

空间物理导论

程鑫

天文楼407

xincheng@nju.edu.cn

课程大纲

- 绪论
- 等离子体的概念和基本性质
- 单粒子轨道理论
- 磁流体力学（MHD）
- 等离子体波和不稳定性
- 太阳大气和太阳活动
- 太阳风
- 磁层物理

参考文献:

1. 太空物理导论, 曹晋滨等译, 科学出版社
2. Introduction to Space Physics, Margaret Kivelson
3. Space Physics: An Introduction, Russell, C. T.
4. Plasma Physics: An Introduction, Richard Fitzpatrick
<http://farside.ph.utexas.edu/books/books.html>
5. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, F. F. Chen
6. 等离子体物理学导论 (讲义), 陈耀
7. 太阳物理导论, 林元章
8. Magnetic Reconnection: MHD Theory and Applications, Eric Priest

成绩计算公式

考勤	随机签到4次（-5/次）	30%
Test+Project	15+15分	30%
课程汇报	相关文献, 8+2分钟	40%

第一章

绪论

日地系统

太 阳

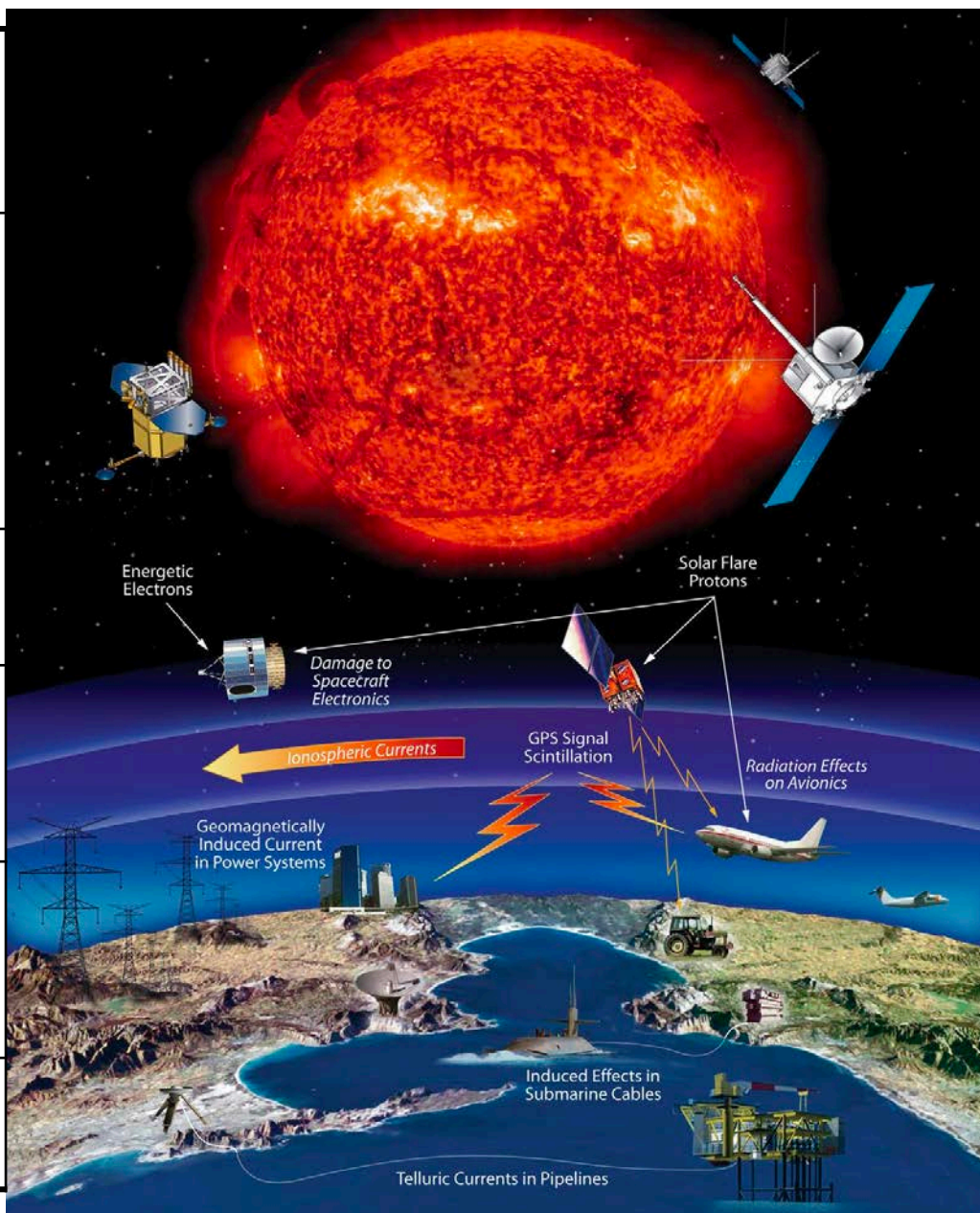
太阳大气和行星际
空间

磁 层

电离层

中高层大气和低层
大气

地 球



基本概念

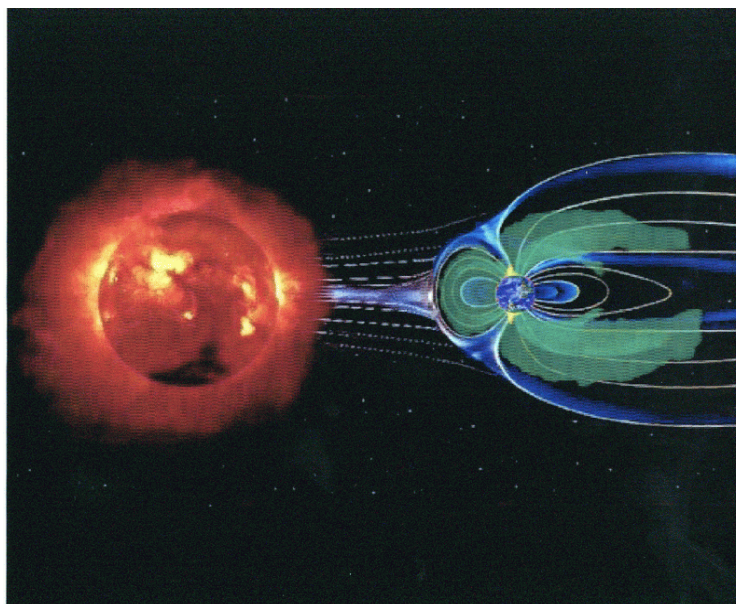
空间物理中的“空间”

经典：从地球空间的电离层、磁层到广阔的行星际空间，直至太阳大气。

地球半径：6,400 km

太阳半径：696,000 km

日地距离（1AU）： 1.5×10^8 km



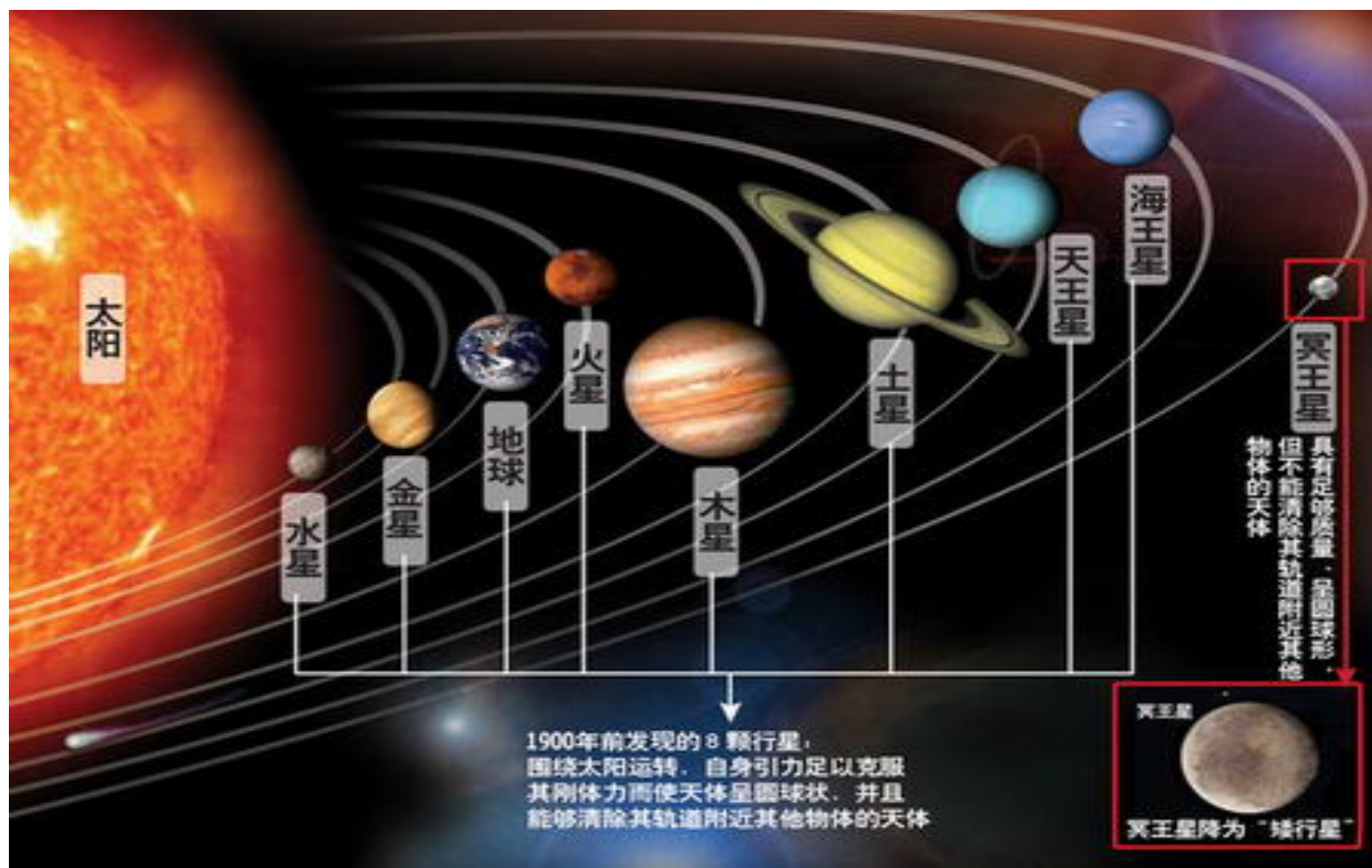
数密度、温度

Material	Number density (n)	
Units	10^{27} m^{-3} or 10^{21} cm^{-3}	amg
ideal gas	0.02504	0.932
dry air	0.02504	0.932
water	33.3679	1,241.93

等离子体区域	密度 (cm^{-3})	温度 (ev)
空气	1.3 kg/m ³	10 ⁻³
电离层	10 ⁶	10 ⁻¹
太阳风	10	10
太阳日冕	10 ⁶	10 ²

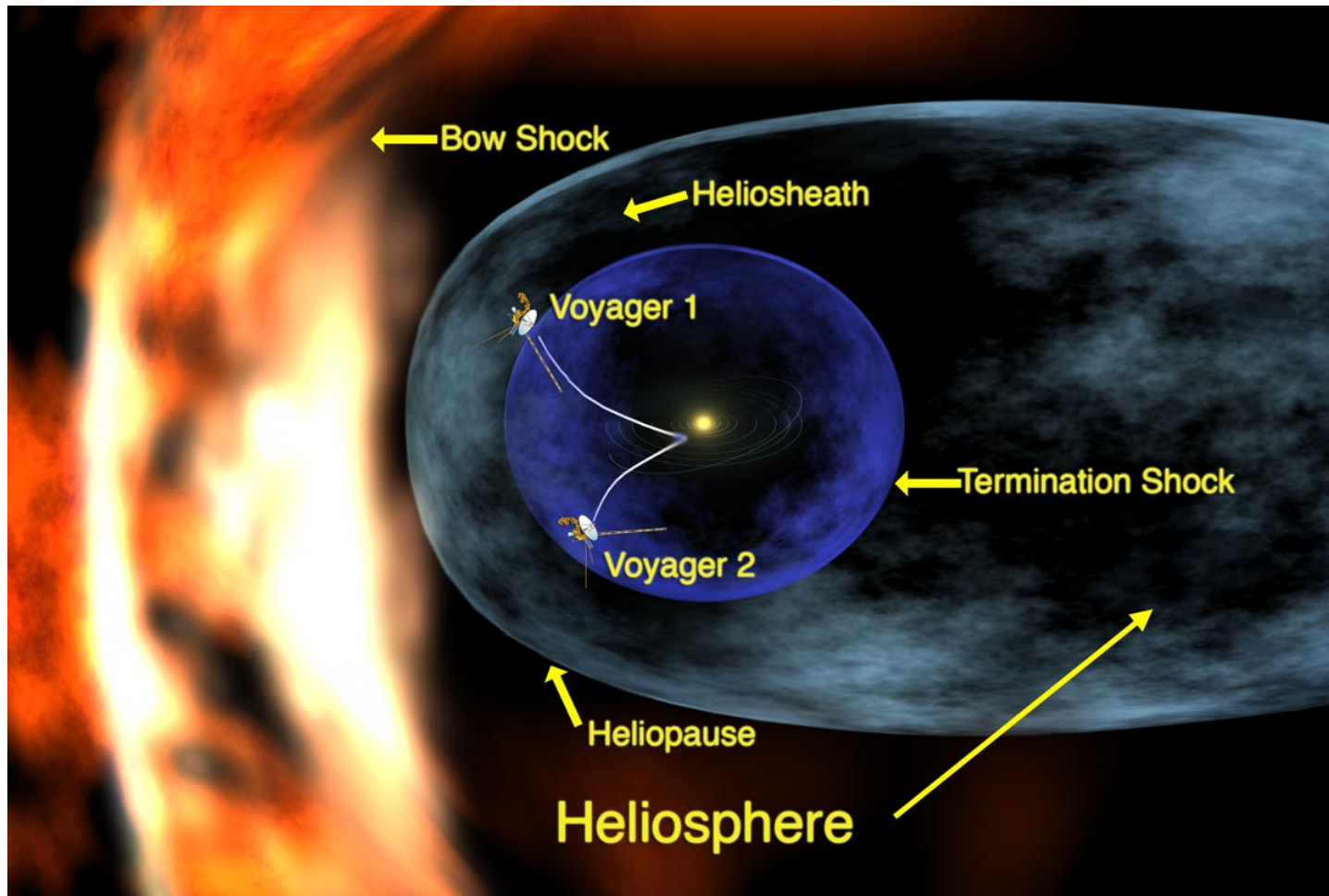
“空间”的其他定义：人造飞行器能到的区域。

空间中物质的状态以**等离子体**为主，特点：密度小、无碰撞



日球层 (Heliosphere) :

太阳控制的整个空间范围



New “Bubble” like model, *Science*, 2009

研究空间物理的科学意义

1. 探索未知世界、发现新物理现象

例子：太阳风、无碰撞激波的发现

2. 理解其他天体物理过程

例子：GRB、恒星风、恒星耀斑、发电机。。。

3. 等离子体物理发展和检验

例子：核聚变、人造太阳

研究空间物理的现实意义

预报空间天气

Chapter 1: 绪论

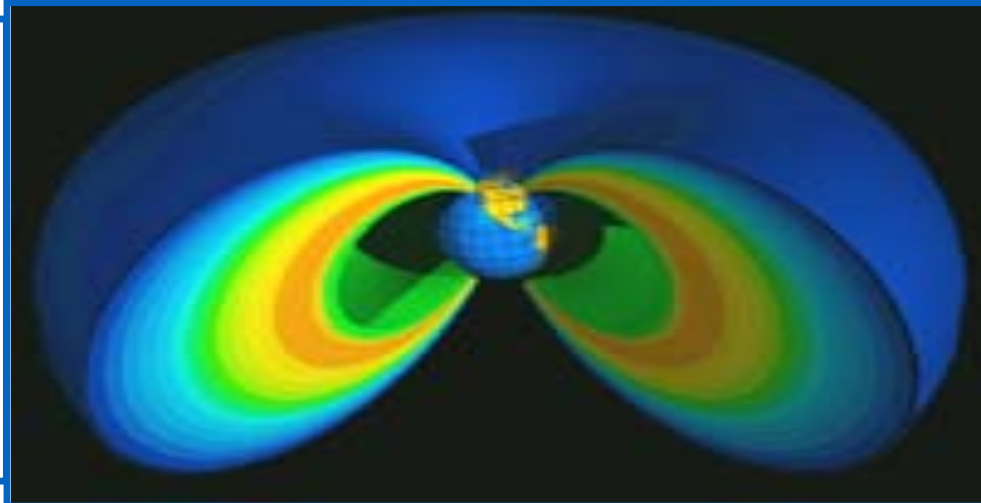
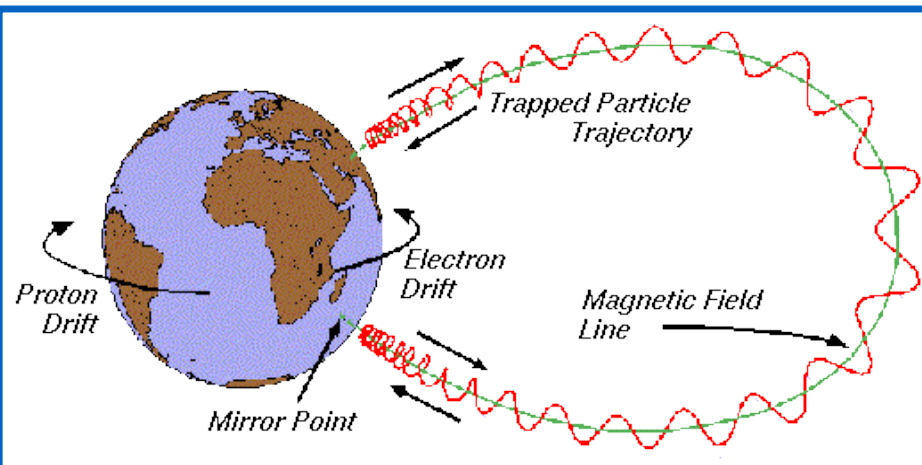
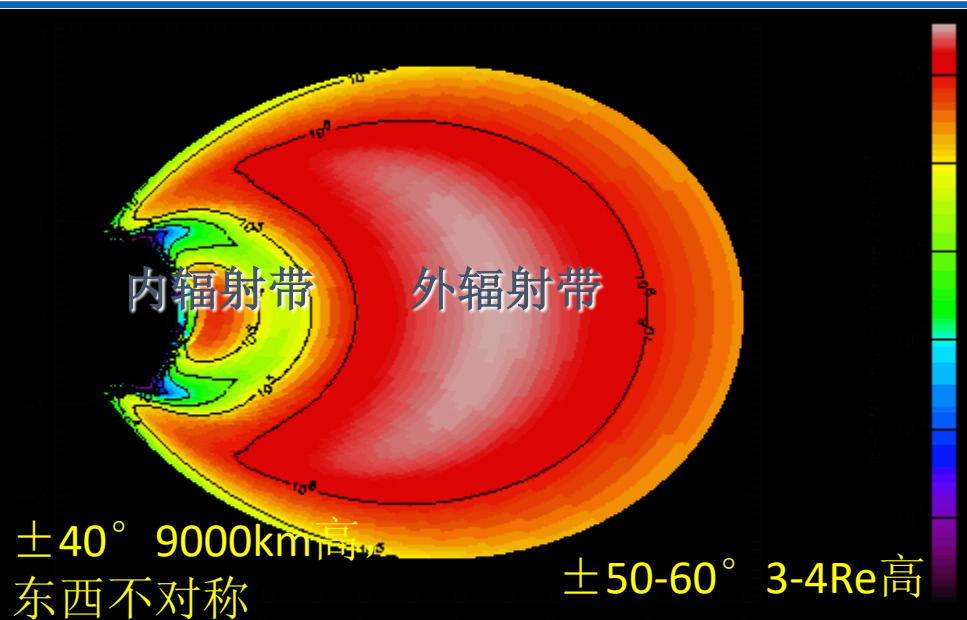
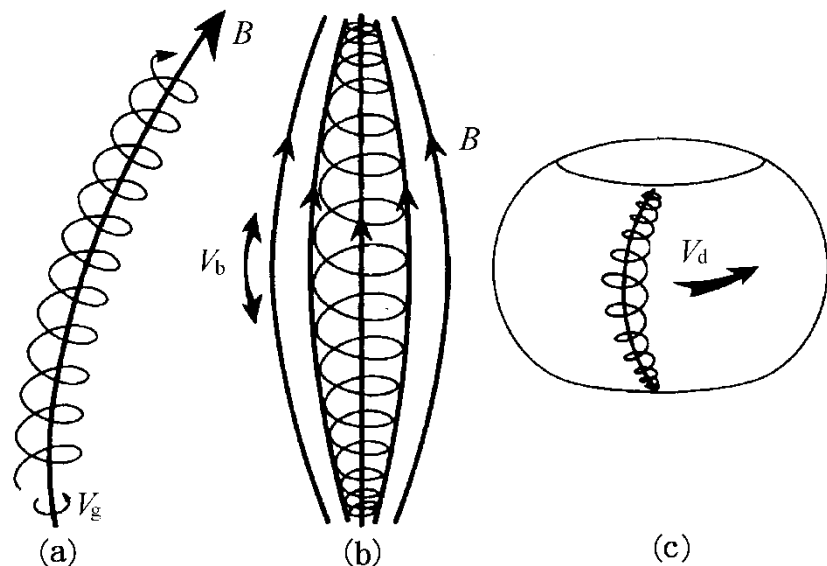
发展历史

标志：1957年10月4日，前苏联成功地发射了世界第一颗人造地球卫星。它的名字叫斯普特尼克1号/Sputnik1)。

中国东方红一号(1970年)



地球辐射带



●其他空间物理现象（卫星升空之前）

极光

地磁场

太阳黑子

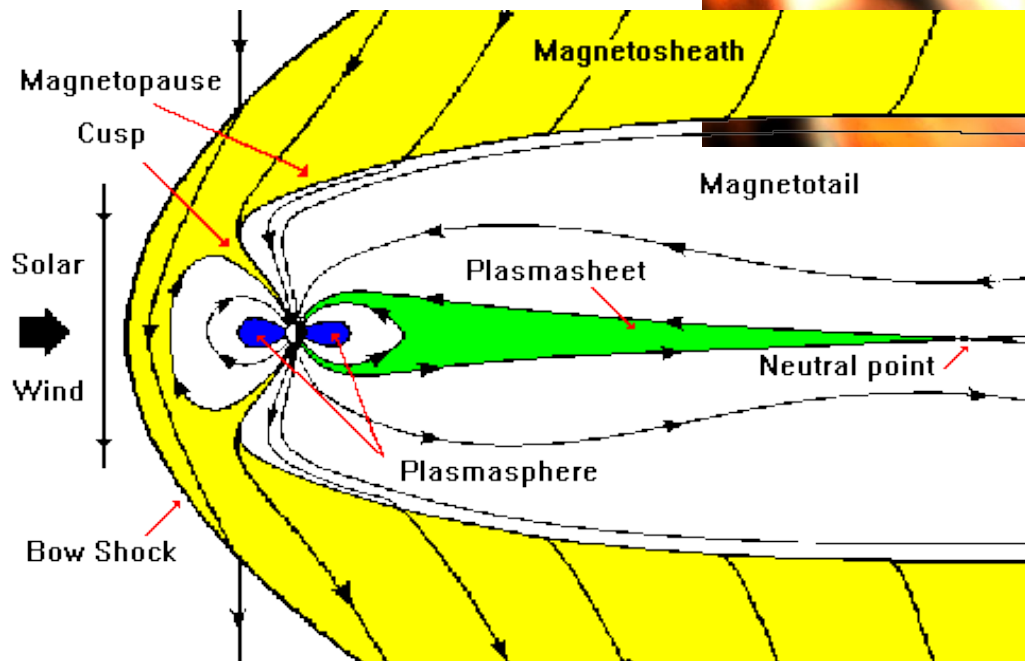
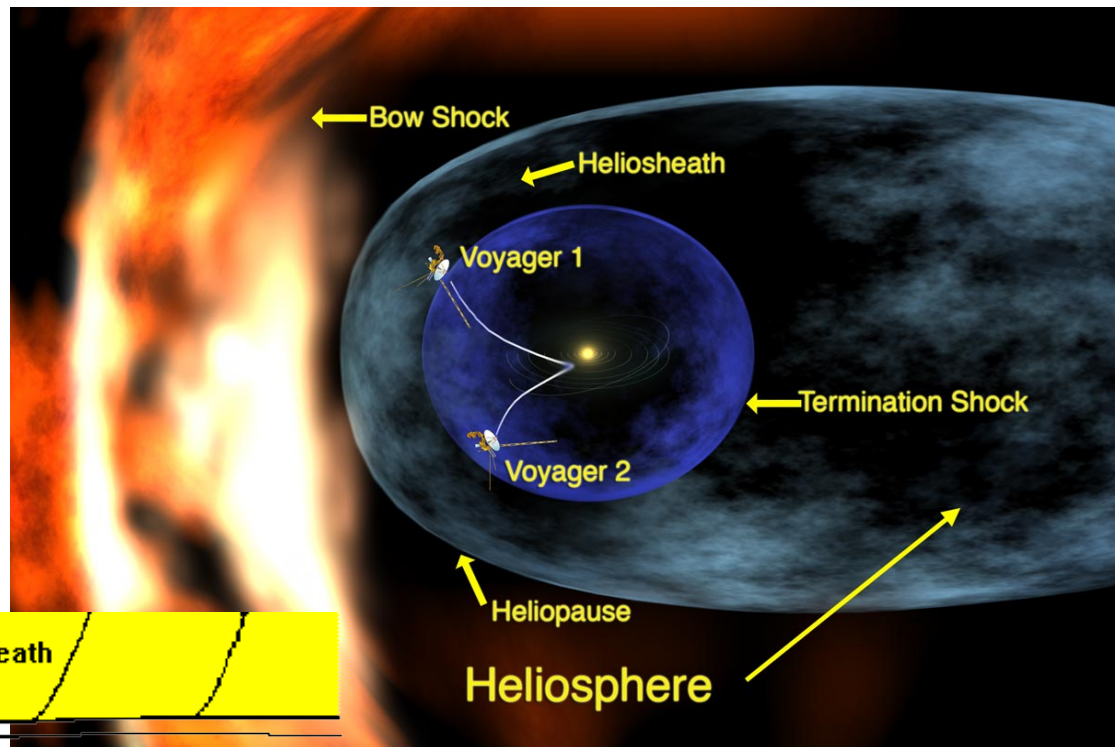
电离层

极光

- 最早记录公元前2000年
- 17世纪认为是冰晶反射。
- Halley: 受地磁场控制
- Mairan: 和太阳大气相连



地球磁场



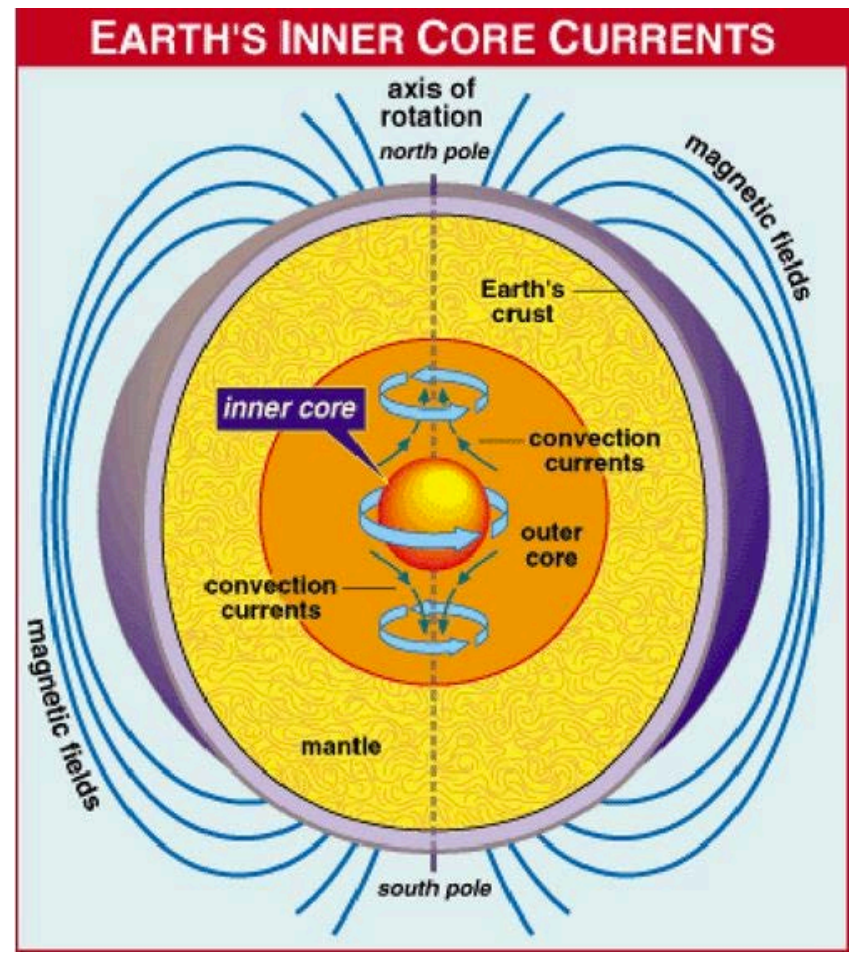
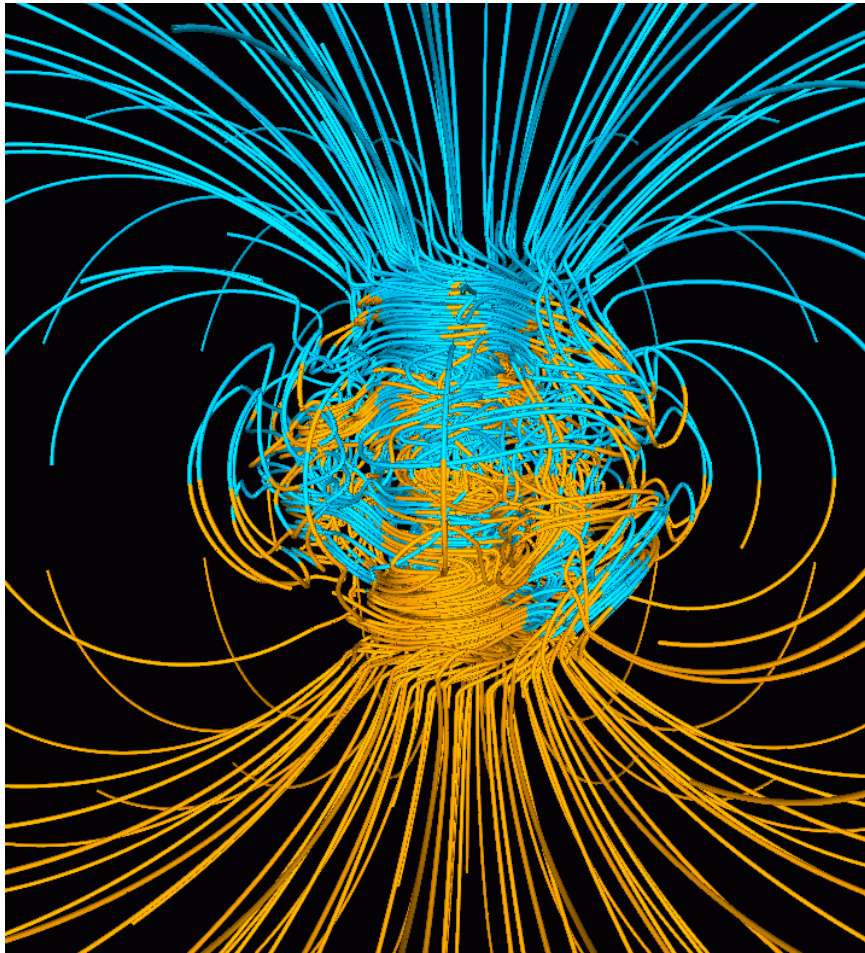
地磁场的发现历史

罗盘指引方向

公元1030-1093 沈括的《梦溪笔谈》记载：“算命人把针头在磁石上磨擦，使它正好指向南方。”

磁偏角：磁场北极与旋转轴的夹角

磁场倾角：地磁场与水平方向的夹角

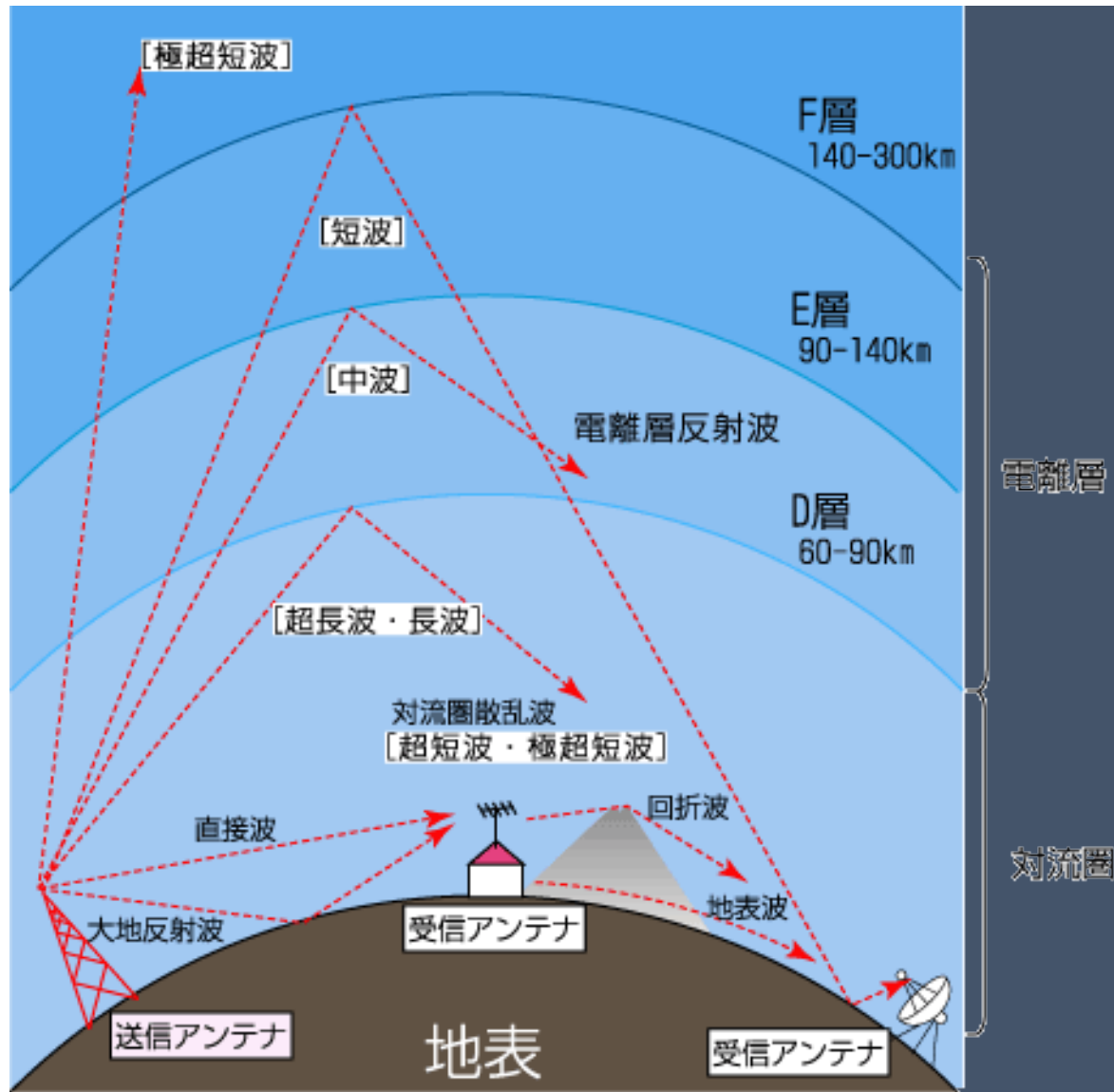


中国航空磁异常

航磁异常：地壳中的含铁磁性地质体在地磁场作用下所产生的附加磁场

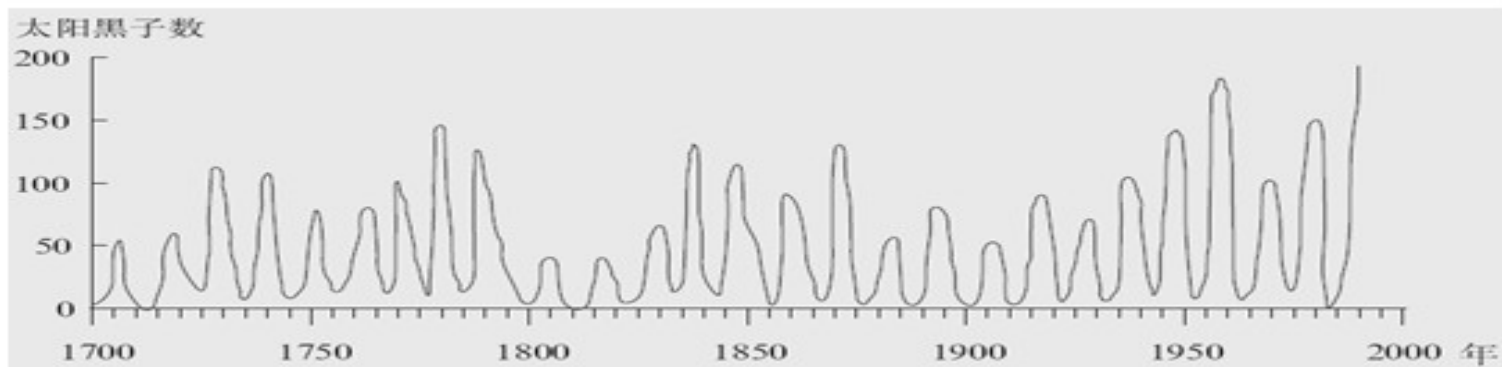
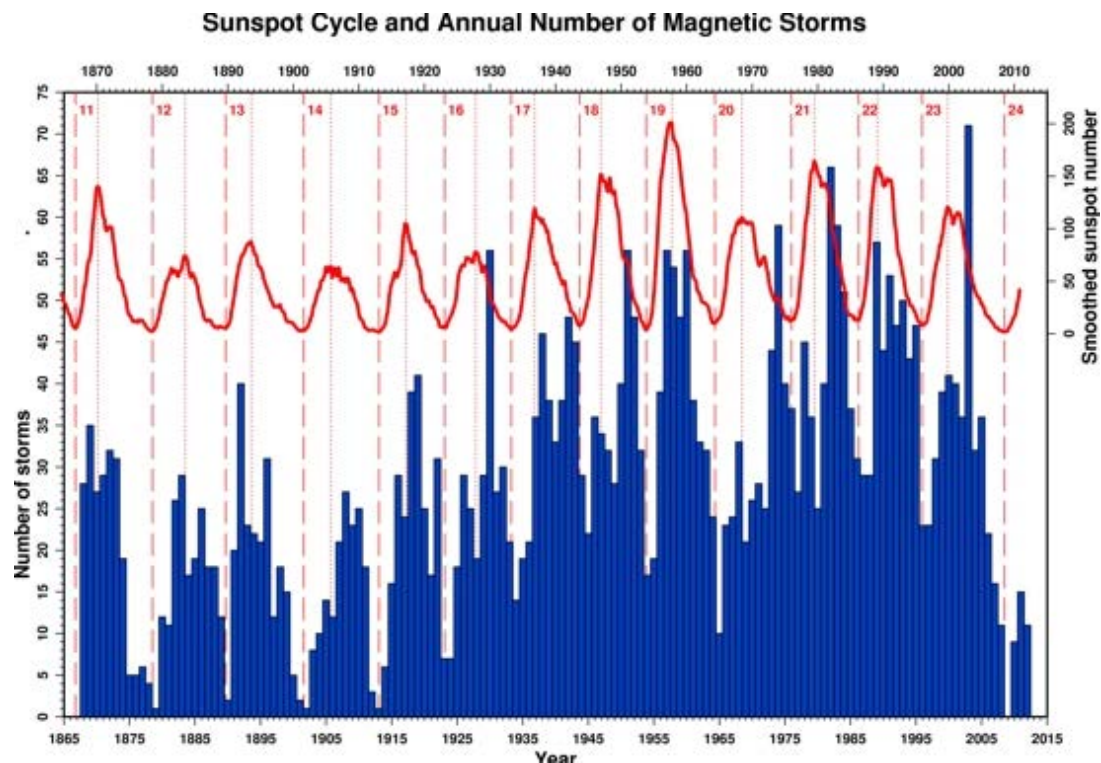
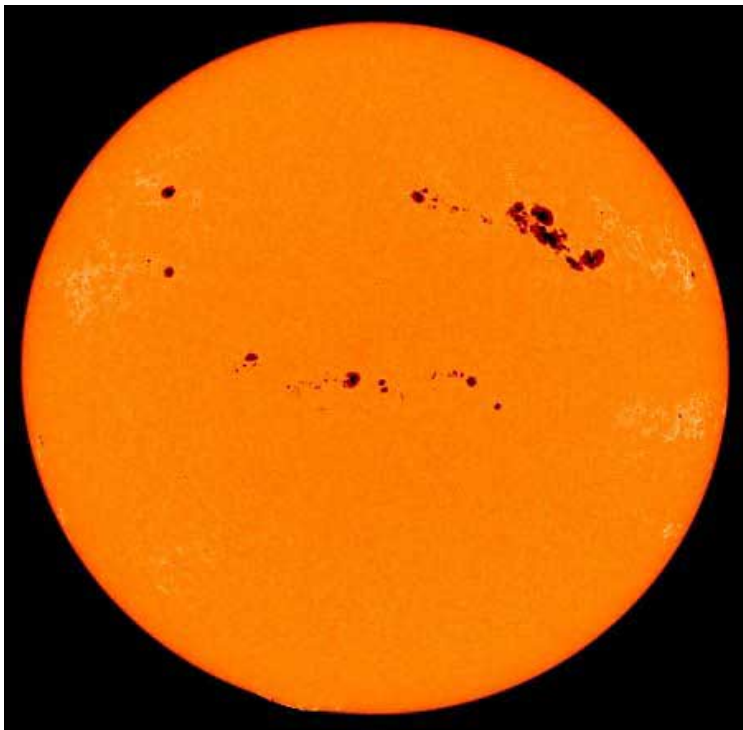


电离层和通信



电离层是地球大气层被太阳射线电离的部分，它是地球磁层的内界。

太阳黑子及太阳活动和地磁活动间的关系



空间物理的研究手段

主要：卫星观测

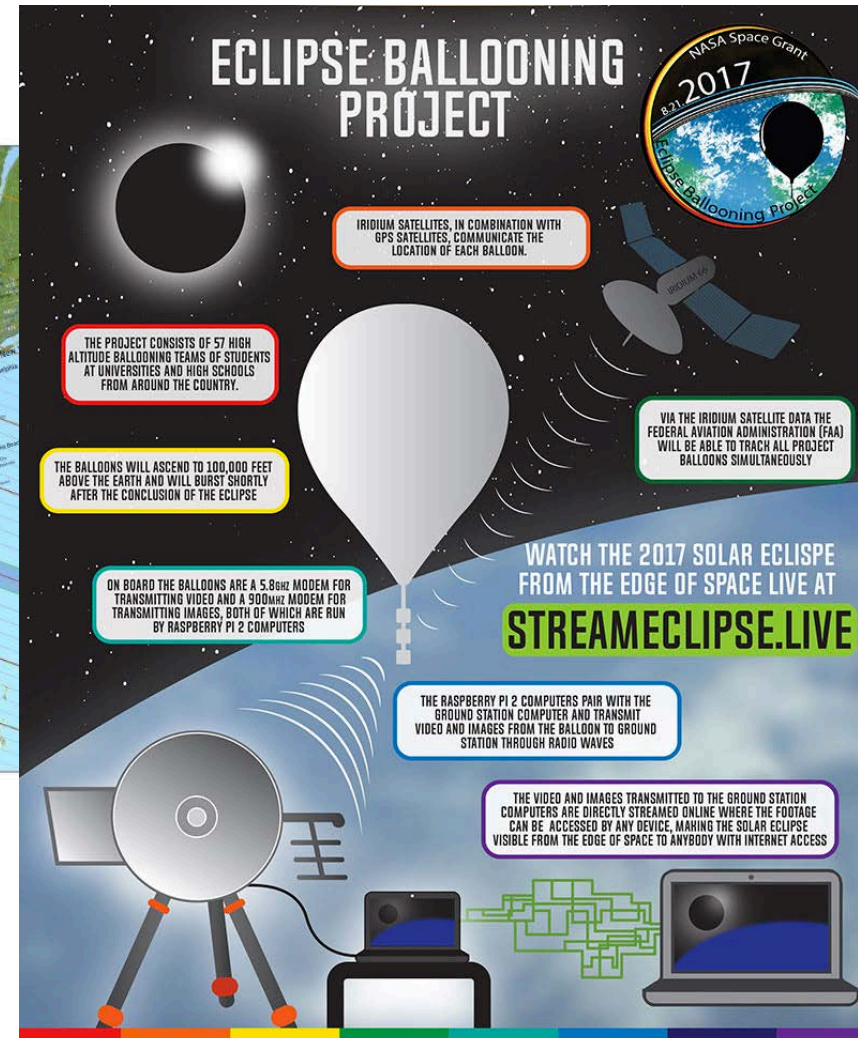
其他：火箭

雷达

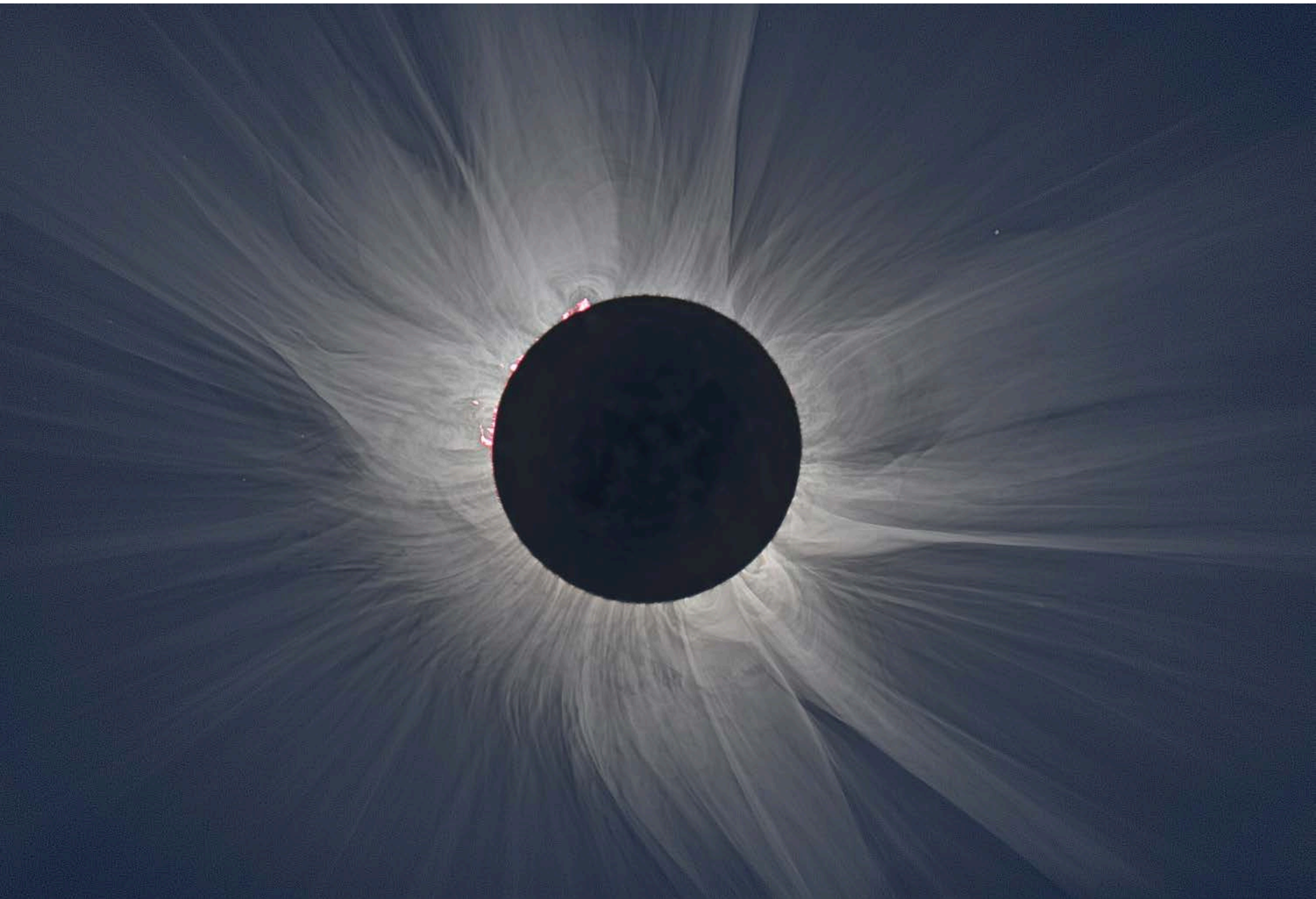
探空气球

.....

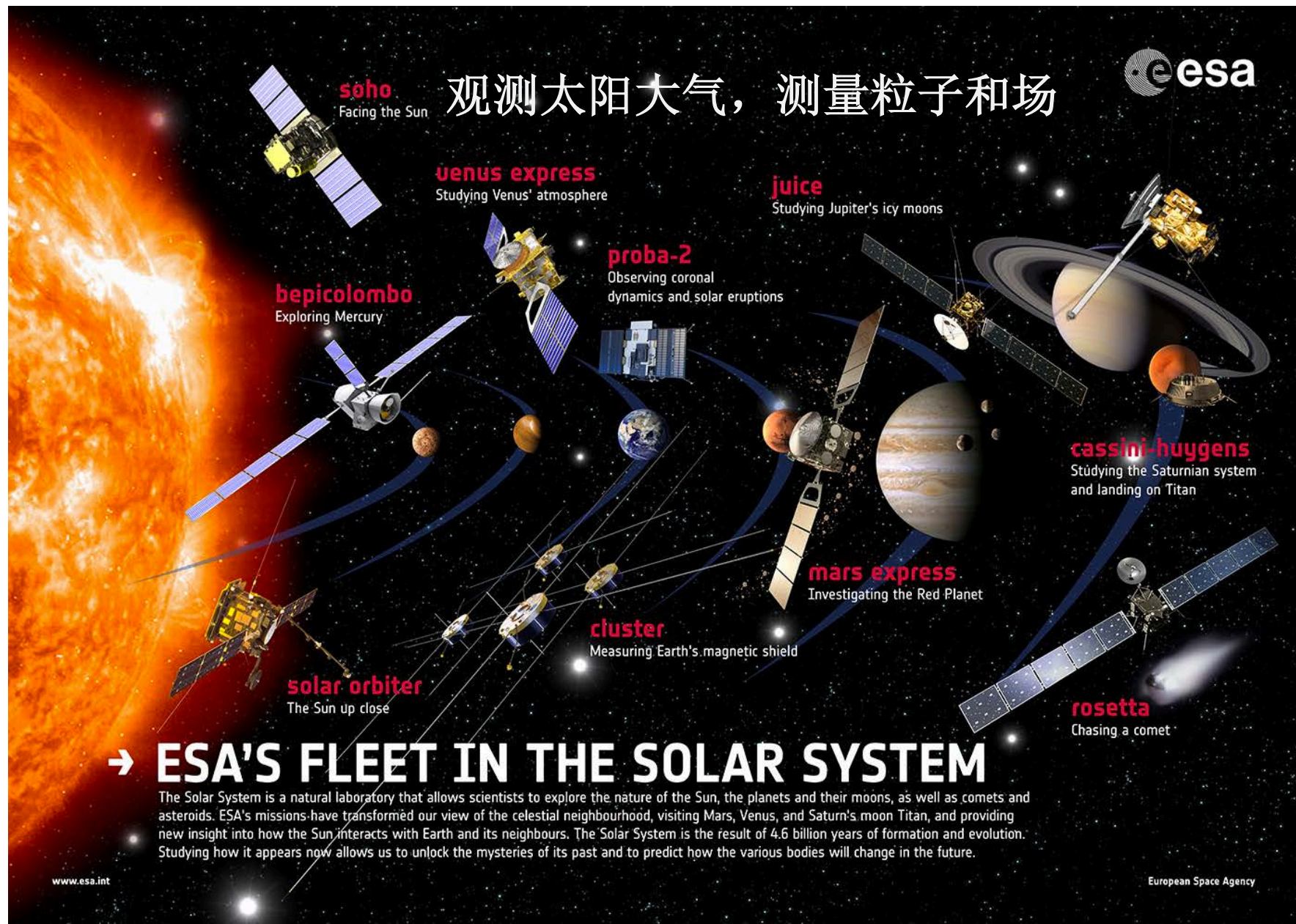
2017年美国8月21日大日全食



BE SURE TO WATCH THE ECLIPSE LIVE FROM THE EDGE OF SPACE AT **STREAMECLIPSE.LIVE!**
SPECIAL THANKS TO THE NASA SCIENCE MISSION DIRECTORATE, NASA SPACE GRANT COLLEGE AND FELLOWSHIP PROGRAM, AND THE TEAMS PARTICIPATING IN THE PROJECT.



太阳系观测



观测太阳大气，测量粒子和场

soho
Facing the Sun

venus express
Studying Venus' atmosphere

juice
Studying Jupiter's icy moons

bepicolombo
Exploring Mercury

proba-2
Observing coronal
dynamics and solar eruptions

cassini-huygens
Studying the Saturnian system
and landing on Titan

mars express
Investigating the Red Planet

cluster
Measuring Earth's magnetic shield

solar orbiter
The Sun up close

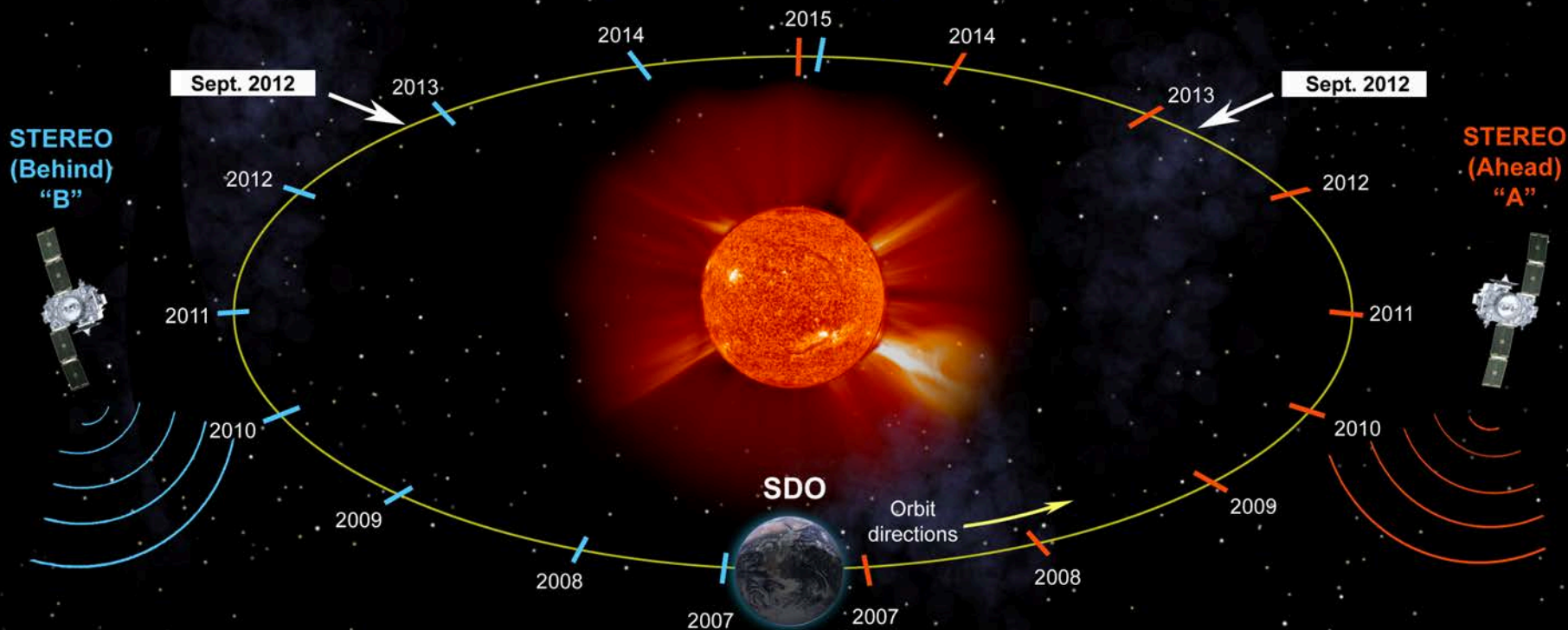
rosetta
Chasing a comet

→ ESA'S FLEET IN THE SOLAR SYSTEM

The Solar System is a natural laboratory that allows scientists to explore the nature of the Sun, the planets and their moons, as well as comets and asteroids. ESA's missions have transformed our view of the celestial neighbourhood, visiting Mars, Venus, and Saturn's moon Titan, and providing new insight into how the Sun interacts with Earth and its neighbours. The Solar System is the result of 4.6 billion years of formation and evolution. Studying how it appears now allows us to unlock the mysteries of its past and to predict how the various bodies will change in the future.

STEREO和SDO卫星

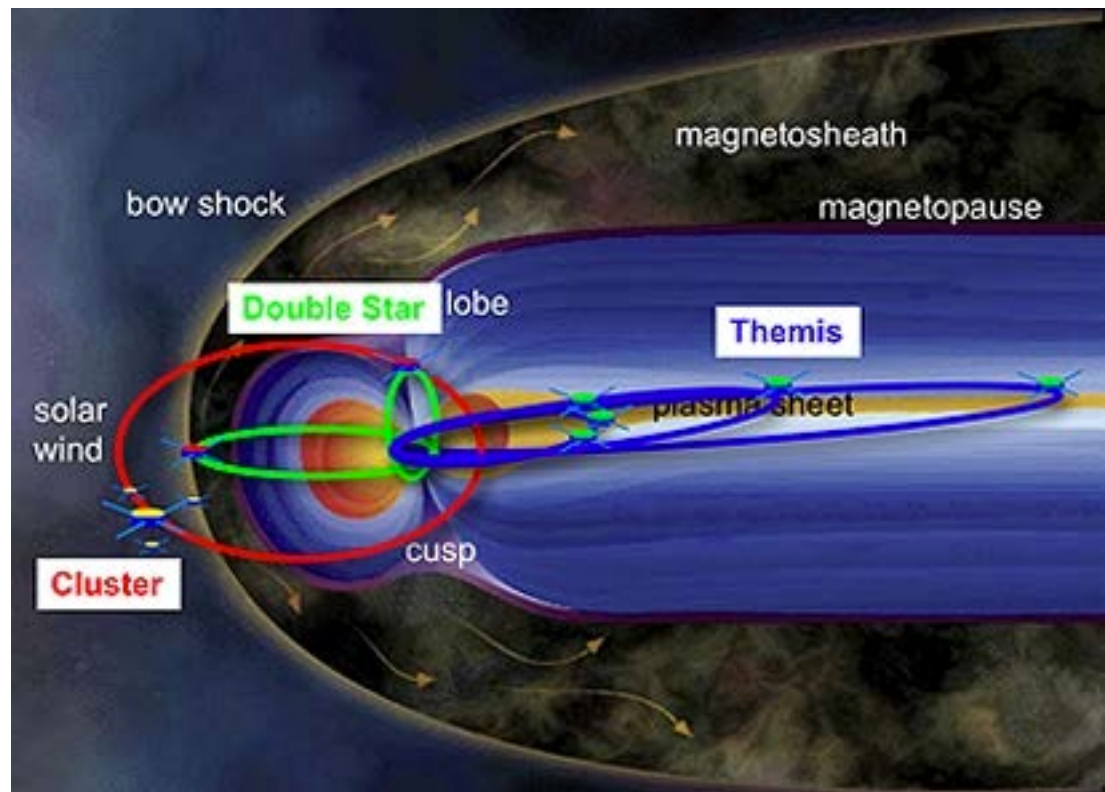
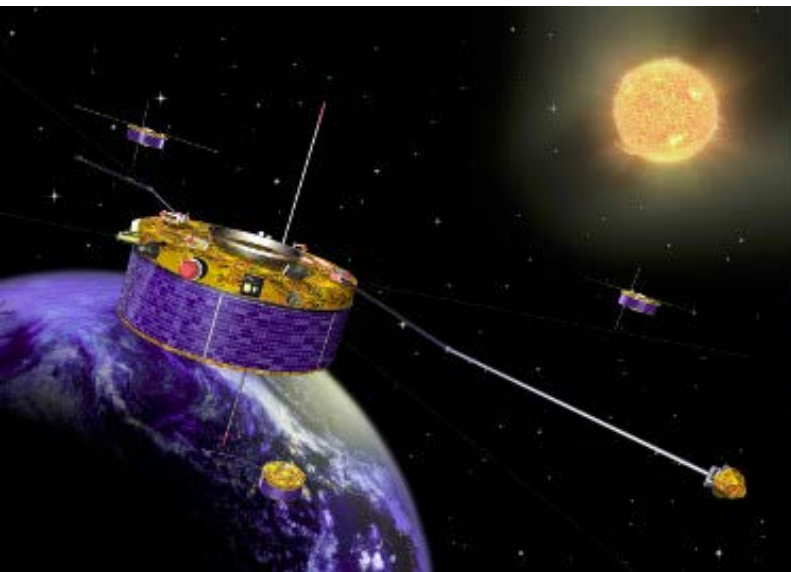
NASA's STEREO (with SDO) Sees the Entire Sun



The two **STEREO** spacecraft reach equidistant positions between themselves and Earth on Sept. 1, 2012.

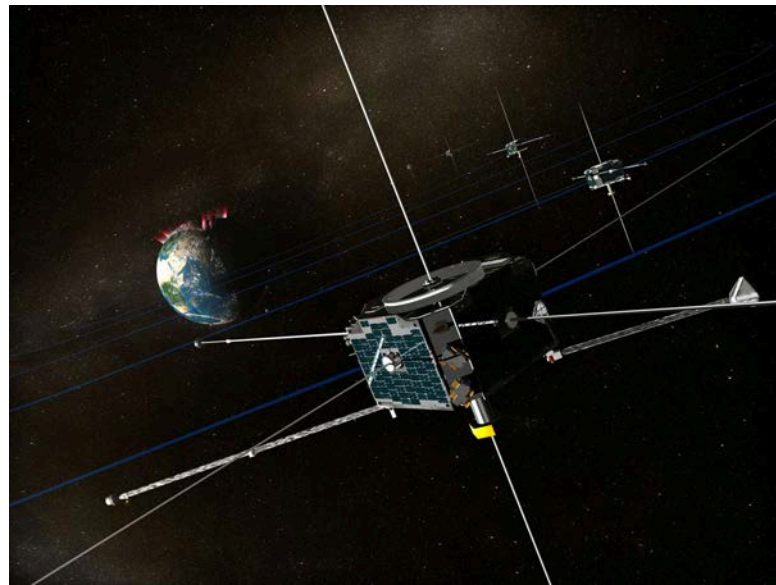
Drawing gives the relative orbital positions of both STEREO spacecraft for each year from June 2007 to June 2015.
(Not to scale)

Cluster计划:
探测磁层
launched 2000



THEMIS

launched On 2007



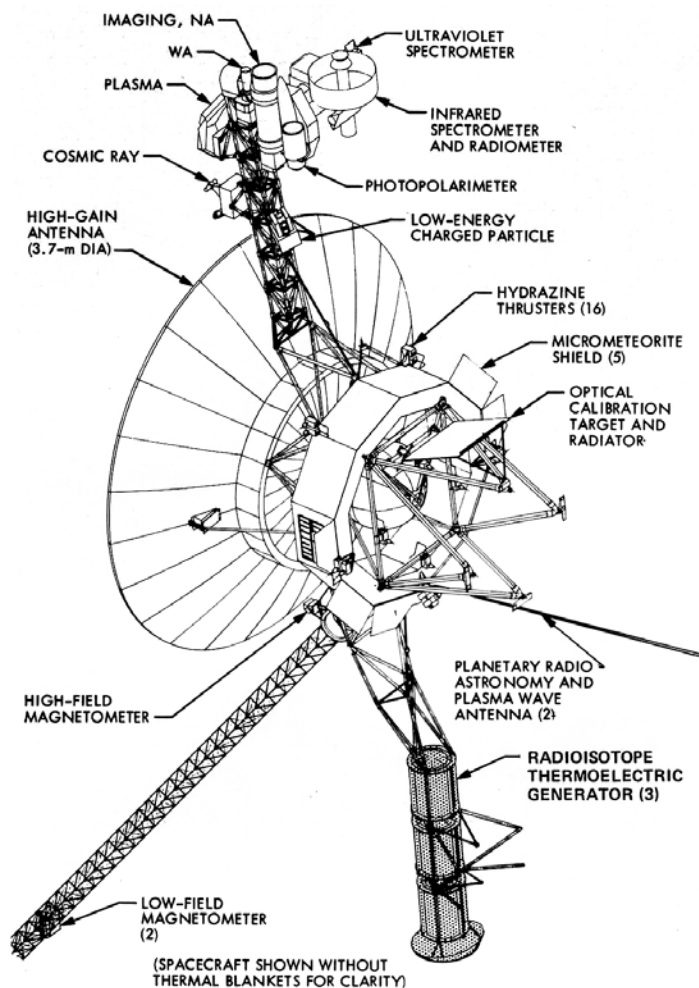
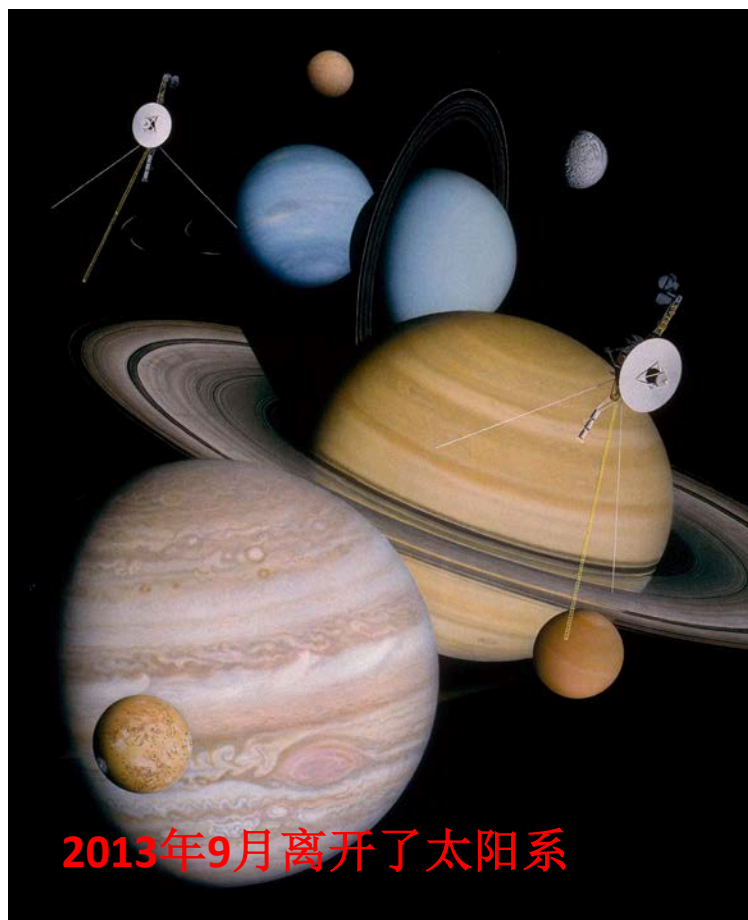
- **Aboard the spacecraft**
- Instrument Data Processing Unit (IDPU): The IDPU houses most of the electronics for the instruments on the THEMIS spacecraft.
- Electric Field Instruments (EFI): The EFI is designed and built to sense the electric field in Earth's ever-changing magnetosphere
- [Fluxgate magnetometer](#) (FGM): The FGM measures the background magnetic field to identify and time the abrupt reconfigurations of the magnetosphere during substorm onset.
- [Search-coil magnetometer](#) (SCM): The SCM measures low frequency magnetic field fluctuations and waves in three directions in Earth's magnetosphere.
- [Electrostatic Analyzer](#) (ESA): The ESA measures thermal electrons and ions to identify and track high-speed flows through the magnetotail and identify pressure pulses.
- Solid State Telescope (SST): The SST measures energetic particle distribution functions.
- Digital Fields Board (DFB): The DFB uses an [FPGA](#) to perform configurable on-board band pass processing and fast Fourier transformations([FFT](#)) on instrument data.

新地平线号探测器使命

- 探测冥王星及其最大的卫星卡戎和探测位于柯伊柏带的小行星群。
2017至2020年抵达一个由彗星和其他宇宙碎片构成的中间环带——柯伊柏带。
- 2006年1月19日，成功发射。
- 2006年4月7日，穿过火星轨道。
- 2006年5月上旬，进入小行星带；10月下旬，离开小行星带。
- 2007年1月8日，开始木星探测。
- 2007年1月10日，观测木卫十七(Callirrhoe)。
- 2008年6月8日，穿过土星轨道。
- 2011年3月18日，穿越天王星轨道。
- 2014年8月24日，穿越海王星轨道。
- 2015年7月14日，飞越冥王星和冥卫一。
- 2016-2020年，近距离接触柯伊伯带天体。
- 2029年，离开太阳系。

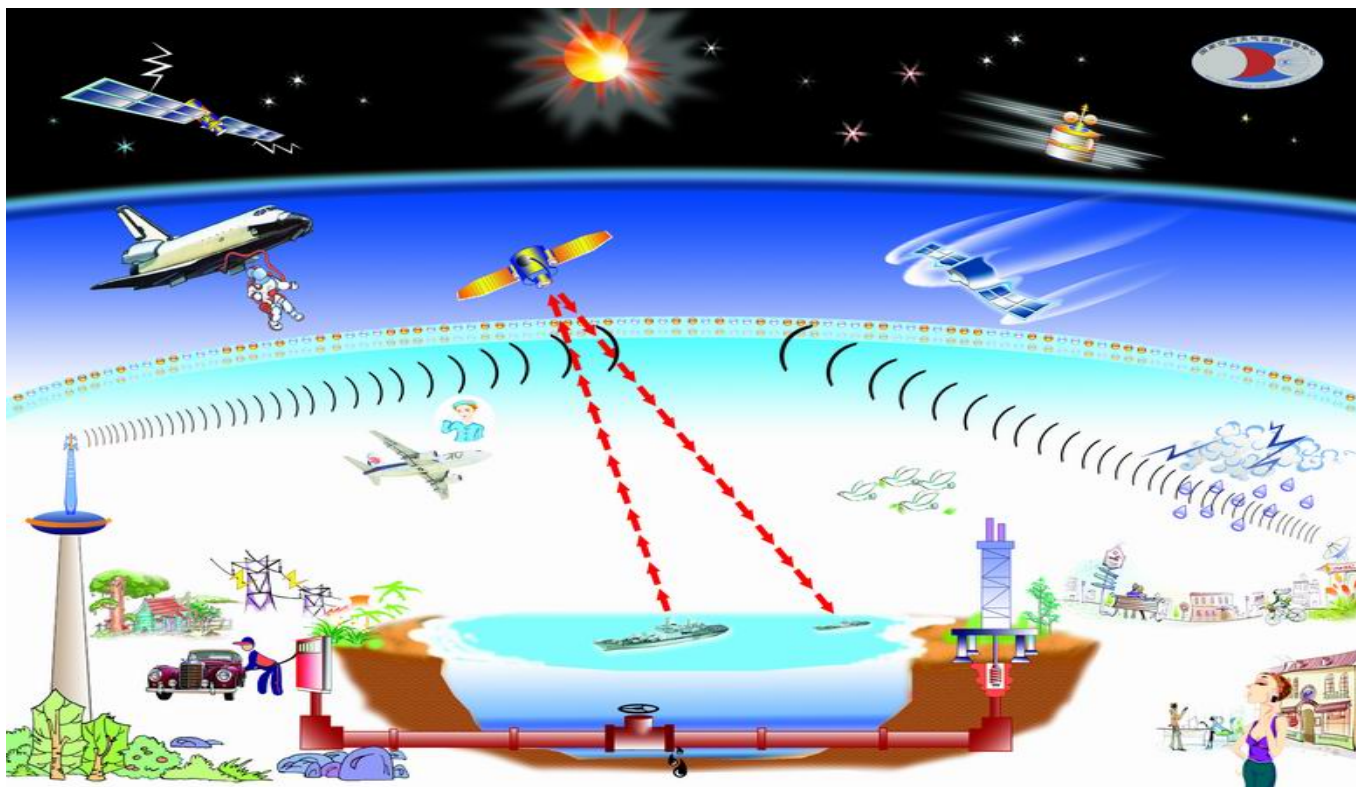


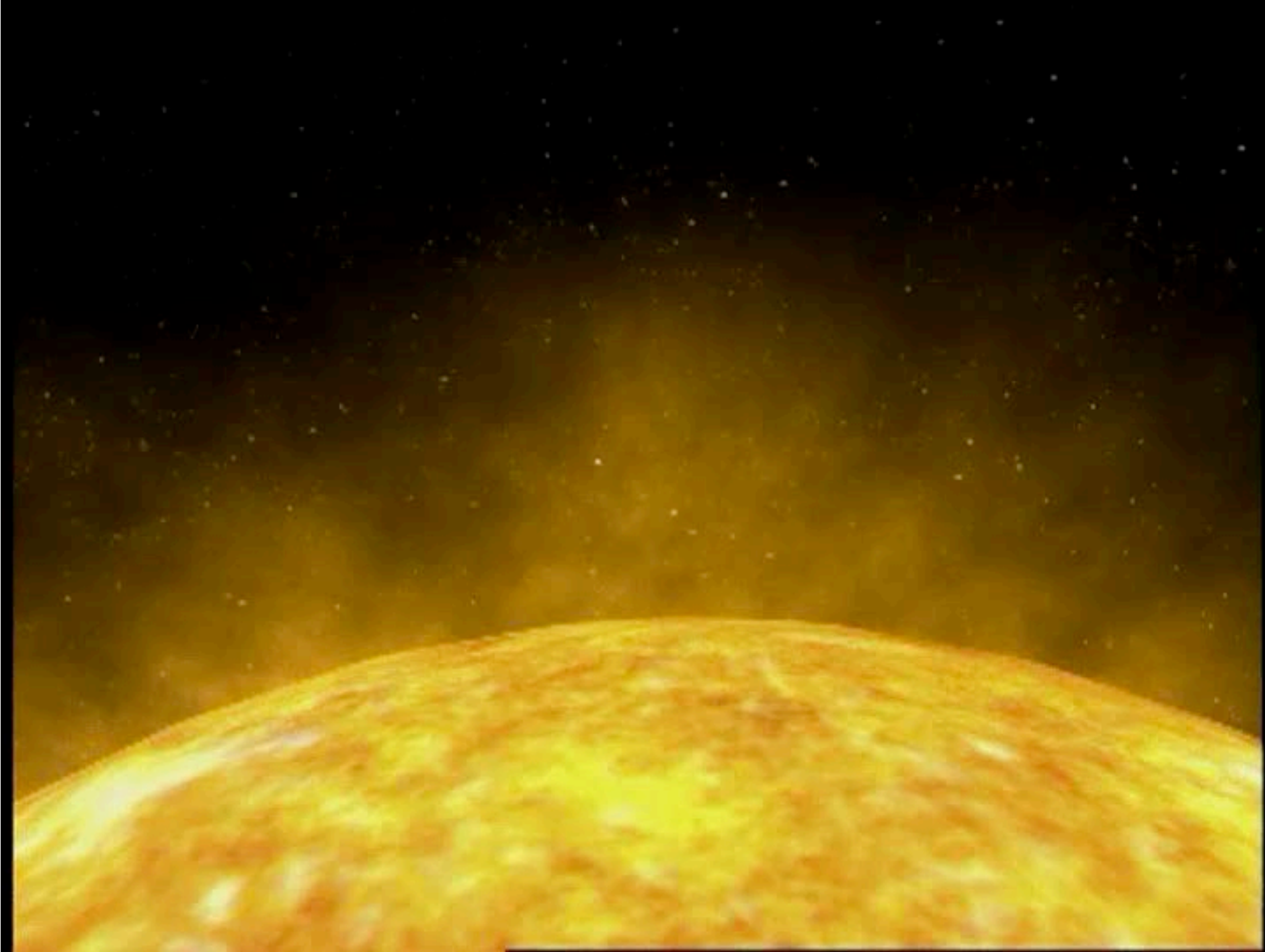
旅行者号：探测外太阳系（1977）

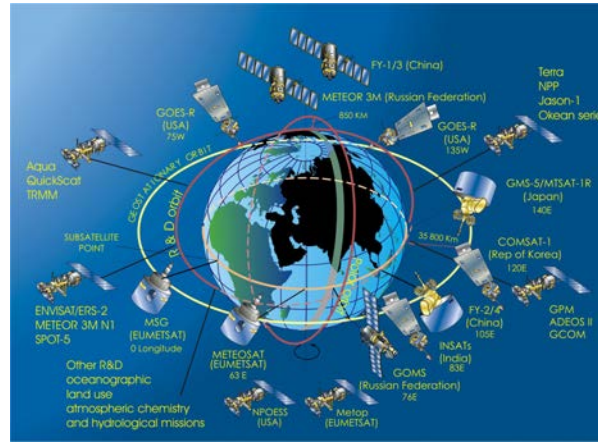


空间科学的现实意义：预报空间天气

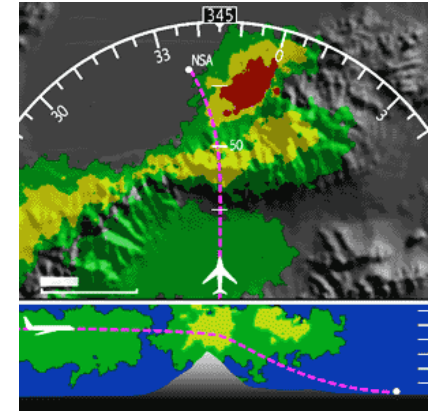
选修 李川：空间天气学



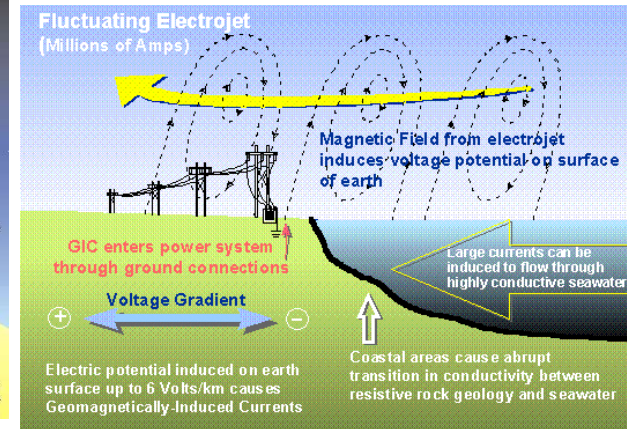
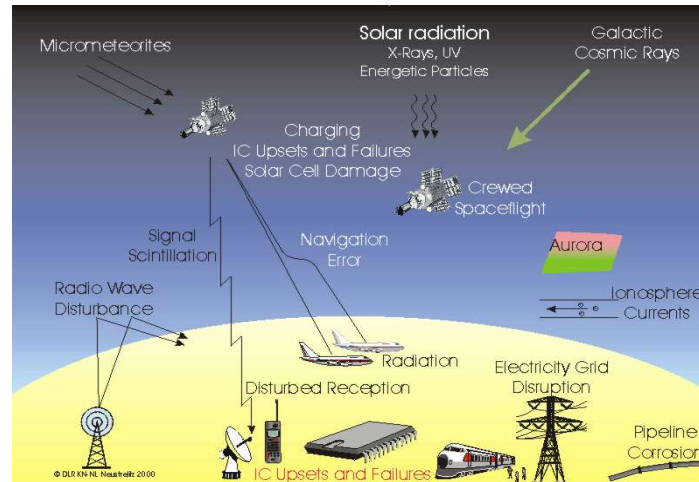




Aviation



Power



Imagination Communication and Navigation

影响一：引起卫星带电



几乎每年都有重大的 空间灾害性事件发生

- ❖ 近20年来，每年都会有1-2颗卫星由灾害性空间天气造成部分功能失效或完全失效；
- ❖ 据统计，40%的航天故障(轨道、姿态、击穿电路、扰乱指令等)与日地空间环境中的灾变有关。

太阳耀斑爆发可能影响天宫一号

<http://www.sina.com.cn> 2012年01月26日00:50 北京晨报

据中央人民广播电台报道 由于大年初一爆发的太阳耀斑有可能对在低轨道运行的“天宫一号”造成影响，中科院空间环境研究预报中心已经发出红色预警并加强监测频次。

中科院空天环境研究中心的主任刘四清研究员介绍说，在大年初一的中午11时59分的时候，太阳一个叫1402的区域爆发了耀斑，。这次太阳耀斑爆发可能会对天宫上的一些电子仪器设备造成一些干扰。

影响二：引起输电线路破坏



Geomagnetic Storm Effects
March 1989

Hydro Quebec Loses Electric Power for 9 Hours



Transformer Damage



影响三：引发电离层扰动进而严重影响通讯和导航等

- ❖ 短波通讯中断 (2001年4月1日美军侦察机撞毁我战斗机事件，1-13日发生9起太阳爆发事件，严重影响通讯)。
- ❖ 短波测向和雷达系统性能严重下降 (例如，甚低频无线电导航定位误差可高达几十海里)。
- ❖ **GPS**定位误差可高达百米，且随机变化。

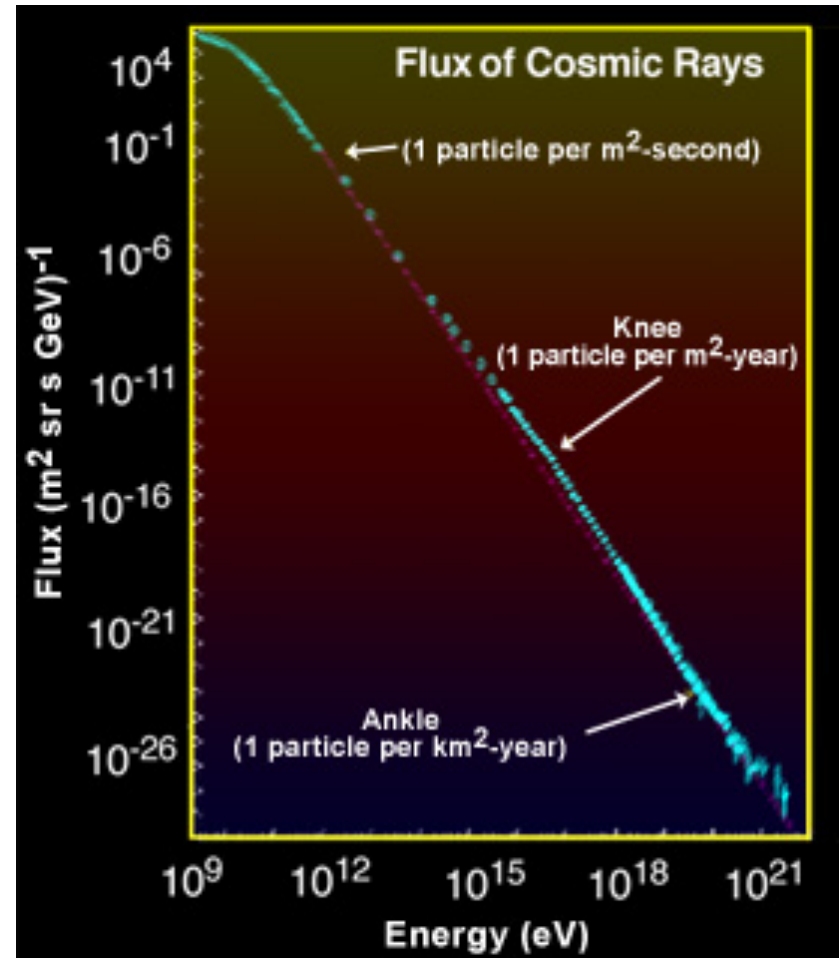
其它影响

- ❖ 高能粒子会损害宇航员的身体健康甚至危及他们的生命。
- ❖ 可能影响地球平均气温的变化、臭氧含量变化以及人类健康和心血管疾病等。
- ❖

空间物理和天体物理



Bow Shock Near Young Star LL Ori



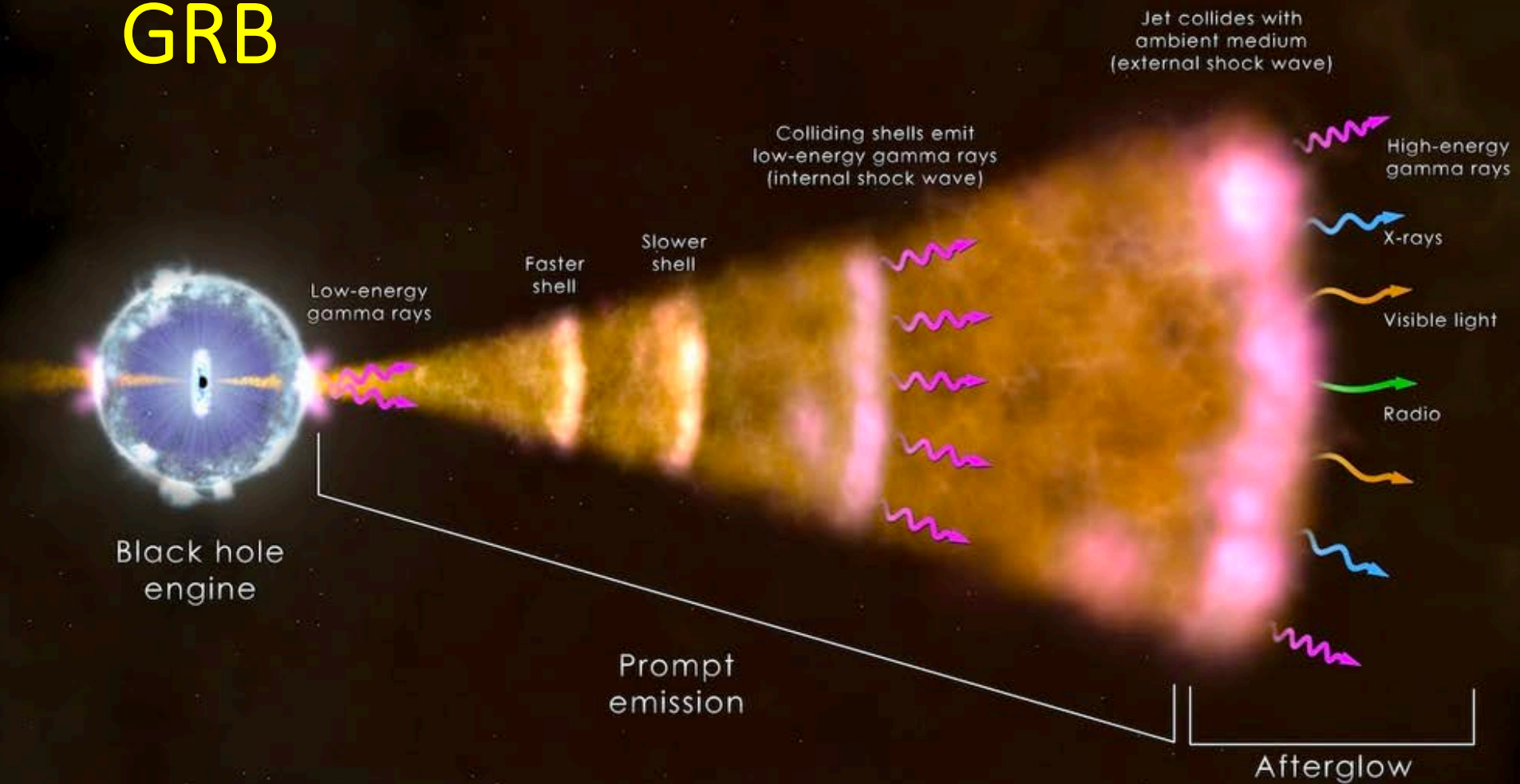
Stellar flaring and mass ejections



Artist's View of Dwarf Flare Star

NASA, ESA, and G. Bacon (STScI) ■ STScI-PRC11-02

GRB



Shocks in Space

■ Solar Atmosphere

- Flares
- CMEs

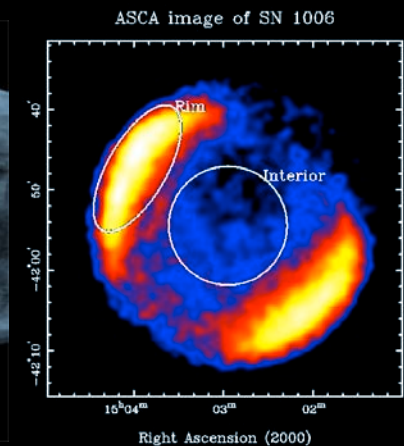
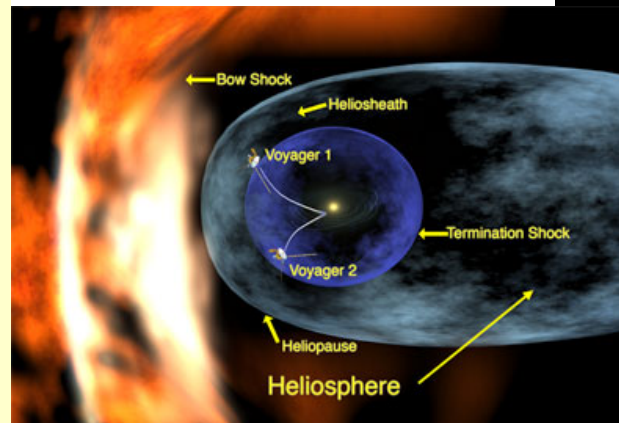
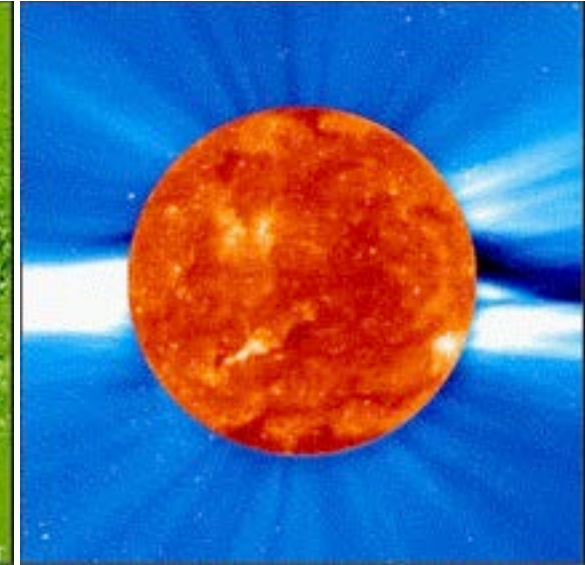
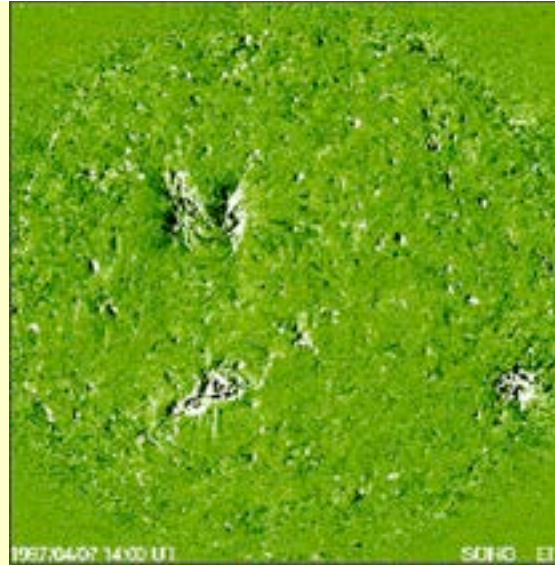
■ Solar Wind

- Planetary bow shocks
- Interplanetary shocks

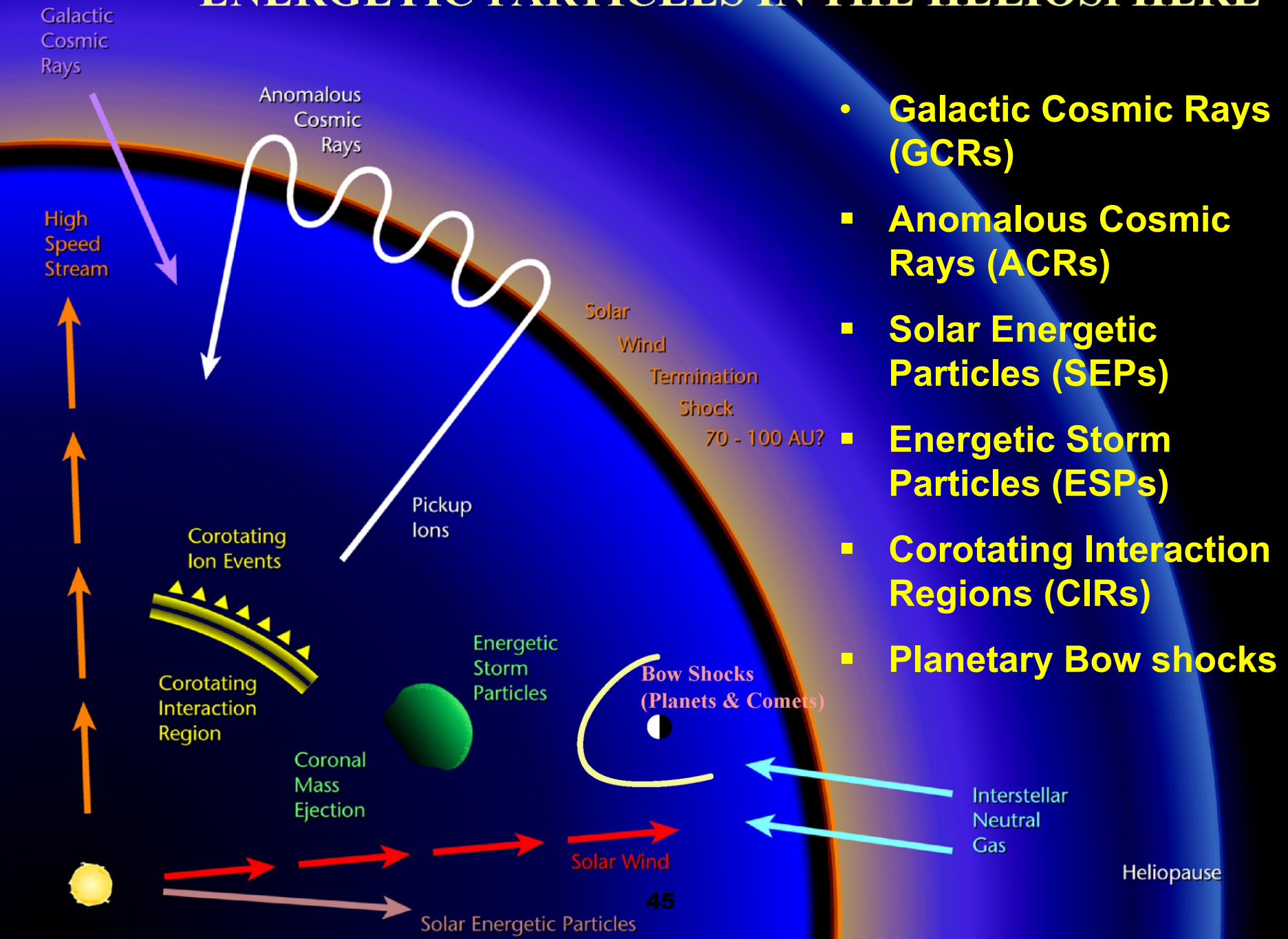
- Coronal Mass Ejections
- Corotating Interaction Regions

- Termination shock
- Cometary Shocks

■ Supernova shocks



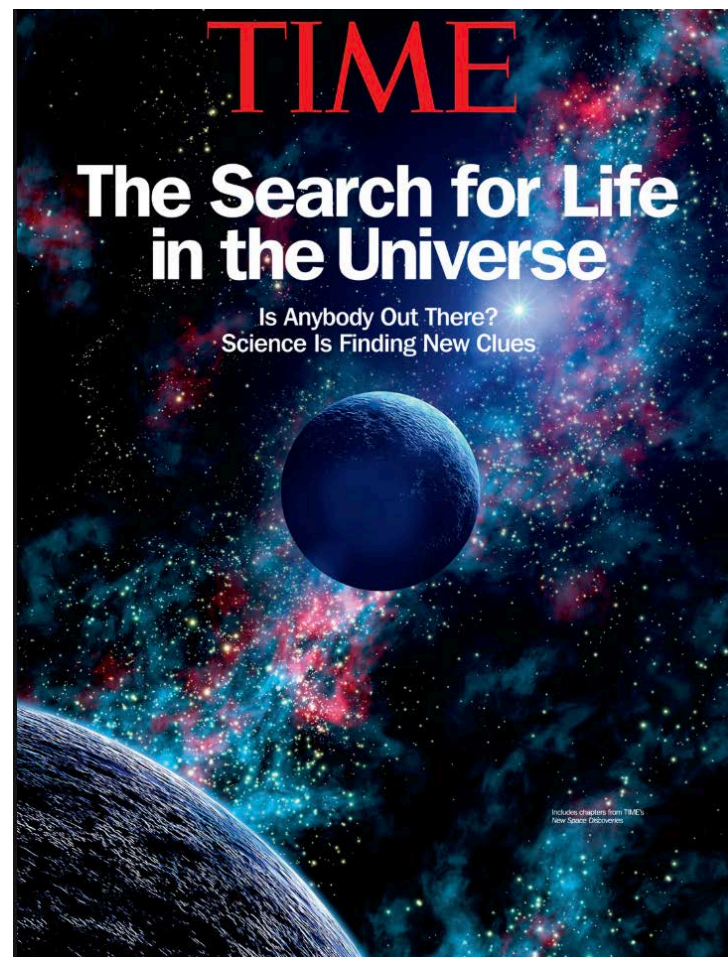
ENERGETIC PARTICLES IN THE HELIOSPHERE



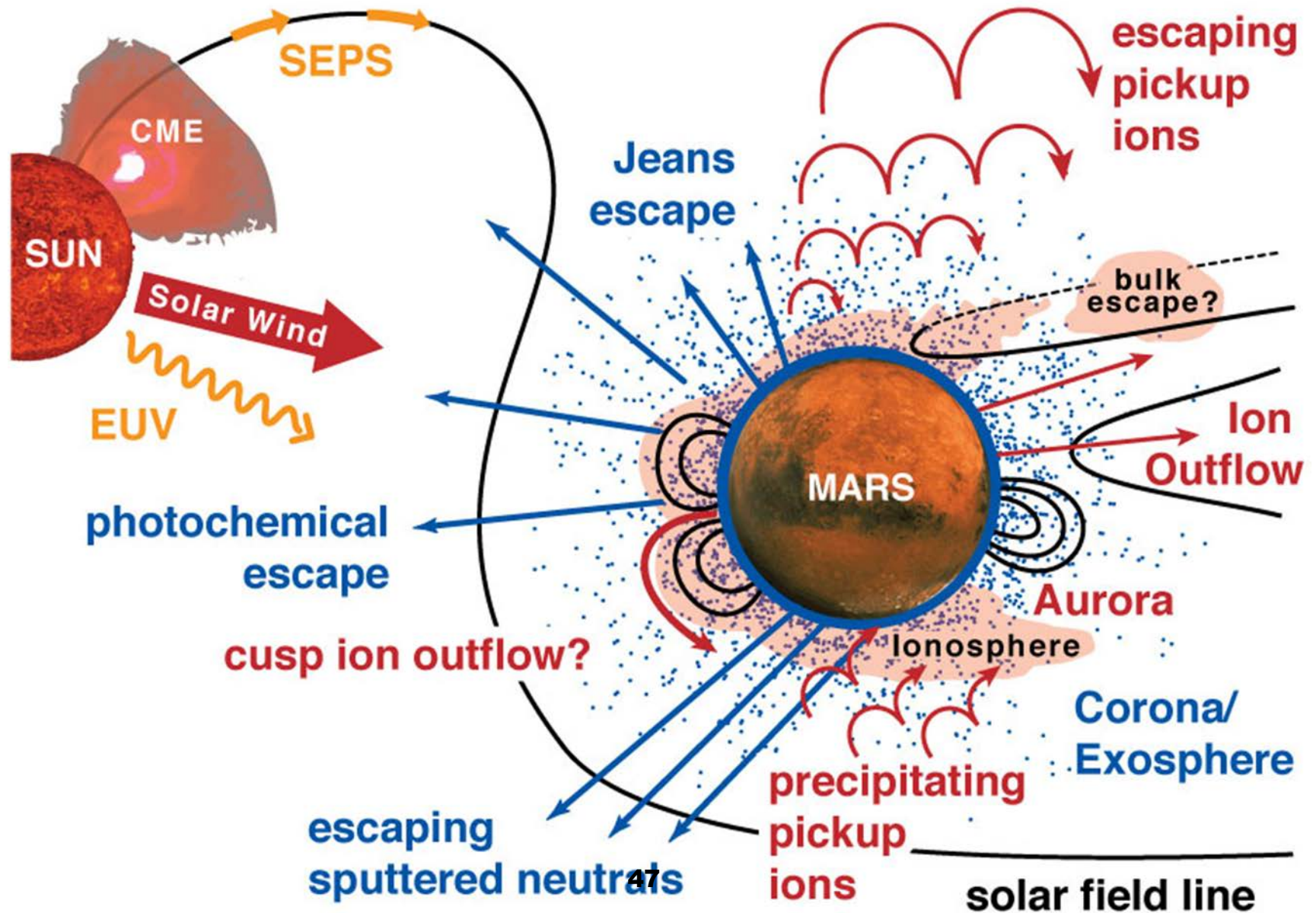
行星科学

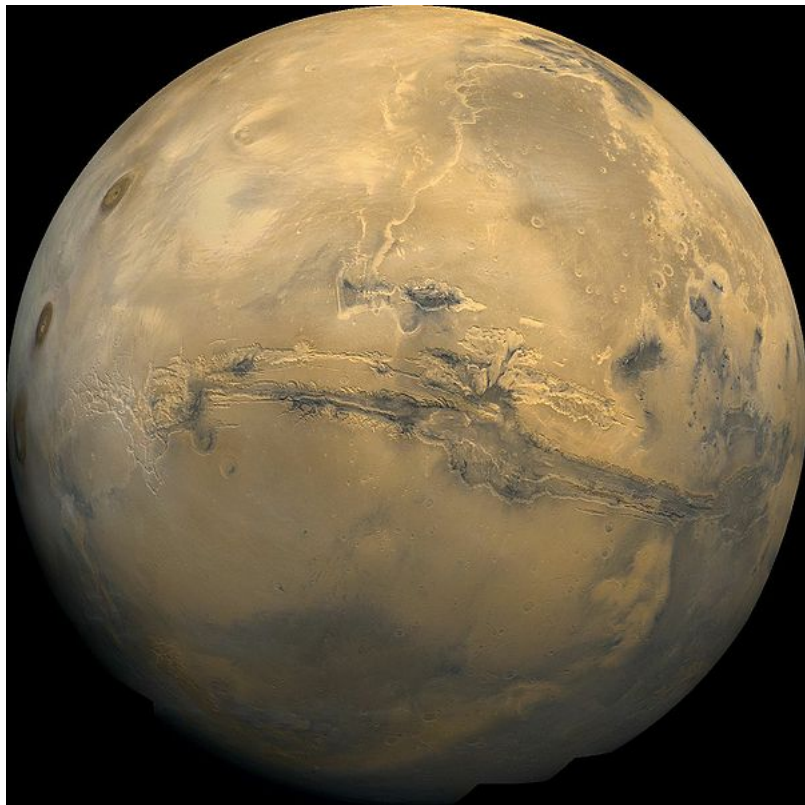
太阳风和行星、彗星的相互作用

- 彗星（无磁场）；
- 无内禀磁场的行星（火星）
- 有内禀磁场的行星（地球）



太阳风和火星



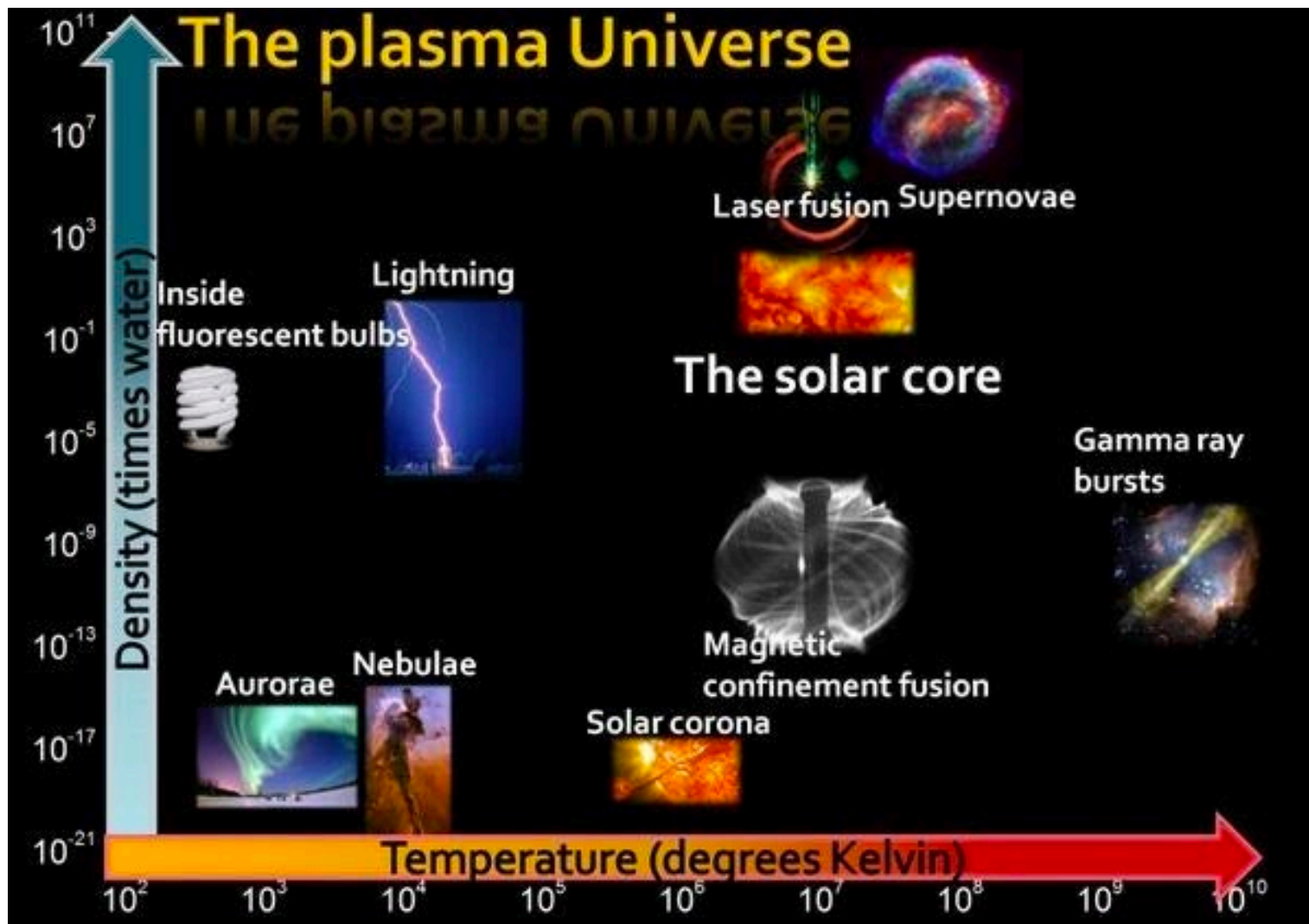


火星表面



地质科学

空间物理和等离子体物理



Parker Solar Probe

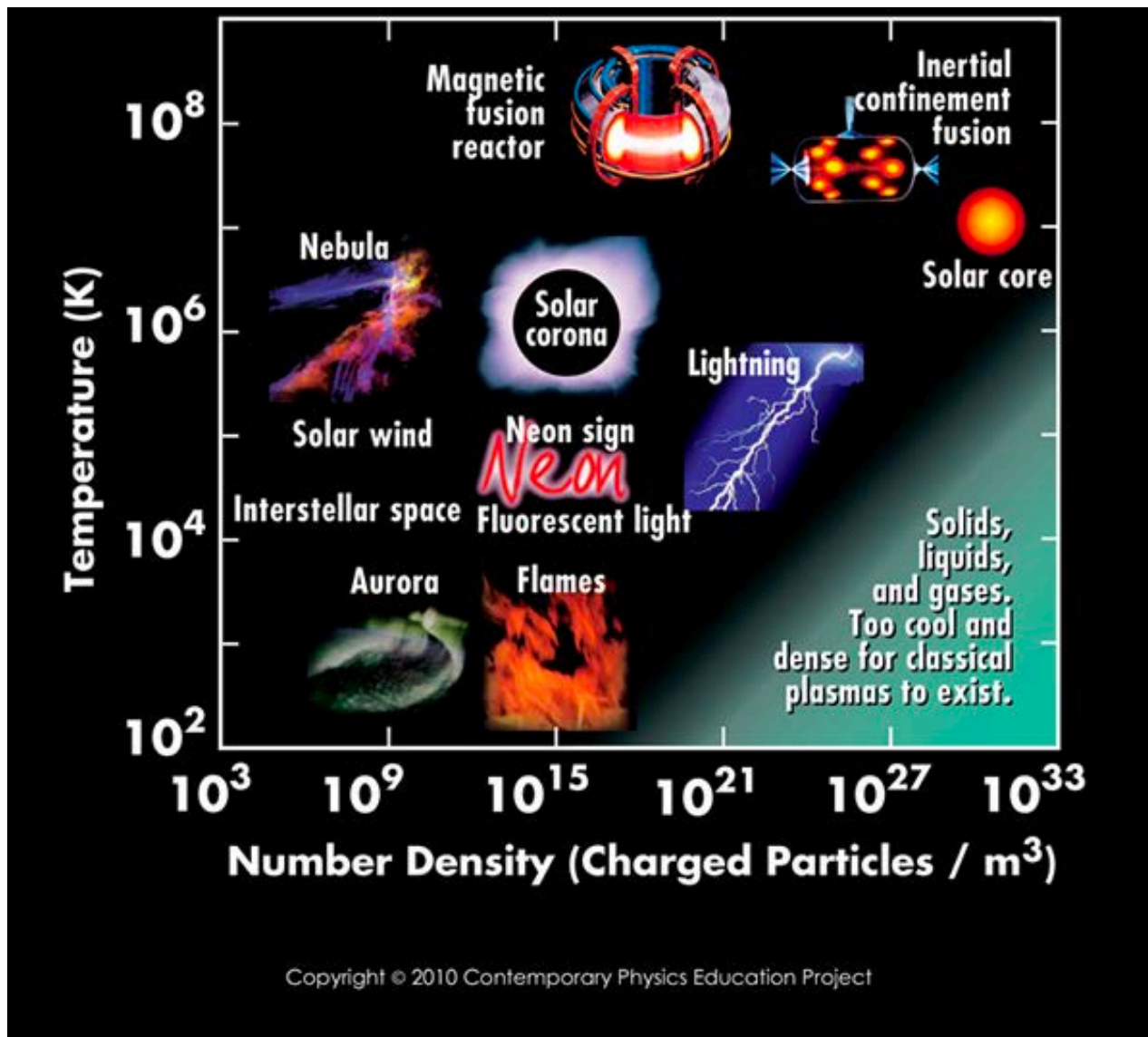
Solar Orbiters

Take home

空间物理很重要，非常重要！！

1. 宇宙中几乎所有的能量释放和物质输运过程也同样在日球空间发生着。
2. 日球空间-磁化的等离子体，其中发生着可以探知的基本物理过程。
3. 生命起源最可能的解。

空间物理和等离子体物理



Solar Probe Plus和Solar Orbiter卫星

