**Содержание**

Введение……………………………………………………………………….3

I. Общая характеристика и особенности неньютоновской жидкости……..5

1.1 Характеристика жидкого состояния…………………………………..5

 1.2 Ньютоновские и неньютоновские жидкости........................................5

 1.3 Классификация неньютоновских жидкостей…………………………7

 1.4 Области применения неньютоновской жидкости……………………8

II. Экспериментальное исследование неньютоновской жидкости…….....10

 2.1 Опыты с водой и крахмалом………………………………………....10

 2.2 Наблюдение «Эффекта Кайе»………………………………………..11

 2.3 Течение вязкой жидкости ……………………………………………12

 2.4 Тиксотропная жидкость……………………………………………....12

Заключение…………………………………………………………………...14

Список литературы…………………………………………………………..15

Приложение………………………………………………………………….16

**Введение**

Тема моего исследования – «Неньютоновская жидкость». Я давно слышал о существовании необычных жидкостей с удивительными свойствами: при малых нагрузках они мягкие, текучие и эластичные, а при больших – становятся твердыми и очень упругими. Мне была интересна данная тема с познавательной точки зрения, но с началом углубленного изучения курса физики в школе, мне захотелось исследовать данную тему также с научной и практической точек зрения.

Неньютоновские жидкости встречаются и применяются во многих сферах жизнедеятельности человека: при разработке технологий, в различных производственных процессах, при проектных работах и конструкторских расчётах, относящихся к самым различным материалам: (резине, нефтепродуктам, глинам, силикатам и др.). Неньютоновские жидкости мы встречаем среди пищевых продуктов, бытовых и косметических средств, в медицине и во многих других сферах жизни. Мы пользуемся ими каждый день и поэтому должны знать их свойства, чтобы научиться извлекать из них максимальную пользу. Таким образом, с научной точки зрения изучение неньютоновских жидкостей очень интересно и **актуально** в наши дни.

**Цель работы** – изучить свойства и особенности неньютоновских жидкостей для последующего их применения в практических целях.

**Объектом исследования** выступает неньютоновская жидкость.

**Предмет исследования** – интересные свойства и особенности неньютоновской жидкости.

**Задачи исследования:**

1) Изучить характеристику жидкости, как агрегатного состояния.

2) Познакомиться с историей открытия неньютоновских жидкостей, их свойствами и особенностями.

3) Провести сравнение ньютоновской и неньютоновской жидкости.

4) Рассмотреть классификацию и области применения неньютоновских жидкостей.

5) Провести экспериментальное исследование свойств неньютоновской жидкости.

6) Обобщить изученный материал, сделать вывод, предложить варианты применения данных жидкостей.

В работе выдвигается следующая **гипотеза** – допустим, что неньютоновская жидкость может иметь свойства как твердого тела, так и жидкого в зависимости от прикладываемой силы.

В ходе исследования были использованы следующие **методы:** поиск информации в научной и учебной литературе, сети Интернет, сравнение, анализ, построение таблиц, эксперимент.

В результате использования данных методов получилась работа, состоящая из двух глав. Каждая глава в свою очередь делится на параграфы.

**Новизна исследования** заключается в том, что данная тема на сегодняшний день очень мало изучена, ее не рассматривают в школе на уроках физики, а свойства неньютоновских жидкостей в свою очередь таковы, что могут быть использованы с максимальной пользой в тех областях, где необходим эластичный, легкий, но вместе с тем прочный материал (например, сфера обороны, строительства, ремонта дорог и др). Поэтому я постарался в своей работе не просто изучить и проверить свойства неньютоновской жидкости, но и предложить варианты ее использования.

**Практическая значимость** исследования заключается в том, что его результаты могут быть использованы на уроках физики в средней школе, в викторинах и конкурсах, в практических опытах, где ученики сами смогут изготовить неньютоновскую жидкость и проверить ее свойства опытным путем. Практическая значимость также заключается в том, чтобы обратить внимание людей на изучение и развитие данной темы для максимального использования данного рода жидкостей в жизнедеятельности человека.

**I. Общая характеристика и особенности неньютоновской жидкости**

**1.1 Характеристика жидкого состояния**

Для того, чтобы начать разбираться в неньютоновских жидкостях, нам нужно изучить свойства жидкости в общем виде, как агрегатного состояния. Итак, жидкое состояние обычно считают промежуточным между твёрдым телом и газом: газ не сохраняет ни объём, ни форму, а твёрдое тело сохраняет и то, и другое. *(Приложение 1 рис. 1)*

Жидкость – состояние вещества, в котором оно может неограниченно менять форму при механическом воздействии снаружи, даже очень малом, практически сохраняя при этом объём. У жидкости нет такой сильной, как у твердого тела, внутренней связи между частицами, чтобы сопротивляться воздействию внешних сил (например, силе тяжести), поэтому та же сила тяжести не размазывает о стол, лежащий на нем стальной нож, но вжимает воду в стакан, заставляя ее принять его форму. Это свойство жидкостей называется текучестью. *(Приложение 1 рис. 2)*

Другое важное свойство жидкостей, роднящее их с газами – вязкость. Она определяется, как способность оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой.

Вязкость еще называют силами вязкого трения. Заметность действия сил вязкого трения легко увидеть, размешивая, например, в кастрюле воду. Помешивая ложкой по окружности маленького радиуса, в центре кастрюли, мы замечаем, что сначала вращается лишь центр водяной линзы, а потом, постепенно, во вращение начинают вовлекаться все новые и новые наружные слои жидкости – и они вовлекаются за счет трения слоев молекул воды друг о друга. Чем больше вязкость размешиваемой жидкости – тем больше сил приходится прикладывать к ложке, и тем легче вовлекаются в движение внешние слои.

Вязкостью обладают все жидкости (кроме сверхтекучей фракции жидкого гелия), и у всех она разная. Все обладающие вязкостью жидкости подразделяются на ньютоновские и неньютоновские. *[6. C. 36] (Приложение 1 рис. 3)*

**1.2 Ньютоновские и неньютоновские жидкости**

Итак, жидкости можно разделить на ньютоновские и неньютоновские. Этим названиям они обязаны английскому ученому Исааку Ньютону. Исаак Ньютон - английский физик, математик, механик, и астроном. *(Приложение 1 рис. 4)* В конце XVII века [Исаак Ньютон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%B0%D0%B0%D0%BA_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD) обратил внимание, что быстро грести вёслами гораздо тяжелее, нежели если делать это медленно. Он сформулировал закон вязкого трения жидкостей, согласно которому при сдвиговых течениях касательные напряжения между слоями жидкости увеличиваются пропорционально относительной скорости движения соседних слоёв. *(Приложение 1 рис. 5)*

Ньютон дополнительно обратил внимание на особенности жидкостей, когда пытался моделировать движение планет Солнечной системы посредством вращения цилиндра, изображавшего Солнце, в воде. Если поддерживать вращение цилиндра, то постепенно вращение передаётся всей массе жидкости. Впоследствии для описания подобных свойств жидкостей стали использовать термины «внутреннее трение» и «[вязкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)», получившие одинаковое распространение. *[2. C. 95]*

Эти работы Ньютона положили начало изучению вязкости и [реологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) - раздела физики, изучающего деформации и текучесть вещества.

Таким образом, согласно закону Ньютона, жидкость будет продолжать обладать текучими свойствами в независимости от того, какие силы действуют на нее. Если же жидкость не подчиняется этому закону, её условно называют «неньютоновской». *[9. C. 95]* В простонародье такую жидкость еще иногда называют «твердожидкостью». При воздействии на неньютоновскую жидкость механическими усилиями вязкость жидкости очень сильно увеличивается, и она начинает вести себя почти как твердое тело, что очень интересно для её изучения.

В ньютоновских растворах молекулы движутся согласно физическим законам Ньютона. Например, вода или спирт при воздействии на них продолжают течь и менять форму. Их структура сохраняется. Неньютоновская же жидкость может быть вязкой, текучей или твердой в зависимости от характера внешней воздействующей силы. Законы Ньютона здесь не работают. *(Приложение 1 рис. 6)* Скорость течения не влияет на плотность воды. Но чем быстрее течет мед, сгущенка - тем меньше их вязкость. Простыми словами неньютоновская жидкость - промежуточное вещество между текучей субстанцией и твердым телом. *[1. C. 309]*

Можно сформулировать определение: неньютоновской  называют [жидкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), при течении которой её [вязкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) зависит от [градиента](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%28%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29) (вектора) скорости. Обычно такие жидкости сильно неоднородны и состоят из крупных [молекул](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D0%B0), образующих сложные пространственные структуры. *[5.]*

Простейшим наглядным бытовым примером может являться смесь [крахмала](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%BC%D0%B0%D0%BB) с небольшим количеством воды. Интенсивно размешивать густой раствор крахмала тяжело. Снизьте скорость, уменьшите усилия — ложка будет легко передвигаться. Если наполнить крахмальным желе бассейн — по нему можно пробежать, как по земле. Стоит остановиться, и вы провалитесь. *(Приложение 1 рис. 7)*

К неньютоновской жидкости относятся всем известные болотная трясина и зыбучие пески, которые опасны тем, что они могут засасывать в себя все, что в них попадает. Встань на такой песок - и начнешь тонуть в нем, но если же быстро ударить по зыбучему песку, то он сразу же затвердеет. *(Приложение 1 рис. 8,9)*

Но неньютоновские жидкости также различаются между собой своими свойствами. В связи с этим необходимо рассмотреть их классификацию.

**1.3 Классификация неньютоновских жидкостей**

Известные классификации неньютоновских жидкостей построены на опытных уравнениях, связывающих вязкость и скорость деформации. По этим уравнениям строят кривые течения жидкостей.

Неньютоновские жидкости подразделяют на три основные группы:

1. неньютоновские вязкоупругие жидкости;

2. неньютоновские нестабильные жидкости;

3. неньютоновские вязкие жидкости.

К первой группе ученые относят только вязкие жидкости, характеристики которых не зависят от времени. К этой подгруппе относятся следующие виды жидкостей:

а) псевдопластичные - [вязкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) жидкости уменьшается при увеличении [напряжения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0). Псевдопластичность может быть продемонстрирована на примере такого продукта как кетчуп. Если пластиковую бутылку с кетчупом сжать, то у содержимого бутылки изменяется вязкость, и вещество, бывшее до того густым как мёд, начинает вытекать почти как вода. Это свойство позволяет кетчупу, с одной стороны, легко вытекать из тары, а с другой стороны, сохранять свою форму на тарелке;

б) бингамовские жидкости – под воздействием малого внешнего усилия они ведут себя как твердые тела, а при большом усилии начинают проявлять свойства вязкой жидкости. Пример бингамовской жидкости – это болотная трясина, которая по-разному реагирует на попадающие в нее живые и неживые объекты: не трогает мертвое, но засасывает все живое;

в) дилатантные жидкости  — это такие жидкости, которые наоборот под воздействием большого внешнего усилия ведут себя как твердые тела, а при малом усилии проявляют свойства вязкой жидкости.. Такой эффект можно легко наблюдать в смеси кукурузного крахмала и воды, которая ведёт себя данным образом, когда по её поверхности наносится удар или в неё что-либо бросают.

Ко второй группе жидкостей принято относить неньютоновские жидкие вещества, свойства которых зависят от времени. Эти жидкости на данный момент подразделяют на:

а) тиксотропные жидкости – жидкости, которые способны уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя (сливочное масло);

б) реопектические жидкости – вязкость этих жидкостей увеличивается со временем при увеличении напряжений сдвига (кровь, лимфа, тканевая жидкость и т.д.).

К третьей группе относятся вязкоупругие жидкости. Кажущаяся вязкость этих веществ уменьшается под влиянием напряжений, после снятия которых объекты частично восстанавливают начальную форму. К этому типу жидкостей возможно причислить некоторые пасты и смолы тестообразной консистенции. *(Приложение 1 рис. 10) [7. C. 224]*

Как мы видим, существует много различных неньютоновских жидкостей, каждая из которых обладает своими уникальными свойствами. Поэтому данные жидкости применяются практически повсеместно, мы даже и не догадываемся, что неньютоновские жидкости повсюду вокруг нас.

**1.4 Области применения неньютоновской жидкости**

Неньютоновские жидкости применяются во многих областях нашей жизнедеятельности и очень упрощают жизнь современного человека. Рассмотрим наиболее известные области применения данных жидкостей.

1. Автомобильная промышленность. Моторные масла синтетического производства на основе неньютоновских жидкостей уменьшают свою вязкость в несколько десятков раз, при повышении оборотов двигателя, позволяя при этом уменьшить трение в двигатели.

Магнитные мелкодисперсные неньютоновские жидкости применяют в новейших технологиях для амортизации некоторых элементов транспортного оборудования или механических машин.

2. Нефтепромышленность. Двигаясь в трубе, жидкость испытывает силу трения о ее поверхность, в результате чего кинетическая энергия переходит в тепловую. Снижение силы трения является важной технической проблемой, которую удается решить с помощью добавления в нефть малого количества полимера (неньютоновской жидкости), что значительно снижает силу трения. Этот эффект используют при перекачке нефти по длинным трубопроводам (эффект Томса). *[10. C. 305]*

3. Пожаротушение и мореплавание. Этот же самый эффект помогает в пожаротушении, а также в мореплавании. В 50-е годы американские пожарные начали добавлять полимерные добавки в жидкость, вытекающую из брандспойта, при этом длина струи увеличивалась в полтора раза. Полимерные добавки в смазывающих материалах повышают ресурсы станков и приборов. Так, например, можно увеличивать скорость судна путем впрыскивания вблизи его носовой части малых количеств полимерного раствора.

4. Косметология. Кремы, мази, лосьоны, гели, шампуни и т.д. – это тоже примеры неньютоновских жидкостей. Ими мы пользуемся ежедневно. Чтобы косметика держалась на коже, ее делают вязкой. В гелях для душа вязкость регулируют для того, чтобы они оставались на теле достаточно долго, чтобы смыть грязь, но не дольше, чем нужно, иначе человек почувствует себя снова грязным. Обычно вязкость готового косметического средства изменяют искусственно, добавляя модификаторы вязкости. Наибольшая вязкость — у мазей. Вязкость кремов — ниже, а лосьоны — наименее вязкие.

5. Кулинария. Чтобы улучшить оформление блюд, сделать еду более аппетитной в кулинарии используют вязкие продукты питания. Продукты с большой вязкостью, например, соусы, очень удобно использовать, чтобы намазывать на другие продукты. Их также используют для того, чтобы удерживать слои продуктов на месте. В бутерброде для этих целей используют, например, масло - тогда сыр, мясо, рыба или овощи не будут соскальзывать с хлеба. В салатах, особенно многослойных, также часто используют майонез и другие вязкие соусы, чтобы эти салаты держали форму. Если вместо майонеза или другого вязкого соуса использовать оливковое масло, то овощи и другие продукты не будут держать форму. Вязкие продукты используют также для украшения блюд.

6. Медицина.В медицине необходимо уметь определять и контролировать вязкость крови, так как высокая вязкость способствует ряду проблем со здоровьем. Кровь – это тоже неньютоновская жидкость. *(Приложение 1 рис. 11)*

7. Очень интересное и актуальное применение неньютоновским жидкостям нашли в сфере обороны. На основе данных жидкостей в мире начали выпуск бронежилетов для военных. Данные бронежилеты по своим характеристикам лучше обычных, так как легче по весу и проще в изготовлении. Материал, из которого изготавливаются бронежилеты, называется d3o. Если нажимать на d3o мягко – он эластичен, из него можно скатывать шарики, как из пластилина. Однако при резком ударе в d3o образуется мгновенная жесткая структура. Как только такая резкая нагрузка будет снята, d3o расслабится и будет опять мягким и эластичным. *(Приложение 1 рис. 12)* К сожалению, такие бронежилеты распространены пока что только в некоторых странах Запада, в особенности в США. Но, я считаю, что российской оборонной промышленности тоже нужно взять на заметку данную идею.

Чтобы убедиться в этих удивительных качествах неньютоновской жидкости, проведем несколько опытов для доказательства или опровержения нашей гипотезы о свойствах данной жидкости.

**II. Экспериментальное исследование неньютоновской жидкости**

**2.1 Опыты с водой и крахмалом**

Для того, чтобы изучить уникальные свойства неньютоновской жидкости, нам необходимо её изготовить. Для изготовления неньютоновской жидкости мне понадобилось: кукурузный крахмал (50 гр.), вода (50-70 мл), пищевой краситель, деревянная палочка, глубокий пластиковый контейнер. *(Приложение 2 рис. 1)*

Ход работы: высыпал кукурузный крахмал (примерно 50 гр.) в контейнер, добавил немного пищевого красителя для большего эффекта и, перемешивая деревянной палочкой, доливал небольшими порциями воду до образования однородной массы, которая похожа на тягучее тесто. Количество крахмала и воды брал приблизительно 1 к 1. *(Приложение 2 рис. 2,3) [3.]*

Для демонстрации свойств неньютоновской жидкости провел несколько опытов.

1. Медленно опускал палец в контейнер с жидкостью – палец легко погружался. Далее резко ударял пальцем по жидкости, палец останавливался на поверхности раствора, не проникнув внутрь, встретив сопротивление жидкости. Таким образом, чем быстрее и сильнее пробовать пробить верхнюю «мембрану» неньютоновской жидкости, тем большее сопротивление получаем взамен. Если изготовить большой резервуар и заполнить его таким раствором крахмала с водой, то по поверхности такой жидкости можно легко пробежать, однако медленно пройти по такой поверхности не получится.

2. Далее брал контейнер с приготовленной мною неньютоновской жидкостью и такой же контейнер с обычной водой. Пробовал бросить в данные жидкости твердый тяжелый предмет. Наблюдал, что данный предмет, упав с высоты примерно 20 см в контейнер с обычной водой, вызвал множество брызг, вода расплескалась. Тот же предмет, упав в контейнер с неньютоновской жидкостью, остался лежать на её поверхности, встретив преграду. Неньютоновская жидкость повела себя, как твердое тело, даже не шелохнувшись под тяжестью предмета. Но если подождать пару минут, можно заметить, как предмет начинает тонуть в неньютоновской жидкости. Это эффект зыбучих песков. *(Приложение 2 рис. 4-7)*

3. Крахмальный раствор налил в руку, он растекается в ладони, как обычная жидкость. Быстрыми движениями пытался скатать из раствора шарик. Пока я энергично катал шарик, между ладонями ощущался твердый комок из жидкости, причем, чем быстрее и сильнее я на него воздействовал, тем плотнее и тверже становился комок. Но как только я разжал руки, твердый до этого времени шар тут же снова растекся в ладони. Связанно это с тем, что, после прекращения воздействия на него, неньютоновская жидкость снова принимает свойства жидкой фазы. *(Приложение 2 рис. 8-10)*

Вывод: неньютоновская жидкость – это твёрдая жидкость, то есть жидкость, вязкость которой не постоянна и зависит от скорости взаимодействия с ней извне. При быстром воздействии она ведет себя как твердое тело, а при медленном – как жидкость. Когда жидкость неоднородна, например, состоит из крупных молекул, образующих сложные пространственные структуры, то при её течении вязкость зависит от градиента скорости.

 Необходимо отметить, что кукурузный крахмал используют в приготовлении продуктов питания, однако не стоит употреблять в пищу приготовленный крахмальный раствор.

Приготовленный крахмальный раствор необходимо утилизировать как ТБО, нельзя смывать его в канализацию во избежание засора.

**2.2 Наблюдение «Эффекта Кайе»**

Рассмотрим другие свойства неньютоновских жидкостей на основе тех примеров, которые есть в доме у каждого человека, например, шампунь или продукты питания. Так на основе обычного шампуня можно понаблюдать так называемый «эффект Кайе».

В 1963 году английский инженер Алан Кайе проводил опыты на основе неньютоновских жидкостей и наблюдал интересные явления. Ученый заметил, что если жидкость вливать с небольшой высоты в такую же жидкость или в жидкость с одинаковой плотностью и вязкостью, то струйка не растворяется в жидкости, а как бы отскакивает от самой себя. *[4. C. 47]*

Это явление назвали "эффект Кайе". Я решил проверить данный эффект, проведя соответствующий опыт. Для этого мне понадобилось: шампунь и глубокий пластиковый контейнер. *(Приложение 2 рис. 11)*

Ход работы: установил контейнер на ровную поверхность и налил в него шампунь слоем примерно в 3 см. Далее из флакона выливал в контейнер тот же шампунь тонкой струйкой с высоты 20-25 см от поверхности контейнера.

По мере того как жидкость падала с высоты вниз в себе подобную жидкость, я наблюдал, что струйка жидкости, падающая вниз, начинала отскакивать от поверхности жидкости в контейнере. В месте падения струйки образовывался небольшой бугорок. После отскакивания струйки бугорок исчезал. Эффект имел очень короткую продолжительность. Ввиду такой короткой продолжительности (обычно не более 300 [мс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0)) явление обычно остаётся незамеченным. *(Приложение 2 рис. 12-14)*

Вывод: известно, что это явление обусловлено вязкостью жидкости, однако точные причины его возникновения пока не ясны. Скачок жидкости может быть вызван резким изменением вязкости струйки в тот момент, когда она ударяется о поверхность жидкости. В падающей струйке вязкость жидкости достаточно высока. Когда же жидкость ударяется о бугорок на поверхности, резкое изменение скорости приводит к возникновению больших деформаций сдвига, и вязкость жидкости уменьшается. Так как жидкость, кроме того ещё и упруга, то струйка отскакивает от бугорка. Однако, существуют и другие объяснения данного явления.

**2.3 Течение вязкой жидкости**

В продолжение изучения «эффекта Кайе» мне захотелось рассмотреть уникальные свойства течения вязкой жидкости. Мы знаем, что, чем выше вязкость жидкости, тем медленнее она течет — достаточно сравнить воду с густым медом. Поэтому для эксперимента я взял две вязкие неньютоновские жидкости, которые были у меня в холодильнике – это мёд и сгущенное молоко. *(Приложение 2 рис. 15)*

Ход работы: сначала я пробовал лить мёд из банки на плоскую тарелку с высоты примерно 15 см. Наблюдал, что на некотором расстоянии от тарелки струйка меда начинала складываться складками, образуя так называемый «жидкий канат».

Со сгущенным молоком проделал то же самое и увидел, что струйка сгущенного молока начинала накручиваться колечками. *(Приложение 2 рис. 16-18)*

Почему же возникают эти колечки и складки?

Вывод: падая и ударяясь о поверхность такой же жидкости в тарелке, струйка сжимается, что заставляет ее выгибаться вбок. При данных условиях струйка не может разорваться; поэтому, если количество падающей жидкости больше, чем может сразу поглотить жидкость, находящаяся внизу, то струйка начинает завиваться или складываться. Причем, диаметр и скорость образования «намотки» определяются толщиной струйки: чем толще струйка, тем крупнее кольца или складки и тем медленнее происходит «намотка».

**2.4 Тиксотропная жидкость**

В первой главе, рассматривая классификацию неньютоновских жидкостей, мы говорили о тиксотропных жидкостях, которые способны уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя. К данным жидкостям некоторые исследователи относят и сливочное масло, которое способно переходить из размягченной и разжиженной структуры в более прочную после прекращения механического воздействия. Я решил это проверить. Для этого мне понадобился кусок хлеба и сливочное масло из холодильника. *(Приложение 2 рис. 19)*

Ход работы: взяв немного масла на нож, я стал намазывать им кусок хлеба. Наблюдал, что масло под действием ножа размазывается, то есть его вязкость уменьшается при увеличении нагрузки. Причем, чем интенсивнее я намазывал, тем более жидким становилось масло. *(Приложение 2 рис. 20-21)*

Вывод: фундаментального объяснения того, почему вязкость жидкости уменьшается при деформации сдвига, пока не существует. В основном причиной этого считают изменение молекулярной конфигурации жидкости под действием сдвига. Например, длинные молекулы могут ориентироваться вдоль линий потока, создаваемого при сдвиге. В результате вязкость уменьшается. Когда сдвигающее усилие снимается, молекулы восстанавливают свою прежнюю ориентацию, и вязкость вновь увеличивается. *[8. C. 216]*

Таким образом, проведя ряд простых экспериментов, я убедился в том, что неньютоновская жидкость – это настоящее чудо. Она может обладать как свойствами твердого тела, так и свойствами жидкости. Неньютоновские жидкости повсюду вокруг нас, и мы порой даже не задумываемся о тех или иных свойствах или особенностях окружающих нас веществ и явлений.

**Заключение**

В ходе своего исследования я решил следующие задачи:

- изучил характеристику жидкости, как агрегатного состояния;

- познакомился с историей открытия неньютоновских жидкостей, их свойствами и особенностями;

- провел сравнение ньютоновских и неньютоновских жидкостей;

- рассмотрел классификацию и области применения неньютоновских жидкостей.

В процессе выполнения работы я:

- изготовил неньютоновскую жидкость в домашних условиях и на её основе провёл ряд опытов по изучению свойств неньютоновской жидкости;

- попробовал экспериментальным путём наблюдать «эффект Кайе» на основе неньютоновской жидкости;

- наблюдал течение вязкой жидкости на основе неньютоновских жидкостей в домашних условиях;

- рассмотрел особенности тиксотропной жидкости на примере сливочного масла;

- обобщил полученные результаты и сделал выводы.

Таким образом, в ходе своего исследования я решил все поставленные задачи, достиг цели исследования и получил подтверждение гипотезы.

В рамках данной работы, изучив основные свойства неньютоновских жидкостей, предложу несколько вариантов применения данных жидкостей:

1. Из данного материала, например, можно было бы изготавливать емкости для хранения и транспортировки легкобьющихся хрупких предметов (стекло, посуда, елочные [игрушки](http://pandia.ru/text/categ/wiki/001/217.php) и др.). Так, например, если взять обычный полиэтиленовый мешок, заполнить его водой, положить туда сырое куриное яйцо и сбросить с высоты человеческого роста – яйцо, естественно, разобьется. Но если заполнить мешок неньютоновской жидкостью и бросить его с той же высоты, то яйцо останется целым.

2. Такими же мешками с неньютоновской смесью можно временно закрывать ямы в дорожном покрытии. Ведь, когда на неньютоновскую жидкость не действуют внешние силы, она течёт, как жидкость, принимая форму ямы, но как только на нее будет наезжать колесо автомобиля, то жидкость будет моментально твердеть, точно асфальт. Это очень удобно, а главное не очень дорого. Также неньютоновскую жидкость можно использовать для изготовления автомобильных бамперов и защитных дорожных ограждений.

3.  Из данной жидкости можно изготавливать защитные средства для спортсменов (наколенники, налокотники, шлемы, и др.), бронежилеты и иную военную экипировку.

И это только часть областей, где можно было бы применить эту удивительную жидкость, свойства которой требует дальнейшего изучения.

**Список литературы**

1. Астарита Дж., Марруччи Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. / пер. с англ. - М.: Мир, 1978. – С. 309.

2. Кабардин О.Ф. Физика. Справочные материалы. - Просвещение, 1988. – С. 95.

3. Как сделать неньютоновскую жидкость. https://www.techinsider.ru/diy/12628-nenyutonovskaya-zhidkost-sdelay-sam/#part0

4. Кресин В. З. Школьникам о современной физике: Классич. физика. Ядерная физика. – М.: Просвещение, 2006. – С. 47.

5. Неньютоновская жидкость – Википедия. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Неньютоновская\_жидкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BD%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B6%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)

6. Перышкин А.В.  Физика. Учебник, 8 класс, — М.: Дрофа, 2017. - С. 36.

7. Рейнер М. Реология. / пер. с англ.  - М.: Наука, 1965. – С. 224.

8. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости: Гидромеханика, перемешивание и теплообмен. / пер. с англ. -  М.: Мир, 1964. – С. 216.

9. Шульман З.П. Беседы о реофизике. — Минск: Наука и техника, 1976. – С. 95.

10. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике, - М.: Наука, 1979.- С. 305.