



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Использование лазер- плазменных ускорителей в РФЯЦ-ВНИИТФ

«Школа по физике высоких плотностей энергии», 25.02-27.02 2026 г.

Говрас Евгений Александрович
старший научный сотрудник НТО-1, к.ф.-м.н.
коллектив НТО-2, НИО-3, НИО-5

2005 г. – закончил школу № 125 (Снежинск) с золотой медалью

с 2008 г. – работа по лазер-плазменному взаимодействию (ФИАН, Москва)

2010 – ВНИИА им. Н.Л. Духова (Москва)

2011 – закончил МИФИ (каф. №32) с красным дипломом

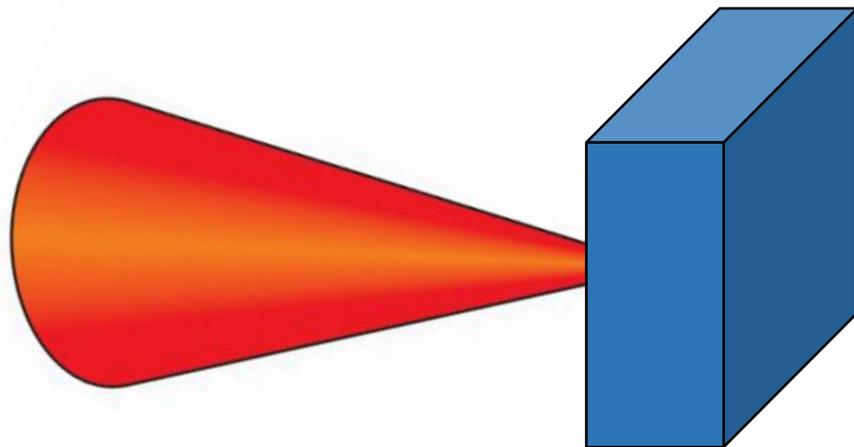
2016 – защитил кандидатскую диссертацию (ФИАН)

с 2019 – РФЯЦ-ВНИИТФ (Снежинск)

Исполнитель и руководитель грантов РФФИ и РНФ

14 статей по Web of Science

Лазер-плазменное взаимодействие



Лазерный импульс

энергия – ϵ_L : 1 Дж – 2 МДж

длина волны – λ : 0.1 мкм – 10 мкм

длительность – τ : 10 фс – 10 нс

пятно фокусировки – D_f : 1 мкм – 1 мм

интенсивность – I : 10^{12} – 10^{22} Вт/см²

Мишень

размер – L : 3 нм – 1 мм

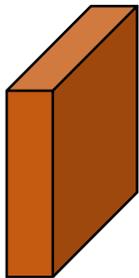
плотность – n : 10^{17} – 10^{23} см⁻³

состав: ...

Лазерные мишени

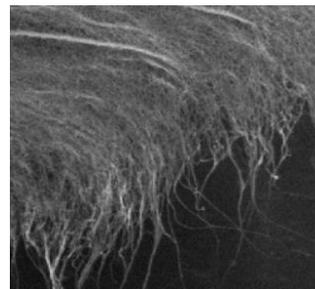
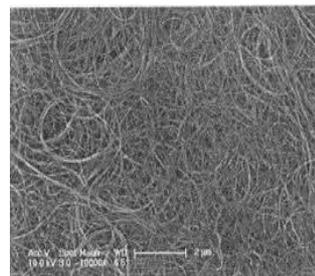
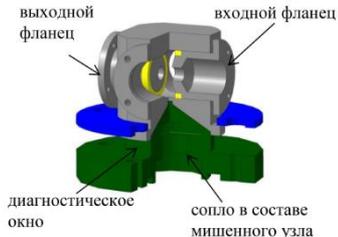
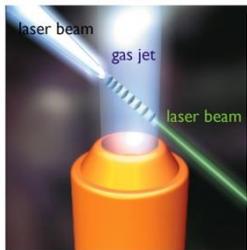
Фольга

CH, DLC, Au, Ti, ...

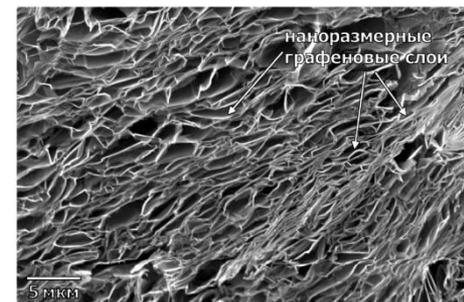


Газ

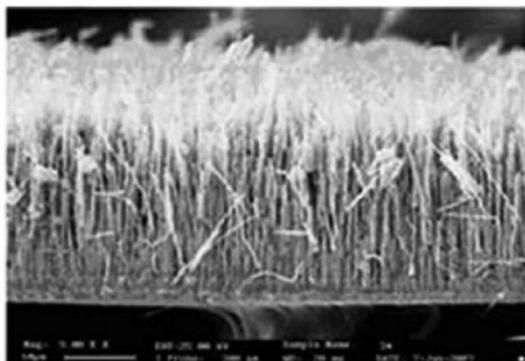
H₂, He, Ar, ...



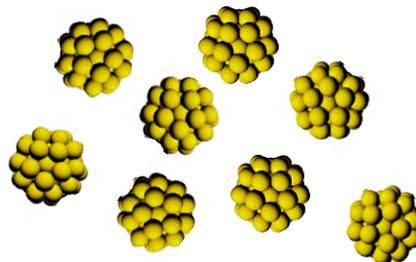
Малоплотные
между ТВ.Т. и газом:
пены, аэрогели и т.п.



Микроструктурированные

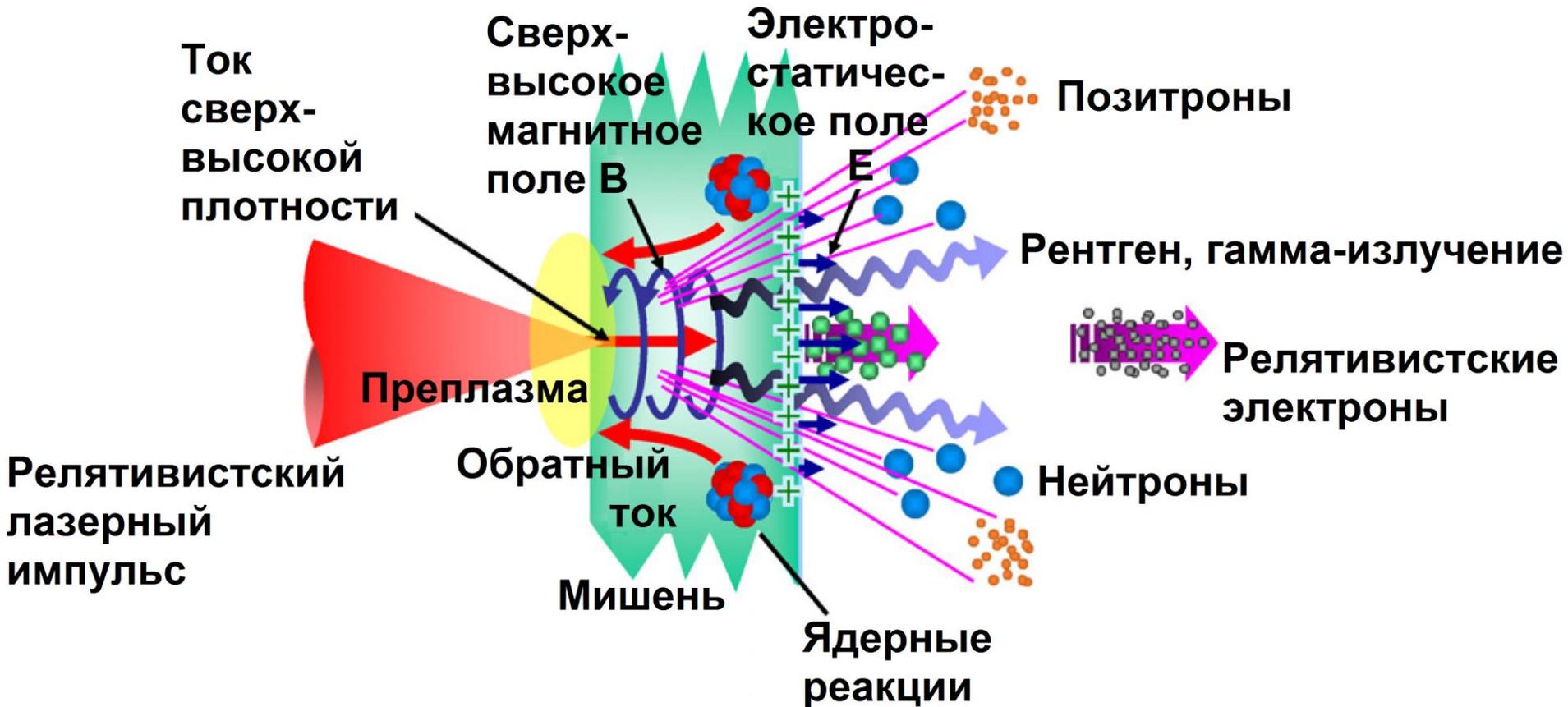


Газ атомных кластеров



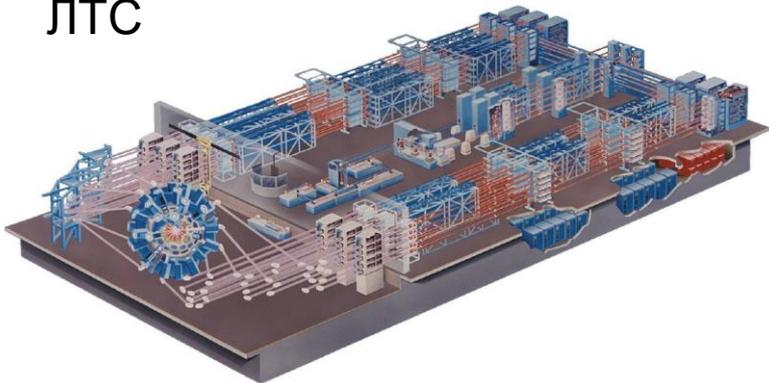
ВНИИТФ обладает всеми технологиями (замкнутое экспериментальное пространство)

Лазер-плазменное взаимодействие

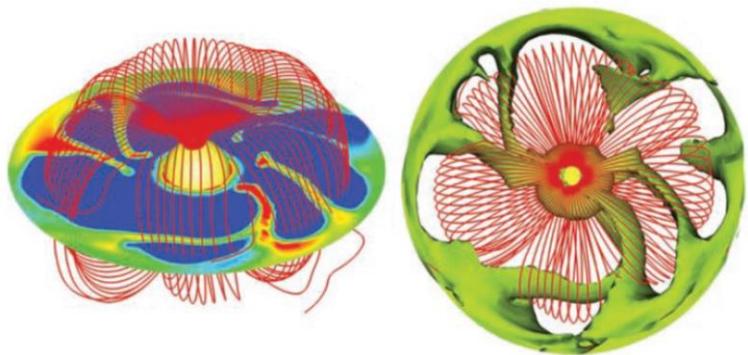


Спектр применений

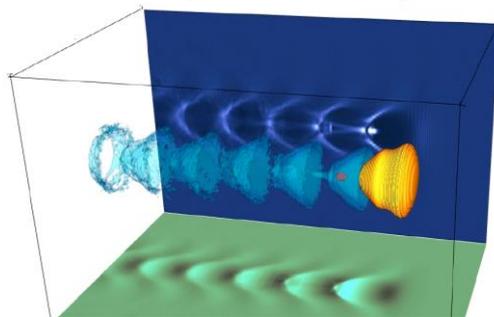
ЛТС



Астрофизика
«на столе»



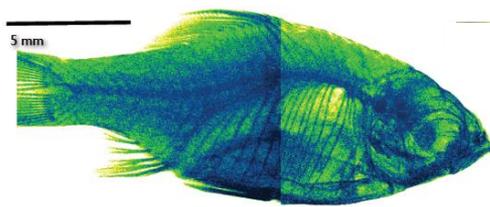
Компактные
ускорители



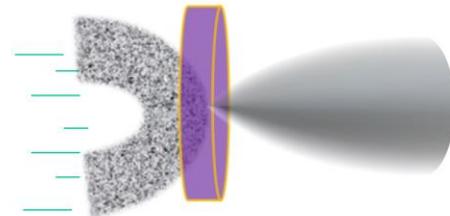
Адронная терапия



Вторичное
излучение



Ядерная физика,
нейтронный источник



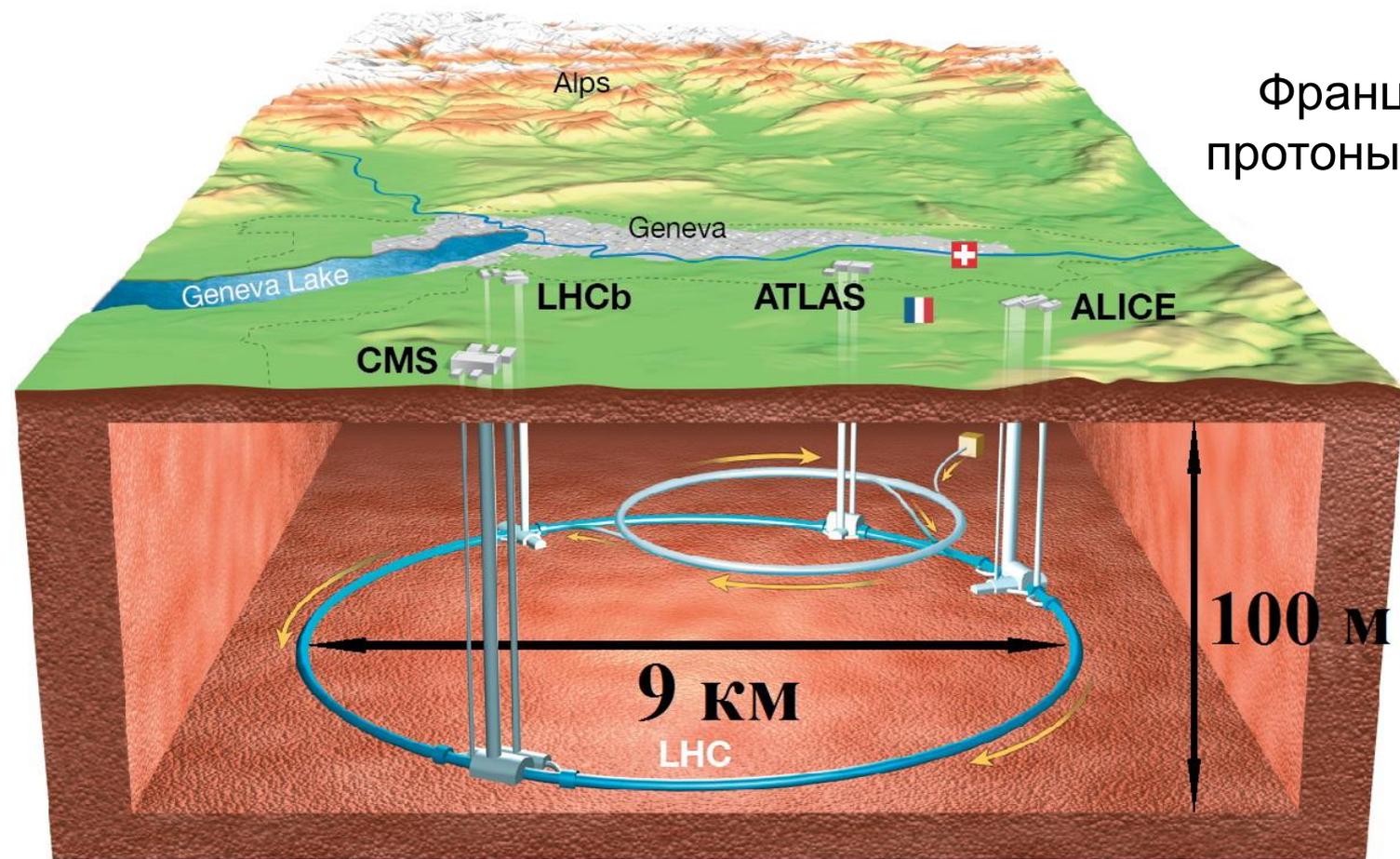
SPRING-8



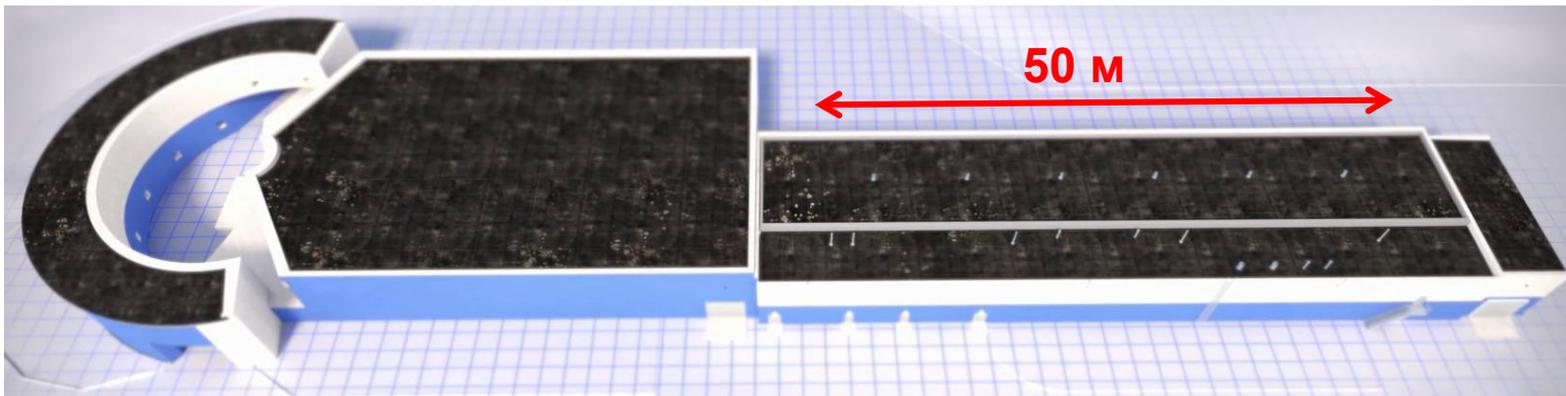
Япония
электроны 8 ГэВ
 $D = 460$ м

Большой Агромный Коллайдер

Франция, Швейцария
протоны 7 ТэВ (10^{12} эВ)
D = 9 км



Линейные ускорители



КИТ
 e^- , 20 МэВ
 $L = 50 \text{ м}$

Stanford Linear Accelerator Center, США, e^- 50 ГэВ, $L = 3.2 \text{ км}$ (2 мили)



Темпы ускорения

Классические ускорители: поле пробоя вакуума 10 – 100 **МВ/м**

предельный темп ускорения e^- : **100** МэВ/м

Реально:

- SLAC – **15.6** МэВ/м (50 ГэВ, 3.2 км)
- SPring – **5.8** МэВ/м (8 ГэВ, D = 460 м)
- КИТ – **0.4** МэВ/м (20 МэВ, 50 м)

Вакуум → Плазма!

$$E_{cr} [\text{В/м}] \simeq 96 \sqrt{n_e [\text{см}^{-3}]}$$

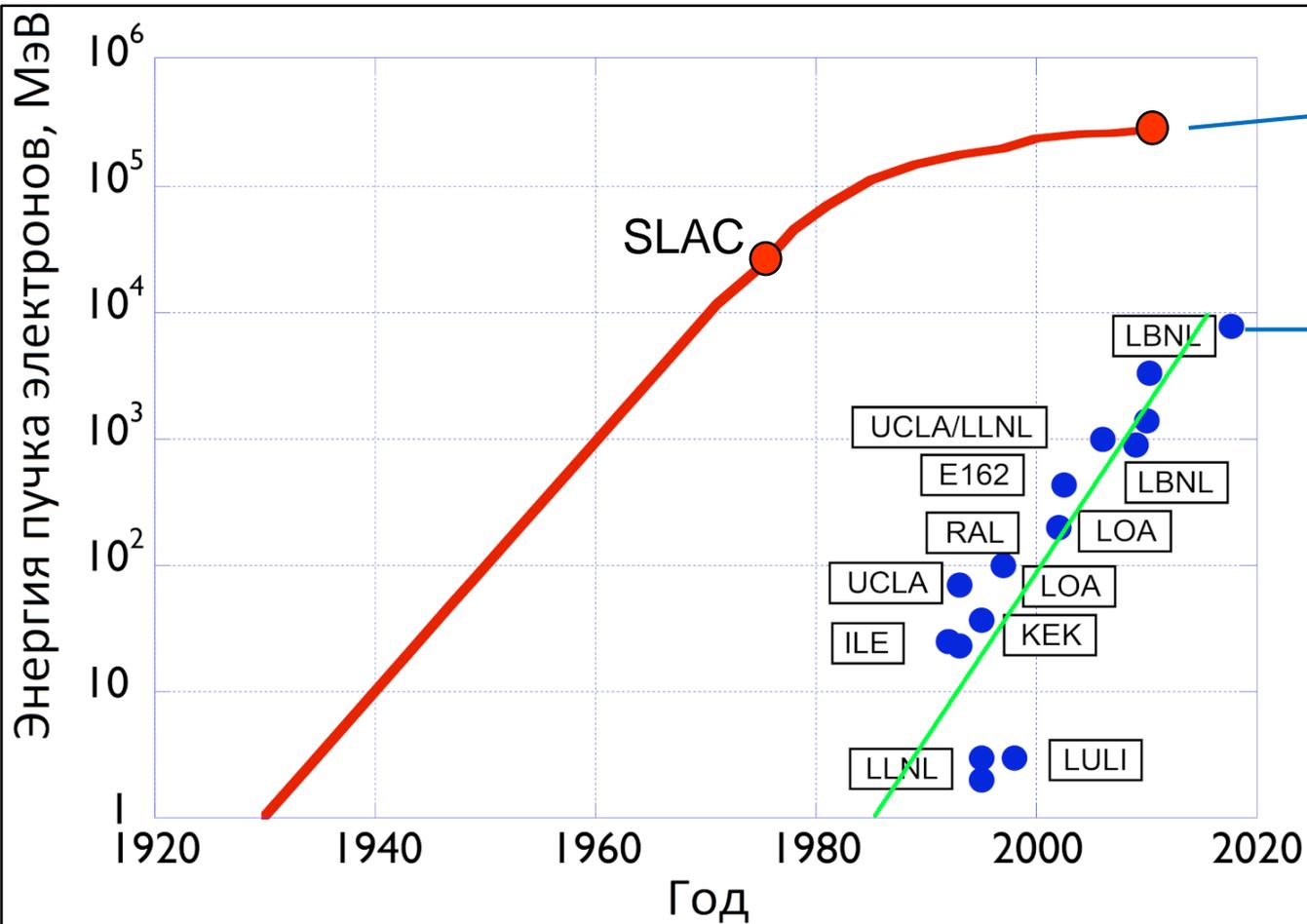
$$E_{cr} = 96 \text{ ГВ/м}$$

плотность 10^{18} см^{-3}
(газовая плазма)

2019 г.
7.8 ГэВ
20 см
39 ГэВ/м

Лазер: создаёт плазму и генерирует ускоряющее поле

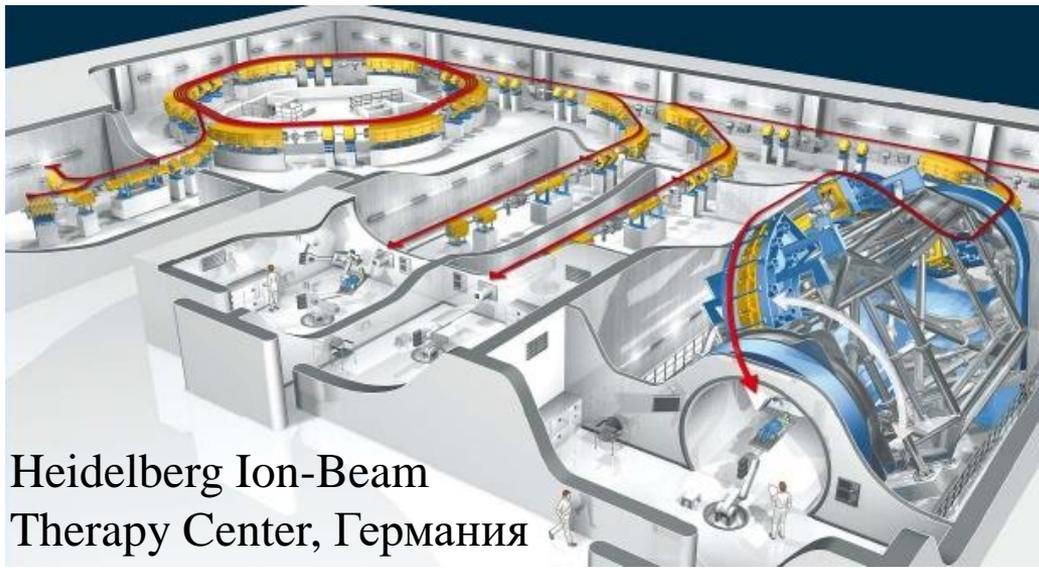
Рост максимальной энергии



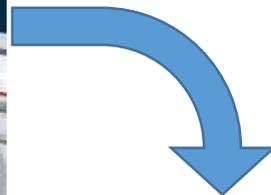
Международный
линейный коллайдер
(проект)
12 км, 500 ГэВ

2019 г.
7.8 ГэВ [1]
20 см

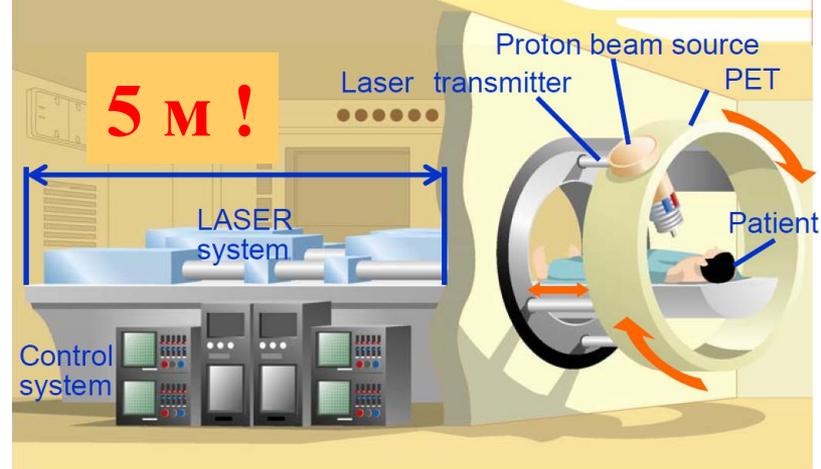
Компактность

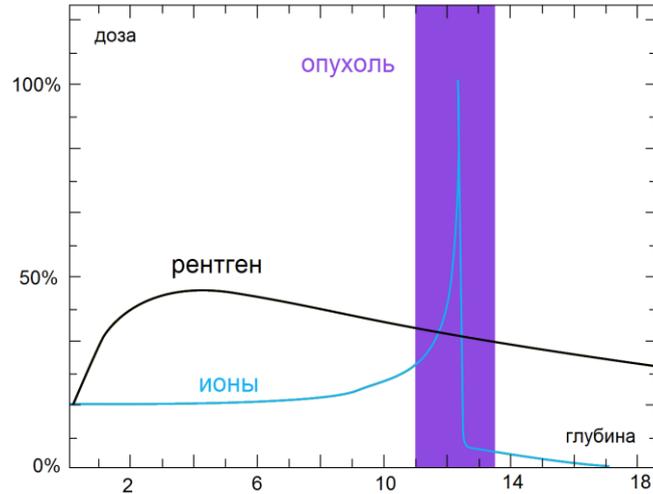
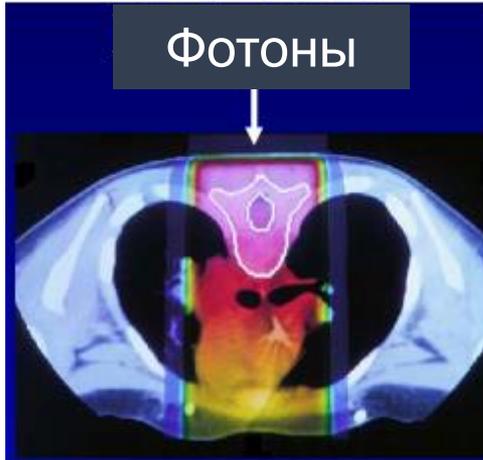


≈ 300 м



Концепция лазерной установки



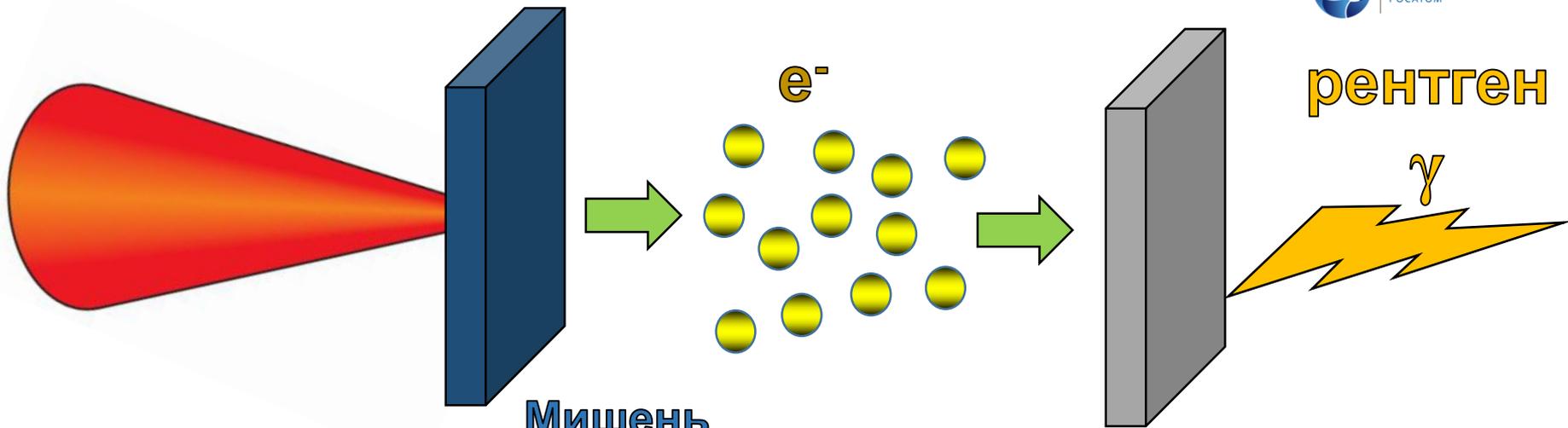


Лазер-плазменные ускорители проигрывают и по энергии, и по количеству ускоренных частиц!

Требования к пучку частиц

- частота повторения $10^9 - 10^{10} \text{ с}^{-1}$
- разброс по энергиям. $\Delta\varepsilon/\varepsilon_{\text{max}} < \text{неск. \%}$
рекорд – $< 1\%$, $\varepsilon_{\text{max}} = 22 \text{ МэВ}$
- максимальная энергия p: 200-250 МэВ C: 300-350 МэВ/н
рекорды: p $\sim 100 \text{ МэВ}$, C $\approx 1 \text{ ГэВ}$ (90 МэВ/н)

Лазерный источник вторичного излучения



Мишень

толщина, плотность,
состав

Конвертер

размер – L : ~ несколько мм
Та, W

оптимизация ускорения
и конверсии

Лазерный импульс

энергия – ϵ_L : 1 Дж – 1000 Дж

длина волны – λ : ~1 мкм

длительность – τ : 30 фс – 10 пс

пятно фокусировки – D_f : 1 мкм – 10 мкм

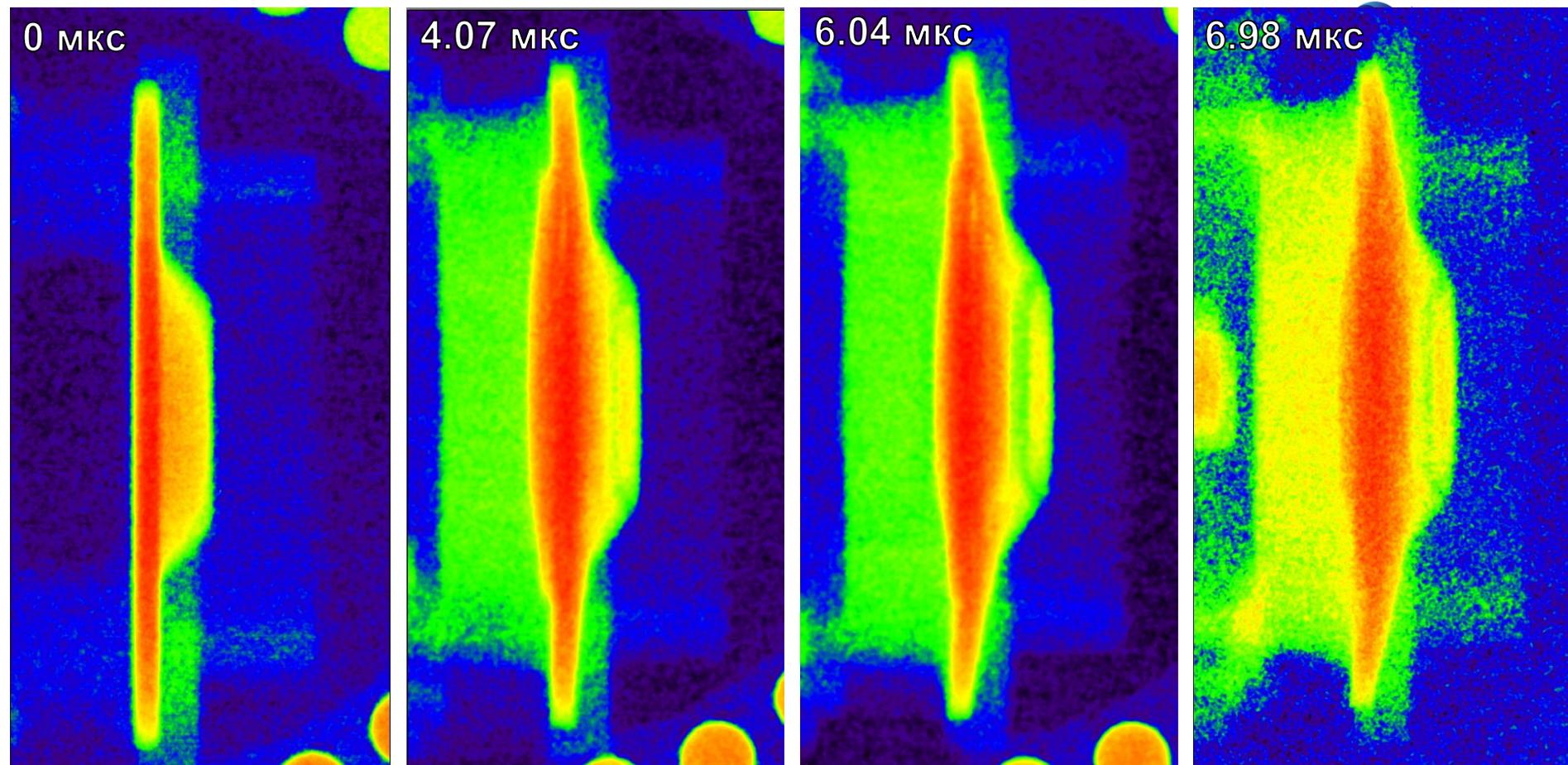
интенсивность – I : 10^{18} – 10^{22} Вт/см²

Сравнение РГК на различных источниках



	Лазерные	Классические
Компактность	+	
Цена установки/опыта	+	
Размер источника/фокуса	+	
Угловая расходимость		+
Длительность импульса	+	
КПД		+
Стабильность работы		+
Число частиц		+
Скважность кадров (min Δt)	+	

Эволюция откола



Впервые в России ! (точно). В мире – скорее всего тоже

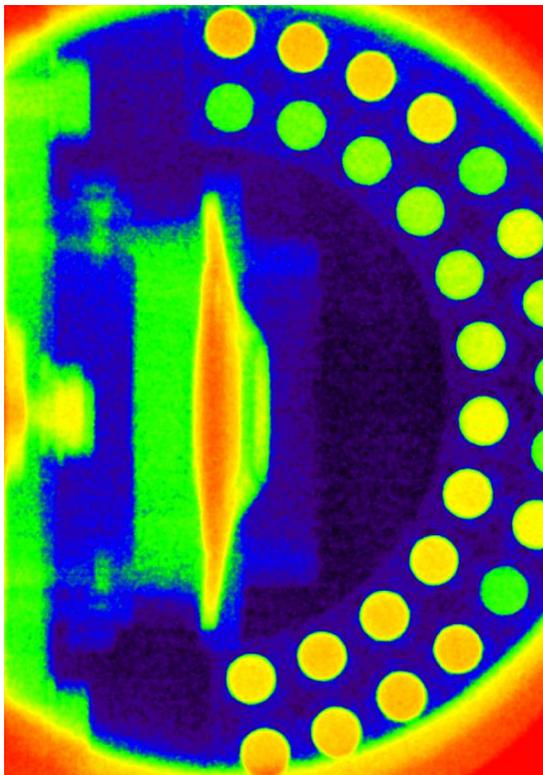


НТО-1: теоретическое сопровождение всех работ

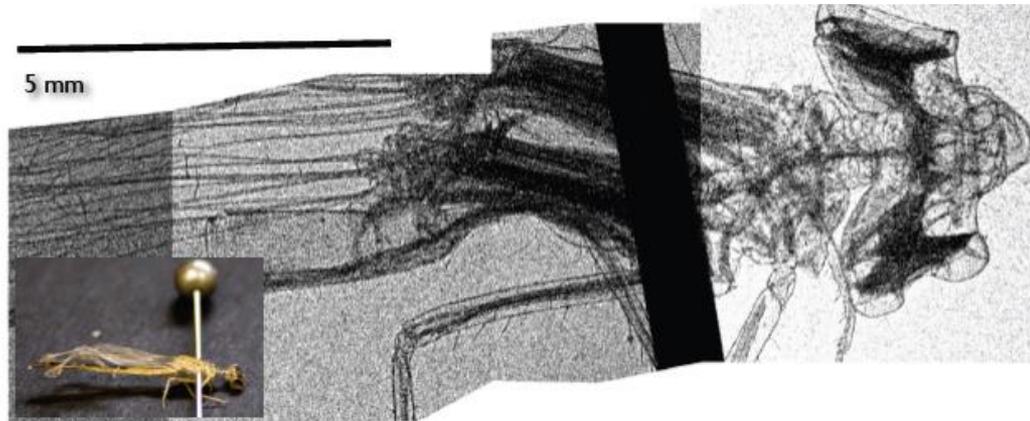
Заключение

- Решение уникальных, востребованных задач в уникальном коллективе на уникальной экспериментальной и расчётной

базе



VS.



Уровень	Оборудование	Стоимость
1	Ручка	\$ 1
2	Компьютер	\$ 1 000
3	Кластер на пользователя (\$1 М на 100 человек)	\$ 10 000
4	Экспериментальная установка	\$ 1 000 000
5	Установка «Mega Science» (БАК - \$ 6В*, NIF - \$ 8В**)	\$ 10 000 000 000

1 : 10³ : 10⁴ : 10⁶ : 10¹⁰

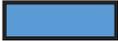
Академическая наука на «Mega Science»:

- 1) Коллаборация (внешняя политика)
- 2) Центры коллективного пользования
- 3) Никак

* - международная коллаборация 20

** - «в одного» (LMJ, Саров, ...)



		
Академическая	<ol style="list-style-type: none">1) выбор темы2) конференции, поездки3) отчётность	<ol style="list-style-type: none">1) гранты2) зарплата (если не с оборонкой)
«Прикладная»	<ol style="list-style-type: none">1) доступ к установкам2) востребованность работы3) достижение чётких результатов (вплоть до железки)4) замкнутая «экосистема»	<ol style="list-style-type: none">1) ограничения с гос. Тайной2) «узкий» спектр направлений

Спасибо за внимание!

Говрас Евгений Александрович
старший научный сотрудник НТО-1, к.ф.-м.н.

Моб. тел.: +7 (922) 722 04 20

E-mail: e.a.govras@vniitf.ru

25.02-27.02 2026

Сейчас:

1. Сокол-Ф: 800 нм, 5 Дж, 25 фс = 200 ТВт
2. Сокол-П: 1 мкм, 100 Дж, до 500 фс = 200 ТВт
3. Сокол-З: 1 мкм, до 2 кДж, 1 нс = 2 ТВт

} синхронизованы

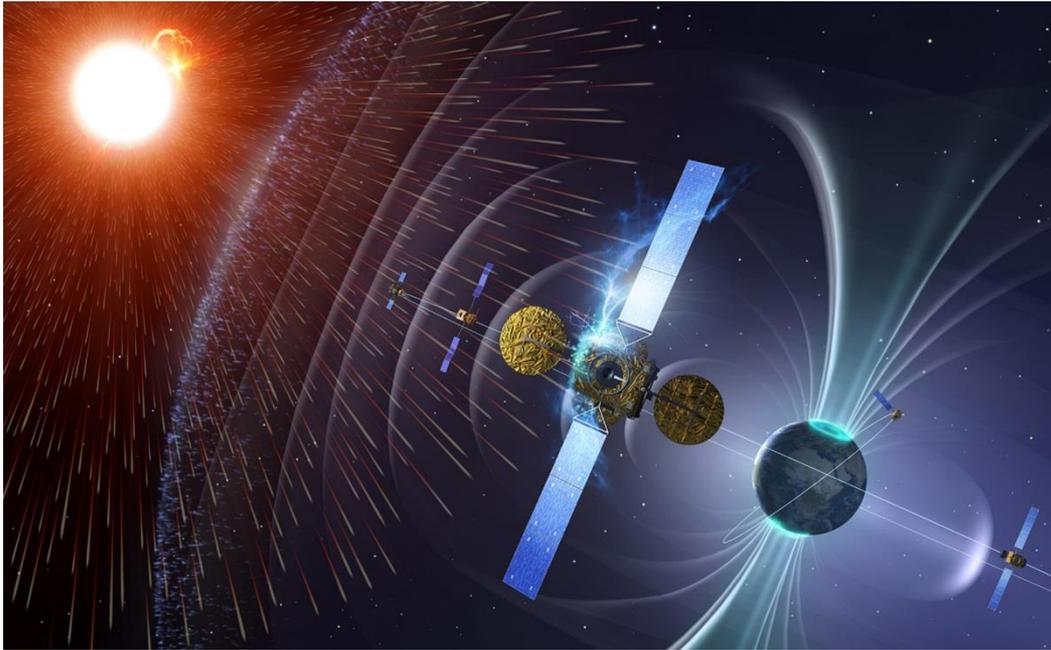
В перспективе:

1. Общая мишенная камера
2. Многопучковый Сокол-П
3. Нарращивание энергетики Сокол-З

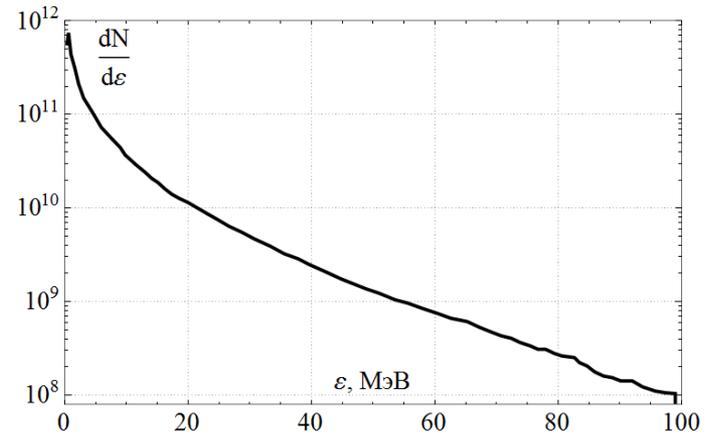
В России подобных центров нет!

За рубежом – счётное количество

Стойкость микросхем

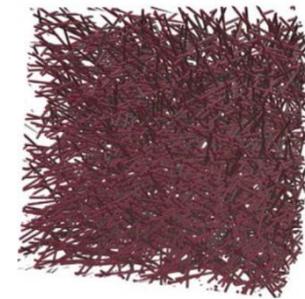
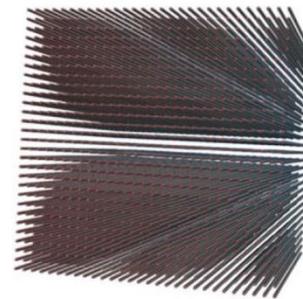
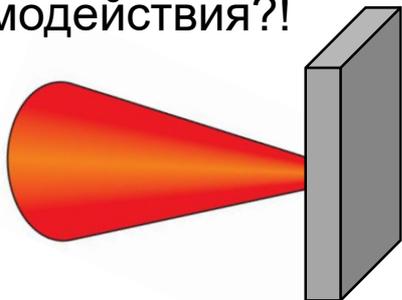


1. Не нужна моноэнергетичность
2. Поток малые
3. Смена типа частиц
4. Цена



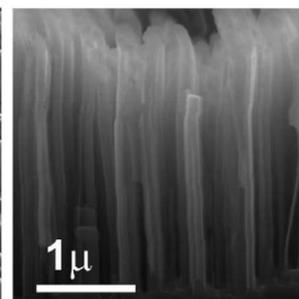
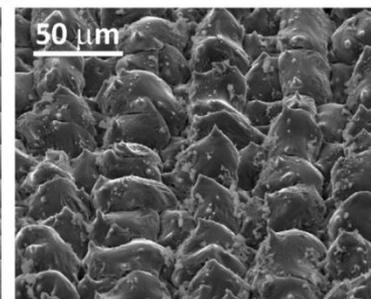
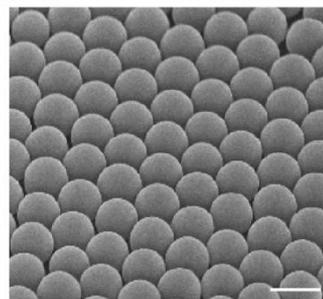
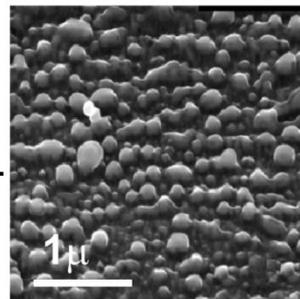
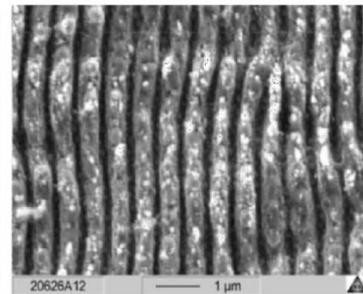
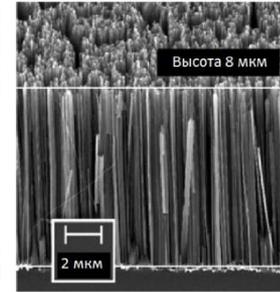
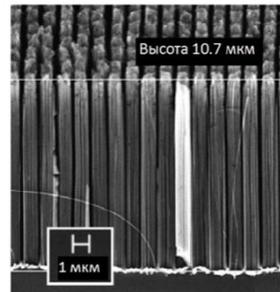
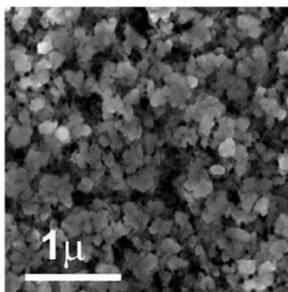
Структурированные мишени

Как увеличить площадь взаимодействия?!



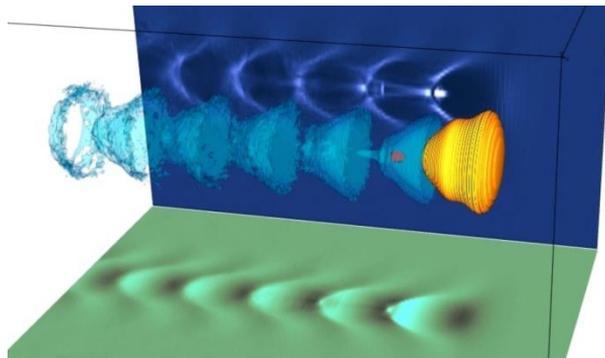
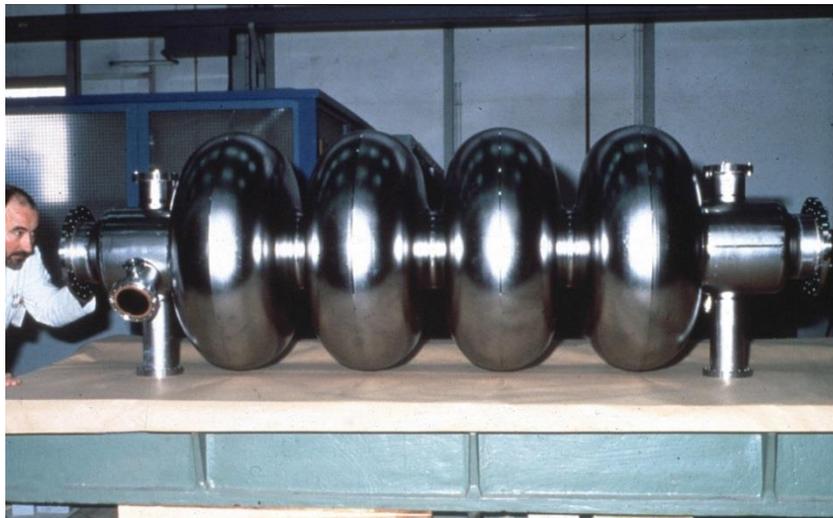
Изменение поверхности:

- химическое травление
- лазерная абляция
- нанотехнологии
- выращивание структур
- комбинации методов



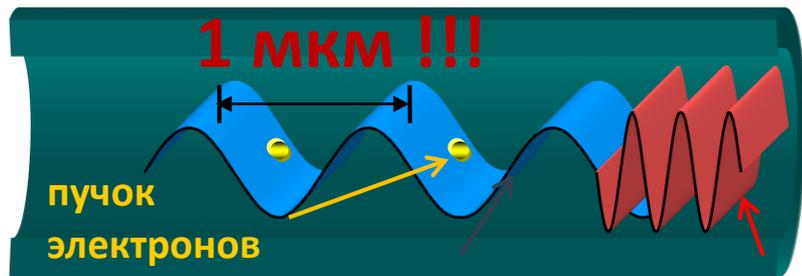
* ВНИИТФ обладает технологиями (замкнутое экспериментальное пространство)

Компактность



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Плазменный канал

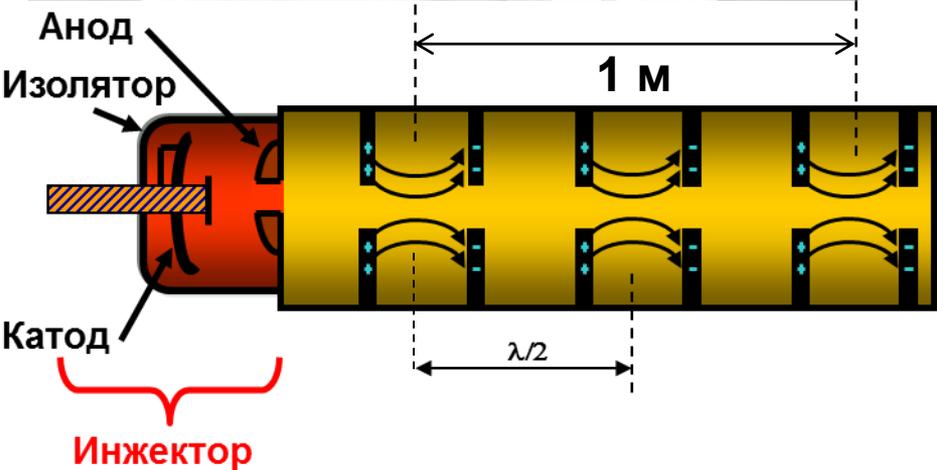


1 мкм !!!

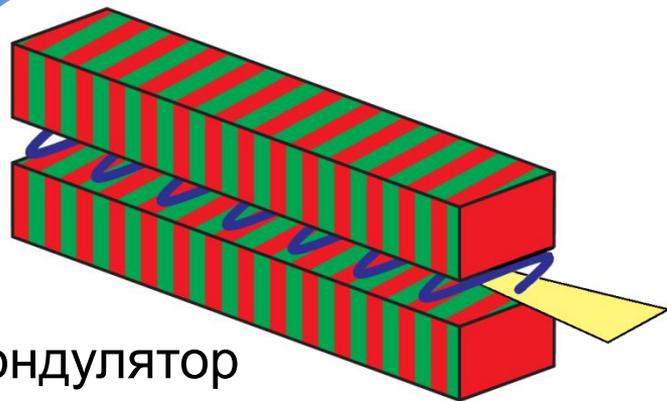
пучок
электронов

плазменная
волна ($v \sim c$)

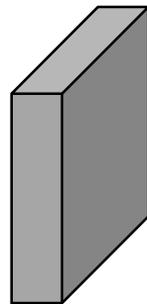
лазерный
импульс



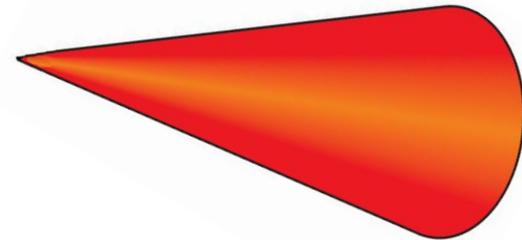
Электроны +



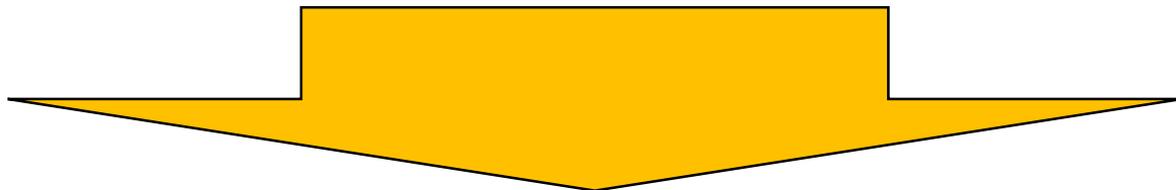
ондулятор
(лазер на свободных
электронах)



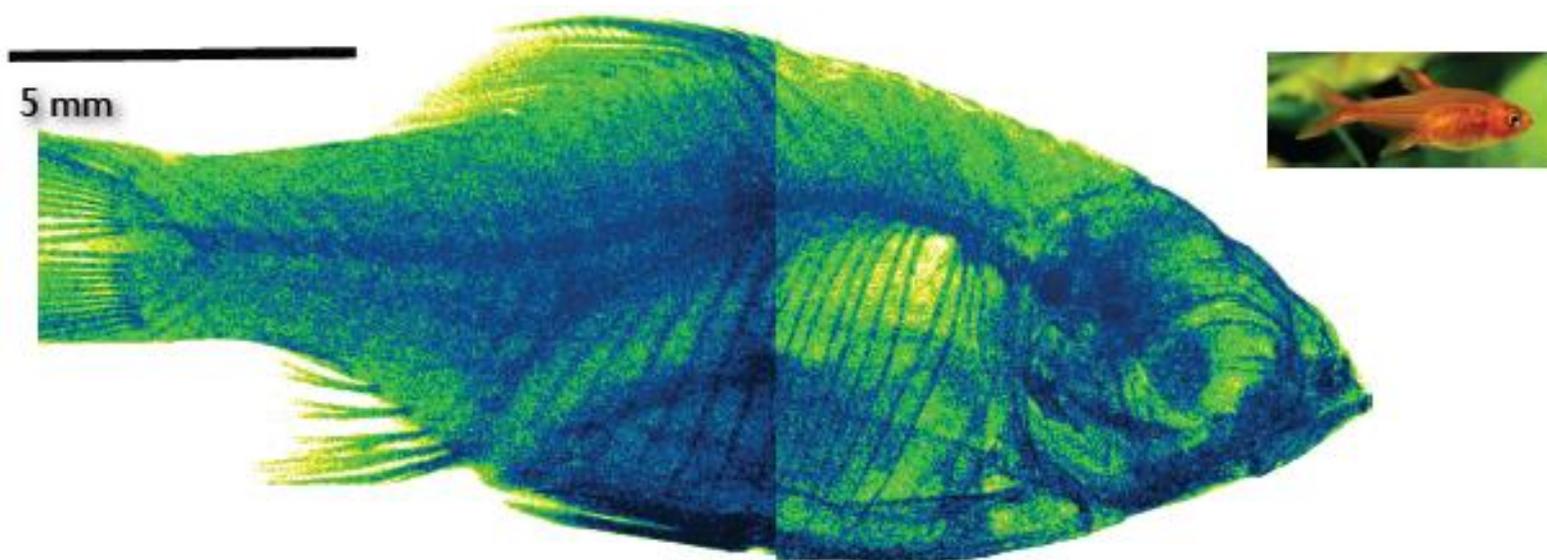
мишень с большим
Z (тормозное
излучение)



встречный лазерный
пучок (обратное
комптоновское
рассеяние)

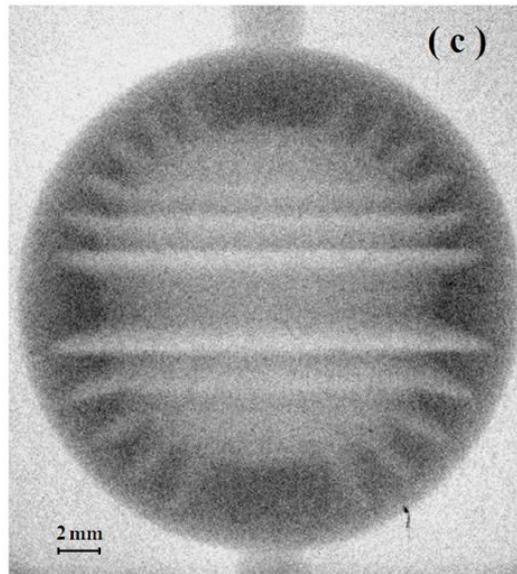
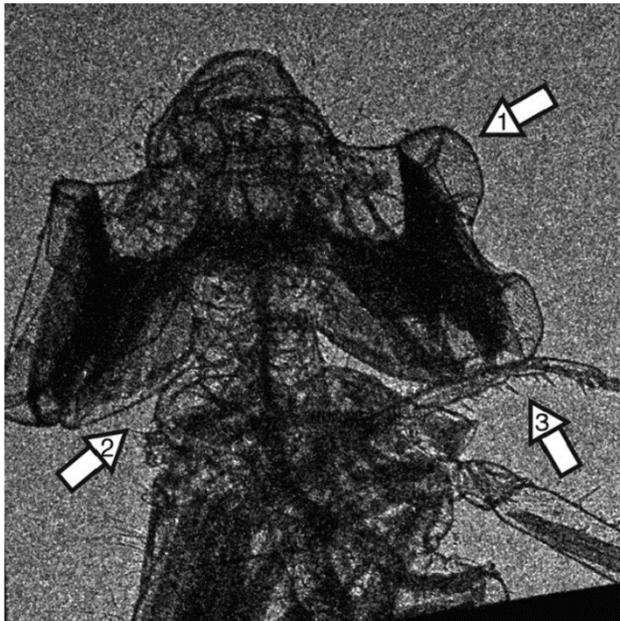


вторичное излучение от рентгена (КэВ) до гамма (сотни МэВ)



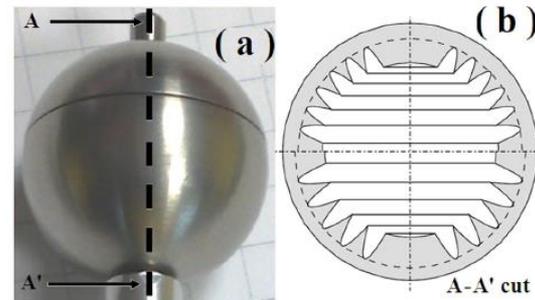
- ▶ X-ray **projection image** of Orange Tetra
- ▶ Camera & fish at 3 m from source
- ▶ Sum of 3-5 shots
- ▶ Camera had to be moved to capture entire specimen

Разрешающая способность



1 Дж, 30 фс
 $3.6 \cdot 10^{18}$ Вт/см²
+ газ [2]
W-объект 20 мм +
гамма до 140 МэВ
(тормозное)
разрешение 30 мкм

Hercules (США) [1]
2.2 Дж, 32 фс, $2 \cdot 10^{19}$ Вт/см² + He
стрекоза + рентген 10 кэВ (бетатрон)
объект 4 мм, разрешаются несколько мкм

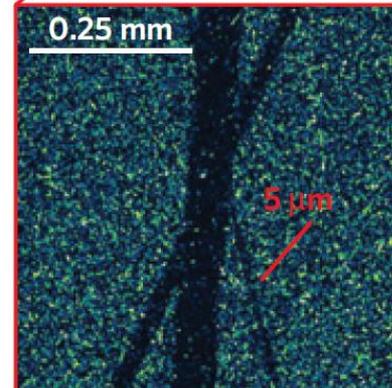
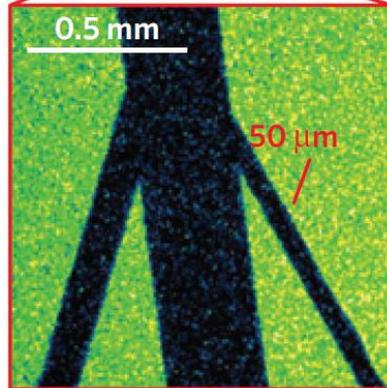
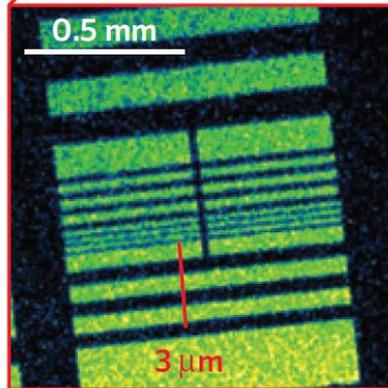
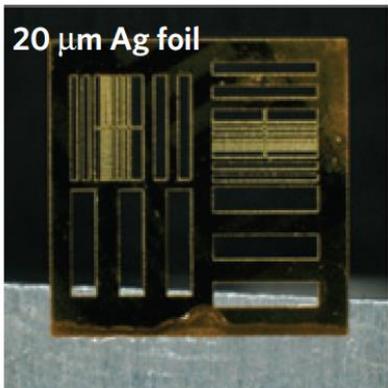
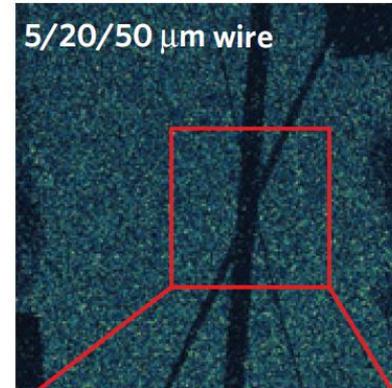
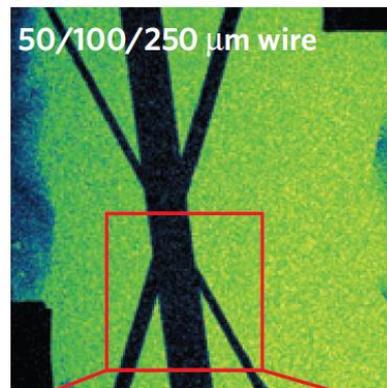
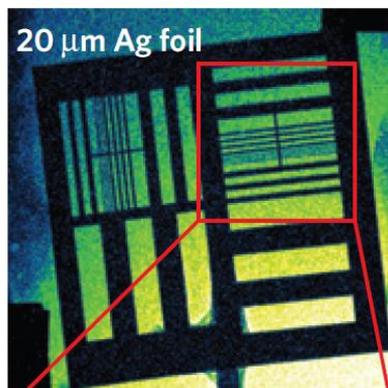
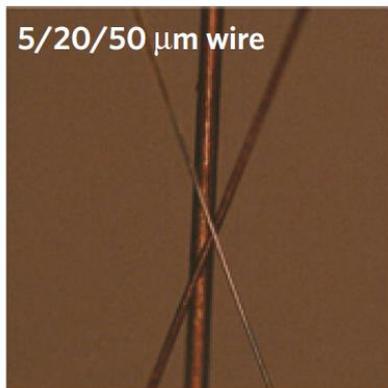


[1] S. Kneip et al., Appl. Phys. Lett. 99, 093701 (2011)

[2] A. Ben-Ismaïl et al, Appl. Phys. Lett. 98, 264101 (2011)

Разрешающая способность

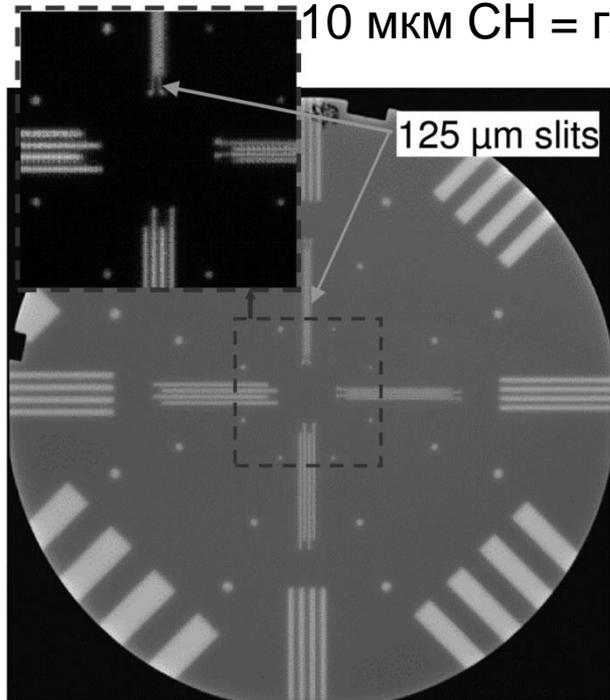
Hercules (США) 2.3 Дж, 32 фс, $4.7 \cdot 10^{19}$ Вт/см² + He [1]



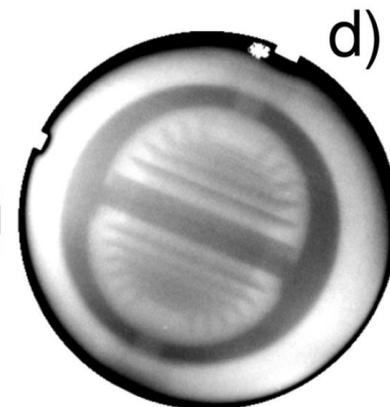
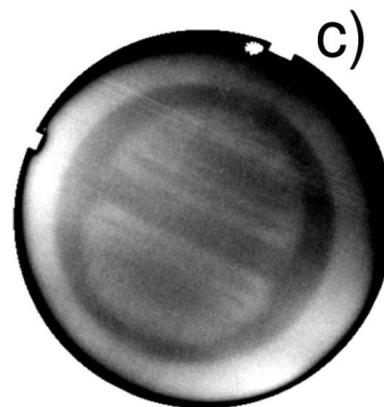
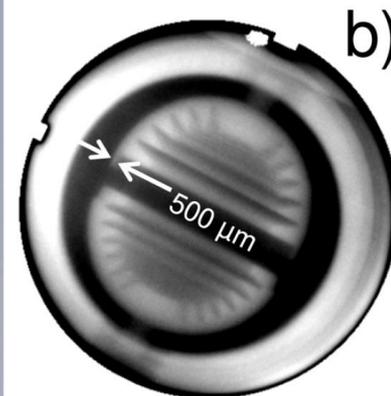
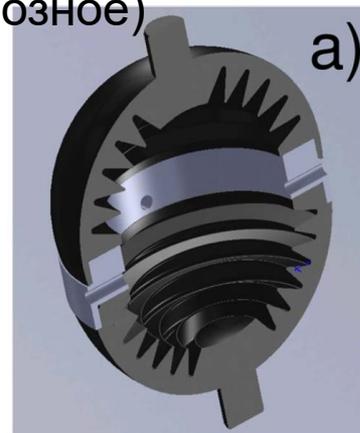
проволоки и мира – серебро, 100 кэВ (бетатрон), разрешаются 3 и 5 мкм

Разрешающая способность

Омега (США) [1] 1.5 кДж, 9 пс, $1.4 \cdot 10^{19}$ Вт/см² +
10 мкм СН = гамма до 4 МэВ (тормозное)

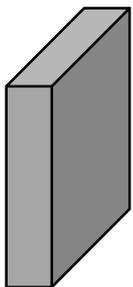


- a) W-объект 20 мм
12.1 г/см²
+ экраны
- b) 66 г/см²
- c) 102 г/см²
- d) 85 г/см²



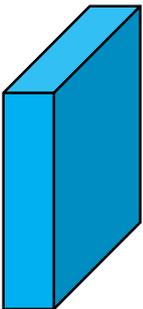
W-мира (16.5 мм) + экран 20 г/см²
разрешаются 125 мкм

мишень - конвертер



- 1) узконаправленный пучок высокоэнергетических нейтронов
- 2) инициирование ядерных реакций → поток осколков деления и т.д.
- 3) ядерная фармакология, создание короткоживущих изотопов для томографии (ОФЭКТ, ПЭТ)

вторичная мишень

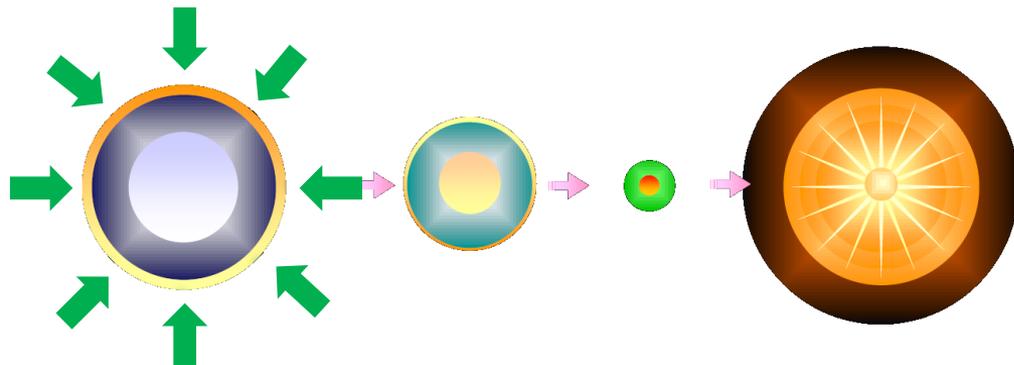


длительность пучка \ll время разлёта
изохорический нагрев

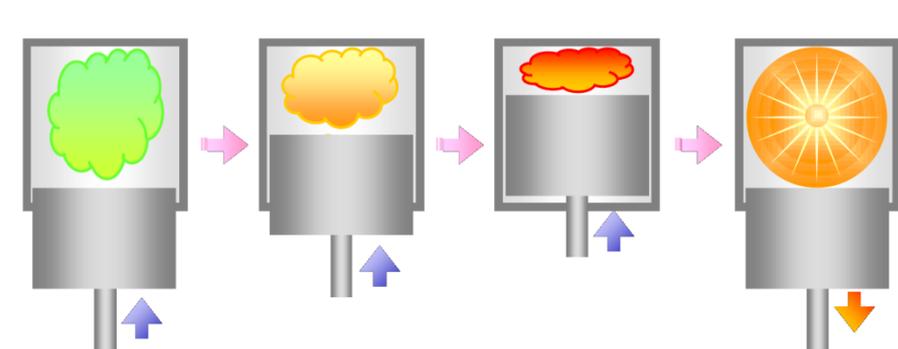
изучение WDM, тестирование УРСов

«Быстрый поджиг»

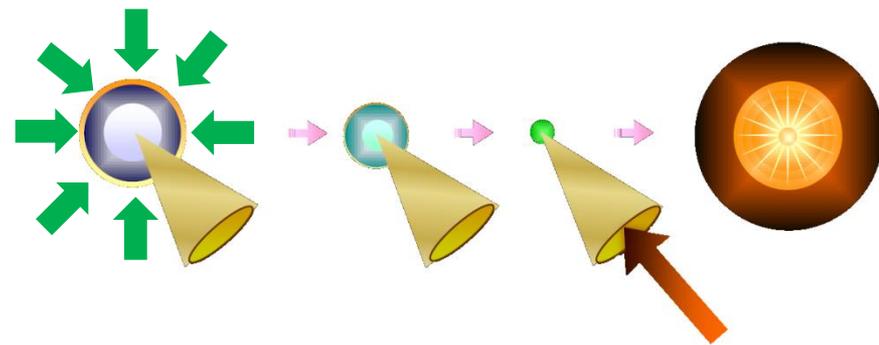
Классический LTC



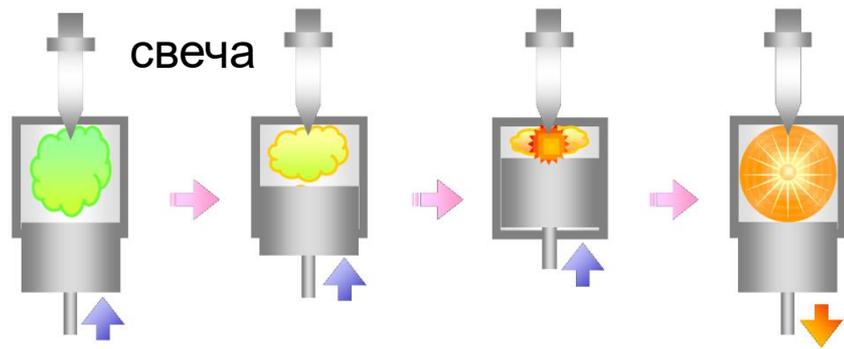
дизельный двигатель



«Быстрый поджиг»



бензиновый двигатель



Электроны

1. **Электронная терапия (?)**
2. Лазер на свободных электронах
3. **Источники вторичного излучения**
(x-ray, γ , THz)

Ионы

1. Адронная терапия рака
2. Ядерная физика
3. Астрофизика «на столе»
4. Нейтронный источник
5. Ионная имплантация
6. **Изохорический нагрев**
 1. ЛТС. «Быстрый поджиг»
 2. **Радиационная стойкость**
 3. Инжекторы для ускорителей
 4. Медицинские изотопы
 5. Радиография