

**Научная конференция  
«Научное наследие Ари Штернфельда»  
Серадз, Польша, 23 сентября 2010 года**

**Творческое наследие Ари Штернфельда и  
его связь с современной космонавтикой**

*Вячеслав В. Ивашкин  
Москва, Институт прикладной математики  
им. М.В. Келдыша Российской Академии Наук*

**SIERADZ, Muzeum Okręgowe wspólnie z Centrum  
Badań Kosmicznych (CBK) Polskiej Akademii Nauk**

# Содержание

**1. Введение.....3**

**2. А.А. Штернфельд и его вклад в Космонавтку.....5**

**а - Первые этапы жизни.....5**

**б - Научная популяризация идей Космонавтики.....6**

**в – Научный вклад в Космонавтику.....7**

**г – Переезд в СССР – Работа в РНИИ.....10**

**д – «Введение в Космонавтику» .....11**

**е – Осуществление мечты – Запуск в СССР первого спутника.....12**

**ж – Обходной перелет между орбитами и другие задачи.....13**

**з – Заключительная страница жизненного пути.....14**

**3. Связь результатов А. Штернфельда с современной космонавтикой....15**

**а – Теория Космических Маневров.....15**

**б – Перелеты между Землей и Геостационарной Орбитой.....18**

**в - Перелеты между Землей и Луной.....20**

**г – Проект Ulysses для полета к Солнцу вне плоскости эклиптики.....24**

**4. Заключение.....25**

**5. Литература.....26**

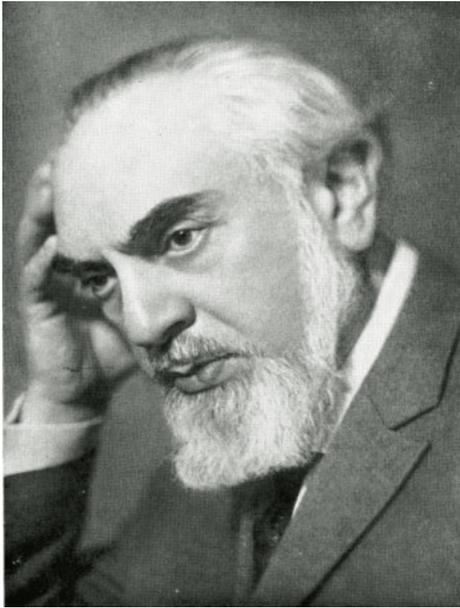
# 1. ВВЕДЕНИЕ

## Творческое наследие Ари Штернфельда и его связь с современной космонавтикой

В докладе дан краткий обзор жизненного пути и творческого наследия одного из пионеров космонавтики А.А. Штернфельда (1905-1980). Анализируется вклад А.А. Штернфельда в теоретическую и практическую космонавтику, в частности, его научно-популяризаторская деятельность, открытые им «обходные» траектории полета космических аппаратов, его классическая монография «Введение в космонавтику». Рассматриваются связи результатов А. А. Штернфельда с современной теорией космических маневров и некоторыми современными космическими проектами.

## Creative Heritage of Ary Sternfeld and Its Connection with Modern Cosmonautics

A brief review of the life and creative heritage of A.A. Sternfeld (1905-1980), one of the Cosmonautics pioneers, is presented. There is analyzed A.A. Sternfeld's contribution to theoretical and practical Cosmonautics. In particular, his activity in scientific popularization of the Cosmonautics ideas, and new "detour" space trajectories discovered by A.A. Sternfeld, as well as his classic monograph "Introduction to Cosmonautics" are considered. Connections of A.A. Sternfeld's results with modern theory of space maneuvers as well as with some modern space projects are examined.



А.А. Штернфельд (1905-1980)

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Расцвет творческой деятельности А.А. Штернфельда приходится на 20-50-е годы нашего века, на период резкого подъема интереса ученых и инженеров к проблемам космического полета и начала научной и практической космонавтики.

В это время мечта Человечества о полете в космос встала на прочную научную и инженерную основу исследований в результате пионерских работ К. Э. Циолковского, Р. Эсно-Пельтри, Р. Годдарда, Г. Оберта, В. Гомана, Ю. В. Кондратюка, Ф. А. Цандера, С. П. Королева, В. П. Глушко, М. К. Тихонравова и ряда других ученых, пионеров ракетно-космической науки и техники.

Большой вклад в становление и развитие космонавтики внес также А. А. Штернфельд, посвятивший всю свою творческую жизнь проблемам освоения космического пространства. Ряд его трудов и идей выдержал самое трудное испытание – временем и не потерял значимости до сих пор.

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - а

5

### Начальные этапы жизненного пути

1905-1915 – Серадз;

1915-1923 – Лодзь, гимназия

1923-1924 – Краков, 1 курс Ягеллонского университета;

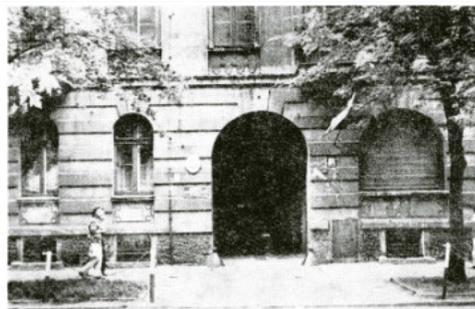
1924-1927 – Институт электротехники и прикладной механики Нансийского университета, Франция;

1927-1932 – инженер-механик, Франция, Польша;

1928-1930 – докторантура в Сорбонне, Париж, исследование проблем космонавтики



Дом в Серадзе, где в 1905 г. во флигеле родился ученый [1].



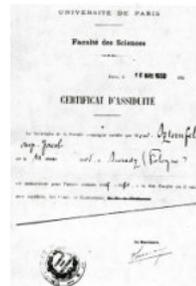
Гимназия в Лодзе, где ученый учился до 1923 г. [1].



А.Штернфельд – в Краковском университете, 1923 г. [2].



Эмблема Университета Нанси, 1924-1927 [2].



Сертификат Университета Парижа, 1929-1930 [1].



Библиотека Парижа, где ученый изучал проблемы Космонавтики [1].

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - 6

### Научная популяризация идей Космонавтики

1929-1931 – лекции по космонавтике в вечернем народном университете (Франция);

1930 - начало переписки с К.Э. Циолковским



Рис. 8. Фрагмент статьи А. Штернфельда в «Юманите», 1930 г.

В 1930 г. в Парижской газете «Юманите» А. Штернфельд опубликовал научно-популярную статью по космонавтике. Там он писал о пионерских работах К.Э. Циолковского по ракетным полетам на другие планеты и пророчески предсказал, что «социалистическое общество откроет путь к освоению космического пространства».

С тех давних пор научную популяризацию идей космонавтики А. Штернфельд блестяще продолжал всю свою жизнь. Это, несомненно, - его большой вклад в мировую космонавтику.

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - В

### Научный вклад в Космонавтику

1927-1933 – Технические изобретения, Научные исследования;  
 1932 – поездка в Советский Союз с проектом робота-андроида;  
 1932-1933 – работа над книгой «Введение в Космонавтику»,  
 Лодзь;  
 1933, 6 дек. - доклад в Астрономической Обсерватории  
 Варшавского университета

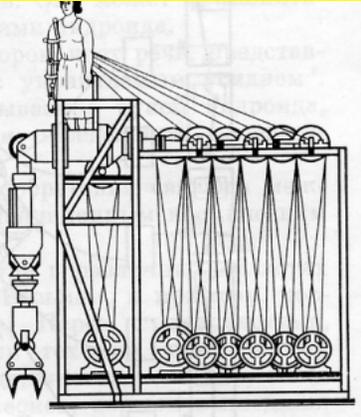


Рис. 9. Схема робота-андроида А. Штернфельда

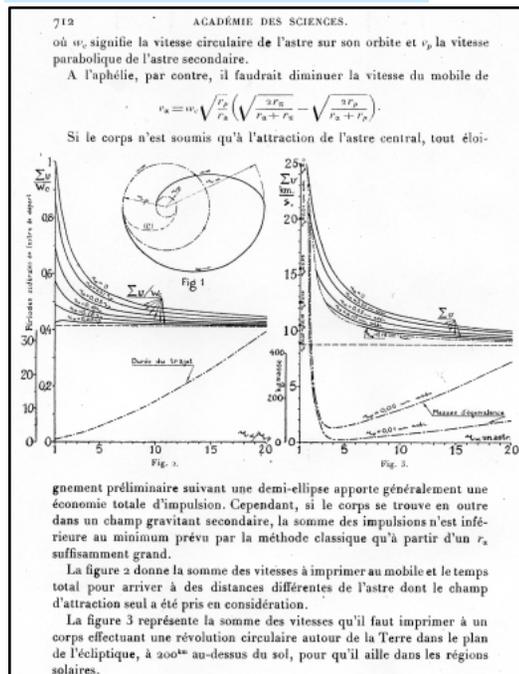


Рис. 11. Страница 2-ой статьи А. Штернфельда.

### Новые Научные идеи

1) 1934, 22 янв. – представление (Ж. Перрен) 1-ой работы А. Штернфельда «Метод определения траектории тела...»

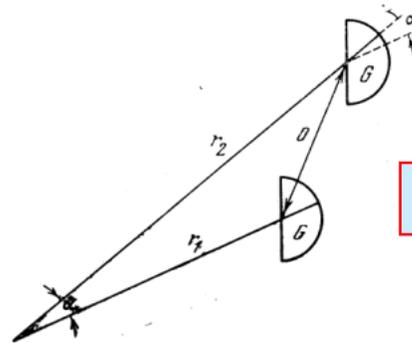


Рис. 10. Схема космической навигации.

2) 1934, 12 февр. - представление (Э. Эсклангон) 2-ой работы А. Штернфельда «О траекториях, позволяющих приблизиться к центральному телу...»

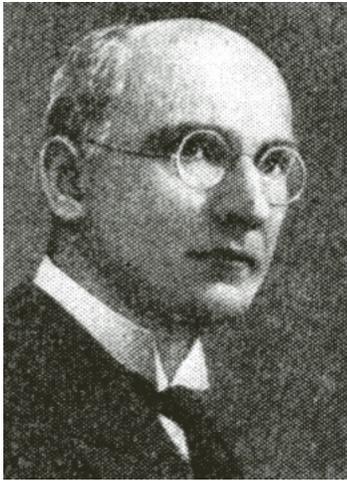
Скоро эти работы были опубликованы Французской АН

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - Г

8

### Научный вклад в Космонавтику

### Задача подлета к центральному телу



В. Гоман  
(1880-1943)



Ф.А. Цандер  
(1887-1933)

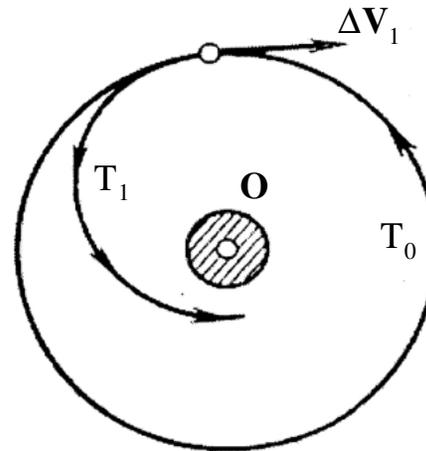


Рис. 14. Траектория Гомана-Цандера для подлета к центральному телу.

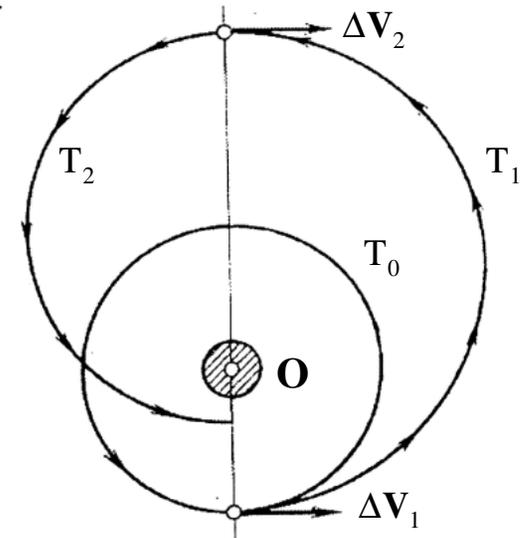


Рис.1 5. Траектория Штернфельда для подлета к центральному телу.

Здесь А. Штернфельд впервые показал, что при некоторых условиях подлет КА к центральному светилу выгоднее осуществить не по дуге полуэллипса Гомана-Цандера, а по *биэллиптической траектории* с первоначальным удалением от центра притяжения.

Этот результат стал главным научным достижением А. Штернфельда. Благодаря ему несомненен и важен *научный вклад* А. Штернфельда в мировую космонавтику.

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - Д

### Научный вклад в Космонавтику

1934, 2 мая – доклад «Некоторые новые взгляды в астронавтике» по книге «Введение в космонавтику», Сорбонна, Париж

1934, 6 июня – рукопись книги «Введение в космонавтику» удостоена Международной поощрительной премии по астронавтике Французского астрономического общества



А. Штернфельд и его жена  
Густава в Париже, 1934 г. [3]

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - е

### Переезд в СССР – Работа в РНИИ

1935 – прибытие в СССР;  
 1935-1937 – сотрудник РНИИ, старший инженер отдела С.П. Королева,  
 участие в работах по ракетам, развитие книги;  
 1937 – публикация книги «Введение в космонавтику»;  
 1938-1946 – авторские свидетельства на изобретения



Сотрудники РНИИ с ракетой ГИРД-Х, 25.11.1933 г.



С.П. Королев, 1933 г.



Здание в Москве (сейчас Центр им. Келдыша), где в 1930-х гг. был РНИИ.

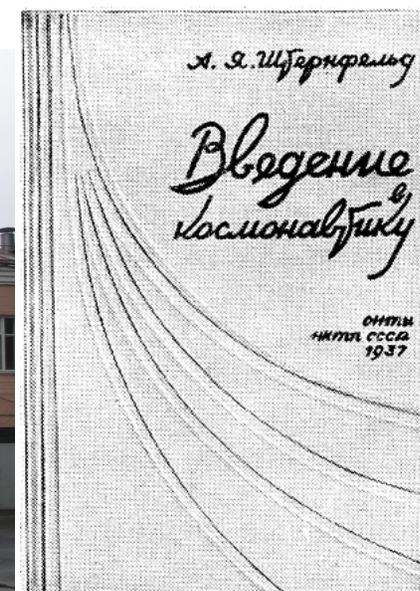


Рис. 20. Обложка «Введения в космонавтику», 1937 г.

### «Введение в Космонавтику»



Рис. 21. Обложка 2-го издания «Введения в космонавтику», 1974 г.

### Содержание:

#### Часть 1. Предварительные сведения

- значение космонавтики;
- Солнечная система;
- Земная атмосфера;
- Физиологические явления в КА;
- Неосуществимые проекты космических сообщений;

#### Часть 2. Ракеты

- История ракеты;
- Общая теория ракеты;
- Физико-химические процессы;
- Применение ракет;
- Космическая ракета;

#### Часть 3. Пути космического полета

- Космический полет;
- Взлет и спуск космического корабля;
- Первые шаги ракетного летания;
- Межпланетная сигнализация;
- Теория относительности в приложении к космонавтике;

Приложения: об обитаемости планет; межпланетные путешествия в народных легендах и в романах

*Книга «Введение в космонавтику» сыграла большую роль в распространении в нашей стране знаний об освоении космического пространства и поэтому стала важным вкладом А. Штернфельда в космонавтику.*



Рис. 22. Обложка книги «Искусственные спутники Земли», 1956 г.



Рис. 23а. Спутник-1, 1957 [4].

### Осуществление мечты – Запуск в СССР первого спутника

Великая Отечественная Война  
1941-1944 – Серов, техникум

1945 – публикация в Докладах Академии Наук СССР статьи о пересечении ракетой атмосферы;  
1949 – «Полет в мировое пространство»;  
1955 – «Межпланетные полеты»;  
1956 – «Искусственные спутники Земли»

1957 – Запуск СССР первого ИСЗ

1957 – «От Искусственного спутника к межпланетным полетам»;  
1958 - «Искусственные спутники», 2-е изд.;  
1974 - «Введение в космонавтику», 2-е изд.;  
1991 – «Парадоксы в Космонавтике»;  
2005 – «...меня считали неизлечимым фантастом...»



Рис. 23б. Ю.А. Гагарин и С.П. Королев, 1961 г.

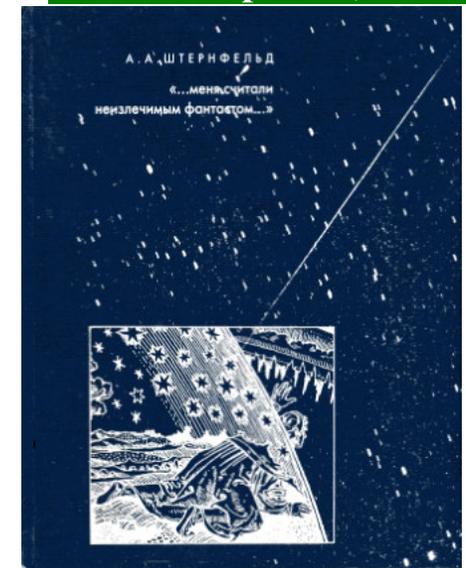


Рис.24. Обложка книги «...меня считали неизлечимым фантастом...», 2005.

## 2. А.А. ШТЕРНФЕЛЬД И ЕГО ВКЛАД В КОСМОНАВТИКУ - 3

### Обходной перелет между орбитами и другие задачи

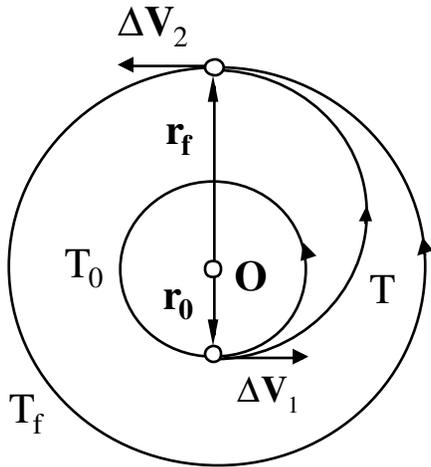


Рис. 25. Двухимпульсное решение Гомана-Цандера для перехода между круговыми орбитами.



Дом в Москве, где жил ученый;  
М.А. Штернфельд и В.В. Ивашкин;  
Патриарший пруд.

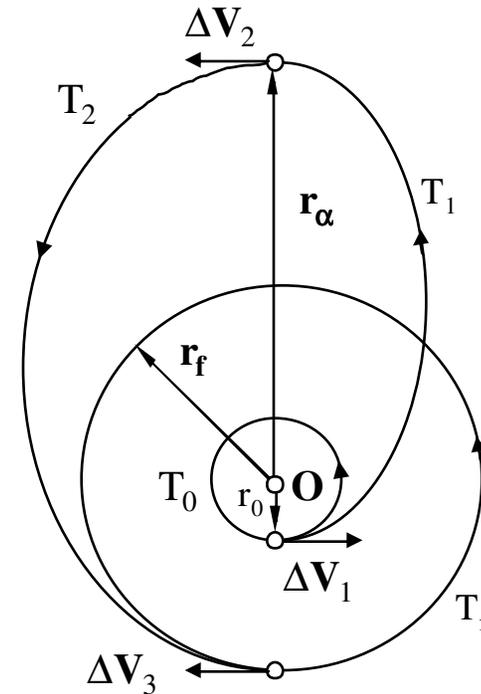


Рис. 26. Трехимпульсный биэллиптический перелет Штернфельда.

- Полет к Солнцу
- Межпланетные перелеты
- Траектории наземных пассажирских ракет
- И т.д.

### Заключительная страница жизненного пути



Рис. 28. А. Штернфельд с космонавтами А. Николаевым и П. Поповичем, 1962 г.

- ~ 100 публикаций во многих странах, на многих языках
- Избран почетным гражданином родного города Серадз
- Удостоен научной степени Доктора технических наук *honoris causa*, СССР
- Удостоен звания Заслуженный работник науки и техники РСФСР, СССР
- Мемориальная доска на доме в Москве, где он жил
- Удостоен степеней Доктора наук *honoris causa* Университета Нанси и Национального Политехнического Института Лотарингии
- Удостоен Международной премии Галабера по Астронавтике, 1963; и т.д.



Мемориальная доска на доме в Москве, где жил А. Штернфельд.



Новодевичий монастырь, где ученый похоронен в 1980 г.



Памятник А. Штернфельду на его могиле.

### 3. СВЯЗЬ НАСЛЕДИЯ А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### А) ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКИХ МАНЕВРОВ

Обобщение на случай эллиптических соосных орбит

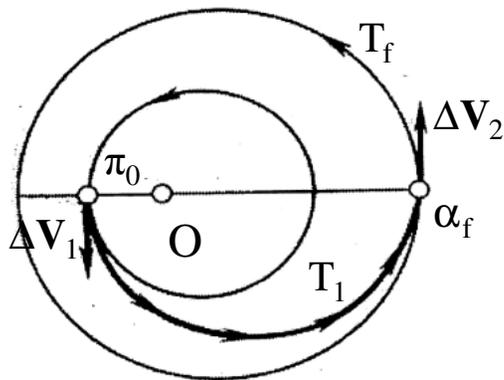


Рис. 32. Двухимпульсный перелет между эллиптическими орбитами.

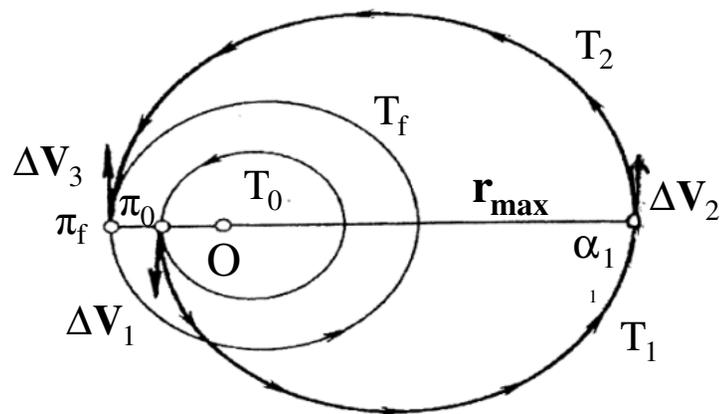


Рис. 33. Трехимпульсный перелет между эллиптическими орбитами.

### 3. СВЯЗЬ НАСЛЕДИЯ А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### А) ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКИХ МАНЕВРОВ

#### Обобщение на случай пространственного перелета

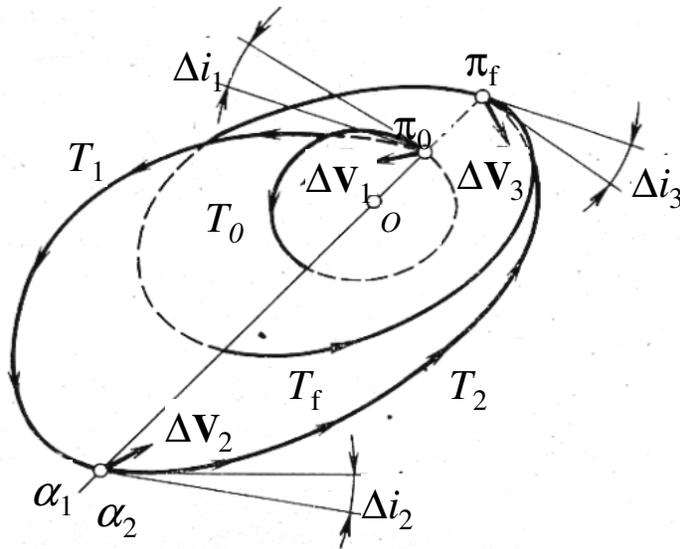


Рис. 34. Пространственный трехимпульсный перелет между эллиптическими орбитами [5].

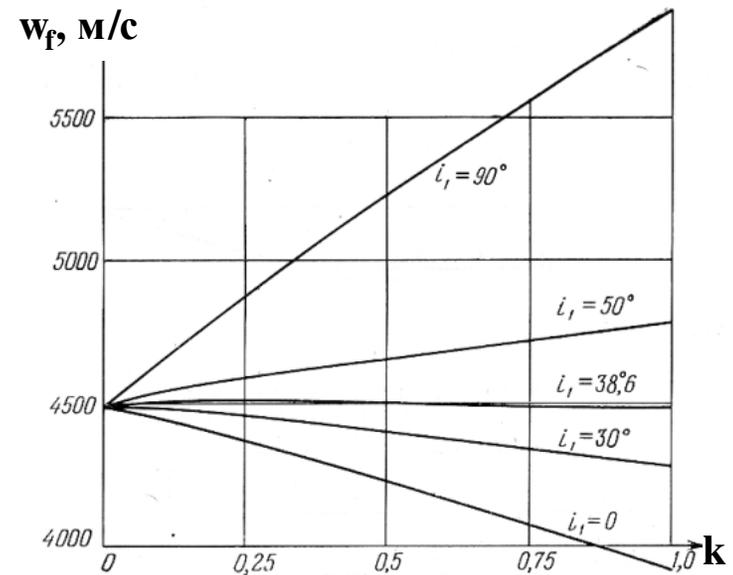


Рис. 35. Характеристическая скорость трехимпульсного перехода на геостационарную орбиту [5].

### 3. СВЯЗЬ НАСЛЕДИЯ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### А) ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКИХ МАНЕВРОВ

Обобщение на случай ограничения времени перелета

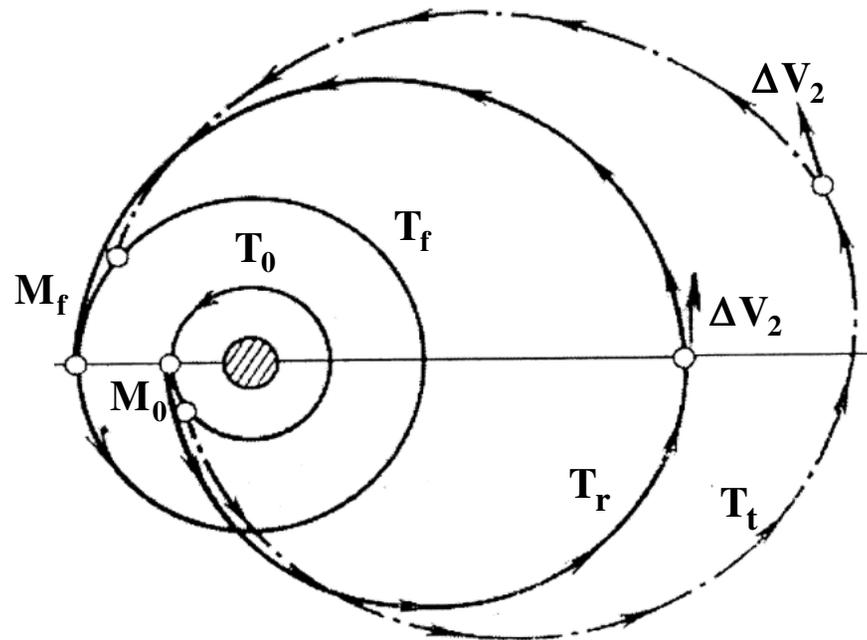


Рис. 36. Траектории  $T_r$  и  $T_t$ , оптимальные при ограничениях на расстояние и на время перелета [6].

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### Б. ПЕРЕЛЕТЫ КА МЕЖДУ ЗЕМЛЕЙ И ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТОЙ

##### Выведение КА с Земли на ГСО

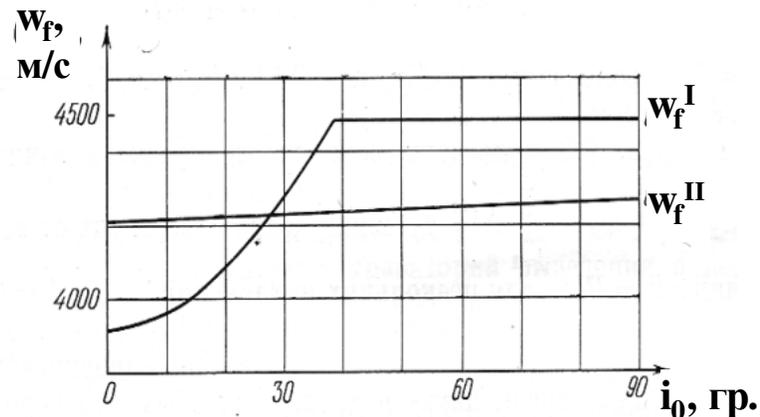


Рис. 37. Характеристическая скорость для двух схем выведения КА на ГСО [5].

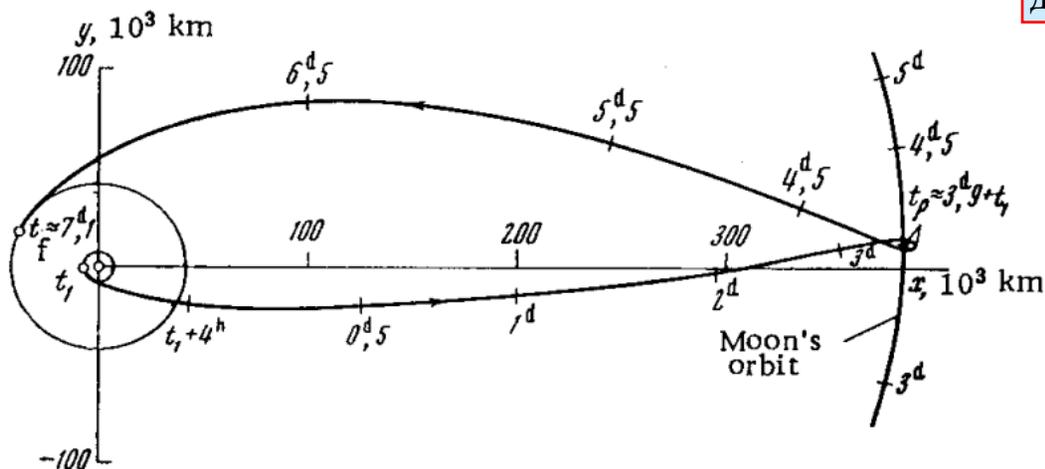


Рис. 38. «Обходной» перелет КА на геостационарную орбиту с гравитационным маневром у Луны [5, 1970].

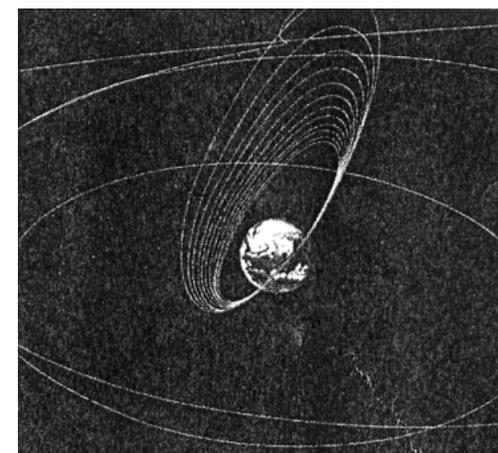


Рис. 39. Выведение КА ASIA SAT 3/HGS-1 на ГСО [7, 1998].

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

19

#### Б. ПЕРЕЛЕТЫ КА МЕЖДУ ЗЕМЛЕЙ И ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТОЙ

##### Возвращение КА с ГСО на Землю

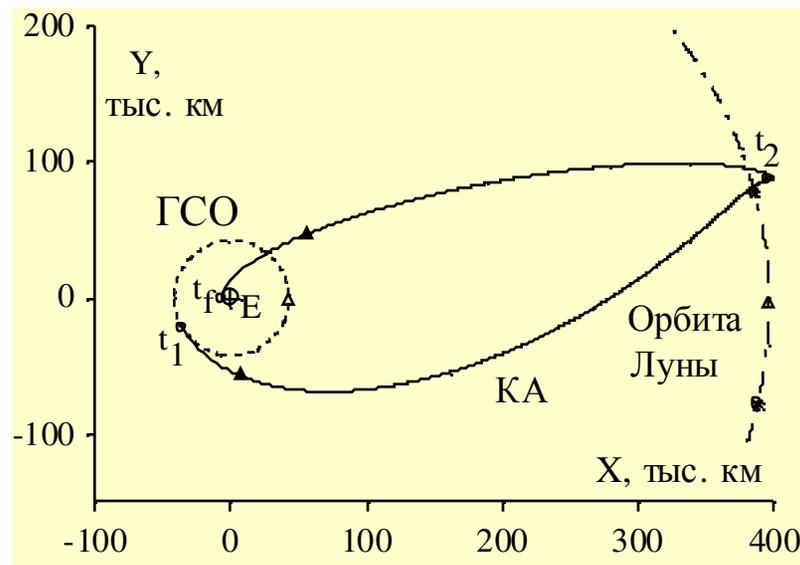


Рис. 40. «Обходная» траектория спуска КА с ГСО на Землю при использовании Лунного гравитационного маневра [8].

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

20

#### В. Перелеты между Землей и Луной

Для перелетов между Землей и Луной обычно используются траектории прямого перелета. Здесь для примера приведена траектория полета Советского КА Луна-9 (1966), осуществившего впервые мягкую посадку на поверхность Луны, и сделанный снимок лунной поверхности.



Рис. 41. Траектория полета КА Луна 9



Рис. 42. Лунная поверхность вблизи КА Луна-9, 1966

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

21

#### В. Перелеты между Землей и Луной

Обычные траектории прямого перелета между Землей и Луной имеют большой расход топлива для торможения и разгона КА у Луны, так как для них КА имеет гиперболическую селеноцентрическую орбиту у Луны.

*Поэтому важен поиск новых слабо-энергетических Лунных перелетов, с другими схемами полета. Один из таких путей – использование «обходных» перелетов.*

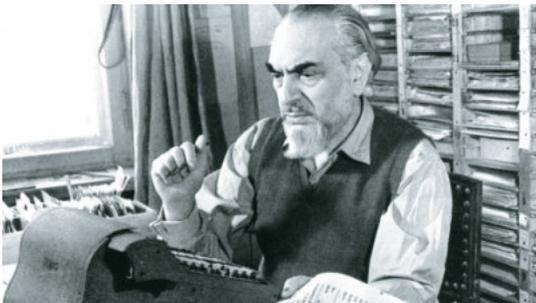


Рис. 43. А. Штернфельд работает в своем кабинете, Москва, 1959 [9].

Прямые перелеты являются обобщением двухимпульсного перелета Гомана-Цандера.

В своих книгах “Искусственные Спутники Земли” (1956) и “Искусственные Спутники” (1958), А. Штернфельд пророчески отметил хорошие перспективы использования обходной биэллиптической схемы полета к Луне. Действительно, анализ показывает, что если максимальное расстояние обходной схемы достаточно велико (несколько млн. км), то эта «обходная» схема полета к Луне энергетически лучше, чем прямая схема.

Но в этом случае надо учесть притяжение Солнца.

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### В. Перелеты между Землей и Луной

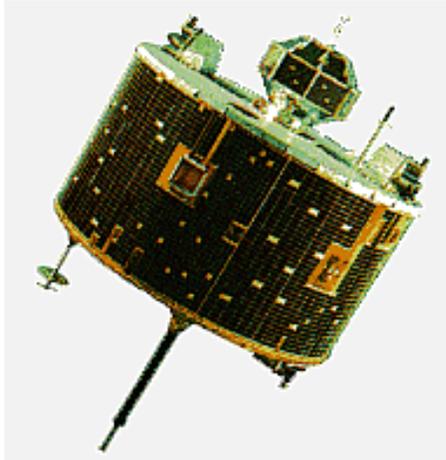


Рис. 44. КА Hiten [10]

Анализ этой «обходной» схемы полета в рамках проблемы четырех тел (Земля-Луна-Солнце-КА) приводит к новым «обходным» траекториям перелета от Земли к Луне с захватом Луной [Belbruno and Miller; Yamakawa et al.; Biesbroek and Janin; Bello Mora et al.; Koon et al.; Ивашкин; и др.], Рис. 44-46 для КА Hiten, Япония, 1990-1993.

Эти траектории внешне, геометрически похожи на биэллиптические траектории Штернфельда. Но динамически они различны: - подъем перигея осуществляется не импульсом скорости, а пассивно, солнечным притяжением; - приближение к Луне происходит по эллиптической орбите, есть захват Луной. Это приводит к заметному уменьшению тормозного импульса у Луны.

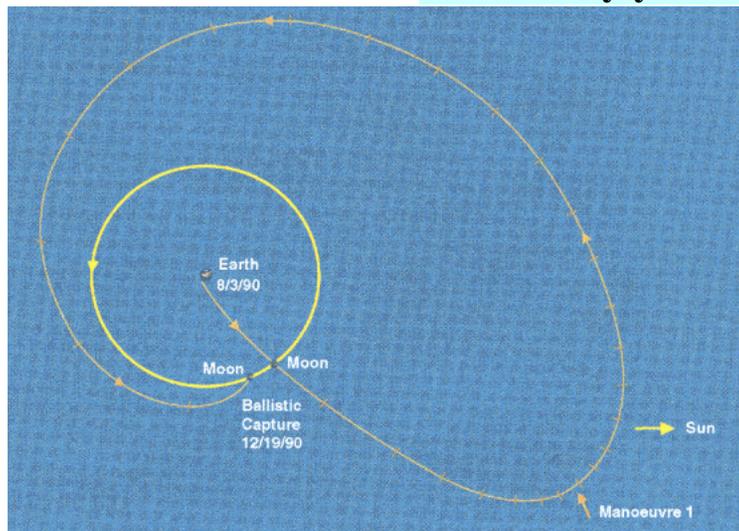


Рис. 45. Проект «обходного» полета КА «Hiten» [11]

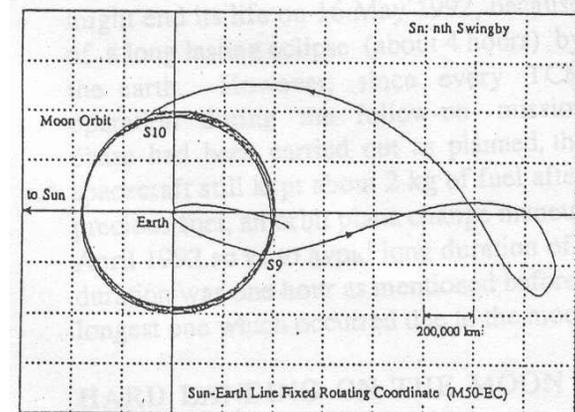


Рис. 46. Полет КА «Hiten» [12]

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

23

#### В. Перелеты между Землей и Луной

*Обходная схема полета может быть использована и для перелета от Луны к Земле, с пассивным освобождением от Лунного притяжения [13; 14].*

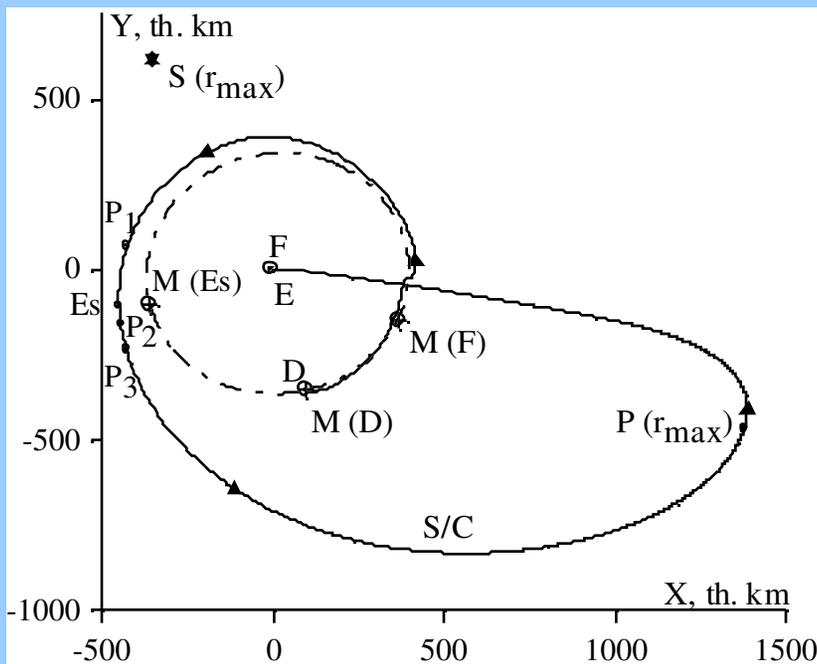


Рис. 47. Геоцентрическая «обходная» траектория Луна – Земля [14]:

D-отлет от Луны, Es – освобождение,  $V_{\infty}=0$ ), F-конечная точка у Земли ( $H_{\pi}=50$  км,  $\Delta t \approx 113$  сут.), M - Луна, E – Земля.

«Обходные» перелеты Луна-Земля используют сначала полет от Земли и орбиты Луны за сферу притяжения Земли и только затем – к Земле. Динамически они также отличны от биэллиптических перелетов Штернфельда:

- *Отлет от Луны происходит по эллиптической орбите с пассивным освобождением от Лунного притяжения из-за притяжения Земли;*

- *Снижение перигея происходит пассивно, из-за гравитации Солнца.*

*Это уменьшает расходы топлива на разгон.*

Таким образом, современный анализ доказал, что в задаче четырех тел существуют обобщенные «обходные» траектории с пассивным захватом или освобождением. Они лучше с энергетической точки зрения, чем обычные прямые траектории, имеют меньший расход топлива.

### 3. СВЯЗЬ РЕЗУЛЬТАТОВ А.А. ШТЕРНФЕЛЬДА С СОВРЕМЕННОЙ КОСМОНАВТИКОЙ

#### Г) Проект Ulysses для полета к Солнцу вне плоскости эклиптики

Задачей Международного (США, ЕКА) проекта Ulysses (1990-2009) является исследование солнечных полярных регионов вне плоскости эклиптики.

Для получения большого наклона орбиты к плоскости эклиптики и выхода КА из эклиптики, были использованы: сначала – полет к Юпитеру, затем – Юпитерианский гравитационный маневр, что изменило наклонение орбиты и перигелийное расстояние.

Этот переход можно считать обобщенным «обходным» перелетом.

В результате такого маневра: наклонение  $\sim 80^\circ$ , расстояния в перигелии  $\sim 1.35$  А.Е., в афелии  $\sim 5.4$  А.Е., период  $\sim 6.2$  лет.

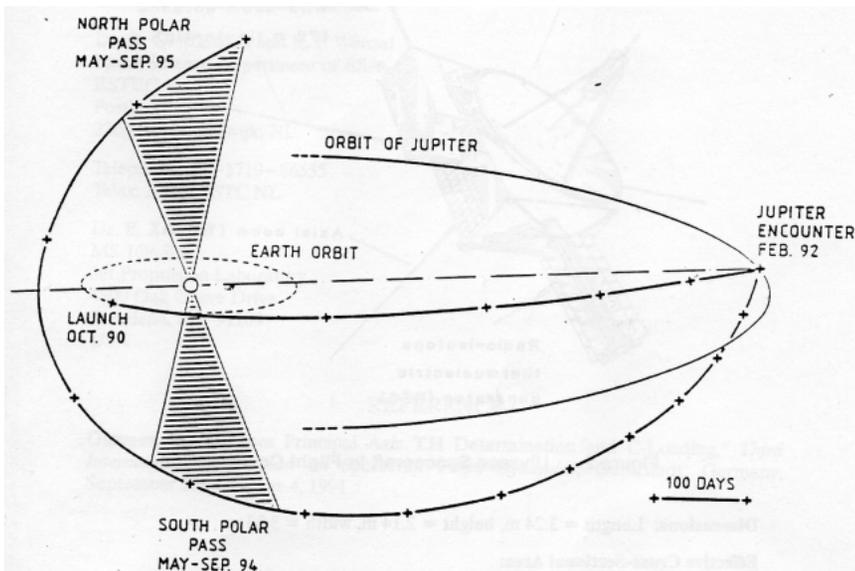


Рис. 48. Траектория полета  
КА Ulysses [15].

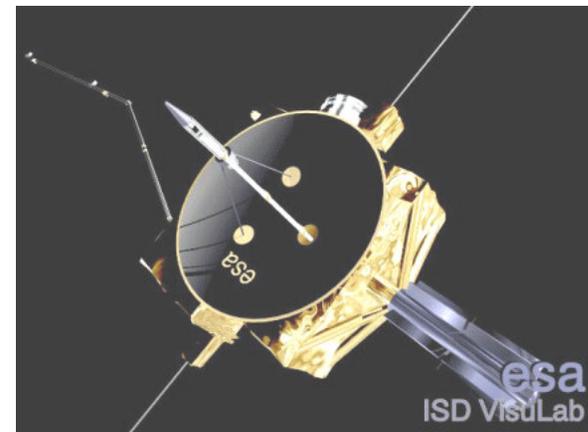
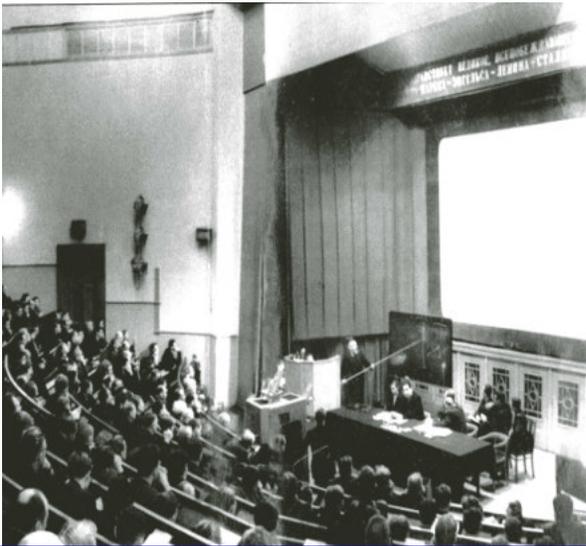


Рис. 49. КА Ulysses [16].

Анализ творческого наследия А.А. Штернфельда позволяет сделать вывод, что своей научной и научно-популярной деятельностью А. Штернфельд внес заметный вклад в становление космонавтики, а его идеи не прямых, биэллиптических перелетов органично вошли как в теорию, так и в практику современной космонавтики.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (Грант N 09-01-00710) и Гранта научной школы НШ-6700.2010.1.

Автору оказали помощь воспоминаниями, фотографиями и материалами М. Belló-Mora, А.В. Носкова, А.С. Носков, А.С. Носкова, А.К. Платонов, В. Ropiela wska, В.И. Прищепа, А.Ф. Цандер, М.А. Штернфельд, Т.М. Энеев; автор приносит им искреннюю признательность.



А. Штернфельд читает лекцию в Политехническом Музее Москвы, 1954 [9]



А. Штернфельд на встрече с земляками Серадза, 1964 [9]



А. Штернфельд с космонавтами В.В. Горбатко и В.В. Аксеновым на встрече, посвященной 120-ой годовщине рождения К.Э. Циолковского, Москва, 1977 [9]

Благодарю Вас за внимание!

## ЛИТЕРАТУРА

1. Geisler W. *Ary Szternfeld – pioneer kosmonautyki* – Warsaw: LSW, 1981.
2. Прищепа В.И., Дронова Г.П. *Ари Штернфельд – Пионер Космонавтики*. Ред.: Б.В. Раушенбах. Москва: «Наука», 1987.
3. Штернфельд А.А. «...меня считали неизлечимым фантастом...» Москва: Политехнический музей. 2005.
4. <http://www.lidorenko.ru>
5. Ивашкин В.В., Тупицын Н.Н. // Космические исследования. 1971. Том 9, вып. 2, с. 163-172.
6. Ивашкин В.В., Скороходов А.П. // Космические исследования. 1980. Том 18, вып. 1, с. 11-21.
7. Riebe T., and Schweitzer M. // *Aerospace America*, Dec. 1998, p. 83.
8. Ивашкин В.В. // Доклады Академии наук, 2006. Том 409, N 6, с. 770-773.
9. Архив А.А. Штернфельда, Политехнический музей, Москва, Россия.
10. *NASA Information - NSSDC Master Catalog*, Internet.
11. Biesbroek R., Janin G. *Ways to the Moon?* // *ESA Bulletin*, 2000, Vol. 103, pp. 92 - 99.
12. Uesugi, Kuninori. // *AAS/GSFC International Symposium on Space Flight Dynamics*, 1993, AAS Paper 93-292, 20 p.
13. H. Yamakawa, et all. // *AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference*, Victoria, USA, 1993, Paper AAS 93-633, 20 p.
14. Ивашкин В.В. // Доклады Академии наук, 2004. Том 398, N 3, с. 340-342.
15. *Handbook on Trajectories, Mission Design, and Operations*, third Edition, Vol. 1, Current Missions – Prepared by Working Group 3 of the Inter-Agency Consultative Group for Space Science (IACG). Nov. 1991. Section 12 – Ulysses, pp. I-12-1–5.
16. ESA Information [http://www.esa.int/esaCP/SEMWHF1P0WF\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMWHF1P0WF_index_0.html)