

**Областное интеллектуальное соревнование учащихся
«Шаг в науку, юниоры Псковщины»
26 – 28 октября 2022 года, г. Псков**

Тайны стекла

Работу выполнил:
Яцевич Яков Павлович,
МБОУ «Лицей №4», г. Псков, 6 А класс

Научный руководитель:
Пуденкова Елена Анатольевна,
старший преподаватель кафедры
естественно-математических дисциплин
ГБОУ ДПО ПОИПКРО

г. Псков
2022 год

ТАЙНЫ СТЕКЛА

Яцевич Яков Павлович, МБОУ «Лицей №4», г. Псков, 6 А класс

АННОТАЦИЯ

Творческая работа посвящена изучению некоторых тайн стекла, его физических свойств и особенностей. Актуальность темы обусловлена практической направленностью. В работе рассмотрена краткая теория по теме, дана информация по истории стекла, представлены интересные опыты и эксперименты, связанные с распространением звука и света в стекле (с использованием видеозаписей). Также приведены примеры практического применения стекла, новых открытий и исследований, технологических инноваций, связанных с разработкой и применением стекла в различных отраслях промышленности.

Цель работы: изучить некоторые физические свойства и особенности стекла.

Методы исследования: анализ литературы и интернет-ресурсов, наблюдение, проведение опытов и экспериментов, практическое применение.

Выводы:

1. В ходе работы мною была изучена теория, литература и интернет-ресурсы по данной теме, проведены опыты и эксперименты, позволившие изучить некоторые тайны стекла, физические свойства и особенности распространения звука и света в стекле.

2. То, что из стеклянных бокалов можно извлекать звуки, не ново. Однако, оказывается, что музыкальные звуки из них можно извлекать весьма своеобразным способом. Если обмакнуть палец в воду и аккуратно водить им по краю бокала, постоянно смачивая водой, то бокал «запоет». В ходе исследования мною было выяснено, что высота тона звука (частота) зависит от уровня воды в бокале и других параметров, представлено качественное описание этой зависимости.

3. Стекло можно сделать невидимым, если поместить его в жидкость с одинаковым абсолютным показателем преломления, что и было доказано в втором эксперименте.

4. Стекло – это уникальный материал, который используется почти во всех сферах деятельности людей. Я познакомился с новыми возможностями практического применения стекла, с открытиями и исследованиями ученых, технологическими инновациями, связанными с разработкой и применением стекла в различных отраслях промышленности, с использованием новых материалов на основе стекла в России. Эти актуальные направления науки и технологий обсуждались на научно-практических конференциях в 2022 году, который объявлен Международным годом стекла.

Описание работы

Введение

Творческая работа посвящена изучению некоторых тайн стекла, его физических свойств и особенностей и имеет практическую направленность.

Цель работы: изучить некоторые физические свойства и особенности стекла.

Задачи:

1. Изучить литературу и интернет-ресурсы по данной теме, познакомиться с историей и производством стекла.
2. Изучить состав, физические свойства и особенности стекла.
3. Провести опыты и эксперименты со стеклом.
4. Выяснить новые возможности практического применения стекла.

Объект исследования: стекло.

Методы исследования: анализ литературы и интернет-ресурсов, наблюдение, проведение опытов и экспериментов, практическое применение.

План.

1. Изучение теории по данной теме, анализ литературы.
2. Проведение опытов и экспериментов (видеозапись).
3. Практическое применение.

Краткая теория и информация о стекле. Анализ литературы

В книге Свешникова М.П. [1] рассказывается о многих тайнах стекла, о замечательных открытиях и изобретениях талантливых людей разных стран, об истории стекла и др.

Стекло – вещество и материал, один из самых древних и, благодаря разнообразию своих свойств, – универсальный в практике человека. Стекло – это одно из самых простых веществ и в то же время самых удивительных открытий человечества. Стекло очень просто по составу. В него входит около 70% кварцевого песка, известь и сода. Известковые примеси придают стеклу блеск и устойчивость к химическим воздействиям. Состав современного стекла значительно сложнее. В него могут входить различные вещества, присадки и металлы, в зависимости от того, для каких целей будет оно использоваться.

Химический состав стекла: диоксид кремния (71 – 72 %), оксид кальция (7,5 – 8,5 %), оксид магния (3 – 3,5 %), оксид натрия (15 - 15,5 %), оксид алюминия (1,5 – 1,6 %), оксид железа (до 0,2 %).

Виды стекла: кварцевое стекло (прозрачный кварц и молочно-матовый), обычное стекло (известково-натриевое, известково-калиевое, известково-натриево-калиевое), боросиликатное стекло, хрустальное стекло (хрусталь) – высокосортное стекла, обладающее особым блеском и способностью сильно преломлять свет. Различают свинцовосодержащие и бессвинцовые хрустальные стекла.

История стекла. Секрет производства и обработки стекла известен с древних времён. Ученые предполагают, что первыми освоили стеклоделие древние египтяне около 5 тысяч лет назад. Это подтверждают уникальные находки на территории современного Египта: глазурованные стеклом фаянсовые плитки внутренних облицовок пирамиды Джоссера, к ещё

более раннему периоду (первой династии фараонов) относятся находки фаянсовых украшений. Египетские стеклоделы плавил стекло на открытых очагах в глиняных мисках. Спёкшиеся куски бросали раскалёнными в воду, где они растрескивались, и эти обломки, так называемые фритты, растирались в пыль жерновами и снова плавилась [2].

Основу научного подхода к исследованию и варке стёкол положил Михаил Васильевич Ломоносов. Учёным были проведены первые технологически систематизированные варки более 4 тысяч стёкол. Лабораторная практика и методические принципы, которые он применял, мало чем отличаются от считающихся в настоящее время традиционными, классическими. Ломоносов стал создавать небольшие мозаичные картины. Он сумел разработать рецептуру 112 тонов и более тысячи оттенков цветных смальт, превзойдя палитру мозаичной мастерской в Ватикане. Используя коллоидный раствор золота в «царской водке» (смеси азотной и соляной кислот), Ломоносов сумел возродить средневековый способ получения ярко-красного, алого прозрачного стекла — «золотой рубин». В здании Академии наук в Санкт-Петербурге находится большое мозаичное панно М.В. Ломоносова «Полтавская баталия» (1762—1764 гг.).

Плотность стекла. Плотность стекла – отношение массы стекла при данной температуре к его объёму, зависит от химического состава (чем больше содержание тяжёлых металлов, тем стекло плотнее). Для обычных строительных стёкол составляет 2400 - 2600 кг/м³. Плотность оконного стекла – 2550 – 2600 кг/м³. Считается, что минимальную плотность среди силикатных стёкол имеет чистое кварцевое стекло – 2200 кг/м³. Высокой плотностью отличаются стекла, содержащие оксид свинца («богемский хрусталь») – более 3000 кг/м³. Плотность стёкол (хрусталь, свинцовое стекло и др.), содержащих оксиды тяжёлых элементов – свинца, висмута, бария – достигает 7500 кг/м³. При повышении температуры с комнатной до 1300 °С плотность большинства стёкол уменьшается на 6 – 12 %, то есть в среднем на каждые 100 °С плотность уменьшается на 15 кг/м³.

Физические свойства стекла: *прочность* – способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок. Из механических свойств стёкол прочность на растяжение является одним из важнейших; *твёрдость* стекла – зависит от примесей и состава (наибольшую твёрдость имеет стекло с повышенным содержанием кремнезёма – кварцевое и боросиликатное); *упругость* – модуль Юнга (модуль упругости) стёкол зависит от их химического состава и составляет 50000 МПа; *хрупкость* – свойство стекла разрушаться под действием ударной нагрузки без пластической деформации; *низкая теплопроводность*; *пористость и водопоглощение* стекла практически равны 0%. *Прозрачность* – одно из важнейших оптических свойств стекла, определяется отношением количества прошедших через стекло лучей ко всему световому потоку. Зависит от состава стекла, обработки его поверхности, толщины и других показателей. При наличии примесей окиси железа прозрачность уменьшается. *Термостойкость* стекла характеризуется его способностью выдерживать, не разрушаясь, резкие изменения температуры и является важным показателем качества стекла. Хрусталь менее термостоек, чем обычное стекло.

Стекло – аморфное вещество. Аморфные вещества не имеют определённой точки плавления: при повышении температуры стабильно-аморфные вещества постепенно

размягчаются и выше температуры стеклования переходят в жидкое состояние. Переход в жидкость происходит в некотором температурном интервале, величина которого зависит от химического состава стекла. Ниже температуры стеклования T_c стекло приобретает хрупкость. Для обычного силикатного стекла $T_c = 425—600$ °С. Выше T_c стекло становится жидкостью. При этих температурах стекломасса перерабатывается в изделия. Температура варки стёкол, от +300 до +2500 °С, определяется компонентами стеклообразующих расплавов.

Показатель преломления стекла - показывает, во сколько раз замедляется скорость распространения световых лучей при прохождении через стекло по сравнению со скоростью света в вакууме ($v = 300000$ км/с). Максимальное преломление у стекла $n = 1,7$, в то время как у алмаза $n = 2,42$. Данный драгоценный камень является одним из немногих материалов на Земле, чей уровень преломления превышает отметку 2. Это связано с его кристаллическим строением и большим уровнем разброса световых лучей. Если солнечный луч падает на поверхность стекла с показателем преломления, который равен табличному значению, то изменить его можно несколькими способами:

1. Поклеить сверху пленку, у которой коэффициент преломления будет выше, чем у стекла. Этот принцип используется в тонировке окон автомобиля, чтобы улучшить комфорт пассажиров и позволить водителю более четко наблюдать за дорожной обстановкой.

2. Покрасить стекло краской. Так поступают производители дешевых солнцезащитных очков, но стоит учесть, что это может быть вредно для зрения. В хороших моделях стекла сразу производятся цветными по специальной технологии.

3. Погрузить стекло в какую-либо жидкость. Это полезно исключительно для опытов.

Мои эксперименты

1. Опыт 1. Поющие бокалы (видеозапись).

Цель: изучить воспроизводимые с помощью бокала звуки. Исследовать зависимость высоты тона звука от количества и свойств воды, толщины и формы бокала.

Оборудование: бокалы (разной формы), вода (питьевая).

Этапы работы:

1. Я поставил одинаковые бокалы на стол и налил в них разное количество воды. (Руки должны быть чистыми, без малейших следов жира).
2. Намочив палец руки водой, равномерно начал водить им по краю бокала, несильно нажимая на него. Изменяя скорость и нажим, можно поймать такой момент, когда бокал «запоет» – станет издавать красивый и громкий чистый звук (рис. 1).
3. Добавив в бокалы еще воды, повторил действия. При этом можно заметить, что высота тона звука будет меняться, частота будет зависеть от уровня воды в бокале.
4. Я проверил, будет ли звучать бокал без воды, и какой будет звук: низкий или высокий.
5. Изменяя силу нажима, наблюдал за изменением звука. Кроме того, обратил внимание на возникновение волн на воде (рис. 3).
6. Можно взять бокалы другой формы, толщины стенок, диаметра и провести аналогичные исследования. Сделать выводы по результатам исследования.

7. Можно налить в бокалы разное количество воды, «настроить» бокалы и попробовать сыграть мелодию (рис. 2).
8. Для доказательства зависимости высоты тона звука (частоты) от уровня воды в бокале с помощью приложения «Звукозапись» в смартфоне можно записать звуковые дорожки и сравнить их. А с помощью приложения «Анализатор спектра звука» можно определить частоту. В наших примерах: пустой ≈ 1000 Гц, с водой (1/2) ≈ 830 Гц, полный ≈ 710 Гц (рис. 4, 5, 6).



Рис. 1



Рис. 2

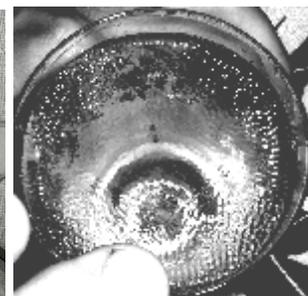


Рис. 3

Объяснение. Что же происходит с бокалом, что он начинает петь?

Движение пальца по стеклу заставляет его вибрировать. Эта вибрация передается по стеклу внутри, возникают волны, бегущие внутри стекла, они складываются и усиливаются. Стекло начинает вибрировать все сильнее и, наконец, передает вибрацию воздуху. А воздушная волна уже слышна как красивый ровный звук. Человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от 16 Гц до 20000 Гц. Возникновение звуковых волн можно наблюдать, если мокрым пальцем водить по краю бокала. Вода в бокале будет повторять рисунок волн, распространяющихся от колебаний стекла: в месте, где остановится палец, образуются узловые линии (рис. 3).

Выводы. Лучше всего поют очень тонкие бокалы, имеющие форму параболоида вращения, на длинной тонкой ножке. Тон звучания можно менять, подливая в бокал воду: *чем больше в бокале будет воды, тем ниже высота тона звука (частота)* (рис. 4, 5, 6). Звучание зависит от толщины стекла, его диаметра, количества воды и силы нажима. Узкий бокал из тонкого стекла будет издавать высокий звук, а широкий из толстого – низкий. У вазы из толстого стекла звук будет низкий. Наполненность бокала также меняет звук: пустой бокал даст высокий звук (рис. 4), а наполненный полностью – самый низкий (рис. 6).

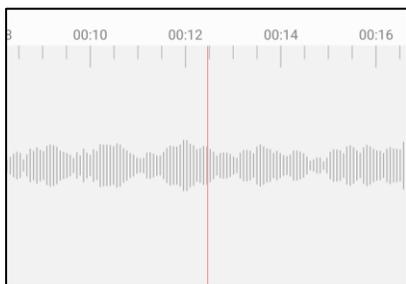


Рис. 4



Рис. 5

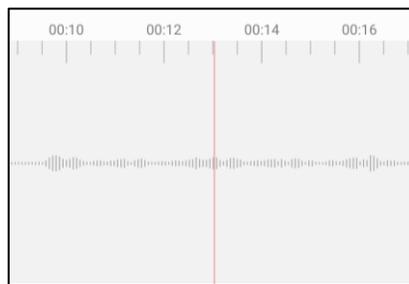


Рис. 6

Примечание. Существуют музыкальные инструменты из стеклянных бокалов (рис. 4). *Стеклянная арфа* – хроматический инструмент с диапазоном звучания 2-3 октавы, состоящий из 24-36 бокалов, подобранных или специально изготовленных. Бокалы могут настраиваться стеклодувом, механической обработкой или путем добавления воды. Можно встретить инструменты и в 60 бокалов, для игры музыкантов в четыре руки [3]. Кроме того, есть другие стеклянные музыкальные инструменты: *стеклянная гармоника* (рис. 5, рис. 6), *веррофон* [4].



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

Опыт 2. Невидимое стекло (видеозапись).

Оборудование: стеклянная посуда (графин, банка), рафинированное растительное масло, вода (рис. 7).

Описание. В прозрачную бесцветную стеклянную емкость наливаем воду и помещаем туда стеклянную банку. Банка хорошо видна (рис. 8). Затем в воду наливаем растительное масло. Слой масла будет находиться над водой, так как плотность растительного масла меньше плотности воды. Снова помещаем туда стеклянную банку (рис. 9). Та часть банки, которая находится в растительном масле становится невидимой (рис. 10). Предмет, видимый наполовину производит куда большее впечатление, чем совсем невидимый предмет!

Объяснение. Показатели преломления света для стекла и растительного масла практически равны: $n = 1,46$ – кварцевое стекло; $n = 1,47$ – подсолнечное масло. А значит, свет переходит из одной среды (стекло) в другую (растительное масло) практически без искажений, и визуальная граница раздела сред для нас исчезает. Разница коэффициентов преломления воды ($n = 1,33$) и стекла уже больше, поэтому в воде стекло мы все-таки видим, хотя и хуже, чем в воздухе.



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Практическое применение

Стекло — это уникальный материал, который используется почти во всех сферах деятельности людей: в быту, строительстве, производстве, науке, химической и других видах промышленности, космонавтике и других различных наукоемких отраслях. Основными его преимуществами являются высокая прочность, прозрачность, твердость, устойчивость к химическим веществам, невысокая стоимость производства в сравнении с прочими материалами. Большая часть производимого на сегодняшний день стекла идет на выпуск листов для застекления строений. Кроме того, материалы из стекла не поддаются гниению и плесени, устойчивы к огню и вибрациям, что делает их прекрасными звуко- и теплоизоляторами.

Триплекс – многослойное стекло, способное при ударе удерживать осколки благодаря специальной пленке, которой склеены между собой слои. Такое используется в транспорте, витринах и фасадах зданий, при необходимости бронирования. Его основной функцией является обеспечение безопасности. Как правило, изготавливается прессованием при нагреве. Изобретатель этого стекла – французский учёный-химик Эдуард Бенедиктус, который получил на него патент в 1909 году. Случай изобретения триплекса прост. Стеклянная колба с

остатками химических реактивов упала с полки, но не разбилась. Стекло потрескалось, но формы не потеряло. Бенедиктус, впечатленный сообщениями об автомобильных катастрофах, в которых водители и пассажиры сильно травмировались осколками стекла, начал эксперименты [2].

Цветное витражное стекло является не только основным элементом любого витража, но и современным элементом декора любого помещения. Декорированное стекло служит украшением интерьера. Его применяют в изготовлении элементов мебели, межкомнатных дверей, шкафов-купе, декоративных перегородок в доме.

Волокно из специальных марок стекла широко используется в **волоконной оптике**. В настоящее время это в основном линии связи, составляющие основу Интернета, телефонных и локальных телевизионных сетей, и устройства распределения оптического сигнала. Но возможно создание из пучков оптических волокон и традиционных элементов «макроскопической» оптики, например, линз.

Стекло разлагается более одного миллиона лет при обычных условиях, что является абсолютным рекордом среди всех веществ. Стекло нейтрально к действию щелочей и кислот. Это предопределило его повсеместное использование в химической промышленности. Стекло может быть переплавлено, причем оно не теряет своих характеристик и массу при этом процессе.

Стекло кардинально изменила жизнь человека. В средние века люди научились делать линзы, что позволило в 13 веке создать первые очки. Это помогало ученым продолжать свои изыскания даже после того, как их зрение портилось. А обычные люди могли видеть и довольно комфортно жить с плохим зрением. Немаловажной заслугой стекла является использование линз в мореходстве и военном деле. Их применение позволило создать подзорную трубу и др.

Изобретение зеркала также было бы невозможно без применения стекла. В настоящее время зеркала играют важную роль не только в быту, но и в освоении космоса, энергетике и других отраслях наукоемких производств. Благодаря зеркалам и линзам у человечества появилось два очень важных прибора, которые позволили вывести науку на небывалую высоту. Это микроскоп и телескоп.

Самое толстое стекло в мире используется в Сиднейском аквариуме. Его толщина 26 сантиметров, а размеры экрана 7 на 4 метра. Однако для более крупных аквариумов используется панель из акрила.

В 2015 году в Токийском Университете создали новый вид материала – прозрачное и прочное стекло путем добавления 50% глинозема, что сделало стекло эластичным и твердым как сталь. Целостность сохранялась даже на микроскопическом уровне. Это открывает дорогу к новым достижениям в разработке телефонов, компьютеров и электроники будущего.

Материал, который вызвал революцию в медицине, называется **биостекло**. Более прочное, чем кость, биостекло также является гибким и антисептическим [5].

Ученые из Курчатовского института изобрели уникальные стекла с высоким коэффициентом преломления, которые используются в объективах камер смартфонов, в очках дополненной реальности, в медицинской аппаратуре, в телескопах и микроскопах.

У стекла остается еще много загадок и тайн из-за неупорядоченной аморфной структуры. К ним относятся, например, механизмы разрушения традиционных стекол, таких как силикатные стекла. Ученые из Китайской Академии наук установили, что кавитация (процесс образования и схлопывания пузырьков) является источником трещин на поверхности стекла [6].

Заключение

Выводы:

1. В ходе работы мною была изучена теория, литература и интернет-ресурсы по данной теме, проведены опыты и эксперименты, позволившие изучить некоторые тайны стекла, физические свойства и особенности распространения звука и света в стекле.
2. То, что из стеклянных бокалов можно извлекать звуки, не ново. Однако, оказывается, что музыкальные звуки из них можно извлекать весьма своеобразным способом. Если обмакнуть палец в воду и аккуратно водить им по краю бокала, постоянно смачивая водой, то бокал «запоет». В ходе исследования мною было выяснено, что высота тона звука (частота) зависит от уровня воды в бокале и других параметров, представлено качественное описание этой зависимости.
3. Стекло можно сделать невидимым, если поместить его в жидкость с одинаковым абсолютным показателем преломления, что и было доказано в втором эксперименте.
4. Стекло – это уникальный материал, который используется почти во всех сферах деятельности людей. Я познакомился с новыми возможностями практического применения стекла, с открытиями и исследованиями ученых, технологическими инновациями, связанными с разработкой и применением стекла в различных отраслях промышленности, с использованием новых материалов на основе стекла в России. Эти актуальные направления науки и технологий обсуждались на научно-практических конференциях в 2022 году, который объявлен Международным годом стекла.

Список информационных источников

1. *Свешиников М.П.* Тайны стекла. – Ленинград: Детгиз, 1955/ Режим доступа: <https://kid-book-museum.livejournal.com/571518.html>.
2. *Стекло.* [Электронный ресурс] / Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE>
3. *Стебрянная арфа (Токката и fuga ре минор И.С. Баха).* Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=gDm4IphrlYg>.
4. *Стебрянная гармоника.* [Электронный ресурс] / Википедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0.
5. *Удивительные факты о стекле.* [Электронный ресурс] / Лаборатория знаний. Режим доступа: <https://vk.com/@certainlab-udivitelnye-fakty-o-stekle>.
6. *Ученые выясняют, как разбиваются стекла.* [Электронный ресурс] / портал «Научная Россия». Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/>.