Военный учебный центр
при Томском политехническом университете

Цикл №2

«Боевое применение подразделений, вооружённых зенитными артиллерийскими самоходными установками с радиоприборными комплексами»

КУРС ЛЕКЦИЙ

Автор: преподаватель 2 цикла
подполковник запаса Гаврилов А. А.

Военный учебный центр Томского политехнического университета

Дисциплина: «Устройство и эксплуатация зенитной самоходной установки»
Раздел 1. « Основы построения ЗАК»

Тема №1
Принципы построения ЗАК

Контрольные вопросы

Занятие №2
Основные сведения из баллистики

Цели занятия:

Изучить:

- сущность явления выстрела, устройство ствола, периоды выстрела, начальную скорость снаряда;
- силы, действующие на снаряд, влияние баллистических и метеорологических факторов на полет снаряда в воздухе.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания о сущности явления выстрела; силах, действующих на снаряд при его движении в воздухе для формирования компетенций офицера войсковой ПВО.

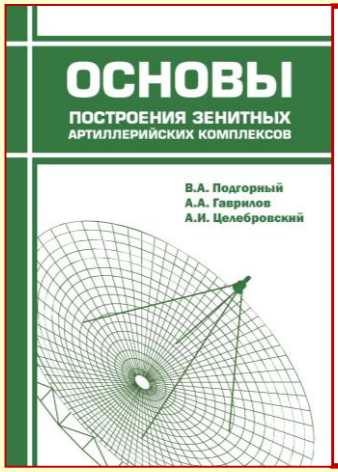
ВИД ЗАНЯТИЯ: **групповое занятие, 2 часа**

Вопросы занятия:

1. Понятие о явлении выстрела.
2. Силы, действующие на снаряд при его движении в воздухе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Учебное пособие «Основы построения зенитных артиллерийских комплексов» 2013г., В.А. Подгорный, стр.23-34



2. Учебное пособие «Основы построения зенитных артиллерийских комплексов» 2024г., В.А. Подгорный, А.А. Гаврилов, А.И. Целебровский, стр. 19-25

https://portal.tpu.ru/SHARED/g/GAA63/educational_activity/osn_zak/mat_disc/Osnovi_ZAK.pdf

Вопрос 1

Понятие о явлении выстрела

Явление выстрела

Баллистика (*от греческого βαλλω (балло), что значит – мечу, бросаю*) - наука о движении снаряда.

Внутренняя баллистика - горение, работу пороха и дв снаряда в канале ствола от воспламенения пороха, до в снаряда из канала ствола.

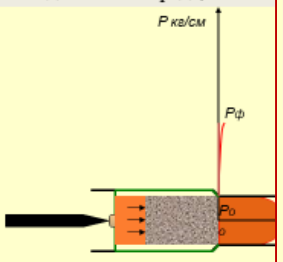
Под **выстрелом** понимае
- процесс горения пороха
- движение массы газов,
- движение снаряда под д в канале ствола и на небо дульного среза.

При **выстреле** энергия кинетическую энергию

Периоды выстрела

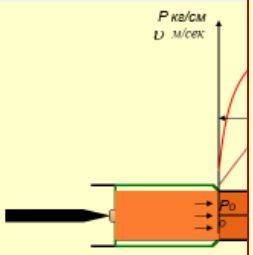
Предварительный период.

Первое время горение пороха происходит при неизменном объеме, так как давление недостаточно для стр
В орудиях с новым стволом эт врезания ведущего пояска снар
Давление, необходимое для п давлением форсирования. Счи каналу ствола не движется.
Период, в течение которого п неподвижном снаряде, называ



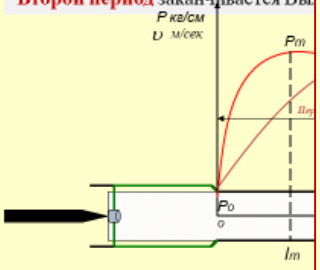
Первый (основной) период:

Начинается в момент, когда достигается давление форсирования, и снаряд начнет движение. В течение 1-го периода выстрела пороховые газы совершают большую часть полезной ра
В начале первого периода пороховых газов в заснаряд заснарядного пространства пороховых газов.
Когда снаряд пройдет в ка нарезной части, заканчивае концу первого периода.



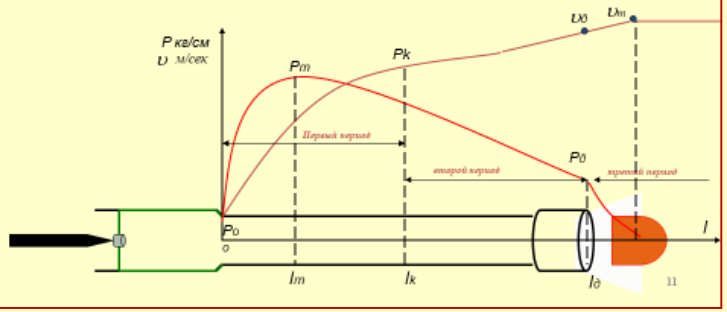
Второй период

В течение этого периода приток новых порций газа отсутствует.
По мере движения снаряда давление в канале ствола уменьшается, но на снаряд вследствие упругости выталкивающая сила, увеличиваю
По мере приближения снаряд постепенно уменьшается.
К моменту вылета снаряда из дульный срез, снаряд имеет дульну
Второй период заканчивается Вы



Третий период

После вылета из канала ствола выходящая вслед за снарядом масса газа продолжает действовать на снаряд, сообщая ему дополнительную скорость.
По мере удаления снаряда от дульного среза последействие газов на снаряд ослабевает, но увеличение скорости снаряда происходит до тех пор, пока сила давления пороховых газов на дно снаряда не станет равной силе сопротивления воздуха, действующей на снаряд.



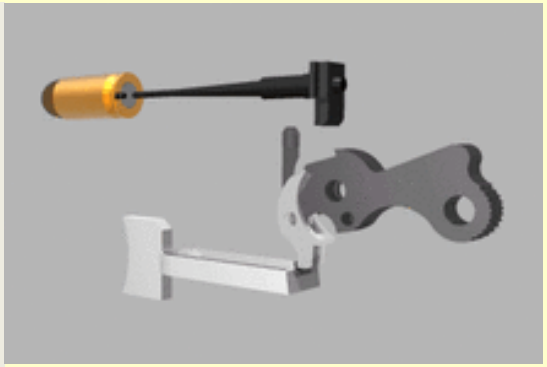
Явление выстрела

Баллистика (*от греческого βαλλω (балло), что значит – мечу, бросаю*) - наука о движении снаряда.

Внутренняя баллистика - изучает горение, работу пороха и движение снаряда в канале ствола от момента воспламенения пороха, до вылета снаряда из канала ствола.

Внешняя баллистика - изучает явления, сопровождающие движение снаряда после того, как на него перестали действовать пороховые газы.

Под **выстрелом** понимают (*внутр. баллистика*):
- процесс горения пороха боевого заряда, воспламененного от **капсюля***,
- движение массы газов,
- движение снаряда под действием пороховых газов в канале ствола и на небольшом удалении от дульного среза.



При **выстреле** энергия пороха боевого заряда превращается в кинетическую энергию движения снаряда.

Явление выстрела

По́рох — многокомпонентная твёрдая «взрывчатая» смесь, способная к закономерному горению параллельными слоями, без доступа кислорода , 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*.

Разделяются на две основные группы:

Пороха – механические смеси.

- черный (дымный) порох.
состав: (селитра 75%;
сера 10%; и уголь 15%)

Бездымные, или коллоидные, пороха.

- пироксилиновые пороха.
Являются более сильными,
содержат большой процент азота.

Для перемещения снаряда на значительное расстояние за минимальное полетное время (важно для Зен.Арт), необходимо придать снаряду большую энергию(**кинетическую***): $E = \frac{1}{2}mv^2$.

В процессе горения пороха в замкнутом пространстве (в орудии) тепловая энергия передается пороховым газам, которые, расширяясь, приводят снаряд в движение, сообщая ему скорость.

Ствол

Ствол - служит для направления полета снаряда и придания ему начальной скорости при выстреле (V_0).

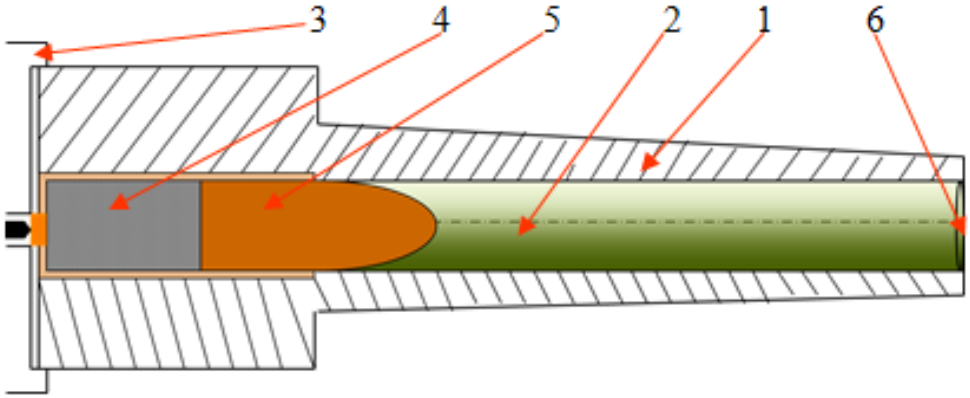
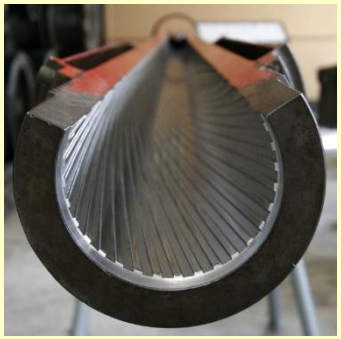


Рис.23. Схема ствола орудия

Ствол орудия (рис. 23) представляет собой прочную **стальную трубу** 1, имеющую внутри **канал ствола** 2.
Канал имеет камору (**патронник**) и **ведущую** (нарезную) часть.



Ствол имеет ***дульный*** 6 и ***казенный*** срез, который закрыт **затвором** 3.
В канале ствола перед затвором (**в патроннике**) помещают **боевой заряд** пороха (гильза) 4 и **снаряд** 5.

Ведущая часть ствола служит для придания снаряду поступательного движения с требуемой начальной скоростью.
В нарезном оружии для сообщения снаряду вращения, обеспечивающего его устойчивый полёт, в ведущей части канала делаются нарезы.

Элементы Ствола

Элементы Ствола

1.Как называется утолщение на конце ствола орудия?

1941-1945 2. С какой целью оно использовалось?

3.Назовите закон физики, который лежит в основе его применения?

Дульный тормоз

Щелевой дульный тормоз на 152-мм гаубице 2А65 «Мста-Б»

ДТ на 30 мм автоматической пушке системы Маузер

Дульный тормоз (заимств., досл. пер. с англ. muzzle brake compensator) — устройство-компенсатор, предназначенное для *уменьшения отдачи огнестрельного оружия, использующее кинетическую энергию пороховых газов, выходящих из ствола вслед за вылетевшим снарядом или пулей.*

Дульный тормоз изменяет направление и скорость движения части пороховых газов, истекающих со сверхзвуковыми скоростями из канала ствола после вылета снаряда.

Это снижает импульс отдачи, что позволяет или уменьшить общую массу оружия, или повысить кучность.

15

Эжекторное устройство

Эжекторное устройство - служит для очищения канала ствола от пороховых газов при выстреле и уменьшения загазованности боевого отделения танка

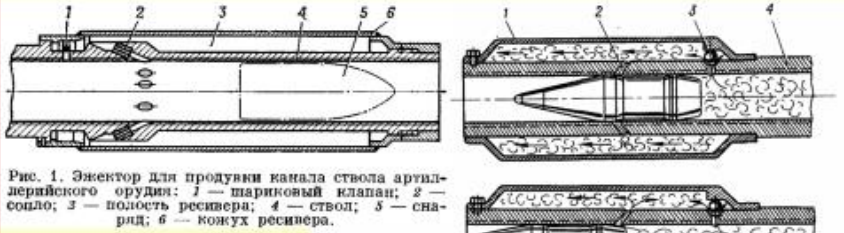
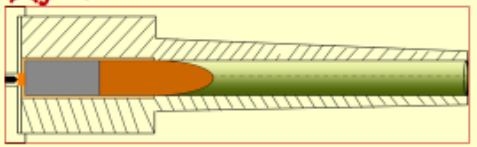


Рис. 1. Эжектор для продувки канала ствола артиллерийского орудия: *1* — шариковый клапан; *2* — сопло; *3* — полость ресивера; *4* — ствол; *5* — снаряд; *6* — кожух ресивера.

Дуло

Кремнёвое ружьё времён Екатерины II с дулом-воронкой для упрощения заряжания



Ду́ло — передний конец, выходное отверстие ствола огнестрельного оружия.

В специальной технической литературе, как правило, этот термин не используется. Применяются термины «*выходное отверстие*» и «*дульный срез*».

Кроме того, используется в названии устройства «дульный тормоз» (в самом деле, дульный тормоз закрепляется на переднем конце ствола оружия).

В разговорной речи и художественной литературе слово «дуло» часто употребляют, имея в виду ствол оружия. У профессиональных военных и оружейников именование ствола оружия дулом вызывает такую же негативную реакцию, как у инженеров-механиков именование отверстия «дыркой».

Форма и качество исполнения дульного среза сильно влияют на кучность стрельбы из снайперской винтовки.

Существуют различные насадки на выходное отверстие для охотничьих гладкоствольных ружей для увеличения и уменьшения кучности стрельбы (чок).

Периоды выстрела

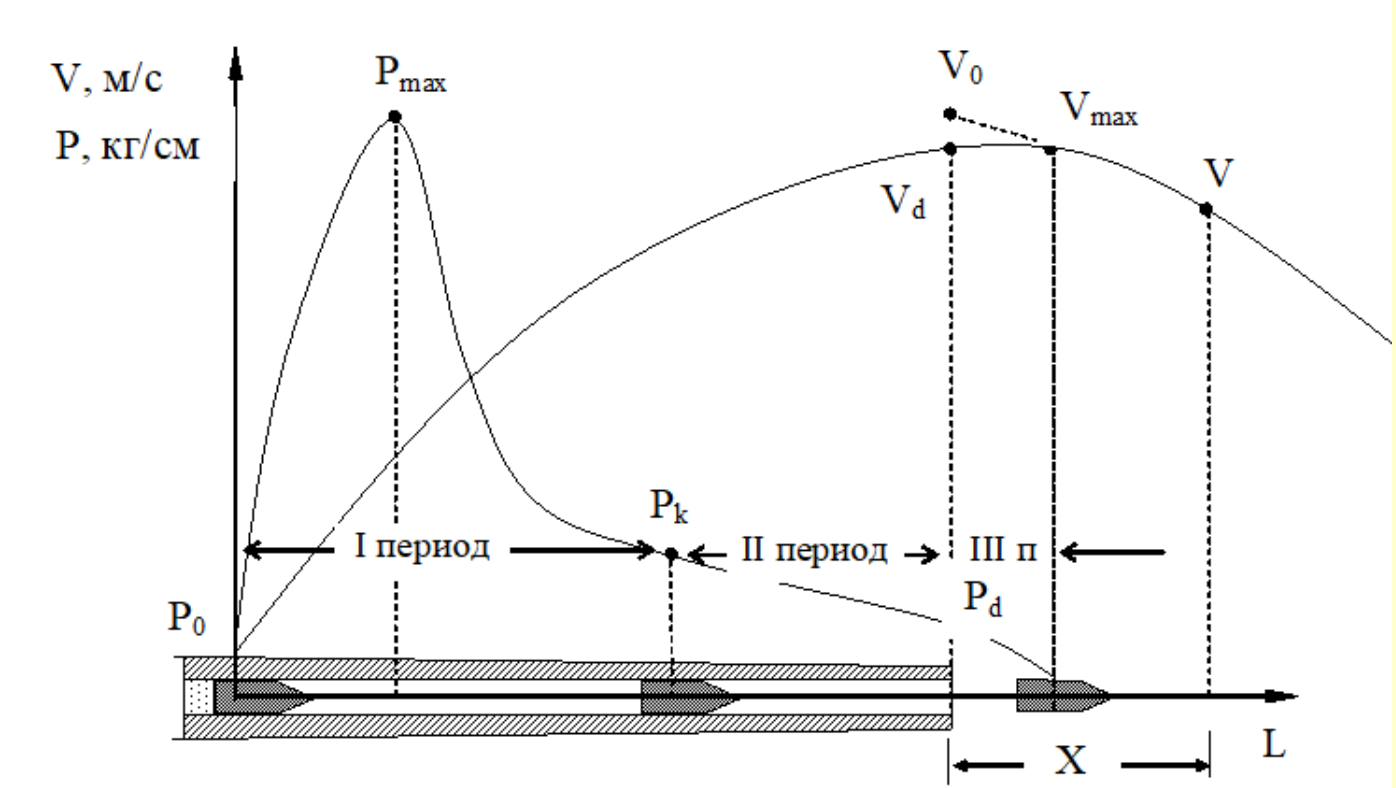


Рис. 1.8. График скорости снаряда и давления пороховых газов в канале ствола

1.2.2. Выстрел. Периоды выстрела

Под ***выстрелом*** во внутренней баллистике понимают процесс горения порохового заряда, движение массы газов и снаряда по каналу ствола и на небольшом удалении от дульного среза.

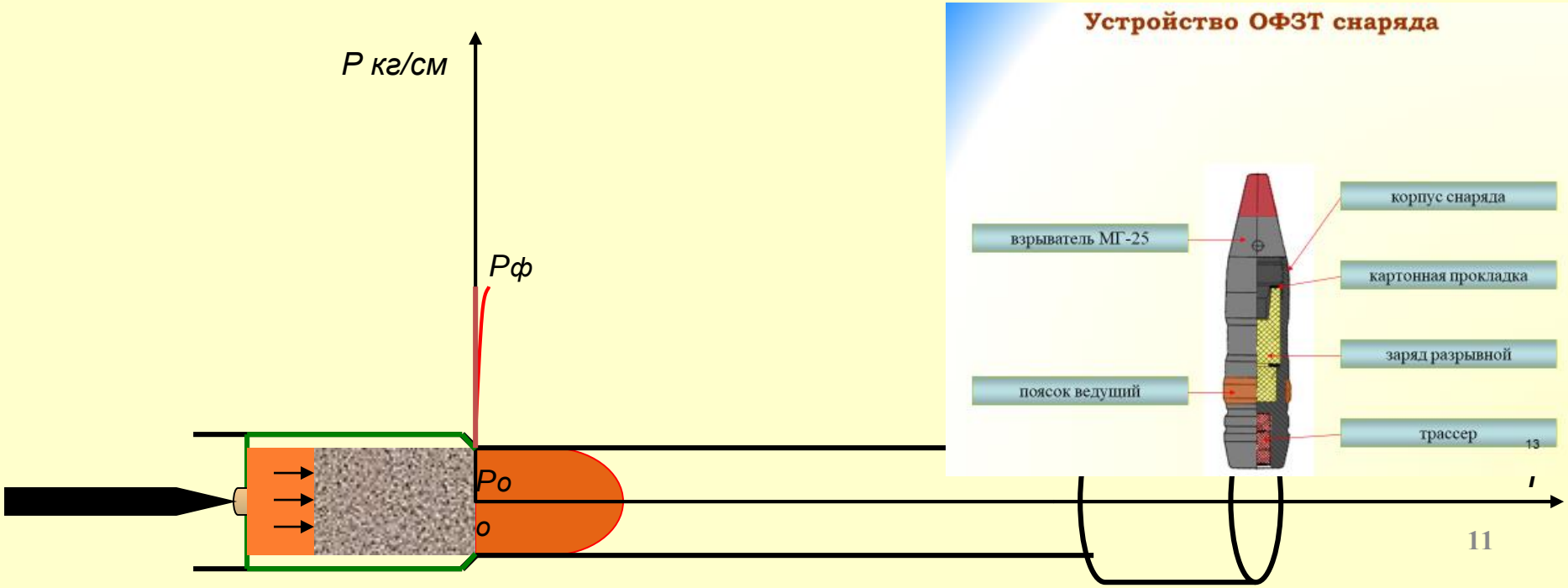
Процесс выстрела для различных орудий длится от 0,003 до 0,011 с. Наибольшее давление достигает значения 3000–3500 ат. Температура пороховых газов равна почти 3000° С, а при вылете из канала ствола – около 2000° С.

Несмотря на кратковременность, процесс выстрела подчиняется определенным законам. При выстреле возможны сложные зависимости между различными факторами, характеризующими явление выстрела.

В явлении выстрела различают следующие периоды.

Предварительный период

Начало: воспламенение порохового заряда от капсюля.
Первое время горение пороха происходит при неизменном объеме, так как давление недостаточно для страгивания снаряда с места.
Это давление определяется силой, необходимой для врезания **ведущего пояска** снаряда в **нарезы** ствола, и называется **давлением форсирования**.
Снаряд на момент полного врезания по каналу ствола - не движется, **V = 0** .
Период, в течение которого происходит горение пороха боевого заряда при неподвижном снаряде, называют **предварительным**.



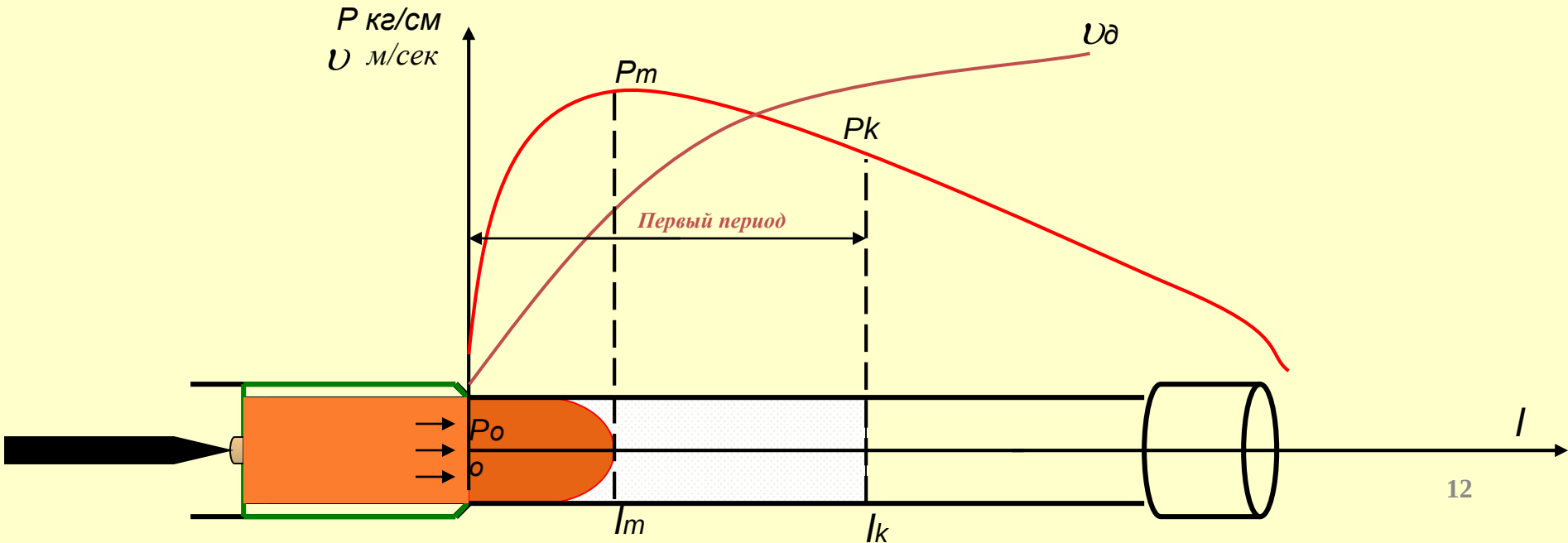
Первый (основной) период

Начало: в момент достижения давления форсирования (снаряд начнет движение). В течение 1-го периода выстрела пороховые газы совершают большую часть полезной работы (70-75%), поэтому **1-й период - основной.**

В начале периода скорость движения снаряда небольшая и приток пороховых газов в заснарядном пространстве преобладает над увеличением заснарядного пространства.

Это приводит к быстрому нарастанию давления пороховых газов.

Когда снаряд пройдет расстояние **0.5-0.8** длины нарезной части канала ствола, заканчивается горение **пороха боевого заряда**. **Конец 1-го периода**.



Второй период

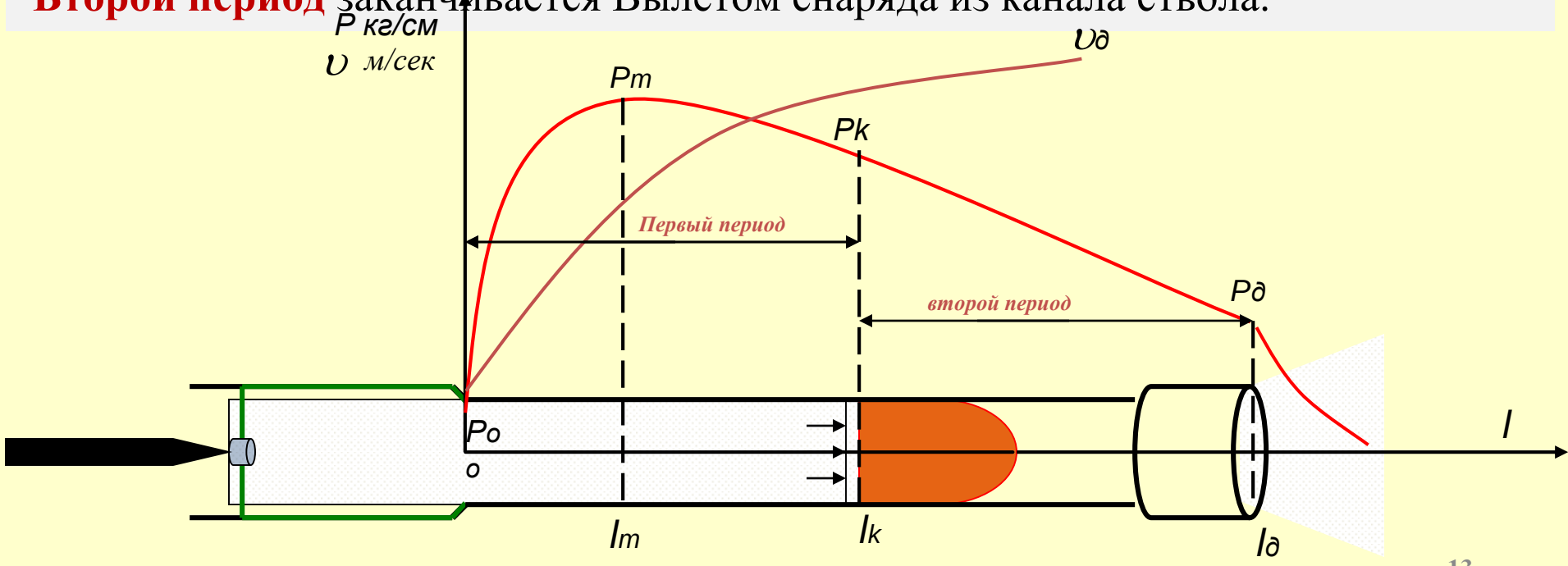
В течение **2-го периода** приток новых порций газа отсутствует.

По мере движения снаряда **давление** в канале ствола уменьшается, но на снаряд вследствие упругости пороховых газов продолжает действовать выталкивающая сила, увеличивающая скорость снаряда.

По мере приближения снаряда к дульному срезу величина ускорения постепенно уменьшается.

К моменту вылета снаряда из канала ствола, когда дно снаряда проходит дульный срез, снаряд имеет дульную скорость υ_D.

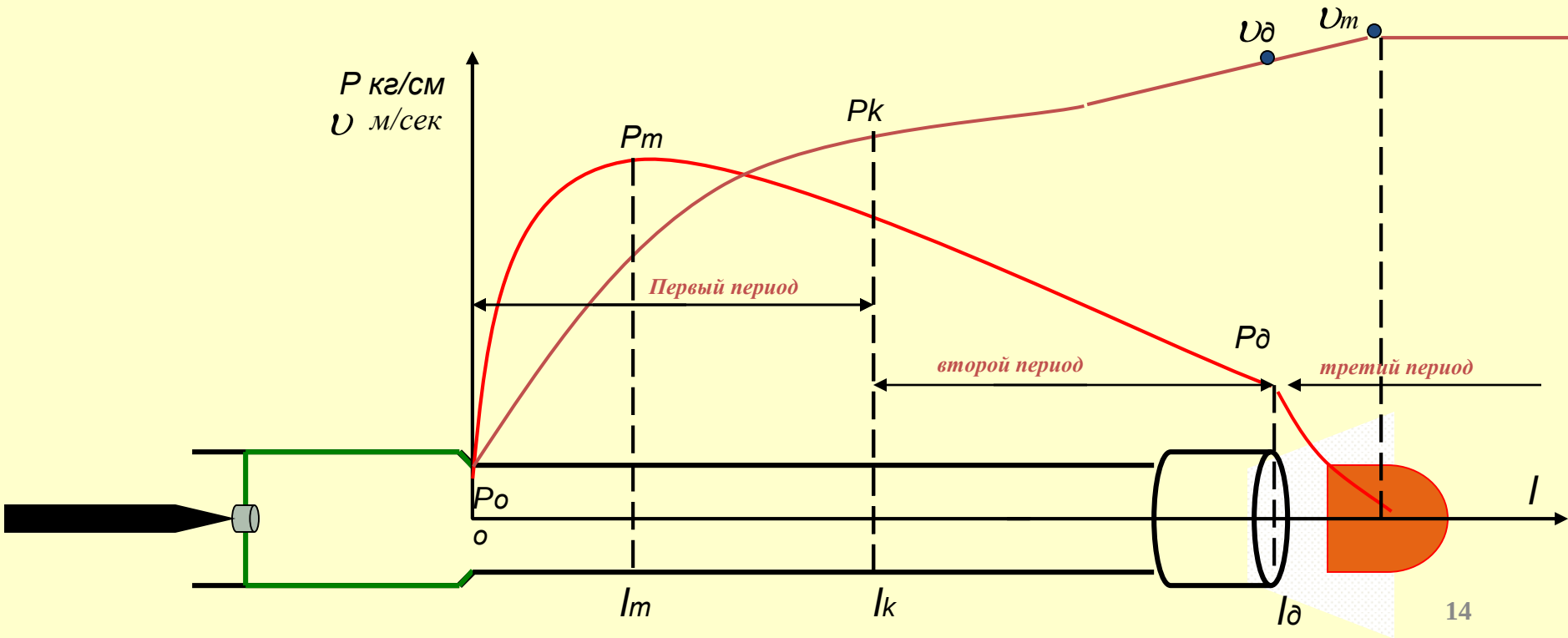
Второй период заканчивается Вылетом снаряда из канала ствола.



Третий период

После вылета из канала ствола - выходящая вслед за снарядом масса газа продолжает действовать на снаряд, сообщая ему дополнительную скорость.

По мере удаления снаряда от дульного среза последействие газов на снаряд ослабевает, но увеличение скорости снаряда происходит до тех пор, пока сила давления пороховых газов на дно снаряда не станет равной силе сопротивления воздуха, действующей на снаряд.

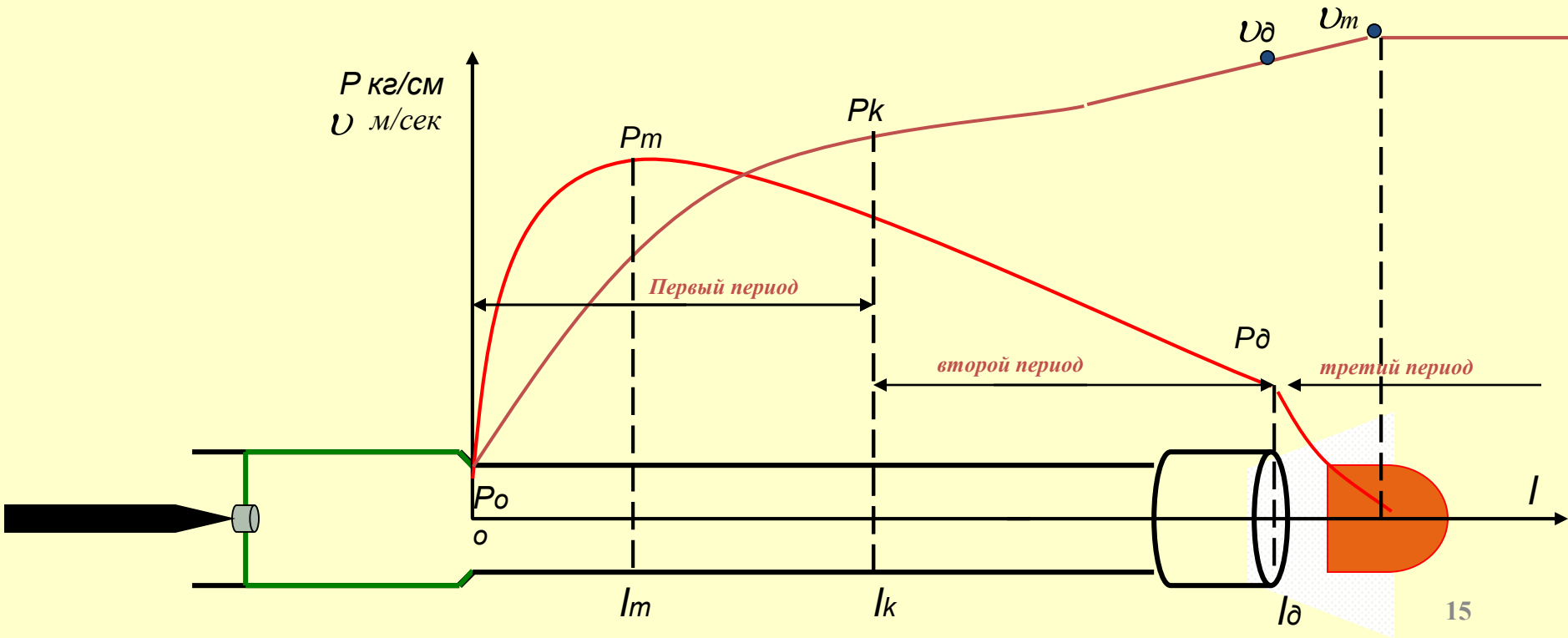


Третий период

Период действия пороховых газов на снаряд после его вылета из канала ствола называется **третьим периодом** (*период последействия*).

К концу периода последействия газов снаряд приобретает максимальную скорость.

Так как эта скорость мало отличается от дульной, то считают, что максимальная скорость снаряда равна дульной скорости.



Периоды выстрела

Газы	Движение снаряда	Давление в стволе	Скорость снаряда
Предварительный период			
горение пороха боевого заряда	*- врезание ведущего пояска; - снаряд не движется*	*давление форсирования* P = Pф	$V_д = 0$
Первый период (основной)			
- совершают 70-75% работы; - заканчивается горение пороха боевого заряда	*0.5 – 0.8 длины ствола*	*возрастает до* P = max	$V_д \rightarrow max$
Второй период			
- приток новых порций газа отсутствует	*- дно снаряда проходит дульный срез*	P = ↓	*- снаряд имеет дульную скорость* υ_D
Третий период			
$P_д = P_R$	*- вылет из канала ствола*		$V_0 = max$

Вопрос 2

Силы, действующие на снаряд при его движении в воздухе

Внешняя баллистика

Внешняя баллистика изучает движение снаряда, исходя из того, что снаряд вращается вокруг своей оси и на него действуют силы:

1) си
2) сила соп

Практически реше
сводится к нахожд
его пути.

Элементы

- геометрические к
- время его полета;
- скорость в данно
- наклон траектори

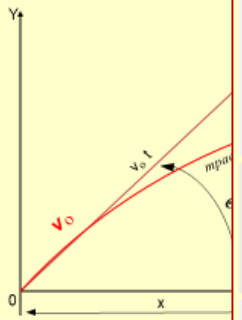
Для учета отклоне
составляются попр

Силы, действующие на снаряд

Снаряд, брошенный из точки **O** под углом бросания θ_0 и с начальной скоростью v_0, по закону инерции стремится сохранить прямолинейное и равномерное движение, направленное по линии бросания **OB**.

Сила тяжести **q** сообщает снаряду ускорение вертикально вниз по величине $g=gt^2/2$, в результате чего снаряд по кр

В воздухе кроме силы тяже
воздуха **R**, называемая аэро



Причины сопротивления воздуха

Вязкость (внутреннее трение) - это способность воздуха оказывать сопротивление сдвигу одного слоя по отношению к другому.

Вязкость воздуха зависит от
скорость молекулярного дви
увеличиваются.

Инерция (инертность) – з
прямолинейного равномерн
чем больше масса, тем боль

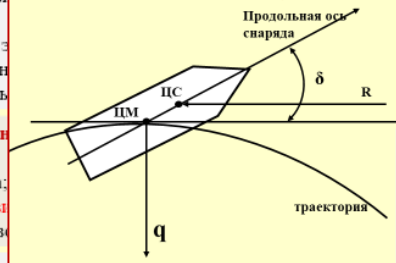
Сила сопротивлен

- скорости снаряда;
- калибра и формы снаряда;
- метеорологических услови
- высоты снаряда над гориз

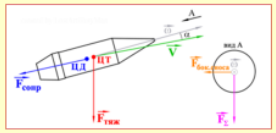
Кроме перечисленных фа
сопротивления воздуха оказ
Увелич

- приданием оптимальной б
- увеличением веса снаряда

Силы, действующие на снаряд в воздухе



Графическое отображение сил, действующих на снаряд в воздухе



Деривация

Дерива́ция (от лат. *derivatio* — отведение, отклонение) в военном деле — отклонение траектории полёта пули или артиллерийского снаряда под воздействием вращения, придаваемого нарезами ствола, наклонными соплами или наклонными стабилизаторами самого боеприпаса, то есть вследствие гироскопического эффекта и эффекта Магнуса.

Боковое отклонение снаряда от плоскости бросания, вызываемое вращательным движением снаряда в воздухе, называется **деривацией**.

Деривация направлена в ту сторону, куда вращается снаряд (при правой нарезке — вправо, а при левой — влево), и определяется опытным путем у точки падения (встречи, разрыва).

Проекцию траектории на плоскость стрельбы oxy называют плоской траекторией, а
проекцию на горизонтальную плоскость oxz —деривационной кривой.

Внешняя баллистика

Внешняя баллистика изучает движение снаряда, исходя из того, что снаряд вращается вокруг своей оси и на него действуют силы:

1) сила тяжести, равная весу снаряда, **q**;
2) сила сопротивления воздуха, **R** (аэродинамическое сопротивление).

Практически решение основных задач внешней баллистики сводится к нахождению **элементов снаряда** в различных точках его пути.

Элементы снаряда (*сведены в баллистические таблицы*)

- геометрические координаты снаряда;
- время его полета;
- скорость в данной точке;
- наклон траектории и др.

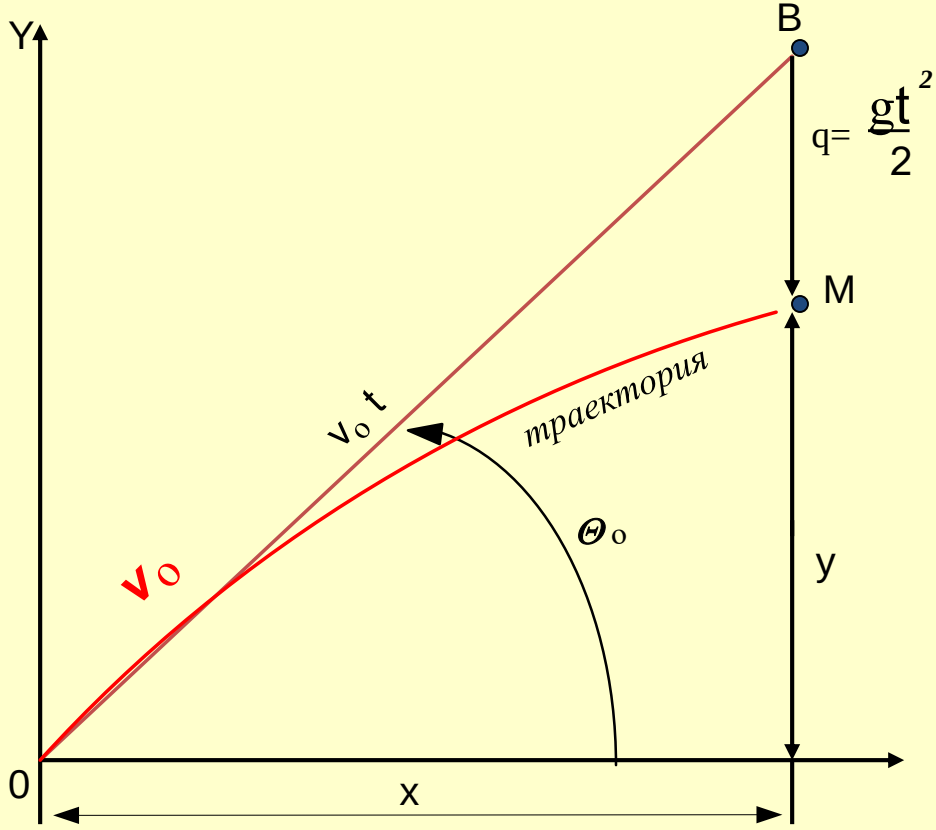
Для учета отклонений условий стрельбы от нормальных составляются поправочные таблицы или поправочные зависимости

Силы, действующие на снаряд

Снаряд, брошенный из точки **O** под углом бросания θ_0 и с начальной скоростью υ_0, по закону инерции стремится сохранить прямолинейное и равномерное движение, направленное по линии бросания **OB**.

Сила тяжести q сообщает снаряду ускорение вертикально вниз на величину $q=gt^2/2$, в результате чего снаряд по криволинейному пути за время t придет в точку M ($g=9{,}81$ м/с)

В воздухе кроме силы тяжести **q**, на полет снаряда влияет еще и сила **сопротивления воздуха R**, называемая аэродинамическим (воздушным) сопротивлением.

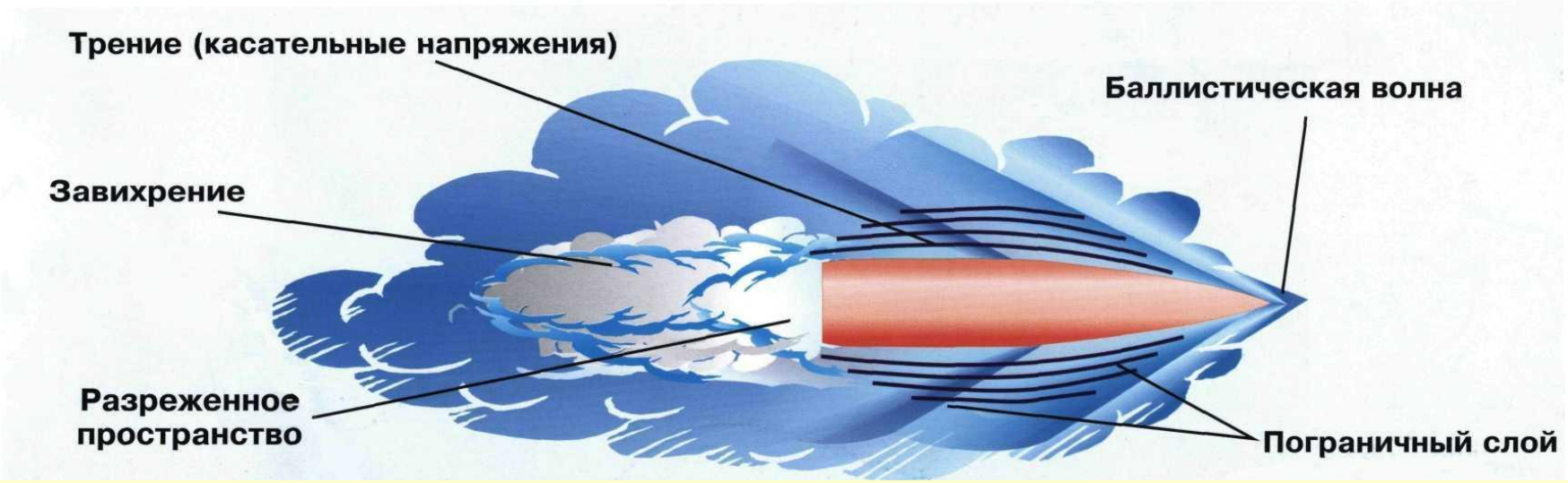


Сопротивление **R** воздуха полету снаряда вызывается тем, что воздух представляет собой упругую среду и поэтому на движение в этой среде затрачивается часть энергии пули

Причины аэродинамического сопротивления:

- вязкость воздушной среды;
- инерция частиц воздуха.

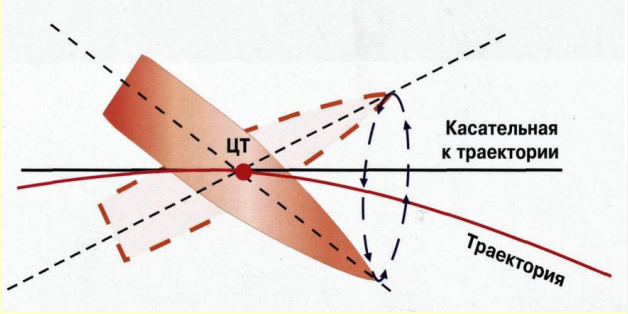
Причины сопротивления воздуха



Вязкость (внутреннее трение) - это способность воздуха оказывать сопротивление сдвигу одного слоя по отношению к другому.
Вязкость воздуха зависит от его температуры. С повышением температуры скорость молекулярного движения возрастает, вследствие чего силы вязкости увеличиваются.

Инерция (инертность) – это свойство тел сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения.
Инерция тех частиц воздуха, которые вынуждены изменять свое положение, огибая движущийся снаряд. Сила инерции зависит от массы тела: чем больше масса, тем больше инерция, и наоборот.

Причины сопротивления воздуха



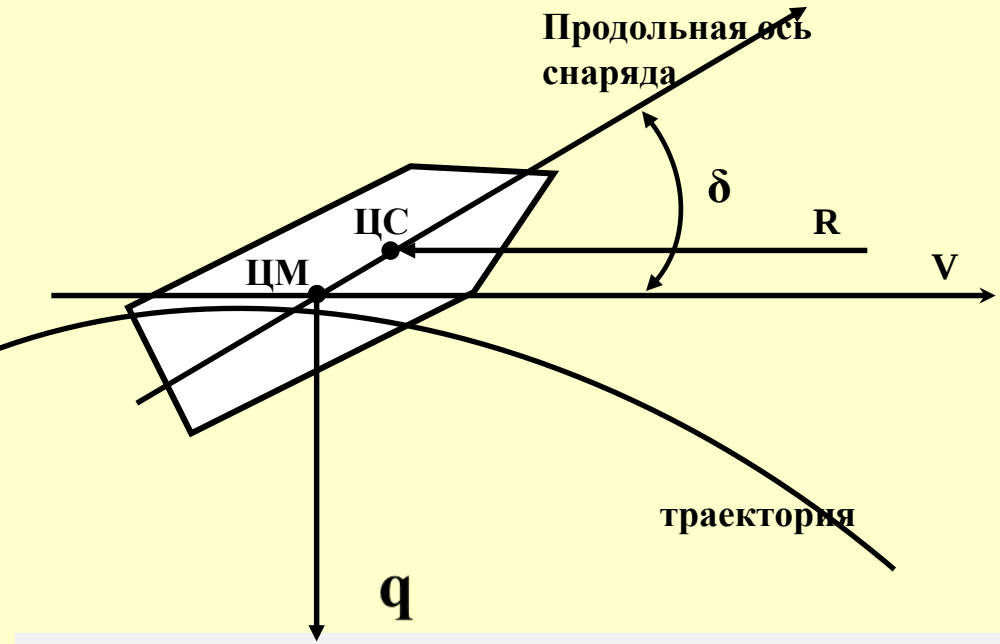
Движение быстро вращающегося снаряда получает свойство гироскопа.
Вращающейся снаряд способен сопротивляться воздействию внешней силы (силы сопротивления воздуха), сохраняя приданное положение оси.
При воздействии на снаряд, его ось отклонится в ту сторону, где окажется получившая импульс точка через 3/4 оборота.

Так как действие силы сопротивления воздуха непрерывно, а направление ее относительно снаряда меняется с каждым отклонением оси, то головная часть его описывает окружность. Происходит медленное коническое и прецессионное движение, в результате снаряд летит головной частью вперед, как бы «следит» за изменением кривизны траектории.

Сила сопротивления воздуха зависит от следующих факторов:
- скорости снаряда;
- калибра и формы снаряда;
- метеорологических условий;
- высоты снаряда над горизонтом орудия.

Увеличить дальность стрельбы можно:
- приданием оптимальной баллистической формы;
- увеличением веса снаряда.

Силы, действующие на снаряд в воздухе



Графическое отображение сил, действующих на снаряд в воздухе

R – сила сопротивления воздуха;

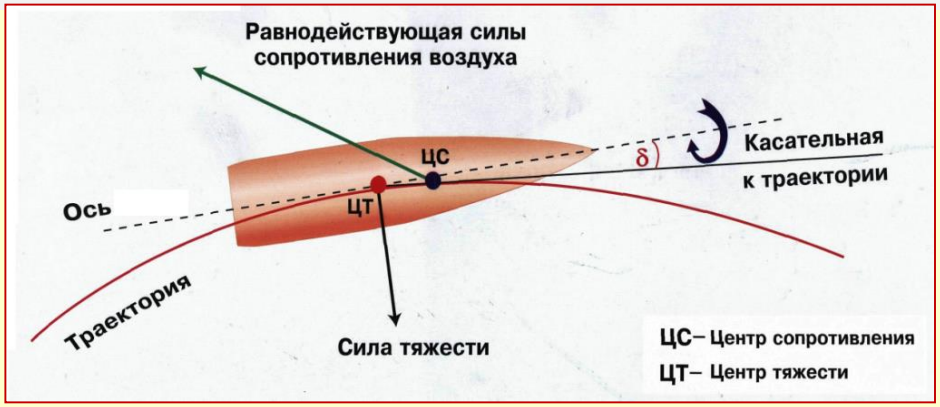
q – сила тяжести.

ЦМ – центр масс снаряда;

ЦС – точка приложения силы сопротивления воздуха;

V – вектор скорости снаряда (совпадает с касательной к траектории);

δ – **угол нутации*** - угол между касательной (направлением движения) и продольной осью снаряда.



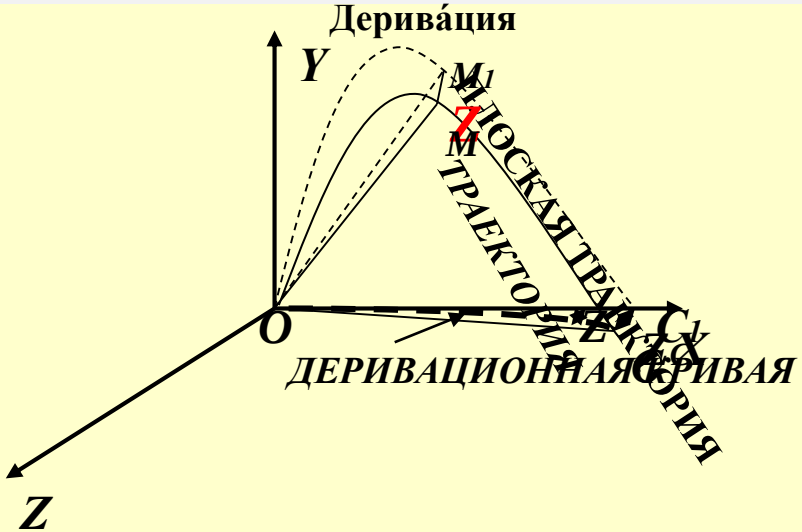
Деривация

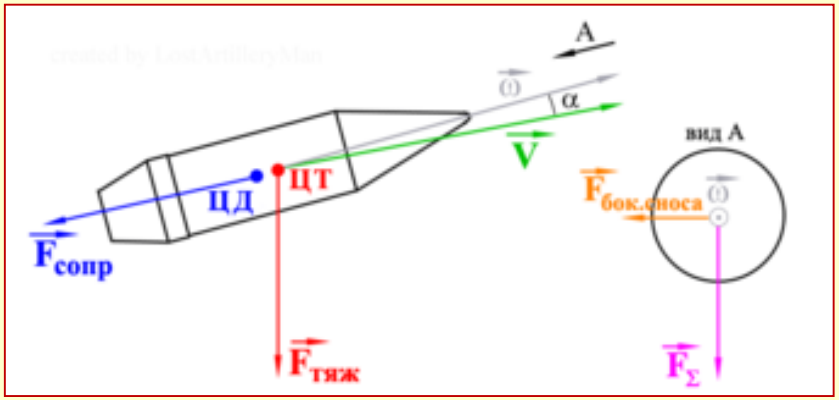
Дери́вация (от лат. *derivatio* — отведение, отклонение) в военном деле — отклонение траектории полёта пули или артиллерийского снаряда под воздействием вращения, придаваемого нарезами ствола, наклонными соплами или наклонными стабилизаторами самого боеприпаса, то есть вследствие гироскопического эффекта и эффекта Магнуса.

Боковое отклонение снаряда от плоскости бросания, вызываемое вращательным движением снаряда в воздухе, называется **деривацией**.

Деривация направлена в ту сторону, куда вращается снаряд (при правой нарезке — вправо, а при левой — влево), и определяется опытным путем у точки падения (встречи, разрыва).

Проекцию траектории на плоскость стрельбы oxy называют плоской траекторией, а
проекцию на горизонтальную плоскость oxz —деривационной кривой.





ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ:

– изучить материал занятия по конспекту и учебному пособию

Вопросы занятия:

1. Понятие о явлении выстрела.
2. Силы, действующие на снаряд при его движении в воздухе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Учебное пособие «Основы построения зенитных артиллерийских комплексов» 2013г., В.А. Подгорный, стр.23-34

2. Учебное пособие «Основы построения зенитных артиллерийских комплексов» 2024г., В.А. Подгорный, А.А. Гаврилов, А.И. Целебровский, стр. 19-25

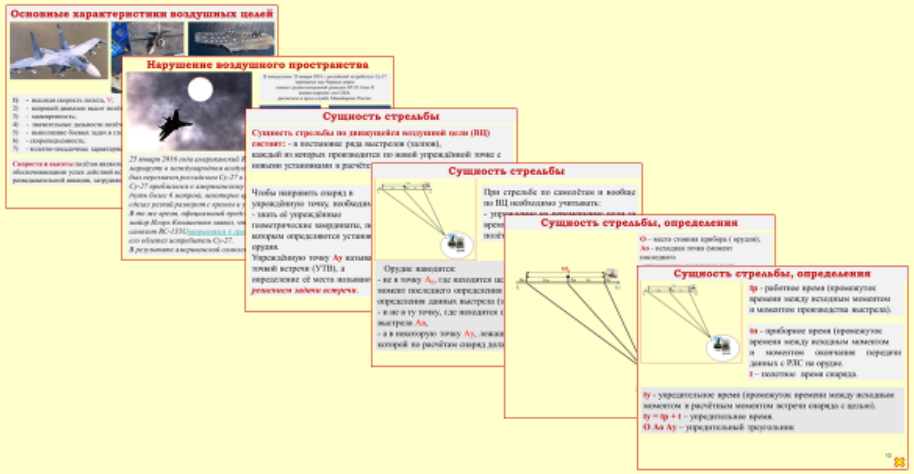
https://portal.tpu.ru/SHARED/g/GAA63/educational_activity/osn_zak/mat_disc/Osnovi_ZAK.pdf

Конец занятия

Контрольные вопросы

1. Сущность стрельбы по ВЦ, определения (схема).
2. Координаты ВЦ (сферическая система координат). Параметры движения цели.

Вопрос 1 — **Сущность стрельбы по воздушным целям**



Вопрос 2 — **Координаты и параметры движения воздушной цели**

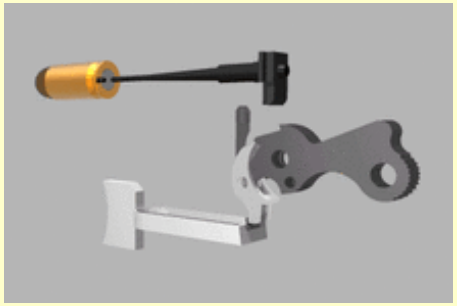
Капсюль

Ка́псюль (капсюль-воспламенитель или пистон; фр. capsule «крышка, оболочка») — устройство для воспламенения порохового заряда в огнестрельном

Капсюль - представляет собой стакан из мягкого металла (обычно латуни) с небольшим зарядом чувствительного к удару взрывчатого вещества, например гремучей ртути.

Когда курок или ударник накалывает капсюль бойком[1], этот заряд взрывается и создает форс (струю) пламени, поджигающий пороховой заряд. Изобретение капсюля стало возможно после открытия французскими химиками в 1784 году Бойенном гремучей ртути и в 1788 году Бертолле — хлорноватокислого калия (бертолетова соль) и фульмината серебра (гремучее серебро).

Капсюль является составной частью унитарного патрона или артиллерийского выстрела, он закрепляется в специальном углублении в донце гильзы.



Кинетическая энергия

2. Кинетическая энергия

Теория:

Энергию, которой обладают только движущиеся тела, называют кинетической энергией.

Если тело находится в состоянии покоя, его кинетическая энергия равна нулю.
Кинетическая энергия тела (*Екин*) зависит от массы тела (*m*) и от скорости его движения (*v*).
Кинетическая энергия прямо пропорциональна массе тела и квадрату его скорости.
Определяют кинетическую энергию по формуле:

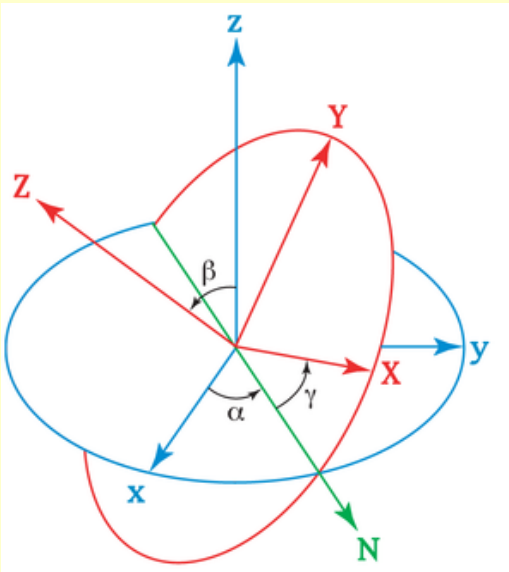
$$E_{\text{кин}} = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

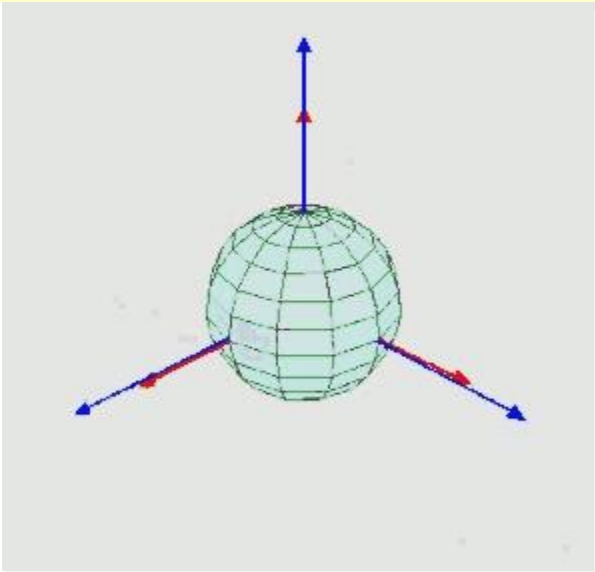
Чтобы рассчитать массу или скорость, формулу преобразуют следующим образом:

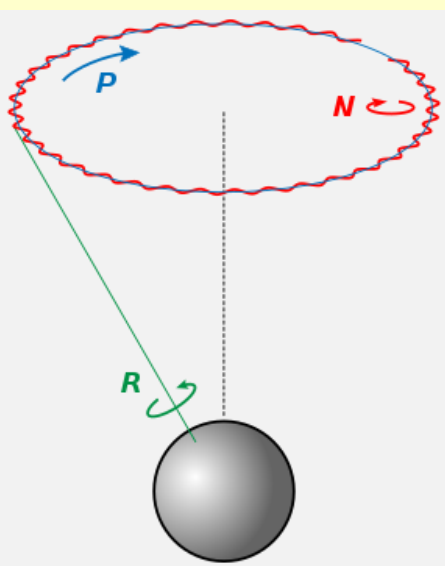
$$m = \frac{2 \cdot E_{\text{кин}}}{v^2} \text{ и } v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{кин}}}{m}}.$$

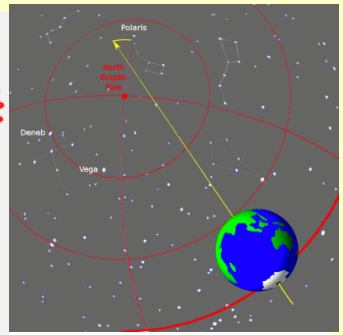
С увеличением массы тела в линейной зависимости увеличивается также и его кинетическая энергия.
Если масса увеличивается в 2 раза, тогда кинетическая энергия увеличивается также в 2 раза.
Зависимость кинетической энергии от массы можно отобразить на данном графике, если принять скорость тела постоянной и равной $2 м/с$.

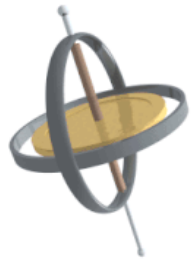
Углы Эйлера











Углы Эйлера — углы, описывающие поворот абсолютно твердого тела в трёхмерном евклидовом пространстве.

Углы Эйлера определяют три поворота системы, которые позволяют привести любое положение системы к текущему. Начальная система координат: x, y, z. Конечная: X, Y, Z.

Угол **α** между осью x и линией узлов – **угол прецессии.** *(ось x переходит в N)*

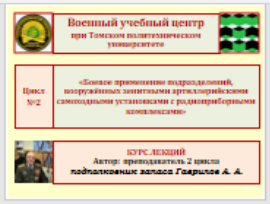
Угол **β** между осями x и Z – **угол нутации.** *(ось z переходит в Z)*

Угол **γ** между линией узлов и осью X – **угол собственного вращения.** *(ось N в - X)*

Нута́ция (от лат. *nutatio* «колебание; качание, кивание») — слабое нерегулярное движение вращающегося твёрдого тела, совершающего прецессию. Напоминает «подрагивание» оси вращения и заключается в слабом изменении так называемого *угла нутации* между осями собственного и прецессионного вращения тела.

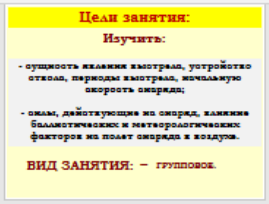
Занятие №2

Основные сведения из внутренней и внешней баллистики.

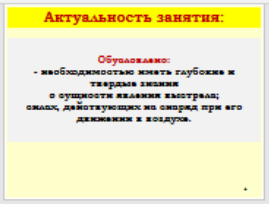


1

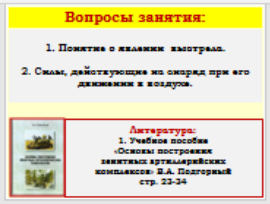
2



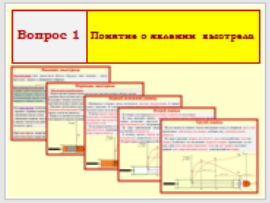
3



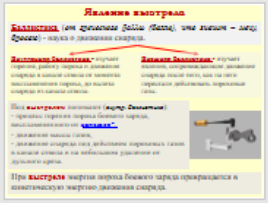
4



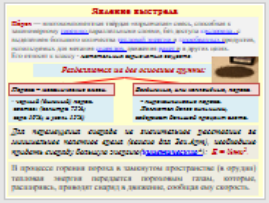
5



6



7



8

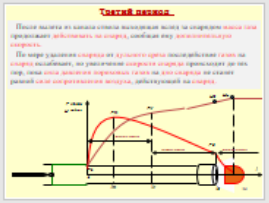
9

10

11

12

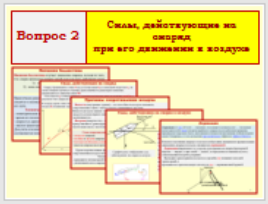
13



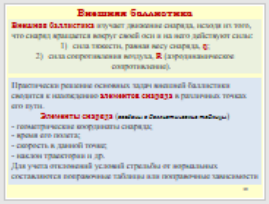
14

15

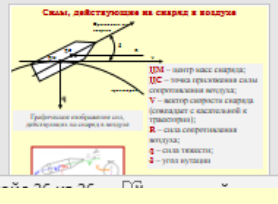
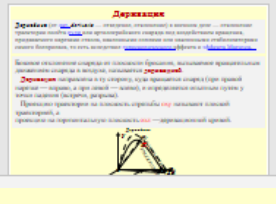
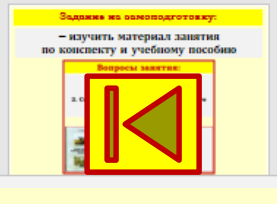
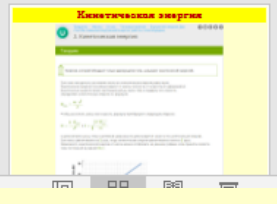
16



17



18

19

20