

УДК 535.21

А.О. Мироненко*(Руководитель – Д.Р. Кукнерик)***СОЛНЕЧНЫЙ ПАРУС: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В исследовательской работе рассматриваются опыты по обнаружению давления света на легкие крылышки из фольги в вакууме. Основное внимание акцентируется на практическом использовании давления света в космонавтике. Рассматривается принцип работы солнечного паруса и перспективы его использования.

Ключевые слова: П.Н. Лебедев, давление света, солнечный парус, каптон, милар.

SOLAR SAIL – THE PROSPECTS OF USE

In the research work, experiments are being conducted to detect light pressure on light wings of foil in a vacuum. The focus is on the practical use of light pressure in space exploration. The principle of solar sail operation and prospects of its use are considered.

Key words: P.N. Lebedev, pressure of light, solar sail, capton, milar.

Первое разворачивание солнечного паруса в космосе было произведено на российском корабле «Прогресс М-15» 24 февраля 1993 г., в рамках проекта «Знамя-2». Что же представляет собой солнечный парус? Каков принцип его движения?

Цель моей работы – изучить и продемонстрировать опыты по обнаружению давления света, рассмотреть принцип работы солнечного паруса и перспективы его использования. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить литературу по теме исследования.
2. Провести опыты по обнаружению давления света на легкие крылышки из фольги в вакууме.
3. Изготовить простейший радиометр.
4. Объяснить принцип действия радиометра с точки зрения физики.
5. Рассмотреть перспективы использования давления света в космонавтике.

Впервые гипотеза о существовании светового давления была высказана Иоганном Кеплером в XVII в. для объяснения явления хвостов комет при полете их вблизи Солнца.

Максвелл на основе электромагнитной теории света предсказал, что свет должен оказывать давление на препятствие.

Под действием электрического поля волны электроны в телах совершают колебания – образуется электрический ток. Этот ток направлен вдоль напряженности электрического поля. На упорядоченно движущиеся электроны действует сила Лоренца со стороны магнитного поля, направленная в сторону распространения волны – это и есть сила светового давления.

Для доказательства теории Максвелла необходимо было измерить давление света. Впервые давление света измерил в 1900 г. русский физик П.Н. Лебедев. Давление солнечного света чрезвы-

чайно мало (на земной орбите – около $9 \cdot 10^{-6}$ Н/м²). Проводя опыты по изучению давления света, П.Н. Лебедев столкнулся с трудностями: малым давлением света, а также мешающим влиянием радиометрического эффекта и конвекционных потоков воздуха.

Изучив опыты П.Н. Лебедева, я провел свое исследование. Легкие крылышки выполнил из фольги, закоптив их над свечой таким образом, что одно крылышко оставалось блестящим, а другое закопченным. С обратной стороны блестящее крылышко было черным, а черное крылышко, наоборот, – блестящим. Крылышки прикрепил на иголку с нитью к верхней части колокола воздушного насоса. Откачав воздух, можно наблюдать движение крылышек под действием яркого солнечного света. Угол поворота крылышек в нашем опыте составил 100°.

Затем я попытался повторить опыт Крукса с радиометром. Маленький пропеллер, состоящий из четырех лепестков, расположен на игле и накрыт стеклянным колпаком. Колпак не позволяет потокам воздуха действовать на пропеллер. Поэтому причиной его движения является свет. В вертушке одна поверхность зачернена, другая, серебристая – отражающая. При падении электромагнитной волны на отражающую поверхность вклад в давление дают как падающая, так и отражающая волна. При падении на зачерненную поглощающую поверхность отражающей волны просто нет. Поэтому давление на поглощающую поверхность вдвое меньше, чем давление на отражающую. Но надо быть осторожным, так как электромагнитная волна несет не только импульс, но и энергию. При падении на абсолютно отражающую поверхность фотоны просто отражаются, передают свой удвоенный импульс, но энергию сохраняют за собой, абсолютно отражающая поверхность не нагревается. Поглощающая поверхность принимает импульс фотонов и его энергию, поэтому поглощающая поверхность нагревается. Тогда возникают два эффекта. Давление на отражающую поверхность вдвое больше. Около черной поверхности нагревается газ, а в нагретом газе давление больше. В какую сторону будет вращаться вертушка, зависит от давления газа в колбе. Если давление настолько мало, что давление газа в колбе пренебрежимо, то она будет вращаться, поскольку давление на серебристую поверхность вдвое больше. Если превалирует эффект нагрева газа около черной поверхности, то вращение будет в противоположную сторону. В моем опыте эффект нагрева возле черной поверхности превалирует.

Каковы же перспективы использования давления света в космонавтике? Человечество давно использует свойство паруса передвигать предметы по воде или суше при помощи энергии ветра. Как ни странно это может звучать, но в эпоху освоения космоса мы снова вернулись к этому проверенному средству. На этот раз вместо ткани используется тончайшая зеркальная поверхность, а роль ветра играет движущая сила солнечного света. Преимущество применения такой конструкции – возможность совершать полет без ограничений временными рамками. Любое топливо, используемое для космических аппаратов, когда-либо заканчивается, а кванты солнечного света, посылающие импульс на поверхность тел, не иссякнут еще несколько миллиардов лет.

Как это работает?

Частицей, создающей импульс для солнечного паруса, является фотон. Он наделен свойствами электромагнитной волны и частицы, не имеет заряда и является квантом света. Поток фотонов оказывает определенное давление на освещаемую поверхность. Для использования на космических кораблях необходим парус размером порядка нескольких квадратных километров.

Давление, создаваемое потоком солнечного света (фотонами), заставит аппарат двигаться в сторону от Солнца, при этом не будет расходоваться ракетное топливо. По аналогии с морскими парусами, происходит маневрирование в космосе. Изменяя угол расположения конструкции, можно корректировать направление полета. Недостатком использования паруса является отсутствие возможности движения к Солнцу. При большом удалении от нашей звезды фотонный поток слабеет пропорционально квадрату расстояния, а на границе системы его сила упадет до нуля. Чтобы обеспе-

читать стабильный поток света и начальный разгон паруса, необходимы мощные лазерные установки. На сегодня разработаны конструкции двух типов – разгоняемые электромагнитными волнами и фотонными импульсами.

Из чего изготавливают парус?

Для межпланетных полетов важны вес корабля и количество ракетного топлива. Применение солнечного паруса в качестве двигателя позволит значительно снизить эту нагрузку. Материал для изготовления паруса должен быть легким и прочным, иметь высокую отражающую способность. Добавление металлических ребер повышает безопасность использования: ведь полотно подвергается ударам метеоритов.

Плотность поверхности материала из композитного волокна не превышает 1 г/м^3 , его толщина – несколько микрон. Из существующих вариантов самыми перспективными считаются каптон и милар – тончайшие полимерные пленки с алюминиевым покрытием. Разработка новых нанотехнологий открывает удивительные перспективы в производстве солнечных парусов, их можно создавать перфорированными и практически невесомыми, а это означает повышение эффективности использования.

Первые испытания

В рамках российского проекта «Знамя-2», созданного для экспериментов с отражателями, в 1993 г. был впервые развернут солнечный парус. Размер конструкции из тонкой пленки с отражающим покрытием составил 20 м^2 . Японскими учеными была создана модель солнечного паруса, состоящая из четырех лепестков, в качестве материала использовалась сверхтонкая полиамидная пленка в $7,5 \text{ мкм}$. Конструкция была установлена на спутник «IKAROS», который ракета-носитель вывела на орбиту 21 мая 2010 г. Испытания солнечного паруса начались с его раскрытия, полотно в 200 м^2 было успешно расправлено. Второй этап, состоящий в регулировании скорости и направления, также удалось осуществить.

При поддержке Планетарного общества США НПО им. Лавочкина разработало и создало конструкцию солнечного паруса, состоящую из 8 лепестков. Его поверхность покрывал слой алюминия, а прочность обеспечивало армирование. Запуск аппарата осуществлялся ракетой «Волна», которая из-за технического сбоя рухнула в море. Дальнейшие работы над проектом пока остановлены.

Перспективы использования солнечного паруса

Самый первый прототип солнечного паруса – Sunjammer. В 2014 г. NASA запустило в космос свой солнечный парус из каптона – термостойкого пластика, выдерживающего колебание температуры от $+400$ до -273°C . Этот материал был разработан химической компанией DuPont. Рекордный по размеру проект, крупнейший из всех созданных на данный момент, имеет площадь 1200 м^2 . Его назвали «Sunjammer». Он должен выяснить практическую эффективность использования солнечного паруса при межпланетных полетах. Предполагается удаление от Земли на 3 млн км за счет действия потока фотонов. Аппарат, толкаемый солнечным ветром, направляется к первой точке Лагранжа.

В ближайших планах ученых – оснащение солнечными парусами аппаратов, наблюдающих за активностью нашей звезды. Они смогут вовремя предупреждать землян о возникающих вспышках и катаклизмах на Солнце. Созданный в России консорциум «Космическая регата», планировавший участие в конкурсе конгресса США по выведению на орбиту кораблей с солнечными парусами, успешно работает в области использования солнечных отражателей для освещения районов добычи газа.

В настоящее время солнечный парус – самое перспективное устройство для передвижения в космосе, имеющее целый ряд преимуществ перед химическими ракетными двигателями.

1. http://books.alnam.ru/book_p_phis3.php?id=41 – Научная библиотека. – С. 173-175.
2. <http://www.dirty.ru/comments/322115> – Радиометрический эффект и давление света.
3. Эльясберг, П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. – М., 1965. – С. 67-69.
4. Поляхова, Е. Н. Космический полет с солнечным парусом: проблемы и перспективы. – М.: Наука, глав. ред. физ-мат. литературы, 1986. – 304 с.

УДК 37.012.7

В.С. Клетченко

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ЕСТЕСТВЕННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТАРШЕКЛАСНИКОВ
В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ**

Статья касается проблем улучшения качества естественно-математического образования с учетом перехода на новые стандарты, отражает содержание работы школ и методических служб, раскрывает ориентиры на будущее.

Ключевые слова: развитие компетентностей, социально-психологическое исследование, качественное образование, стратегия методических инноваций.

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF IMPROVEMENT OF QUALITY
NATURAL AND MATHEMATICAL EDUCATION SENIORS AT MODERN SCHOOL**

This article concerns the problems and prospects of improving the quality of mathematics and science education given the transition to the New standards, reflects the content of the work of the schools and educational services, reveals future goals.

Key words: developing competences, socio-psychological research, a quality education, the strategy of methodological innovation.

На современном этапе развития общего среднего образования в нашей стране одна из главных проблем – подготовка обучающихся к поступлению в вузы по специальностям, требующим основательных, глубоких и фундаментальных знаний по учебным дисциплинам естественно-математического направления. С психологической точки зрения успешность выпускника зависит от многих составляющих: его возможностей, конкурентной способности и потребности общества в представителях той или иной профессии. Соотношения всех аспектов может иметь конфликтный характер, учитывая возрастные особенности обучающегося. Поэтому старшекласснику необходима помощь не только психолого-педагогического направления. Утверждение личности опирается на гармонию внутренних ценностей, полученного качественного образования, целей и потребностей. Выбор правильного направления даст возможность (используя накопленный потенциал знаний) для полноцен-