NanoSchoolBox

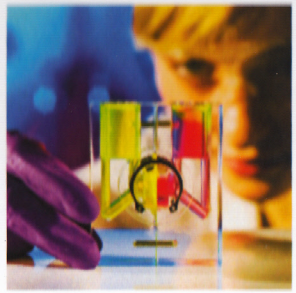
НаноБокс

Руководство для учителя

- увлекательные исследования
- захватывающие открытия
- поразительные эффекты

Меры безопасности

1. Все материалы, входящие в состав набора NanoToolBox, необходимо использовать с максимальной осторожностью. Ассоциация AMS rano GmbH не несет никакой ответственности в случае нанесения ущерба здоровью или имуществу при работе с данным набором.



2. При работе с набором необходимо руководствоваться общими правилами обращения с химическими веществами и соблюдать меры безопасности, утвержденные соответствующими организациями и имеющими юридическую силу. В комплект поставки входят инструкции по технике безопасности (в печатном виде и на CD/DVD).

3. Перед началом каждого эксперимента внимательно изучите его описание.

4. Если вы позволяете учащимся проводить эксперименты самостоятельно на протяжении всего занятия, рекомендуем руководствоваться следующими правилами:

- не допускайте к проведению экспериментов детей младше 14 лет;
- удостоверьтесь, что каждый учащийся снабжен средствами индивидуальной защиты (халаты с длинными рукавами, защитные очки и перчатки) и использует их;
- никогда не оставляйте учащихся без присмотра.

5. Представленное описание экспериментов проверено и отредактировано самым тщательным образом, поэтому в тексте исключены любые опечатки и ошибки.

6. Запрещается хранить набор при температуре выше 20°C, а также при отрицательных температурах.

Содержание

Меры безопасности ... 3

Предисловие ... 6

Что такое нанотехнология ... 8

Глава 1. От эффекта лотоса до технического применения нанослоев ... 10

Эксперимент 1. Воспроизведение эффекта лотоса ... 14

Эксперимент 2. Гидрофобизация поверхности дерева или минерального вещества ... 16

Эксперимент 3. Гиброфобизация поверхности тканей ... 20

Эксперимент 4. Обработка поверхности от запотевания ... 22

Глава 2. Придание функциональных свойств с помощью нанотехнологий ... 24

Эксперимент 5. Покрытие, предохраняющее древесину от царапин ... 26

Эксперимент 6. Защита от огня ... 29

Эксперимент 7. Повышение электропроводности стекла с помощью оксидов индия и олова ... 30

Глава 3. Применение диоксида титана в нанотехнологиях ... 34

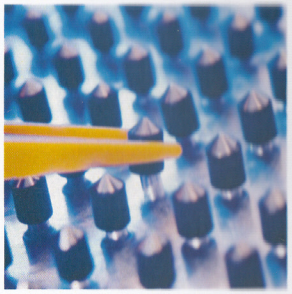
Демонстрационный пример 1. Радужный шар с флоп-покрытием ... 35

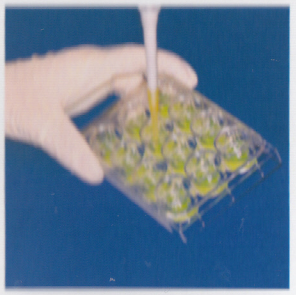
Эксперимент 8. Фотокаталитические реакции с участием диоксида титана ... 36

Глава 4. Магнитные жидкости ... 38

Эксперимент 9. Магнитное поле ... 39

Эксперимент 10. Разделение материалов по плотности с помощью магнитной жидкости ... 42





Глава 5. Коллоидные системы на основе наночастиц золота 44

Эксперимент 11. Обнаружение коллоидов с помощью эффекта Тиндаля 46

Эксперимент 12. Получение наночастиц золота 48

Демонстрационный пример 2. Использование кластеров наночастиц золота в тесте на беременность 50

Глава 6. Эффект памяти формы металлов 52

Эксперимент 13. Сплавы с памятью формы – перемещения атомов на нанорасстояния 54

Глава 7. От песка до компьютерного чипа 56

Демонстрационный пример 3. Кварцевый песок 60

Демонстрационный пример 4. Горный хрусталь 60

Демонстрационный пример 5. Кремниевая подложка 61

Глава 8. Чем мельче частица, тем сильнее эффект 62

Эксперимент 14. Огнедышащий факир 63

Предисловие

Ассоциация NanoBioNet/AMS занимается разработкой экспериментальных пособий в области нанотехнологий, предназначенных для школ, начиная с 2002 года. В 2004 году NanoBioNet представила на рынок свой новый продукт NanoToolBox – первый в Европе экспериментальный школьный набор для изучения нанотехнологий.

Накопив опыт по разработке школьных экспериментальных наборов, тщательно изучив тенденции развития рынка и новейшие научно-технические достижения, а также учитывая пожелания преподавателей, которые проводят на своих занятиях эксперименты с использованием нанотехнологий, мы создали новый экспериментальный набор – NanoSchoolBox (НаноБокс). Финансовая поддержка разработке этого экспериментального набора была оказана Министерством земли Саар (ФРГ) и Фондом европейского регионального развития Европейского сообщества.

В описаниях экспериментов представлено множество интересных фактов о «наномире». Некоторые эксперименты носят только демонстрационный характер, остальные же могут быть выполнены учениками в рамках реализации деятельностной модели обучения.

Эксперименты из комплекта НаноБокс предназначены прежде всего для занятий по химии. Но в связи с тем, что нанотехнологии охватывают множество смежных отраслей науки и техники и, соответственно, другие учебные дисциплины, некоторые эксперименты можно проводить также на уроках физики и биологии.

Поскольку в разных странах учебные курсы различаются, мы не можем точно рекомендовать, в каком именно классе следует проводить данные эксперименты. В этом мы полагаемся на профессионализм школьных учителей, которые должны выбрать подходящий момент для плодотворной работы с этим набором. Можно организовать в школе факультатив по нанотехнологиям или провести один проектный день, когда, работая в группе, ученики могут проделать все опыты из НаноБокса.

Главная цель нашего замысла и разработки экспериментов – облегчить школьникам понимание не только нанотехнологий, но и смежных дисциплин. Для этого в набор были включены некоторые опыты, непосредственно не относящиеся к нанотехнологиям (то есть в них не используются наносистемы), но предоставляющие прекрасную возможность для описания и объяснения законов и явлений мира наночастиц.

Многие эксперименты проиллюстрированы небольшими видеофильмами, находящимися на прилагаемом компакт-диске.
Дизайн комплекта лабораторного оборудования НаноБокс был отмечен в 2009 году премией Федеральной земли Саар.
Наряду с координацией сети, объединяющей свыше 100 исследовательских институтов и предприятий, в рамках информационной и общественной работы NanoBioNet/AMS проводит различные мероприятия в области нано- и биотехнологий, в частности повышение квалификации учителей и практические занятия для учащихся.

NanoBioNet/AMS стремится пробудить у подрастающего поколения естественно-научный интерес к одной из самых значимых современных высоких технологий. Если Ассоциация преуспеет в этом начинании, то в будущем не будет недостатка в талантливых молодых специалистах по нано- и биотехнологиям – этой перспективной и многообещающей сферы деятельности.

Мы хотим надеяться, что и для вас, и для ваших учеников все наши эксперименты будут интересными и полезными.

Д-р Ральф Ноннингер, коммерческий директор Ассоциации NanoBioNet и AMS nano GmbH

Что такое нанотехнология?

В последние десятилетия на стыке физики, химии, биологии и медицины в результате поиска решений поставленных перед научным обществом задач возникла новая дисциплина – нанотехнология. Ее главными задачами являются разработка и внедрение в промышленное производство процессов, основанных на использовании материалов, состоящих из наночастиц.

Современные технологии уже давно имеют тенденцию к миниатюризации (так называемый метод нисходящего проектирования), например к получению мельчайших структур из цельной заготовки путем вытравливания. Но в нанотехнологиях применяют совсем иной подход: для создания различных систем с новыми функциональными свойствами используются фундаментальные научные принципы и новейшие разработки. Здесь идут от обратного – из наночастиц собирают более крупные структуры (и это уже метод восходящего проектирования).

Следует отметить, что сама природа успешно использует подобный метод уже миллиарды лет. Именно так в процессе эволюции из аминокислот образовались белки, микроорганизмы и простейшие животные организмы, которые в дальнейшем развились до многоклеточных и высших организмов. Но не будем забывать, что на создание из первичного бульона «человека разумного» (Homo sapiens) потребовалось довольно много времени – миллиарды лет.

Префикс «нано-» произошел от древнегреческого слова «nanos», что означает «карлик, карликовый». В наше время он используется для обозначения одной миллиардной части, то есть 10^{-9} или 0,000000001. Так, один нанометр (нм) составляет одну миллиардную часть метра, то есть одну тысячную часть микрона. Функциональные свойства этих мелких объектов в значительной степени зависят от их размеров. Например, такие свойства, как твердость, электропроводность, цвет и химическая активность маленьких частиц любого материала, напрямую зависят от диаметра данных частиц.

По порядку величины наночастицы занимают промежуточное положение между атомами и частицами сплошного вещества. Вследствие этого наночастицы не способны рассеивать видимый свет, потому что они слишком маленькие, а их размер не сопоставим с длиной световой волны. Сегодня наночастицы активно используются в фармакологии (для создания систем доставки активных веществ в организм с большой точностью), в производстве эмульсионных красок и косметических средств, а также для получения максимально эффективных катализаторов.

В природе наночастицы производятся с начала времен. Лабораториями природы являются вулканы, океаны, пустыни с их песчаными бурями, насекомые-опылители, лесные и степные пожары. Интересно отметить, что в результате природных пожаров могут образовываться частицы размером менее 1000 нм, а в океанах можно обнаружить частицы, размер которых достигает 10 000 нм.

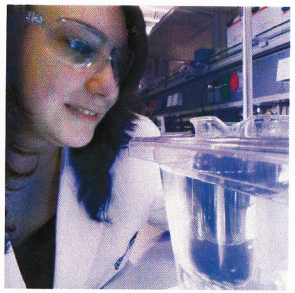
Кроме того, источником таких мелких частиц являются промышленные предприятия, тепловые электростанции, автомобили, строительные объекты и жилые дома (например, во время обогрева жилищ). При сжигании полезных ископаемых образуются наночастицы размером до 500 нм. Следует ли из этого, что мы сталкиваемся с нанотехнологиями повсюду на Земле?

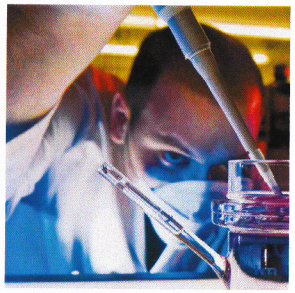
Оказывается, что нет, потому что в нанотехнологиях используются частицы еще меньших размеров. Для получения особых функциональных свойств с помощью нанотехнологии, требуется уменьшить размер частиц менее чем до 100 нм, чтобы соответствовать характерным конструкционным размерам создаваемого нанообъекта. Можно сказать, что определение «нанотехнология» является обобщенным и включает в себя большое число технологий – от методик манипулирования отдельными атомами до процессов создания структур в диапазоне 1–100 нм, которые приобретают совершенно новые функциональные свойства благодаря столь малым размерам). Это определение также относится к отдельным атомам или молекулам, а также к технологии изготовления микроэлектроники.

В настоящее время ведется много споров об исключении так называемых нанослоев из определения нанотехнологии. Это мотивируется тем, что нанослои являются мономерными образованиями. То есть предлагается ввести ограничение на количество пространственных измерений для продуктов нанотехнологий и включать в классификацию только двумерные системы (например, нанопроволоку или нановолокна) и трехмерные системы (например, наночастицы) и не относить к наносистемам обычные пленки на поверхностях, толщина которых может составлять всего лишь несколько нанометров.
Но все не так просто. Если, например, в краске содержатся наночастицы, можно ли ее после нанесения называть трехмерным нанопродуктом? Поэтому сегодня подобные одномерные продукты повсеместно относят к нанотехнологическим.

Как мы видим, до сих пор нет точных критериев классификации веществ, в качестве к продуктов нанотехнологий, или нельзя. Таким образом, можно констатировать, что продукты нанотехнологий – это структуры размерами от 1 до 100 нм (в пределах наношкалы), специально созданные с использованием различных смежных технологий и оборудования и обладающие заданными свойствами.

Первым, кто предвидел появление нанотехнологий (в том виде, как их определяют современные стандарты), был американский физик, нобелевский лауреат Ричард Фейнман (Richard Feynman), который придумал воображаемую «машину логических соединений». Сам





Фейнман не использовал термин «нанотехнология» – его впервые ввел в употребление японский ученый Норио Танигучи (Norio Taniguchi) в 1974 году, который применил это определение к технологиям контроля шероховатости поверхностей материалов на субмикронном уровне.
Развитию нанотехнологий в значительной мере способствовало изобретение в 1981 году сканирующего туннельного микроскопа, который впервые позволил увидеть отдельные атомы (но не их группы целиком).
В 1986 году сотрудники исследовательской лаборатории IBM Герд Бинниг (Gerd Binnig) и Генрих Рорер (Heinrich Rohrer) были удостоены Нобелевской премии за разработку этого микроскопа. Исключительная важность данного изобретения состоит в том, что сканирующий туннельный микроскоп стал первым прибором из серии разработанных в последующие годы инструментов, позволяющих анализировать вещества на атомарном и молекулярном уровнях. Сегодня уже невозможно представить исследования по нанотехнологиям и их дальнейшее развитие без стандартных методик, основанных на использовании сканирующих туннельных микроскопов.

От эффекта лотоса до технического применения нанослоев

Люди всегда заимствовали новые технологические решения у природы, которая потратила на их развитие миллионы лет эволюции. Цветок лотоса знаком специалистам по бионике и нанобиотехнологиям благодаря способности его лепестков отталкивать грязь, пыль и воду. Эти свойства цветка и получили название «эффект лотоса».

В природе растения подвержены воздействию загрязнений самых разных типов. В основном это неорганические вещества (пыль, сажа), но они могут иметь и органическое происхождение (например, споры грибков, медвяная роса, микроводоросли). Неорганические вещества непосредственно оказывают вредное воздействие на живую ткань растений, забивая устьица (поры) на листьях, посредством которых они дышат, что приводит, в частности, к перегреву растения под прямыми солнечными лучами и к повышению кислотности внутренней среды. Такие органические частицы, как, например, споры грибков, бактерии или микроводоросли, тоже вредны для растений, поскольку могут вызывать болезни и повреждать поверхность листьев.

Способность растений к самоочистке – это изящное решение природы по устранению всех перечисленных выше проблем. Благодаря эффекту лотоса вредные вещества не могут прочно закрепиться на поверхности растения. Дождь смывает споры, а в периоды засухи нежданным гостям просто не хватает воды, чтобы развиваться.

Как работают природные самоочищающиеся системы

В целом поверхность листьев всех растений устроена примерно одинаково: внешний клеточный слой (эпидермис) покрыт тонкой пленкой (кутикулой), которая предотвращает потери воды растительной тканью и повышает механическую прочность эпидермиса. Эта тонкая кожица содержит набор различных липидов (жироподобных органических соединений), которые также называют «восками». Такой воск придает кутикуле водонепроницаемость и в значительной степени препятствует проникновению через нее водяных паров. Кутин (биологический воск) часто покрывает кутикулу, или даже содержится в ней. Биологические воски встречаются в кристаллической форме, и их можно обнаружить под микроскопом в виде белесого налета, который легко смывается водой (например, как налет на винограде). Если же этот налет рассматривать с помощью электронного микроскопа, то можно увидеть совершенно фантастические по своей красоте микро- и наноструктуры, которые характерны для листьев некоторых растений.

Листья растений разных видов сильно различаются по их способности к смачиванию. Некоторые из них вообще не смачиваются жидкостями. При этом уменьшается сцепление с поверхностью не только молекул воды, но также и молекул загрязнений. Капли воды, скатывающиеся по поверхности, легко смывают непрочно осевшие на ней инородные частицы и уносят их с собой, очищая лист.

Многим кажется очевидным, что чем поверхность более гладкая, тем легче ее очистить. Но если рассмотреть поверхность лотоса под сканирующим электронным микроскопом, можно увидеть, что она довольно шероховатая из-за находящихся на ней кристаллов воска. Поскольку эти кристаллы очень мелкие, то невозможно ни увидеть их невооруженным глазом, ни почувствовать на ощупь.

В принципе, степень смачиваемости поверхности зависит от ее микро- или наноструктуры. Физический смысл эффекта смачиваемости заключается в определенном соотношении сил поверхностного натяжения на границах раздела фаз: вода – воздух, вода – твердое тело и твердое тело – воздух. В конечном итоге степень смачиваемости поверхности можно определить по величине угла, образованного поверхностью твердого тела и касательной к поверхности капли в точке ее контакта с этой поверхностью. Этот угол называется краевым и зависит от соотношения межфазных сил поверхностного натяжения.

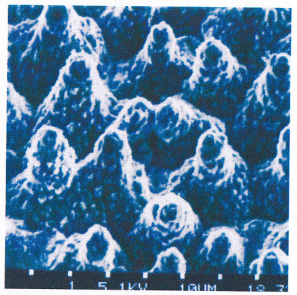
Согласно физическому определению, поверхность будет гидрофильной (полностью смачиваемой), если краевой угол меньше 90 градусов. Если этот угол больше 90 градусов, то поверхность будет гидрофобной (аб-

солютно не смачиваемой), полностью отталкивающей воду и, следовательно, водонепроницаемой.

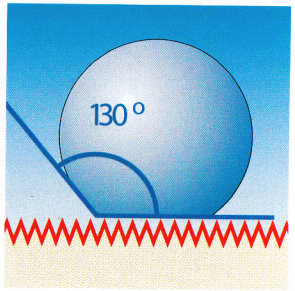
При полной смачиваемости краевой угол стремится к нулю, потому что вода растекается по поверхности твердого тела и образует на ней мономолекулярную пленку. При этом одна капля воды будет максимально растекаться по поверхности всего листа.

Если краевой угол составляет 180 градусов (чего никогда не бывает в природных условиях), капля воды теоретически должна будет собраться в шарик и касаться поверхности твердого тела только в одной точке. Краевой угол для обычных водоотталкивающих веществ (например, фторопласта) не превышает 120 градусов.

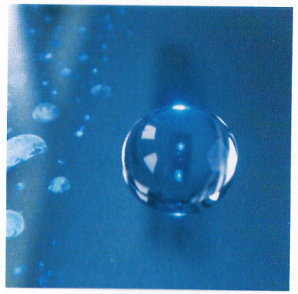
Для некоторых искусственно созданных веществ краевой угол может достигать 170 градусов. Данные поверхности называют сверхгидрофобными. Капля воды не способна растекаться по такой водоотталкивающей поверхности с микрошероховатостями. Силы собственного поверхностного натяжения стягивают каплю в шарик. Сила сцепления (адгезия), удерживающая каплю на поверхности листа, становится минимальной, и поэтому капля скатывается с него при малейшем наклоне.



Поверхность лепестка цветка лотоса под сканирующим электронным микроскопом



Краевой угол 130°



Капли на сверхгидрофобной поверхности (фото Nano-X GmbH, Saarbrücken)

Кроме лотоса, листья с гидрофобной имеются у самых разных растений, например, у водяной лилии (кувшинки), кочанной капусты, настурции и многих других.

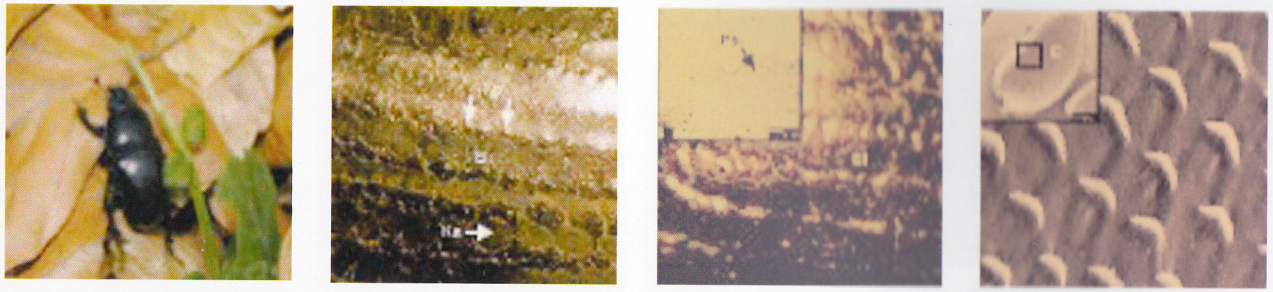
Этот эффект можно наблюдать и у некоторых представителей животного мира. Так, обыкновенный навозный жук имеет очень короткие лапки и не в состоянии сам очиститься от прилипшего к наружной части его панциря и крылышкам навоза, в котором обитают тысячи вредных микроорганизмов.
Но на помощь жуку пришла сама природа. За тысячи лет эволюции она добилась того, что все навозники в мире всегда остаются чистыми. Тут не обошлось без использования нанотехнологий: если рассмотреть поверхность панциря жука под электронным микроскопом, то можно обнаружить на ней интересные наноструктуры, очень похожие на наноструктуры лотоса. Выделяя воскообразные вещества, жук придает своей поверхности способность к самоочищению, и в результате никакая грязь с вредными микроорганизмами к нему не прилипает. Таким же образом поступают и другие представители мира насекомых – стрекозы и бабочки, которые обрабатывают воском свои крылышки.

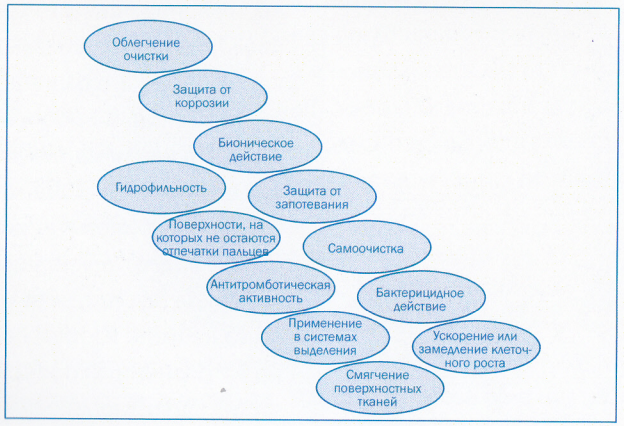
Сегодня ученые пытаются скопировать и воспроизвести гидрофобные свойства созданных природой поверхностей, усовершенствуя аналогичные физико-химические структуры с целью усиления желаемого эффекта. В результате проведения таких научно-исследовательских работ появились покрытия с особыми функциональными свойствами.
Эти покрытия толщиной всего лишь несколько нанометров состоят в основном из одного органического и одного неорганического компонента.

Неорганическую матрицу, как правило, образованную диоксидом кремния, диоксидом циркония или диоксидом титана, объединяют с органической матрицей (в основном это органические растворители). В зависимости от требований, предъявляемых к покрытию, в матрицу вводят наночастицы тех или иных веществ. Таким способом можно увеличивать количество функциональных свойств и управлять ими.
На первый взгляд подобные системы не кажутся особенно сложными. Но основная трудность при получении нанопокрытий заключается в оптимальном подборе соотношения компонентов, поскольку именно от этого и зависят их функциональные свойства. Поэтому все исследовательские институты и компании, запатентовавшие наносистемы, тщательно охраняют свои разработки.

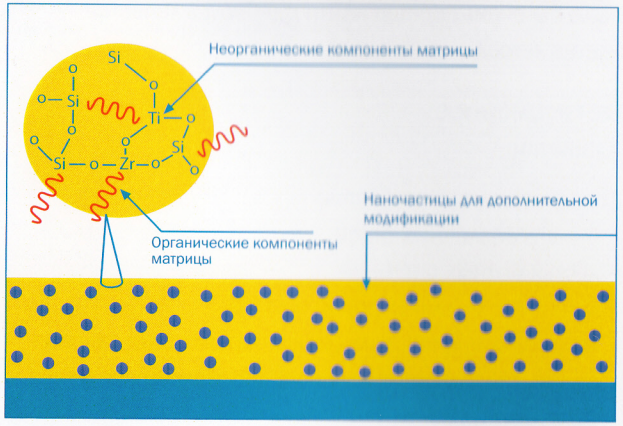
В настоящее время с помощью нанослоев можно придать поверхностям самые разные свойства, и такие покрытия относятся к продуктам нанотехнологий первого поколения. В следующих экспериментах мы более подробно изучим свойства гидрофобных и гидрофильных слоев.

Жук-навозник и его панцирь (под электронным микроскопом при разных увеличениях)





Примеры получаемых эффектов при промышленном применении гидрофобных покрытий



Формирование нанопокрытия

Эксперимент 1. Воспроизведение эффекта лотоса

Описание эксперимента

В результате эксперимента вы узнаете, обладают ли самые обычные поверхности гидрофобными свойствами. Для этого подберите несколько образцов бумаги разных типов (например, возьмите глянцевую бумагу для принтера, писчую бумагу и бумажный фильтр для кофе) и различные части растений (например, листья травы, настурции, капусты кольраби и фикуса, виноградины, листья салата или одуванчика). Было бы очень хорошо найти где-нибудь лепестки цветка лотоса.

Материалы

Вам потребуется:

- пипетки

Дополнительно потребуется:

- бумага различных типов
- листья разных растений
- линейка с миллиметровой шкалой
- мелкодисперсная пыль (тонко перемолотая садовая глина), тонкодисперсный пепел (например, от сигареты) или сажа
- водопроводная вода

Меры безопасности

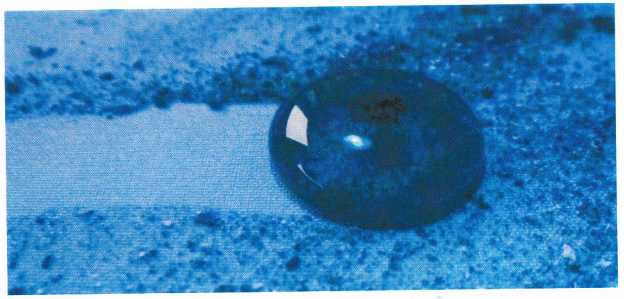
Специальных мер безопасности не требуется.

Проведение эксперимента

1. Соберите образцы бумаги разных типов и листья растений (можно привлечь для этого учеников).
2. С помощью пипетки нанесите одинаковые по объему капли воды на бумагу и листья. Также можно накапать несколько капель и на другие поверхности – например, на стекло, древесину или пластик.
3. Измерьте линейкой диаметр капель или пятен от них. На самых гидрофобных поверхностях диаметр капель будет минимальным и, следовательно, их кривизна будет самой большой. Фильтровальная бумага полностью впитывает каплю воды, это означает, что ее поверхность не гидрофобная, а наоборот – гидрофильная. Диаметр капли на глянцевой бумаге очень маленький, а ее кривизна – очень большая. Определите, листья каких растений обладают самой водоотталкивающей поверхностью.
4. Посыпьте эти листья пылью или пеплом. После этого капните из пипетки несколько капель воды на загрязненную поверхность и наклоните лист, чтобы капли могли скатиться с него. Капли воды захватывают частички глины и, скатываясь с листа, оставляют на его грязной поверхности чистые полосы.
5. Осторожно протрите лист пальцем, чтобы он не порвался. Если теперь нанести на него каплю воды, будет видно, что водоотталкивающие свойства поверхности заметно ухудшились или даже полностью исчезли.

Результаты эксперимента

1. Гидрофильные волокна на поверхности листьев обеспечивают ее смачиваемость, которая тем лучше, чем более шероховата поверхность. От смачиваемости поверхности зависит, как будет растекаться по ней капля воды. В природе поверхность листьев остается чистой в основном благодаря эффекту лотоса. Вследствие этого растения полностью сохраняют свои функциональные свойства для осуществления фотосинтеза и газообмена (дыхания).
2. Гидрофильные частицы глины поглощаются каплей воды, поскольку их адгезия к поверхности листа меньше, чем к воде. Очищающий эффект будет действовать до тех пор, пока капля воды не насытится глиной. Это означает, что избыточные частицы глины останутся на поверхности листа.
3. Если поверхность листа повредить, она утрачивает водоотталкивающие свойства. Теперь капли воды будут прилипать к поверхности листа, хотя их химические свойства не изменились, и поверхность листа будет легко смачиваться. Это объясняется тем, что на поверхности листа были разрушены микро- или наноструктуры, обеспечивавшие ее водоотталкивающие свойства. Однако у живых растений на поверхности их листьев вскоре опять начинает проявляться эффект лотоса, то есть растения регенерируют и восстанавливают разрушенные наноструктуры. Такие процессы называются самоструктурированием.



Так действует капля воды на самоочищающейся поверхности

Эксперимент 2. Гидрофобизация поверхности дерева или минерального вещества

Описание эксперимента

В этом эксперименте мы научимся придавать поверхности дерева или камня водоотталкивающие (гидрофобные) свойства, то есть произведем их гидробизацию.

Молекулы, содержащиеся в капле жидкости, взаимодействуют с атомами (или молекулами) на поверхности твердого вещества. Под действием сил притяжения между ними (сил Ван-дер-Ваальса) уменьшается краевой угол капли и силы межфазного поверхностного натяжения. Под действием сил поверхностного натяжения капля воды стремится принять сферическую форму, но на нее также действует и сила тяжести, которая стремится ее расплющить.
В результате эксперимента мы должны получить очень гладкие водоотталкивающие поверхности, на которых краевой угол капли воды будет достигать 120°.

Необходимо учитывать, что поверхность можно лишить гидрофобных свойств (намеренно или случайно), если поры (структуры) на поверхности будут забиты или гидрофобное покрытие будет разрушено (путем механического, химического или другого воздействия). Например, такое покрытие могут разрушать поверхностно-активные вещества или масла.

На практике гидрофобную обработку применяют, в частности, для облегчения очистки поверхностей. Например, после такой обработки для удаления накипи требуется очень мало моющего средства, усилий и времени.

В отличие от лепестков лотоса, искусственно созданная гидрофобная поверхность не самоочищающаяся, поэтому она не может постоянно оставаться чистой. Однако входящие в гидрофобизирующие составы цепочки фторированных углеводородов снижают вероятность заражения обработанной ими поверхности микроводорослями и бактериями.

Гидрофобизации подвергают в основном поверхности, на которые попадает вода (в том числе дождевая), но которые они не подвергаются механическим воздействиям. Например, в строительстве гидрофобные покрытия наносят на кровельные и отделочные фасадные материалы или кирпичную кладку.

Материалы

Вам потребуется:

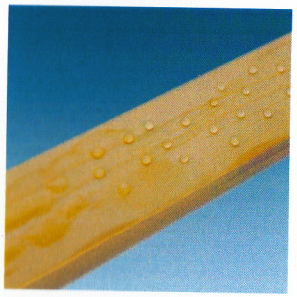
- баллончик с аэрозолем «Покрытие для дерева//камня»

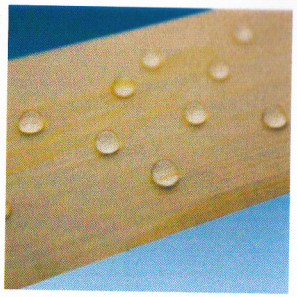
Дополнительно потребуется:

- необработанная древесина или пористые минеральные вещества (галька, пемза, бетон и т.п.)

Меры безопасности

- Гидрофобизирующий состав сам по себе не горюч. Однако под воздействием огня в результате термического разложения из него могут выделяться газы и пары, представляющие опасность для здоровья (оксиды азота, диоксид углерода, хлористый водород).
- При проведении эксперимента необходимо использовать средства индивидуальной защиты: защитные очки, лабораторные халаты и фартуки, защитные перчатки.
- Не вдыхайте пары и аэрозоли. На рабочем месте необходимо обеспечить эффективную вентиляцию.
- В состав гидрофобизирующих аэрозолей входят полисилоксаны, содержащие аминоалкильные и фторалкильные группы, гидроформиаты и муравьиная кислота (стандартные факторы риска при обращении с опасными веществами: R-36/37/38; стандартные указания по безопасному обращению с опасными веществами: C; S-26-36). Факторы риска при обращении с опасными веществами и указания по безопасному обращению с опасными веществами можно найти в инструкции по технике безопасности и на компакт-диске.





Проведение эксперимента

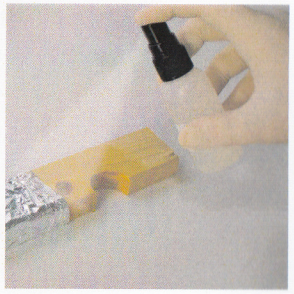
1. Подберите необработанные деревянные или каменные предметы с пористой поверхностью.
2. Перед обработкой поверхность необходимо подготовить – тщательно очистить, удалить налет и высушить.
3. Распылите на поверхность гидрофобизирующий состав из баллончика так, чтобы он покрыл ее сплошным слоем.
4. Подождите, пока состав полностью не высохнет. Водоотталкивающий эффект проявится только на абсолютно сухой поверхности. Для полного высыхания состава потребуется от 2 до 6 часов – в зависимости от окружающей температуры (но не нагревайте состав выше 40°C).
5. Затем гидрофобизированную поверхность можно подвергнуть испытаниям на воздействие различных жидкостей: воды, кофе, лимонада и т.д. Имейте в виду, что к полученному покрытию могут прилипать краски на акриловой основе.

Результаты эксперимента

Вы увидите проявление водоотталкивающего эффекта с четко выраженным образованием капель. Под действием сил поверхностного натяжения вода стремится принять шарообразную форму, поскольку такая форма наиболее выгодна энергетически – при минимальной площади поверхности шар имеет максимальный объем.

Цепочки молекул отвердевшего гидрофобизирующего состава образуют на поверхности износостойкие слои, которые снижают ее свободную энергию. Это обусловлено действием сил Ван-дер-Ваальса (как уже объяснялось ранее). На гидрофобизированной поверхности все взаимодействия минимизированы, что приводит к значительному увеличению краевого угла смачивания.

Полностью высохшее покрытие является довольно износостойким, но его можно легко разрушить с помощью химических веществ.



Эксперимент 3. Гиброфобизация поверхности тканей

Описание эксперимента

Этот эксперимент очень похож на предыдущий, только сейчас вам предстоит придать водо- и маслоотталкивающие свойства поверхностям ткани и бумаги.
Для этого на поверхности волокон нужно сформировать невидимую пленку – толщиной всего несколько нанометров. Через водоотталкивающий слой на поверхности ткани или бумаги вода проникает значительно медленнее, а количество загрязнений (в том числе пятен от сажи, кофе или соков), остающихся на такой поверхности, уменьшается.
Многие производители массовых текстильных изделий (галстуков, костюмов, дождевиков и т.п.) обрабатывают их подобным способом. Особое место занимают покрытия для навесов, зонтов и подобных изделий, которые подвергаются постоянному воздействию атмосферных осадков.

Материалы

Вам потребуется:

- баллончик с аэрозолем «Покрытие для ткани»

Дополнительно потребуется:

- Ткани, не обработанные гидрофобизирующим составом.
- Ткани на полиэфирной основе, которые подойдут для эксперимента лучше, чем шелковые и шерстяные. (можно использовать какие-нибудь ненужные вещи из вашего гардероба).

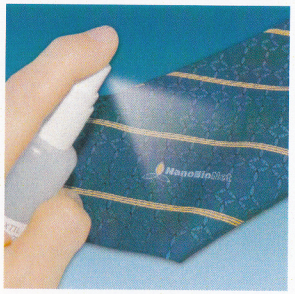
Меры безопасности

- Не используйте для эксперимента предметы одежды, снятые с себя.
- Не вдыхайте распыленный аэрозоль и его пары.
- Используйте средства индивидуальной защиты: защитные очки, халаты и защитные перчатки.
- На рабочем месте необходимо обеспечить эффективную вентиляцию.
- В состав гидрофобизирующих аэрозолей входят суспензия фторированных полимеров и уксусная кислота < 2,5% (C; R: 10-35), см. инструкции по технике безопасности или справочную информацию на компакт-диске.

Проведение эксперимента

1. Перед нанесением покрытия ткань необходимо тщательно очистить, удалить с нее все механические загрязнения и полностью высушить. Текстильные изделия следует предварительно постирать и тщательно прополоскать, чтобы удалить все специальные текстильные вещества и химические средства (например, поверхностно-активные вещества или смазочные материалы).

2. Перед применением состава тщательно взболтайте содержимое баллончика. Распылите состав для ткани на сухую ткань. Активный компонент должен равномерно наноситься по всей поверхности, чтобы на ней образовался тонкий влажный слой покрытия.
3. Высушите покрытие при комнатной температуре (не менее часа, пока материал не станет сухим на ощупь) или нагрейте его до 160°С (например, в сушилке с циркуляцией воздуха или обычным феном для волос).
4. Далее гидрофобизированную ткань можно подвергнуть испытаниям на воздействие различных жидкостей.



Результаты эксперимента

Обработанная ткань не впитывает большинство жидкостей, которые после гиброфобизации собираются в капли и скатываются с нее. Поскольку гидрофобизирующий состав образует тонкую пленку только на нитях, то ткань после обработки может «дышать».

Эксперимент 4. Невидимая краска для стекла – средство от запотевания поверхности

Описание эксперимента

Теперь мы узнаем, как придать поверхности свойство, противоположное гидрофобности – гидрофильность, то есть способность вещества смачиваться водой. Поверхность, обработанная так называемым средством от запотевания, также не впитывает воду, но водные растворы полностью смачивают поверхность и равномерно распределяются по ней, и поэтому вместо капель мы увидим только чистую поверхность.

В этом эксперименте мы будем обрабатывать поверхность стекла гидрофильным средством, но не просто нанесем его, а напишем этой краской на стекле секретное сообщение.

Подобную технологию применяют для обработки автомобильных фар и зеркал, медицинских оптических приборов (например, эндоскопов, зондов и т.п.), которые следует защищать от конденсации на них жидкостей.

Материалы

Вам потребуется:

- бутылочка с завинчивающейся пробкой «Невидимая краска»
- кисточка

Дополнительно потребуется:

- стекло с необработанной поверхностью например, оконное стекло или обычное зеркало

Меры безопасности

- Состав содержит пропанол и поэтому легко воспламеняется.
- Проводите эксперимент вдали от источников открытого огня и обязательно надевайте защитные очки.

Проведение эксперимента

1. Энергично взболтайте бутылочку с «Невидимой краской».
2. Окуните кисть в краску так, чтобы она слегка увлажнилась.
3. Очень легкими прикосновениями кисти напишите или нарисуйте что-нибудь на поверхности стекла или зеркала.
4. Подождите несколько минут, чтобы состав высох.
5. Подышите на обработанную поверхность.

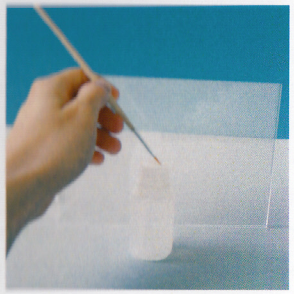
Средство от запотевания можно нанести также на зеркала в ванной комнате, на очки или визоры мотоциклетного шлема. В таких случаях рекомендуется предварительно отполировать поверхность мягкой тканью. При этом на стекле могут появиться слабо различимые полосы, которые нетрудно удалить.

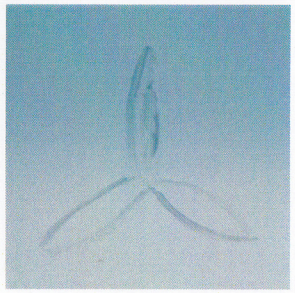
Результаты эксперимента

Когда вы подышите на обработанную поверхность, все стекло запотеет, кроме надписи (или рисунка). Это изображение будет сохраняться в течение нескольких дней или даже недель – до тех пор, пока стекло не очистят.

На поверхности рисунка формируется тонкий гидрофильный слой, который равномерно распределяет по всей обработанной поверхности капельки конденсата, образующегося из выдыхаемого вами воздуха. На поверхности рисунка может удерживаться только очень тонкая пленка из молекул воды, которая абсолютно прозрачна и поэтому практически невидима. Обработанная поверхность стекла не запотевает.

Состав средства, которое используется в этом эксперименте, отличается от аналогичных промышленных составов, которые действуют гораздо эффективнее, дольше держатся на поверхности и более устойчивы к механическим воздействиям.





Придание придают функциональных свойства с помощью нанотехнологий

До сих пор мы изучали сверхтонкие покрытия с гидрофобными или гидрофильными свойствами. Однако свойства нанослоев не ограничиваются только этими покрытиями. В промышленном производстве часто требуется использовать наночастицы для получения материалов со специальными свойствами.

В данном разделе мы рассмотрим три конкретных функциональных свойства материалов, которые можно воспроизвести с помощью нанотехнологий: повышение устойчивости к механическим воздействиям (устойчивость к царапинам), повышение электропроводности и повышение огнестойкости.

Нанопокрытия для защиты от царапин

Многие из используемых нами предметов повседневного быта со временем покрываются царапинами (то есть подвергаются абразивному механическому воздействию) и теряют привлекательный внешний вид. Независимо от вида товара массового применения – будь это автомобиль, кухонный нож или паркетный пол – поверхность всех этих объектов изнашивается и подвергается абразивному истиранию. Абразивное истирание также является серьезной проблемой в промышленном машиностроении, где повышенному износу подвергаются прокатные станы, механизмы различных приводов, ленты конвейеров, валы, оси и т.п. Используя нанослои (или наночастицы), можно продлить срок службы изделий и сохранить их первоначальный внешний вид.

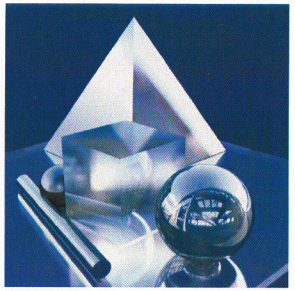
Как правило, нанопокрытия, устойчивые к механическим воздействиям (к образованию царапин), состоят из органических и неорганических нанокомпозитных материалов. В таких системах наночастицы внедрены в связующую основу.

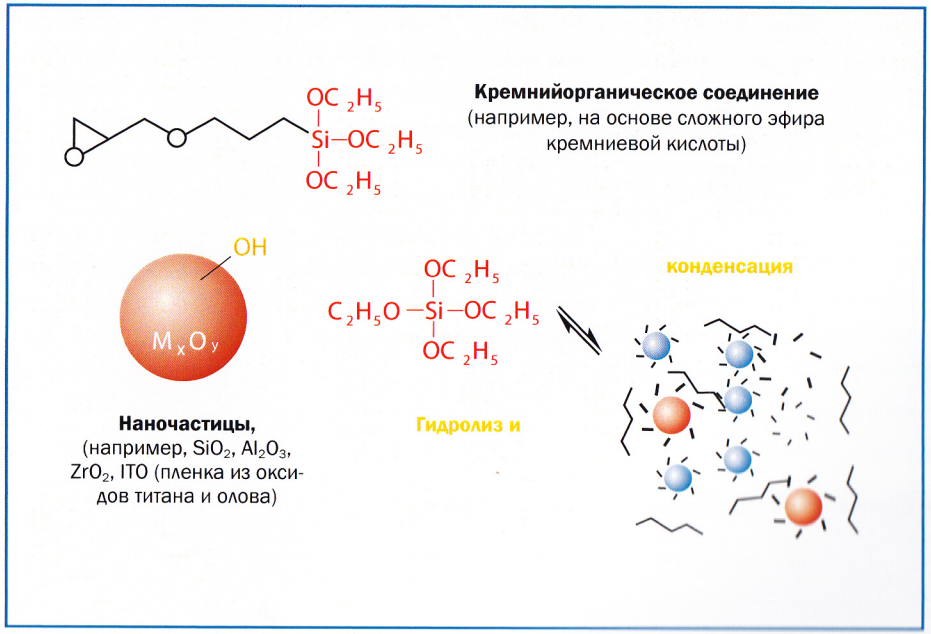
В основном для создания таких материалов используют кремнийорганические соединения (сложные эфиры кремниевой кислоты), химически модифицированные эпоксидными и акрилатными функциональными группами, объединенными с наночастицами, которые при синтезе подвергаются реакциям гидролиза и конденсации. Под воздействием воды (реакция гидролиза) из этокси-фрагмента кремнийорганического компонента возникают реакционноспособные группы Si-OH, которые могут взаимодействовать с дополнительными гидроксильными группами OH- с отщеплением молекул воды (реакция конденсации). В результате реакций гидролиза и конденсации формируется сетка из неорганических частиц со стеклоподобной структурой. Функциональные группы кремнийорганического соединения, которые активируются соответствующими инициаторами полимеризации, принимают участие в формировании органической сетки, в результате чего образуется одновременно органический и неорганический нанокомпозитный материал.

Формируя органическую и неорганическую сетки и внедряя в эту матрицу наночастицы, прочно связанные с ней химическими связями, получают слой, который сочетает в себе свойства стекла и полимера. Такие покрытия называют твердо-эластичными. Они настолько механически прочны, что поверхность их даже очень тонких слоев нельзя поцарапать металлической мочалкой для чистки кастрюль и трудно поверхность другими способами. При получении данных покрытий определенные кремнийорганические соединения и наночастицы смешивают с водой для проведения реакций гидролиза и конденсации. Изначально в этой водной суспензии содержится две фазы, а после нагревания реакционной смеси она становится однофазной. Затем в нее вводят инициатор полимеризации, чтобы сшить органические функциональные группы кремнийорганического соединения.

Готовый состав распыляют также на поверхности деревянных деталей для настилки полов. Затем детали сушат в воздушной сушилке при температуре около 110°C. Процесс такой обработки называется «отверждением». При этом из покрытия удаляется растворитель, благодаря чему оно как бы просушивается. Но одновременно с испарением растворителя происходит полимеризация органических функциональных групп и окончательное формирование сетки со стеклоподобной структурой. Под «сушкой» в науке о полимерах часто подразумевают «физическое отверждение», а под «отверждением» – «химическое отверждение».
В воздушной сушилке весь процесс завершается в течение 20 минут, после чего поверхность деревянных деталей становится устойчивой к механическим повреждениям. Продолжительность термообработки можно значительно сократить, используя современные высокотехнологичные методы, что очень важно, в частности, при больших объемах производства мебели.

Подобные защитные покрытия используют также при массовом производстве некоторых автомобилей.
Но в данном случае мы посвятим наши эксперименты домашним заботам – защите паркета от механических повреждений.





Внедрение наночастиц в процессе гидролиза

Эксперимент 5. Покрытие, предохраняющее древесину от царапин

Описание эксперимента

Панели из МДФ (древесноволокнистых плит средней плотности) с отделкой под дерево в основном используют для производства межкомнатных дверей, передних и задних стенок мебели. Для нанесения на панели нужного рисунка существует множество способов например, струйная печать. Но у этого способа имеется серьезный недостаток – невысокая механическая прочность поверхности с рисунком.

Чтобы защитить рисунок, на МДФ-панель наносят тонкое защитное покрытие (~10 мкм), в котором содержатся наночастицы. При этом покрытие наносят только на одну половину образца МДФ-панели, в результате чего обработанная поверхность упрочняется настолько, что ее невозможно поцарапать металлической мочалкой для чистки кастрюль.

Материалы

Вам потребуется:

- образцы МДФ-панелей
- металлическая мочалка для чистки кастрюль

Дополнительно потребуется:

- маркер или фломастер

Меры безопасности

- Специальных мер безопасности не требуется.

Проведение эксперимента

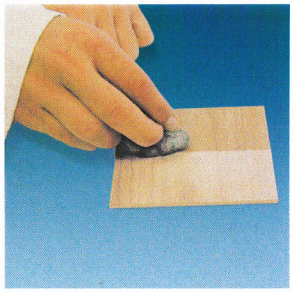
Для проверки механической стойкости покрытия его несколько раз протирают металлической мочалкой. Для сравнения следует провести мочалкой по границе обработанной и необработанной поверхностей. Перед началом эксперимента можно нарисовать маркером линию, пересекающую обработанную и необработанную поверхности образца.

Результаты эксперимента

На необработанной поверхности появились хорошо заметные царапины, а обработанная поверхность осталась неповрежденной.

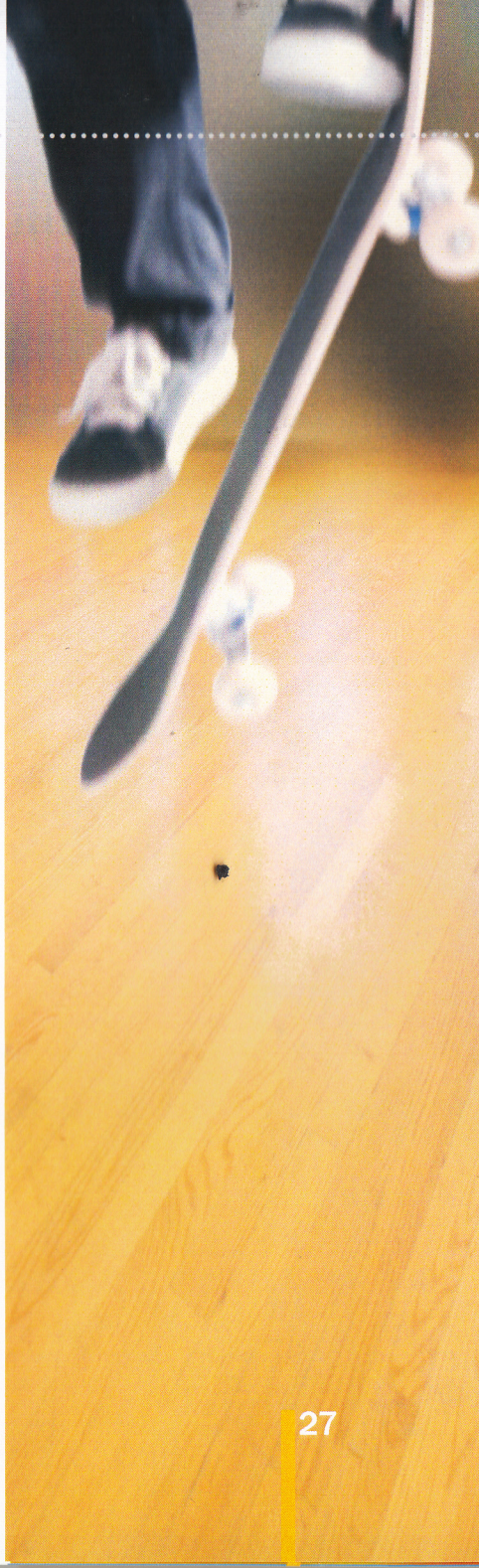
След от маркера на обработанной поверхности легко удаляется металлической мочалкой, а на необработанной поверхности он остается.

Нанокомпозитные составы для противопожарной защиты



При пожаре на счету каждая секунда. Уже через несколько минут после возгорания огонь распространяется, активно и в больших количествах начинают выделяться дым и тепло, представляющие серьезную опасность для жизни. Чтобы предотвратить или хотя бы замедлить распространение огня, все горючие материалы (дерево, пластмассы, ткани) подвергают обработке огнезащитными средствами. Такие составы гасят пламя, ускоряют обугливание горящего материала и формируют на его поверхности водонепроницаемые и изолирующие слои. Свойства огнезащитных составов (механические, электрические и химические) зависят от того, какие в них содержатся огнестойкие добавки. Такие огнестойкие добавки, частично можно заменить наночастицами, которые способствуют образованию вокруг горящих участков материала твердой корки, препятствующей слишком быстрому испарению огнестойких добавок.

Для защиты от огня лучше использовать прозрачные нанокомпозитные материалы, которые применяются в изоляционных материалах в качестве наполнителей. В некоторых случаях (например, при заполнении пространства между огнезащитными стеклами) необходимо использовать гели, которые способны в течение длительного времени оставаться прозрачными без всяких признаков старения. Кроме того, очень важно, чтобы эти огнезащитные компоненты сохраняли нужную форму и объем, поскольку они должны заполнять определенные пустоты в конструкциях, изготовленных из различных материалов.



На основе твердых неорганических наночастиц, связанных с определенными органическими соединениями, можно создавать стабильные, прозрачные и прочные материалы, не поддающиеся старению. Такие составы могут защищать материалы от воздействия огня, сохраняя при этом свою первоначально заданную форму.

Огнезащитные нанокомпозитные составы , как правило, содержат три основных компонента:

- наночастицы неорганических соединений (размером 50–100 нм), например, оксидов алюминия, кремния, фосфора, бора, олова, цинка, титана, циркония или вольфрама;
- компонент, способный взаимодействовать с наночастицами благодаря своим функциональным группам с образованием ковалентных, ионных или комплексных связей. В качестве такого компонента используются полиолы, алканоамины или полиамины;
- растворитель, который может представлять собой воду либо один или несколько органических растворителей (спирты или карбоновые кислоты).

Если требуется защита от температур, достигающих нескольких тысяч градусов, можно использовать огнезащитные составы с неорганическими наночастицами. Такие системы смогут обеспечить защиту от огня стекла, стен, тканей и кровельных конструкций. Огнезащитные нанокомпозитные материалы сегодня уже нашли широкое применение в промышленности.

В нашем эксперименте, рассчитанном, в том числе и на школьников, мы будем всего лишь поджигать бумагу зажигалкой. Образующиеся при этом температуры относительно низкие, поэтому нам не потребуются наночастицы и мы можем подобрать достаточно безопасные для здоровья огнезащитные системы. В данном случае для того, чтобы получить защитный эффект, вместо наночастиц мы будем использовать обычные химические реакции соединений аммония и фосфатов с углеводами.

Эксперимент 6. Защита от огня

Описание эксперимента

Бумага, картон и древесина – все эти материалы состоят в основном из целлюлозы (углеводов). Если обработать бумагу огнезащитным составом, а потом ее нагреть, фосфаты химически связываются с углеводами и способствуют их обугливанию, однако этот процесс протекает без горения. При взаимодействии фосфатов с углеводами образуются сложные эфиры фосфорной кислоты, которые разлагаются под действием тепла с образованием фосфорной кислоты и углерода.

Соединения азота в этом случае выполняют следующую функцию: под действием тепла выделяется азот (который является инертным газом, не поддерживающим горение) и вытесняет кислород, который необходим для реакции горения.

Материалы

Вам потребуется:

- баллончик с аэрозолем «Защита от огня»

Дополнительно потребуется:

- лист бумаги или картона
- зажигалка или спички

Меры безопасности

- В этом эксперименте используется открытый огонь. Проводите эксперимент на листе негорючего материала, предварительно удостоверившись, что в помещении не установлены противопожарные датчики (тепловые и дымовые).

Проведение эксперимента

1. Распылите на лист бумаги или картона (желательно с обеих сторон) состав из баллончика «Защита от огня» с расстояния не менее 10 см.
2. Дайте бумаге полностью высохнуть (процесс сушки можно ускорить с помощью фена для волос).
3. Теперь попытайтесь поджечь обработанную бумагу.

Некоторые преподаватели демонстрируют этот эксперимент более эффектно:

1. Эксперимент проводят на негорючей поверхности – в раковине и под вытяжкой.
2. Защитным составом обрабатывают только одну половину листа бумаги но с обеих сторон, до тех пор, пока раствор полностью не пропитает бумагу и не начнет стекать с ее поверхности. Обработанную половину поверхности помечают.
3. Бумагу хорошо высушивают.
4. Держа лист за обработанную поверхность, его вносят в пламя и ждут, когда огонь дойдет до обработанной поверхности.
5. Если не потерять самообладания и не выронить горящую бумагу, можно будет убедиться, что огонь гаснет, добравшись до обработанной поверхности.

Результаты эксперимента

При воздействии пламени начинает выделяться инертный газ азот, и пропитанный огнезащитным составом материал обугливается без появления огня.
Пламя не распространяется на обработанную поверхность.

Повышение электропроводности

Обычное стекло не обладает электропроводностью, то есть оно не способно пропускать электрический ток. Однако специальное стекло из представленного набора проводит электрический ток, потому что на его поверхность нанесена сверхтонкая и невидимая ITO-пленка.

ITO-пленка (indium tin oxide – оксиды индия и олова) – это пленка, образованная из оксидов индия и олова. Она является полупроводником и в то же время прозрачна, то есть эти ее свойства идеально подходят для создания электропроводного стекла.
На поверхность обычного стекла наносят очень тонкий слой указанной смеси оксидов. При этом стекло начинает проводить электрический ток, оставаясь прозрачным. Тонкие нанослои ITO можно наносить методом осаждения вещества из газовой фазы, с помощью вакуумного напыления, методом центрифугирования или погружения в раствор. Вакуумное напыление, которое правильнее называть катодным напылением, – это физический

процесс, при котором мишень (катод) из осаждаемого металла (или мишени из разных металлов) бомбардируют ионами с высокой энергией (преимущественно это ионы инертных газов), которые выбивают из ее поверхности атомы металла и переводят его в газовую фазу. Катодное напыление относится к вакуумным методам осаждения из газовой (паровой) фазы.

Поскольку индий встречается в природе довольно редко, и является очень дорогим металлом, это повышает стоимость индийсодержащих покрытий.

Эксперимент 7. Повышение электропроводности с помощью оксидов индия и олова (ITO).

Описание эксперимента

Стекло, способное проводить электрический ток, необходимо для изготовления солнечных элементов. Электропроводность обычного стекла и стекла, на которое нанесен слой ITO, мы проверим с помощью многопозиционного переключателя. О наличии электрического тока будет свидетельствовать мигающий сигнал светодиода.

Области применения:

- фотоэлектроды
- солнечные элементы
- прозрачные электрические контакты в жидкокристаллических дисплеях
- электролюминесцентные индикаторы, например органические светодиоды
- автомобильные стекла с электроподогревом или другие стекла с особыми функциональными свойствами, которые можно включать и отключать.

Материалы

Вам потребуется:

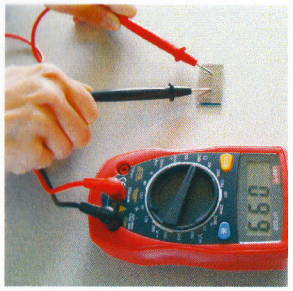
- стекло со слоем ITO
- необработанное стекло
- 3 провода с зажимами «крокодил»
- 1 электрическая батарея
- 1 светодиод

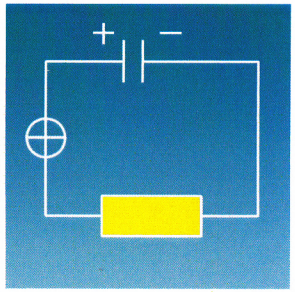
Меры безопасности

- Специальных мер безопасности не требуется.

Проведение эксперимента

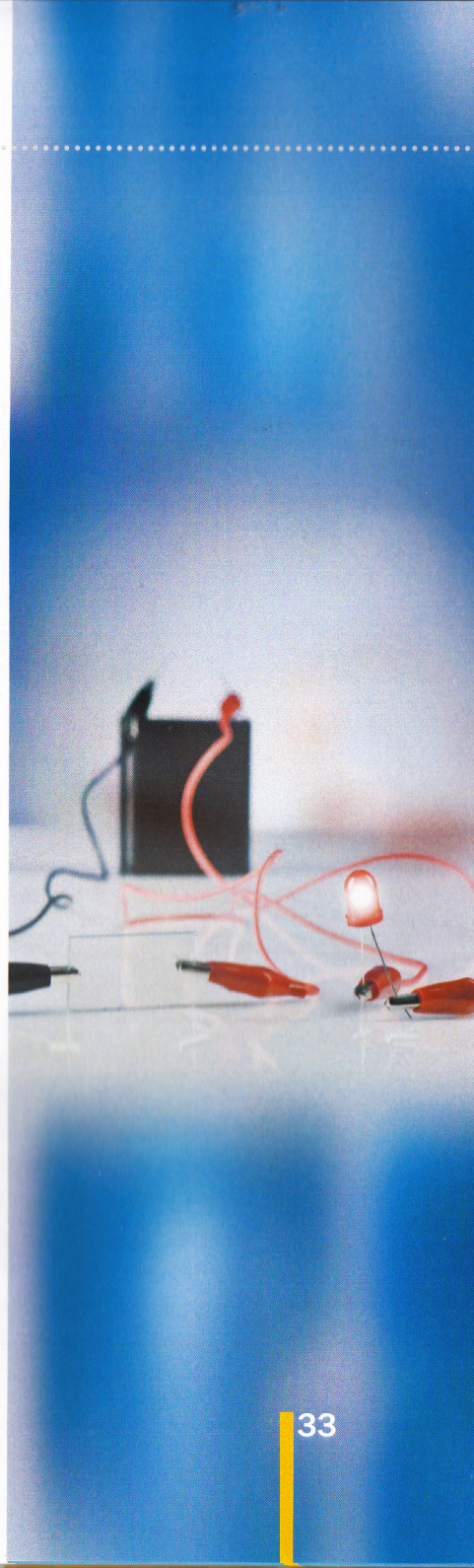
Соберите электрическую схему, как показано на рисунке, и сначала включите в нее необработанное стекло. Будьте внимательны при соблюдении правильной полярности подключения: положительный полюс батареи нужно подсоединить к длинному проводу, идущему от светодиода. Светодиоды проводят электрический ток только в одном направлении. Наблюдайте за светодиодом.
Затем вставьте в схему стекло с покрытием ITO и повторите эксперимент. Что происходит?





Результаты эксперимента

Обычное стекло не способно проводить электрический ток, о чем свидетельствует отсутствие сигнала светодиода.
Стекло с покрытием ITO проводит электрический ток. В этом случае мы наблюдаем мигающий сигнал светодиода.



Применение диоксида титана в нанотехнологиях

В природе диоксид титана встречается в трех кристаллических формах:

1. Брукит (титановая руда) – минерал с ромбической сингонией (формой элементарной ячейки кристалла), не представляющий интереса для промышленных целей, поскольку он переходит в кристаллическую форму рутила до достижения температуры плавления.
2. Рутил – минерал с тетрагональной сингонией, образующий призматические кристаллы с плотностью 4,26 г/см^3. Используется главным образом в качестве белого пигмента для различных красок и пластмасс.
3. Анатаз – минерал, который образует тетрагональные голоэдрические (полногранные) кристаллы и относится к группе минералов, имеющих столько кристаллографических плоскостей, сколько необходимо для обеспечения полной симметрии кристаллической системы (4/m2/m2/m для тетрагональных кристаллов). Анатаз постепенно и необратимо превращается в рутил (при нагреве выше 700°C процесс превращения происходит быстрее). Плотность анатаза составляет 3,88 г/см^3. Анатаз тоже используют в качестве белого пигмента. Диоксид титана с кристаллической формой анатаза является основным компонентом катализаторов, применяемых для селективного каталитического восстановления опасных соединений азота и их удаления из промышленных топочных (дымовых) газов. Рассмотрим подробнее, почему анатаз имеет гораздо более высокую фотокаталитическую активность, чем рутил.

Природный диоксид титана неравномерно окрашен, например, включениями железа (в виде примесей соединения $FeTiO_3$), поэтому его необходимо очищать.

Диоксид титана термически стабилен и имеет высокий коэффициент преломления света (2,8). Благодаря этим качествам он обладает превосходной красящей и кроющей способностью. Диоксид титана химически стоек, не разлагается на свету, достаточно дешев и не токсичен. Все это делает его основным белым пигментом применяемым в промышленности.
Кроме того, он отличается высокой разбеливающей способностью – свойство пигмента при смешивании с другими пигментами влиять на цвет полученной пигментной смеси. Вследствие своей химической стабильности и нетоксичности он широко применяется в качестве пищевого красителя (Е 171), в том числе при производстве зубной пасты и леденцов от кашля. Его также часто добавляют в масляные краски.

В промышленности диоксид титана используется в качестве пигмента для изготовления самых разных красок и для производства бумаги, в качестве ультрафиолетового фильтра в кремах для загара, его добавляют в лекарства для отбеливания таблеток.

Полупроводниковые свойства диоксида титана нашли применение в недавно изобретенных солнечных элементах, сенсибилизированных красителем (ячейки Гратзеля). Кроме того, диоксид титана является основным компонентом при производстве керамических изоляторов для керамических конденсаторов 1-го класса.

Фотокаталитические свойства наночастиц TiO_2 в сочетании с его активностью в ультрафиолетовой области спектра (диоксид титана поглощает свет в УФ-области) используются при производстве облицовочной плитки – присутствие наночастиц диоксида титана на поверхности плитки придает ей грязеотталкивающие свойства. Благодаря своим фотокаталитическим свойствам диоксид титана находит применение при очистке воды – его добавляют в воду и подвергают обработке ультрафиолетовым светом для уничтожения бактерий и расщепления органических загрязнений на молекулярном уровне.

В эксперименте 8 мы будем исследовать фотокаталитические свойства наночастиц диоксида титана.

Демонстрационный пример 1. Радужный шар с флоп-покрытием

Описание эксперимента

Лакокрасочные покрытия, которые выглядят по-разному в зависимости от угла зрения наблюдателя, обладают так называемым флоп-эффектом. Этот эффект создают мельчайшие наночастицы диоксида титана (TiO_2). Размер таких кристаллических частиц составляет всего 3–5 нм, что в сотни раз меньше размера частиц обычного диоксида титана, из которого состоят белые пигменты эмульсионных красок. При изменении размеров частиц свойства одного и того же вещества радикально изменяются.

Такие наночастицы используют в автомобильной промышленности, для придания необычного декоративного вида предметам обихода из металла, латекса и пластмасс.

Меры безопасности

- Специальных мер безопасности не требуется.

Результаты эксперимента

В отличие от обычных белых пигментов, наночастицы диоксида титана в красках с флоп-эффектом отражают свет в диапазоне солнечного спектра – от желтого до синего. Поэтому краска с добавлением наночастиц диоксида титана может казаться желтой, красной, зеленой или синей – в зависимости от того, под каким углом мы будем на нее смотреть. Лакокрасочные флоп-покрытия могут создавать фантастические цветовые эффекты, если добавить в них определенное количество наночастиц, рассеивающих синюю составляющую отраженного света. Такие специальные краски не только являются декоративными и могут иметь другие функциональные свойства, в частности способность защищать поверхность от потускнения под воздействием искусственного или естественного солнечного света.

Эксперимент 8. Фотокаталитические реакции с участием диоксида титана

Описание эксперимента

В данном эксперименте мы используем фотокаталитические свойства анатаза для обесцвечивания пищевого органического красителя (мурексида). Как было сказано выше, диоксид титана встречается в природе в трех формах, из которых интерес представляют только рутил и анатаз. Химический состав диоксида титана в этих минералах абсолютно одинаков, однако их электронно-зонная структура различна.

Ширина запрещенной энергетической зоны (область энергий, отделяющая полностью заполненную электронами валентную зону от незаполненной зоны проводимости) у анатаза составляет 3,2 эВ (что соответствует длине ультрафиолетового излучения 388 нм), а у рутила она равна 3,0 эВ (что соответствует длине ультрафиолетового излучения 413 нм). Поэтому фотокаталитический эффект анатаза проявляется сильнее, чем у рутила.

При фотокатализе солнечный свет активирует катализатор, который ускоряет (или делает возможной) определенную химическую реакцию. Если диоксид титана облучить ультрафиолетовым светом (например, светом от УФ-лампы с длиной волны 320–400 нм) или солнечным светом, свободные электроны на его поверхности получают достаточно энергии, чтобы перейти из своей валентной зоны на более высокие энергетические уровни в зоне проводимости. Это приводит к возникновению в валентной зоне положительно заряженных носителей заряда, так называемых дырок.
Положительно заряженные дырки способны взаимодействовать с молекулами воды, в результате чего образуются чрезвычайно активные гидроксид-радикалы (OH-). И дырки, и гидроксид-радикалы являются очень сильными окислителями. В нашем эксперименте именно они будут обесцвечивать пищевой органический краситель мурексид.

Фотокаталитические свойства TiO_2 используют для обеззараживания и очистки поверхностей, поскольку в результате окислительных процессов погибают бактерии и удаляются молекулы органических веществ (в частности, происходит окисление сажи до углекислого газа).

Материалы

Вам потребуется:

- химикаты из набора: диоксид титана (рутил и анатаз)
- пищевой органический краситель (мурексид)
- 2 чистые пробирки с завинчивающимися крышками (50 мл)
- шпатель
- пипетка

Дополнительно потребуется:

- источник УФ-излучения (солнечный свет или УФ-лампа). В пасмурную погоду для опыта рекомендуется использовать УФ-лампу.

Меры безопасности

С диоксидом титана и мурексидом следует обращаться очень осторожно. При попадании даже микроскопических количеств этого красителя на кожу или одежду там них появляются трудновыводимые пятна. Поэтому обязательно используйте средства индивидуальной защиты: защитные очки, халаты и резиновые перчатки.
Если в эксперименте используется УФ-лампа, запрещается смотреть на нее без специальных очков, защищающих глаза от УФ-излучения.

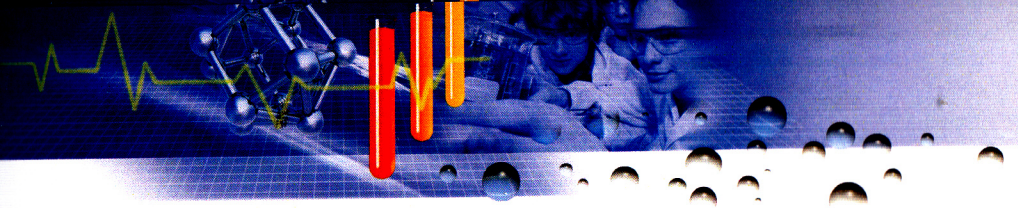
Проведение эксперимента

1. Возьмите две чистые пробирки и пометьте одну из них: «А» – для анатаза, а другую «Р» – для рутила.
2. Насыпьте одну чайную ложку рутила в предназначенную для нее пробирку и столько же анатаза – в другую пробирку. Чтобы ни одна из частиц рутила не попала в анатаз (и наоборот), аккуратно очищайте шпатель после работы с каждым веществом.
3. Добавьте в пробирки по одной капле воды и тщательно перемешайте шпателем их содержимое до пастообразного состояния.
4. После этого добавьте в каждую пробирку немного красителя на кончике шпателя и тщательно перемешайте содержимое пробирок, чтобы смесь равномерно окрасилась в нежно-розовый цвет.
5. Переложите пасту из каждой пробирки на какие-либо непромокаемые поверхности (например, в крышки от пробирок) и оставьте их в течение нескольких часов на солнце.
6. Скорость фотокаталитических реакций будет зависеть от интенсивности УФ-излучения и от концентрации красителя.

Результаты эксперимента

Мы видим, что обесцветить краситель смог только диоксид титана в форме анатаза. Рутил же показал очень слабую фотокаталитическую активность.

Также можно заметить, что обесцветился только верхний слой пасты с анатазом (то есть та его часть, которая подверглась УФ-облучению), в то время как в основном объеме паста сохранила свой исходный розовый цвет.



Магнитные жидкости

Магнитные жидкости – это устойчивые системы, состоящие из коллоидных наночастиц магнитных материалов, диспергированных в жидкости. Наночастицы магнитных материалов, как правило, представляют собой ферромагнитные металлы, например железо, кобальт или никель. В растворе эти наночастицы диаметром которых около 10 нм стабилизированы с помощью органических или неорганических поверхностно-активных веществ ПАВ, которые предотвращают слипание наночастиц между собой и удерживают их во взвешенном состоянии. Магнитные жидкости со временем не теряют свою стабильность, а магнитные наночастицы в них не слипаются и не выделяются в отдельную фазу даже при воздействии очень сильных магнитных полей.

Магнитные жидкости применяются в основном как уплотнительные материалы, например для герметизации корпусов жестких дисков приводов компьютеров. В роли уплотнителей магнитные жидкости должны оставаться на своем месте под воздействием постоянного магнитного поля и при этом выдерживать высокое давление. Уплотнения на основе магнитных жидкостей не подвержены механическому износу, они легко адаптируются к отверстиям любой формы. Магнитные жидкости также часто используют в звуковых динамиках для отвода тепла от звуковой катушки и магнитной матрицы, а также для гашения перемещений мембраны. Самолеты невидимки – покрывают специальной краской (на основе магнитных жидкостей, содержащих немагнитные добавки), которая поглощает излучение радаров, делая самолеты невидимыми для них.

Под воздействием переменных магнитных полей магнитные жидкости сильно разогреваются, что позволяет использовать их для лечения онкологических заболеваний. Для этого такие жидкости вводят пациентам непосредственно в злокачественные опухоли и подвергают их воздействию внешнего переменного магнитного поля. В результате происходит перегрев раковых клеток опухоли и они погибают, а здоровая ткань остается неповрежденной.

Эксперимент 9. Магнитное поле

Описание эксперимента

С помощью магнитных жидкостей можно наглядно продемонстрировать, как магнитное поле окружает постоянный магнит, как оно распространяется от северного полюса магнита к южному полюсу и замыкается. Магнитные жидкости вытягиваются вдоль силовых линий магнитного поля.

Материалы

Вам потребуется:

- магнитная жидкость
- чистая пробирка с завинчивающейся крышкой
- раствор поверхностно-активного вещества
- постоянный магнит
- пипетка

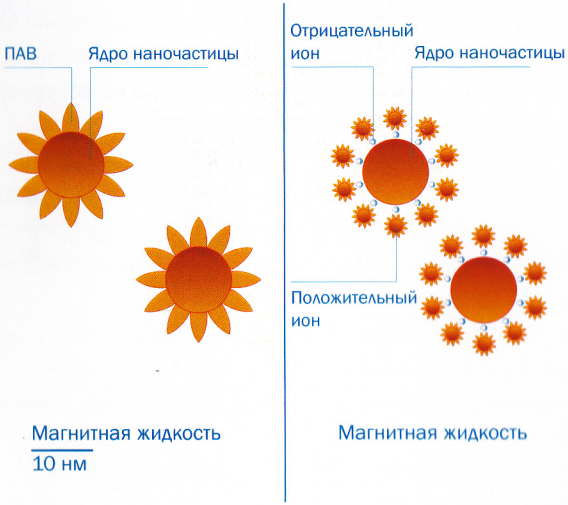
Дополнительно потребуется:

- вода

Меры безопасности

- В этом эксперименте используется открытый огонь. Проводите эксперимент на листе негорючего материала, предварительно удостоверившись, что в помещении не установлены противопожарные датчики (тепловые и дымовые).

Схема



Схематическое изображение структуры частиц магнитной жидкости

Меры безопасности

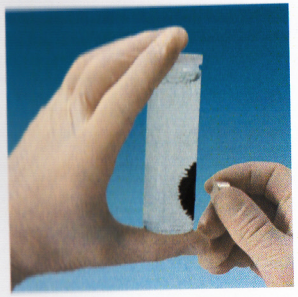
- Обращайтесь с магнитными жидкостями очень аккуратно, потому что они оставляют трудновыводимые пятна. Перед началом эксперимента рекомендуется расстелить на лабораторном столе бумажные полотенца, салфетки и т.п.
- Используйте средства индивидуальной защиты: защитные очки, халаты и резиновые перчатки.
- Если магнитная жидкость попала на кожу, ее немедленно следует смыть водой с мылом или другим бытовым моющим средством для рук, затем тщательно промыть пораженный участок большим количеством воды.
- Магнитные жидкости следует постоянно хранить в герметичной таре для предотвращения их испарения.
- Отбирайте и переносите магнитную жидкость только с помощью пипетки, не встряхивайте ее. Все операции производите медленно и аккуратно, чтобы не допустить разбрызгивания магнитной жидкости.
- Использованные загрязненные магнитные жидкости следует утилизировать теми же способами, что и моторные масла (то есть как опасные отходы), или отправлять их на специальные пункты сбора. Не выливайте магнитные жидкости в канализацию.
- Работая с магнитными жидкостями, будьте очень внимательны – магнит, случайно забытый на краю ванночки с магнитной жидкостью, притянет ее, и она перельется на стол.
- Не подносите магниты вплотную к людям, у которых установлены кардиостимуляторы.

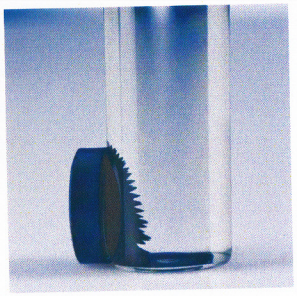
Проведение эксперимента

1. Наполните пробирку на ¾ водой и добавьте в нее 2–5 капель раствора ПАВ.
2. С помощью пипетки добавьте в пробирку несколько капель магнитной жидкости, которая опустится на дно.
3. Плотно закройте пробирку крышкой.
4. Поднесите к магнитной жидкости в пробирке магнит, и вы увидите, что она примет характерную форму «ежика». Передвигая магнит, можно перемещать и магнитную жидкость, которая последует за ним.
5. Поворачивая магнит (а, соответственно, его силовые линии) относительно поверхности магнитной жидкости, можно убедиться, что ее положение тоже изменяется.
6. Аккуратно встряхните пробирку. Магнитная жидкость распределится в воде. Поскольку магнитная жидкость не растворима в воде, ее капли постепенно осядут на дно. Процесс осаждения можно ускорить с помощью магнита, при этом вы увидите интересные эффекты. Для этого быстро поднесите магнит к стенке пробирки и сразу же уберите его. Движение магнитной жидкости ускорится, и она будет принимать различные формы – извивающиеся ленты, клубящиеся облака и т.п.

Дополнительный эксперимент

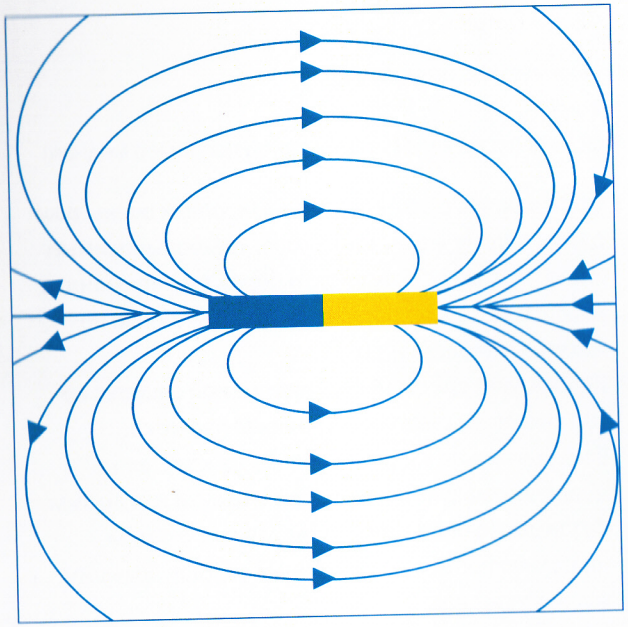
Чтобы объяснить принцип работы катушек индуктивности, можно провести эксперимент, используя вместо постоянного магнита электромагнитное поле. В зависимости от силы тока, пропускаемого через катушку, и ее размера, будут меняться параметры ее электромагнитного поля, а следовательно, ориентация наночастиц магнитной жидкости в пространстве. Вы также можете исследовать воздействие на магнитные жидкости других магнитных материалов, таких как металлы, другие магниты, а также ламп накаливания.





Результаты эксперимента

Поскольку магнитные наночастицы, оказавшись в магнитном поле, выстраиваются вдоль его силовых линий, формируется характерный «ежик», «колючки» которого ориентированы вдоль силовых линий. Действующие на наночастицы в магнитной жидкости силы тяжести, поверхностного натяжения и магнитного поля уравновешиваются, в результате чего формируются упорядоченные пространственные структуры.



Схематичное изображение силовых линий магнитного поля

Эксперимент 10. Разделение материалов по плотности с помощью магнитной жидкости

Описание эксперимента

При проведении данного эксперимента мы увидим, как медная монета сначала тонет в магнитной жидкости, поскольку ее плотность больше, а после приложения магнитного поля всплывает на поверхность.

Материалы

Вам потребуется:

- магнитная жидкость EFH1 1
- пипетка
- постоянный магнит
- чашка Петри

Дополнительно потребуется:

- вода
- монета (из немагнитного металла, например медная)

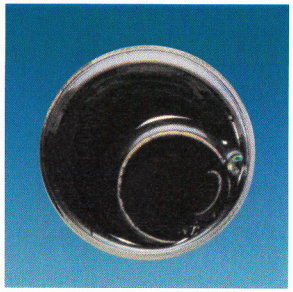
Меры безопасности

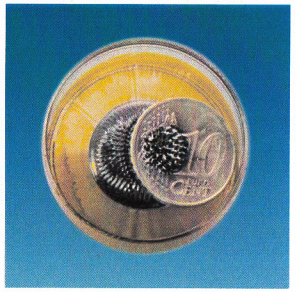
- Обращайтесь с магнитными жидкостями очень аккуратно, потому что они оставляют трудновыводимые пятна. Поэтому рекомендуем перед экспериментом расстелить на лабораторном столе бумажные полотенца, салфетки и т.п.
- Используйте средства индивидуальной защиты: защитные очки, халаты и резиновые перчатки.
- Если магнитная жидкость попала на кожу, ее немедленно следует смыть водой с мылом или другим бытовым моющим средством для рук, а затем тщательно промыть пораженный участок большим количеством воды.
- Магнитные жидкости следует постоянно хранить в герметичной таре для предотвращения их испарения.
- Отбирайте и переносите магнитную жидкость только с помощью пипетки, не встряхивайте ее. Все операции производите медленно и аккуратно, чтобы не допустить разбрызгивания магнитной жидкости.
- Использованные загрязненные магнитные жидкости следует утилизировать теми же способами, что и моторные масла (то есть как опасные отходы), или отправлять их на специальные пункты сбора. Не выливайте магнитные жидкости в канализацию.
- Работая с магнитными жидкостями, будьте очень внимательны – магнит, случайно забытый на краю ванночки с магнитной жидкостью, притянет ее, и она перельется на стол.
- Не подносите магниты вплотную к людям, у которых установлены кардиостимуляторы.

Проведение эксперимента

1. Положите монету в чашку Петри.
2. С помощью пипетки аккуратно заполните чашку Петри магнитной жидкостью (см. меры безопасности).
3. Монета полностью покрывается магнитной жидкостью и остается на дне чашки Петри.
4. Поднесите магнит к дну чашки. Магнитная жидкость притянется к дну, а монета оторвется от дна и может начать передвигаться по магнитной жидкости.

5. Наночастицы магнитной жидкости, оставшейся на поверхности монеты, образуют характерную структуру «ежика», иголки которого направлены вверх.





В этом эксперименте можно использовать и другие немагнитные материалы (алюминий, латунь, камешки и т.п.).
По завершении эксперимента магнитную жидкость можно перелить обратно в бутылочку.

Результаты эксперимента

Наблюдаемый эффект разделения по плотности, который проявляется при изменении магнитного поля, можно использовать для разделения веществ с различной плотностью. Подобные процессы широко применяются в автомобильной промышленности (для разделения металлов), а также для извлечения золота и драгоценных камней.

Магнит создает поле, действующее в направлении, противоположном силе тяжести (гравитационному полю). Магнитные наночастицы в жидкости притягиваются магнитом, и материалы со сравнительно низкой плотностью начинают плавать по поверхности магнитной жидкости.

В этом эксперименте можно использовать и другие немагнитные материалы. Помните, что, работая с магнитной жидкостью, нужно очень осторожно обращаться с магнитом.

Коллоидные системы на основе наночастиц золота

Эффект Тиндаля был назван по имени открывшего его в 1868 году ирландского физика Джона Тиндаля (1820 – 1893). Суть этого эффекта заключается в рассеивании видимого света (с длиной волны 400–800 нм) взвешенными частицами микроскопически малого размера, диаметр которых сопоставим с длинами волн видимого света. Такие частицы имеют диаметр от 1 до 1000 нм. При рассеивании света при указанных условиях происходит его поляризация, спектральное разложение и т.д.

Системы, для которых наблюдается эффект Тиндаля, называются коллоидными (от греч. kolla – клей и eidos – вид), а частицы, образующие такую систему, именуются коллоидными, или коллоидами. Коллоидные растворы содержат частицы диаметром 10^{-5}–10^{-7} см, которые равномерно распределены (диспергированы) по всему объему жидкости. Коллоидные наночастицы настолько малы, что могут свободно проходить через поры бумажных фильтров, и их нельзя обнаружить с помощью оптического микроскопа.
Например, в растворах поверхностно-активных веществ коллоидные частицы представляют собой мицеллы, образованные из молекул поверхностно-активного вещества. Мицеллы (от лат. mica – частица, крупинка), также называемые ассоциированными коллоидами, представляют собой агрегаты (ассоциаты), образованные амфифильными молекулами (молекулами, содержащими как гидрофильные, так и гидрофобные области) поверхностно-активных веществ, которые, в свою очередь, в дисперсионной среде (обычно в воде) самопроизвольно собираются в кластеры. Поскольку мицеллы являются относительно крупными ассоциатами частиц, то растворы поверхностно-активных веществ могут иногда вести себя как коллоидные растворы.

С помощью эффекта Тиндаля можно отличать суспензии (гетерогенные смеси твердых веществ и жидкостей) от истинных (молекулярных) растворов (в которых размеры частиц растворенного вещества предельно малы и сопоставимы с размером частиц растворителя). В настоящее время эффект Тиндаля широко применяют в ультрамикроскопии. К коллоидным растворам также относятся растворы веществ с большой молекулярной массой (например, растворы белков или крахмала) и дисперсные системы – эмульсии (например, молоко), суспензии (взвесь частиц глины в воде и т.п.) или аэрозоли (например, сигаретный дым).
Эффект Тиндаля позволяет быстро и точно обнаружить присутствие всех упомянутых коллоидных систем.

Тиндаль также разработал метод нефелометрии – простой способ определения концентрации коллоидных частиц в растворах и аэрозолях по интенсивности рассеиваемого ими света. Этим методом также можно определять размеры коллоидных частиц (то есть молекулярные массы макромолекул).

Инфракрасный свет практически не рассеивается коллоидными частицами, что позволяет использовать его в современных противотуманных системах наблюдения.

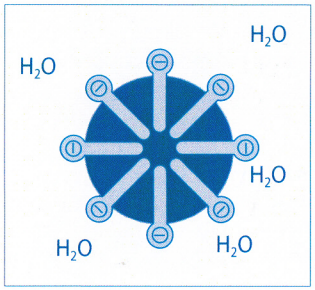
В Средние века люди использовали наночастицы для окрашивания стекол (в том числе церковных витражей и посуды). Одним из наиболее характерных примеров применения подобных «нанотехнологий» являются стекла насыщенного красного цвета (рубинового красного), который получали при добавлении в стекло мелких частиц золота.
Цвет стекла зависел от того, частицы какого металла в него добавляли. Например, золото давало рубиновый красный цвет, а серебро окрашивало стекло в яркий желтый цвет. Эти эффекты были побочным результатом алхимических опытов по получению золота. Наночастицы получали смешением металлической пыли, воды и дубильной кислоты, которую выделяли из хвойных деревьев.

Цветовые эффекты обусловлены резонансом поверхностных плазмонов – квазичастиц, играющих большую роль в проявлении оптических свойств металлов. Это явление заключается в том, что поверхностные электроны металла начинают осциллировать под воздействием света, падающего на поверхность металла. При этом они поглощают свет только определенной длины волны, которая зависит от размера и формы частиц, а также от плотности их распределения: чем больше частицы и чем плотнее они «упакованы»

между собой, тем больше длина поглощаемого ими света. Следовательно, при увеличении размера частиц длина волны отраженного света уменьшается, а стекло приобретает цвет, соответствующий этой длине волны.

Коллоидное золото представляет собой дисперсию наночастиц диаметром 12–18 нм. Такие частицы также называют кластерами золота. В кластере может содержаться от 3 до 50 000 атомов. Если кластеры распределены в объеме другой физической среды, то вся система в целом представляет собой коллоидный раствор.
В растворах кластеры золота не слипаются друг с другом благодаря присутствию на их поверхности органических молекул с длинной цепью из атомов углерода и одноименных электрических зарядов.

В следующем эксперименте мы будем получать кластеры золота с наноразмерами, доказательством чему послужит окрашивание раствора в характерный рубиново-красный цвет.



Мицелла

Одним из способов получения наночастиц золота является цитратный метод, который позволяет получать коллоидное золото или кластеры золота непосредственно в растворе.

Наночастицы золота находят применение в электронной микроскопии: антитела, помеченные такими частицами, используют в бионанотехнологии в качестве маркеров. При исследовании биологического материала (клеток, тканей, вирусов) под электронным микроскопом области, помеченные такими антителами, ярко высвечиваются.

Эксперимент 11. Обнаружение коллоидов с помощью эффекта Тиндаля

Описание эксперимента

Используя достаточно простую методику, вы увидите, как с помощью эффекта Тиндаля можно обнаружить коллоидные системы в жидкостях.

Материалы

Вам потребуется:

- никаких материалов из набора не потребуется

Дополнительно потребуется:

- 2 стеклянных химических стакана или 2 стеклянных контейнера с крышками
- источник направленного света (например, лазерная указка или маленький яркий фонарик)
- поваренная соль, раствор ПАВ (например, жидкое моющее средство)
- 1 куриное яйцо
- разбавленный раствор соляной кислоты

Меры безопасности

- Во время работы с разбавленным раствором соляной кислотой обязательно используйте средства индивидуальной защиты: защитные очки, халаты и резиновые перчатки.

Проведение эксперимента

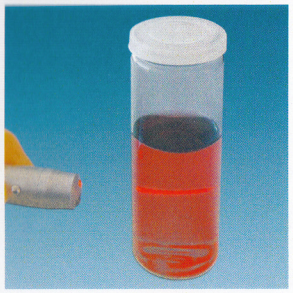
1. Налейте воду в стеклянный стакан. Полностью растворите в воде немного поваренной соли.
2. Осветите сбоку стакан с полученным раствором узким лучом света (проводите эксперимент в затемненном помещении). Поскольку соль полностью растворилась, никакого заметного эффекта не наблюдается.
3. Добавьте в раствор соли немного мыла (или жидкого моющего средства) и тщательно перемешайте. Теперь путь прохождения луча через раствор будет виден, несмотря на то что раствор остается прозрачным.

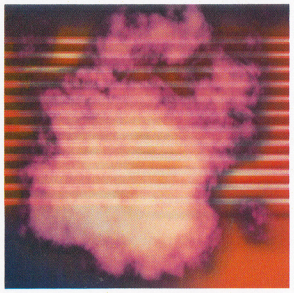
Дополнительный эксперимент с биологическим материалом

1. Растворите куриный белок примерно в 300 мл 1% раствора соли.
2. Осветите полученный раствор узким лучом света (проводите эксперимент в затемненном помещении). Если посмотреть на стакан сбоку, на пути луча будет видна яркая светящаяся полоса – появление эффекта Тиндаля.
3. Затем добавьте в раствор белка разбавленный раствор соляной кислоты. Белок свернется (денатурирует) с образованием белесоватого осадка. В верхней части стакана луч света в растворе снова не будет виден.

Результаты эксперимента

Если направить луч света сбоку на стеклянный стакан с раствором соли, луч будет невидим в растворе. Если луч света пропустить через стакан с коллоидным раствором (раствор ПАВ), он будет виден, потому что происходит рассеяние света на коллоидных частицах.





Эксперимент 12. Получение наночастиц золота

Описание эксперимента

В этом эксперименте мы будем получать кластеры наночастиц золота, доказательством чему послужит окрашивание раствора в характерный рубиново-красный цвет.

Одним из способов получения наночастиц золота является цитратный метод, который позволяет получать коллоидное золото или кластеры золота непосредственно в растворе.

В основе эксперимента лежит окислительно-восстановительная реакция золотохлористоводородной кислоты (также известной как тригидрат золотохлористоводородной кислоты), в результате которой ионы золота восстанавливаются до атомов с образованием кластеров. Раствор цитрата натрия служит не только в качестве восстановителя, но и выполняет роль дисперсионной среды, стабилизирующей образующиеся кластеры атомов золота. При добавлении восстановителя слияние (коагуляция) образовавшихся в результате реакции атомов металла прекращается. В результате коллоидный кластер заключается в своеобразную оболочку из лигандов в виде цитрат-ионов .

Материалы

Вам потребуется:

- раствор хлорида золота: тригидрат золотохлористоводородной кислоты ($HAuCl_4$)
- цитратный раствор: дигидрат цитрата натрия ($C_6H_5Na_3O_7 \times 2\ H_2O$)

Дополнительно потребуется:

- дистиллированная вода
- электроплитка или кипятильник, мешалка (ложка, стеклянная палочка), магнитная мешалка (предпочтительно)
- 1 химический стакан из огнеупорного стекла (50–100 мл)
- термометр (до 100°C)
- лазерная указка (если потребуется)
- этанол (например, денатурированный метиловым спиртом) или пропанол

Меры безопасности

Раствор хлорида золота имеет щелочную реакцию и представляет опасность для здоровья при проглатывании (относится к опасным веществам классов R 22 и R 34).

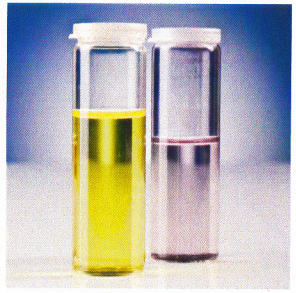
Проведение эксперимента

1. Добавьте 0,5 мл (приблизительно 15 капель) раствора хлорида золота к 28 мл дистиллированной (или бидистиллированной) воды.
2. Нагревайте полученный раствор на электроплитке или магнитной мешалке с подогревом.
3. Когда раствор нагреется до 100°C (если нет термометра, то эту температуру можно приблизительно определить по началу появления пузырьков пара в объеме воды), при интенсивном перемешивании добавьте в него как можно быстрее 1,5 мл цитратного раствора. Раствор начинает краснеть и приобретает глубокий рубиновый цвет. При более низких температурах (около 90°C) раствор окрасится приблизительно за 5 минут. Раствор может приобретать фиолетовый оттенок.
4. Наличие коллоидных частиц золота можно определить с помощью эффекта Тиндаля. Для этого нужно пропустить сбоку через стакан с раствором узкий луч света (например, от лазерной указки). В коллоидном растворе луч света будет виден.

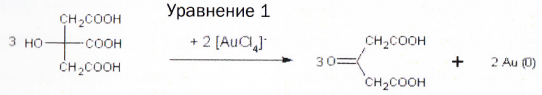
Полученный коллоидный раствор наночастиц золота чрезвычайно устойчив: даже спустя несколько недель признаков коагуляции и седиментации (осаждения) наночастиц не наблюдается.

Дополнительный эксперимент

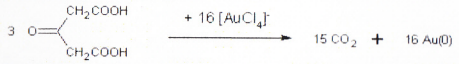
1. Для сравнения повторите эксперимент с другими концентрациями исходных веществ (например, возьмите 0,5 мл раствора хлорида золота и 50 мл дистиллированной воды). Сравните время, необходимое для полного окрашивания раствора в этом и в предыдущем экспериментах. Если затем повысить концентрацию цитрата натрия, образовавшиеся коллоидные частицы придадут раствору глубокий фиолетовый цвет, что обусловлено изменением размера коллоидных частиц.
2. Путем добавления в рубиново-красный раствор коллоидного золота этанола или изопропанола можно осадить коллоидные частицы золота. Эти спирты являются растворителями и содержат небольшие количества ионов, имеющих электрический заряд, противоположный заряду коллоидных частиц золота.
   В результате добавления спирта заряд на поверхности коллоидных частиц золота нейтрализуется, силы отталкивания между ними исчезают, вследствие чего частицы начинают коагулировать и осаждаться, а раствор утрачивает свой красный цвет. В зависимости от условий этот процесс может продлиться несколько дней.



Уравнение 1



Уравнение 2



Уравнения реакций получения кластеров золота

Результаты эксперимента

Раствор приобрел рубиновый цвет.

Если изменить концентрации исходных реагентов, раствор может стать фиолетовым. Пропуская через раствор луч лазерной указки, можно определить, присутствуют ли в этом растворе коллоидные частицы, хотя в данном случае эффект Тиндаля будет выражен не так сильно, как в рубиново-красном растворе.

Демонстрационный пример 2. Использование кластеров наночастиц золота в тесте на беременность

Описание эксперимента

Свойство наночастиц золота поглощать свет используется для обнаружения различных биомолекул. Для этого соответствующие им антитела маркируют частицами золота. Антитела селективно связываются с биомолекулами и при освещении белым светом таких маркированных золотом биомолекул они будут окрашиваться в разные цвета.

Это явление можно использовать для проведения тестов на наличие беременности. Для этого комплекс наночастиц золота с антителами равномерно распределяют на тестовой полоске. Входящие в комплекс антитела распознают в моче женщины гормон hCG (хорионический гонадотропный гормон человека, синтез которого в организме начинается сразу после наступления беременности), что позволяет установить наличие беременности на ранних сроках. Положительный результат теста отображается красным цветом в специальном окошке на тестовой полоске.

Такой тест на гормон hCG представляет собой одноэтапный иммунологический тест для быстрого определения наличия беременности, созданный по типу сэндвича.

Следует отметить, что прилагаемый к данному набору тест на наличие беременности предназначен только для демонстрации его возможностей. Однако если какая-нибудь школьница захочет проверить его на себе, не нужно ей этого запрещать. Вы всегда можете приобрести еще один тест в любой аптеке.

Меры безопасности

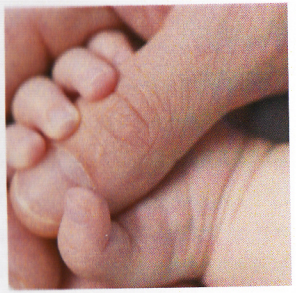
- Специальных мер безопасности в данном эксперименте не требуется.

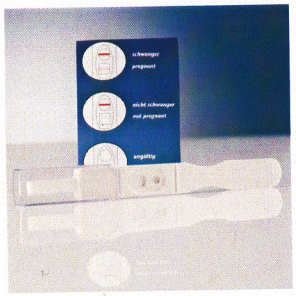
Результаты эксперимента

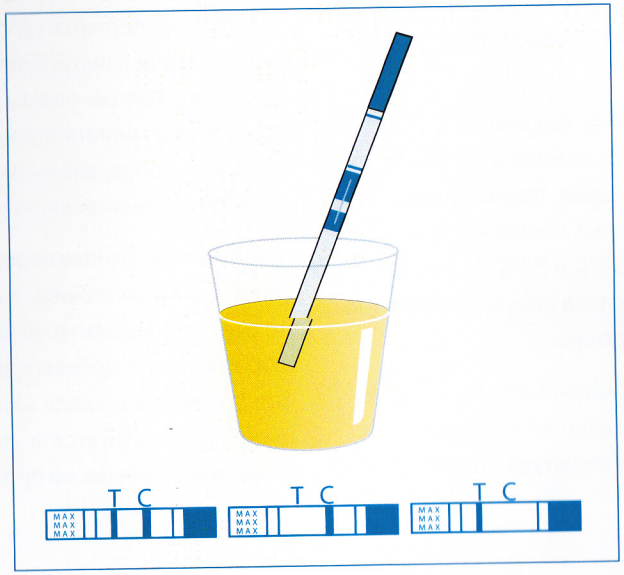
Хорионический гонадотропный гормон человека (hCG) представляет собой пептидный гормон, а точнее, относится к водорастворимым гормонам, вырабатываемым железами внутренней секреции человека для контроля различных функций организма. Гормон hCG во время беременности принимает участие в образовании плаценты, которая предназначена для обеспечения сохранности плода.

При контакте тестовой полоски с мочой коллоидные частицы золота начинают переходить в жидкость. Если в моче содержится гормон hCG, его захватят антитела, прикрепленные к коллоидным наночастицам золота. Под воздействием капиллярных сил эти сложные частицы будут мигрировать к контрольным окошкам. Здесь находится контрольная тест-линия, сенсибилизированная иммобилизованными (закрепленными) анти-hCG антителами, которые захватывают комплексы наночастиц золота с антителами к гормону hCG. Накопление коллоидных частиц золота на тест-линии приведет к ее покраснению. В зависимости от концентрации гормона hCG интенсивность красного цвета в области контрольной тест-линии будет меняться. Избыток наночастиц золота затем поглощается в области второй контрольной линии иммобилизованными здесь антителами, что придает красную окраску всей поверхности контрольного окошка. При отсутствии гормона hCG или при его низкой концентрации гормон и частицы золота либо не будут образовывать комплексы, либо их концентрация будет недостаточной, чтобы заметно окрасить тестовые полоски.

Еще одна область применения коллоидных наночастиц золота – это электронная микроскопия: антитела, помеченные такими частицами, используют как маркеры. Участки исследуемого биологического образца, маркированные антителами, будут ярко выделяться при попадании на них электронного пучка.







Эффект памяти формы металлов

Следует отметить, что эффект памяти формы (ЭПФ) металлов не является достижением нанотехнологий. Здесь не используются ни наночастицы, ни нанослои. Тем не менее, как показали новейшие исследования, деформация металлов, обладающих эффектом памяти, происходит на наноуровнях – поэтому вполне закономерно включить в настоящий набор еще один увлекательный эксперимент, который к тому же не займет много времени.

Сплавы с памятью формы – это металлические материалы, которые, будучи предварительно деформированы при определенной температуре, возвращаются к первоначальной форме при нагревании до этой температуры.

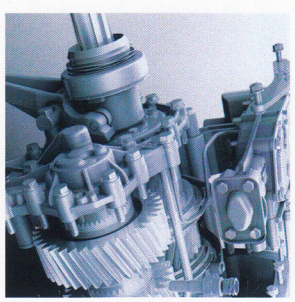
Эффект памяти формы металлов был открыт в 1951 году при изучении системы золото–кадмий и подтвержден в 1956 году на сплаве медь–цинк. Исследование этого эффекта продолжалось, и он был обнаружен у сплавов титана и никеля (нитинол: 45% Ti и 55% Ni), причем настолько сильный, что этот сплав стал играть важную роль в некоторых областях техники.

Сплавы с памятью формы обладают двумя различными типами кристаллической решетки в зависимости от того, выше или ниже их температура по сравнению с некоторой критической температурой фазового превращения. До достижения критической температуры сплав является гибким и легко может принимать любую форму. Такая структура называется мартенситной структурой, при которой атомы находятся в узлах относительно гибкой кристаллической решетки, позволяющей легко гнуть изделие из такого сплава. При изменении температуры или при внешнем механическом воздействии происходит не обусловленный диффузией фазовый переход низкотемпературной фазы (мартенситной структуры) в высокотемпературную фазу (аустенитную структуру), при которой атомы оказываются запертыми на своих предыдущих местах в виде жесткой конструкции. Если какое-либо изделие из сплава с памятью формы деформировать, когда сплав находится в мартенситном состоянии, и после этого нагреть его в определенном температурном диапазоне, это изделие вернет свою первоначальную форму.

Данные структурные переходы вызываются не диффузией отдельных атомов, а сдвигом целых групп атомов, то есть перемещениями нанообъектов. Возможность обратимости подобных превращений объясняется тем, что при них возникают напряжения, которые гораздо ниже предела упругости, и поэтому пластической деформации металла не происходит .

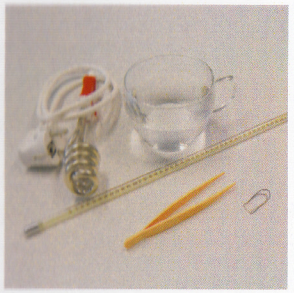
Сплавы с памятью формы применяются в следующих научно-технических областях:

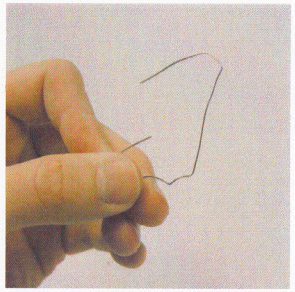
- медицинские технологии (например, для изготовления сосудистых протезов, проволочных проводников катетеров, различных игл и т.п.);
- аэрокосмические технологии (соединительные элементы для самолетов-истребителей);
- стоматология (при изготовлении зубных протезов не требуется установка фиксаторов– специальных приспособлений для укрепления зубов после лечения);
- автомобильная промышленность (автоматические коробки передач: пружина должна открывать клапан при определенной температуре масла, в этом случае не потребуется устанавливать дорогостоящее электронное оборудование).

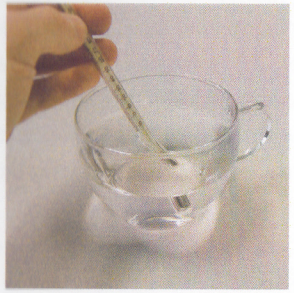


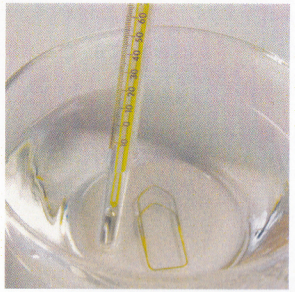
Результаты эксперимента

Независимо от того как была согнута проволока, она всегда принимает свою изначальную форму при нагреве до той температуры, при которой она «запомнила» эту форму.









Эксперимент 13. Сплавы с памятью формы – перемещения атомов на нанорасстояния

Описание эксперимента

Этот эксперимент проводится с проволокой, изготовленной из сплава НИТИНОЛ. Нитинол – это общее название сплавов на основе никеля и титана, которые обладают памятью формы. Проволока, которая используется в данном эксперименте, обладает псевдоупругими свойствами.

Материалы

Вам потребуется:

- проволока с ЭФП в форме скрепки для бумаг
- пластмассовый пинцет

Дополнительно потребуется:

- термометр
- вода
- емкость для воды
- нагреватель для воды (электроплитка, чайник или кипятильник)

Меры безопасности

- Специальных мер безопасности не требуется.

Проведение эксперимента

1. Согните из проволоки какую-нибудь фигуру.
2. Положите эту проволоку в емкость с водой.
3. Начните медленно нагревать воду в сосуде. При этом внимательно следите за температурой воды.
4. Отметьте, при какой температуре проволока вернется в исходную форму. Очень важно не нагревать воду выше этой температуры и сразу же извлечь проволоку из емкости с помощью пинцета. Температура проволоки не должна превышать 70°C, иначе эффект памяти формы будет безвозвратно утерян.

Проволоку можно нагревать любым способом (например, с помощью зажигалки), самое важное при этом – не перегреть проволоку и не уничтожить эффект памяти формы. Поэтому не подносите проволоку слишком близко к огню.

От песка до компьютерного чипа

Электроника играет непрерывно возрастающую роль в области развития и применения нанотехнологий. Сегодня много говорят о разработках интегральных наносхем или электронных нанопроцессоров, и основная цель этих исследований – максимально возможное уменьшение размеров электронных компонентов.

Такие нанокомпоненты уже применяются в микропроцессорах некоторых типов, в элементах памяти, лазерных диодах, светодиодах, ЖК-дисплеях, интегральных схемах на приборах с зарядовой связью (например, для цифровых видео- и фотокамер).

Из чего и как делают наночипы? В этой главе мы рассмотрим, как можно изготовить чрезвычайно сложный компьютерный чип из относительно дешевого сырья, а именно – из кварцевого песка.

Сегодня 95% всех полупроводниковых устройств делают из кремния (Si). По содержанию в земной коре кремний находится на втором месте (28%) после самого распространенного химического элемента – кислорода (46%).

Электрические свойства полупроводников напрямую зависят от количества примесных атомов в них. Поэтому для производства чипов с воспроизводимыми свойствами следует использовать сверхчистый монокристаллический кремний.

В природе кремний не встречается в чистом виде, а только в составе соединений с другими элементами. В основном это различные силикаты, и самым распространенным соединением кремния является его диоксид, то есть простой кварцевый песок (SiO_2) – кварцит. Но для электронной промышленности требуется только сверхчистый монокристаллический кремний и к тому же в огромных количествах.

Минерал кварц сформировался при охлаждении расплавов, обогащенных SiO_2. Чистый кварц прозрачен и бесцветен. Кварц может выделяться в виде правильных гексагональных кристаллов, которые называют горным хрусталем или кристаллическим кварцем (см. образец).

Исходное кремниевое сырье получают методом электродугового восстановления углеродом при температуре 2100°C. Протекающий при этом процесс описывается следующим уравнением химической реакции:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$$

Это чрезвычайно энергоемкий процесс – на получение одного килограмма кремния расходуется до 14 кВт-ч электроэнергии. Полученный при этом кремний, который называется техническим или металлургическим, содержит около 2% примесей (железа, алюминия, магния, кальция и углерода). Для последующей очистки технический кремний подвергают гидрохлорированию (обрабатке соляной кислотой) при температуре 300°C и переводят его в газообразный трихлорсилан $SiHCl_3$:

$$Si + 3HCl \rightarrow SiHCl_3 + H_2$$

Затем трихлорсилан подвергают фракционной перегонке, чтобы удалить все оставшиеся примеси, и затем кремний восстанавливают в атмосфере водорода при температуре 1100°C, в результате чего получают сверхчистый кремний:

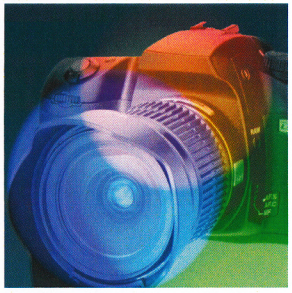
$$SiHCl_3 + H_2 \rightarrow Si + 3HCl$$

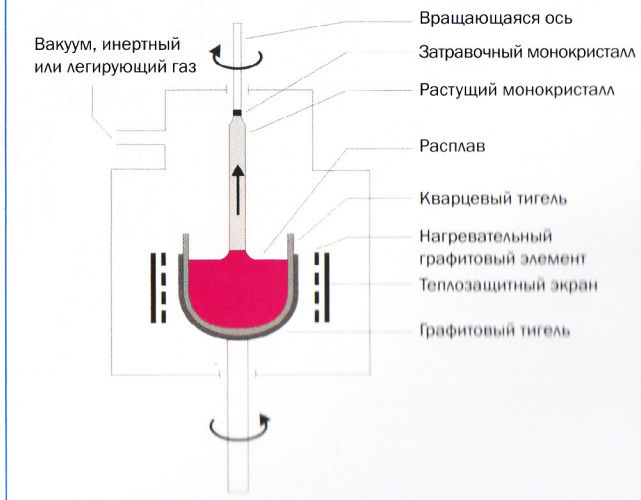
$$4SiHCl_3 \rightarrow Si + 3SiCl_4 + 2H_2$$

Из газовой фазы кремний осаждают в виде толстого поликристаллического слоя на тонкие нагретые кремниевые стержни.

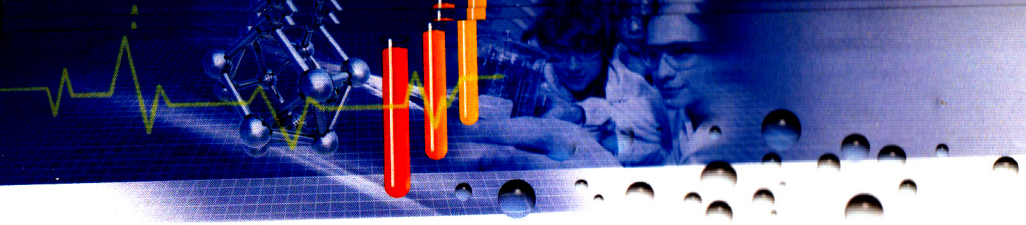
Монокристаллы из поликристаллического кремния можно получать двумя способами:

1. Метод вытягивания из расплава. Поликристаллический кремний нагревают до плавления в кварцевом тигле (температура плавления кремния составляет 1413°С). В расплав погружают так называемые затравочные монокристаллы кремния и начинают очень медленно (со скоростью 1–3 мм/мин) вытягивать их из расплава. В результате получают монокристаллы цилиндрической формы.
2. Метод зонной плавки и очистки. Небольшую узкую часть (зону) поликристаллического кремниевого стержня расплавляют методом индукционного нагрева рядом с затравочным монокристаллом. Зону расплава постепенно перемещают, а расплавленный кремний кристаллизуется в виде монокристалла.





Метод вытягивания из расплава



Глава 7

Чтобы получить кремниевые подложки (пластины), монокристаллические стержни обтачивают до требуемого диаметра и затем с помощью узкой алмазной ножовки или специального диска разрезают на тонкие диски. Кромки полученных дисков скругляют. Для получения строго плоскопараллельных пластин (подложек, или «вафлей») монокристаллического кремния с идеальной поверхностью эти диски последовательно шлифуют, полируют и травят.

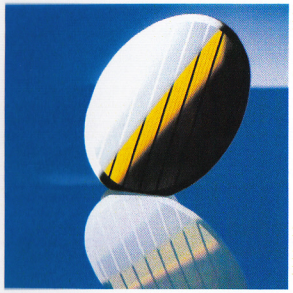
Чипы изготавливают на подложках методом литографии (от греч.: lithos – камень и graphein – писать). На поверхность подложки наносят покрытие из тонкого (не более 1,5 мкм) слоя свето(фото)чувствительного материала (фоторезист).
На подложку со слоем фоторезиста наносят так называемую маску – изображение будущей электрической схемы чипа, которое состоит из прозрачных и непрозрачных для света участков. Маску плотно прижимают к фоточувствительному слою и облучают светом определенной длины волны (то есть засвечивают фоторезист) Такой процесс называется экспозицией. Засвеченный фоторезист проявляют в специальных ваннах и получают на полимерном слое изображение точно так же, как при обычном изготовлении фотографий.

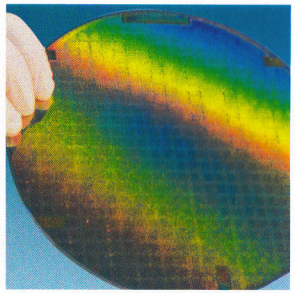
Полимерный слой – это мягкая пленка, которая легко подвергается разрушению. Изображение с пленки переносят на поверхность кремниевой подложки путем травления или металлизации (перевод изображения). Затем полимерный слой удаляют, поскольку он не является функциональным элементом чипа и служит только для переноса изображения.

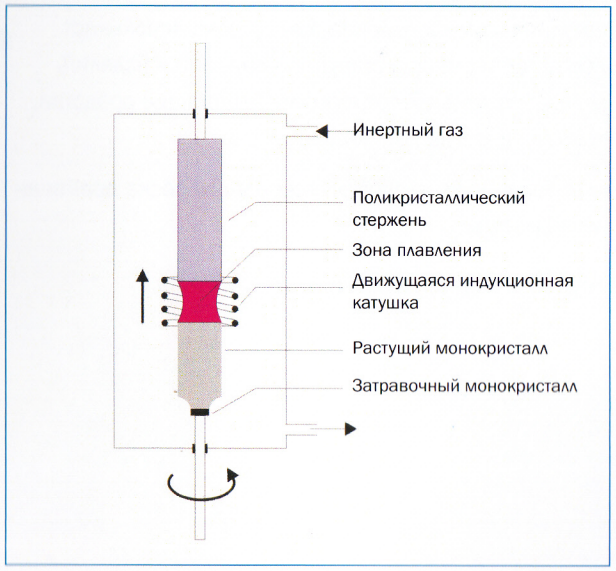
При изготовлении компьютерных чипов все эти операции последовательно повторяют до 20 раз, используя при этом 20 различных масок. Такой комплект масок стоит несколько сотен тысяч евро.

Чем короче длина волны света, которым облучают будущие чипы на стадии литографии, тем более мелкие элементы схемы можно будет получить на этом чипе. Современные технологии используют как ультрафиолетовое (длина волны 365 нм), так и более высокочастотное излучение (с длиной волны 157 нм), что позволяет получать схемы с проводниками шириной всего 45 нм. Чем мельче элементы схемы, тем больше интегральных схем может уместиться на одном чипе. Например, современный компьютерный чип может содержать до 100 миллионов отдельных транзисторов.

Это означает, что на одной кремниевой положке можно разместить несколько сотен чипов. Когда все литографические стадии полностью завершены, кремниевые подложки разрезают на отдельные чипы с помощью специального станка с алмазным диском. После этого каждый чип наклеивают на пластмассовую или керамическую микросхемную панель и подсоединяют к нему контакты в виде очень тонких металлических проводников (около 25 мкм в диаметре). На последнем этапе изготовления чип на панеле заливают пластмассой.







Метод зонной плавки и зонной очистки

Демонстрационный пример 3. Кварцевый песок

Описание эксперимента

Кварцевый песок состоит в основном из крупинок кварца. Обычный кварцевый песок служит сырьем для производства микросхем.

Кварцевый песок также используется для производства оконного стекла, стеклянной посуды, для изготовления форм в литейном производстве.

Прозрачное стекло можно получить только из песка с низким содержанием железа (менее 0,03%).

В плавильных печах используют в основном мелкий кварцевый песок с размером зерен от 0,1 до 0,4 мм и остаточной влажностью менее 5% (так называемый мокрый песок).

Кроме того, кварцевы песок служит сырьем для производства керамики и стекловолокна. Его широко используют в строительстве и для пескоструйной обработки изделий, добавляют в абразивные материалы и чистящие средства, применяют в качестве наполнителя и т. д.

Считается, что мировые запасы кварцевого песка практически неисчерпаемы.

Меры безопасности

- Специальных мер безопасности не требуется.

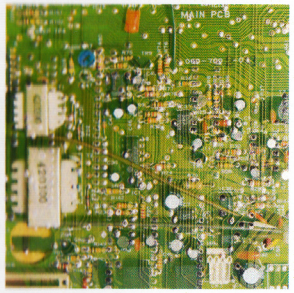
Демонстрационный пример 4. Горный хрусталь

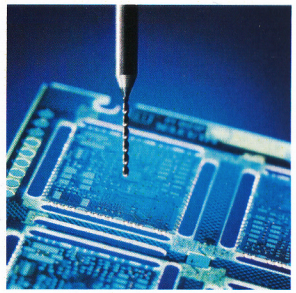
Описание эксперимента

Кварц – один из самых распространенных минералов земной коры, породообразующий минерал большинства магматических и метаморфических пород. Кварц, не содержащий примесей, абсолютно прозрачен и бесцветен. Кристаллы такого кварца имеют правильную форму и называются горным хрусталем. В основном в природе встречается непрозрачный кварц молочно-белого цвета, что обусловлено наличием в кристаллах микроскопических включений жидкостей и газов. Кварц может быть окрашен в самые разные цвета – в зависимости от того, ионы каких металлов входят в состав его кристаллической решетки, вытесняя атомы кремния. Цвет различных окрашенных разновидностей кварца можно изменить путем обработки ионизирующими излучениями. Кварц имеет много разновидностей:

- аметист – прозрачный кварц фиолетового цвета который, довольно часто встречается в природе или появляется в результате воздействия гамма-излучения на содержащиеся в кристаллической решетке ионы железа.
- цитрин – имеет цвет от желто-лимонного до янтарного; может быть получен искусственно путем обжига дымчатого кварца или аметиста;
- аметрин – редкая разновидность кварца, сочетающая в себе признаки аметиста и цитрина, его кристаллы имеют двойную желто-фиолетовую окраску;
- празиолит (зеленый кварц) – прозрачная светло-зеленая разновидность кварца, в природе встречается крайне редко; его также можно получить искусственно путем обжига при температуре около 500 °C аметиста или цитрина;

Описание эксперимента	• дымчатый кварц (хрусталь) – имеет цвет от серо-коричневого до черного (морион). Цвет может быть природным или полученным искусственно при облучении гамма-лучами. Розовый кварц (воробьевит) – прозрачная разновидность розового цвета, обусловленного ионами фосфора, внедрившимися в кристаллическую решетку кварца.
Меры безопасности	• Специальных мер безопасности не требуется.





Демонстрационный пример 5. Кремниевая подложка

Описание эксперимента	Положки («вафли») представляют собой тонкие пластины из полупроводниковых материалов (например, кремния), на которых размещены элементы интегральных схем, называемых чипами. Один чип может состоять из одной или нескольких микросхем, соединенных между собой. Микросхема, в свою очередь, образована огромным количеством транзисторов, конденсаторов, сопротивлений и индуктивностей, которые формируют на поверхности кремниевой подложки путем изменения электрических свойств монокристалла кремния методом литографии.
Меры безопасности	• Кремниевые подложки чрезвычайно хрупкие, поэтому следует обращаться с ними очень аккуратно.

Чем мельче частицы, тем сильнее эффект

Идея использования нанотехнологий в производстве различных видов оружия не так уж и нова. Исследования, проведенные в 2006 году, показали, что особые свойства дамасской стали обусловлены наличием в ее составе углеродных нанотрубок. В Средние века арабы ковали сабли из дамасской стали и успешно применяли их в военных битвах против крестоносцев. В те времена лучшие технологии ковки металлов были разработаны в Персии. Они включали в себя сложную термомеханическую обработку стали, в результате которой образовывались наноструктуры, а сталь приобретала исключительные свойства. Углеродные нанотрубки внутри клинка формировались в результате проведения циклов нагрева и охлаждения и способствовали образованию тонких волокон цементита (карбида железа), придающих стали необычайную твердость. И конечно, при этом древние кузнецы даже не подозревали о существовании наноструктур.

Нет ничего удивительного в том, что возможности нанотехнологий привлекли внимание военных, поскольку:

- наночастицы могут повышать эффективность ракетного топлива и увеличивать ресурс аккумуляторов управляемых ракет;
- поверхности, насыщенные наночастицами вольфрама, идеальны для защиты от взрыва боеприпасов;
- добавки наночастиц улучшают характеристики взрывчатых веществ и повышают точность стрельбы;
- мощность взрывчатых веществ при добавлении наночастиц значительно возрастает: чем мельче частицы, тем больше химически активная поверхность, а следовательно, тем сильнее взрывной эффект.

Мы, конечно, не будем предлагать школьникам стрелять из пушки или совершать что-либо подобное, чтобы сравнить в действии взрывчатку с наночастицами и без них – это было бы слишком опасно.
Тем не менее, в следующих экспериментах нам придется иметь дело с мельчайшими и очень активными частицами, но, в данном случае вполне безопасными – со спорами плауна (ликоподия).

Эксперимент 14. Огнедышащий факир

Описание эксперимента

Ликоподий (также известный как «волчья лапа», «лисий хвост» и плаун) – это представитель семейства плаунов булавовидных. Все они относятся к споровым (криптогамным) растениям.

В народной медицинской практике споры ликоподия использовали для подсушивания ран (поэтому их также называли ведьминым порошком).

В качестве лекарственного средства ликоподий применяют для лечения таких болезней, как цистит, подагра и ревматизм. Споровые палочки растения находятся в желтых колосках и созревают в период с июля по август. В отличие от стебля и листьев ликоподия, его споры не ядовиты. Раньше аптекари использовали споры ликоподия для обсыпки пилюль, чтобы они не прилипали друг к другу и легко проглатывались пациентом.

В наше время споры ликоподия находят применение в производстве пиротехнических изделий. А криминалисты используют эту пыльцу (в сочетании с другими веществами) для выявления отпечатков пальцев.

Так – неправильно: экспериментатор опасно держит пипетку и слишком слабо дует в нее

Описание эксперимента

Средний диаметр спор ликоподия составляет 30 мкм (то есть 30 000 нм). Несмотря на разницу в размерах спор ликоподия и наночастиц на несколько порядков, споры достаточно малы, чтобы на их примере продемонстрировать чрезвычайно высокую реакционную способность очень мелких частиц.

Вместо спор ликоподия в этом эксперименте можно использовать также муку или порошок какао. Хотя частицы этих продуктов крупнее спор, они тоже обладают очень высокой реакционной активностью (поинтересуйтесь статистикой взрывов пыли на мельницах и сахарных заводах).

Материалы

Вам потребуется:

- длинная пипетка, имеющая носик с небольшим отверстием
- споры ликоподия в стеклянном контейнере с крышкой

Дополнительно потребуется:

- источник огня (зажигалка, свеча или спички)
- ножницы

Меры безопасности

Используемый в данном эксперименте способ «выдыхания огня» не совсем безопасен. Поэтому проводить его может только взрослый экспериментатор, который хорошо понимает все связанные с этим риски и знает, как их избежать.
Для «выдыхания огня» следует использовать трубку. Ни в коем случае не выдыхайте частицы в открытый огонь, источник которого расположен близко ко рту.

Споры ликоподия не ядовиты. Но если они попали вам в рот, немедленно прополощите его большим количеством воды, поскольку эти споры моментально обезвоживают слизистую оболочку ротовой полости, вследствие чего вы будете ощущать неприятную сухость и сильную жажду.

Проведение эксперимента

1. Обрежьте пипетку ножницами с обоих концов так, чтобы получилась трубка, изображенная на рисунке.
2. Заткните пальцем узкий конец пипетки и аккуратно насыпьте в нее семена ликоподия (примерно на 2 см) – этого будет вполне достаточно для успешного проведения эксперимента.
3. Удерживая пипетку горизонтально, поднесите ее широким концом к губам и произведите резкий выдох – чтобы споры быстро вылетели из пипетки узкой струей, которая должна попасть в огонь. Источником огня может послужить зажигалка (максимально откройте клапан, чтобы получить высокое пламя), свеча с длинным фитилем или, Бунзеновская горелка. Удостоверьтесь, что пламя не может попасть на ваше лицо. Помните: что выдыхать споры необходимо сильно и резко.

А вот так – правильно!

Результаты эксперимента

Поскольку споры ликоподия очень мелкие, они сгорают очень быстро и при этом создают огромный огненный факел.