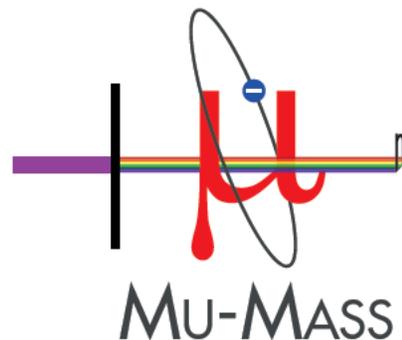


М μ -MASS – эксперимент по лазерной спектроскопии мюония

Никита Жаднов, Артём Головизин, Irene Cortinovis, Gianluca
Janka, Ben Ohayon, Paolo Crivelli

nik.zhadnov@yandex.ru

ETH zürich

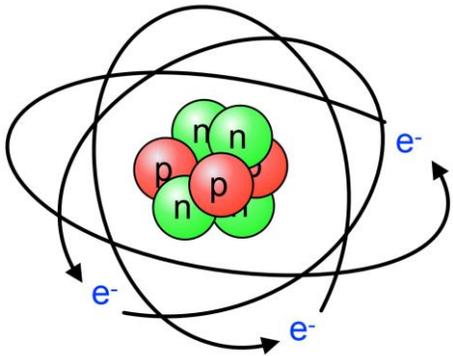


PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

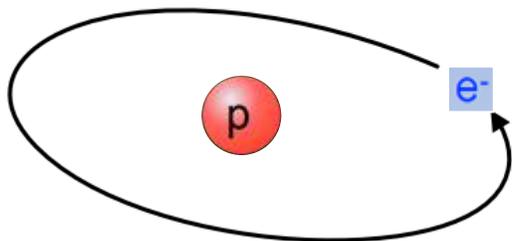
Что такое экзотические атомы?

Обыкновенные атомы:

Состоят из положительного ядра и отрицательных электронов:

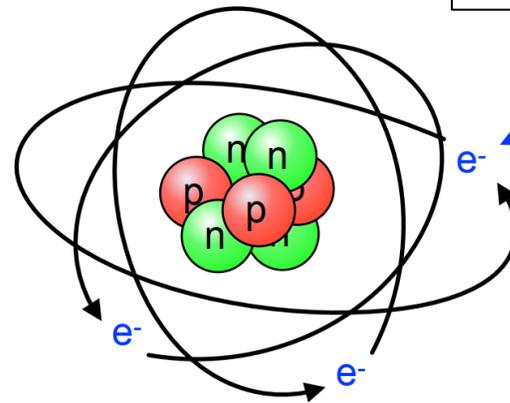


Водород



Экзотические атомы:

1) Электрон заменяют отрицательной частицей:

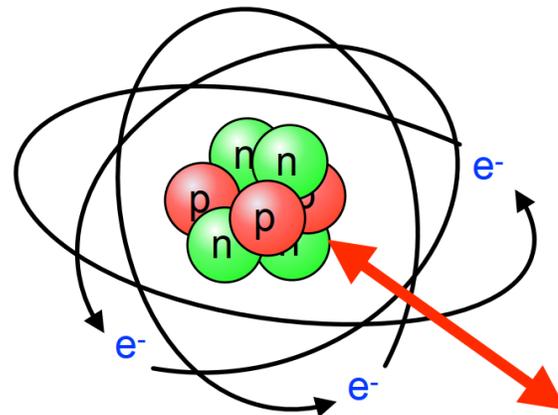


μ^- , π^- , K^- , \bar{p}

Мюонный водород
Пионный гелий
Антипротонный гелий

...

2) Ядро заменяют положительной частицей:

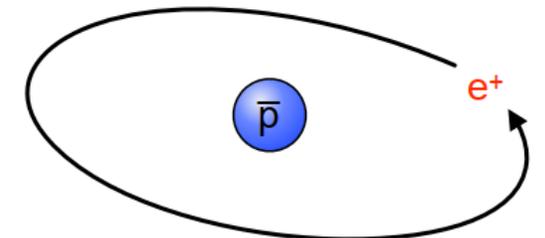


Позитроний
Мюоний
Пионий

...

e^+ , μ^+

3) Заменяют везде



Антиводород

Зачем изучать мюоний?

- Полностью лептонная система

Отсутствуют эффекты, связанные с конечным размером частиц

Пренебрежимо малое влияние слабого взаимодействия

- Прецизионные измерения

Простейший атом

Время жизни 2.2 мкс

Возможность спектроскопии

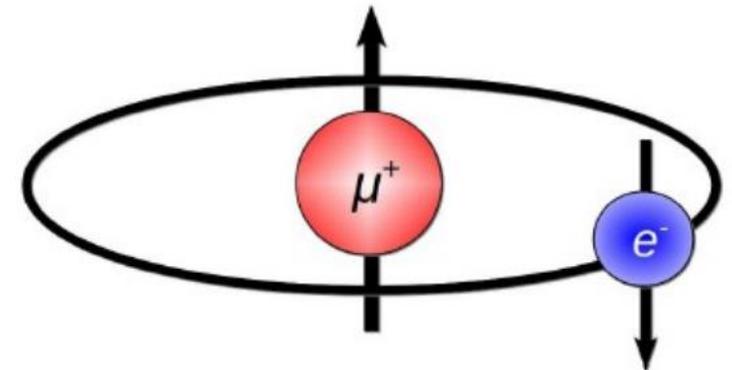
Прямое сравнение теории с экспериментом

Поиски “новой физики”

Уточнение фундаментальных констант:

m_μ, R_∞, \dots

Muonium (Mu)

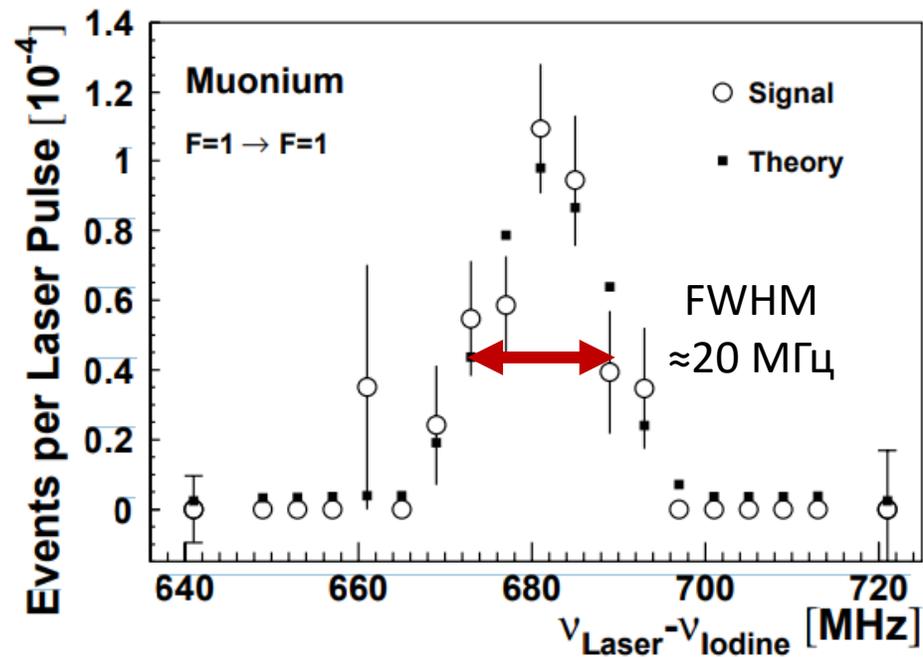


Переход 1S-2S в мюонии

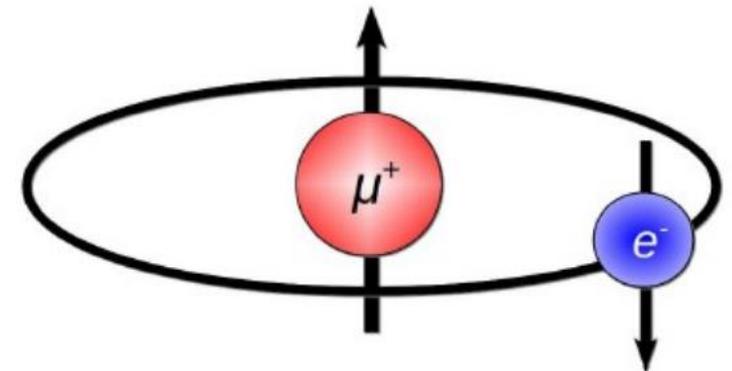
Спектроскопия импульсным лазером – лучшее на сегодняшний день измерение частоты 1S-2S:

Phys. Rev. Lett. **84**, 1136 (2000 г.)

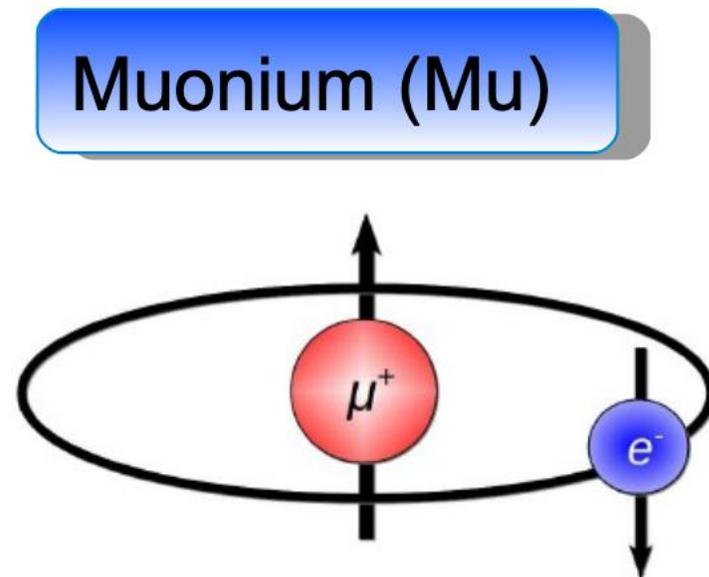
- 245528941.0(9.8) МГц (измерение)
- 245528935.4(1.4) МГц (теория)



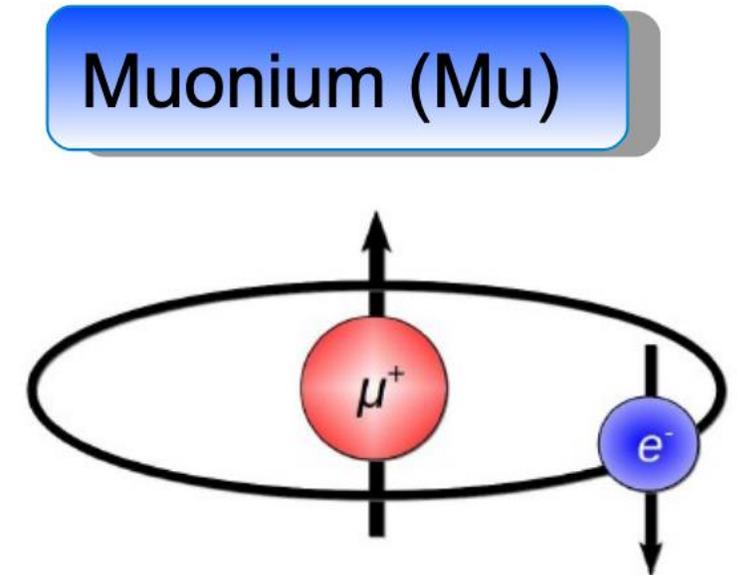
Muonium (Mu)



Цель проекта Mu-MASS: 1S-2S непрерывным лазером



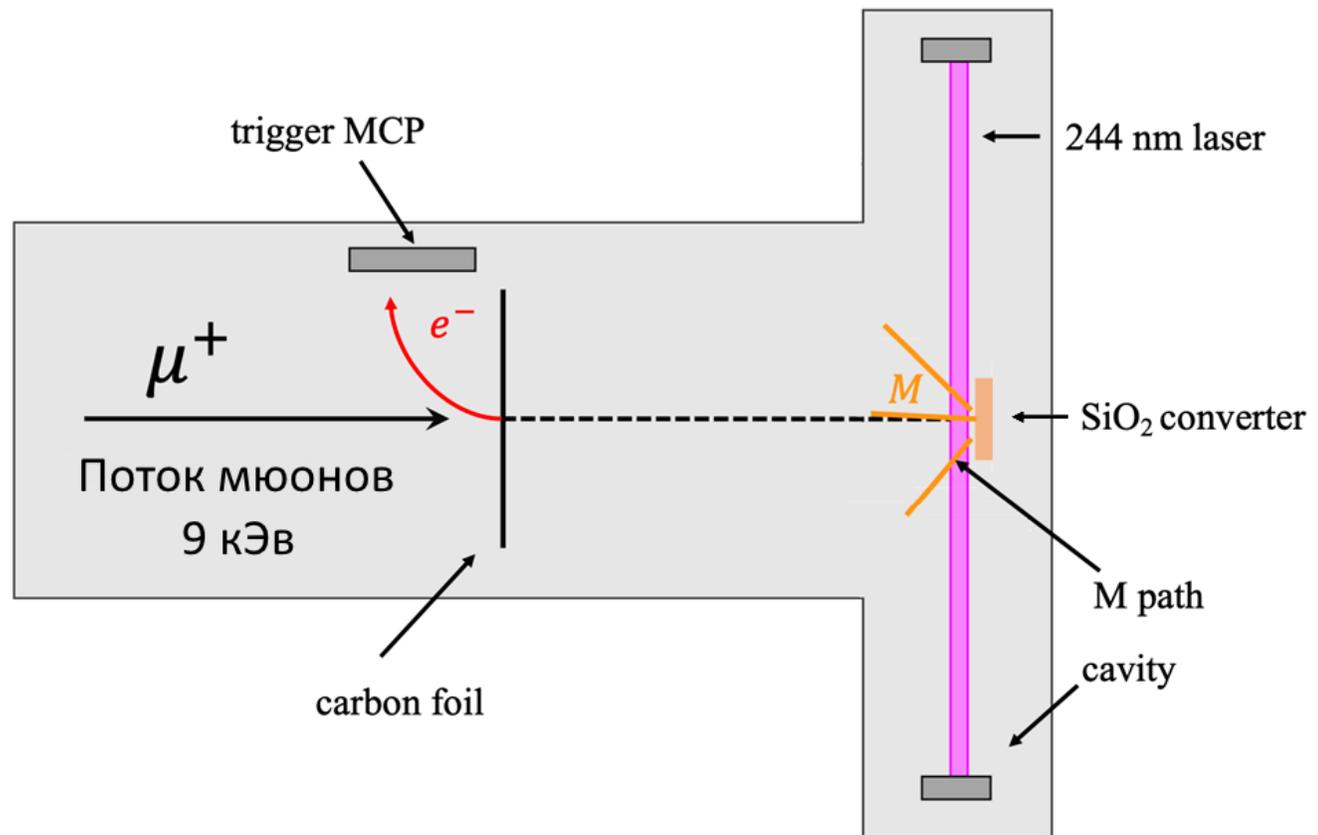
Цель проекта Mu-MASS: 1S-2S непрерывным лазером



- Измерение 1S-2S с точностью 10 кГц
- Измерение массы мюона с точностью 1 ppb
- Измерение q_μ/q_e с точностью 1 ppt
- Впервые спектроскопия непрерывным лазером

Этапы эксперимента Mu-MASS

Мюоны низкой энергии

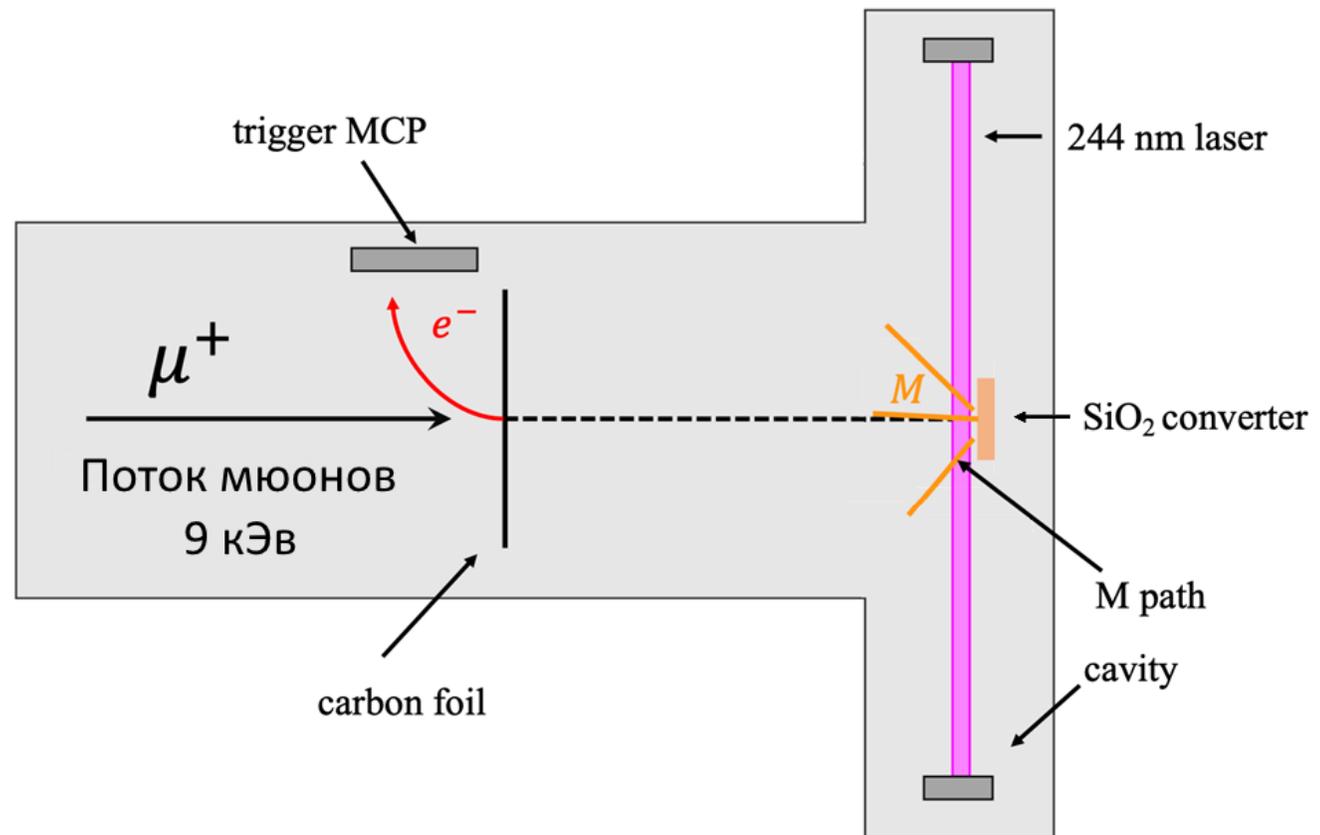
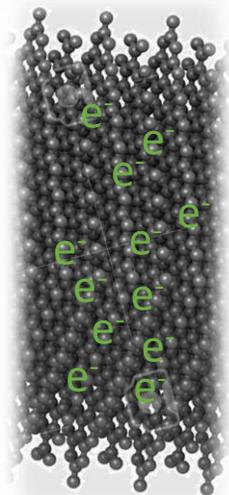


Этапы эксперимента Mu-MASS

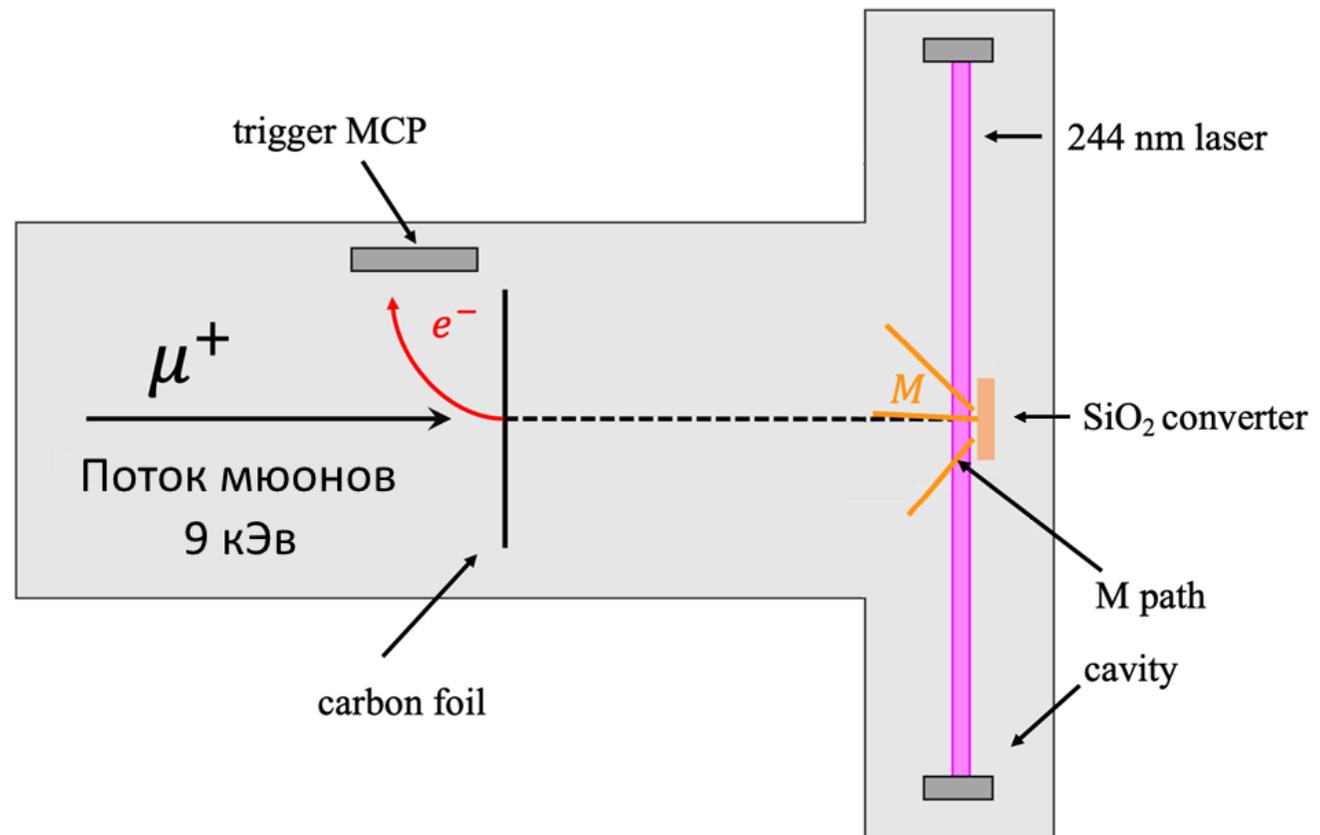
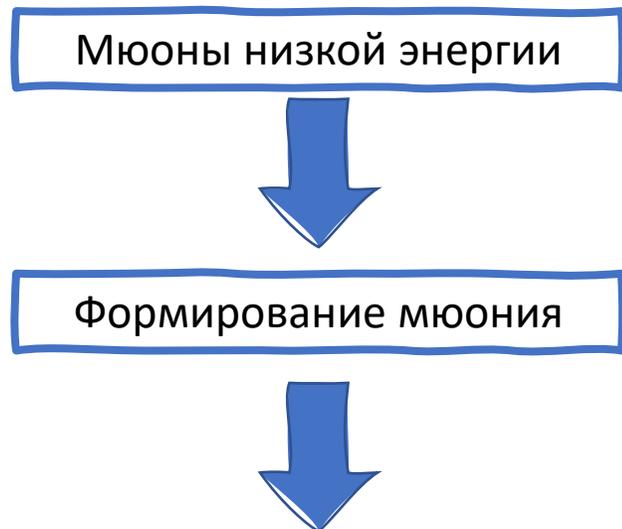
Мюоны низкой энергии



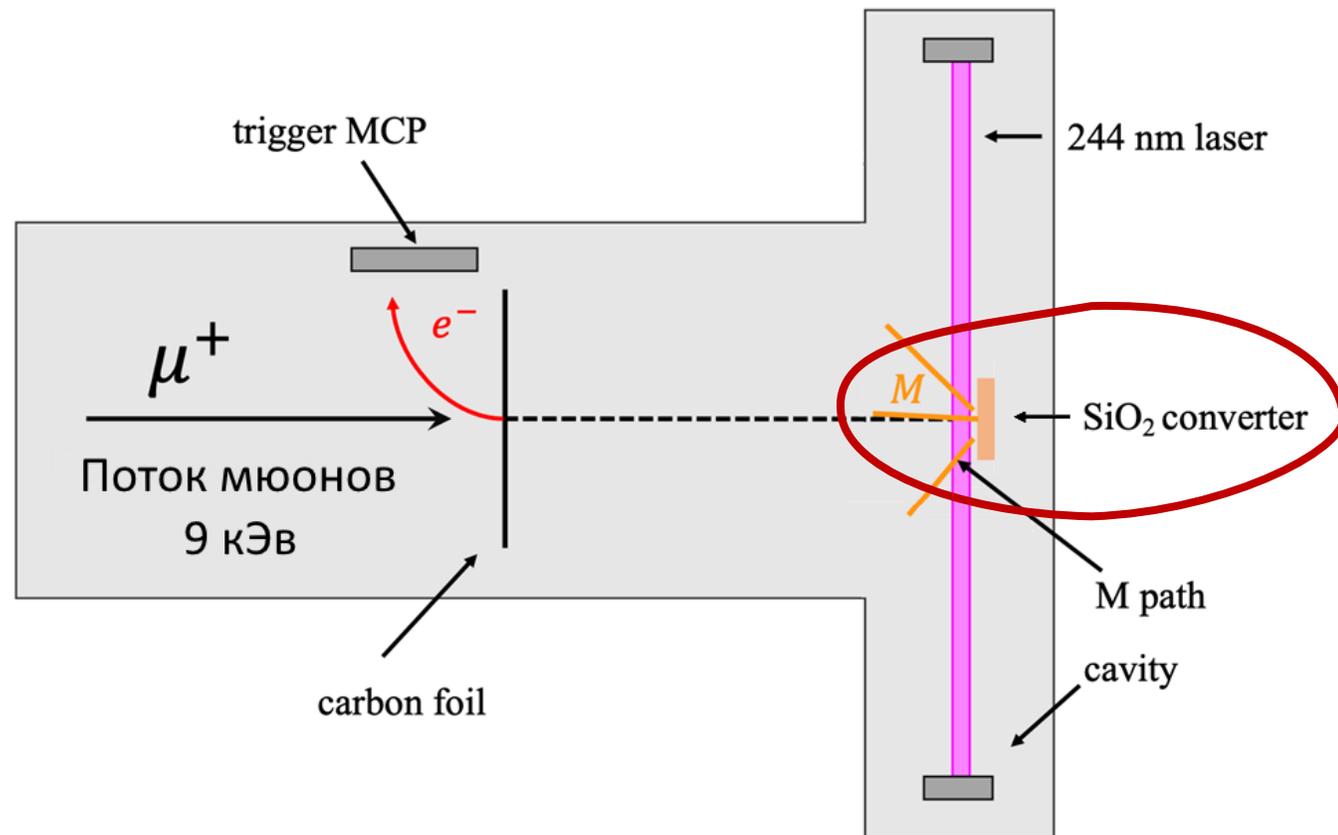
Ultrathin (10nm)
Carbon Foil



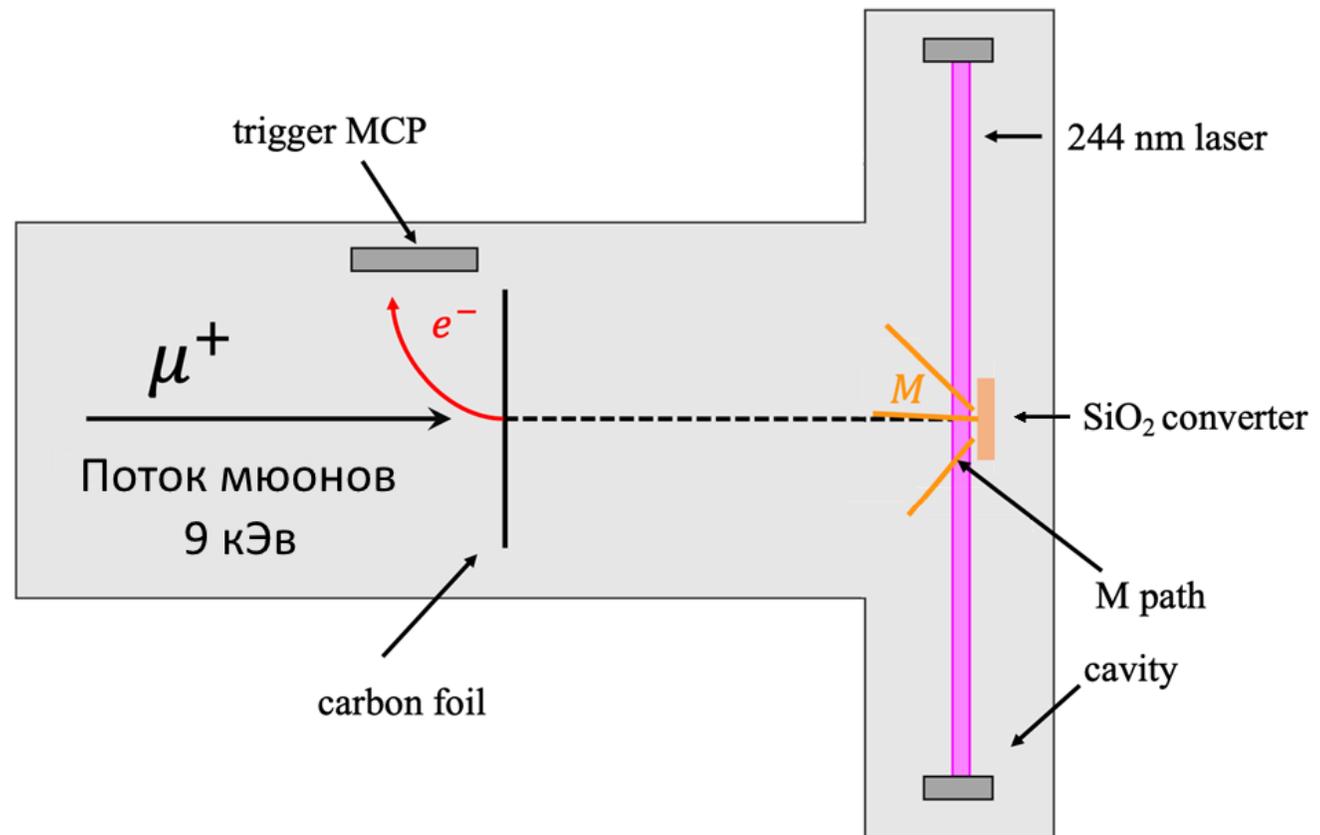
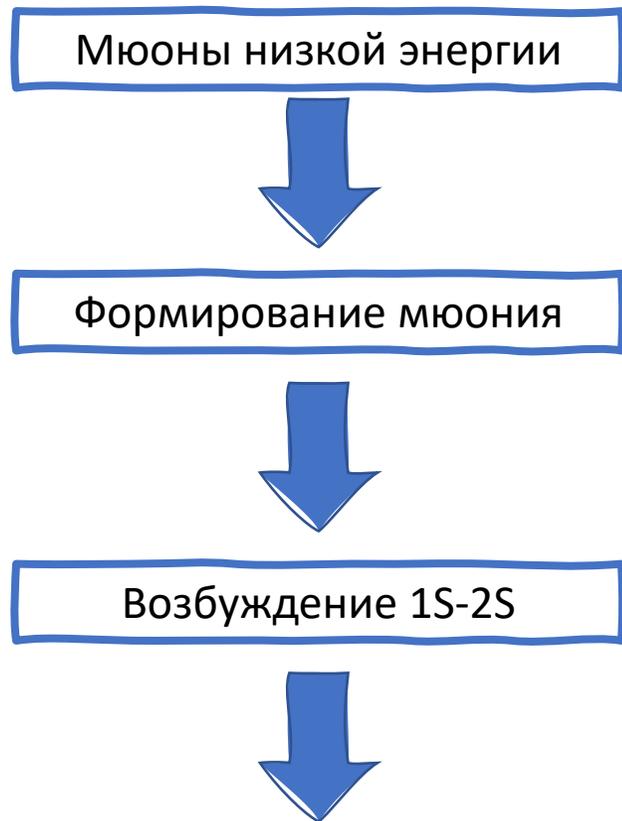
Этапы эксперимента Mu-MASS



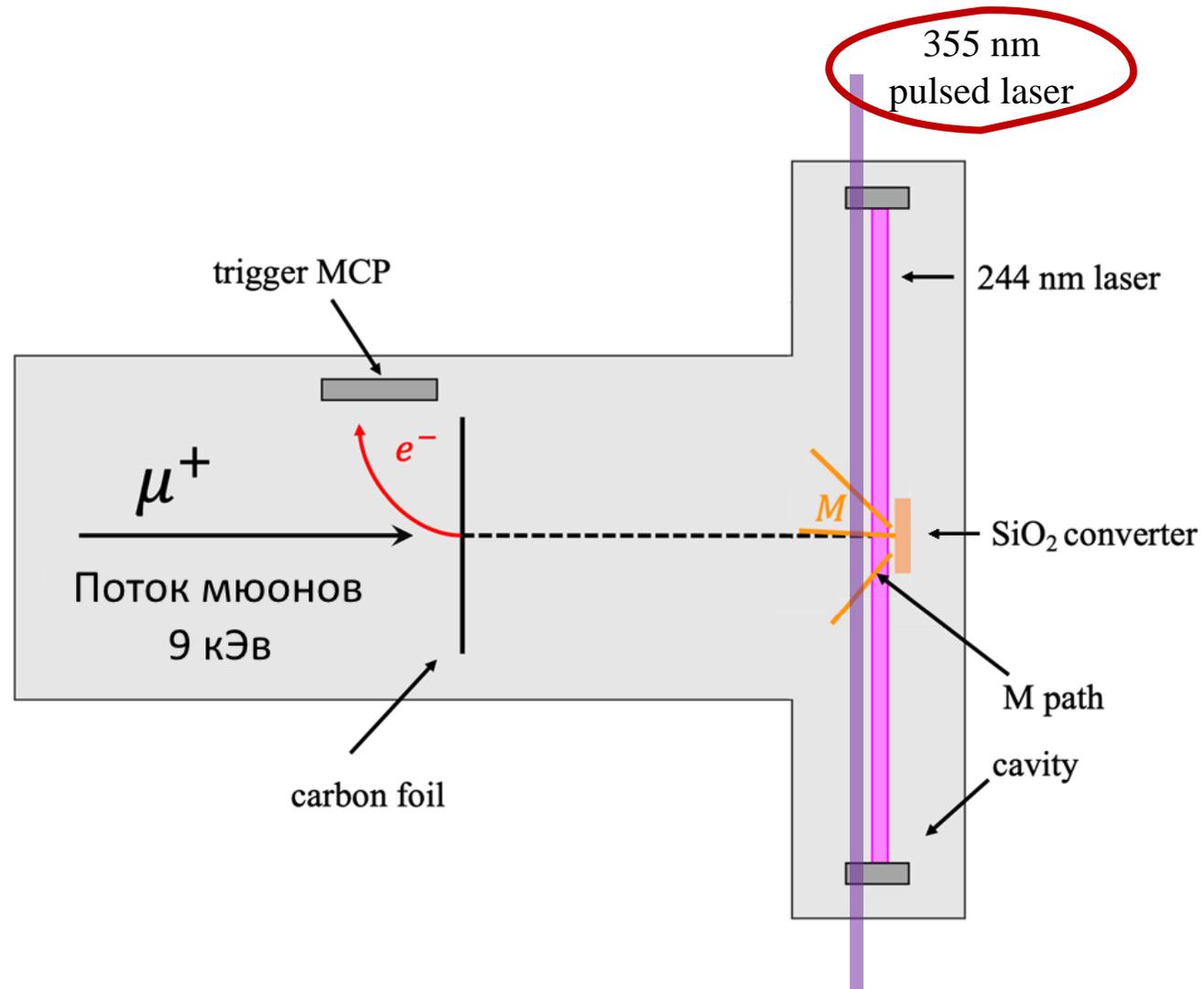
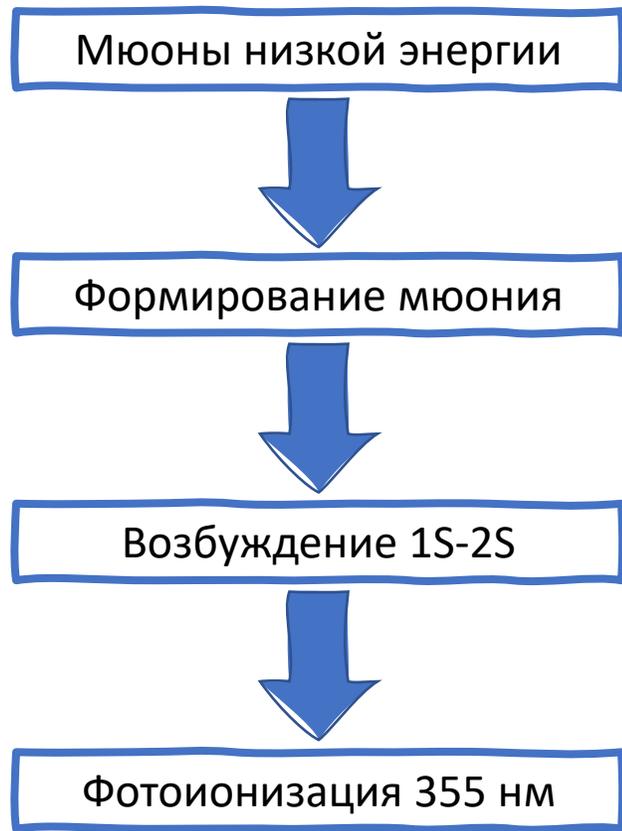
Этапы эксперимента Mu-MASS



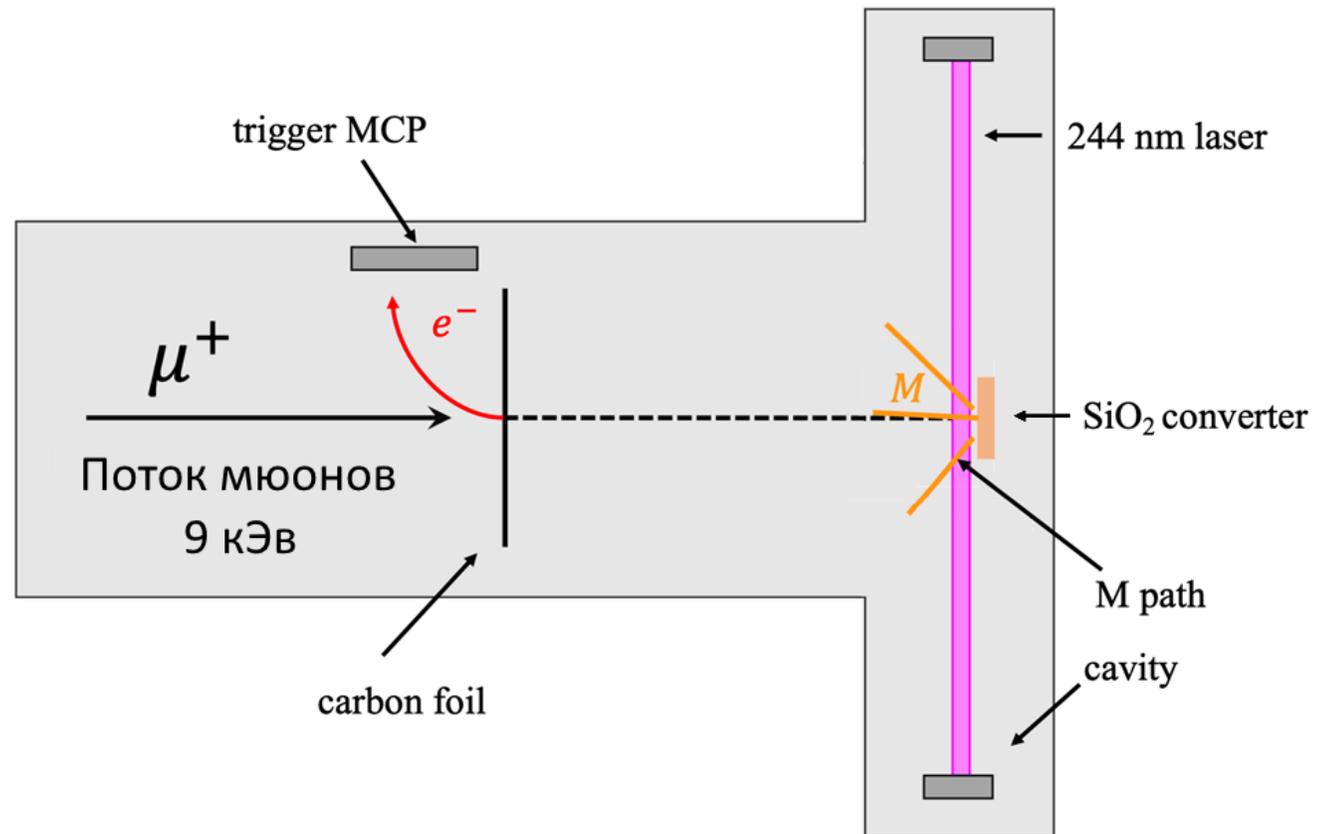
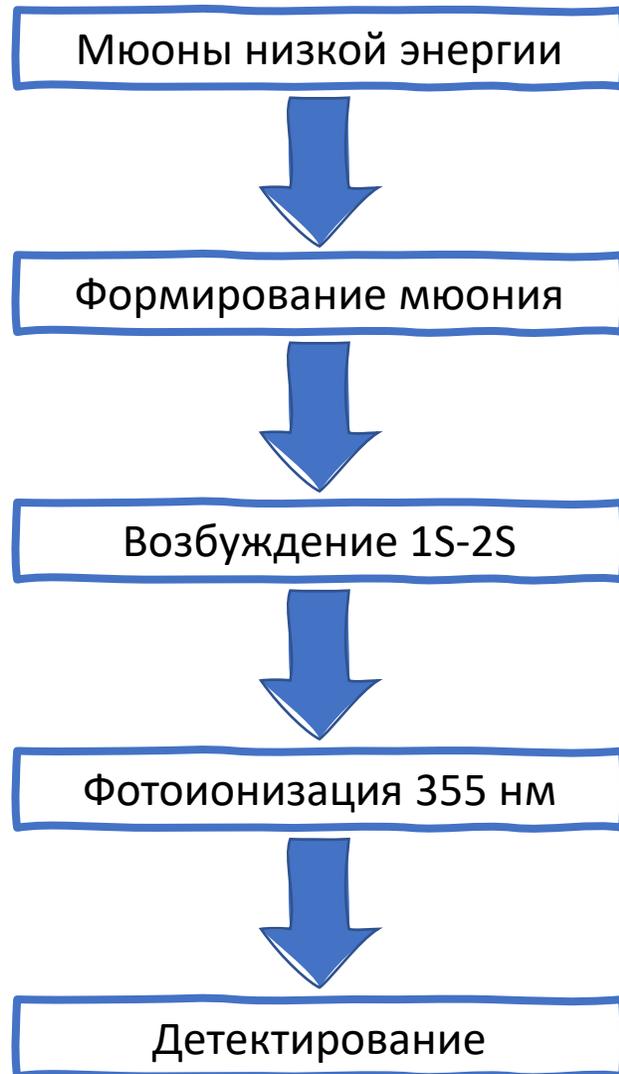
Этапы эксперимента Mu-MASS



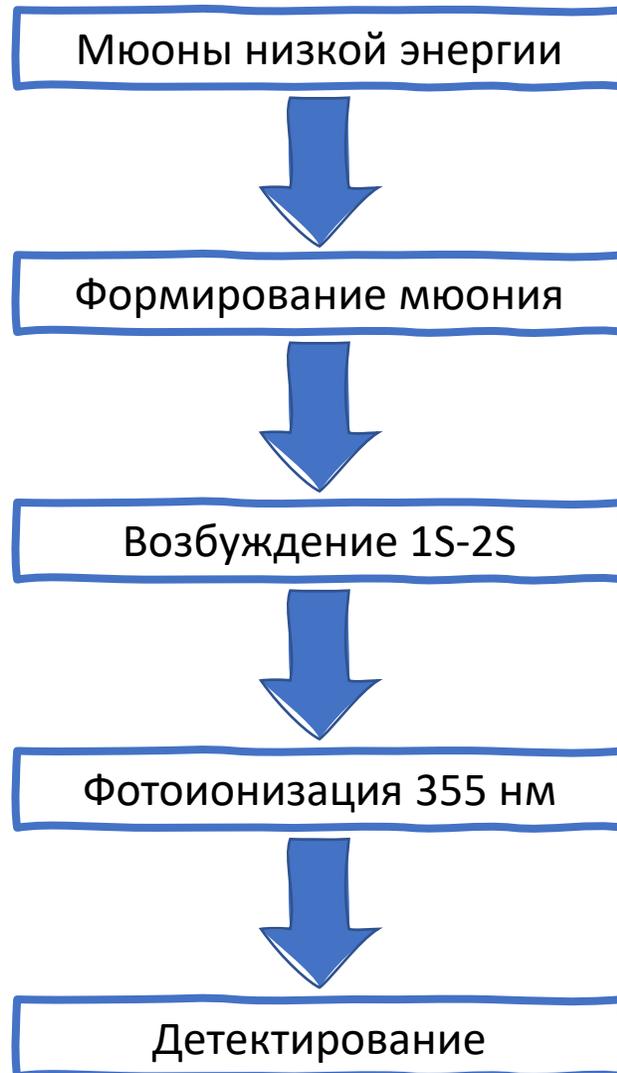
Этапы эксперимента Mu-MASS



Этапы эксперимента Mu-MASS

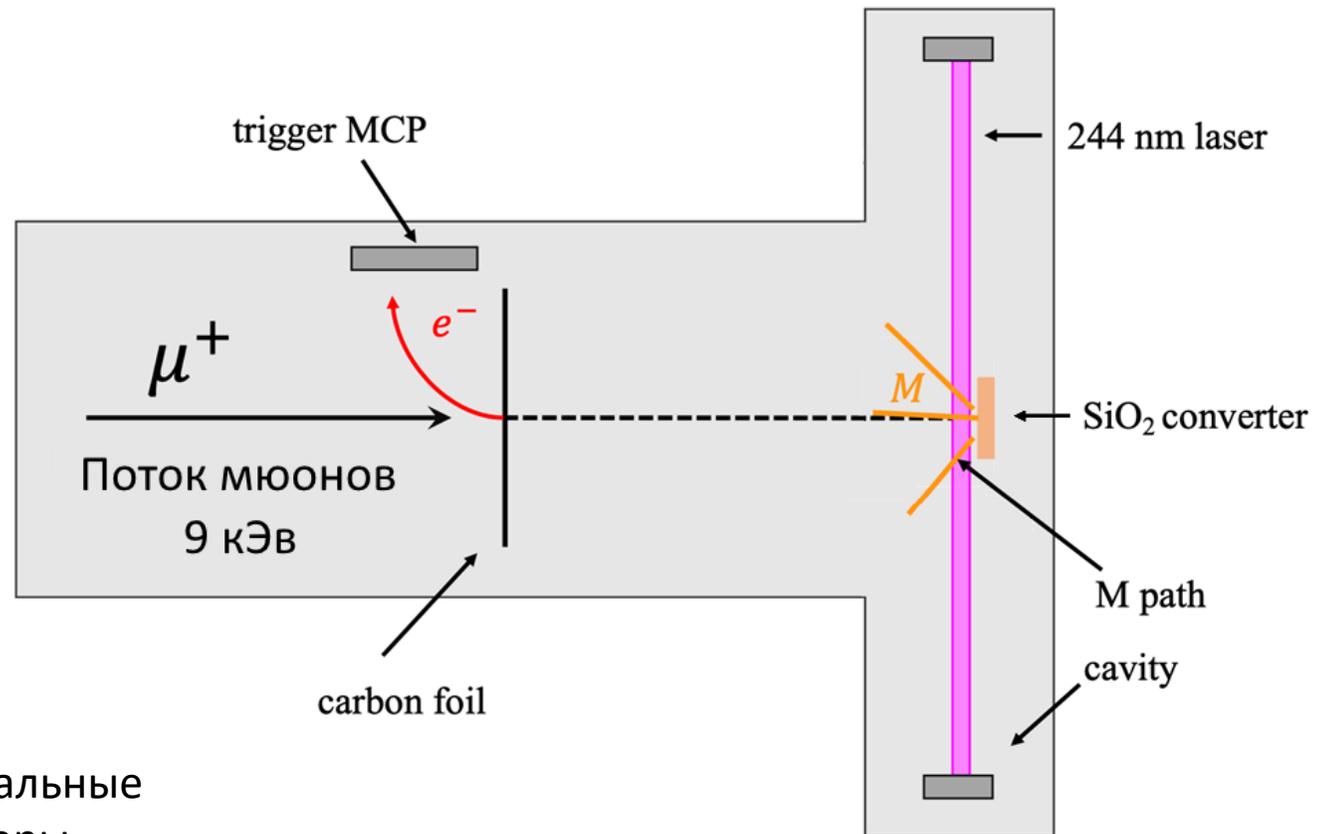


Этапы эксперимента Mu-MASS

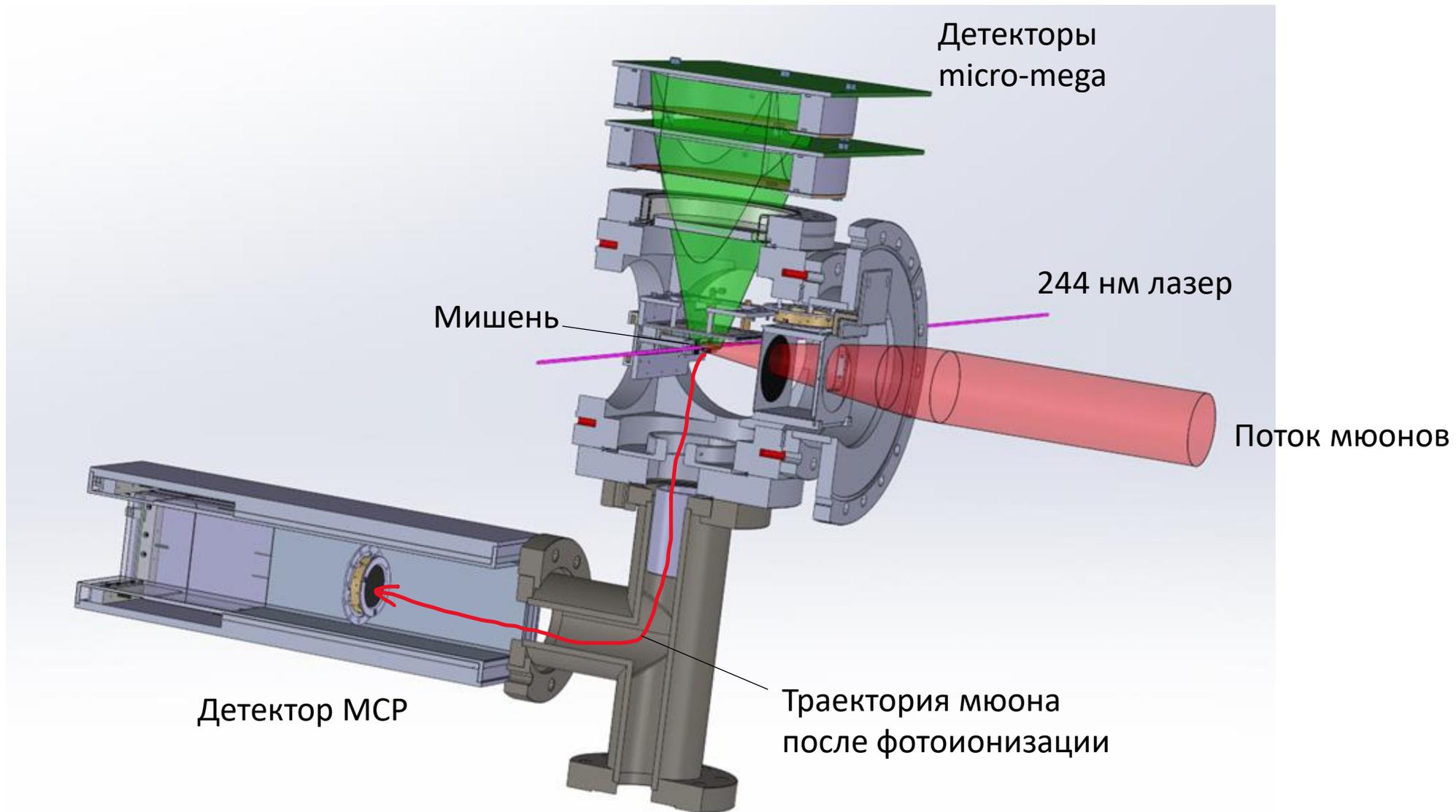


Микроканальные
детекторы

Сцинтилляторы



Этапы эксперимента Mu-MASS



Основные сложности эксперимента Mu-MASS

1) Низкая вероятность возбуждения

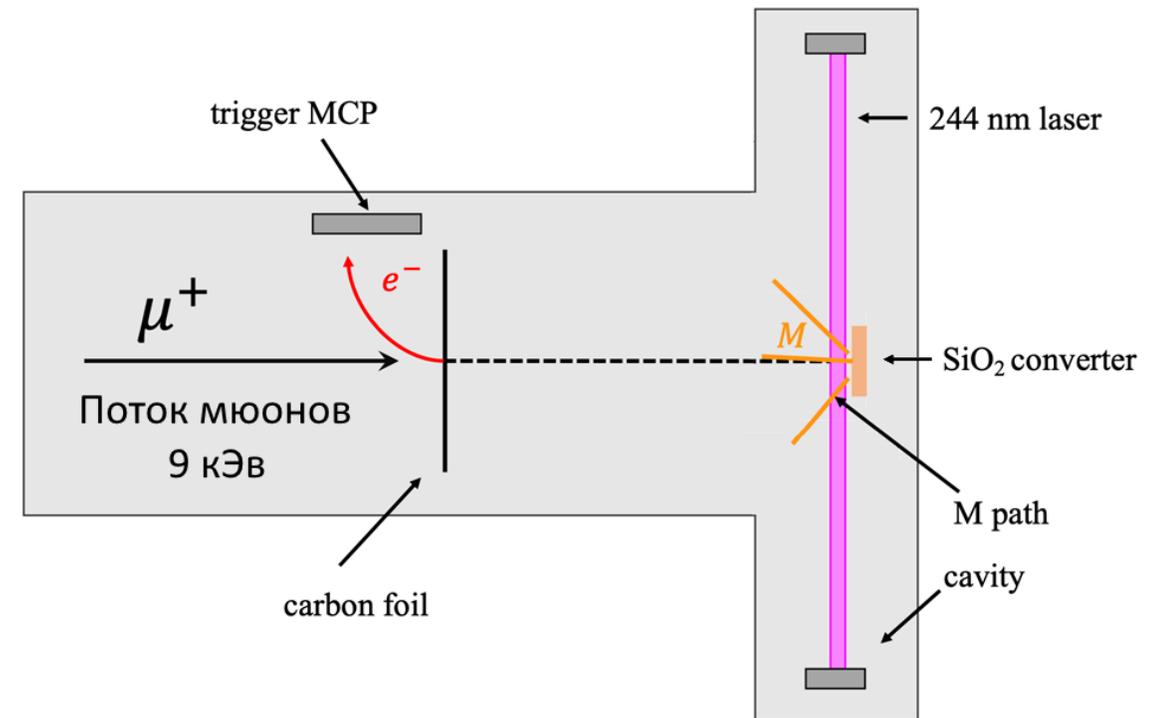


Нужно лазерное излучение высокой мощности в УФ

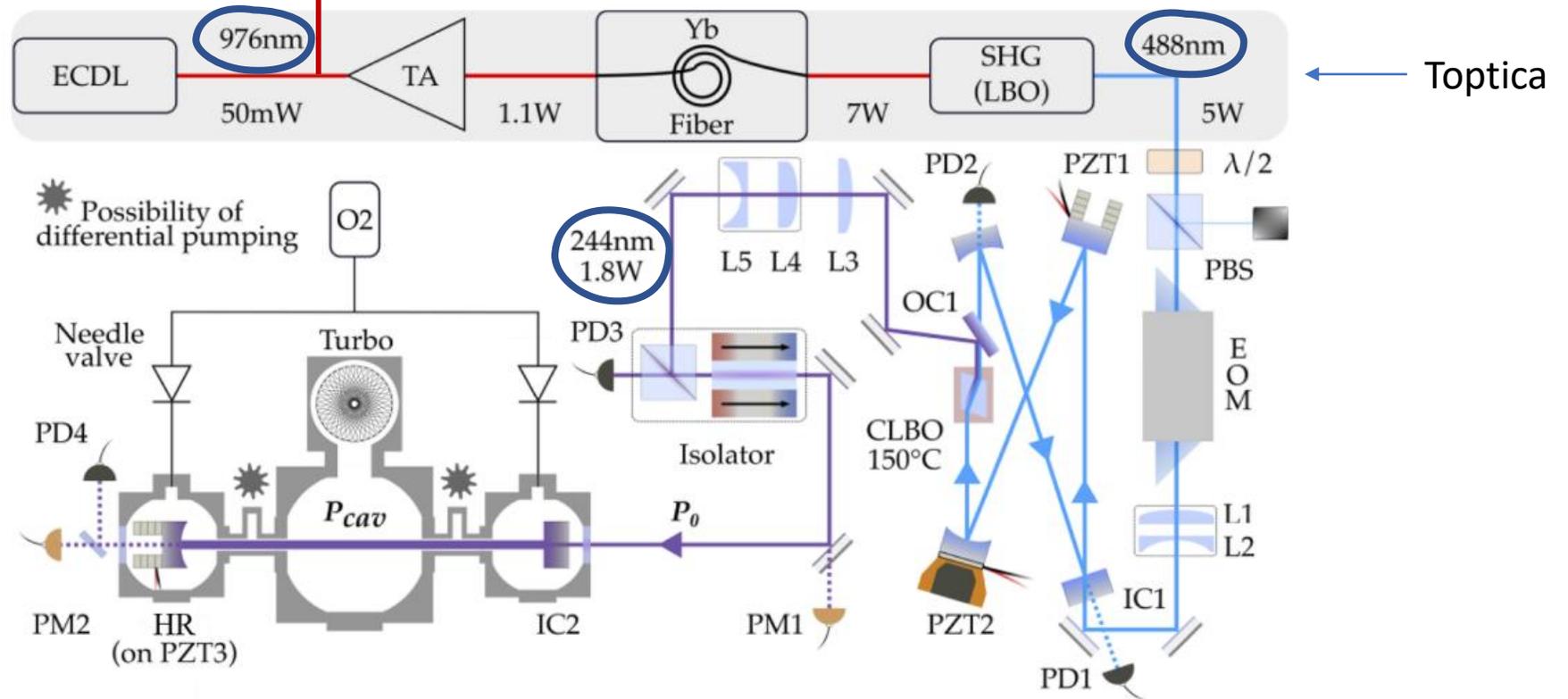
Необходим очень малый паразитный сигнал

2) Большой размер пучка мюонов в сравнении с лазерным лучом

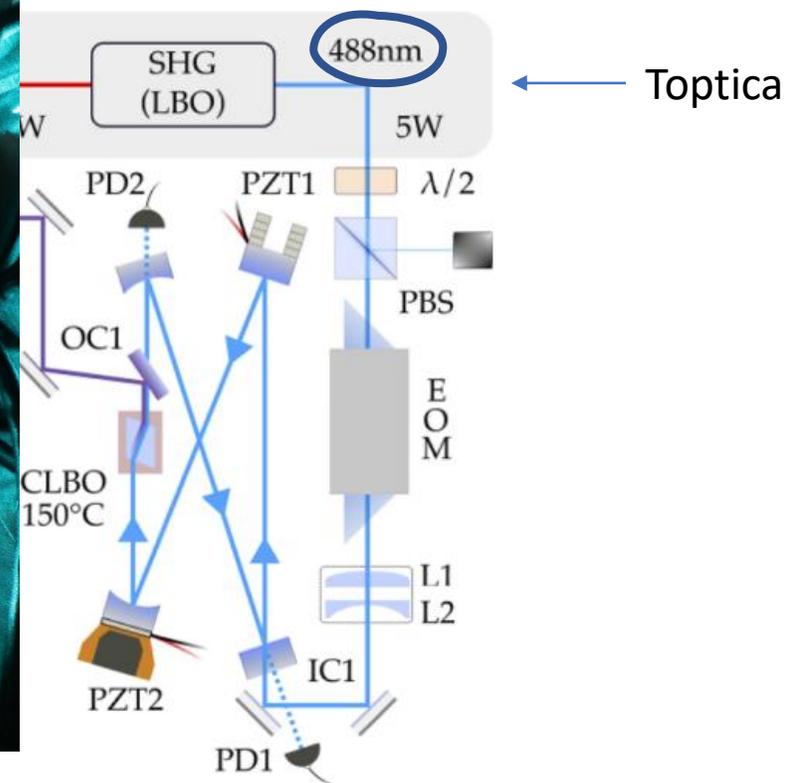
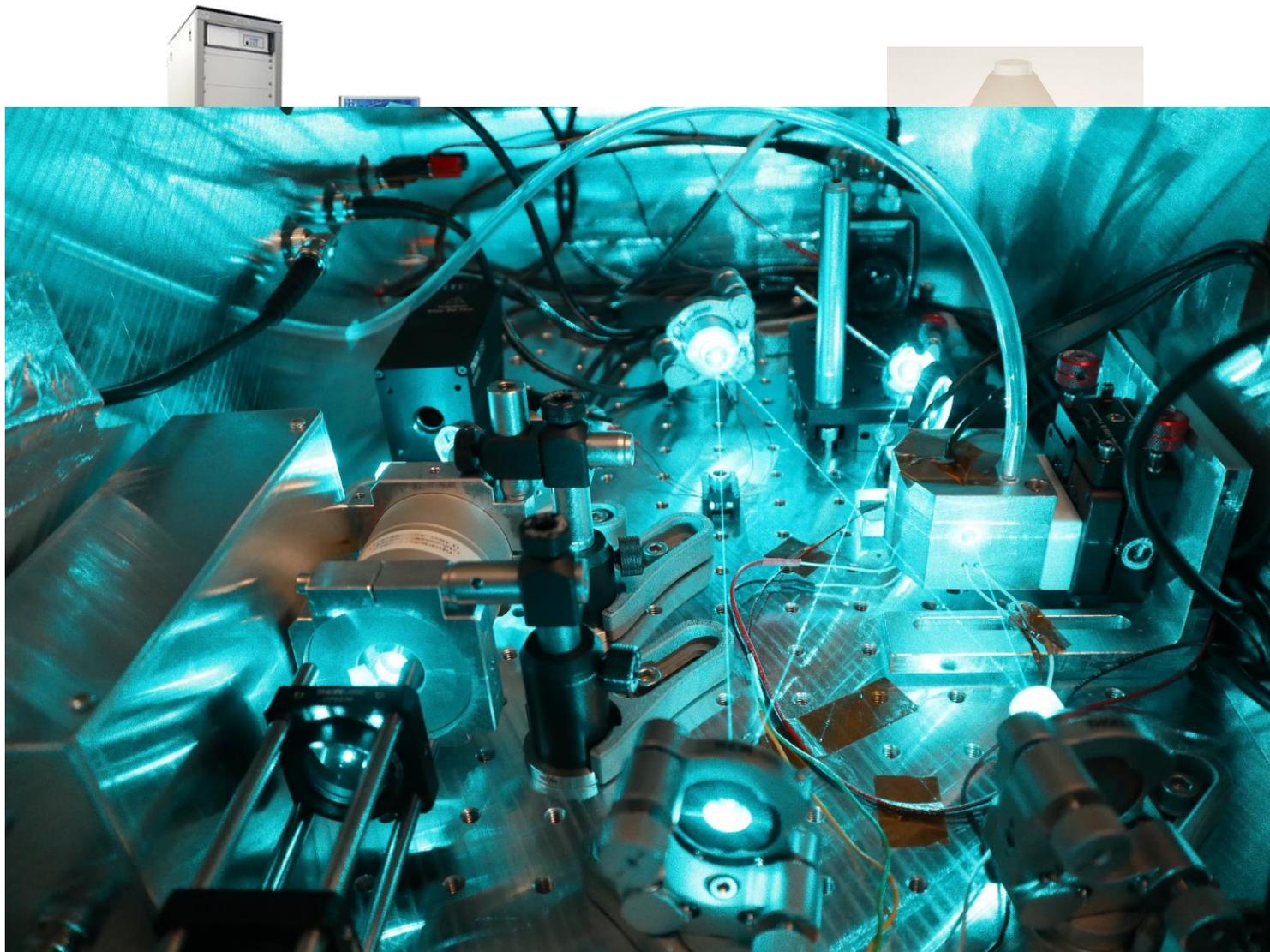
3) Высокая скорость мюония ≈ 1 мм/с



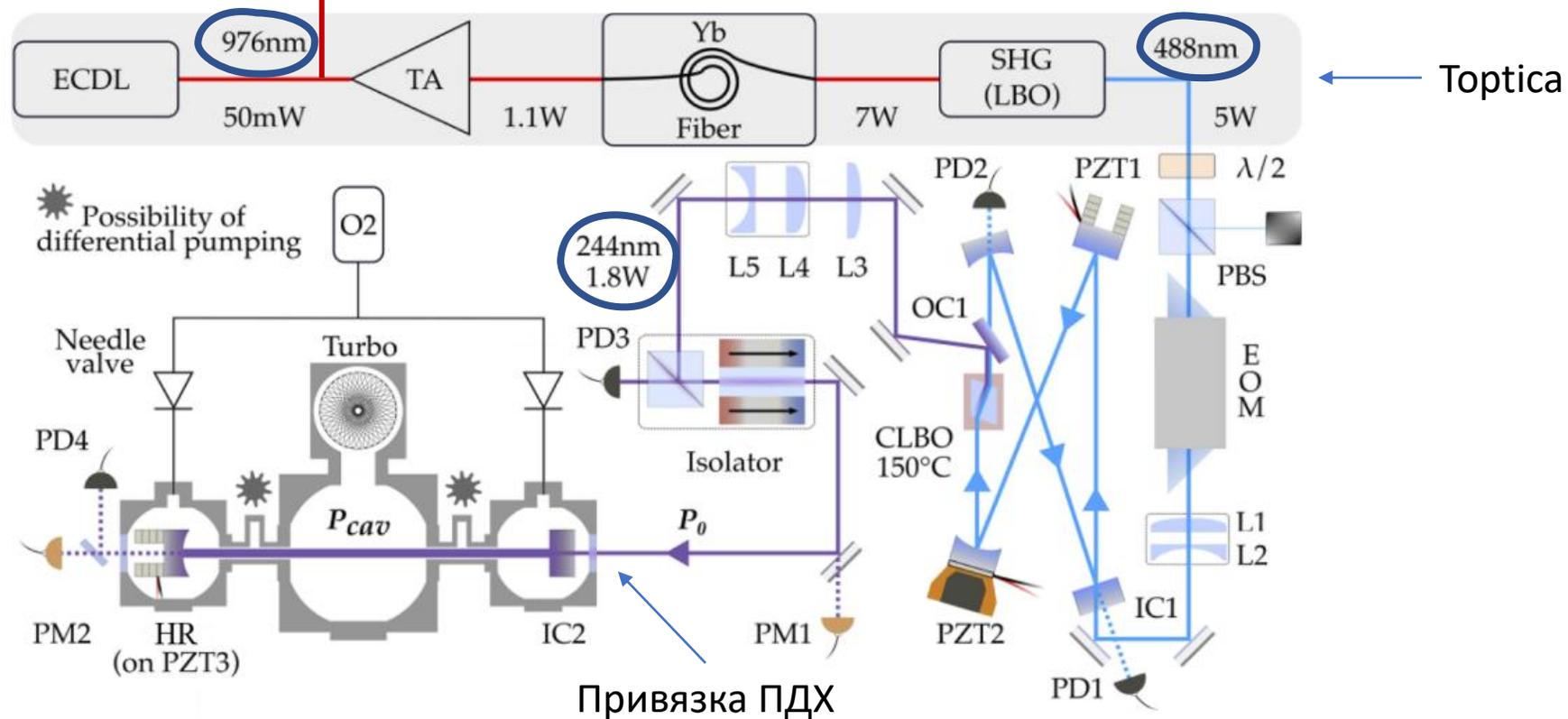
Лазерная система 244 нм



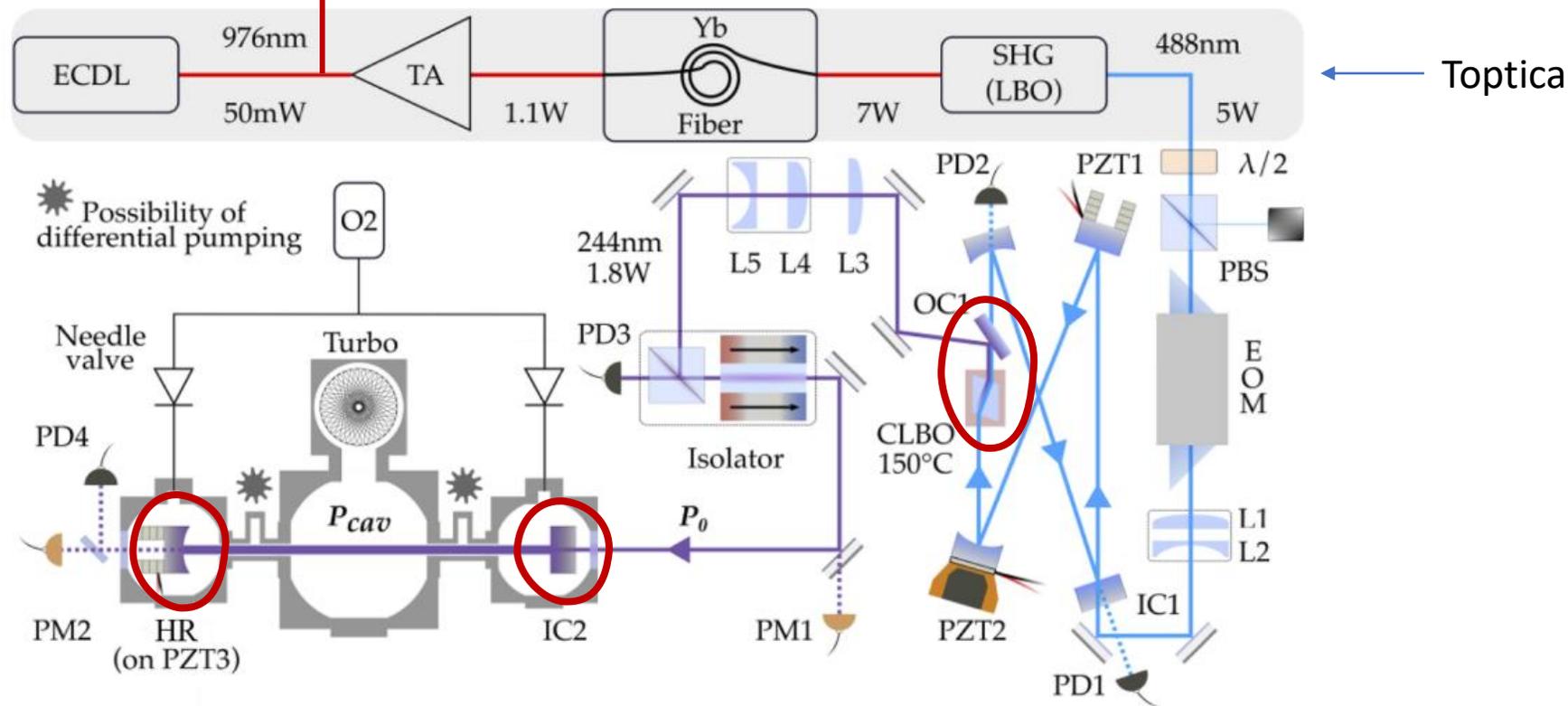
Лазерная система 244 нм



Лазерная система 244 нм

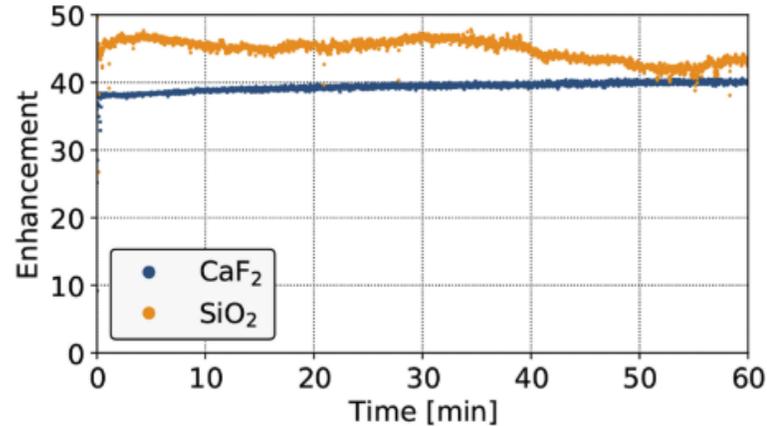


Лазерная система – деградация зеркал в УФ

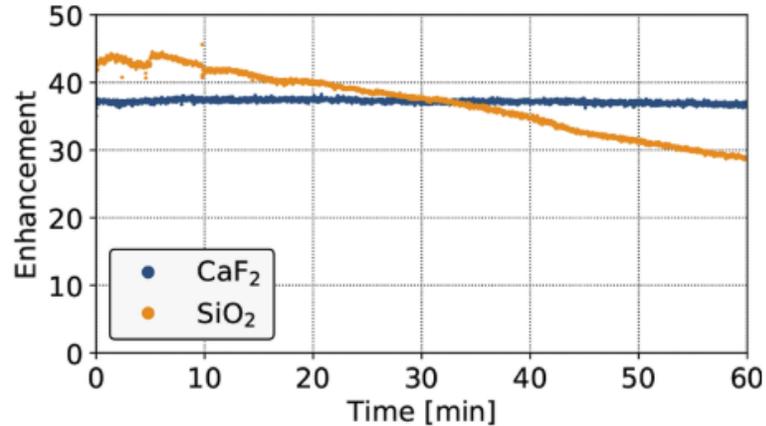


Лазерная система – деградация зеркал в УФ

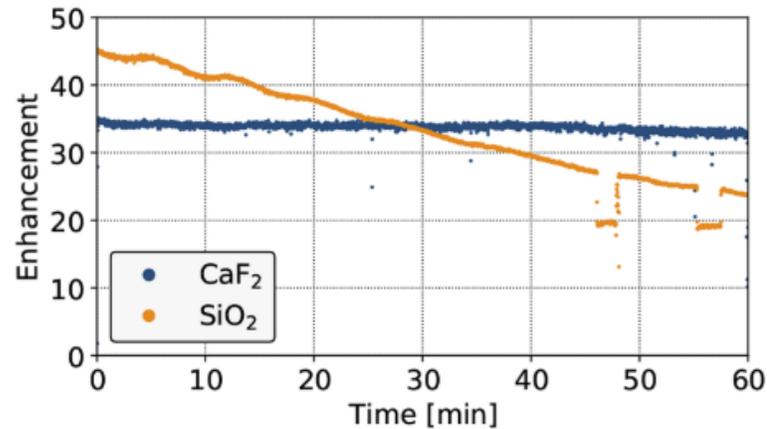
Решение:
Зеркала на
основе CaF_2



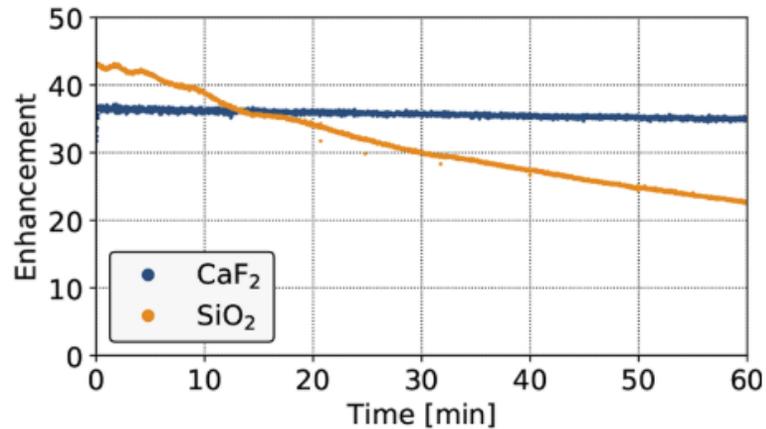
(a) 1.5 W intra-cavity power for both input couplers.



(b) 3 W intra-cavity power for both input couplers.

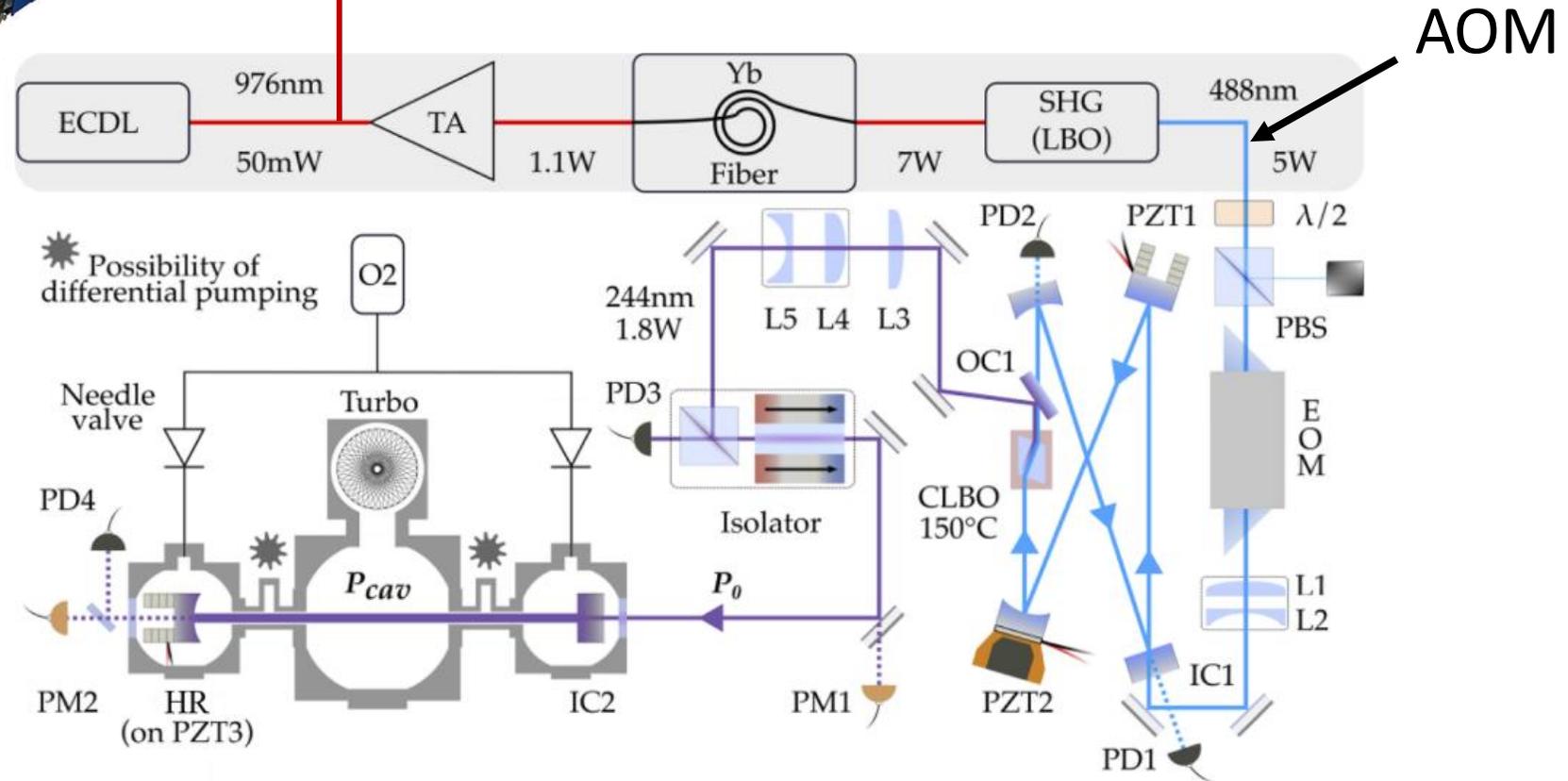


(c) 5 W intra-cavity power for fluoride-IC,
5.5 W start power for oxide-IC.

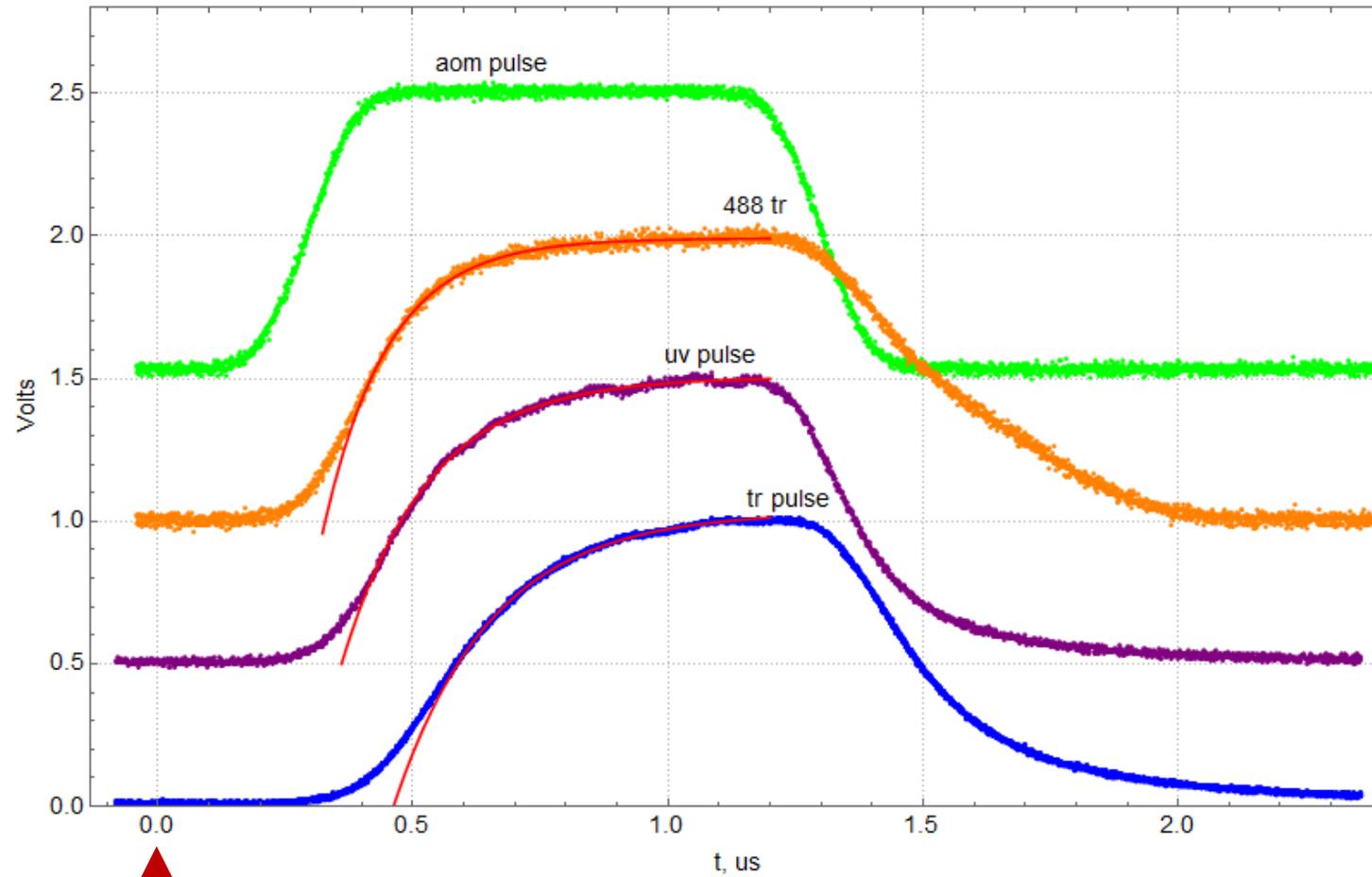


(d) 10 W intra-cavity power for fluoride-IC,
9 W start power for oxide-IC.

Импульсное повышение мощности 244 нм



Импульсное повышение мощности 244 нм



330 ns delay, then exp
rise $t=128$ ns

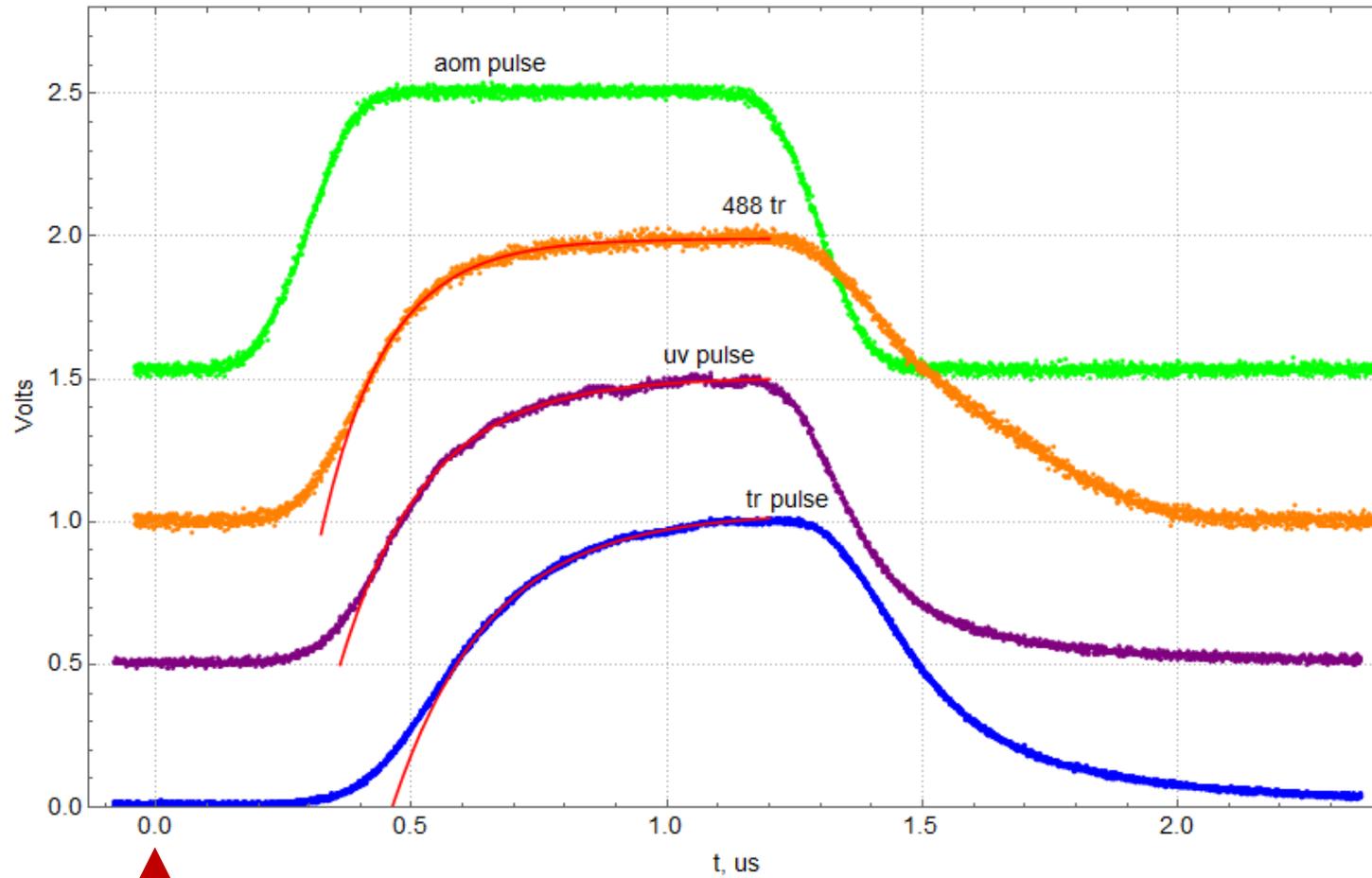
360 ns delay, then exp
rise $t=169$ ns

461 ns delay, then exp
rise $t=191$ ns

Exp fall $t=210$ ns

Триггер – пролёт мюона

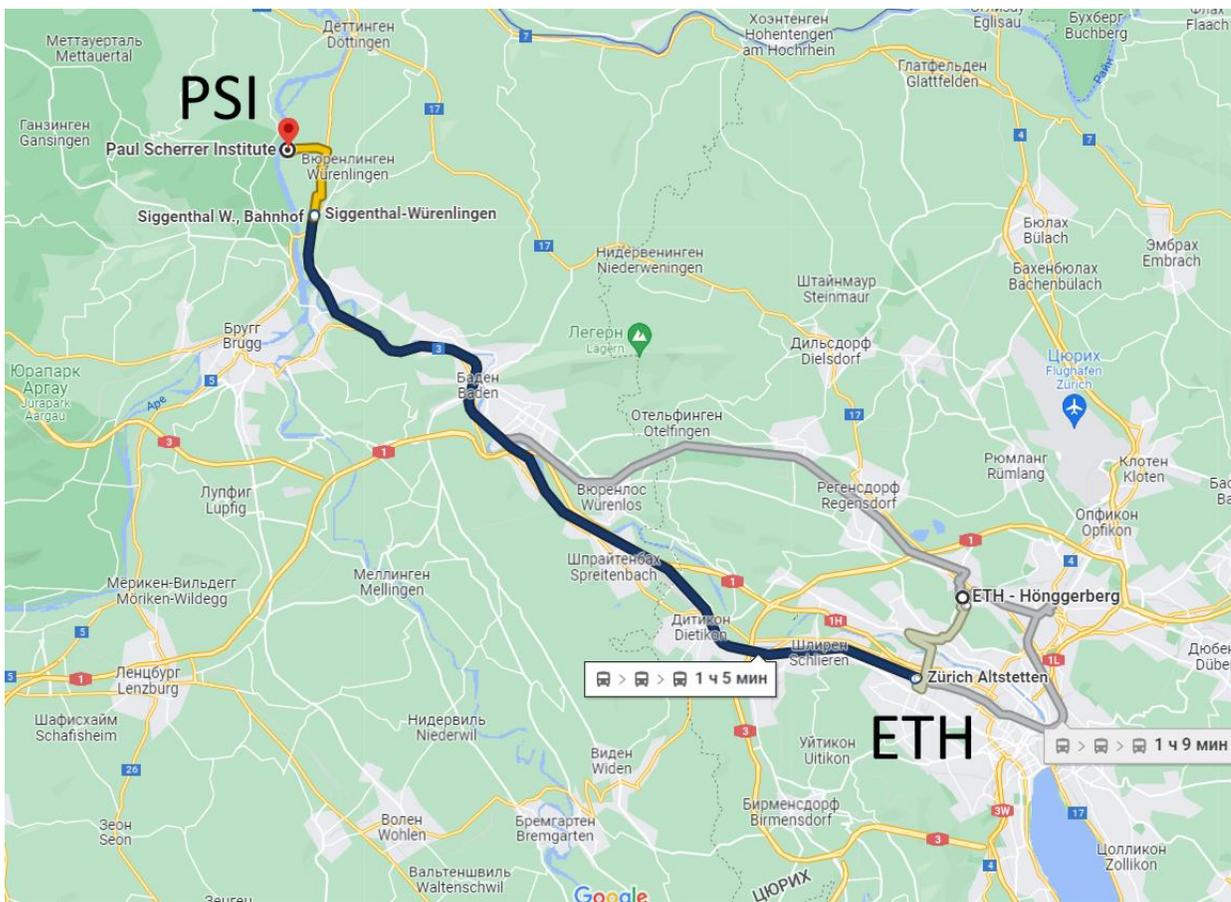
Импульсное повышение мощности 244 нм



Триггер – пролёт мюона

Мощности 244 на входе в резонатор:
Мощность до импульса – 5 мВт
Мощность в импульсе – 1.2 Вт
Мощность сразу после импульса \approx 0 мВт

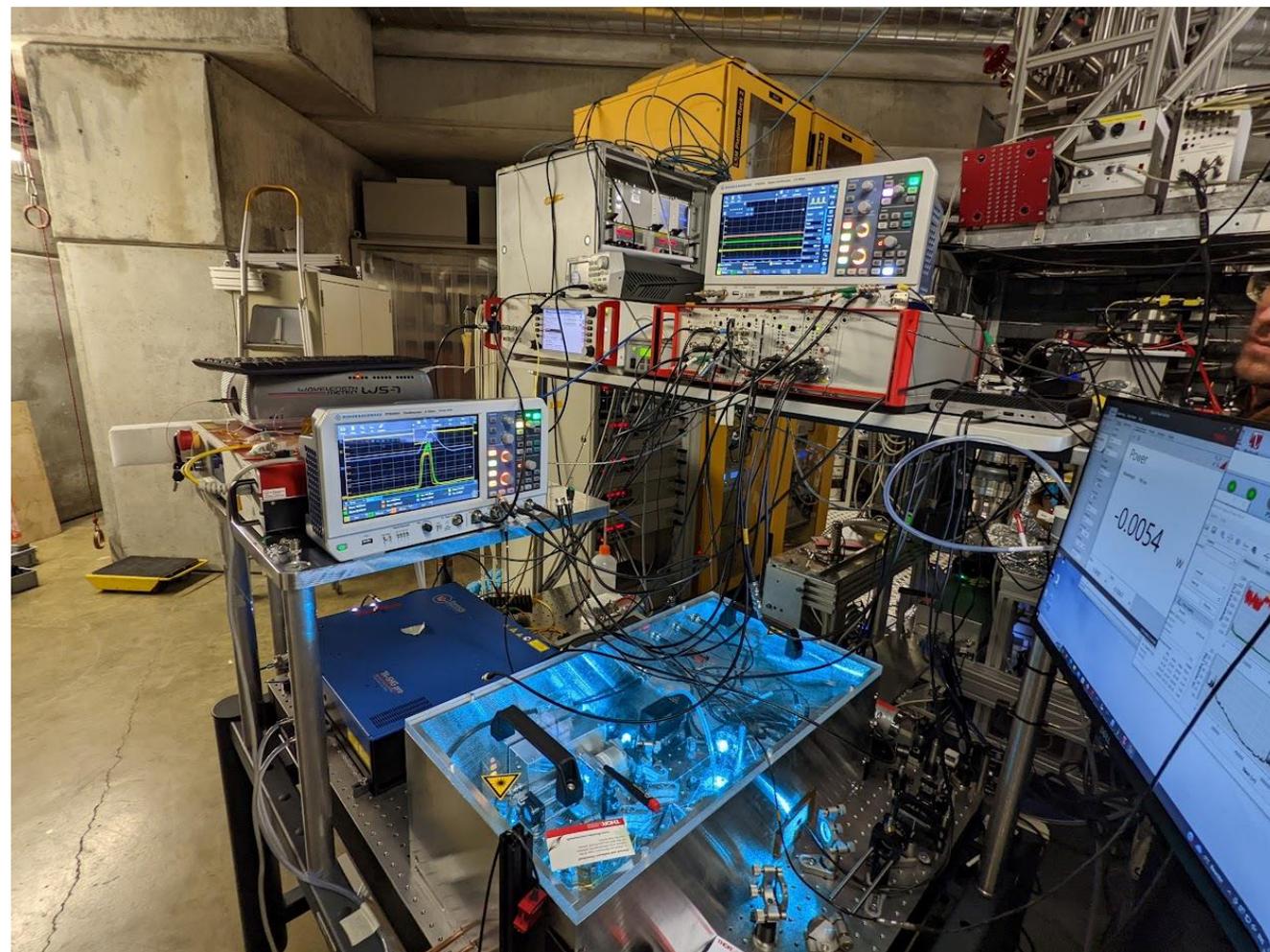
Измерения в декабре 2022



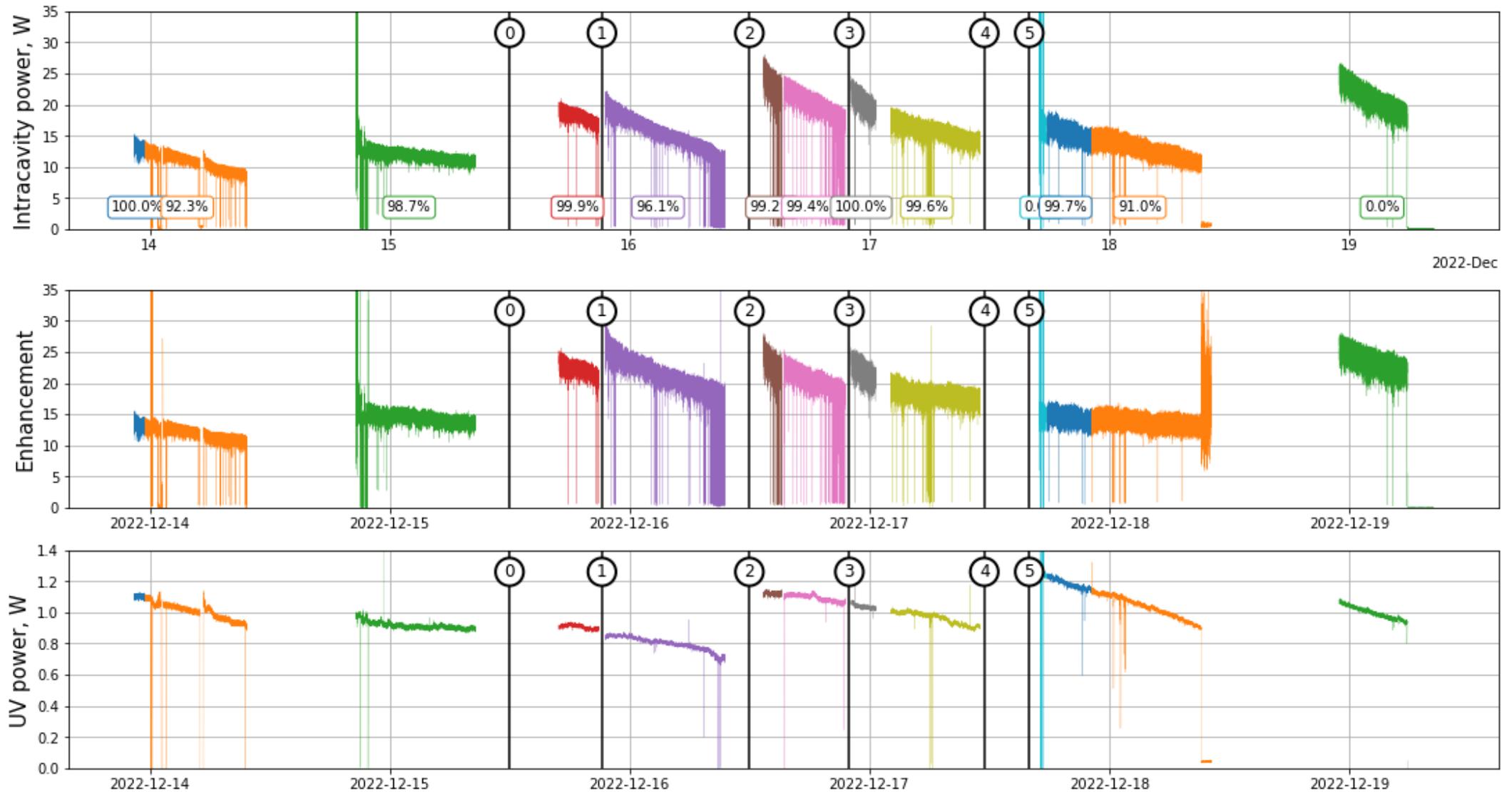
PAUL SCHERRER INSTITUT



Измерения в декабре 2022



Поведение лазерной системы во время измерений



Спасибо за внимание!

