



Деградация теплопроводности композитов на основе эпоксидных смол и алмазных наполнителей под воздействием радиации

Т. Лыгденова, Д. Дементьев, Е. И. Литвиненко, Ю. Мурин, В. Михеев,
С. Себаллос, В. И. Стегайлов, С.И. Тютюнников.

План презентации:

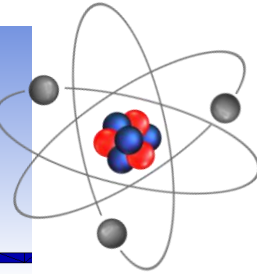
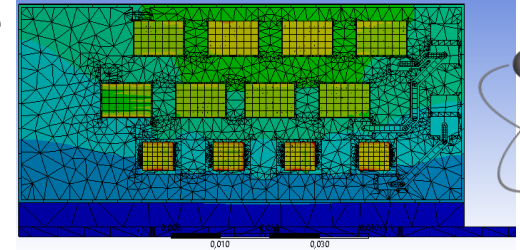
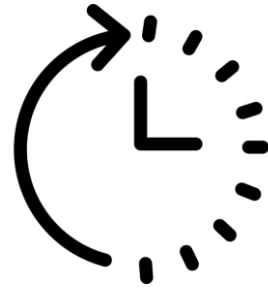
- Структура статьи
 - Облучение образцов
 - Моделирование с использованием FLUKA и MNCРХ
 - Расчет поглощенной дозы
- Полученные результаты и их обсуждение

Что такое радиационно стойкий клей?

Специальные клеи, разработаны для сред с высоким уровнем радиации (например, атомные электростанции, космическая техника, считывающая электроника).

Основные требования к термоинтерфейсам в электронике ускорителей:

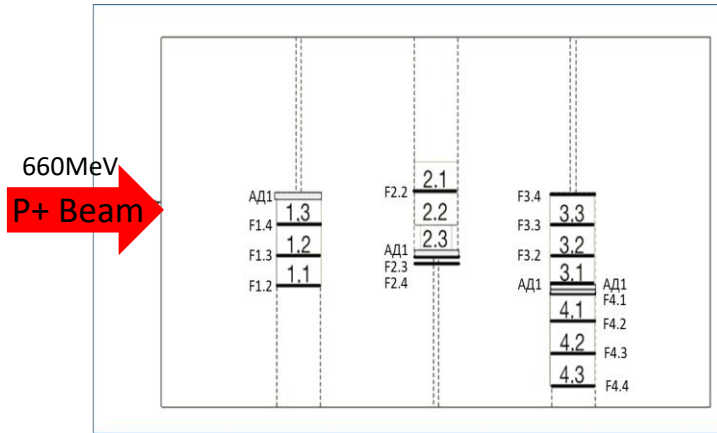
- Высокая теплопроводность (критически важна для эффективного отвода тепла в электронике)
- Высокое электрическое сопротивление
- Долговечность (большинство аналогов представляют собой пасты, которые нельзя использовать в течение нескольких лет)
- Радиационная стойкость



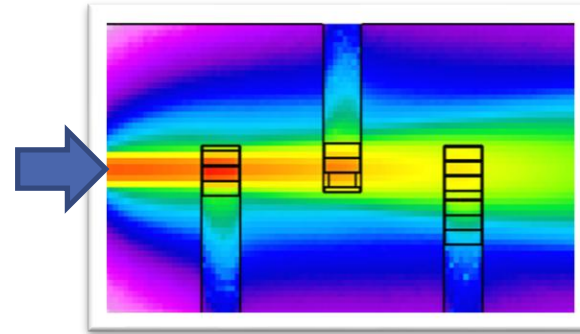
or



Методика эксперимента



Облучение образцов



and

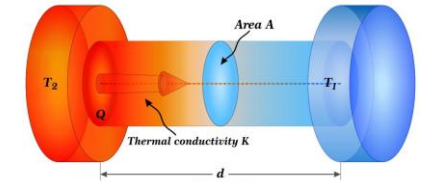


Анализ

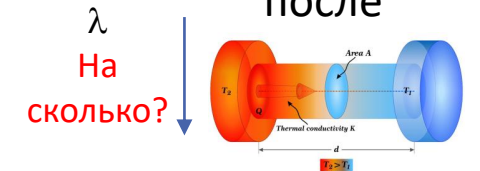
- Моделирование с использованием FLUKA и MNCPRX
- Расчет поглощенной дозы

Теплопроводность λ

до



после



λ
На
сколько?

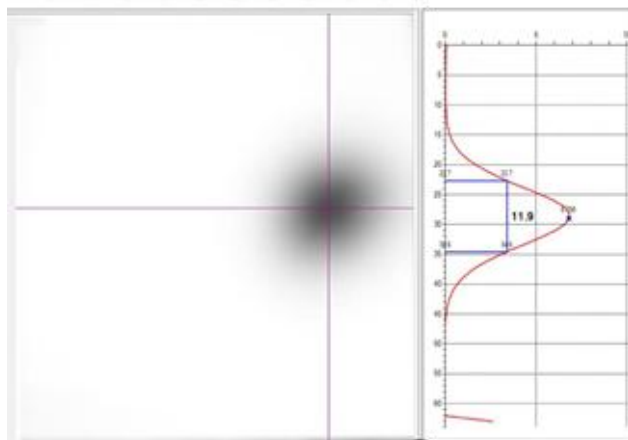
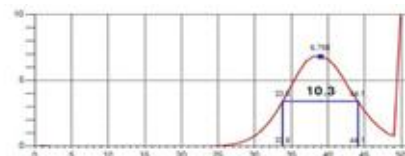
Сравнение значений
теплопроводности до и
после облучения



Samples

Алюминиевые
мониторные мишени

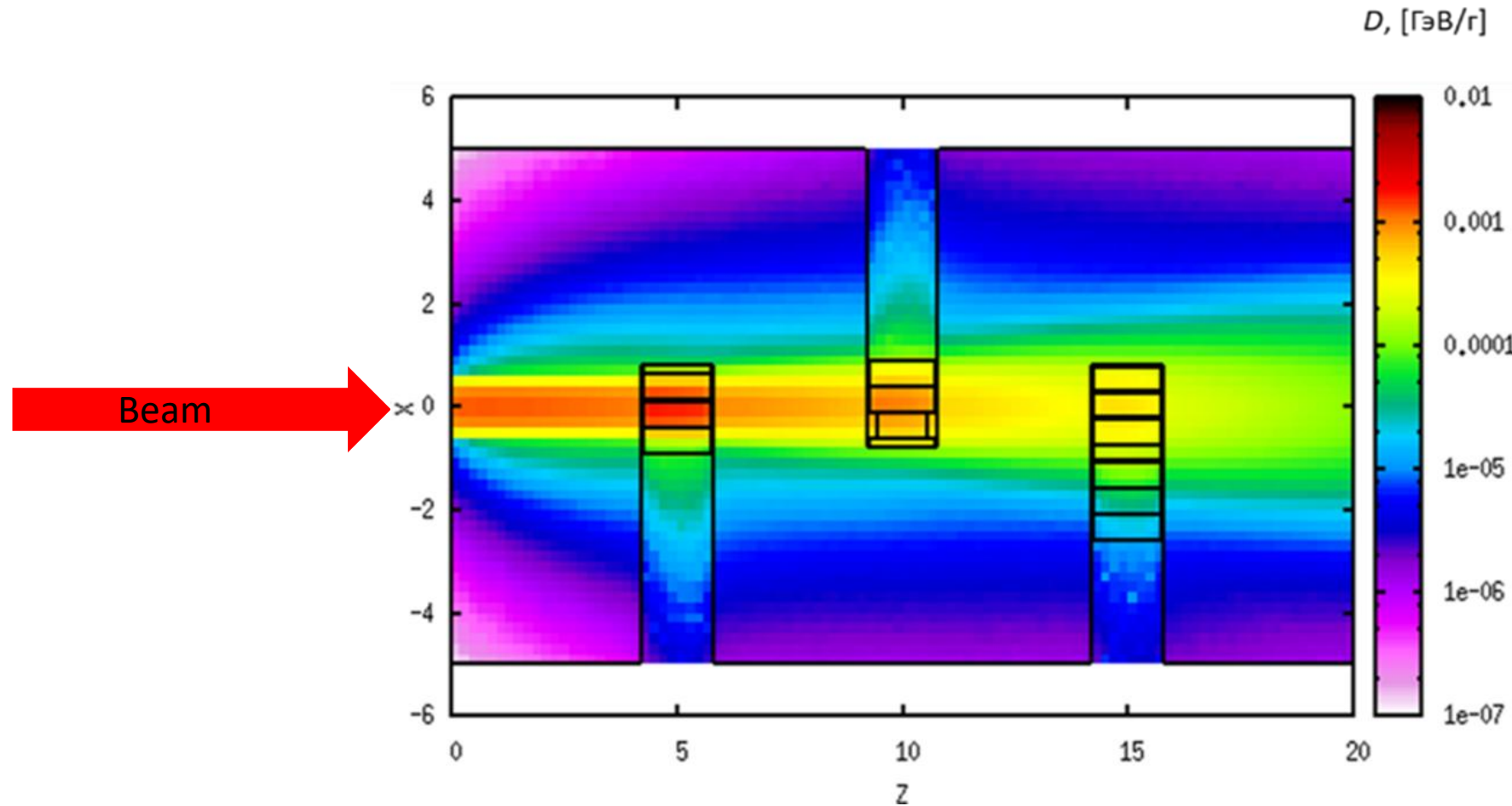
Профиль в виде Гаусса



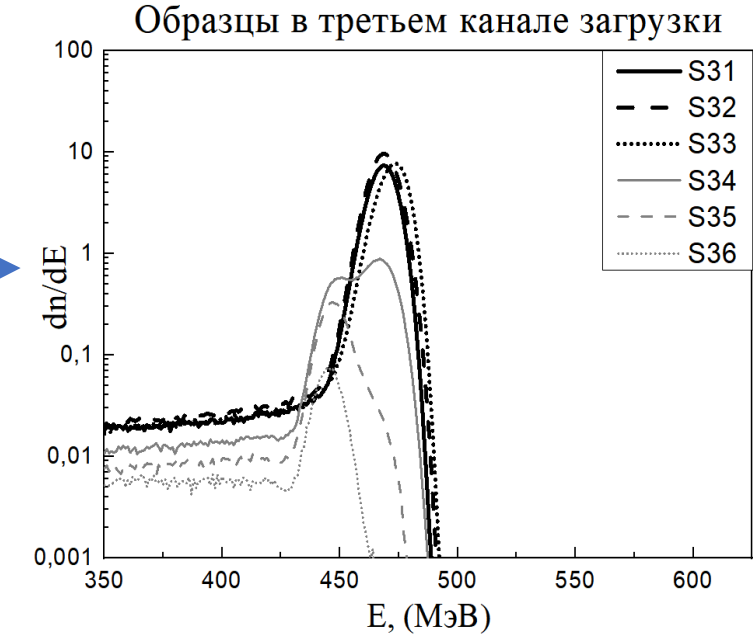
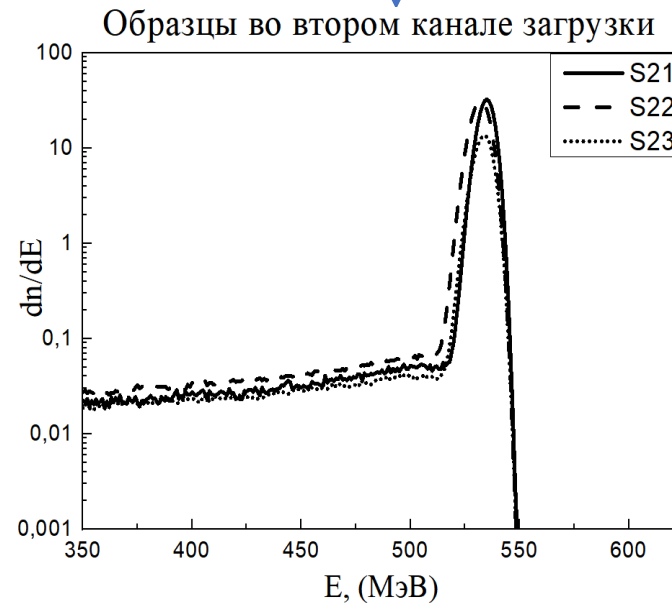
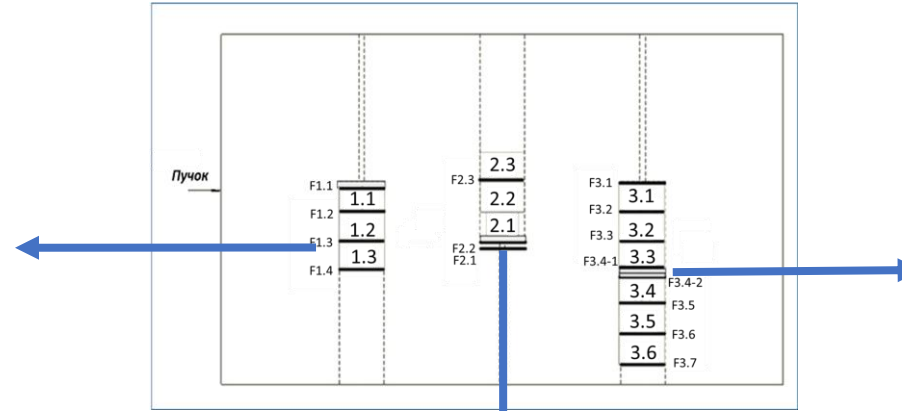
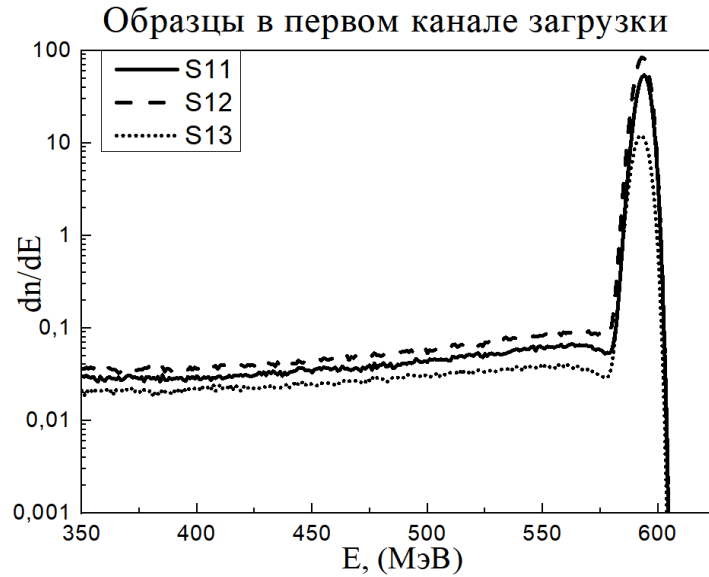
Размеры образцов: $\varnothing$ 15 мм, d = 5 мм.
Алюминиевые мишени: $\varnothing$ 15 мм,
d = 80 мкм.

Свинцовая мишень облучалась пучком протонов фазотрона ЛЯП ОИЯИ
Диаметр пучка – **10 мм**
Энергия протонов в пучке - **660 МэВ**
I = 1 мкА
Время облучения - **15 мин**

Пространственные распределения поглощенных доз в сборке



Энергетические спектры протонов



Определение флюенса частиц

Активность измеряемой нами алюминиевой мишени находилась по формуле

$$N = A_0 / \lambda \quad \rightarrow \quad A_0 = \frac{S / \tau}{\gamma(^{22}\text{Na}) * e^{-\lambda t} * \epsilon}$$

Флюенс частиц

$$F = \frac{N * M}{\sigma * \rho * N_A * V}$$

N - Вероятность ядерного взаимодействия,
 M - молярная масса алюминия,
 σ - эффективное сечение ядерной реакции (^{22}Na) (экспериментальные данные работы*),
 ρ - плотность алюминия,
 N_A - число Авогадро,
 S - объем алюминиевой мишени

Нуклид	Время полураспада нуклида	Энергия γ -лучей (кэВ)	квантовая эффективность (%)
^7Be	53 дней	477,6	10,44
^{22}Na	2,6 года	1274,5	99,9
^{24}Na	15 часов	1368,6 2745	99,99 99,86

$\sigma(E)^*$

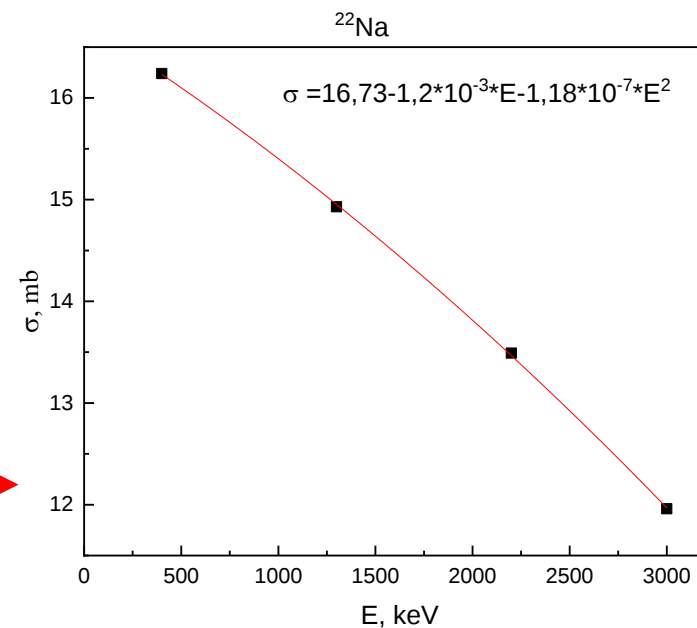


График зависимости поперечного сечения активации от энергии частиц элемента ^{22}Na

Определение поглощенной дозы

Расчеты на MNCРХ*, указывают на то, что дозовые нагрузки на образцы создаются преимущественно протонами с вкладом нейтронной компоненты, не превышающей величину в 2 % от общей дозы, полученной образцом.

Проведена оценка тормозной способности элементов(s), входящих в состав адгезивов:

$$s = \sum_i \omega_i * \left(\frac{dE}{dx} \right)_i$$

Так как толщины образцов (d) существенно меньше полного пробега протонов в мишени-контейнере, то при расчете энергии (E), выделяемой протоном в образце изменением тормозной способности протона во время его прохождения через образец, можно пренебречь:

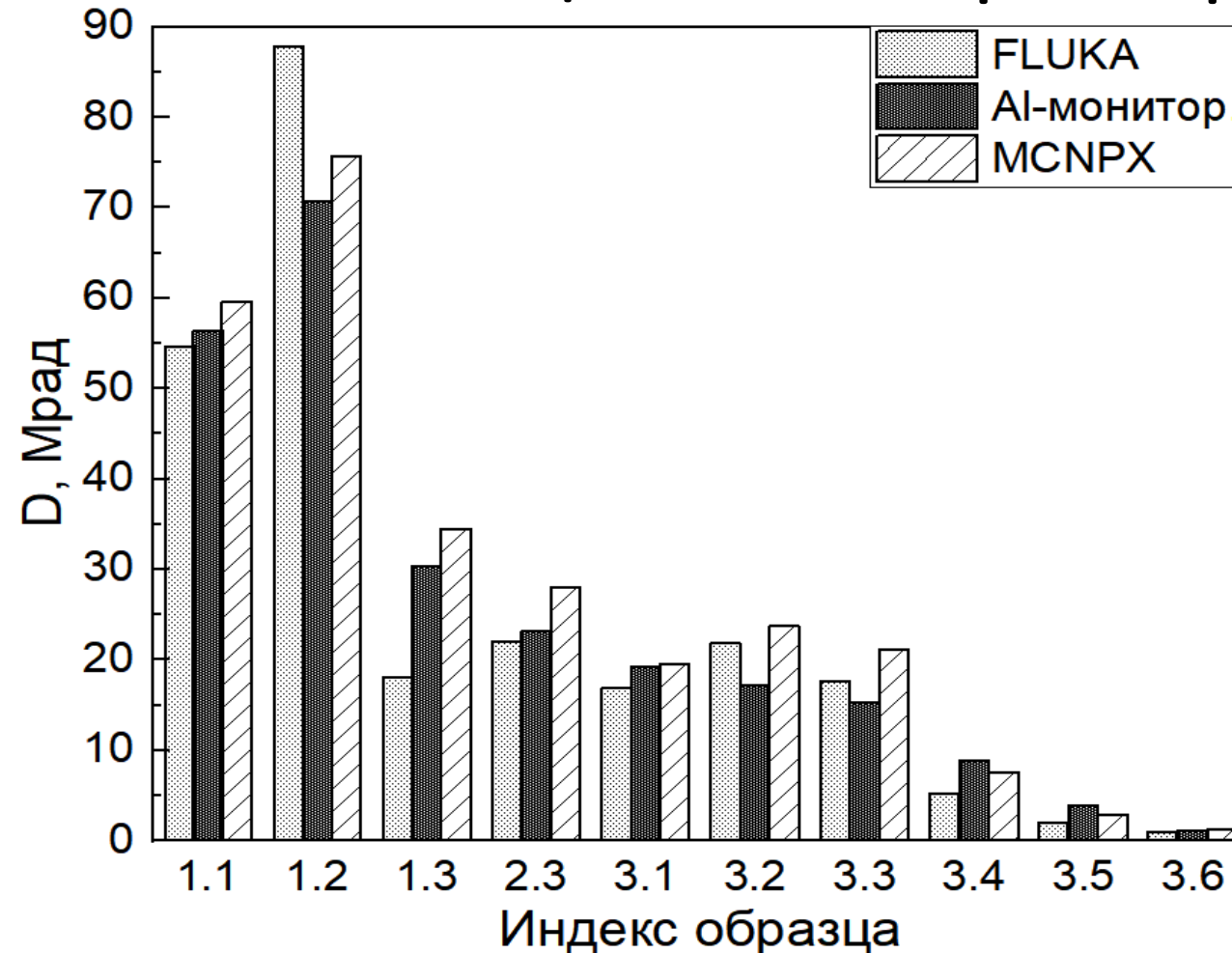
$$E = \left(\frac{dE}{dx} \right)_0 * \rho * d$$

Откуда окончательно получаем оценку для поглощенной дозы образцом

$$D = \frac{\rho * d * \left(\frac{dE}{dx} \right)_0 * F * S}{m}$$

*Компьютерное моделирование с использованием программы MNCРХ провел С. Себаллос.

Поглощенные дозы, рассчитанные в рамках FLUKA, MCNPX и по данным активации мониторных фольг, МаД



Разница (**D**) между 2 моделями (FLUKA, MCNPX) составляло ~ **28%**

Разница (**D**) между моделированием (FLUKA, MCNPX) и расчетными данными (активации AI) составляло ~ **17%**

Измерение теплопроводности

Размер образцов: $\varnothing 15 \text{ мм}$, $d = 5 \text{ мм}$.

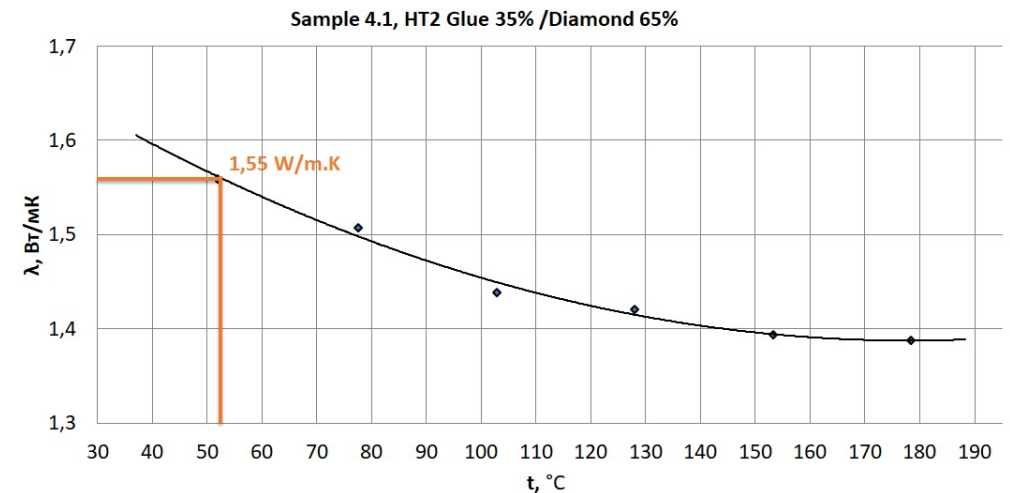
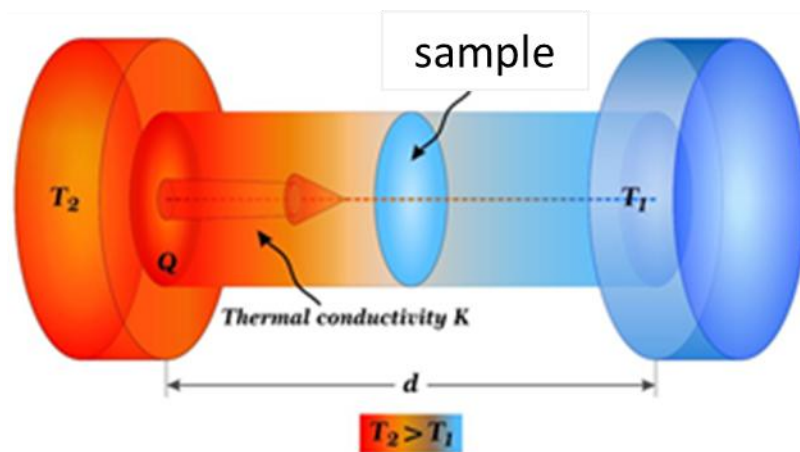
Оборудование - ИТЭМ-1М

Время измерения: $t \leq 2,5 \text{ hours}$

Измерения проводил В.Мехеев в Всероссийском НИИ метрологии имени Д. И. Менделеева

Формула теплопроводности материалов

$$\lambda = \frac{Qd}{S\Delta T}$$



Типичный результат измерений теплопроводности

Теплопроводность образцов до и после облучения

Измеренные образцы:

№1. Клей HT2 23 %

Алм. порошок - 77 %

Две фракции алмаза

D1 – 8.5 $\mu\text{м}$ – 56%

D2 – 50 $\mu\text{м}$ – 21%

№2. Клей HT2

Алм. порошок - 65%

D2 – 8,5 $\mu\text{м}$ -75%

№3. Клей ED -20

Алм. порошок - 50%

D1 - 8.5 $\mu\text{м}$ - 37%

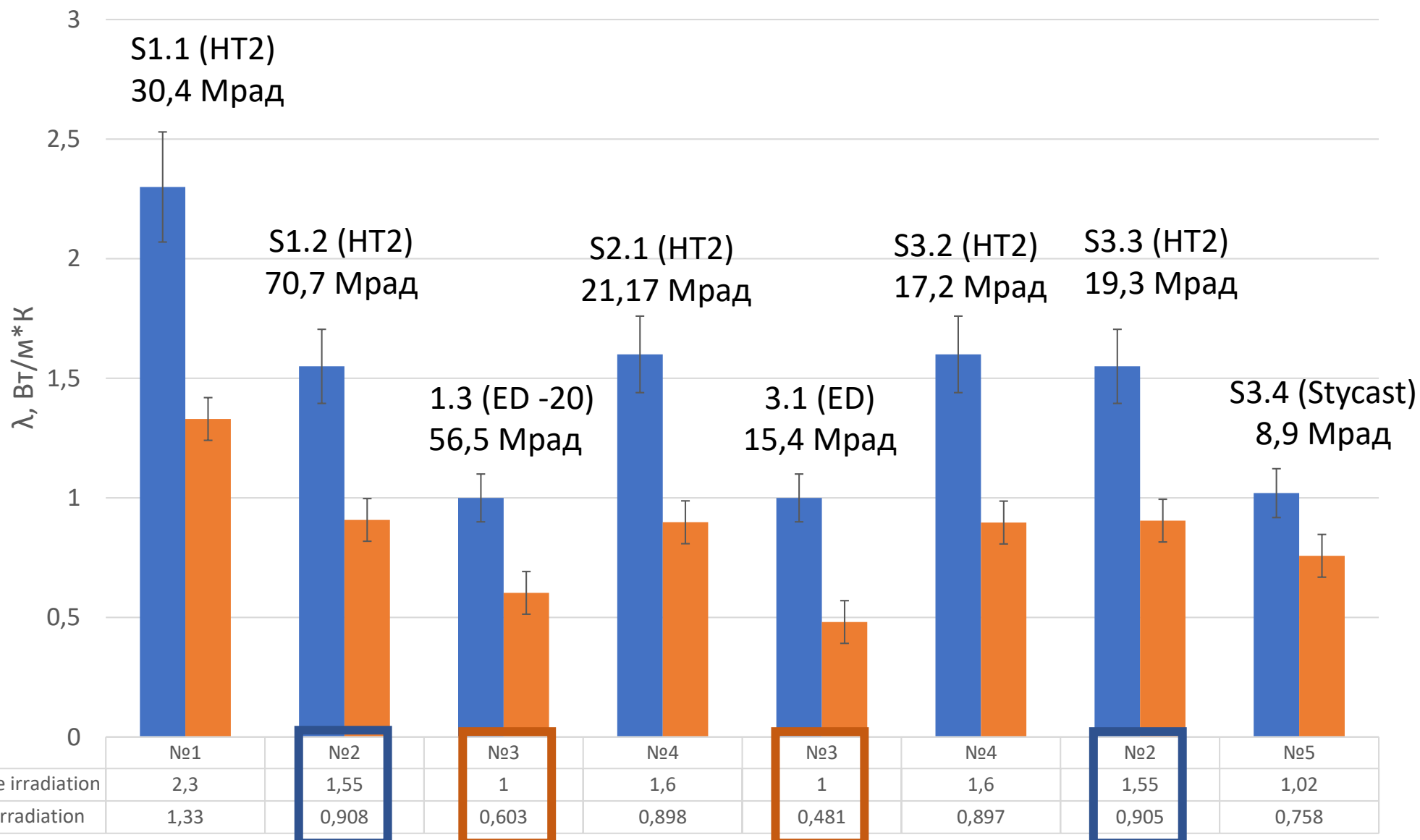
D2 – 50 $\mu\text{м}$ – 13%

№4. Клей HT2

Алм. порошок - 65%

D1 – 8.5 $\mu\text{м}$ - 35%

№5. Stycast 2850FT



Заключение

- ❖ *Разработан достаточно простой метод исследования деградации термических свойств композиционных диэлектрических клеев (из эпоксидной смолы и алмазного порошка).*
- ❖ *Доза, поглощенная облученными образцами клея, была определена с помощью анализа активации алюминиевых фольг, размещенных рядом с образцами, и объединена с теоретическими оценками, рассчитанными с использованием моделирования FLUKA и MCNPX.*
- ❖ *Точность метода определения дозы поглощения оценивается в 25-30%.*
- ❖ *Теплопроводность (измеренная с точностью 10%) облученных образцов снизилась на 40-50% в диапазоне доз от примерно 8 до более 70 Mrad.*
- ❖ *Основным преимуществом метода является простота и возможность получения данных о разных уровнях дозы за одно облучение.*

Благодарности

Мы благодарны за помощь в проводке и настройке пучка протонов сотрудникам фазотрона ЛЯП ОИЯИ Н.Г. Шакуну, Г. В. Мицыну, С.А. Густову.

И нашему коллеге В.В.Елше за помощь в приготовлении мониторинговых алюминиевых мишеней

Спасибо
за
внимание

