

Научное общество учащихся «Эврика»

Муниципальное бюджетное образовательное учреждение

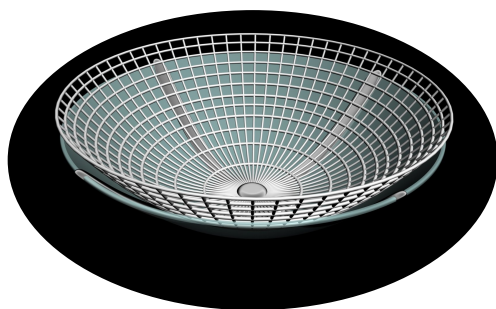
«Лицей №87 имени Л.И. Новиковой»

Исследовательская работа

Опасные космические странники.

Сетка - гиперболоид для сбора космического мусора.

Применение новых материалов



Выполнил:

ученик 8 класса «Б»

МБОУ «Лицей №87 им. Л.И. Новиковой»

Мкртчян Роберт

Руководитель:

Прохорова Лариса Михайловна,

учитель физики

Нижний Новгород

2024 г.

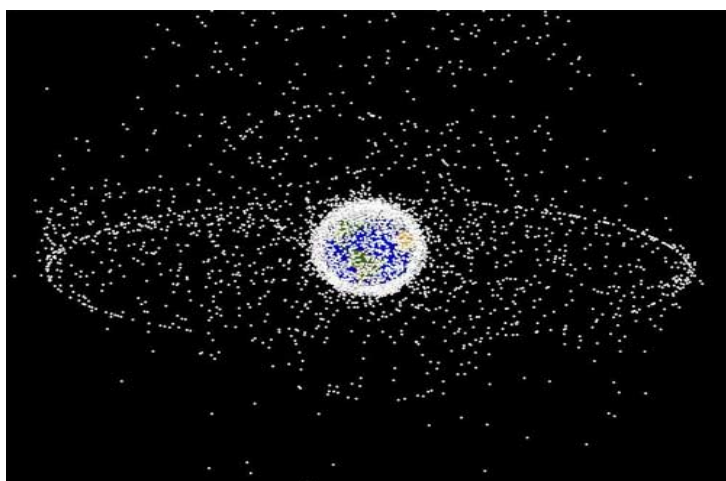
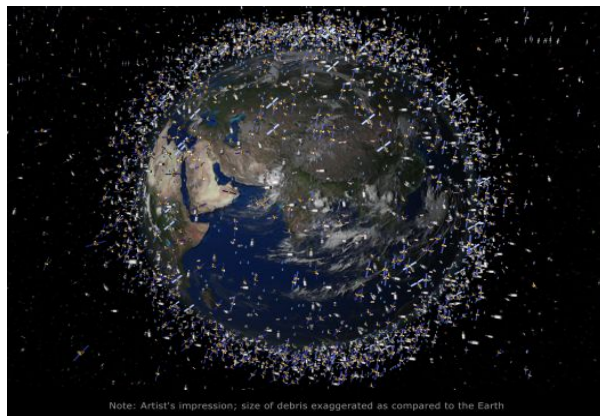
## Оглавление

- I. Введение. Актуальность работы.
- II. Цели и задачи работы. Объект исследования. Предмет исследования. Методы исследования. Постановка проблемы (противоречие)
- III. Обзор некоторых проектов по очистке ОКП от фрагментов КМ.
- IV. Концептуальный проект оригинальной конструкции для сбора КМ в виде сетки- гиперboloида с применением наноматериалов.
  1. Идея проекта
  2. Конструкция сетки – уловителя КМ
  3. Принцип работы
  4. Применяемые материалы:
    - Упрочнённый графен
    - Аэрогель
- V. Выводы. Заключение. Характер работы.
- VI. Литература.

## I. Введение. Актуальность работы.

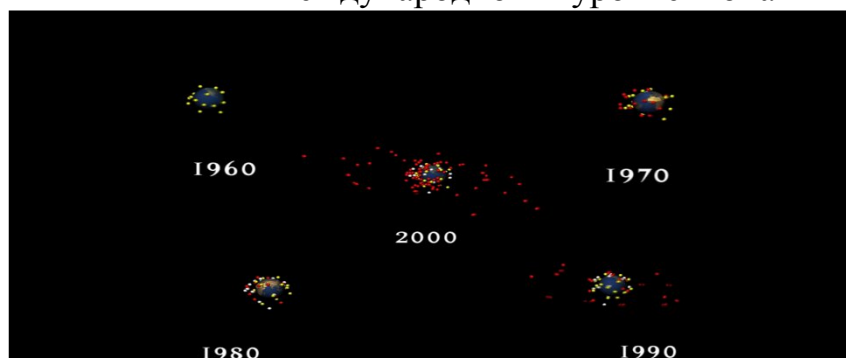
Одной из наиболее серьезных глобальных техногенных проблем является **образование космического мусора**. Мир зависит от спутниковых технологий для навигации, прогноза погоды и связи.

Под космическим мусором подразумеваются все искусственные объекты и их фрагменты в космосе, которые уже неисправны, не функционируют и никогда более не смогут служить никаким полезным целям, но являющиеся опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты, особенно пилотируемые. В некоторых случаях, крупные или содержащие на борту опасные (ядерные, токсичные и т. п.) материалы объекты космического мусора могут представлять прямую опасность и для Земли — при их неконтролируемом сходе с орбиты, неполном сгорании при прохождении плотных слоев атмосферы Земли и выпадении обломков на населенные пункты, промышленные объекты, транспортные коммуникации и т. п.



Проблема засорения околоземного космического пространства «космическим мусором» как чисто теоретическая возникла по существу сразу после запусков первых искусственных спутников Земли в конце пятидесятых годов. Официальный статус на международном уровне она

получила после доклада Генерального секретаря ООН под названием «Воздействие космической деятельности на окружающую среду» 10 декабря 1993 г., где особо



отмечено, что проблема имеет международный, глобальный характер: нет засорения национального околоземного космического пространства, есть засорение космического пространства Земли, одинаково негативно влияющее на все страны, прямо или косвенно участвующие в его освоении.

Необходимость мер по уменьшению интенсивности техногенного засорения космоса становится понятной при рассмотрении возможных сценариев освоения космоса в будущем. Так существуют оценки, так называемый «каскадный эффект», который в среднесрочной перспективе может возникнуть от взаимного столкновения объектов и частиц «космического мусора», при экстраполяции существующих условий засорения низких околоземных орбит (НОО), даже с учетом мер по снижению в будущем числа орбитальных взрывов (42 % всего космического мусора) и других мероприятий по уменьшению техногенного засорения, может в долгосрочной перспективе привести к катастрофическому росту количества объектов орбитального мусора на НОО и, как следствие, к практической невозможности дальнейшего освоения космоса. Предполагается, что "после 2055 года процесс саморазмножения остатков космической деятельности человечества станет серьезной проблемой"

По данным, опубликованным Управлением ООН по вопросам космического пространства, в октябре 2009 года "Вокруг Земли вращается около 300 тысяч обломков мусора"

Характеристики космического мусора. В настоящее время по разным оценкам в районе низких околоземных орбит (НОО) вплоть до высот около 2000 км находится до 5000 тонн техногенных объектов. На основе статистических оценок делаются выводы, что общее число объектов подобного рода (поперечником более 1 см) достаточно неопределенно и может достигать 60 000 – 100 000. Из них



только порядка 10 % (около 8600 объектов) обнаруживаются, отслеживаются и каталогизируются наземными радиолокационными и оптическими средствами и только около 6 % отслеживаемых объектов — действующие. Около 22 % объектов прекратили

функционирование, 17 % представляют собой отработанные

верхние ступени и разгонные блоки ракет-носителей, и около 55 % — отходы, технологические элементы, сопутствующие запускам, и обломки взрывов и фрагментации.

Большинство этих объектов находится на орбитах с высоким наклоном, плоскости которых пересекаются, поэтому средняя относительная скорость их взаимного пролета составляет около 10 км/с. Вследствие огромного запаса кинетической энергии столкновение любого из этих объектов с действующим космическим летательным аппаратом может повредить его или даже вывести из строя. Эффективных мер защиты от объектов космического мусора размером более 1 см в поперечнике практически нет.



Наиболее засорены те области орбит вокруг Земли, которые чаще всего используются для работы космических

аппаратов. Это НОО, геостационарная орбита (ГСО) и солнечно-синхронные орбиты (ССО). Вклад в создание космического мусора по странам: Китай — 40 %; США — 27,5 %; Россия — 25,5 %; остальные страны — 7 %.

Методы уборки и уничтожения КМ  
Эффективных практических мер по уничтожению космического мусора на орбитах более 600 км (где не сказывается очищающий эффект от торможения об атмосферу) на настоящем уровне технического развития Человечества не существует. Вместе с тем актуальность задачи обеспечения безопасности космических полетов в условиях техногенного загрязнения околоземного космического пространства (ОКП) и снижения опасности для объектов на Земле при неконтролируемом вхождении космических объектов в плотные слои атмосферы и их падении на Землю стремительно растет. Поэтому в обеспечение решения этой проблемы международное сотрудничество по проблематике «космического мусора» развивается по следующим приоритетными направлениям:

---

- Экологический мониторинг ОКП, включая область геостационарной орбиты (ГСО): наблюдение за «космическим мусором» и ведение каталога объектов «космического мусора».
- Математическое моделирование «космического мусора» и создание международных информационных систем для прогноза засоренности ОКП и ее опасности для космических полетов, а также информационного сопровождения событий опасного сближения КО и их неконтролируемого входа в плотные слои атмосферы.
- Разработка способов и средств защиты космических аппаратов от воздействия высокоскоростных частиц «космического мусора».
- Разработка и внедрение мероприятий, направленных на снижение засоренности ОКП.

Поскольку экономически приемлемых методов очистки космического пространства от мусора пока не существует, основное внимание в ближайшем будущем будет уделено мерам контроля, исключающим образование мусора, таким как предотвращение орбитальных взрывов, сопутствующих полету технологических элементов, увод отработавших ресурс космических аппаратов на орбиты захоронения, торможение об атмосферу и т. п.

Таким образом, *очистка космоса является делом государственной важности* Единственный способ уклониться от космического мусора - маневрирование или защитный экран, но этих способов недостаточно. Способы очистки низких околоземных орбит является актуальной задачей, которая решается в ходе реализации проекта.

## ***Вывод:***

Проблему КМ надо срочно решать. Это является проблемой государственной важности

**II. Цели и задачи работы. Объект исследования. Предмет исследования. Методы исследования.**

### **Цель работы:**

Разработать концептуальный проект оригинальной конструкции для сбора КМ в виде сетки- гиперболоида с применением наноматериалов

### **Задачи работы:**

- Провести обзор , анализ существующих проектов по очистке ОКП от КМ



- Разработать проект конструкции для сбора КМ в виде сетки-гиперболоида вращения;
- Подобрать материалы конструкции;
- Изучить свойства графена и аэрогеля и обосновать их применение

**Объект исследования:** Околосемное космическое пространство.

**Предмет исследования:** Космический аппарат для очистки ОКП от КМ

**Методы исследования:** Теоретические: изучение литературы, систематизация информации по определённым темам, классификация, проведение анализа состояния проблемы;

**Характер работы:** проектно - исследовательская

### III. Обзор некоторых проектов по очистке ОКП от фрагментов КМ.

В условиях, когда под угрозой оказались космические корабли и спутники разных стран, проблема утилизации космического мусора стала актуальной, как никогда. Тут-то и выяснилось, что необходимых для этого технологий у человечества нет, но существует множество проектов по сбору космического мусора.

***Вакансия космического мусорщика все еще открыта.***

#### **Надувные шары.**

На орбитах высотой до 600 км на движение искусственных спутников существенное влияние оказывает атмосфера. В обычных условиях, из-за малой площади поперечного сечения объекта это действие незначительно и снижение объекта до плотных слоёв атмосферы может занимать десятки лет. Для увеличения характерной площади космического мусора и более эффективного его торможения

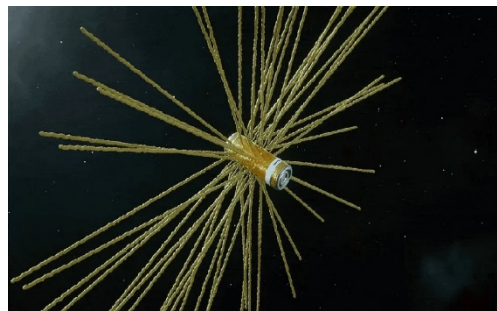


можно использовать надувные баллоны или разворачиваемые мембраны-паруса, закрепляемые на объекте космического мусора. Данный проект называется GOLD System. Большой и тонкий воздушный шар должен оборачивать фрагменты мусора, увеличивая их аэродинамическое сопротивление. Недостаток этого способа можно отнести необходимость разворачивания на объекте космического мусора сложной

конструкции, установленной на нём заранее или, прикрепляемой КА-уборщиком космического мусора.

- **Применение «захватывающих» материалов. Пена.**

Другой более простой и надёжный подход к увеличению характерной площади предполагает использование специальной пены, способной расширяться в тысячу раз. Пена может устанавливаться на КА в малогабаритном контейнере или закрепляться на нём при пролёте КА-уборщика мусора. Пролетая

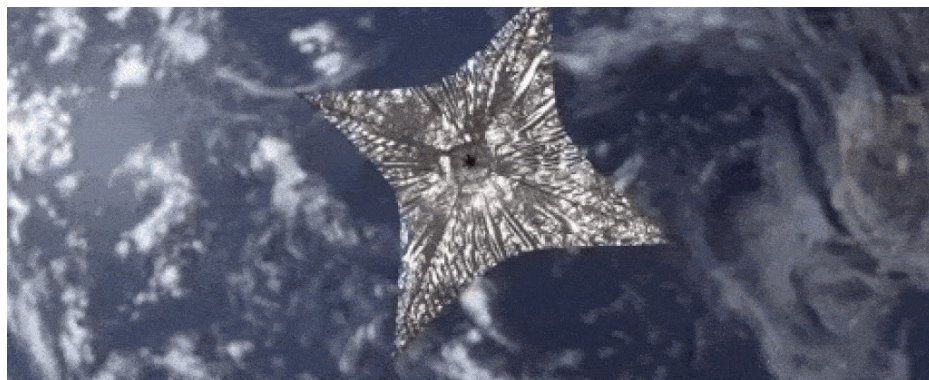


мимо объекта космического мусора, спутник будет стрелять в него «сеть». Главная часть такого аппарата — пеногенератор, способный создавать липкую «сеть» из самозатвердевающей полимерной пены непосредственно на орбите. Пролетая мимо фрагмента космического мусора, он по команде с Земли должен «выстрелить» в него сеть, которая, прилипнув, сократит срок его нахождения на орбите за счет дополнительного аэродинамического торможения в верхних слоях атмосферы Земли» из полимерной пены.

Преимуществом этого способа пассивного увода космического мусора является отсутствие необходимости непосредственного контакта КА-уборщика мусора с самим мусором, что повышает вероятность успешного завершения миссии. Позволяет одному уборщику мусора выполнить облёт нескольких целей, прикрепляя к каждой расширяемую пену и используя для маневрирования и движения от цели к цели экономичные электрореактивные двигатели.

- **Солнечный парус.**

На орбитах высотой более 700 км сила сопротивления атмосферы становится



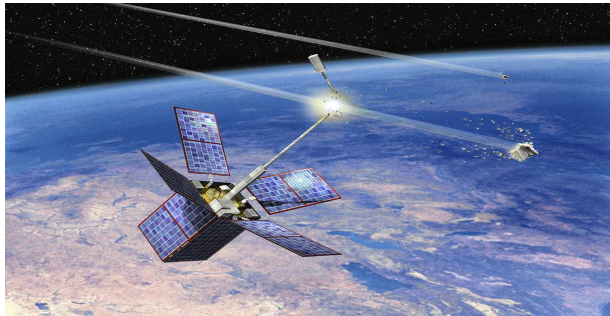
меньше силы давления солнечного света, поэтому на таких орбитах для создания силы торможения можно использовать солнечный

парус. На орбитах высотой более 700 км сила сопротивления атмосферы становится меньше силы давления солнечного света, поэтому на таких орбитах для создания силы торможения можно использовать солнечный парус.



## Лазеры.

Небольшие объекты космического мусора с характерным размером до 0,2 м могут сведены с орбиты с использованием лазеров. Воздействие лазерного излучения на материал космического мусора приводит к явлению абляции –



уносу вещества с поверхности твёрдого тела под воздействием лазерного излучения. В результате этого явления формируется импульс, передаваемый объекту космического мусора, который может быть использован для

снижения его скорости. Источник лазерного излучения может устанавливаться на борту КА или на Земле

Технология очистки космоса лазерными установками с поверхности Земли под названием «Лазерная метла» (Laser broom) (проект «Орион») была предложена еще в 1996 году учеными лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса

(США). «Лазерная метла» предназначена для ускорения схода с орбиты фрагментов КМ размером менее 10 см. Единичный импульс лазерного излучения вызывает абляцию материала металлического фрагмента и замедляет его движение по орбите на некоторую достаточно малую величину – порядка 1,0 мм/с (лазер должен работать в импульсном режиме, с тем что бы избежать самоэкранирования мишени плазмой, образующейся в результате абляции). При частоте следования импульсов излучения порядка 100 в секунду снижение перигея орбиты фрагмента КМ может достигать порядка 200 м за сутки. В результате наземный мегаваттный импульсный НФ-лазер способен очистить ОКП до высот порядка 800 км за два года. Исследователи предложили стрелять по отходам из лазерных пушек, чтобы они разогрелись до такой степени, что превратились бы в газ.



Такие пушки могут располагаться как на Земле и направляться сверхчувствительными радарными, способными обнаруживать предметы диаметром в один сантиметр, так и в космосе.

Развитие современных технологий позволяют по-новому взглянуть на эту идею. Очевидным плюсом проекта «Орион» стала его экономическая целесообразность – за сумму, равную себестоимости отправки одного космического корабля, можно создать систему лазеров, обеспечивающих чистоту околоземных орбит на протяжении пяти лет.

### **Роботы – манипуляторы.**

Захват осуществляется непосредственным механическим взаимодействием при помощи стыковочного устройства, манипулятора, сети, гарпуна.

Общая схема увода космического мусора предполагает этапы дальнего и ближнего наведения, этап захвата космического мусора – формирование механической связи, этап стабилизации связки и следующего за этим увода всей связки с орбиты. Наиболее сложным этапом является этап захвата космического мусора. Космический мусор в общем случае не имеет специальных стыковочных устройств и может вращаться с большой угловой скоростью, поэтому технология захвата такого объекта принципиально отличается от отработанной технологии стыковки двух объектов на орбите.



К первой группе относятся способы, использующие различные механические манипуляторы или специализированные устройства захвата. Роботы-манипуляторы давно используются в космической технике. На МКС используется робот-манипулятор Канадарм 2.

Манипуляторы, благодаря своей универсальности, могут быть использованы для захвата сложных объектов в составе многоцветных системы увода космического мусора. Однако несмотря на то, что манипуляторы давно используются в космической технике, захват неуправляемого объекта является очень сложной задачей особенно если этот объект совершает неуправляемое угловое движение. Захват орбитальной ступени двумя манипуляторами.

Космический корабль, оснащённый рукой-роботом, захватывает мусор клещами и помещает его в специальный отсек. Это устройство позволит

очистить космос от отработанных спутников и ступеней ракет. Заполненный мусором отсек возвращается на Землю для утилизации.

### Японский робот-уборщик

Японские конструкторы разработали технологию по утилизации крупного космического мусора. В ее основе лежит использование робота-уборщика, который прочно захватывает рукой-манипулятором старый спутник или



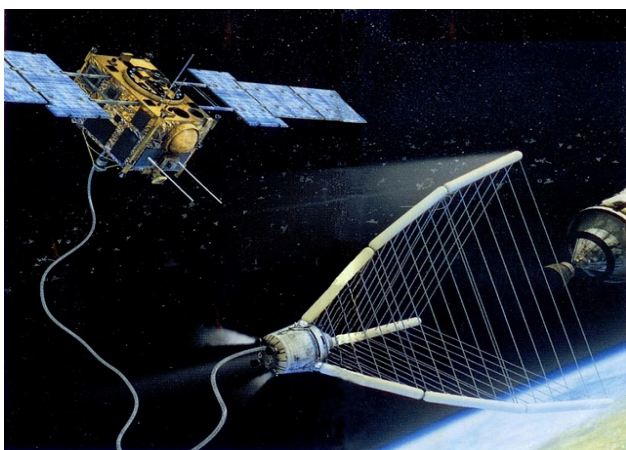
обломок ракеты и, словно камикадзе, бросается вниз, сгорая вместе с ним в атмосфере. Аппарат внешне похож на барабан от револьвера, но имеет восемь граней - со сторонами 50 на 70 сантиметров. При весе около 140 кг он обладает недюжинной силой, поскольку способен тормозить вращение вокруг Земли предназначенного для

уничтожения объекта с помощью мощного электромагнита. В этом ему, в частности, помогает электропроводящий канат, который может разматываться на несколько километров.

### Сети.

К устройствам захвата с гибкой связью относятся: сети гарпуны] и специализированные стыковочные модули на гибкой связи.

Такая схема позволит уменьшить воздействие космического мусора на буксир и выполнять захват



объектов, вращающихся с большой угловой скоростью. Кроме этого, сеть позволяет выполнять захват без снижения относительной скорости между буксиром и целью, что позволит снизить затраты топлива на этапе перехвата.

Американские учёные предложили ловить отходы с помощью сети. В космосе разворачивается нечто

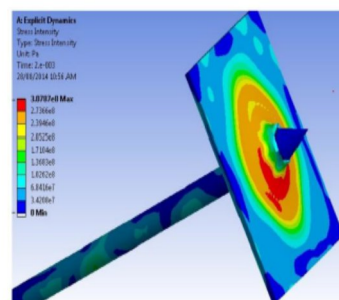


вроде рыболовной сети из полимерных материалов, достаточно прочных, чтобы избежать повреждений при столкновении с космической пылью. Такую сеть прикрепляют к небольшому спутнику, после этого она должна развернуться, поймать мусор и снова свернуться со своей добычей. Наиболее применима для крупных отходов: обломков спутников и ракет.

Собранные отходы возвращаются на космическом корабле на Землю для утилизации.

### **«Гарпун».**

Позволяет без большого риска для космического буксира установить тросовую связь между буксиром и объектом космического мусора. Гарпун должен пробить обшивку захватываемого объекта и надёжно зафиксироваться для того, чтобы буксир смог, используя свои двигатели, увести объект на орбиту захоронения или снизить орбиту до входа в плотные слои атмосферы. Для надёжной фиксации гарпуна необходимо выбрать форму его ударной поверхности и механизм надёжной фиксации. При выборе формы и скорости выстрела гарпуном следует учитывать движение захватываемого объекта, свойства поверхности его обшивки. Кроме этого, целесообразно снизить вероятность возникновения осколков при пробивании обшивки и возможность попадания в ёмкости, находящиеся под давлением.



### **«Космический буксир».**

Леонид Бурылов, инженер Санкт-Петербургского завода «Арсенал», изобрел оригинальную транспортную систему для сбора космического мусора и стал победителем международного молодежного конкурса по коммерческому использованию космоса «Полет в будущее». Система Леонида Бурылова работает на солнечных батареях по принципу космического буксира. На низкую околоземную орбиту «базирования» высотой около 200 километров ракетой-носителем выводится космический аппарат, не предназначенный для размещения и транспортировки в нем каких-либо грузов. Затем с помощью других ракетносителей в заданную точку орбиты доставляется контейнер с грузом. Буксир стыкуется с ним и перемещает его по назначению. Кроме того, аппарат может отлавливать летающий на низких орбитах космический мусор и отправлять их в «топку» плотных слоев атмосферы.

## Орбитальный космический мусоровоз



Есть несколько проектов по переработке космического мусора прямо на орбите. Рациональное зерно в этой идее есть – спутники содержат много редких и драгоценных металлов. Конечно, это далеко не все проекты. В последние годы их появляется очень много.

### **IV. Концептуальный проект оригинальной конструкции для сбора КМ в виде сетки- гиперболоида с применением наноматериалов.**

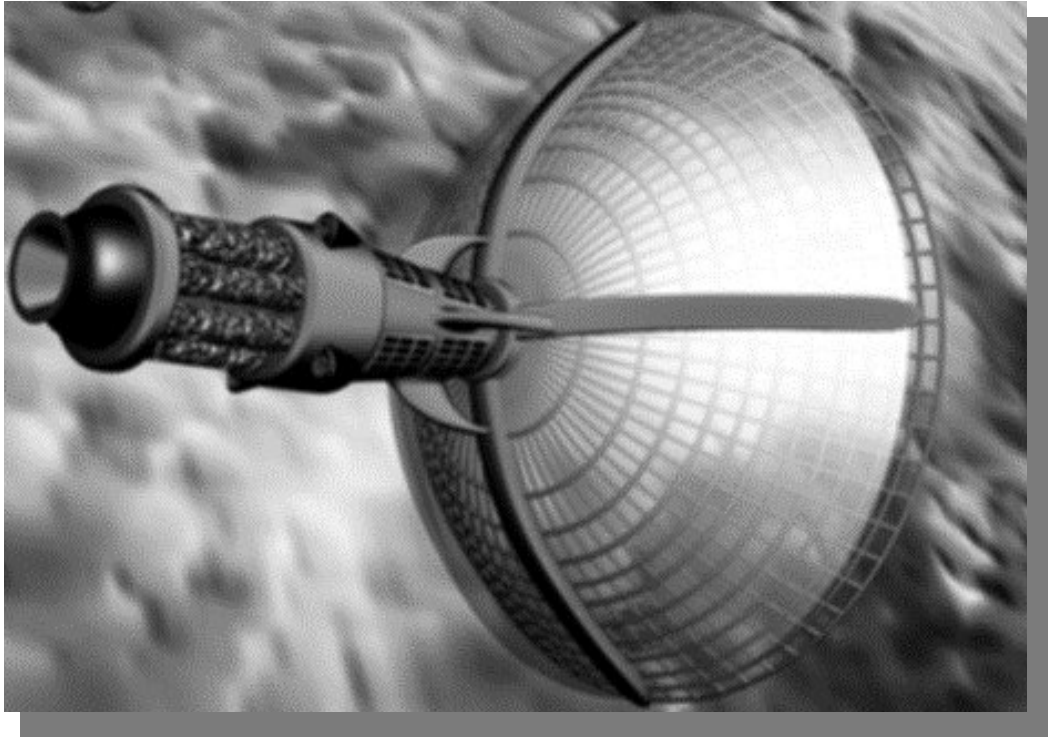
#### ***1. Идея проекта:***

- Космический аппарат для сбора КМ состоит непосредственно из корабля и сетки – уловителя КМ. На орбиту выводится ракетой – носителем. Сетка раскрывается на орбите.
- В центральной части сетки находится агрегат стыковки
- КА выводится на расчётную орбиту, на которой надо собрать КМ. Изменение траектории возможно за счёт работы маневровых двигателей
- Мелкий мусор, попадая в аэрогель, застревает в сетке и накапливается
- ДУ «гасят» импульсы отдачи от более крупного КМ
- По мере заполнения секи, к КА подлетает и пристыковывается буксир, который будет производить стыковку только за счёт собственных

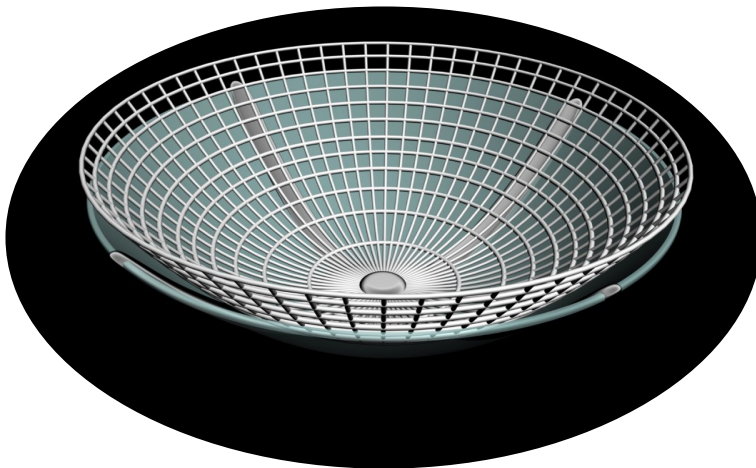


односторонних измерений. Сам будет приближаться и соединяться с КА.

- Буксир предназначен для транспортировки грузов в космосе. На КА достаточно установить несложный передатчик. На ближнем этапе предусмотрены измерения движения лазером и различными камерами.
- На борту буксира дополнительно можно установить манипуляторы, захватные и стыковочные устройства



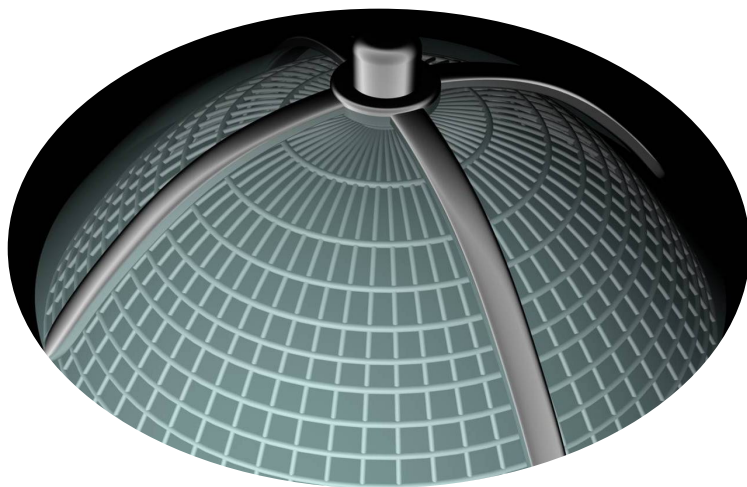
## 2. Конструкция сетки – уловителя КМ



- Сетка – параболоид вращения
- Двухслойная
- Управляемая ИИ
- С изменяющейся конфигурацией центральной части

## Второй слой сетки - уловителя

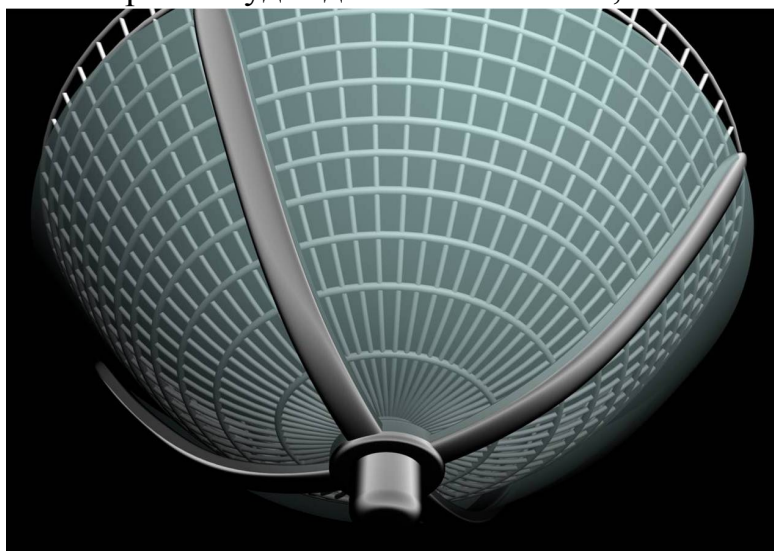
Держится слой из аэрогеля на четырёх прочных балках как это видно на экране. Этот слой делится на четыре блока, благодаря чему легко заменяем.



Космический мусор летает на разных орбитах с разной скоростью. В основном весь мусор летит в одном направлении. Лишь редкие обломки летят в обратном направлении. Это останки обратно-направленных спутников. Зная это, можно запустить корабль с большей скоростью для любой орбиты. Скорость мусора прямо

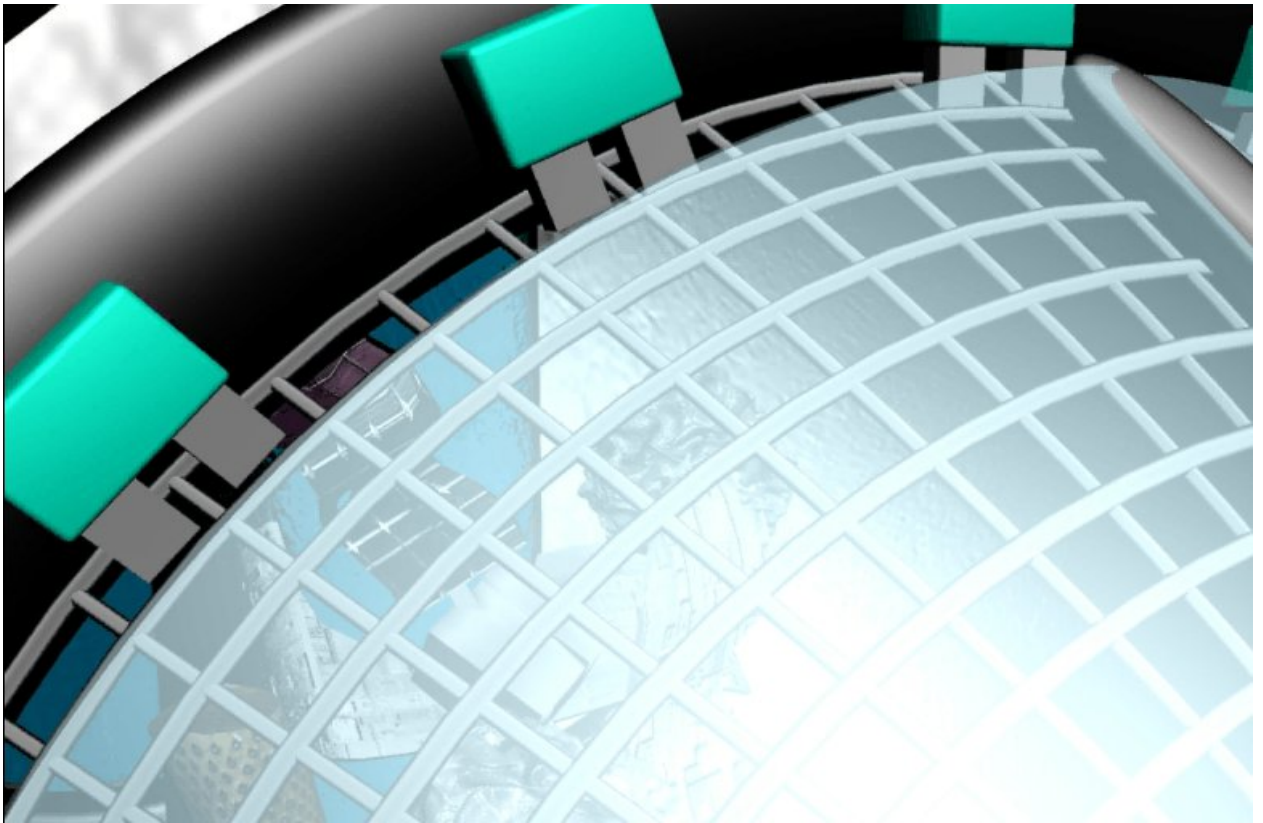
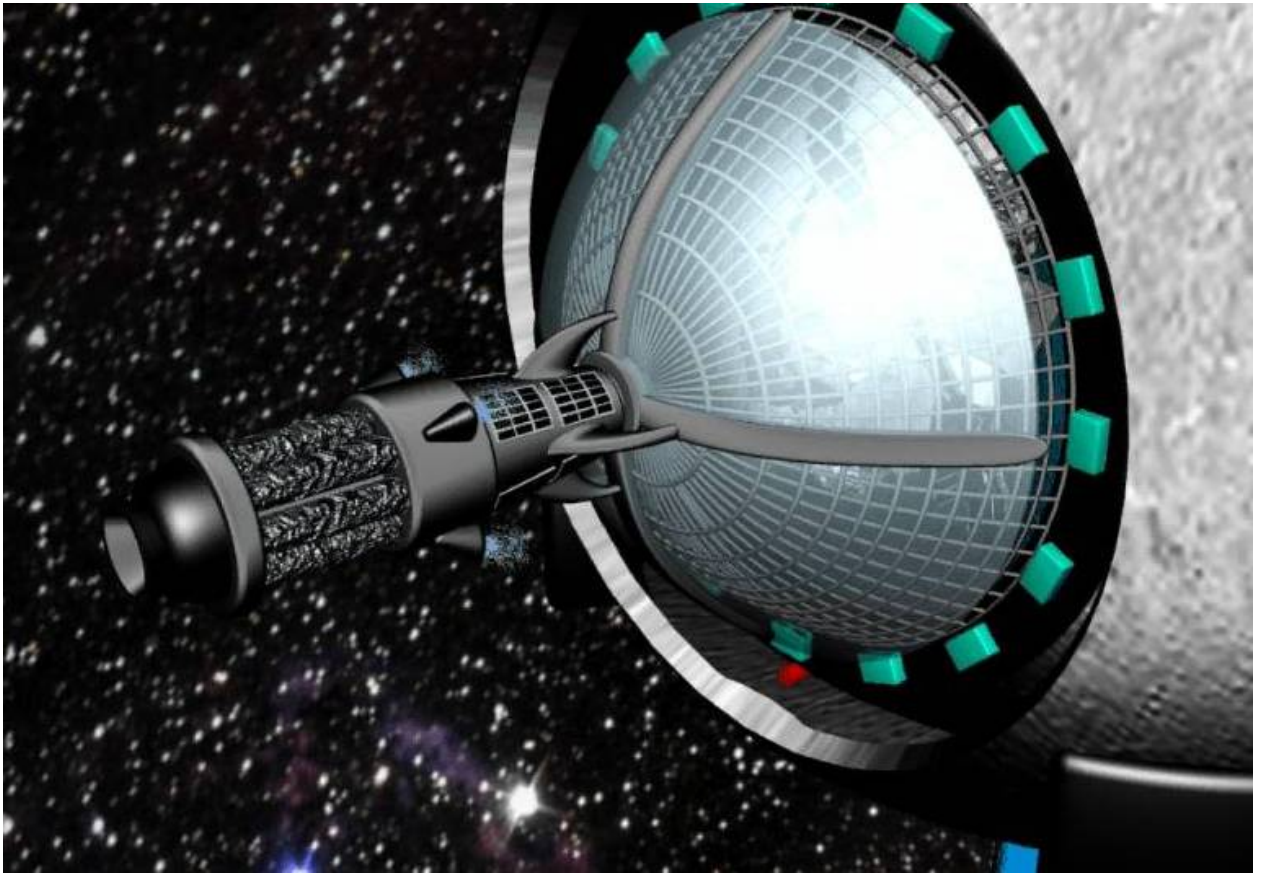
пропорционально зависит от высоты орбиты. Скорость корабля вычисляется по закону всемирного тяготения. Корабль будет догонять обломки, и они

будут попадать прямо в сетку-уловитель, не вылетая оттуда. При том что корабль летит в одном направлении и чуть быстрее, относительная скорость мусора будет мала, но направлена в сторону корабля. Крупный мусор будет оставаться на прочной сетке. Более



мелкий будет пролетать через отверстия в сетке, и застревать в полостях аэрогеля. Этот материал идеален для застревания в нём мусора.

Необходимости вытаскивать мусор из аэрогеля не возникнет. Облетев несколько орбит, слой аэрогеля будет заменяться на новый, а использованный будет транспортироваться на Землю вместе с остальным мусором.





### 3. Принцип работы

Сетка, управляемая бортовым компьютером с элементами ИИ, раскрывается на орбите (как складной стаканчик). Представляет из себя параболоид вращения. Внутренняя часть изготовлена из упрочённого графена, внешняя её часть содержит аэрогель. Налетающий КМ застревает во втором слое, проходя через отверстия сетки.

Во время сбора КМ открыто отверстие в центральной части сетки и более крупный КМ поступает во внутренний контейнер и накапливается там. Масса КА вместе с сеткой увеличивается до какого – то критического значения. После чего центральное отверстие закрывается. Появляется стыковочный узел. Подходит космический буксир и уводит КА с орбиты. Так как армированный графен имеет очень высокую прочность, сетка при ударах о неё КМ практически не деформируется.

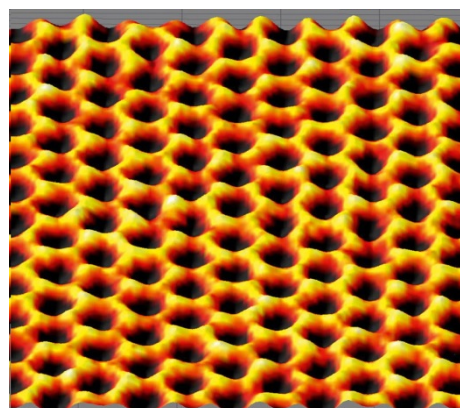
Космический мусор летает на разных орбитах с разной скоростью. В основном весь мусор летит в одном направлении. Лишь редкие обломки летят в обратном направлении. Это останки обратно-направленных спутников. Зная это, можно запустить корабль с большей скоростью для любой орбиты. Скорость мусора прямо пропорционально зависит от высоты орбиты. Скорость корабля вычисляется по закону всемирного тяготения. Корабль будет догонять обломки, и они будут попадать прямо в сетку-уловитель, не вылетая оттуда. При том что корабль летит в одном направлении и чуть быстрее, относительная скорость мусора будет мала, но направлена в сторону корабля. Крупный мусор будет оставаться на прочной сетке. Более мелкий будет пролетать через отверстия в сетке, и застревать в полостях аэрогеля. Этот материал идеален для застревания в нём мусора. Необходимости вытаскивать мусор из аэрогеля не возникнет. Облетев несколько орбит, слой аэрогеля будет заменяться на новый, а использованный будет транспортироваться на Землю вместе с остальным мусором.

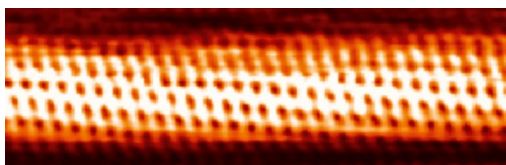
### 4. Применяемые материалы:

- Упрочнённый графен

*Что такое графен?*

Графен представляет собой материал из углерода, имеющий длину, ширину и толщину в один слой атомов, каждый атом которого связан ковалентными связями с



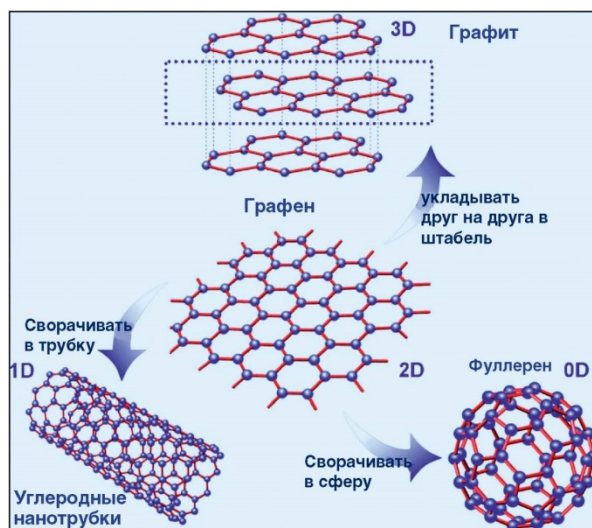


тремя другими атомами углерода. Углеродные нанотрубки (CNT) можно представить как лист графена, свернутый в трубку диаметром менее 10 нм, или как трубку со стенкой толщиной в один атом углерода.

Изображение графена и графеновой нанотрубки получено с помощью сканирующего туннельного микроскопа.

Графен долгое время рассматривался физиками-теоретиками как удобная модель конденсированной материи, поскольку его не находили в свободном виде вследствие его нестабильного состояния, только в «свернутом» виде типа фуллеренов (сферы) или нанотрубок (цилиндры).

Графен представляет собой плоский однослойный материал, плотно упакованный в сотовую структуру, он является базовым двумерным блоком 2D, из которого строятся другие углеродные структуры: графит 3D (блоки наложены друг на друга), нанотрубки 1D (блок свернут в трубку), фуллерен 0D (блок свернут в сферу).



### ***Свойства графена уникальны:***

- самый тонкий материал из известных;
- лучший проводник тепла (5000 Вт/м.К) и электричества (200000 см<sup>2</sup>/В.с) при комнатной температуре;
- прозрачный материал;
- один из **самых прочных материалов** (модуль Юнга 1100 ГПа);
- большая удельная поверхность (2630 м<sup>2</sup>/г);
- гибкий материал с высоким растяжением;
- химически инертный;
- биосовместимый;
- не пропускающий жидкости и газы.



Таблица. Физические свойства графена

Свойства	Значения
Оптическая прозрачность	97,7%
Теплопроводность	5000 W/mK
Удельная площадь поверхности	2630 м <sup>2</sup> /г
Прочность на разрыв	42 N/m
Модуль Юнга	1,1 ТПа

Плотность графена меньше плотности стали, а прочность при этом в 100 раз выше. Графен обладает токсичными свойствами. Острые кромки графена могут легко проникать сквозь клеточные мембраны, тем самым нарушая нормальную деятельность клеток.

Стоимость промышленно произведенных GRM-образцов для широкого круга приложений составляет, по разным оценкам, <\$100 за кг, для сравнения, стоимость высококачественного монослойного графена, полученного методом CVD, в виде образца размером 100 мм будет \$450.

### ***Применение***

Эти уникальные свойства графена делают его реальной альтернативой многим традиционным материалам в различных приложениях:

- сверхлегкие проводники для авиации и космоса;
- сверхтонкие гибкие дисплеи;
- прозрачные сенсорные экраны;
- смартфоны;
- транзисторы;
- суперконденсаторы;
- батареи;
- биомедицина и биотехнологии.

Отдельное направление применения графена занимает создание на его основе новых материалов с уникальными свойствами за счет легирования графена различными элементами. Это позволяет разрабатывать материалы для различных приложений, например, для энергетики, сенсоров, фотовольтаики, наноэлектроники, катализаторов, суперконденсаторов, магнитных материалов, для биомедицины и т.д. Наиболее часто используют в качестве легирующих добавок неметаллы (N, B, S, P, Se, O, Si, I) и металлы (Mn, Co, Ni, Al, Ti, Pd, Ru, Rh, Pt, Au, Ag) [9].

## Получение графена

Процесс получения графена из недорогого графита выглядит следующим образом: сначала получают оксид графена (GO), хорошо растворимый в воде (его можно хранить в виде коллоидного водного раствора), затем для получения восстановленного оксида графена (rGO) можно использовать термические, химические или электрохимические методы .

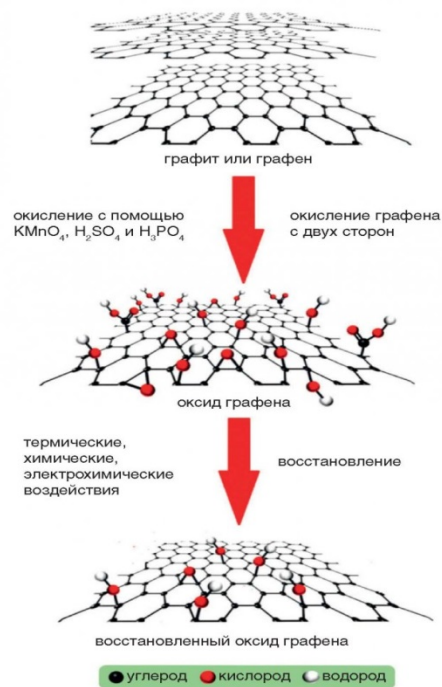


Таблица . Сравнение различных методов получения графена

Метод	Температура (°C)	Мобильность носителей заряда ( $\text{см}^2 / \text{В.с}$ )	Размер кристалла (мкм)
Микромеханическое расщепление	20	$> 10^6$	$>1000$
Коллоидная суспензия	20	100	$<0,1$
Химическое расщепление	$\sim 90$	1	$\sim 100$
Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)	$\sim 1000$	10000	1000
Эпитаксиальное выращивание	$>1100$	10000	50

## Упрочнение графеном

Сегодня большинство используемых нами материалов являются композиционными, поскольку возможности чисто природных веществ человечеством уже исчерпаны. Всем известный пример композита — железобетон, строительный материал из бетона и стали, запатентованный в 1867 г. Жозефом Монье.

Графен считается одним из самых перспективных наполнителей для композитов. Он и сам по себе обладает уникальным сочетанием свойств, прежде всего высокой прочностью и одновременно исключительной пластичностью.

Композиты с графеном на основе металлической матрицы получают, например, путем смешивания, а затем сплавления компонентов, однако качество таких материалов невысоко. Методом химического осаждения из газовой фазы можно синтезировать листы графена метрового размера. Специалисты ИВТЭ имеют патент на электрохимическое получение таких графеновых пленок.

Цель: синтезировать графен внутри расплавленной алюминиевой матрицы



Это одностадийный процесс, который происходит непосредственно в расплавленной алюминиевой или магниевой матрице и не требует предварительного синтеза и выделения углеродных наноматериалов. В получаемых таким образом алюминий-графеновых композитах чешуйки графена размером от 100 нм до 100 мкм равномерно распределены по объему металла, благодаря чему композит отличается высокой однородностью свойств. На рисунке показан образец из **алюминий-графенового композита**.

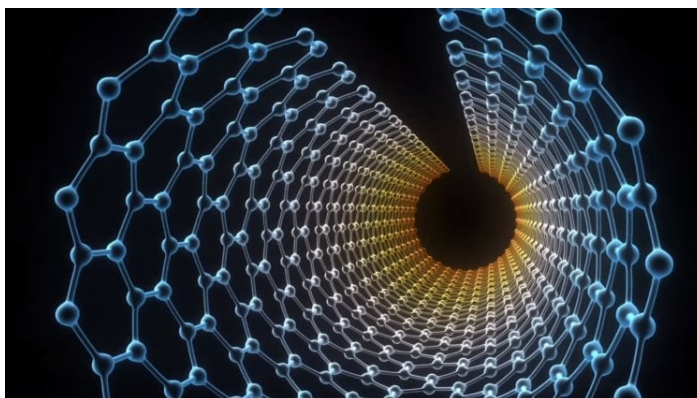
Оказалось, что они обладают хорошей коррозионной стойкостью, повышенной твердостью и эластичностью. Это уникальное сочетание высокой твердости и одновременно пластичности достигается именно благодаря графену. Температура плавления алюминий-графеновых композитов точно соответствует температуре плавления исходного алюминия. Исследования наших образцов методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показали, что они обладают высокой устойчивостью к окислению. Так, они не окисляются в токе кислорода при температуре до 600 градусов Цельсия, а при хранении на воздухе в течение полутора-двух лет сохраняют характерный металлический блеск, не покрываются оксидной пленкой. Наконец, теплопроводность алюминий-графеновых композитов на 18–20 % выше по сравнению с исходным алюминием. И все эти необыкновенные свойства материал

приобретает именно благодаря наночастицам графена. Прочность на разрыв алюминиевых композитов может быть увеличена на 30% при добавлении всего 0,1% графена. В керамических матрицах графен может улучшить вязкость разрушения и износостойкость материала. Например, вязкость разрушения алюминиевых композитов может быть увеличена на 38% при добавлении 1% графена.

Графен может быть введен в любой алюминиевый сплав, например, в силумин — сплав алюминия с кремнием. Так, введение графена в силуминовую матрицу в количестве всего 0,1–0,5 % дает одновременное увеличение прочности в 1,4 раза, твердости — в 1,4 раза, относительного удлинения — в 2,8 раз и упругости — в 1,1 раза.

### ***Ещё один способ упрочнения графена – получение арматурного графена.***

Графен можно сделать прочнее, если включить в его структуру нанотрубки. Исследователи также сообщают, что смогли добиться в трехмерных структурах на основе графена уровня прочности до 10 раз превышающего изначальный показатель. (Университета Райса в Хьюстоне (США)).



Само производство арматурного графена выглядит следующим образом. Сначала ученые создали нанотрубки, обернув вокруг медной подложки одноатомный слой углерода, а уже затем приступили к выращиванию графена вокруг созданных углеродных нанотрубок с помощью процесса плазмохимического осаждения из газовой фазы. Проверка арматурного графена в среднем показала изломостойкость на уровне 10,7 мегапаскаля. Как уже отмечалось выше, разница становится еще более очевидной при использовании созданных на базе графена трехмерных структур.

### **Вывод**

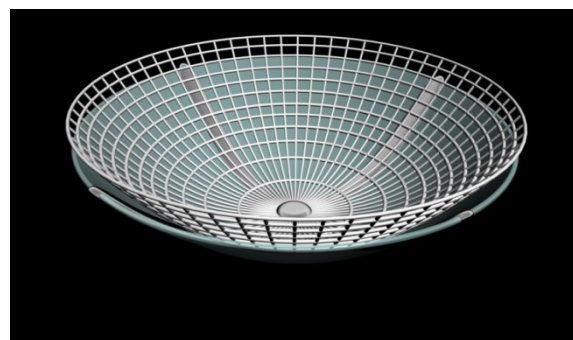
Композиты на основе графена способны произвести революцию в широком спектре отраслей промышленности, включая аэрокосмическую, автомобильную и электронную. Использование графена может привести к созданию более легких и прочных материалов, что может привести к

значительной экономии энергии и снижению воздействия на окружающую среду. Кроме того, тепловые свойства композитов на основе графена делают их полезными в высокотемпературных приложениях, например, в реактивных двигателях или в электронике, требующей высокой термической стабильности.

Композиты на основе графена представляют собой новый интересный класс материалов, способных значительно улучшить механические свойства широкого спектра материалов. Добавление графена в полимерные, металлические или керамические матрицы может привести к улучшению прочности на разрыв, модуля упругости, вязкости разрушения и термической стабильности. По мере продолжения исследований в этой области можно ожидать более широкого применения композитов на основе графена в различных отраслях промышленности.

- **Аэрогель**

Внешняя часть сетки покрыта слоем аэрогеля. Он был выбран для основного материала сетки благодаря своей лёгкости. Размер сетки, её радиус, глубина, количество звеньев были подобраны таким образом, что общая её масса стала примерно в десять раз меньше общей массы корабля.

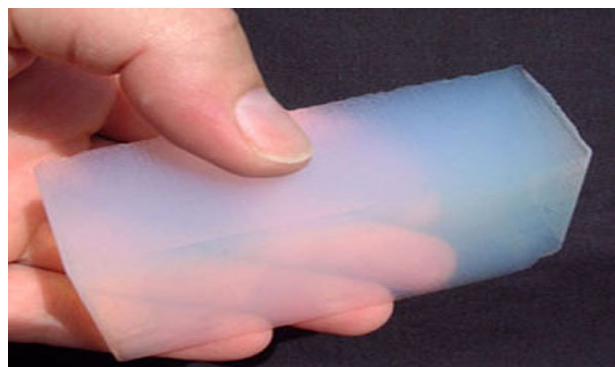


## **Аэрогель**

**Аэрогели** (от лат. aer — воздух и gelatus — замороженный) — класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной. Такие материалы обладают рекордно низкой плотностью и демонстрируют ряд уникальных свойств: твёрдость, прозрачность, жаропрочность и т.д. Распространены аэрогели на основе аморфного диоксида кремния, глинозёмов, а также оксидов хрома и олова. В начале 1990-х получены первые образцы аэрогеля на основе углерода.

### **Структура**

Аэрогели относятся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают не менее 50% объёма. Как правило, этот процент достигает 90-99, а плотность составляет от 1 до 150 кг/м<sup>3</sup>. По структуре аэрогели представляют собой древовидную сеть из





объединенных в кластеры наночастиц размером 2-5 нм и пор размерами до 100 нм.

### **История**

Первенство в изобретении признано за химиком Стивеном Кистлером (Steven Kistler) из Тихоокеанского колледжа (College of the Pacific) в Стоктоне, Калифорния, США, опубликованного в 1931 году в журнале Nature свои результаты.

Кистлер заменял жидкость в геле на метанол, а потом нагревал гель под давлением до достижения критической температуры метанола (240°C). Метанол уходил из геля, не уменьшаясь в объёме; соответственно, и гель «высыхал», почти не ужимаясь.

### **Свойства**

На ощупь аэрогели напоминают легкую, но твердую пену, что-то вроде пенопласта. При сильной нагрузке аэрогель трескается, но в целом это весьма прочный материал — образец аэрогеля может выдержать нагрузку в 2000 раз больше собственного веса. Аэрогели, в особенности кварцевые — хорошие теплоизоляторы. Они также очень гигроскопичны.

По внешнему виду аэрогели полупрозрачны. За счёт релеевского рассеяния света на древовидных структурах они выглядят голубоватыми в отражённом свете и светло-жёлтыми в проходящем.

### **Виды аэрогелей**

Наиболее распространены кварцевые аэрогели, им также принадлежит текущий рекорд по самой малой плотности у твердых тел — 1,9 кг/м<sup>3</sup>, это в 500 раз меньше плотности воды и всего в 1,5 раза больше плотности воздуха. Кварцевые аэрогели пропускают свет в мягком ультрафиолете и видимой области (с длиной волны больше 300 нм) и инфракрасном диапазоне, однако в инфракрасной области присутствуют типичные для кварца, получаемого обезвоживанием силикагелей полосы гидроксила при 3500 см<sup>-1</sup> и 1600 см<sup>-1</sup>. Благодаря чрезвычайно низкой теплопроводности (~0,017 Вт/(м·К) в воздухе при атмосферном давлении), меньшей, чем теплопроводность воздуха (0,024 Вт/(м·К)), они применяются в строительстве в качестве теплоизолирующих и теплоудерживающих материалов. Температура плавления кварцевого аэрогеля составляет 1200°C.

Углеродные аэрогели состоят из наночастиц, ковалентно связанных друг с другом. Они электропроводны и могут использоваться в качестве электродов в конденсаторах. За счет очень большой площади внутренней поверхности (до 800 м<sup>2</sup>/грамм) углеродные аэрогели нашли применение в производстве суперконденсаторов (ионисторов) емкостью в тысячи фарад. В настоящее время достигнуты показатели в 10<sup>4</sup> Ф/грамм и 77 Ф/см<sup>3</sup>. Углеродные аэрогели отражают всего 0,3% излучения в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,3 мкм, что делает их эффективными поглотителями солнечного света.

Кремнезёмные аэрогели из оксида алюминия с добавками других металлов используются в качестве катализаторов. На базе алюмооксидных аэрогелей с добавками гадолиния и тербия в НАСА был разработан детектор высокоскоростных соударений: в месте столкновения частицы с поверхностью происходит флюоресценция, интенсивность которой зависит от скорости соударения.

### **Использование**

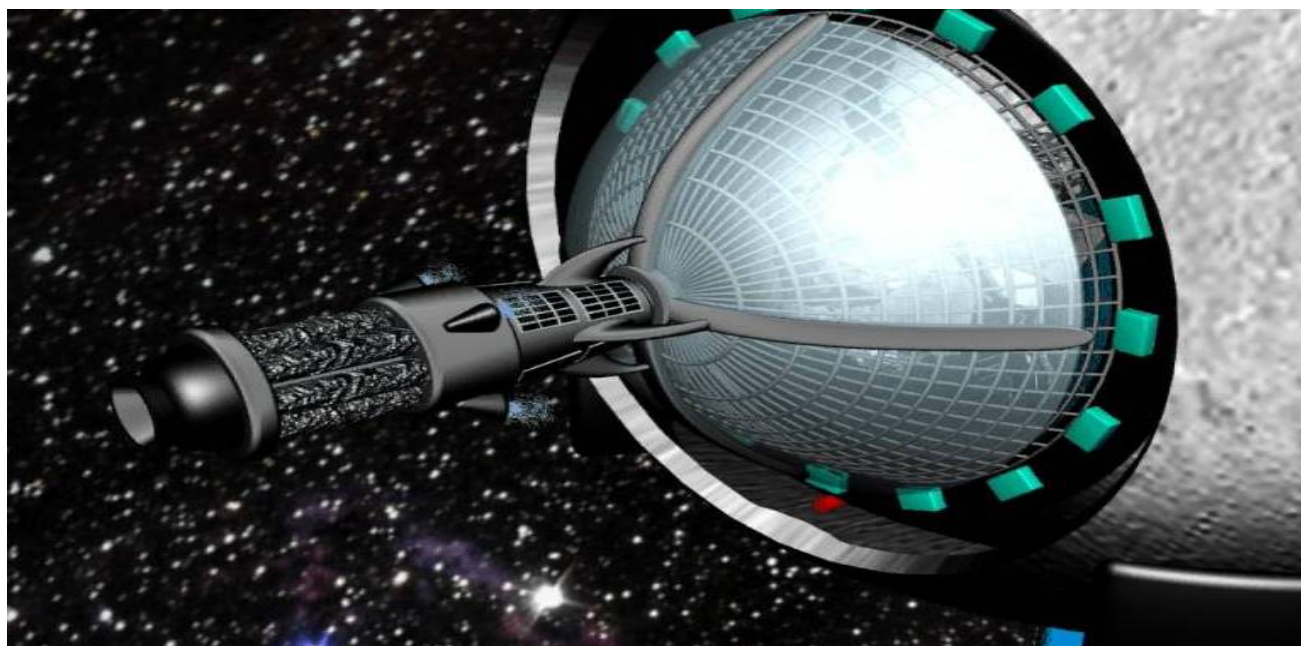
Помимо многочисленных технических применений, обусловленных вышеперечисленными уникальными свойствами, аэрогель знаменит прежде всего использованием в проекте «Стардаст» в качестве материала для ловушек космической пыли.

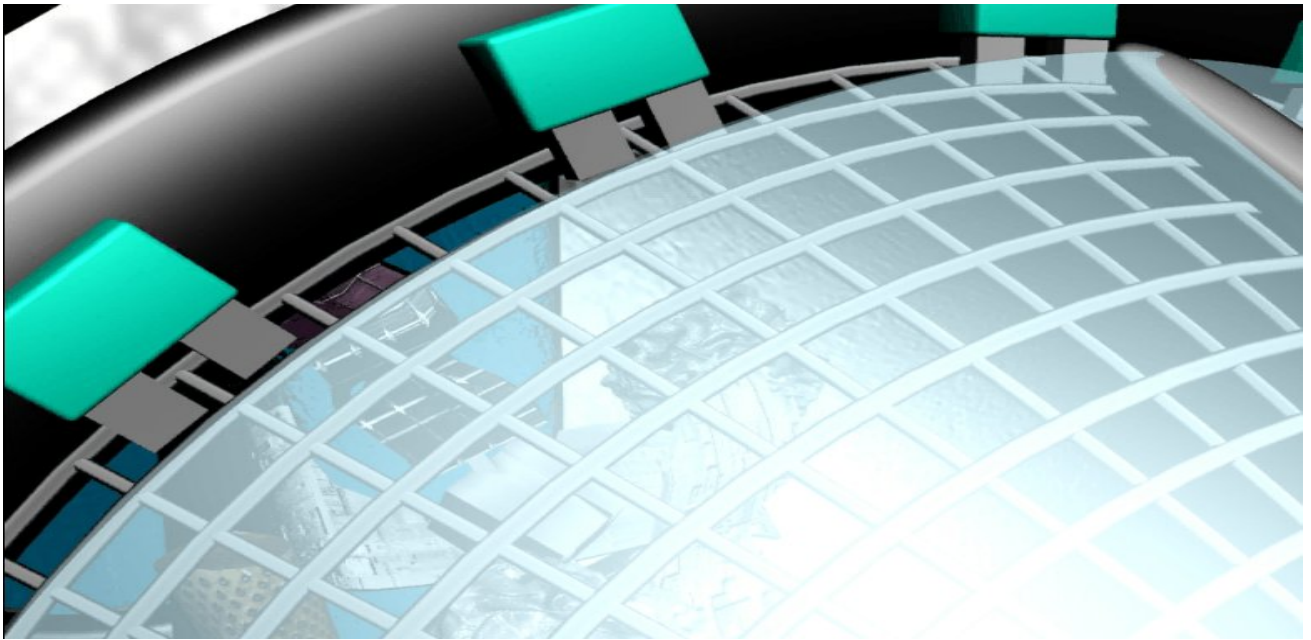
Поскольку показатель преломления аэрогелей занимает промежуточное положение между показателями преломления газообразных и жидких (твёрдых) веществ, аэрогель используется как радиатор в черенковских детекторах заряженных частиц.

Аэрогели могут использоваться в качестве газовых и жидкостных фильтров.

Аэрогель на основе оксида железа с алюминиевыми наночастицами может служить взрывчаткой (разработка Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, США).

В начале 2006 некоторые компании, например, United Nuclear, заявили о начале продаж аэрогеля организациям и частным лицам. В зависимости от размера и формы образца, цена составляет от \$25 (фрагменты) до \$125 (кусочек, помещающийся на ладони). В нём находится очень много полостей, в которых будет застревать мелкий мусор.





## V. Выводы. Заключение. Характер работы.

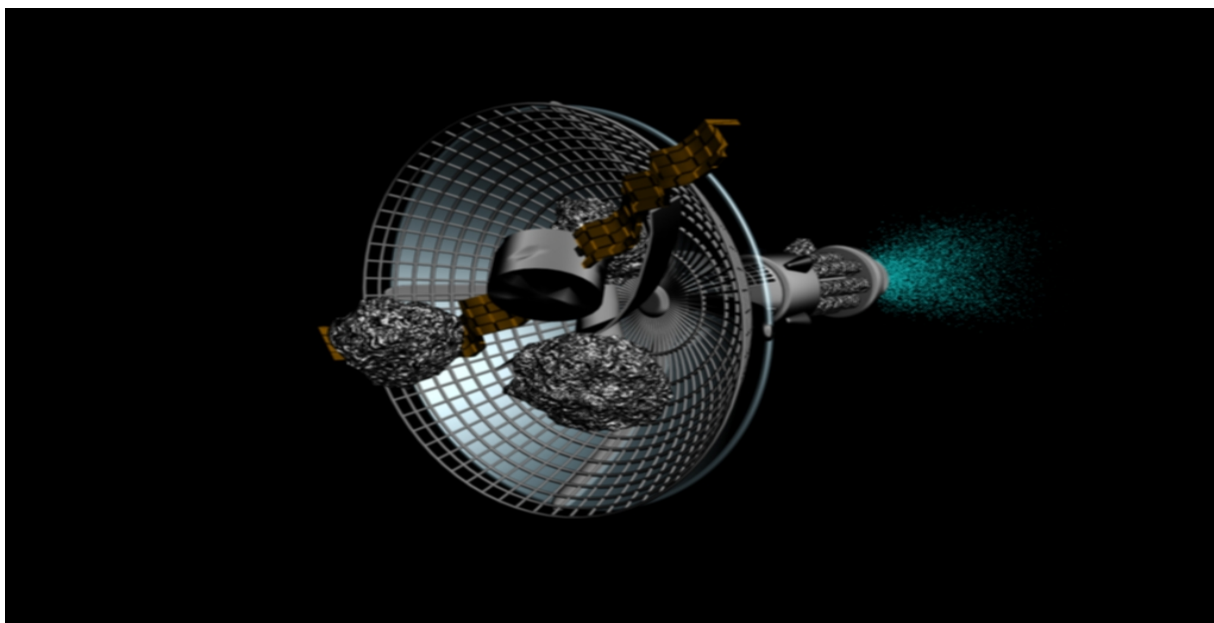
Таким образом, существует противоречие:

- Эффективных практических мер по уничтожению космического мусора на орбитах более 600 км (где не сказывается очищающий эффект от торможения об атмосферу) на настоящем уровне технического развития Человечества не существует
- Безопасность космических полетов КА и спутников в условиях техногенного загрязнения околоземного космического пространства (ОКП) необходимо обеспечить – задача государственной важности!!!

Надо сделать то, чего ещё нет для защиты Космического пространства и безопасных полётов КА, применяя современные технологии: предложить комплекс мер, позволяющих разрешить противоречие.

Таким образом, очистка космоса является делом государственной важности. Единственный способ в настоящее время уклониться от космического мусора - маневрирование или защитный экран, но этих способов недостаточно. Способы очистки низких околоземных орбит является актуальной задачей, которая решается в ходе реализации проекта.

- 1) Подобрана оригинальная компоновка и внешний вид космического аппарата
- 2) Предложен инновационный способ сбора космического мусора и материалы сетки - уловителя



**По мере появления новых материалов и новых технологий даже самые невероятные проекты становятся реальностью!**

## **VI. Литература**

«Всероссийская научная конференция с международным участием

Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы

ИКИ РАН, Москва, 17–19 апреля 2019 г. Сборник трудов под ред. Л. М. Зеленого, Б. М. Шустова.

Статьи из сборника:

1. Шустов Б. М. О фундаментальных исследованиях по проблеме космического мусора
2. Оголев А. В., Морозов С. В. Анализ засорённости околоземного космического пространства объектами техногенного происхождения и их влияние на функционирование космических аппаратов
3. Адушкин В. В., Аксенов О. Ю., Вениаминов С. С., Козлов С. И., Дедус Ф. Ф. О популяции мелкого космического мусора, её влиянии на безопасность космической деятельности и экологию Земли
4. Вениаминов С. С., Ключников В. Ю., Логинов С. С.

Обзор методов противодействия техногенному засорению околоземного космического пространства и его снижения

5. Афанасьева И. В., Мурзин В. А., Ардиланов В. И., Иващенко Н. Г., Притыченко М. А., Борисенко А. Н. Высокоскоростное малошумящее фотоприёмное устройство для наземных наблюдений объектов космического мусора

6. Бабкин Ю. В. Возможность использования радиолокационных станций как средств наблюдения за высокоорбитальными космическими объектами

7. Богачёв С. А., Ерхова Н. Ф., Ульянов А. С., Холодилов А. А., Перцов А. А., Кузин С. В. Возможности по регистрации космического мусора оптическими камерами, размещаемыми на спутниках типа кубсат

8. Бондарь С. Ф. , Иванов Е. А., Плахута А. С., Каткова Е. В.

Метод первичного обнаружения космических объектов в околоземном космическом пространстве с использованием технологии «накопления со сдвигом»

9. Кохирова Г. И., Бахтигараев Н. С. Результаты исследований космического мусора по наблюдениям на телескопе Цейсс-1000 в обсерватории «Санглох»

10. Кузнецов Э. Д., Вибе Ю. З., Гламазда Д. В., Кайзер Г. Т., Крушинский В. В., Попов А. А. Оптические наблюдения космического мусора в Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального

Университета Левкина П. А., Бахтигараев Н. С., Чазов В. В. Характеристики малоразмерных фрагментов космического мусора по данным поисковых наблюдений

11. Молотов И. Е., Сун Р. Ю., Занг Ч., Баррес У. де Алмейда, Захваткин М. В., Титенко В. В., Стрельцов А. И., Мохнаткин А. В., Кокина Т. Н., Еленин Л. В.

Российско-китайские наблюдения фрагментов разрушения ракетной ступени «Центавр» — первый шаг к сети обсерваторий БРИКС

12. Панасюк М. И., Липунов В. М., Свертилов С. И., Горбовской Е. С., Корнилов В. Г., Петров В. Л., Чазов В. В., Яшин И. В.

Мониторинг космического мусора в околоземном пространстве: опыт миссии «Ломоносов» и проект «Универсат-СОКРАТ»