

Краевая научно-практическая конференция  
учебно-исследовательских работ учащихся 9-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Изучение свойств неньютоновской жидкости на примере  
вещества HandGum**

Ахтямов Максим Олегович,  
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,  
Любимова Нина Юрьевна,  
старший преподаватель ПНИПУ.

Пермь. 2014.

## Оглавление

Введение.	3
Основная часть.	5
§1. Историческая справка.	5
§2. Применение HandGum в обычной жизни.	6
§3. Исследование свойств вещества:	7
•	
Опыт №1. Реакция на воду.	7
•	0
пыт №2. Изменение температуры среды, в которой находится вещество.	11
•	0
пыт №3. Выставление вещества на открытый огонь.	15
•	0
пыт №4. Нагревание от железного проводника до высоких температур.	16
•	0
пыт №5. Взаимодействие вещества с растворителем.	17
•	0
пыт №6. Изменение свойств при взаимодействии с микроволновой печью.	17
§4. Создание HandGum`а в домашних условиях.	18
Заключение.	19
Список литературы	20
Приложение	21

## **Введение.**

### **Проблема**

Спустя ровно 50 лет после открытия «умного пластилина» не было найдено производственного применения данного вещества, не смотря на его необычные свойства. Так же я предполагаю, что большее количество пользователей данного предмета, купив HandGum, не знают при каких условиях и как им пользоваться.

### **Актуальность работы**

Данное направление может представлять интерес, как для широкого круга общественности, так и для специалистов, работающих над изучением и использованием неньютоновских жидкостей. В нынешних условиях каждому студенту, выбирающему, чем он будет заниматься в течение жизни, и особенно абитуриенту, поступающему после 11 класса в университет, очень важна сфера деятельности, в которой он будет «творить». Так же тема может заинтересовать не только широкий круг людей, интересующийся этим веществом с точки зрения его применения в промышленности, но и обычных пользователей, которые купили HandGum и хотят расширить свои знания об этом предмете.

### **Практическая значимость**

Данный проект дает вам возможность расширить свои знания о веществе HandGum, в общем, и о его свойствах при различных взаимодействиях. Так же наше исследование предоставит вам возможность увидеть правила применения и его использования.

### **Цели исследования**

Опираясь на полученные результаты опытов, проведённых в ходе исследования, изучить свойства вещества, найти оптимальные условия для применения, найти сферы применения вещества HandGum и опровергнуть существующую информацию о данном веществе или наоборот подтвердить её. Попробовать создать свой прототип вещества и сравнить некоторые свойства с изначальным экземпляром.

### **Задачи:**

- собрать информацию по данной теме
- рассмотреть поведение объекта в разных средах, таких как вода, морозильная камера, и комнатная температура (объект будет помещаться в различные среды и сравниваться в свойствах с начальным экземпляром)
- выделить некоторые закономерности в поведении вещества

- изучить упругость объекта после взаимодействия с этими средам (выясним изменение упругости с помощью шкалы, на которой будут отмечены начальная точка и средняя точка максимального отскока, выявленная после нескольких повторяющихся бросков)
- рассмотреть потерю энергии при упругом соударении
- создать прототип, рассмотреть его свойства.

### **Прогнозируемые результаты**

Мы предполагаем, с помощью опытов, найти какое либо свойство, изменяющееся в определённой среде при определённом воздействии, благодаря которому вещество можно будет использовать не только как тренажёр для развития мелкой моторики рук или как средство для снятия стресса, но и как полноценную составляющую какого либо производства, возможно не только физической направленности. Так же мы думаем, что производитель написал не обо всех правилах применения или, возможно, некоторые из них не соответствуют реальности.

## Основная часть.

### Историческая справка.

В начале второй мировой войны, шотландский ученый и изобретатель Джеймс Райт работал в США, в компании General Electric, в лаборатории, которая находилась в Нью-Хейвене. Он выполнял исследовательскую работу по государственному контракту по созданию недорогой замены синтетическому каучуку.

В одно не очень доброе утро в 1943 году Райт случайно уронил борную кислоту в силиконовое масло, и с удивлением обнаружил, что получившаяся слизь растягивается и прыгает дольше, чем резина, даже при экстремальных температурах. Кроме того, это вещество могло скопировать любую газету или напечатанные комиксы, что особенно растрогало изобретателя.

В 1945 году компания General Electric поделилась этой «ореховой замазкой» (тогда её называли «nutty putty») с учеными во всем мире, и обнаружили, что никто, в том числе и в США, не нашли её более полезной, чем тот синтетический каучук, что уже производился.

Казалось, замазка была обречена остаться просто любопытной штучкой, но в 1949 году, безработный по имени Петер Ходгсон, собрал вечеринку на которой «ореховая замазка» и стала главным развлечением. Увидев рыночный потенциал в «ореховой замазке», как в детской игрушке, Ходгсон за 147 долларов выкупил у General Electric права на изобретение и начал производить это вещество. Он назвал вещество Silly Putty и стал продавать её, упаковывая в пластиковые яйца, так как дело было как раз перед пасхой. В скором времени, Silly Putty принесла ему несколько миллионов долларов.

Только после успеха в качестве игрушки, люди нашли и другие применения для Silly Putty: она прекрасно собирает пыль, грязь, шерсть домашних животных, её можно использовать, чтобы стабилизировать шаткую мебель.

Silly Putty принесла Петеру Ходгсону состояние в 140 миллионов долларов (на момент его смерти в 1976 году)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://smartgum.myinsales.ru/blog>: ст. «Что такое умный пластилин»

## **Применение HandGum в обычной жизни.**

На сегодняшний день компании–изготовители HandGum не предоставляют никакой информации об его использовании в промышленности или каком-либо производстве. Сегодня общество использует HandGum для релаксации и в качестве противоударного и водонепроницаемого чехла для телефона.

Есть идеи для использования «умной жвачки» для снятия отпечатков пальцев или слепков ключей, но, чтобы это имело какой либо смысл, необходимо в этот же момент замораживать его, иначе он начнёт деформироваться («потечёт»), т.к. в длительных промежутках времени он ведёт себя как жидкость.

Так же его используют для того, что бы избавиться от вредных привычек, отвлекая себя занимательным перемином вещества.

Когда вы мнёте руками HandGum, то задеваете и массируете большое количество точек, отвечающих за работу целого организма, при этом, доставляя вам удовольствие от прикосновений к нему.

HandGum использовался Американскими астронавтами, которые во время пребывания в космосе обклеивали им острые предметы, чтобы случайно не пораниться.

Удобно использовать маленький кусочек HandGum`а для того, что бы собирать шерсть домашних животных с одежды.

HandGum - это поистине уникальная и интересная вещь, с которой можно весело провести время и одному, и с компанией.

## Исследование свойств вещества.

Для того, что бы изучить вещество, мы сделали несколько опытов, с помощью которых рассмотрели упругость HandGum в особенности, а так же несколько других свойств, проведём измерения потери энергии в некоторых опытах, а так же запишем результаты прямых измерений в стандартном виде. Все процессы были сняты на видео, что позволило нам рассмотреть его свойства и сделать соответствующие измерения.

Найдём, по Стьюденту, центр доверительного интервала: среднее арифметическое значение. Получим его из измерений:

$$\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{n} .$$

Абсолютная погрешность измерения равна полуширине доверительного интервала для заданной надёжности измерения  $\alpha$  и определяется соотношением

$$\Delta x = \tau_{\alpha} S_x ,$$

где  $S_x$  – среднее квадратичное отклонение, а  $\tau_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента, учитывающий количество измерений  $n$  и требуемую надёжность  $\alpha$ . Значения коэффициентов Стьюдента приводятся в таблицах. В нашем случае он равен 4,3, т.к. мы проводим 3 измерения.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} .$$

После определения погрешности методом Стьюдента результат прямых измерений записывают в стандартном виде:  $x = (\langle x \rangle \pm \Delta x)$  (единица измерения).

Для быстроты и простоты вычисления и записи результатов прямых измерений в стандартном виде каждого из следующих опытов напишем программу в среде разработки Pascal, в которой мы будем вводить 3 результата измерений одного опыта и в результате получать запись в стандартном виде (результаты измерений каждого из опытов см. в приложении).

## Опыт №1. Реакция на воду.

Для данного опыта нам понадобился сам HandGum, сосуд и вода комнатной температуры (25°C), камера, персональный компьютер. Мы опускали его в воду два раза: на 15 и на 30 минут. После этого мы достали его из воды, было хорошо заметно, что он стал иметь более жидкое состояние. Стал быстрее расплываться, когда оставляли его в покое.

Дальше мы бросали вещество с определённой высоты и измеряли высоту, до которой оно подскочит. Каждый бросок мы снимали на видеокамеру и просматривали на ПК, где мы находили максимальную высоту отскока вещества. С помощью опытов мы выяснили, что высота отскока  $h$  после соприкосновения с водой значительно уменьшается и обратно пропорциональна времени  $t$ , проведённому в воде ( $t=25^\circ\text{C}$ ):

$$h \sim \frac{1}{t}$$

Проведём для каждой среды по 3 опыта, рассчитаем потерю энергии при броске из начального положения и отскоке от плоскости после пребывания вещества в воде и запишем результат в стандартном виде:

где  $h_n$  - начальное положение,  $h_k$  - конечное положение.

Для быстроты вычислений напишем программу на языке программирования Pascal, где мы будем вводить 3 значения высоты для каждого из опытов и получать 3 значения  $W_{\text{потер}}$ . Ниже будут представлены средние значения  $W_{\text{потер}}$  и приведение их к стандартному виду, все расчеты вы сможете посмотреть в приложении №1.

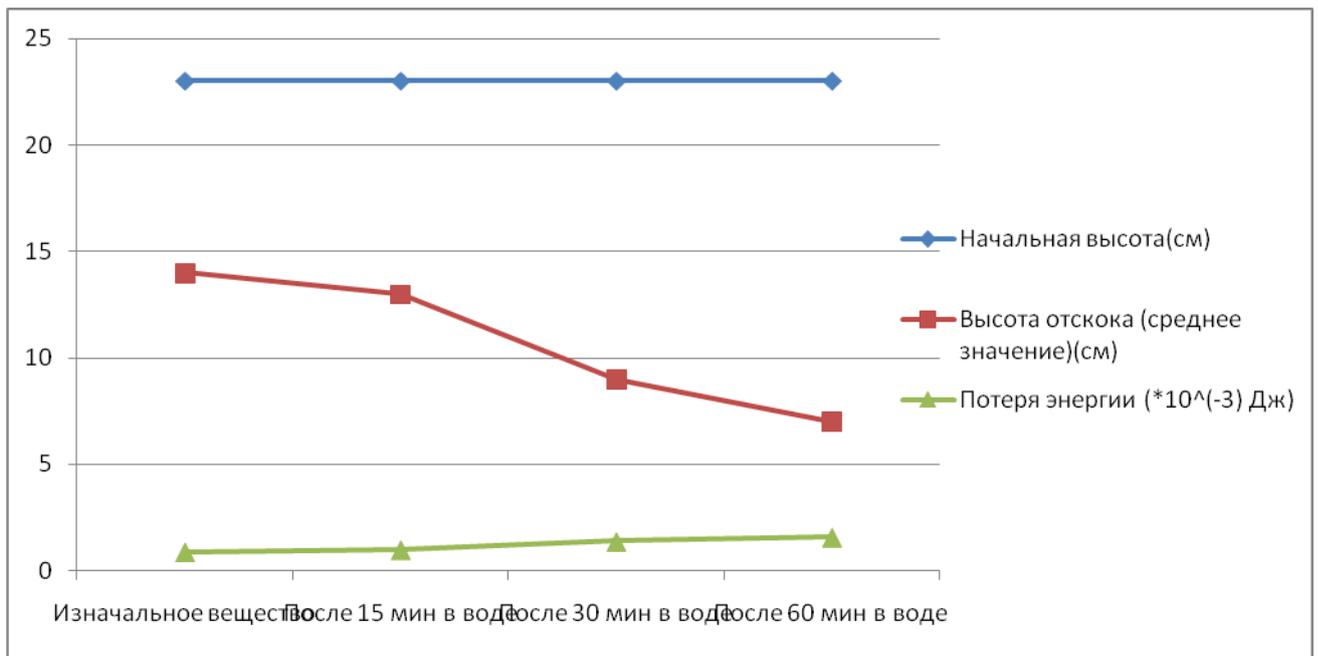
- После 0 мин в воде:

- После 15 мин в воде:

- После 30 мин в воде:

- После 60 мин в воде:

Вывод: благодаря опытам мы выяснили, что не стоит давать веществу соприкоснуться с водой, так как вещество теряет свои упругие способности. Чем дольше вещество находится в воде, тем меньшую высоту отскока оно имеет и, следовательно, тем больше потеря энергии при отскоке.



## Опыт №2. Изменение температуры среды, в которой находится вещество.

Для этого опыта нам понадобилась холодильная камера Cool Tech Bio и HandGum. Мы помещали вещество в холодильную камеру с температурой  $-16^{\circ}\text{C}$  на 60 минут. Когда мы только вынули объект из морозильной камеры, он был точно резиновый попрыгунчик: плохо поддавался деформации, т.к. он был очень твёрдым, то и ровно прыгал, благодаря тому, что не деформировался, сначала вообще не растекался.

Примерно через 5 минут он приобрёл комнатную температуру. К нему вернулись все изначальные свойства.

Было бы идеально провести опыт по рассмотрению его упругости прямо в морозильной камере, что бы избежать погрешностей, возникающих по мере нагревания вещества, но такой возможности не предоставляется из-за её размеров.

И из опытов замера высоты подпрыгивания шарика вещества, мы выяснили, что *способность вещества деформироваться (сопротивление тела вдавливанию)  $H$  после взаимодействия с охлаждённой средой ( $t < 25^{\circ}\text{C}$ ), обратно пропорциональна температуре  $t$ , которую приобретает тело, находясь в этой среде (начальной точкой отсчёта является комнатная температура  $25^{\circ}\text{C}$ ):*

$$H \sim \frac{1}{t}$$

При нагревании тела до комнатной температуры и выше ( $t > 25^{\circ}\text{C}$ ) его упругие свойства улучшаются, т.к. при низкой температуре оно почти не деформируется во время броска в опору и имеет свойства твёрдого вещества, то и *высота отскока  $h$  прямо пропорциональна температуре охлаждения, которую приобретает вещество в среде:*

$$h \sim t_1 \text{ (чем меньше } t, \text{ тем меньше } h \text{)}$$

Но если мы сильно нагреваем вещество, то высота отскока  $h$  обратно пропорциональна температуре нагрева  $t$ .

$$h \sim \frac{1}{t_1} \text{ (чем выше } t \text{ нагрева тем меньше)}$$

Проведём по 3 опыта для каждой температуры и рассчитаем потерю энергии при броске из начального положения и отскоке от плоскости после изменения температурных условий, запишем результат в стандартном виде:

,

где - начальное положение, - конечное положение.

Для быстроты вычислений, так же, напишем программу на языке программирования Pascal, где мы будем вводить 3 значения высоты для каждого из опытов и получать 3 значения  $W_{\text{потер}}$ . Ниже будут представлены средние значения  $W_{\text{потер}}$  и приведение их к стандартному виду (все расчеты вы сможете посмотреть в приложении №2.1 и №2.2):

- При  $t=-16^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=-5^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=0^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=15^{\circ}\text{C}$ :

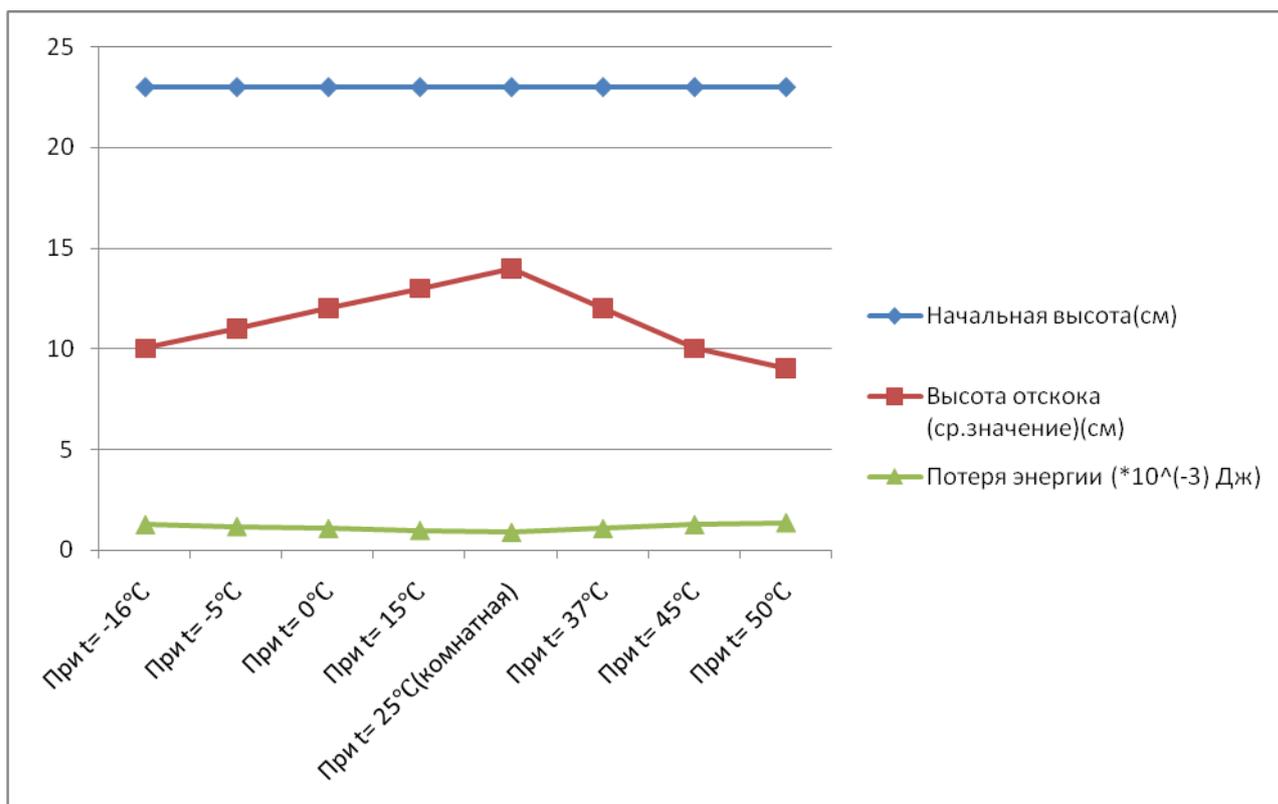
- При  $t=25^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=37^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=45^{\circ}\text{C}$ :

- При  $t=52^{\circ}\text{C}$ :

Вывод: наиболее благоприятная среда для полноценного использования вещества – температурные условия, приближенные к комнатным, то есть, если использовать вещество в температурных условиях выше или ниже примерной планки 25°C, то высота отскока после упругого соударения будет уменьшаться. Так же будет происходить большая потеря энергии, следовательно, упругие свойства вещества тоже будут ухудшаться. Но в случае с нагреванием вещества будут улучшаться текучие свойства вещества, а в случае с охлаждением – стойкость вещества к деформации (становится менее деформируемо).



### **Опыт №3. Выставление вещества на открытый огонь.**

Для опыта нам понадобился источник огня (газовая плита), HandGum, какое либо крепление, на котором мы будем держать вещество.

Мы взяли кусочек HandGum`а, проткнули его ножницами так, что бы он держался на них. Выставили на открытый огонь, стараясь, чтобы огонь не нагревал ножницы, вследствие чего бы нагревалось вещество. Во время опыта вещество неоднократно загоралось, но мы отводили его от источника огня на мгновение, чтобы оно не горело самостоятельно. Нельзя было не заметить, что во время опыта оно покрывалось белым веществом, похожим на осадок или порошок, а так же имело неприятный запах горелых веществ, которые входят в состав HandGum.

Так же мы заметили, что вещество не обретало жидкое стояние быстрее, чем обычно. Так же было вязким (см. Приложение №3, №4).

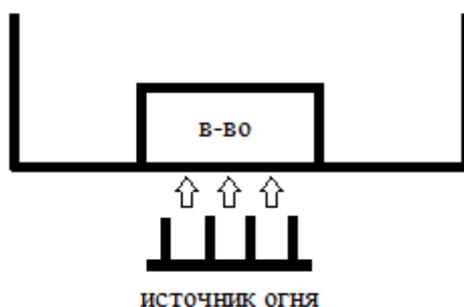
Вывод: не рекомендуется выставлять вещество на открытый огонь, т.к. продукты горения HandGum, которые представляют собой твёрдое вещество, просто напросто сгорает, и этот белый порошок попадёт внутрь объекта и портит его, уменьшая массу вещества и ухудшая его свойства. Вещество начинает приобретать запах горелого, что отрицательно влияет на организм человека.

## Опыт №4. Нагревание от железного проводника до высоких температур.

Нам понадобилась железная кастрюля, HandGum, источник огня.

Кладём вещество на проводник (в кастрюлю), притом проводник находится над прямым источником огня.

Объект сначала расплывается, далее пузырится, пузыри лопаются (см. Приложение №5). В какой-то момент объект перестал пузыриться и перешёл в режим пассивного поддержания температуры. Далее мы дали объекту остыть. По консистенции он напоминал резину, по запаху жженую, объект полностью потерял упругость, сохранял форму расплывшегося вещества. На вид: регулярную структуру, состоявшую из пузырей.



Он длительное время лежал на месте, не расплывался, не становился глянцевым, как изначальный экземпляр. Со временем вещество не занимало предоставленный объём, а держало форму.

Далее мы смяли объект, и случилось то, что он, как и исходный экземпляр имел почти такую же упругость, при грубом воздействии сохранял форму, при спокойствии растекался (почти обычные свойства HandGum`а, только хуже). Потеря энергии почти не произошла. Это был самый интересный и противоречивый опыт с веществом. Т.к. наблюдалось изменение внутреннего строения вещества, мы получили вещество, более похожее на резину, то есть, если изначально мы имели текучее со временем вещество, то после опыта оно представляло собой вещество, сохраняющее форму.

Так же из этого опыта мы выяснили, что *текучесть  $\gamma$  прямо пропорциональна температуре  $t$  нагревания:*

Вывод: не рекомендуется нагревать вещество до предельных температур, т.к. оно теряет свои свойства (мы предполагаем, что разрушается строение

нашего тела). Так же, после такого нагревания пары, выделяемые после реакции, как нам кажется, плохо влияют на здоровье, возможны головокружения.

### **Опыт №5. Взаимодействие вещества с растворителем.**

Для данного опыта мы брали растворитель и HandGum.

Когда мы капнули растворителя на вещество, сделав внутри него углубление, было видно, что вещество растворяется в растворителе, оно будто капли масла в воде отслаивалось и плавало в растворителе (см. Приложение №6).

Вывод: *масса вещества  $m$  обратно пропорциональна времени  $t_{\text{д}}$ , которое вещество лежит в растворителе.*

$$m \sim \frac{1}{t_{\text{д}}}$$

### **Опыт №6. Изменение свойств вещества при взаимодействии с микроволновой печью.**

Для опыта нам были необходимы микроволновая печь, специальная основа, не нагревающаяся в микроволновой печи и HandGum.

Мы положили HandGum на специальную тарелку в микроволновую печь. Спустя время вещество очень сильно нагрелось, приобрело резкий запах гари и расплавилось на тарелке. Взять его с тарелки получилось только тогда, когда оно остыло и приобрело стандартные свойства.

Вещество после опыта именно меньшую упругость, а так же хуже рвалось.

Вывод: благодаря данному опыту мы подтвердили, что вещество самостоятельно не нагревается в микроволновой печи, если оно не соприкасается с материалом, который в ней нагревается (к примеру, стекло).

## Создание HandGum в домашних условиях.

На сайтах производителей или в комментариях на форумах большое количество людей возмущенно пишут, что зачем им переплачивать, покупая HandGum от производителей за 600 рублей, если можно сделать его в домашних условиях за 100 рублей. Мы приобрели HandGum у производителя и нашли способ сделать прототип в домашних условиях.

Для его создания нам было необходимо приобрести натрий тетраборат, клей ПВА, ёмкость для смешивания, гуашь для цвета, палочку для размешивания, перчатки для безопасности.

Мы брали ёмкость, заливали в неё клей ПВА (чем больше клея, тем больше вещества) и гуашь, что бы добавить веществу какой либо цвет. Размешиваем клей с гуашью. Далее необходимо было добавить в ёмкость с клеем чайную ложку натрий тетрабората (при опыте будьте аккуратны: не забудьте надеть перчатки на руки, во избежание попадания кислоты на руки, хоть она и не слишком опасна для здоровья). Далее размешивали клей с кислотой, пока не образовывался комок из клея, прилипающий к нашей палочке. Если в ёмкости оставался клей, то необходимо добавить ещё немного кислоты. Далее мы оставляли вещество в пакете, что бы стекла лишняя жидкость.

Мы получили вещество, и сразу же начали сравнивать его с оригиналом:

1. На вид оно было идентично оригиналу, так же блестело, переливалось
2. Оно имело запах кислоты, что не скажешь об оригинале, имеющем разные вкусы (на выбор покупателя)
3. Отскакивало при броске и растекалось при спокойствии
4. Оно имело менее упругие свойства: высота отскока составляло примерно в 3 раза меньше, чем у оригинала
5. Имело более жидкие свойства, чем у оригинала
6. Если разорвать оригинал, то на месте разрыва образовывалась ровная поверхность, что не скажешь об искривлённой поверхности прототипа
7. И главное различие: если на долгое время оставить прототип на воздухе, то он засыхает, т.к. всё таки в его основе клей ПВА.

Итак, мы имеем такие похожие и одновременно такие разные вещества. Если вы хотите купить вещество, от которого вы будете получать реальное удовольствие, то не нужно экономить, а если вам хочется проделать опыт по созданию вещества, и получить от его использования небольшое удовольствие, то ваш выбор – прототип.

## **Заключение.**

Мы провели несколько опытов, в которых мы рассматривали различные свойства HandGum. Благодаря проделанным экспериментам мы вывели некоторые закономерности и зависимости одного свойства от другого:

1. Упругость от температуры
2. Упругость от времени
3. Твёрдость от температуры
4. Текучесть от температуры

Мы измерили высоту подъёма после 1 отскока от поверхности и рассчитали потерю энергии после взаимодействия с водой и изменения температурных условий. После определения погрешности методом Стьюдента мы записываем результат прямых измерений в стандартном виде.

Так же, мы опровергли мнения, представленные в средствах массовой информации, об этом веществе (к примеру: вещество обладает теплопроводностью и не теряет своих свойств после взаимодействия со средой с низкой температурой), создали прототип вещества, имеющего немного схожие свойства с оригиналом, определили его достоинства и недостатки перед оригиналом.

Мы считаем, что данную тему можно исследовать ещё и ещё и её актуальность, по крайней мере, в ближайшее время, не будет исчерпана.

## Список литературы

1. Братухин Ю. К. Обработка результатов измерений: учеб. пособие / Ю.К.Братухин, Г.Ф.Путин, – Пермь.: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1988.– 44 с. (приведение прямых измерений к стандартному виду)
2. <http://otvet.mail.ru/question/92591016> (создание прототипа вещества)
3. <http://smartgum.myinsales.ru/blog> (история создания вещества и его применение)

## Приложение

### Приложение №1

(рассматриваем упругость и потерю энергии вещества после взаимодействия с водой)

<b>Опыт (в воде)</b>	<b>№1. 0 мин</b>	<b>№2. 15 мин</b>	<b>№3. 30 мин</b>	<b>№4. 60 мин</b>
h0(м)	0,23	0,23	0,23	0,23
h1(м)	0,13	0,12	0,07	0,06
h2(м)	0,14	0,13	0,09	0,07
h3(м)	0,15	0,14	0,11	0,08
W1*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,98	1,08	1,57	1,66
W2*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,88	0,98	1,37	1,57
W3*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,78	0,88	1,1	1,47
Wсред*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,88	0,98	1,37	1,57
dx*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,25	0,25	0,58	0,24

### Приложение №2.1

(рассматриваем упругость и потерю энергии вещества после изменения температурных условий)

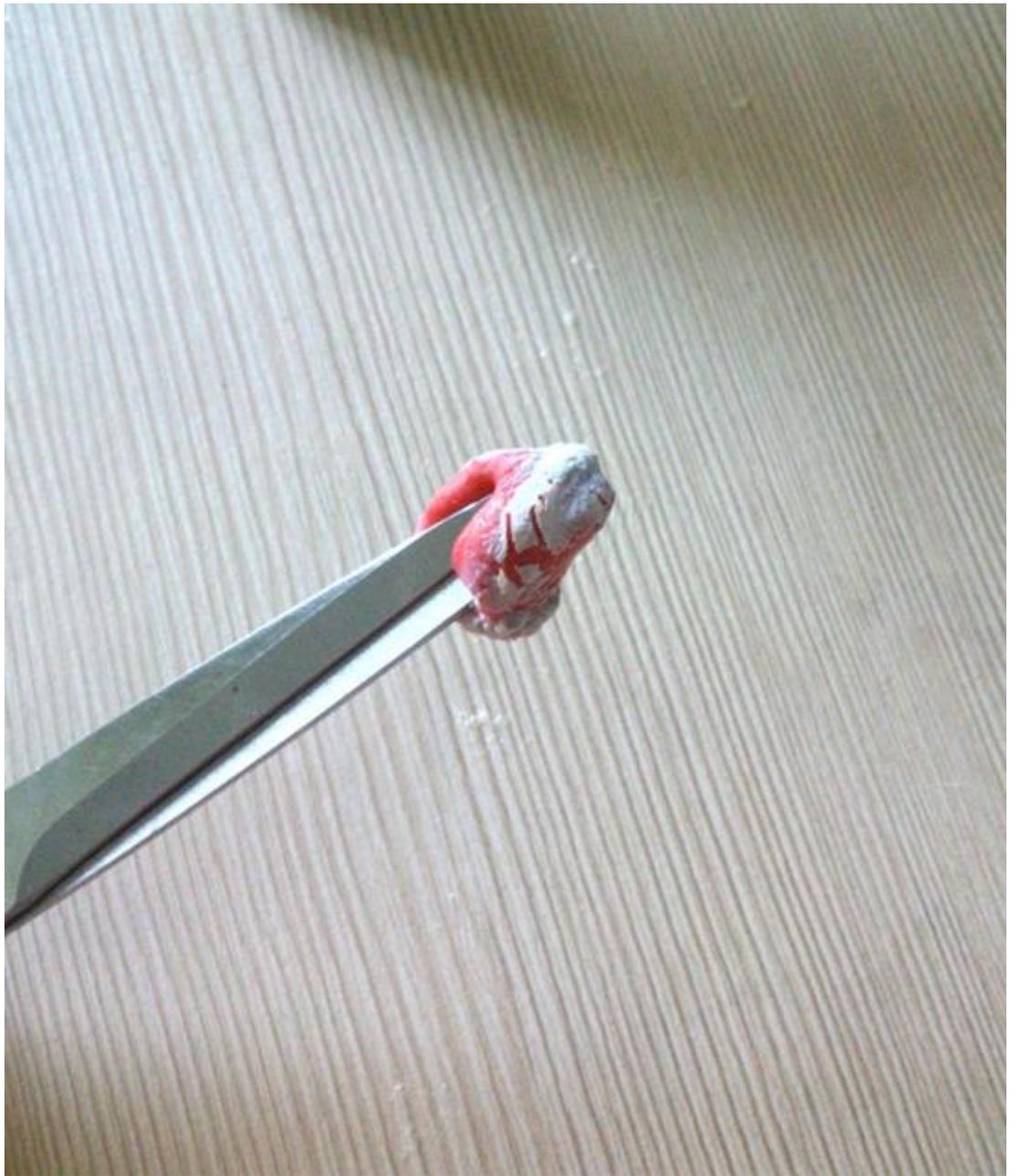
<b>Опыт с t</b>	<b>№1. -16°C</b>	<b>№2. -5°C</b>	<b>№3. 0°C</b>	<b>№4. 15°C</b>
h0(м)	0,23	0,23	0,23	0,23
h1(м)	0,08	0,1	0,11	0,12
h2(м)	0,1	0,11	0,12	0,13
h3(м)	0,12	0,12	0,13	0,14
W1*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	1,47	1,27	1,18	1,08
W2*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	1,27	1,18	1,08	0,98
W3*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	1,08	1,08	0,98	0,88
Wсред*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	1,27	1,18	1,08	0,98
dx*10 <sup>^(-3)</sup> (Дж)	0,48	0,24	0,24	0,24

### Приложение №2.2

<b>Опыт с t</b>	<b>№5. 25°C</b>	<b>№6. 37°C</b>	<b>№7. 45°C</b>	<b>№8. 52°C</b>
<b>h0(м)</b>	0,23	0,23	0,23	0,23
<b>h1(м)</b>	0,12	0,11	0,09	0,08
<b>h2(м)</b>	0,14	0,12	0,1	0,09
<b>h3(м)</b>	0,16	0,13	0,11	0,1
<b>W1*10<sup>^</sup>(-3) (Дж)</b>	1,08	1,18	1,37	1,47
<b>W2*10<sup>^</sup>(-3) (Дж)</b>	0,88	1,08	1,27	1,37
<b>W3*10<sup>^</sup>(-3) (Дж)</b>	0,68	0,98	1,18	1,27
<b>Wсред*10<sup>^</sup>(-3) (Дж)</b>	0,88	1,08	1,27	1,37
<b>dx*10<sup>^</sup>(-3) (Дж)</b>	0,49	0,24	0,24	0,24

### Приложение №3

(вещество, представленное после взаимодействия с прямым источником огня, покрылось «белой пудрой»)



Приложение №4

(вещество, представленное после взаимодействия с прямым источником огня, покрылось белой пудрой)



Приложение №5

(вещество, находящееся на поверхности железной кастрюли,  
нагреваемой от прямого источника огня)



Приложение №6

(вещество, представленное после взаимодействия с растворителем)

