УДК 372.853

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ГИДРОФОБНОСТЬ SURFACE TENSION HYDROPHOBICITY

Усатов И. В., ученик 9 класса “А”;
ГБНОУ “Лицей №84 им. В. А. Власова”; г. Новокузнецк
Руководитель: учитель физики, Еремина Ирина Васильевна

Аннотация. В данной работе рассматривается явление поверхностного натяжения и его влияние на поведение жидкостей, а также исследуется концепция гидрофобности. Описаны основные механизмы, лежащие в основе поверхностного натяжения, включая взаимодействие молекул в жидкости и их ориентацию на границе раздела фаз. Экспериментально изучено, как различные поверхности и материалы (гидрофобные и гидрофильные) влияют на свойства жидкости, такие как углы смачивания и форма капель. Работа включает как теоретическую часть, освещающую основные физические принципы, так и практическую часть, в которой демонстрируются эксперименты для наблюдения и анализа эффектов поверхностного натяжения и гидрофобных свойств материалов.

Ключевые слова: гидрофобность, поверхностное натяжение, краевой угол, смачивание, несмачивание, мениск.

Abstract. This work explores the phenomenon of surface tension and its impact on the behavior of liquids, as well as the concept of hydrophobicity. The basic mechanisms behind surface tension are described, including the interactions between molecules in the liquid and their orientation at the phase boundary. The experiment investigates how different surfaces and materials (hydrophobic and hydrophilic) affect the properties of liquids, such as contact angles and droplet shapes. The work includes both theoretical aspects, explaining the fundamental physical principles, and practical experiments that demonstrate and analyze the effects of surface tension and hydrophobic properties of materials.

Keywords: hydrophobicity, surface tension, wetting, non-wetting, meniscus.

В окружающем нас мире наряду с тяготением, упругостью и трением действует еще одна сила, на которую мы обычно мало или совсем не обращаем внимания. Сила эта сравнительно невелика, ее действие никогда не вызывает впечатляющих эффектов. Тем не менее мы не можем налить воды в стакан, вообще ничего не можем проделать с какой-либо жидкостью без того, чтобы не привести в действие силы, о которых у меня пойдет речь в этой работе. Это силы поверхностного натяжения.

Вода - основа жизни, необходимая каждому организму, существующему на Земле. Но в то же время вода обладает и разрушительной силой. Не зря существует пословица: «Вода камень точит». Излишняя влажность способна нанести вред даже самым прочным конструкциям и материалам. Для обеспечения защиты предметов от намокания, ученые изобрели специальное по-

крытие, способное не смачиваться, и отталкивать влагу. Такие покрытия называют гидрофобные.

Объект исследования: гидрофобные материалы.

Предмет исследования: свойства гидрофобных материалов.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

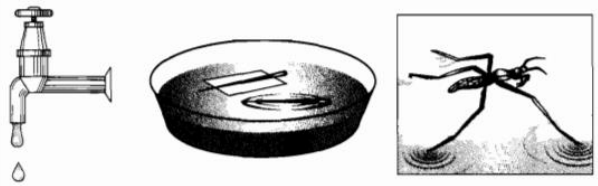
- выяснить причину «несмачиваемости» некоторых поверхностей;
- провести опыты с гидрофобными материалами;
- проанализировать результаты и сделать соответствующие выводы;
-рассмотреть практическое использование гидрофобных материалов;
-зафиксировать технику проведения и результаты своих опытов с помощью фото-, видеотехники;.

Методы исследования: изучение источников, практические опыты, наблюдение, сравнение, анализ.

I. Силы поверхностного натяжения

Проще всего уловить характер сил поверхностного натяжения, наблюдая образование капли у плохо закрытого или неисправного крана. Всмотритесь внимательно, как постепенно растет капля, образуется сужение -шейка, и капля отрывается. Не нужно много фантазии, чтобы представить себе, что вода как бы заключена в эластичный мешочек, и этот мешочек разрывается, когда его прочность становится недостаточной для удержания большой массы воды. В действительности, конечно, никакого мешочка нет, но сам поверхностный слой воды ведет себя как растянутая эластичная пленка.

Если осторожно положить иглу (или лезвие безопасной бритвы) на поверхность воды. Поверхностная пленка прогнется и не даст игле (лезвию) утонуть. По той же причине легкие водомерки могут быстро скользить по поверхности воды.



Прогиб пленки не позволяет выливаться воде, осторожно налитой в достаточно частое решето. Так что можно «носить воду в решете». Ткань то же решето, образованное переплетением нитей. Поверхностное натяжение препятствует просачиванию воды сквозь ткань, и поэтому она не промокнет насквозь мгновенно.

Поверхность жидкости стремится к сокращению

Многочисленные наблюдения и опыты показывают, что жидкость принимает такую форму, при которой ее свободная поверхность имеет наименьшую площадь. В своем стремлении сократиться поверхностная пленка придавала бы жидкости сферическую форму, если бы не притяжение к Земле. Чем меньше капелька, тем большую роль играют поверхностные силы по сравнению с объемными (силами тяготения). Поэтому маленькие капельки росы близки по форме к шару. Поверхность жидкости обладает загадочным на первый взгляд свойством. Она стремится сократиться так, чтобы площадь ее поверхности стала минимальной.

Молекулярная картина поверхностного слоя

Каждая молекула на поверхности притягивается остальными молекулами, находящимися внутри жидкости, и поэтому имеет тенденцию к погружению вглубь. Так как жидкость текуча из-за перескоков молекул из одного «оседлого» положения в другое, то она принимает такую форму, при которой число молекул на поверхности минимально, т. е. площадь поверхности минимальна. А минимальную поверхность при данном объеме имеет шар.

Площадь поверхности жидкости уменьшается, и воспринимается это как поверхностное натяжение.

Возникновение поверхностных сил нельзя объяснить столь просто и наглядно, как возникновение сил упругости, где все связано с изменением расстояний между молекулами. Силы же поверхностного натяжения никак не меняются по мере сокращения площади поверхности пленки, так как плотность жидкости, а, следовательно, и среднее расстояние между молекулами на поверхности не меняются.

Молекулы поверхностного слоя находятся в среднем на больших расстояниях друг от друга, чем молекулы внутри жидкости. Жидкость в поверхностном слое находится в растянутом, напряженном состоянии и потому вдоль поверхности действует сила, стремящаяся сократить эту поверхность.

Когда вода из опрокинутого стакана разливается по полу или когда мы выдуваем мыльный пузырь, поверхность жидкости увеличивается. При этом возникают новые участки разреженного поверхностного слоя. Среднее расстояние между молекулами при их переходе из глубины жидкости на ее поверхность возрастает. Силы притяжения между молекулами жидкости совершают при этом отрицательную работу. В соответствии с законами механики это означает увеличение потенциальной энергии молекул, перешедших из глубины жидкости на поверхность. Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с энергией, которой эти молекулы обладали бы, находясь внутри жидкости.

Избыточную потенциальную энергию, которой обладают молекулы на поверхности жидкости, называют поверхностной энергией. Это один из видов внутренней энергии.

Молекулы на всех участках поверхностного слоя жидкости находятся в одинаковых условиях, и два участка одинаковой площади обладают одинаковой поверхностной энергией. Это означает, что поверхностная энергия прямо пропорциональна площади поверхности жидкости. Отношение поверхностной энергии U участка поверхности жидкости к площади S этого участка есть величина постоянная. Эту величину называют коэффициентом поверхностного натяжения или просто поверхностным натяжением и обозначают буквой σ:

$$\sigma = \frac{U_{\text{п}}}{S}.$$

Поверхностное натяжение представляет собой удельную поверхностную энергию, т. е. энергию, приходящуюся на поверхность единичной площади. В СИ поверхностное натяжение выражается в джоулях на квадратный метр (Дж/м²). Так как 1 Дж

= 1 Н * м, то поверхностное натяжение можно выражать и в ньютонах на метр (Н/м). Поверхностное натяжение σ зависит от природы граничащих сред и от температуры.

Силу, которая действует вдоль поверхности жидкости перпендикулярно линии, ограничивающей эту поверхность, и стремится сократить ее до минимума, называют силой поверхностного натяжения.

II. Смачивание и несмачивание. Краевой эффект.

На границе жидкость - твердое тело уже нельзя не считаться с силами притяжения между молекулами жидкости и молекулами твердого тела.

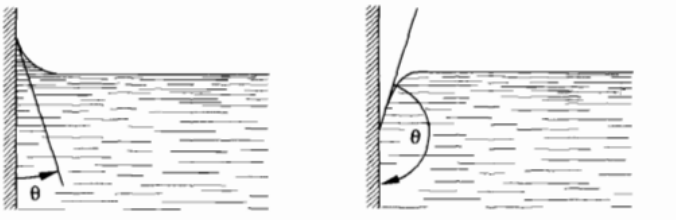
Более того, в ряде случаев сила притяжения между молекулами жидкости и твердого тела оказывается больше силы притяжения между молекулами самой жидкости. В этом случае про жидкость говорят, что она смачивает твердое тело. Если силы притяжения между молекулами жидкости больше сил притяжения молекул твердого тела и молекул жидкости, то такая жидкость называется несмачивающей.

Так, например, стекло смачивается водой, значит сила притяжения между молекулами воды и молекулами стекла больше силы притяжения молекул воды.

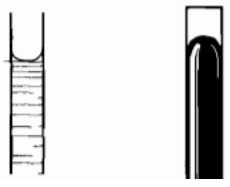
Отличить смачивающую жидкость от несмачивающей очень просто. Для этого достаточно нанести каплю жидкости на поверхность твердого тела. Если жидкость смачивает тело, то капля растекается по поверхности, несмачивающая жидкость не растекается.

Мениск

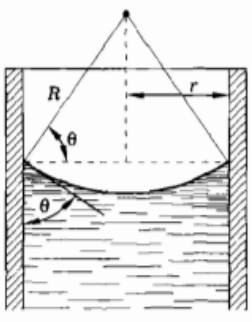
Форма поверхности жидкости в том месте, где она соприкасается с твердой стенкой и газом, зависит от того, смачивает или не смачивает жидкость стенки сосуда. Если жидкость является смачивающей, то угол между касательной к поверхности жидкости и твердым телом на общей границе трех сред, отсчитываемый внутрь жидкости (краевой угол), острый. В том случае, когда жидкость не смачивает твердое тело, краевой угол тупой. В случае полного смачивания 0°, а полного несмачивания 180°.



В очень узком сосуде поверхность жидкости становится изогнутой. Изогнутая поверхность жидкости называется мениском. В узких трубках смачивающие жидкости имеют вогнутый мениск, несмачивающие - выпуклый .

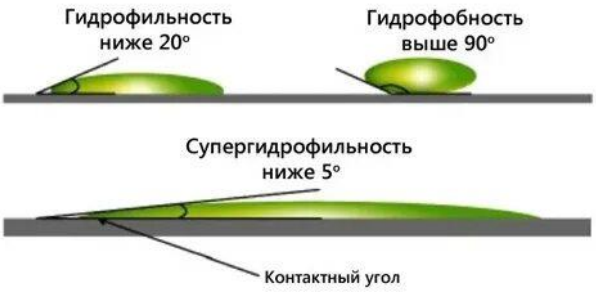


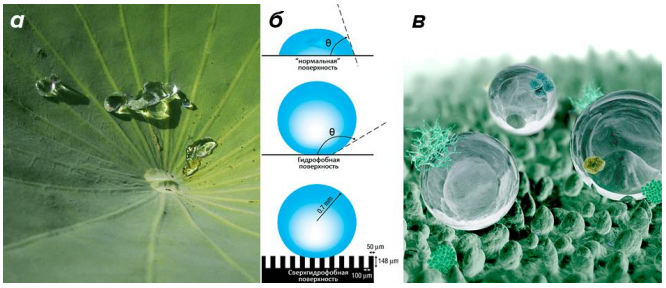
В узких трубках при полном смачивании (или несмачивании) мениск жидкости представляет собой полусферу, радиус которой равен радиусу г канала трубки. Если смачивание (или несмачивание) неполное, то мениск жидкости в узких трубках также принимают за часть сферы, радиус ко-



торой R связан с радиусом трубки соотношением $r = R\cos\theta$.

Теперь рассмотрим каплю жидкости на горизонтальной поверхности. Несмачивающая жидкость (гидрофобная) стремится уменьшить границу (площадь) своего соприкосновения с твёрдым телом, по возможности отступая от него. Капля такой жидкости на горизонтальной поверхности твёрдого тела примет форму сплюснутого шара. Угол θ, образованный поверхностью твёрдого тела и касательной к поверхности жидкости, называется краевым.





В середине 70-х годов прошлого учеными-ботаниками было открыто явление самоочистки листьев и цветков некоторых растений. Это явление назвали – эффект лотоса. Цветки этого цветка всегда чисты в грязной тине водоёмов. С помощью электронных микроскопов исследователями было обнаружено, что листья и цветки некоторых растений выделяют воскоподобное вещество кутин, которое образует на поверхности особую структуру в виде «шипов». Капли воды соприкасаются только с бугорками - зубчиками, так что площадь контакта получается крохотной. Чем больше контактный угол воды с поверхностью, тем меньше возможности у капли воды «растечься» по остриям и поэтому она стремиться свернуться в шарик, сцепляясь с частицами грязи, пыли, со спорами микробов, удаляясь, оставляя сухую чистую поверхность.

Данный эффект наблюдается не только у лотоса, но и у других растений: листья кактуса, капусты, камыша, водосбора, тюльпана. У водоплавающих птиц ребристая структура оперения и специальный жир придают защитное водоотталкивающее свойство их обладателям.

Лист лотоса, по которому вода бегает, собравшись в шарики, водоотталкивающие поверхности и защитные составы для обуви, плавающие в бульоне кружки масла — всё это примеры свойства молекул, называемого гидрофобностью.

Закон Кассье определяет эффективное значение угла контакта θ_c с жидкостью в случае неоднородной поверхности. Закон объясняет, как можно увеличить значение контактного угла для поверхности, всего лишь придав ей шероховатость. Математическое выражение закона следующее:

$$\cos\theta_c = \gamma_1 \cos\theta_1 + \gamma_2 \cos\theta_2,$$

где θ_1 — угол контакта компонента 1, присутствующего в композиционном материале, с долей площади поверхности γ_1, а θ_2 — угол контакта компонента 2 с долей площади поверхности γ_2.

Видно, что при малых γ_1 и больших θ_1 возможно создание поверхности с очень большим углом контакта.

Ученые разработали искусственные сверхгидрофобные материалы (например, нанопин пленка), основанные на использовании этого закона.

Классические представления о гидрофобных поверхностях говорят, что показателем тут является краевой угол смачивания θ, о котором говорилось ранее и который для смачиваемых поверхностей меньше прямого угла (90°), а для несмачиваемых — больше него. В частности, для капельки воды на поверхности парафина θ = 109°, а на поверхности гидрофобного известного материала — фторопласта — это будет 112°. В то же время, «абсолютно» гидрофобная поверхность описывалась бы углом 180°, когда вода скатывается с поверхности, ни секунды на ней не задерживаясь.

Самоочищающиеся поверхности технически можно воспроизвести, используя воскоподобные вещества - химический способ, и нанесением лазером микро рельефности на металле – физический способ.

Сферы применения могут быть революционными: от изготовления поверхностей самолетов, которые позволят избежать замерзания фюзеляжа, до антипригарных панелей, телефонов, компьютеров, телевизоров, автомобилей. Возможно применение этого метода для создания 100-процентных эффективных систем сбора воды в слаборазвитых странах и создания уборных в районах, где воды недостаточно, чтобы обеспечить эффективную очистку.

Именно поэтому в последнее время проводятся интенсивные исследования по разработке и производству самоочищающихся или устойчивых к загрязнению изделий и покрытий в самых различных отраслях экономики

Экспериментальное исследование свойств гидрофобных материалов

Опыт 1. Исследование гидрофобного спрея.

Ход опыта: возьмем водоотталкивающую пропитку для обуви. Нанесем ее на поверхность одного ботинка из замши, второй ботинок не обрабатываем. Через 20 минут подставим оба ботинка под струю воды.

Результат: с обработанного ботинка вода моментально сбегает крупными

каплями и его поверхность остается сухой. Второй ботинок промок.

Вывод: спрей сделал ботинок непромокаемым. Дело в том, что основа пропитки - фторкарбоновые смолы, в которых за гидрофобные свойства отвечает карбон(является составом углеродных графитных частиц, не впитывающих воду). Вода не может попасть в структуру кожи, замши, поэтому стекает с обработанного ботинка.

Обработанный ботинок

Необработанный ботинок

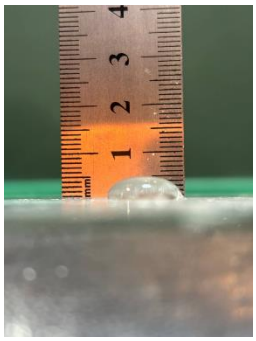
Теперь проведем похожий опыт, но вода будет горячая. В течение некоторого времени результат был аналогичен - с обработанного ботинка вода скатывалась мгновенно, а необработанный - сразу промокал. Но через 10 - 15 минут можно заметить, что вода на обработанном ботинке стала задерживаться дольше. Это можно объяснить тем, что поверхностное натяжение горячей воды меньше чем холодной, следовательно вода не может принять шарообразную форму и ее площадь соприкосновения с поверхностью будет больше. Кроме того сила притяжения молекул между собой в горячей воде значительно меньше, чем в холодной. Следовательно становится больше сила притяжения между молекулами воды и твердого тела.

Итак, если вы хотите, чтобы ваша обувь прослужила дольше, а ноги оставались сухими, то перед выходом на улицу в дождь и снег, обрабатывайте обувь гидрофобным спреем. Однако не следует мыть обувь горячей водой.

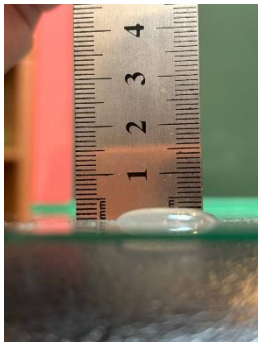
Опыт 2. Зависимость краевого угла от рода поверхности

Ход опыта: возьмем предметное стекло, условно разделим его на три части. На одну часть нанесем восковое покрытие, на вторую жир(сало), третью - оставим чистой.

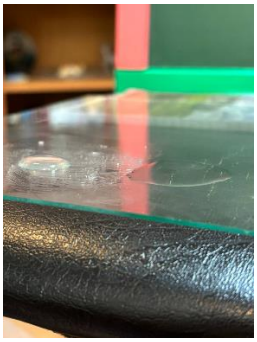
Пипеткой сделаем капли дистиллированной воды одинаковой температуры и объема на каждую из поверхностей. Постараемся с помощью измерительной линейки оценить высоту капли.



На восковой поверхности



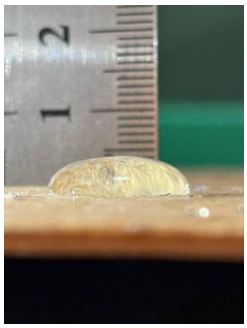
На поверхности, обработанной жиром



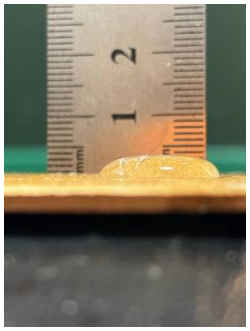
Капля на поверхности жира и чистом стекле

Вывод: капля на поверхности стекла растекается, стекло смачивается водой. На поверхности, обработанной жиром и воском капля стремится уменьшить площадь соприкосновения с поверхностью, то есть принять форму шара. Краевой угол больше на восковой поверхности, чем на поверхности, обработанной жиром. Значит воск более гидрофобен.

Теперь проведем тот же опыт, только не на стекле, а на древесно-стружечной плите.



На ДСП, обработанной воском



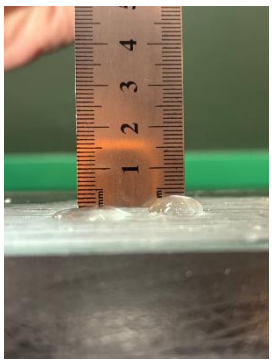
На ДСП, обработанной жиром

На поверхности ДСП

Вывод: как мы видим, все три фотографии отличаются от капель на стекле, и даже на необработанной поверхности ДСП капля не так сильно растекается, как по стеклу. То есть поверхность ДСП менее смачиваемая по сравнению со стеклом. А закономерность остается та же, краевой угол на обработанной воском поверхности больше краевого угла на обработанной жиром.

Если при строительстве домов использовать строительные материалы, обработанный гидрофобными покрытиями, то срок службы таких сооружений будет значительно больше.

Опыт 3. Зависимость краевого угла от температуры.



Ход опыта: возьмем предметное стекло, пипеткой сделаем капли дистиллированной воды разной температуры, но одинакового объема на поверхность стекла, обработанную воском. Постараемся с помощью измерительной линейки оценить высоту капли. Слева горячая вода, справа холодная.

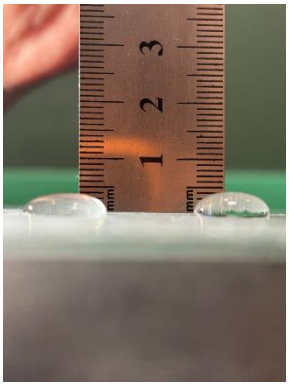
Вывод: я выяснил, что коэффициент поверхностного натяжения уменьшается с ростом температуры.

Опыт 4. Зависимость поверхностного натяжения от примесей.

Ход опыта: нальем в емкость чистой воды и насыпем на ее поверхность гидрофобный песок. Это делается для того, чтобы стало заметнее перемещение поверхностного слоя воды. С помощью пипетки введем на середину воды небольшую каплю мыльного раствора.

Вывод: мы увидели быстрое перемещение частичек песка к бортам емкости, а в середине появляется “окно”. Это показывает, что мыльный раствор резко понижает поверхностное натяжение воды.

Опыт 5. Зависимость краевого угла от примесей.



Ход опыта: возьмем предметное стекло, пипеткой сделаем капли дистиллированной и сильно соленой воды одинаковой температуры и одинакового объема на поверхность стекла, обработанную воском. Постараемся с помощью измерительной линейки оценить высоту капли. Слева соленая вода, справа дистиллированная.

Вывод: на первый взгляд, капли не сильно отличаются между собой, но если присмотреться, то капля соленой воды более плоская по сравнению с дистиллирован-

ной. Краевой угол соленой капли меньше следовательно наличие примеси соли уменьшает поверхностное натяжение. Соленые растворы гораздо больше разрушают поверхности, чем растворы чистой воды.

Применение

Гидрофобные материалы и покрытия используются в различных областях, где важно предотвратить контакт или задержку воды на поверхности. Вот несколько основных сфер их применения:

1. Строительство и архитектура: Гидрофобные покрытия наносятся на фасады зданий, крыши, а также на бетонные и кирпичные поверхности для защиты от влаги, что помогает предотвратить разрушение материалов и улучшить долговечность.

2. Автомобилестроение: В автомобильной промышленности гидрофобные покрытия применяются для защиты от коррозии металлических частей, а также на стеклах для улучшения водоотталкивающих свойств.

3. Одежда и текстиль: В одежде и спортивной экипировке используются ткани с гидрофобными покрытиями, чтобы они не впитывали воду, сохраняя тепло и сухость.

4. Электроника: Гидрофобные покрытия защищают электронные устройства (например, смартфоны или часы) от воды и влаги, что способствует их долговечности и устойчивости к внешним воздействиям.

5. Медицина: В медицине гидрофобные материалы могут использоваться в производстве медицинских инструментов и устройств, предотвращая развитие микробов и улучшая гигиенические свойства.

7. Очистка и самочищающиеся поверхности: Гидрофобные покрытия используются для создания поверхностей, которые не задерживают грязь и воду, что облегчает их очистку (например, окна, солнечные панели, солнечные батареи).

Таким образом, гидрофобные материалы имеют широкий спектр применения, повышая долговечность объектов и улучшая их эксплуатационные характеристики.

Заключение

Цель данной работы состояла в том, чтобы исследовать гидрофобные материалы, изучить свойства и практическое применение.

Для выполнения данной цели были решены следующие задачи:

- изучены сведения по теме, научная и популярная литература, ресурсы сети Интернет;
- проведены опыты с покрытиями, материалами, обладающими гидрофобными свойствами;
- выяснена причина «несмачиваемости» некоторых поверхностей;
- рассмотрено практическое использование гидрофобных материалов;
- проанализированы результаты и сделаны соответствующие выводы;
- зафиксированы техника проведения опытов и их результаты с помощью фото-, видеотехники;
- соблюдена техника безопасности при проведении экспериментов.

Используя природный опыт, с помощью физики и химии человек создает материал, который не впитывает и отталкивает воду. Разработанные технологии гидрофобных покрытий и материалов открывают новые возможности для повышения долговечности, эффективности и надежности продукции, улучшая защиту от влаги, коррозии и загрязнений. Современные методы получения гидрофобных поверхностей, такие как нанотехнологии и инновационные покрытия, обеспечивают устойчивость и функциональность в экстремальных условиях эксплуатации. Однако, несмотря на значительный прогресс, остаются задачи по улучшению их экологичности, долговечности и универсальности для широкого спектра применений.

Список литературы

1.Абаев М. А. Как выйти сухим из воды. Текст: электронный. Режим доступа: https://www.nkj.ru/news/25697/2. (дата обращения: 05.03.2024)
2. Закон Кассье. Текст: электронный. Режим доступа: Закон Кассье (дата обращения: 05.03.2024)
3. Мякишев, Г. Я. Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл. Профильный уровень: учеб. для общеобразовательных учреждений / Г. Я. Мякишев, А. З. Синяков. 12-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2010. 349, [3] с.: ил.
4.Нанотехнологии в природе: эффект лотоса. Текст: электронный. Режим доступа: http://www.catrosa.ru/interesting/418583/ (дата обращения: 05.03.2024)
5.Нанотехнологии на основе "эффекта лотоса" в автомобильной промышленности. Текст: электронный. Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2009/05/09/effekt_lotosa_155233.html (дата обращения: 05.03.2024)
6.Перельман Я. И. Занимательная физика. В двух книгах. Книга 1. - 21-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 224 с.