Bi$

^{125}I

Радионуклиды, распадающиеся ЭЗ или ВЭК

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

Радионуклидная диагностика *in vivo* и *in vitro*

Радионуклидная диагностика основана на внешней радиометрии излучения, исходящего из органов и тканей после введения РФП непосредственно в организм пациентов.

По отношению к человеческому телу различают:

диагностику *in vivo* (в теле) - ***радиофармпрепараты*** вводятся внутрь человеческого организма, а измерительные приборы фиксируют излучение (**эмиссионная томография**);

диагностику *in vitro* (в пробирке) - у человека отбираются образцы тканей и помещаются в пробирку, где они взаимодействуют с ***радиофармпрепаратами*** (**радиоиммунный анализ**).

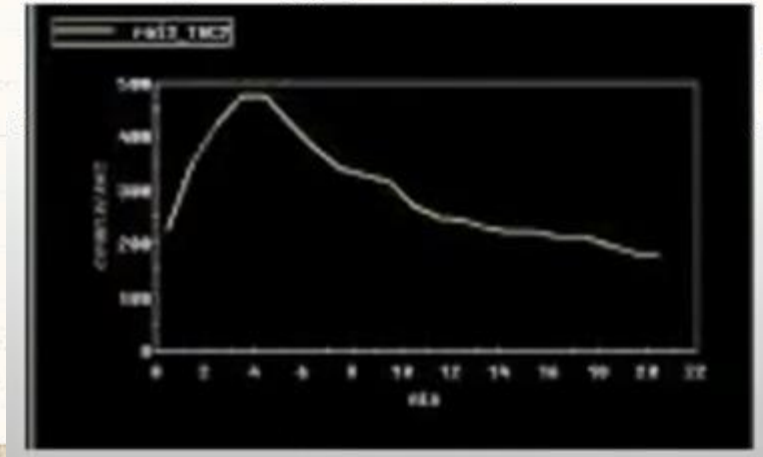
МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

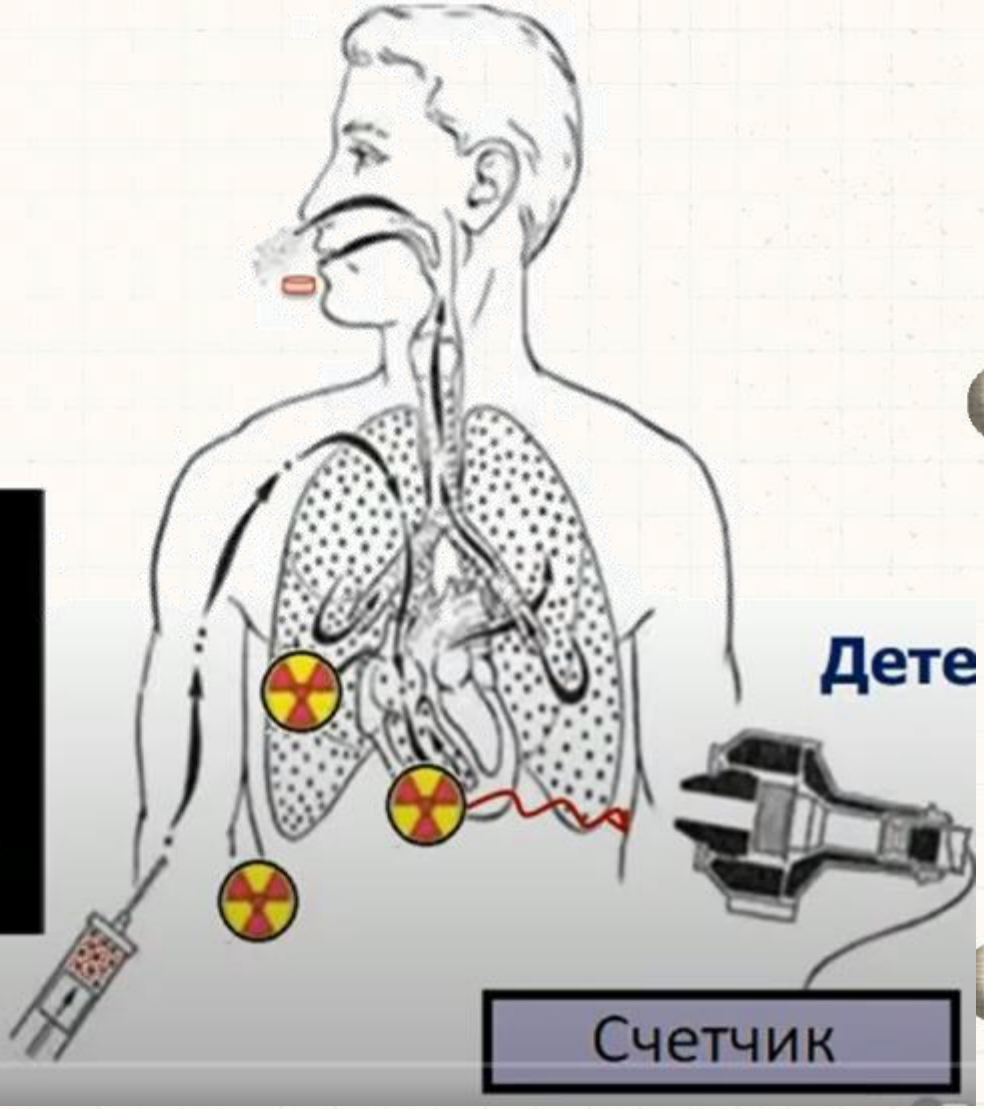
Радионуклидная диагностика основана на внешней радиометрии излучения, исходящего из органов и тканей после введения РФП непосредственно в организм пациентов.

- ***Планарная сцинтиграфия*** - ı функциональной визуализации, в котором получа лерное изображения объёмного (3-х мерного) распределения **РФП** в организме.;
- ***Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ)*** – получение 3-х мерного изображения распределения ***гамма-активного*** **РФП** , состоящего из отдельных изображений 2-х мерных аксиальных срезов
- ***Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ)*** – получение 3-х мерного изображения распределения ***позитрон-активного*** **РФП**.

Введение РФП и регистрация ядерного излучения

1. Ингаляционно
2. Перорально
3. Внутривенно
4. Внутритканево





Закрытые источники в ядерной медицине

Закрытые источники используются для калибровки и контроля качества оборудования (Na-22, Mn-54, Co-57, Co-60, Cs-137, Cd-109, I-129, Ba-133, Am-241). Точечные источники и анатомические маркеры (Co-57, Au-195). Активность в диапазоне от 1 кБк-1ГБк. кБк-1ГБк.





Открытые источники в ядерной медицине

Нуклид	Время полураспада	Распад	Энерлетия частицы (Макс) (МэВ)	Энергия фотона (МэВ)	Макс активность (МБк)
H-3	12.4 лет	β^-	0.016 (100%)	-	10
C-14	5730 лет	β^-	0.155 (100%)	-	0.5
Na-24	15 час	β^-	1.39 (100%)	1.37 (100%) 2.75 (100%)	1
S-35	87.2 дней	β^-	0.17 (100%)	-	8
K-42	12.45 час	β^-	2.0 (18%) 3.6 (82%)	1.52 (18%)	1
K-43	22 час	β^-	0.47 (8%) 0.83 (87%) 1.24 (3.5%) и т.д.	0.370 (85%) 0.390 (18%) 0.610 (81%) и т.д.	1
Ca-45	163 дней	β^-	0.25 (100%)	-	0.8
Ca-47	4.5 дней	β^-	0.66 (83%)	0.480 (6%)	0.8
Cr-51	27.8 дней	EC	(100%)	0.323 (8%)	5
Fe-59	45 дней	β^-	0.27 (46%) 0.46 (53%) и т.д.	1.10 (56%) 1.29 (44%) и т.д.	0.05
Co-57	270 дней	EC	(100%)	0.122 (88%) 0.136 (10%)	0.3
Co-58	71 дней	EC β^+	(85%) 0.47 (15%)	0.81 (101%) 0.51 (30%)	0.3
Cu-64	12.8 час	β^- β^+ EC	0.57 (38%) 0.66 (19%) (43%)	0.51 (38%) и т.д.	20
Zn-65	64 дней	EC, β^+	(98.5%) 0.33 (1.5%)	1.115 (51%)	0.5
Se-75	121 дней	EC	(100%)	0.140 (54%) 0.270 (56%) и т.д.	0.4
I-125	60 дней	EC	(100%)	0.035 (8%) X (138%)	5

Открытые источники в ядерной медицине

Нуклид	Время полураспада	Распад	Энергия частицы (max) (МэВ)	Энергия фотона (МэВ)	Макс активность (МБк)
P-32	14.3 дней	β^-	1.71 (100%)	-	200
Sr-89	50.5 дней	β^-	1.46 (100%)	0.909 (1%)	150
Y-90	64.2 часов	β^-	2.27 (100%)	-	5000
I-131	8.04 дней	β^-	0.33 (9%) 0.61 (87%) и т.д.	0.365 (80%) 0.640 (9%) и т.д.	20000
Er-169	9.3 дней	β^-	0.03 (100%)	-	50
Re-186	90 часов	β^-	0.93 (23%) 1.07 (73%)	0.137 (10%) 0.122 (1%)	150
Au-198	2.7 дней	β^-	0.96 (99%) и т.д.	0.412 (96%) и т.д.	2000

Открытые источники в ядерной медицине

Нуклид	Время полураспада	Распад	Энергия частицы (max) (МэВ)	Энергия фотона (МэВ)	Макс активность (МБк)
C-11	20.4 мин	β^+	0.39 (средн)	0.511 (A)	1000
O-15	2.2 мин	β^+	0.72 (средн)	0.511 (A)	3500
F-18	110 мин	β^+	0.25 (средн)	0.511 (A)	500
Ga-67	78.3 часов	EC	(100%)	X (38%) 0.185 (24%) 0.300 (17%) и т.д.	250
CEKe-75	121 дней	EC	(100%)	0.140 (54%) 0.270 (56%) 0.280 (23%) и т.д.	10
Kr-81m	13 сек	IT	-	0.191 (66%)	6000
Tc-99m	6 часов	IT	-	0.140 (90%)	1000
In-111	2.8 дней	EC	(100%)	0.171 (91%) 0.245 (94%)	200
In-113m	1.66 часов	EC	(100%)	0.393 (64%)	20
I-123	13.2 часов	EC	(100%)	X (86%) 0.159 (83%)	400
I-125	60 дней	EC	(100%)	X (138%) 0.035 (7%)	10
I-131	8.04 дней	β^-	0.33 (9%) 0.61 (87%) и т.д.	0.365 (80%) 0.640 (9%) и т.д.	100
Xe-133	5.27 дней	β^-	0.34 (100%)	0.081 (35%)	500
Tl-201	73 часов	EC	(100%)	X (95%) 0.167 (10%) и т.д.	150

Радиотоксичность

Класс А.
Очень высокая
Например, Am-241, Cf-252

Класс В.
Высокая
Например, Na-22, Ca-45, Mn-54, Co-60, Sr-89, I-125, I-131

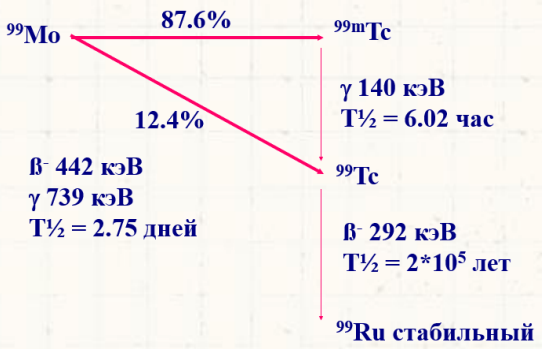
Класс С.
Средняя
Например, C-14, F-18, P-32, Cr-51, Co-57, Ga-67, Se-75, Mo-99, In-111, I-123, Au-198, Tl-201

Класс D.
Низкая
Например, H-3, C-11, N-13, O-15, Tc-99m, Xe-133

Применение в ядерной медицине в зависимости от типа радионуклида

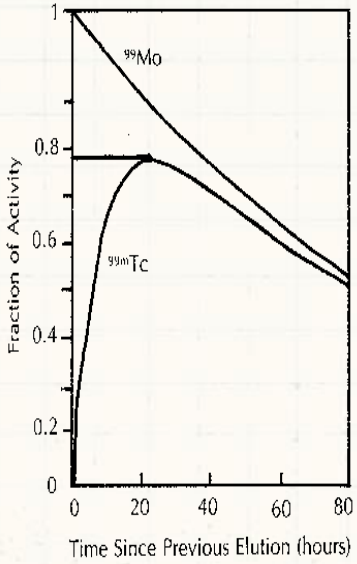
Радионуклид	*Диагностика*	*Терапия*
• **Чистые γ источники** **например; Tc-99m, In-111, Ga-67, I-123**	**×**	**(–)**
• **Источники позитронов($ß^+$)** **например: F-18**	**×**	**–**
• **γ, $ß^-$ источники** **например: I-131, Sm-153**	**×**	**×**
• **Чистые $ß^-$ источники** **например: Sr-89, Y-90, Er-169**	**–**	**×**
• **α источники** **например: At-211, Bi-213**	**–**	**×**

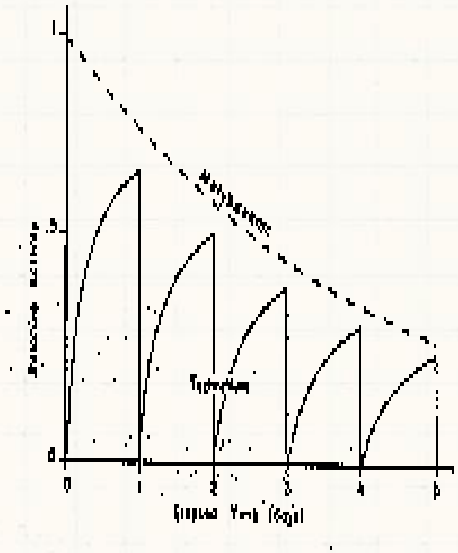
Генератор Технеция

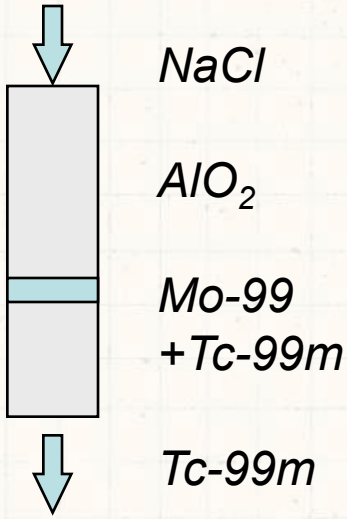


Mo-99 → Tc-99m → Tc-99

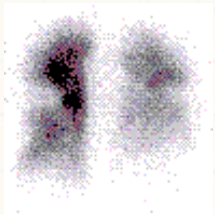
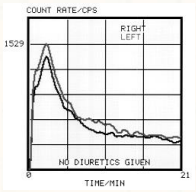
66 час **6час**







Радиофармпрепараты

Радионуклид	Фармпрепарат	Орган	Параметр
Tc-99m	+ коллоид	Печень 	Ретикулоэндотелиальная система, РЭС
	+ MAA (макроагрегаты альбумина сыворотки человеческой крови)	Легкие 	Региональная перфузия
	+ DTPA	Почки 	Функция почек

РАДИОФАРМПРЕПАРАТЫ

Радиофармпрепараты (РФП), используемые в ядерной медицине можно классифицировать следующим образом:

•готовые к использованию радиофармпрепараты, например: ^{131}I- MIBG, ^{131}I-йодид, ^{201}Tl-хлорид, ^{111}In-DTPA

•наборы для быстрого приготовления радиофармпрепаратов

например ^{99m}Tc-MDP, ^{99m}Tc-MAA, ^{99m}Tc-HIDA, ^{111}In-Октреотид

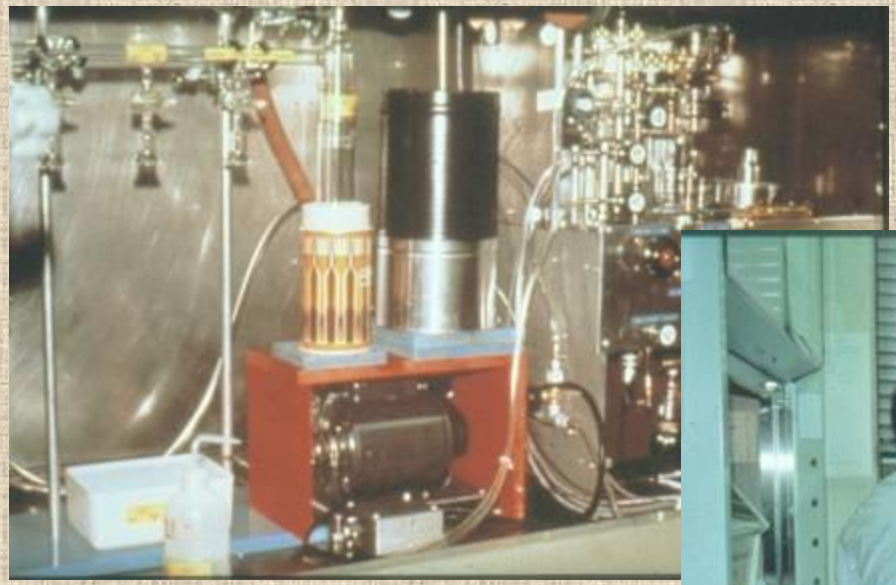
•наборы требующие нагрева, например: ^{99m}Tc-MAG3, ^{99m}Tc-MIBI

•препараты, требующие значительных манипуляций, например, маркировка клеток крови или синтез и маркировка радиофармпрепаратов, произведённых на месте

Подготовка и фасовка радиофармпрепаратов



Работа с радионуклидами в лаборатории

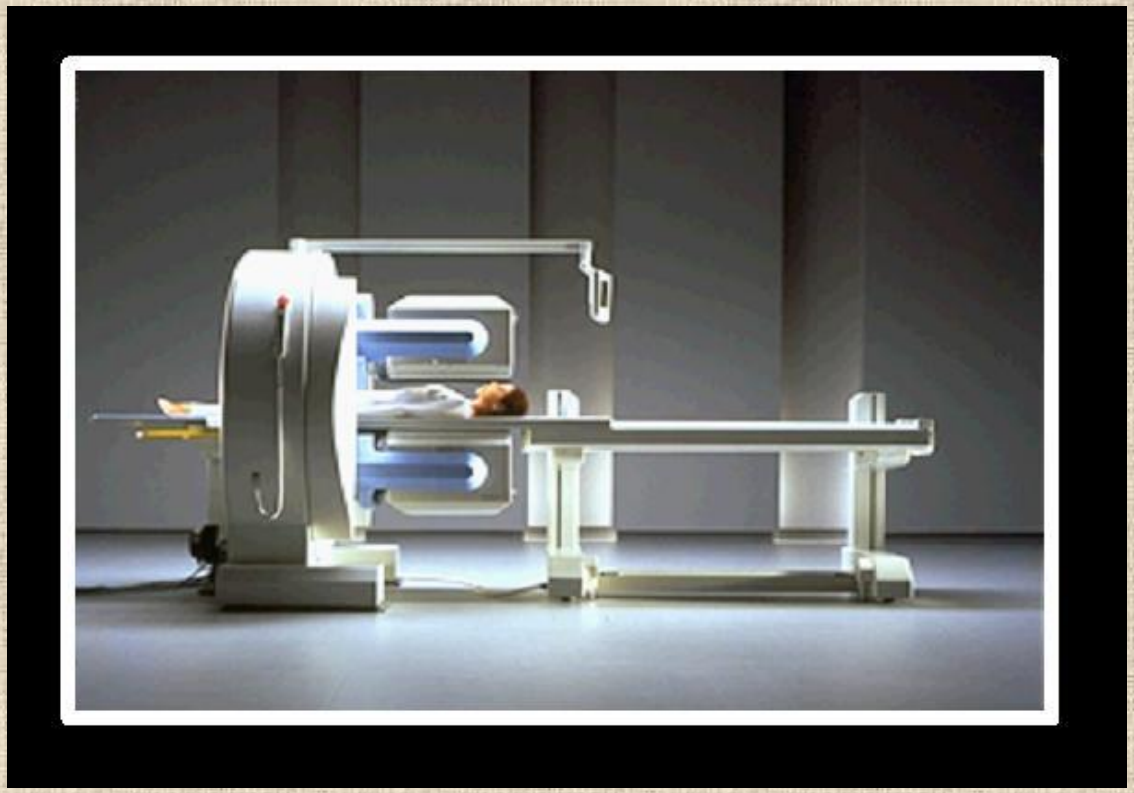


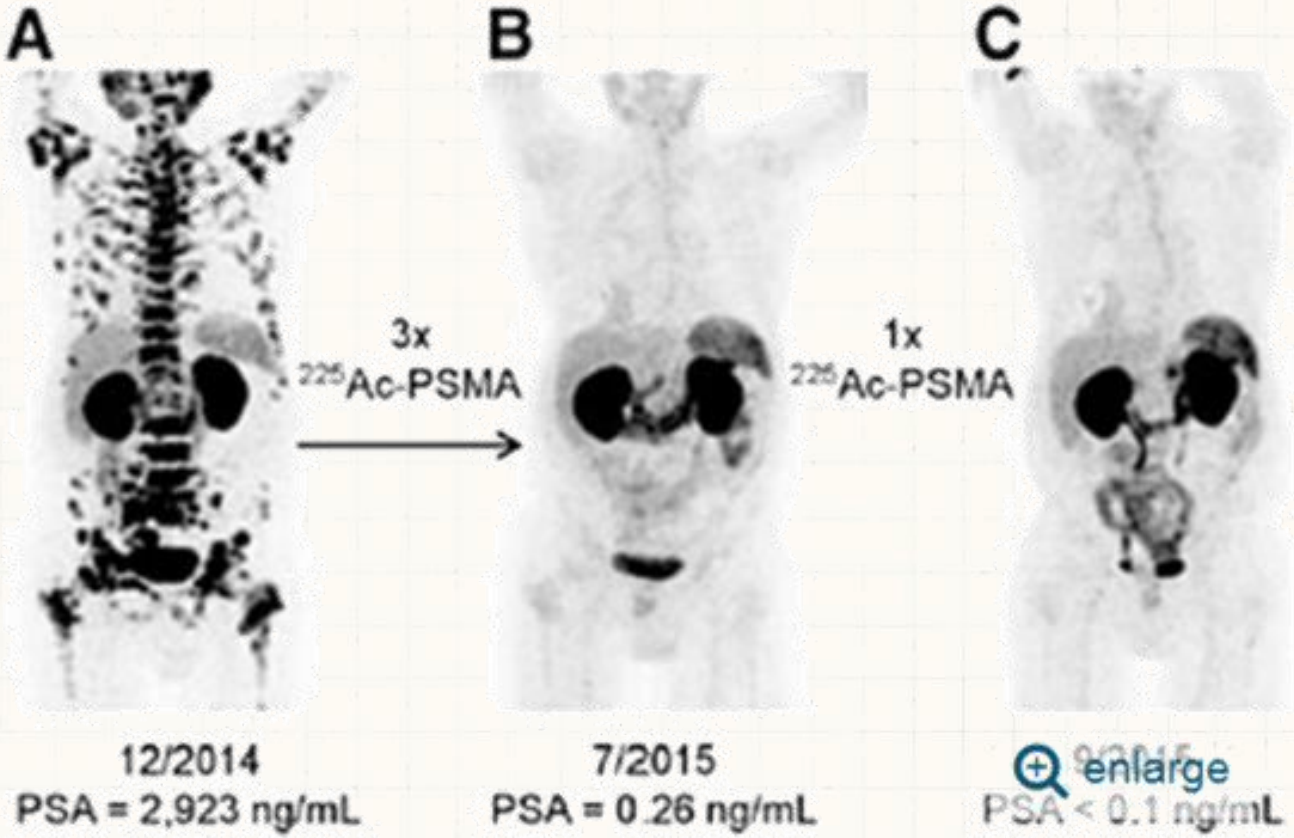


Введение радиофармпрепаратов



Обследование пациентов





This picture shows three different images of a single patient with end-stage prostate cancer. The first was taken before treatment with actinium-225, the second after three doses, and the third after an additional dose. The treatment, done at the University Hospital Heidelberg, was extremely successful.

Воздействие радиации на человека

- 1 Зв вызывает изменения в крови;
- 2—5 Зв вызывает облысение и белокровие;
- 30 Зв приводит к смерти в течение 30 дней в 50 % случаев

Нормы радиационной безопасности

Предел эффективной дозы

- Группа А – 20 мЗв/год
- Группа Б – 5 мЗв/год

Предел эквивалентной дозы

Орган	Доза группы А, мЗв/год	Доза группы Б, мЗв/год
Хрусталик глаза	150	37,5
Кожа	500	125
Кисти рук и стопы	500	125

Нагрузки при ОФЭКТ с ^{99m}Тс

- При исследовании кровообращения и выявления очагов воспаления головного мозга вводимая в/в активность - 370-450 МБк
- эффективная эквивалентная доза при проведении оценки перфузии головного мозга - 0.02 мЗв/МБк
- после в/в введения меченых лейкоцитов - 0.0165 мЗв/МБк

Нагрузки при использовании ^{111}In

- 111МБк для **планарной сцинциграфии**
- 222МБк для **ОФЭКТ**

- Эффективная эквивалентная доза $1,9*10^{-1}$ мЗв/МБк

Выводы:

1. В ядерной медицине радионуклиды используются для диагностики и лечения заболеваний, включая сцинтиграфию, ОФЭКТ, ПЭТ и радионуклидную терапию.
2. В промышленности радиоизотопные методы обеспечивают неразрушающий контроль материалов, измерение толщины и уровня веществ, а также исследование технологических процессов.
3. В сельском хозяйстве и научных исследованиях радиоактивные изотопы применяются для изучения биологических и химических процессов, селекции растений, определения возраста объектов и исследования окружающей среды.
4. Эффективное и безопасное применение радиоактивных изотопов требует правильного выбора радионуклидов, контроля радиационного воздействия и соблюдения требований радиационной безопасности.

Вопросы для самопроверки:

1) Какие два основных направления применения радиоизотопов выделяют в медицине? Приведите примеры изотопов, используемых в каждом из них.
2) В чём заключается принцип радиоизотопной дефектоскопии и какие источники излучения используются в промышленности для этой цели?
3) Какие методы применения радиоактивных изотопов используются в сельском хозяйстве для повышения урожайности и защиты растений?
4) Назовите основные принципы радиационной безопасности при работе с радиоактивными веществами.
5) Как работают изотопные толщиномеры и уровнемеры, и где они применяются?

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

