

1997 – 2002

Dessins de LI-AN

I - МЕЧТА. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

- 1 - От неосознанного стремления к научному познанию
- 2 - Три увлеченных экспериментатора
- 3 - Ракета прокладывает дорогу
- 4 - Рождение солнечных парусников

II - РЕАЛЬНОСТЬ

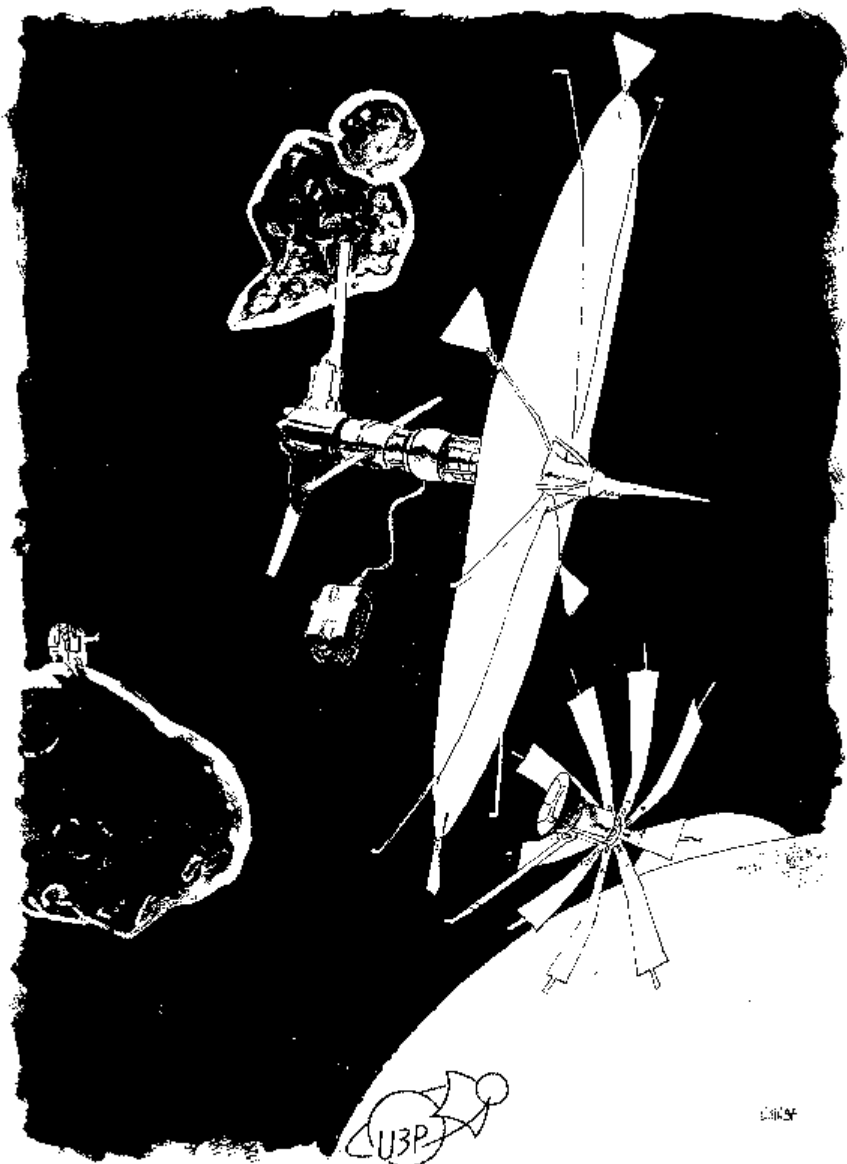
- 5 - Солнечная систе
- 6 - Технологические основы
- 7 - Ограничивающие факторы
- 8 - Техническое обеспечение

III – ПРОЕКТЫ

- 9 - Владимир СЫРОМЯТНИКОВ
- 10 - Навигация под солнечным парусом
- 11 - Технологические основы управления парусом
- 12 - От Земли до Луны

IV – ПРИКЛЮЧЕНИЕ

- 13 - Зеркала будущего
- 14 - Участие в приключении
- 15 - Поиски
- 16 - Возрождение



1982

-

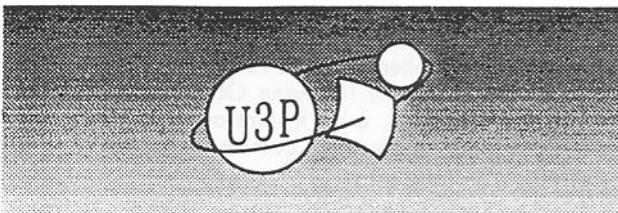
1997

Солнечному парусу 15 лет

Traduction [Natalia CHINKEVITCH](#) juin 1999

15 лет : достижение зрелости

15 лет прошло с тех пор, как пламенные сторонники солнечного паруса создали U3P (Союз за Развитие Светового Движения) (далее : U3P)



и собрались на первую большую практическую конференцию в Фон-Роме (Франция).

15 лет : сознательный возраст

Это время, необходимое космическому проекту для достижения "совершеннолетия", чтобы быть признанным высокими государственными организмами и профессионалами!

15 лет : постоянство интереса

В мире быстро устаревающей информации солнечные паруса продолжают регулярно вызывать интерес средств массовой информации и заявляют о себе в качестве знаменательного символа нашего перехода в XXI век.

Едва 1986 год занимался на горизонте, как комета галлея не замедлила явиться со своим "периодическим" визитом.

В четвертый раз с тех пор, как Эдмонд галлей вычислил ее орбиту. Ее визит не был неожиданным, но этот раз был отличным от предыдущих. Со времени последнего появления кометы "Человеку удалось выйти из своей колыбели", как это предвидел Константин Циолковский, и он готовился к встрече с космической гостьей. Космические организации различных стран подготовили широкомасштабную программу международных исследований. Самым смелым из всех был американский проект изучения кометы галлея с помощью зонда, движимого солнечным парусом. Этот солнечный парус должен был позволить не просто мимолетную встречу, но и сопроводительный полет с кометой. К сожалению, проект не был осуществлен. Но "вирус" солнечного паруса оказал свое воздействие на исследователей, которые им занимались, надолго стимулировав интерес ученых и мечтателей.

Этот "вирус" привел к появлению различных организаций: World Space Foundation в США в 1979 г., Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique во Франции в 1981 г., Solar Sail Union of Japan в Японии в 1982 г., Space Regatta Consortium в России в 1989 г., Comición Vela Solar в Испании в 1990 г., Luna Cup для мечтателей в 1992 г.

Вместе с проектом облета кометы галлея Космический Парус вступал в великую историю космических полетов, позволившую Человеку выйти за рамки земного существования и исследовать космическое пространство, вступить в человеческую историю, состоящую из страстей и мечтаний, надежд и разочарований, а главное - ожиданий!

Во время генеральной ассамблеи, созванной по случаю 15-й годовщины U3P, U3P-ейцы и U3P-ейки решили издать этот бюллетень, посвященный истории светового движения, Солнечного Паруса и Luna Cup с целью развития перспектив плавания под парусом в нашей Солнечной системе и за ее пределами в XXI веке.

1 - От неосознанного стремления к научному познанию

Солнечный парус не родился из последней капли росы, милой сердцу Сирано де Бержерака. Он есть плод долгих научно-технических изысканий. Он отвечает самым сокровенным стремлениям Человека и появился на общем фоне Освоения Космоса.

...Возникла ли неразрывная связь с небесной бесконечностью в глубокой древности в процессе эволюции видов? Выражало ли первобытное животное свою примитивную тревогу, обращая свой крик к усыпанному звездами небосклону, как стремление приобщиться к этой бесконечности? Эта связь, эта религия, это всеобщее соотношение между отдельным индивидом и всеобъемлющим Целым позднее породили в более оформленном виде различные мифы, бросающие вызов закону всеобщего тяготения (попытка Икара, левитации монаха ди Купертино, Питер Пен верхом на лунном луче), и вскоре миф, наивное колдовство и поэтическое воображение претворяются, в свою очередь, в практическую реальность. Чудо началось с того, что мы вступили в эру бурного развития, которую начал великий Леонардо да Винчи, художник и инженер, поэт и герой одновременно. С тех пор мы взлетаем, начинаем отрываться от Земли и вдруг вырываемся из пут земного тяготения окончательно. Очевидно, что человечество больше не живет в доисторические времена. В течение последних ста - ста двадцати лет несколько вдохновенных искателей, продолжателей идей Эпохи просвещения, в результате научных расчетов вывели на орбиту первый летательный аппарат :

4 октября 1957 г. началась космическая эра.

Это всего лишь промежуточный, но многообещающий этап. ...так как дает доступ к вчера еще недоступному космическому пространству... так как это этап необратимого пути... так как он гарантирует нам в сжатые сроки (всего за несколько веков) освоение всей Солнечной системы... без вреда для дальнейшего развития в области пространство - время и энергия - материя.

Грандиозная программа!

Она выходит за рамки человеческой истории, простой ее вехи, которая вписывается в процесс биологической эволюции, сравнимой с предшествующей, и которая выбрасывает нас за пределы проторенных дорог.

Сведенная таким образом к краткому очерку, эта идея может показаться простой. Но сколько расчетов, графиков, смелых обобщений! Сколько схваток пришлось выдержать во имя права делать научные выводы, не прибегая к признанным авторитетам!

На первоначальном многообещающем этапе шотландский физик **Джеймс клерк-максвелл** открыл электромагнитную природу света, а в 1860 г. открыл существование фотонов, мельчайших частиц, обладающих давлением. Затем в глухой провинции скромнейший и полный великих идей

Константин Эдуардович Циолковский использовал принцип ракеты уже в 1883 г. (публикация труда "Свободный космос") и посвятил сорок восемь лет напряженного труда разработке самых основ освоения космического пространства. В 1912 г. в Санкт-Петербурге одержимый той же идеей француз Робер Эсно-Пельтри выступил с крупным докладом и через некоторое время введением термина "астронавтика" основал новую научную дисциплину, приводящую в движение целые поколения конца нынешнего столетия.

Четыре года спустя, в 1916 г., трудолюбивый американский исследователь **Роберт Годдард** занял свое место среди пионеров космоса и в 1926 г. произвел запуск первой ракеты на жидком топливе. Далее, в 1929 г. немец **Герман Оберт** развил в своем главном труде "*Пути осуществления космических полетов*" хорошо обоснованную теорию многоступенчатых ракет, что снискало личное поощрение от Эсно-Пельтри в виде 10.000 франков из фондов только что им основанной совместно с другом-банкиром Премии.

Наконец, по следам Оберта его еще более блестящий ученик Вернер фон Браун создал ракету-снаряд V2, а также американскую космическую программу шестидесятых годов. Тем временем в Советском Союзе под влиянием идей К.Э. Циолковского Лаборатория Динамики Газов и затем конструкторское бюро под руководством С.П. Королева шли параллельным курсом.

Таким образом, продолжая развитие гениальных предвидений К.Э. Циолковского (1857-1935), на заре астронавтики ярко выделяются три имени: Робер Эсно-Пельтри (1881-1957), Роберт Годдард (1882-1945) и Герман Оберт (1894-1989). Все трое в тот или иной момент указывали на давление света как на способ приведения в движение.

Какое влияние оказали эти три пионера друг на друга? Возможно, что на первом этапе, вследствие малой академичности этого направления исследований и обычно недоверчивого отношения признанных авторитетов к новшествам, каждый из них был вынужден найти в себе смелость работать без огласки. По всей вероятности, эти вдохновенные умы были все движимы идеей покорения космоса, своего рода интуитивной убежденностью, проистекающей из предвидений Жюль Верна, Г. Уэллса и других одержимых провидцев. Вроде бы нет ничего удивительного в том, что все три основоположника переходной эпохи вновь открыли каждый сам по себе и практически одновременно формулы, установленные К.Э. Циолковским. Не было ли здесь решающим фактором определение немцем Германом Гансвиндтом второй космической скорости в 1881 г. (11,2 км/с). Никто не смог бы избежать действия физических законов. Каждому из них оставалось лишь определить необходимые средства для завершения столь дерзкого предприятия.

2 - Три увлеченных экспериментатора

Осмотрительный инженер, эсно-пельтри долго сочетал теоретические исследования космоса и практические эксперименты в более знакомой ему области астронавтики. Изобретенные им ручка управления в двух измерениях и звездообразный двигатель, выпускавшиеся во всех промышленно развитых странах, нашли широкое применение в исследовании нижних слоев атмосферы. Позднее в нем будет преобладать тяга к практике - в выдвижении принципа инерциальной навигации, в использовании ракеты как дополнительного двигателя. Его первое обращение к реактивному движению относится к 1907 г.

В 1912 г. в Париже этот теоретик выступает перед Физическим обществом с докладом на ту же тему, что и ранее в Санкт-Петербурге, утверждая, что в ближайшем будущем мы вырвемся за пределы нашей планеты с помощью ракеты. В своих построениях он охотно чередует мечту и научность, смелость замысла и убедительность. Как только в безмерном порыве мечтателя появляется аномалия, вступает в борьбу инженер, чтобы подкрепить, придать структуру идее. Этот ученый осторожен. Он знает, что консерваторы тяжелы на подъем. В 1927 г. он подтверждает свои предыдущие выводы по поводу межпланетных путешествий перед французским Астрономическим обществом, а в 1930 г. публикует свой главный труд по астронавтике, в котором изучает все возможные варианты таких путешествий, включая полет с постоянным ускорением, за который выступают приверженцы светового движения. Тем временем, при испытании ракеты он потерял три пальца.

В то же самое время, в отличие от К.Э.циолковского, который замкнулся в теоретических исследованиях, Р.годдард на другом побережье Атлантики проявил себя прекрасным экспериментатором. Избегая широкой огласки, которая часто приобретает паразитические формы, за долгий период исследования ракет он заявил более двухсот патентов.

В 1909 г. на заре своих первых открытий он пришел к выводу, что жидкие кислород и углерод могли бы дать прекрасные результаты в качестве топлива. В 1916 г. он выдвинул идею запуска летательного аппарата вокруг Луны и при этом одним из первых придумал систему движения на электростатическом принципе. В 1918 г. в работе "Последнее переселение", которая увидела свет лишь в 1972 г., он позволил себе совершить великолепное межпланетное путешествие с ядерным двигателем; в том же 1918 г. в "Способе достижения больших высот" он предложил осветить темный сектор Луны с помощью пороховой ракеты, снабженной люминесцирующим снарядом.

Но главные его исследования касаются ракет на жидком топливе, с которым он работает с 1920 г. и по которому он специализируется. В 1923 г. испытание на стенде ракеты на бензине и жидком кислороде впервые увенчалось успехом. 16 марта 1926 г. в г. Оберн, штат Массачусетс, профессор Р.годдард запустит первую ракету на смеси керосина и жидкого кислорода, которая поднимется на 56 метров. Эта высота будет уже 600 метров в 1930 г. и 2300 метров в 1935 г. Траектории полетов контролируются маятниками и гироскопами. Экспериментатор очень плодотворен. И путь уже проторен.

Наконец, в третьем ряду этого блестящего ареопага мы видим Г.оберта, который в 1928 г. ворвался довольно оригинальным образом в мир ракет из примитивной мастерской с пустынной окраины. В возрасте 34 лет этот трансильванец, который сделает в дальнейшем карьеру в Германии, заключает контракт с Фрицем лангом, известным кинематографистом, который хотел снять фильм о приключениях женщины, улетающей на Луну. На съемках должен был состояться настоящий запуск ракеты, но она взорвалась.

Начиная с 1922 г., по окончании учебы в Гейдельбергском университете, этот молодой человек безуспешно пытался защитить перед консервативной комиссией докторскую диссертацию по межзвездным полетам. В 1923 г. он получает степень доктора физико-математических наук, а милая его сердцу диссертация все же будет им опубликована под названием "Ракета к межпланетным пространствам". В борьбе со своими все более ограниченными оппонентами, которые отрицают очевидность результатов его опытов, что, к сожалению, явление довольно частое в нашей повседневной жизни, он в течение почти десяти лет вынужден преподавать в провинциальном колледже. В этот период его работы носят в основном теоретический характер. Находясь в полном неведении, как обстоят дела с уже произведенными его предшественниками по теории космических полетов расчетами (Герман Гансвиндт, К.Э.циолковский, бельгиец Андре бинг, Робер эсно-пельтри и Роберт годдард, чтобы указать лишь уже процитированных предшественников), он снова введет в уравнение скорость объекта своей мечты и выдвинет идею многоступенчатых ракет и жидкого эргала, что было сделано уже более чем за двадцать лет до того. Но нет худа без добра: в 1929 г. в результате столь упорного труда молодой профессор опубликует вышеназванный труд, который Р.эсно-пельтри оценил как настоящую "библию научной астронавтики", а в 1931 г., через 5 лет после запуска ракеты Р.годдардом, аппарат "Мирак 2", созданный ассоциацией исследователей под его руководством, поднимется в воздух на 1600 метров.

- 1616 г. Воздействие света на траекторию небесных тел, открытое кеплером, при ориентации кометных хвостов от Солнца;
- 1873 г. Работы максвелла по электромагнетизму, позволяющие объяснить это явление;
- 1889 г. фор и граффини, французские писатели-фантасты, придумывают космический корабль, использующий огромное зеркало, чтобы накапливать давление солнечного света.
- 1901 г. Петр лебедев открывает давление светового излучения;
- 1915 г. Работы Якова перельмана в России;
- 1924 г. Работы Фридриха цандера в Советском Союзе: "С целью осуществления полетов в межпланетном пространстве я работаю над идеей применения невиданных зеркал, сделанных из листов тончайшей фольги и способных получать многообещающие результаты" и пионера астронавтики К.Э.циолковского, который утверждал: *"Земля - колыбель Человечества, но нельзя всю жизнь провести в своей колыбели"*.

3 - РАКЕТА ПРОКЛАДЫВАЕТ ДОРОГУ

В течение трех десятилетий, предшествующих вышеперечисленным событиям, К.Э.циолковский работал над этой проблемой в своем домике в Калуге, где он преподавал математические науки. Его рукописи, представленные в виде курса лекций, в основном были опубликованы в 1903 г., после пяти лет проволочек. В глазах тогдашних официальных авторитетов данная тема представляла мало интереса. С течением времени наработки исследователя давали возможность переиздавать и последовательно публиковать результаты. На его рабочем столе эти результаты приобретали законченный вид. Из уравнины, авторство которого ему впоследствии было приписано, следовала необходимость увеличить скорость выбрасывания вещества. Что бы там ни было, уже в 1903 г. теоретическая ракета этого кабинетного ученого была запущена на жидком эрголе и принцип многоступенчатой ракеты вырисовывался в чертежах. Каждый год ученый откладывал про запас новые результаты без их публикации. Однако после 1913 г. научные горизонты проясняются, его статьи вызывают всевозрастающий интерес в широких слоях публики. Научные редакторы, заинтересовавшись этим новым подходом к небесным телам, будут рекламировать труды провидца. Накануне Октябрьской революции труд ученого вступает в стадию завершения.

Начиная с 1917 г. наблюдается новый подъем. В молодом Советском Союзе освоение космоса идет полным ходом. В 1921 г. лаборатория динамики газов обосновывается в Ленинграде. В 1924 г., по следам К.Э.циолковского, отныне считающегося отцом космонавтики, Фридрих цандер, 37 лет, возглавляет "секцию межпланетных сообщений" в Академии наук. В 1929 г. к лаборатории динамики газов присоединяется секция ракет на жидком топливе, руководимая В.П.глушко, которому 21 год. В 1930 г. Ф.А.цандер, всегда на переднем крае науки, собирает молодых ученых, увлеченных большим делом, в "Группу изучения реактивного движения" (ГИРД). Их около тысячи, тех, кто с энтузиазмом берется за дело. В этом все увеличивающемся в объеме организме можно назвать имена цандера как стоящего во главе; профессора рынина и доктора палермана, уже давно работавших над проблемой, а также тихонравова, аккуратного исполнителя, недавно появившегося С.П.королева и, конечно, В.П.глушко, специалиста по ракетным двигателям на жидком топливе. В двадцатые годы революция в ракетной технике пережила фазу подъема, расцвета. К.Э.циолковский удостоен почетных званий, почестей и премий. Он избран почетным членом Академии наук, а также Военно-Воздушной Академии. Его работы широко пропагандируются. Вскоре он завершит свои труды и все их передаст в дар в соответствующие инстанции Советского Союза. По всей вероятности, барьер замкнутого образа жизни из-за врожденной глухоты никогда не был преодолен. Внешние события доходили до него как бы через фильтр. В конце концов, чтобы ничего не упустить, он все открывает и переоткрывает сам. Кто подведет итог упущенным возможностям? В начале тридцатых годов новые люди приняли эстафету. В 1932 г. ракета на жидком топливе будет запущена на высоту 400 метров. Отныне командование Красной Армии будет осуществлять контроль за каждым запуском от имени РНИИ под руководством Сергея королева. Молодому ученому 25 лет.

В Германии в то же самое время мы видим параллельную эволюцию. Начиная с 1930 г. один молодой капитан Вермахта, по имени Вальтер дорнбергер, получает от своего начальства поручение контролировать молодых людей, которые, по следам Германа оберта, собираются добровольно на одном столичном пустыре и запускают ракеты на порохе или жидком эрголе. Спустя год одна из ракет взлетит на 1600 метров. Среди инициаторов этих запусков, возглавляющих более восьмисот исследователей мы видим Иоганнеса Винклера, небеля, Вилли Лея, молодого инженера риделя и фон брауна, которому 18 лет. Спустя еще несколько месяцев капитан дорнбергер предложит Вернеру фон брауну, отличающемуся своей инициативностью, широкую поддержку с целью создания более совершенных ракет. Согласие получено. Ставки сделаны. В Берлине, как и в Москве, исследования будут ориентированы на военные нужды. С приходом к власти гитлера режим ужесточится в обоих лагерях: немцы и русские параллельно засекретят космические исследования до их исторического завершения. Отныне фон браун и королев будут находиться у руля. Оба познают немало превратностей судьбы. Но главные их достижения перейдут по наследству к потомкам.

- 1951 г. Публикация первой научной статьи "Clipper Ships of Space" Карла Вилея в журнале *Astounding Science Fiction*;
- 1955 г. Герман оберт развивает понятие "космического зеркала" в своем труде "Люди в космосе";
- 1958 г. Введение термина "Солнечный парусник" американским инженером Ричардом гарвином в детальном исследовании на эту тему (мартовский номер журнала "Jet Propulsion");
- 1959 г. Тед коттер выдвигает идею вращающегося паруса;
- 1963 г. Публикация новеллы Артура К.кларка "The Wind from the Sun", в которой описываются соревнования солнечных парусников от Земли до Луны. Интересно отметить, что U3P использовал ту же идею еще до того, как до него дошла информация об этой новелле;
- 1963 г. Пьер буль (автор "Pont de la rivière Kwai") публикует "La planète des Singes" ("Планета обезьян"), роман, в котором также фигурируют солнечные парусники (но которых нет в фильме);
- 1970 г. Эффект давления солнечного света используется для ориентации в пространстве зонда Mariner 10 во время его полета к Меркурию;
- 1976 г. NASA и ESA начинают работу по подготовке солнечных парусников с целью достижения кометы галлея в 1986 г. Проект закрыт в 1977 г., так как оставалось слишком мало времени для разработки этой новой технологии.

4 - Рождение солнечных парусников

Несмотря на все препятствия, идея солнечных парусников не была предана забвению. Ничтожно малое, неощутимое кожей прикосновение солнечного ветерка продолжает нести свои девять граммов на гектар в небольшом уголке Млечного пути; достаточно будет ракете-носителю вывести груз на космическую орбиту, чтобы доверить его этому постоянному благотворному потоку, уносящему его к отдаленнейшим уголкам Вселенной. В добрый путь! Моряки былых времен пробуждаются. Мы должны использовать ветры Вселенной. Мы должны точно рассчитать траектории, чтобы отталкиваясь, продвигаться от одной планеты к другой. Безостановочное движение в течение годов, десятилетий, веков. Невообразимые скорости, неисчерпаемые возможности... Фундамент заложен. королев и фон браун поставили ногу в стремя. Несмотря на предпочтение, отданное военным целям и химическим способам движения, идея солнечного паруса не забыта. И это самое главное.

А тем временем, увы, надо отметить, что несмотря на работы Ф.А.цандера, который, при поддержке народного энтузиазма еще в 1924 г. строил планы запуска "сверхлегких зеркал, действующих как паруса", этот способ перемещения в космосе был пока в стадии проекта в конце восьмидесятых годов.

В 1973 г. в США по инициативе "Jet Propulsion Laboratory" (JPL) был начат один проект, который, вопреки гениальности его авторов, был быстро свернут, а группа Джерома райта, которая вынашивала идею облета кометы галлея, столкнулась с ограничениями, наложенными NASA на их программу.

Наконец, в области практических достижений, в конце столь долгого пути честь развертывания на низкой орбите первого солнечного паруса принадлежит очень прагматичному русскому инженеру Владимиру сыромятникову из РКК "Энергия". Солнечный парус родился 4 февраля 1993 г. и был назван "Знамя".

Наступит ли день, когда солнечные паруса будут обеспечивать грузовые перевозки между небесными телами? Это весьма вероятно. Союз за Развитие Светового Движения, известный под сокращением U3P, возобновил свою деятельность после различных попыток в этой области и, по указанию Ги пиньоле ищет возможность запустить, по случаю столетнего юбилея Французского Аэроклуба, последний вариант аппарата "Знамя", оснащенный системой ориентации в пространстве. Пожелаем ему удачи, так как, наподобие парусников былых времен, солнечный парусник предназначен для дальних полетов в космос, а не для маневров вблизи Земли.

1979 г. Роберт стейл и американские исследователи из JPL (Jet Propulsion Laboratory) решают продолжить идею создания солнечного паруса, создав WSF (World Space Foundation);

1981 г. Создание во Франции U3P (Союза за Развитие Светового Движения), цель которого - построить солнечный парусник и организовать гонку от Земли до Луны;

1982 г. Создание в Японии SSUJ (Solar Sail Union of Japan) инженерами Института ISAS (Institut of Space and Astronautical Science, который является космическим агенством Министерства Национального Образования);

1985 г. Региональный Совет Южных Пиринеев принимает вызов U3P, решив финансировать организацию гонки. После двух блестящих пресс-конференций, в Париже и Стокгольме, в рамках Международной Федерации Астронавтики (IAF). К сожалению, продолжения не последовало;

1988 г. Клаус хейс, американский экономист, предлагает организовать, в ознаменование 500-летия открытия Америки, регату солнечных парусников "Columbus 500" от Земли до Марса. Проект не осуществлен за отсутствием финансирования;

1989 г. Принцип гонки, представленный U3P, WSF и SSUJ, одобрен Международной Федерацией Астронавтики (IAF), всемирной организацией, объединяющей большинство профессионалов космоса;

1990 г. Испанские космические инженеры создают CVS (Comición Vela Solar) и присоединяются к U3P. Собравшись в Париже, члены этих ассоциаций решают создать Комитет по Гонке Земля-Луна EMRC (Earth Moon Race Committee) и организовать одновременный запуск солнечных парусов. IAF будет выступать арбитром в этой гонке;

1991 г. Создание Европейского Солнечного Парусника (VSE), в функции которого входит разработка европейского солнечного парусника;

1992 г. IAF создает рабочую группу "Солнечный парус" (SSWG Solar Sail Working Group) и утверждает регламент проведения гонки Земля-Луна, которой дается название Luna Cup;

1993 г. 4 февраля - развертывание русскими из SRC (Space Regatta Consortium) солнечного зеркала "Знамя", который является прообразом будущих солнечных парусов;

1995 г. U3P открывает свою страницу в Интернете: <http://www.ec-lille.fr/u3p>. U3P принят в IAF;

1997 г. Солнечный парус продолжает полет с момента начала виртуальной гонки на Интернетe и создания рабочей группы DAEDALUS при ESTEC (технический центр Европейского Космического Агентства ESA).

5 - Солнечная система

Солнце излучает фотоны, т.е. электромагнитную волну, могущую быть уподобленной частицам света; оно также излучает, среди прочих частиц, тяжелые ядра, электроны и протоны, которые составляют солнечный ветер.

Распространенная ошибка состоит в ассоциировании солнечного ветра и фотонного движения. Между этими явлениями нет никакой связи. Фотоны, отражаясь от поверхности паруса, сообщают ему пусть малую, но постоянную часть своей энергии. Тяжелые ядра солнечного ветра распространяются со скоростью от нескольких сотен до нескольких тысяч километров в секунду вдоль силовых линий межпланетных магнитных полей, а солнечные фотоны перемещаются по прямой со скоростью 300 000 километров в секунду.

В целом, в нашей солнечной системе космический корабль подвержен гравитационному притяжению Солнца и планет. Если он находится вблизи какой-либо планеты, то гравитационное притяжение этой планеты будет преобладающим. Находясь на орбите вокруг Солнца (как сами планеты) или на околопланетной орбите, солнечный парус в качестве летательного аппарата обладает оригинальной характеристикой в отличие от обычных спутников: к различным силам притяжения, оказываемым на него и определяющим его траекторию полета, постоянно добавляется сила фотонного происхождения, которая может быть использована для изменения первоначальной траектории.

Солнечный парус является зеркалом, отражающим падающий на него световой луч. Действие порождает противодействие. Фотонное давление, оказываемое солнечным светом, воздействует перпендикулярно поверхности паруса. Ориентируя этот парус, возможно выбрать направление, при котором возникнет ускорение, и, следовательно, способ изменения орбиты. Здесь надо различать два простых случая, в зависимости от вида орбиты: гелиоцентрическая (вокруг Солнца) или околопланетная (вокруг Земли).

Орбиты вокруг Солнца имеют долгие периоды (один год для Земли, например), поэтому возможные изменения направления не могут быть очень быстрыми.

Вокруг такой планеты, как Земля, угловая скорость гораздо больше (спутник на низкой орбите совершает виток за полтора часа или за сутки на геостационарной высоте, т.е. 36000 км). Для использования силы светового давления вокруг Земли будет необходим более точный и быстрый расчет, чем в случае гелиоцентрической орбиты.

Кометы, астероиды, метеориты - небольшие тела Солнечной системы, которые в процессе формирования Солнечной системы путем аккреции (нарастания вещества) не смогли присоединиться ни к одной системе. Они являются наиболее выгодными мишенями. Многие космические зонды были им посвящены с момента начала освоения космоса, и намечаются большие мероприятия на XXI век, в частности, запуск зонда Розетта (в 2003 г.) к комете Виртанена, чтобы достичь ее в 2011 г. с целью проведения физико-химических проб.

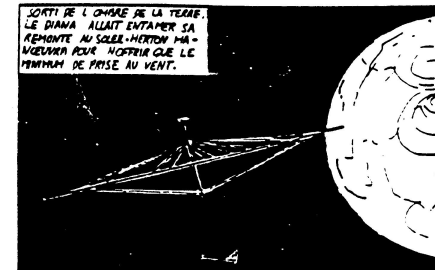
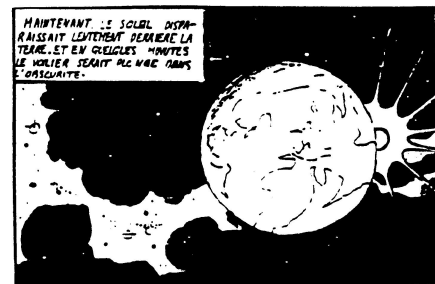
Кометы сформировались при рождении солнечной системы, и большинство из них не изменились с момента формирования. С этой точки зрения они представляют

большой научный интерес. Конец текущего тысячелетия был отмечен визитом 4 замечательных комет:

- в 1986 г. - возвращение кометы галлея;
- в 1994 г. шомейкер-леви SL-9(C1-9) раскололась вблизи Юпитера более чем на 20 кусков под действием гравитационных сил и разбилась о планету;
- в 1996 г. комета якутаки сверкает в июньском небе;
- в 1997 г. комета холл-боппа дарит землянам незабываемое зрелище в течение трех месяцев.

Астероиды, малые твердые тела, диаметром от нескольких километров до нескольких сотен километров, вращаются вокруг Солнца, но в основном между Марсом и Юпитером. Они представляют собой неисчерпаемый источник сырья. Метеориты имеют размер от мельчайшей пылинки до величины астероидов. Земля получает ежегодно много тысяч тонн таких пылинок разных размеров. Часть их сгорает в атмосфере в виде метеоров или падающих звезд, другие достигают поверхности Земли к большой радости коллекционеров и ученых.

Метеориты, также как и образцы лунных пород, привозимые из космических экспедиций, являются единственными телами внеземного происхождения, которые могут быть изучены в лаборатории.



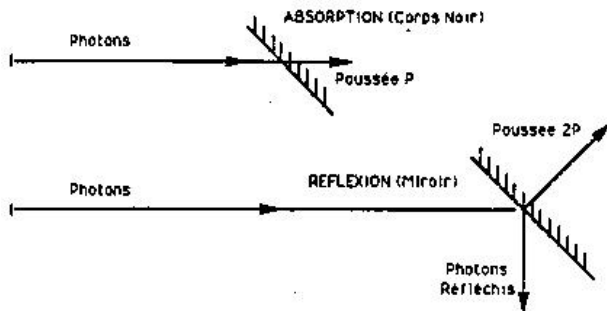
1. Теперь Земля медленно закрывает собой Солнце, и в считанные минуты парусник погрузится в темноту;
2. Эта переходная фаза очень напряженная: парус будет подвержен сильным температурным колебаниям и, в отсутствие света, он продолжит полет как неуправляемый болид;
3. Выйдя из земной тени, парусник "Диана" собирался начать свое движение к Солнцу. Мертон развернулся, чтобы свести к минимуму воздействие солнечного ветра.

6 - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Понятие солнечного парусника

Принцип действия солнечного парусника :

Солнечный парус приводится в движение давлением излучения Солнца, давлением, оказываемым светом, фотонами, когда они "отскакивают" от поверхности паруса. Это давление излучения в сотни-тысячи раз сильнее, чем давление солнечного ветра (ветра, создаваемого тяжелыми ядрами).



Солнечный парус - это зеркало с высокой отражательной способностью. Когда фотоны сталкиваются с поверхностью этого зеркала, они передают ему количество движения. Чем больше площадь зеркала солнечного паруса, тем сильнее полученный импульс. И чем этот парус легче, тем больше ускорение.

Результирующая сила перпендикулярна поверхности паруса. Меняя ориентацию паруса (изменение поведения), можно направить силу движения и, следовательно, управлять солнечным парусником.

Фотоны и гравитация :

Сочетание силы ветра и силы трения воды на поверхности озера приводит в движение парусное судно; ветер воздействует на парус определенным образом, сила инерции воды воздействует на погруженную в нее часть. Сложение двух сил определяет траекторию судна. Подобным образом, сочетание управляемых воздействий фотонного потока в заданном направлении и силы гравитации позволяет летательному аппарату с солнечным парусом свободно перемещаться в пространстве.

Но в эту аналогию необходимо ввести динамическую характеристику: в отсутствие ветра траектория парусного судна остается прямой; в отсутствие фотонного давления остается неизменной гравитационная орбита солнечного парусника.

Для перемещения в Солнечной системе космический корабль должен изменить свою траекторию, воздействуя на свою мгновенную скорость и на ориентацию плоскости своей орбиты.

В первом приближении, все тела Солнечной системы, малые и большие, движутся вокруг Солнца, описывая эллиптические орбиты. Открытое Кеплером в 1609 г., это явление, вытекающее из законов гравитации, ставит в прямую зависимость скорость объекта от его удаленности от Солнца. Меркурий, наиболее близкая к Солнцу планета, описывает свою орбиту быстрее, чем все другие планеты. Земля пробегает ежегодно 940 миллионов километров со средней скоростью 30 км/с. Марс, более удаленный от Солнца, имеет скорость лишь 24 км/с.

Чтобы запустить какой-либо аппарат с Земли на инерциальную траекторию (без придания ему дополнительного движения), где скорости задаются астрономическими законами, необходимы серьезные поправки при взлете и посадке. Это то, что обычно делается при запуске ракет на классическом принципе, придавая им тягу, которая почти мгновенно изменяет скорость.

В случае солнечного паруса используется тот же принцип, но он действует более протяженно во времени. Плоскость паруса ориентируют так, чтобы получать реакцию фотонов в направлении скорости на орбите с целью ускорения и в противоположном направлении - с целью торможения. Это приводит к получению спиралевидной траектории: раскручивающейся спирали в случае ускорения, свертывающейся спирали в случае торможения.

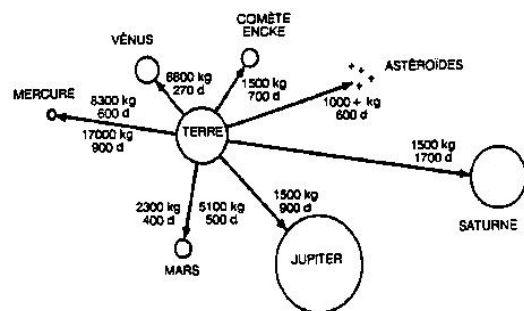
Чтобы это использовать, постоянно измеряют траекторию, не потребляя при этом топлива. "Такова мощь, такова неотразимая красота полета с солнечным парусом. Для продвижения вперед нет необходимости ни в каком топливе; природа сама предоставляет его нам" (Льюис фридман). С энергетической точки зрения, здесь появляется перспектива безграничных возможностей.

Каково значение силы тяги ?

Солнце испускает огромное количество световой энергии, которая рассеивается с квадратом расстояния. Вблизи поверхности Земли сила давления, оказываемого солнечным излучением, порядка 9 граммов на гектар. Отсюда очень слабое ускорение, которое становится контролируемым и удваивается, когда оно воздействует на зеркало.

Давление = $4,5 \cdot 10^{-6}$ паскалей
(в 1 у.а. от Солнца)

Давление фотонов, оказываемое на протяжении дня, месяца, года, не может не оказывать значительного влияния на протяжении столь длительного времени. В идеале, квадратный парус со стороной 800 метров и в 2,5 микрона толщиной мог бы доставить груз в 5 тонн на Марс за 500 дней или груз в 1,5 тонны на Юпитер за 900 дней, как это видно из схемы Льюиса фридмана, приводимой ниже (d=день).



Таким образом, несмотря на небольшую мощность солнечного парусника, постоянная энергия Солнца позволяет ему осуществлять значительные изменения траектории в сравнительно короткое время. Эта маневренность, сочетающаяся с теоретически бесконечным сроком функционирования в космосе, обеспечивают ему надежную занятость в области межпланетных обменов.

Околосолнечные орбиты могут служить местом увлекательных гонок, но не являются преимущественным местом использования будущих солнечных парусников. Максимальная эффективность их будет получена на гелиоцентрических орбитах с целью бороздить из конца в конец по всей Солнечной системе.

7 - Ограничивающие факторы

Солнечный парус будет подвержен общим для всех космических аппаратов ограничениям, а также и своим собственным.

Космическое пространство является жестокой и враждебной средой по многим причинам :

- Разница температур между частями, освещенными Солнцем и находящимися в тени, очень велика. Теплообмен с окружающей средой может происходить только радиационным путем (ни теплопроводность, ни конвекция невозможны);
- Вакуум также создает эффект притягивания одних материалов к другим. Смазывание движущихся частей является особенно тонкой проблемой (особенно когда речь идет о разворачивании парусов);
- Как только аппарат запущен, единственным способом вмешательства будет дистанционное управление. Прежде чем объявить спутник готовым к полету, надо убедиться, путем моделирования, проб и испытаний в подобных средах в том, что шансы на успех достаточны. Выбор резервных стратегий и переструктурирования бортовых систем - очень сложная проблема;
- Возможности средств связи между космическим аппаратом и контролирующим его центром на Земле ограничены в пространстве. Надо априори осуществить жесткий отбор необходимых параметров: скорость, поведение, удаление, возможные отклонения и т.п.;
- Космическое пространство не есть полный вакуум. Оно пересекается потоками тяжелых ядер солнечного происхождения (солнечный ветер), микрометеоритами и даже обломками космических кораблей (которые представляют постоянную угрозу для действующих спутников). В некоторых местах земной атмосферы, например, в поясах радиации дозы накопленной радиации очень чувствительны для бортовой электроники, что обуславливает выбор составных частей, стойких к воздействию радиации.

Если космическое пространство является суровой средой, то условия ее достижения в процессе запуска тоже таковы :

- Ускорение ракеты-носителя в некоторые моменты запуска порядка 5 g, что вынуждает соразмерять масштабы оборудования таким образом, чтобы оно выдерживало в 5 раз большую нагрузку, что на Земле;
- Пусковая установка в любом случае должна быть мощной. Вибрация и удары на различных этапах полета, равно как и акустическое давление, испытываемое запускаемым аппаратом, очень значительны;
- По экономическим соображениям спутник должен быть как можно легче: лишь 1-2% запускаемой массы будет выведено на орбиту;

- На первых этапах прохождения земной атмосферы спутник должен быть защищен оболочкой. Она неминуемо будет иметь ограниченные размеры, поэтому солнечные антенны и приборы должны быть сложены. На орбите необходимо будет безопасно их развернуть, однако опыт показывает, что эта проблема влечет за собой многие другие во время космических полетов.

Некоторые из этих ограничений проявляются специфически в случае солнечных парусов :

- Соотношение размеров сложенного летательного аппарата в процессе запуска и развернутого аппарата в рабочем виде гораздо более значительное, чем для классических спутников: надо увеличить диаметр от 3 метров до нескольких десятков метров. Процесс разворачивания является наиболее ответственной фазой полета солнечного паруса;
- Большая площадь и легкость делают солнечный парус достаточно гибким. Управление парусом должно учитывать эту особенность его структуры;
- Решающим является выбор материала, несущего покрытие с металлическим блеском, которое обеспечит оптическое качество отражения потока световых частиц. Необходимо сохранить гладкость поверхности после разворачивания и также сохранить ее механические характеристики в продолжение всего полета (умеренное старение под действием частиц и особенно ультрафиолетового излучения);
- Отношение площади паруса к его массе, решающий фактор его эффективности, должно быть доведено до наиболее высокого значения; для классического же спутника его размеры и масса являются параметрами, определяющими его стоимость и условия запуска и не влияющими на его функционирование.

Технологии прогрессируют быстро и то, что сегодня представляется сложным, возможно, будет решено в ближайшие годы.

"Космос, жестокая и враждебная среда"
серия BT ESPACE, CNES - PEMF 1994

"... Газовая атмосфера, окутывающая нашу планету, и ее естественное магнитное поле защищают нас от суровой космической среды, о жестокости которой мы не подозревали до получения данных от многочисленных космических аппаратов, запущенных в течение более тридцати лет: почти полный вакуум, значительные колебания температур, потоки частиц, излучения и всевозможные обломки..."

8 - Техническое обеспечение

Солнечный парус остается еще не включенным в экономическую жизнь. Включение в бюджетные расходы не всегда легкое дело. Вот почему все неспецифическое оборудование должно выбираться из того, что уже существует на рынке.

Разработка и создание различных типов парусов

Материал :

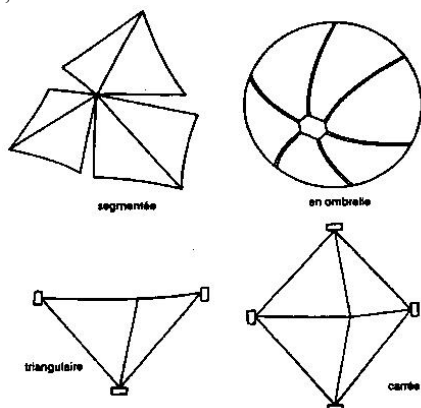
Парус представляет собой лист легкого, гладкого, тонкого, способного отражать материала. Этот материал нужен, чтобы создать тонкую пленку, служащую основой для металлического отражающего покрытия, чаще всего алюминиевого.

В исследованиях по солнечному парусу, предназначавшемуся для облета кометы галлея, ученые из американской лаборатории JPL опробовали все типы полимеров. Милар и каптон оказались оптимальными. Под покрытием в 8 микрон они могли бы обеспечить основу для паруса, тщательно обработанного с целью избежать электростатических зарядов, местного отслаивания, сморщивания, разрывов и других неполадок, при этом их плотность не превышала бы 10 г/м². На последующем этапе и для увеличения полезной загрузки толщина могла бы быть уменьшена до 2 микрон благодаря нанометрической стратификации. Этот способ распыления в вакууме путем последовательного нанесения слоев толщиной порядка одной миллионной миллиметра позволяет довести расход металла до толщины в 0,1 микрона (при толщине менее 0,02 микрона фотоны проходили бы через металл вместо того, чтобы отскакивать; таким образом, не создавалось бы фотонного давления). Рассматриваются даже случаи (см. проект "Аврора" когда после разворачивания пластиковая основа может быть удалена путем испарения для получения полностью металлического сверхлегкого паруса.

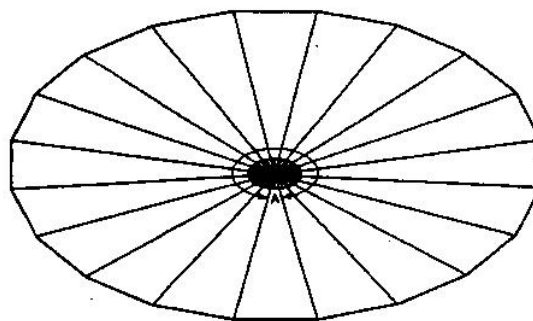
Различные типы парусов

Чтобы противостоять всем опасностям: колебаниям, вибрациям, явлениям резонанса и др. помехам, порождаемым изменением местоположения в пространстве, предлагаются различные типы парусов и оснащения.

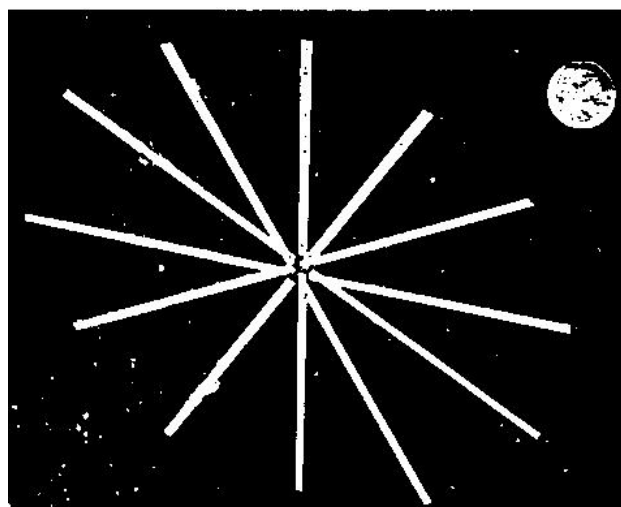
1 - Квадратный парус (форма его также может быть треугольной, прямоугольной или шестиугольной): он устойчив и удерживается посредством классического оснащения (шесты и распорки), но из-за его высокого соотношения массы и поверхности, его эффективность невысока;



2 - Дисковый парус, форма которого поддерживается вращательным движением: он позволяет избежать многих рисков при разворачивании, но механизм управления им (создание вращательных сил относительным перемещением центров тяжести и подъемной силы) довольно сложен. Единственный парус, созданный до сих пор (Знамя 2, разработанный русским инженером Владимиром Сыромятниковым) является ротационным, но еще не пилотируемым;



3 - Гелиогиропарус - смелое решение, предложенное в Пасадене Ричардом мак нилом и Джоном хеджипатом, для сопроводительного полета с кометой галлея, имел бы 12 лопастей шириной 8 метров и длиной 7500 метров каждая, поддерживаемых в медленном вращении центробежной силой. Наклон лопастей позволил бы изменять местоположение в пространстве.



На настоящий момент существует лишь три эти возможности. Что предпочесть? Жесткость конструкции, стабильность поведения в пространстве, точность управления? В час выбора необходимо будет подумать и о полезной нагрузке, научной или коммерческой.

Но прежде чем составлять опись отсеков, не будет ли более срочным и первоочередным найти способ упаковать в ограниченном объеме, свернуть и снова развернуть эти странные паруса длиной в несколько сотен метров? Свернуть их цилиндром? Складывать их слоями друг на друга? Это новая головоломка, японское искусство "оригами", непознанное еще мастерами парусного спорта. Если только не придумать способ создавать прямо на орбите идеальную отражающую пленку!

9 - Владимир СЫРОМЯТНИКОВ

Поиски

Первое применение принципа фотонного движения относится к семидесятым годам, когда 4 ноября 1973 был запущен зонд Маринер 10 к планете Меркурий. Поскольку контроль за поведением зонда действовал плохо, это приводило к перерасходу азота. Чтобы не прерывать полет из-за нехватки азота, инженеры вынуждены были ориентировать солнечные панели так, чтобы давление фотонов позволяло выведение на такую солнечную орбиту, чтобы Маринер-10 и Меркурий встречались на некоторое время каждые 176 дней.

Летательный аппарат не был, строго говоря, солнечным парусником, но принцип паруса здесь был применен впервые.

В лаборатории JPL в 1976 г. инженеры NASA начали исследовать возможность сопровождения кометы галлея во время ее пролета рядом с Солнцем в 1986 г. Были предложены два проекта: гелиогирипарус, огромный парус из вращающихся лопастей, и квадратный парус, поддерживаемый диагональными шестами или распорками. Однако NASA не субсидировало ни один из этих проектов по бюджетным соображениям.

В то же время подобные исследования были проведены ESA для квадратного паруса со стороной длиной в один километр.

Владимир сыромятников

Во второй половине пятидесятых годов Владимир сыромятников был приглашен Сергеем королевым, генеральным конструктором советских космических кораблей, вместе с которым он участвовал в создании первого спутника. Затем он разработал и создал систему крепления, использованную в первый раз во время стыковки космического корабля "Аполлон" с советским кораблем "Союз" 17 июля 1975 г., за что он был награжден Ленинской премией. В 1995 г. он разработал новую систему (APAS) стыковки американского корабля многоразового использования и русской орбитальной станции "Мир", за что он был провозглашен американскими властями "инженером года". Между тем, 4 февраля 1993 г. его усилия по созданию солнечного паруса привели к развертыванию на орбите аппарата "Знамя 2".

Джером РАЙТ

Получив диплом аэрокосмического инженера (в 1967 г., Обернский университет), а также после четырех лет работы в американских BBC, он переходит в Battele Memorial Institute г. Колумбус (штат Огайо). По заданию Дональда эджикомба он изучает траекторию полета космического корабля с солнечным парусом, делающую возможной его встречу с кометой галлея. По совету Люиса фридмана и Чонси апхоффа, он вступает в JPL, где руководит разработкой солнечных парусов. Несмотря на обнадеживающие результаты и поддержку директора Лаборатории Брюса мюррея, исследования были остановлены по финансовым мотивам. Тогда он создает фирму General Astronautics для разработки недорогих летательных аппаратов. Он излагает свой опыт в книге "Space Sailing", опубликованную Gordon et Breach в 1982 г.

Маринер

Разведывательные зонды, запущенные американцами с 1962 по 1974 г.: Маринер 2, первая ракета для полета к Венере, запущена 13 декабря 1962 г.; Маринер 4, первая ракета к Марсу, запущена 17 июля 1965 г., с нее получен 21 снимок; Маринер 10, первое использование гравитационного эффекта, в данном случае Венеры, для полета к Меркурию.

В 1981 г., после конгресса IAF, создается U3P с целью организации соревнования солнечных парусов между Землей и Луной. Потенциальные кандидаты –

американцы и японцы - присоединились к этой идее и учредили, совместно с U3P, Earth-Moon Race Committee (EMRC) для координации усилий как в техническом плане, так и в организации космической регаты Земля-Луна;

В 1993 г. группа русских исследователей под руководством Владимира сыромятникова осуществила запуск паруса под названием "Знамя", диаметром 20 метров, с борта технического корабля "Прогресс" после его отстыковки от орбитального комплекса "Мир";

В 1996 г. с борта американского корабля многоразового использования был проведен опыт по развертыванию с помощью надувных мачт Spartan 207 (круговой отражатель диаметром 14 метров), что явилось еще одной демонстрацией, технологически полезной для развития будущих солнечных парусников;

В настоящее время, идет ли речь о парусах, стабилизируемых вращением или удерживающих форму с помощью жесткого крепления, имеются разработанные технологии. Ничто не мешает перейти к делу.

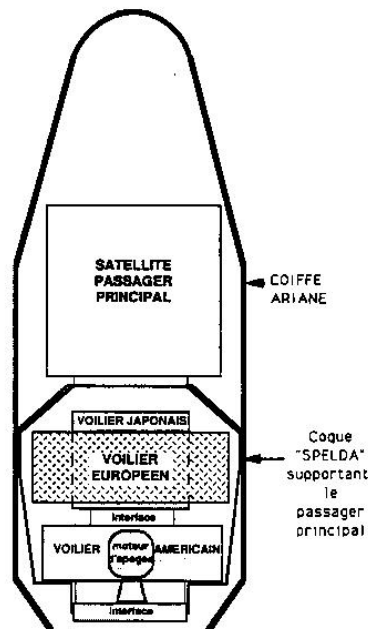


Figure: ГЛАВНЫЙ СПУТНИК ОБОЛОЧКА АРИАН ЯПОНСКИЙ ПАРУСНИК ОБОЛОЧКА "SPELDA", несущая главный спутник ЕВРОПЕЙСКИЙ ПАРУСНИК Интерфейс АМЕРИКАНСКИЙ ПАРУСНИК Двигатель апогея Интерфейс По первому сценарию, созданному

в 1992 г. для Luna Cup, парусники должны были быть запущены ракетой Ариан в случае двойного запуска. Они должны были быть выведены на исходную орбиту, которая находится за геостационарной орбитой. После отделения парусники должны были быть развернуты и ориентированы по отношению к Солнцу для начала гонки. Процесс развертывания остается самым тонким моментом функционирования парусника. Испытания были проведены U3P на макетах в Caravelle Zéro-G cnes.

Прогресс

Автоматический космический корабль технического назначения, используемый для доставки на орбитальную станцию "Мир" оборудования, воды, продовольствия, топлива и т.п. Корабль может быть использован для научных экспериментов, как это было в случае паруса "Знамя 2". В конце своей миссии корабль направляется к Земле, вместе с отходами работы станции и непригодным оборудованием, где все сгорает в плотных слоях атмосферы.

10 - Навигация под солнечным парусом

Сила давления, действующая в одном направлении со скоростью, заставляет объект двигаться по спирали в направлении от центра. Сила давления, действующая в направлении, противоположном скорости, заставляет объект двигаться по спирали в направлении к центру. Сила давления, действующая перпендикулярно направлению вектора скорости, изменяет плоскость орбиты.

Чтобы изменить свою орбиту,

классические спутники снабжены соплами, которые выбрасывают с большой скоростью газ, образующийся в результате химической реакции. В масштабе продолжительности жизни спутника эти маневры могут считаться незначительными по времени. Они приводят к перемещению спутника с его первоначальной орбиты на новую, определяемую точкой, где совершен маневр, который при этом определяет вектор скорости.

В случае солнечного паруса

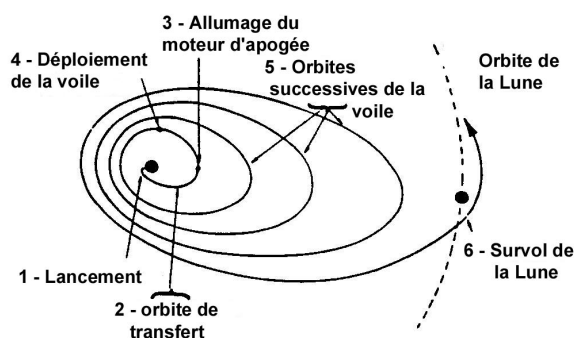
изменение траектории полета есть перманентный процесс, результат которого на орбите определяется не сразу, а после проведения более сложного математического анализа. Определяющим параметром для контроля орбиты солнечного паруса является угол между перпендикуляром к парусу и вектором его скорости.

Интересно отметить,

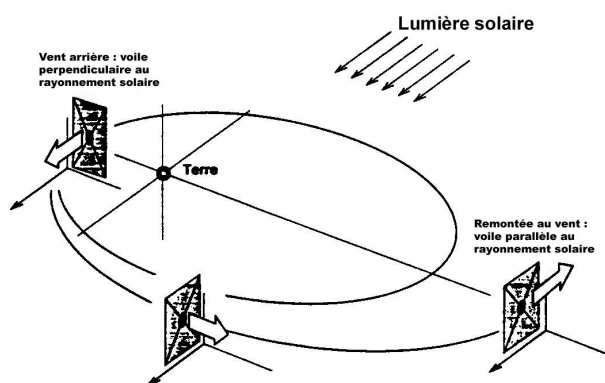
что на гелиоцентрической орбите гравитационное, т.е. притягивающее, ускорение и световое, отталкивающее, давление действуют с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния до Солнца. Из этого следует, что любой расчет размеров паруса будет иметь одинаковые характеристики в любой точке Солнечной системы.

Несколько простых случаев

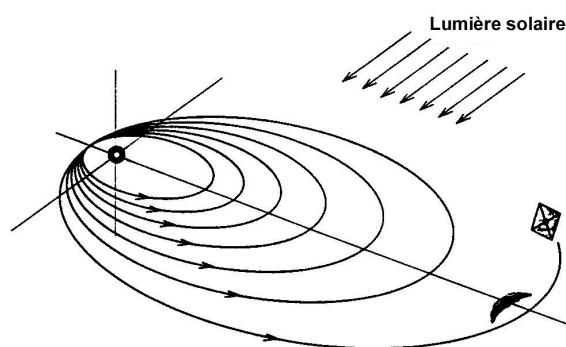
- Ориентация перпендикуляра по вектору скорости, но в направлении движения, приводит к спирали, направленной наружу.
- Напротив, если парус ориентирован так, что перпендикуляр к нему совпадает с вектором скорости, но направлен против движения, то скорость паруса будет постоянно снижаться. Таким образом, это механизм торможения, дающий возможность парусу приближаться к притягивающему его объекту по спирали;
- Особо интересный случай представляет "левитация" орбит: если парус, находясь на гелиоцентрической орбите, постоянно направлен к Солнцу, то световое давление как бы обособляется от гравитационного притяжения Солнца. Для паруса все выглядит так, как если бы Солнце имело меньшую массу, что позволяет получить орбиты заданного периода на более близком к Солнцу расстоянии, чем обычно соответствующее этому же периоду.



LES DIFFERENTES PHASES DU VOYAGE TERRE-LUNE



MANŒUVRE AU COURS D'UNE ORBITE AUTOUR DE LA TERRE



LE PREMIER VOILIER QUI ENVERRA UNE PHOTO DE LA FACE CACHÉE DE LA LUNE SERA DÉCLARÉ VAINQUEUR

Figure: Различные этапы путешествия от Земли до Луны 1. Запуск Орбита Луны 2. Выводящая орбита 3. Включение двигателя апогея 4. Развертывание паруса 5. Последующие орбиты паруса 6. Облет вокруг Луны Маневр на околоземной орбите Солнечный свет Ветер сзади: парус перпендикулярен солнечному излучению Земля Подъем по ветру: парус параллелен солнечному излучению Солнечный свет Первый парусник, который пришлет снимок обратной стороны Луны, будет объявлен победителем

11 - Технологические основы управления парусом

Для управления направлением

силы давления и его воздействием на орбиту солнечный парус должен находиться под контролем по отношению к Солнцу и к своей траектории (вектор скорости). На нем должны быть датчики, указывающие на Солнце и определяющие его собственное местоположение по отношению, например, к неподвижным звездам. Эта информация должна обрабатываться либо непосредственно его бортовым компьютером, либо после передачи на землю, чтобы знать, как внести изменения в его поведение. Когда это необходимо, надо применять системы, способные производить определенные операции и могущие заставить парус изменить направление движения. Эти системы могут иметь различную природу: реактивные системы (газовые реактивные двигатели), подвижные закрылки, сами использующие силу светового давления, пассивные или активные самостабилизирующиеся системы (с круговым оборотом, двугранным углом). Они прямо зависят от устройства солнечного паруса, двумя самыми слабыми сторонами которого является его развертывание и система контроля за направлением движения.

Чтобы избежать

судьбы опавшего листа, унесенного ветром, солнечный парус должен иметь оборудование, чтобы выполнять по крайней мере следующие функции :

- связь с наземными станциями: приемно-передающее устройство, антенны;
- контроль поведения (направления): датчики солнечные, звездные, земные, магнитные;
- обработка информации на борту: компьютер, память, часы;
- электрическое питание: солнечные элементы, батареи.

Другие функции также могут оказаться необходимыми на некоторых стадиях полета, такие, как использование дополнительного двигателя для увеличения начальной орбиты или системы слежения за развертыванием паруса.

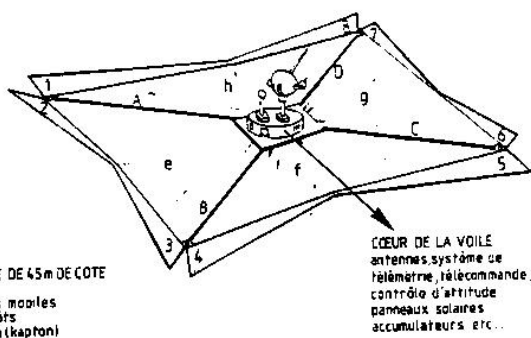


Figure: КВАДРАТ СТОРОНОЙ 45 М СЕРДЦЕ ПАРУСА

с 1 по 8 - подвижные закрылки антенны, телеметрические системы, A.B.C.D. - опоры дистанционное управление, e.f.g.h. - парус (каптон) контроль за поведением, солнечные панели, аккумуляторы и т.п.

Существует две методики для того, чтобы поддерживать солнечный парус в развернутом состоянии :

- 1 использование большой жесткой конструкции
- 2 центробежная сила, создаваемая вращением.

1 Жесткая конструкция:

Сила давления света слаба, и было бы достаточно очень тонкой и легкой конструкции в виде мачт или кольца для удержания натянутого паруса в напряжении, но другие воздействия также оказывают влияние, например, инерция во время маневрирования, тепловые искажения в зависимости от угла падения солнечных лучей и особенно от усилия во время развертывания самой конструкции. Именно эти факторы определяют размеры самой конструкции.

Возможны два типа жестких конструкций:

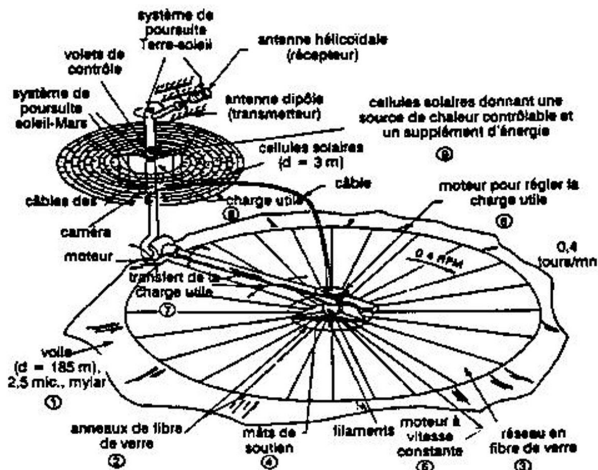
- шарнирные опоры;
- надувные отвердевающие конструкции.

2 Центробежная сила :

Давление, оказываемое центробежной силой на материал вращающегося паруса, удерживает его в натянутом состоянии тем сильнее, чем быстрее вращение. Парус может иметь форму диска ("Знамя") или состоять из длинных лопастей (гелиогиропарус).

Чтобы передвигаться в пространстве, надо знать наше местонахождение (координаты + скорость) и то, что мы хотим получить, чтобы осуществить изменения траектории. Способы управления солнечными парусами аналогичны управлению земными аппаратами :

- закрылки на концах опор или на кромке паруса подходят для управления легкими судами под парусом и стакселем;
- перемещение массы по отношению к центру приложения давления аналогично маневрам серфингиста на доске;
- вращение лопастей гелиогиропаруса аналогично круговым шаговым изменениям, которые мы видим у винтов вертолетов.



система слежения Земля-Солнце контрольные закрылки спиральная антенна (приемное устройство)

система слежения двухполюсная антенна солнечные элементы, Солнце-Мартс (передающее устройство) дающие контролируемый источник тепла и дополнительную энергию 9 солнечные элементы (диаметр 3 м) кабель двигатель регулировки кабели полезная нагрузка полезной нагрузки 8 6 камера 0,4 об/мин

двигатель передача полезной нагрузки 7

парус (диаметр 185 м) 2,5 микрон, милар 1 волокна кольца из поддерживающие стекловолокна опоры двигателя с сеть 2 4 постоянной скоростью из стекловолокна 5 3

Сначала разработали круглые крылья, вращающиеся вокруг своей оси, чтобы стабилизировать парус без применения какой-либо конструкции. Механизм контроля за летательным аппаратом остается сложным. Пример марсианского паруса (Филипп Виллерс, MIT, 1960).

12 - От Земли до Луны

Двадцать первый век будет свидетелем старта LUNA CUP, первой регаты Земля-Луна. Парусники, сначала без экипажей, покинут Землю. Они будут управляться с Земли и достигнут Луны, движимые лишь силой света. Они символически воспроизведут приключения первооткрывателей Нового Света, бороздивших океаны, и предвосхитят ... **МИРНОЕ ЗАВОЕВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ, ГЛАВНОЕ ДЕЛО XXI ВЕКА.**

U3P отвечает за организацию гонки, за общий надзор за запуском с борта европейской ракеты "Ариан" или с русского "Протона", за "рулевое управление" парусником и за обеспечение рекламы эксперимента через акции средств массовой информации и культуры, среди которых мобильный центр управления полетом и космическая выставка будут находиться в центре событий.

Гонка будет длительной*, минимум 10 месяцев по настоящему проекту, который предусматривает около сотни витков, все более и более вытянутых, вокруг Земли. На каждом витке экипажи постараются выиграть несколько тысяч километров с тем, чтобы траектория прошла за Луной.

Победителем будет назван первый парусник, который передаст на Землю снимок центральной части обратной стороны Луны.

По сценарию, написанному в 1992 г., европейский парусник со стороной 45 м и площадью паруса более 2000 м² будет пилотироваться с земли из мобильного центра управления полетом. "Экипаж" получит и обработает данные о траектории, определит стратегию полета и осуществит необходимые маневры.

Этот экипаж будет передвигаться, также как Космическая Выставка и группа спонсоров, по полусотне городов Франции и Европы, и на каждом этапе это будет незабываемое событие. Он будет координировать свои действия с Контрольным Центром в Тулузе, который обеспечит связь с парусником.

По поводу LUNA CUP

"... Солнечный парус гораздо более эффективен в дальнем космосе и на межпланетных орбитах, чем в околоземном пространстве, где он вынужден больше маневрировать. Гонка потребует многих параметров от "паруса-победителя": чрезвычайно сложное управление, совершенный контроль за поведением, динамикой и стабильностью, необходимы также удобоуправляемость и точность..." Люис Фридман

В ожидании Luna Cup...

... виртуальная регата

С момента своего открытия в 1995 г., сервер Web позволил осуществить многие полезные обмены. Так родилась идея передать на Web программное обеспечение моделирования гонки Земля-Луна.

Виртуальная регата на Интернетe, предлагающая стандартный вид интерфейса, позволит любому смоделированному паруснику перемещаться в космическом пространстве с любым программным обеспечением. Эта виртуальная гонка, доступная всем, призвана облегчить исследования школ и университетов и подстегнет дух соревнования.

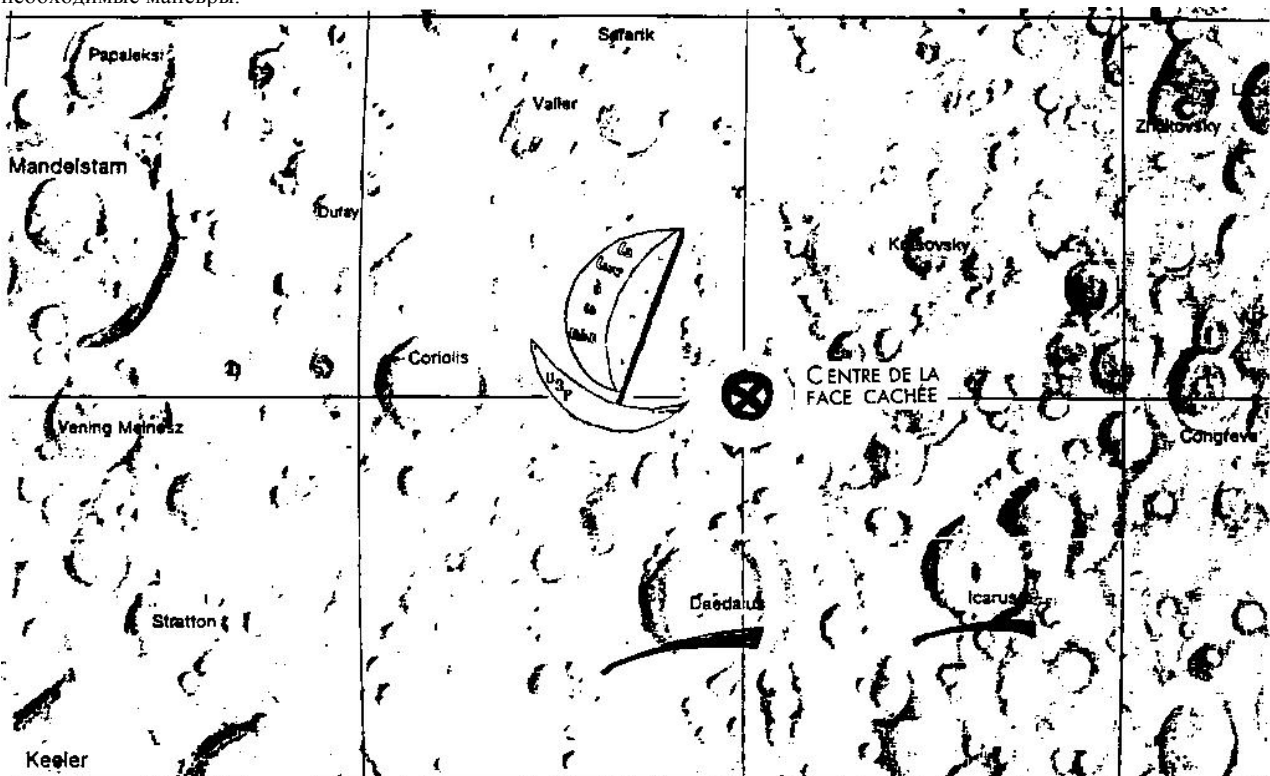


Figure: Мандельштам U3P Центр обратной стороны Луны Дедал Икар

13 - Зеркала будущего

Призванием солнечного паруса являются полеты по межпланетным и даже межзвездным траекториям. Он должен занять достойное место в исследовании Солнечной системы, которое, начавшись в шестидесятые годы, продолжится в XXI веке и будет преследовать самые разные научно-экономические цели.

Парусники послужат для транспортировки исследовательских ракет, имеющих задачей изучение Солнечной системы, и будут доставлять на Землю оборудование и образцы космических пород.

Среди объектов исследования живой интерес в научном плане вызывают астероиды, т.к. они, как и кометы, являются рождающимися свидетелями Солнечной системы, а в экономическом плане - это гигантский резервуар сырья, нехватка которого скажется на Земле через несколько десятилетий.

4 февраля 1993 г. в космосе было развернуто "Знамя 2", первый солнечный парус. Целью его запуска было получить плоское космическое зеркало, чтобы отражать солнечный свет на Землю.

"Знамя 2" - первый парус проекта "Новый Свет - Новый Мир".

Владимир Сыромятников, его создатель, в дальнейшем предполагает развернуть сотню солнечных отражателей, составляющих густую сеть на высоте 1500 и 5500 км, чтобы обеспечивать "солнцем" по заказу: для городов, погруженных в полярную ночь, помощь ночью в случае катастрофы, обеспечение зрелищных мероприятий и т.п. Надо уточнить, что этот заманчивый проект имеет оппонентов: астрономов, которые опасаются возрастания уровня светового загрязнения окружающей среды, мешающего их наблюдениям, а также экологов, которые боятся потрясений в жизни мира животных и растений. Однако этот проект может способствовать экономному и изящному решению городского освещения на периферии больших мегаполисов.

Воздухоплавание под парусом - романтическая идея, существующая в гармонии с природой. Полеты в космосе с зеркалами порождают подобные идеи. Питер Пен, путешествующий на лунном луче, Икар, поднимающийся к Солнцу...

Литература на тему светового движения пока отдана фантастам, поэтам и инженерам-мечтателям. Но как только первые солнечные парусники взлетят в космос, спорим, что бесстрашные рулевые, как вызвавшаяся в добровольцы Флоранс Арто, смело бросят вызов Луне и впоследствии другим планетам. Когда же появятся первые рассказы очевидцев?

Том'а, 7 лет

школьник из Сен-Жозеф-де-Ривьер (департамент Изер), 1993 г.

Собака на велосипеде

Такого не бывает такого не бывает

Кошка на корабле

Такого не бывает такого не бывает

Мышь верхом на ките

Такого не бывает

Но мальчик Том'а

На трехмачтовом корабле

Плывущем к Луне

Такое будет

Поверьте мне!

"Ветер с Солнца"

Артур К. кларк, 1963 г.

"... Он мог бы взять курс на Луну, используя всю силу Солнца, которое было у него за спиной. Вся сила Солнца... Он с горечью улыбнулся, вспоминая, какие усилия прилагал, чтобы объяснить лекционной публике принцип солнечного воздухоплавания... "Протяните руки к Солнцу, что вы чувствуете? Тепло, конечно. Но есть также и давление, хотя вы его никогда не замечали, такое оно слабое. На всей поверхности ваших рук оно равно лишь двадцатой части микрограмма. Но в космическом пространстве..."

"... Подобно кораблям, подгоняемым ветром, большие солнечные парусники стартуют однажды в космос. Снабженные тончайшим парусом- отражателем, они будут движимы слабой, очень слабой силой солнечного света, которую он оказывает на всякий встречающийся на его пути объект. Этот способ движения с неисчерпаемыми возможностями позволит им перемещаться в космосе, чтобы встретиться сначала с Луной, а потом продолжать бесконечный путь по Солнечной системе..."

"Планета обезьян"

Пьер буль, 1963 г.

Глава 1: " ... Джинн и Филлис проводили чудесные каникулы в космосе, как можно дальше от обитаемых планет... Их корабль представлял собой сферу, оболочка которой - парус, неправдоподобно тонкий и легкий, - перемещался в пространстве под давлением световых излучений..."

14 - Участие в приключении

6 000 000 000 зрителей

Хилари Беллок (1870-1959), английский писатель

"... Не случаен тот факт, что большие парусники во все времена привлекали к себе внимание людей и казались такими великолепными..."

Артур К.Кларк "Ветер с Солнца"

"... Волнение, которое вызывали парусники былых времен, вернется к нам еще живее и глубже, если однажды новые парусники будут бороздить космос..."

То воодушевление, которое всколыхнет старт Luna Cup, сделает из него планетарное событие. Аудиовизуальные средства связи и информации позволят шести миллиардам землян стать свидетелями этого небывалого предприятия: старт ракеты, разворачивание парусов, начало гонки, основные этапы, финиш и т.д. Однако регата обещает быть долгой: около сотни витков, сложные маневры, понятные лишь специалистам... В общем, интерес к соревнованию надо будет поддерживать месяцев десять.

С самого начала инициаторы Luna Cup поставили себе целью использовать то влияние, которое может оказать гонка на стимулирование интереса жителей Земли к освоению Солнечной системы. Был установлен контакт со средствами массовой информации, и проект вызвал волну энтузиазма, ему были посвящены многочисленные публикации... Потом были осуществлены многие крупные идеи: в 1990 г. - создание передвижного центра навигации; в 1994 г. - общее накопление и отбор информации для детей всего мира; в 1995 г. - вся информация о световом движении на Интернет; в 1996 г. - организация виртуальной гонки на Интернет.

В преддверии Luna Cup будут созданы информационные опоры для поддержания интереса и возможности следить за гонкой: статьи в прессе, радио- и телепередачи, игры, лозунги, сувениры, игра- симуляция управления...

Грандиозная идея конца девяностых годов состоит в организации турне Контрольного Центра европейского парусника по пятидесяти городам Франции и Европы.

Идея состоит в том, чтобы событие приобрело еще и региональный характер с привлечением средств массовой информации и участием известных людей, чтобы охватить как можно больше школьников и обеспечить ему широкую популярность в массах.

Представьте себе полуприцеп, полный дисплеев и компьютеров, позволяющих следить за перемещением европейского парусника и посылать инструкции бортовому компьютеру. Это пост управления полетом.

Находящийся рядом грузовик связи со спутниковой антенной позволяет держать связь с контрольным центром в Тулузе, откуда посылаются команды на парусник через посредство сети национального центра космических исследований.

Поблизости передвижная выставка демонстрирует, наряду с будущими применениями солнечных парусов, наиболее крупные космические проекты XXI века.

Караван проводит по неделе в каждом городе. Предполагаются два больших турне: первое во время строительства парусника, чтобы следить за подробностями его изготовления, репетировать пробные полеты с группами местных "рулевых", а второе турне будет посвящено слежению за гонкой.

В 1994 г. во время Воспитательного Форума по Педагогическому Использованию Luna Cup было принято решение создать единый фонд информации для детей всего мира для возможности следить за ходом Luna Cup. Можно себе представить, как школы всех континентов породнятся, чтобы вместе сопереживать волнение, которое с избытком доставит Luna Cup.

УЗР сыграл важную роль в развитии проектов солнечных парусников; он стоит у истоков официального регламента Luna Cup, является рабочим звеном в рамках Solar Sail Working Group в Международной Федерации Астронавтики, регулярно участвует в конгрессах, выставках, имеют ли они целью обратиться к "мечтателям" или "специалистам".

С появлением WEB в 1995 г. открываются новые перспективы для светового движения. Контакты установились быстро, в большом количестве, плодотворно. Так родилась идея виртуальной гонки.

Виртуальная гонка на интернете

Речь идет об определении стандартного интерфейса между виртуальными парусниками и стратегией их полета.

Виртуальный парусник есть математическая модель внешнего вида и поведения солнечного парусника, который мог бы быть реальным. Парусник будет иметь ряд постоянных физических параметров. Выходные данные на стандартный интерфейс будут представлять собой некий ряд физических параметров, определенных в соответствии с неким рядом команд управления полетом, полученных на входе со стандартного интерфейса.

Стратегия полета есть пакет программ построения траекторий, которые симулируют перемещения в космическом пространстве Земля-Луна солнечного парусника, характеризующегося некоторыми физическими параметрами, и который дает на выходе к стандартному интерфейсу некое количество команд управления и рассчитывает траекторию исходя из динамических параметров, полученных на входе со стандартного интерфейса.

Эта система позволит смоделировать полет любого парусника с любой стратегией полета и, таким образом, симулировать гонки.

Устав и стандартный интерфейс находятся под контролем комитета экспертов Международной Федерации Астронавтики. Можно представить себе продолжение, когда школы и университеты, а также независимые участники, увлеченные информатикой и космосом, примут участие в виртуальном "Luna Cup".

<http://www.u3p.net>

15 - Поиски

Солнечный парус вносит элемент новизны в область дальних экспедиций внутри Солнечной системы и за ее пределы. Способность аккумулировать кинетическую энергию в результате пролета вблизи Солнца позволяет быстро достичь любого уголка вплоть до гелиопаузы и даже дальше.

Внутри Солнечной системы парус позволяет выполнять задачи, неосуществимые для летательных аппаратов на химическом топливе. Нет больше необходимости в топливе. Само понятие длительности автономного полета исчезает или, вернее, сводится к длительности эксплуатации оборудования.

В этой связи, задача миниатюризации бортовых систем оборудования приобретает первостепенное значение.

Таким же образом, если речь идет о строении парусов, то поиски должны вестись в области сверхпрочных и сверхлегких материалов, не забывая об особых условиях среды их применения: чрезвычайно малая плотность, минимальная сила тяжести, агрессивная космическая среда.

На практике никогда еще не было разработок систем управления ориентированием паруса. Здесь необходимо моделирование. Разработка таких средств предполагает предварительные теоретические исследования.

Традиционные исследовательские ракеты, даже с длительным сроком использования, ограничивают научный поиск. Осуществление некоторых научных проектов отдает предпочтение кораблям со слабой, но постоянной силой тяги. Проектов множество: Augora, Vigiwind, исследование астероидов и т.п. Все эти проекты делают почти неизбежным развитие фотонного принципа движения. Проект Augora, выдвинутый итальянцем Джованни Вульпетти (Giovanni Vulpetti), предполагает исследования строения гелиопаузы, предполагаемой границы гелиосферы, где солнечный ветер встречается с межзвездной средой.

Этот проект финансируется Италией, Великобританией и Швейцарией. Целью его является создание металлического паруса площадью 0,1 км², стороной 316 метров, имеющего мачту, металлическую рею, шкоты, ванты и фалы из пластмассы, углеволокна и стальной проволоки. Этот парус будет построен на орбите, запущен за пределы планет Солнечной системы и достигнет скорости 12 а.е. в год, т.е. 57 км/с. Этот проект начат в 1992 г. и должен быть завершен в начале XXI века.

Проект Vigiwind, предложенный французом Ж.-И.Прадо (J.-Y. Prado), состоит в том, чтобы послать солнечный парус в точку, находящуюся на прямой, соединяющей Землю и Солнце, на расстоянии 3 млн км, ближе к Солнцу от точки Лагранжа L₁, с целью размещения там спутника предварительного оповещения в случае солнечных бурь.

Световое давление - единственный способ удерживать космический корабль в этом месте долгое время. Этот спутник позволит выиграть во времени, чтобы защитить астронавтов, спутники и многочисленные наземные установки от выбросов солнечной энергии в эти критические периоды.

Осуществление проекта Vigiwind позволило бы Европе получить новые возможности в решении будущих еще более дерзких задач.

Исследование космоса с помощью космических парусов - проект Филиппа Мартимора, представленный на конкурс "Космос на пороге 2025 года" в Тулузе в 1994 г.

- В поясе астероидов насчитывается более миллиона небесных тел с диаметром, превышающим 1 км. Солнечные парусники имеют возможность выполнять задачи по исследованию этих астероидов;
- Специализированный корабль-челнок доставит исследовательский зонд с низкой околоземной орбиты на парусник, находящийся уже на более высокой промежуточной орбите, и затем доставит их на новую траекторию;
- Парусник опишет эту спиралевидную траекторию, которая доставит его в пространство рядом с астероидом. Вблизи с астероидом зонд освободится от парусника, который вернется на околоземную орбиту.
- Исследовательский зонд, тормозимый химическим двигателем, совершит мягкую посадку на астероид;
- Когда экспедиция по сбору образцов будет завершена, зонд взлетит с помощью химического двигателя и состыкуется с другим парусником, который доставит его на Землю вместе с его ценным грузом.

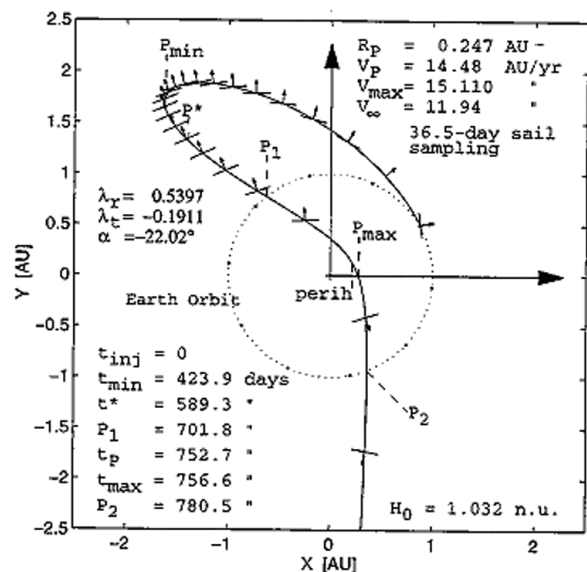


Figure: Траектория, изученная Телеспацио (Италия) для исследования гелиопаузы (в 15 млрд км, 100 а.е.)

Гелиопауза :

граница гелиосферы, где солнечный ветер создает ударную волну при столкновении с межзвездной средой;

Гелиосфера :

область космического пространства, где плотность энергии солнечного ветра превышает плотность энергии межзвездной среды;

Астрономическая единица (а.е.) :

единица расстояния, равная среднему расстоянию от Солнца до Земли, около 150 млн км.

16 - Возрождение

Давно ожидаемый всеми, полет первого космического парусника станет одним из наиболее замечательных событий эпохи покорения космоса. Таким, какими были запуск первого спутника, полеты Юрия Гагарина, Нейла Армстронга, Вояджер. Управляемый с Земли, солнечный парус будет двигаться только под действием давления солнечных лучей. Он позволит вновь обрести новаторский дух, вдохновлявший великих первооткрывателей прошлого.

Необыкновенный рост интереса к астронавтической деятельности по исследованию Луны и Марса, по строительству крупных орбитальных парусников и по разработке новых средств движения в межпланетном пространстве предполагает беспрецедентный технологический скачок. Разработка, строительство и запуск солнечного паруса странами Европы представляет собой важный шаг на этом пути.

Работы по запуску солнечного парусника ставят перед исследовательскими центрами и европейской индустрией конкретную мотивирующую цель, открытую для развития многочисленных технологий будущего: движение при слабой силе тяги, динамика парусов большой площади, миниатюризация оборудования, автономные программы управления и т.д.

В рамках акций в ознаменование начала 3-го тысячелетия ESA, частично при поддержке спес, играет решающую роль в координации действий промышленников, исследователей и представителей прочих астронавтических организаций.

В настоящее время проекты, предусматривающие использование солнечного паруса, приобретают все более конкретный характер; отныне солнечный парус является составной частью оснащения двигателей для космических проектов. Для некоторых из этих проектов нет альтернативы в ближайшие годы. Проекты **Vigwind** сначала, а затем **Aurora** и исследование астероидов позднее, перешли из области фантастики в благоразумную реальность.

Во время, когда экономическая конъюнктура довольно сложна, одним из основных преимуществ проекта солнечного парусника является сильное влияние, которое он может оказать на общественность. Научный и практический интерес этих полетов может быть понят всеми, а связанные с ними надежды, о которых говорит Артур К. Кларк, могут сделать привлекательными эти проекты для европейцев. Как это было в начале 80-ых годов с ракетой Ариан, солнечный парусник может сыграть решающую роль в стимулировании интереса к исследованию Солнечной системы.

В условиях сложной экономической ситуации, когда деловым партнерам трудно найти друг друга, солнечный парус обладает несравнимой притягательностью и может выступить в качестве объединяющего проекта.

Так как смелые научные проекты с использованием солнечных парусов имеют все шансы быть осуществленными в ближайшем будущем, цель U3P будет достигнута. Мы можем поручиться, что наступит день, как для любого нового средства передвижения, когда станут очевидными преимущества солнечных парусов. Конкуренты в области применения солнечных парусов будут соревноваться в полетах к Луне и дальше. Они найдут всемерную помощь и горячую поддержку среди U3P-пейцев и U3P-пеек.

Правы ли те, кто все знает лучше других?

Зачастую имеет место спонтанное проявление энтузиазма по отношению к возможной реальности светового движения. Однако осознание технической сложности осуществления проекта действует как тормоз.

Полезные советы всзнаек не решают ничего, но лишь настойчивость и последовательность могут привести к конкретному результату.

Вступление в U3P, как получить кассету "Знамя"

U3P - ассоциация, созданная в 1981 г. в соответствии с законом 1901 г. U3P сыграл важную роль в разработке проектов солнечных парусников. U3P стоит у истоков официального регламента "Luna Cup", признанного IAF (Международной Федерацией Астронавтики) в 1992 г., и играет инициативную роль в рамках SSWG (Рабочей группы по солнечным парусам) в IAF.

Ежегодная Генеральная ассамблея позволяет подвести итог деятельности U3P и мировых достижений в области светового движения.

Президиум регулярно собирается для разработки текущих мероприятий: Конгресса, Выставки, Дня науки и т.п.

Пост Президента обычно занимает один из космических инженеров, но членами президиума являются просто увлеченные этой идеей энтузиасты из любых стран.

Любое заинтересованное лицо может вступить в члены ассоциации для работы в одной из комиссий или с целью получения информационных бюллетеней о мероприятиях и передовых достижениях.

U3P располагает видеоматериалами о парусе "Знамя 2" и обзорной документацией по солнечным парусам и проведению "Luna Cup".

В связи с тем, что деятельность U3P отличается большим разнообразием (выпуск документации, поиск информации, участие в конгрессах, выставках, конференциях...), в нем найдут свое место как мечтатели, так и профессионалы.

U3P

**Le Parc aux Etoiles – Château de l'Hautil
78510 TRIEL SUR SEINE**

<http://www.u3p.net>

... Laboratory) ¹

JPL. была создана в 1947 г. Она станет главной лабораторией космических исследований NASA, созданной в 1958 г. Президентом США Эйзенхауэром. Зонды, запущенные JPL, позволили открыть неожиданную Солнечную систему, одновременно и разнообразную и однородную. Эти зонды называются: Pioneer, Voyager, Mariner... и более поздние Galileo, Mars Pathfinder в сопровождении Sojourner, первого марсианского робота.

... длительной ²

"... Преимущество Солнечного Парусника заключается в возможности совершать дальние путешествия, для которых традиционные летательные аппараты должны иметь запас топлива на путь туда и обратно. Парусник, не использующий никакого топлива, является одним из способов частичного решения этой проблемы. С другой стороны, слабое, но постоянное ускорение позволяет достичь скоростей, недоступных современным космическим исследовательским ракетам, и делает возможным сопроводительный полет с такими телами, как кометы..." Льюис Фридман

Traduction : **Natalia**

45, Av. du 8 mai 1945 38400 SAINT MARTIN D'HERES - FRANCE - 00 (33) 04 76 25 14 00.