

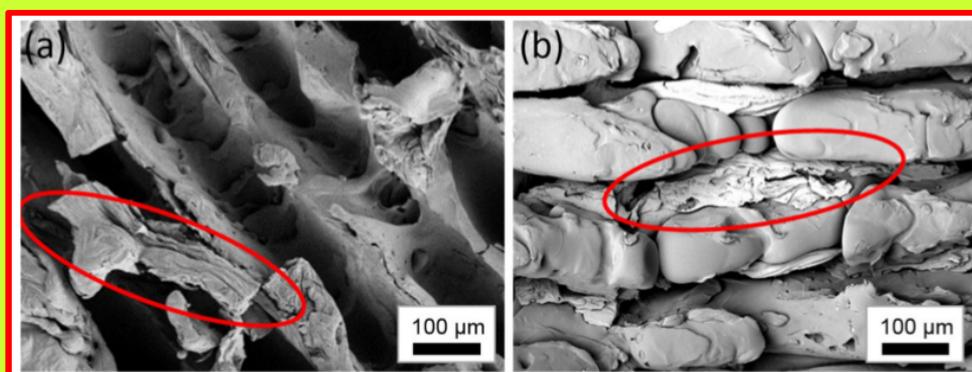
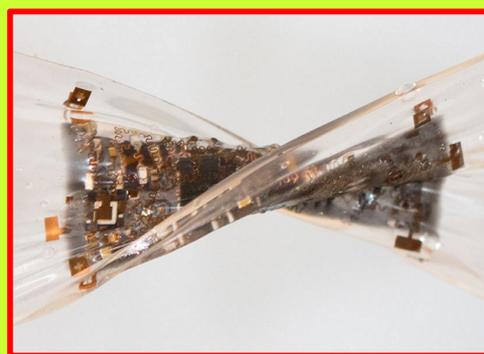
Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.

Кафедра «Физическое материаловедение
и биомедицинская инженерия»

«Инновации – путь к прогрессу»

техноинновационный дайджест

№ 14, октябрь 2018



Содержание

Физики получили фотонные тримеры	3
Физики определили нижнюю границу массы магнитных монополей.....	6
Ученым совместили в роборуке силу и скорость.....	8
Инженеры создали многослойную растягиваемую электронику.....	10
Химики научились обратимо менять форму жидкокристаллических полимеров	13
С помощью лазера склеили пластик и алюминий.....	16

Физики получили фотонные тримеры

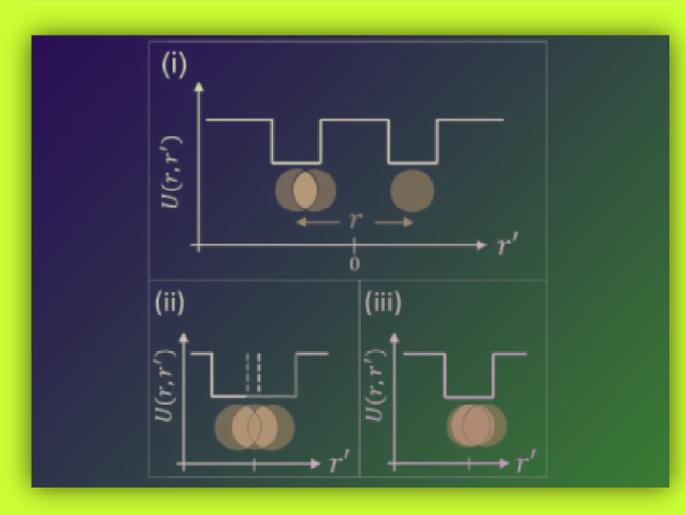
Американские физики впервые экспериментально зарегистрировали связанные состояния из трех фотонов. Образование необычных для фотонов тримеров происходит при прохождении лазерного пучка через облако охлажденных атомов рубидия за счет формирования промежуточных поляритонных состояний.

В отличие от квантовых частиц, обладающих массой, фотоны очень слабо взаимодействуют друг с другом и практически не образуют связанных состояний. Впервые связанное состояние между двумя фотонами ученым удалось экспериментально зарегистрировать только в 2013 году. Для того, чтобы могли образоваться фотонные димеры, распространение света должно происходить в нелинейной квантовой среде, в которой между возбужденными состояниями атомов и фотонами происходит взаимодействие с формированием поляритонов. Вопрос о том, могут ли при этом фотоны образовывать связанные состояния с большим числом частиц больше двух, оставался до настоящего дня открытым.

Группа американских физиков под руководством Владана Вулетича (Vladan Vuletić) из Массачусетского технологического института и Михаила Лукина (Mikhail D. Lukin) из Гарвардского университета — из той же группы, которая пять лет назад зарегистрировала существование связанных фотонных пар — на этот раз смогла экспериментально получить связанное состояние из трех фотонов. Образование связанного состояния также происходит в нелинейной квантовой среде, при этом в качестве «посредников» при образовании тримера выступают атомы, из которых эта среда состоит.

В качестве такой нелинейной квантовой среды в данной работе использовалось облако из атомов рубидия-87, охлажденных до миллионных долей кельвина — то есть практически до абсолютного нуля. Облучая облако из сверххолодных атомов слабым лазерным пучком, на выходе можно

зарегистрировать отдельные фотоны и достаточно надежно определить их свойства. Взаимодействие между фотонами в такой системе происходит через ридберговское состояние атома — высоковозбужденное состояние с маленьким потенциалом ионизации и большим временем жизни.



Взаимодействие осуществляется за счет механизма электромагнитно-индуцированной прозрачности, который за счет эффектов квантовой интерференции приводит к появлению полосы пропускания света в области поглощения.



[Vladan Vuletić](#)



[Mikhail D. Lukin](#)

Образующиеся ридберговские поляритоны, каждый из которых включает в себя возбуждение атома рубидия и фотон, взаимодействуют друг с другом, формируя димеры и тримеры. В таком связанном виде они перемещаются по охлажденному атомному облаку, после чего возбуждение вместе с атомом рубидия остается внутри облака, а фотоны, связанные между собой парами и тройками, вылетают дальше.

Чтобы доказать, что в прошедшем сквозь облако атомов рубидия действительно образуют тримеры, ученые измерили их корреляции и провели анализ фазового состояния на выходе из облака. Исходя из полученных данных, авторам работы удалось доказать существование тримеров, а также количественно оценить их основные параметры: силу взаимодействия, характерное расстояние, на котором начинается взаимодействие, и скорость их распространения. Оказалось, что возникающая у фотонов в тримерах эффективная масса приводит к уменьшению скорости распространения света примерно на 6 порядков относительно обычных 300 тысяч километров в секунду. Кроме того, ученые оценили энергию связи между фотонами в димерах и тримерах, которая оказалась примерно на 10 порядков меньше, чем, например, между атомами в молекуле водорода.

В своей работе физики также предлагают способы для увеличения устойчивости образовавшихся тримеров: в частности, это использование атомных облаков большего размера и изменение формы и площади лазерного пучка. По словам авторов работы, поскольку фотоны в таких димерах и тримерах оказываются запутанными, то за счет довольно сильной связи между ними, это связанное состояние можно использовать для более эффективной передачи информации в квантовых фотонных устройствах.

За счет взаимодействия лазера с облаками охлажденных атомов могут меняться свойства не только фотонов, но и самих атомов. Например, за счет эффекта электрострикции сферическое облако атомов можно растягивать и сжимать лазером. Кроме того, подобное взаимодействие можно использовать и в практических целях, например, для подавления шума при регистрации гравитационных волн.

По материалам: <https://texnomaniya.ru/fiziki-vpervie-poluchili-fotonnie-trimeri>

Физики определили нижнюю границу массы магнитных монополей

Ученые установили новую нижнюю границу на массу гипотетических магнитных монополей. Эту не входящую в Стандартную модель элементарную частицу теоретики нередко рассматривают в рамках более общих теорий, а ее существование должно влиять на многие процессы в микромире, астрофизике и космологии, например, приводить к распаду протона. Статья с новым анализом [опубликована](#) в журнале Physical Review Letters.

Если разделить обычный магнит пополам, то получится два магнита, у каждого из которых есть и южный, и северный полюс. Классическая теория электродинамики запрещает существование отдельных магнитных зарядов — монополей. Однако во многих современных теориях, в том числе из класса теорий великого объединения, пытающихся построить единую концепцию для электромагнитного, слабого и сильного ядерных взаимодействий, существование магнитных монополей предполагается. Ученые уже [могли наблюдать](#) напоминающие монополи квазичастицы в конденсированных средах, но это были не элементарные частицы, а проявление коллективного взаимодействия обычных ядер и электронов.



Одной из возможных причин того, что эти частицы ранее никто не наблюдал, может быть их большая масса, которая не позволяет эффективно получать их на современных ускорителях. В новой работе Оливер Гулд и Артту Раджанти из Имперского колледжа Лондона определяют новые нижние границы массы монополя на основе двух подходов. В первом анализе они изучили собранные в CERN данные по столкновениям частиц и сравнили их с теоретическими оценками вероятности рождения пар монополей в таких процессах. Оказалось, что монополи с двукратным теоретическим минимальным магнитным зарядом — наименьшим значением, к которому чувствительны современные ускорители, — должны обладать массой не менее 9 ГэВ.

Другая оценка была получена на основе астрофизических данных о темпах распада магнитного поля нейтронных звезд, так как он может быть связан с гипотетическим наличием монополей в ядрах этих звездных останков. В этом случае полученная оценка массы для монополя с зарядом вдвое больше минимального составила 0,7 ГэВ. Для монополей с такими параметрами полученные оценки оказались более строгими, чем получаемые на основе космологических данных.

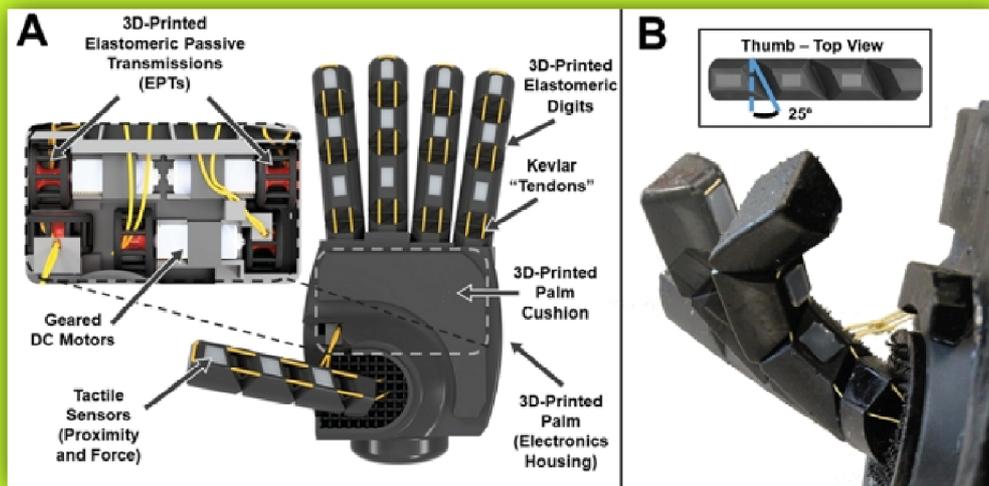
По материалам: <https://indicator.ru/news/2017/12/13/massa-magnitnyh-monopolej/>

Ученым совместили в роборуке силу и скорость

Американские инженеры разработали 3D-печатную бесступенчатую трансмиссию, передаточное число которой адаптируется к натяжению троса, который она приводит в движение. На ее основе разработчики создали механическую руку, которая благодаря применению шестерни может совмещать высокую скорость работы и прикладываемую силу. Посвященная разработке статья [опубликована](#) в *Science Robotics*.

Сегодня роботизированные руки нередко используются в качестве протезов для людей. Как правило, в них устанавливается несколько моторов, которые приводят в движения пальцы. Поскольку совместить в электромоторе небольшой размер и массу с высоким крутящим моментом и скоростью вращения достаточно сложно, во многих протезах используются более простые моторы, из-за которых протез становится медленным и неудобным в использовании. В качестве решения этой проблемы некоторые инженеры предлагают использовать конструкции, позволяющие менять передаточное соотношение вращающихся колес в протезе и подстраивать его под задачу, но это также сильно увеличивает сложность, размер и массу протеза.

Группа инженеров из Корнеллского университета под руководством Роберта Шепарда (Robert Shepherd) разработала простую и легкую конструкцию, позволяющую совмещать высокие силу и скорость вращения. По сути она представляет собой бесступенчатую трансмиссию с переменным передаточным соотношением. Она состоит из нескольких частей: вала с относительно небольшим радиусом и двух дисков на торцах с гораздо большим радиусом, соединенных тонкими перемычками.



Компоненты механической руки

Kevin O'Brien et al. / Science Robotics, 2018

Благодаря созданной инженерами трансмиссии рука успевает ловить брошенные в нее предметы, замечая их с помощью датчиков приближения в пальцах, а также удерживать предметы массой около килограмма и, к примеру, сминать алюминиевую банку.

Инженеры провели эксперименты с одним пальцем и показали, что он способен полностью сгибаться за 450 миллисекунд и прикладывать силу в 32 ньютона. Таких же результатов им удалось достичь и без новой трансмиссии, но для этого пришлось использовать два вала с разными радиусами, которые менялись между испытаниями на силу и скорость.

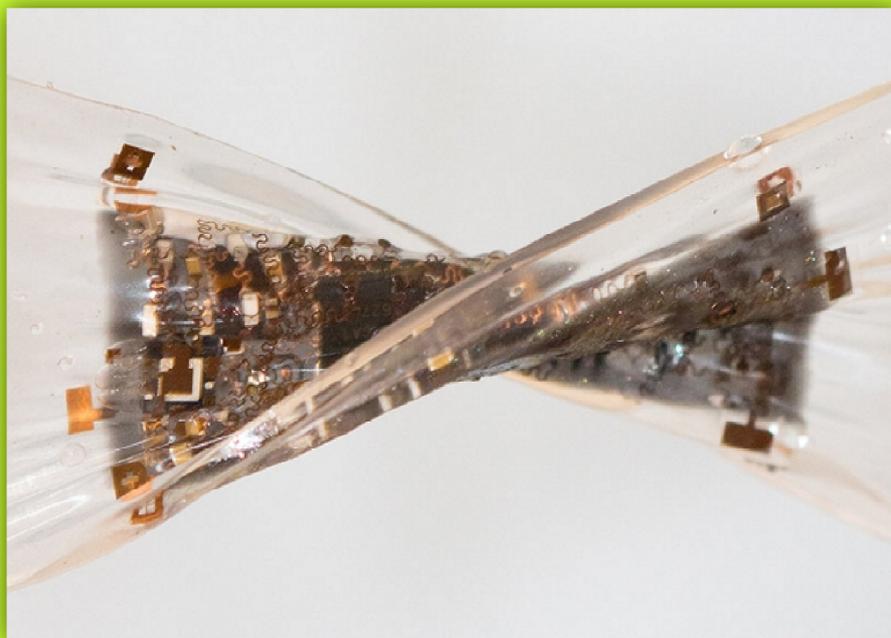
Это не первый пример инженерного подхода, при котором разработчики используют простые материалы и конструкции для создания эффективных устройств. К примеру, в прошлом году американские инженеры разработали робочервя, в основе которого лежит бумажная оригами-конструкция, собранная таким образом, что она способна преобразовывать вращательное движение в поступательное.

По материалам: <http://vsem-nauka.ru/stati/3d-pechatnaya-besstupenchataya-transmissiya-sovmestila-v-roboruke-silu-i-skorost/>

Инженеры создали многослойную растягиваемую электронику

Инженеры из США и Китая научились создавать эластичные электронные устройства из нескольких слоев. Основные компоненты таких устройств, например, чипы, выполнены из жестких материалов, но соединения между ними и слоями, а также подложки микросхем каждого слоя состоят из материалов, не разрушающихся при растяжении или скручивании. Статья [опубликована](#) в *Nature Electronics*.

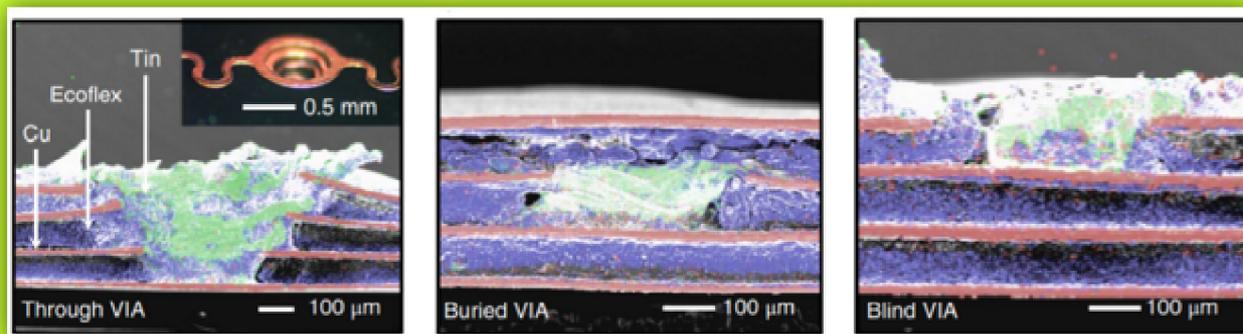
Инженеры давно разрабатывают материалы и методы, необходимые для создания функциональной растягиваемой электроники. Предполагается, что в будущем такая электроника сможет вытеснить распространенные сегодня носимые устройства, выполненные из жестких материалов и из-за этого стесняющие движения тела, а также подверженные разрушению. Несмотря на промежуточные успехи в этой области, пока у гибкой электроники остаются нерешенные проблемы, в том числе низкая надежность и сложность создания многослойных микросхем, с электрическими соединениями между слоями.



Zhenlong Huang et al. / *Nature Electronics*, 2018

Группа инженеров из США и Китая под руководством Шэн Сюя (Sheng Xu) из Калифорнийского университета в Сан-Диего разработала метод, позволяющий реализовать подобные соединения в многослойных растягиваемых электронных устройствах. Основу каждого слоя или эластичной платы составляет подложка из силиконового эластомера. Она выполняет механическую поддержку остальных компонентов, а также изолирует слои. На каждый слой наносят два вида элементов: жесткие электронные компоненты, такие как микропроцессоры или резисторы, и эластичные проводящие дорожки. Эти дорожки состоят из меди и полиимидной пленки, и имеют зигзагообразную форму, позволяющую им растягиваться вместе с силиконовой подложкой, не разрушаясь.

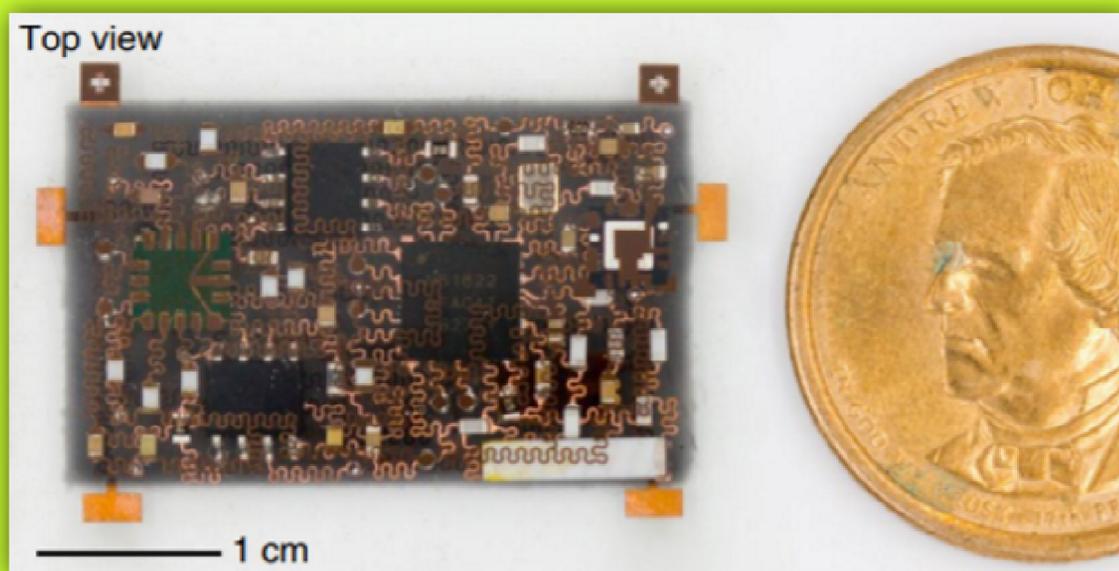
Одно из главных новшеств предложенного инженерами метода заключается в способе соединения слоев между собой. Для этого, как и в случае с обычными жесткими платами, в определенных местах определенных слоев создаются переходные отверстия. Поскольку отверстия должны быть небольшими и располагаться точно, исследователи выжигали их лазерным лучом. После этого в отверстие с помощью трафаретной печати заливается припой из сплава, соединяющий два проводящих контакта.



Микроструктура переходных отверстий в слоях
Zhenlong Huang et al. / Nature Electronics, 2018

Исследователи продемонстрировали применимость метода на нескольких многослойных прототипах. В частности, инженеры создали

многофункциональное устройство с датчиками растяжения, гироскопом, акселерометром, термометром, Bluetooth-передатчиком и несколькими другими компонентами. Устройство можно безопасно прикрепить к коже без какого-либо клея — оно закрепляется за счет сил Ван-дер-Ваальса. Инженеры показали, что с помощью одного такого устройства можно измерять несколько физиологических показателей. К примеру, его можно применять для измерения температуры тела, записи движений и частоты дыхания, а также в качестве электрокардиографа.



Прототип устройства из четырех слоев
Zhenlong Huang et al. / Nature Electronics, 2018

Многие другие группы инженеров работают над созданием других электронных устройств, которые можно наносить непосредственно на кожу. В прошлом году мы собрали самые заметные разработки в этой области в материале [«Электронная кожа»](#).

По материалам: <http://www.dnevnikykt.ru/Сур+Бебе/1109984>

Химики научились обратимо менять форму жидкокристаллических полимеров

Химики из США и Польши разработали новый материал на основе жидкокристаллических эластомеров, форму которого можно изменять с помощью ультрафиолетового облучения и температуры. Форма материала определяется фазой, в которой в данный момент находится его жидкокристаллическая составляющая, а фиксируется она с помощью системы ковалентных связей между гибкими частями молекул. В будущем этот материал можно будет использовать в робототехнике или для создания светочувствительных механических устройств, [пишут](#) ученые в *Science Advances*.

В [жидкокристаллических полимерах](#) отдельные элементы, которые могут выстраиваться в упорядоченную структуру, связаны между собой подвижными полимерными цепочками. Жидкокристаллическая часть этих материалов обычно образована из ароматических элементов (например, с на основе бензола или нафталина), а между ними располагаются углеводородные цепочки длиной в несколько углеродных атомов с гибким скелетом. За счет наличия ароматических элементов с помощью внешнего воздействия — температуры, кислотности или облучения — в них можно вызвать фазовый переход между разными фазами с различным типом упорядочения. Эти переходы, в свою очередь, приводят к изменению механических свойств или формы материала. Тем не менее, управлять этими процессами, то есть сделать их быстрыми, обратимыми и полностью воспроизводимыми, пока не удавалось.

Важный шаг в этом направлении сделали химики из США и Польши под руководством Кристофера Боумана (Christopher N. Bowman) из Колорадского университета в Боулдере. Ученые получили жидкокристаллический эластомер, формой которого можно управлять с использованием ультрафиолетового излучения и нагревания. Химическая структура этого соединения включала

в себя акрилатные олигомеры и линейные углеводородные цепочки, которые связывались между собой с помощью сульфидных связей.

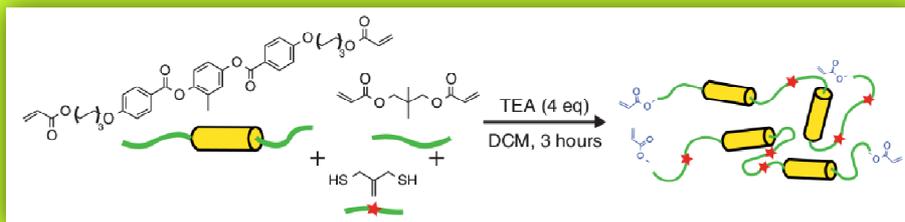


Схема синтеза жидкокристаллического эластомера
Matthew K. McBride et al./ Science Advances, 2018

После получения материал сразу облучали ультрафиолетом (авторы использовали свет длиной волны 365 нанометров и мощность до 50 милливатт на квадратный сантиметр). Ультрафиолет приводил к тому, что ароматические фрагменты молекул выстраивались в определенном направлении, в результате чего материал сворачивался. С помощью нагрева материал можно было вернуть в исходное состояние, а после обратного охлаждения эластомер снова сворачивался.

При этом в начальной жидкокристаллической структуре (которая образовалась после облучения) анизотропные ароматические элементы были повернуты на 90 градусов относительно основной жидкокристаллической фазы. Но если при охлаждении к материалу приложить нужную механическую нагрузку (то есть вытягивать его в нужном направлении), то можно перевести его в основную жидкокристаллическую фазу. Таким образом, варьируя последовательность облучения, нагревания и охлаждения, можно управлять формой материала, переводя его в одно из трех состояний: временное «начальное», основное жидкокристаллическое и неупорядоченное изотропное.

Работоспособность такой схемы ученые проверили на небольшом плоском кусочке эластомера, который они свернули в складчатую структуру по схеме [миуры](#). Эта форма была зафиксирована с помощью ультрафиолетового

облучения, а затем ее изменяли за счет нагревания и охлаждения в пределах от 20 до 100 градусов Цельсия.



Превращения небольшой эластомерной пластинки, сложенной в миуровую структуру, при облучении, нагревании и охлаждении

Matthew K. McBride et al./ Science Advances, 2018

По словам авторов работы, в будущем подобный материал можно использовать в робототехнике и для создания светочувствительных механических элементов различных устройств. Кроме того, с помощью аналогичного подхода можно будет получать материалы с переключаемыми оптическими свойствами, адгезией или смачиванием.

Стоит отметить, что к формированию жидкокристаллической структуры склонны не только синтетические полимеры, но и некоторые природные макромолекулы. Например, группа химиков из Италии и США [заметила](#), что жидко-кристаллические структуры могут самостоятельно формироваться из фрагментов молекул ДНК. По мнению ученых, этот механизм мог лежать в основе абиотического синтеза первых нуклеиновых кислот на Земле.

По материалам: <https://nplus1.ru/news/2018/08/24/switching-shape>

С помощью лазера склеили пластик и алюминий

Немецкие ученые разработали новый способ увеличить прочность склейки алюминия и пластика в гибридных материалах. Для создания прочных контактов ученые предложили обрабатывать поверхность металла инфракрасным лазером, после чего с помощью технологии литья пластмасс под давлением присоединять к нему полимерный материал. Новый метод позволяет получать прочные контакты, сохраняя при этом механические свойства полимерного материала, [пишут](#) ученые в *Journal of Laser Applications*.

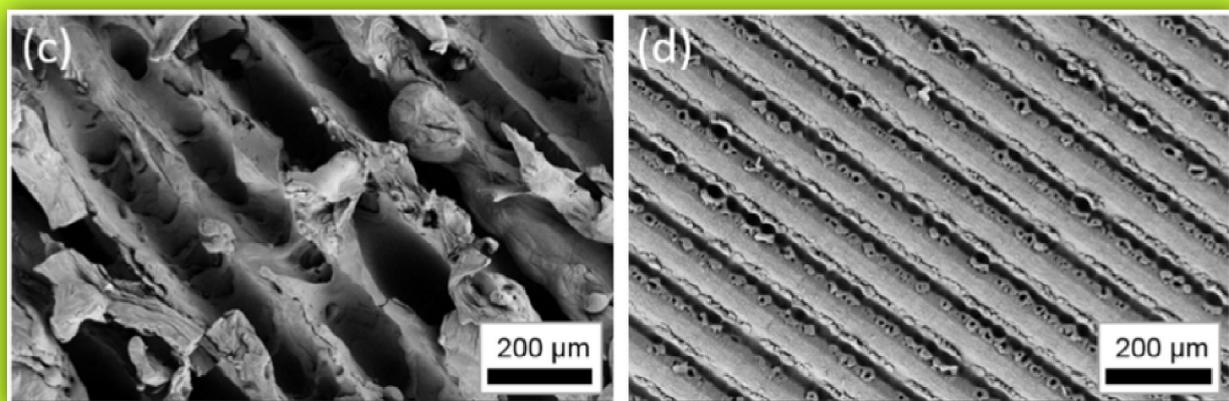
За счет правильного выбора компонентов композита можно совместить в одном материале несколько нужных механических, физических или химических свойств. Однако если некоторые пары материалов соединить в единый «гибрид» нетрудно, то с другими могут возникать проблемы. Например, широкому использованию весьма перспективных композитов на основе пластика и легких металлов мешает небольшая сила адгезии между ними, особенно на уровне микроструктуры.

В макроскопических композитах соединение между полимерным материалом и металлом можно усилить за счет механического сцепления — с помощью отверстий или бороздок в металлической части материала. Однако очень часто этот подход не применим, потому что резко ухудшает механические свойства металла. В таких случаях инженеры предлагают увеличивать силу адгезии металла и пластика внутри композитов, специальным образом обрабатывая межфазную границу: делать ее шероховатой, добавлять на нее специальные адгезивы, усиливающие соединение, или обрабатывать перед соединением плазмой, повышая реакционную способность. Тем не менее, большая часть этих подходов до сих пор остаются недостаточно эффективными.

Для решения этой проблемы немецкие ученые под руководством Аннетт Клоцбах (Annett Klotzbach) из Института материалов и лучевых технологий Общества Фраунгофера предложили обрабатывать поверхность металла лазером.

Известно, что обработка поверхностей непрерывным лазерным излучением в инфракрасном диапазоне или пикосекундными лазерными импульсами (длительность одного такого импульса примерно в триллион раз меньше секунды) позволяет нанести на нее периодический массив параллельных канавок.

В качестве металла авторы исследования выбрали алюминий, который чаще всего используют для получения прочных композитов сравнительно небольшой плотности. Его поверхность обрабатывали с использованием двух подходов — облучая поверхность непрерывным излучением с длиной волны 1070 нанометров и максимальной мощностью 1,5 киловатта или короткими импульсами длительностью 20 пикосекунд с длиной волны 1064 нанометров, средней мощностью 20 ватт и частотой 200 кГц. В зависимости от режима обработки ученым удалось получить канавки различной глубины — 158 микрометров при использовании непрерывного облучения и 40 микрометров — при использовании пикосекундных импульсов.

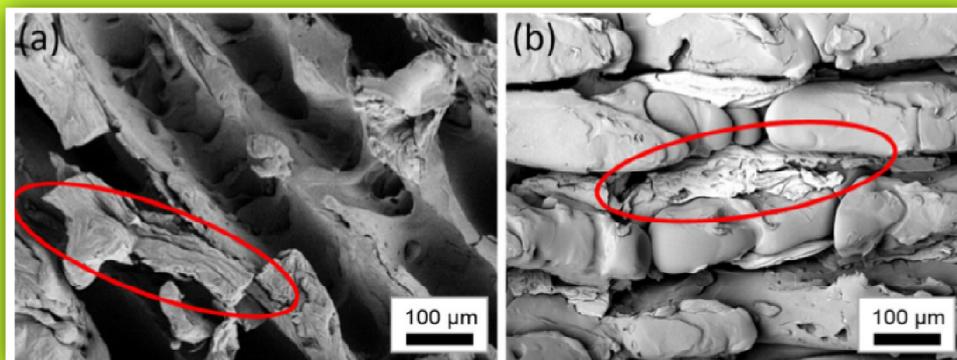


Фотографии поверхности алюминия, обработанного непрерывным лазером (слева) и пикосекундными импульсами (справа)

J. Gebauer et al./ Journal of Laser Applications, 2018

После этого с помощью технологии литья пластмасс под давлением ([injection molding](#)) ученые получали на основе обработанного алюминия композитный материал. К текстурированной поверхности алюминия с помощью

специального устройства под давлением приклеивался слой из полиамида — термопластического полимера с высокими прочностью и износостойкостью. В обоих случаях удалось добиться образования композита с однородной поверхностью.



Фотографии поверхности алюминия, обработанного непрерывным лазером, до (слева) и после (справа) нанесения полимера
J. Gebauer et al./ Journal of Laser Applications, 2018

В случае с более мелкими канавками два компонента материала — алюминий и полимер — сразу отрывались друг от друга, однако в случае с глубокими канавками удалось получить прочное соединение. Силу склеивания ученые оценили с помощью измерений предельной сдвиговой прочности, которая оказалась выше при использовании непрерывного облучения и составила 11,9 мегапаскаля — это значительно меньше, чем у однородных материалов, например сталей, но выше, чем у аналогичных композитных материалов на основе металла и полимеров. При этом полученный композитный материал оказался очень близок по механическим свойствам к полиамиду. Так, предел прочности при растяжении составил 55 мегапаскалей — 89 процентов от прочности использованного полиамида PA6,6.

Авторы работы отмечают, что они не изучали изменение прочности контакта при изменении температуры. Кроме того, для использования предложенной методики в будущем необходима ее доработка для поиска оптимальных параметров излучения, однако уже сейчас ясно, что метод

непрерывного лазерного облучения можно использовать для создания прочных гибридных материалов на основе пластика и алюминия. Метод импульсного излучения оказался неподходящим для подобных целей.

Часто для увеличения прочности контактов ученые используют на стыках специальные адгезивные вещества. Например, недавно ученые [обнаружили](#), что одним из необычных проводящих вариантов подобного «клея» может быть галлий — с помощью него можно склеивать между собой пластик, металл и стекло.

По материалам: <https://www.skvesna.ru/about/news/lazer-pomog-prochnee-skleit-plastik-i-alyuminiy.php>

Список источников

Физики получили фотонные триммеры

<https://texnomaniya.ru/fiziki-vpervie-poluchili-fotonnie-trimeri>

Физики определили нижнюю границу массы магнитных монополей

<https://indicator.ru/news/2017/12/13/massa-magnitnyh-monopolej/>

Ученым совместили в роборуке силу и скорость

<http://vsem-nauka.ru/stati/3d-pechatnaya-besstupenchataya-transmissiya-sovmestila-v-roboruke-silu-i-skorost/>

Инженеры создали многослойную растягиваемую электронику

<http://www.dnevnik.ykt.ru/Сур+Бере/1109984>

Химики научились обратимо менять форму жидкокристаллических полимеров

<https://nplus1.ru/news/2018/08/24/switching-shape>

С помощью лазера склеили пластик и алюминий

<https://www.skvesna.ru/about/news/lazer-pomog-prochnee-skleit-plastik-i-alyuminiy.php>

Над выпуском работали:
студенты группы ББИСТ-41

Ответственный за выпуск:
Маслова К.А.

Куратор проекта:
ассистент. каф. ФМБИ Маркелова О.А.