

Краевая научно-практическая конференция учебно-исследовательских работ  
учащихся 6-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики и физики»

Экспериментальная физика

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ МЕТАТЕЛЬНОГО  
АППАРАТА «ИС-50»**

Наугольных Валерия Егоровна,  
10 кл., МБОУ «Плехановская СОШ»

Дарийчук Надежда Евгеньевна,  
учитель физики

Пермь. 2017

## Оглавление

Введение .....	3
Теоретическая часть .....	5
1.1. История зарождения и развития метательного оружия .....	5
1.2 Физика метательного оружия .....	7
Баллистика – наука о движении тел .....	11
2. Практическая часть .....	15
2.1. План создания метательного аппарата .....	15
2.2. Испытания метательного аппарата «ИС-50» .....	18
2.3 Исследование угла наклона метательного аппарата ИС-50 на дальность полета .....	19
Заключение .....	22
Литература .....	23

## Введение

Метательный аппарат – это аппарат, способный выполнять метание различных предметов на довольно большое расстояние. Мне стало крайне интересно, можно ли создать метательный аппарат своими руками. Данная проблема озадачила меня, и я решила заняться этим вопросом. Я задумалась, можно ли создать метательный аппарат в домашних условиях? Какие метательные аппараты были в истории человечества, и какие законы физики способствовали вылету снаряда и дальности полета?

Метательные аппараты пользовались и пользуются значительным распространением у многих народов. Простейшими метательными снарядами были камни и палки. С каждым годом метательные аппараты становятся всё сложнее и совершенней. Но одно остаётся неизменным - в основе принципа действия метательных аппаратов лежат законы физики.

Объект исследования: метательные аппараты.

Предмет исследования: принцип устройства и механизм работы метательных аппаратов.

Цель моей работы: конструирование и создание простейшего метательного аппарата.

Задачи:

1. изучить литературу по данной теме, рассмотреть историю возникновения и развития метательных аппаратов;
2. проанализировать физические принципы действия основных видов метательных аппаратов;
3. сконструировать и собрать метательный аппарат «ИС-50», опробовать его на дальность полета различными снарядами.

В процессе изучения литературы по данной теме, я убедилась, что с древних времени человечество пользовалось различными метательными аппаратами. В основе принципов действия различных видов метательного оружия лежат физические законы: закон Гука и закон рычага (лук, рогатка,

баллиста, катапульта), законы динамики Ньютона и законы кинематики и динамики вращательного движения тела (праца), принцип Бернулли и гироскопическая прецессия (бумеранг), законы аэродинамики (нож, дротик) и т.д.

## Теоретическая часть

### 1.1. История зарождения и развития метательного оружия

Познание природы и стремление увеличить дальность бросания дрота привели человечество к применению наиболее совершенных и распространенных образцов метательного оружия прежних времен – **луков**.

Простой лук, появившийся у первобытных народов, вероятно в подражание естественным эластичным сучьям деревьев, был в употреблении у различных народов во всех частях света. Лук натягивается обыкновенно руками, но у некоторых народов - ногами, в лежачем положении. Стрелы у разных народов также значительно различаются как по форме древка, так и наконечника. Древко обычно имеет оперение. Наконечники иногда делаются тупые, чаще - острые, простые или с зубцами, или легко отламывающиеся, или намазываемые ядом. В современное время, стрельба из лука и стрельба из арбалета являются видами стрелкового спорта.

**Праща** - особое приспособление в виде петли для метания камней. Праща пользовалась значительным распространением на Востоке (припомним победу Давида над Голиафом), в Греции и даже у римлян, которые имели при своих войсках союзников-пращников (например, жителей Балкарских островов). Каменные (и костяные) пращи употреблялись эскимосами для охоты на птиц ещё в начале XX века.

**Рогатка** - метательное оружие, в котором ускоряемое тело (снаряд) приобретает кинетическую энергию за счёт потенциальной энергии, запасённой в растянутом резиновом жгуте. Применяется для развлечения, для охоты, для метания различных предметов и иногда как оружие. Экземпляры рогаток, специально сконструированные на повышенную мощность и использующие снаряд оптимальной формы и плотности, могут служить опасным оружием и наносить серьёзные ранения.

Слово «**катапульта**» - изначально однокоренное с «баллистой», хотя по нынешнему звучанию и не догадаешься. «Ката» означает «против», «для

борьбы с чем-либо», а «пульт» - это то же самое искаженное «баллейн», то есть «метать».

Катапульта обладает большим рычагом, один конец которого прикреплен к оси, другой свободен. Свободный конец оснащен либо ложкой, либо «корзинкой» на веревках наподобие пращи (ее часто так и называют - пращей); в эту ложку или корзинку кладут снаряд - как правило, большой камень или, реже, специальное ядро (кое-где применяли еще глиняные кувшины с греческим огнем).

**Дротик** - метательное оружие, представляющее собой копьё, несколько уменьшенное и облегчённое по сравнению с копьями для конного или рукопашного боя (как правило, имеет общую длину порядка 1,2-1,5 м) и соответствующим образом уравновешенное для удобства метания. В качестве боевого и охотничьего оружия дротики применялись войсками многих народов и стран мира, начиная с древнейших времен. Эпизодическое применение дротиков как оружия зафиксировано даже в XX веке. На Руси дротики назывались сулицами.

**Миномет** - артиллерийское орудие, разновидность мортиры, отличающееся отсутствием противооткатных устройств и лафета — их заменяет опорная плита, через которую импульс отдачи передается грунту или самоходному шасси(последнему — у самоходных миномётов).

## 1.2 Физика метательного оружия

Движение тела, брошенного с некоторой начальной скоростью  $V_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту, представляет собой сложное движение: равномерное по горизонтальному направлению и одновременно происходящее под действием силы тяжести равноускоренное движение в вертикальном направлении. Так движется снаряд, вылетая из метательного аппарата, изобретенного мною.

Изучение особенностей такого движения началось довольно давно, еще в XVI веке и было связано с появлением и совершенствованием артиллерийских орудий.

Впервые к рассмотрению физики полетов пушечных ядер подошел итальянский математик Тарталья, он сумел показать, что наибольшей дальности полета снарядов можно достичь при направлении выстрела под углом  $45^\circ$  к горизонту. В его книге «Новая наука» были сформулированы правила стрельбы, которыми артиллеристы руководствовались до середины XVII века.

Однако, полное решение проблем, связанных с движением тел брошенных горизонтально или под углом к горизонту, осуществил Галилей. В своих рассуждениях он исходил из двух основных идей: тела, движущиеся горизонтально и не подвергающиеся воздействию других сил будут сохранять свою скорость; появление внешних воздействий изменит скорость движущегося тела независимо от того, покоилось или двигалось оно до начала их действия. Галилей показал, что траектории снарядов, если пренебречь сопротивлением воздуха, представляют собой параболы. Галилей указывал, что при реальном движении снарядов, вследствие сопротивления воздуха, их траектория уже не будет напоминать параболу: нисходящая ветвь траектории будет идти несколько круче, чем расчетная кривая.

Ньютон и другие ученые разрабатывали и совершенствовали новую теорию стрельбы, с учетом возросшего влияния на движение артиллерийских снарядов сил сопротивления воздуха. Появилась и новая наука – баллистика.

Прошло много-много лет, и теперь снаряды движутся столь быстро, что даже простое сравнение вида траекторий их движения подтверждает возросшее влияние сопротивления воздуха.

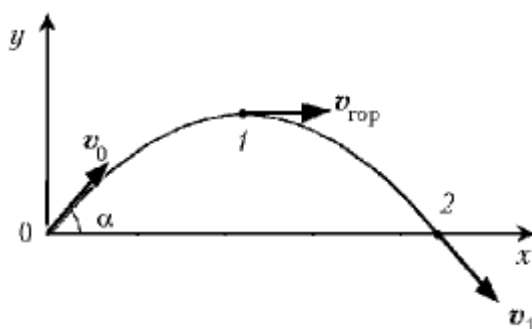


Рис.1

Посмотрим, как меняется скорость тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту, в отсутствие сопротивления воздуха. В течение всего времени полета на тело действует сила тяжести. На первом участке траектории (рис. 1) от точки 0 до точки 1 скорость тела уменьшается по величине и изменяется по направлению.

В наивысшей точке траектории – в точке 1 - скорость движения тела будет наименьшей, она направлена горизонтально, под углом  $90^\circ$  к линии действия силы тяжести. На второй части траектории полет тела происходит аналогично движению тела, брошенному горизонтально. Время движения от точки 0 до точки 1 будет равно времени движения по второй части траектории в отсутствие сил сопротивления воздуха.

Если точки "бросания" и "приземления" лежат на одной горизонтали, то тоже самое можно сказать и о скоростях "бросания" и "приземления". Углы между поверхностью Земли и направлением скорости движения в точках "бросания" и "приземления" будут в этом случае тоже равны.

Дальность полета АВ тела, брошенного под углом к горизонту, зависит от величины начальной скорости и угла бросания. При неизменной скорости бросания  $V_0$  с увеличением угла, между направлением скорости бросания и горизонтальной поверхностью от  $0$  до  $45^\circ$ , дальность полета возрастает, а при дальнейшем росте угла бросания - уменьшается. В этом легко убедиться, направляя струю воды под разными углами к горизонту или следя за



движением шарика, выпущенного из пружинного "пистолета" (такие опыты легко сделать самому).

Траектория такого движения симметрична относительно наивысшей точки полета и при небольших начальных скоростях, как уже говорилось раньше, представляет собой параболу.

Максимальная дальность полета при данной скорости вылета достигается при угле бросания  $45^\circ$ . Когда угол бросания составляет  $30$  или  $60^\circ$ , то дальность полета тел для обоих углов оказывается одинаковой. Для углов бросания  $75$  и  $15^\circ$  дальность полета будет опять одна и та же, но меньше, чем при углах бросания  $30$  и  $60^\circ$ . Значит, наиболее "выгодным" для дальнего броска углом является угол в  $45^\circ$ , при любых других значениях угла бросания дальность полета будет меньше.

Если бросить тело с некоторой начальной скоростью  $V_0$  под углом  $45^\circ$  к горизонту, то его дальность полета будет в два раза больше максимальной высоты подъема тела, брошенного вертикально вверх с такой же начальной скоростью.

Максимальную дальность полета  $S$  тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту, можно найти по формуле

$S = V_0^2 \sin 2\alpha / g$ , а максимальную высоту подъема  $H$  по формуле  $H = V_0^2 \cos^2 \alpha / (2g)$

При отсутствии сопротивления воздуха наибольшей дальности полета соответствовал бы угол наклона равный  $45^\circ$ , но сопротивление воздуха значительно изменяет траекторию движения и максимальной дальности полета соответствует другой угол наклона - больше  $45^\circ$ . Величина этого угла зависит также от скорости снаряда при выстреле. Если скорость пули при выстреле  $870$  м/с, то реальная дальность полета составит примерно  $3,5$  км, а не  $77$  км, как показывают "идеальные" расчеты.

Эти соотношения показывают, что расстояние, пройденное телом в вертикальном направлении, не зависит от величины начальной скорости - ведь ее значение не входит в формулу для расчета высоты  $H$ . А дальность

полета пули в горизонтальном направлении будет тем больше, чем больше ее начальная скорость.

## Баллистика – наука о движении тел

**Баллистика** (от греч. Βάλλειν — бросать) — наука о движении тел, брошенных в пространстве, основанная на математике и физике. Она занимается, главным образом, исследованием движения пуль и снарядов, выпущенных из огнестрельного оружия, ракетных снарядов и баллистических ракет.

В зависимости от этапа движения снаряда различают:

- внутреннюю баллистику, занимающуюся исследованием движения снаряда (пули) в стволе орудия;
- промежуточную баллистику, исследующую прохождение снаряда через дульный срез и поведение в районе дульного среза. Она важна специалистам по точности стрельбы, при разработке глушителей, пламегасителей и дульных тормозов;
- внешнюю баллистику, исследующую движение снаряда в атмосфере или пустоте под действием внешних сил. Ею пользуются, когда рассчитывают поправки на превышение, ветер и деривацию;
- преградную или терминальную баллистику, которая исследует последний этап — движение пули в преграде. Терминальной баллистикой занимаются оружейники-специалисты по снарядам и пулям, прочности и другие специалисты по броне и защите, а также криминалисты.

Первые исследования относительно формы кривой полета снаряда (из огнестрельного оружия) сделал в 1537 году Тарталья. Галилей установил при посредстве законов тяжести свою параболическую теорию, в которой не было принято во внимание влияние сопротивления воздуха на снаряды. Теорию эту можно применить без большой ошибки к исследованию полета ядер только при небольшом сопротивлении воздуха.

Изучением законов воздушного сопротивления мы обязаны Ньютону, который доказал в 1687 году, что кривая полета не может быть параболой.

Бенджамин Робинс (в 1742 году) занялся определением начальной скорости ядра и изобрел употребляемый и поныне баллистический маятник.

Первое настоящее решение основных задач баллистики дал знаменитый математик Эйлер. Дальнейшее движение баллистике дали Гуттон, Ломбард (1797 год) и Обенгейм (1814 год).

С 1820 года влияние трения стало все более и более изучаться, и в этом отношении много работали физик Магнус, французские ученые Пуассон и Дидион и прусский полковник Отто.

Новым толчком к развитию баллистики послужило введение во всеобщее употребление нарезного огнестрельного орудия и продолговатых снарядов. Вопросы баллистики стали усердно разрабатываться артиллеристами и физиками всех стран; для подтверждения теоретических выводов стали производиться опыты, с одной стороны, в артиллерийских академиях и школах, с другой стороны, на заводах, изготовляющих оружие; так, например, очень полные опыты для определения сопротивления воздуха произведены были в Петербурге в 1868 и 1869 года, по распоряжению генерал-адъютанта Баранцова, заслуженным профессором Михайловской артиллерийской академии, Н. В. Маиевским, оказавшим большие услуги баллистике, — и в Англии Башфортом.

В 1881-1890 гг. на опытном поле пушечного завода Круппа определялась скорость снарядов из орудий разного калибра в различных точках траектории, и достигнуты были очень важные результаты. Кроме Н. В. Маиевского, заслуги которого оценены надлежащим образом и всеми иностранцами, в ряду множества ученых, в новейшее время работавших по баллистике, особенно заслуживают внимания: профессор Алжирского лицея Готье, французские артиллеристы — Сен-Роберт, Магнус де Спарт, майор Мюзо, капитан Жюффри. Итальянский артиллерист капитан Сиаччи, изложивший в 1880 году решение задач прицельной стрельбы, Нобль, Нейман, Прен, Эйбль, Резаль, Сарро и Пиобер, положивший основание

внутренней баллистике; изобретатели баллистических приборов — Уитстон, Константинов, Наве, Марсель, Депре, Лебуланже и другие.

Движение материальной точки по баллистической траектории описывается достаточно простой (с точки зрения математического анализа) системой дифференциальных уравнений. Трудность состояла в том, чтобы найти достаточно точное функциональное выражение для силы сопротивления воздуха, да ещё такое, которое позволяло бы найти решение этой системы уравнений в виде выражения из элементарных функций.

В XX веке в решении проблемы произошёл коренной переворот. Около 1900 года немецкие математики К. Рунге и М. Кутта разработали численный метод интегрирования дифференциальных уравнений, позволявший с заданной точностью решать такие уравнения при наличии численных значений всех исходных данных. Развитие аэродинамики, с другой стороны, позволило найти достаточно точное описание сил, действующих на тело, движущееся с большой скоростью в воздухе, наконец, успехи вычислительной техники сделали реальным выполнение за приемлемое время трудоёмких расчётов, связанных с численным интегрированием уравнений движения по баллистической траектории.

**Баллистическая траектория** — это траектория, по которой движется тело, обладающее некоторой начальной скоростью, под действием силы тяготения и силы аэродинамического сопротивления воздуха.

Без учёта сопротивления воздуха в центральном поле тяготения баллистическая траектория представляет собой кривую второго порядка. В зависимости от начальной скорости и направления, это будет дуга эллипса, один из фокусов которого совпадает с гравитационным центром Земли, или ветвь гиперболы; в частных случаях — окружность (первая космическая скорость), парабола (вторая космическая скорость), вертикальная прямая. Поскольку большая часть траектории баллистических ракет достаточно большой дальности (более 500 км) проходит в разреженных слоях

атмосферы, где сопротивление воздуха практически отсутствует, их траектории на этом участке являются эллиптическими.

Форма участков баллистической траектории, проходящих в плотных слоях атмосферы зависит от многих факторов: начальной скорости снаряда, его формы и массы, текущего состояния атмосферы на траектории (температура, давление, плотность), направления вращения Земли и от характера движения снаряда вокруг его центра масс. Форма баллистической траектории в этом случае обычно рассчитывается методом численного интегрирования дифференциальных уравнений движения снаряда в стандартной атмосфере. На основании таких расчётов составляются баллистические таблицы, являющиеся руководством для артиллеристов при прицеливании артиллерийских орудий и пусковых установок систем залпового огня.

## 2. Практическая часть

### 2.1. План создания метательного аппарата

Для создания собственного метательного аппарата я решила воспользоваться подручными материалами и помощью взрослых. Каких-либо чертежей по данной теме я не нашла, поэтому проявила собственную фантазию.

Для изготовления метательного аппарата «ИС-50» использовались следующие материалы:

- Полипропиленовая (П/П) труба диаметром 50 мм и длиной 1 метр
- П/П трубки диаметром 20 мм и длиной 1 метр каждая
- Горлышко от пластиковой бутылки
- 2 транспортировочные резинки
- 2 хомута
- Болт от рамного анкера
- 2 металлических уголка
- Кровельные саморезы 25 мм

Также я использовал следующие инструменты:

- Электрический лобзик
- Электрическая дрель
- Строительный уровень
- Карандаш
- Сверло
- Шуруповерт

Для сборки метательного аппарата я выполняла действия по следующему плану:

1. Берем П/П трубу 50 мм. Берем электрическую дрель и просверливаем отверстия.

2. Берем электрический лобзик. Выпиливаем по диаметру просверленного отверстия направляющие пазы.
3. Берем бутылку. Вырезаем горлышко. Делаем отверстия с двух сторон.
4. Вставляем надрезанное горлышко в П/П трубу 50 мм.
5. Берем болт. Вставляем болт в отверстия, сделанные в горлышке, через направляющие пазы. Получается толкатель.



Рис.1



Рис.2



Рис.3

6. Берем 1 хомут. Крепим к нему 2 транспортировочные резинки. Притягиваем к П/П трубе 50 мм с помощью болтов, идущие в комплекте с этими хомутами.



7. Берем 1 хомут. Крепим его к П/П трубе 50 мм. К хомуту крепим 2 металлических уголка.
8. Берем 2 П/П трубки 20 мм. Делаем в них надрезы под размер уголка. Вставляем уголки в эти прорезы. Фиксируем кровельными саморезами.



Рис.4. Метательный аппарат «ИС-50»

## 2.2. Испытания метательного аппарата «ИС-50»

Все опыты проводились при наклоне ствола метательного аппарата 45 градусов. Опыт проводился в спортзале во избежание воздействия силы ветра на метательные тела.

Для точности измерений было проведено три запуска с каждым снарядом. Затем вычислено среднее значение дальности полета снаряда.

Таблица 1

№ опыта	Материал снаряда	Масса (м, гр.)	Дальность (м)			Среднее значение (м)
			1	2	3	
1	Бумажное ядро	3	2,87	2,65	2,42	2,64
2	Шишка	7,5	4,71	5	4,9	4,87
3	Лук	10	5,64	6,7	5,5	5,94
4	Ядро из пластилина	16	6	6,25	5,87	6,04

Можно сделать вывод о том, что дальность полета зависит от многих факторов. При увеличении начальной скорости увеличивается дальность полета снаряда. Одним из важнейших факторов является величина начальной скорости снаряда, которая зависит от многих факторов.

Основными из них являются следующие:

1. Вес снаряда. С увеличением веса снаряда при одном и том же заряде величина начальной скорости уменьшается, а с уменьшением веса - увеличивается.

2. Сила заряджания. При глубокой посадке снаряда и сильному натяжению резины значительно увеличивается сила заряджания, что может привести при выстреле к резкому изменению скорости снаряда. При

уменьшении (увеличении) силы заряжения увеличивается (уменьшается) начальная скорость снаряда.

### 2.3 Исследование угла наклона метательного аппарата ИС-50 на дальность полета

При написании работы, мне стало интересно – при какой же угле наклона будет максимальная дальность полета. Зависимость дальности полета  $l$  от угла  $\alpha$  достаточно сложна. Представим себе, что мы увеличиваем начальный угол  $\alpha$ . Сначала дальность полета растет, достигает максимального значения  $l_{max}$  и снова начинает падать (до нуля при выстреле вертикально вверх). Таким образом, для каждой дальности полета, кроме максимальной, имеется два соответствующих угла.

Обратимся к квадратному уравнению относительности дальности полета  $l$  и рассмотрим его как уравнение для угла  $\alpha$ . Учитывая, что

$$\frac{l}{\cos^2 \alpha} = l + tg^2 \alpha,$$

перепишем его в виде:

$$tg^2 \alpha \frac{gl^2}{2v_0^2} - l tg \alpha + \left( \frac{gl^2}{2v_0^2} - h \right) = 0.$$

Мы снова получили квадратное уравнение, на этот раз - для неизвестной величины  $tg \alpha$ . Уравнение имеет два корня, что соответствует двум углам, при которых дальность полета равна  $l$ . Но когда  $l=l_{max}$ , оба корня должны совпасть. Это означает, что равен нулю дискриминант квадратного уравнения:

$$l_{max}^2 - 4 \frac{gl_{max}^2}{2v_0^2} \left( \frac{gl_{max}^2}{2v_0^2} - h \right) = 0,$$

откуда следует результат

$$l_{max} = \frac{v_0^2}{g} \sqrt{1 + \frac{2gh}{v_0^2}}.$$

При  $h=0$  этот результат воспроизводит формулу

$$l_{0MAX} = \frac{v_0^2}{g}.$$

Обычно высота  $h$  много меньше дальности полета  $l_{0max}$  на равнине. При  $h < 0 < l_{0max}$  квадратный корень может быть аппроксимирован первыми членами разложения в ряд Тейлора и мы получаем приближенное выражение

$$l_{max} \approx \frac{v_0^2}{g} \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2gh}{v_0^2} \right) = l_{0max} + h,$$

то есть дальность выстрела увеличивается примерно на высоту подъема метательного аппарата.

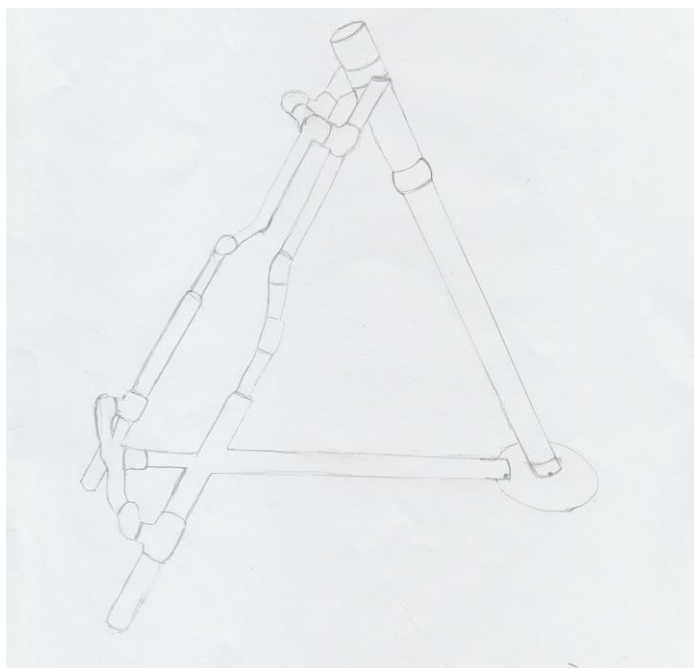
Так как дискриминант квадратного уравнения равен нулю, его решение имеет вид:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_{max}}{\frac{gl_{max}^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2}{gl_{max}} = \frac{l}{\sqrt{l + \frac{2gh}{v_0^2}}}.$$

Поскольку тангенс меньше единицы, угол, при котором достигается максимальная дальность полета, меньше  $45^\circ$ .

В процессе усовершенствования, изобретенного мною метательного аппарата ИС-50, я получила аппарат, который позволяет регулировать угол наклона ствола в различных положениях.

**Рис.5 Схематическое изображение метательного аппарата ИС-50**



В целях получения более точных и правильных данных, испытания проводились в закрытом помещении (спортзал), поэтому сопротивлением воздуха можно пренебречь. Снаряд брала один и тот же. Метательный аппарат с места не двигала. Чтобы вывести усредненные значения, испытания при определенном угле наклона я проверила три раза. Полученные данные занесла в таблицу.

<b>Угол,°</b>	<b>1 попытка, м</b>	<b>2 попытка, м</b>	<b>3 попытка,м</b>	<b>Средняя дальность,м</b>
65°	7,86	7,86	7,86	7,86
55°	9,00	8,98	9,02	9
45°	9,84	9,90	9,80	9,85

**Таблица 1**

### **Дальность полета снаряда**

Таким образом, я с уверенностью могу сделать вывод о том, что дальность полета действительно зависит от угла. Данное утверждение я получил при помощи испытательных действия.

## Заключение

В этой исследовательской работе я познакомилась с устройством метательных аппаратов. Я узнала, какие силы воздействуют на метания тел. Как оказалось для того, чтобы запустить метательное тело, нужно учитывать все воздействующие силы на это тело.

Я достигла поставленной цели. Узнала историю создания, и как использовалось это устройство в прошлом. Я исследовала влияние угла наклона на дальность полета. И пришла к выводу, что самый маленький угол наклона из использованных мною, показал максимальную дальность полета снаряда.

Сам процесс создания метательного аппарата ИС-50 был весьма увлекателен, но не менее увлекательным мне показалось его усовершенствование. Теперь я могу регулировать угол наклона до шести положений!

Данная работа имеет большую практическую ценность. Ведь, как сказал Джордж Бернارد Шоу «Деятельность - единственный путь к знанию». Я считаю, что именно создание метательного аппарата, его усовершенствование мне очень много дало в изучении физики.

## Литература

1. <http://www.bibliotekar.ru/encOruzh/141.htm>
2. <http://m.pravda.ru/science/eureka/inventions/03-06-2014/1210534-minomet-0/>
3. <http://istorija-oruzhija.pp.ua/istorija/30-istoriya-minometa.html>
4. Касьянов В.А. - Физика 10 класс; Петров В.П., 2012
5. Рымкевич П.А. Курс физики. М. Просвещение, 1975
6. Савельев И.В. Курс общей физики. М. Просвещение, 1983.
7. Трофимова Т.И. Курс физики. М. Просвещение, 1997
8. Управление баллистическими ракетами и космическими объектами; Уманский С.П. - Космонавтика сегодня и завтра; Огарков Н.В. - Военный энциклопедический словарь.
9. Управление ракетами; Жаков А.М. -2010
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Баллистика>
11. Метательное оружие// Википедия: свободная энциклопедия. 2005-2013 ([http://ru.wikipedia.org/wiki/Метательное\\_оружие](http://ru.wikipedia.org/wiki/Метательное_оружие))