МОБУ «СЕРТОЛОВСКАЯ СОШ №1»

Пороховая история

Научная работа

Рябченко Егор Олегович

09.01.2016

Оглавление

Введение....2
Цели и задачи....3
Что такое «порох»? История развития пороха....4
Учёные, связанные с изобретением пороха....5
Теоретическая часть....6
Чёрный порох....6
Алюминиевый порох....7
Бездымный нитроцеллюлозный порох....8
Практическая часть....9
Чёрный порох....9
Опыт №1. ЧП-65....11
Опыт №2. ЧП-50....12
Опыт №3. ЧП-70....13
Алюминиевый порох....14
Опыт №1. АЛ-40....15
Нитроцеллюлозный порох....17
Методика нитрования....17
Сжигание нитроцеллюлозы....18
Вариант порохового состава....19
Заключение....20
Список используемой литературы....21

Введение.

Порох-это изобретение, которое перевернуло историю развития всего человечества. И история химии не стала исключением. Как много всего было придумано химиками разных стран. «Пороховой вопрос» актуален и сегодня. Пусть и во взрывотехнике человечество продвинулось далеко, но ведь порох–особое слово в подрывном деле. И множество нюансов и аспектов шло в ногу с военными химиками и инженерами. Не стоит забывать и о том, что именно порох положил начало развитию топливно-окислительных смесей.

Что же такое порох? Каждый знает, что это взрывчатая смесь, которая легко воспламенятся при обычных условиях. Если тот же вопрос задать человеку, который связан с химической наукой, он спросит о том, что же имеется ввиду: алюминиевый порох, гранулированный, нитроцеллюлозный. Каждый из них разительно отличается по свойствам и имеет свои отрасли применения.

Наши задачи многогранны и обширны. Изучение истории пороха – это и путешествие во времена средневекового Китая, и путешествие в эпоху Возрождения в Европе. Не обошла стороной пороховая история и Россию. С ним связаны и войны, и курьезы истории. Однако вопреки популярному мнению, порох используется не только для военных действий. Мирное применение пороха – звучит взаимоисключающе. С этой смесью мы встречаемся когда смотрим салюты и фейерверки. И пиротехника – не единственная область, в которой можно использовать порох.

Вместе с анализом исторических материалов, нами была поставлена цель: в лабораторных условиях получить некоторые виды пороха, изучить их, а также внести различные новшества в пороховую историю.

Цели и задачи

Итак, определим наши цели и задачи.

Цели:

1. Рассмотреть историю изучения пороха, историю порохового вопроса.
2. Исходя из практических испытаний, внести различные новшества в производство пороха.

Задачи:

1. Изучить исторические материалы, обратиться к истории получения пороха различными учёными.
2. Провести лабораторную практику по получению различных сортов порохов.
3. Выявить различные закономерности и на их основе усовершенствовать стандартные методики.

Методы исследования:

1. Изучение
2. Наблюдение
3. Эксперимент

Что такое «порох»? История развития пороха.

Согласно определениям в толковых словарях, **по́рох** — многокомпонентная твёрдая взрывчатая смесь, способная к закономерному горению параллельными слоями без доступа кислорода извне с выделением большого количества тепловой энергии и газообразных продуктов, используемых для метания снарядов, движения ракет и в других целях. Его относят к классу метательных взрывчатых веществ.

Существуют устойчивые многочисленные мнения, что порох был изобретён в Китае. К середине первого века нашей эры селитра была известна в Китае и есть убедительные доказательства использования селитры и серы в различных комбинациях в основном для приготовления лекарств. Китайский алхимический текст, датированный 492 годом, описывает практический и надёжный способ отличить калийную селитру от других неорганических солей, служащий алхимикам для оценки и сравнения методов очистки — при сжигании калийной селитры образуется фиолетовое пламя. Первое упоминание о напоминающей порох смеси появилось в Taishang Shengzu Danjing Mijue по Qing Xuzi (около 808 года) — описывается процесс смешивания шести частей серы, шести частей селитры на одну часть кирказона (травы, которая обеспечивала смесь углеродом). В IX-м веке даосские монахи и алхимики в поисках эликсира бессмертия по случайности наткнулись на порох. Вскоре китайцы применили порох для развития оружия.

В Европе огнестрельное оружие начали использовать в XIII веке. Сера и уголь были вполне доступны, но селитра была дефицитной, так как её ввозили из Индии (KNO_3). Со временем селитры стало требоваться больше и она начала дорожать. Требовалось придумать новый способ для её получения. Для этого было использовано гуано (исп. guano)- разложившийся помёт птиц, который содержал смесь неорганических солей, в том числе и селитры. Однако в гуано была преимущественно натриевая селитра. Её нельзя использовать для производства пороха вследствие гигроскопичности. Химия решила эту проблему при помощи простой реакции с хлоридом калия.

$$KCl+NaNO_3=NaCl+KNO_3$$

Все четыре вещества растворимы в воде. Однако растворимость NaCl почти не меняется с повышением температуры. А вот растворимость KNO_3 в горячей воде в 20 раз выше, чем в холодной. Селитру получают последовательной смесью горячих растворов хлорида калия и нитрата натрия (натриевая селитра). Затем полученный раствор охлаждают и из раствора выпадают кристаллики хлорида натрия и нитрата калия. Нитрат калия, получаемый таким способом, имеет достаточную чистоту для создания пороха.

Однако и на этом проблемы не закончились – запасы гуано истощались. Дело в том, что гуано легко вымывается дождями. Скопления помёта в Европе можно было найти в пещерах, где гнездились птицы и летучие мыши. Такие пещеры были найдены, например, в предгорьях Крыма. Во время Крымской войны в Севастополе был организован пороховой завод на пещерном сырье.

Когда были обследованы горные склоны Южной Америки, были найдены огромные запасы гуано, так как помёт там накапливался и не вымывался дождями. Таким образом, эти запасы были настолько велики, что их хватило на несколько веков.

Месторождения гуано в Южной Америке проблему решили лишь временно. В конце XIX века экспорт гуано достиг огромных размеров. Химия решила и эту проблему- изобретением пороха, который не требует селитру для производства.

Ещё в 1840 году учёные отмечали, что при обработке древесины, бумаги, картона образуются быстро горящие и легковоспламеняющиеся вещества. Но самая первая и эффективная методика была предложена в 1846 году швейцарским химиком К. Шонбейном. Он рассмотрел процесс нитрования целлюлозы и первый решил добавлять концентрированную серную кислоту. Но первый порох на основе данного вещества был получен позже. В 1884 году французский инженер П. Вьель разработал белый порох - смесь нитроклечаток.

В России в пороховом производстве заметную роль сыграл Д.И. Менделеев. В поездке по Англии и Германии он ознакомился с производством нитроклечатки. Он понял общую схему процесса и, вернувшись в Петербург, незамедлительно начал составлять методику производства нитроцеллюлозного пороха. Д.И. Менделеев опровергнул мысль о том, что взрывчатые свойства нитроцеллюлозы зависят от степени нитрации. Оказалось, что взрывчатые свойства зависят от качества нитрования продукта.

В начале XX века все развитые страны производили бездымный порох. Но история не стоит на месте и уже в следующие полвека начали применяться новые топливно-окислительные смеси. Порох предполагалось спрессовывать в шашки и использовать их в авиации. Они давали временное ускорение и сокращение взлётной полосы. Повсеместного распространение это, тем не менее, не нашло.

Меж тем шло развитие пиротехники. Военные инженеры давно рассматривали процессы, происходящие в пиротехнике. И в середине XX века началось развитие реактивной артиллерии.

И именно реактивная артиллерия привела к развитию космонавтики.

История пороха охватывает около шестнадцати веков. Это изобретение двигало и тормозило прогресс.

Учёные, связанные с изобретением пороха.

Легенда гласит, что порох был создан случайно, когда древнекитайские алхимики пытались создать смесь, которая даровала бы им бессмертие. По иронии судьбы, им удалось создать то, с помощью чего можно легко отобрать у человека жизнь.

Первый порох был сделан из смеси нитрата калия (селитры), древесного угля и серы, причем впервые он был описан в 1044 году в книге, рассказывающей о самых важных военных техниках, составленных Цзэном Голиангом (Zeng Goliang). В

книге говорится о том, что открытие пороха произошло несколько раньше, а Цзэн описал три различных вида пороха, который китайцы использовали в сигнальных ракетах и в фейерверках. Намного позднее порох стали применять в военных целях.

Первый достоверный случай широкого применения пушек относится лишь к 1232 году нашей эры, когда китайцы, осажденные монголами в Кайфыне, защищались посредством пушек, стрелявших каменными ядрами, и употребляли разрывные бомбы, петарды и другие огнестрельные припасы, имевшие в своем составе порох...

Около 1258 г. в древних индусских сочинениях мы читаем об огневых приборах на повозках, принадлежащих властителю Дели. Спустя сто лет артиллерия вошла в Индии во всеобщее употребление.

Арабы получили селитру и огнестрельные припасы от китайцев и индусов, ...византийские греки впервые познакомились с огнестрельными припасами у своих врагов, арабов...

От арабов, живших в Испании, знакомство с выработкой и употреблением пороха распространилось на Францию и на Восточную Европу.

В Европе изобретателем чёрного пороха считают Бертольда Шварца, немецкого францисканского монарха, жившего в 13-14 веках.

Интересны работы П. Вьеля в данном направлении – им был создан первый вид пороха, который был основан на нитроклечатке. Именно он открыл дорогу от винтовки Лебеля до современных реактивных систем огня и ЗСУ.

Через 4 года, в 1888 году, Альфред Нобель получил баллиститный порох – он основан на добавке нитроглицерина.

Вклад Д.И. Менделеева в развитие топливно-окислительных смесей был очень весомым – производство нитроклечатки было стабилизировано и стало более безопасным. Адмирал С. О. Макаров после учебных стрельб благодарил учёного. Однако, порох не был патентован за Д.И. Менделеевым. Патент в итоге оказался у одного из моряков американского флота. В США этот вид пороха (пироколлодий) начали производить в значительных количествах.

Хаим Вейцман, работавший на Британскую Академию наук, разработал методику получения ацетона для кордитного пороха – через ферментативное расщепление углеводородов. Источником сырья стали каштаны. Таким образом, учёный смог помочь решить вопрос с порохом в Первую Мировую войну.

Группа учёных РНИИ (С.П. Королёв, В.П. Глушко, Г.Э. Лангемак) активно работали над составами для реактивных минометов и залповых систем огня.

Дело этих учёных и сейчас продолжают инженеры заводов ВПК.

Теоретическая часть

Чёрный порох

Дымный порох (также **чёрный порох)** — исторически самое первое взрывчатое вещество, известное человеку. Кроме того, это почти единственное ВВ, известное человеку до начала XX века. Чёрный порох имел множество недостатков, таких как огромное количество дыма, затруднявшее обзор для войск. Но это был единственный вид пороха. А потому до определённого времени командующим войсками приходилось с этим мириться. Однако войны требовали всё больших затрат, в том числе и пороха, который рос в цене каждый год. Для производства пороха нужна была селитра, которая ввозилась из Индии и Южной Америки. Источники селитры иссякали, а её требовалось всё больше и больше. С изобретением нитроцеллюлозного пороха, который не выделял дыма, проблема оказалась решена. Тем не менее, чёрный

порох до сих пор используется в промысловых хозяйствах (охота), а так же в пиротехнике. Кроме того, чёрный порох используют в сигнальных ракетницах для подачи сигналов бедствия.

Основными компонентами для приготовления чёрного пороха служат: сера, селитра, уголь.

Реакция горения пороха.

$$2KNO_3+3C+S \rightarrow K_2S+N_2+3CO_2$$

Табл.1. Достоинства и недостатки чёрного пороха

ДОСТОИНСТВА	***НЕДОСТАТКИ***
Горит без доступа воздуха	***Выбрасывает огромное количество дыма и остатков компонентов при детонации. Следовательно, вооружению требуется чистка***
Относительно безопасное взрывчатое вещество (несмотря на это, не стоит пренебрегать техникой безопасности)	***Гигроскопичен, если порох не в гранулах.***
Производство чисто механическое: химические реакции в процессе отсутствуют	***В условиях влажности свойства ВВ утрачиваются: это связано с выщелачиванием селитры.***
Имеет долгие сроки хранения, по сравнению с бездымным порохом	***В настоящее время абсолютно бесполезен в военном деле: дым демаскирует стрелка. Кроме того, при использовании данного пороха скорость стрельбы обязательно понижается, так как не исключён риск детонации пороха в канале ствола: там могут остаться тлеющие остатки.***

Таким образом, мы видим, что в настоящее время дымный порох возможно использовать лишь в промысловых хозяйствах (охота) и в пиротехнике.

Алюминиевый порох.

Неслучайно в английском языке данный вид пороха называется «flash powder» (с англ. порох-вспышка), ведь детонация сопровождается яркой и ослепляющей вспышкой. Осветительный состав является довольно эффективной ТОС. Благодаря алюминию состав имеет достаточно высокую теплоту сгорания, что делает его пригодным для снаряжения фейерверков и взрывпакетов. В процессе изготовления алюминиевый порох имеет преимущество перед чёрным порохом. Для изготовления последнего требуется шаровая мельница. В случае с алюминиевой смесью данное оборудование не требуется. Однако смесь чувствительна к пропорциям. В состав алюминиевого пороха входят селитра, сера и алюминиевая пудра.

Нижеприведённые варианты составов проверены эмпирически.

Табл.2. Достоинства и недостатки алюминиевого пороха.

Достоинства	***Недостатки***
При правильном подборе состава появляется яркая вспышка. Это обуславливает применение в пиротехнике.	В военном деле этот порох более чем бесполезен, так как при сгорании образовывается алюминиевая окалина. Из-за этого оружие требует дополнительной чистки.
Большая скорость горения	Изготовление данного пороха связано с материальными затратами, так как алюминий-дорогой металл.
Изготовление пороха не включает в себя химических синтезов	Очень чувствительно к пропорциям

Из этого следует, что данный порох годится для использования в пиротехнике, но не в военном деле.

Бездымный нитроцеллюлозный порох.

Бездымный порох – групповое название метательных взрывчатых веществ, используемых в огнестрельном оружии, артиллерии, в твёрдо-ракетных двигателях.

В состав бездымного пороха входят нитроклечатки, азотсодержащиесоединения и баллистические стабилизаторы и флегматизаторы. В производстве была проблема безопасности. Дело в том, что раньше сушка производилась методом горячего воздухопровода, от чего нередко случались взрывы на производстве. Также известно, что первые смеси были чересчур нестабильны: они были для оружия ещё менее пригодны, чем алюминиевый порох.

В 1884 году Полом Вьелем был изобретён белый порох. Он состоял из смесей нитроклечаток (68% тринитроцеллюлозы, 30% растворённой в диэтиловом эфире динитроцеллюлюзы, 2% добавка парафина). Эта смесь была гораздо стабильнее

и мощнее всех предыдущих порохов, что было очень важно в то время. Проблема износа оружия была устранена после введения дополнительных стабилизаторов. Кроме того, боеприпасы становились легче.

Известны также работы Д.И. Менделеева в данном направлении (пироколлодий), что в дальнейшем помогло ещё больше стабилизировать составы и сделать производство пороха более безопасным. Причина бездымности этих порохов состоит в том, что продукты окисления их ингредиентов в основном газообразны, по сравнению с чёрным порохом, выделяющим при сгорании до 55 % твердых веществ.

Работы Пола Вьеля и Дмитрия Менделеева усовершенствовали не только сам процесс производства, но и стабилизировали пропорции.

Изобретение этого вида пороха стало технологическим прорывом - командующие больше не жаловались на неспособность отдавать приказы, началось развитие артиллерии, автоматического оружия. Кроме того, позже начала развиваться реактивная артиллерия, что в дальнейшем привело к ракетостроению.

В современном военном деле используется именно этот вид пороха.

Табл.3. Достоинства и недостатки нитроцеллюлозного пороха

Достоинства	***Недостатки***
Практически идеальный порох для военного дела	*Синтез требует достаточно много оборудования. Кроме того, производство данного пороха связано с химическими реакциями, что усложняет его получение.*
Не образует большого количества дыма с твёрдыми частицами	*Смесь почти не отсыревает*
Канал ствола в орудиях меньше загрязняется	
В три раза легче и мощнее, чем дымный порох: солдаты могут нести гораздо больше боеприпасов.	

Достоинств данного пороха явно больше, чем недостатков. Он пригоден для использования в военном деле.

Практическая часть

Чёрный порох

Пропорции компонентов в порохе имеют важное значение. Так известно, что при увеличении количества угля в порохе, снижается скорость горения. Однако если повысить содержание углерода в самом угле ,то скорость возрастёт. Селитра влияет на скорость горения, но увеличивает её до определённого предела: если в порохе содержание селитры больше, чем 80% ,то возрастёт гигроскопичность смеси. Сера служит «фитилём»- это вещество, которое хорошо горит. При недостатке серы смесь может не поджигаться вовсе.

Табл. 4. Составы пороховых смесей.

Назв. / Комп.	СЕЛИТРА	СЕРА	УГОЛЬ	Результат детонации
ЧП-65	65%	17%	18%	Средняя скорость сгорания
ЧП-50	50%	25%	25%	Вспышка чуть ярче, чем в ЧП-65, легче детонация, Долгое горение.
ЧП-70	70%	20%	10%	Яркая вспышка, быстрое сгорание, но сложная детонация

Составы проверены эмпирическим путём.

$$2KNO_3+3C+S \rightarrow K_2S+N_2+3CO_2$$

Отмечу так же, что нами был модифицирован стандартный состав: мы заменили уголь на карбонат калия. Благодаря этому смесь стала безопаснее и стабильнее. Кроме того, скорость горения увеличилась приблизительно в 3 раза.

Опыт №1. ЧП-65.

Цель опыта: проверить смесь ЧП-65

Пропорции веществ: 65%-KNO_3;17%-S; 18%-C

Ход работы: в соответствующих пропорциях были перемешаны вещества. Смесь была детонирована.

Результат: смесь имеет среднюю скорость сгорания. Детонация смеси относительно простая.

Опыт №2. ЧП-50

Цель опыта: проверить смесь ЧП-50

Пропорции веществ: 50%-KNO_3;25%-S; 25%-C

Ход работы: в соответствующих пропорциях были перемешаны вещества. Смесь была детонирована.

Результат: вспышка ярче, чем в ЧП-65, однакодетонация смеси происходит гораздо проще, чем в ЧП-65. Из-за снижения содержания в смеси селитры и повышения содержания угля, горение было гораздо дольше. Ускорение детонации было связано с увеличением количества серы.

Опыт №3. ЧП-70.

Цель опыта: проверить смесь ЧП-65

Пропорции веществ: 70%-KNO_3;20%-S; 10%-C

Ход работы: в соответствующих пропорциях были перемешаны вещества. Смесь была детонирована.

Результат: достаточно яркая вспышка и быстрая скорость сгорания из-за увеличения количества селитры и уменьшения количества углерода. Детонация усложнилась из-за количества серы.

Алюминиевый порох

Как говорилось раньше, основная проблема алюминиевого пороха – чувствительность к пропорциям. Нами было выяснено, что наиболее просто детонирует смесь 40% калиевой селитры, 40% алюминиевой пудры и 20% серы. Остальные представленные смеси детонируют гораздо сложнее.

Табл.5. Составы алюминиевого пороха.

Комп. / Назв.	СЕЛИТРА	АЛЮМИНИЕВАЯ ПУДРА	СЕРА	РЕЗУЛЬТАТ
АЛ-40	**40%**	**40%**	**20%**	**Яркая вспышка** **Легкая детонация**
АЛ-57	29%	57%	14%	Средняя яркость вспышки. Смесь тяжело детонировать
АЛ-62	25%	62%	13%	Слабый взрыв, очень тяжело детонировать, хорошая вспышка.

Опыт №1. АЛ-40.

Цель опыта: проверить смесь АЛ-40

Пропорции веществ: 40%-KNO_3 ;20%-S; 40%-Al

Ход работы: в соответствующих пропорциях были перемешаны вещества. Смесь была детонирована.

Результат: очень яркая вспышка и довольно быстрая и лёгкая детонация. Образование алюминиевой окалины.

К сожалению, саму вспышку через фотосъёмку запечатлеть не удалось

Нитроцеллюлозный порох.

В лабораторных условиях мы получили нитроклечатку – тринитроцеллюлозу. Исходя из разных методик нитрования, нами было выяснено:

1. Нитрование смеси целлюлозы и нитрующей смеси должно проводиться так, чтобы сосуд, в котором происходит нитрование, должен быть закупорен – нитрующая смесь в таком случае не выветривает свои газы. Таким образом, нитроклечатка при сгорании будет выделять меньше твёрдых продуктов.

2. Нитрующая смесь в сосуде должна быть выше уровня целлюлозы. Это так же снизит количество твёрдых продуктов.

3. Оптимальная пропорция нитрующей смеси - одна часть азотной кислоты на три части серной. При смещении пропорции в сторону азотной кислоты, при сгорании образуется жёлтый непрореагировавший остаток (легко сжигается). В случае смещения пропорций в сторону серной кислоты, образуется небольшое количество целлюлозы, которая легко разрушается.

Методика нитрования.

1. Начнём с подбора оборудования. Нами были использованы: мерный стакан, колба Эрленмейера на 300 мл., пробка резиновая, чашка Петри, воронка, стеклянная палочка, несколько стаканов.

2. Далее – подбор реактивов. Для проведения нитрования мы использовали концентрированные кислоты: серную (90%) и азотную (92%).

3. Перед началом работы нами была соблюдена техника безопасности: спецодежда, перчатки, респиратор.

4. Налейте в мерный стакан 100 мл. азотной кислоты (к). Через воронку налейте их в колбу.

5. Налейте в мерный стакан 300 мл. серной кислоты (к). Через воронку налейте их в колбу. ***Внимание: не проводите данное действие на деревянных столах, так как серная кислота оставляет пятна на древесине.***

6. В полученную смесь добавьте целлюлозу (в нашем случае это была хлопковая вата). Перед тем, как опускать вату в реакционную смесь, расправьте её – это даст увеличение площади нитрования.

7. Закупорите выходное отверстие колбы пробкой.

8. Смесь должна настаиваться приблизительно час-полтора часа. Каждые десять минут нужно размешивать стеклянной палочкой.

9. Как только требуемое время прошло, аккуратно слейте нитрующую смесь в стакан. Обратите внимание: не допускайте, чтобы в стакане была вода или её остатки. После слива нитроагента, аккуратно достаньте стеклянной палочкой нитроцеллюлозу и положите её в другой стакан.

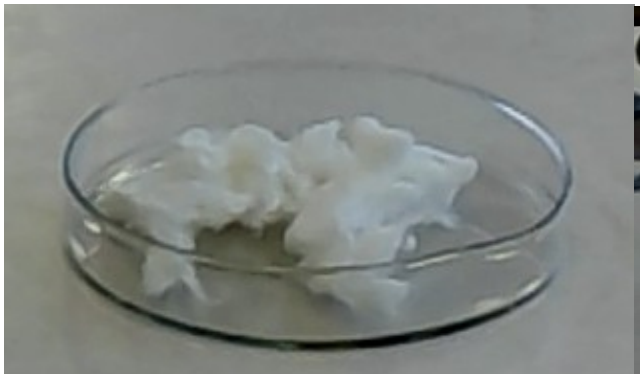
10. Стакан со смесью кислот нужно нейтрализовать. Налейте в ещё один стакан воду и переливайте в этот стакан смесь кислот. **Это важно**: ***не сделайте наоборот!*** Во втором стакане вы можете провести дополнительную

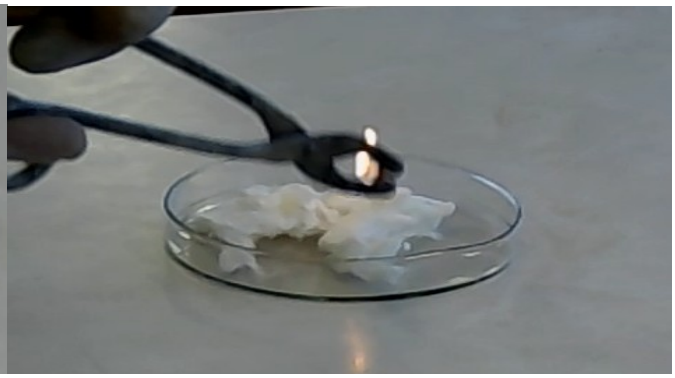
нейтрализацию щелочью или просто слить в водопровод – это действие допустимо, так как кислоты будут очень разбавленными.

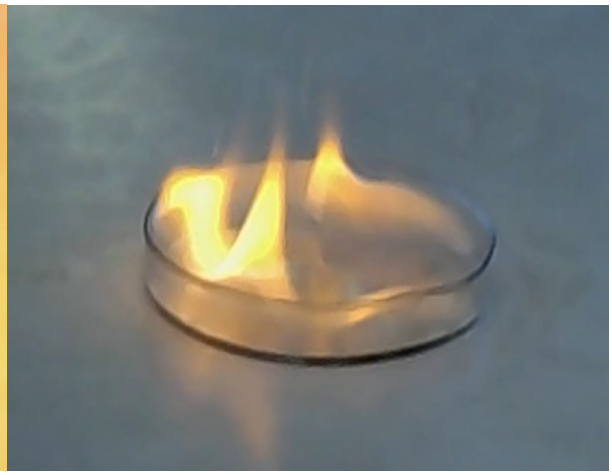
11. Теперь промойте нитроцеллюлозу от остатков кислот. Достаточно 5-10 минут тщательного промывания и отжима.

12. Получившееся вещество должно просушиться 4-8 часов на чашке Петри в прохладном, неосвещаемом месте.

Сжигание нитроцеллюлозы







Вариант порохового состава

Нами был разработан интересный вариант порохового состава. Данный состав в целом имеет примерно одинаковые свойства с чёрным порохом (выделение дыма, воспламенение, гигроскопичность), но, тем не менее, данный состав менее гигроскопичен, а так же несколько мощнее стандартного чёрного пороха. Кроме того, его детонация примерно в 2-3 раза быстрее.

Состав смеси: 60% KNO_3, 35% аскорбиновой кислоты, 5% Fe_2O_3.

Данный состав легко воспламеняется и при сгорании выделяет много дымовых продуктов.

Заключение.

Конечно, стоит учитывать, что, несмотря на то, что порох применяется в огнестрельном оружии, нельзя недооценивать его мирное применение.

Прежде всего, вспомним, что любой порох – это топливно-окислительная смесь. Изучение пороха дало толчок к созданию новых наук, таких как ракетостроение.

Порох стал прародителем взрывчатых веществ, которые используются при подрывных работах в шахтах и месторождениях.

Нитросоединения, в частности, нитроцеллюлоза были более тщательно изучены. Это, в свою очередь, дало новый виток в развитии лекарств. Кроме того, хорошо зарекомендовали себя киноплёнки на основе нитроцеллюлозы.

Важным будет так же упомянуть о том, что пиротехнику без пороха представить почти не возможно. От пиротехники мы можем перейти к развитию ракетниц и сигнальных пистолетов, которые используются для подачи сигнала бедствия. Кроме того, стрелять можно не только пулями, но и пожарными смесями, применяемыми в чрезвычайных ситуациях.

Развитие топливно-окислительных смесей, в свою очередь, даст возможность развивать множество отраслей современной науки.

И порох – лишь первый шаг.

Список используемой литературы

1. Алексинский, Владимир Николаевич Занимательные опыты по химии: Учебное издание; М.: Просвещение, 1995. – 96 с.
2. Иванов, Александр Сергеевич Мир химии: Учебное издание; М.: Просвещение, 1993.–220 с.
3. Верховский, Виктор Николаевич Катализ горения взрывчатых веществ: Учебное издание; М.: Просвещение, 1973. – 548 с.
4. Ангелова, Вероника Николаевна Пороха: Учебное издание; М.: Просвещение, 1974. – 356 с.
5. Kelly J. Gunpowder: Alchemy, Bombards, & Pyrotechnics: The History of the Explosive that Changed the World, 2004.
6. Карякин Ю. В. Ангелов И. И. Чистые химические вещества : Учебное издание; М.: Химия, 1974 г. – 410 с.
7. Солонина А. А. Лабораторное получение взрывчатых веществ, М.: Военно-техническая академия РККА, 1925 г. – 198 с.