



РОСАТОМ



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕДЫМПУЛЬСОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ТВЕРДОТЕЛЬНЫМИ МИШЕНЯМИ

К.В. Сафронов, С.А. Горохов, В.А. Флегентов, Д.С. Гаврилов,
Е.А. Лобода, А.Г. Какшин, Д. А. Вихляев

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ-ВНИИТФ), г. Снежинск, Россия, dep5@vniitf.ru

ВВЕДЕНИЕ

Поверхностные механизмы генерации «горячих» электронов:

- вакуумный нагрев;
- пондеромоторное ускорение;
- $j \times B$ нагрев;
- ...

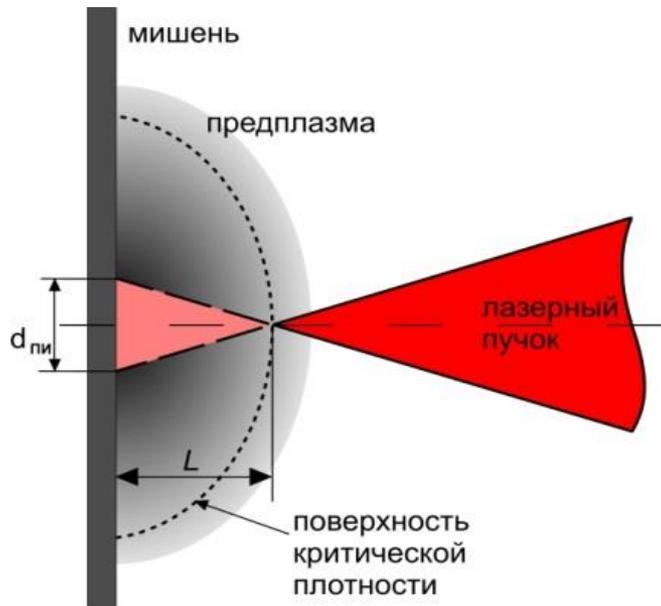
Скейлинги:

1. $T_{\text{hot}} \sim (I\lambda)^{1/2}$ S.C. Wilks et al., Phys. Rev. Lett. **69**, 1383 (1992)
2. $T_{\text{hot}} \sim (I\lambda)^{1/3}$ F.N. Beg et al., Phys. Plasmas, **4**, 447 (1997)

Объемные механизмы генерации «горячих» электронов:

- кильватерное ускорение электронов;
- ускорение в квазистатических электрическом или магнитном полях;
- стохастический нагрев;
- релятивистская самофокусировка;
- ...

Постановка экспериментов



Предымпультс

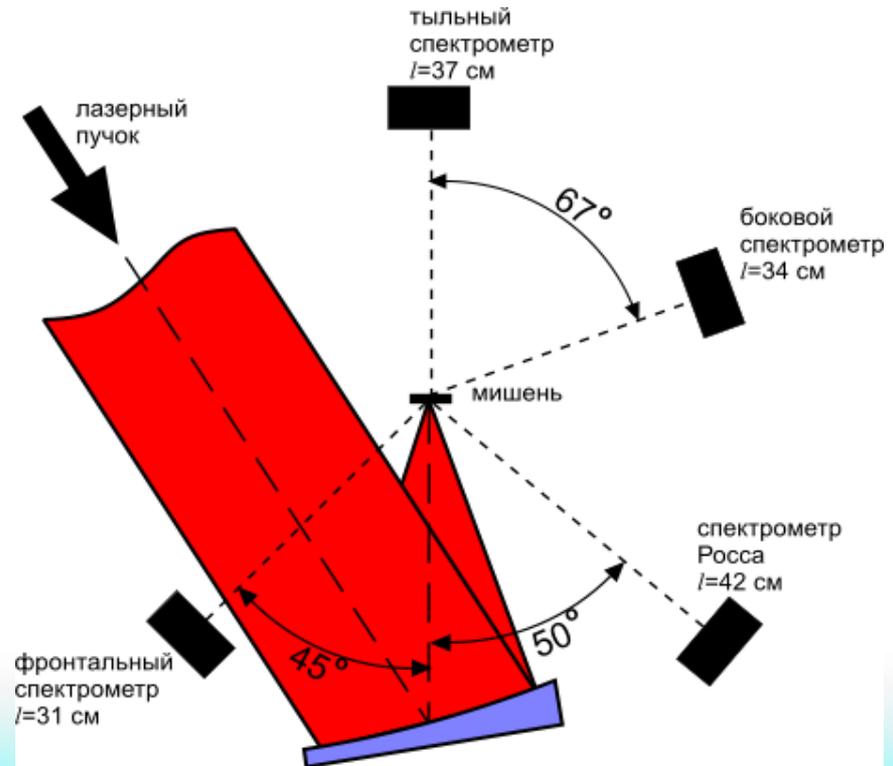
- **длительность** $0,8 \div 1$ нс;
- **опережение** 1,2 нс;
- **контраст** 10, либо 10^2 , либо 10^3

Лазер

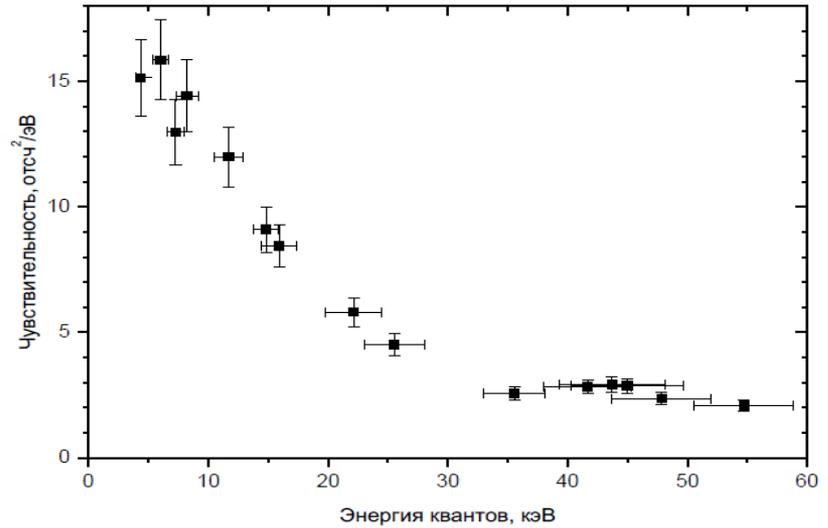
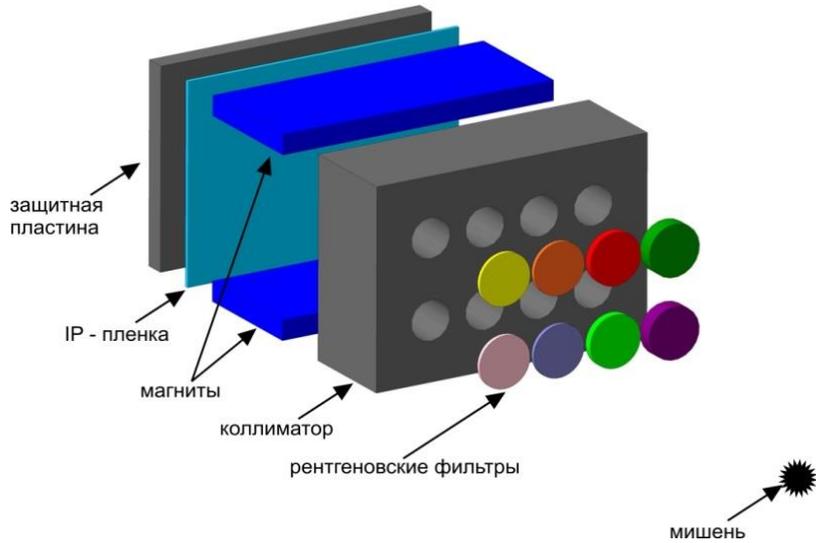
- **длительность** $0,8 \div 1$ нс;
- **интенсивность** $(2,5 \div 4,2) \cdot 10^{19}$ Вт/см²

Фокусировка $f/1,6$

Мишени Ta 100 мкм, облучение по нормали



Спектрометры рентгеновского излучения

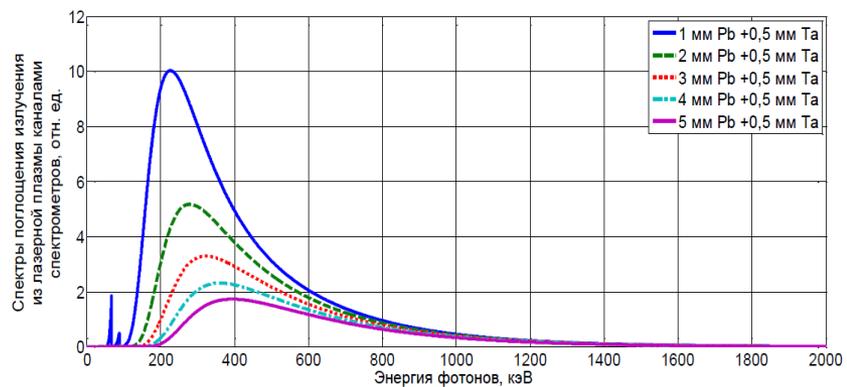
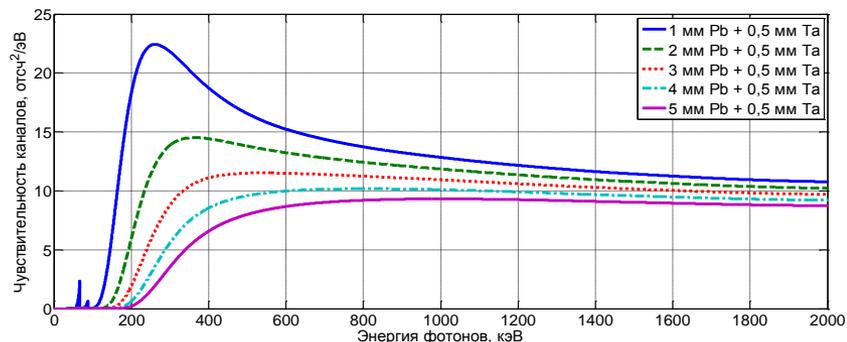


Чувствительность IP – детекторов BAS-MS к рентгеновскому излучению при сканировании через 80 минут после облучения при настройках сканера GE Typhoon 7000 IP: PMT = 500 V, Latitude = L5, Pixel size = 25 μ m

σ_I (менее 13,5 кэВ)	σ_{II} (от 13,5 кэВ до 37,4 кэВ)	σ_{III} (более 37,4 кэВ)
(15,3 \pm 1,7) отсч ² /эВ	(11,7 \pm 0,6) отсч ² /эВ	(14,3 \pm 0,7) отсч ² /эВ

Спектрометр рентгеновского излучения с энергиями квантов от 100 кэВ до 1 МэВ

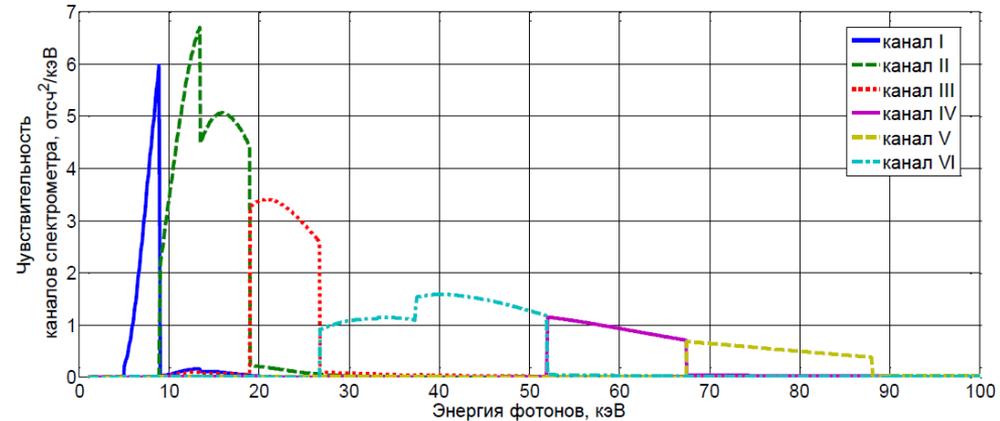
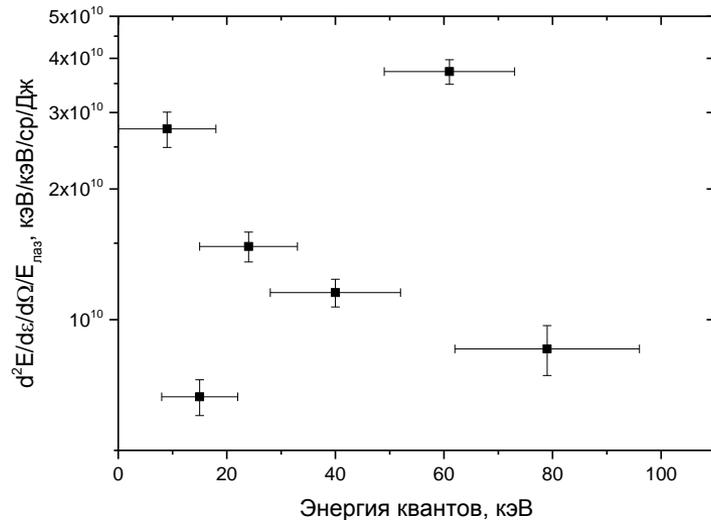
№ канала	Состав фильтра
I	Ta 0,5 мм, Pb 1 мм
II	Ta 0,5 мм, Pb 2 мм
III	Ta 0,5 мм, Pb 3 мм
IV	Ta 0,5 мм, Pb 4 мм
V	Ta 0,5 мм, Pb 5 мм



$$\frac{dE}{d\varepsilon} = Qe^{-\frac{\varepsilon}{T}}$$

- Температура T спектра ЖР излучения;
- Конверсия энергии лазера в ЖР излучение

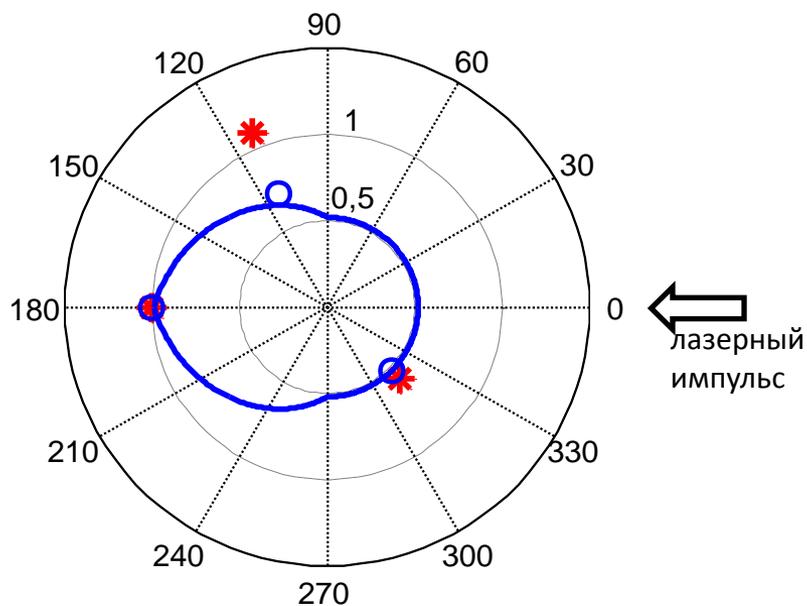
Спектрометр на фильтрах Росса



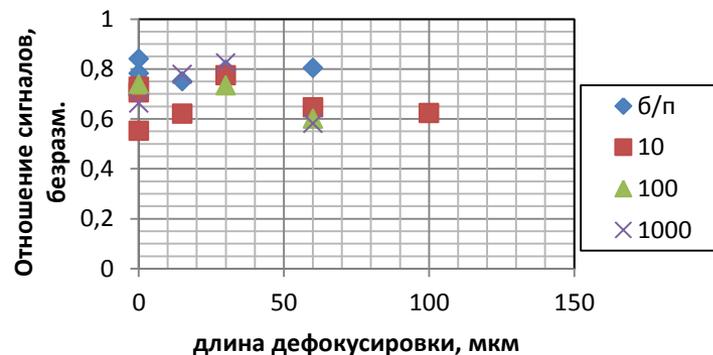
- Температура сплошного спектра;
- Конверсия лазерной энергии в сплошной спектр;
- Конверсия лазерной энергии в К-излучение

№	рабочий фильтр	вычетный фильтр	$\bar{\varepsilon}_i$, кэВ	$\Delta\varepsilon_i$, кэВ
I	Cu 22,3 мг/см ²	Ti 47,8 мг/см ²	9	12
II	Nb 17,8 мг/см ²	Cu 43,6 мг/см ² Al 5,4 мг/см ²	15	7
III	Cd 36 мг/см ²	Nb 53,4 мг/см ² Al 14,1 мг/см ²	24	9
IV	Tb 74,5 мг/см ²	Cd 155 мг/см ² Cu 13,3 мг/см ²	40	12
V	Ta 107,5 мг/см ²	Tb 149 мг/см ²	61	12
VI	Pb 166 мг/см ²	Ta 232,6 мг/см ²	79	17

Угловое распределение выхода ЖР излучения

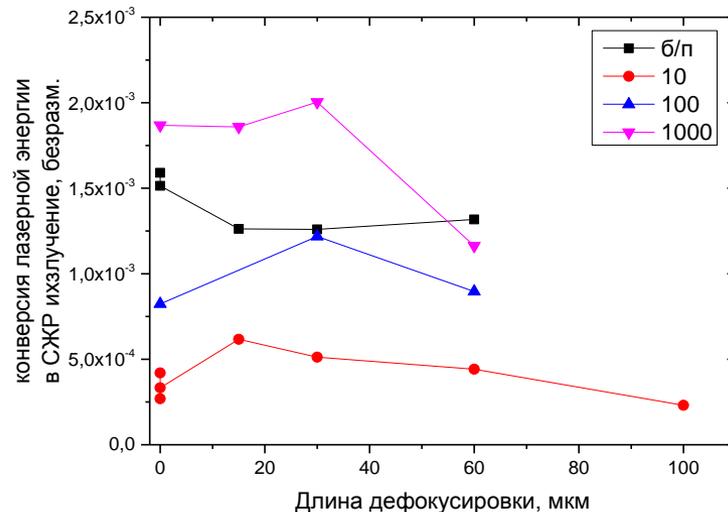
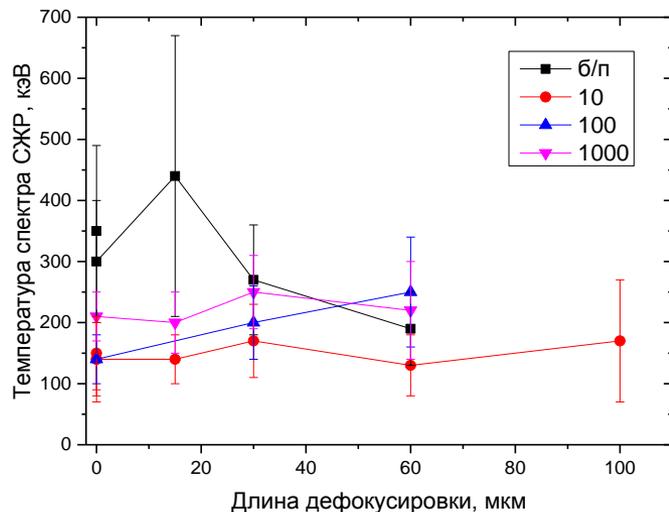


«о» - сигналы, усредненные по экспериментам при нормальном падении лазерного импульса, «*» - мишень повернута в направлении бокового спектрометра



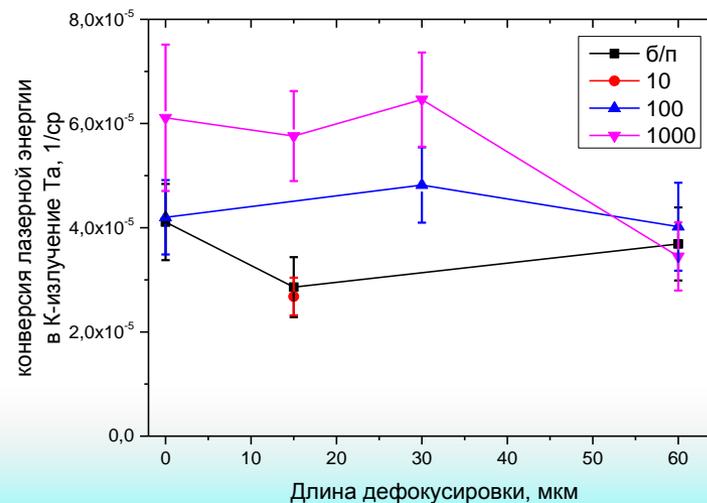
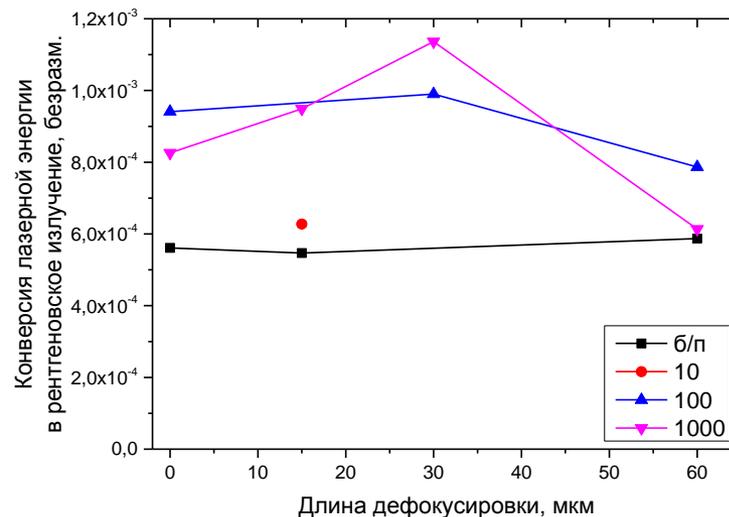
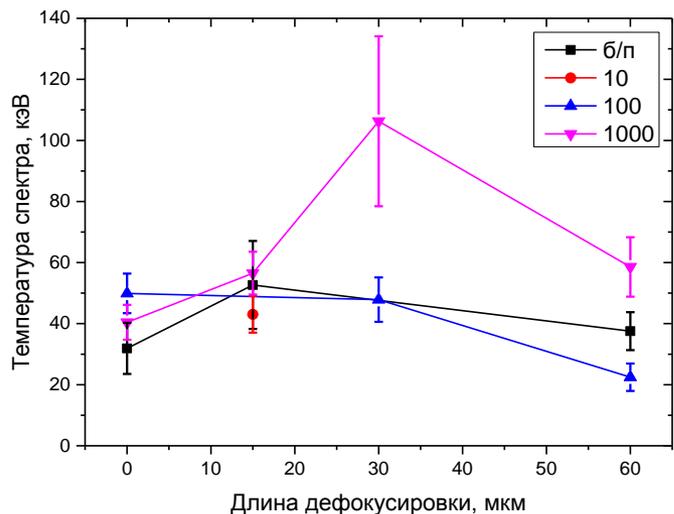
M.I.K. Santala et al., Phys. Rev. Lett. 84, 1459 (2000).

Конверсия энергии лазерного импульса в рентгеновское излучение в диапазоне энергий квантов от 100 кэВ до 1 МэВ



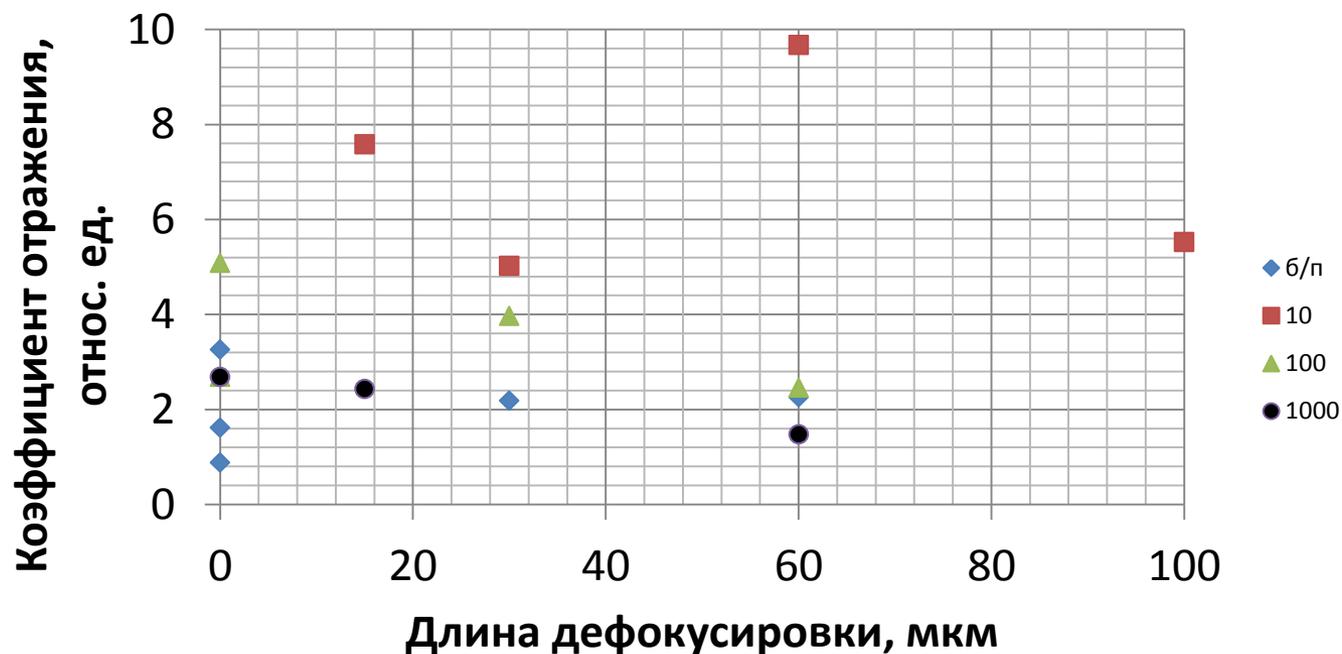
- Температура спектров ЖР практически не зависит от длины дефокусировки и слабо меняется с контрастом. В большинстве экспериментов она составляет (150÷250) кэВ;
- С ростом контраста лазерного импульса происходит увеличение выхода ЖР. При контрасте $K=10^3$ выход ЖР выше чем в экспериментах без предымпульса.

Конверсия лазерной энергии в излучение с энергиями квантов от 10 кэВ до 100 кэВ



- Температура спектров слабо зависит от контраста и длины дефокусировки;
- Конверсия в непрерывное и линейчатое излучение растет с увеличением контраста;

Коэффициент отражения лазерного излучения



- С ростом контраста коэффициент отражения снижается

Заключение

- Проведены измерения параметров рентгеновского излучения, эмитируемого из лазерной плазмы в диапазоне энергий квантов от 10 кэВ до 1 МэВ;
- Максимальный выход наблюдается с тыльной стороны мишени по нормали;
- Восстановлены коэффициенты конверсии лазерного излучения в рентгеновское в абсолютных единицах в широком диапазоне контрастов;
- При оптимальных условиях (контраст $K=10^3$ и длина дефокусировки $L=30$ мкм) выход ЖР излучения возрастает на 30%, а конверсия в К-излучение на 50%.

	конверсия	Температура спектра
Менее 100 кэВ	$(5\div 15) \cdot 10^{-4}$	(30÷60) кэВ
100 кэВ до 1 МэВ	$(5\div 20) \cdot 10^{-4}$	(150÷250) кэВ
К-излучение Та	$(3\div 6) \cdot 10^{-6}$ 1/ср	