

Липоводолинська спеціалізована школа І-ІІІ ступенів

Липоводолинської районної ради

Сумської області

СЕКЦІЯ ФІЗИКА

ДОСЛІДНИЦЬКА РОБОТА

Фізика мильної бульбашки

Роботу підготувала
учениця 9-А класу
Дяченко Юлія

Керівник: Тимошенко
Світлана Олександрівна

2015

ЗМІСТ

	сторінка
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МИЛЬНІ БУЛЬБАШКИ	
1.1. Що таке мильні бульбашки?	4
1.2. Теорія руйнування мильних бульбашок	5
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	
2.1. Сила поверхневої енергії	10
2.2 Як зробити мильні бульбашки вдома	11
ВИСНОВКИ	15
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	16

ВСТУП

Актуальність та доцільність дослідження. Мильні бульбашки ... Хто ними не балувався в дитинстві? Таких людей знайдеться небагато. Здавалося б, що може бути простіше мильної бульбашки? Проте не все так просто, як здається.

Існує стереотип, що головні споживачі мильних бульбашок – діти, але багато вчених не змогли залишитися осторонь від цієї розваги. Англійський фізик Вільям Томсон у своїх лекціях часто говорив про те, що видуваючи мильну кулю і спостерігаючи за нею, можна зробити дуже багато цікавих відкриттів.

Насправді, мильні бульбашки – відмінний об'єкт для спостереження самих різних фізичних явищ. Поверхневий натяг, термодинаміка, оптика – тільки деякі з них. І все це легко розуміється і доступно для спостереження. Найбільш привабливою стороною мильних бульбашок є переливи світла на їх поверхні. Навіть коли надувати бульбашки, помітно постійний рух кольорових плям і смуг по його поверхні. Вони створюють неповторну живу райдужну забарвлення, якої важко не милуватися. Звідки береться така краса та які фізичні явища ми спостерігаємо? На ці питання ми намагалися дати відповідь при написанні роботи за темою: «Фізика мильної бульбашки»

Об'єкт дослідження – процес утворення мильної бульбашки.

Предмет дослідження – мильна бульбашка, інтерференція світла, поверхневий натяг рідини, способи отримання мильних бульбашок.

Завдання:

- а) збір і систематизація матеріалу про мильної бульбашки способи їх утворення використовуючи фізичні явища інтерференції світла та поверхневого натягу рідини;
- б) проведення експериментів з утворення великих мильних бульбашок;
- в) створення буклету для учнів «Як зробити мильні бульбашки у домашніх умовах».

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МИЛЬНІ БУЛЬБАШКИ

1.1.Що таке мильні бульбашки?

Мильна бульбашка — тонка багатошарова плівка мильної води, наповнена повітрям, зазвичай у вигляді сфери з переливчастою поверхнею. Мильні бульбашки зазвичай існують лише кілька секунд і лопаються при дотику або мимовільно. Коли товщина мильної бульбашки стає меншою за 25 нанометрів - тонше, ніж довжина хвилі видимого світла - бульбашка лопається.

Стінка мильної кульки складається із двох тонесеньких шарів мила і води між ними. Проходить сонячний промінь крізь мильну плівку – і розкладається на сім кольорів веселки, від червоного до фіолетового. Так на бульбашці з'являється маленька райдуга.

Через недовговічність мильна бульбашка стала синонімом чогось привабливого, але беззмістовного й недовговічного. Іноді акції на нових ринках порівнюють з мильними бульбашками, у разі штучного роздуття їх цінності їх називають «дутими». [1]

Історія виникнення мильних бульбашок

Надування мильних бульбашок вже давно перетворилося на справжнє мистецтво? Наприклад, англієць Сем Хіт протягом 20 років займається цією справою і був навіть занесений в книгу рекордів Гіннеса. Він створив мильну бульбашку висотою 1,5 метра і завширшки 3,3 метра, в який помістилося 50 чоловік.

Прийнято думати, що вперше вони були створені кілька тисяч років тому. При розкопках міста Помпей були знайдені фрески із зображенням дітей, які видують бульбашки. Деякі стародавні китайські папіруси зображують людей, видувачих прозорі кулі через глиняні палички.

Цікаві факти з історії про мильні бульки:

На полотнах художників 17 століття зображені діти, що видувають невагомі мильні кулі. Звичайно, в ті часи спеціальний розчин не використовувався. Мильні бульбашки створювалися з води, що залишається після прання одягу.

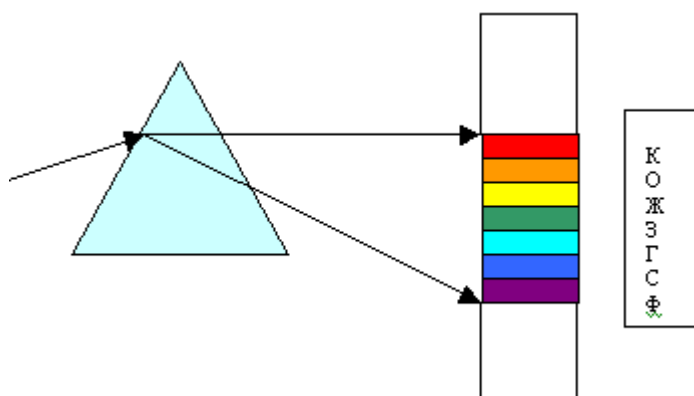
Популярність мильних бульбашок дуже виросла в 18 столітті. Цьому сприяло використання в рекламі мила картини відомого художника із зображенням хлопчика, видуває мильні бульбашки.

У всі часи мильні бульбашки були уособленням людського життя, показуючи її швидкоплинність і чарівність. Дуже велику роль в популярності бульбашок зіграли хіпі. Вони часто використовували їх на своїх демонстраціях, не кажучи про те, що мильні бульбашки символізують добро і мир.[2]

1.2 Теорія руйнування мильних бульбашок

До складу мильної бульбашки крім води, входить мило і гліцерин. Мило зменшує поверхневий натяг води, а гліцерин – ущільнює її. Це дозволяє отримати дуже тонку стінку мильної бульбашки, яка легко розтягується і не рветься. Вона досить міцна, враховуючи її товщину. Стінка мильної бульбашки входить до числа тих небагатьох мікроскопічних об'єктів, які можна побачити неозброєним оком. Товщина її в 5000 разів менше товщини людської волосини. Якщо спробувати розглянути її в мікроскоп, то знадобиться збільшення в 40000 разів, щоб тільки побачити її, у той час як товщина волосини при такому збільшенні буде 2 сантиметри! При такій товщині стінки мильної бульки теоретично ми її взагалі не повинні бачити, проте бачимо!

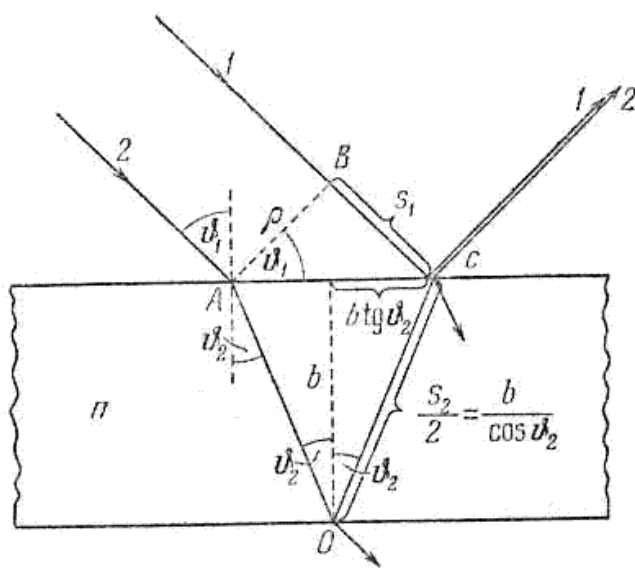
Відбувається це завдяки таким оптичним явищам, як заломлення і інтерференція світла. Стінка бульбашки складається з трьох шарів. Зверху і знизу шари з молекул мила, а між ними – шар води. Світло, проходячи крізь



таку плівку, заломлюється, як у призмі. Ще воно відбивається від верхнього і нижнього шару. Так як кожен шар складається з різних речовин, то і відображають і заломлюють світло вони по-різному.

Відомо, що світло має хвильову природу. Як хвилі в ставку, відбиті від берега, накладаються одна на одну і створюють картинку з хвиль, так і світло – накладаючись одне на одне, його відбиті промені дають в результаті різний колір. Але і це ще не все!

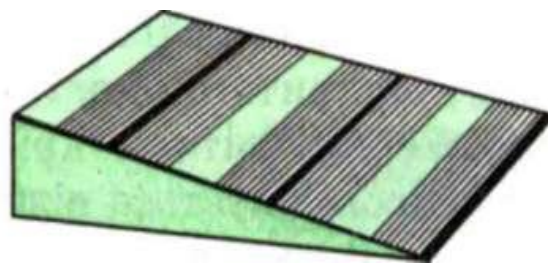
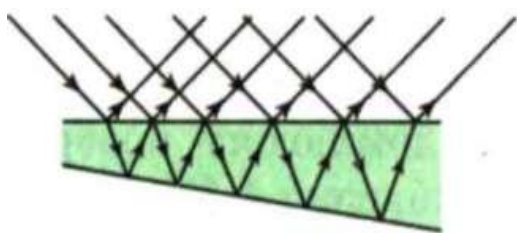
Якби було тільки це, ми б бачили лише різнокольорові плями, які



переливаються. Але ж ми бачимо ще й відбиття від протилежної стінки мильної бульки. Вони ж прозорі. Це світло пройшло з нашого боку, заломилось через стінку плівки, потім ще раз заломилось на протилежній стороні і пройшло весь шлях назад. А ще світло пройшло через бульбашку з

іншого боку.

Грає роль і те що мильна бульбашка це рідина. Молекули рідини постійно в русі, вони «течуть» вниз. У бульбашки внизу поступово з'являється крапля. Це постійний рух рідини в стінці бульбашки весь час змінює її товщину, форму і здатність відображати і заломлювати світло.



Всі ці причини створюють постійну зміну кольорів, якими можна було б довго милуватися, не будь вони так швидкоплинні, адже життя мильної бульки дуже коротке. [3]

Водяна бульбашка, лопаючись, залишає після себе ідеальне кільце маленьких бульбашок. Таку картину вдалося зафіксувати науковцям за допомогою високошвидкісного відео.

Джеймс Берд з Гарвардського університету, який проводив дослідження, пояснив, що його основний інтерес полягав у тому, щоб зрозуміти поведінку водяних бульбашок. Результати відкриття, зрештою, можуть бути застосовані в багатьох виробничих процесах з іншими рідинами.

"Дрібні бульбашки, наприклад, можуть стати проблемою в скляному виробництві, тому наші результати дають змогу зробити висновок про те, як налагодити параметри процесу, щоб пазурів стало менше", – пояснює доктор Берд.

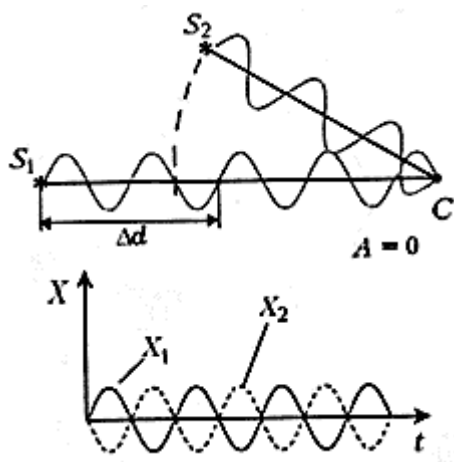
Науковець сказав, що наштотхнувся на це явище випадково. "Мій колега Лоран і я намагалися зрозуміти, чи поведуться бульбашки так само, як і краплі, коли стикаються з поверхнею", - розповів він. "Нам не вдалося досягти поставленої мети, проте, спостерігаючи за тим, як лопаються мильні бульбашки, ми виявили кільце маленьких бульбашок. Це явище ніхто з нас не міг пояснити".

Науковці зазначили, що відкриття може вплинути на дослідження в сфері охорони здоров'я - водяний пил, що виникає в результаті лопання бульбашок, стає ідеальним переносником хвороб у басейнах і гарячих ваннах.

Дослідження також може пролити світло на процес теплообміну між океаном і атмосферою.

Закони, що "працюють" у бульбашках, відомі вченим не дуже добре. [4]

Плівка бульбашки складається з тонкого шару води, укладеного між двома шарами молекул, найчастіше мила. Ці шари містять в собі молекули, одна частина яких є гідрофільної, а інша гідрофобної. Гідрофільна частина залучається тонким шаром води, в той час як гідрофобна, навпаки, виштовхується. В результаті утворюються шари, що захищають воду від швидкого випаровування, а також зменшують поверхневий натяг. [5]



Інтерференція світла — перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладання (суперпозиції) декількох світлових хвиль. Це явище супроводжується чергуванням в просторі максимумів і мінімумів інтенсивності. Її розподіл називається інтерференційною картиною.

Отримати стійку інтерференційну картину для світла від двох розділених у просторі і незалежних один від одного джерел світла не так легко, як для джерел хвиль на воді. Атоми випромінюють світло цунами дуже малої тривалості, і когерентність порушується. Порівняно просто таку картину можна отримати, зробивши так, щоб інтерферували хвилі одного і того ж цуга. Так, інтерференція виникає при розділенні початкового променя світла на два промені при його проходженні через тонку плівку, наприклад плівку, що наносять на поверхню лінз у просвітлених об'єктах. Промінь світла, проходячи через плівку товщиною d , відіб'ється двічі — від внутрішньої та зовнішньої її поверхонь. Відбиті промені матимуть постійну різницю фаз, що дорівнює подвоєній товщині плівки, від чого промені стають когерентними і будуть інтерферувати. Повне гасіння променів станеться при $d = \frac{\lambda}{4}$, де λ —

довжина хвилі. Якщо $\lambda = 550$ нм, то товщина плівки дорівнює $550:4=137,5$ нм.

Промені сусідніх ділянок спектра по обидва боки від $\lambda = 550$ нм інтерферують не повністю і лише послаблюються, внаслідок чого плівка набуває забарвлення. Наближено, коли є сенс вести мову про оптичну довжину хвилі променів, для двох променів

$$\Delta L = L_2 - L_1 = k\lambda \text{ — умова максимуму;}$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = (2k + 1) * \lambda/2 \text{ — умова мінімуму,}$$

де $k=0,1,2,\dots$ і $L_{1,2}$ — оптична довжина шляху першого й другого променів.

Явище інтерференції спостерігається в тонкому шарі незмішуваних рідин (гасі або олії на поверхні води), в мильних бульбашках, бензині, на крилах метеликів, в кольорах мінливості тощо.[6]

Мильна бульбашка являє собою дуже тонку плівку мильної води форма якої наближається до сфери. Плівка має дві поверхні: внутрішню і зовнішню. Отже, плівка цієї бульбашки прагне стягтися з подвійною-силою. Мильні бульбашки утримуються поверхневим натягом. Оскільки рідина стікає до основи бульбашки, її верхівка швидко стоншується і рветься швидше за все. Тиск усередині бульбашки більше атмосферного, так як поверхневий натяг прагне стиснути її. [7]

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

2.1 Сила поверхневої енергії

Поверхневий натяг - це питома робота збільшення поверхні при її розтягуванні за умови сталості температури. **Сила поверхневого натягу** спрямована по дотичній до поверхні рідини, перпендикулярно до ділянки контура, на який вона діє і пропорційна довжині цієї ділянки. [8]

Одиницями виміру поверхневого натягу може бути Дж/м² у випадку, коли його розглядають як надлишок вільної енергії поверхні розділу двох фаз, що накопичується на цій поверхні за рахунок некомпенсованих міжмолекулярних сил, і в Н/м у випадку, якщо розглянути роботу утворення одиниці нової поверхні.

Існує декілька методів визначення поверхневого натягу. Найбільш розповсюдженим методом є сталагмометричний (метод відліку крапель).

В основі методу лежить експериментально встановлене положення, що вага краплі, яка повільно відривається під дією сили тяжіння від кінчика вертикальної трубки сталагмометра, буде тим більшою, чим більший поверхневий натяг рідини на межі з повітрям.

Вважається, що сила поверхневого натягу F , що діє вертикально по колу трубки, приблизно рівна $F = 2\pi r s$, підтримує краплю, зрівноважуючи її вагу P . У момент відриву краплі можна вважати ці сили рівними.

Бульбашка існує тому, що поверхня будь-якої рідини (в даному випадку води) має деякий поверхневий натяг, яке робить поведінку поверхні схожим на поведінку чогось еластичного. Однак бульбашка, зроблена тільки з води, нестабільна і швидко лопається. Для того, щоб стабілізувати її стан, у воді розчиняють які-небудь поверхнево-активні речовини, наприклад мило. Поширена помилка полягає в тому, що мило збільшує поверхневий натяг

води. Насправді воно робить якраз протилежне: зменшує поверхневий натяг приблизно до третини від поверхневого натягу чистої води. Коли мильна плівка розтягується, концентрація мильних молекул на поверхні зменшується, збільшуючи при цьому поверхневий натяг. Таким чином мило вибірково підсилює слабкі ділянки пузиря, не даючи їм розтягуватися далі. На додаток до цього, мило охороняє воду від випаровування, тим самим роблячи час життя бульбашки ще більшим.[9]

Сферична форма бульбашки також виходить за рахунок поверхневого натягу. Сили натягу формують сферу тому, що сфера має найменшу площу поверхні при даному обсязі. Ця форма може бути істотно викривлена потоками повітря і самим процесом надування бульки. Однак, якщо залишити пухирець плавати в спокійному повітрі, його форма дуже скоро стане близькою до сферичної. [10]

2.2 Як зробити мильні бульбашки вдома?

В сім'ї, де є маленькі діти, дуже гостро стоїть питання про покупку всіляких іграшок, які постійно ламаються, б'ються або ж розбираються кмітливими чадами. Навіть коли мова заходить про покупку мильних бульбашок, будь-які батьки знають: баночки з мильною рідиною активного дитині вистачить максимум на півгодини. Після цього треба знову бігти в магазин, щоб порадувати малюка різнокольоровими мильними кульками. Втім, можна скористатися більш простим і легким способом вирішення проблеми, якщо приготувати рідину для пускання бульбашок самостійно. Більшість рецептів, які підходять для використання в домашніх умовах, не містять небезпечних або ж дорогих компонентів, основна частина яких завжди знайдеться на кухні чи у ванній кімнаті. Плюс до всього, рідина для мильних бульбашок прекрасно зберігається в холодильнику, тому варто

заздалегідь подбати про те, щоб вона завжди була під рукою у достатній кількості.

В дитинстві ми намагалися пускати мильні бульбашки, використовуючи для цих цілей шампунь, який необхідно було розвести водою. Принадність такого рецепта полягала в простоті приготування мильною суміші, яка, втім, мала і свої недоліки. Вже через 10-15 хвилин бульбашки просто переставали видуватися або ж миттєво лопалися. Втім, якщо склалася екстраординарна ситуація, і дитину необхідно терміново чимось відволікти, то такий рецепт мильних бульбашок підійде ідеально. У всякому разі, малюк зможе заспокоїтися і переключити свою увагу на переливаються кульки замість того, щоб з жахом розглядати розбите коліно.

Мильні бульбашки з гліцерином

Втім, досвідчені пускачі мильних бульбашок чудово обізнані про те, що основна проблема полягає в тому, як домогтися максимально тривалого терміну їх «життя». Ну, хоча б такого, що дозволяють досягти рідини промислового виробництва. І в цьому відношенні незамінним помічником є гліцерин, який дозволяє зробити стінки мильних бульбашок більш міцними. В результаті деякі рецепти дають дійсно вражаючий ефект, коли бульбашки, вдало приземлившись на асфальт або ж будь-яку іншу відносно гладку поверхню, утворюють півсферу, яка не лопається протягом 10-15 хвилин.

На основі гліцерину у домашніх умовах можна створити кілька типів мильних бульбашок. Якщо необхідно, щоб вони виходили дрібними і не особливо довговічними, то в цьому випадку можна взяти приблизно 100 мл будь-якого засобу для миття посуду, гарненько змішати його з 300 мл теплої води, після чого додати 30 мл гліцерину. Потім слід ще раз ретельно перемішати всі інгредієнти, після чого можна сміливо влаштовувати шоу не тільки для дітей, але і для дорослих. Тим, хто розраховує навчитися видувати великі і важкі мильні бульбашки, варто скористатися більш складним рецептом приготування суміші. В якості основи для неї можна взяти будь-

шампунь, 100 мл якого слід розбавити 300 мл води, після чого додати 1 столову ложку гліцерину і таку ж кількість цукру. Потім суміш необхідно ретельно перемішати і залишити в холодильнику приблизно на 10-12 годин. З такого мильного розчину виходять чудові мильні бульбашки, великі і не лопаючі досить довго.

Мильні бульбашки з господарського мила

Тим, хто любить невеликі і акуратні бульбашки, але при цьому хоче, щоб вони не лопалися відразу ж після видування, слід скористатися рецептом, який готується на основі господарського мила. Його треба взяти приблизно 50 г і натерти на тертці, залити 100 мл води і злегка підігріти на плиті, щоб вийшла густа, в'язка однорідна суміш. Коли вона охолоне, слід влити ще 200 мл води, 100 мл гліцерину і 1 чайну ложку нашатирного спирту, завдяки якому бульбашки будуть переливатися всіма кольорами веселки. Отриманий склад повинен вистояти в холодильнику не менше 2 діб, після чого його необхідно ретельно перемішати, пропустити через кілька шарів марлі, щоб видалити згустки, і знову відправити в холодне місце на 5-7 годин. Після цього розчин для бульбашок можна сміливо використовувати, не побоюючись, що вони будуть занадто швидко лопатися.

Мильні бульбашки з дитячого шампуню

Коли мова йде про маленьких дітей, то у дорослих нерідко виникає питання: як же убезпечити їх від неприємностей під час гри? Навіть коли використовуються звичайні мильні бульбашки, невинна розвага може обернутися дитячими сльозами, якщо, наприклад, склад потрапить дитині в очі. Щоб знизити ризик подібних неприємностей, в домашніх умовах можна приготувати так звані мильні бульбашки без сліз, основу яких складає дитячий шампунь. Його знадобиться приблизно 100 мл, які слід розвести в 200 мл холодної води, після чого на добу поставити суміш в холодильник.

Перед використанням отриману рідину необхідно перемішати і влити в неї 30мл гліцерину.

Мильні бульбашки без гліцерину

Якщо мова йде про мильні пузирі для разового використання, наприклад, під час домашньої вечірки, то можна обійтися і без гліцерину. У цьому випадку його функції чудово виконує звичайний цукор. Однак слід враховувати, що такі бульбашки безглуздо зберігати в холодильнику, так як при повторному використанні вони просто не виглядатимуть. В якості основи для «цукрових» бульбашок можна використовувати абсолютно будь-які миючі засоби. Знавці стверджують, що найбільш оптимальним є поєднання шампуню та засоби для миття посуду, які беруться приблизно в рівних пропорціях, після чого заливаються холодною водою. Потім в суміш досить додати приблизно 1 чайну ложку цукру, щоб, принаймні, протягом декількох годин отримувати досить великі і довго не лопающиеся бульбашки. Крім цього, для приготування мильної рідини можна використовувати суміш з прального порошку, засоби для миття посуду і крему для гоління, які беруться приблизно в однакових пропорціях і розводяться водою, в яку попередньо необхідно додати трохи цукру. Ну, а екстремали давно облюбували для цих цілей жіночі гелі для інтимної гігієни, які змішуються з шампунем водою і цукром, завдяки чому виходять дуже великі і красиві мильні бульбашки.[11]

ВИСНОВКИ

Отже, провівши дослідження ми з'ясували: що являє собою мильна бульбашка, які її фізичні властивості, зрозуміли природу сили поверхневого натягу та принципи отримання інтерференції світла.

Під час роботи нам вдалося зібрати і систематизувати матеріали про особливості утворення мильної бульбашки; провести експерименти з утворення великих мильних бульбашок; створити буклет для учнів «Як зробити мильні бульбашки у домашніх умовах».

Мильна бульбашка — тонка багатошарова плівка мильної води, наповнена повітрям, зазвичай у вигляді сфери з переливчастою поверхнею. Мильні бульбашки зазвичай існують лише кілька секунд і лопаються при дотику або мимовільно.

Через недовговічність мильна бульбашка стала синонімом чогось привабливого, але беззмістовного й недовговічного.

Стінка мильної кульки складається із двох тонесеньких шарів мила і води між ними. Проходить сонячний промінь крізь мильну плівку – і розкладається на сім кольорів веселки, від червоного до фіолетового. Так на бульбашці з'являється маленька райдуга.

Чарівні переливи фарб на поверхні найтонших мильних плівок дають фізику можливість виміряти довжину світлових хвиль, а дослідження натягу цих ніжних плівок допомагає вивчати закони дії сил між частками, - тих сил зчеплення, при відсутності яких у світі не існувало б нічого, крім найтоншого пилу.

Мильна бульбашка - не просто цікава забава з мильної води, а й завжди відчинені ворота до пізнання фізики!

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мильна бульбашка – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%B1%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D1%88%D0%BA%D0%B0
2. Мильні бульбашки – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://chudo-ostriv.com.ua/news/milni-bulbaski>
3. Чому мильні бульбашки мають райдужну забарвлення? – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://verano.rv.ua/navkolishnij-svit/chomu-milni-bulbashki-mayut-rajduzhnu-zabarvlennya>
4. Фізики розкрили таємницю бульбашки. Механізм їх лопання може використовуватися в медицині – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.newsru.ua/arch/world/11jun2010/bylbashka.html>
5. Мыльный пузырь – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8B%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%83%D0%B7%D1%8B%D1%80%D1%8C#.D0.9F.D0.BE.D0.B2.D0.B5.D1.80.D1.85.D0.BD.D0.BE.D1.81.D1.82.D0.BD.D0.BE.D0.B5_.D0.BD.D0.B0.D1.82.D1.8F.D0.B6.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5_.D0.B8_.D1.84.D0.BE.D1.80.D0.BC.D0.B0
6. Інтерференція світла – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%B0
7. Мильна бульбашка – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22478>
8. Сили поверхневого натягу – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://wiki.tntu.edu.ua/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%B5%D0%B

2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B0%D1%82%D1%8F%D0%B3%D1%83

-
9. Поверхневі явища (поверхнева енергія, поверхневий натяг та адсорбція на межі розділу фаз) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ukrkniga.org.ua/ukrkniga-text/808/6/>
 10. Мыльный пузырь – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8B%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%83%D0%B7%D1%8B%D1%80%D1%8C
-
11. Як зробити мильні бульбашки – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://elle.pp.ua/yak-zrobiti-milni-bulbashki/>