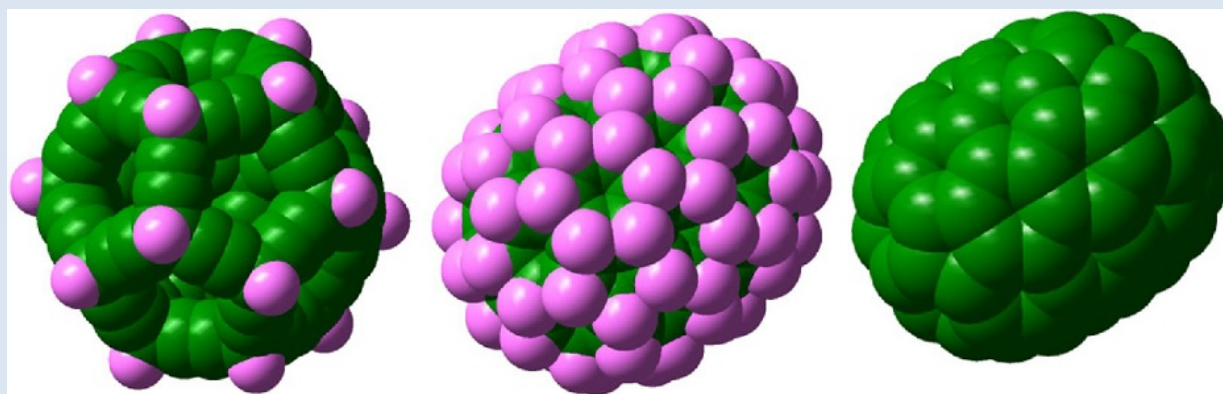


Перст

Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 28, выпуск 21/22

ноябрь 2021 г.



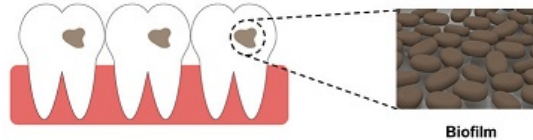
Черноголовка

В этом выпуске:

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноалмазы помогут в борьбе с вредными биоплёнками в полости рта

Кариес зубов, воспаление дёсен, грибковые инфекции – серьёзные и, к сожалению,



широко распространенные заболевания полости рта, которые со временем могут привести к сердечно-сосудистым проблемам, ожирению, диабету, бактериальной пневмонии, и даже к болезни Альцгеймера. Лечение затруднено тем, что патогенные микроорганизмы (бактерии, грибки) образуют биоплёнки, устойчивые к внешним воздействиям. Биоплёнки – колонии клеток – погружены во внеклеточный матрикс (синтезированное ими полимерное вещество), который защищает их в том числе от антибиотиков и других лекарств. Новые способы решения этой проблемы могут быть найдены с помощью нанотехнологий. Так, например, недавно были синтезированы бактерицидные покрытия из графена и усниновой кислоты, выделенной из лишайников (см. *Перст* [1]). Они обеспечили длительную эффективную защиту от образования биоплёнки. Конечно, трудно предположить, что их можно использовать во рту. Наночастицы оксида гафния, модифицированные специальным полимером, хорошо зарекомендовали себя для диагностики биоплёнок стрептококка *S.mutans*, образующих зубной налёт на поверхности зуба, и для борьбы с этими биоплёнками (см. *Перст* [2]). В последние годы большое внимание привлекают наноалмазы, особенно полученные методом НРНТ (High Pressure - High Temperature). В условиях высокого давления и высокой температуры можно проводить синтез наноалмазов контролируемого размера от 1-2 до сотен нанометров. НРНТ наноалмазы обладают уникальной комбинацией полезных физико-химических и механических свойств, и, что важно, биосовместимостью. Они уже применяются в биомедицине для диагностики и некоторых видов терапии. Была обнаружена их бактерицидная активность в отношении планктонных (свободно плавающих) клеток. Однако их воздействие на биоплёнки практически не изучено. Учёные из Univ. of Hong Kong (Китай) впервые провели детальные микробиологические исследования и показали, что НРНТ наноалмазы перспективны для борьбы с патогенными биоплёнками в полости рта [3]. Использовали дисперсию наноалмазов размером ~ 150 нм в буферном растворе, без

И далее ...

МИКРОТЕХНОЛОГИИ

- 4 Одежда-оборотень из металл-диэлектрических композитов

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Фуллерины – новые углеродные каркасы

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 6 По щелчку пальцев: физические аспекты знакомого явления

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 XIX Конференция “Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления”, 26 мая 2022 года, г. Москва, ФИАН (Ленинский просп., 53)

дополнительной модификации поверхности. Для изучения выбрали бактерии *Streptococcus mutans* (*S. mutans*), приводящие к кариесу, бактерии *Porphyromonas gingivalis* (*P. gingivalis*),

вызывающие воспаления дёсен, и наиболее распространенные грибковые патогены *Candida albicans* (*C. Albicans*) и *Candida glabrata* (*C. glabrata*). Схемы экспериментов представлены на рис. 1.

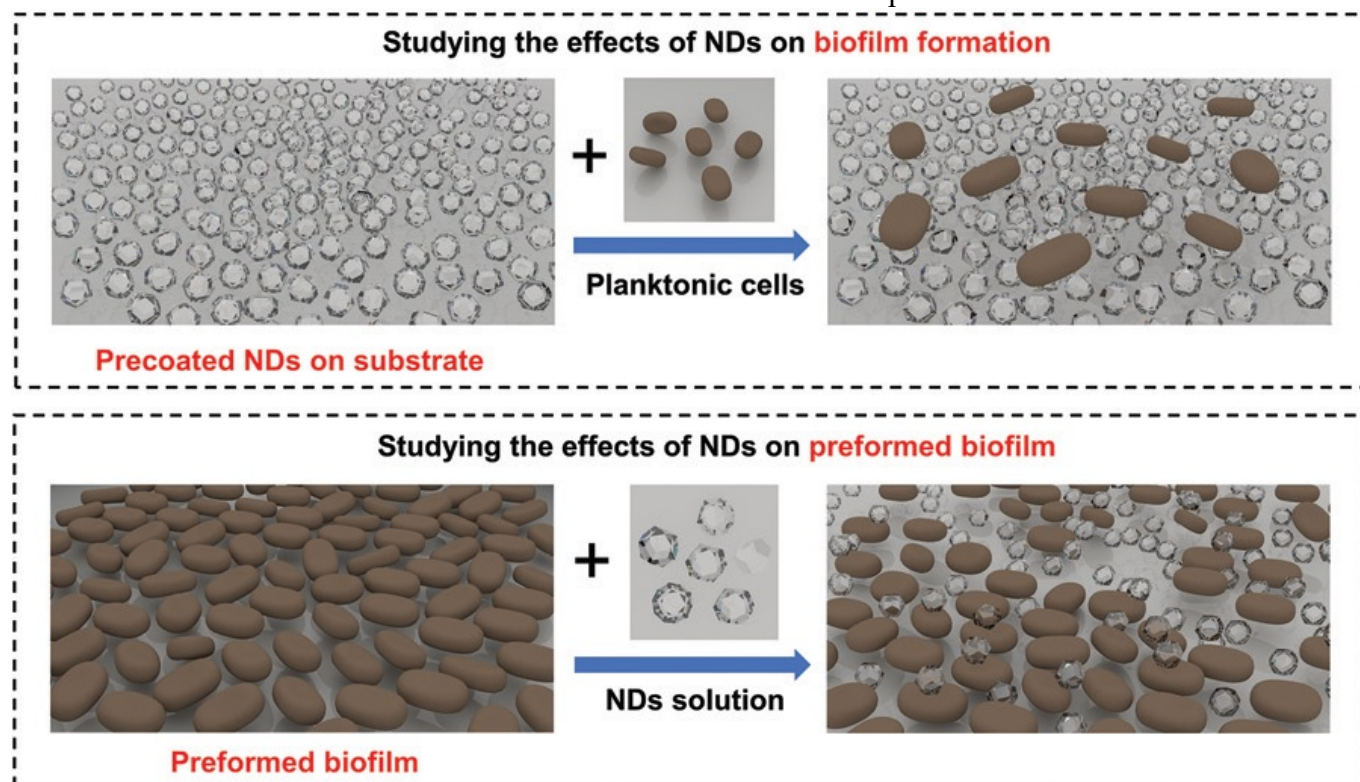


Рис. 1. Две схемы экспериментов. Верхняя схема: Изучение влияния осажденных на подложку наноалмазов на формирование биоплёнок планктонными клетками грибов (*C. Albicans*, *C. Glabrata*) и бактерий (*S. mutans*, *P. gingivalis*). Нижняя схема: Изучение воздействия раствора наноалмазов на предварительно сформированные биоплёнки этих грибов и бактерий.

Сначала исследовали влияние осажденных на подложку наноалмазов на образование биоплёнки из планктонных клеток четырех патогенов. Специальный анализ показал, что наноалмазы подавляли активность специфических генов, отвечающих за адгезию и формирование биоплёнки, но не убивали клетки. Затем изучили, как воздействуют наноалмазы на биоплёнки, предварительно выращенные в течение 24 часов. Количество живых клеток для всех четырех патогенов существенно снизилось по сравнению с контрольным образцом, но только после длительной обработки дисперсией наноалмазов. Это неудивительно, ведь наноалмазы должны проникать в плотные биоплёнки. Концентрация тоже требуется выше, чем для борьбы с планктонными клетками. С помощью конфокальной лазерной микроскопии авторы [3] установили, что обработка наноалмазами в течение 24 часов привела к гибели ~ 92% клеток *C. Albicans* (концентрация наноалмазов 7.5 мг/мл), ~ 95% клеток *C. glabrata* (10 мг/мл), ~ 84% клеток

S. mutans (2.5 мг/мл) и ~ 73% клеток *P. gingivalis* (10 мг/мл).

Результаты этих исследований, по мнению авторов, показывают перспективы использования наноалмазов для предотвращения и лечения заболеваний полости рта. Они также помогут разработать препараты против грибковых инфекций, особенно опасных для людей с ослабленным иммунитетом, например, прошедших химиотерапию или больных диабетом. Поскольку клетки грибов очень похожи на клетки человека, важно использовать метод, безопасный для людей. Наноалмазы, как показали данные авторов [3], препятствуют адгезии и формированию биоплёнки, не разрушая клетки, а подавляя активность специфических генов.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 28, вып. 17/18, с. 1 \(2021\).](#)
2. [ПерсТ 25, вып. 19/20, с. 2 \(2018\).](#)
3. T.Zhang et al., *Biomater. Sci.* **9**, 5127 (2021).

МИКРОТЕХНОЛОГИИ

Одежда-оборотень из металл-диэлектрических композитов

Приходит зима, и наверняка мы все уже убрали летнюю одежду на дальние полки. Различие в зимней и летней одежде столь очевидно, что мысль о том, нельзя ли сделать универсальную одежду, которая может и согреть, и охладить, до недавнего времени казалась фантастической. Тем не менее, с развитием микро-технологий, эта идея в последние годы начинает воплощаться в реальность.

Человеческий организм излучает электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне, и можно создать структуры, которые в данном диапазоне будут эффективно отводить или задерживать тепло. Такие структуры предполагают использование разнообразных материалов – от полиэтилена до графена. В работе [1] исследователи из Stanford Univ. (США) предложили композитный материал на основе угля, медной сетки и полиэтилена, который может работать двояко – с одной стороны, отводить тепло от человеческого тела, а будучи вывернутым наизнанку, сохранять его.



Рис. 1. Тепловое излучение от “двуликой” ткани [1].

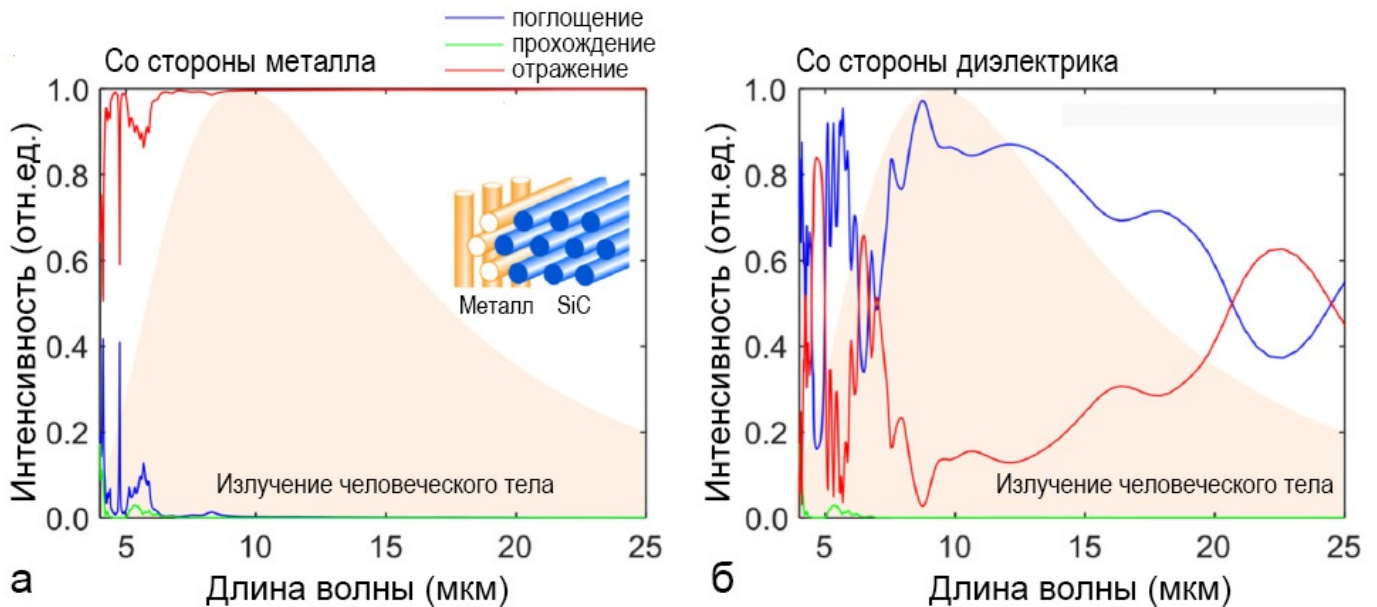


Рис. 2. Спектры поглощения, отражения и прохождения для ткани из металлических и диэлектрических волокон: а - со стороны металла; б - со стороны диэлектрика.

В недавней работе [2], анонсированной в Physics [3] исследователи из Univ. of Mons

(Бельгия) предложили теорию такой “двуликой” ткани. Рассмотрена система, состоящая из

металлических волокон и волокон карбида кремния. Радиус волокон составляет около 1 микрометра. Предполагается, что такие волокна будут достаточно гибкими для создания ткани.

В одежде, создаваемой из нетрадиционных материалов, важным параметром является обеспечение циркуляции воздуха и возможность испарения воды. Авторы [2] предполагают создать систему наподобие вязанной, где между нитями будут промежутки, обеспечивающие дыхание кожи.

Ученые разработали электромагнитную модель такого вещества и рассчитали спектры поглощения, отражения и пропускания инфракрасного излучения. Результаты расчетов для неполяризованного излучения представлены на рис. 2. При падении излучения со стороны металла оно практически не поглощается, отводится от кожи и переизлучается наружным слоем диэлектрика, и человек чувствует холод – тепловое излучение будет практически таким же, как у незащищенной кожи. При падении излучения со стороны диэлектрика излучение поглощается слоем диэлектрика и задерживается наружным слоем металлических волокон. Это режим согревания, авторы утверждают, что слой такой ткани толщиной 20 мкм будет ощущаться таким же теплым, как толстый свитер [3].

Пока технологии создания таких тканей еще слишком дороги, чтобы можно было говорить о реальном их применении для создания одежды, да и влияние компонент состава на организм до конца не выяснено. Тем не менее, подобные исследования вызывают интерес и любопытство, а мечта ходить зимой в легкой курточке становится ближе к исполнению, и не только в связи с глобальным потеплением.

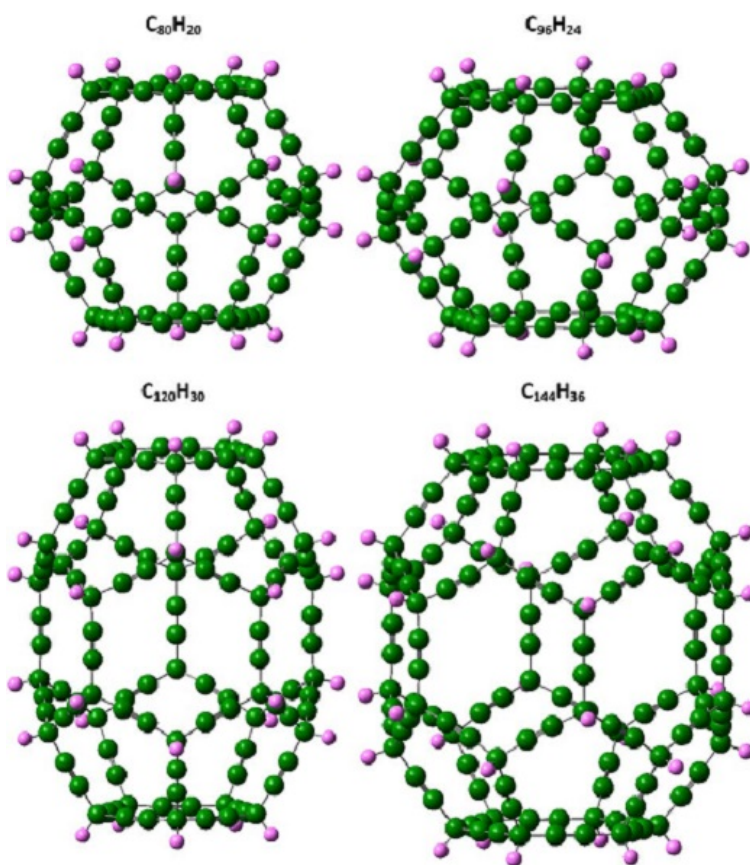
3. Пятакова

1. P.-C.Hsu et al., *Sci. Adv.* **3**, e1700895 (2017).
2. M.G.Abebe et al., *Phys. Rev. Appl.* **16**, 054013 (2021).
3. M.Schirber, *Physics* **14**, 154 (2021).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Фуллерины – новые углеродные каркасы

Не прекращается поиск новых углеродных аллотропов. Так, в работе [1] исследователи из Ирана предложили неизвестный ранее тип квазифуллеренов – углеводородных замкнутых каркасов, содержащих тройные ковалентные связи с *sp*-гибридизацией. Исследователи назвали такие фуллереноподобные структуры фуллеринами. В общем случае фуллерины представляют собой замкнутый углеродный каркас, образованный путем встраивания двух атомов углерода в каждую грань фуллерана (см. рис.).



Примеры атомной структуры фуллеринов $C_{80}H_{20}$, $C_{96}H_{24}$, $C_{120}H_{30}$ и $C_{144}H_{36}$, которые соответствуют фуллеранам $C_{20}H_{20}$, $C_{24}H_{24}$, $C_{30}H_{30}$ и $C_{36}H_{36}$.

Напомним, что фуллеран – это фуллерен, допированный полностью атомами водорода, или, по-другому, гидрированный фуллерен. Здесь можно провести некоторую аналогию с условной последовательностью для двумерных наноструктур: графен, графан, гидрированный графин. Авторы с помощью теории функционала плотности подтвердили устойчивость фуллеринов $C_{80}H_{20}$, $C_{96}H_{24}$, $C_{120}H_{30}$ и $C_{144}H_{36}$, которые соответствуют фуллеранам $C_{20}H_{20}$, $C_{24}H_{24}$, $C_{30}H_{30}$ и $C_{36}H_{36}$. В общем же случае

каждому фуллерану с химической формулой C_nH_n можно поставить в соответствие фуллерин $C_{4n}H_n$. Все расчеты исследователи проводили в программе Gaussian98 с использованием гибридного функционала B3LYP и базиса lan12dz. В первую очередь их интересовали электронные свойства фуллеринов в сравнении с фуллеренами и фуллеранами. Авторы получили набор квантово-химических индексов, в том числе орбитали HOMO и LUMO, химический потенциал, химическую жесткость и мягкость, индекс электрофильности. Они установили, что из всех рассмотренных соединений фуллераны обладают наименьшей реакционной способностью, что представляется логичным, а наиболее химически реактивными являются фуллерены, которые обладают большей электроотрицательностью, химической мягкостью и электрофильностью. Фуллерины занимают по этому параметру промежуточное положение. Рассчитанные величины сродства к электрону фуллеринов оказались отрицательными и существенно меньше, чем у фуллеренов, поэтому, по мнению авторов, они должны быть более химически стабильными. С другой стороны, фуллераны химически более устойчивы, чем фуллерины. Несмотря на последнее обстоятельство, исследователи отмечают, что углеродные пяти- и шестичленные кольца, из которых построены каркасы фуллеранов не способны пропускать молекулы и ионы, в отличие от фуллеринов, поэтому они могут рассматриваться как перспективные кандидаты для накопителей и транспортировщиков газов и лекарств. Авторы провели ряд молекулярно-динамических расчетов и убедились, что, например, молекула водорода и атом лития способны свободно перемещаться внутри фуллериновой клетки, а ион лития связывается с ней с внешней стороны. Эта особенность делает фуллериновую клетку пригодной для использования в качестве катодного/анодного электрода в литий-ионных батареях. В конечном итоге, авторам работы [1] удалось предсказать новые уникальные системы на основе гидрированных фуллеренов, обладающих нетрадиционным строением и интересными перспективами применения. Будем ждать синтеза фуллеринов и экспериментальной проверки результатов.

М. Маслов

1. M. Qasemnazhand et al., Sci. Rep. 11, 2511 (2021).

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

По щелчку пальцев: физические аспекты знакомого явления

Щелкать пальцами любят и дети, и взрослые: этот прием с успехом заменяет ударные инструменты в танце фламенко, рукопожатие – в Либерии (перспективная альтернатива в связи с пандемией), и даже ... аплодисменты – на поэтических вечерах или студенческих посиделках (когда одна рука занята – держит кружку пива).

Древнейшее изображение такой “телесной перкусии” можно видеть на кувшине из древнегреческого полиса в юго-восточной части Италии – пальцы правой руки танцующего Пана сомкнулись за миг до щелчка. С физической точки зрения большой и средний пальцы, задействованные в щелчке, образуют релаксационную автоколебательную систему: фаза накопления энергии (нарастающая сила сжатия пальцев) сменяется фазой быстрой разрядки (срыв среднего пальца), затем “пружина” снова взводится, когда палец возвращается на место (именно такая повторяемость процесса позволяла древним грекам обходиться без метронома). Хотя механизм явления в целом понятен, при более внимательном его рассмотрении проступает некоторая двойственность роли трения в этом процессе: с одной стороны, без него не происходило бы накопление потенциальной энергии в сжатых пальцах, но в то же время оно уменьшает кинетическую энергию движения пальцев. Есть ли оптимальный коэффициент трения, при котором скорость пальцев максимальна? Этим вопросом задалась команда американских исследователей из Georgia Inst. of Technology и Harvey Mudd College [1].

Исследователи располагали несколькими добровольцами, скоростной камерой (4 тысячи кадров в секунду), светоотражающими наклейками (рис. 1б), шаговым двигателем (для измерения силы трения), тензорезистором (для измерения механического напряжения), двумя наперстками, нитриловыми и латексными перчатками, а также гелем для рук.

В качестве измеряемых величин выступала сила механического напряжения, возникающая между пальцами, характерное время релаксации напряжения (от максимальной величины до нуля) и скорость движения пальцев. Была исследована зависимость этих трех параметров от коэффициента трения, который изменялся подбором перчаток и геля-смазки (рис. 2).

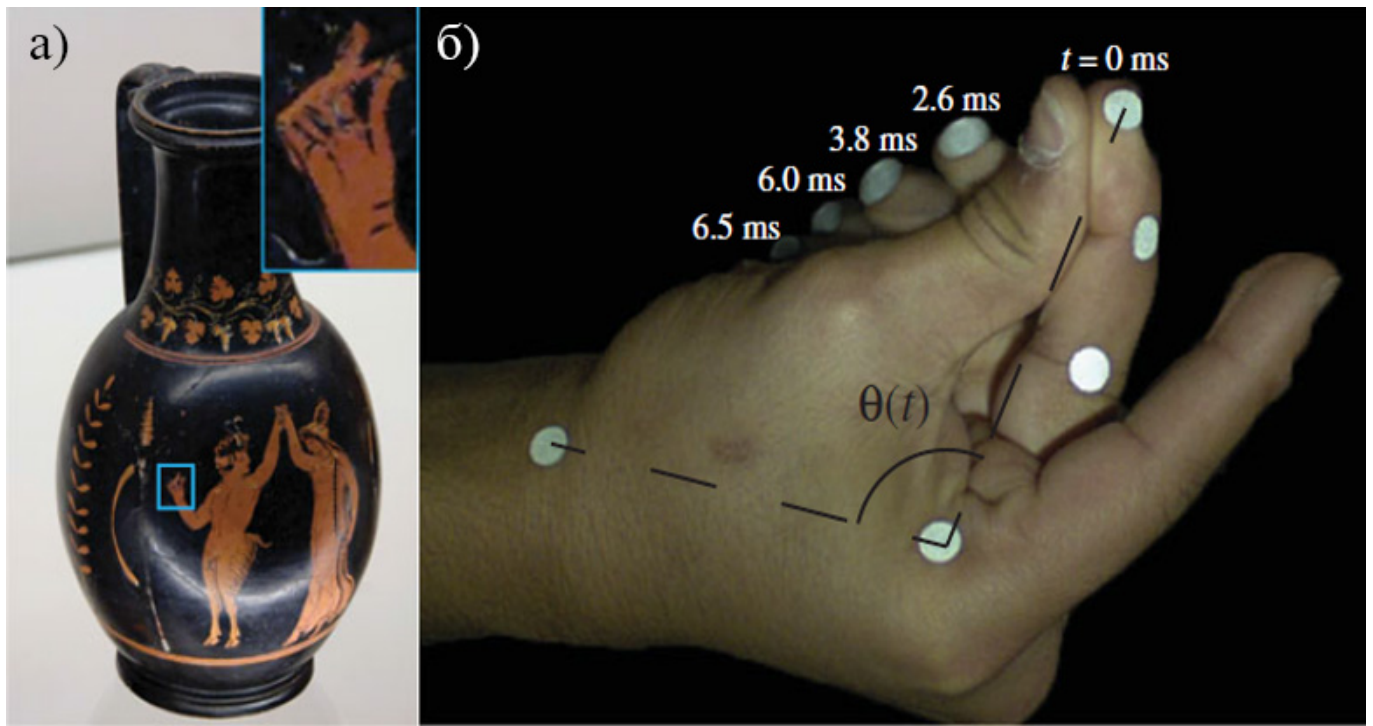


Рис. 1 Щелчки пальцами в древности и наше время. а) - кувшин из Апулии (IV век до н.э.); б) - последовательные фазы движения пальцев при щелчке, ярко-белые кружки – отражающие элементы для более надежной видеофиксации конфигурации пальцев..

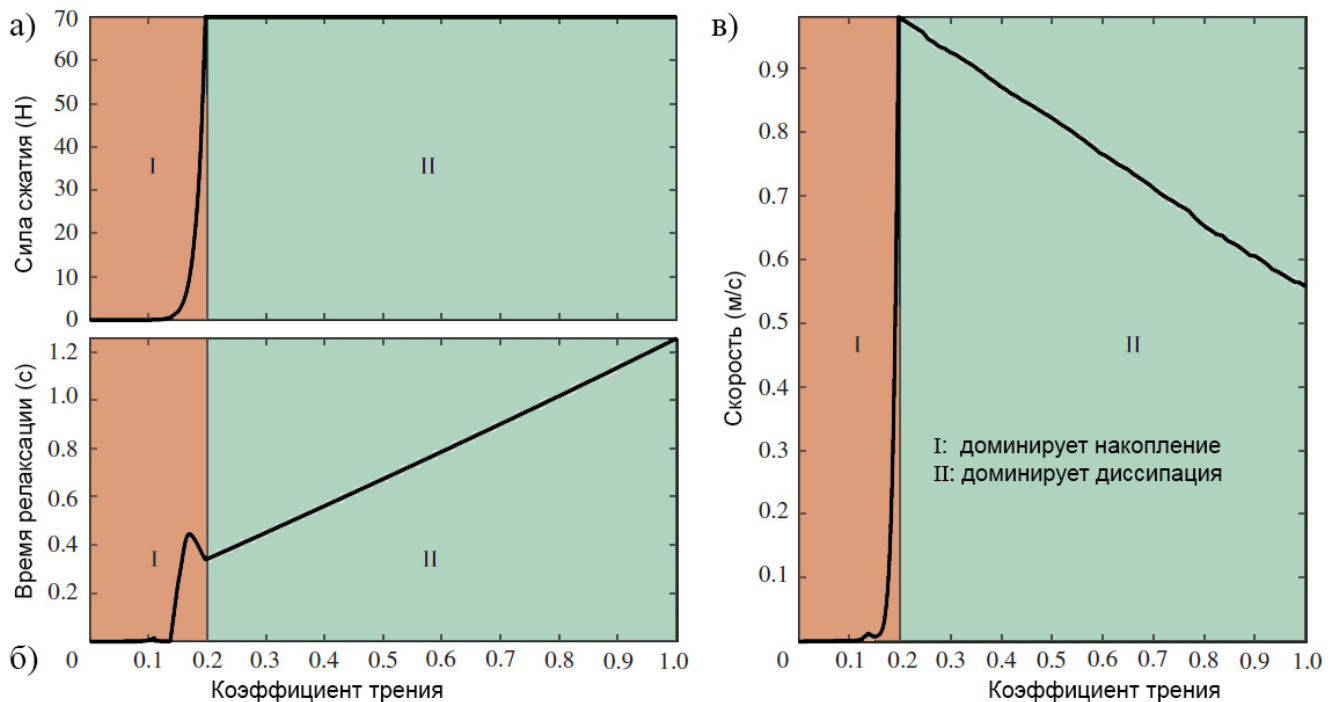


Рис. 2. Зависимости различных параметров, характеризующих щелчок от коэффициента трения: а) - сила механического напряжения пальцев; б) - время релаксации – интервал времени между моментом максимального напряжения и его обращением в нуль; в) - скорость среднего пальца в момент отрыва.

I – область величин коэффициентов трения, при которых доминирует механизм накопления энергии за счет трения покоя, II – область доминирования процессов диссипации за счет трения скольжения.

Эксперименты с использованием наперстков показали в три раза меньшую скорость движения пальцев при щелчке. Это указывает на важную роль деформации подушечек пальцев – она позволяет увеличить площадь их соприкосновения, а значит, за счет увеличения трения, может отсрочить момент соскальзывания среднего пальца и накопить побольше потенциальной энергии. Однако увеличение трения не всегда является положительным фактором: выше некоторой критической величины коэффициента трения сила сжатия пальцев расти перестает, время релаксации увеличивается, а скорость начинает падать (рис. 2). Оказалось, что этот оптимальный коэффициент трения, при котором скорость достигает максимума, имеет величину 0.2, что как раз соответствует коэффициенту трения кожи о кожу. Совпадение? Не думаю...

А. Пятаков

1. R.Acharya et. al., *J. R. Soc. Interface* **18**, 20210672 (2021).

КОНФЕРЕНЦИИ

**XIX Конференция “Сильно коррелированные электронные системы и квантовые критические явления”,
26 мая 2022 года, г. Москва, ФИАН
(Ленинский просп. 53, Москва)**

На Конференции будут представлены материалы по таким темам, как магнитные и Кондо-системы, волны зарядовой и спиновой плотности, топологические изоляторы и полуметаллы, сверхпроводимость и топологические сверхпроводники, сверхпроводники с магнитным упорядочением, электронное фазовое расслоение, фазовые переходы и критические явления, влияние давления на физические свойства и пр. На Конференции предполагаются устные выступления (15-20 минут), включая выступления по ZOOM, и постерная сессия.

Важные даты

Начало регистрации и подачи тезисов
- **12 Ноября 2021**

Окончание регистрации и приема тезисов
- **1 Апреля 2022**

Проведение конференции - **26 Мая 2022**

Дополнительную информацию можно получить у Валерия Анатольевича Степанова - stepanov@sci.lebedev.ru и у Аллы Евгеньевны Петровой - petrovaee@lebedev.ru

Сайт: <http://scs.lebedev.ru>

**Информационный бюллетень ПерсТ
издается информационной группой ИФТТ РАН**

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О. Алексеева, М. Маслов, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64