

Научно-исследовательская работа

Астрономия

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНО-ФОТОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Выполнил:*

***Силантьев Станислав Антонович,***

*учащийся 8 класса*

*МБОУ «Физико-математический лицей №31 г. Челябинска»,*

*Россия, г. Челябинск*

*Руководитель:*

***Папулова Наталика Владимировна,***

*педагог дополнительного образования,*

*МАУДО «Дворец пионеров и школьников им. Н.К. Крупской г. Челябинска»,*

*Россия, г. Челябинск*

## Оглавление

Введение .....	2
1 Теоретическая часть .....	3
1.1 Солнечный свет .....	3
1.2 История создания солнечного паруса .....	3
1.3 Как работает солнечный парус .....	5
1.4 Из чего сделан солнечный парус .....	6
1.5 Как выглядит парус .....	7
1.6 Применение .....	9
2 Эксперименты и наблюдения .....	12
«Опыт Крукса» .....	12
Заключение .....	14
Список литературы .....	15

## Введение

Люди всегда любили путешествовать. Много веков люди предпочитали путешествовать по свету морем. Но на смену романтики морских путешествий пришла романтика путешествий космических. Учёные мечтают когда-нибудь отправиться в путешествие к другим звёздным системам.

Каждый человек в современном мире хотя бы раз слышал о космических кораблях. Они бывают самыми разнообразными. Но все они используются для передвижения по бескрайним просторам космоса.

Любому космическому кораблю для передвижения в космосе нужно ракетное топливо. И много. Но корабль не может взять с собой с Земли бесконечно много топлива. А значит, мы должны использовать какие-нибудь другие источники энергии. Я подумал, что для путешествий по Солнечной системе можно использовать свет ближайшей к нам звезды Солнце.

Парусам, неизменному атрибуту и символу первооткрывателей на Земле, найдётся место и в космосе. Солнечный парус совсем не требует ракетного топлива, и может действовать в течение долгого времени, поэтому в некоторых случаях его использование возможно. [7, 10,13]

Тема моей работы: «Использование солнечно-фотонных двигателей»

Цель исследования: узнать принцип действия солнечного паруса, создать макет на основе полученных результатов.

Предмет исследования: солнечный парус.

Объект исследования: солнечный свет.

Задачи исследования:

1. Узнать принцип действия и типы конструкции солнечного паруса;
2. Провести эксперименты;
3. Проанализировать и оформить результаты исследования;
4. Применив полученные знания создать макет солнечного паруса.

Методы исследования:

1. Анализ источников информации;
2. Эксперименты.

## **1 Теоретическая часть**

### **1.1 Солнечный свет**

Звёзды – это огромные раскаленные газовые шары. Внутри звёзд идут ядерные реакции. При этом выделяется огромное количество света. Поэтому мы и видим звёзды, даже очень далекие, как маленькие светящиеся точки.

Ближайшая к нам звезда Солнце на земном небе выглядит ярким жёлтым диском. Именно благодаря Солнцу существует жизнь на нашей планете. А также именно благодаря солнечному свету возможны межпланетные путешествия. [2, 3, 12]

Основные составляющие солнечного света – это поток фотонов, который летит с поверхности Солнца, обдувая всю Солнечную систему [4]. Фотон – это самая распространенная по численности частичка во Вселенной, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света.

### **1.2 История создания солнечного паруса**

Что же такое космический корабль? Космическим кораблём называют пилотируемый космический аппарат, предназначенный для полётов с доставкой одного или нескольких человек в космическое пространство, выполнения требуемых задач, и безопасного возвращения экипажа на Землю [17]. В своей работе «Космический корабль» 1924 года Константин Эдуардович Циолковский, говоря об аппарате, предназначенном для полёта человека в космос, называл его по-другому – небесный корабль.

Первым пилотируемым космическим кораблём стал советский корабль Восток-1, на котором Юрий Гагарин совершил первый космический полёт. [11, 14]

С момента запуска первого в мировой истории космического корабля космические технологии усовершенствовались. Например, появилась возможность маневрировать, а значит управлять кораблём, при помощи специального устройства – солнечного паруса (Рис.1).

Солнечный парус – это приспособление, использующее давление солнечного света для перемещения космического аппарата. [8, 9, 16]



*Рис.1. Солнечный парус*

Первым идею о существовании давления света выдвинул выдающийся немецкий астроном Иоганн Кеплер. Наблюдая кометы, он обратил внимание, что их хвосты всегда направлены в сторону, противоположную от Солнца (Рис.2). Если поместить в космосе зеркальную металлическую пластинку, то поток света от Солнца будет «давить» на её поверхность. Давление солнечного света очень мало, но не для космического пространства. Ведь в космосе нет силы сопротивления воздуха, какая есть на Земле.



*Рис.2. Хвост кометы*

Начиная с середины 18-го века учёные всего мира (Л. Эйлер, О.Ж. Френель, Ф.В. Бессель и др.) пытались измерить силу давления света. Впервые осуществить такие измерения удалось П. Лебедеву в 1899 году. Всем сразу стало ясно, что солнечный свет «давит» на космические тела. Вскоре советскому учёному Ф. Цандеру пришла в голову идея солнечного паруса.

По замыслу Цандера солнечный парус имел площадь в 1 квадратный километр при толщине экрана 0,01 миллиметра и массу 300 килограммов. Его конструкция представляла собой центральную ось и набор элементов каркаса, поддерживающих форму полотнища-экрана. [7, 9, 13]

Учёный также попытался разработать основы теории движения космических аппаратов под солнечным парусом. Он считал, что нужно

направлять на солнечный парус космического аппарата поток света, собранный вторым парусом, расположенным на некоторой промежуточной межпланетной станции. Эта его идея перекликается с современными предложениями об использовании для разгона космического аппарата лазерного луча, обеспечивающего существенно большее давление на поверхность, чем солнечные лучи.

### **1.3 Как работает солнечный парус**

Итак, как же работает солнечный парус?

Идея проста. Космический корабль разворачивает большое полотно – парус – отражающий, либо поглощающий фотоны света. [15, 16]

Если на орбите Земли поместить квадрат из фольги размерами всего лишь 100 на 100 метров, то каждые 10 секунд такой «парус» будет увеличивать свою скорость на сантиметр в секунду! Всего за 40 дней такой парус разгонится от первой до второй космической скорости, за полгода – до третьей космической скорости. А третьей космической скорости достаточно для того, чтобы навсегда покинуть Солнечную систему. Но главное, что это произойдёт без расхода топлива!

Например, в разгонном блоке марсохода «Curiosity» вес топлива составлял 21 тонну, что строго ограничивало массу самого марсохода – не более 900 килограмм. Вес научного оборудования на марсоходе только 80 килограмм. А больше взять было нельзя, так как не хватило бы топлива долететь до Марса. Использование солнечного паруса вместе с обычными двигателями позволит взять чуть меньше топлива, а значит – увеличить вес приборов. Каждый сэкономленный килограмм в космосе – это ещё один научный прибор, ещё одна крупица бесценной информации об окружающем нас мире. Подобных примеров множество. [14, 15]

Главным неудобством солнечного паруса является то, что он может двигать корабль лишь в сторону от Солнца, а не к нему. Иногда высказывается мнение, что полет в направлении Солнца возможен, если идти галсами (зигзагообразным движением морского парусника против ветра). Изменяя угол

наклона солнечного паруса относительно падающего на него света, можно легко управлять космическим кораблем, меняя его траекторию. В таком случае, можно сказать, что судно летит словно под «солнечным бризом» или «ложится в дрейф» как океанское парусное судно в условиях сильного ветра. (Рис.3).

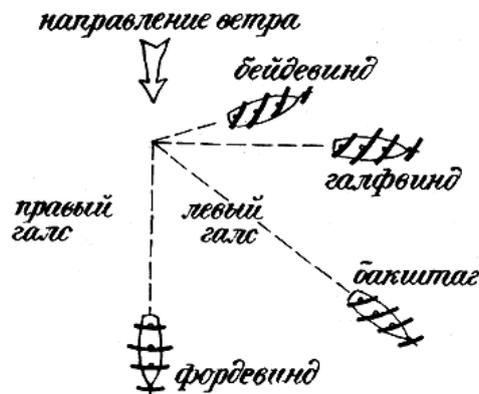


Рис.3. Схемы расположения парусов корабля относительно направления ветра

Ещё одним из главных недостатков солнечного паруса во внешней Солнечной системе и за её пределами является закон уменьшения количества солнечного излучения в зависимости от расстояния до Солнца. Как только расстояние от солнечного парусного судна до Солнца увеличивается в 2 раза, уровень солнечной радиации и светового давления уменьшается в 4 раза.

Этот эффект может быть компенсирован во внешней Солнечной системе и за её пределами заменой солнечного света на направленный свет. Исследования показали, что солнечные и инфракрасные лазеры, а также микроволновые лазеры, расположенные во внутренней Солнечной системе, могут проецировать лучи на парус даже находящийся очень далеко от Солнца. Такие паруса можно назвать не солнечными, а световыми.

#### 1.4 Из чего сделан солнечный парус

Существует несколько способов изготовления солнечного паруса. Для запускаемых с Земли солнечно-парусных судов, рассчитанных на малые расстояния одним из вариантов является использование «сэндвича» из трёх материалов. Сначала металлический передний слой, за ним – мягкий жаропрочный пластик, а затем – материал с высокой излучательной способностью, такой как хром. Передний слой должен обеспечить как можно большую отражательную способность паруса, до 90% падающего света. Задача

внутреннего слоя – повысить эластичность паруса во время раскрытия. Поглощённая парусом солнечная энергия будет излучаться задним слоем.

На сегодняшний день некоторые изготовленные по такой технологии солнечные паруса имеют поверхностную плотность менее 10 грамм на квадратный метр и могут работать только в пределах расстояний от Солнца, не превышающих 0,1 астрономической единицы. Толщина солнечного паруса обычно составляет примерно несколько микрон. Прочность солнечного паруса может быть увеличена за счёт включения в парус металлических ребер. Такая конструкция может уменьшить повреждения от столкновений с микрометеорами.

Кроме малой массы и высокой отражательной способности солнечный парус должен быть также изготовлен из жаропрочного материала, так как вся солнечная энергия, поглощенная парусом должна быть излучена им в виде инфракрасного электромагнитного излучения. Для большинства материалов максимально возможная температура излучения меньше температуры плавления на несколько сотен градусов шкалы Кельвина.

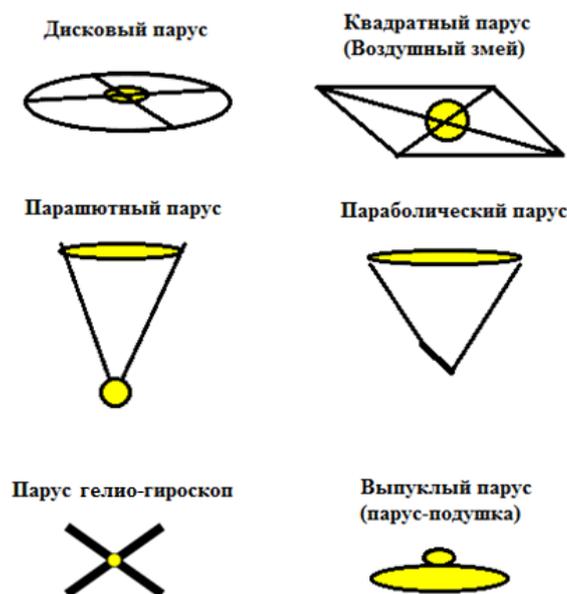
В настоящее время наиболее перспективными являются полимерные плёнки – милар и каптон (толщиной 5 микрон), с тончайшим слоем алюминия всего в 100 нанометров с одной стороны.

### **1.5 Как выглядит парус**

Форма парусов (Рис.4) имеет едва ли не большее значение, чем материал, из которого они сделаны.

Самый простой и надёжный (но более тяжёлый, а значит – не слишком быстрый) солнечный парус имеет каркасную конструкцию. Очевидное преимущество такой конструкции заключается в надёжном креплении парусов, они не смогут свернуться и ими легко управлять (поворачивать под разными углами к свету). Это может быть дисковый парус, состоящий из круглого полотна, поддерживаемого и укрепленного рядом перекладин. Квадратный или прямоугольный паруса. Больше всего они напоминают воздушного змея. Парашютный парус, формой напоминающий купол парашюта. Или

параболический парус (солнечно-фотонный двигатель). Он состоит из нескольких парусов, основной парус-коллектор которого направлен перпендикулярно солнечным лучам и фокусирует солнечный свет на двигатель меньшего размера, благодаря которому обеспечивается манёвренность корабля.



*Рис.4. Конструкции солнечного паруса*

Существуют проекты парусов, не имеющих каркаса – так называемая «вращающаяся конструкция». Эти модели выполнены в виде лент, закреплённых на космическом аппарате. Паруса этого типа раскрываются при вращении корабля вокруг своей оси. На концах лент закрепляется небольшой груз, центробежные силы вытягивают их в разные стороны, позволяя обойтись без тяжелого каркаса. В некоторых вариантах полотно паруса развёртывается вдоль переключин из контейнеров, расположенных в центре и занимает пространство в пределах солнечных лопастей.

Теоретически, такая конструкция обеспечивает более высокую скорость передвижения в космосе, чем каркасная, за счёт своего малого веса.

Наконец, выпуклые паруса или паруса-подушки – надувные устройства, у которых направленная к Солнцу поверхность покрыта слоем отражающего материала. Несмотря на то, что такая конструкция легче развёртывается, она более массивна, чем другие. [7, 9, 18]

## 1.6 Применение

На сегодняшний день было проведено всего лишь несколько успешных испытаний солнечного паруса.

Первый в истории человечества опыт создания солнечного паруса осуществлен 1993-м году в России (Рис.5). Тогда солнечный парус (20 метров в диаметре) прикрепили к космическому грузовику «Прогресс», отстыковавшемуся от станции «Мир». В эксперименте исследовалась способность освещения темной стороны Земли с помощью зеркала паруса.

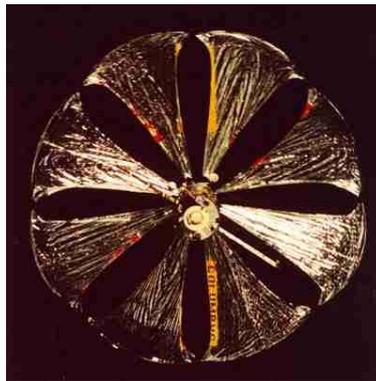


Рис.5. Эксперимент «Знамя-2», 1993 г.

Затем в 2010-м году американский аппарат NanoSail-D успешно раскрыл солнечный парус, находясь на околоземной орбите. Задача солнечного паруса была в том, чтобы столкнуть с орбиты спутник и утилизировать его в плотных слоях атмосферы. Таким образом, проверялась возможность самоликвидации отработавших свой ресурс спутников, чтобы они не болтались бесполезным космическим мусором вокруг Земли.

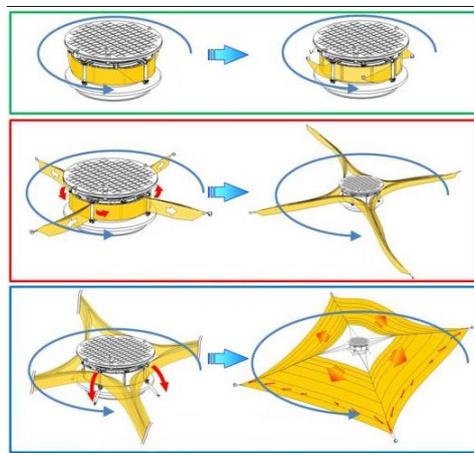


Рис.6. Схема раскрытия паруса японского «Ikaros»

Третьим космическим аппаратом «под парусами» стал запущенный в 2010-м году японский «Икар» (Icaros) (Рис.6). Учёные надеялись, что аппарат хотя бы сможет раскрыть парус (в который были вшиты солнечные рули и солнечные батареи) без проблем. Зонд не только успешно расправил в космосе крылья 200 квадратных метров сверхтонкого космического паруса, но и отлично справился с регулировкой своей скорости и направления полёта. В январе 2012-го года «Икар» отключился из-за недостатка энергии, проработав дольше любых ожиданий учёных.

На сегодняшний день в России существует консорциум «Космическая регата», который провёл несколько опытов с солнечными отражателями с целью освещения районов нефте- и газодобычи. Также существуют проекты выплавления зеркал на орбите из астероидов. Солнечный парус российского производства был создан совместно НПО «Энергия» и ДКБА.

20 мая 2015 года с космодрома на мысе Канаверал первый в истории частный спутник на солнечном парусе «LightSail-1» был отправлен в тестовый полёт. Он развернул свой солнечный парус 7 июня 2015 и успешно завершил пробный полёт 14 июня [1]. 25 июня 2019 года запущен LightSail-2, разработанный Планетарным обществом, американской некоммерческой организацией, занимающейся проектами в областях астрономии, планетарных наук, исследовании космоса и популяризации науки [5].

Парус, разгоняемый лазерным двигателем, используется в современном научно-исследовательском и инженерном проекте автоматических межзвёздных зондов Breakthrough Starshot. Предполагается, что данный тип зондов будет способен совершить путешествие к звёздной системе Альфы Центавра со скоростью до 20% скорости света, что займет порядка 20 лет и ещё около 5 лет, чтобы уведомить Землю об успешном прибытии. Цель данного полета – исследование экзопланет. В июне 2017 года состоялся успешный вывод на низкую околоземную орбиту первых рабочих прототипов нанозондов – чипов размером 3,5х3,5 см и весом около 1 грамма, несущих на себе солнечную панель, микропроцессор, датчик и систему связи [6].

В ближайшее время солнечные паруса рассматриваются для использования в аппаратах для наблюдения за Солнцем. Помещенный между Солнцем и Землей на расстоянии нескольких световых лет, такой аппарат сможет заранее предупреждать нас о солнечных вспышках, приближающихся к Земле.

Аппараты с солнечно-фотонным двигателем могут позволить создание космических аппаратов на орбите с радиусом равным лунной, над полюсами Земли. «Полярные сиделки» могут использоваться для спутниковой связи, исследования климата Земли.

По мере развития космических технологий, запускаемые с Земли или создаваемые в космосе, солнечные парусные космические аппараты смогут помочь нам в освоении космоса и защите планеты от космических столкновений. С помощью таких аппаратов могут быть исследованы и уничтожены околоземные астероиды и кометы. Если лучшие наземные и орбитальные телескопы могут предсказать столкновение с Землей околоземных объектов на несколько десятилетий, то солнечные паруса могут быть развернуты вблизи опасных астероидов и ядер комет. Давление солнечного света на паруса пристыкованные к опасным объектам может изменить их угрожающие траектории на безопасные.

Возможно, самой волнующей миссией с использованием солнечного паруса в ближайшее время сможет стать отправка космического аппарата, который раскроет парус вблизи орбиты Венеры или даже Меркурия, а затем отправится за пределы Солнечной системы и за несколько десятилетий достигнет гелиопаузы. Этот аппарат сможет на месте наблюдать взаимодействие Солнца с галактикой.

Если в будущем будут созданы солнечные паруса, способные выдержать очень близкое сближение с Солнцем, то появится возможность достижения скорости покидания Солнечной системы выше 300 км/с. А солнечные паруса, создаваемые в космосе, смогут позволить полеты к ближним звёздам со скоростью при покидании Солнечной системы выше 1000 км/с.

## 2 Эксперименты и наблюдения

Тщательное и полное исследование давления света на твердые тела было впервые проведено Петром Николаевичем Лебедевым в 1899 году. В его опытах использовался стеклянный сосуд, из которого откачивался воздух. Внутри сосуда на тонкой серебряной нити были подвешены коромысла крутильных весов с закреплёнными на них тонкими дисками-крылышками из слюды (они-то и подвергались облучению). Именно Лебедев экспериментально подтвердил справедливость теории о давлении света (Рис.7).

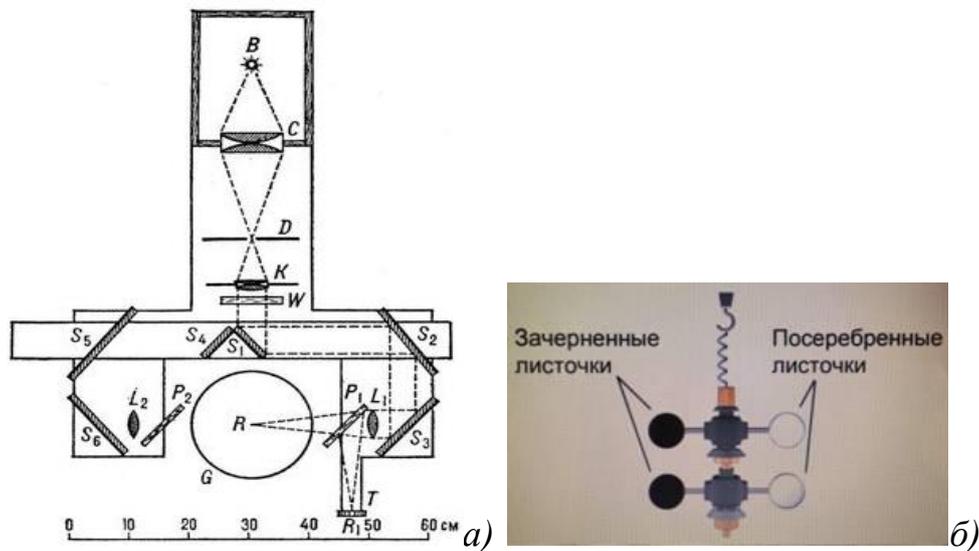


Рис.7. Опыт П. Лебедева:

а) опытная установка; б) диски-крылышки из слюды

Лебедев впервые обнаружил давление света экспериментально и смог его измерить. Опыт был невероятно сложным, но существует научная игрушка – радиометр Крукса. Я попробовал сделать его в домашних условиях.

### «Опыт Крукса»

*Материалы:*

Банка, иголка и нитка, фольга, пластилин, настольная лампа или фонарик.

*Последовательность действий:*

1. Из фольги вырезать небольшие квадратики. С одной стороны квадратики необходимо затемнить. Например, закрасить черным маркером.
2. Квадратики прикрепить к нитке (рисунок).
3. Нитку плотно прикрепить к дну

4. Проткнуть при помощи родителей в крышке отверстие и продеть в него нитку.
5. Закрыть банку.
6. После чего закрепить нитку на крышке банки при помощи пластилина.
7. Посветить на крылышки из фольги при помощи лампы (Рис.8).



*Рис.8. Опытная установка в действии*

8. Если все сделано верно, крылышки должны начать вращаться.

*Результаты опыта:*

Маленький пропеллер, состоящий из четырех лепестков, расположен на игле, которая накрыта стеклянным колпаком. Если осветить этот пропеллер светом, то он начинает вращаться. Если посмотреть на этот пропеллер в открытом воздухе, когда на него дует ветер, его вращение никого бы не удивило, но в данном случае стеклянный колпак не позволяет потокам воздуха действовать на пропеллер. Поэтому причиной его движения является свет.

*Выводы:*

Из этого опыта можно сделать вывод, что свет действительно оказывает давление на предметы. Оно конечно очень мало на Земле. Но в космосе, при отсутствии атмосферы, а значит и, например, силы трения, и этой малости хватит для разгона корабля.

## Заключение

В настоящее время, солнечный парус – одно из самых перспективных устройств для передвижения в космосе, имеющее целый ряд преимуществ перед химическими ракетными двигателями.

Солнечный парус – это уникальная технология космических двигателей, поскольку она не требует топлива и может бесконечно ускорять космический аппарат под воздействием солнечного света или другого источника электромагнитного излучения. Солнечный парус, изготовленный из материалов устойчивых к космическим условиям, прослужит долгое время. Благодаря солнечным парусам станут реальностью многие космические миссии трудновыполнимые или вообще невозможные при использовании существующих типов двигателей.

Это могут быть либо миссии во внутренней Солнечной системе, либо миссии, в которых космический аппарат будет ускоряться не только солнечным светом, но и искусственными источниками излучения во внутренней Солнечной системе. Солнечное парусное судно может развивать скорость до 100 км/с или даже выше после раскрытия паруса во время близкого сближения с Солнцем.

Сделать реально работающий, успешно выполняющий конкретные задачи космический аппарат, использующий солнечный парус, – значит решить множество технических проблем, продумать и воплотить в жизнь новые инженерные решения и идеи. Задача это непростая, как и любая работа, связанная с созданием космических кораблей. Но успешные испытания космических парусников говорят о том, что если хорошенько за это взяться, то всё получится.

Как знать, быть может именно вы или я, стоя в центре управления полётами, однажды скамандуете: «Поднять паруса!» – и космический корабль полетит на встречу неизведанному.

## Список литературы

1. LightSail Solar Sail Ends Test Flight with Fall Back to Earth. June 18, 2015.  
[Электронный ресурс]: <http://www.space.com>
2. Астрономия и космос / Науч.-поп. издание для детей [Текст]. М.: ЗАО «РОСМЭН-ПРЕСС», 2013. 96 с. (Детская энциклопедия РОСМЭН);
3. Атлас звездного неба. Все созвездия северного и южного полушарий с подробными картами [текст] Минск: Харвест, 2007. 256 с.;
4. Большая книга знаний. Вселенная [Текст] / Коллектив авторов. М.: ООО «ТД «Издательство Мир книги», «Русское энциклопедическое товарищество», 2006. 128 с.
5. «Все о космосе». Журнал. Статья «LightSail 2 по-прежнему работает на солнечной энергии». 16.01.2020. [Электронный ресурс]: <http://aboutspacejournal.net>
6. «Все о космосе». Журнал. Статья «Межзвездные путешествия будут возможны раньше, чем вы думаете». 22.06.2017. [Электронный ресурс]: <http://aboutspacejournal.net>
7. «Вселенная», Научно-популярный сериал, 1 сезон – телекомпания «History Channel»;
8. Иллюстрированный атлас. Вселенная [текст] М.: ООО «ИГ Азбука-Аттикус», 2012;
9. «Как устроена вселенная», Научно-популярный сериал – телеканал «Discovery Science»;
10. Карташов В.Ф. Чудеса над головой: Учеб. пособие для доп. образования [Текст]. Челябинск: Взгляд, 2006. 591 с.;
11. Космонавтика: Энциклопедия. Гл. ред. В.П. Глушко [Текст]. М.: Советская энциклопедия, 1985
12. Цветков В.И. Космос. Полная энциклопедия [Текст]. М.: Эксмо, 2008
13. Левитан Е.П., Сказочная вселенная. [текст] М.: Издательский Дом Мещерякова, Эксмо, 2011. ил.;

14. Свободная энциклопедия Википедия. Статья «Космический полет»  
[Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org/wiki>;
15. Свободная энциклопедия Википедия. Статья «Солнечный парус»  
[Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org/wiki>;
16. «Солнечная система». Науч.-попул. журн. [текст] М.: Eaglemoss collections, Ежегод., 2012-2014;
17. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах [Текст]. С-Пб., 1890-1907.
18. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. [текст] М.: Мир энциклопедий Аванта+, Астрель, 2011