



ОТКРЫТЫЙ
ИЗФАК

Что происходит «на стыке наук»

Медицина + Физика = ?

МАКУРЕНКОВ
Александр Михайлович

доцент, к.ф.-м.н.
MAKURENKOV@PHYSICS.MSU.RU



Академик РАН

ВЛАДИСЛАВ ЯКОВЛЕВИЧ ПАНЧЕНКО

- Вице-президент Российской академии наук
- Заведующий кафедрой медицинской физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
- Председатель совета Российского центра научной информации (бывш. РФФИ)
- Вице-президент НИЦ «Курчатовский институт»
- Председатель Федерального учебно-методического объединения высшего образования «Физика и астрономия»
- Научный руководитель Института проблем лазерно-информационных технологий ФНИЦ» «Кристаллография и фотоника»
- **Многokратный участник Летней школы учителей физики**



MAKURENKOV@PHYSICS.MSU.RU

КАФЕДРА МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ШКОЛА МГУ
«ФОТОННЫЕ И КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.
ЦИФРОВАЯ МЕДИЦИНА»

АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ МАКУРЕНКОВ

- Научные интересы: **физические основы перспективных медицинских технологий, работа мозга и сознания, терагерцовая спектроскопия биообъектов, мультаядерная магнитная томография, экстремальные состояния воды.**
- Доцент кафедры медицинской физики, кандидат физико-математических наук
- Заведующий бакалавриатом физического факультета МГУ (2012-2018)
- Заместитель Председателя Федерального учебно-методического объединения «Физика и астрономия»
- Руководитель проектов междисциплинарных исследований
- Организатор проектов международного сотрудничества, стажировок студентов и международных конференций



Физический факультет МГУ

БОЛЕЕ ЧЕМ...

ЛЕТ **90**

СТУДЕНТОВ **2500**

КАФЕДРЫ **40**

СОТРУДНИКИ **1300**

НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ **8**



Михайло Васильевич ЛОМОНОСОВ

1711-1765

в 2025 г. – 270-летие
Московского университета



РАБОТЫ ПО

ХИМИИ
ФИЗИКЕ
АСТРОНОМИИ
ИНЖЕНЕРИИ
ГЕОГРАФИИ
ЛИТЕРАТУРЕ
ОБРАЗОВАНИЮ
ГЕОЛОГИИ
ИСТОРИИ
ПОЭЗИИ
ИСКУССТВУ





КТО МЫ?



КТО МЫ?

Я – УЧЁНЫЙ!

младший коллега
БОЛЬШИХ УЧЁНЫХ



КТО МЫ?

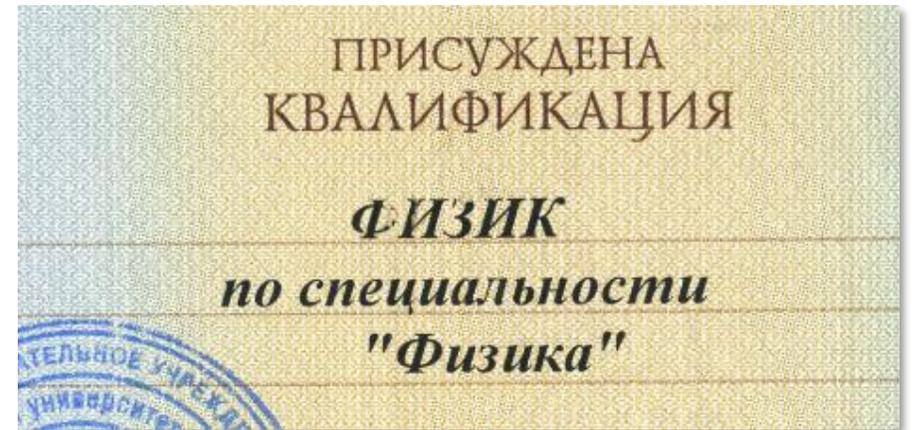
Я – УЧЁНЫЙ!

ДИПЛОМ ВЫПУСКНИКА

**младший коллега
больших учёных**



Есть ли жизнь в науке после диплома?



КТО МЫ?

Я – УЧЁНЫЙ!

КАНДИДАТ НАУК

ДИПЛОМ ВЫПУСКНИКА

**младший коллега
больших учёных**



КТО МЫ?

Я – УЧЁНЫЙ!

НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК

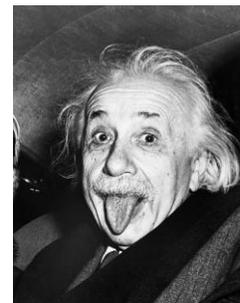
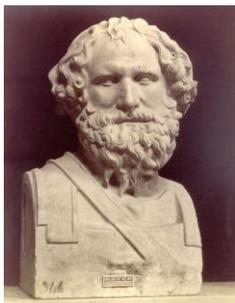
кандидат наук

диплом выпускника

**младший коллега
больших учёных**



КТО МЫ?



Я – УЧЁНЫЙ ???!

научный сотрудник

кандидат наук

диплом выпускника

**младший коллега
больших учёных**

КТО МЫ? УЧЁНЫЙ

ТОТ, КОГО УЧИЛИ

субстантивированное причастие

пассивного залога

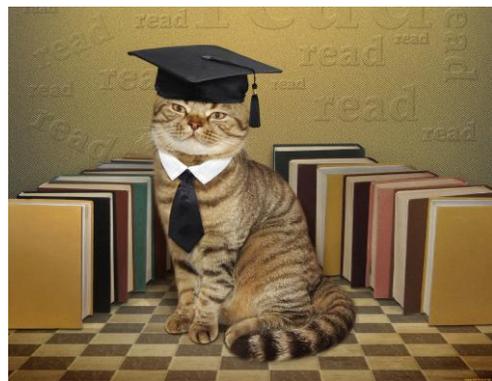


КТО МЫ?

Когда я первый раз в жизни
услышал слово «учёный»?

Кто мы? учёный КОТ

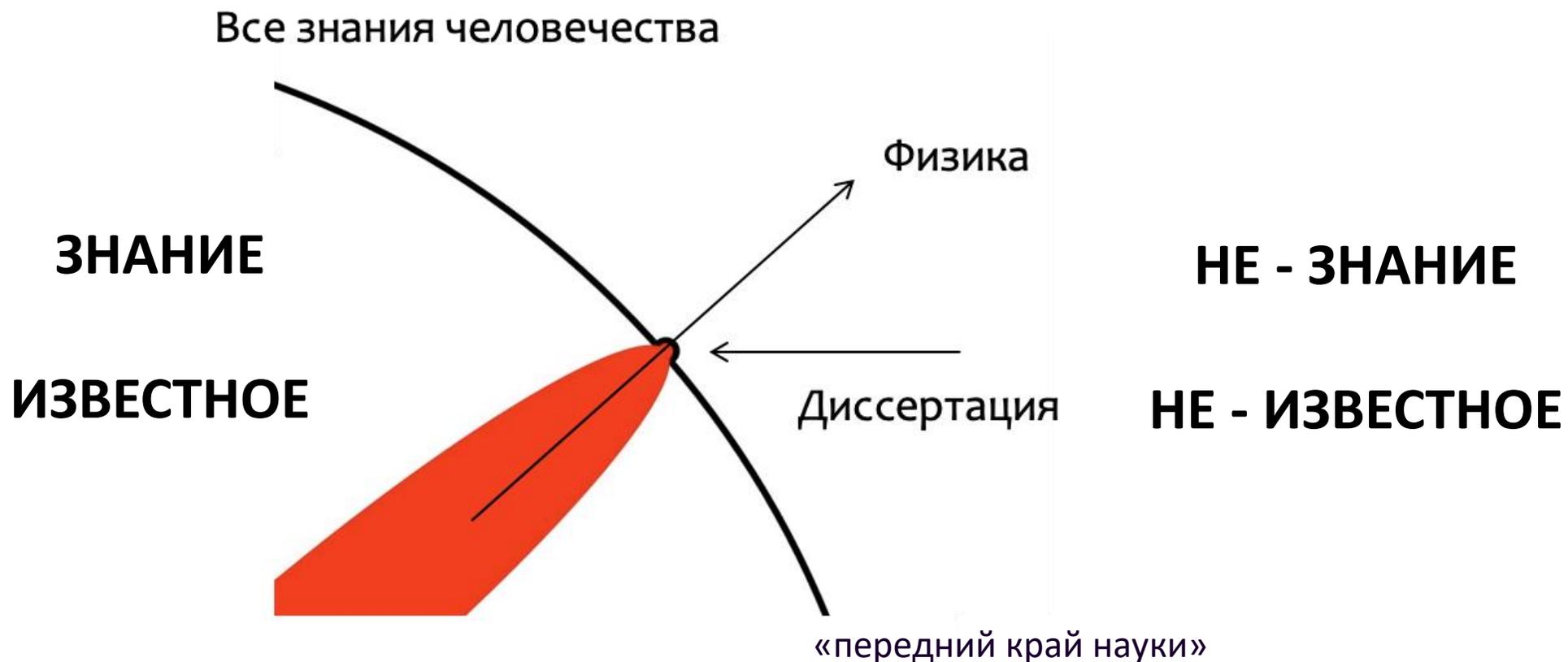
которого учили (=дрессировали)





Кто мы?

Работаем на границе познания

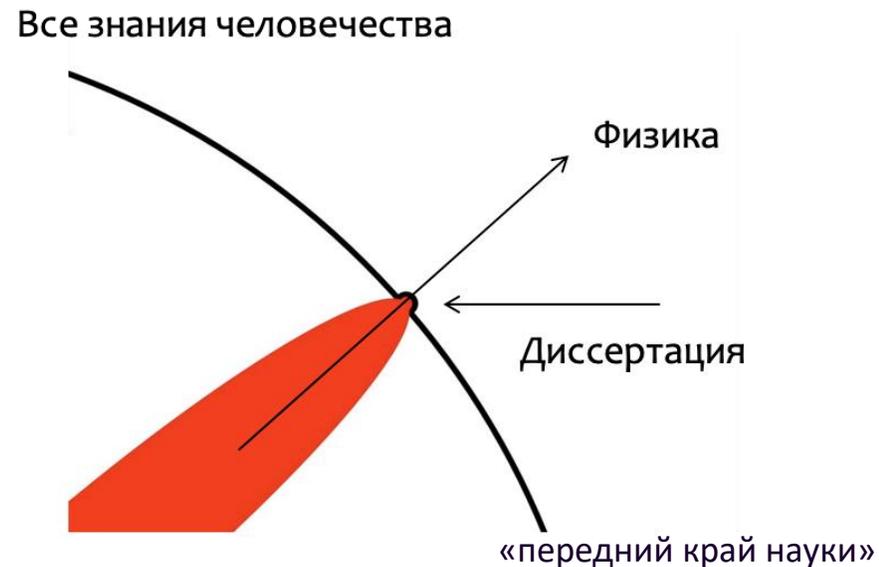


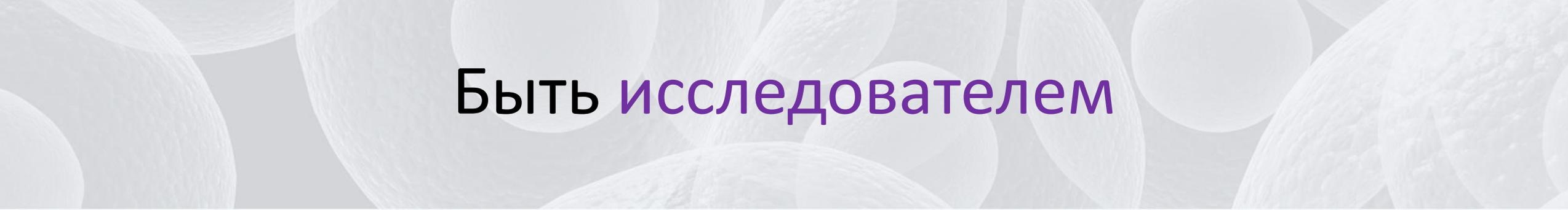
Быть исследователем

Я – УЧЁНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ!

Работать на границе познания

Первооткрыватель –
исследователь
на переднем крае науки





Быть исследователем

**КАКАЯ ФУНКЦИЯ МОЗГА ОТВЕЧАЕТ
ЗА НАШУ ТЯГУ К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕИЗВЕСТНОГО?**

Быть исследователем

КАКАЯ ФУНКЦИЯ В НАШЕМ СОЗНАНИИ ОТВЕЧАЕТ
ЗА НАШУ ТЯГУ К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕИЗВЕСТНОГО?

**ЛЮБОВЬ к ЗНАНИЯМ =
ЛЮБОЗНАТЕЛЬНОСТЬ
(ЛЮБО ПЫТСТВО)**

Михайло Васильевич ЛОМОНОСОВ

1711-1765

в 2025 г. – 270-летие
Московского университета



РАБОТЫ ПО

ХИМИИ
ФИЗИКЕ
АСТРОНОМИИ
ИНЖЕНЕРИИ
ГЕОГРАФИИ
ЛИТЕРАТУРЕ
ОБРАЗОВАНИЮ
ГЕОЛОГИИ
ИСТОРИИ
ПОЭЗИИ
ИСКУССТВУ



Конвергенция наук и технологий



Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее.
Препринт НИЦ «КИ» №ИАЭ-6638/9, 2010

Междисциплинарность = междисциплинарный подход

МЕЖдисциплинарный, **МУЛЬТИ**дисциплинарный

Каждая наука дает свой вклад в решение



Междисциплинарность = междисциплинарный подход

КРОСС-дисциплинарный подход

Одна наука оказывает воздействие на развитие другой науки

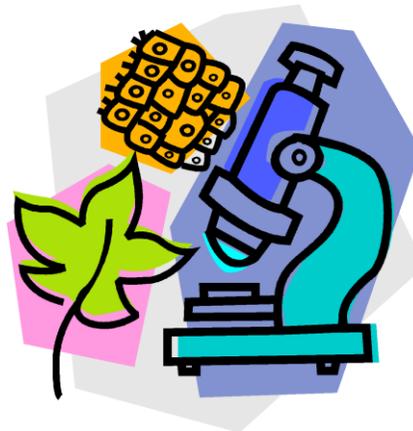
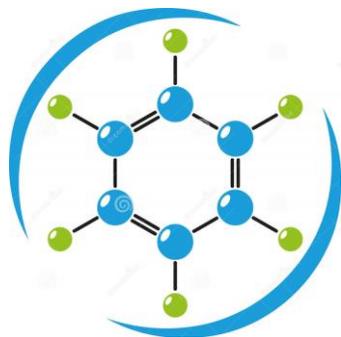
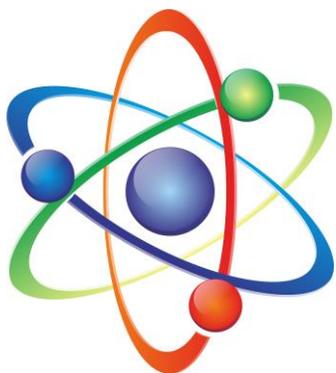


Междисциплинарность = междисциплинарный подход

ТРАНС-дисциплинарный или **МЕТА**-дисциплинарный подход

Одна наука (технология) оказывает влияние на развитие большинства других наук

**Книгопечатание, IT технологии,
Нанотехнологии, Когнитивные науки**



Кафедра медицинской физики
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

Медицина + Физика = ?

МАКУРЕНКОВ
Александр Михайлович

доцент, к.ф.-м.н.

МГУ имени М.В.Ломоносова
Российский фонд
фундаментальных исследований

НЕИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ (НИЗ) и ПСИХИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА



+ ПСИХИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА
(наблюдаются у **10%** населения Земли)

Статистика ВОЗ за 2016 год

4 вида НИЗ являются причиной **71%** всех случаев смерти в мире (41 млн. чел. из 57 млн. чел.)

- Сердечно-сосудистые – 44%
- Онкология – 22%
- Хронические респираторные – 9%
- Диабеты – 4%

Снижение смертности от НИЗ на 1/3 к 2030 г. должно осуществляться за счет снижения ключевых факторов риска:

- Курения
- Загрязнения воздуха
- Нездорового питания
- Физической неактивности
- Воздействия алкоголя



Относительное сокращение на 25% общей смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, онкологических заболеваний, диабета и хронических респираторных болезней



Относительное сокращение вредного употребления алкоголя, по меньшей мере, на 10%, в соответствующих случаях, с учетом национальных условий



Относительное сокращение на 10% распространенности недостаточной физической активности



Относительное сокращение на 30% среднего потребления соли/натрия среди населения

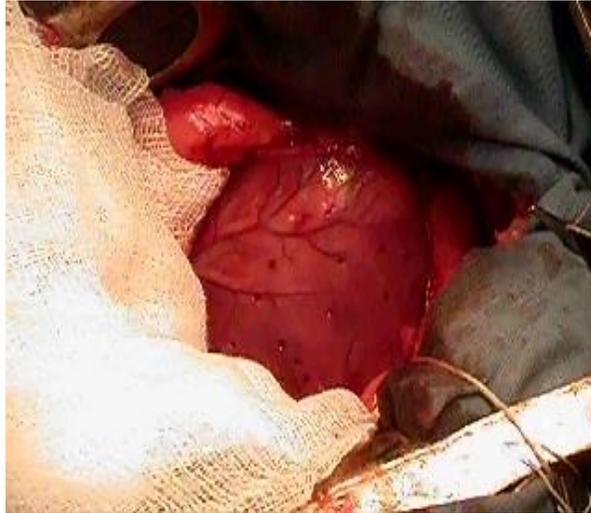


Относительное сокращение на 30% текущей распространенности употребления табака

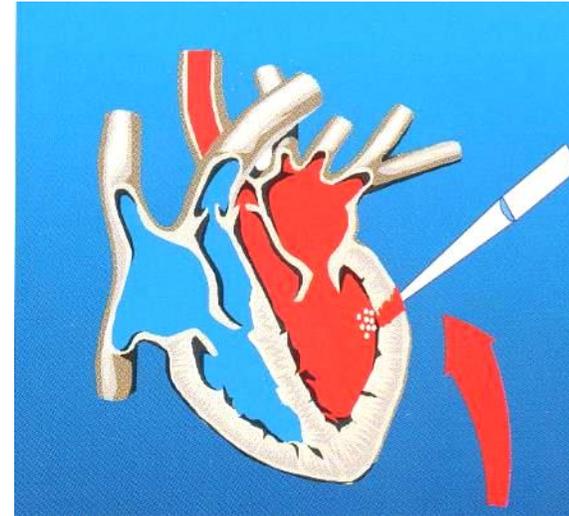
Интеллектуальная кардиохирургическая система для трансмиокардиальной лазерной реваскуляризации



Особенности процедуры трансмиокардиальной реваскуляризации одиночным лазерным импульсом



Из 100 умерших в Российской Федерации:
54 – от сердечно - сосудистых заболеваний, из них 36 – от ишемической болезни сердца

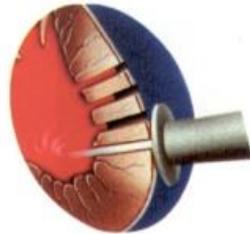


- операция на работающем сердце без использования аппарата искусственного кровообращения
- время «лазерной части» не превышает, как правило, 30 мин.
- лазерный импульс синхронизируется с ЭКГ пациента

Методика операции лазерной реваскуляризации сердца



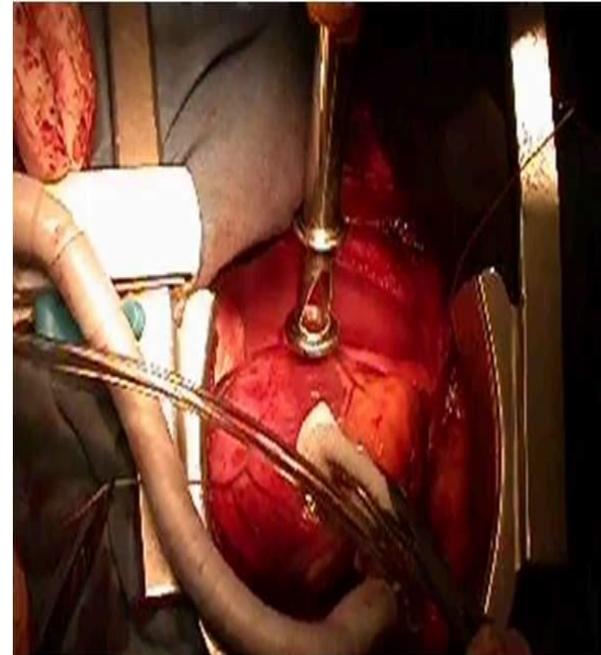
Манипулятор подводится к
открытому сердцу



Лазерный луч пробивает
сквозной канал

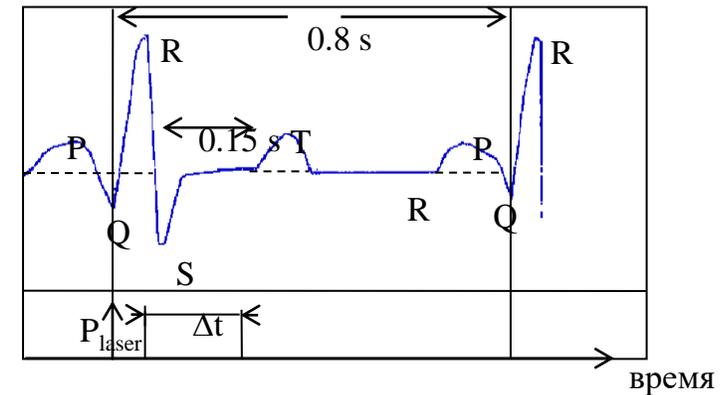
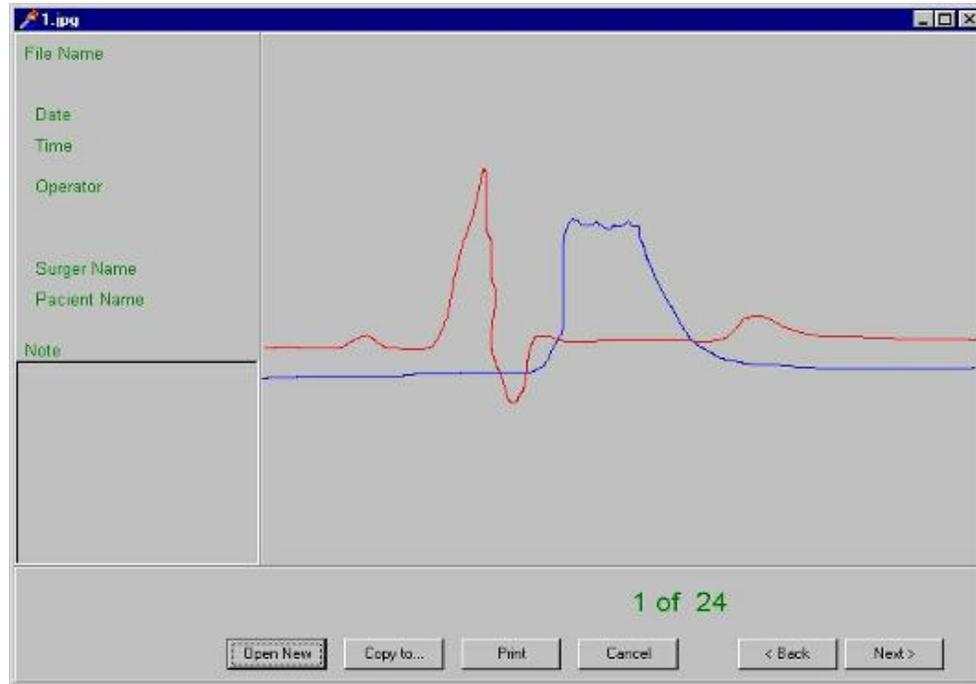


Быстрое закрытие каналов
коагуляцией



Интеллектуальные лазерные системы для ТМЛР

Специализированное программное обеспечение



Электрокардиограмма

**Синхронизация лазерного импульса (синий)
с электрокардиограммой пациента с помощью специального ПО**

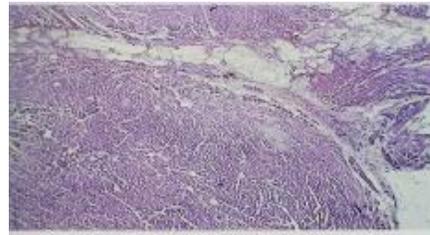
Интеллектуальные лазерные системы

Динамика изменения канала в миокарде после лазерного воздействия

Ткани животных, *in vivo*, CO₂ лазер



После перфорации



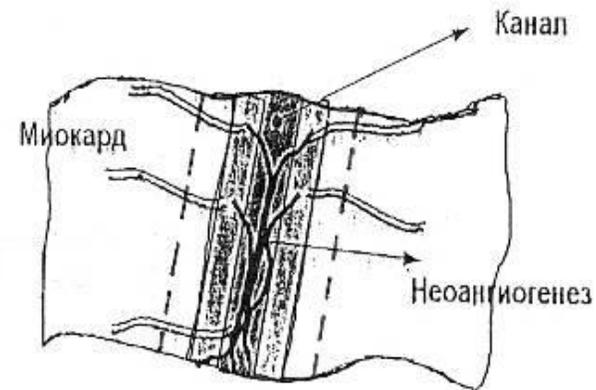
Через 24 часа



микروкапилляры
фибровая ткань

Через 140 дней

T_{pulse} , мс	30-50
E_{pulse} , Дж	до 20
Зона обугливания, мкм	30-40
Зона коагуляции (ср), мкм	до 150-200
Давление в канале, атм	до 1,5



Кафедра медицинской физики
Физический факультет
МГУ имени М.В.Ломоносова

Какой толк от физики, если на нас напал коронавирус

МАКУРЕНКОВ
Александр Михайлович
доцент, к.ф.-м.н.

НЕИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ (НИЗ) и ПСИХИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА



+ ПСИХИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА
(наблюдаются у **10%** населения Земли)

Статистика ВОЗ за 2016 год

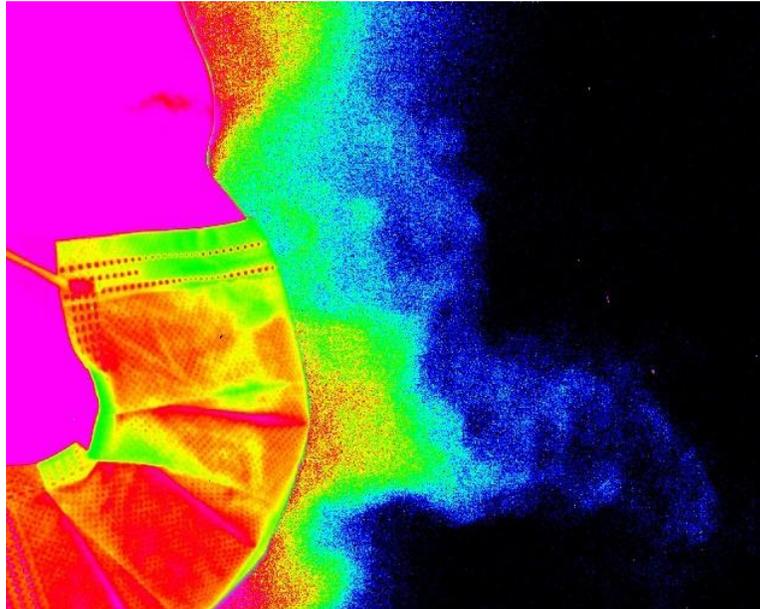
4 вида НИЗ являются причиной **71%** всех случаев смерти в мире (41 млн. чел. из 57 млн. чел.)

- Сердечно-сосудистые – 44%
- Онкология – 22%
- Хронические респираторные – 9%
- Диабеты – 4%

Снижение смертности от НИЗ на 1/3 к 2030 г. должно осуществляться за счет снижения ключевых факторов риска:

- Курения
- Загрязнения воздуха
- Нездорового питания
- Физической неактивности
- Воздействия алкоголя

ТЕРМОГРАФИЯ ДЫХАНИЯ



$T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

0.7-1.0 м



Тепловизор FLIR SC7700

Частота съемки: **15-50 Гц**

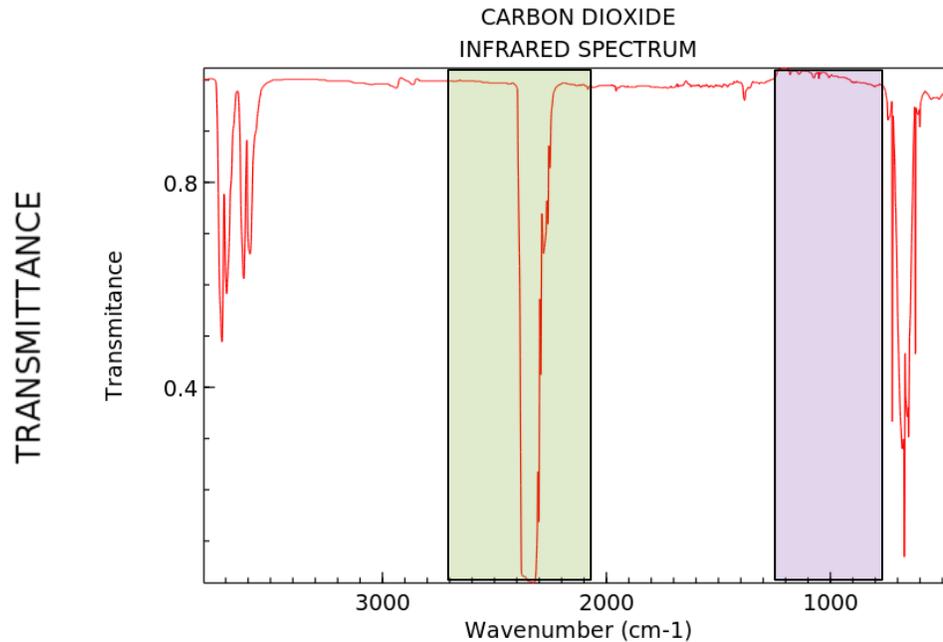
Спектральный диапазон: **3,7 - 4,8 мкм**

Разрешение: **0.2-0.3 мм/пикс**

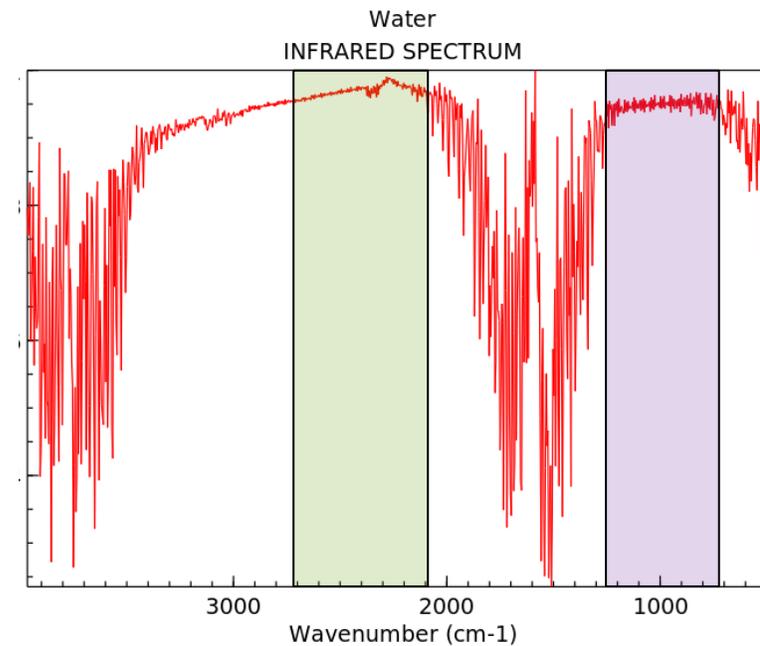
Время интеграции: **1052 мкс**

СЪЕМКА В ДИАПАЗОНАХ СПЕКТРА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ВОДЯНОГО ПАРА

 FLIR SC7700 (3.7-4.8 μm)
 COX CX640 (8-14 μm)

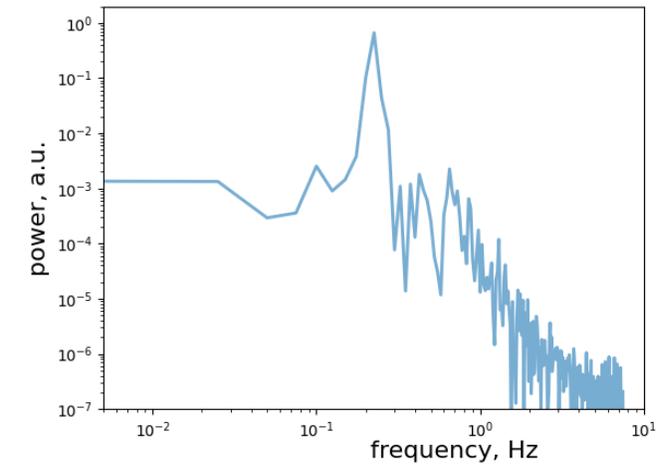
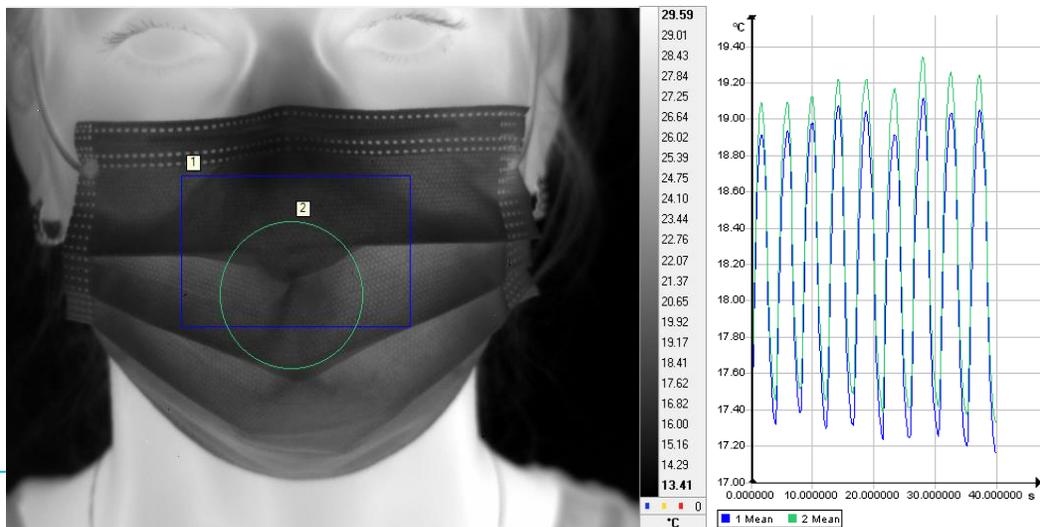
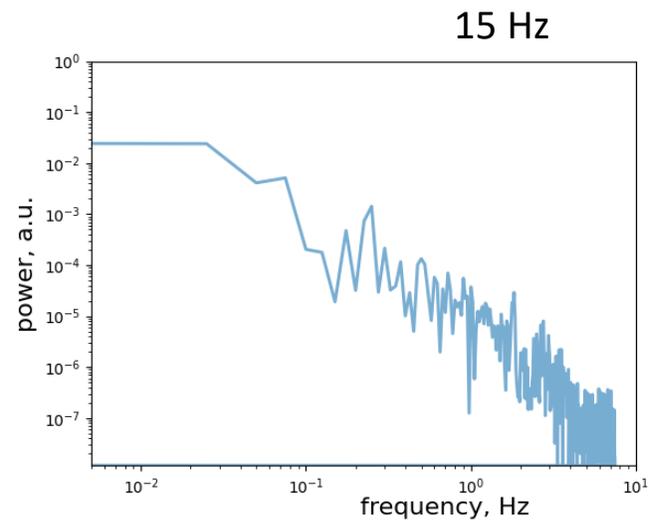
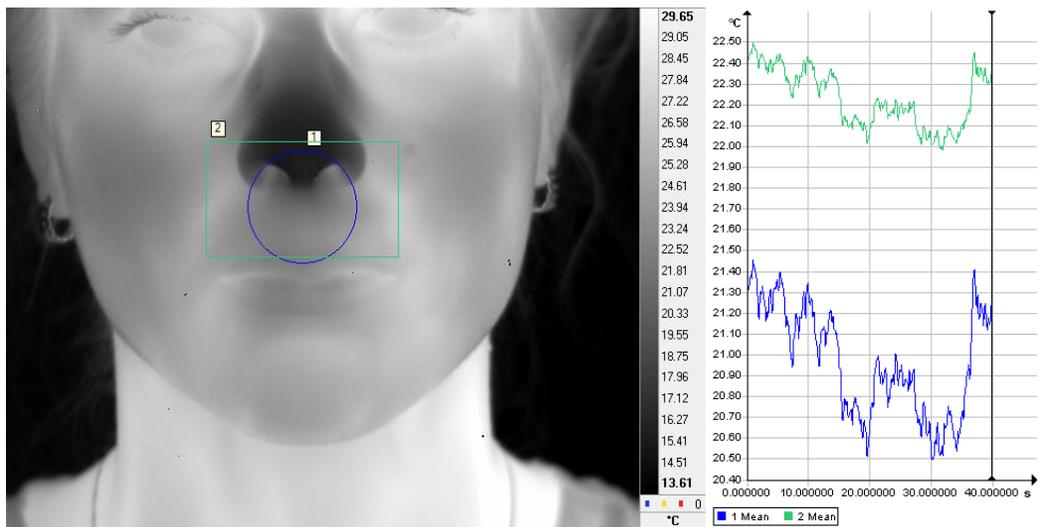


NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



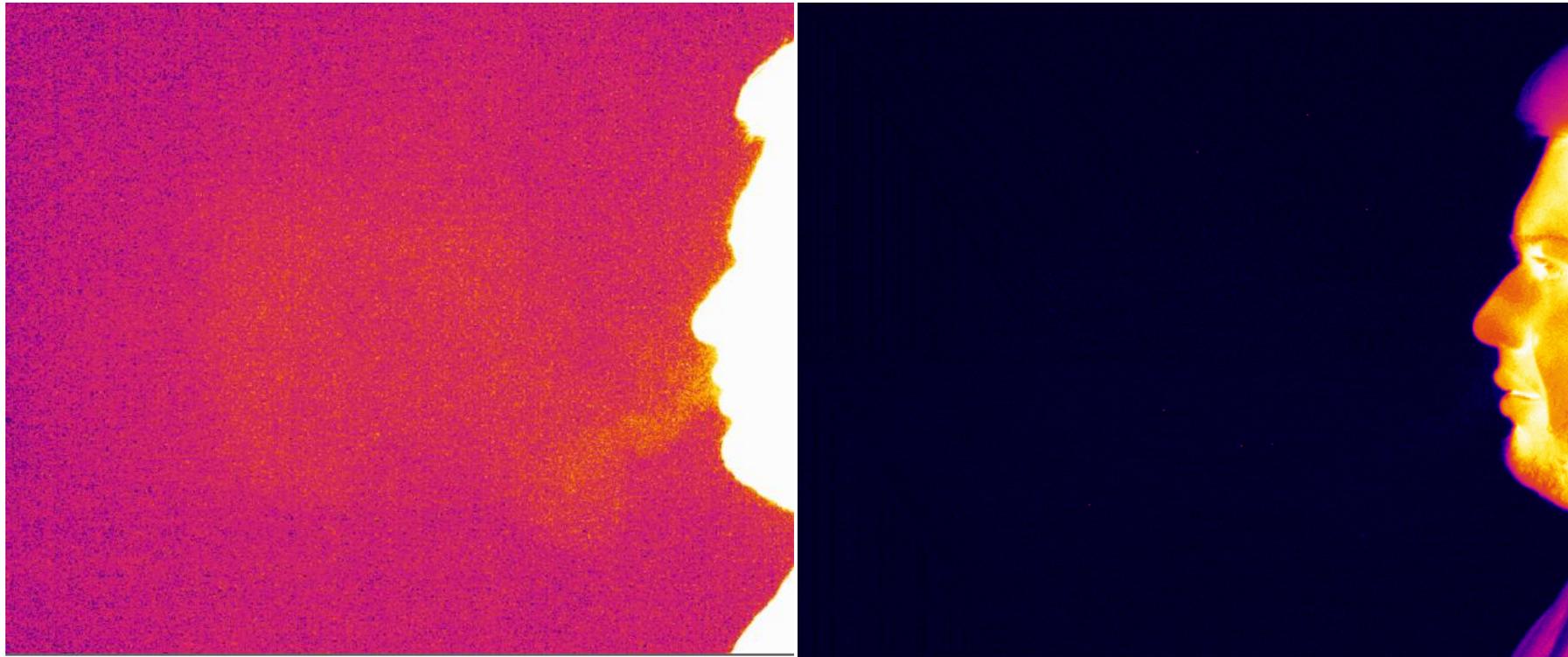
istry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЫХАНИЯ



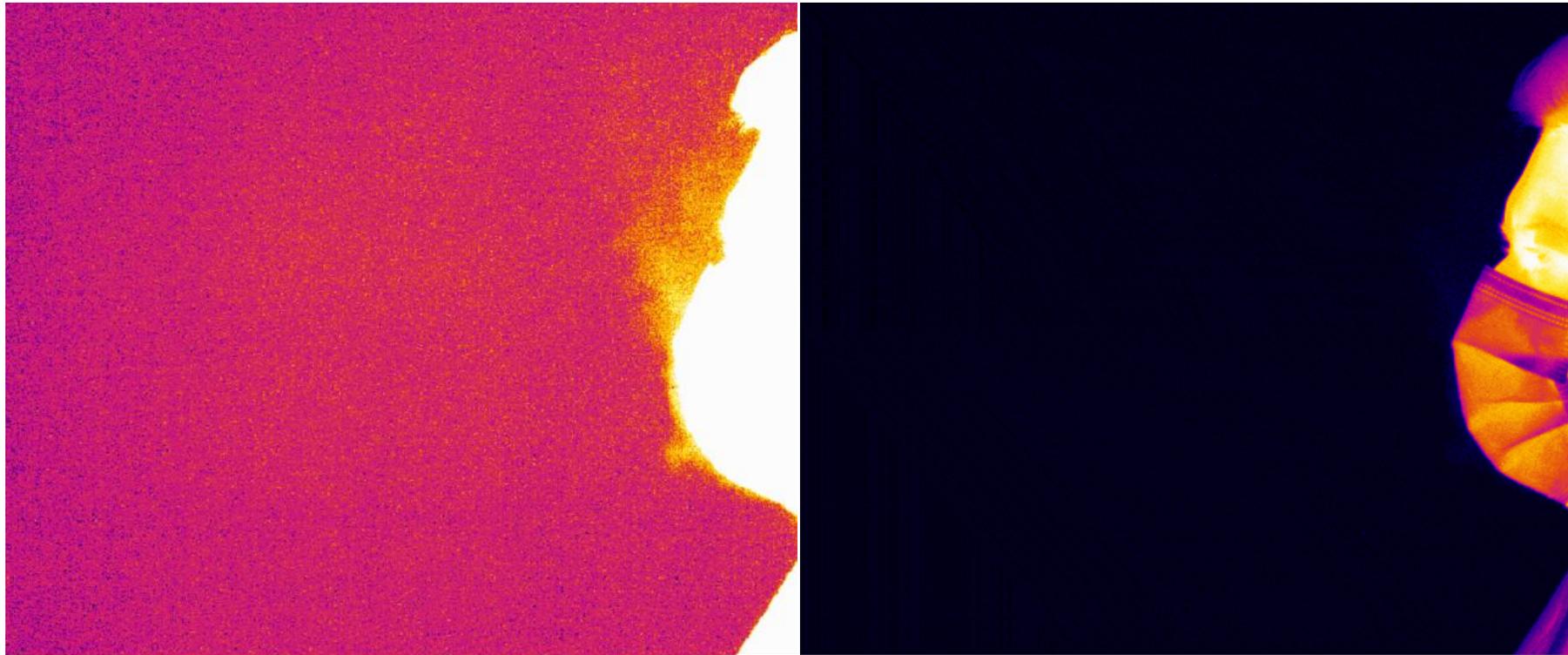
ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОТОКОВ

кашель без маски, частота съемки 50 Гц

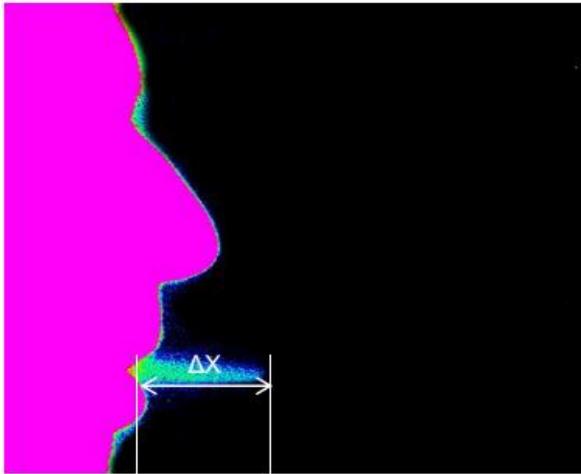


ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОТОКОВ В МАСКЕ

кашель в медицинской маске, частота съемки 50 Гц

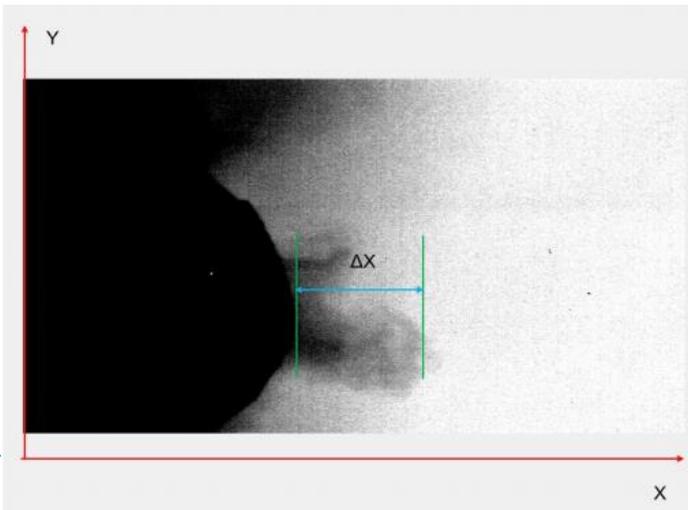


ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ПОТОКОВ



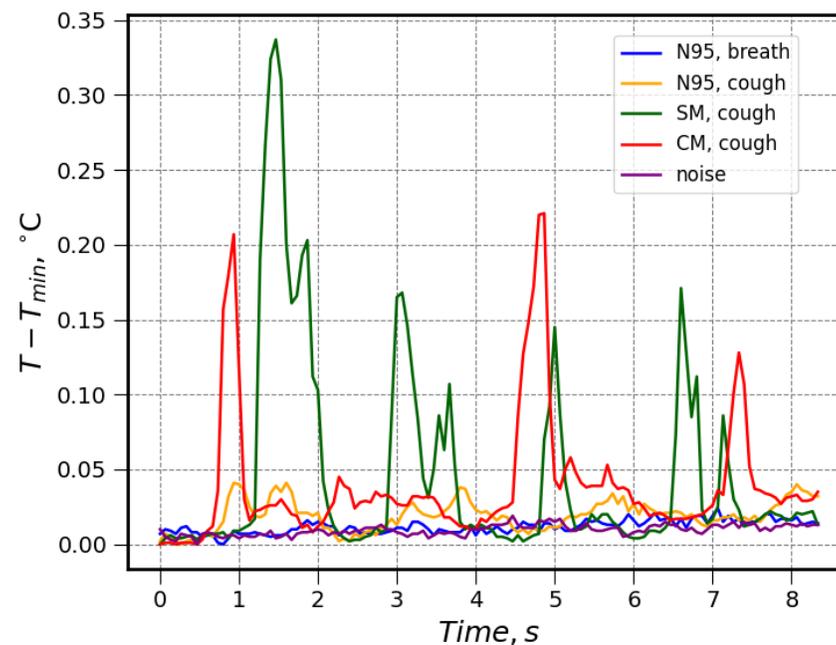
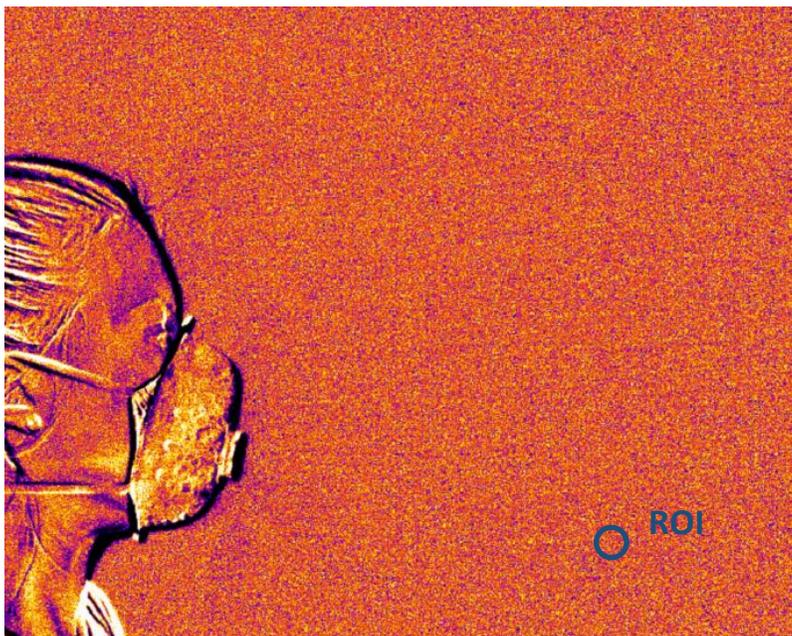
Оценка средней начальной скорости
испускаемого потока по горизонтали:

**Скорость в тканевой маске примерно в 4 раза
меньше**



тип маски	скорость
без маски	3.18 ± 1.01 м/с
медицинская маска	0.79 ± 0.24 м/с

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСКИ ТИПА N95

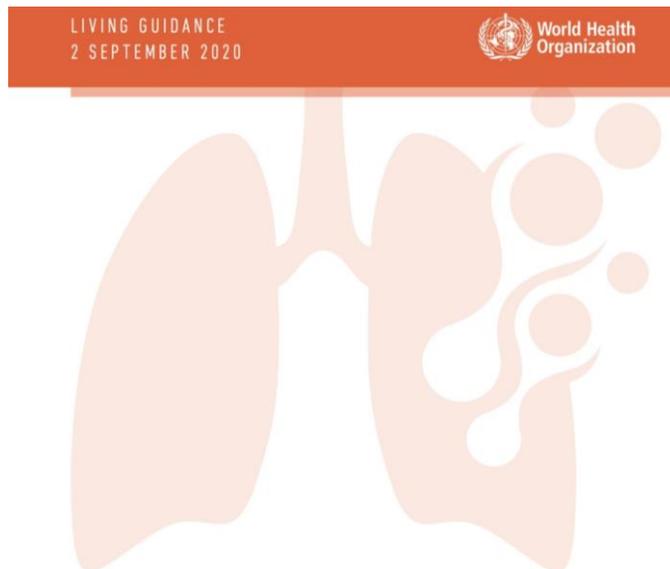


тепловая неоднородность, регистрируемая за счет излучения выделяемого легкими углекислого газа во время кашля и дыхания, значительно снижается при использовании респиратора типа N95 по сравнению с тканевой или медицинской маской

Лазерно-информационные технологии
для медицины

Гиперполяризационная
магнитно-резонансная
томография легких

Последствия COVID-19



Для формирования популяционного иммунитета от COVID-19 должны иметь антитела не менее 70% людей ~ 5 млрд. человек в мире.

Поражение легких происходит в большинстве средних и тяжелых случаев заболевания.

Диагностика поражений в легких – один из главных подходов при постановке диагноза коронавируса в критических или тяжелых случаях заболевания:

- Рентгенография грудной клетки (не более 1 раз в год)
- Компьютерная томография (КТ) грудной клетки и легких (не более 2 раза в год)
- Ультразвуковое обследование легких
- Эндоскопическая диагностика (трахеобронхоскопия)
- Исследование функции внешнего дыхания (дыхательный тест на объем выдыхаемого воздуха)

Основные виды осложнений в легких при COVID-19

- Острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС)
- Внебольничная пневмония
- Фиброз легких

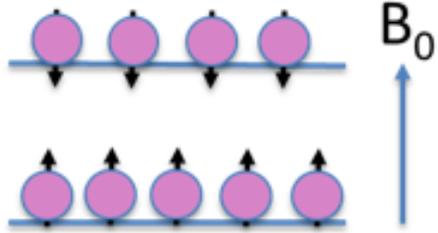
Восстановительный процесс в легких занимает от нескольких месяцев до нескольких лет. Необходим регулярный мониторинг состояния легких и их функционального состояния.

Информация по рекомендациям ВОЗ, 2020 г.

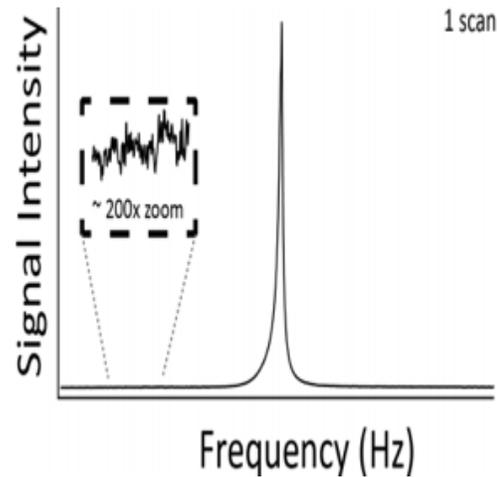
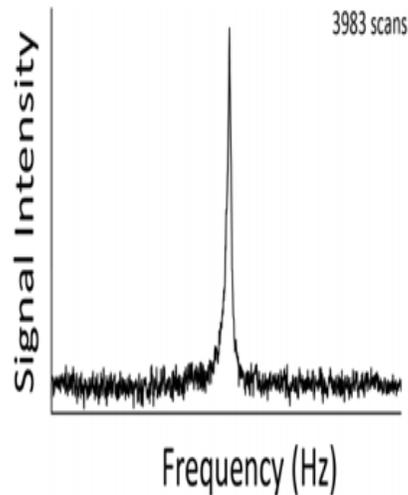
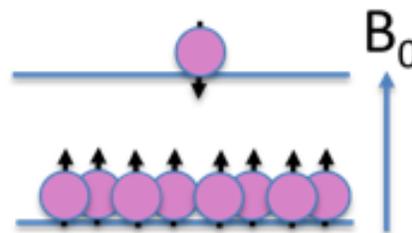


Гиперполяризация газов в МРТ

$T=273\text{ K}$



$T=273\text{ K}$ как при
 $T \approx 0\text{ K}$



Разница населенностей уровней в равновесном и гиперполяризованном состоянии.

Сигнал ЯМР от благородного газа, находящегося в равновесном и гиперполяризованном состоянии (различие интенсивности в 10^5 раз).

Протокол гиперполяризационной МРТ

1



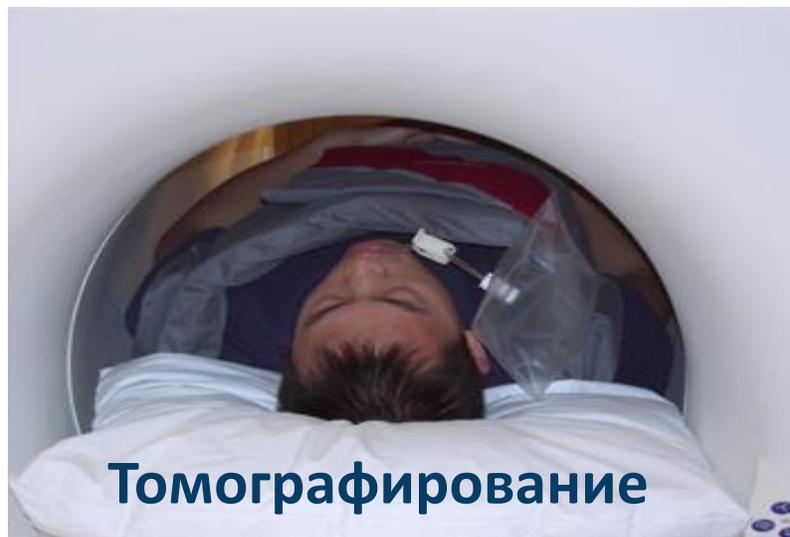
Поляризация: 30 минут

2



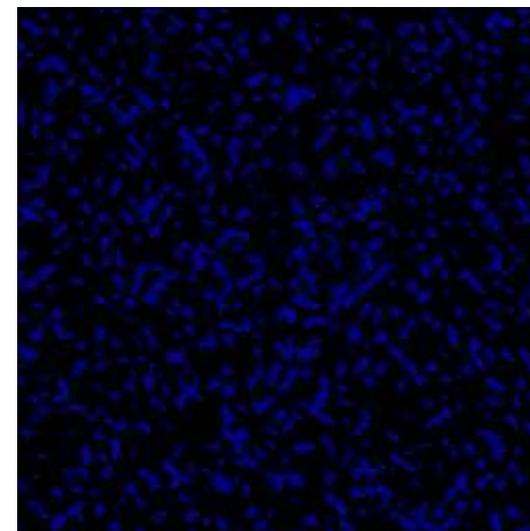
Дозирование

3



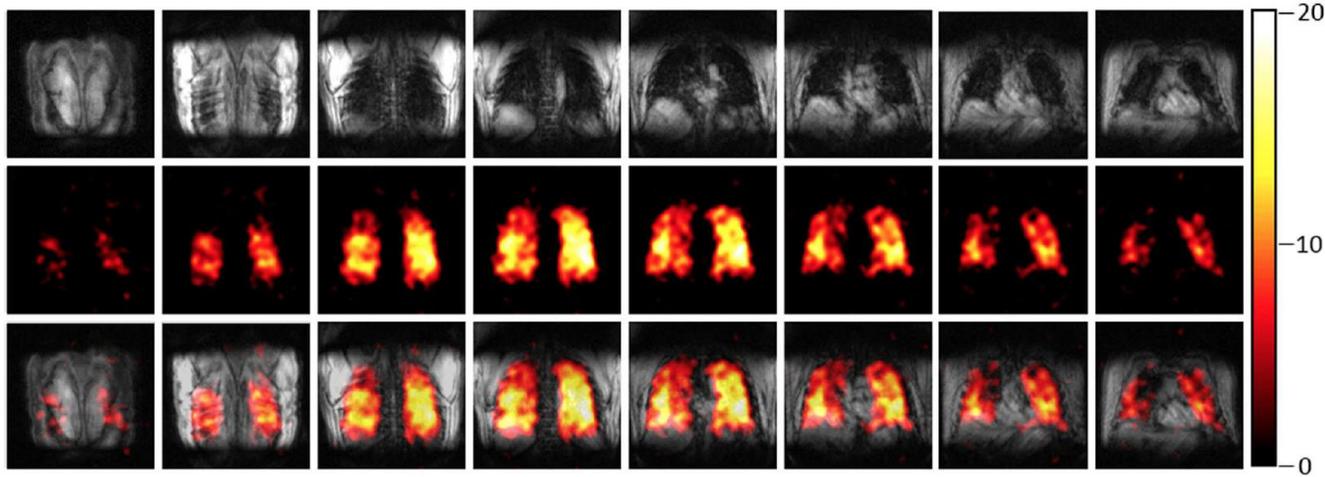
Томографирование

4



Томограмма <10 секунд

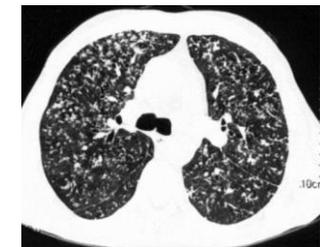
МРТ вентиляции легких



¹⁹F МРТ динамического распределения газовой смеси, содержащей Фтор-19 для функциональной диагностики легких

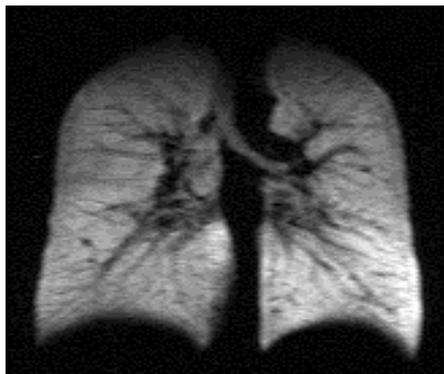


Pavlova O., Panchenko V. et al. Magn. Reson/ Med. 2020; 00:1–7.

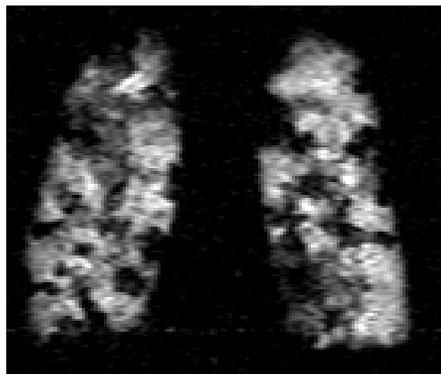


КТ визуализация заболеваний легких методом «Матового стекла»

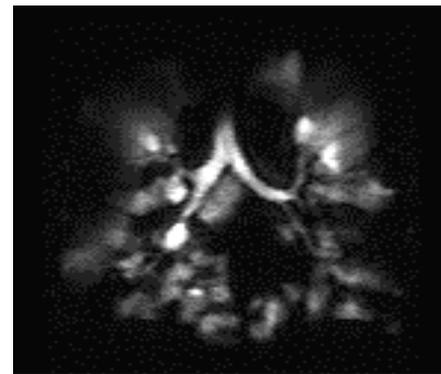
Нарушения вентиляции легких вызванные заболеваниями



Норма



Курильщик



Хроническое заболевание

Статическое газовое распределение при малоугловой последовательности импульсов во время задержки дыхания



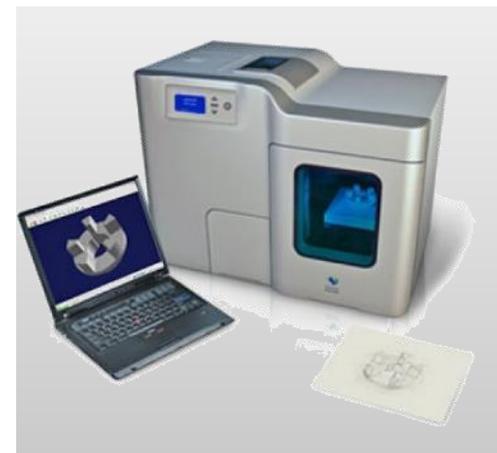
Лазерные аддитивные технологии



Лазерный стереолитограф LS-120



Установка селективного
лазерного спекания



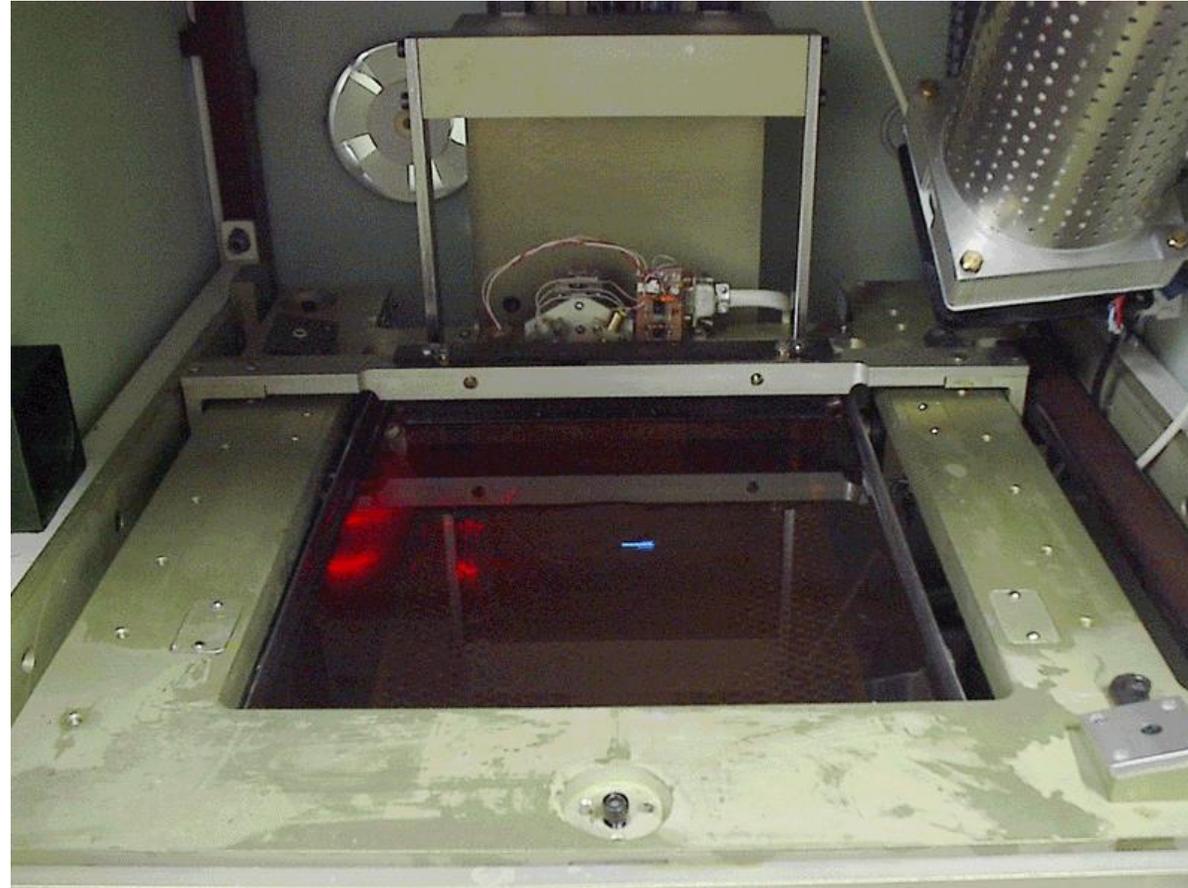
Персональный лазерный 3D принтер



Начиная с 1990-х гг. во всем мире развиваются аддитивные технологии на базе лазерно-информационных систем. В это же время такие работы начаты в России.

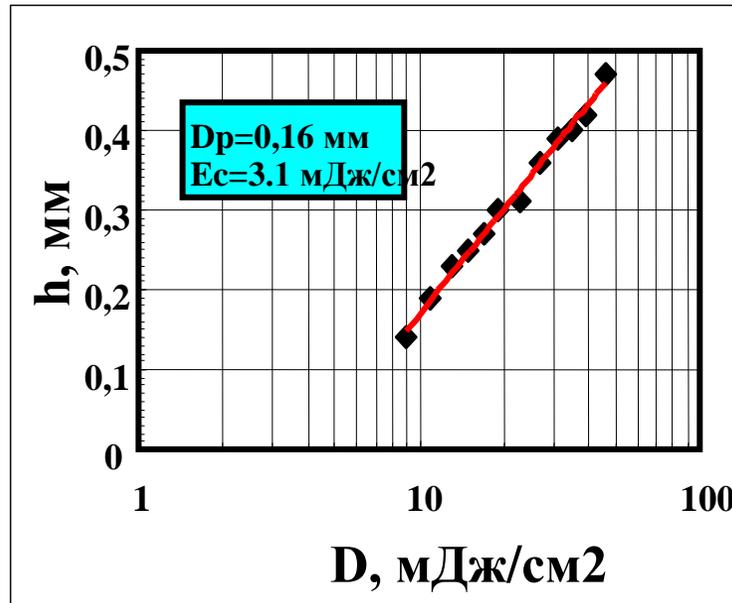
ИПЛИТ РАН

Процесс изготовления стереолитографической биомодели

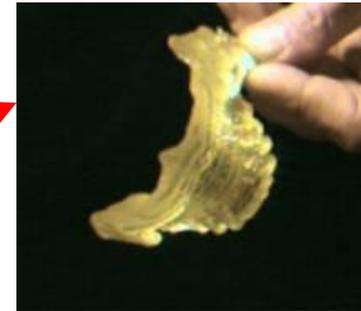


Основы метода лазерной стереолитографии

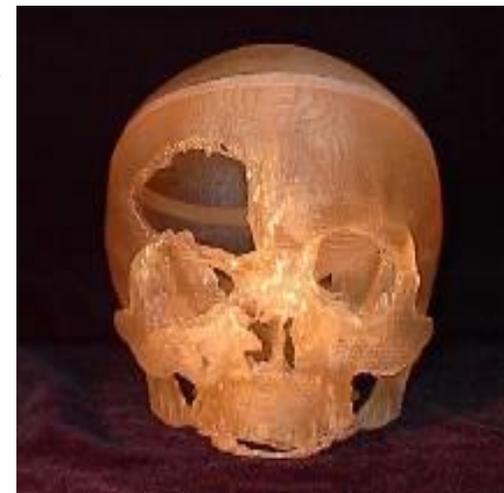
Зависимость толщины отвержденного слоя (h)
от дозы облучения (D)
для фоточувствительной композиции ИПЛИТ-1



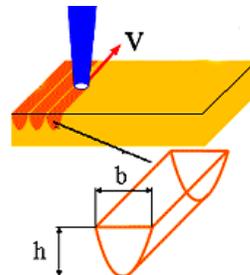
Мощность излучения $P=15$ мВт



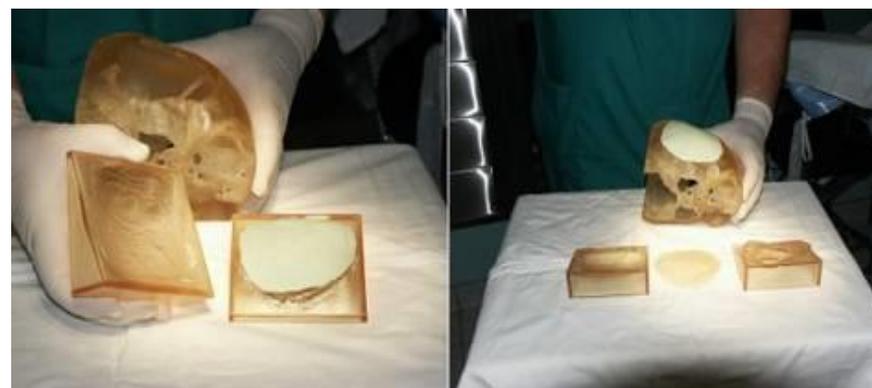
1-2 часа



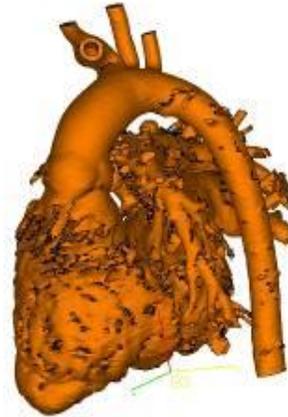
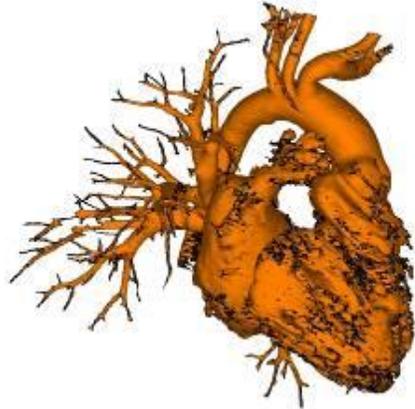
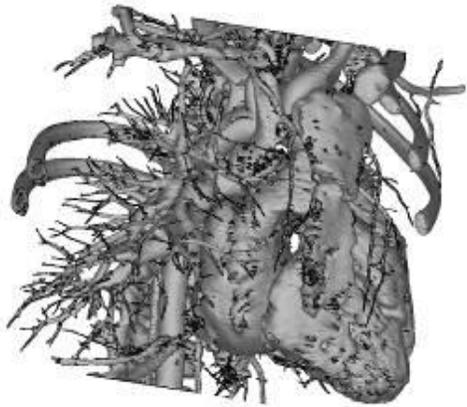
18-20 часов



Изготовление, подгонка и установка биосовместимого имплантата



Трехмерные модели сердечно-сосудистой системы



Реконструкция на основе 4D КТ
(временное разрешение 0,1 с и МРТ данных)



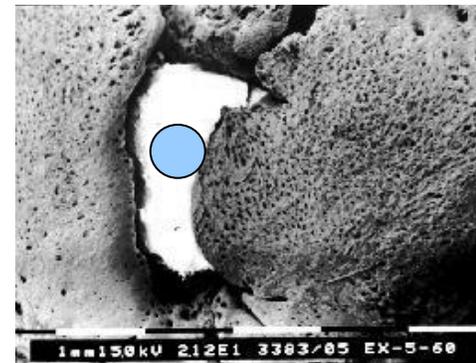
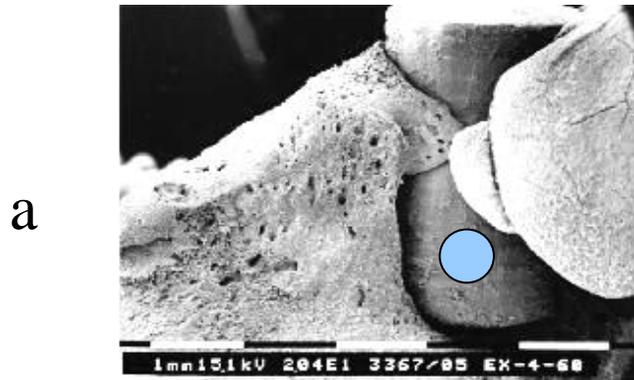
Центр сердечно-сосудистой хирургии
им. А. Н. Бакулева

Технологии **БИМОДЕЛИРОВАНИЯ** ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ

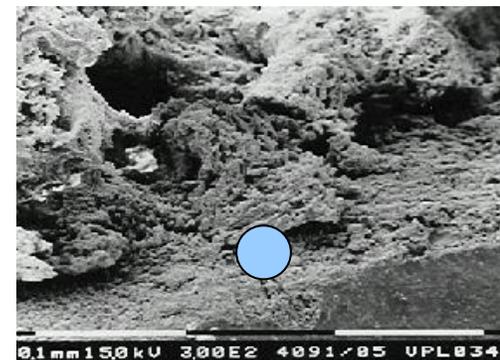
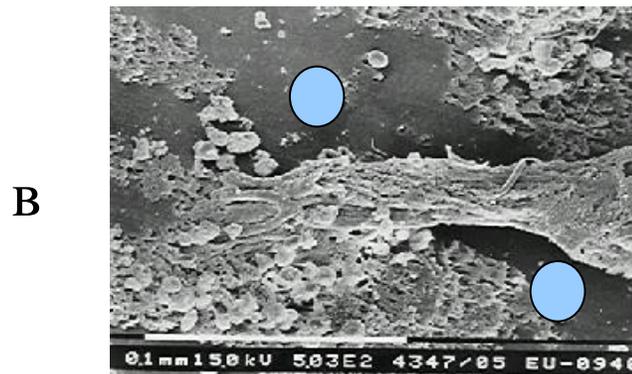


In-vivo анализ реакций костной ткани

Имплантат (●) в дефекте бедренной кости белой мыш



б



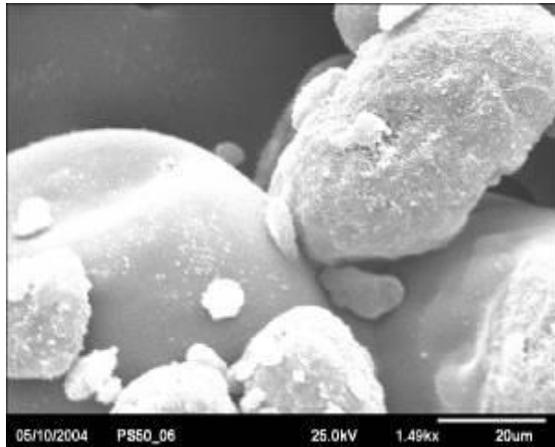
г

СЭМ образцов из чистого этикрила (а) и этикрил/ГАП композитов (б-г) до обработки (а-в) и после обработки (г) СК - CO₂ через 30 суток после имплантации. Импланты изготовлены методом лазерной стереолитографии

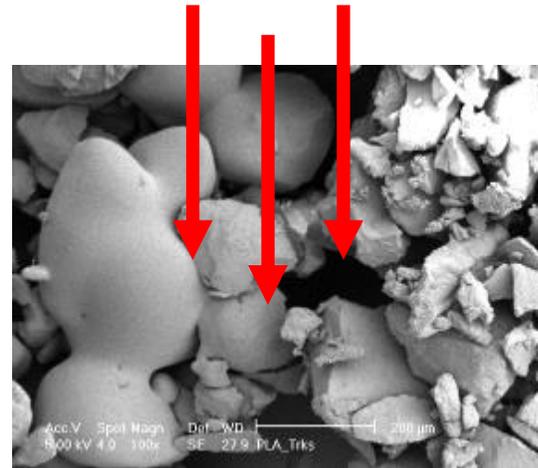
J. of Materials Science: Materials in Medicine, 15, 123-128, 2004

Поверхностно-селективное лазерное спекание (ПСЛС)

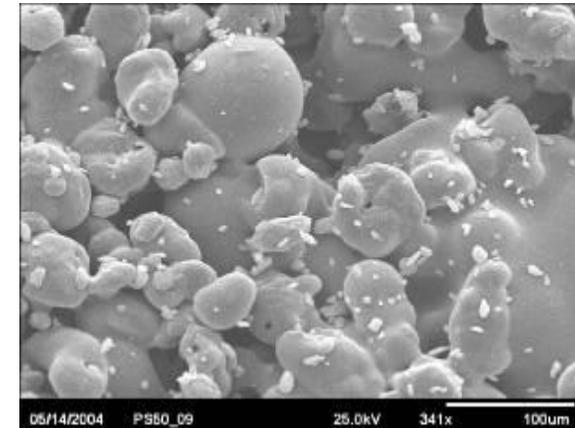
Исходная смесь порошков



Облучение лазером

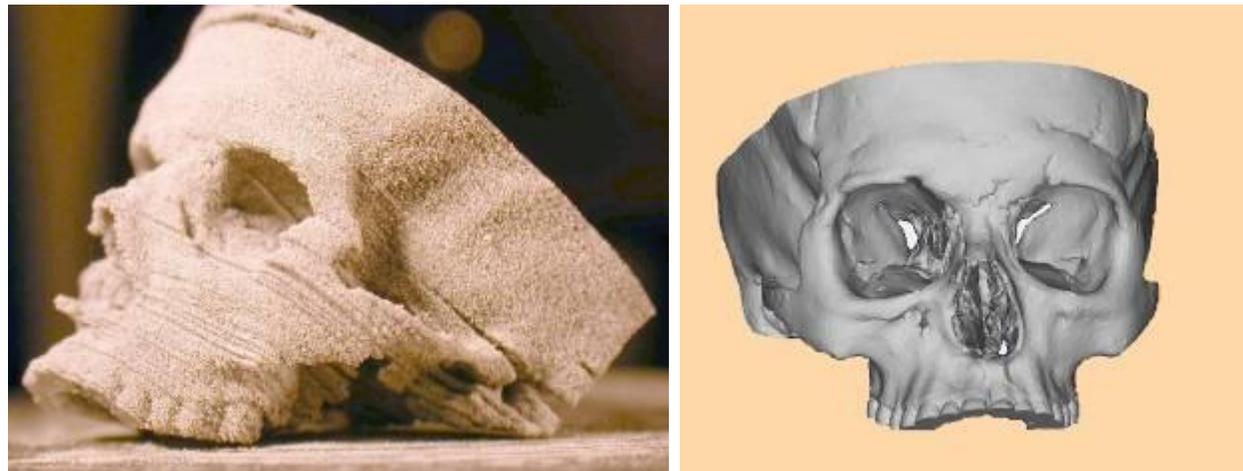
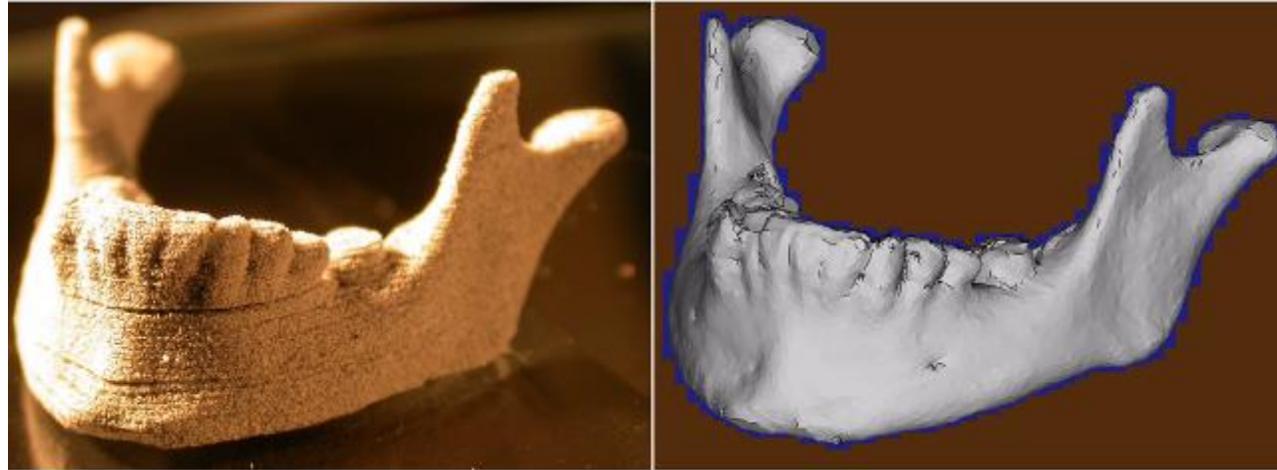


Смесь после обработки

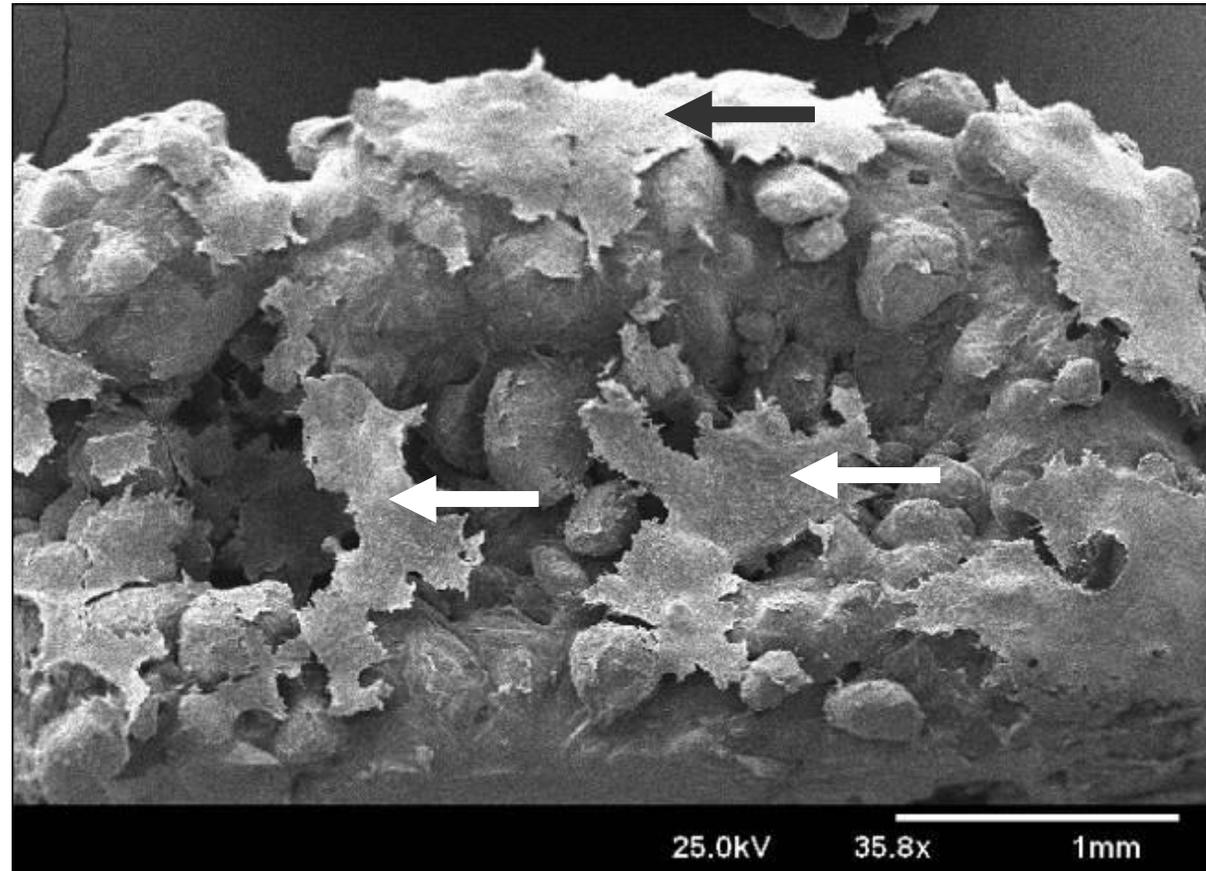


ПСЛС основано на расплаве поверхности полимерных частиц, прозрачных для лазерного излучения, за счет его поглощения наночастицами (углерод, золото), равномерно распределенными по поверхности порошка

Примеры костных фрагментов изготовленных ПСЛС



Биосовместимость ПСЛС матриц



СЭМ анализ поверхности ПСЛС матрицы из полилактида после 24 часов в культуре овечьих хондроцитов ($\leftarrow \rightleftarrows$), покрывающих уже около 50% поверхности матрицы

*Ноттингемский Университет (Великобритания)
НИИ трансплантологии и искусственных органов*

In Vivo анализ ПЛСЛ матриц



Рентгенограммы дефекта бедренной
кости мыши спустя
4 недели после операции

A – Контрольная группа (без ПСЛС матрицы) – полное отсутствие восстановления дефекта.

B – Группа с имплантированной ПСЛС матрицей.

C – Группа с имплантированной матрицей, содержащей клетки костного мозга человека

D - Группа с ПЛСЛ матрицей, содержащей зародышевые клетки берцовой кости человека

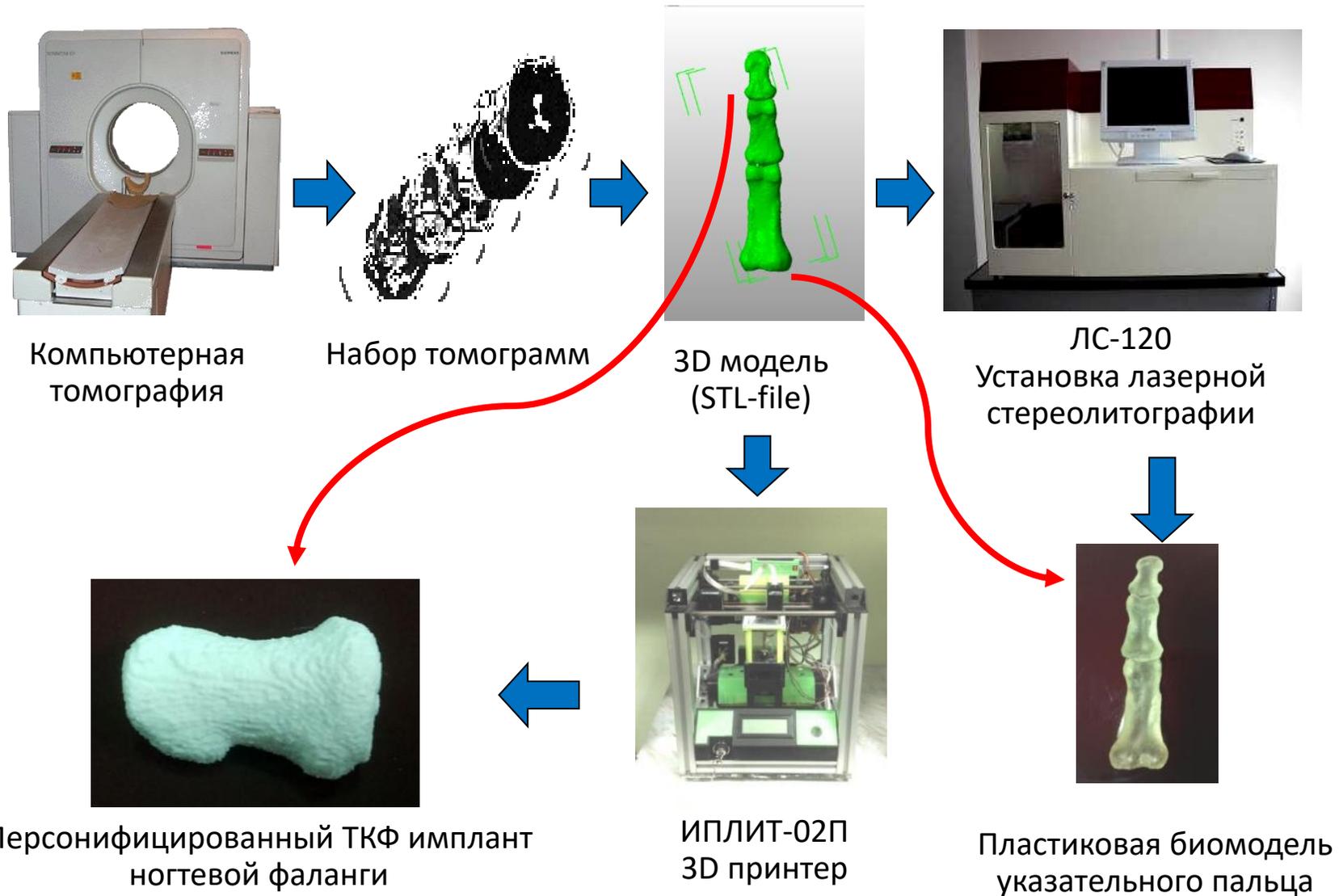
**Восстановление целостности
кости с дефектом больше
критического размера!!!**

Acta Biomaterialia, 5, 2063-2071; 2009

Имплант ногтевой фаланги мизинца



3D печать ТКФ имплантов

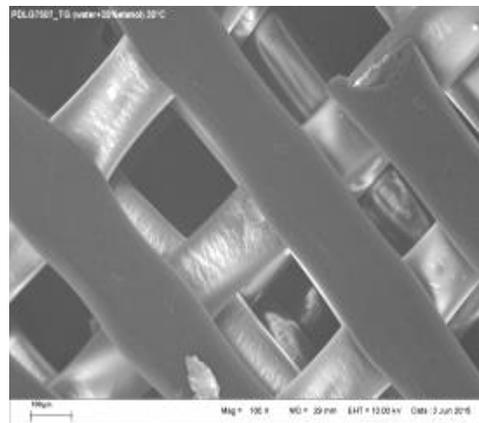
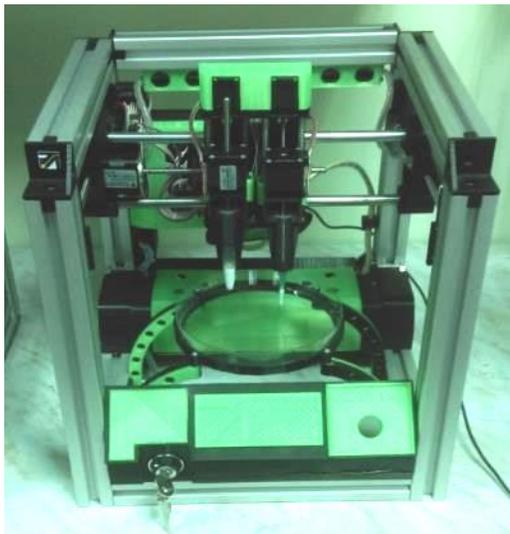


3D печать гидрогельных матриксов

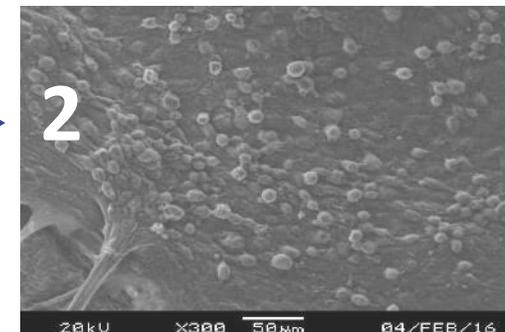
Множественная адгезия
клеток панкреатических островков (1)
и мезенхимальных стволовых клеток из жировой ткани человека (2)
на поверхности матриксов

**Отсутствует
цитотоксическое
воздействие!**

3D принтер
ILIT-02G



Структура 3D матрикса

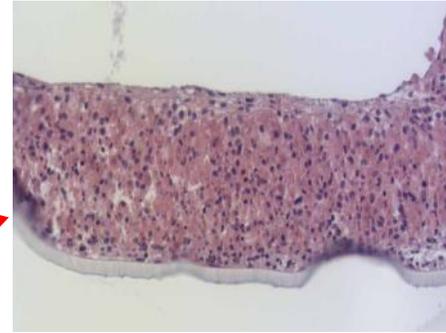


3D формирование биотканей печени и почки

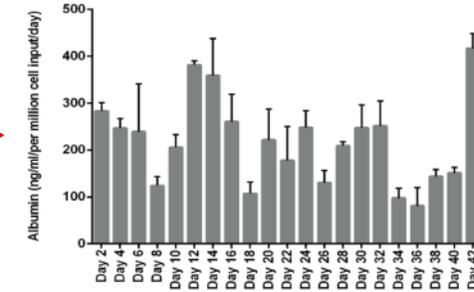


Novogen MMX Bioprinter™

ORGANOVO Inc.

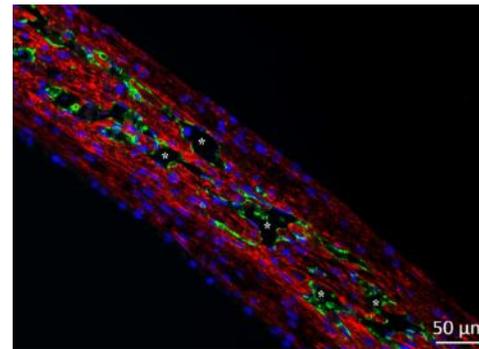


Напечатанная
3D биоткань печени



Albumin production

Renal proximal tubular epithelial cells, renal fibroblasts and endothelial cells survived and express CYP450 mRNAs, and possess gamma glutamyl transferase (GGT) activity for two weeks in vitro.



Напечатанная
3D биоткань почки

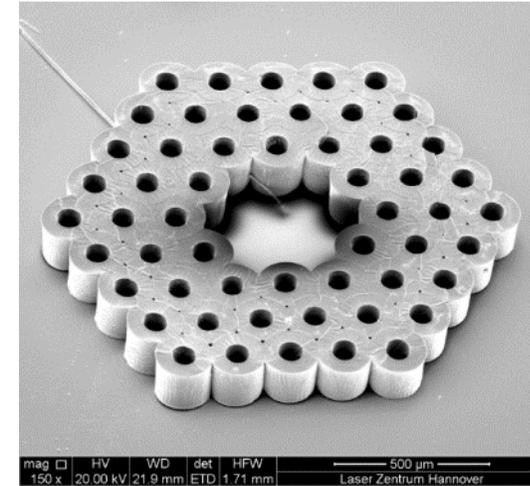
Комплекс по фемтосекундной лазерной микро-стереолитографии

Установка фемтосекундной лазерной микро-стереолитографии в ИПЛИТ РАН

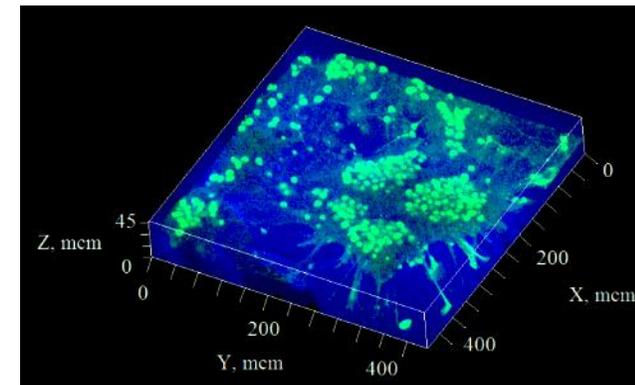


- С помощью комплекса лазерной микростерео-литографии созданы 3х мерные структуры (скаффолды) на основе новых биodeградируемых полимеров.
- Показано, что на таких структурах происходит рост 3х-мерной нейрональной сети диссоциированной культуры гиппокампа, что делает такие скаффолды перспективным материалом для нейротрансплантации.

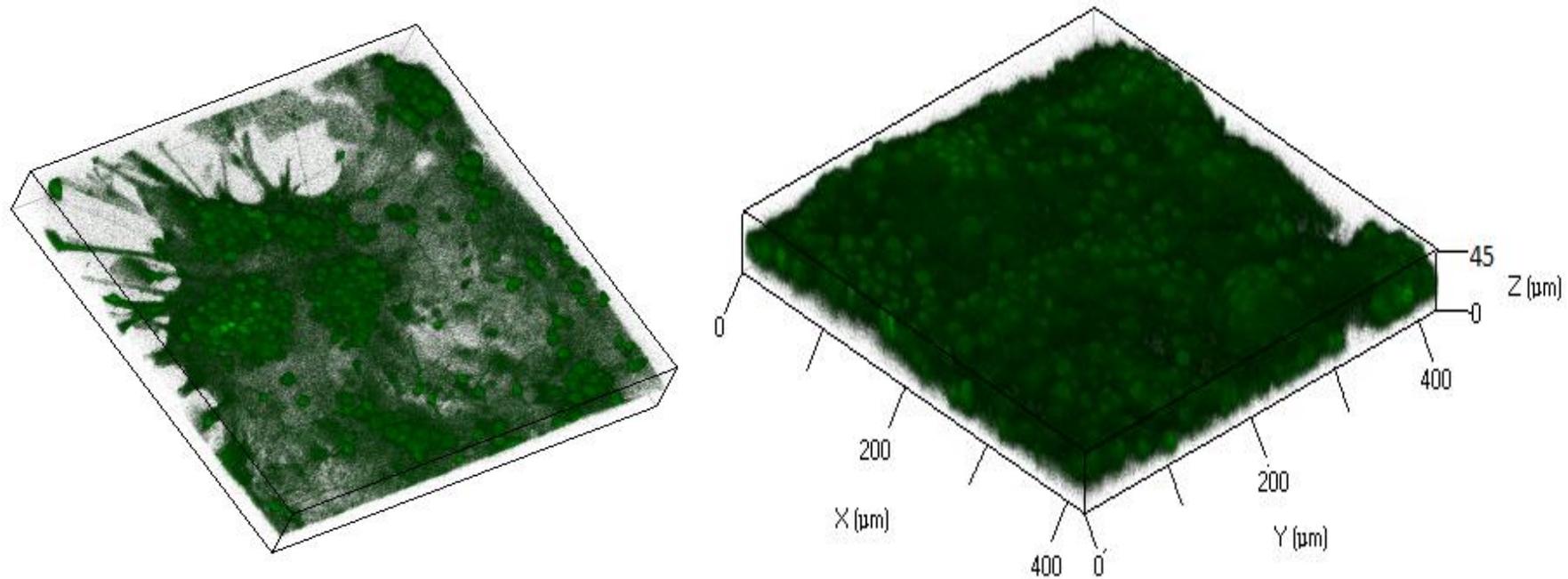
3х-мерный биodeградируемый скаффолд для нейротрансплантологии



Трехмерная реконструкция флуоресцентного имиджинга диссоциированной культуры гиппокампа на 14 день развития *in vitro*, выращенной на скаффолде



In vivo формирование нейронных сетей на матриксах имплантированных в мозг кролика



Флуоресцентный имиджинг (Z-скан) диссоциированной культуры

Технологии **БИМОДЕЛИРОВАНИЯ** ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОДЕГРАДИРУЕМЫХ СКАФФОЛДОВ



Нейрофотоника: проникновение светом в тайны мозга

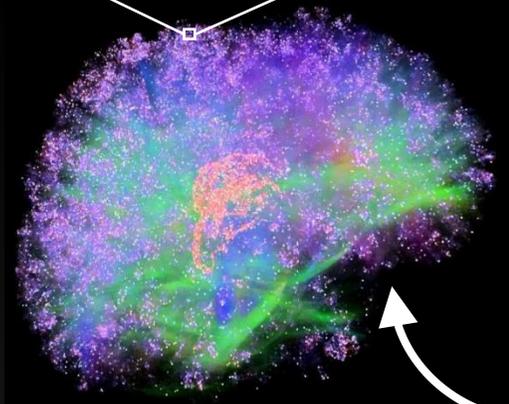
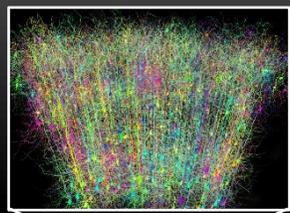


Отдел нейронаук, НИЦ «Курчатовский институт»
Центр нейронаук и когнитивных наук МГУ
Институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина

© Константин Анохин

Мозг – самая сложная из известных нам систем

1. Понимание устройства мозга



10^{11} нейронов
 10^{12} мм нейронных отростков
 10^{15} контактов
 $10^{10000000}$ вариантов комбинаций

2. Сознание

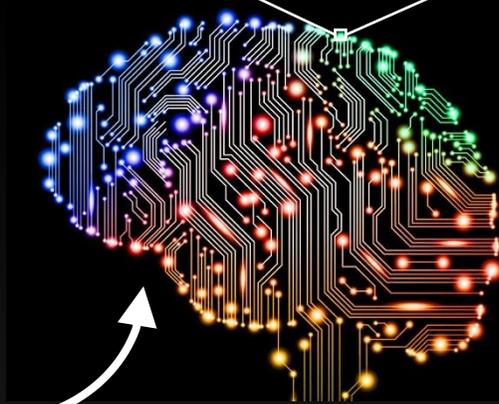
йоттабайты
(10^{24} бит) данных

эксафлопсные
(10^{18} операций/сек)
суперкомпьютеры

**модели
сознания и
когнитивных
функций мозга**

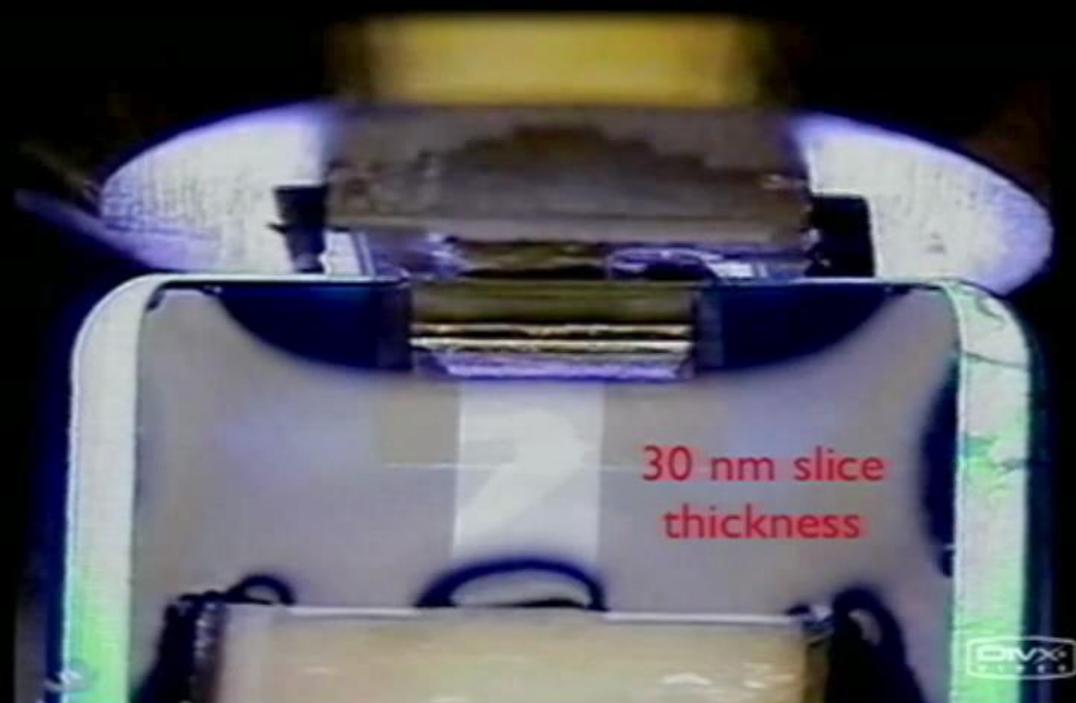
гиперастрономическое
число состояний мозга

3. Искусственный мозг и разум

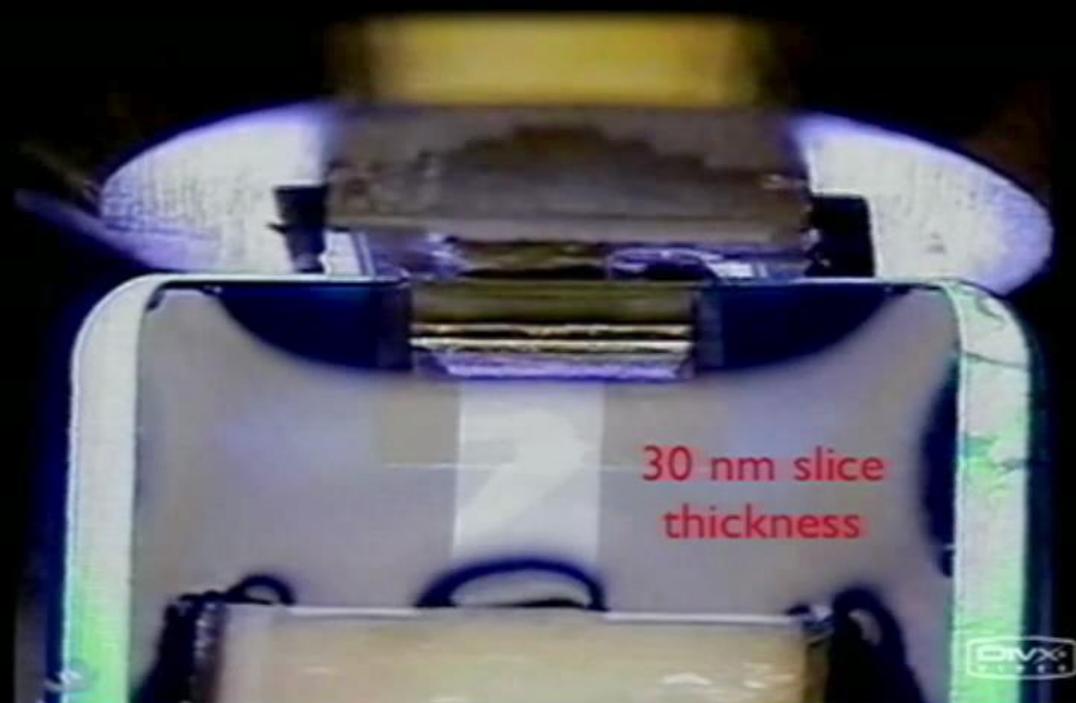


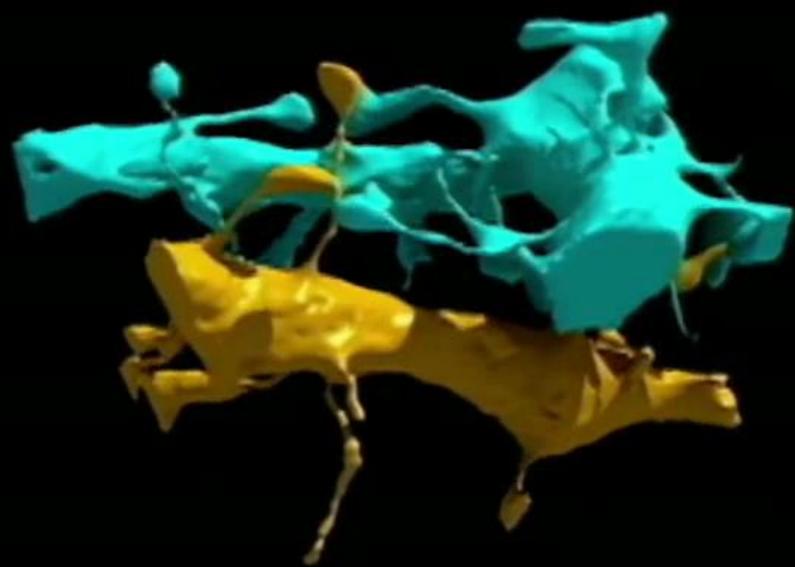
Самое масштабное моделирование
мозга человека (2013 г.): расчет 1 сек
активности 1% нейронов мозга –
40 мин работы 4-го по мощности
суперкомпьютера в мире (K-computer)

Hayworth, Kasthuri, Schalek, Lichtman

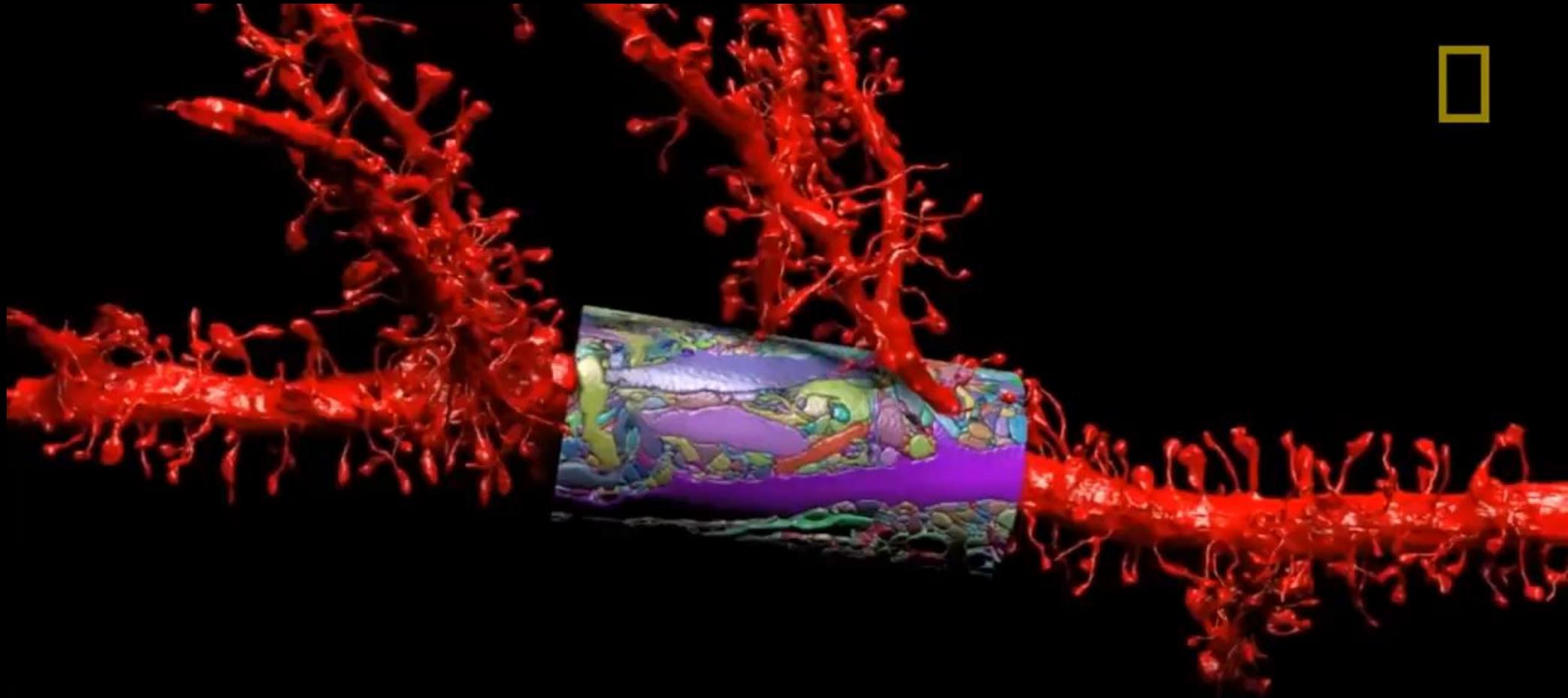


Hayworth, Kasthuri, Schalek, Lichtman





rendering: Daniel Berger 



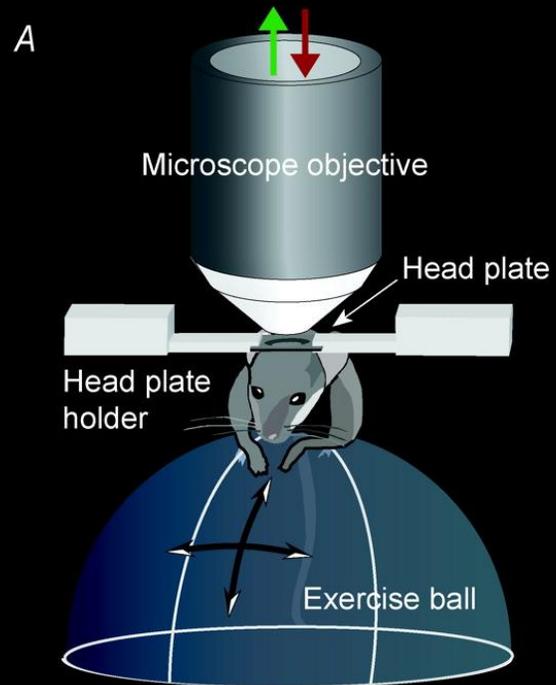
Нейронная сеть гиппокампа мыши



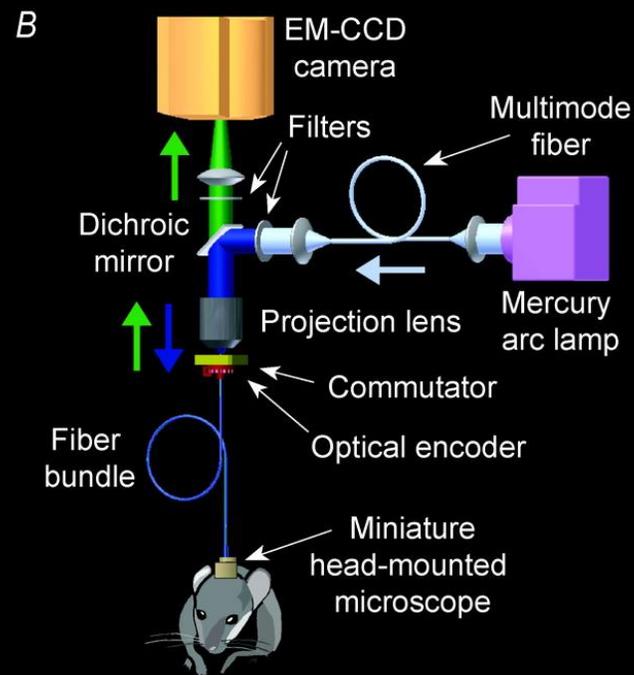
НЕЙРОФОТОНИКА:
ОПТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ
К РАСШИФРОВКЕ КЛЕТОЧНОГО КОДА
РАЗУМА И СОЗНАНИЯ

Прижизненная визуализация когнитивно специализированных нейронов

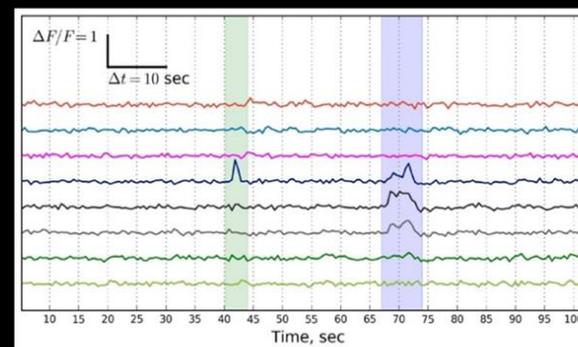
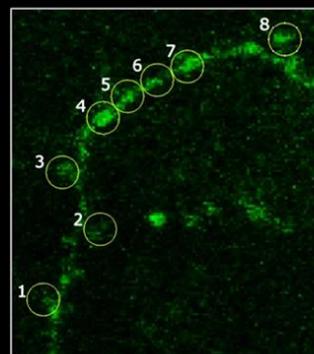
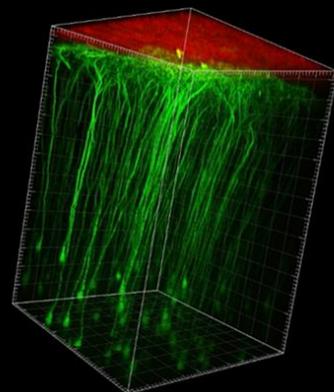
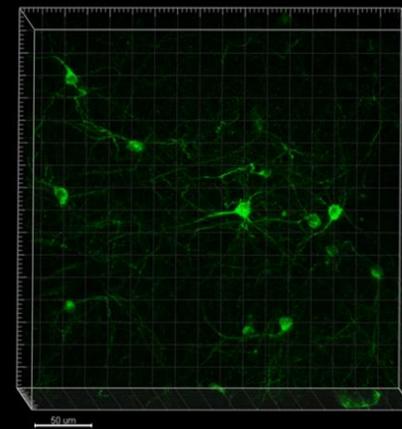
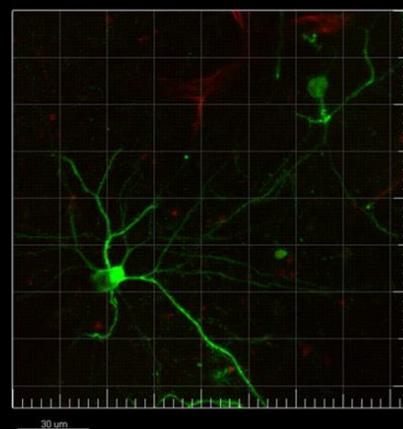
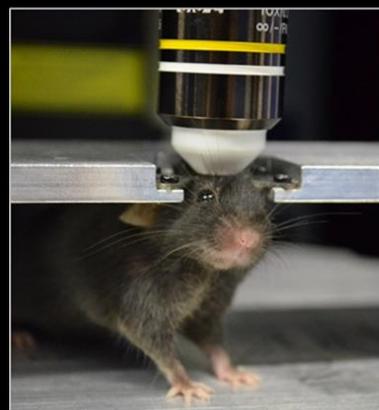
Двухфотонная
микроскопия



Однофотонная
минимикроскопия

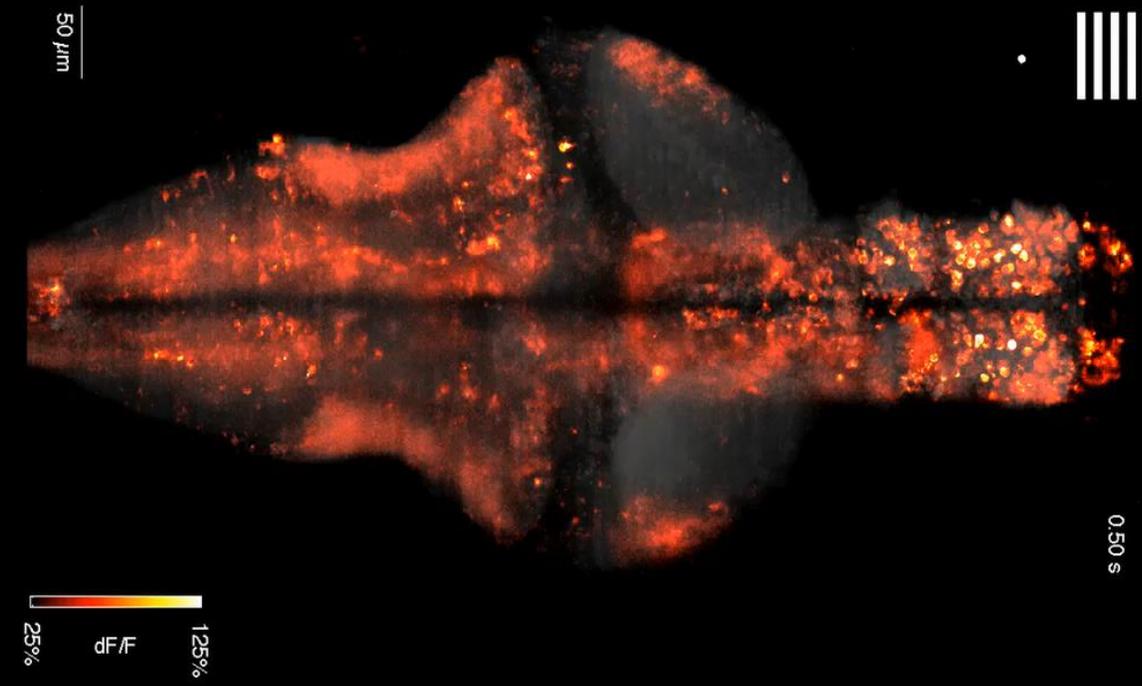


Прижизненная двухфотонная микроскопия когнитивно индексируемых нейронов



**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АКТИВНОСТИ
ОТДЕЛЬНЫХ «УМНЫХ» НЕЙРОНОВ
В ЖИВОМ БОДРСТВУЮЩЕМ МОЗГЕ**

Томографическая *in vivo* визуализация активности нейронных сетей
в целом мозге с клеточным разрешением

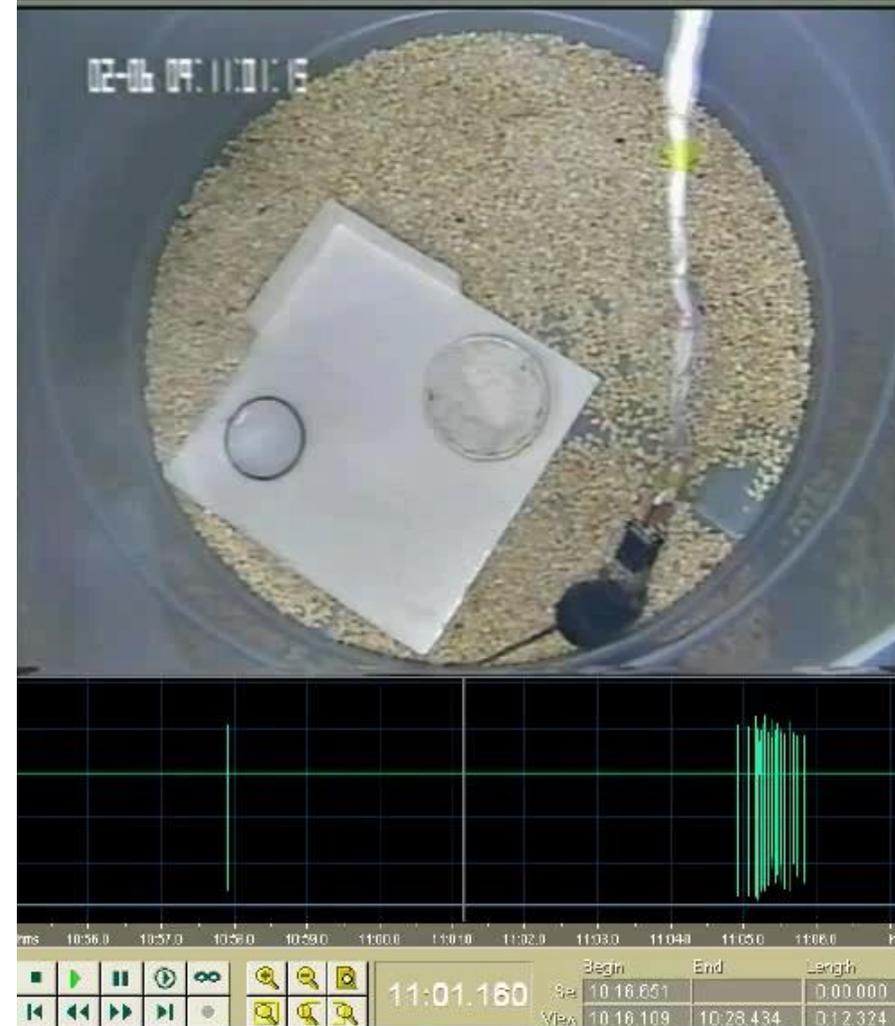
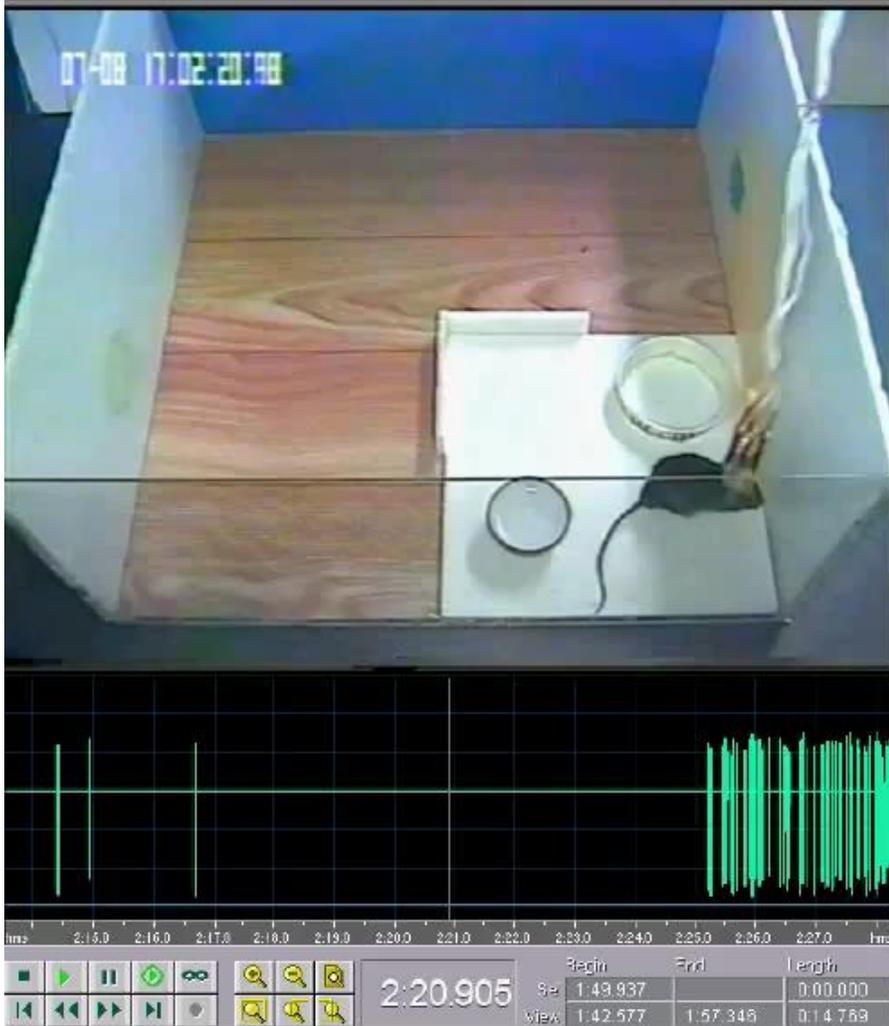


Light-sheet functional imaging in fictively behaving zebrafish. (2014) N.Vladimirov et al., Nat. Meth.

**КОГНИТИВНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ
НЕЙРОНОВ МОЗГА ЖИВОТНЫХ**

«Нейрон гнезда» у мыши

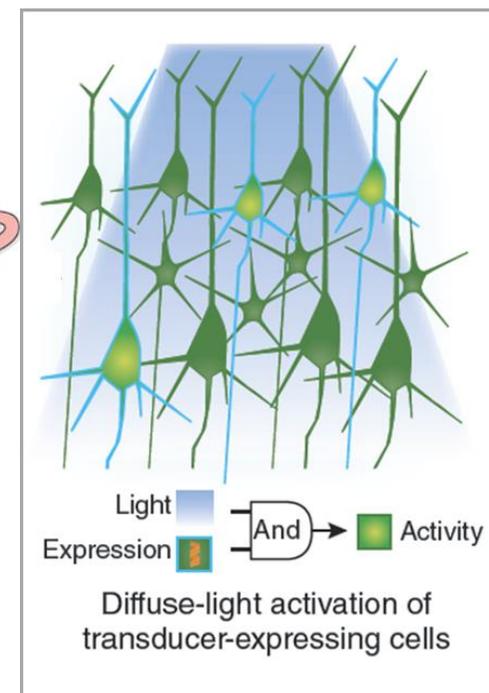
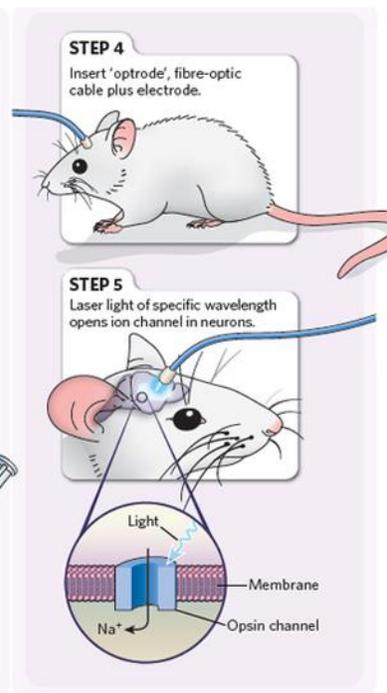
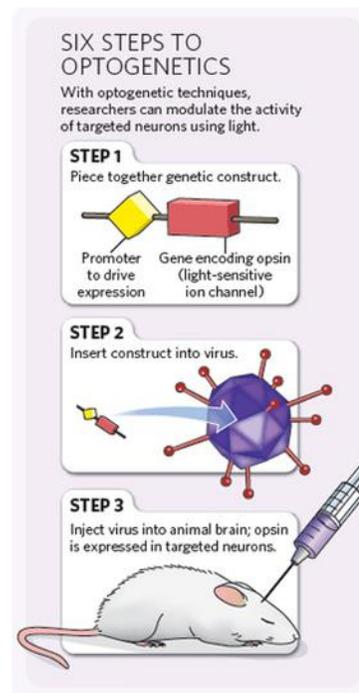
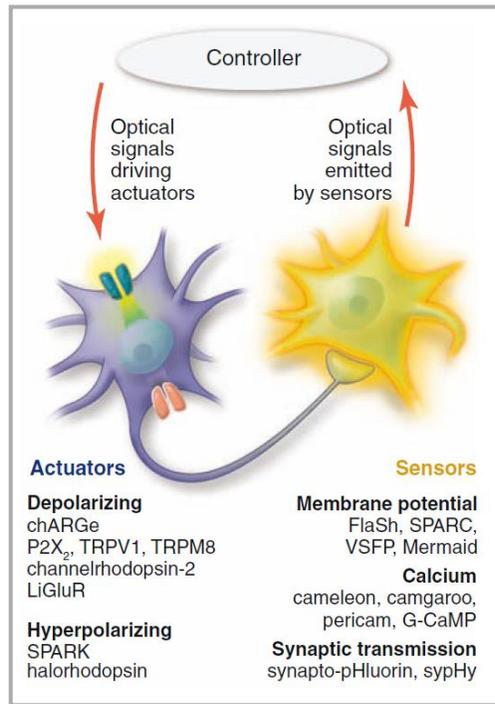
Когнитивная специализация нейронов мозга животных: объекты



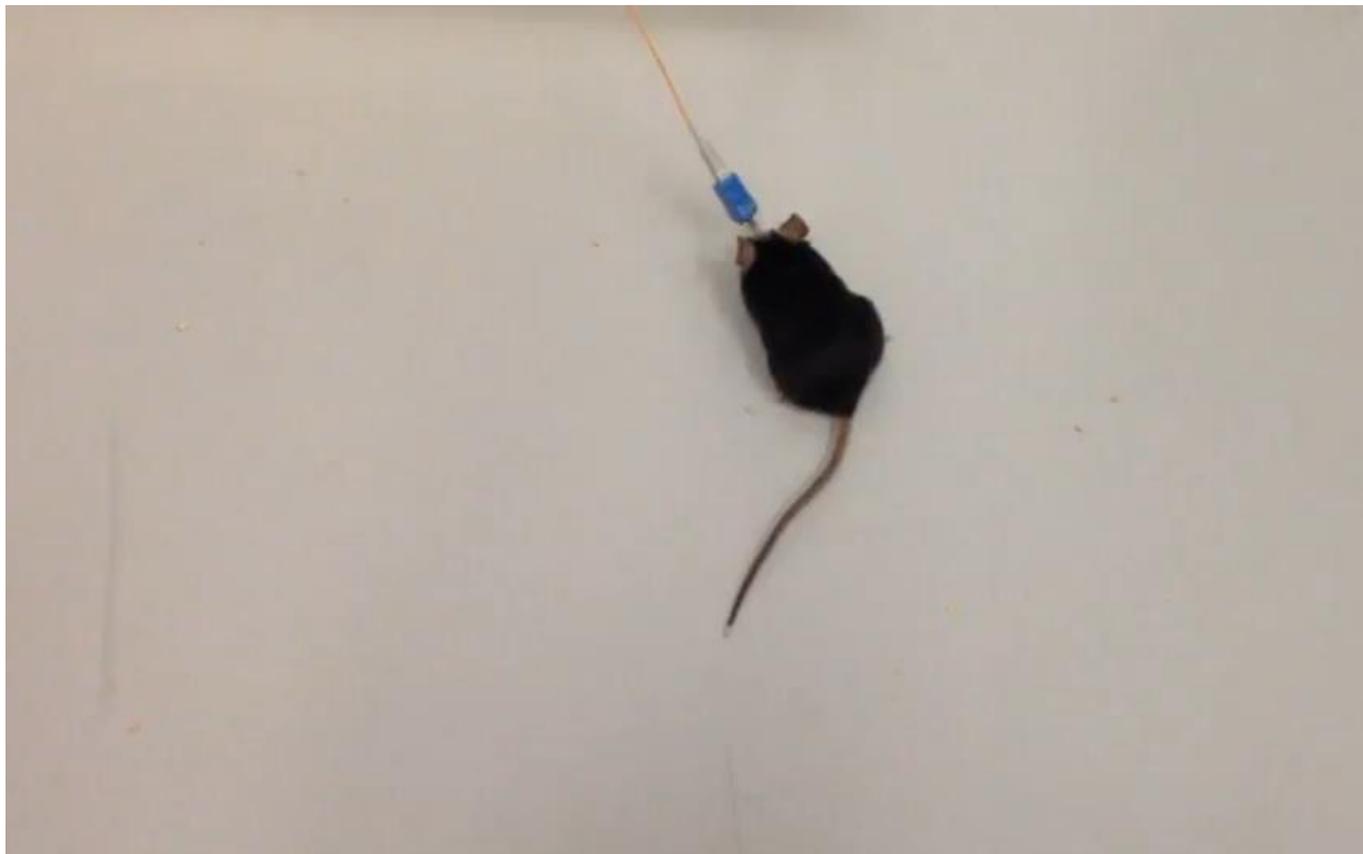
Оптогенетика:

управление активностью
отдельных нейронов бодрствующего мозга

Когнитивная оптогенетика: причинный анализ нейронных сетей



Когнитивная оптогенетика: новые экспериментальные вопросы



- ❖ Как направленная активация к-нейронов влияет на поведение и опыт животного?
- ❖ Как направленное подавление активности активация к-нейронов влияет на поведение и опыт животного?
- ❖ Можно ли создавать искусственный опыт у животного «изнутри» - создавая искусственные ассоциации между *k*-группами нейронов?

Наши ресурсы Вконтакте



ОТКРЫТЫЙ
ИЗФАК

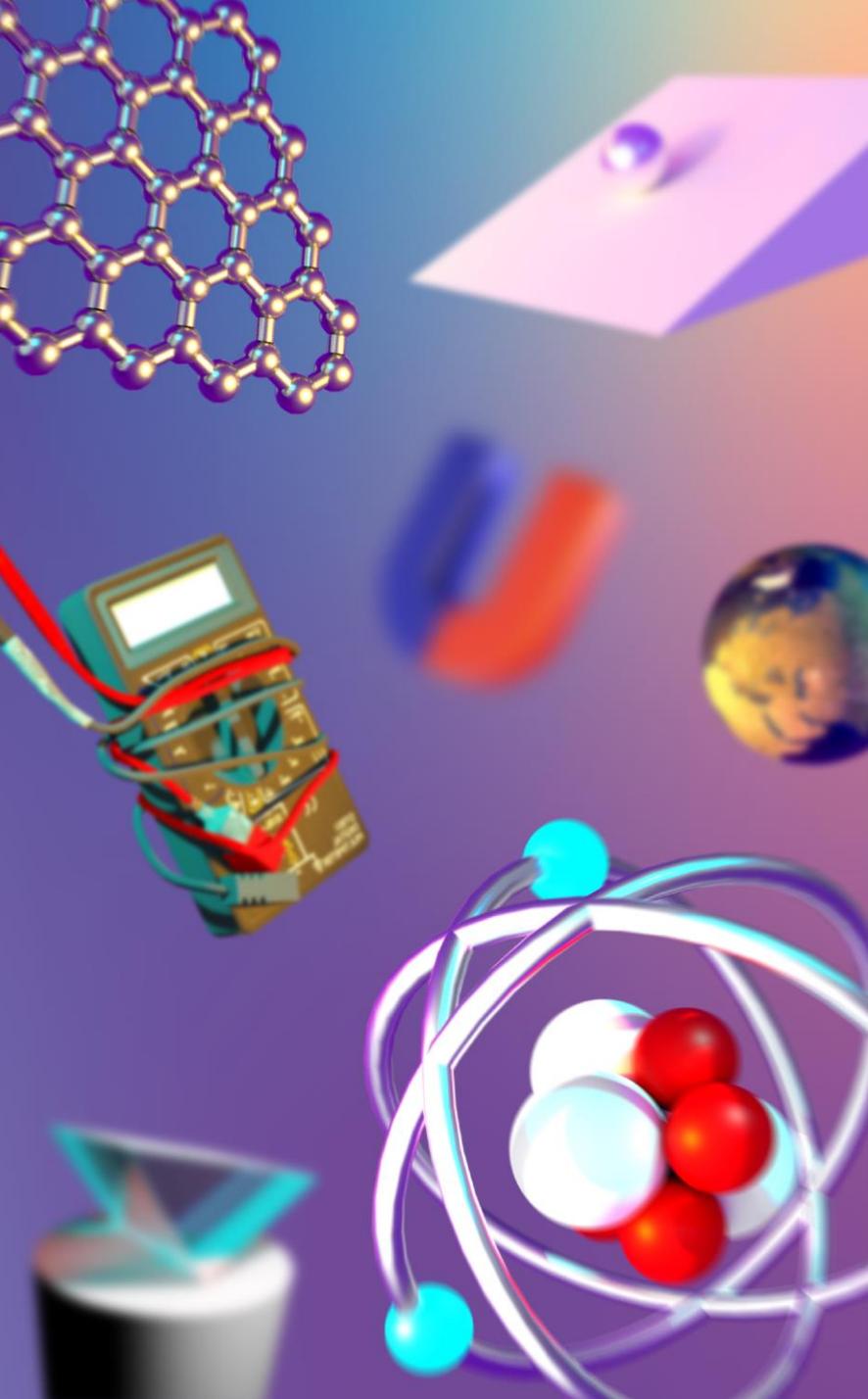


«Физический факультет МГУ | Абитуриентам»

- ✓ Прямые консультации с сотрудниками и помощниками Приемной комиссии физфака
- ✓ Материалы и рекомендации для подготовки к ДВИ по физике
- ✓ Общение со студентами и сотрудниками факультета

«Физический факультет МГУ»

- ✓ Информация о кафедрах, лабораториях и их работе
 - ✓ Мероприятия и события на факультете
 - ✓ Достижения учёных факультета и научные новости
- Официальное представительство факультета
в социальных сетях



ОТКРЫТЫЙ
ИЗФАК

Медицина + Физика = !

Будьте здоровы!

МАКУРЕНКОВ
Александр Михайлович
доцент, к.ф.-м.н.

MAKURENKOV@PHYSICS.MSU.RU