

Навигационное обеспечение космического
эксперимента
в миссиях ФКП 2016-2025 гг:
информационная система **SPICE**
(**S**pacecraft **P**lanet **I**nstrument **C**-matrix **E**vents)

"МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, ИНФОРМАТИКА"
Семинар под руководством Р.Р. Назирова

Ледков Антон
Москва
2015

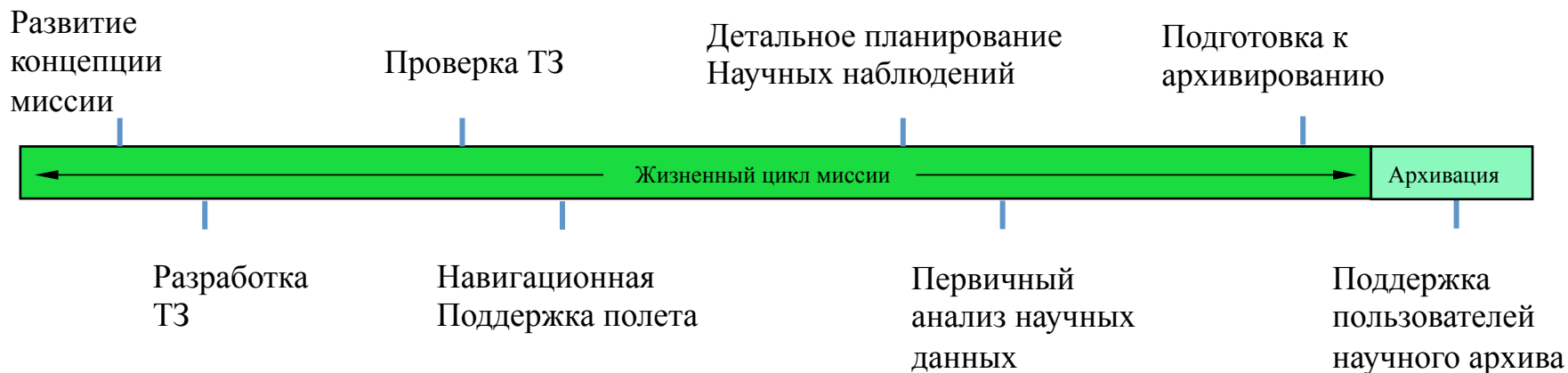
Федеральная космическая программа России на 2016-2025 годы

фундаментальные космические и технологические исследования

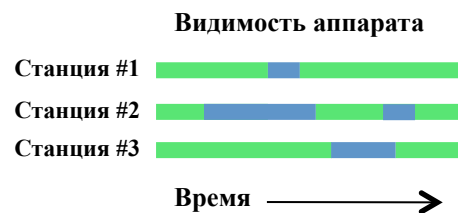
Проект	Запуск КА
«ЭкзоМарс» № 1	2016
«Спектр-РГ»	2017
«ЭкзоМарс» № 2	2018
«Луна-Глоб»	2019
«Бион-М» № 2	2020
«Спектр-УФ»	2021
«Луна-Ресурс-1»	2021
«АРКА»	2023
"Экспедиция-М»	2024
«Резонанс» № 1, №2	2024
«Резонанс» № 3, № 4	2025
«Бион-М» № 3	2025
«Интергелио-Зонд»	2025
«Марс-Сервейер»	2016 – 2025
«Коронас-К»	2016 – 2025

«Спектр-М»
«Гамма -400»

Этапы миссии, требующие навигационную вспомогательно - информационную поддержку



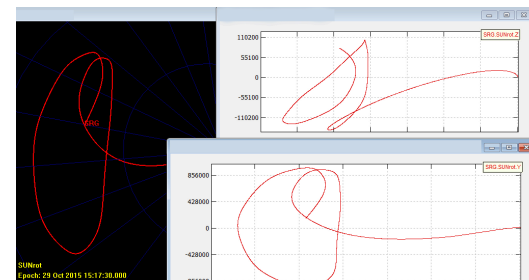
Примеры:



**Анализ планируемой
орбиты с точки зрения науки**

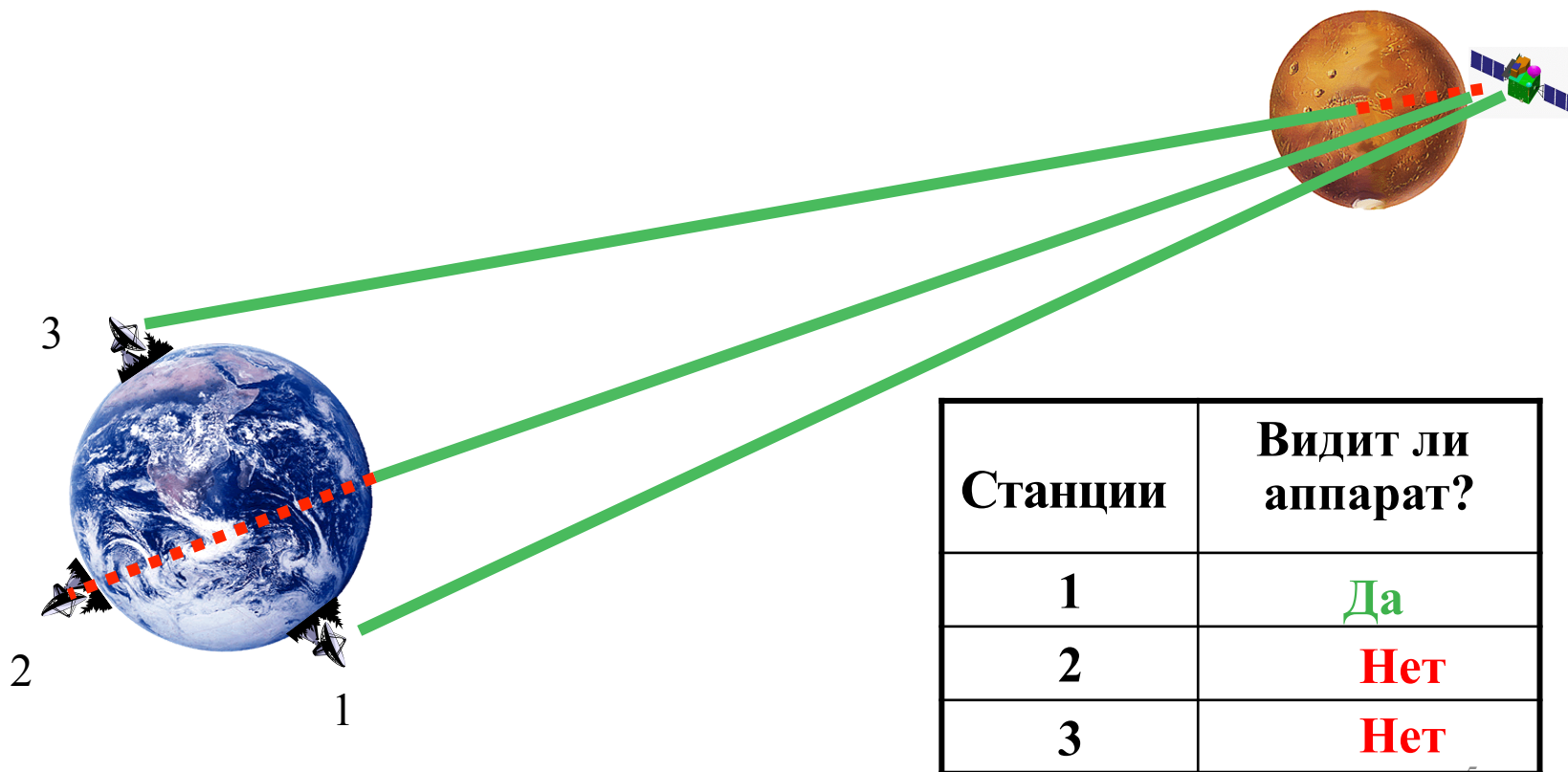


**Возможности станций
наблюдения**

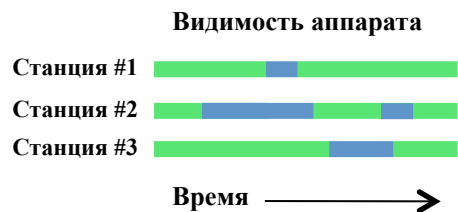


Видимость космического аппарата

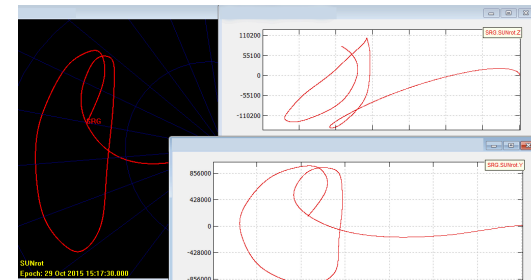
Предположим, вам необходимо определить, какие станции может "видеть" космический аппарат на конкретный момент времени.



Примеры:



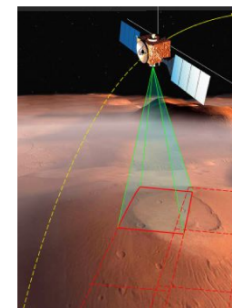
**Анализ планируемой
орбиты с точки зрения науки**



**Возможности станций
наблюдения**

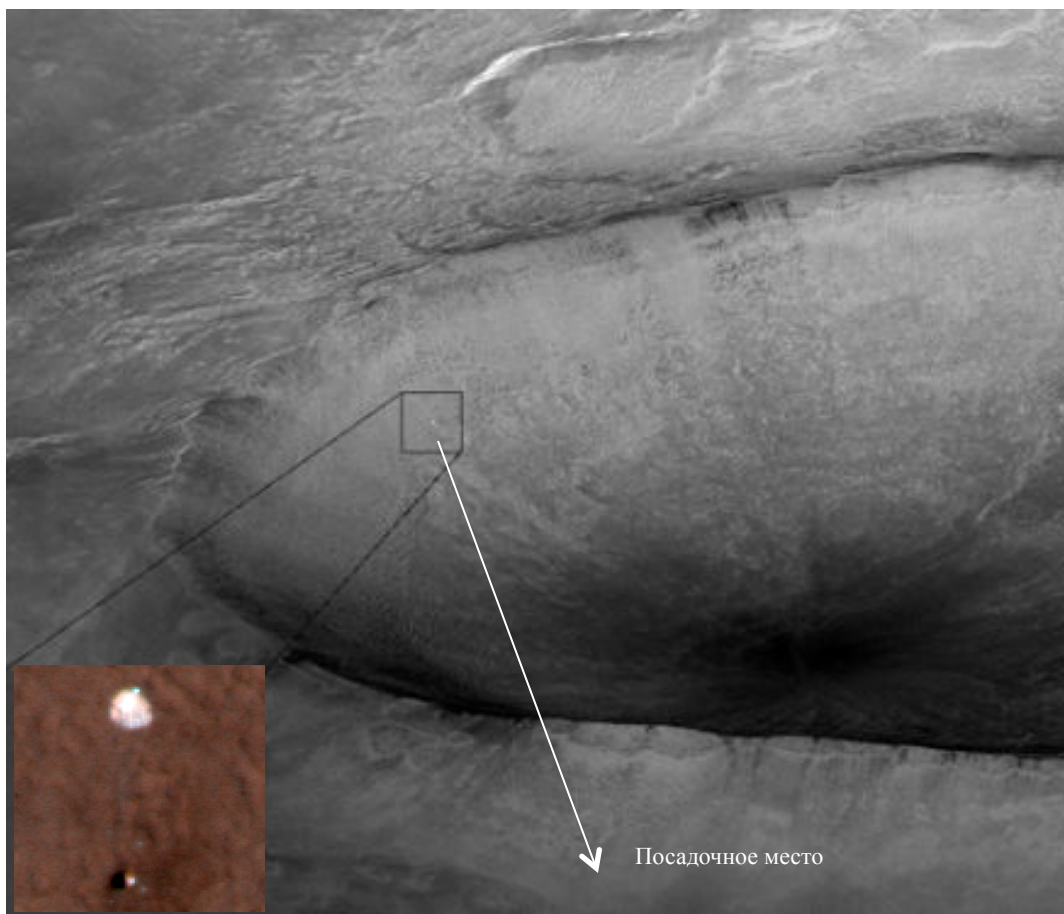
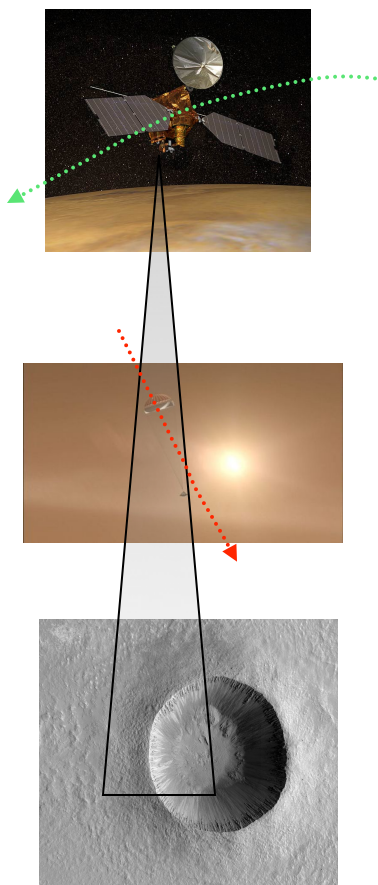


Планирование наблюдений

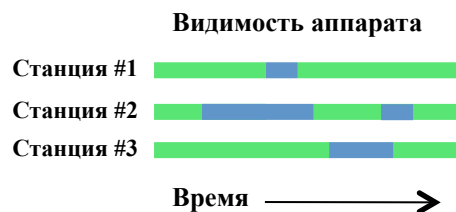


Планирование наблюдений

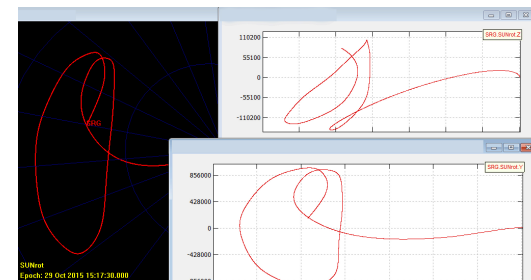
Предположим Вы хотели бы сфотографировать Phoenix Lander парашютирующий на поверхность Марса, с помощью камеры на борту Mars Reconnaissance Orbiter.



Примеры:



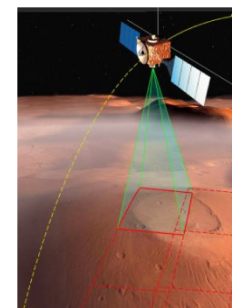
**Анализ планируемой
орбиты с точки зрения науки**



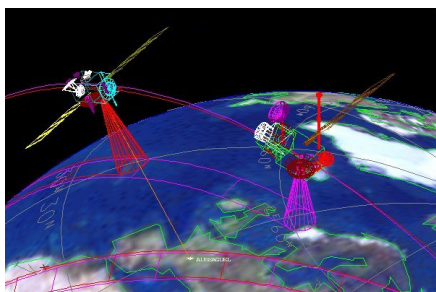
**Возможности станций
наблюдения**



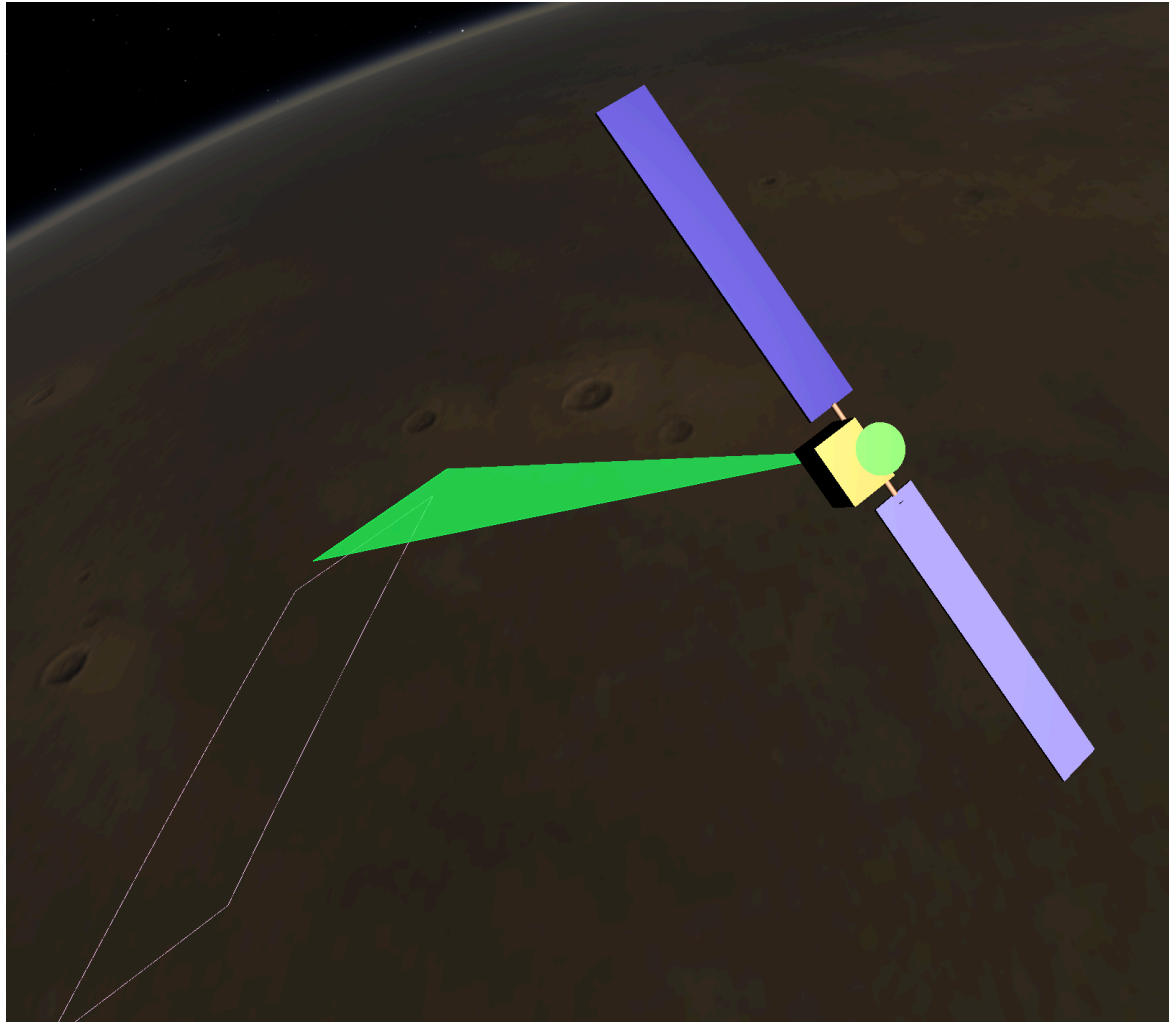
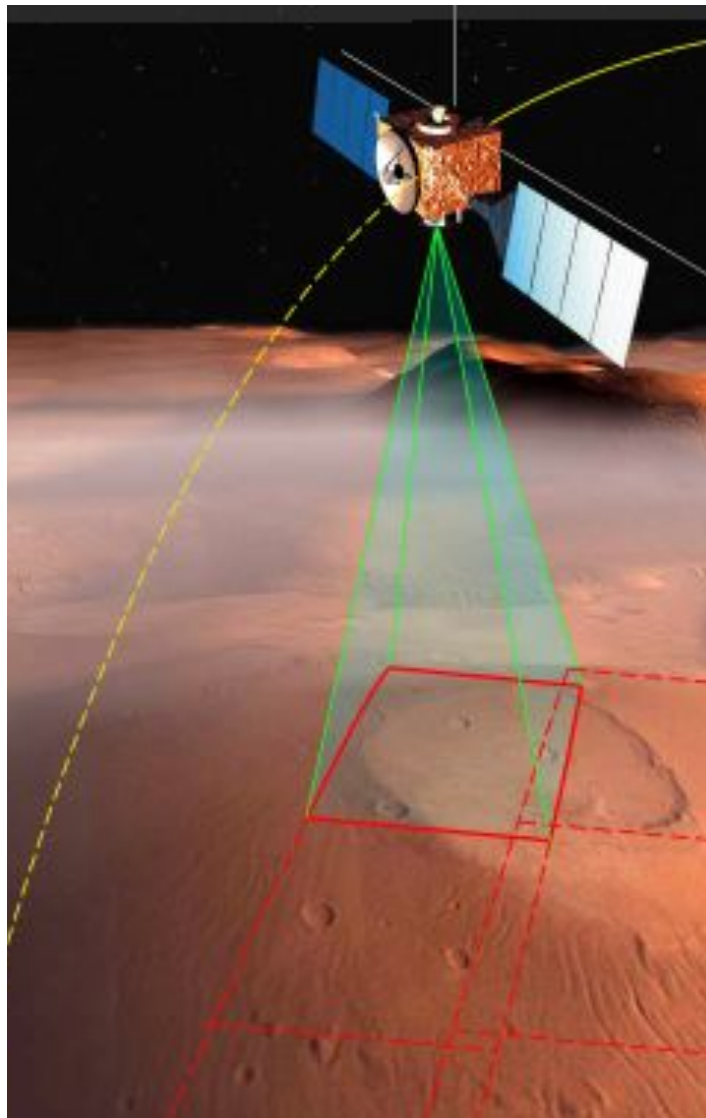
Планирование наблюдений



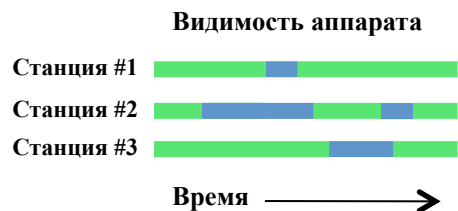
**Визуализации геометрии
наблюдений**



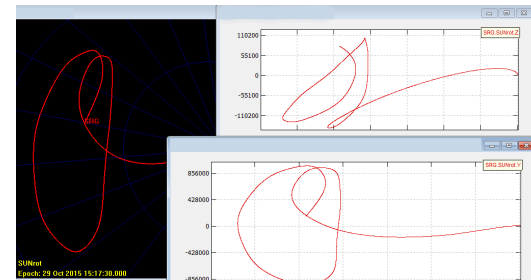
Визуализации геометрии наблюдений



Примеры:



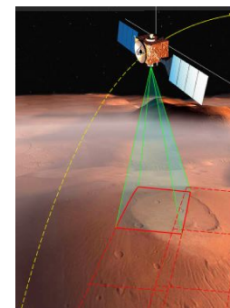
Анализ планируемой орбиты с точки зрения науки



Возможности станций наблюдения



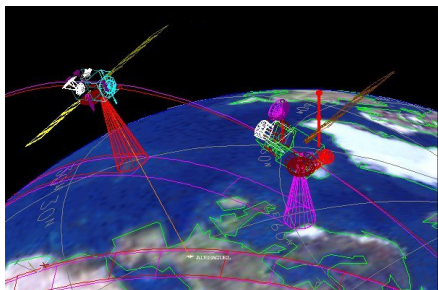
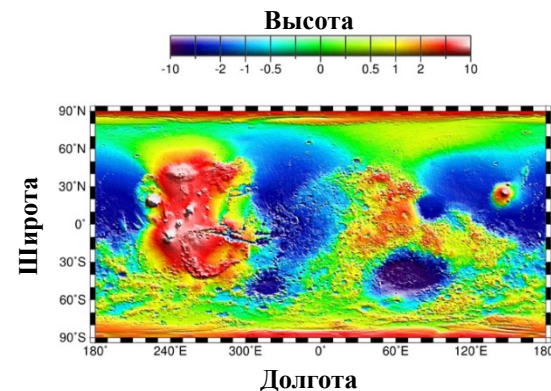
Планирование наблюдений



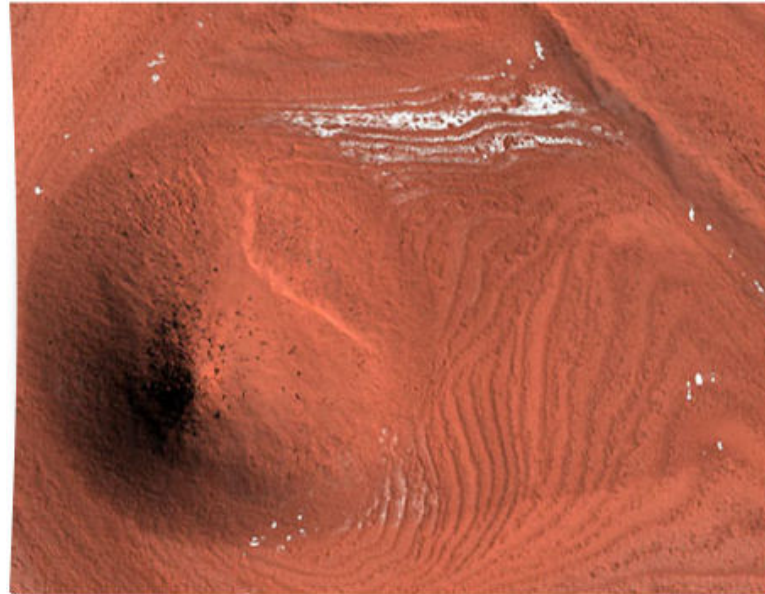
Визуализации геометрии наблюдений



Анализ научных данных и их архивирование

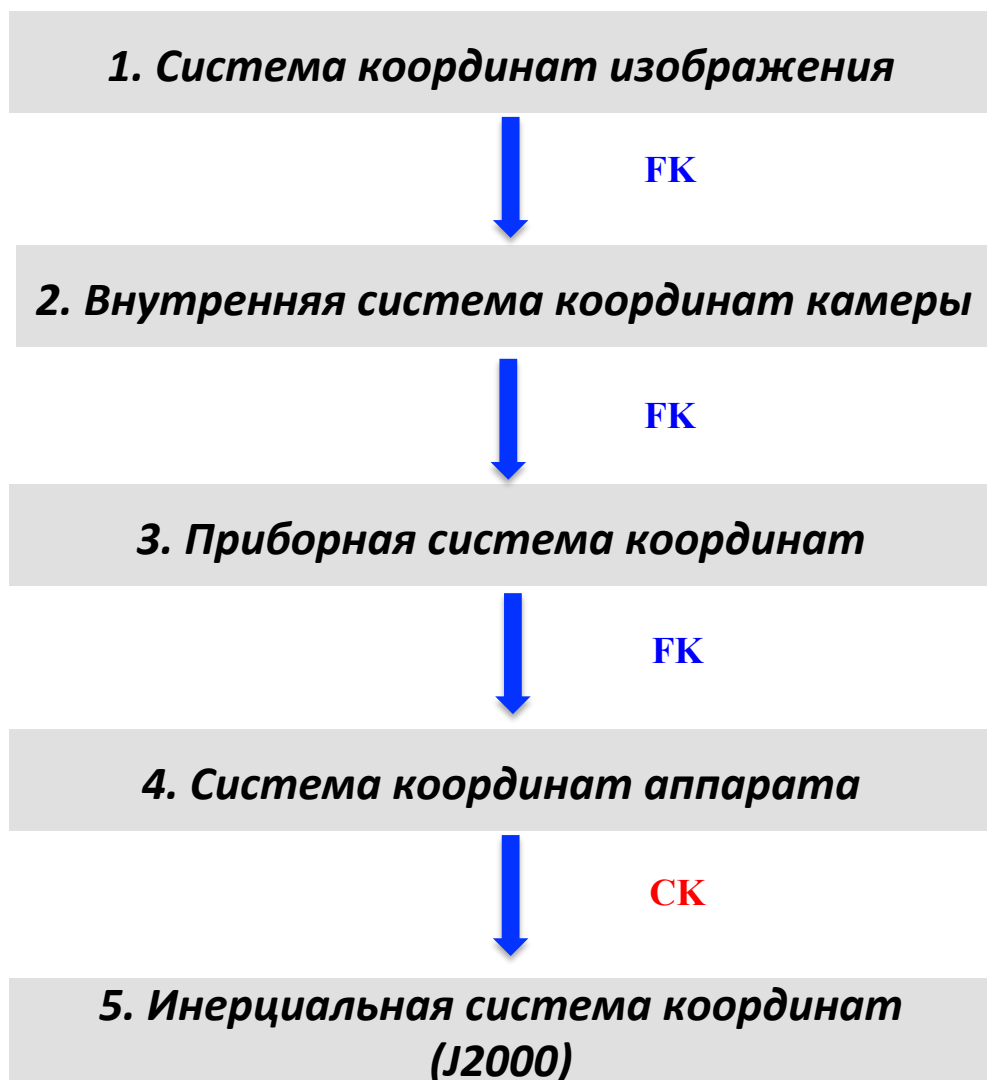


Предположим у вас есть фотография Марса



Гора или кратер?
Какая ширина?
На сколько глубоко или высоко?
На сколько крутые стороны?
Широта и долгота?

Системы координат камеры



Как решать подобные задачи ?

SPICE



Аббревиатура **SPICE**

S

Spacescraft (Космический аппарат)

P

Planet (планета)

I

Instrument (прибор)

C

C-matrix (ориентация)

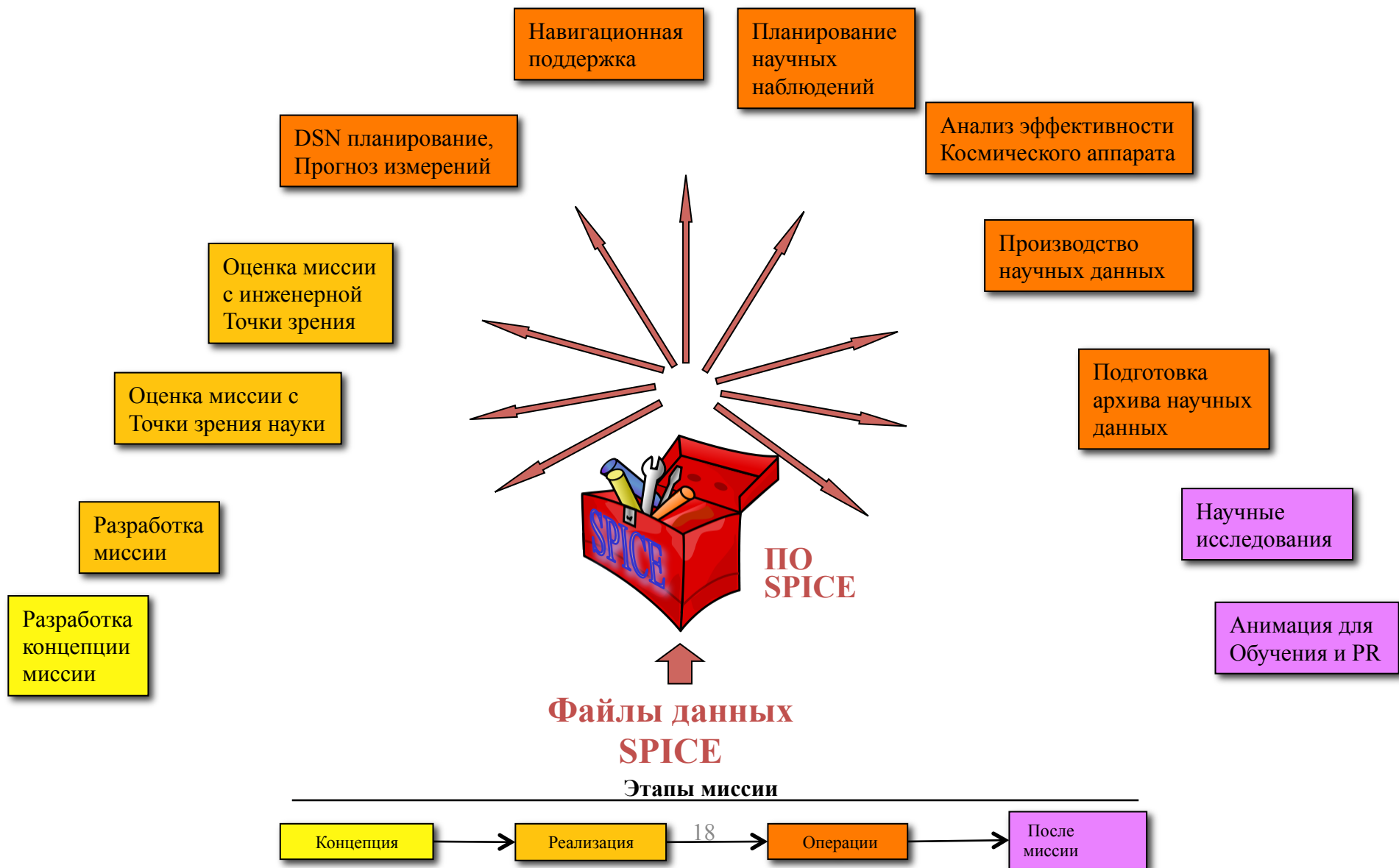
E

Events (события)

SPICE – система хранения навигационных и вспомогательных данных, необходимых для осуществления планирования наблюдений и обработки результатов экспериментов, проводимых научными приборами в космических проектах.

- **Разработка системы SPICE была начата учеными в 1984 году как часть крупного проекта по улучшению архивирования и распространения данных космической науки во всех дисциплинах НАСА**
- **Ответственность за развитие системы SPICE была возложена на созданный отдел NAIF, в Лаборатории реактивного движения (JPL)**
- **Полноценно система SPICE работает с 1991**

SPICE может поддерживать на всех этапах миссии



Два типа данных



SPICE работает с **этими** данными для
поддержки и анализа **этих** данных

SPICE

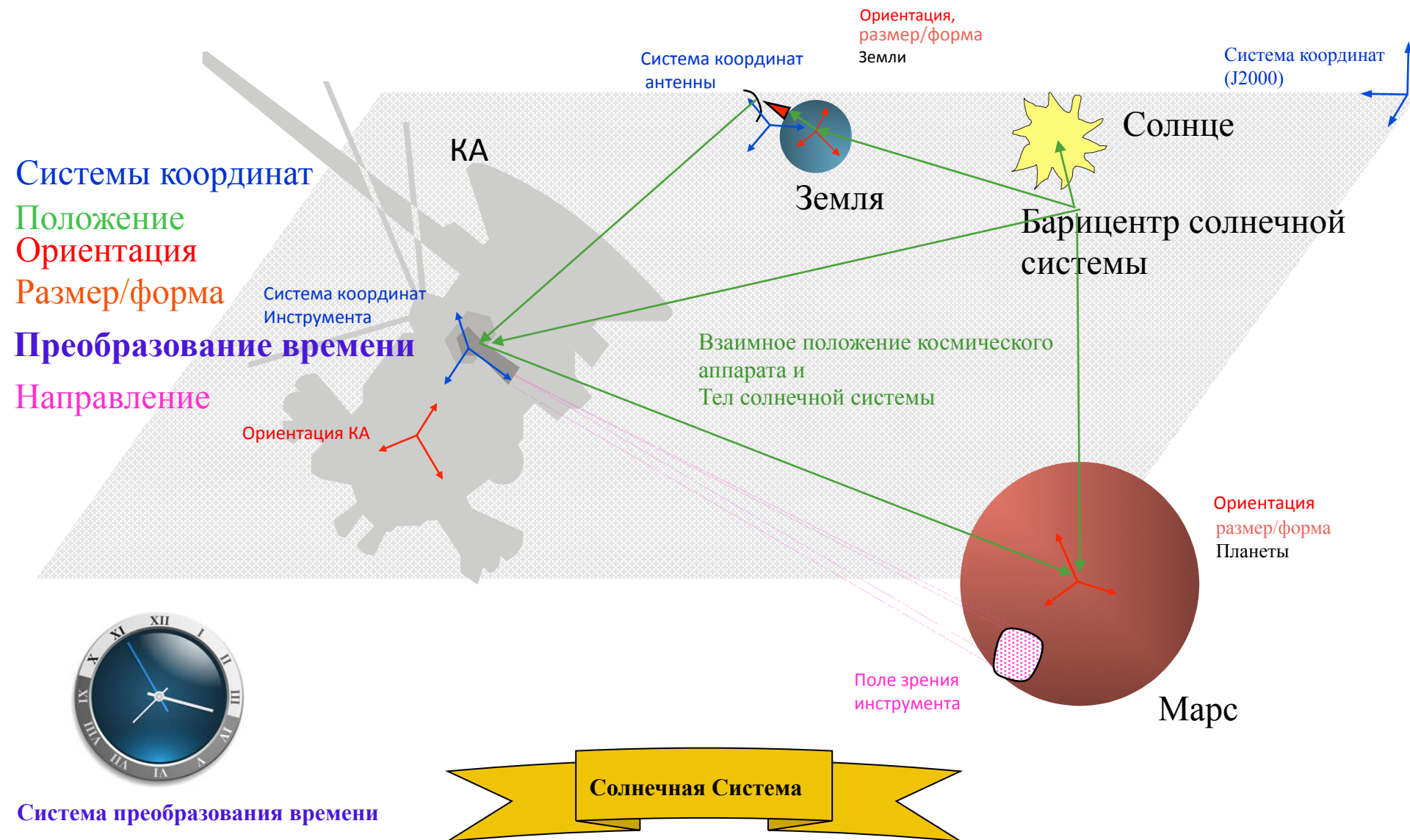


SPICE работает с **этими** данными для
поддержки и анализа научных данных

Что такое “Вспомогательные данные?”

- “Вспомогательные данные” это те данные, которые помогают ученым и инженерам определять:
 - Положение космического аппарата
 - Ориентацию КА и его приборов
 - Положение, размер, форма и ориентация наблюдаемого объекта
 - События происходящие на КА или Земле, которые могут повлиять на интерпретацию научных наблюдений
- Все приведенные выше примеры можно использовать для определения как в прошлом, настоящем и будущем времени.

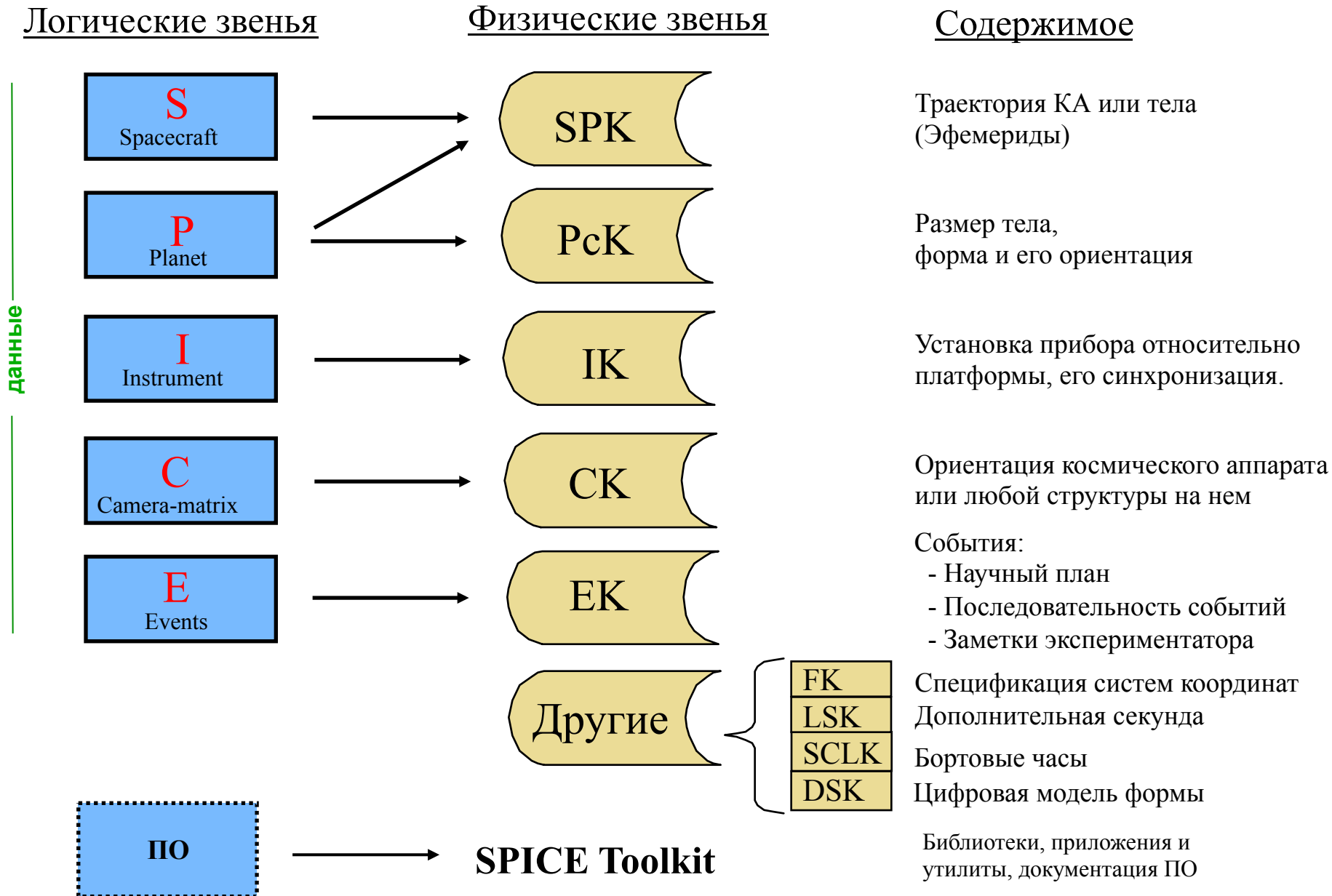
SPICE предоставляет доступ к любой вспомогательной информации



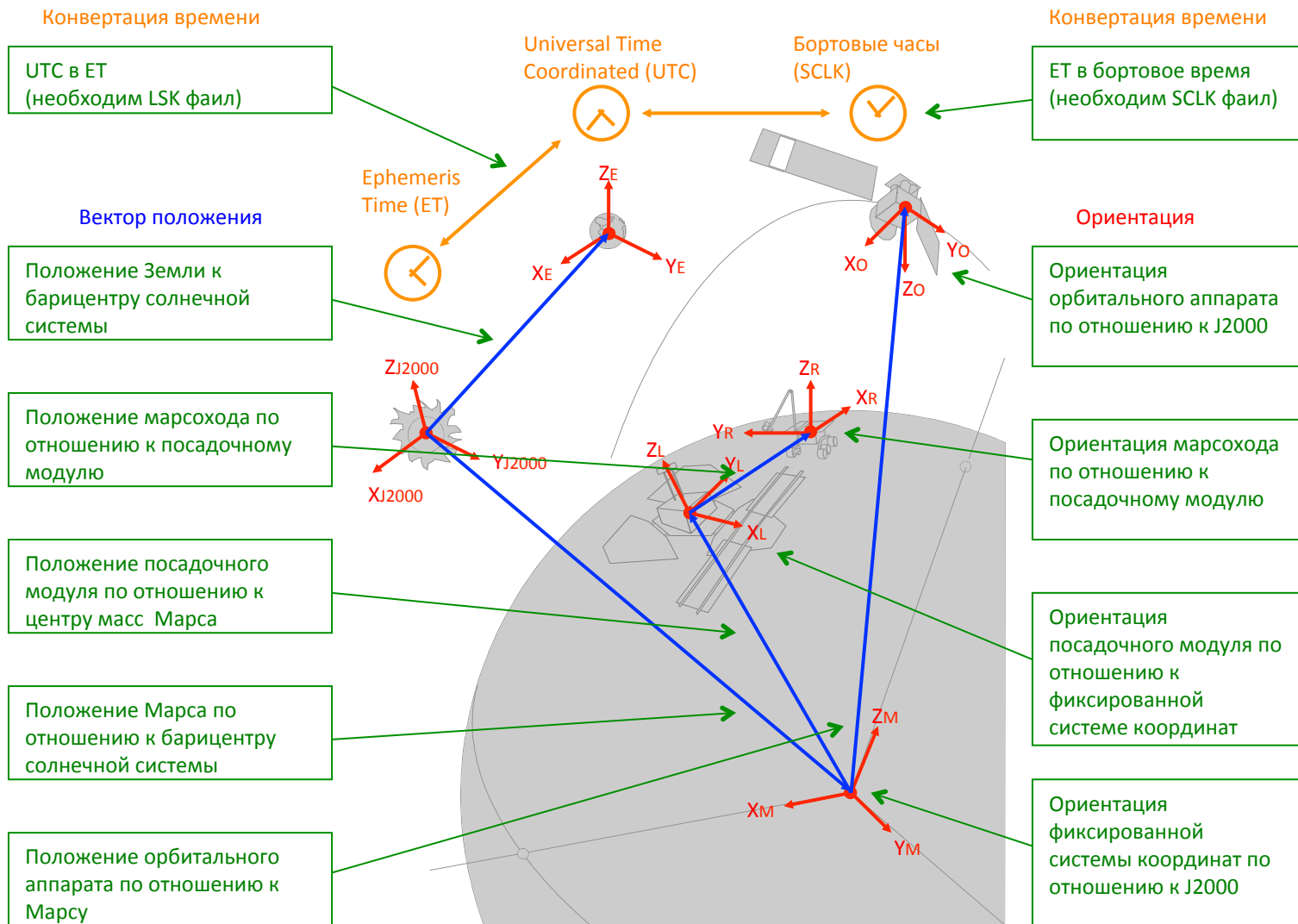
Откуда берутся вспомогательные данные?

- Некоторые приходят с аппарата
- Некоторые приходят из центра управления полетами
- Некоторые приходят от ученых
- SPICE упаковывает данные в стабильные типы файлов, называемых "ядра".
- Ядра доступны, наряду с программным обеспечением SPICE :
 - чтобы помочь ученым в области планирования и анализа научных наблюдений
 - чтобы помочь инженерам в области планирования и анализа операций с космическими аппаратами и наземных систем.

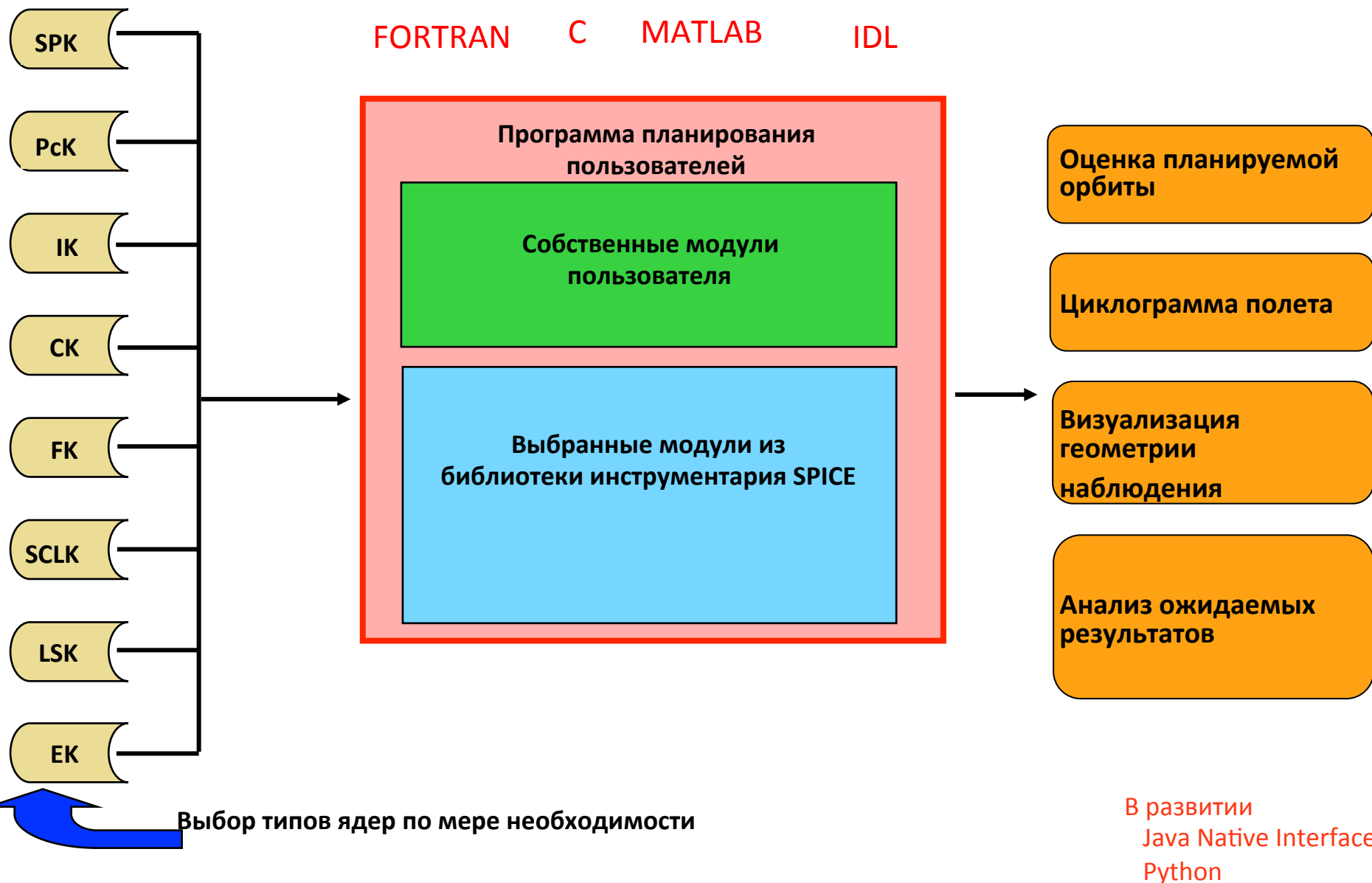
Обзор данных **SPICE** и программного обеспечения (ПО)



Глобальная геометрия Миссии

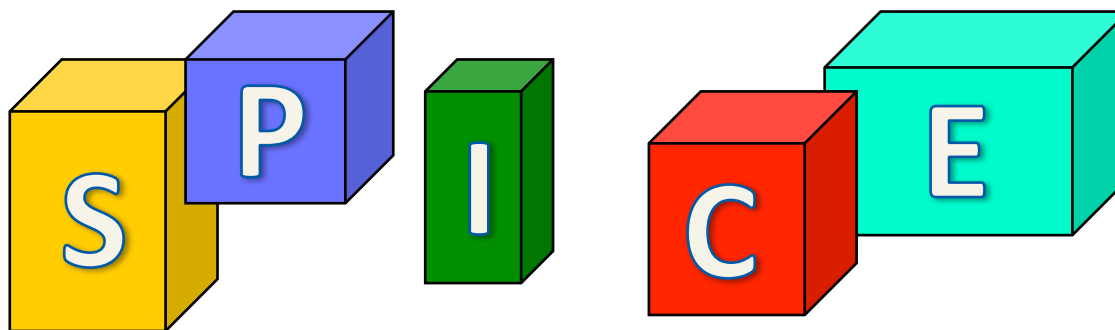


Использование SPICE в планировании

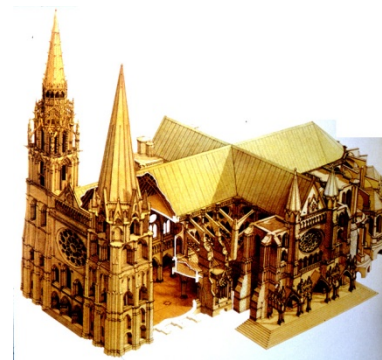


Система SPICE - “конструктор”

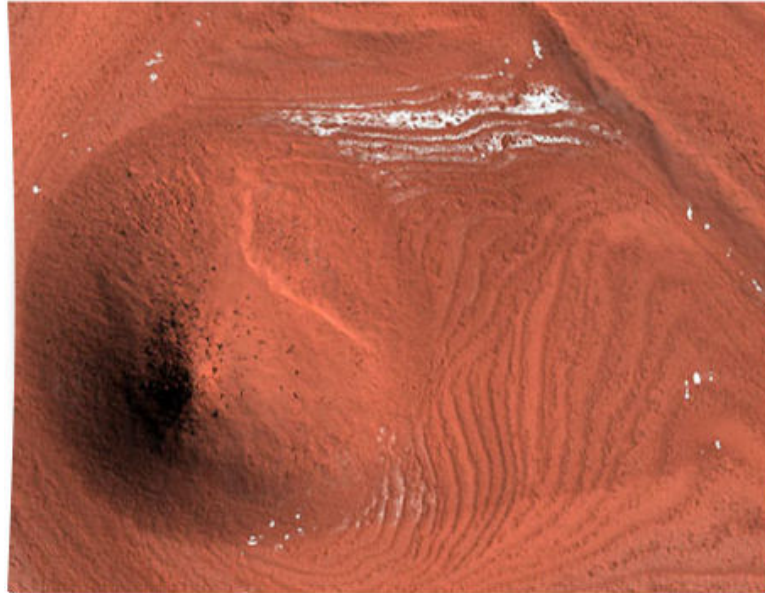
SPICE как набор строительных блоков



Используя эти блоки, программное обеспечение преобразует их в любую форму в зависимости от Ваших потребностей и желаний



Предположим у вас есть фотография Марса



Гора или кратер?
Какая ширина?
На сколько глубоко или высоко?
На сколько крутые стороны?
Широта и долгота?

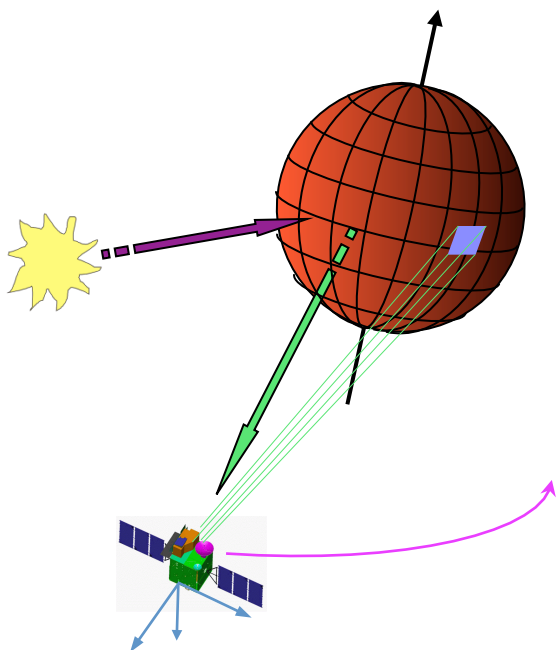
SPICE поможет Вам легко и точно определить геометрию наблюдения параметров, необходимых для ответа на эти вопросы.

Что можно сделать при помощи SPICE?

Вычислить много видов параметров геометрии наблюдения

Несколько примеров

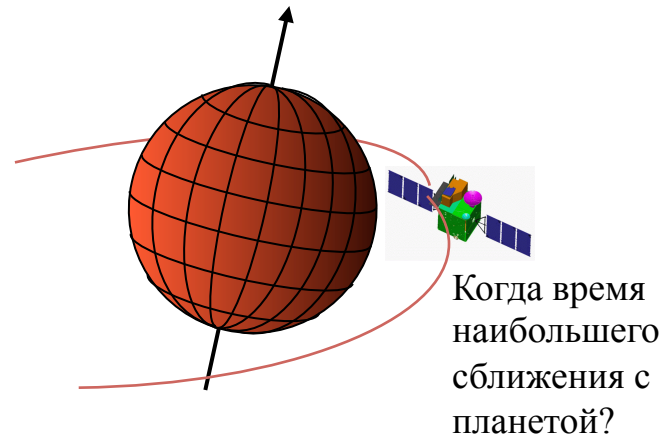
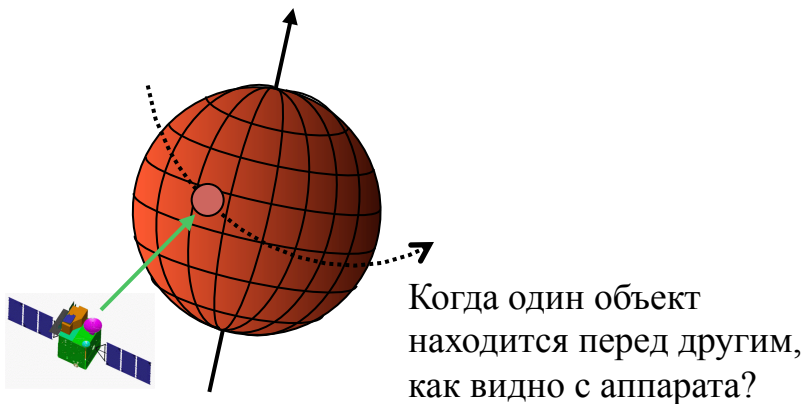
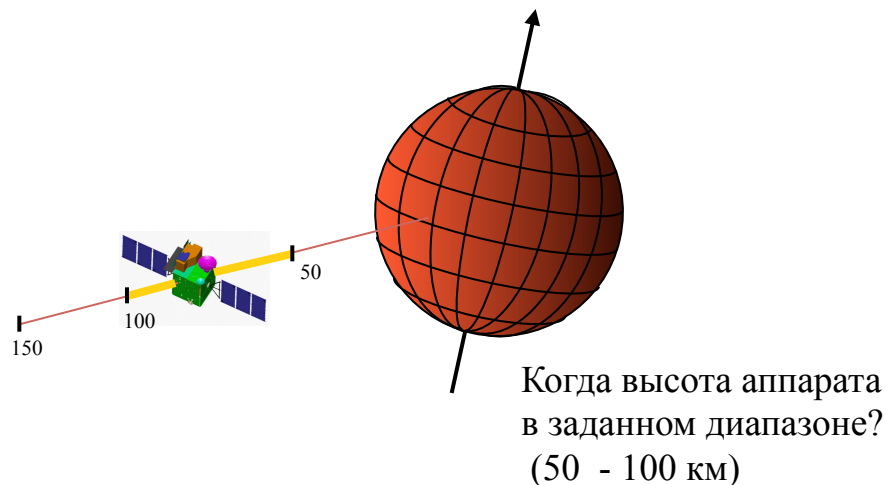
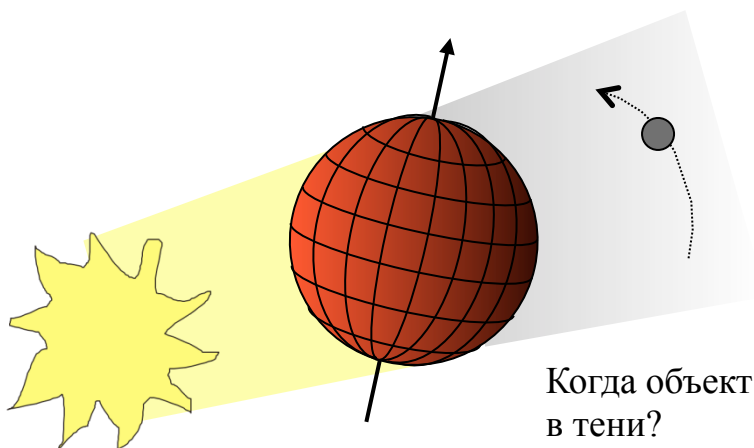
- Положение и скорость планет, спутников, комет, астероидов и космических аппаратов
- Размер, форма и ориентация планет, спутников, комет и астероидов
- Ориентация аппарата и его различных движущихся структур
- Поле зрения инструмента



Пример использования

Поиск времени, когда выбранное «геометрические событие» имеет место, или если выбранное «геометрическое условие» существует

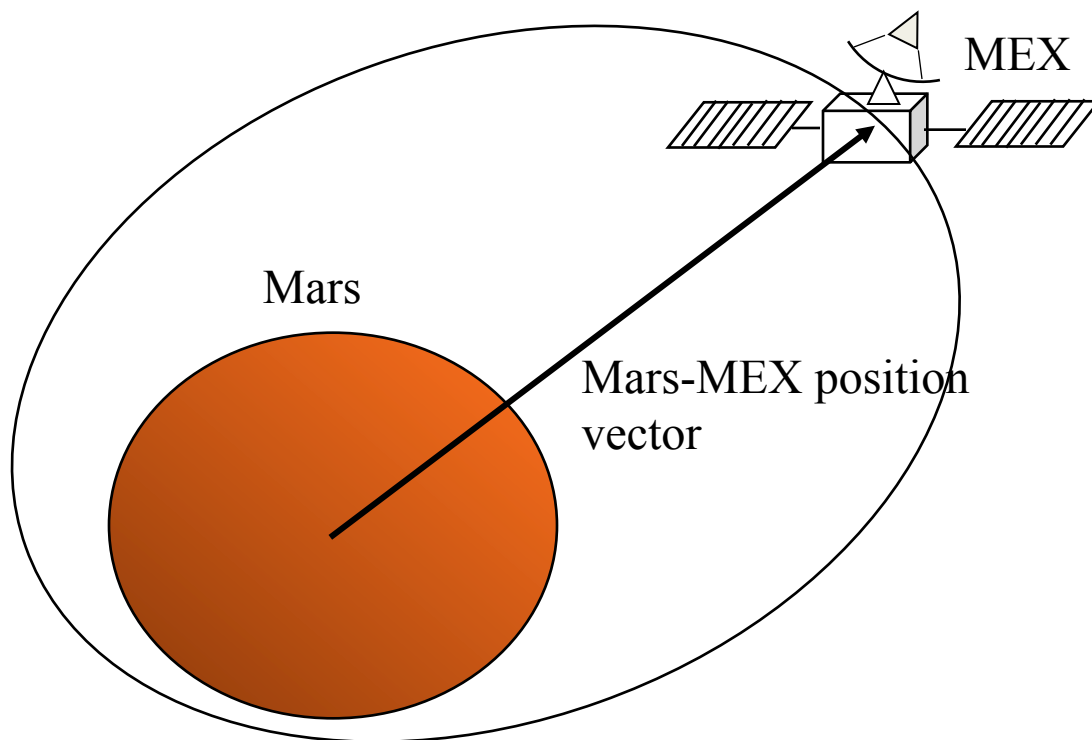
Несколько примеров



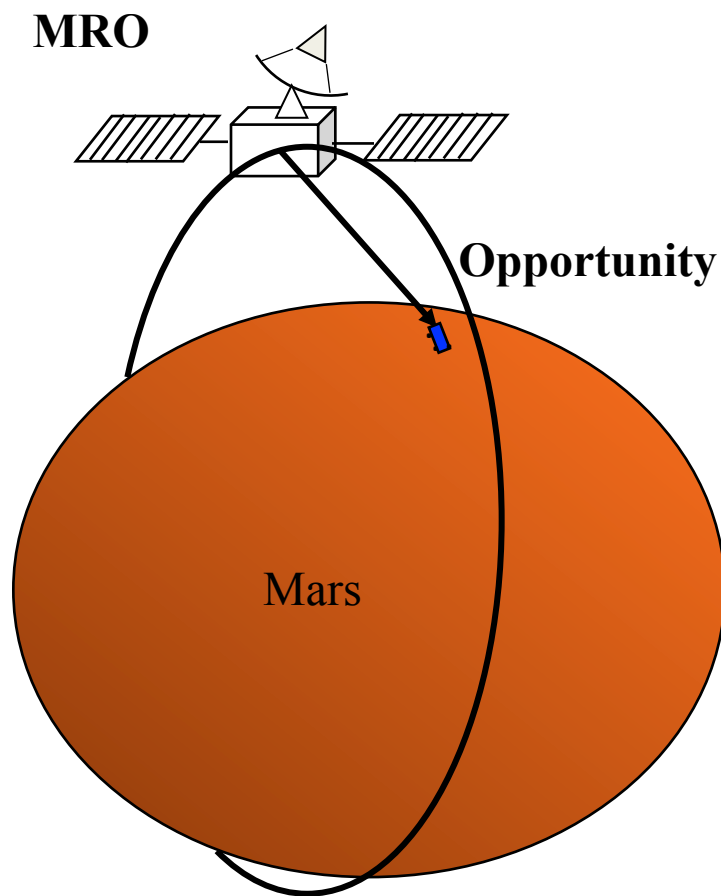
Поиск события

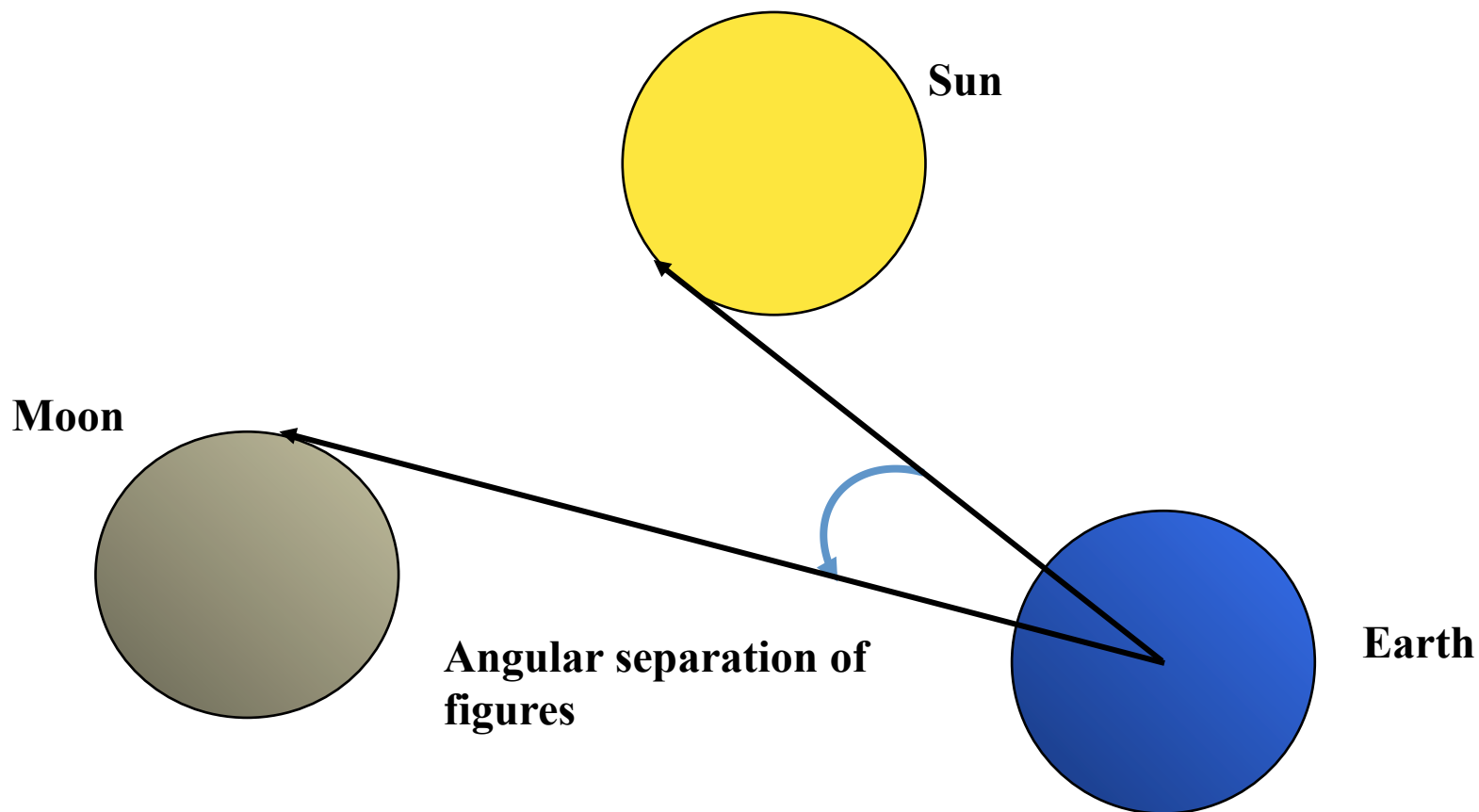
Примеры

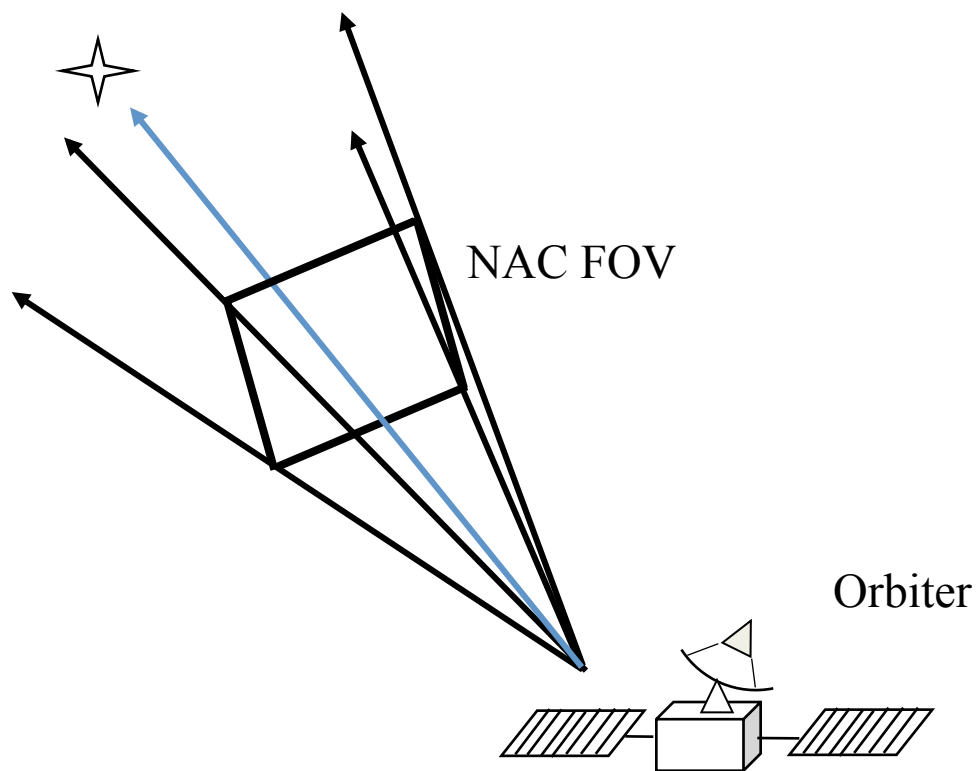
Найти время, когда Mars Express Orbiter (MEX) наиболее удален от Марса.

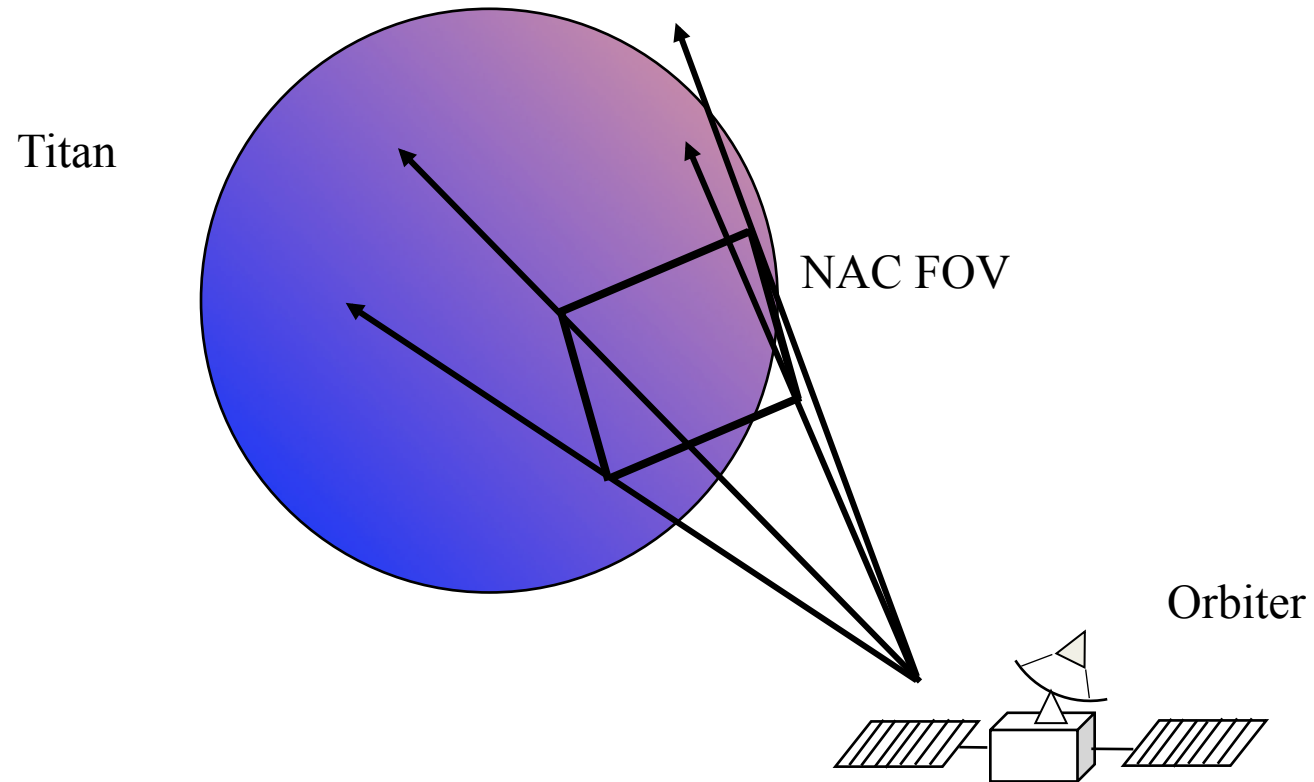


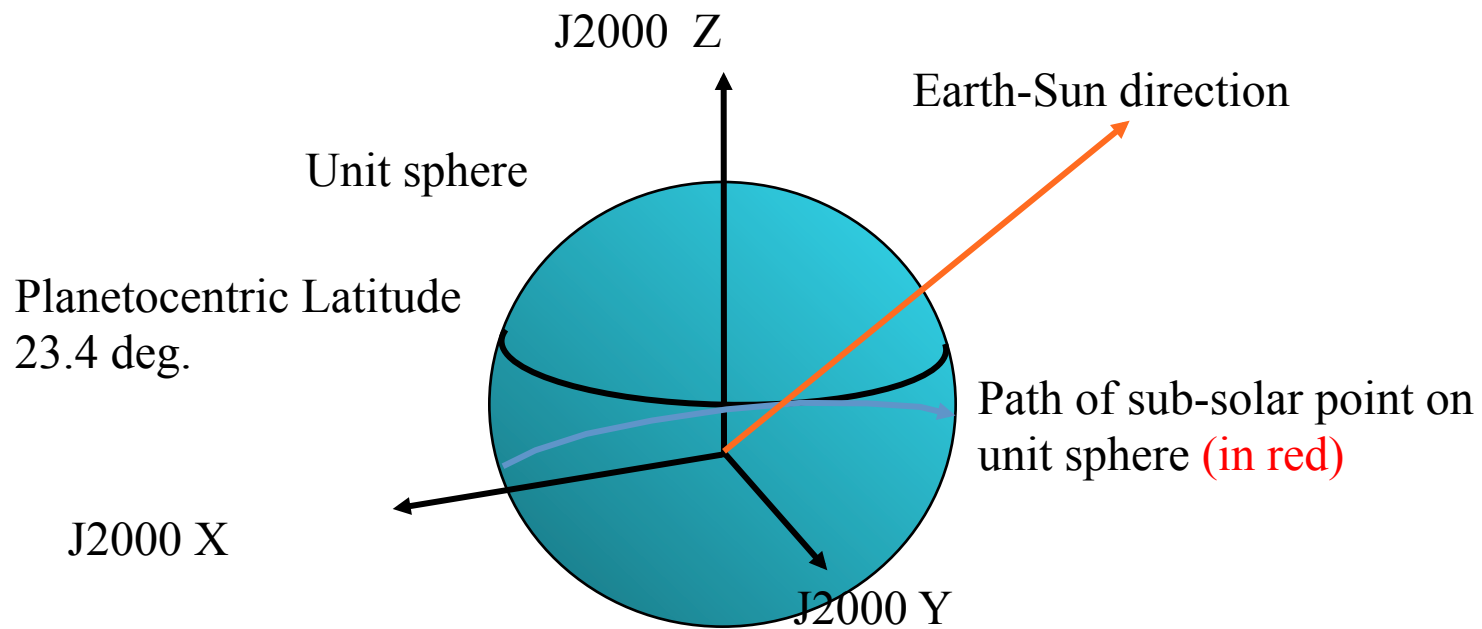
Найти временной интервал, когда Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) в 500 км от ровера Opportunity.

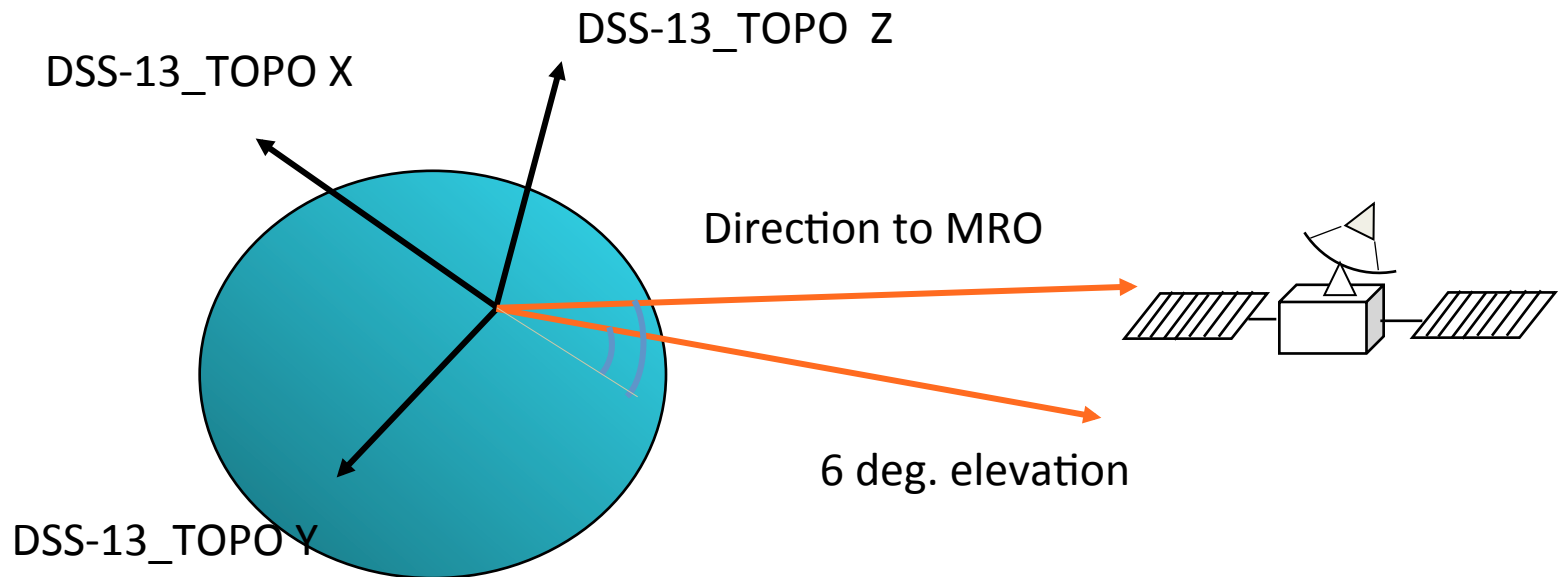






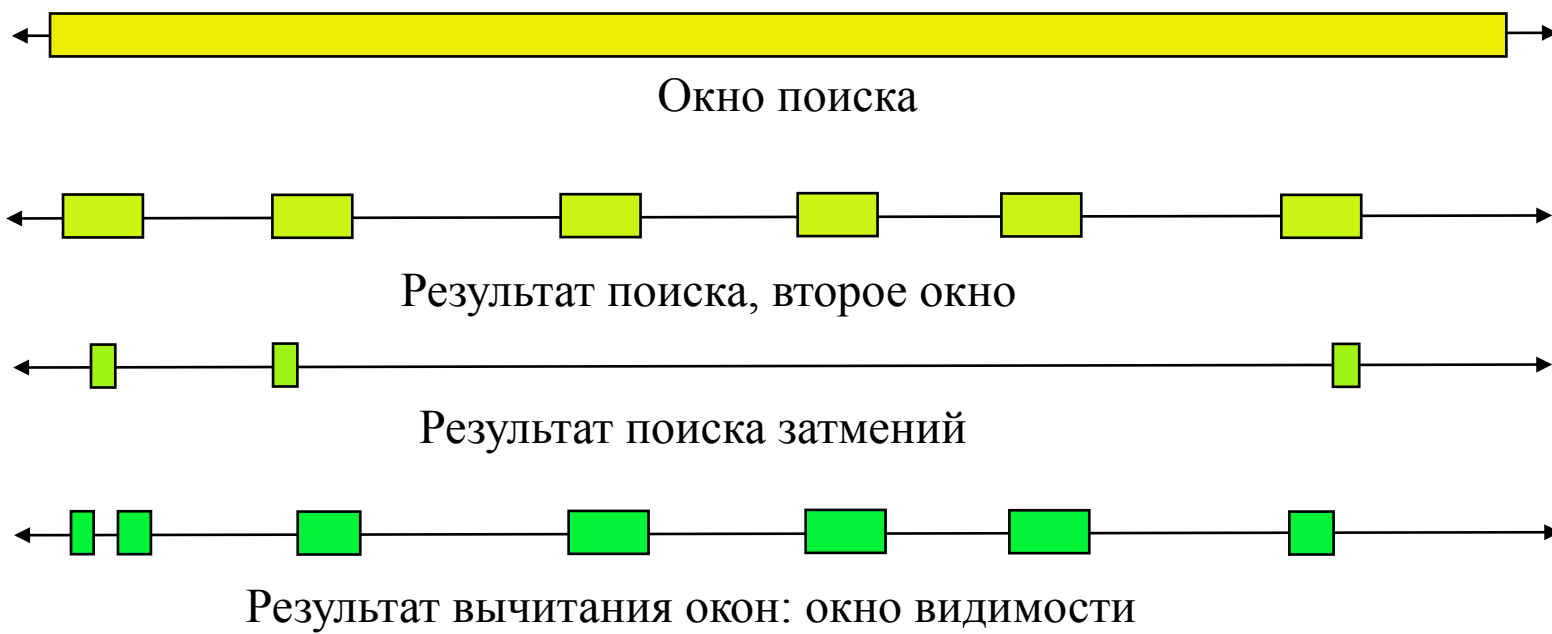




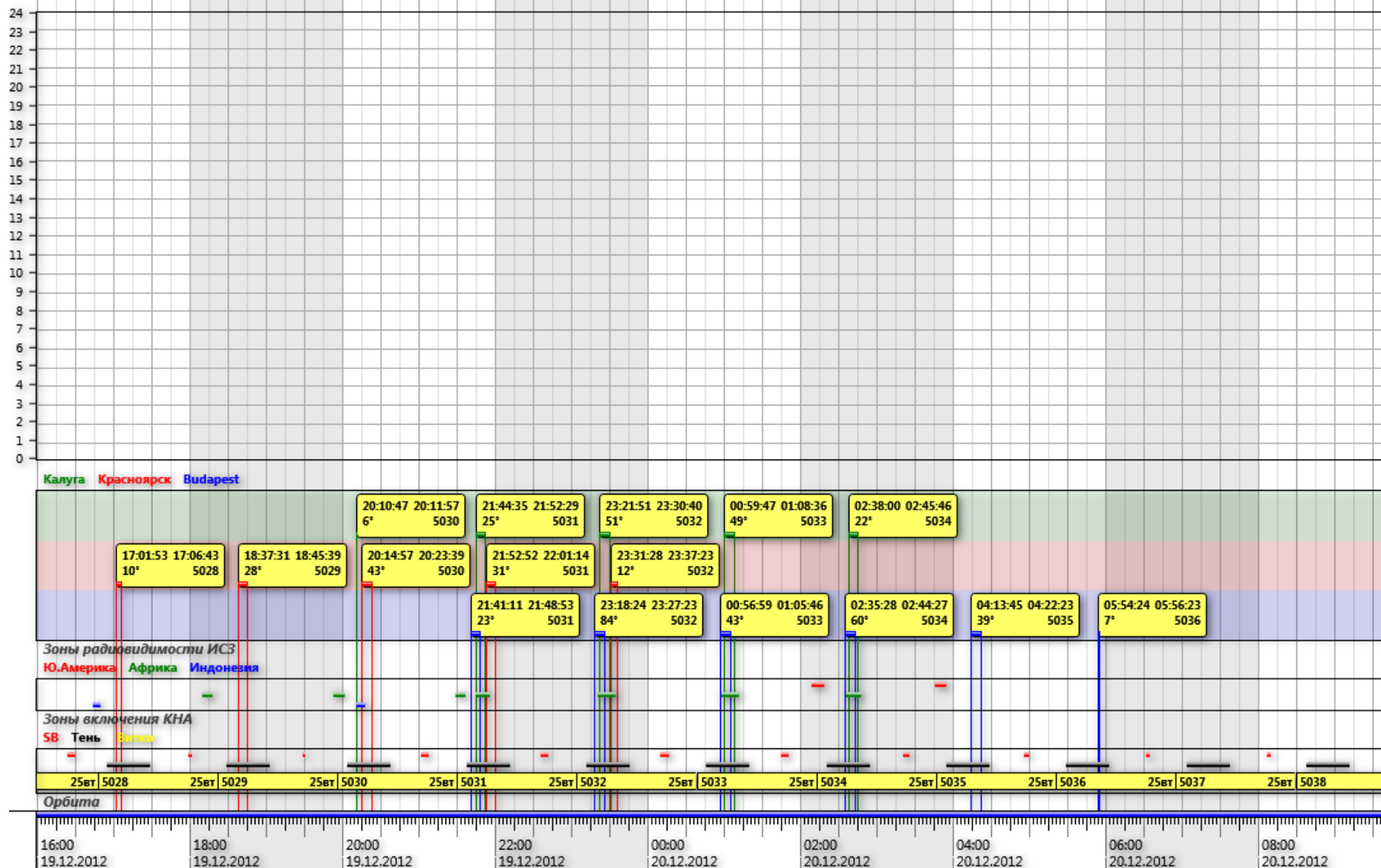


Работа с окнами

Видимость MRO с DSS-14.



План работы КА «Чибис»



координаты

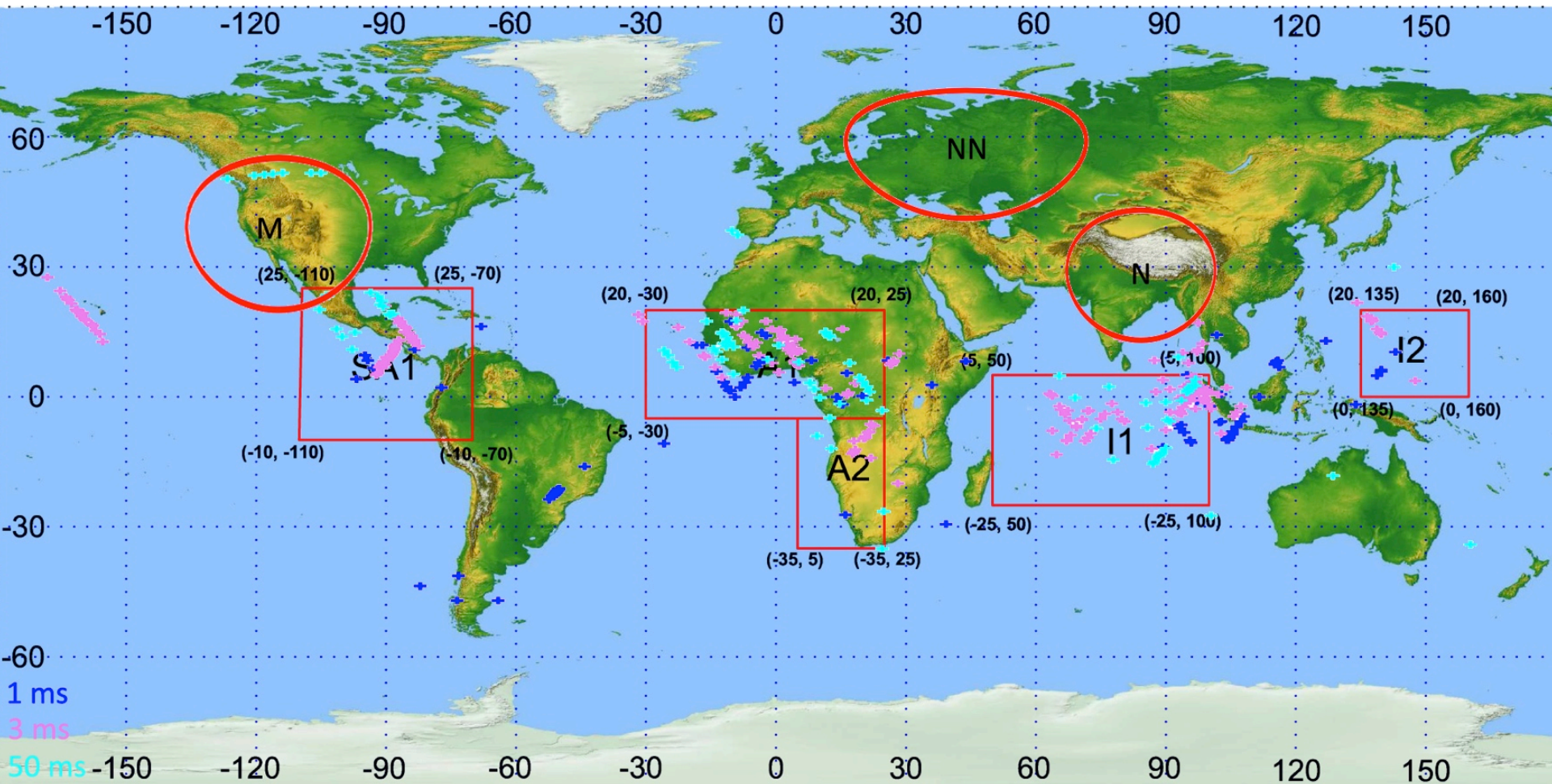


На дату: 2012-12-19

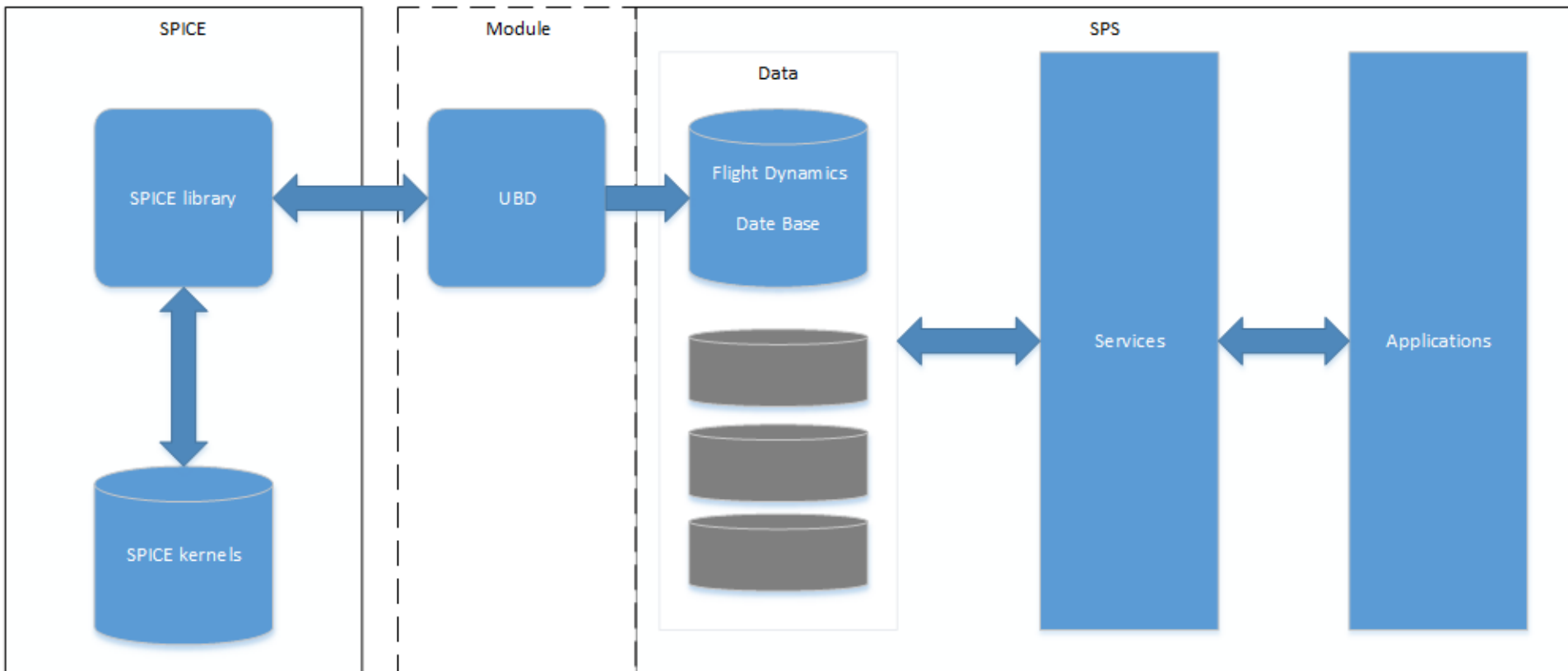
Текущая дата  

Виток	Нач. витка, (UTC+03:00) ДМВ	Тени			Зоны, длит. > 5 мин., местное время 15:00-24:00			
		Начало, (UTC+03:00) ДМВ	Конец, (UTC+03:00) ДМВ	Длительность, чч:мм:сс.	Все зоны ▼	Начало, (UTC+03:00) ДМВ	Конец, (UTC+03:00) ДМВ	Длит., мин.
5018	2012-12-19 01:05:54	2012-12-19 01:12:11	2012-12-19 01:46:32	00:34:21	AFRICA	2012-12-19 01:25:52	2012-12-19 01:39:27	14
					S_AMERICA	2012-12-19 02:36:46	2012-12-19 02:47:12	10
5019	2012-12-19 02:40:05	2012-12-19 02:46:28	2012-12-19 03:20:49	00:34:21	S_AMERICA	2012-12-19 04:14:12	2012-12-19 04:22:43	9
5020	2012-12-19 04:14:16	2012-12-19 04:20:45	2012-12-19 04:55:07	00:34:21	Нет			
5021	2012-12-19 05:48:27	2012-12-19 05:55:03	2012-12-19 06:29:24	00:34:21	Нет			
5022	2012-12-19 07:22:37	2012-12-19 07:29:20	2012-12-19 08:03:41	00:34:21	Нет			
5023	2012-12-19 08:56:48	2012-12-19 09:03:37	2012-12-19 09:37:58	00:34:21	Нет			
5024	2012-12-19 10:30:59	2012-12-19 10:37:54	2012-12-19 11:12:15	00:34:21	Нет			
5025	2012-12-19 12:05:10	2012-12-19 12:12:11	2012-12-19 12:46:33	00:34:21	INDONESIA	2012-12-19 13:30:53	2012-12-19 13:36:17	5
5026	2012-12-19 13:39:21	2012-12-19 13:46:28	2012-12-19 14:20:50	00:34:21	INDONESIA	2012-12-19 15:05:04	2012-12-19 15:15:11	10

Карта поиска молний

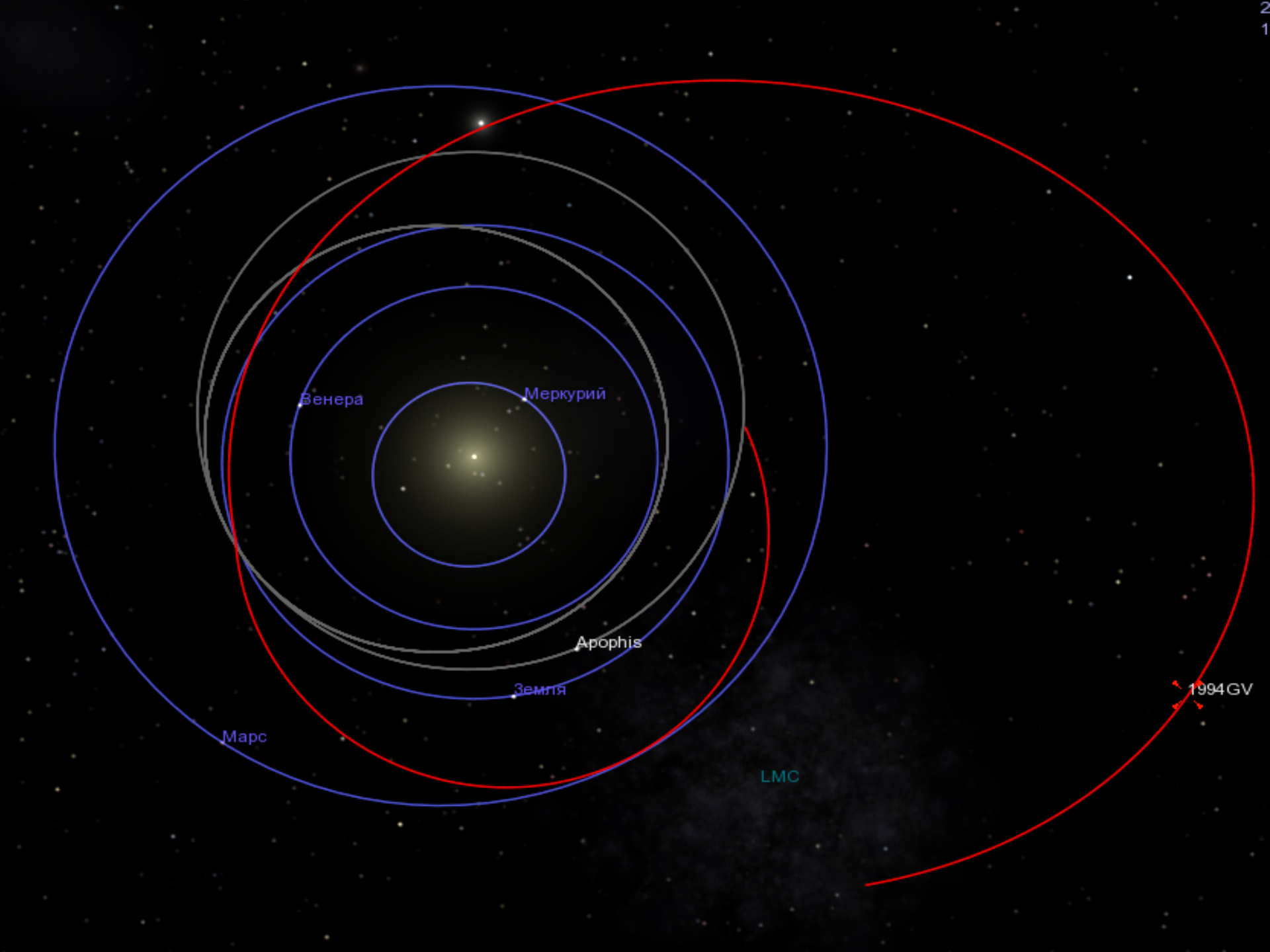


Система планирования



Базовая концепция





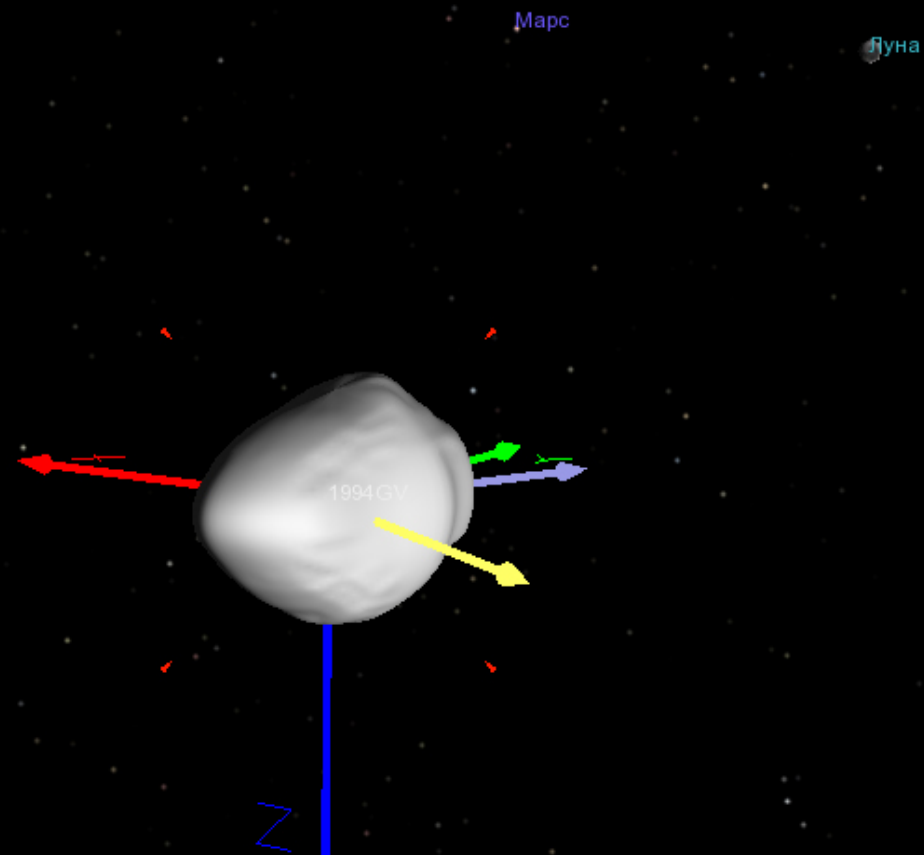
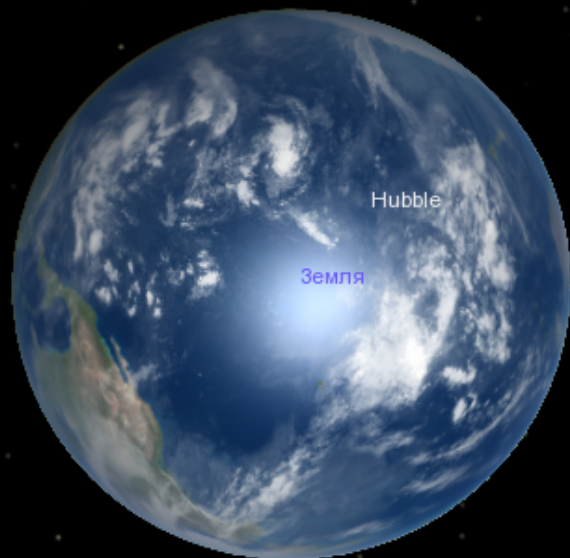
1994GV

Расстояние: 6188,8 km

Радиус: 500,00 km

Видимый диаметр: 8° 34' 26,3"

Фазовый угол: 28,0°



Составляющие системы SPICE

Файлы данных.....



Программное обеспечение.....



Документация....



Уроки.....



Примеры программирования



Учебные классы



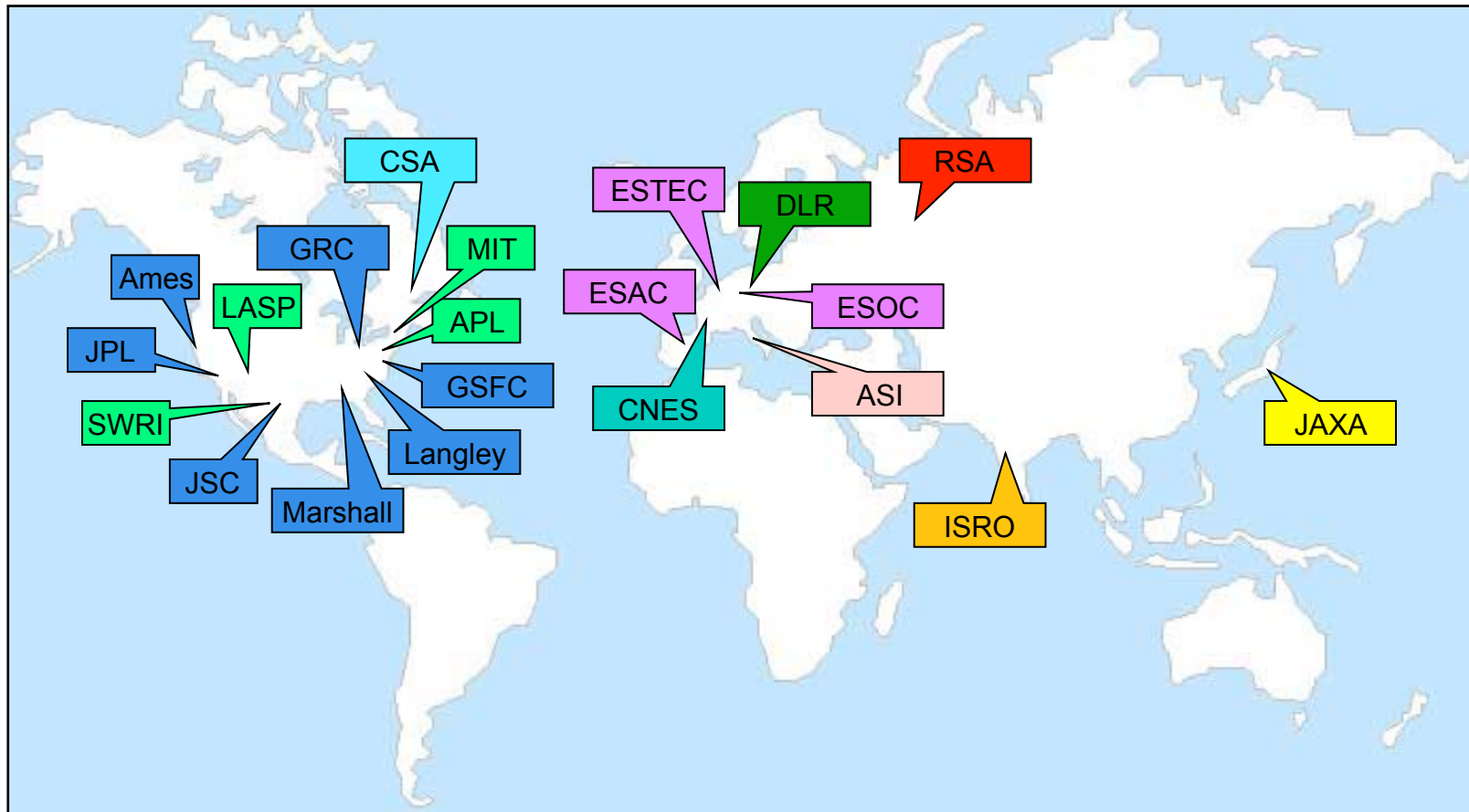
Консультации






Кто может использовать SPICE?

- Любой ... во всем мире!
 - Нет стоимости
 - Нет лицензии
 - Нет ограничений (даже для коммерческих структур)
 - Открытые исходные коды
 - Предоставляется документация, ориентированная на широкого пользователя
 - Бесплатные учебные классы проводятся ежегодно в США
 - Иногда и в других местах

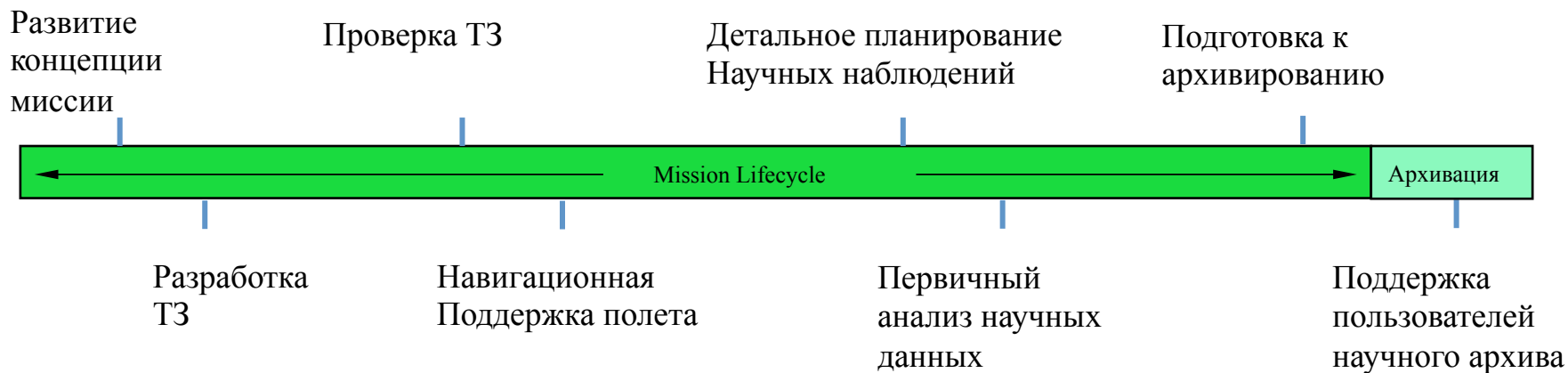
Космические агентства, использующие SPICE



- | | | |
|---|---|--|
|  NASA Field Centers |  European Space Agency |  Indian Space Research Organization |
|  U.S. Institutions |  French Space Agency |  Japan Aerospace Exploration Agency |
|  Canadian Space Agency |  German Space Agency |  Russian Federal Space Agency |
| |  Italian Space Agency | |

Широта использования

- В центре системы SPICE находятся вспомогательные данные и связанное с ними программное обеспечение, необходимое для ученых:
 - для анализа научных данных
 - подготовка научного архива
- Сфера использования SPICE покрывает полный жизненный цикл миссии, а также используется после завершения программы полета.

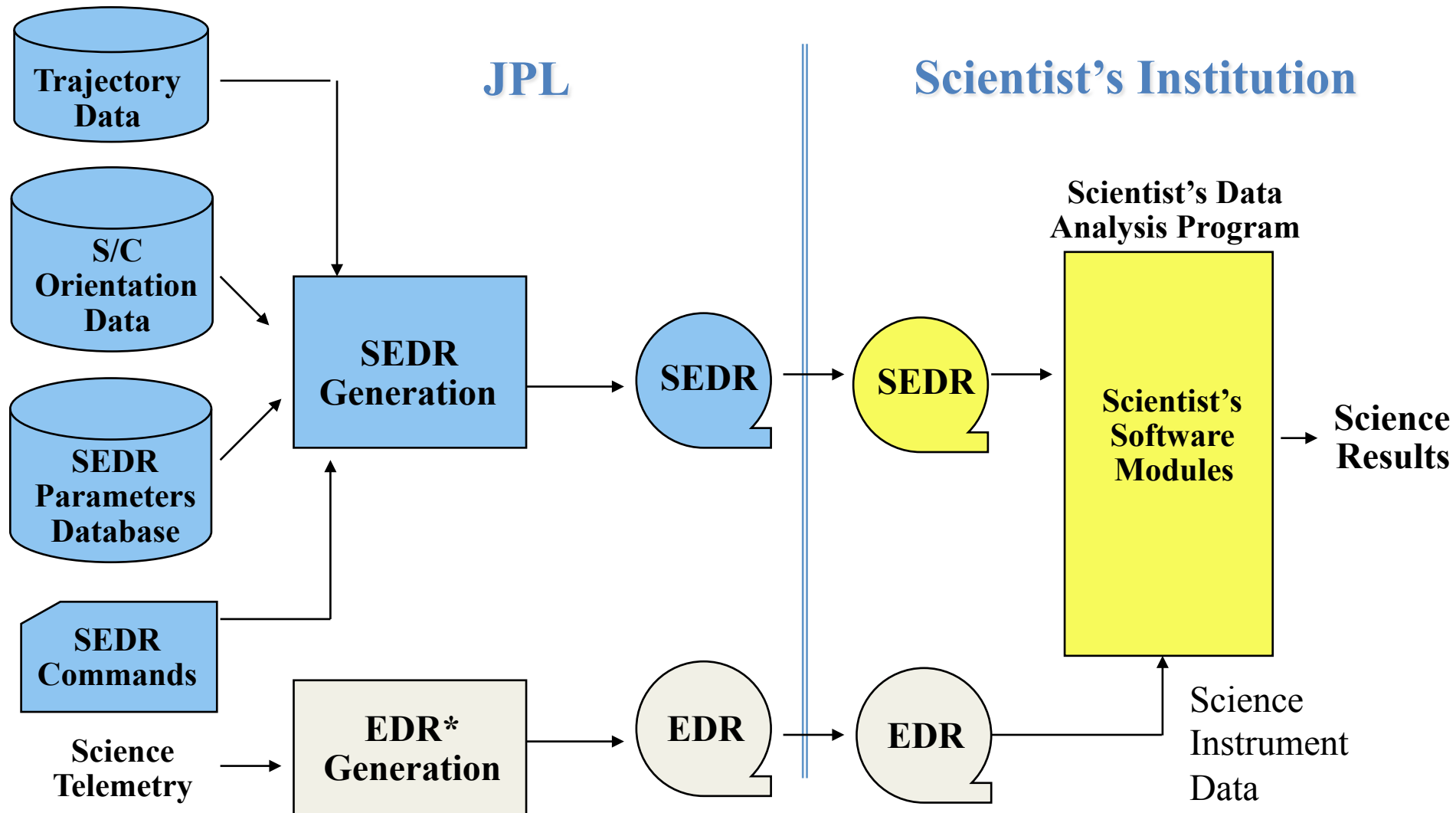


Основные пользователи SPICE

- SPICE используется во всех проектах NASA, связанных с исследованием планет (все марсианские миссии, а также **Cassini, Deep Impact, Messenger, Juno, OSIRIS-Rex** и др.);
- SPICE используется для поддержки некоторых астрофизических миссий (**Hubble Telescope, Spitzer Telescope, IBEX, WISE, Kepler**);
- SPICE используется не только в миссиях NASA, но и в проектах других стран и организаций (Russia's Mars 96; ESA's Huygens Probe, Smart-1, **Mars Express, Venus Express, Rosetta**; Japan's Hayabusa and SELENE; India's Chandrayaan-1, Фобос-Грунт);
- эфемериды SPICE используют многие наземные обсерватории;
- SPICE используется NASA для наведения DSN антенн;
- SPICE будет использоваться в будущих российских и международных миссиях с российским участием (**EchoMars, Спектр-РГ, Спектр-М, лунные проекты, Чибис-M2**).

Как было до SPICE ?

“SEDR” - Supplemental Experiment Data Record



* EDR = Experiment Data Record = "raw" science instrument data

Как стало со SPICE

**Центр управления
любой миссией**



Научные институты

Программа анализа данных



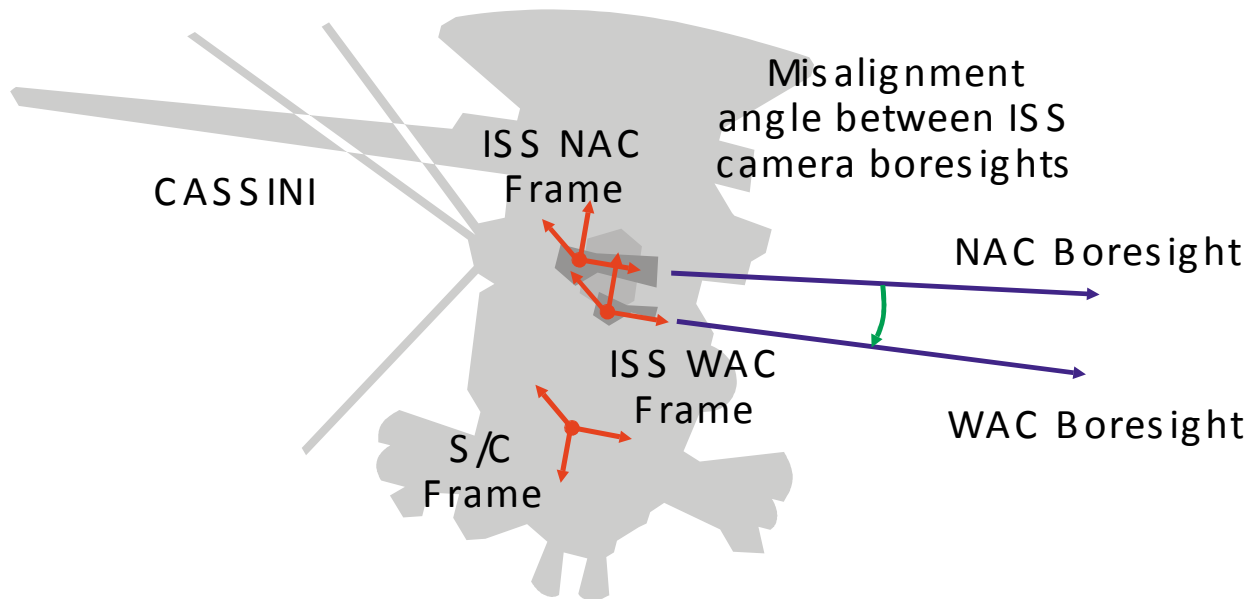
**Научный
результат**

**Научная
телеметрия**



Как это работает ?

Угол между осями камер



Required Kernels:

- Generic LSK
- Mission FK
- Camera IK(s)

ISS = Imaging Science System

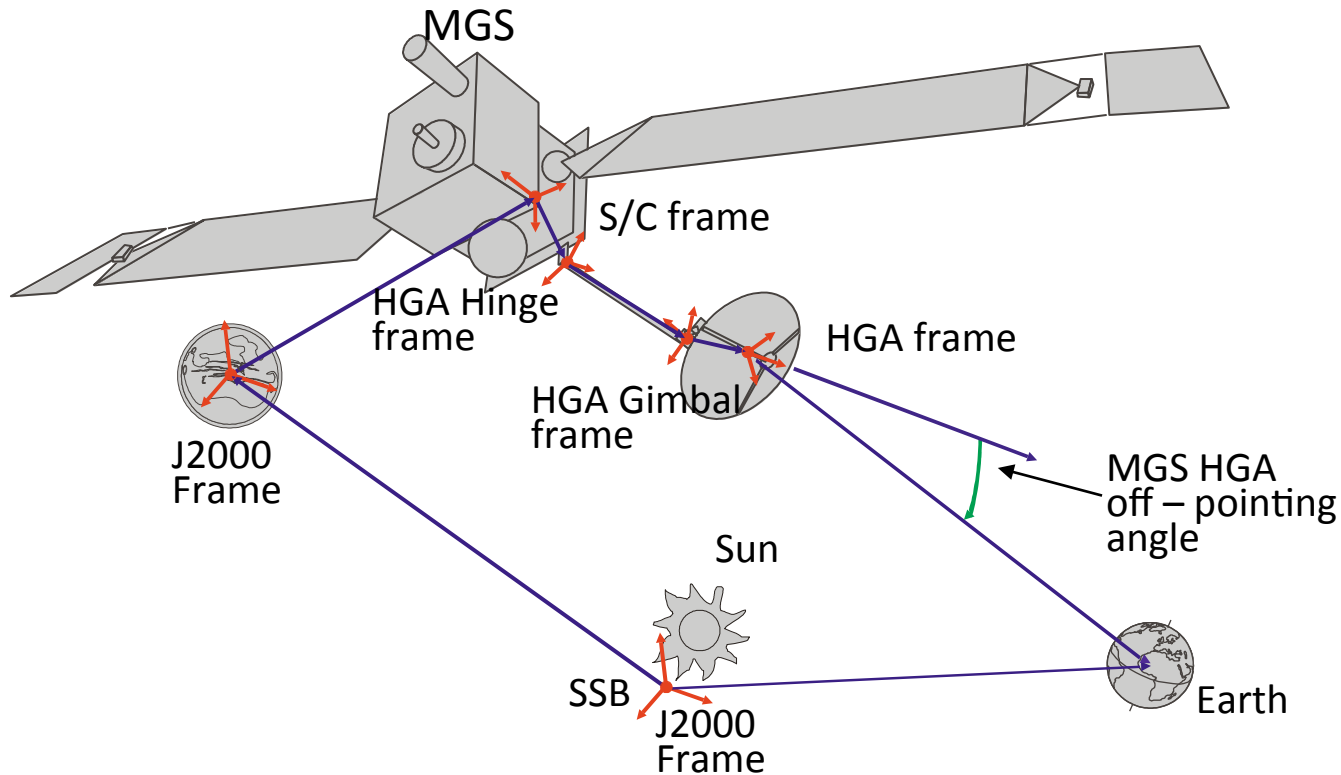
Compute the angular separation between the ISS Narrow Angle Camera and Wide Angle Camera boresights:

```
CALL PXFORM( 'CASSINI_ISS_NAC', 'CASSINI_ISS_WAC', ET, MAT )
```

```
CALL MXV ( MAT, NAC_BORESIGHT_nac, NAC_BORESIGHT_wac )
```

```
ANGLE = VSEP( NAC_BORESIGHT_wac , WAC_BORESIGHT_wac )
```

Манипулятор



Required Kernels:

- Generic LSK
- Mission FK
- Spacecraft SCLK
- HGA IK
- Structure Locations SPK
- Planetary Ephemeris SPK
- Spacecraft SPK
- Spacecraft CK
- HGA CK

HGA = High Gain Antenna

Compute the angle between the direction to Earth and the MGS HGA boresight:

```
CALL SPKEZR( 'EARTH', ET, 'MGS_HGA', 'LT+S', 'MGS', EARTH_STATE, LT )
ANGLE = VSEP( HGA_BORESIGHT, EARTH_STATE )
```

AAREADME	16-Sep-2001 11:09 2.
AA_README_EXPORT	11-Jul-2006 11:42 3
APOLLO/	30-Jul-2001 15:49
CASSINI/	16-Jan-2003 15:54
CLEMENTINE/	25-Mar-2000 08:23
CONTOUR/	11-Jan-2002 11:07
DAWN/	13-Oct-2003 10:38
DEEPIIMPACT/	19-Jun-2008 09:31
DS1/	02-Mar-2007 10:41
FIDO/	28-May-2002 07:53
GIOTTO/	11-Nov-2011 10:05
GLL/	21-Mar-2003 11:38
GNS/	14-Jul-2000 07:31
GRAIL/	05-May-2010 09:50
HAYABUSA/	07-Oct-2009 07:28
HELIOS/	20-Jun-2011 08:08
HST/	14-Sep-2001 10:39
INSIGHT/	20-Nov-2013 17:17
IUE/	14-Sep-2001 10:34
JUNO/	29-Aug-2008 11:21
LADEE/	10-Oct-2013 10:14
LPM/	16-Jul-2002 16:14
LRO/	16-Aug-2010 17:08
LUNARORBITER/	25-Sep-2007 13:07
M01/	29-May-1999 14:57
M2/	17-Oct-2012 12:25
M9/	23-Sep-1999 13:01
M10/	21-Jan-2004 15:37
MAVEN/	24-Apr-2013 10:13
MCO/	26-Sep-1998 08:34

Index of /pub/naif/MAVEN/kernels

<u>Name</u>	<u>Last modified</u>	<u>Size</u>	<u>Description</u>
 Parent Directory		-	
 aareadme.txt	27-Jul-2010 16:04	216	
 ck/	01-Dec-2013 10:24	-	
 ek/	27-Jul-2010 15:45	-	
 fk/	03-Sep-2013 13:16	-	
 ik/	27-Jul-2010 15:45	-	
 lsk/	06-Jan-2012 12:50	-	
 pck/	27-Jul-2010 15:45	-	
 sclk/	31-May-2012 08:04	-	
 spk/	05-Dec-2013 11:11	-	

Данные SPICE в проекте «Фобос - Грунт»

Организации

ИПМ им. Келдыша

JPL

ИКИ РАН

НПО им. Лавочкина

Физические файлы

SPK

PcK, LSK

IK, FK

CK, SCLK

SPICE сервер



<http://spice.ikiweb.ru>

Организации

Физические файлы

ESA / IKI SPICE сервер

ESAC

SPK

JPL

PcK, LSK

ИКИ РАН / ESAC

IK, FK

ESAC

CK, SCLK



Данные SPICE в проекте CRГ

Организации

Физические файлы

ИКИ SPICE сервер

ИКИ РАН / ИПМ

JPL

ИКИ РАН

НПО им. Лавочкина/
ИКИ РАН

SPK

PcK, LSK

IK, FK

СК, SCLK



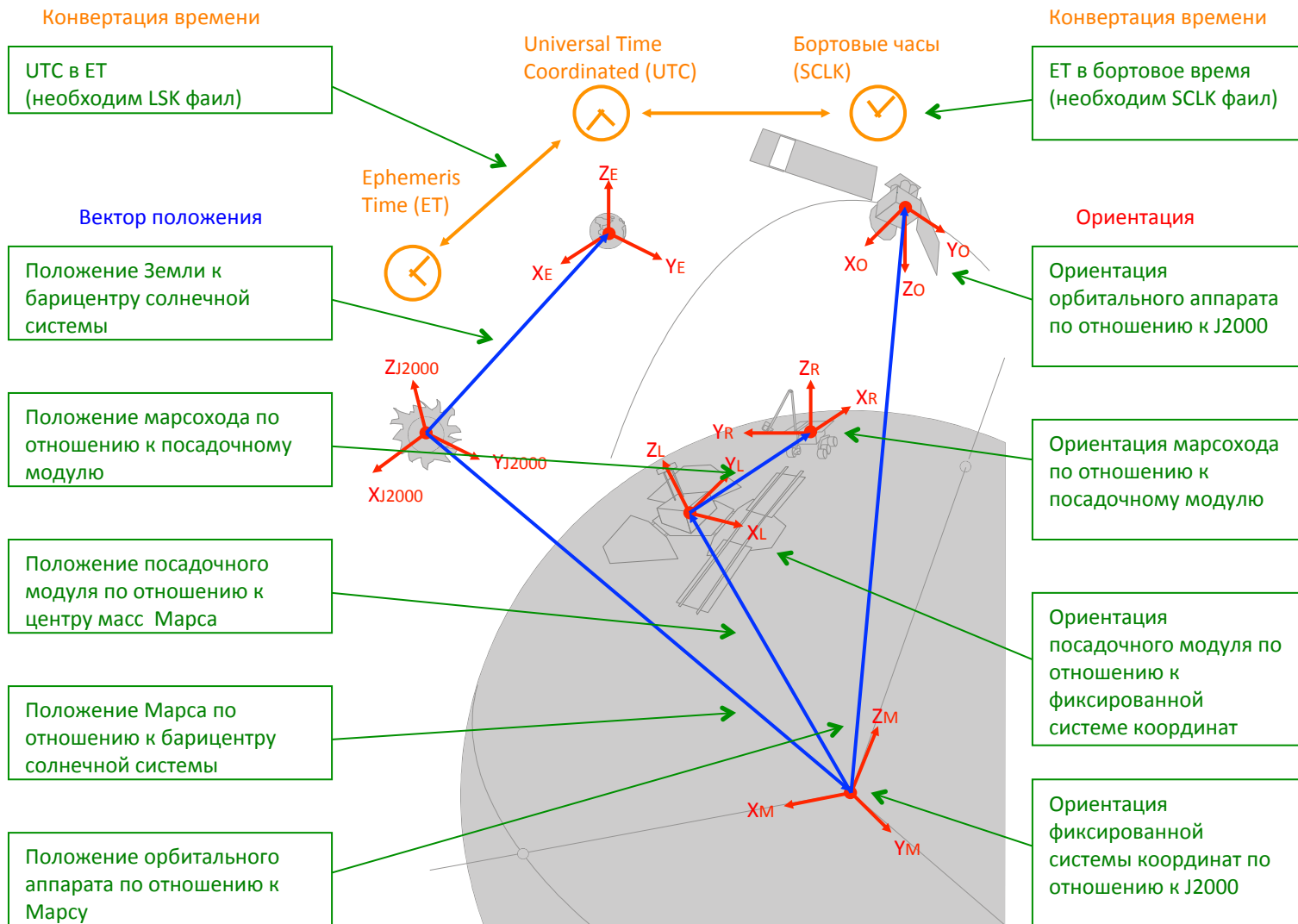
- Портативные ядра данных системы SPICE
- Портативное ПО (NAIF Toolkit)
- Коды многократно тестируются, прежде чем предлагаются пользователю
- Новое программное обеспечение всегда совместимо со старым
- Представляется обширная документация

- Все числовые вычисления делаются с двойной точностью
- Система включает в себя встроенную обработку ошибок
- Дает Вам доступ к эфемеридам JPL для космических аппаратов и природных объектов (планет, спутников, комет, астероидов)
- Ядра (файлы данных) делимы
 - используйте только те, которые нужны для конкретной задачи
- Ядра (файлы данных) могут быть расширены
 - Новые типы данных могут быть добавлены в семейство
 - Новые виды ядер могут быть разработаны, если нужно
- Широкое применение
 - Мульти миссии и многопрофильные
 - Можно использовать снова и снова, не важно над какой миссией вы работаете

Какие типы транспортных средств поддерживаются в SPICE?

- **Перелетный модуль**
 - Дистанционное зондирование
 - Измерения по «месту»
 - калибровка прибора
- **Орбитальный аппарат**
 - Дистанционное зондирование
 - Измерения по «месту»
 - ретрансляция
- **Посадочный модуль**
 - Дистанционное зондирование
 - Измерения по «месту»
 - Планетоход
- **Планетоход**
 - Дистанционное зондирование
 - В месте зондирования
 - Местные ландшафтные характеристики
- **Наземное применение**
 - Эфемериды для наблюдателей
 - Необходимость станций наблюдения

Глобальная геометрия SPICE



Геометрия орбитального аппарата

вектор положения

Положение аппарата по отношению к центру планеты

Положение антенны по отношению к аппарату

Положение одной части антенны по отношению к другой

Положение части солнечной батареи по отношению к центру аппарата

Положение магнетометра по отношению к части солнечной батареи

Ориентация

Ориентация аппарата по отношению к инерциальной системе координат

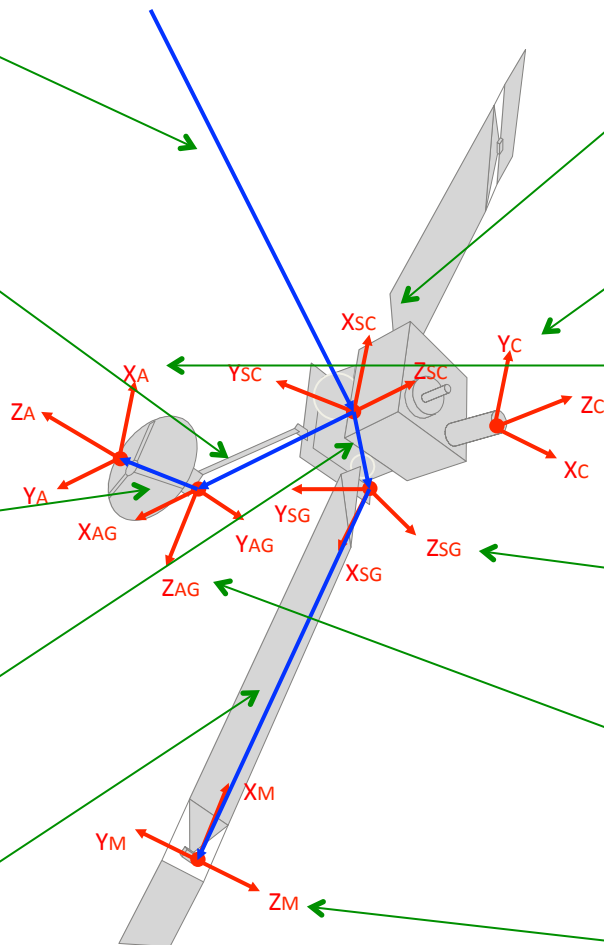
Ориентация камеры по отношению к аппарату

Ориентация одной части антенны к другой ее части

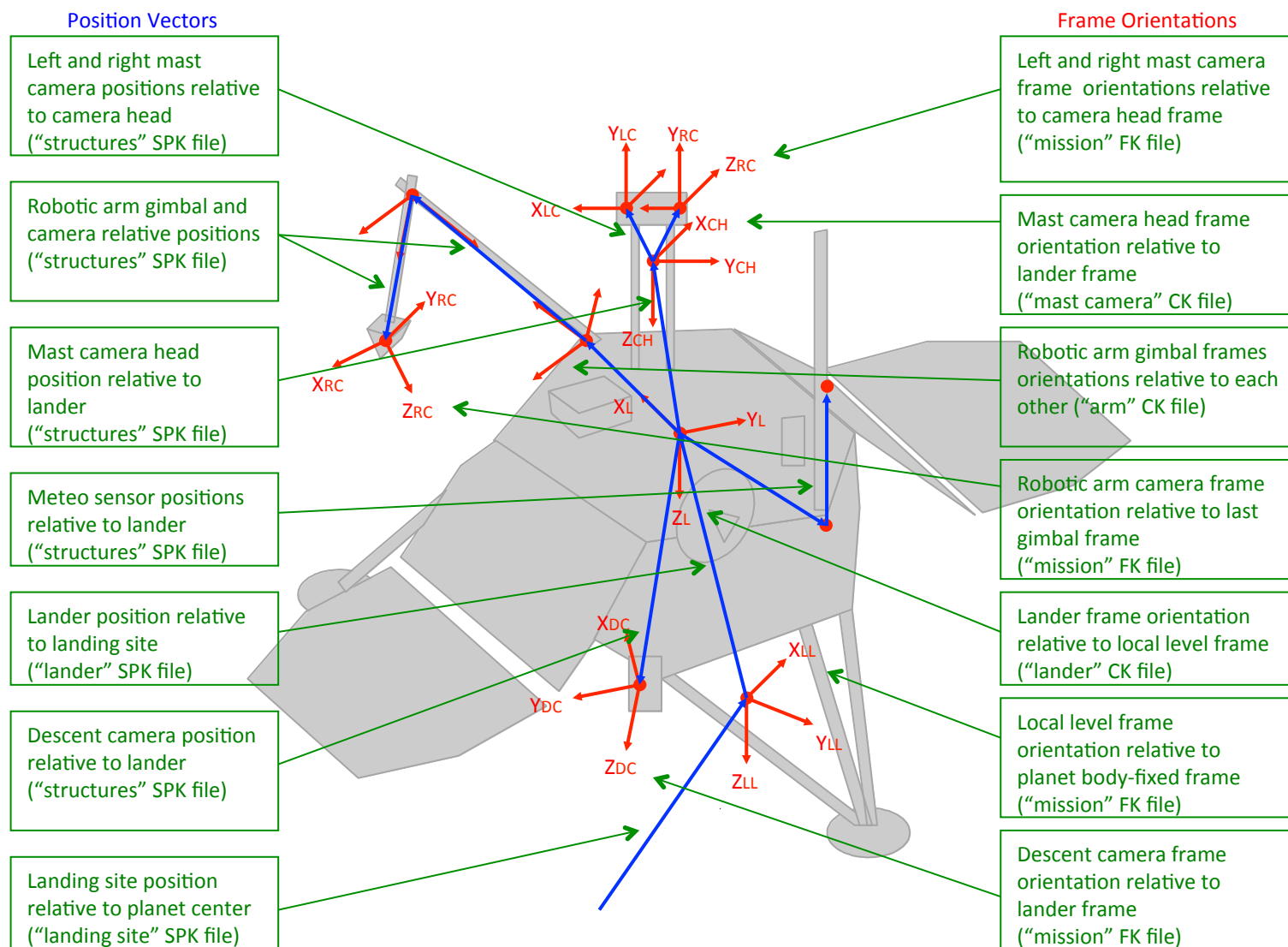
Ориентация солнечной батареи по отношению к аппарату

Ориентация антенны по отношению к аппарату

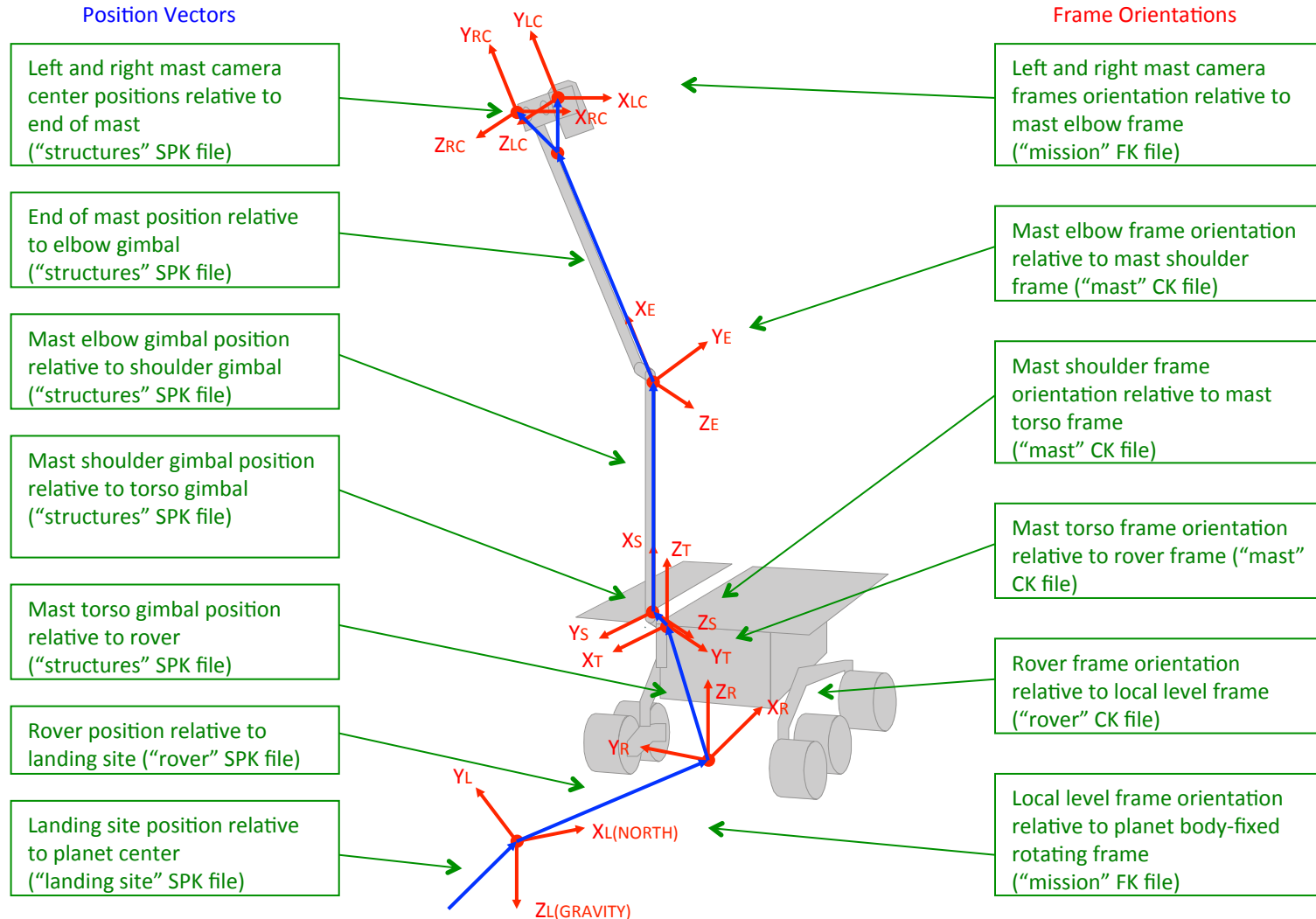
Ориентация магнетометра по отношению к солнечной батарее



Геометрия посадочного аппарата



Геометрия планетохода



Миссии использующие SPICE

<i>Data Restorations</i>	<i>Past Users</i>	<i>Current Users</i>	<i>Anticipated</i>
Apollo 15, 16 [L]	Magellan [L]	Cassini Orbiter	LADEE
Mariner 9 [L]	Clementine (NRL)	Mars Odyssey	NASA Discovery Program
Mariner 10 [L]	Mars Observer [F]	Mars Exploration Rover	NASA New Frontiers Program
Viking Orbiters [L]	Mars 96 [F] (RSA)	Mars Reconnaissance Orbiter	BepiColombo (ESA)
Viking Landers [L]	Mars Pathfinder	DAWN	Osiris-Rex
Pioneer 10/11/12 [L]	Mars Climate Orbiter [F]	Mars Science Lab	
Haley armada [L]	Mars Polar Lander [F]	Juno	<i>Examples of Possible Future Use ?</i>
Phobos 2 [L] (RSA)	NEAR	SMAP	Jupiter (NASA)
Ulysses [L]	Deep Space 1	MAVEN	Jupiter (ESA)
Voyagers [L]	Galileo	GRAIL	Akatsuki (JAXA)
Lunar Orbiter [L]	Genesis	Lunar Reconnaissance Orbiter	Luna-Resurs (ISRO/RSA)
Helios 1,2 [L]	Deep Impact	New Horizons	Luna-Glob (RSA)
	Huygens Probe (ESA)	Messenger	Solar Probe
	Stardust/NEXT	Mars Express (ESA)	Solar Orbiter (ESA)
	Mars Global Surveyor	Venus Express (ESA)	
	Phoenix	Rosetta (ESA)	
	EPOXI		<i>Examples of Other SPICE Users</i>
	ISO [S] (ESA)		NASA Deep Space Network
	CONTOUR [F]		NASA AMMOS
	Space VLBI [L] (multinational)		STEREO
[L] = limited use	Smart-1 (ESA)		Spitzer Space Telescope
[S] = special services	Chandrayaan-1 (ISRO)		Kepler
[F] = mission failed	Hayabusa (JAXA)		Hubble Space Telescope [S]
	Kaguya (JAXA)	Planetary Data System	WISE
	Phobos Sample Return (RSA)	Planetary Science Archive (ESA)	IBEX

■ NAIF has/had project-supplied funding to support mission operations, consultation for flight team members, and SPICE data archive preparation. NAIF also has PDS funding to help scientists and students with using SPICE data that have been officially archived at the NAIF Node of the PDS.

■ NAIF has NASA funding to support ESA/RSA in SPICE deployment and review of a SPICE archive, and to consult with flight team SPICE users.

■ NAIF has token funding to consult with kernel producers at APL. APL provides support to science teams.

■ NAIF has/had modest PDS-supplied funding to consult on assembly of a SPICE archive.

■ NAIF has PDS funding to help scientists and students with using SPICE data that have been officially archived at the NAIF Node of the PDS.

■ User consultation is provided by ESA's Science Operations Department.



[Home](#)

[Announcements](#)

[About SPICE](#)

[About NAIF](#)

[Data](#)

[Toolkit](#)

[Utilities](#)

[WebGeocalc](#)

[Documentation](#)

[Tutorials](#)

[Lessons](#)

[Support](#)

[Rules](#)

[Feedback](#)

[Getting Help](#)

[Site Map](#)

[Toolkit](#) > [C](#)

Toolkits are available in the C language for the platforms listed below.

[Mac/Intel, OSX, Apple C, 32bit](#)

[Mac/Intel, OSX, Apple C, 64bit](#)

[Mac/PowerPC, OSX, Apple C, 32bit](#)

[PC, CYGWIN, gCC, 32bit](#)

[PC, Linux, gCC, 32bit](#)

[PC, Linux, gCC, 64bit](#)

[PC, Windows, Microsoft Visual C, 32bit](#)

[PC, Windows, Microsoft Visual C, 64bit](#)

[Sun/Intel, Solaris, Sun C, 32bit](#)

[Sun/Intel, Solaris, Sun C, 64bit](#)

[Sun/SPARC, Solaris, gCC, 32bit](#)

[Sun/SPARC, Solaris, gCC, 64bit](#)

[Sun/SPARC, Solaris, Sun C, 32bit](#)

[Sun/SPARC, Solaris, Sun C, 64bit](#)

Пример сайта

PDS Nodes: [Atmospheres](#) [Geosciences](#) [Imaging](#) [NAIF](#) [PPI](#) [Rings](#) [Small Bodies](#)

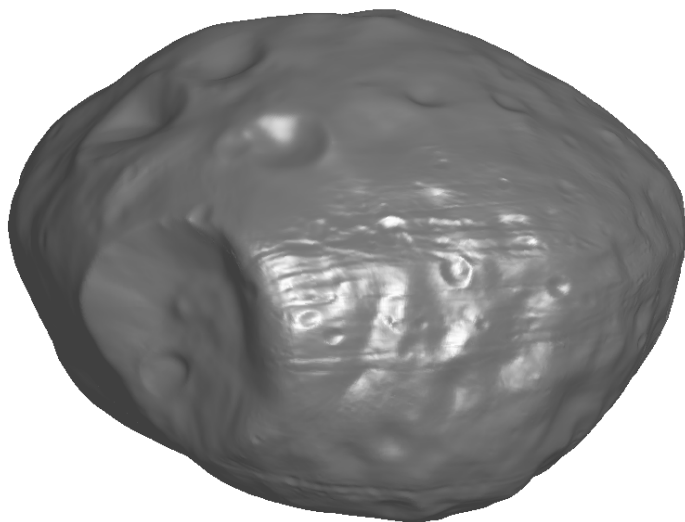


[+ NASA Privacy Statement, Disclaimer](#)

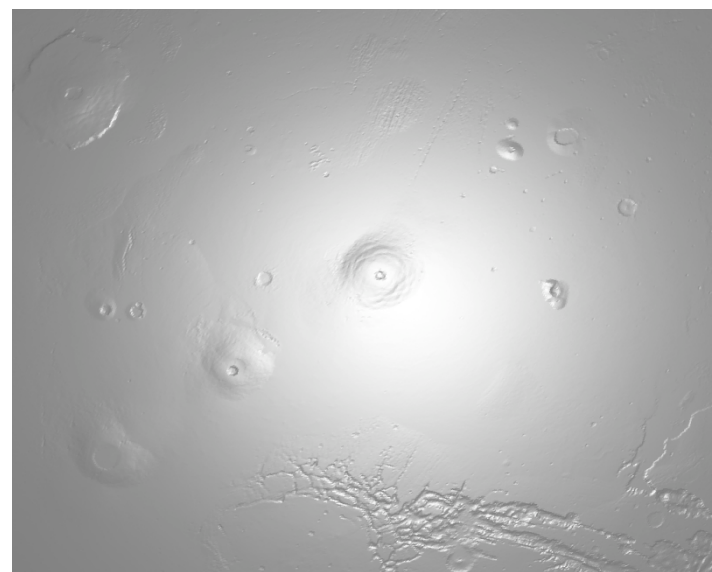


Clearance: CL#05-2438
Site Manager: Charles Acton
NASA Official: William Knopf
Webmaster: Ron Baalke
Last Updated: 06 Dec 2013

Высокоточная модель поверхности



Мозаичная модель
(Example shown is Phobos)



Цифровая модель рельефа
(Example shown is from Mars MOLA)

Input Panel for State Vector Calculation

New Calculation

State Vector

Calculate the position and velocity of a target body with respect to an observing body, as represented in the coordinate frame.

Select Mission:

Target:
Body or spacecraft name or code

Observer:
Body or spacecraft name or code

Observer Time:
E.g. 1996-12-18T12:28:28 or other formats

☐ Single ☒ TimeRange

Stop Time:

Step:

Light-Time Correction:

State Representation:

Reference Frame:

Plot Results: ☒ Distance ☐ Velocity ☐ X ☐ Y ☐ Z ☐ Vx ☐ Vy ☐ Vz

Web-based GUI
interface to many
SPICE
computations

Предложения ? Вопросы ?

- Какие дополнения в SPICE могут помочь Вам с Вашей работой?
- Контакты:
 - At IKI: Anton Ledkov **aledkov@rssi.ru**
 - At ESA/ODCS: Jorge Diaz del Rio **jdiaz@sciops.esa.int**
 - At JAXA: Yukio Yamamoto **yukio@planeta.sci.isas.jaxa.jp**
 - At NASA: Charles Acton **charles.acton@jpl.nasa.gov**