



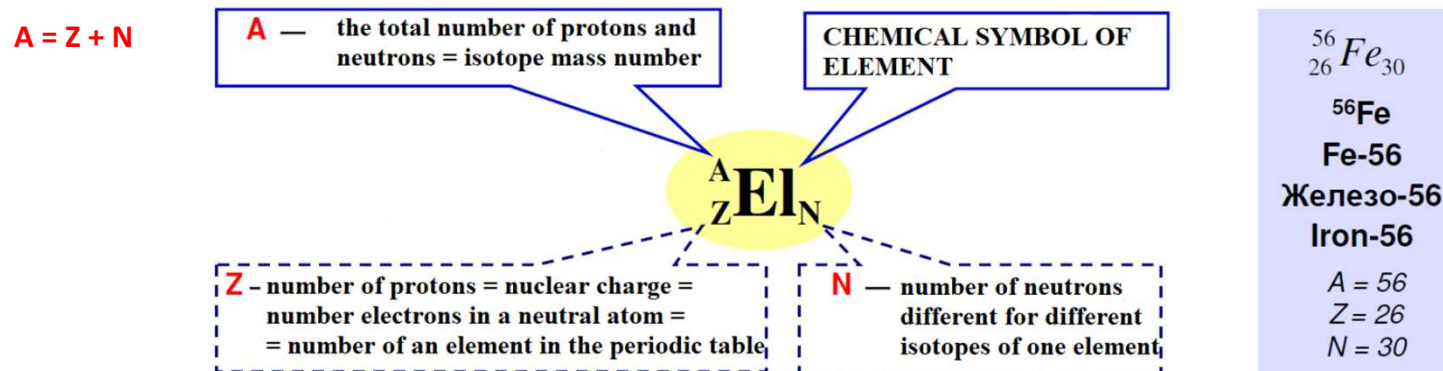
Неэнергетическое применение ядерных технологий

Корноухов Василий Николаевич
НИЯУ МИФИ

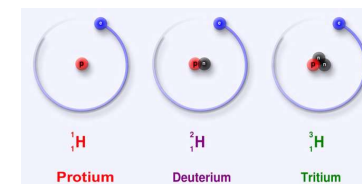
VNKornukhov@mephi.ru

Изотопы: определение

«ИЗОТОПЫ (от греч. **isos** - одинаковый и **topos** - место), разновидности атомов одного и того же химического элемента, атомные ядра которых имеют одинаковое количество протонов (Z) и разное количество нейтронов (N). (Изотопы - это нуклиды элемента.) Ядра этих атомов также называются изотопами. Изотопы занимают одно и то же место в периодической таблице элементов (отсюда и название).



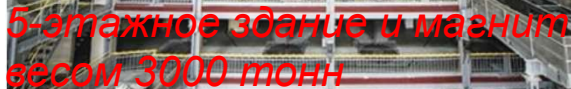
- **Ядерные свойства изотопов радикально различаются.**
- **Химические свойства изотопов элемента аналогичны.**



Исключение касается изотопов легких элементов **водорода**: ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ масса которых настолько различается, что физические и даже химические свойства H разного изотопного состава различны. Так что у них есть самостоятельное имя: ${}^1\text{H}$ протий, ${}^2\text{H}$ - дейтерий D (ядро - дейтрон **d**), ${}^3\text{H}$ – тритий T (ядро - тритон **t**).



<http://www.ehp-atom.ru/o-predpriyatii/istoriya/>



Уральский электрохимический комбинат, Новоуральск
Свердловской области <http://www.ueip.ru/>



Электромагнитный метод

Радиус R траектории иона массы М и энергии

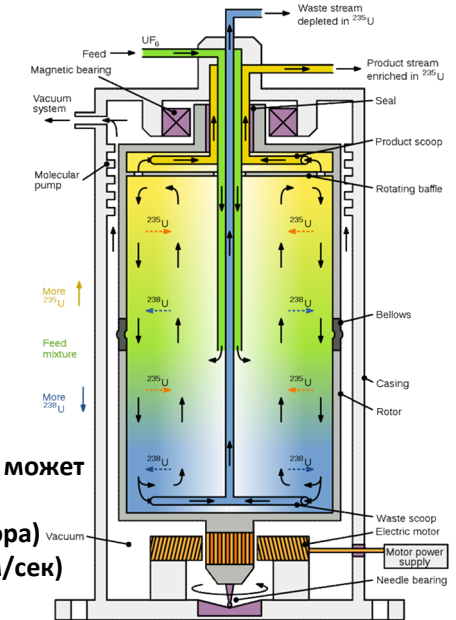
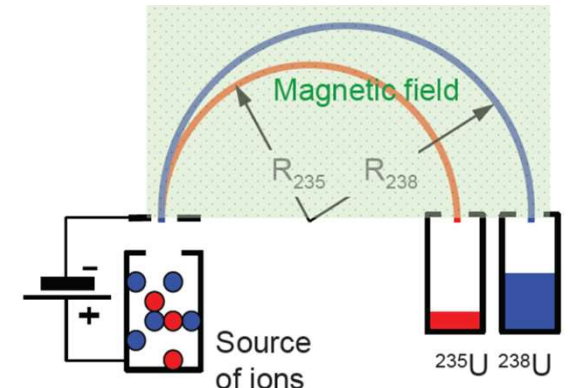
$$R = \left(\frac{2MU}{e} \right)^{1/2} \cdot \frac{c}{H}$$

Расстояние между частицами массы M и $M + \Delta M$ на этом коллекторе (массовый разброс d):

$$d = 2\Delta R = R \frac{\Delta M}{M}$$

Метод газового центрифугирования

АО «Электрохимический завод ЭХЗ», Зеленогорск,
Красноярский край <https://www.ecp.ru/>



Центробежное ускорение может достигать 500000 g
v (линейная скорость ротора) ^{Vacuum}
=250 ÷ 300 м/сек(до 600 м/сек)

Производство радиоизотопов: пример исследовательского реактора ИВВ-2М (Заречный, Свердловская обл.)

ИВВ-2М – исследовательский реактор бассейнового типа

Тепловая мощность 15 МВт (17 МВт)

Максимальный поток нейтронов:

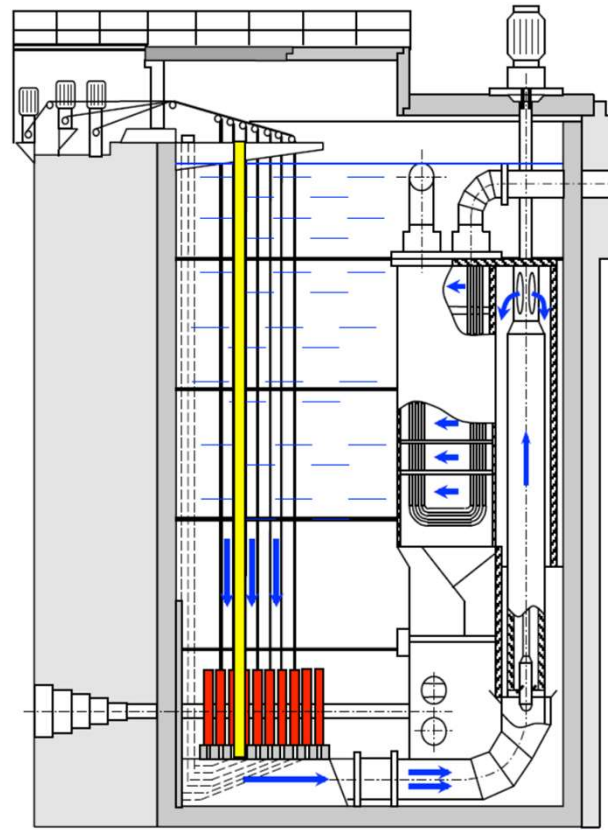
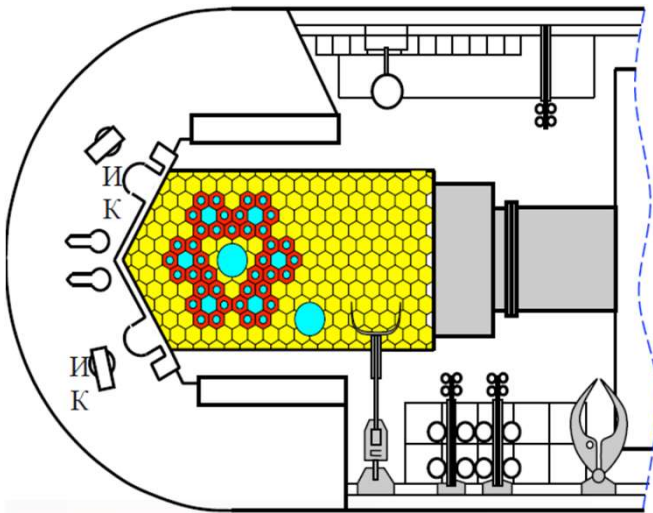
- $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (тепловые)
- $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ быстрые, $E > 0.1 \text{ МэВ}$

Топливо: оксид урана в алюминиевой матрице

Отражатель: бериллий

Охлаждающая жидкость: деминерализованная вода

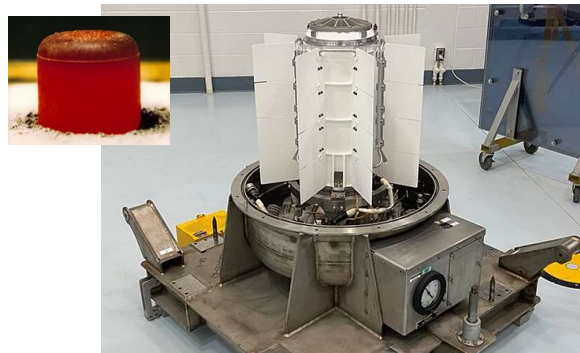
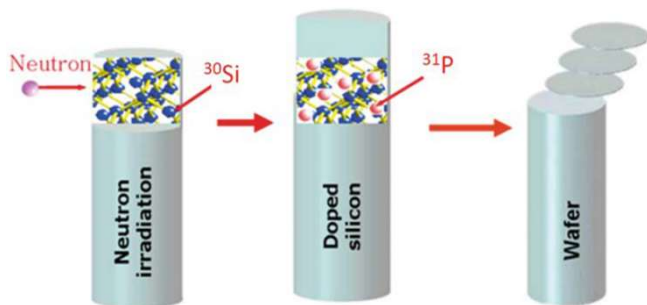
Производство: ^{192}Ir , ^{14}C , ^{131}Cs , ^{177}Lu -сд,
 ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S



Неэнергетические применения ядерных технологий в промышленности и транспорте



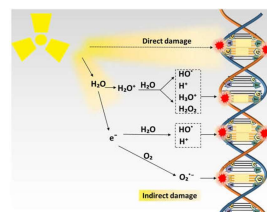
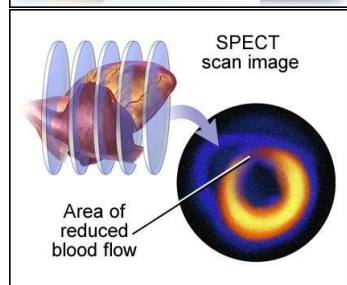
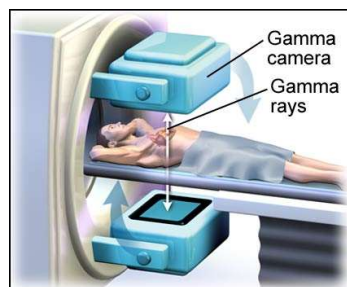
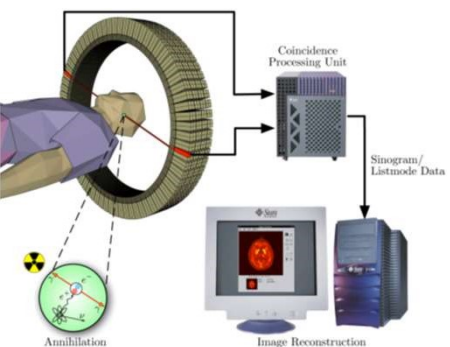
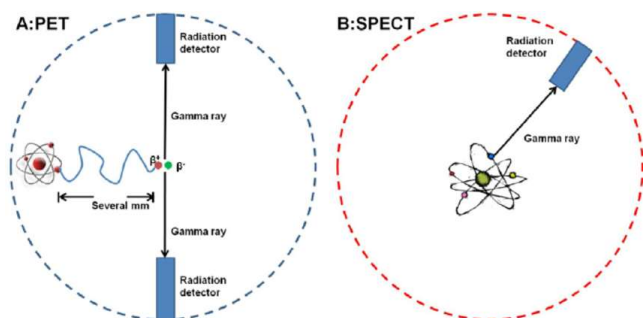
Визуализация человека в «немедицинских» целях
 Радиографический контроль
 Нейтронно-трансмутационное допирование (NTD)
 Облучение драгоценных камней
 Радиоизотопные термоэлектрические генераторы
 Атомные судовые реакторы на кораблях и подводных лодках
 Ядерные реакторы на космических аппаратах



Ядерная медицина

радионуклидная диагностика

ОФЭКТ и ПЭТ - два наиболее распространенных метода визуализации в ядерной медицине

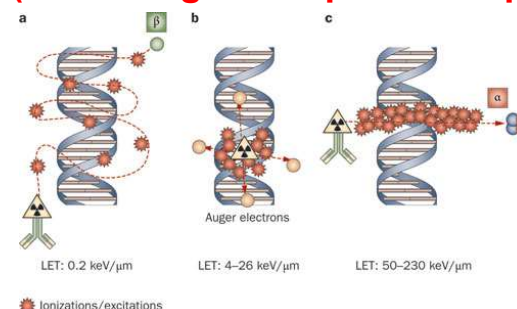


радионуклидная терапия

радиоактивный изотоп
вводят в опухоль

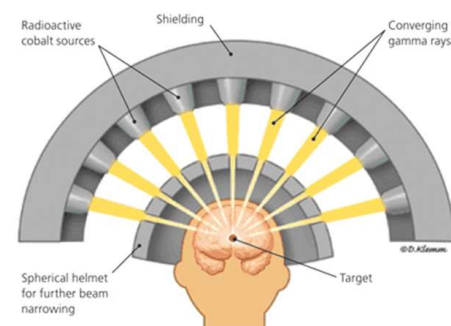


Целевая альфа-терапия (TAT - Targeted Alpha Therapy)

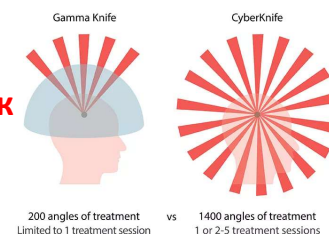


лучевая терапия

прямое облучение раковой опухоли



Гамма-нож и кибер-нож



Радиационная обработка в сельском хозяйстве и хранении продуктов питания

Малая доза ≤ 1 кГр:

задержка созревания; торможение прорастания;
уничтожение насекомых-паразитов.

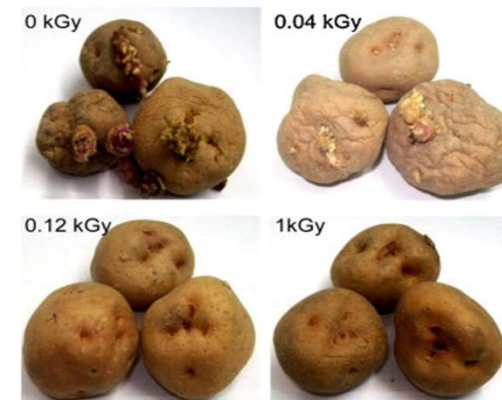
Уничтожение в мясе паразитов, таких как ленточный червь и трихинеллез.



*потери всхожести
в картофеле*

Средняя доза: от 1 до 10 кГр:

уменьшение количества микроорганизмов, вызывающих порчу;
уменьшение количества или устранение не-спорообразующих патогенов, то есть болезней, вызывающих микроорганизмы.



Высокая доза: от 20 à 30 кГр:

снижение числа микроорганизмов вплоть
до полной стерилизации (бесплодия)



Стоимость облучения колеблется от \$10 до \$15 за тонну (при применении низкой дозы) до \$100-250 для применения высокой дозой.

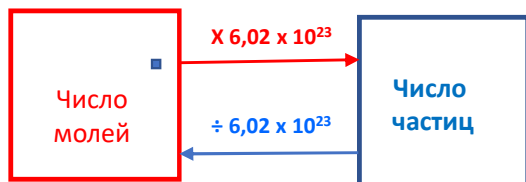
Применение изотопов в науке: международный проект «Avogadro constant»

The microscopic to the macroscopic: e.g. how many particles (atoms, molecules, etc.) were in a sample of matter

Моль и число Авогадро

Один моль вещества содержит
 $6,02 \times 10^{23}$ частиц материи

Число $6,02 \times 10^{23}$ называется Avogadro constant.



Кристалл Si-28, очищенный методом зонной плавки. Чтобы определить его плотность, были изготовлены две сферы

Сферы были получены в Институте кристаллографии Лейбница и отполированы в Австралийском центре высокой точной оптики таким образом, что высота выступов на их поверхности не превышает 98 нм.

Для их производства использовался высокообогащенный Si-28, полученным в виде SiF₄ в ЦКБ Машиностроения (Санкт-Петербург)

Металлический кремний восстановлен из SiF₄ до металла в Институте химии высокочистых веществ РАН (Нижний Новгород).

Наличие таких практически идеальных объектов позволило с большой точностью сосчитать количество атомов кремния в шаре и тем самым определить число Авогадро:

$$6.02214084(18) \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}, \text{ с неопределенностью } 3 \cdot 10^{-8}.$$