



ЯДЕРНАЯ УСТАНОВКА "ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ, УПРАВЛЯЕМОЙ УСКОРИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОНОВ"

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»
г. Харьков, ул. Академическая, 1



Основные участники проекта - Украина, США

"У нас нет времени экспериментировать с призрачными источниками энергии, цивилизация в опасности, и нам нужно сейчас использовать ядерную энергию – единственный безопасный и доступный источник энергии, или страдать от боли, которую уже в скором времени нам причинит оскорбленная планета".

Профессор Джеймс Лавлок, основатель международного «зеленого» движения, 2004 г.



ННЦ ХФТИ, г. Харьков
Здание источника нейтронов
Общий вид



п. Пятихатки и Промплощадка ННЦ ХФТИ



Выкопировка из Генплана ННЦ ХФТИ



экспериментальный зал и экспресс-лаборатория



Я убежден, что ядерная энергетика необходима человечеству и должна развиваться, но только в условиях практически полной безопасности.

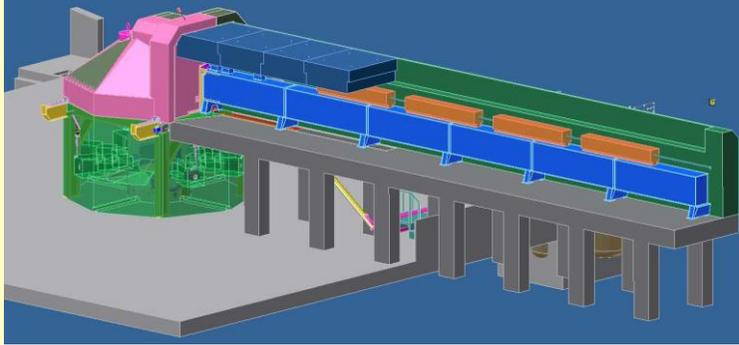
Академик А.Д.Сахаров



экспериментальные нейтронные каналы

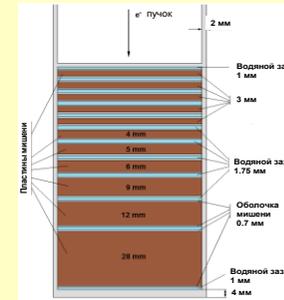
ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УСТАНОВКИ

1. линейный ускоритель электронов



В состав установки входят производственное здание и сооружения для размещения основного и технологического оборудования, а также технического персонала и исследовательских групп; инженерные системы, обеспечивающие функционирование установки в условиях нормальной эксплуатации и режиме проектных аварий; системы радиационной защиты и физической защиты ядерных и радиоактивных материалов. Функционально «Источник нейтронов» состоит из следующих основных систем:

1. линейного ускорителя электронов,
2. нейтрон-образующей мишени,
3. подкритической сборки,
4. источника холодных нейтронов,
5. экспериментальных нейтронных каналов.



2. нейтрон-образующая мишень



Задачи проекта

Главная задача проекта ядерной установки – создание в Украине современной экспериментальной базы для проведения исследований на быстрых, тепловых и холодных нейтронах в различных областях фундаментальной науки, а также для решения широкого круга прикладных проблем. Реализация этого проекта окажет в будущем серьезную научно-техническую поддержку атомной промышленности, медицинским исследованиям, а также в подготовке специалистов в области использования ядерной энергии в нашей стране. Программа научных и прикладных исследований на источнике нейтронов включает в себя следующие приоритетные направления:

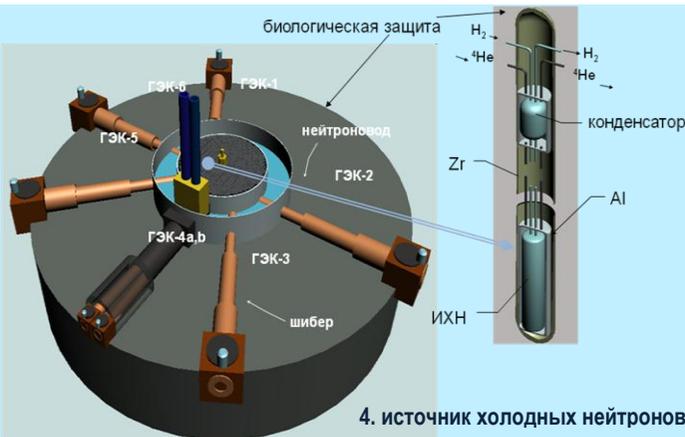
- подкритические системы
- радиационное материаловедение
- физика конденсированного состояния вещества
- ядерная физика
- нейтронная радиография
- изотопный состав образцов
- нейтронная бор-захватная терапия
- производство медицинских изотопов
- обучение персонала и молодых специалистов

3. подкритическая сборка



Основные параметры установки

Параметр	Значение
Мощность электронного пучка	~ 100 кВт
Энергия электронного пучка	100 МэВ
Выход нейтронов из мишени (U/W)	$3.28 \cdot 10^{14} / 1.91 \cdot 10^{14} \text{ н} \cdot \text{с}^{-1}$
Материал мишени	U / W
Топливо ^{235}U	обогащение $\leq 20\%$
Полный поток нейтронов в районе мишени	$\sim 2.4 \cdot 10^{13} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Полный поток нейтронов в районе отражателя	$\sim 2 \cdot 10^{13} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Максимальный поток быстрых нейтронов в районе топлива, $E_n > 0.1 \text{ МэВ}$	$\sim 1.3 \cdot 10^{13} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Замедлитель	H_2O
Графитовый отражатель	плотность $1.9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
Поглощение мощности в топливных элементах	~ 230 кВт
Выделяемая мощность в отражателе	~ 20 кВт
Выделяемая мощность в сборке	~ 350 кВт



4. источник холодных нейтронов

Физическое обоснование установки

- Для генерации начального нейтронного потока используются фотоядерные реакции, происходящие при облучении мишени из тяжелых элементов релятивистским электронным пучком.
- При конструировании мишени используется секционный принцип.
- Проект разрабатывается для получения максимально возможного потока тепловых нейтронов при сохранении величины реактивности $\rho = -0.02$.
- Активная зона подкритической сборки состоит из топливных элементов, изготовленных из изотопа урана-235 с уровнем обогащения ниже 20%.
- Вода используется в качестве замедлителя.
- Графит используется в качестве отражателя.
- Максимальный коэффициент размножения нейтронов составляет $k_{\text{eff}} = 0.98$.



5. экспериментальные нейтронные каналы

Основные направления исследований на «Источнике нейтронов» ННЦ ХФТИ

МЕДИЦИНА

- производство радиоизотопов
 - до 26 изотопов, наиболее востребованных в медицине
- нейтронная терапия
- бор-захватная терапия
 - препараты ^{10}B или Gd
 - максимальная суммарная доза 9-12 Гр

Информация

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- подготовка специалистов в области использования ядерной энергии в нашей стране.
- обучение студентов

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

- кристаллическая структура материалов
- атомная динамика, магнитные явления
- фазовые переходы
- жидкости, аморфные вещества
- физика полимеров
- молекулярная биофизика
- физика атомных кластеров и наноструктур (фуллеренов, нанотрубок)
- физика поверхности

Образование

Окружающая среда Природные ресурсы

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

- Фундаментальные свойства нейтрона
- Симметрии фундаментальных взаимодействий.
- Поиск отклонений от Стандартной модели
- Деление тяжелых ядер нейтронами
- Ядерная спектроскопия и структура ядра

ПОДКРИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- кинетика деления урана, стимулированного пучками частиц
- эксплуатационный ресурс нейтрон-производящей мишени
- пространственно-временные нейтронно-физические характеристики *ADS-системы*

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОБРАЗЦОВ

- Изучение элементного состава образцов. Предлагается два варианта его использования:
- нейтронный активационный анализ
 - нейтронный радиационный анализ

РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- материалы ядерных технологий
- наработка радиационных дефектов в металлах и сплавах
- конструкционные и реакторные материалы
- неразрушающий контроль материалов

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Передовые технологии

Конструирование материалов

Новые лекарства

Биотехнологии

Биология

Науки о материалах

Полимеры

Структурная химия

Физика твердого тела

Магнетoeлектроника

Фундаментальная физика

Жидкости и стекла

Науки о Земле

Археология

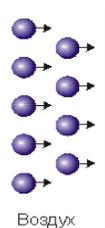
Накопления водорода

Энергетика

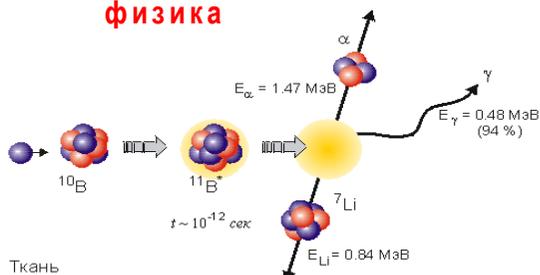
ПРИМЕНЕНИЕ «ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ» ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

НЕЙТРОННАЯ БОР-ЗАХВАТНАЯ ТЕРАПИЯ

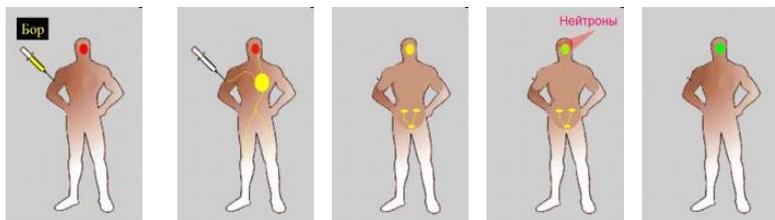
Поток эпителиевых нейтронов



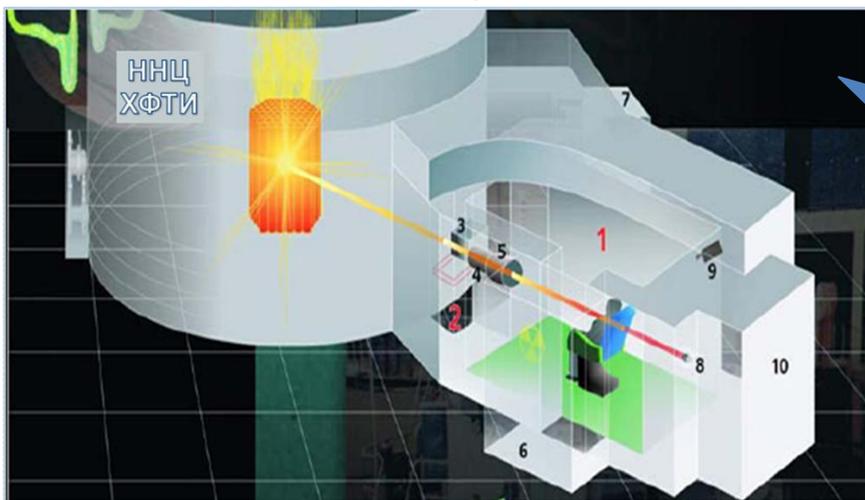
физика



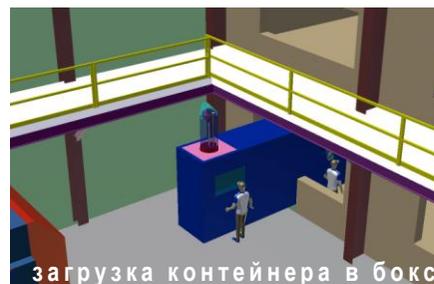
ввод препарата ^{10}B



лечение нейтронами



1 - терапевтический бокс; 2 - технологический бокс; 3 - вариный шиббер; 4 - фильтр; 5 - коллиматор; 6 и 7 - откатные двери; 8 - нейтронный датчик; 9 - лазерный центратор и телевизионная камера; 10 - нейтронная ловушка.



загрузка контейнера в бокс



тяжелый бокс для изотопов

ПРОИЗВОДСТВО РАДИОИЗОТОПОВ

«Источник нейтронов» ННЦ ХФТИ позволит получать широкий круг радиоизотопов в интересах медицины и промышленности в количествах, достаточных не только для Восточного региона Украины:

- ^{188}Re ($^{187}\text{Re}(n, \gamma)$ -реакция, $T_{1/2} = 17.005$ час) и ^{103}Pd ($^{102}\text{Pd}(n, \gamma)$ - и $^{104}\text{Pd}(n, 2n)$ -реакции, $T_{1/2} = 16.991$ дней) для терапии онкологических больных;
- ^{99}Mo ($^{98}\text{Mo}(n, \gamma)$ -, $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)$ - и $^{235}\text{U}(n, f)$ -реакции) – для получения медицинских генераторов технеция ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6,06$ лет);
- ^{192}Ir ($^{191}\text{Ir}(n, \gamma)$ -реакция, $T_{1/2} = 74,02$ лет) - для промышленного использования в диагностике (гамма-дефектоскопия);
- модифицирование свойств природных минералов для ювелирной промышленности;
- изотопов **иода, фосфора, самария, рутения, скандия и др.**

Концепция нейтронзахватной терапии была предложена G.L. Locher (Franklin Institute at Pennsylvania) в 1936 году, спустя 4 года после открытия нейтрона. Её физический принцип прост и элегантен. Раствор, содержащий стабильный изотоп бор-10, вводится в кровь человека и через некоторое время бор сорбируется в клетках. Затем опухоль облучается потоком эпителиевых нейтронов. В результате захвата теплового нейтрона стабильным изотопом ^{10}B происходит ядерная реакция и образуются энергетичные α -частицы, ион ^7Li и в 94 % случаев γ -квант. Образующиеся α -частица и ион ^7Li быстро тормозятся и выделяют энергию 2,3 МэВ на длине порядка 10 микрон, т.е. на длине размера клетки. Такое быстрое торможение и, соответственно, громадный локальный нагрев приводит к поражению именно той клетки, которая содержала ядро бора. Т.о., если обеспечить более высокую концентрацию ^{10}B в раковой клетке по сравнению со здоровой, то борнейтронзахватная терапия позволит осуществить избирательное поражение раковой опухоли.

БЕЗОПАСНОСТЬ УСТАНОВКИ

АЭС и пляж в центре г. Мол (Бельгия)



Безопасность установки «Источник нейтронов» ННЦ ХФТИ обеспечивается ее конструкцией, регламентом работ, соблюдением норм и законов Украины.

1. Концепция экологической безопасности установки разрабатывается до её реального проектирования. В рамках Технико-экономического обоснования (ТЭО) обязательно предоставляется:
 - отчет по воздействию на окружающую среду (ОВОС),
 - отчет по обоснованию безопасности (ООб),
 - отчет о соответствии санитарному законодательству Украины (ОССЗ),
2. Проводится независимая комплексная государственная экспертиза ТЭО.
3. Проект ядерной установки будет разработан в соответствии требованиями МАГАТЭ, регламентироваться законодательством и нормативной базой Украины в области использования ядерной энергии и радиационной безопасности, охраны труда, охраны окружающей среды и другими документами.
4. Для обеспечения безопасной эксплуатации нейтронного источника предусмотрен постоянный радиационный контроль и мониторинг реактивности ядерной установки.
5. На установке исключена возможность превышения значения коэффициента размножения нейтронов $k_{эфф}$ уровня 0.98, что гарантирует невозможность протекания цепной ядерной реакции.
6. Конструкция подкритической сборки исключает не предусмотренные проектом изменения объема и конфигурации активной зоны и отражателя, приводящие к увеличению $k_{эфф}$.
7. Перчаточные боксы, будут оборудованы соответствующими системами вентиляции и фильтрации, необходимые для работы с медицинскими радиоизотопами.
8. Информация о радиационной обстановке постоянно будет отражаться на специальном табло, размещенным за территорией ННЦ ХФТИ.

Основное достоинство создаваемого источника нейтронов связано с его безопасностью – в условиях нормальной эксплуатации установка всегда находится в подкритическом режиме, а при возникновении аварийной ситуации достаточно прекратить подачу пучка электронов на мишень, как практически мгновенно исчезнет нейтронный поток в подкритической сборке.

На физическом языке режим работы источника нейтронов характеризуется эффективным коэффициентом размножения нейтронов ($k_{эфф}$), т. е. отношением числа нейтронов последующего поколения к числу в предшествующем поколении во всём объеме размножающей нейтроны среды (активной зоны источника нейтронов). Для современных энергетических реакторов $k_{эфф} \approx 1$, поддержания которого на постоянном уровне специальными условиями эксплуатации реакторов обеспечивает их безопасную работу. Режим ядерных устройств с $k_{эфф} > 1$ приводит к протеканию цепной ядерной реакции, что осуществляется в ядерных боеприпасах.

Ядерные установки с $k_{эфф} < 1$ относятся к подкритическим системам, в которых цепная ядерная реакция деления не может осуществляться. Такие установки широко используются при хранении и транспортировке ядерных материалов и ТВЭЛов, в этот режим переводятся энергетические реакторы при их остановке.

Конструкция разрабатываемой установки «Источник нейтронов» спроектирована таким образом, что величина $k_{эфф}$ не может превысить значение 0.98 и в ней ни при каких условиях эксплуатации не может протекать цепная ядерная реакция. Таким образом, обеспечивается ядерная безопасность установки.

Санитарная зона установки будет ограничена стенами здания, поэтому влияние на население и внешнюю среду исключено. Это обеспечивается элементами радиационной защиты, которые тщательно рассчитаны и сконструированы. Радиационная нагрузка на персонал будет в несколько раз ниже от дозы, допускаемой законодательством Украины.