Институт космических исследований *Р*АН

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЕВРОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ

И.М. Сидоров

Январь 2002

Рассматривается динамика движения на околоземной орбите тросовой системы, которая называется пращей. Праща - это два блока со съемными контейнерами, связанные длинным тросом. Система вращается, относительно центра масс, в плоскости орбиты. На концевых блоках должны быть установлены электродвигатели, с помощью которых можно подтягивать или отпускать трос.

Рассмотрена принципиальная возможность решения следующих задач:

1. **Прямое преобразование энергии, аккумулированной на борту космического объекта, а именно тросовой системы, в механическую энергию движения по орбите. Это позволяет изменять орбиту космического объекта, не используя реактивного способа движения. В качестве источника энергии предлагается использовать электрический аккумулятор или двигатель, с помощью которого получается электрическая энергия на борту космического аппарата. Эта же схема позволяет реализовать и обратный процесс, т.е. преобразование механической энергии движения объекта в электрическую энергию.**

2. **Способ передачи механической энергии с одного космического объекта на другой.**

3. **Возможность использования механической энергии движения естественных небесных тел, в частности Луны. При выполнении космическим объектом гравитационного маневра вблизи Луны механическая энергия объекта может увеличиться. Эту прибавку можно преобразовать в электрическую энергию на борту КА или использовать для изменения параметров орбиты КА.**

Этапы решения комплексной проблемы

Автоматическая установка строительных конструкций с помощью управляемой платформы

Разработка алгоритмов управления свободно летающей модели в окрестности орбитальной космической станции

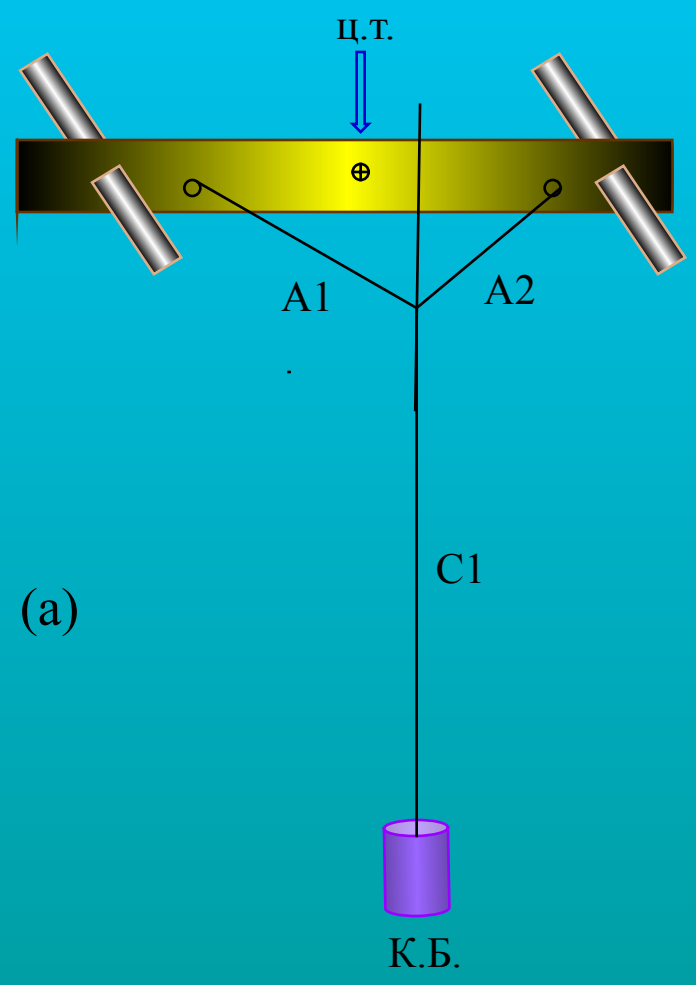
Разработка новых систем управления посадкой подводного спасательного аппарата на комингс-площадку затонувшей подводной лодки

Предложения по созданию высокоточной трехосной гравитационной стабилизации КА на основе использования тросовых систем

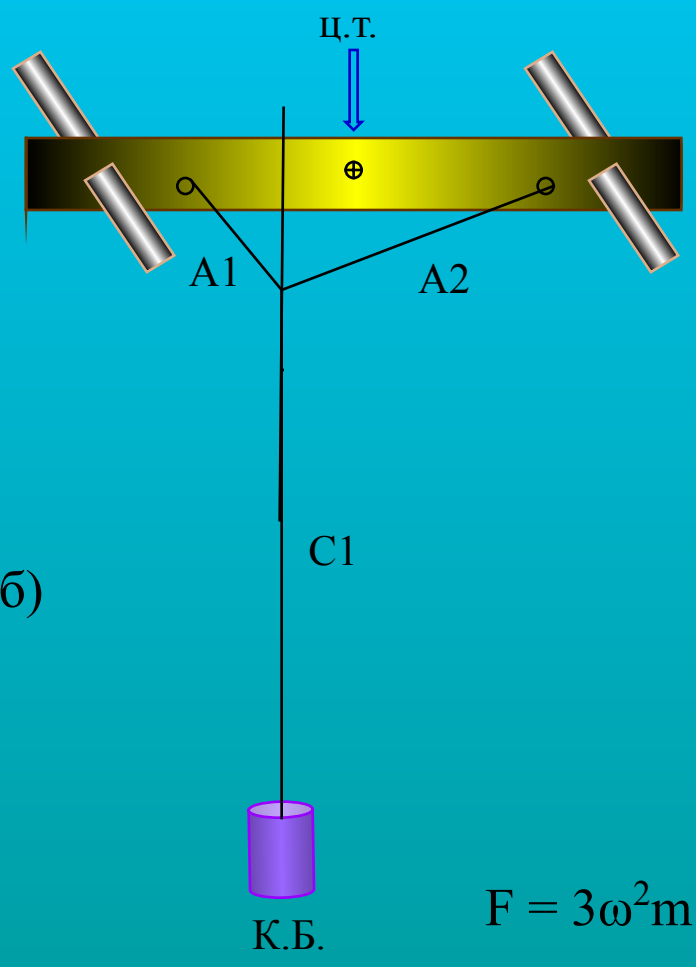
О применении тросовых систем для реализации транспортных потоков в космическом пространстве путем обмена грузов в пунктах контакта

О возможности выполнения циклически повторяющихся гравитационных маневров с использованием торосовых систем

Принципиальная схема управления угловой ориентацией КА с помощью тросовой системы



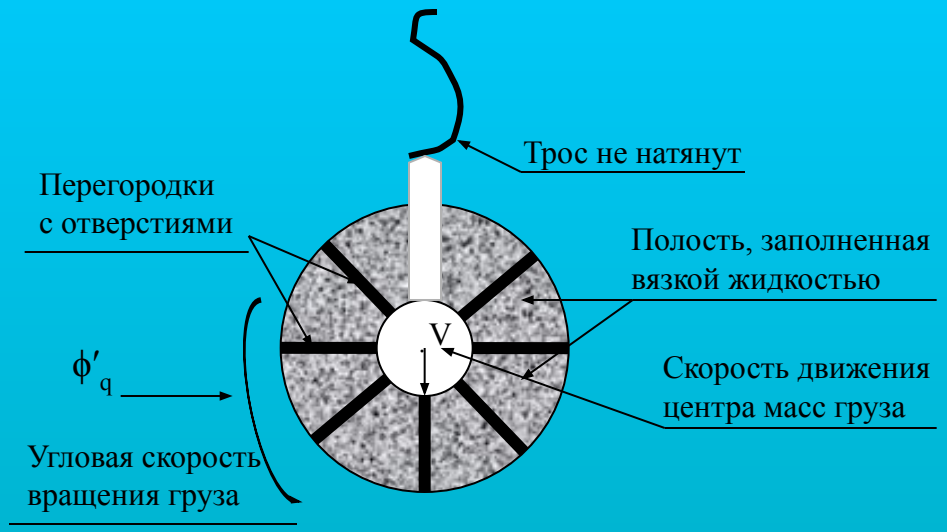
(а)



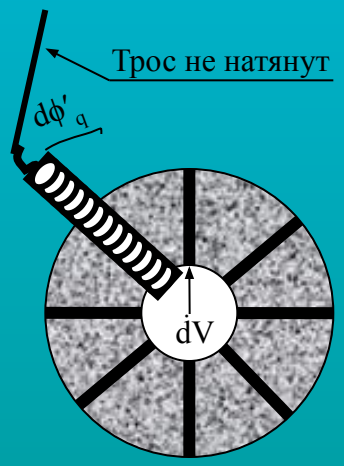
(б)

$$F = 3\omega^2 m_1 L$$

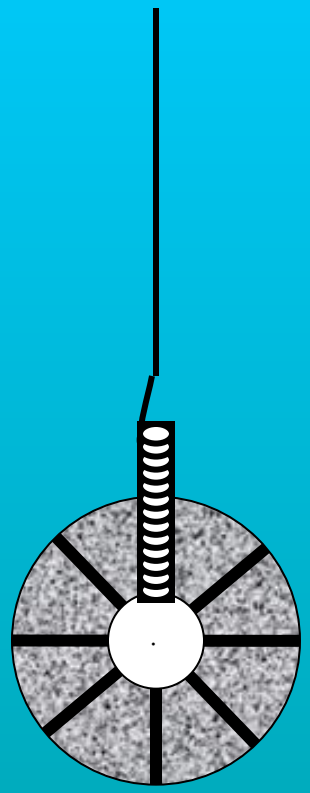
Схема развертывания троса



1. Груз в момент отталкивания от объекта

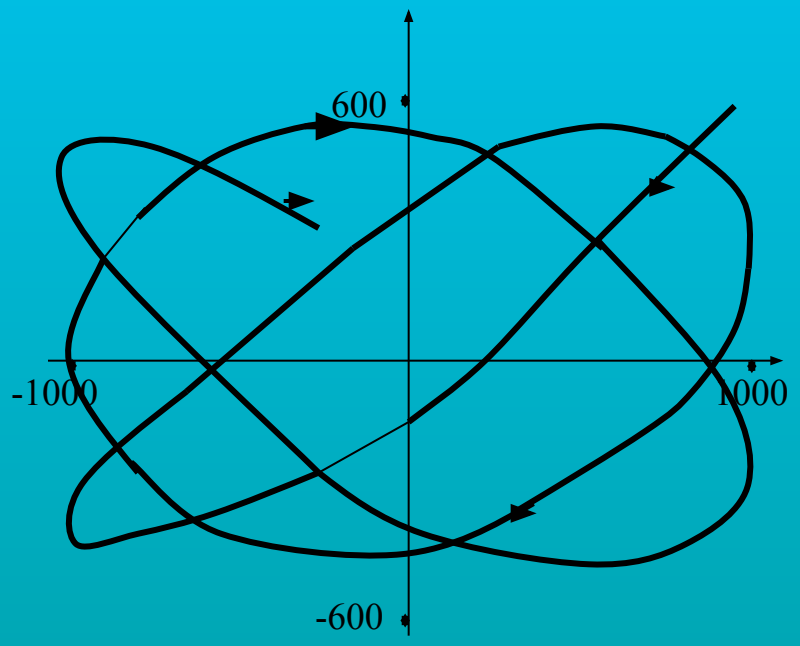


2. Схема груза в процессе натяжения троса

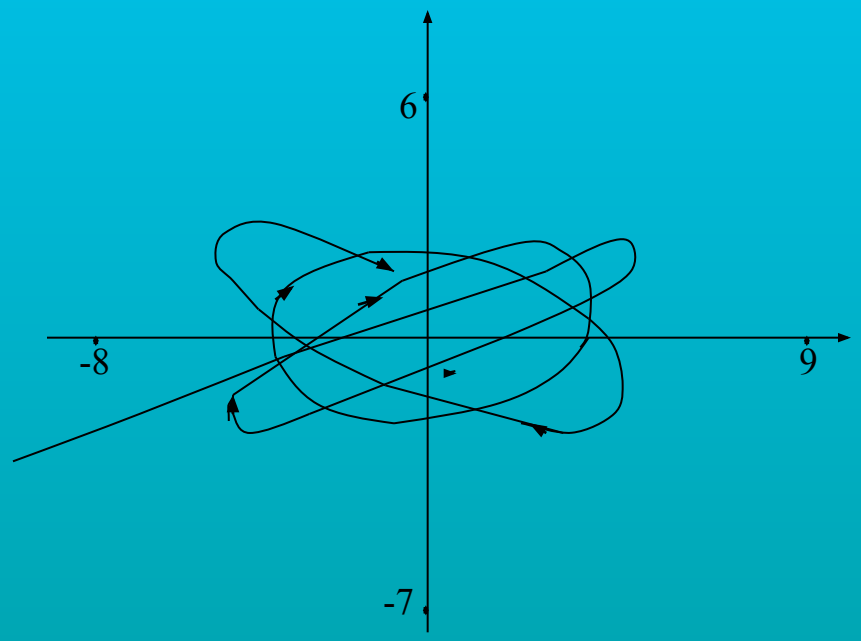


3. Установившееся положение груза после завершения развертывания троса

Перемещение груза и его точки подвеса



Траектория движения груза
в процессе колебания



Траектория перемещения точки
подвеса в процессе управления

Маятниковая система

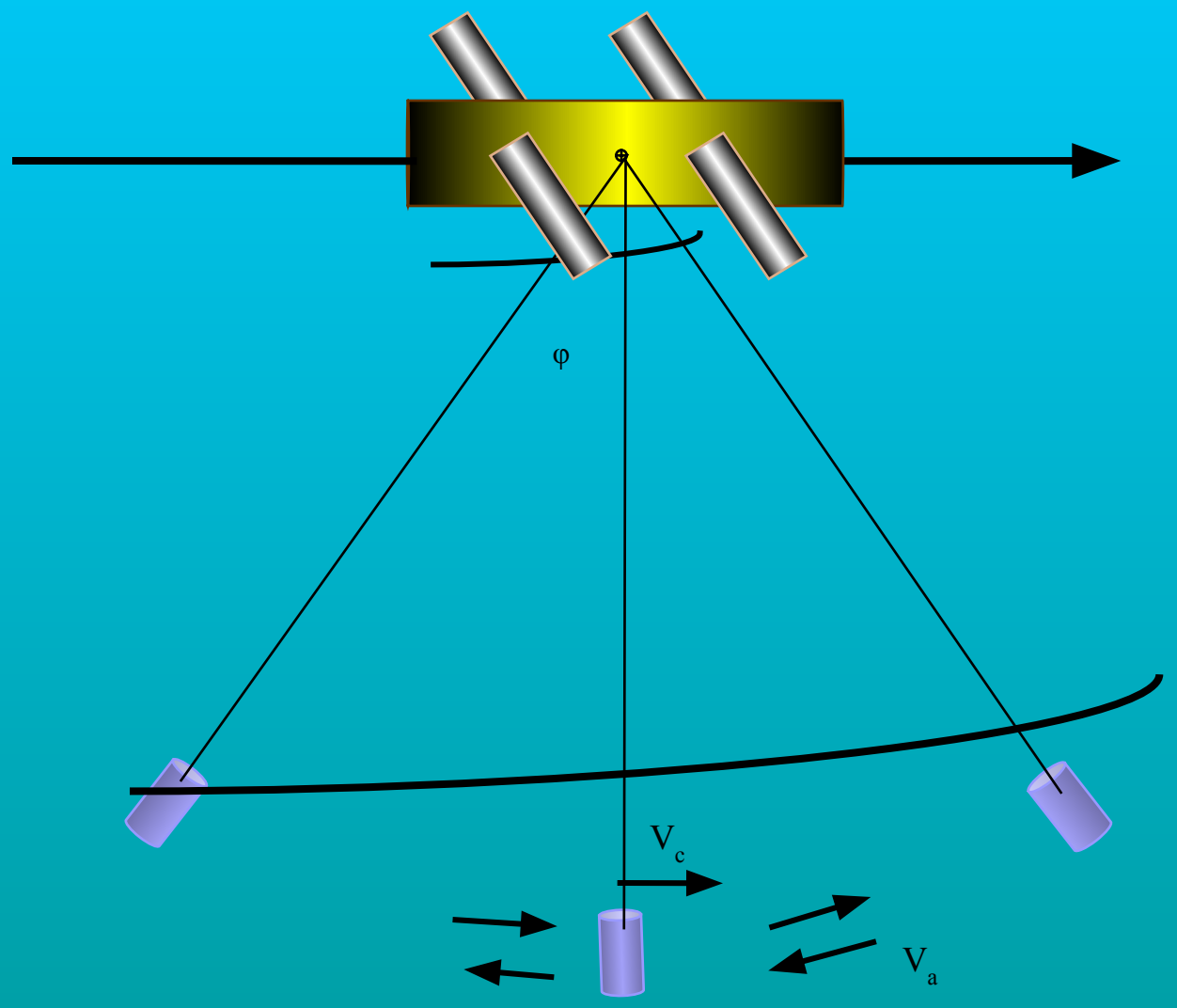


Схема движения пращи

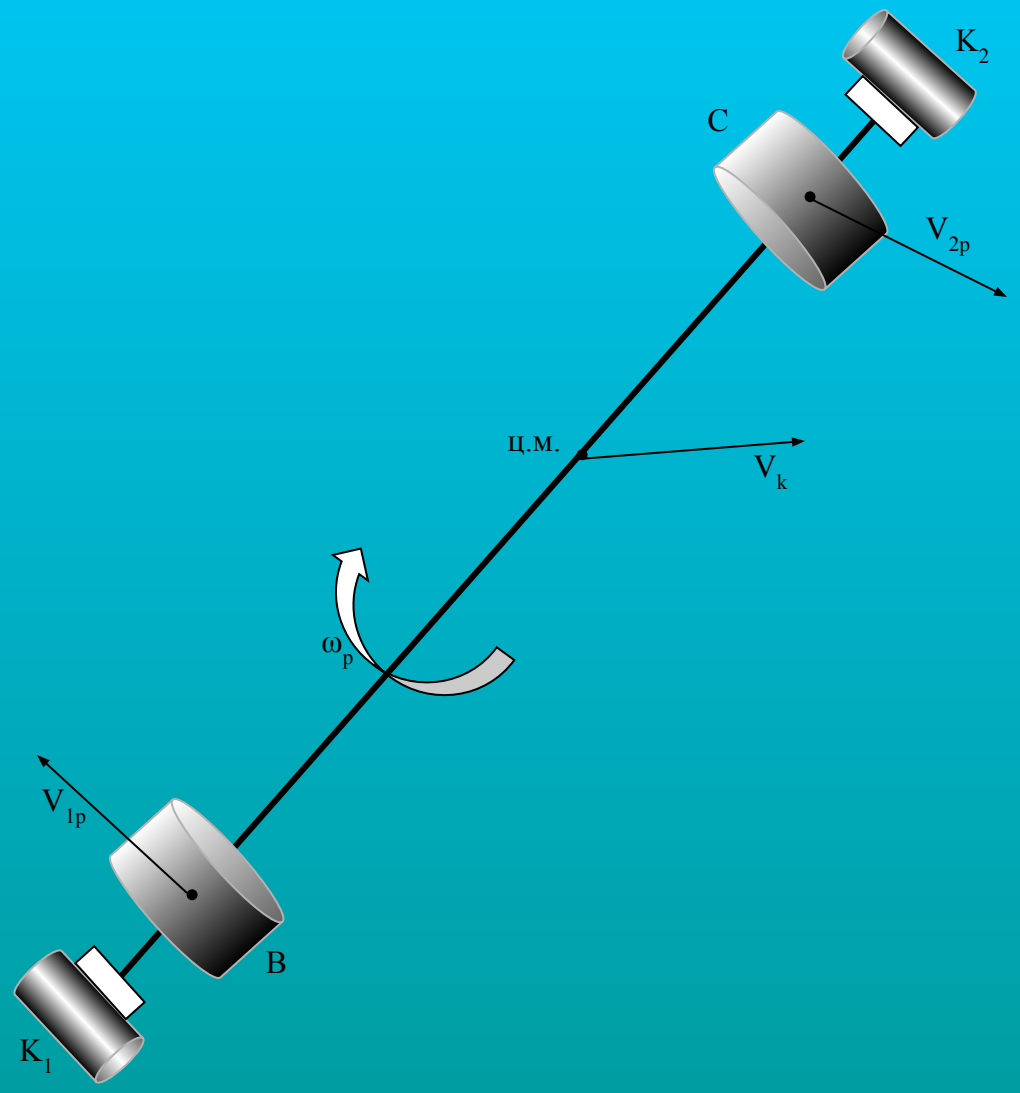
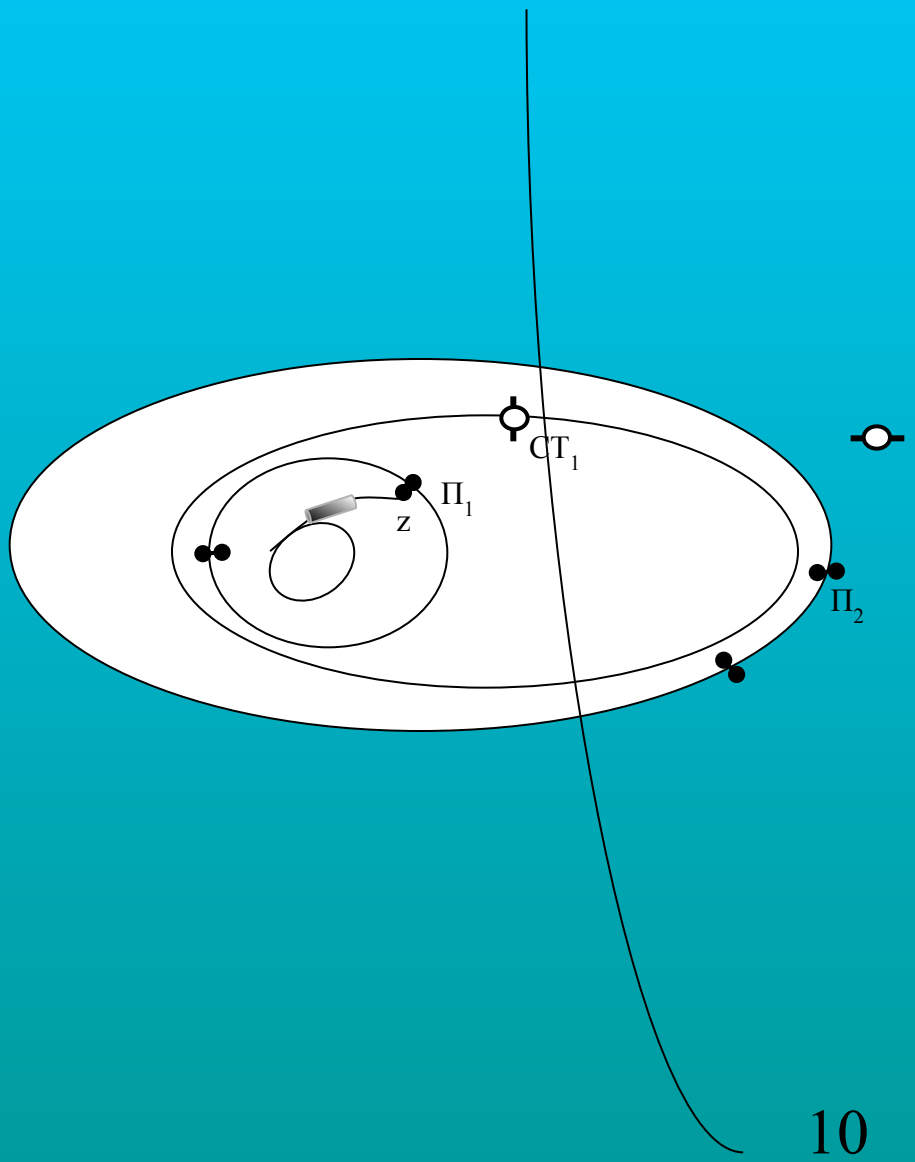


Схема вывода груза на геостационарную орбиту



Основные уравнения

Уравнения движения пращи

$$m_j x''_j = -m_j \mu_1 x_j / R^3_j + v_j F(dL)(x_2 - x_1)/L_u$$

$$m_j y''_j = -m_j \mu_1 y_j / R^3_j + v_j F(dL)(y_2 - y_1)/L_u \quad j = 1,2 \qquad (1)$$

x_j, y_j - координаты двух тел; $v_j = 1$, если $j = 1$, $v_j = -1$, если $j = 2$;
R – радиус Земли, $\mu_1 = 398606$ км^3/с^2;
m_j – масса концевых блоков;

$$R_j = \sqrt{x^2_j + y^2_j},\ L_u = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2};$$

Натяжение троса: $F(dL) = dL\, E_m S_h / L_0$;

E_m – модуль упругости материала троса; S_h – площадь сечения троса;
dL – удлинение троса; $dL = L_u - L_0$. L_0 – длина троса в ненатянутом состоянии.

Полная механическая энергия - Q_s

$$Q_s = Q_1 + Q_2 + Q_p$$

$$Q_1 = m_1(\mu_1/R - \mu_1/R_1 + v_1^2/2);\ Q_2 = m_2(\mu_1/R - \mu_1/R_2 + v_2^2/2); \qquad (2)$$

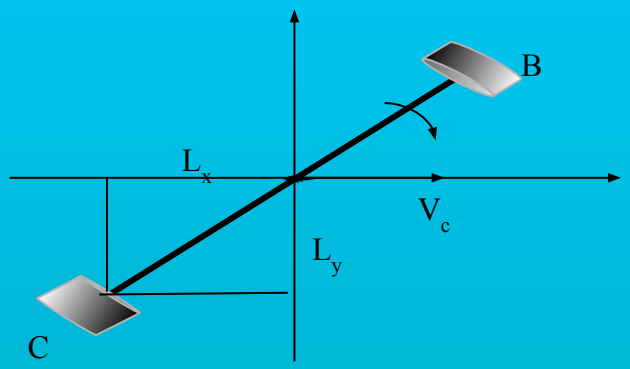
$$Q_p = E_m S_h(L_0 \ln(L_u/2) - L_u)/m_1; \qquad v_j^2 = x'^2_j + y'^2_j,\ j = 1,2$$

В (2) Q_1, Q_2 определяют механическую энергию концевых блоков пращи.
Q_p – энергия продольных колебаний растяжимого троса.

Основные уравнения (продолжение)

Координаты движения центра масс пращи

$$x_c=(k_m x_2+x_1)/(1+k_m), y_c=(k_m y_2+y_1)/(1+k_m); \quad k_m=m_2/m_1$$



Текущая высота центра масс пращи при орбитальном движении

$$H=\sqrt{x_c^2+y_c^2}-R.$$

Если электродвигатель на одном или сразу двух концевых блоках начинает подтягивать или отпускать трос на интервале времени $(0<t<T)$, то его длина $L_0(t)$ в свободном состоянии

$$L_0(t) = L_0 - l(t)$$

Для реализации этой операции требуется затрата энергии

$$\Delta_1^T Q = \int dl(t)/dt\, F(t)dt \qquad (3)$$

Законы управления длиной троса

A	$L_0 = L_0 + t\,\Delta l$
B	$L_0 = L_0 + l_0 f_\omega(t); \quad f_\omega(t) = L_x L_y / L_u^2$
A и B	$L_0 = L_0 + t\,\Delta l + l_0 f_\omega(t)$
C	$L_0 = L_0 + l_\Delta f_\omega(L) + h_p H f_\omega(t)$

Таблица

Начальные данные			**Вариации параметров движения**		
Вариант	Скорость вращения	Фаза возбуждения	Скорость вращения	Высота орбиты	Энергия аккумулятора
B_1	по часовой стрелке $v_{1p} > 0$	$l_0 > 0$	v_{1p} – уменьшается	H – увеличивается	ΔQ_B – увеличивается
B_2	$v_{1p} > 0$	$l_0 < 0$	v_{1p} – увеличивается	H – уменьшается	ΔQ_B - уменьшается
B_3	Против часовой стрелки $v_{1p} < 0$	$l_0 > 0$	v_{1p} – увеличивается	H – увеличивается	ΔQ_B - уменьшается
B_4	$v_{1p} < 0$	$l_0 < 0$	v_{1p} – уменьшается	H – уменьшается	ΔQ_B – увеличивается

Схема контакта блока A_2 с пращей А

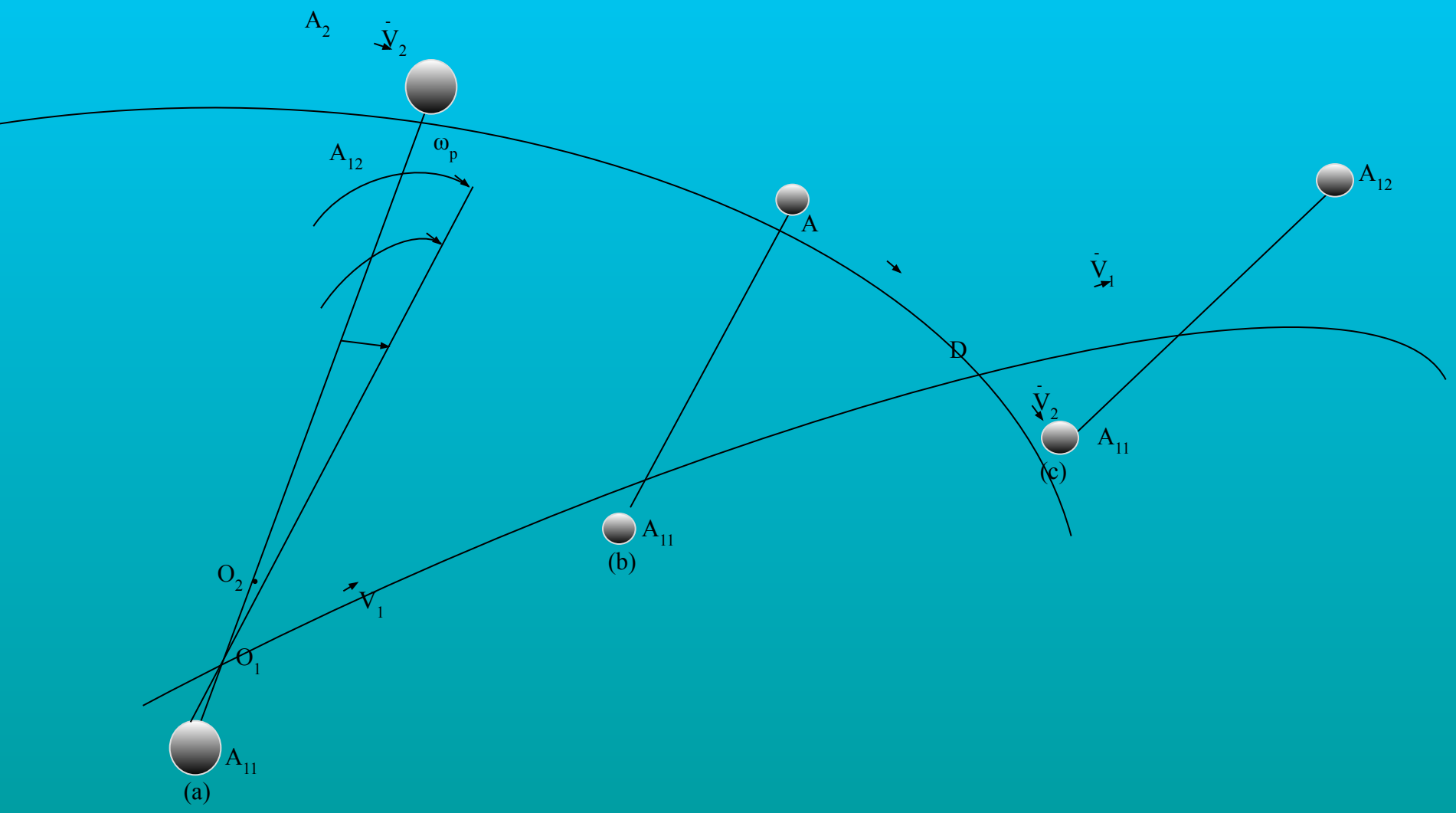
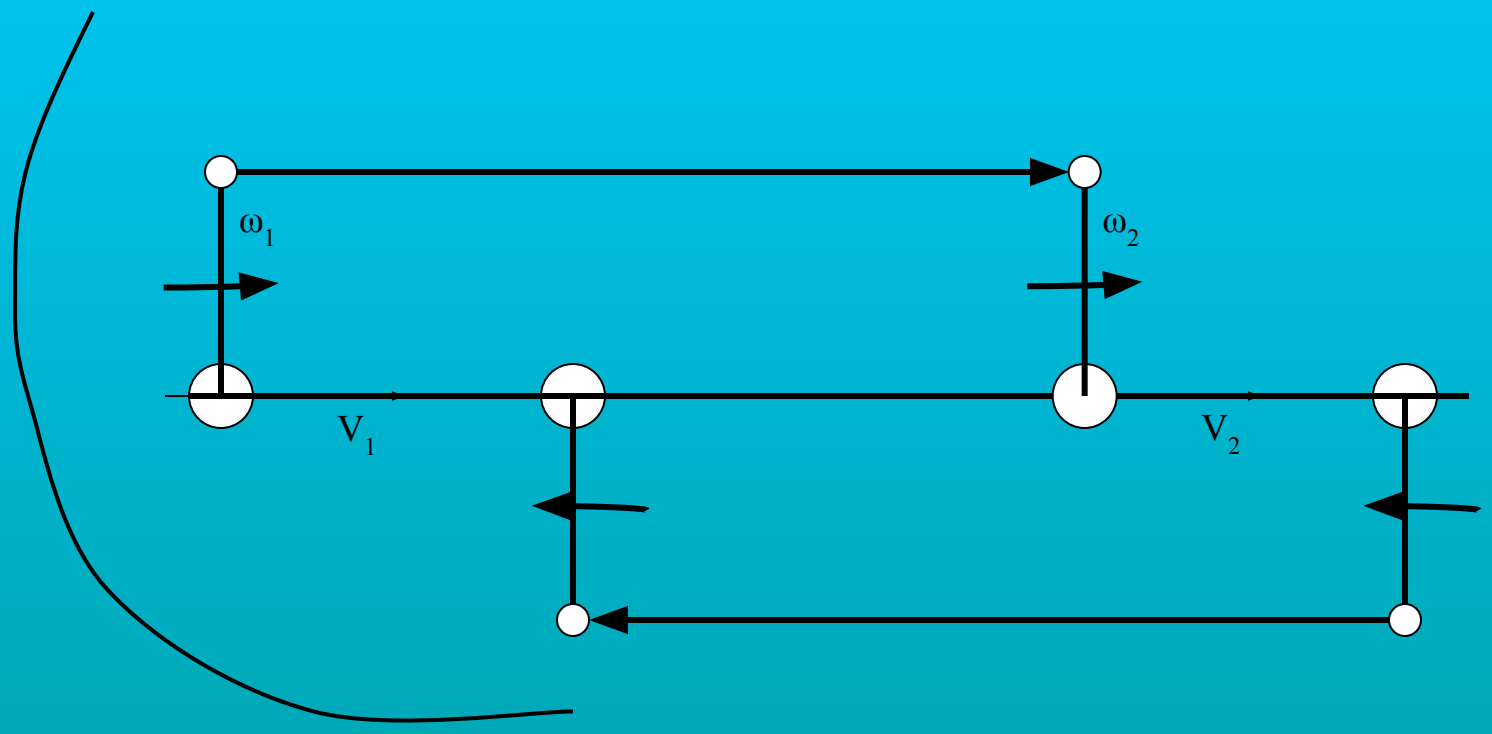
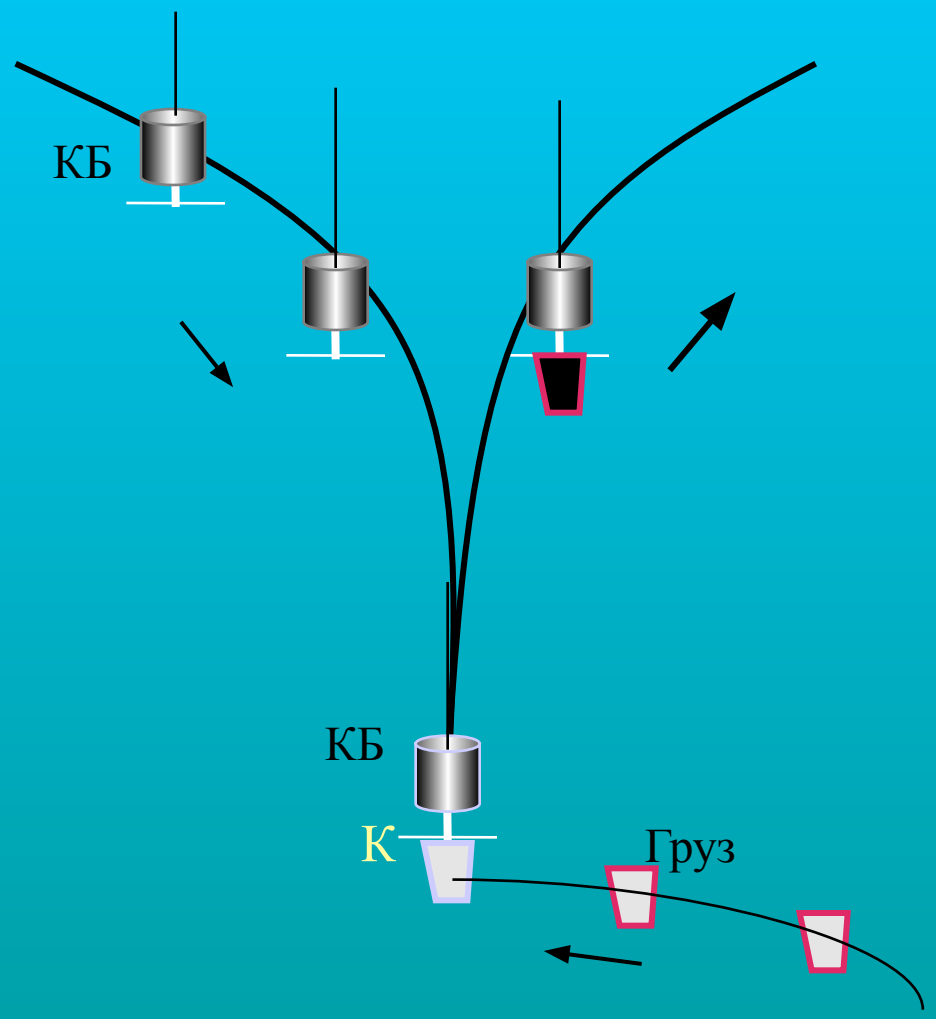


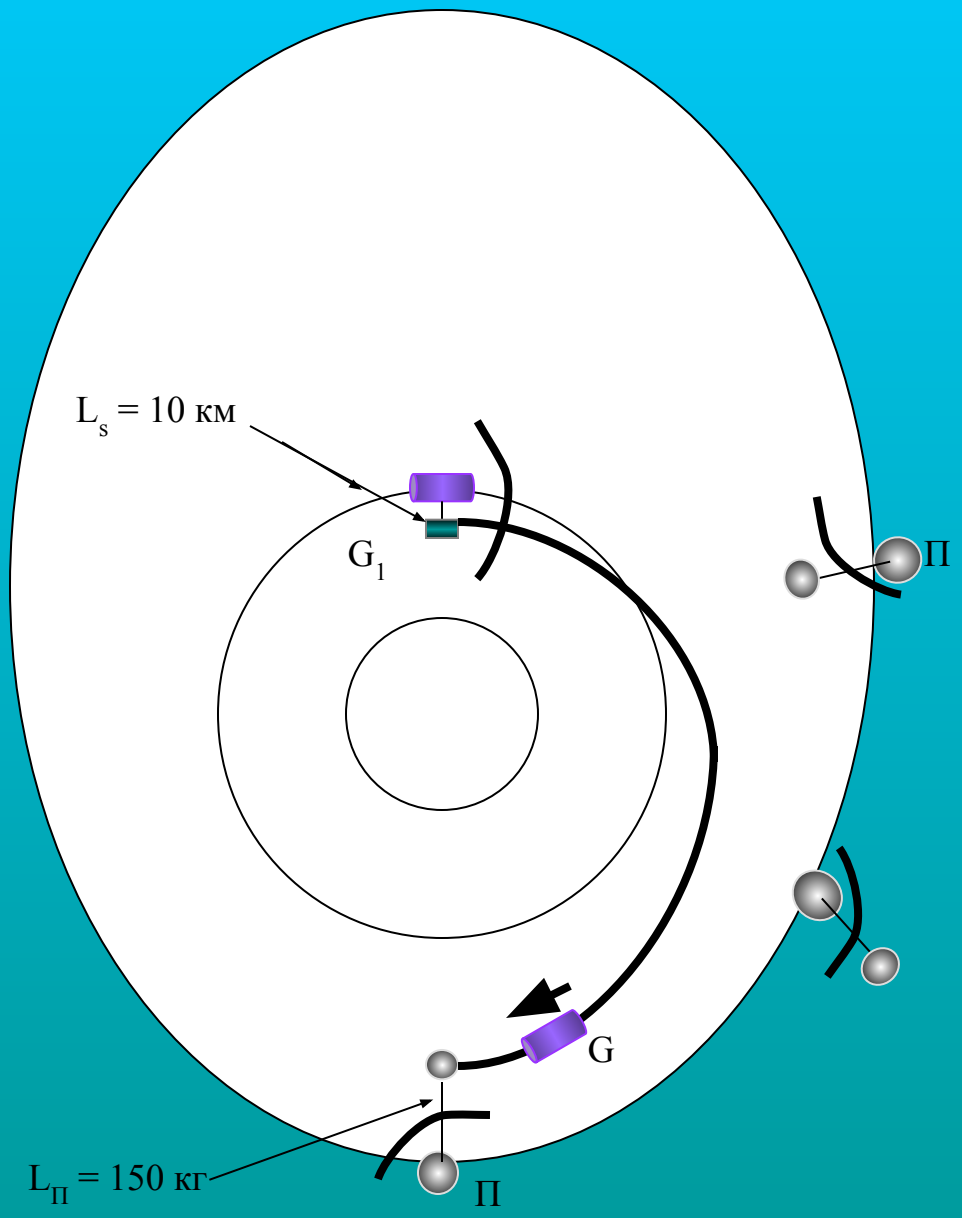
Схема передачи импульса скорости



Динамика стыковки груза с концевым блоком (КБ)



Первый перелет блока G



Орбита станции:
H_s = 400 км; V_{kr} = 7673 м/с

Орбита пращи:
H_a = 3200 км
H_p = 700 км
V_a = 5806 м/с
$V_п$ = 8104 м/с

Вес пращи 50 т; вес блока G_1 = 10 т

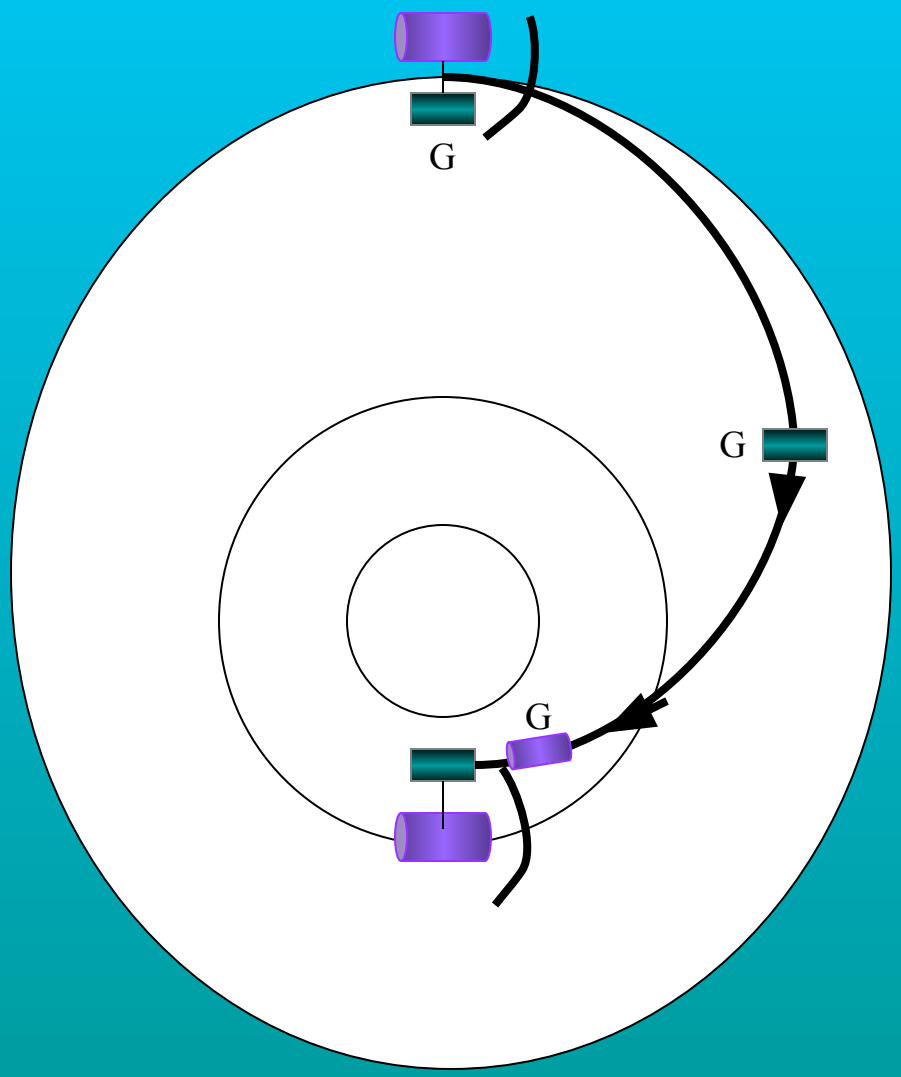
Перелетная орбита G_1:
$H_a^{(G)}$ = 550 км
$H_П^{(G)}$ = 390 км
$Q^{(1)}_{11}$ = 90000 квтч
$V_a^{(G)}$ = 7544 м/с
$V_П^{(G)}$ = 7723 м/с

Скорость вращения пращи станции
$V_{ks} = V_П - V_П^{(G)}$ = 50 м/с

Скорость вращения пращи П
$V^{(1)}_{КП} = V_П - V_a^{(G)}$ = 560 м/с

После контакта параметры орбиты пращи:
$H^{(1)}_П$ = 675 км; $V^{(1)}_П - V^{(1)}_{КП}/6$ = 8011 м/с
$H^{(1)}_a$ = 2865 км; $V^{(1)}_a$ = 6111 м/с

Второй перелет блока G



Перелетная орбита:

H_s = 2855 км;

H_p = 300 км;

$Q^{(2)}_{11}$ = 101000 квтч;

V_a = 6021 м/с;

$V_п$ = 8328 м/с

Скорость вращения пращи П

$V_{КП}^{(2)} = V_a^{(1)} - V_a$ = 90 м/с

Скорость вращения пращи на станции

$V_П - V_k$ = 655 м/с

$\Delta Q = Q^{(2)}_{21} - Q^{(1)}_{11}$ = 110000 квтч;

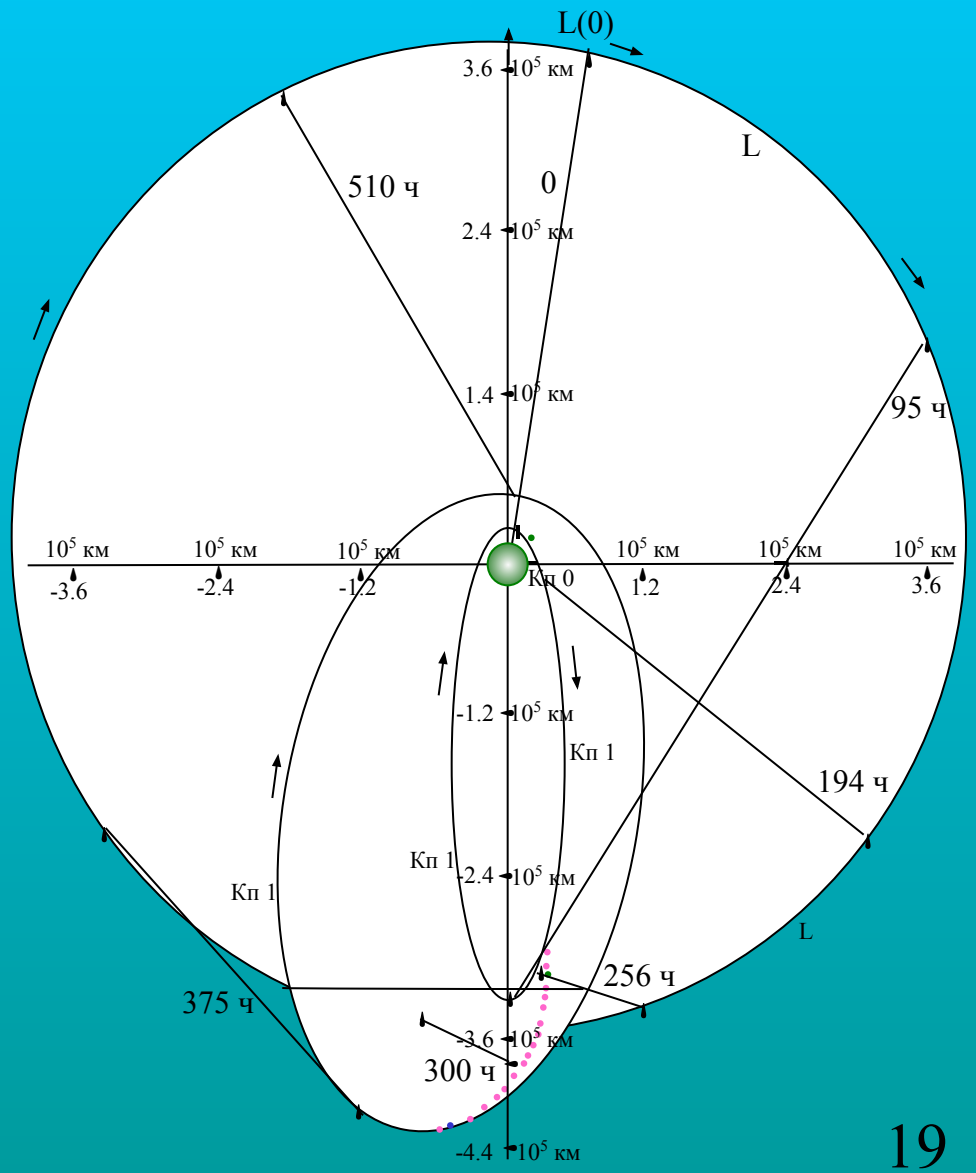
Эволюция орбиты пращи:

H_a 3200 → 2865 кг

$H_П$ 700 →744 км

ε 0.165 → 0.13

Пример гравитационного маневра пращи A_3



Показано, что применение тросовых систем открывает возможность использования практически бесконечного источника энергии, а именно, механической энергии движения планет Солнечной системы.