
Лазер-плазменный источник тормозного излучения для радиографии плотных объектов

Флегентов В.А., Сафронов К.В., Шамаева Н.Н., Горохов С.А.,
Борисов Е.С., Гаврилов Д.С., Титаренко Н.Ю., Потапов А.В.



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Схема измерений выхода и углового распределения СЖРИ ($E_\gamma > 0,1$ МэВ)

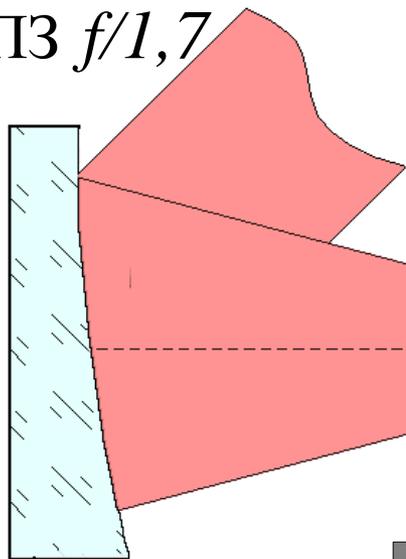
Nd:glass, CPA, $\lambda_L = 1053$ нм

Энергия импульса, E_L : до 40 Дж

Длительность импульса, τ_L : ~ 1 пс

Интенсивность, I_L : ~ 10^{19} Вт/см²

ВПЗ $f/1,7$



W мишень

45°

$r_2 = 355$ мм

спектрометр
СЖРИ №2

$r_m = 40$ мм

спектрометр
СЖРИ №1

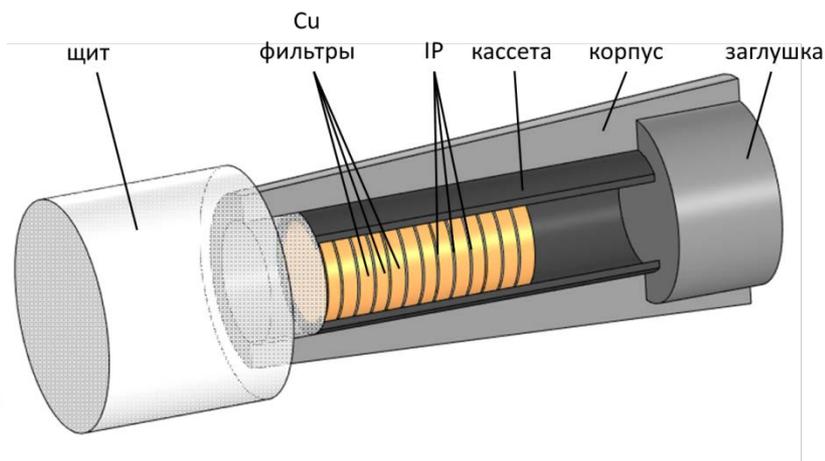
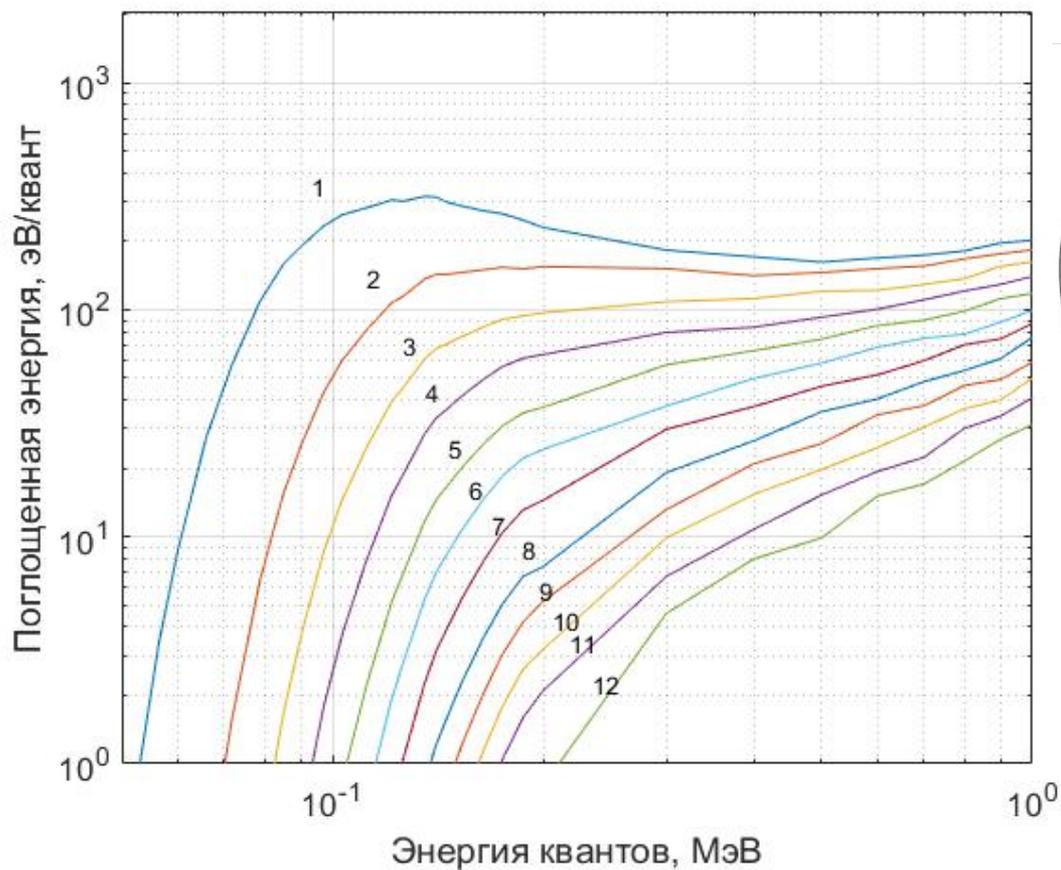
$r_1 = 355$ мм

Pb 8mm IP 4mm Pb

Монитор пучка

Толщина W мишени: 0,5÷3,5 мм

Измерение спектров СЖРИ ($E_\gamma > 0,1$ МэВ) методом дифференциальных фильтров



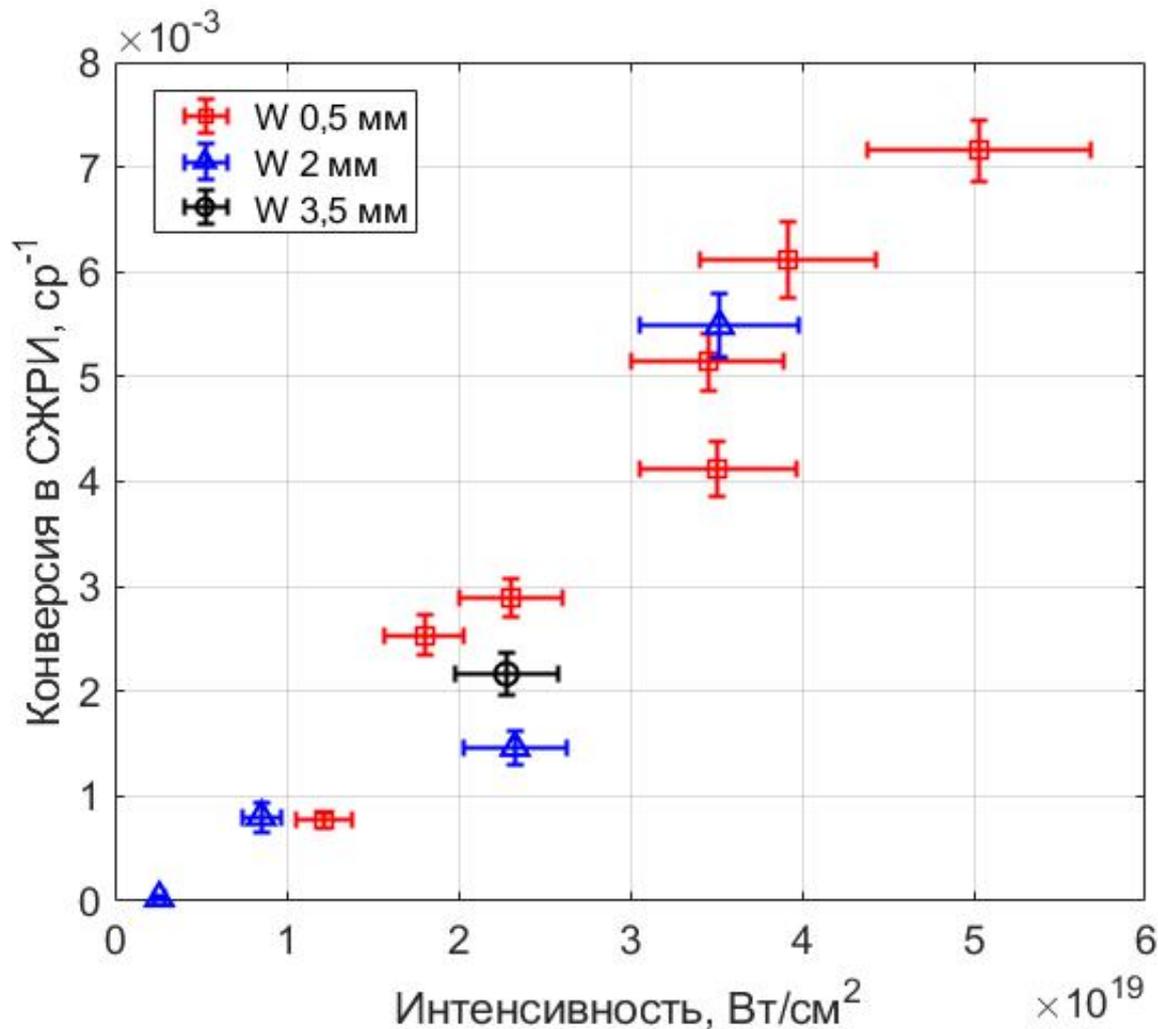
Столбец из 12 детекторов Image Plate

$$sig_i^{расч} = \int_0^{10 \text{ МэВ}} S_i(E) \exp\left(-\frac{E}{T_{hot}}\right) dE$$

$S_i(E)$ – спектральная чувствительность i -го канала (детектора);

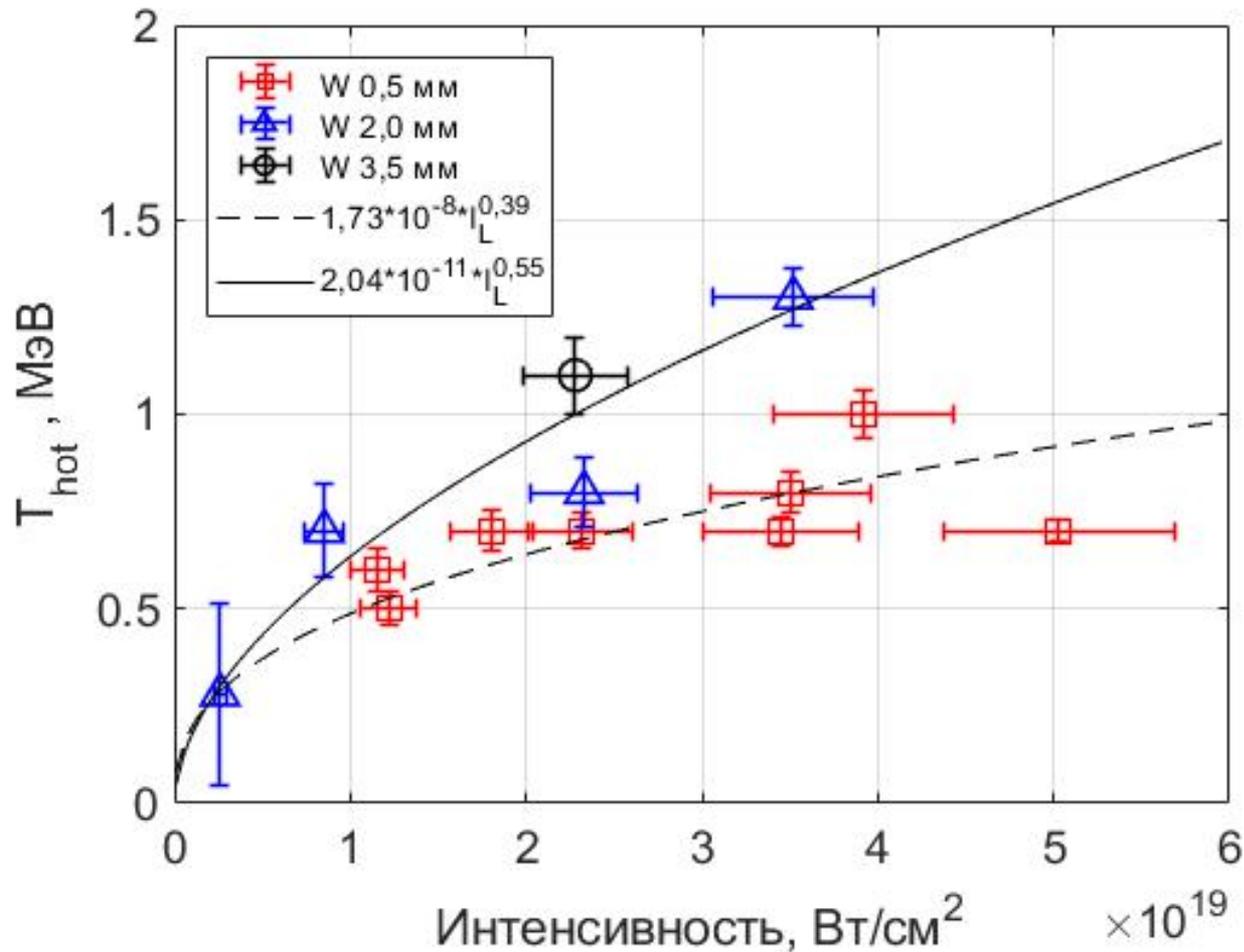
T_{hot} – характерная температура спектра;

Зависимость конверсии в СЖРИ ($\varphi=45^\circ$) от интенсивности и толщины мишени



$\eta_{45^\circ} \sim I_L$; зависимость от толщины мишени не прослеживается

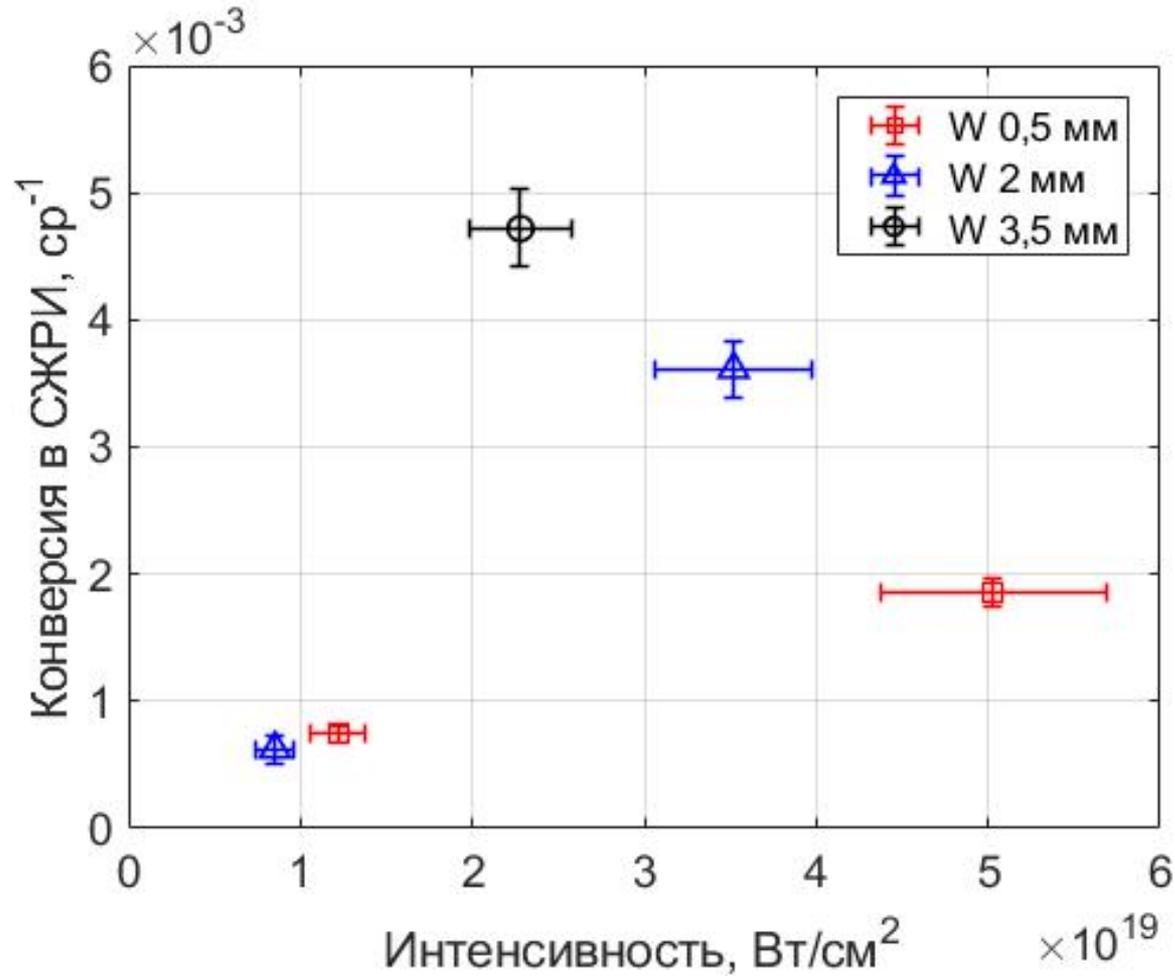
Температура распределения квантов СЖРИ (угол измерения $\varphi=45^\circ$)



$$T_{hot}[W_t=0,5 \text{ мм}] \sim I_L^{(0,39 \pm 0,15)}$$

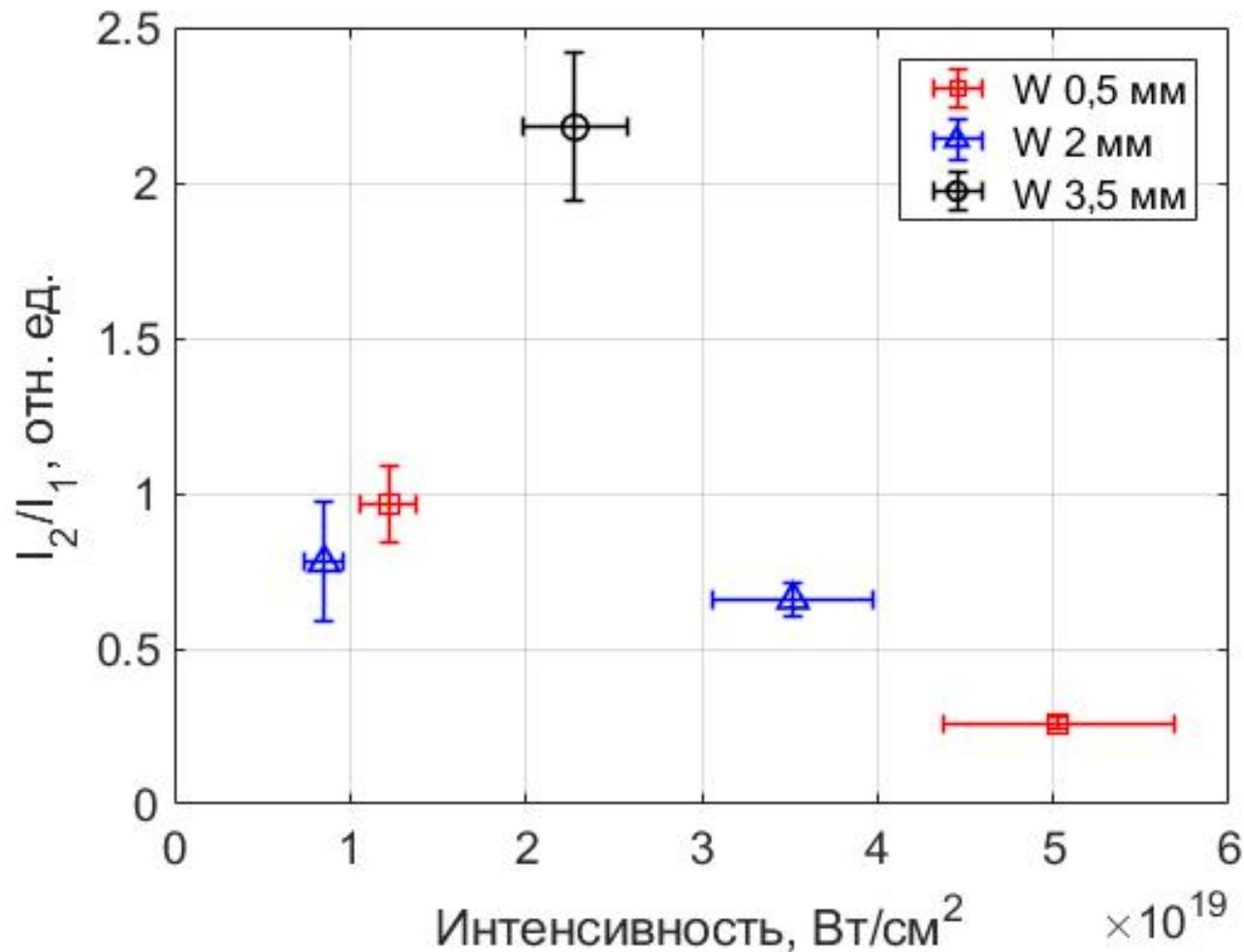
$$T_{hot}[W_t=2 \div 3,5 \text{ мм}] \sim I_L^{(0,55 \pm 0,18)}$$

Зависимость конверсии в СЖРИ ($\varphi=0^\circ$) от интенсивности и толщины мишени

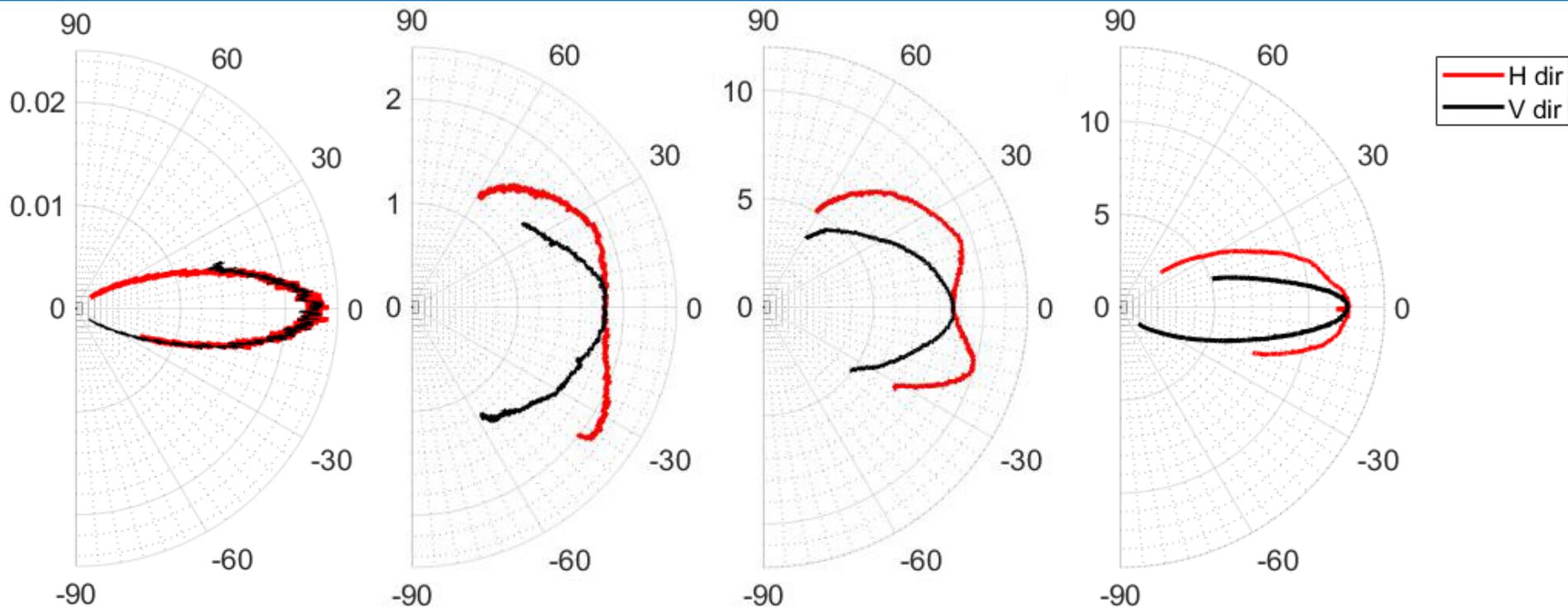


$\eta_{0^\circ} \sim I_L \times \exp(t[\text{мм}]/2)$; максимальный выход $Y_{max} \sim 10^{12}$ МэВ/ср

Измерение угловой направленности выхода СЖРИ под углами $\varphi=0^\circ$ и $\varphi=45^\circ$



Восстановление углового распределения дозы по снимку с «Монитора пучка»



W 0,5 мм

$E_L=2,8$ Дж;

$I_L=1,2 \times 10^{18}$ Вт/см²

W 0,5 мм

$E_L=16,2$ Дж;

$I_L=1,5 \times 10^{19}$ Вт/см²

W 0,5 мм

$E_L=35,6$ Дж;

$I_L=1,5 \times 10^{19}$ Вт/см²

W 1,5 мм

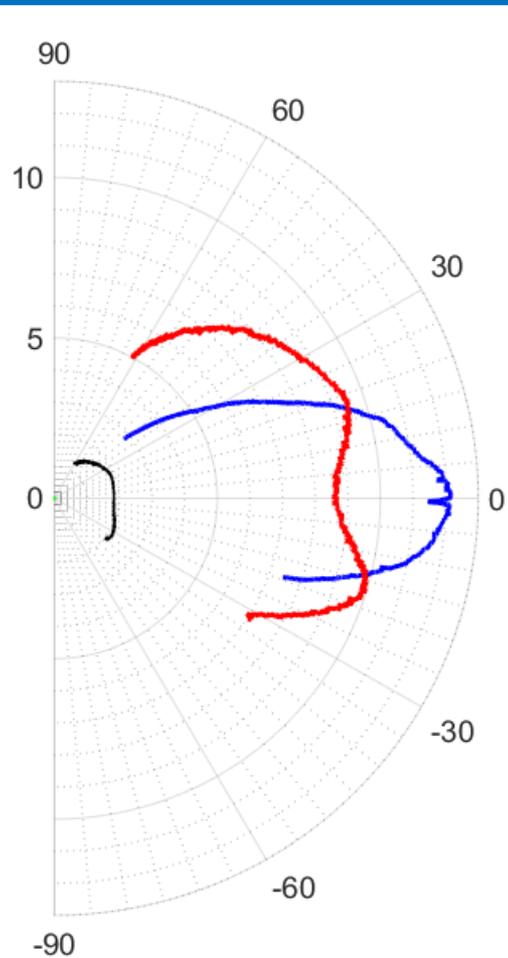
$E_L=32$ Дж;

$I_L=3,4 \times 10^{19}$ Вт/см²

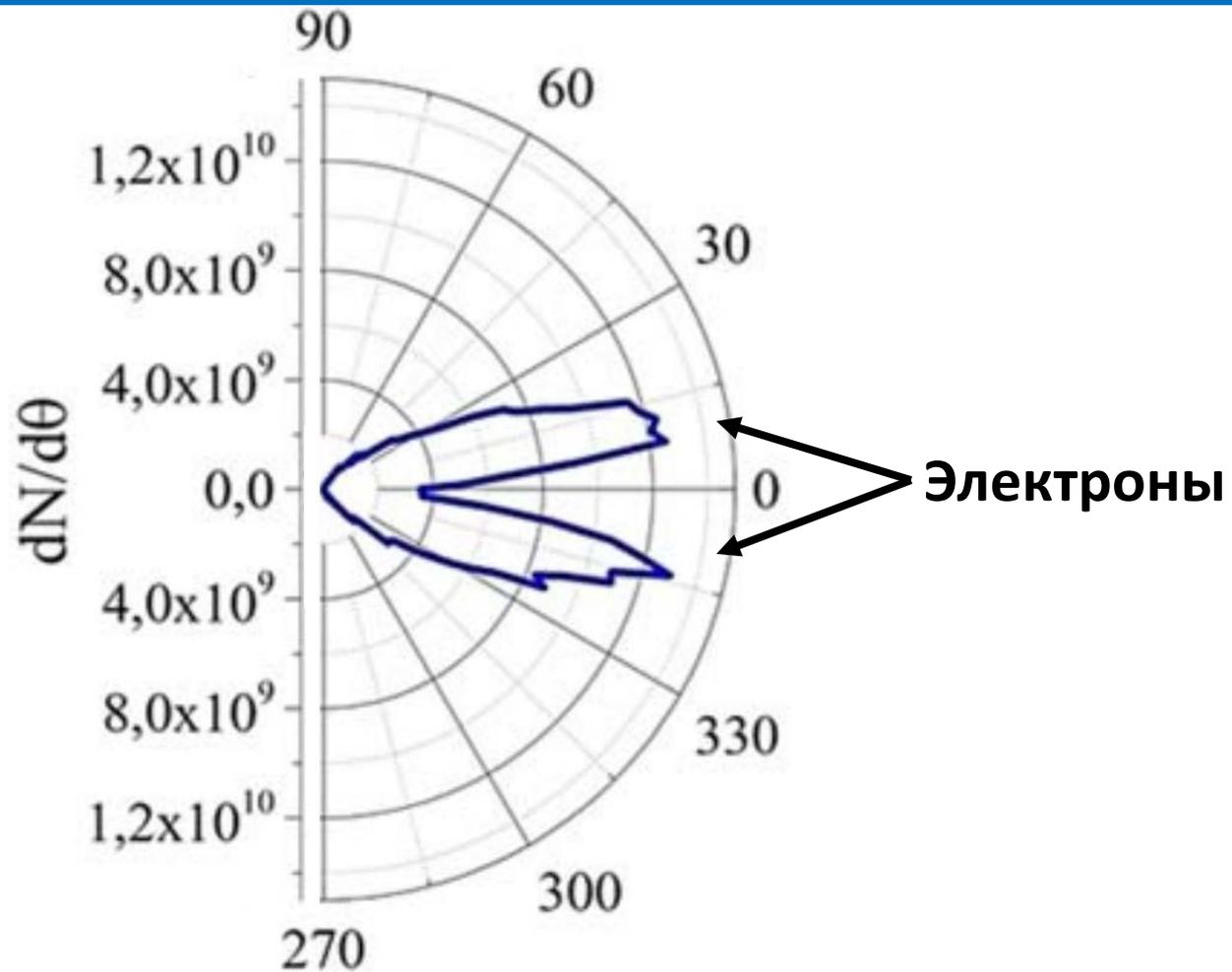
H dir – срез совпадает с плоскостью поляризации

При $I_L > 10^{19}$ Вт/см² в плоскости поляризации наблюдаются два пика в распределении дозы симметричных относительно центральной оси.

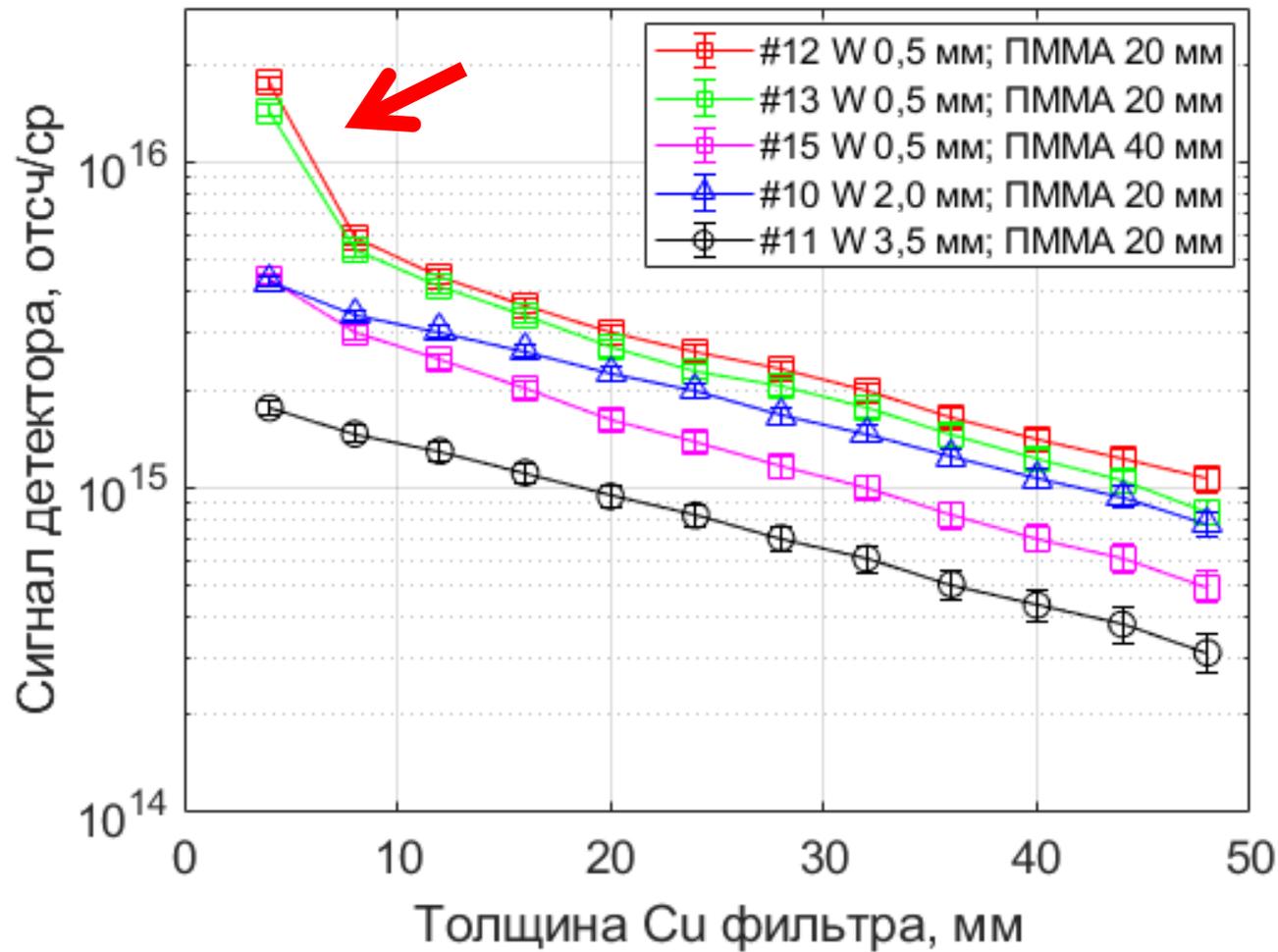
Угловое распределение дозы в плоскости поляризации



- W 1,5 мм; 32 Дж; $3,4 \times 10^{19}$ Вт/см²
- W 0,5 мм; 2,8 Дж; $1,2 \times 10^{18}$ Вт/см²
- W 0,5 мм; 16,2 Дж $1,5 \times 10^{19}$ Вт/см²
- W 0,5 мм; 35,6 Дж $1,5 \times 10^{19}$ Вт/см²



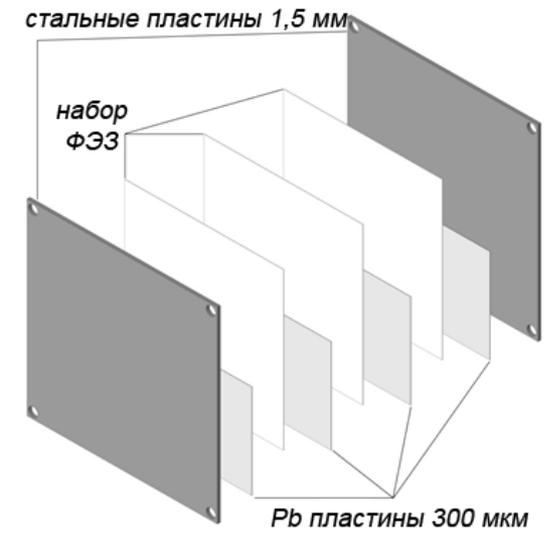
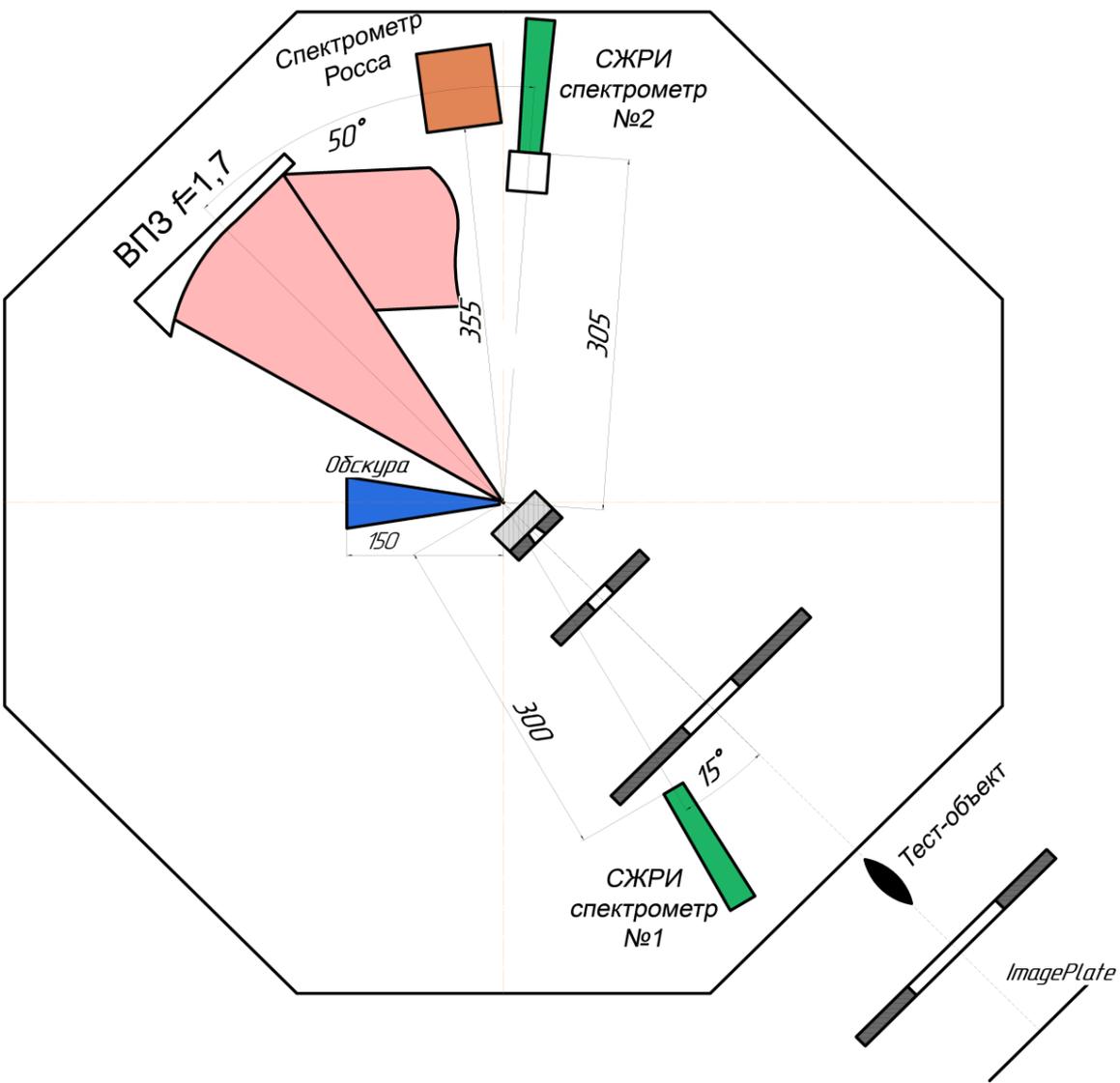
Потоки релятивистских электронов с тыльной стороны мишени



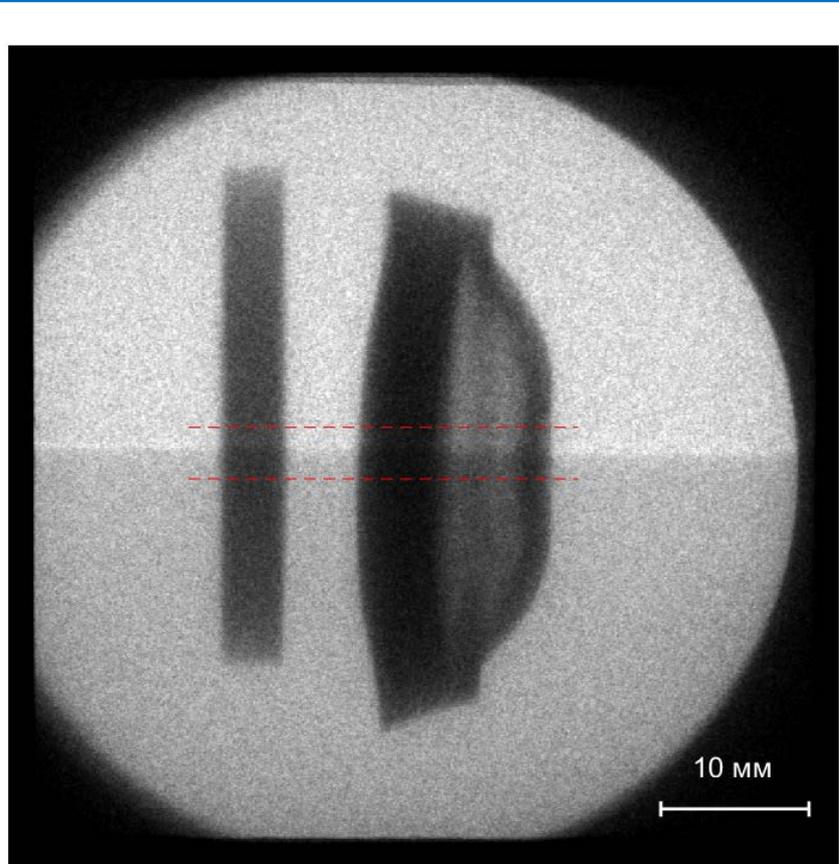
Наблюдаемые потоки релятивистских электронов были устранены при помощи Al защиты толщиной 30 мм установленной с тыльной стороны мишени.

Схема экспериментов с радиографией сохранённого образца ЛГП мишени из стали

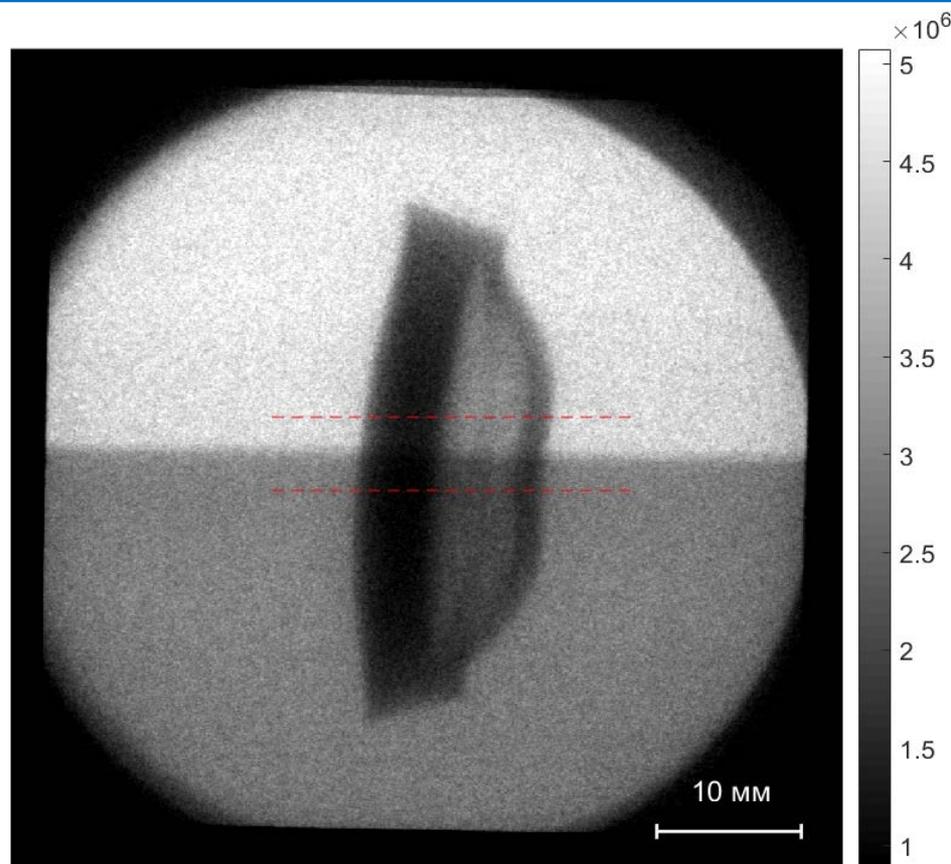
Внешний вид стального образца



Теневые радиографические изображения стального образца

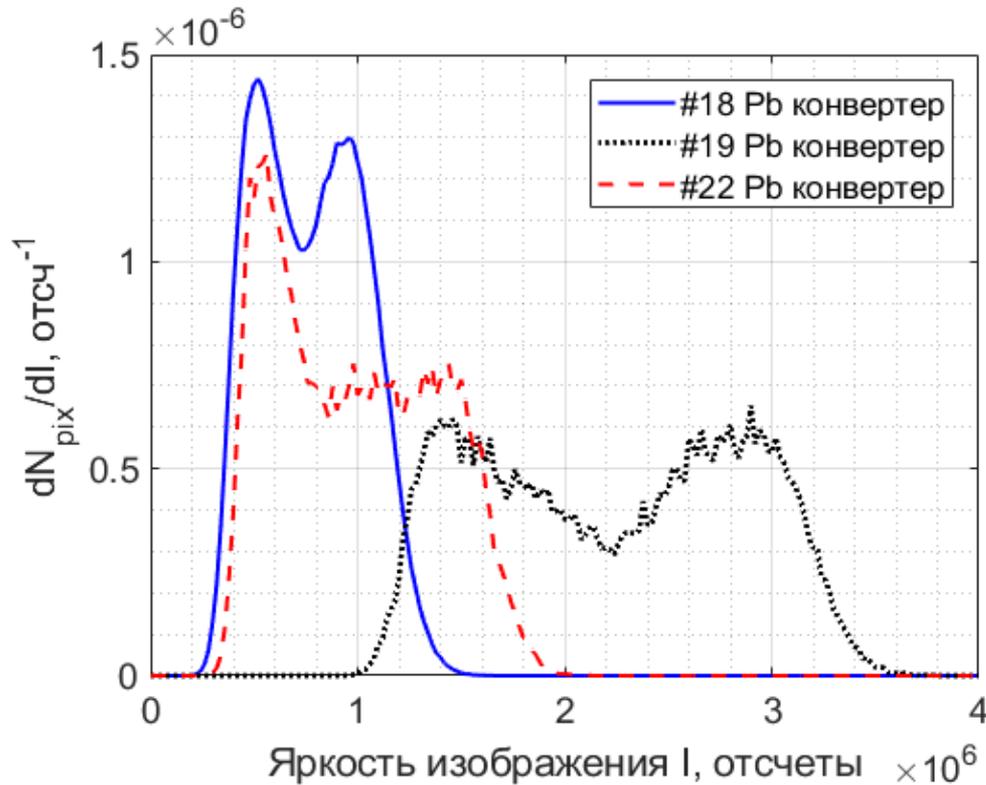


$W, 0,5 \text{ мм}; E_L=32,4 \text{ Дж};$
 $I_L=1,4 \times 10^{19} \text{ Вт/см}^2$



$W, 2 \text{ мм}; E_L=40,4 \text{ Дж};$
 $I_L=2,4 \times 10^{19} \text{ Вт/см}^2$

Анализ качества радиографических изображений



$$L_D = \frac{I_{max} - I_{min}}{\sigma}$$

I_{max} и I_{min} – максимальная и минимальная яркость изображения объекта;
 σ – шум изображения.

Необходима оптимизация спектра РИ под диапазон просвечиваемых толщин объекта

На пикосекундной лазерной установке проведены эксперименты по генерации СЖРИ из плоских W мишеней при интенсивности ЛИ $\sim 10^{19}$ Вт/см².

Зарегистрированы вспышки квантов тормозного излучения ($E_\gamma > 0,1$ МэВ) с температурами спектральных распределений от 0,3 до 1,3 МэВ.

Зависимость конверсии в тормозное излучение от интенсивности и толщины W мишени можно описать выражением $\eta_0^\circ \sim I_L \times \exp(t[\text{мм}]/2)$. Достигнутая в экспериментах конверсия $\eta \sim 5 \times 10^{-3}$ ср⁻¹.

Наблюдается сужение углового распределения выхода РИ при увеличении толщины мишени.

При интенсивностях $I_L > 10^{19}$ Вт/см² в плоскости поляризации обнаружены два симметричных относительно центральной оси дозовых пика. Угол между пиками составляет $\sim (40 \div 60)^\circ$. Пики объясняются распределением потоков релятивистских электронов свойственных пондеромоторному механизму ускорения.

При помощи источника получены теневые радиографические снимки образца отработанной мишени легкогазовой пушки.

Спасибо за внимание!

Флегентов Владимир Александрович
ЦЛФИ, РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск
dep5@vniitf.ru