

VI научная конференция школьников Иркутской области  
"Человек и космос"

## **КОСМИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ**

Выполнил:

ученик 10 б класса школы № 24  
Биналиев Рустам Шамил Оглы

Учитель физики:

Немирова Варвара Александровна

Научный руководитель:

Полякова А.С., к.ф.-м.н.  
ИСЗФ СО РАН

г. Иркутск  
2016

## Оглавление

1. История развития космических аппаратов .....	3
а) зарождение ракетостроения и мыслей о покорении космоса .....	3
б) Константин Эдуардович Циолковский.....	4
в) Формула Циолковского.....	4
2. Важнейшие этапы освоения космоса .....	6
3. Принцип действия космической ракеты.....	8
4. Первая, вторая и третья космическая скорость .....	9
5. Испытания и характеристики моей модели ракеты .....	10
Список источников .....	11

## История развития космических аппаратов

### *а) Зарождение ракетостроения и мыслей о покорении космоса*

Теоретические основы космонавтики были заложены в работе Исаака Ньютона «Математические начала натуральной философии», опубликованной в 1687 году.

Идея космических путешествий возникла после появления гелиоцентрической системы мира, когда стало ясно, что планеты — это объекты, подобные Земле, и таким образом, человек в принципе мог бы посетить их. Первым опубликованным описанием пребывания человека на Луне стала фантастическая повесть Кеплера «*Somnium*» (написана 1609, опубликована 1634). Фантастические путешествия на другие небесные тела описывали также Фрэнсис Годвин, Сирано де Бержерак и другие.

23 марта 1881 года Н.И. Кибальчич, находясь в заключении, выдвинул идею ракетного летательного аппарата с качающейся камерой сгорания для управления вектором тяги. За несколько дней до казни Кибальчич разработал оригинальный проект летательного аппарата, способного совершать космические перелёты. Его просьба о передаче рукописи в Академию наук следственной комиссией удовлетворена не была, проект был впервые опубликован лишь в 1918 году в журнале «Былое», № 4—5.

Американский ученый Роберт Годдард в 1923 году начал разрабатывать жидкостный ракетный двигатель и работающий прототип был создан к концу 1925 года. 16 марта 1926 года он осуществил запуск первой жидкостной ракеты, в качестве топлива для которой использовались бензин и жидкий кислород.

### *б) Российский учёный Константин Эдуардович Циолковский (1857-1935)*

Был одним из первых, кто выдвинул идею об использовании ракет для космических полётов. Ракету для межпланетных сообщений он спроектировал в 1903 году. Формула Циолковского, определяющая скорость, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя, и сегодня составляет важную часть математического аппарата, используемого при проектировании ракет, в частности, при определении их основных массовых характеристик.

Хотя Циолковский никогда не запускал ракет, в начале века его считали чудаковатым мечтателем, теории которого мало связаны с реальностью, его вклад в науку о космических путешествиях огромен. Он начал свои исследования в 1883 году с изучения принципов движения ракеты в космическом вакууме.

В 1903 г. К. Э. Циолковский в своем труде «Исследования мировых пространств реактивными приборами» впервые изложил теорию полета ракеты и рассматриваются перспективы космических путешествий [4].

Циолковский впервые предложил в ракетах использовать жидкое топливо (оно имеет более высокие энергетические характеристики). На первом рисунке космического корабля, сделанном Циолковским, изображен аппарат каплеобразной формы с пассажирской кабиной в носовой части и топливными баками – в хвостовой.

Циолковский предложил:

- управлять полетом ракеты вне атмосферы с помощью газотурбинных рулей;
- предусмотрел систему жизнеобеспечения космонавтов. Он считал, что в период перегрузки космонавты должны быть в лежащем состоянии;
- космические корабли 2-х стеной конструкции для защиты от чрезмерного нагревания или охлаждения;
- применение воздушного шлюза для выхода в открытый космос, использование защитных скафандров и гибких фалов;
- использовать гироскопический эффект вращающихся механизмов для стабилизации ракеты в полете;
- разработал теорию многоступенчатых ракет, или ракетных поездов;
- обосновал возможность орбитального полета;
- предсказал создание орбитальных космических станций;
- предвидел, что космические станции будут иметь системы жизнеобеспечения с замкнутым циклом, в котором пища и кислород будут извлекаться из растений, произрастающих внутри станций;
- предсказал, что за эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных или аэропланов стратосферы.

#### в) Формула Циолковского

Данная формула определяет скорость ракеты в зависимости от изменения ее массы по мере сгорания топлива. Вывести её можно из дифференциального уравнения реактивного движения, которое имеет вид:

$$T = u \cdot \frac{dm}{dt}$$

где  $dm$  – уменьшение массы ракеты после сгорания топлива, а  $dt$  – время, за которое это топливо сгорело. Воспользуемся вторым законом Ньютона и преобразуем формулу в следующий вид  $mdv = udm$ , где  $dv$  – изменение скорости ракеты и  $u$  – скорость истечения газов. Разделяя переменные и интегрируя, находим:

$$dv = u \cdot \frac{dm}{m}$$

$$\int_{v_0}^{v_1} dv = \int_{m_0}^{m_1} u \frac{dm}{m}$$

где  $v_0$  и  $v_1$  – начальная и конечная скорость ракеты, а  $m_0$  и  $m_1$  – начальная и конечная масса ракеты, соответственно. Заметим, что  $dm$  обозначает

уменьшение массы. Поэтому, возьмем приращение  $dm$  с отрицательным знаком. В результате, уравнение принимает вид:

$$v_1 - v_0 = -u(\ln(m_1) - \ln(m_0)) = u \ln(m_0/m_1)$$

Полагая  $v_0=0$ , получим формулу, выведенную Циолковским [8]:

$$v = u \ln m_0/m$$

Работы Циолковского, Оберта и Годдарда были продолжены группами энтузиастов ракетной техники в США, СССР и Германии. В СССР исследовательские работы вели Группа изучения реактивного движения (Москва) и Газодинамическая лаборатория (Ленинград). В 1933 году на их базе был создан Реактивный институт (РНИИ).

## 1. Важнейшие этапы освоения космоса

Освоение космоса началось с 1957 года. В 1957 году под руководством Королёва была создана первая в мире межконтинентальная баллистическая ракета Р-7, которая в том же году была использована для запуска первого в мире искусственного спутника Земли.

<b>4 октября. 1957г</b>	запущен первый искусственный спутник Земли Спутник-1
<b>3 ноября 1957</b>	запущен второй искусственный спутник Земли Спутник-2, впервые выведший в космос живое существо, — собаку Лайку.
<b>4 января 1959</b>	станция «Луна-1» прошла на расстоянии 6000 километров от поверхности Луны и вышла на гелиоцентрическую орбиту. Она стала первым в мире искусственным спутником Солнца.
<b>4 октября 1959</b>	запущена автоматическая межпланетная станция «Луна-3», которая впервые в мире сфотографировала невидимую с Земли сторону Луны. Также во время полёта впервые в мире был на практике осуществлён гравитационный манёвр.
<b>19 августа 1960</b>	совершён первый в истории орбитальный полёт в космос живых существ с успешным возвращением на Землю. На корабле «Спутник-5» этот полёт совершили собаки Белка и Стрелка.
<b>12 апреля 1961</b>	совершён первый полёт человека в космос (Юрий Гагарин) на корабле Восток-1.

<b>16 июня 1963</b>	совершён первый в мире полёт в космос женщины-космонавта (Валентина Терешкова) на космическом корабле Восток-6.
<b>12 октября 1964</b>	совершил полёт первый в мире многоместный космический корабль Восход-1.
<b>18 марта 1965</b>	совершён первый в истории выход человека в открытый космос. Космонавт Алексей Леонов совершил выход в открытый космос из корабля Восход-2.
<b>3 февраля 1966</b>	АМС Луна-9 совершила первую в мире мягкую посадку на поверхность Луны, были переданы панорамные снимки Луны.
<b>3 апреля 1966</b>	мягкая посадка и начало работы первого в мире полуавтоматического дистанционно управляемого самоходного аппарата, управляемого с Земли: Луноход-1.
<b>15 сентября 1968</b>	первое возвращение космического аппарата (Зонд-5) на Землю после облета Луны. На борту находились живые существа: черепахи, плодовые мухи, черви, растения, семена, бактерии.
<b>21 июля 1969</b>	первая высадка человека на Луну (Н. Армстронг) в рамках лунной экспедиции корабля Аполлон-11, доставившей на Землю, в том числе и первые пробы лунного грунта.
<b>15 декабря 1970</b>	запущена первая орбитальная станция Салют-1.
<b>2 декабря 1971</b>	первая мягкая посадка АМС на Марс: «Марс-3».
<b>12 апреля 1981</b>	первый полёт первого многоразового транспортного космического корабля «Колумбия».
<b>3 марта 1972</b>	запуск первого аппарата, покинувшего впоследствии пределы Солнечной системы: Пионер-10.
<b>24 апреля 1990</b>	запуск телескопа Хаббл на околоземную орбиту.
<b>20 ноября 1998</b>	запуск первого блока «Заря» Международной космической станции

Надо отметить, что здесь представлены не все важнейшие этапы освоения космоса и запуски ракета-носителей, ведь в двадцатом веке началось активное освоение космоса и это был огромный прорыв в освоении космоса.

## **2. Принцип действия космической ракеты**

1) *Ракета* — летательный аппарат,двигающийся в пространстве за счёт действия реактивной тяги, возникающей только вследствие отброса части собственной массы (рабочего тела) аппарата и без использования вещества из окружающей среды. Поскольку полёт ракеты не требует обязательного наличия окружающей воздушной или газовой среды, то он возможен не только в атмосфере, но и в вакууме. Словом ракета обозначают

широкий спектр летающих устройств от праздничной петарды до космической ракеты-носителя [7].

Существует много классификаций ракет, это связано с огромной разновидностью ракет.

Для доставки полезного груза на орбиту Земли или для достижения более отдалённых целей, используют многоступенчатые ракета-носители, так как они более эффективны для преодоления первой и второй космической скорости.

### 2) Полезная нагрузка или полезный груз (ПГ)

Полезная нагрузка состоит из научной аппаратуры, радиотелеметрической системы, корпуса выводимого на орбиту космического аппарата, экипажа и системы жизнеобеспечения космического корабля и т. п. Полезная нагрузка – это то, без чего ракета совершает нормальный (но бесполезный!) полёт [1].

### 3) Преодоление первой, второй и третьей космической скорости

Под **первой космической скоростью** понимается та минимальная скорость, которую надо придать телу для того, чтобы он стал спутником Земли:  $v_1 \approx 7,9$  км/с

Первая космическая скорость выводится из следующих формул: второй закон Ньютона  $F = m \cdot a$ , центростремительное ускорение спутника  $a = v^2 / (R + h)$  и сила действующая на спутник, согласно закону всемирного тяготения  $F = G \cdot m \cdot M / (R + h)^2$

Подставляем в формулу  $F = G \cdot m \cdot M / (R + h)^2$  вместо « $F$ » выражение  $m \cdot v^2 / (R + h)$ , получаем:  $m \cdot v^2 / (R + h) = G \cdot m \cdot M / (R + h)^2$ . Отсюда выражаем скорость в квадрате ( $v^2$ ) и получаем

$v^2 = G \cdot M / (R + h)$ , если  $h = 0$ , то формула имеет вид [3]:

$$v_1 = \sqrt{GM/R}$$

**Вторая космическая скорость** — минимальная скорость, которую необходимо сообщить телу для того, чтобы оно никогда не вернулось на Землю (при условии, что тело не подвергается гравитационному действию со стороны других небесных тел) [6]. Для Земли вторая космическая скорость равна 11,2 км/с.

Чтобы получить вторую космическую скорость необходимо решить задачу, то есть найти скорость, которую разовьёт тело на поверхности Земли, при падении на неё из бесконечности. Очевидно, что это именно та скорость, которую надо придать телу на поверхности планеты, чтобы вывести его за пределы её гравитационного влияния.

Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_2^2}{2} - G \frac{mM}{R} = 0$$

где слева стоят кинетическая и потенциальная энергии на поверхности планеты (потенциальная энергия отрицательна, так как точка отсчета взята на бесконечности), справа то же, но на бесконечности (покоящееся тело на границе гравитационного влияния — энергия равна нулю). Здесь  $m$  — масса пробного тела,  $M$  — масса планеты,  $R=h+r$ ,  $r$  — радиус планеты,  $h$  — длина от основания тела до его центра масс,  $G$  — гравитационная постоянная,  $v$  — вторая космическая скорость. Выражая  $v_2$  из этого уравнения получим:

$$v_2 = \sqrt{2GM/R}$$

Между первой и второй космическими скоростями существует простое соотношение:

$$v_2 = \sqrt{2}v_1$$

**Третья космическая** — наименьшая скорость (начальная), которую нужно сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно, преодолев действие земного притяжения, а затем действие притяжения Солнца, навсегда покинуло бы пределы Солнечной системы [5]. Вычисляется по формуле:

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1)^2 v^2 + v_2^2}$$

где  $v$  — орбитальная скорость планеты,  $v_2$  — вторая космическая скорость для планеты. Подставляя численные значения (для Земли  $v = 29,783$  км/с,  $v_2 = 11,182$  км/с), найдем  $v_3 \approx 16,650$  км/с.

Таким образом, мы видим, что для преодоления первой или второй космической скорости и для доставки ракеты требуется затратить огромное количество энергии. Из-за этого конструкторы максимально уменьшают массу конструкции, чтобы уменьшить затраты на доставку полезного груза.

## 5) Испытания и характеристики моей модели ракеты

**С самого начала** я передо мной стояла цель: соорудить действующий макет ракеты и на практике увидеть действие реактивной тяги.

Макет состоит из корпуса, двигателя, трёх стабилизаторов, обтекателя, и банальной системы зажигания.

**Корпус** двигателя делается из 10-ти слоев высококачественной офисной бумаги. Для этого из стандартного листа А4 отрезаются по длине две полоски шириной 69 мм. Далее берется оправка — ровный гладкий и



прочный, лучше металлический, стержень (или трубка) длиной более 80 мм и диаметром 15 мм. Затем на оправку наматываются последовательно полоски бумаги, которые в процессе намотки обильно, без пропусков, промазываются силикатным клеем. Пока двигатель не высох крепиться сопло, затем после плотной забивки топлива устанавливается заглушка. Так как во момент сгорания топлива давление в камере сгорания может достигать 10 атмосфер (это я узнал от создателя данной ракеты), то сопло и заглушка двигателя крепиться методом перетяжки корпуса двигателя. По аналогии делается фюзеляж ракеты, только из трёх слоёв бумаги и диаметром 17 мм. У ракеты три стабилизатора, схему которых можно увидеть в приложении.

**Топливо.** Я использовал карамельное топливо, состоящее из калиевой селитры и сахара в пропорции 2:1 соответственно, смешивал компоненты методом выпаривания с добавлением воды.

**Зажигание** состоит из стопина набитого топливом и замедлителя.

Сделав небольшой макет ракеты, получил ожидаемые результаты. Ракета взлетела на высоту, примерно, 100 метров, топливо массой в 11 грамм сгорело за 0,7-0,9 секунды.

Используя программу «Rocki-motor», высчитал следующие характеристики:

давление в камере  $P_{\max} = 0.68 \text{ МПа}$

тяга максимальная  $F_{\max} = 18.8 \text{ Н}$

тяга средняя  $F_{\text{avg}} = 11.9 \text{ Н}$

импульс полный  $I_{\text{tot}} = 9.4 \text{ Н*сек}$

импульс удельный  $I_{\text{sp}} = 97.9 \text{ сек}$

$K_n$  максимальный  $K_{n\max} = 64$

Так как размеры и характеристики ракеты малы, то полезная нагрузка тоже мала. Её роль играла монета номиналом в 50 копеек и весом в 3 грамма. При таком ПГ макет ракеты поднялся на ранее заявленные 100 метров. Без ПГ высота полёта составила от 120 до 150 метров. Конструкцию ракеты и программу для вычисления я взял с этого сайта «kia-soft.narod.ru».

## Литература

1. В.И. Левантовский. «Механика космического полёта в элементарном изложении», М. Наука, 1980, 512 стр.
2. Д.Е. Охочимский и Ю.Г. Сихарулидзе. «Основы механики космического полёта», М. Наука, 1990, 448 стр.
3. Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. «Физика 10 класс», М.: Просвещение, 2010. 366 с.
4. К. Циолковский. «Исследование мировых пространств реактивными приборами», Научное обозрение, № 5, 1903.
5. Большая советская энциклопедия, М., 1997.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Механика. М., 1979, 520 стр.

### Интернет-сайты:

7. Википедия,  
РЕФ.ру,  
astronaut.ru,  
elite-astronomy.narod.ru,  
razvitie19.ru,  
mikhail.vavaev.ru,  
www.fizportal.ru
8. math24.ru

## Приложение

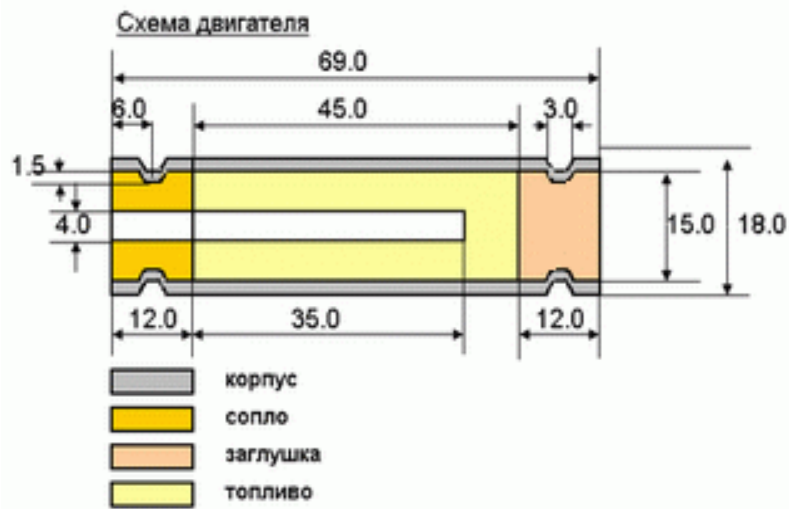


Рис.1

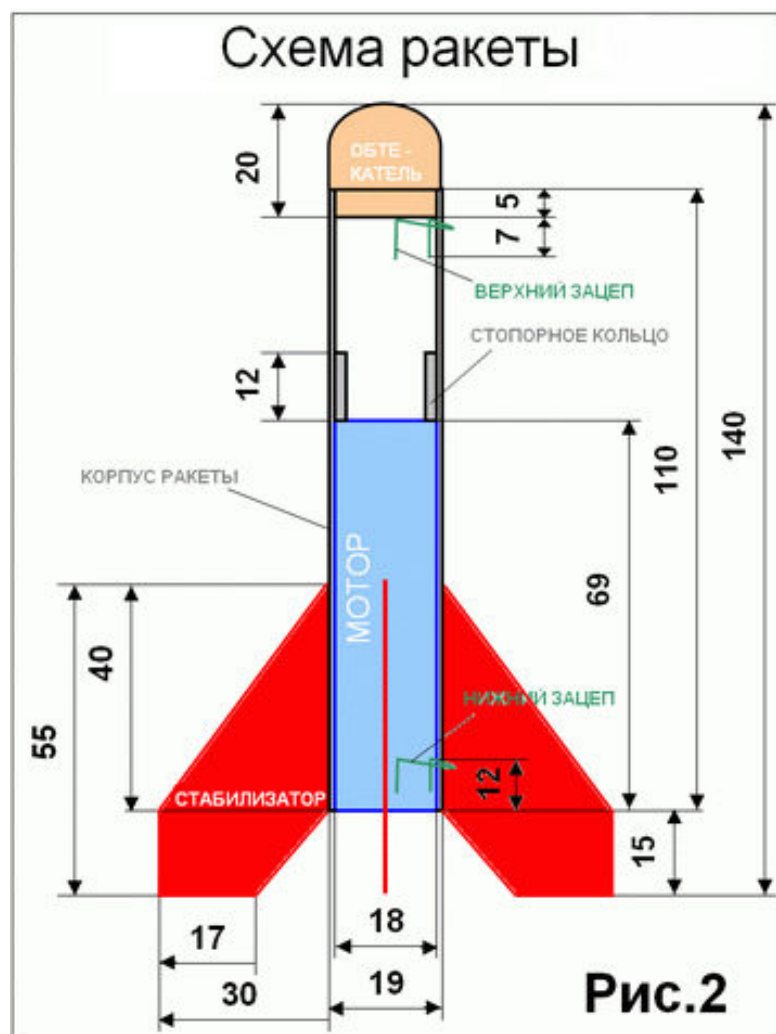
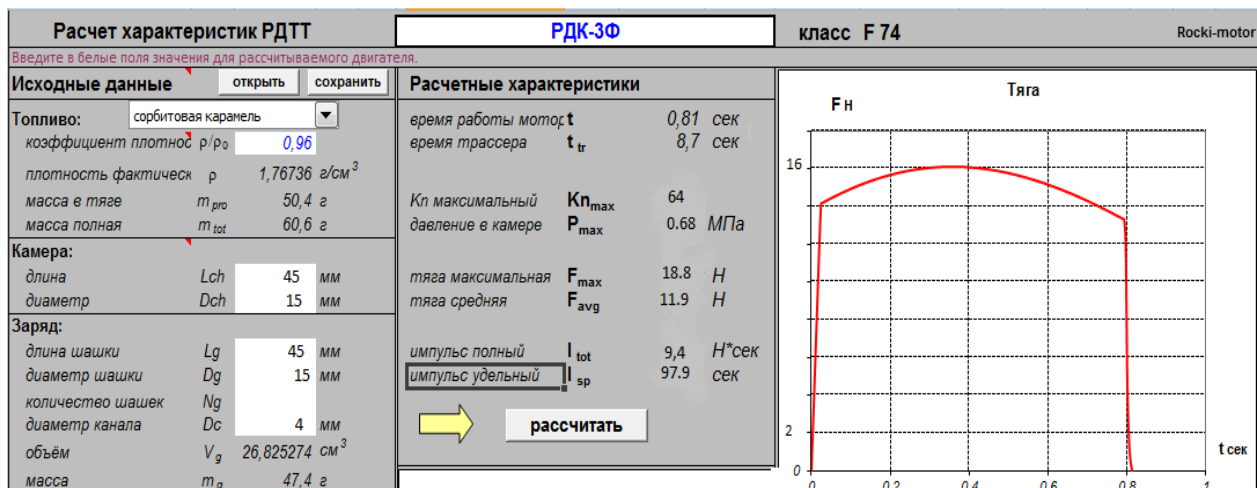
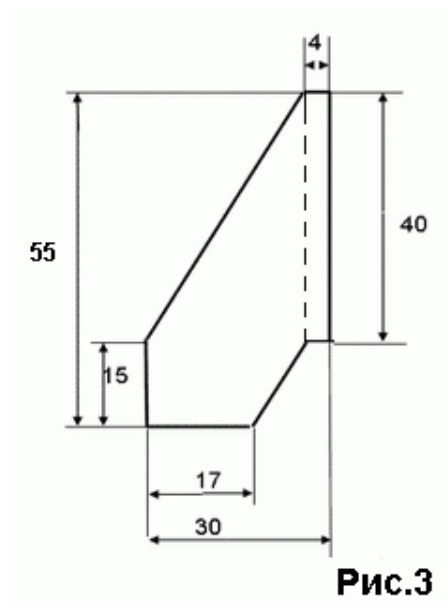


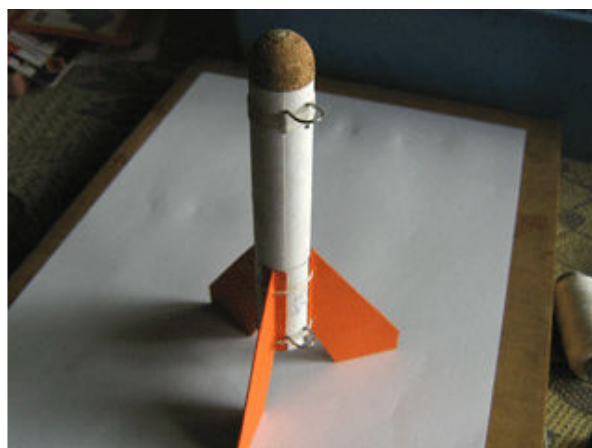
Рис.2



**Рис.4**



**Рис.5**



**Рис.6**