

Сверхчувствительный лазерный дистанционный обнаружитель взрывчатых веществ

(Двухимпульсный метод лазерной фрагментации лазерно индуцированной флуоресценции для дистанционного обнаружения паров и следов азотосодержащих ВВ)

С.М. Бобровников[▪], Е.В. Горлов[▪], В.И.Жарков[▪], Ю.Н. Панченко^{▪▪}, Г.В. Сакович^{▪▪▪}, А.Б.Ворожцов^{▪▪▪▪},

[▪]ИОА СО РАН, Томск

^{▪▪}ИСЭ СО РАН, Томск

^{▪▪▪}ИПХЭТ СО РАН, Бийск

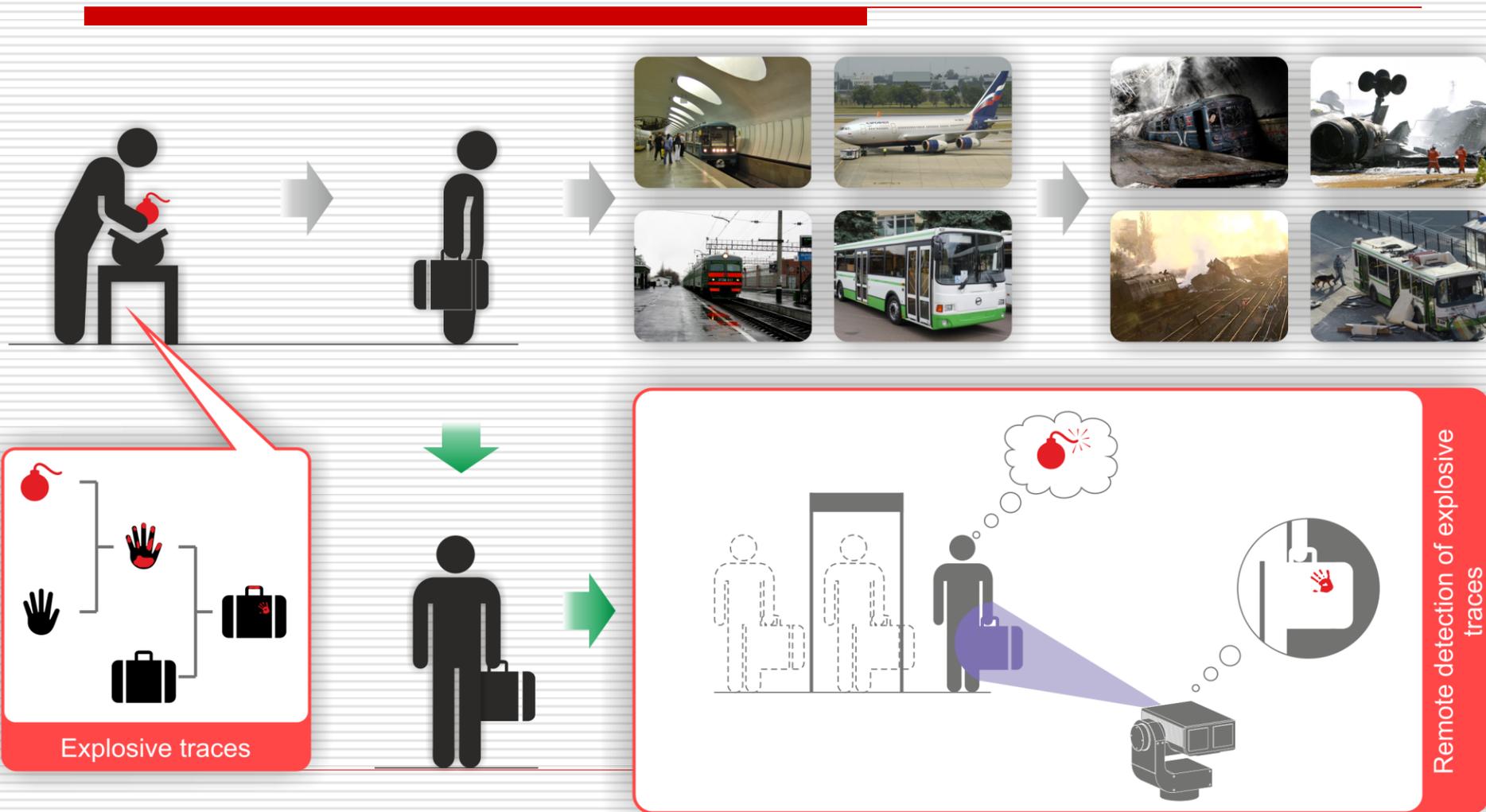
^{▪▪▪▪}ТГУ, Томск

Содержание

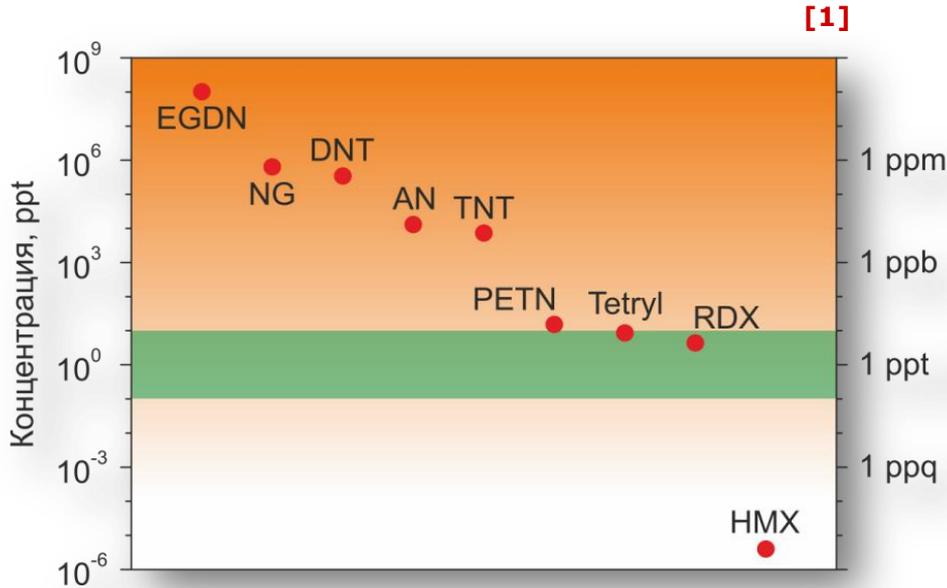
- **Постановка задачи**
- **Принцип обнаружения**
- **Лидарная система для обнаружения паров ВВ**
- **Дистанционное обнаружение следов ВВ**
- **Сканирующая лидарная система для обнаружения следов ВВ**
- **Оценка пороговой чувствительности**
- **Визуализация следов ВВ**
- **Сценарии применения**
- **Повышение эффективности процесса обнаружения**

■ Постановка задачи

Цель: создание лазерной системы дистанционного обнаружения паров и следов ВВ



Давление насыщающих паров некоторых взрывчатых веществ при комнатной температуре, 25°C

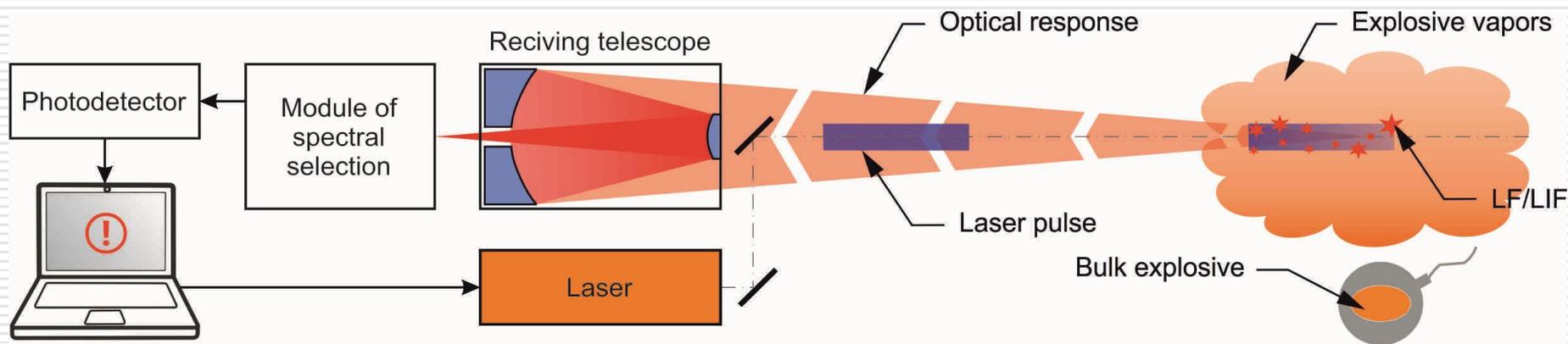


EGDN – этиленгликольдинитрат
 NG – нитроглицерин
 DNT – динитротолуол
 AN – нитрат аммония
 TNT – тринитротолуол
 PETN – тетранитропентаэритрит
 Tetryl – тетрил
 RDX – гексоген
 HMX – октоген

ppm (parts-per-million, 10⁻⁶)
 ppb (parts-per-billion, 10⁻⁹)
 ppt (parts-per-trillion, 10⁻¹²)
 ppq (parts-per-quadrillion, 10⁻¹⁵)

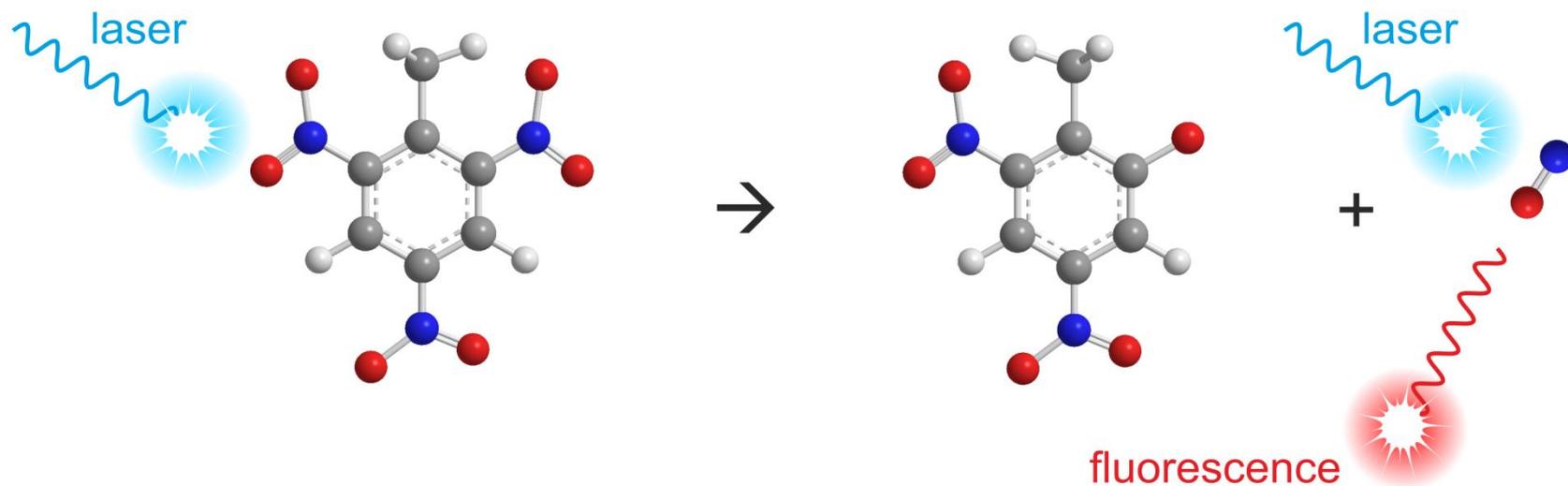
- [1] H. Östmark, S. Wallin, and H.G. Ang, "Vapor Pressure of Explosives: A Critical Review," Propellants Explos. Pyrotech. **37**, 12-23 (2012).
- [2] D.B. Walker, J.C. Walker, P.J. Canvar, J.L. Taylor, D.H. Pickel, S.B. Hall, and J.C. Suarez, "Naturalistic quantification of canine olfactory sensitivity," Appl. Anim. Behav. Sci. **97**, 241-254 (2006).

▪ Постановка задачи

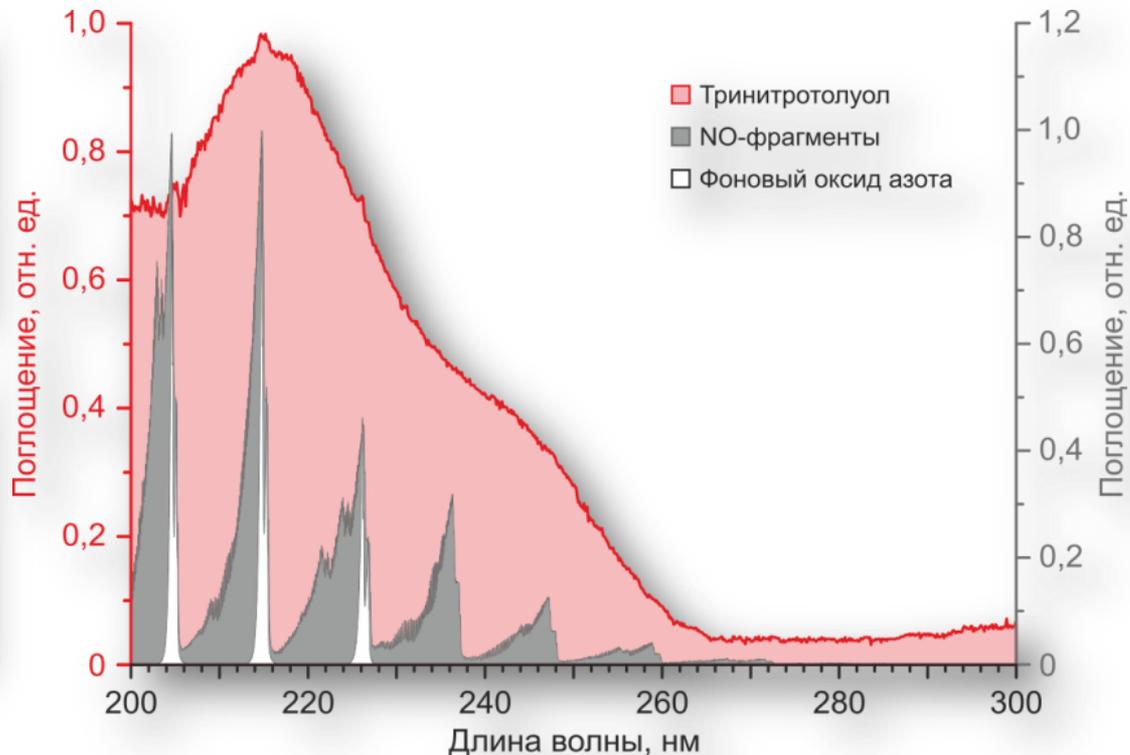
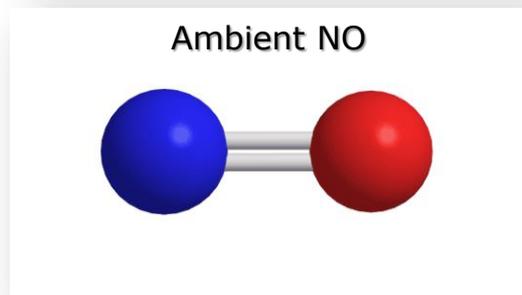
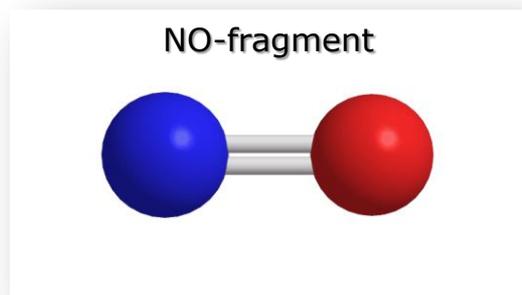


Схема, иллюстрирующая принцип дистанционного обнаружения паров с помощью лидара

Принцип лазерной фрагментации лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛФ/ЛИФ)

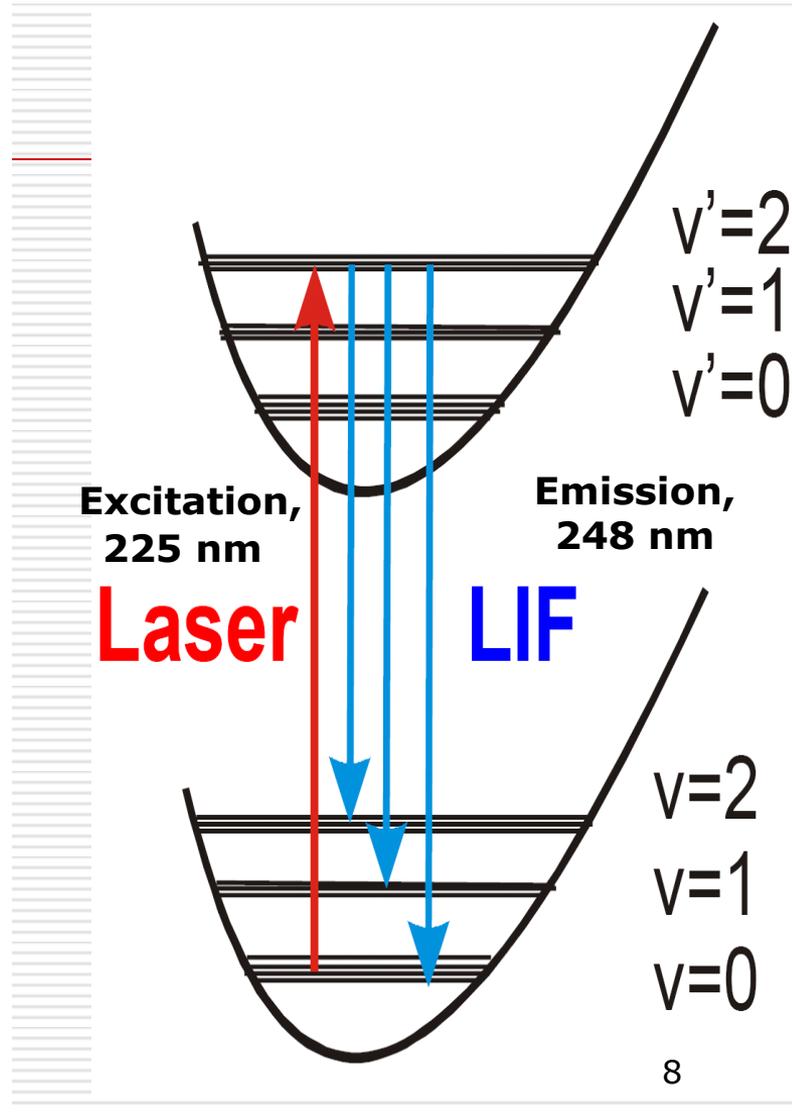
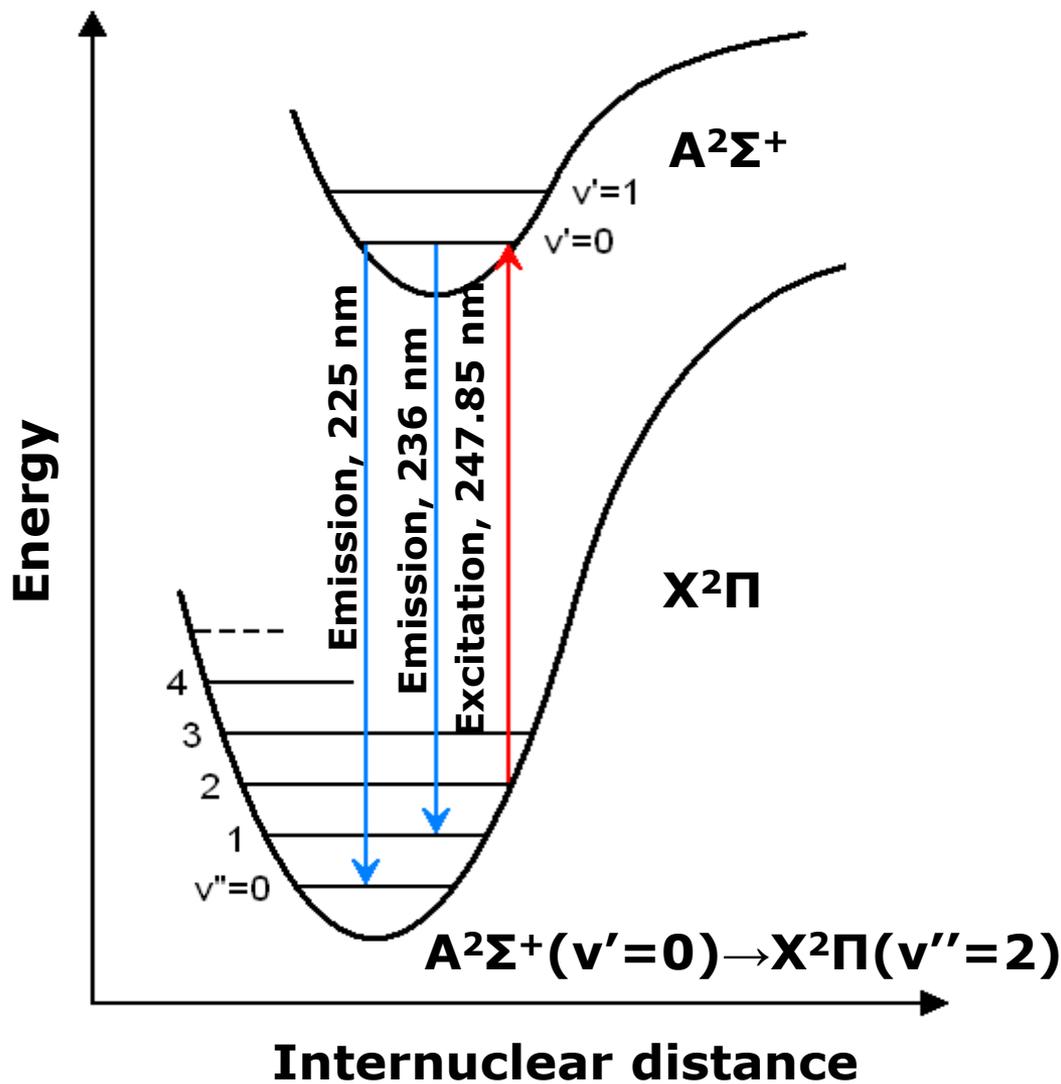


Спектры поглощения паров ТНТ и моно оксида азота



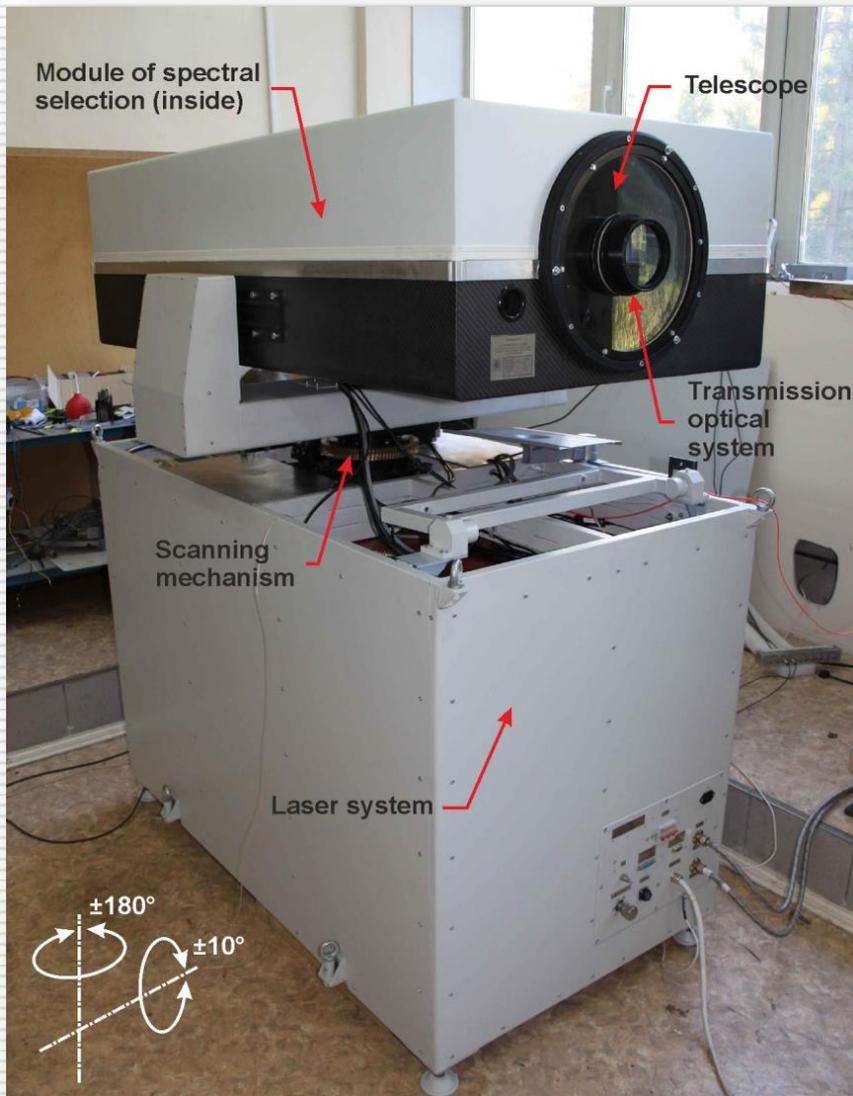
- A.D. Usachev, T.S. Miller, J.P. Singh, F.-Y. Yueh, P.-R. Jang, and D.L. Monts, "Optical Properties of Gaseous 2,4,6-Trinitrotoluene in the Ultraviolet Region," *Appl. Spectrosc.* 55(2), 125-129 (2001).
- "LIFBASE, Database and spectral simulation for diatomic molecules (v. 1.6)" J. Luque and D.R. Crosley, SRI International Report MP-99-009 (1999).

Возбуждение флуоресценции молекулы NO из второго возбуждённого колебательного состояния



• **Arusi-Parpar T., Heflinger D., Lavi R.** Photodissociation Followed by Laser-Induced Fluorescence at Atmospheric Pressure and 24 °C: A unique Scheme for Remote Detection of Explosives // *Appl. Opt.* 2001. V. 40, N 36. P. 6677–6681.

Лазерный детектор паров азотосодержащих ВВ (ДОВВ=1)



Параметр	Значение
Чувствительность, г/см ³	10 ⁻¹² *
Дальность действия, м	10÷50
Время обнаружения, сек	10÷300
Потребляемая мощность, кВт	5
Габариты(длина × ширина × высота), м	1,5×1,0×1,8
Вес, кг	590

* Экспериментальная проверка характеристик ДОВВ-1 проводилась силами специалистов Центра специальной техники и связи МВД России в период с 20 по 22 февраля 2013 г.

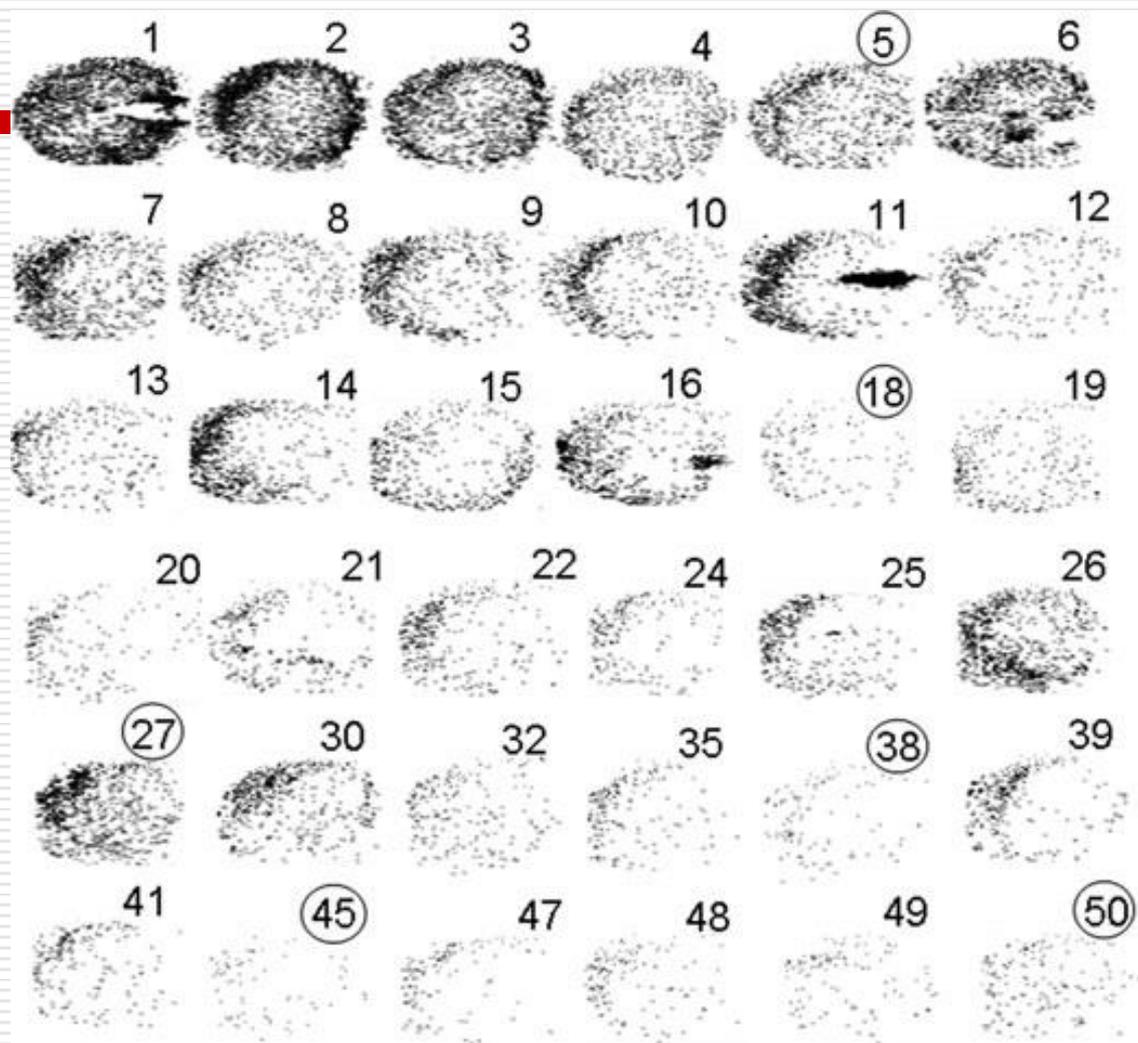
- **Обнаружение следов ВВ**

Лидарное обнаружение следов ВВ

Как показывают расчёты лидарная система способна иметь чувствительность при обнаружении следов ВВ с поверхностной плотностью следа 1–10 нг/см² на дистанции 20–30 м при времени измерения порядка 0,1 сек.

Чувствительность 1–10 нг/см² позволяет обнаруживать 50^{ый} отпечаток пальца, контактировавшего с поверхностью ВВ. Обследование объектов возможно за счёт сканирования поверхности лазерным лучом. Скорость сканирования зависит от мощности лазерного излучения и может составлять 60–600 см²/сек.

■ Обнаружение следов ВВ



50^{ый} отпечаток пальца, контактировавшего с поверхностью ВВ имеет поверхностную плотность следа 1–10 нг/см²

- **Обнаружение следов ВВ**

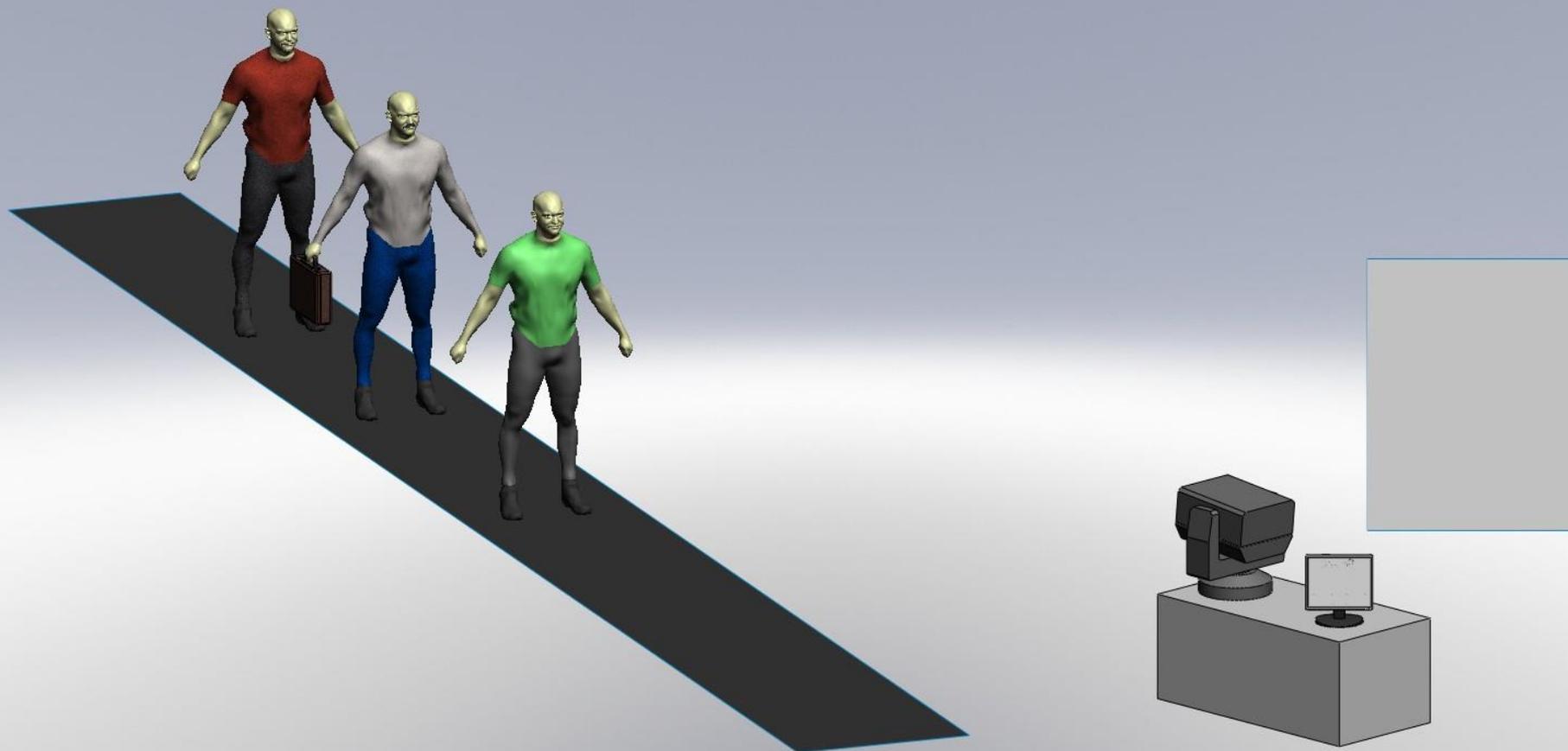
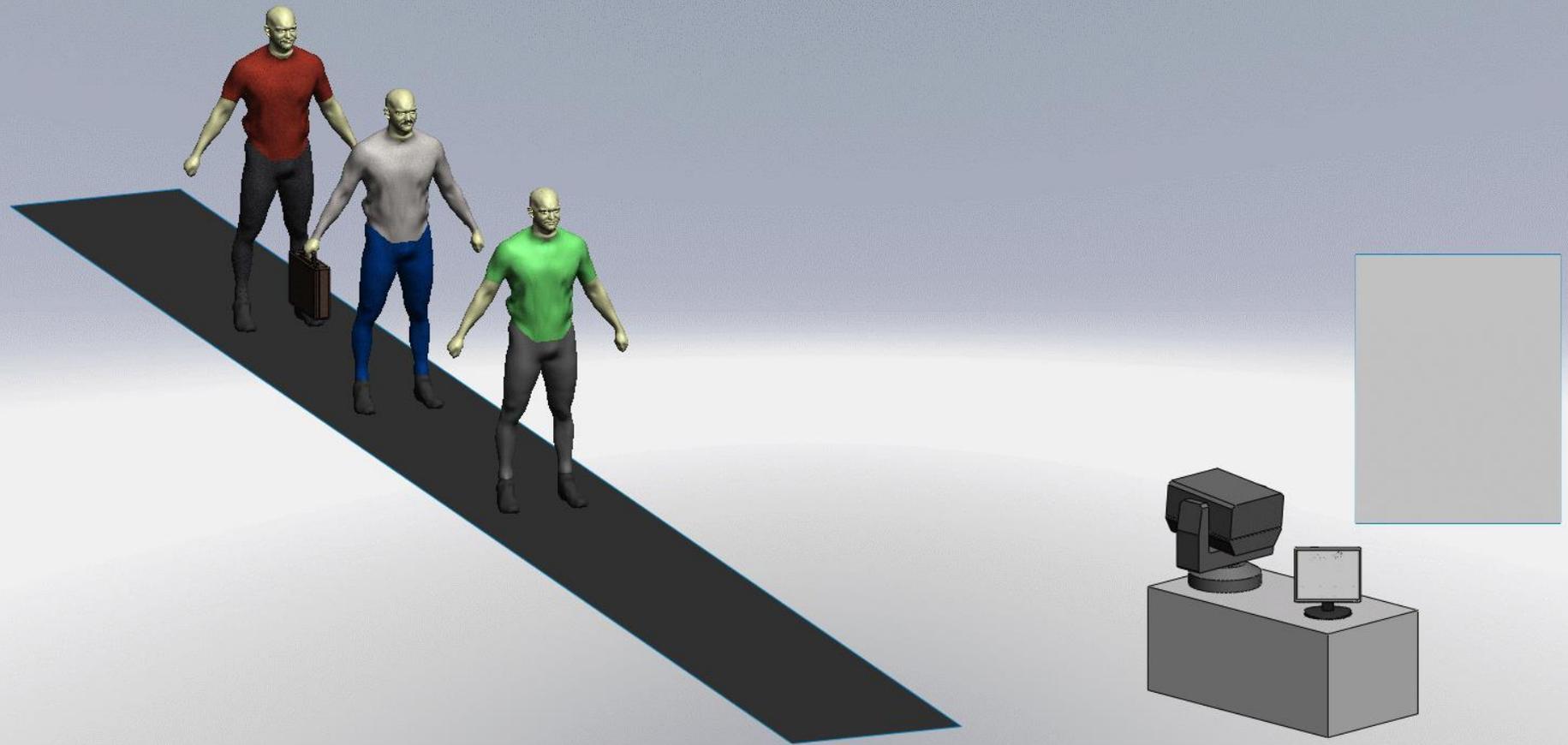


Схема и принцип действия лидарной сканирующей системы дистанционного обнаружения следов ВВ

Схема и принцип действия лидарной сканирующей системы дистанционного обнаружения следов ВВ



- Сканирующий лидарный обнаружитель следов ВВ

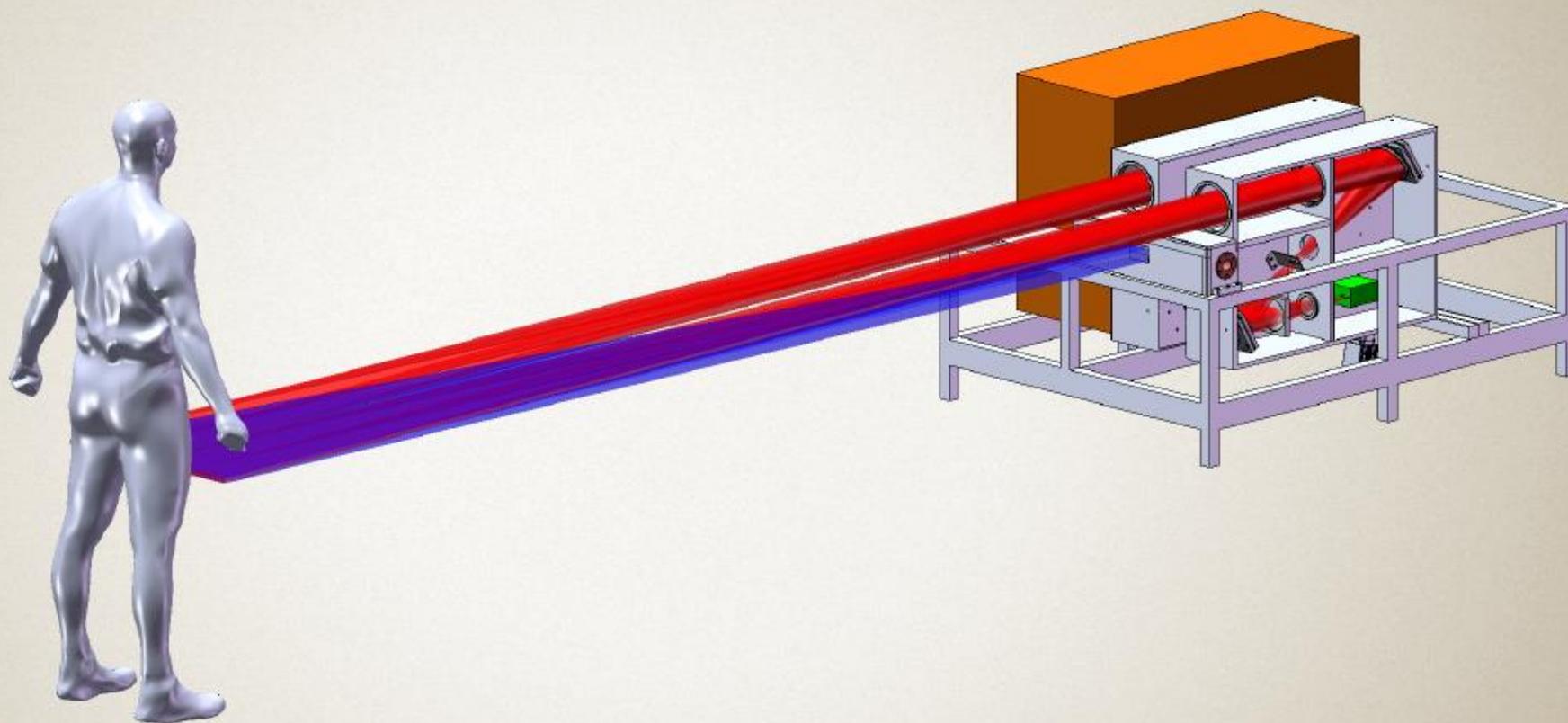


Схема и общий вид сканирующего лидарного обнаружителя следов ВВ на поверхности тела человека

Схема и общий вид сканирующего лидарного обнаружителя следов ВВ на поверхности тела человека

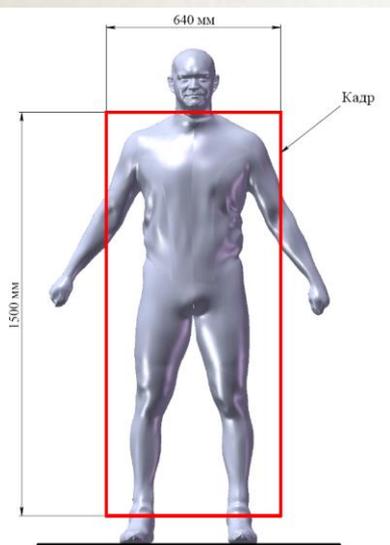
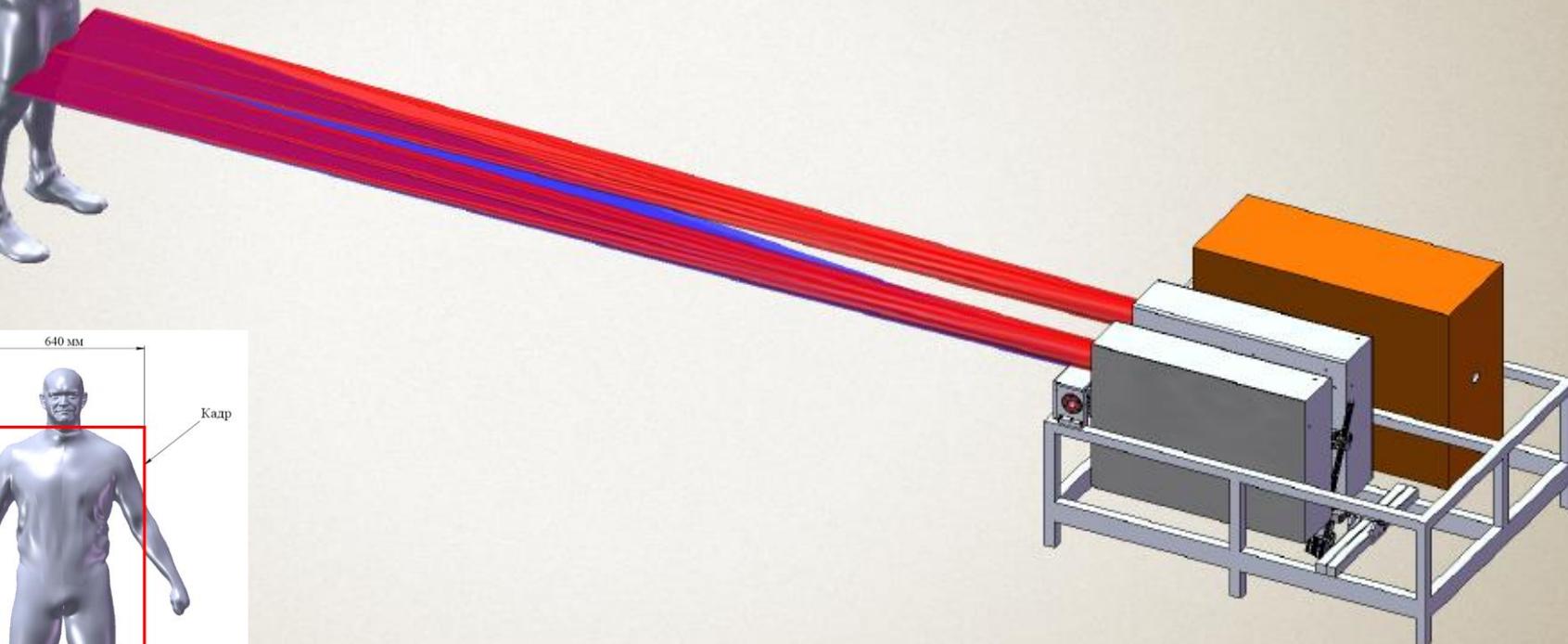


Схема расположения сканирующего лидарного обнаружителя следов ВВ на поверхности тела человека

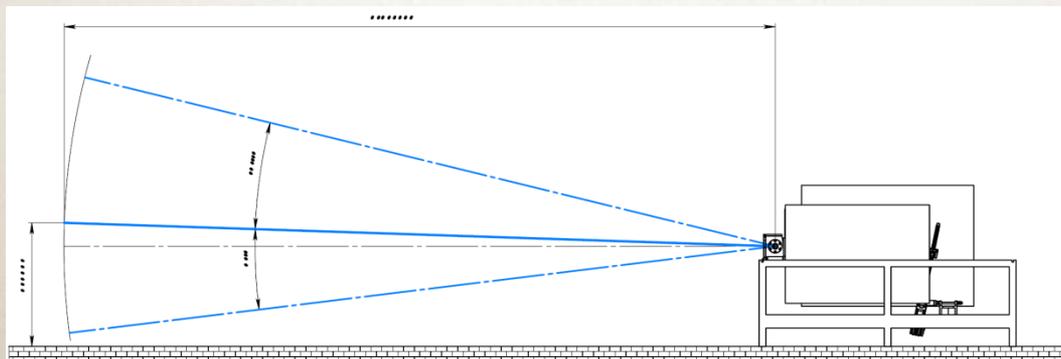
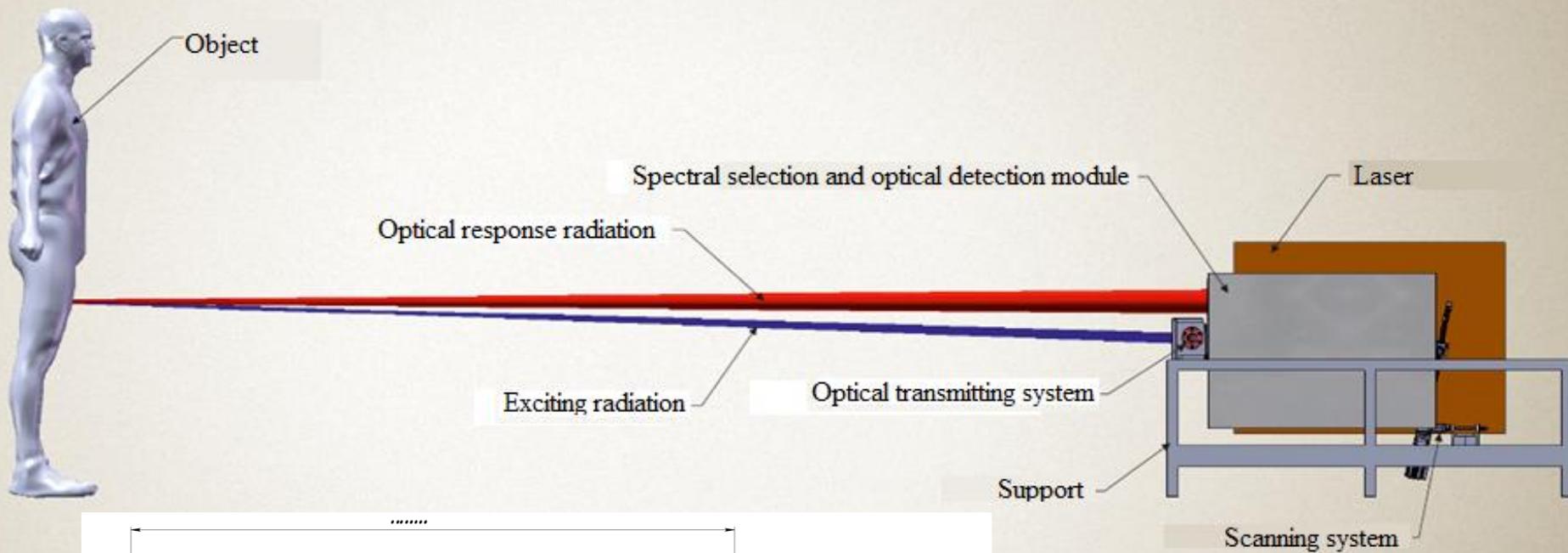
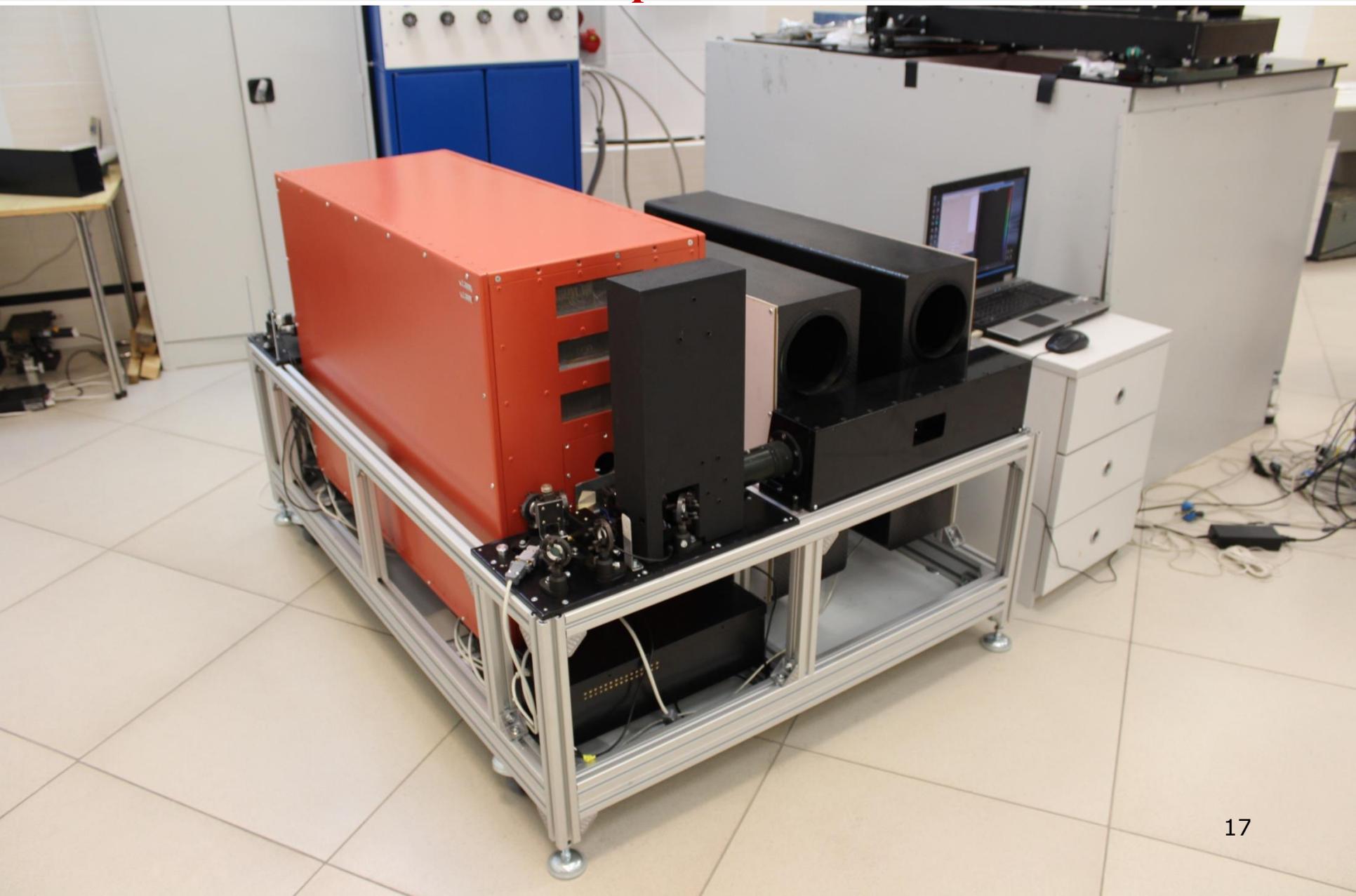
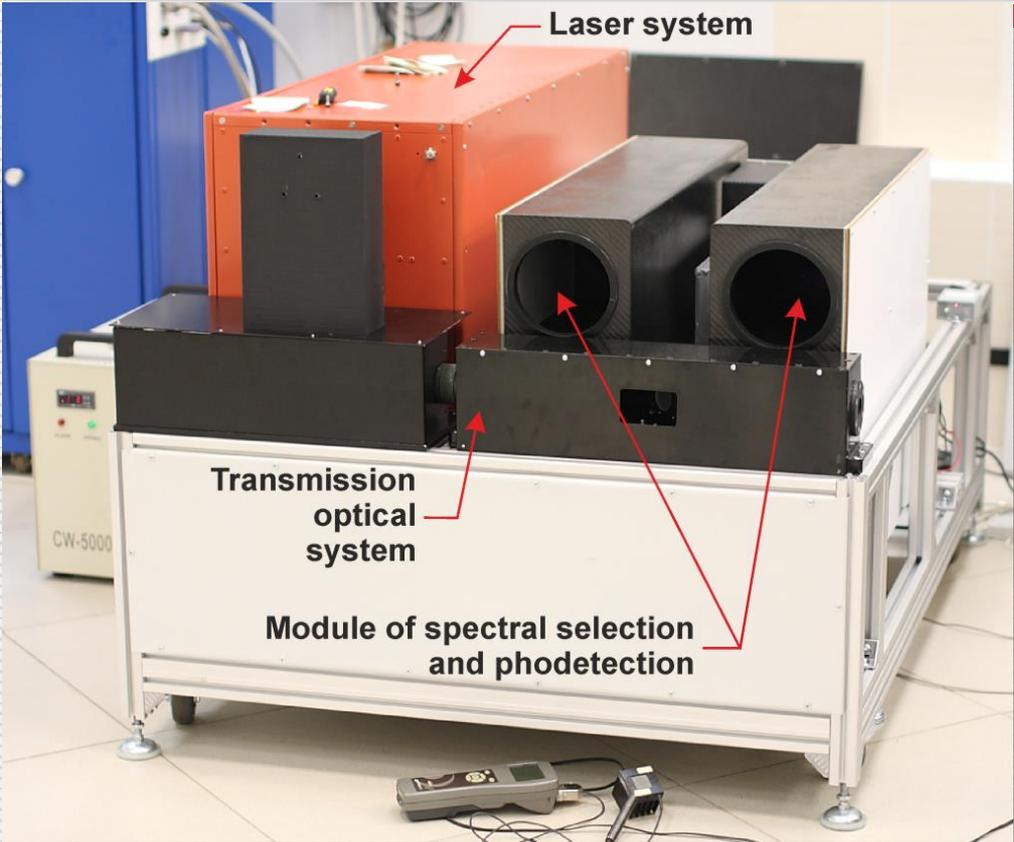


Схема и общий вид сканирующего лидарного обнаружителя следов ВВ на поверхности тела человека



■ Сканирующий лидарный обнаружитель следов ВВ

Дистанционный детектор следов ВВ (ДДС-1)



Parameter	Value
Чувствительность, нг/см ³	1-10 * (100-й ОП)
Дальность обнаружения, м	5
Время сканирования, сек	3
Сектор сканирования по вертикали, градусов	-9 ÷ +12
Горизонтальный угол поля зрения, градусов	8,8
Линейное поле зрения (высота × ширина) мм	1500×500
Потребляемая мощность, кВт	4
Габариты(длина × ширина × высота), м	1,5×1,1×0,9
Вес, кг	245

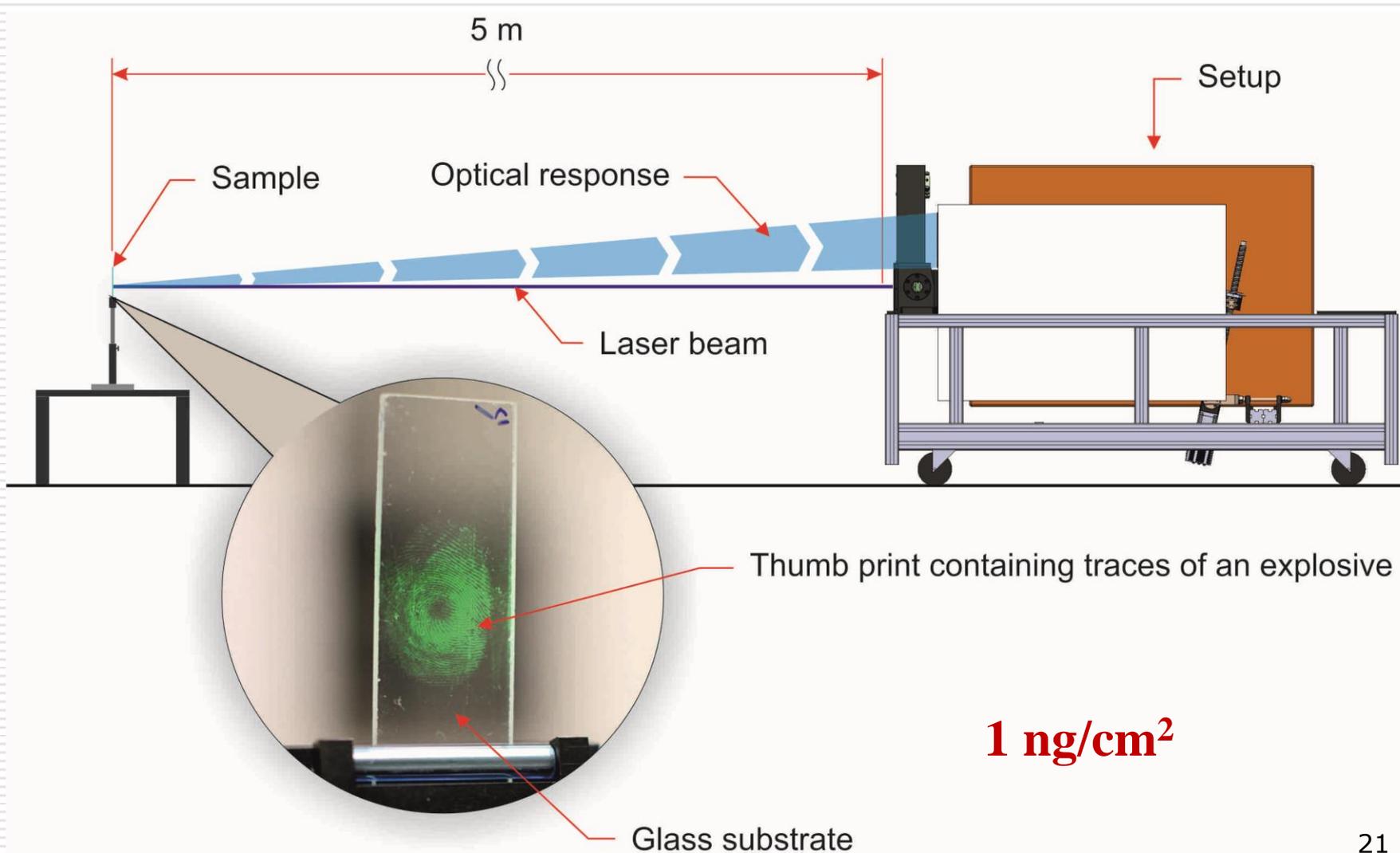
* Экспериментальная проверка характеристик ДДС-1 проводилась силами специалистов Центра специальной техники и связи МВД России в период с 26 по 27 марта 2014 г.

Тестирование ДДС-1 в условиях реальной работы железнодорожного вокзала станции Томск-1. (27-29 ноября 2013)





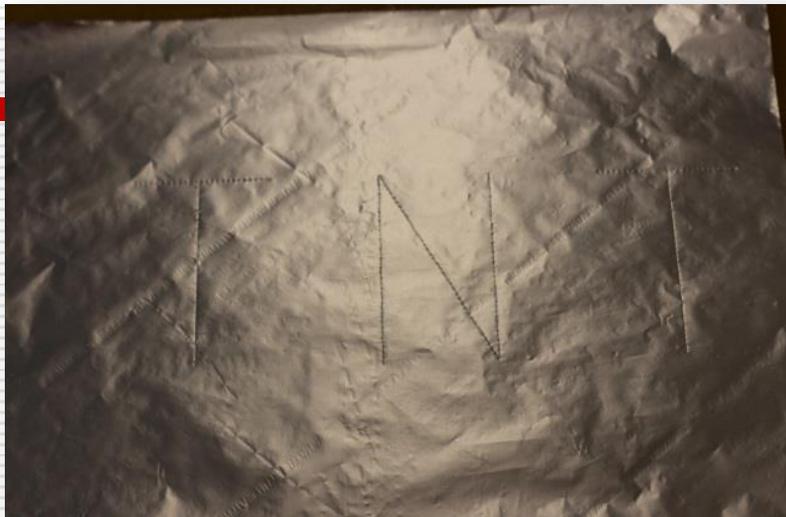
Схема определения пороговой чувствительности ДДС-1



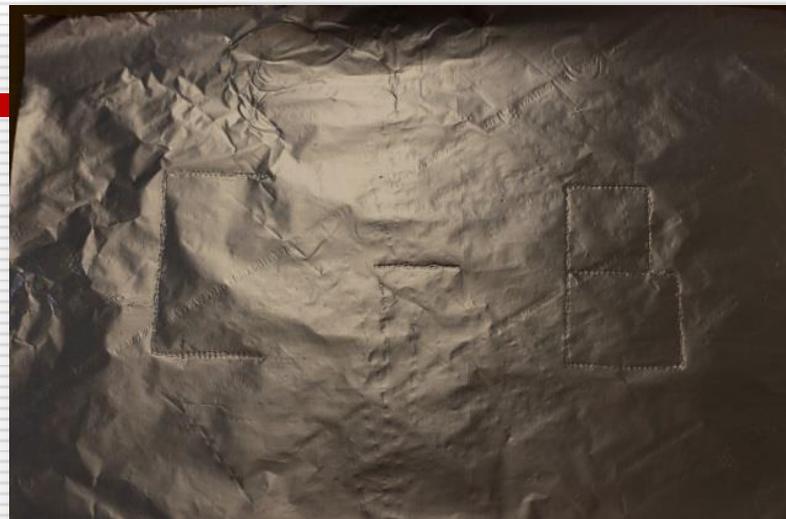
■ Визуализация следов ВВ

Образцы со следами ВВ, нанесёнными на поверхность в виде надписей

TNT



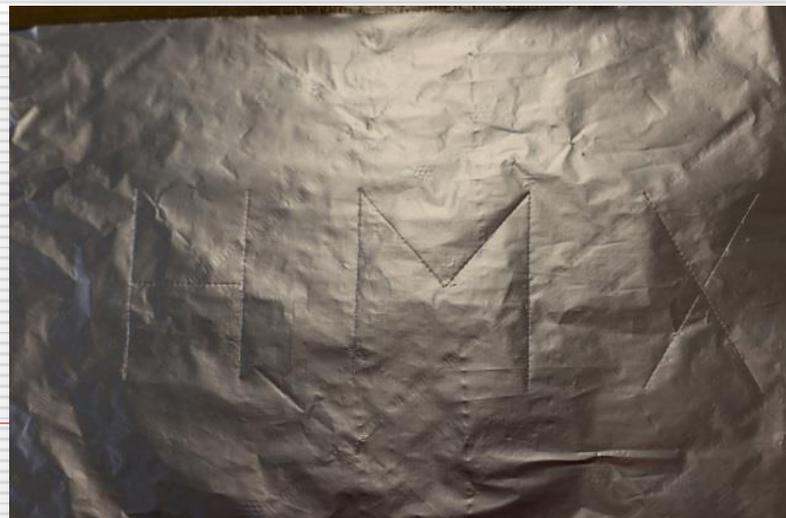
Composition-B



RDX



HMX



■ Визуализация следов ВВ

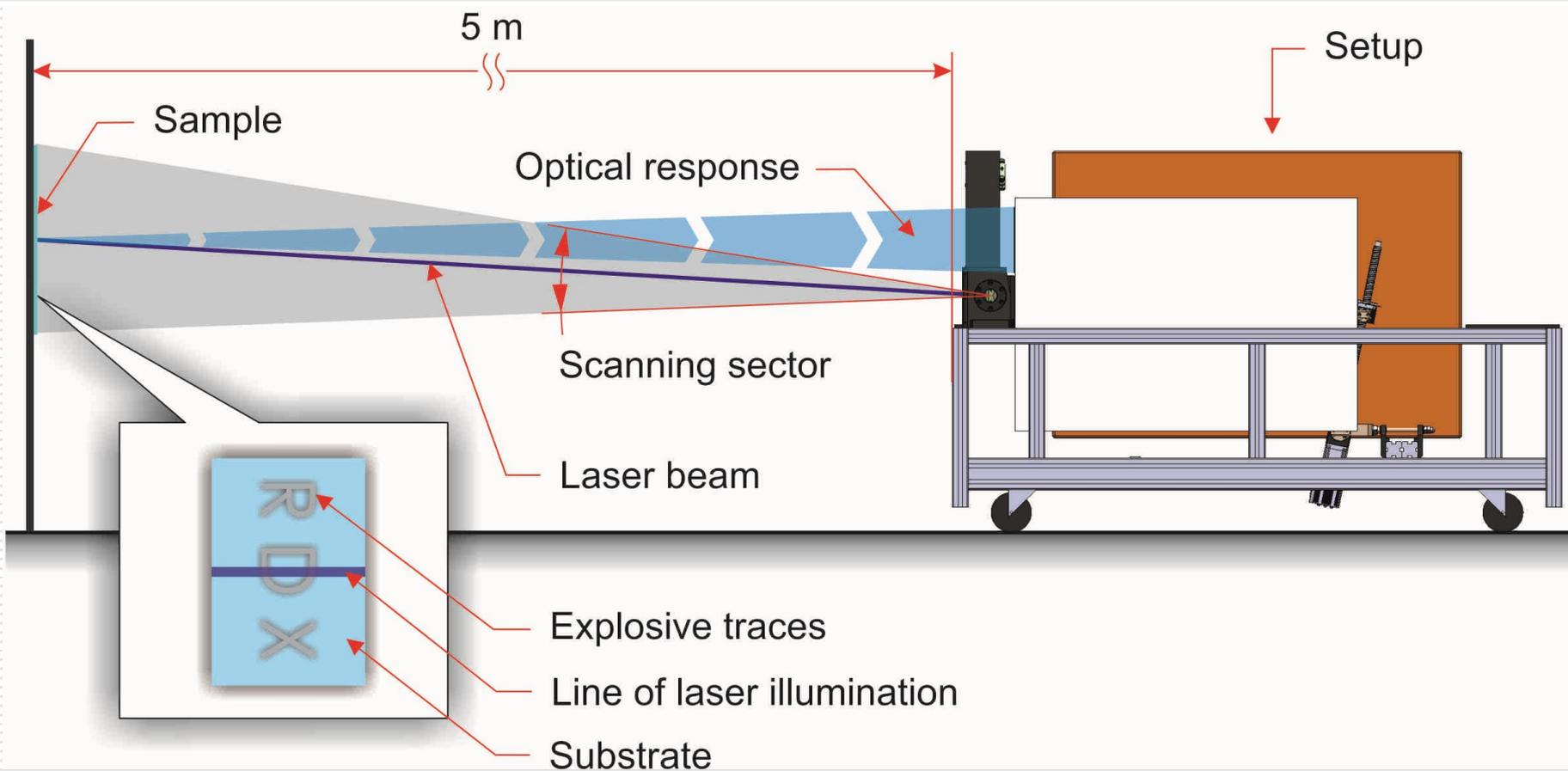
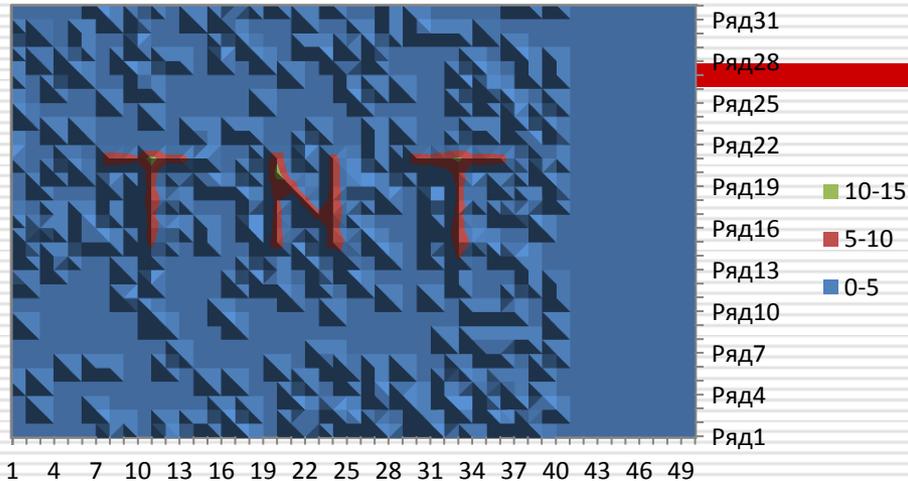


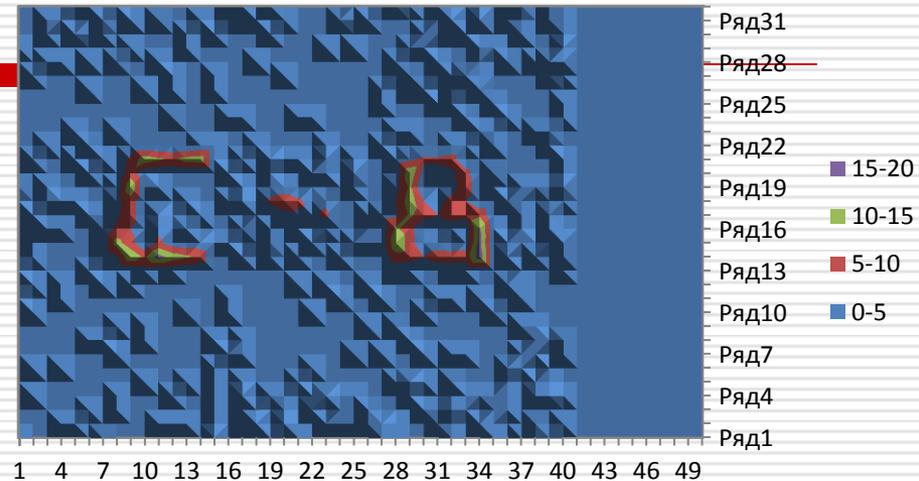
Схема экспериментов по дистанционной визуализации следов ВВ

Дистанционная визуализация следов ВВ

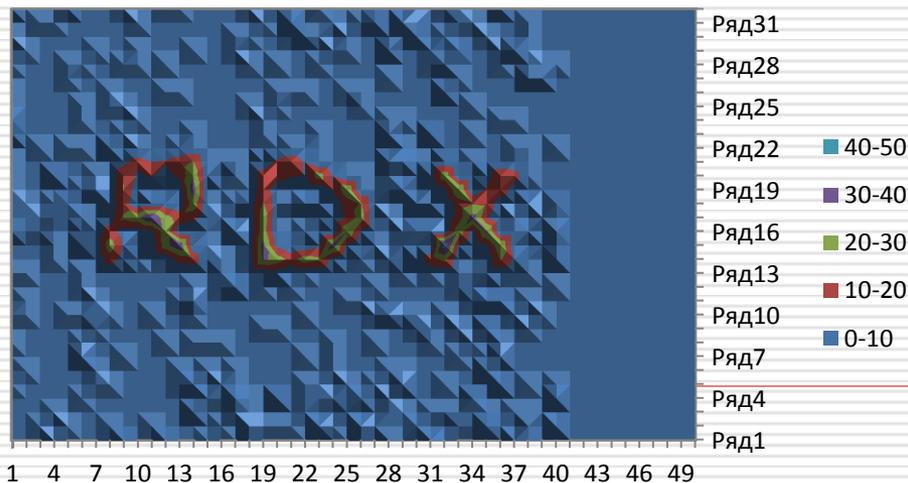
TNT



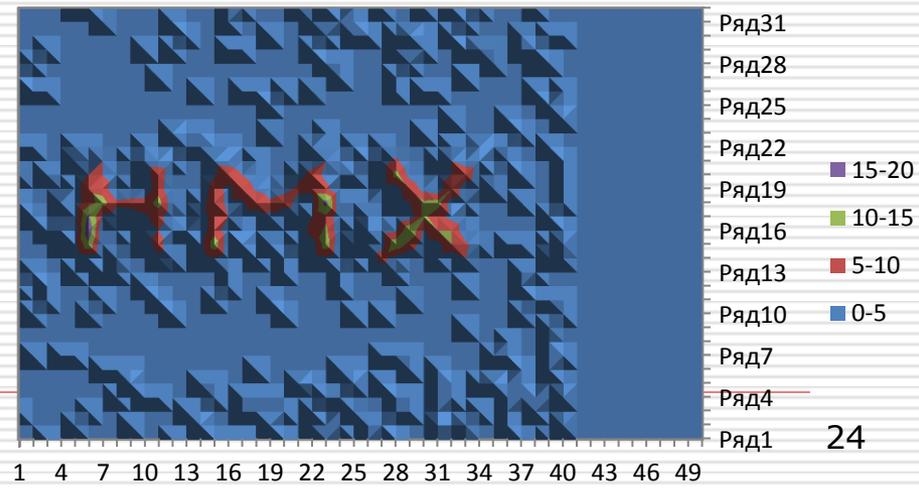
Composition-B



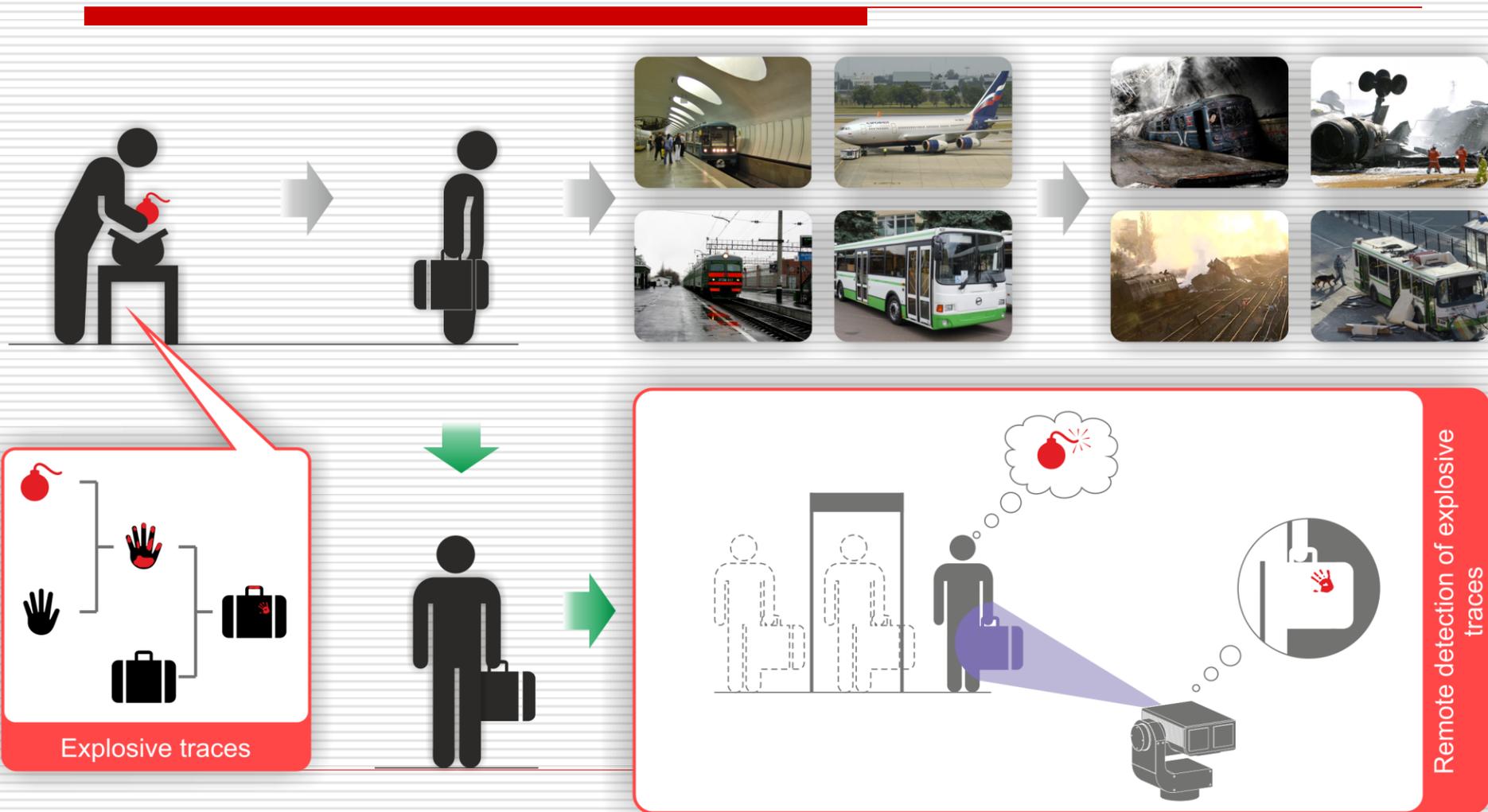
RDX



HMX

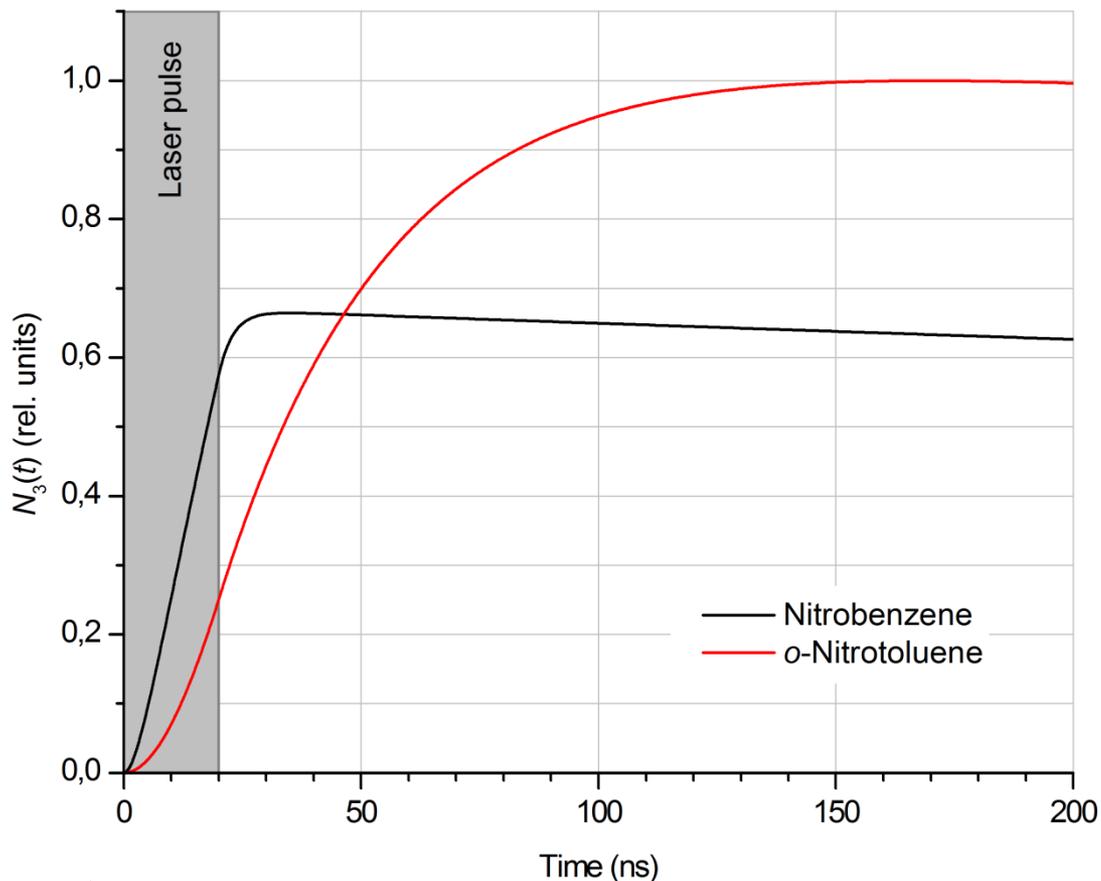


Сценарии применения дистанционного сканирующего детектора следов ВВ (ДДС-1)



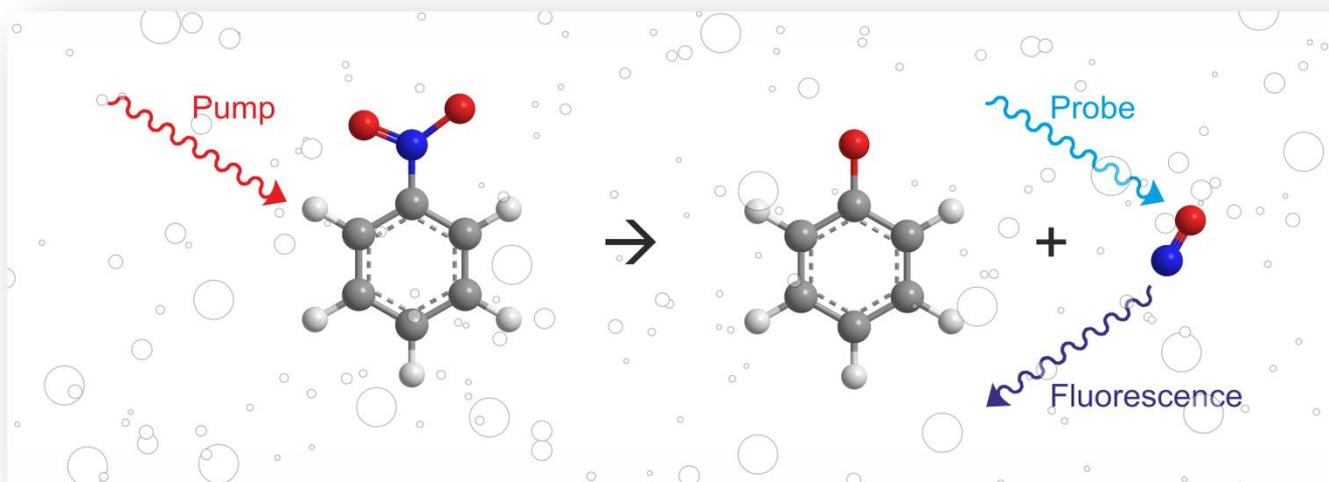
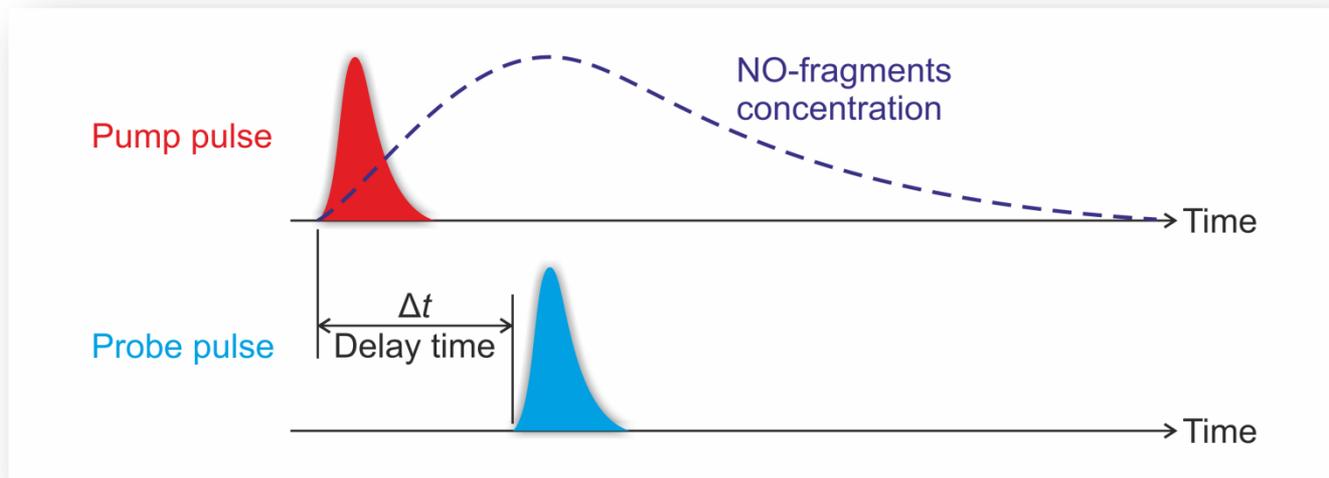


Перспективы улучшения чувствительности и селективности метода за счёт повышения эффективности процесса ЛФ/ЛИФ

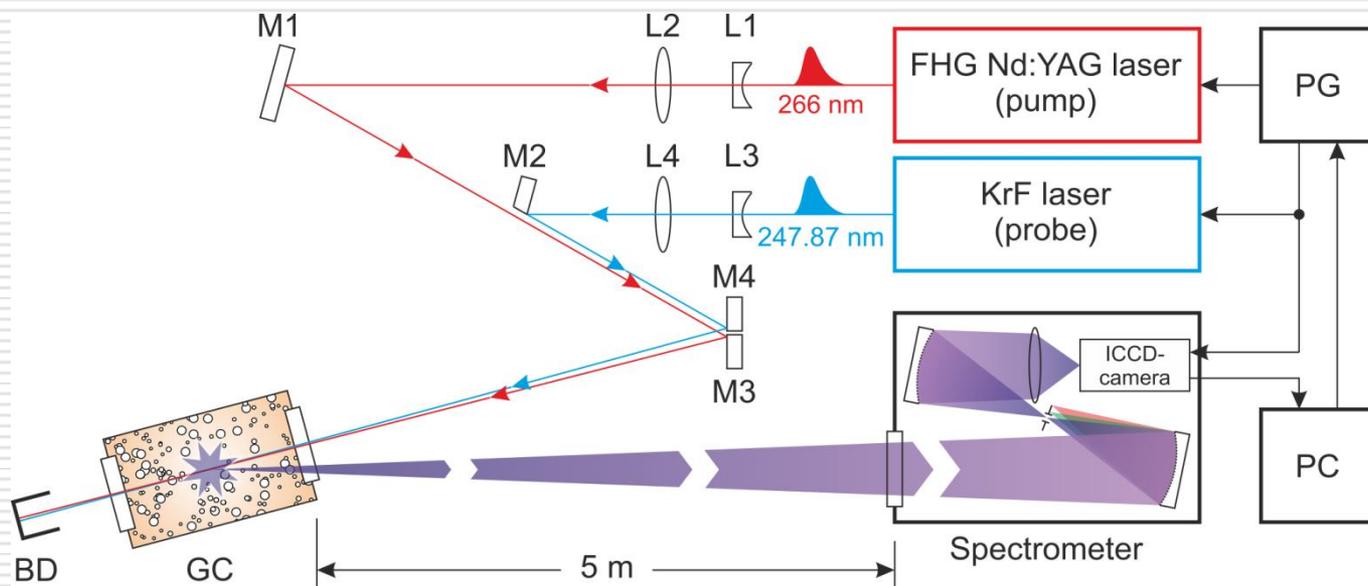


Временная зависимость нормированной населённости второго колебательного уровня ($X^2П(v''=2)$) NO-фрагментов после воздействия фрагментирующего лазерного импульса длительностью 20 нс и плотностью энергии 10 mJ/cm^2 на пары нитробензола и о-нитротолуола. Длина волны излучения 248 нм.

Двухимпульсное возбуждение процесса ЛФ/ЛИФ

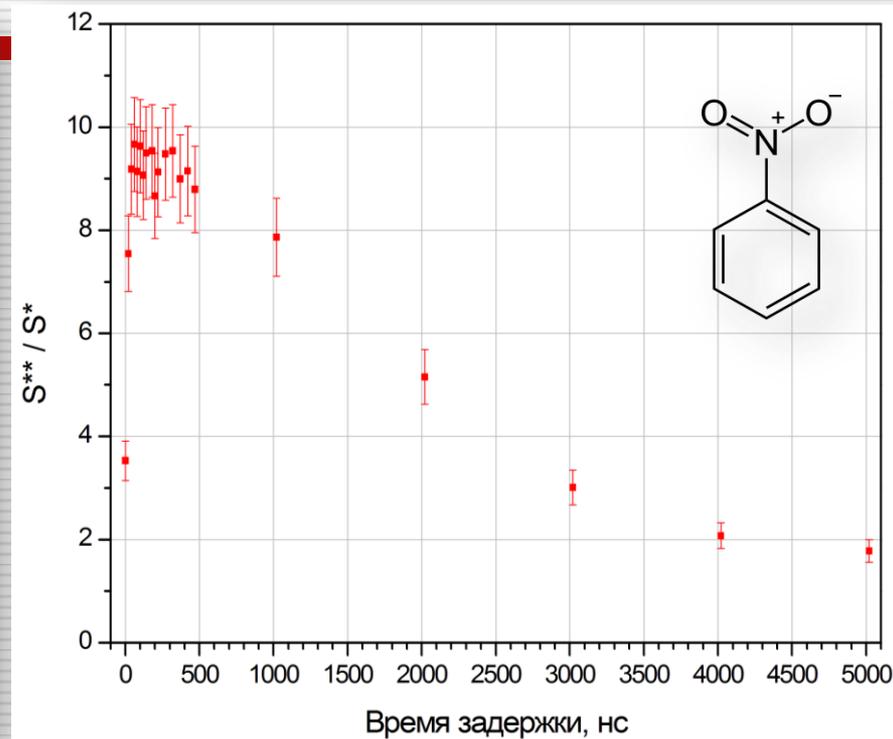
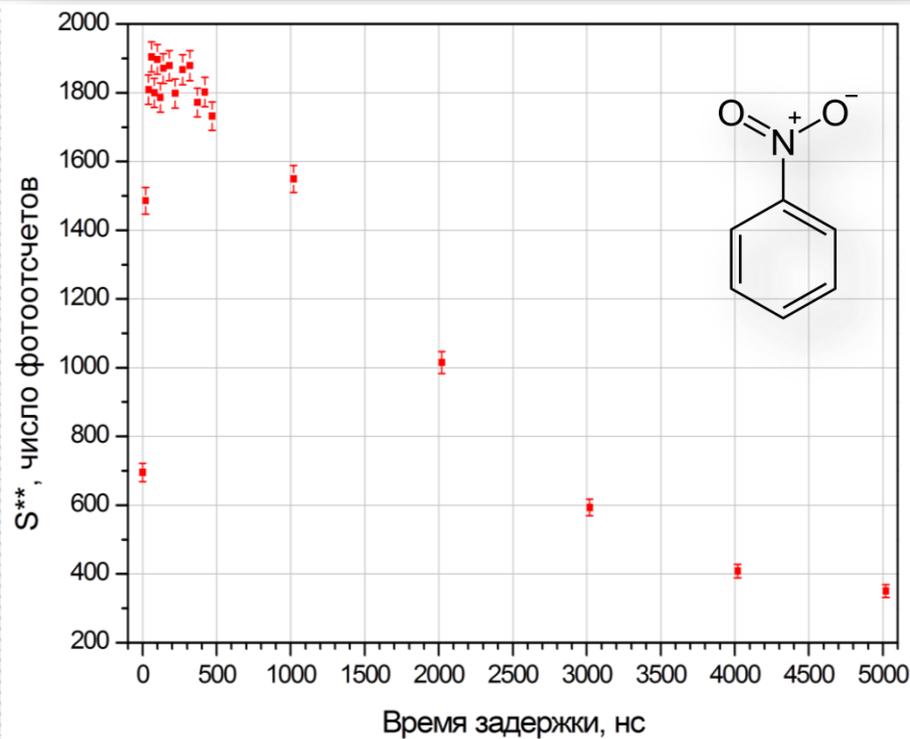


Блок-схема установки для исследования кинетики процесса ЛФ/ЛИФ паров нитросоединений (выполнялась в рамках проекта РФФ)



M1, **M2**, **M3**, and **M4** are the steering mirrors; (**L1**, **L2**) and (**L3**, **L4**) are the lens systems; **GC** is the gas cell; **BD** is the beam dump; **PG** is the pulse generator; **PC** is the personal computer; and **ICCD** is a time-gated intensified CCD camera.

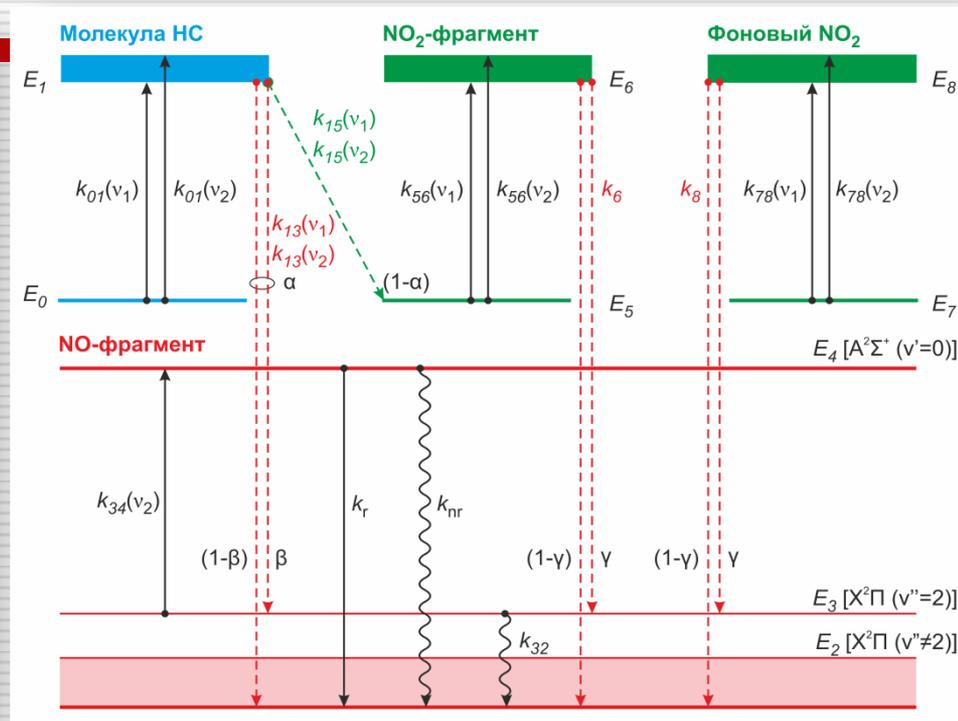
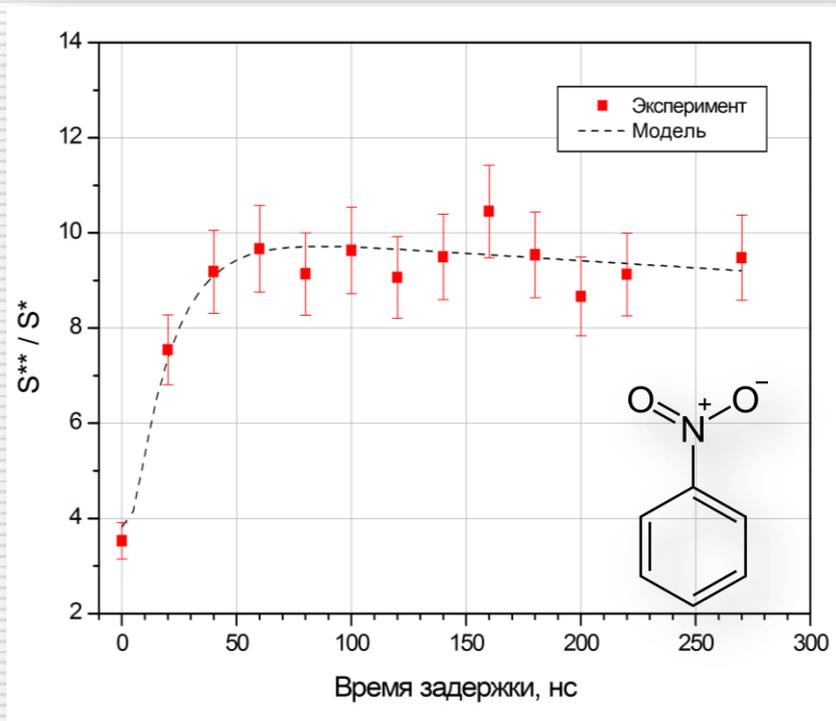
Результаты экспериментов



▲
Зависимость интенсивности сигнала флуоресценции от задержки между фрагментирующим и зондирующим импульсами (о-нитротолуол)

▲
Нормированный выигрыш в эффективности процесса ЛФ/ЛИФ в зависимости от задержки между фрагментирующим и зондирующим импульсами (о-нитротолуол)

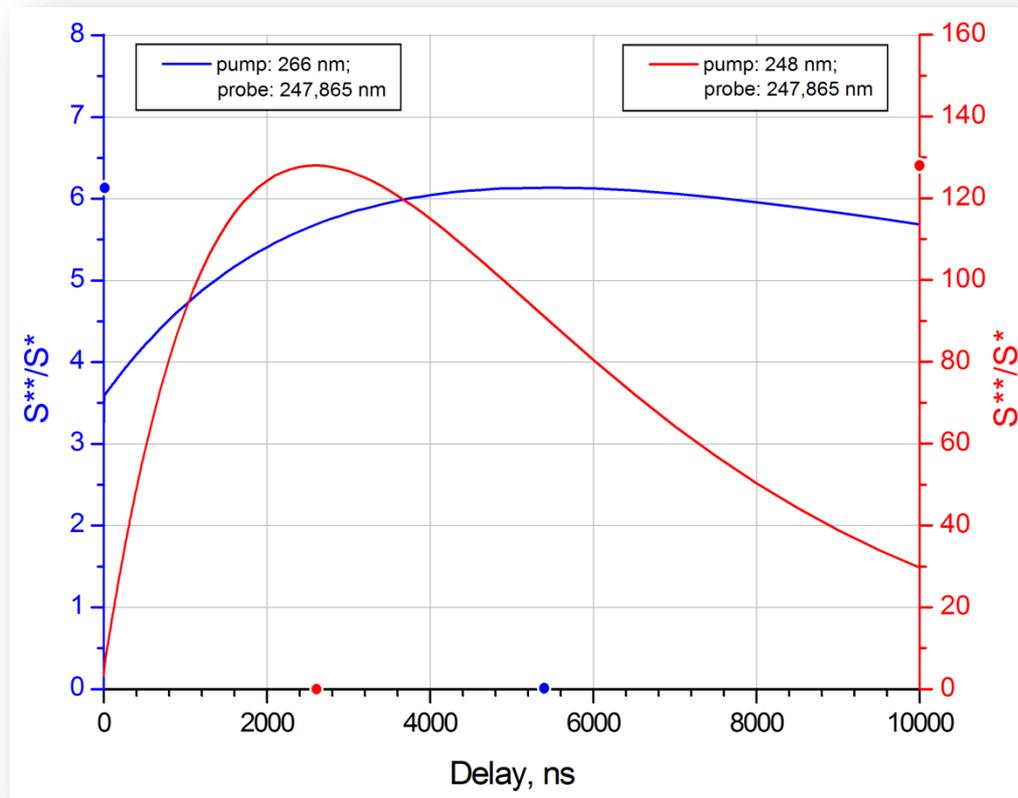
Сравнение экспериментальных данных с кинетической моделью процесса ЛФ/ЛИФ



Сравнение расчётных и экспериментальных значений нормированного выигрыша в эффективности процесса ЛФ/ЛИФ в зависимости от задержки между фрагментирующим и зондирующим импульсами для паров о-нитротолуола

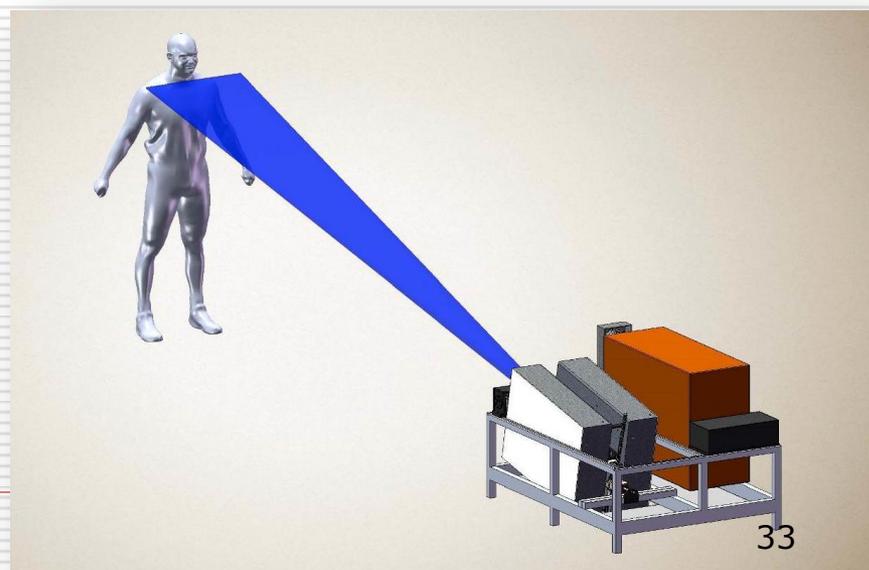
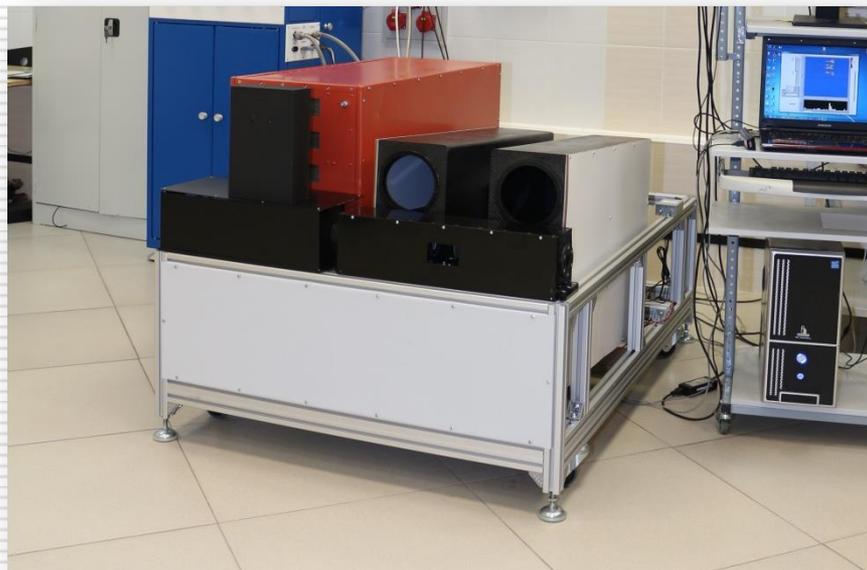
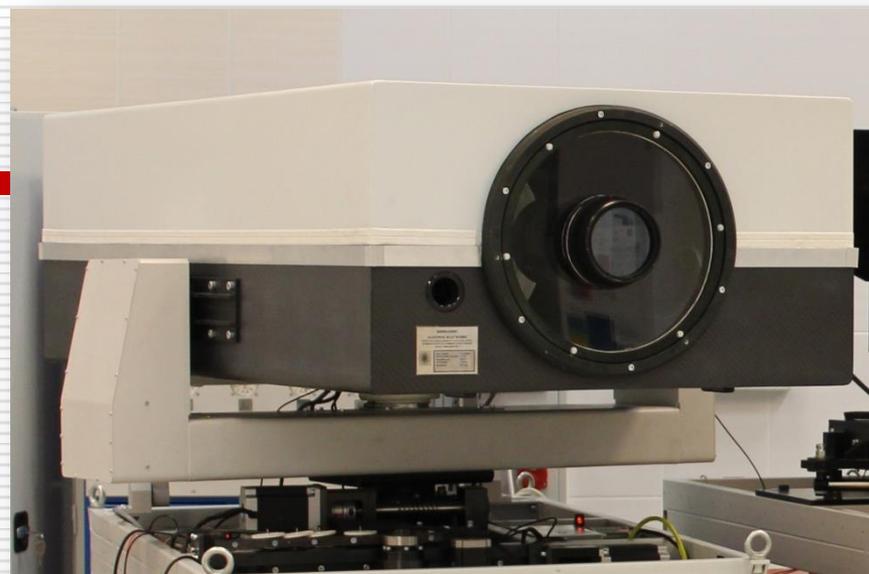
Энергетическая диаграмма девяти уровней модели процесса ЛФ/ЛИФ паров нитросоединений

Перспективные исследования



Расчётные значения нормированного выигрыша в эффективности процесса ЛФ/ЛИФ в зависимости от задержки между фрагментирующим и зондирующим импульсами для паров ТНТ при фрагментации импульсами излучения с длиной волны 266 и 248 нм соответственно

Лидарные детекторы паров и следов ВВ





**Премия Президента Российской Федерации для
молодых учёных за достижения в области
науки и инноваций
Евгений Горлов и Виктор Жарков**



Спасибо за внимание!

