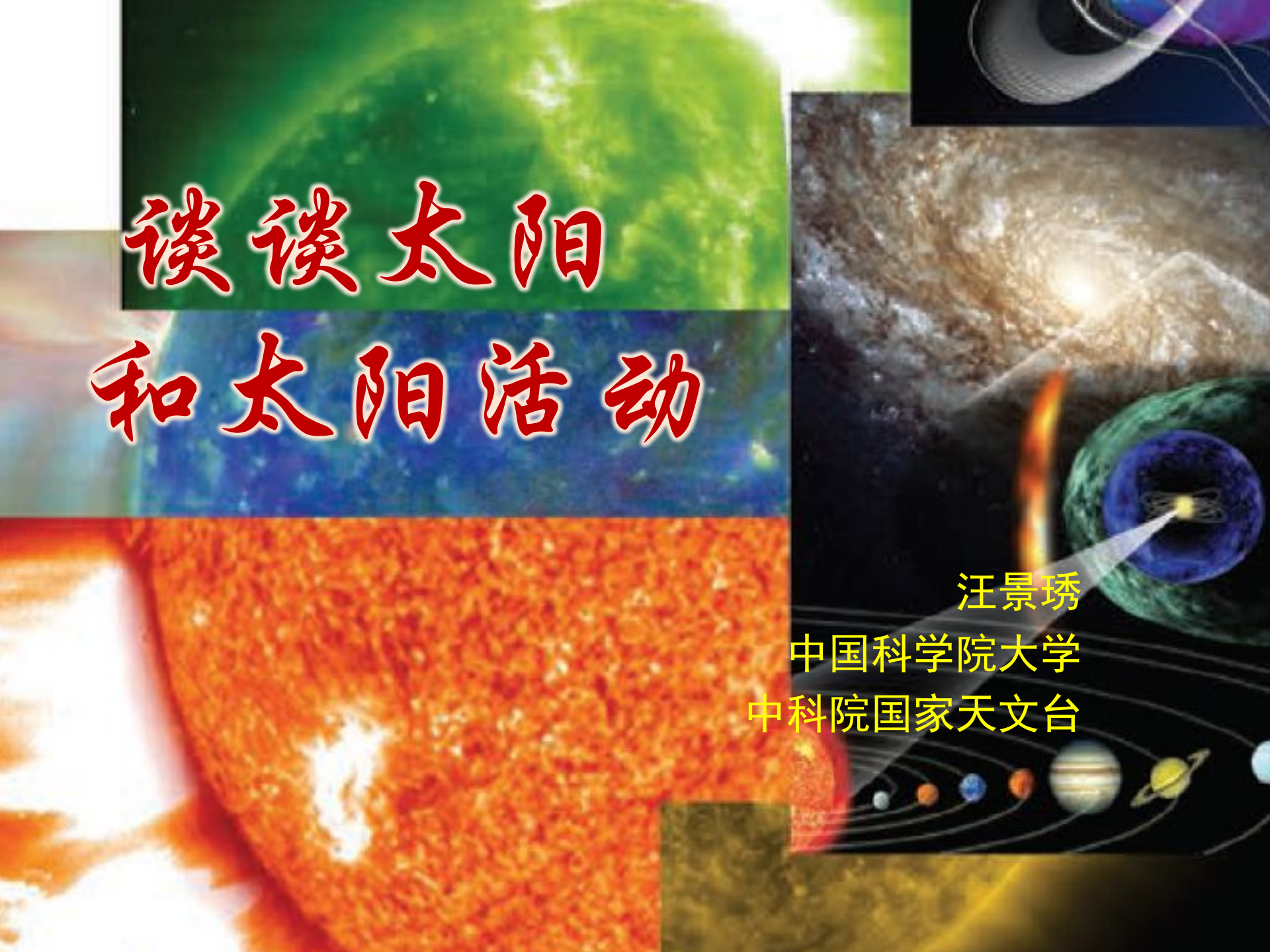


# 太阳和太阳活动

夏蕊

基础天文学





# 谈谈太阳 和太阳活动

汪景琇  
中国科学院大学  
中科院国家天文台

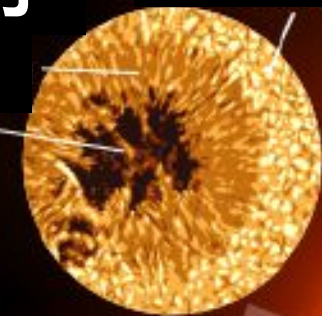
# the sun

layers drawn to scale

太阳黑子

米粒

黑子  
本影



太阳光球

温度极小区

太阳色球层

太阳过渡区

对流层

辐射区

日核

旋切层

日冕

耀斑

日珥

# 1. 太阳活动的基本形式

## 太阳黑子

The background is a traditional Chinese silk painting (Xianhua) with a dark brown and green color palette. It features a large red circle on the right containing a black silhouette of a crow, and a red circle on the left containing a black silhouette of a snake. The background is decorated with various patterns, including green leaves and red circular motifs.

# 日有蹲鸦

公元前二百多年前年西汉帛画中对太阳的描绘

# 中国有世界上最古老的黑子记录

汉成帝河平元年三月乙未（公元前28年）

日出黄，有黑气大如钱，居日中央。

《汉书·五行志》卷27页1507。



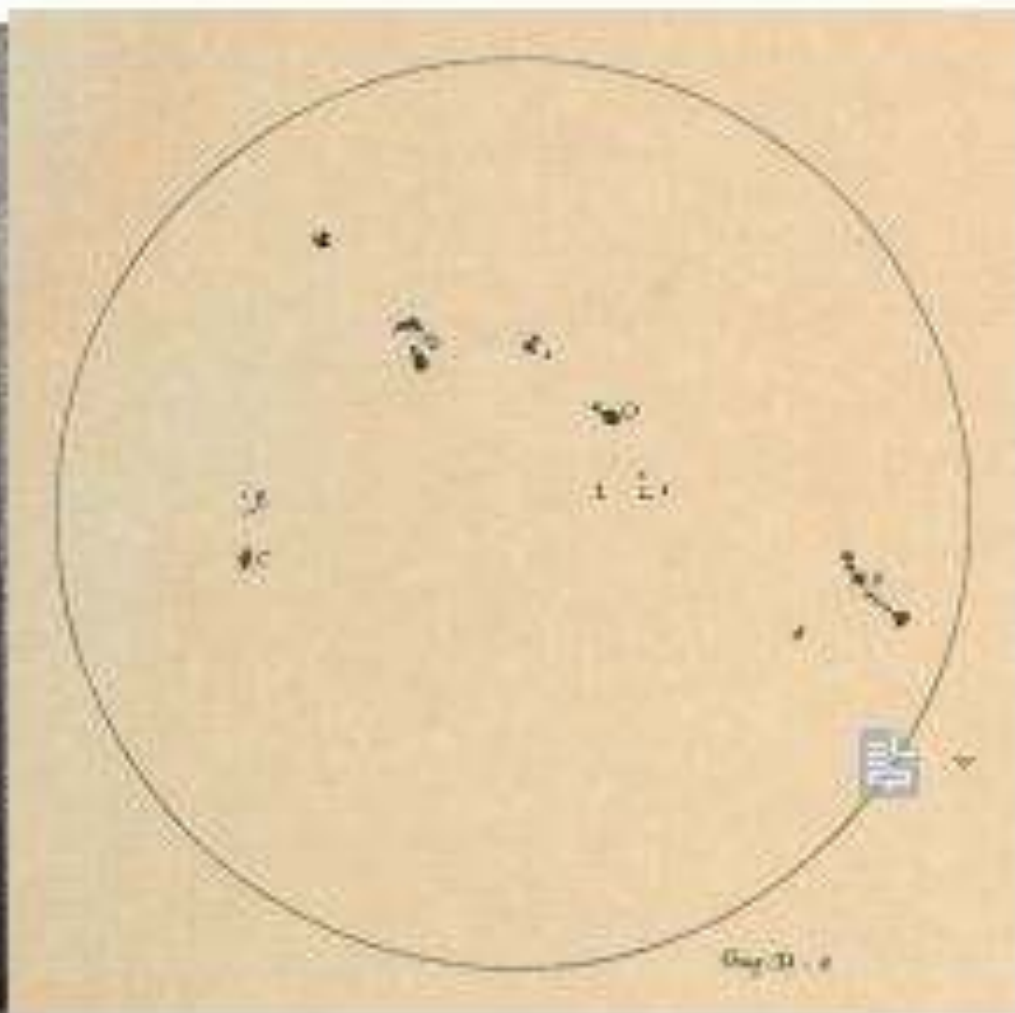
Painting of the Sun and sunspots by Emperor Hongxi dated 1425 (Zhu Gao-Chi; 1378-1425)

Ming Dynasty 4<sup>th</sup> Emperor reigning from September 7, 1424 till May 29, 1425



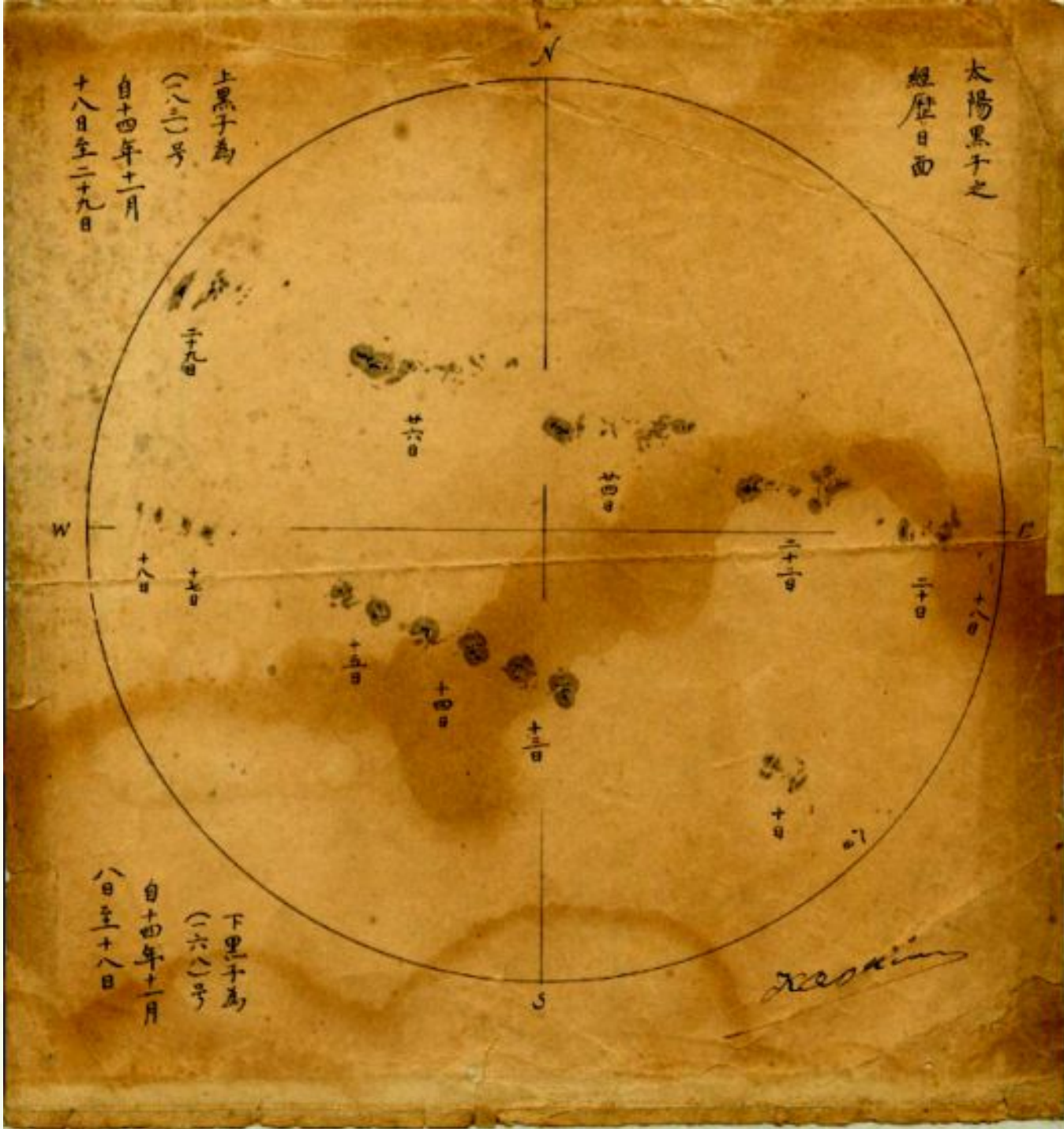
1424年  
9月7日  
明洪熙皇帝  
朱高炽手绘  
太阳黑子  
(Courtesy  
Willie Soon<sup>7</sup>)

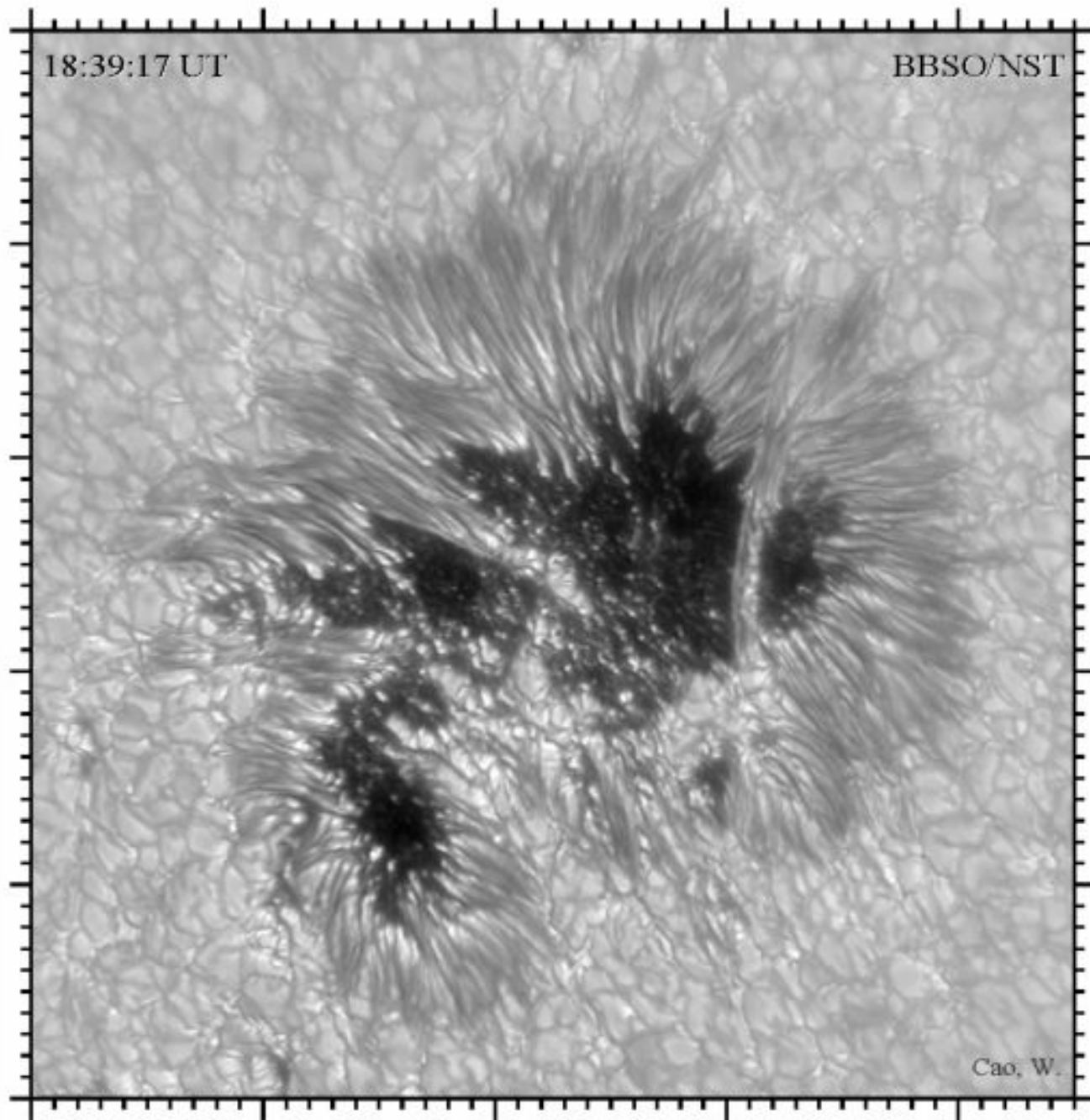
# 1610年伽利略的黑子望远镜观测





# 我国学者高平子1925.11的黑子观测

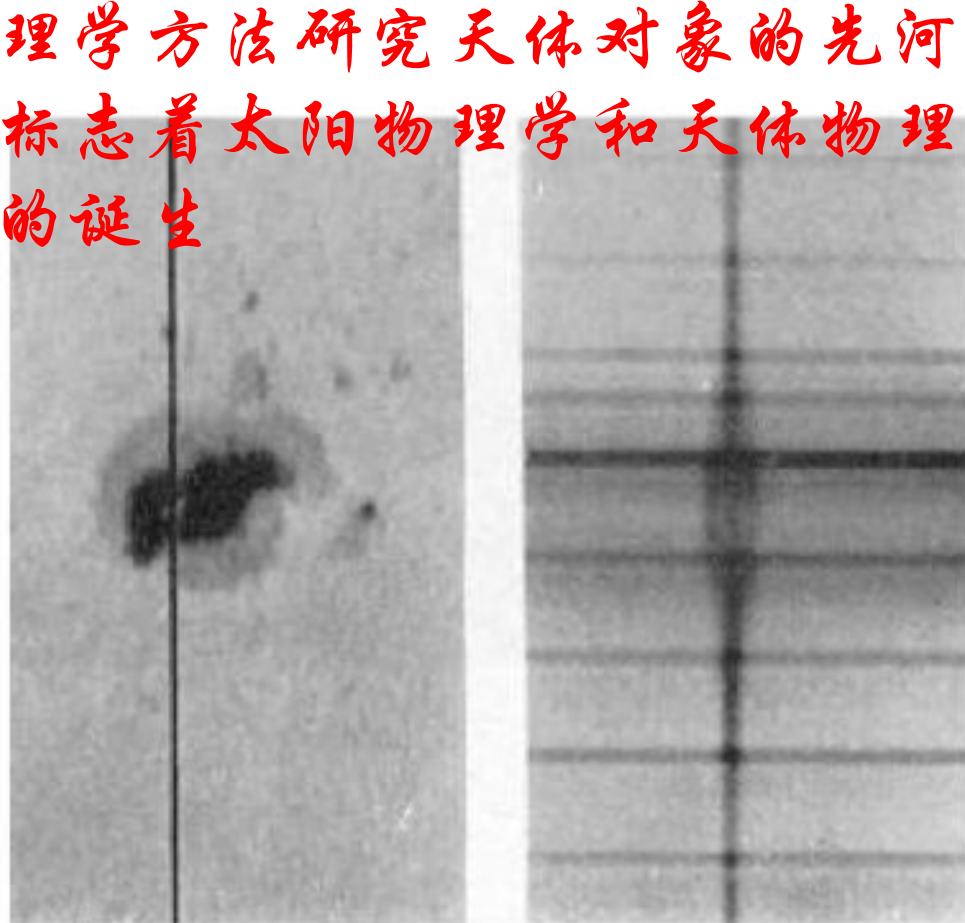




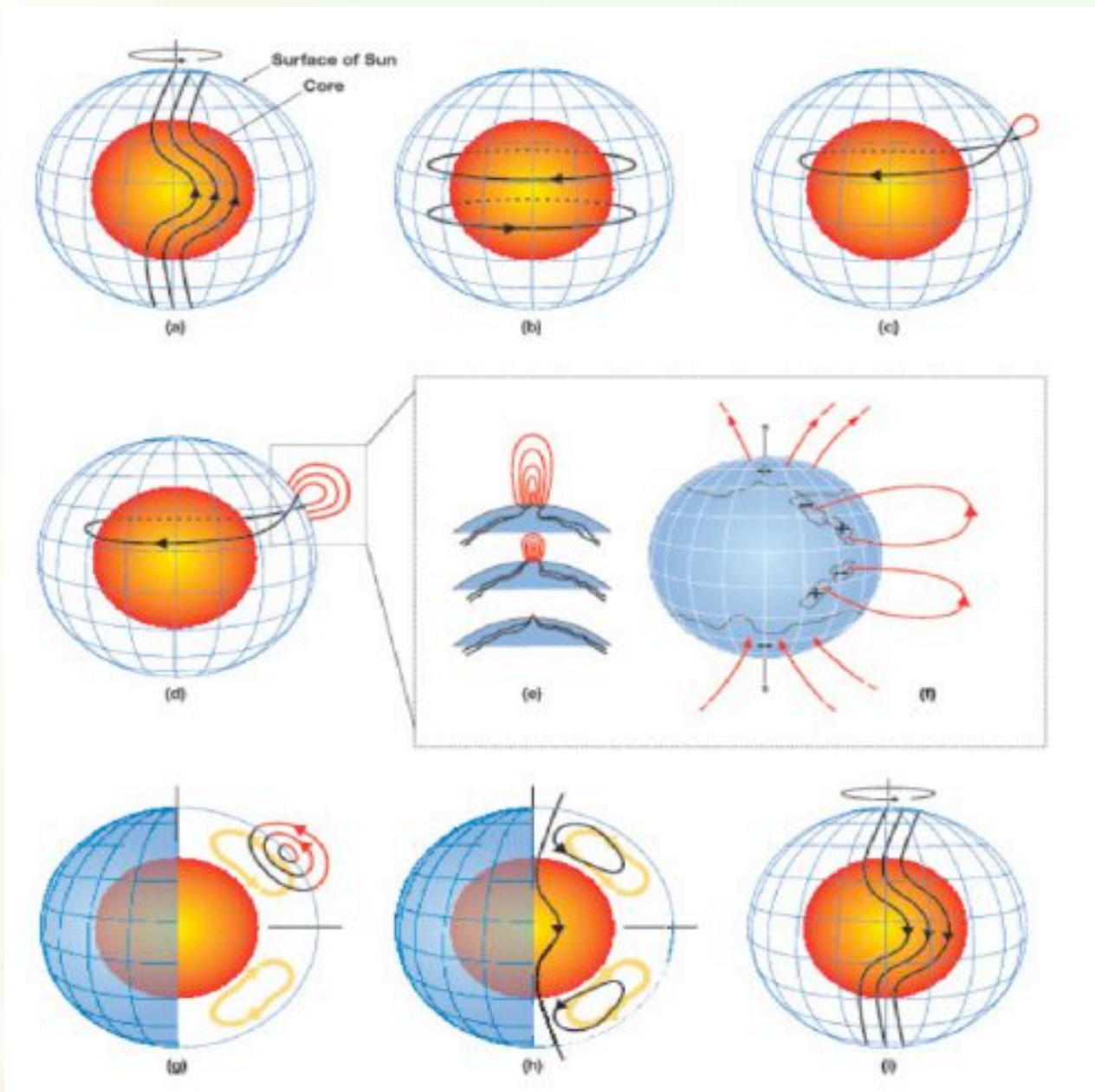
# 最高分辨率下的太阳黑子结构和动力学观测

# Hale 1908年发现黑子磁场

塞曼效应 1897年被发现，5年后被授诺贝尔物理学奖。  
黑尔1908年基于塞曼效应发现黑子的强磁场，首开用物理学方法研究天体对象的先河，标志着太阳物理学和天体物理学的诞生

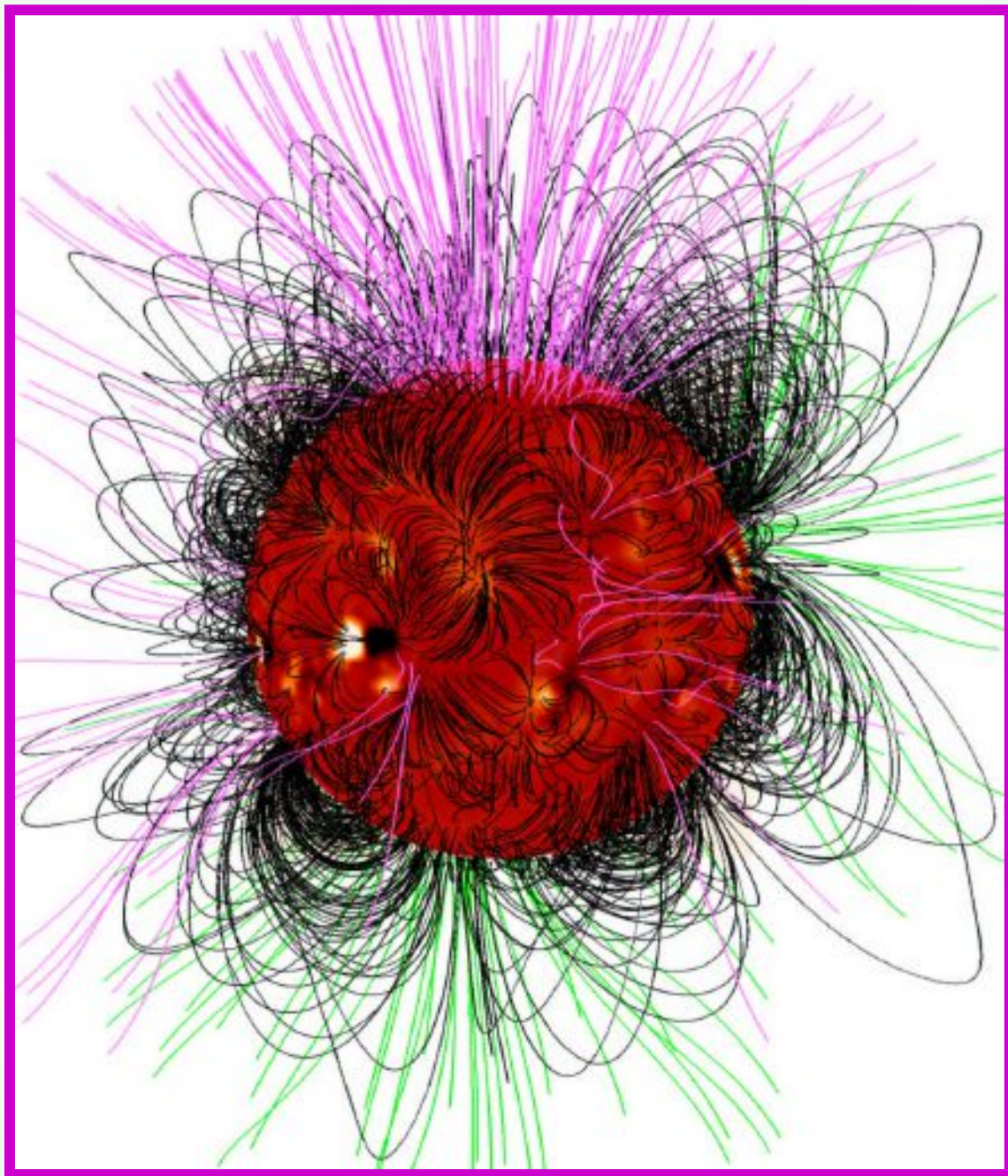


# 磁通量转移发电机示意图



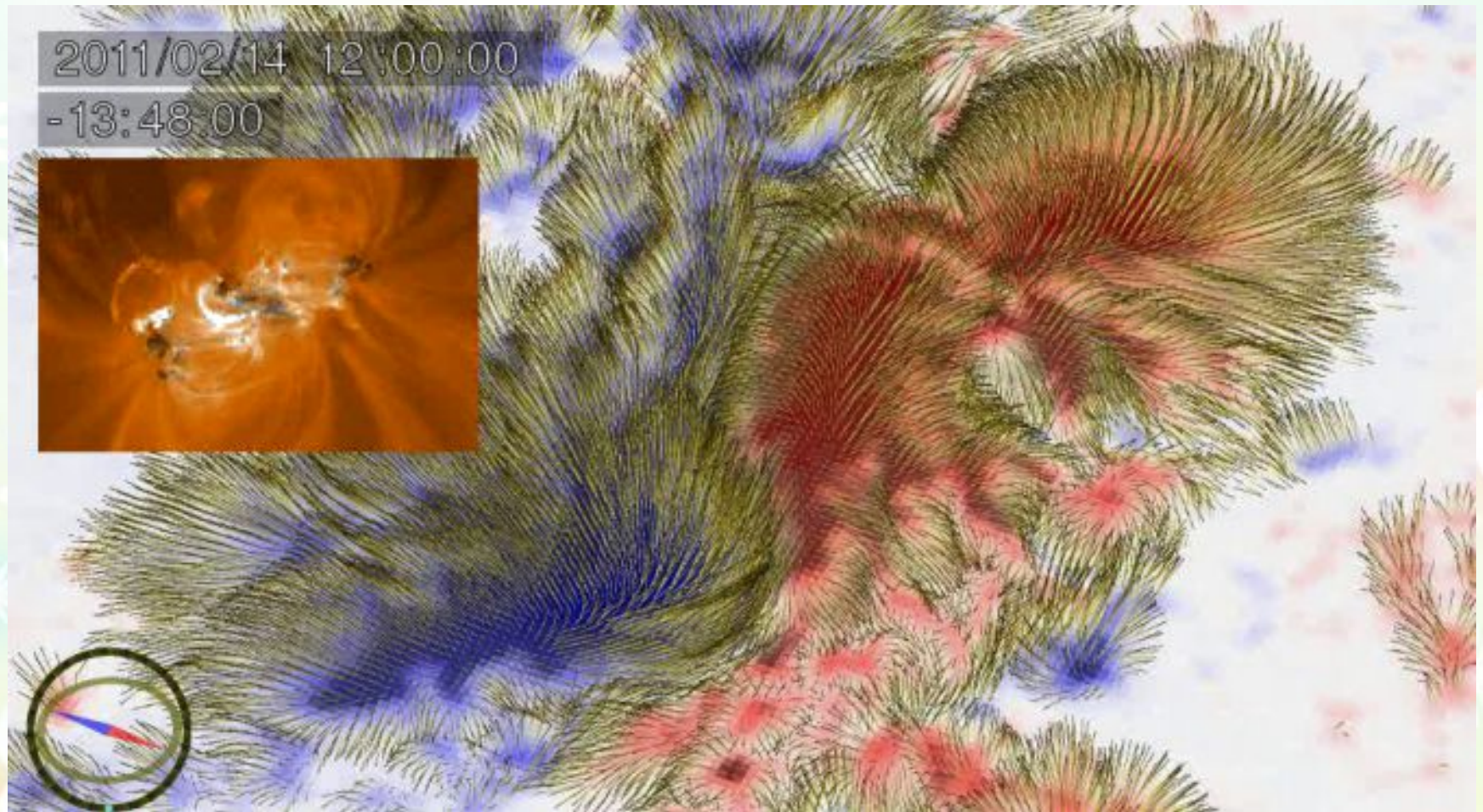
# 太阳大气 中的磁场

基于无电流  
磁场和无洛  
伦兹力磁场  
假设的理论  
计算结果

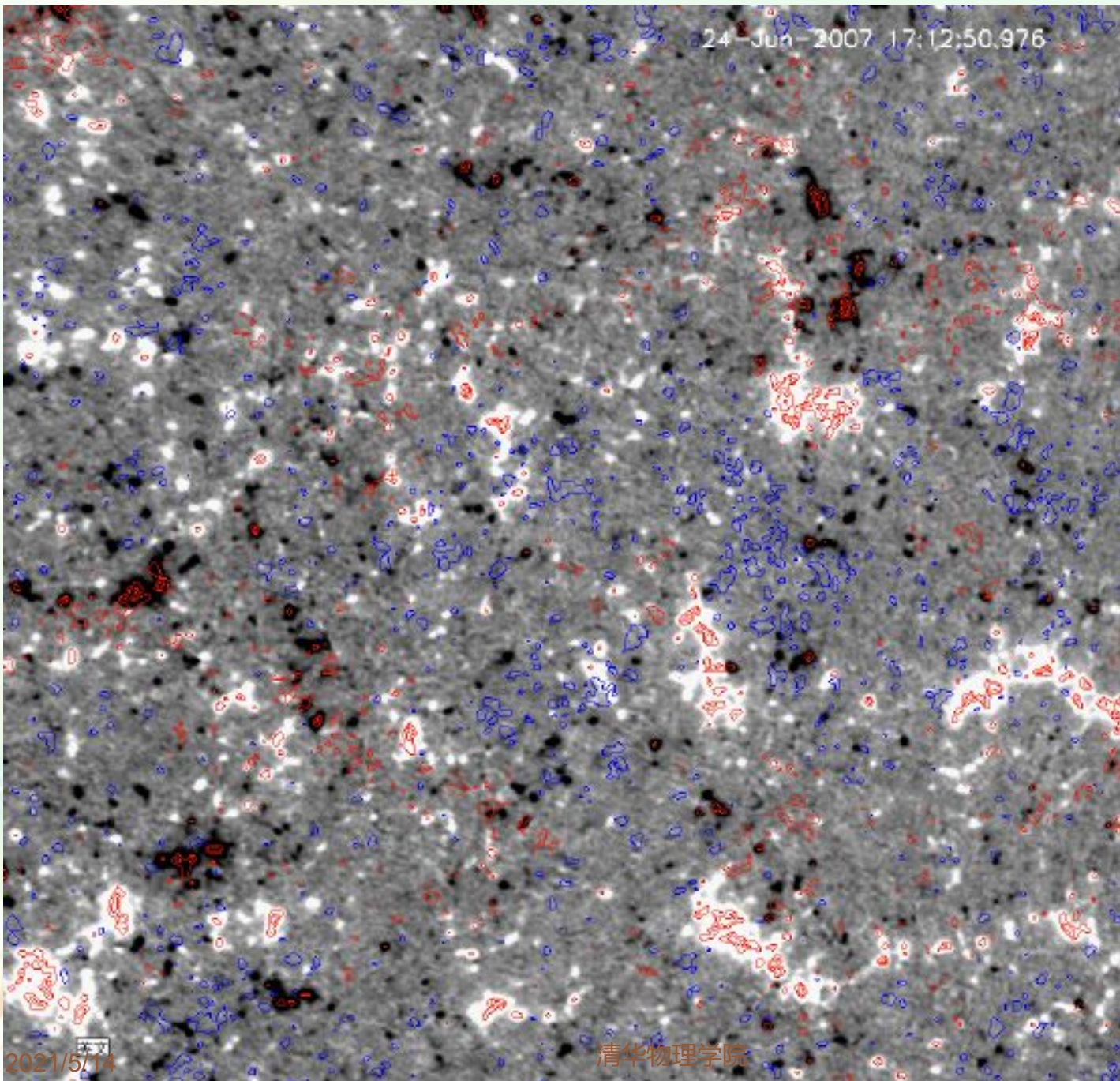


# 磁分隔面 — 强剪切、高梯度和磁对消

(Yang Liu et al. 2012)



24-Jun-2007 17:12:50.976



# 无所不在的太阳小尺度磁场

Wang et al. 2012

2021/5/14

清华物理学院

## 2. 爆发式太阳活动

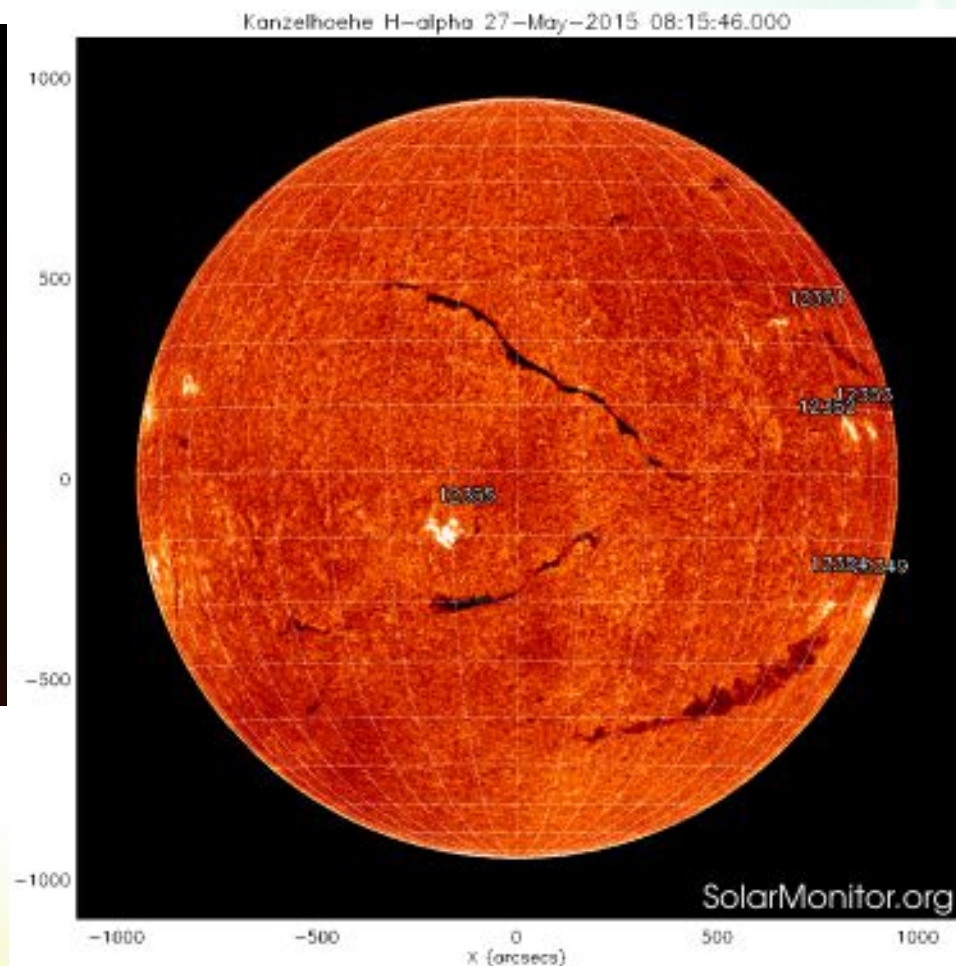
日珥（暗条）爆发、  
太阳耀斑、日冕物质抛射



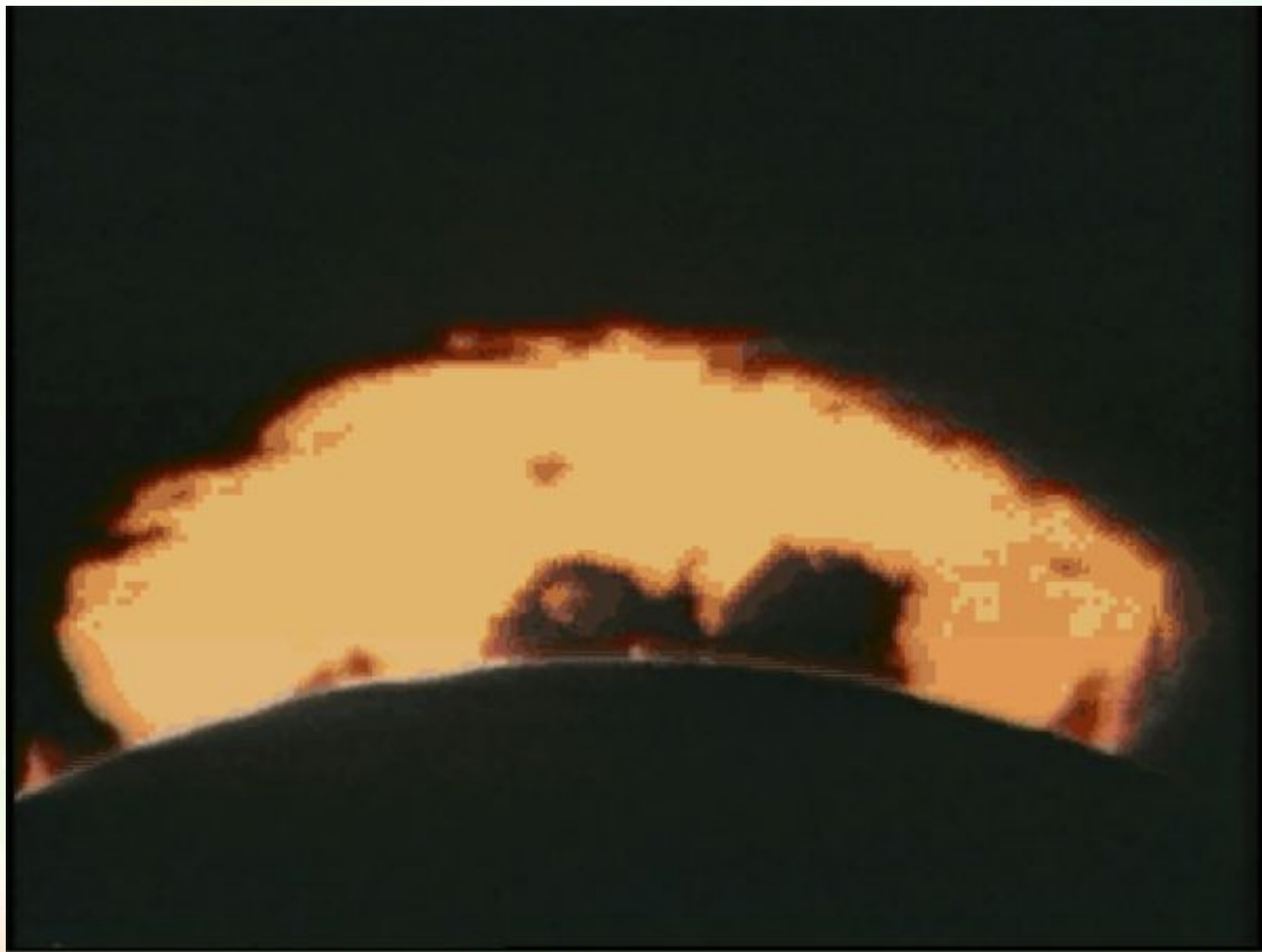
# 日珥/暗条



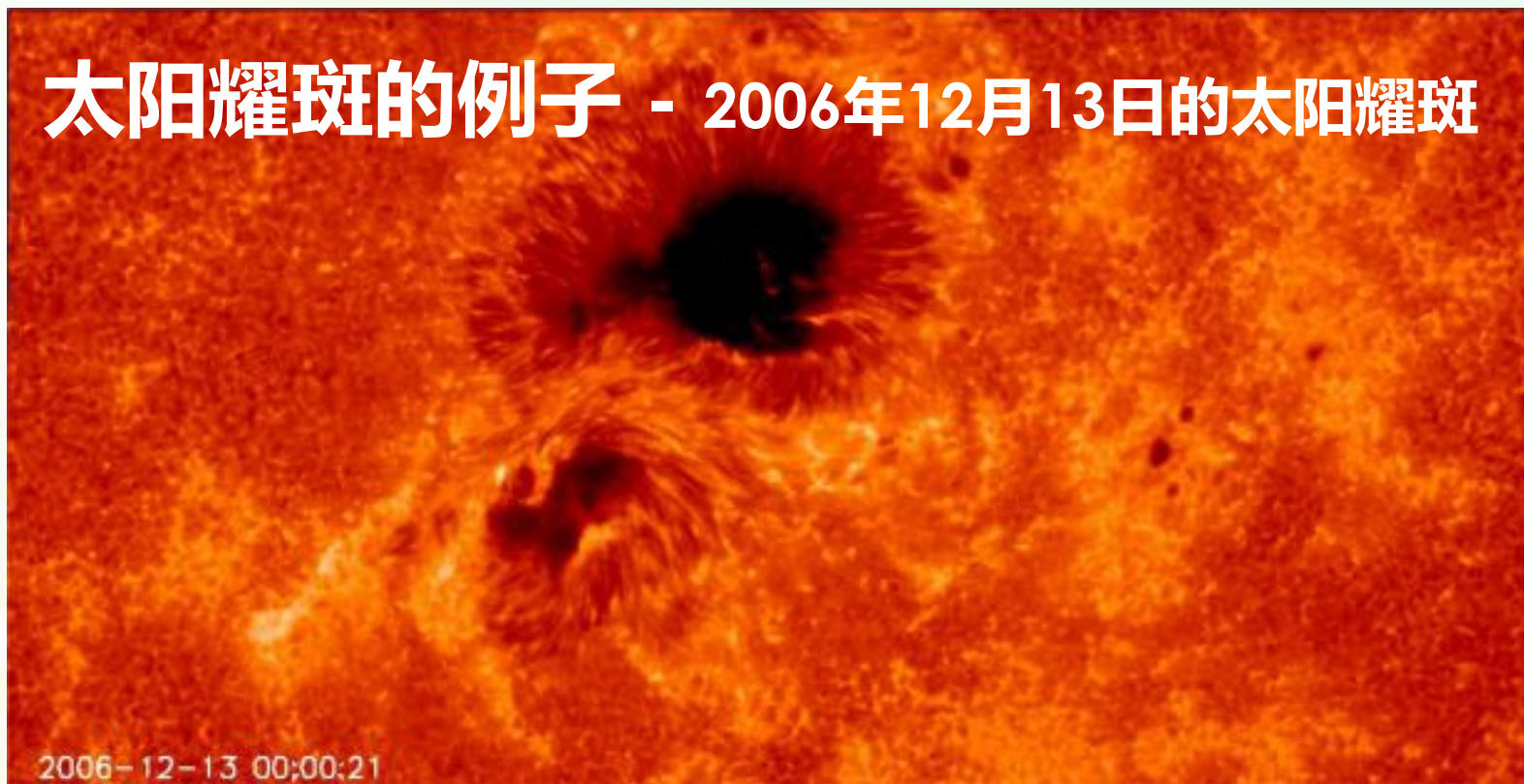
高密度、低温度 和环境差别100倍



# 日珥爆发的例子 - 1946年美国学者观测的爷爷暗条

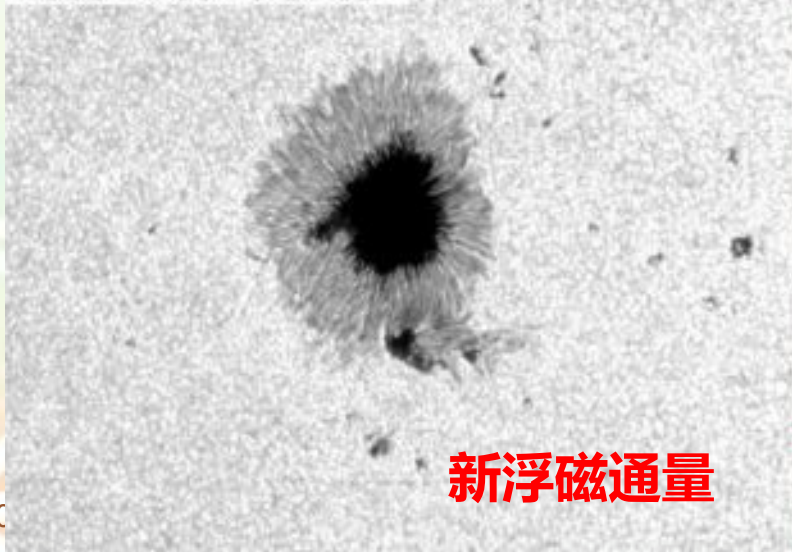


# 太阳耀斑的例子 - 2006年12月13日的太阳耀斑

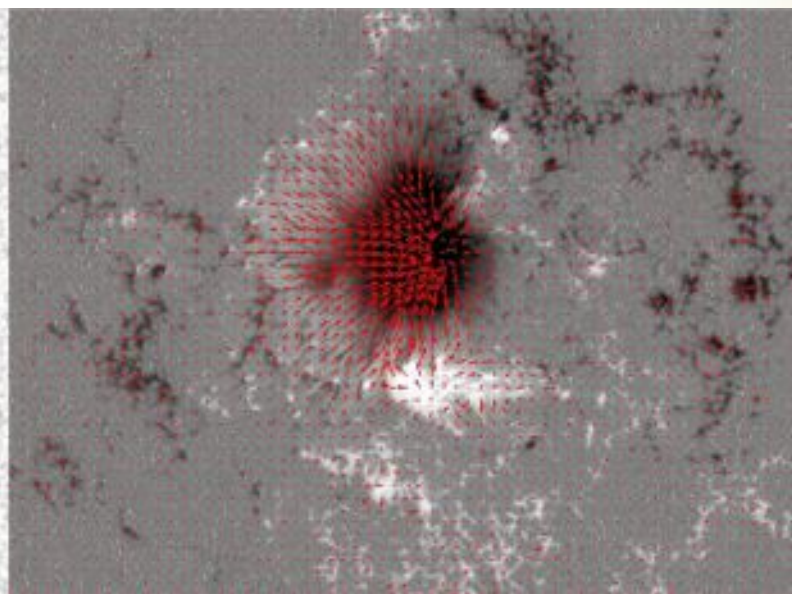


2006-12-13 00:00:21

2006-12-08 10:51:05

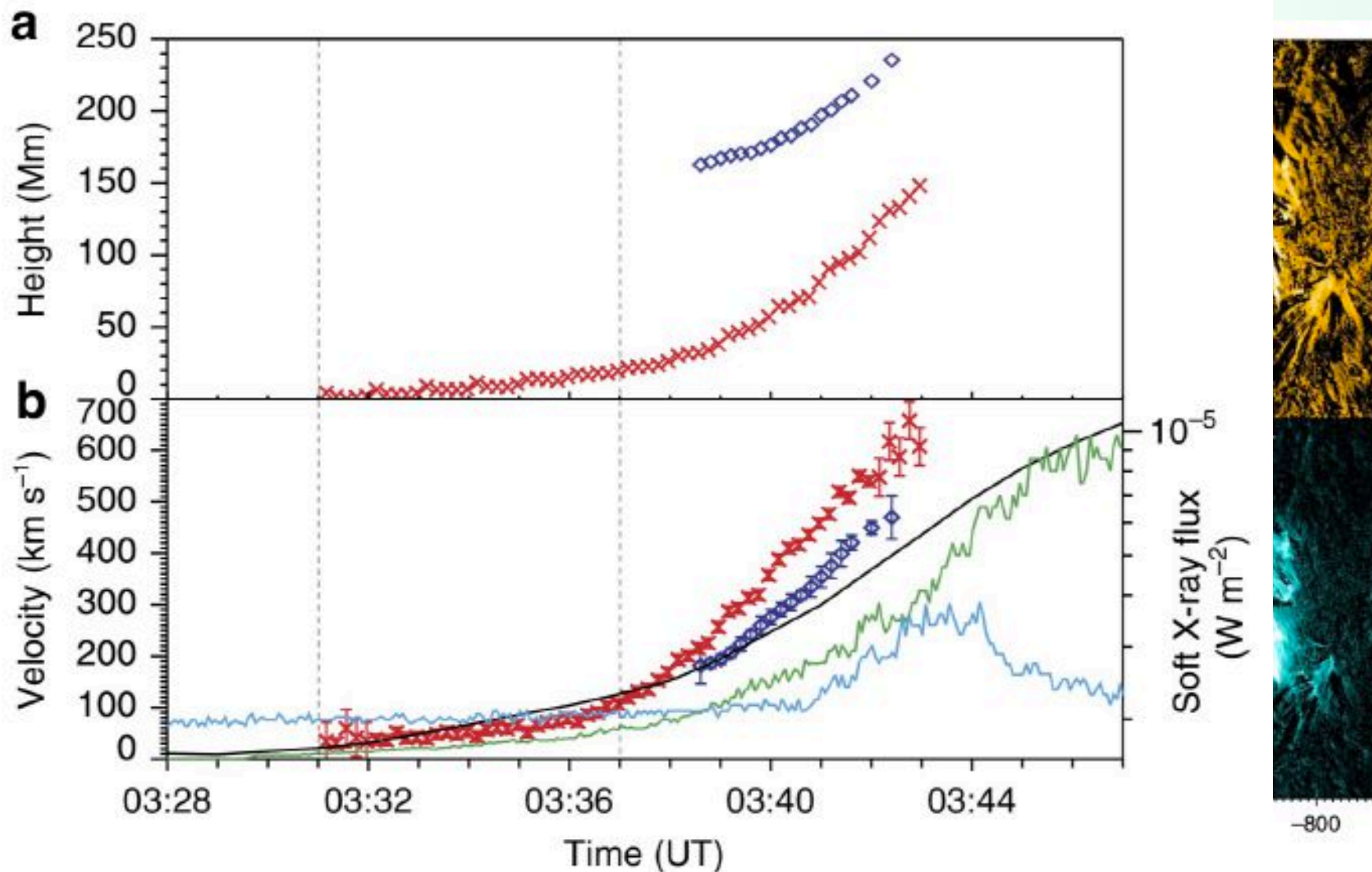


新浮磁通量

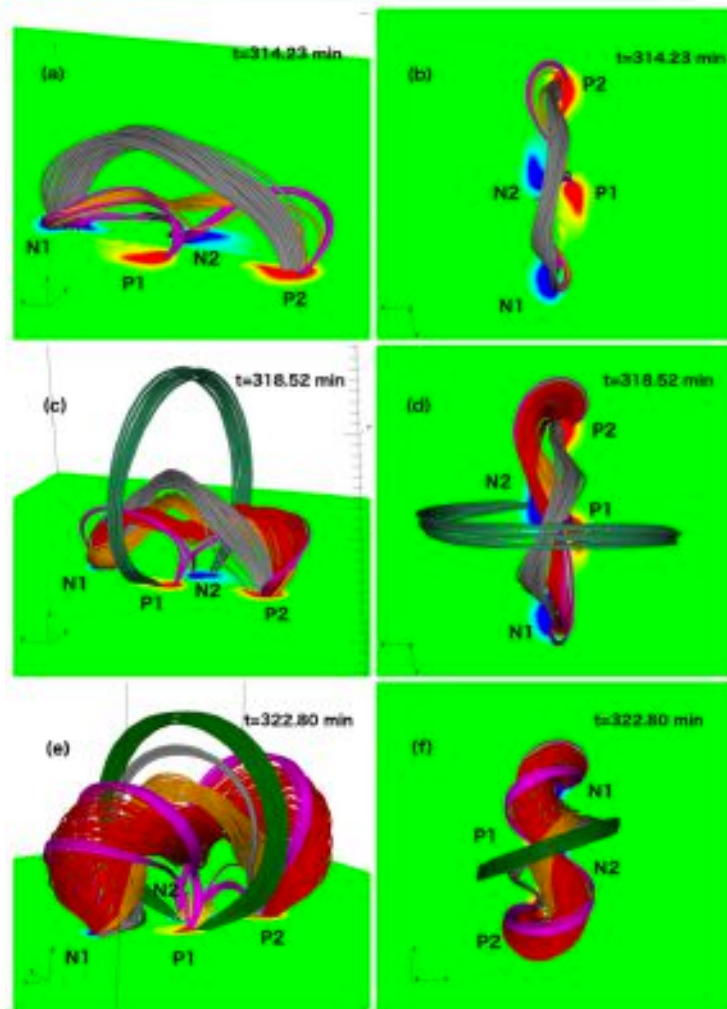
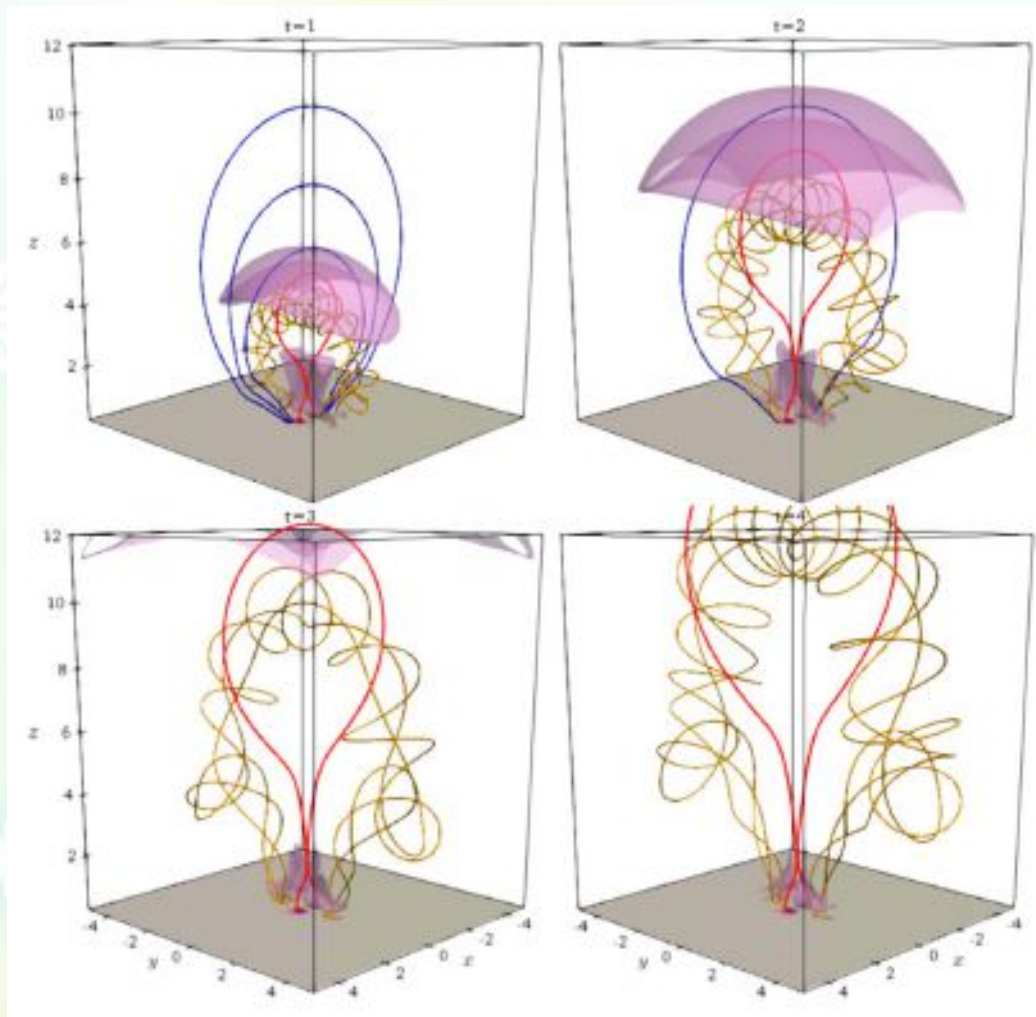


强烈的黑子旋转和耀斑

# 太阳爆发核心结构：千万度热磁绳



# 太阳磁绳爆发的磁流体数值模拟



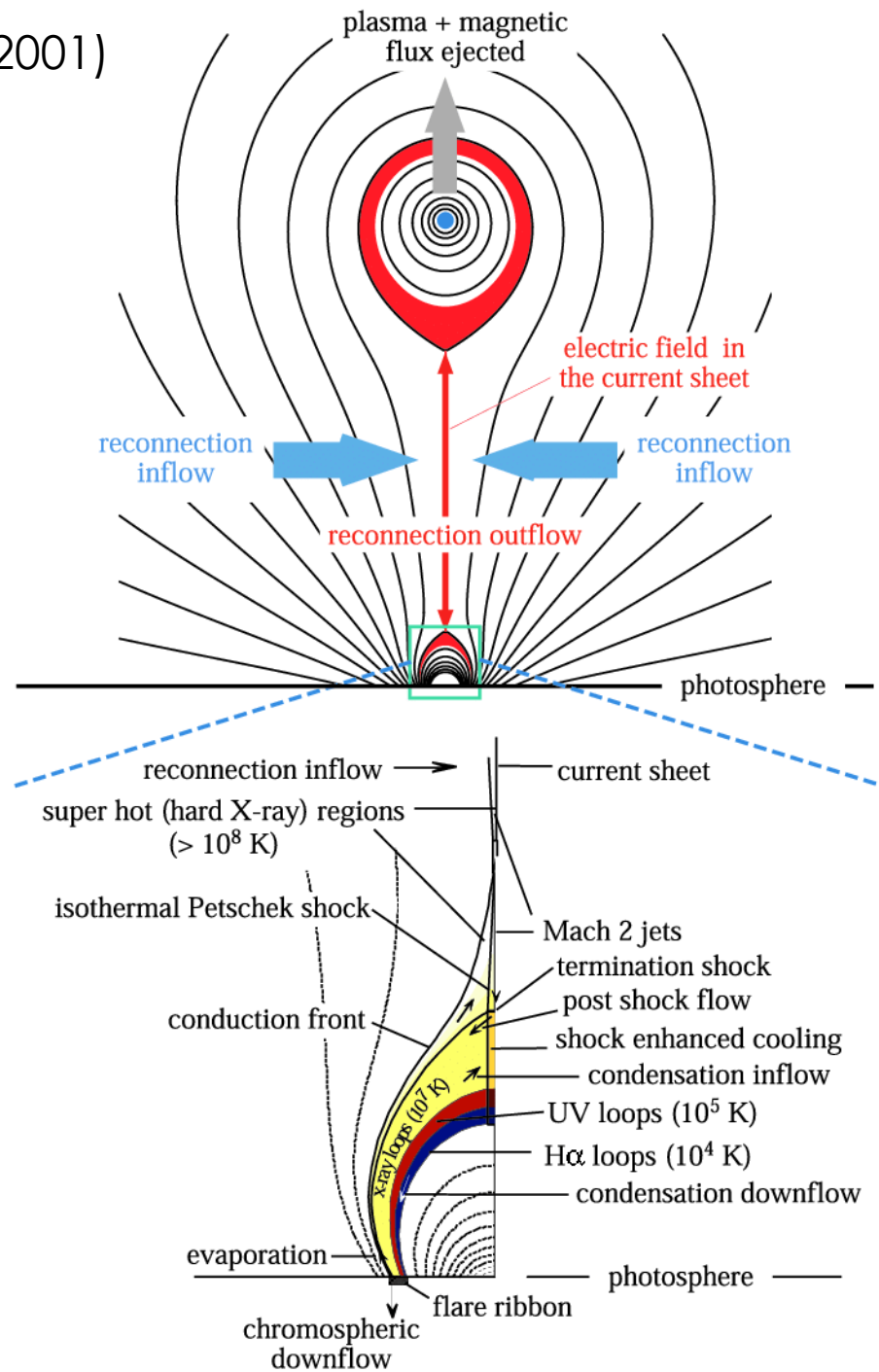
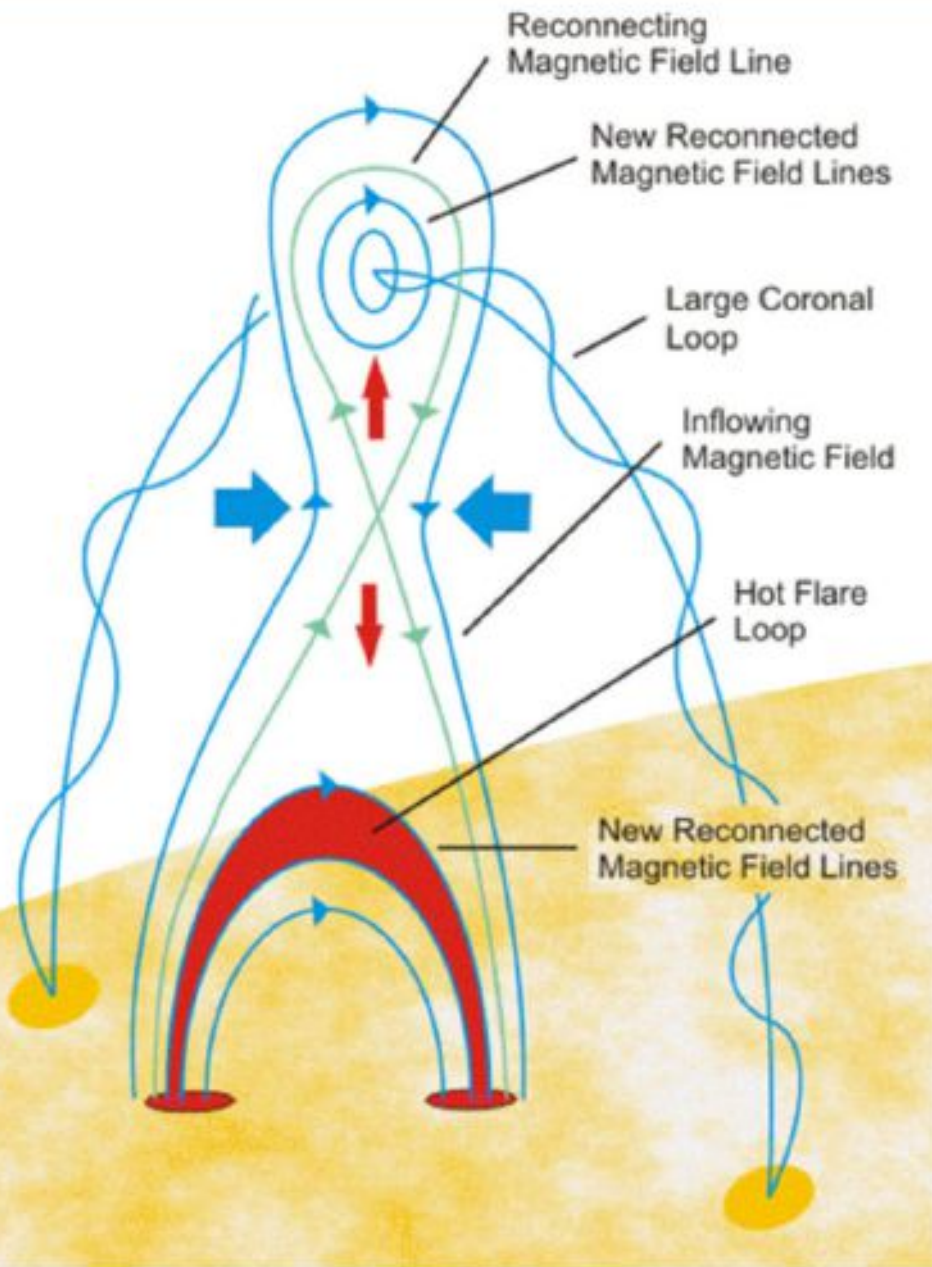
Syntelis 2019

Mei 2020

2021/5/14

26

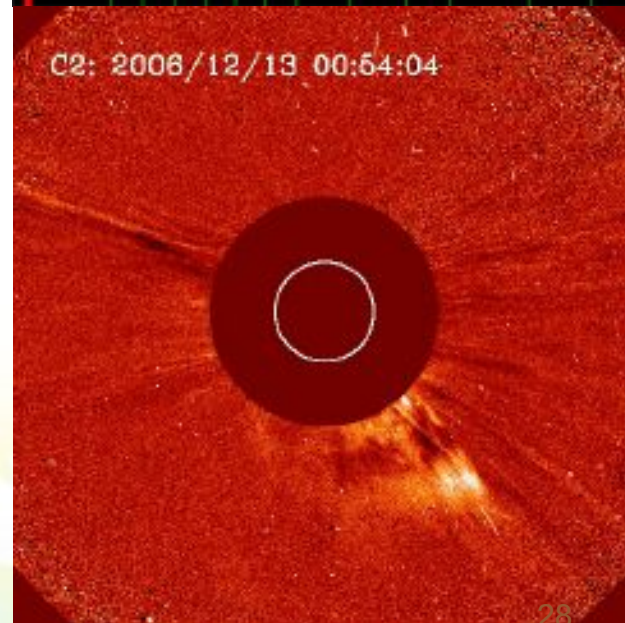
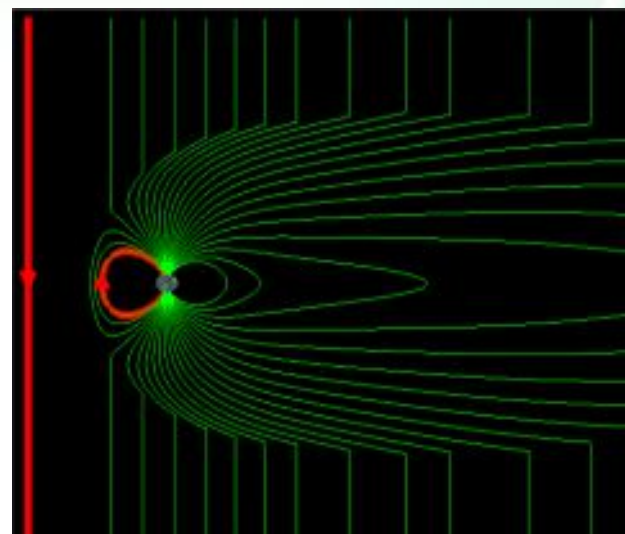
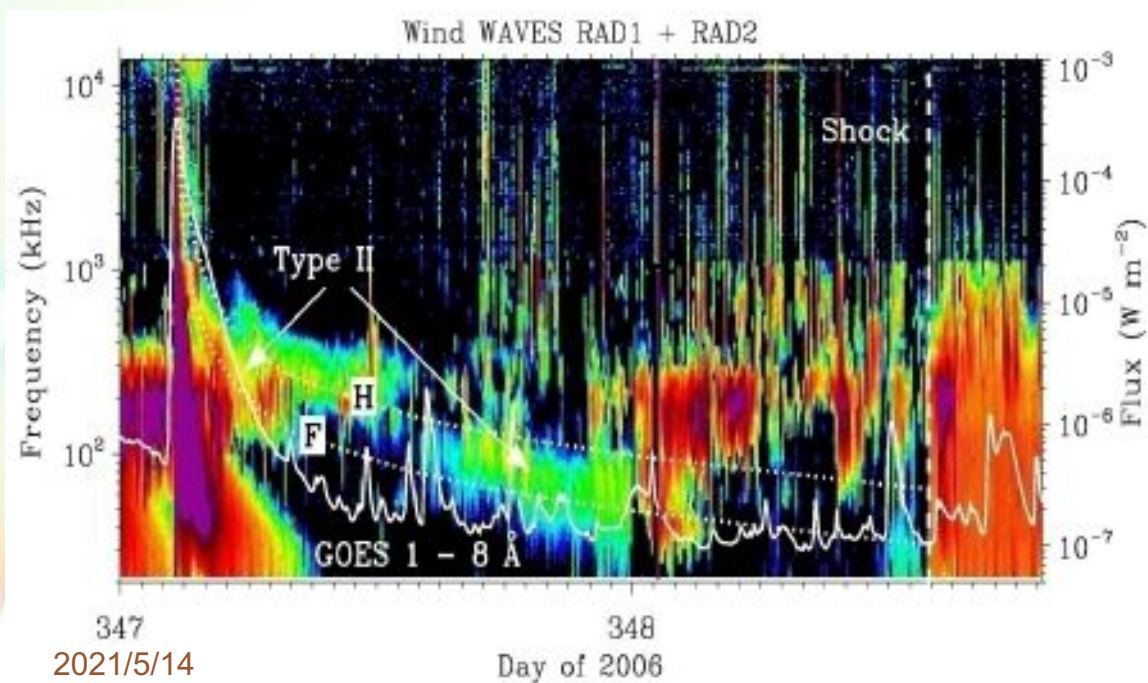
# 太阳爆发卡通模型和二维解析Lin-Forbs模型(2001)



# 日冕物质抛射、射电暴和粒子加速

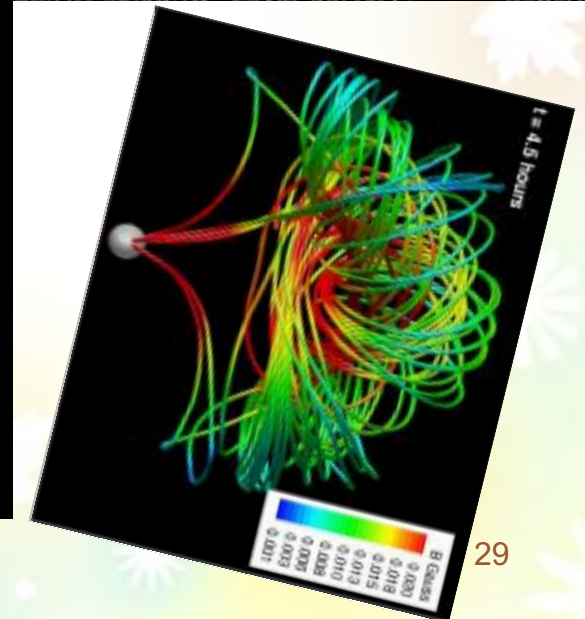
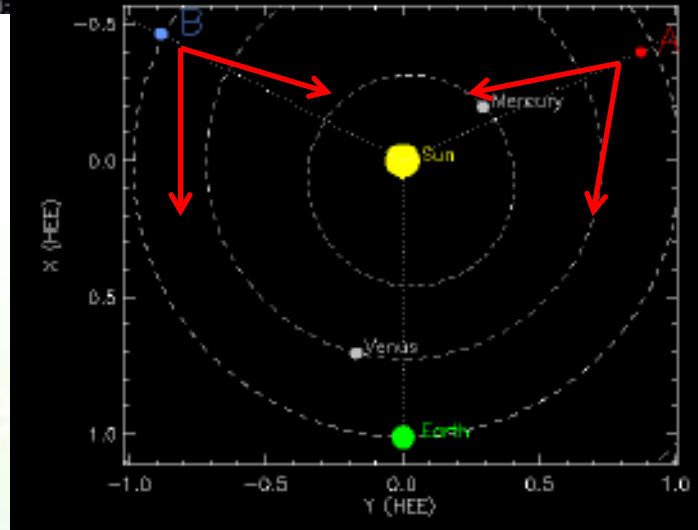
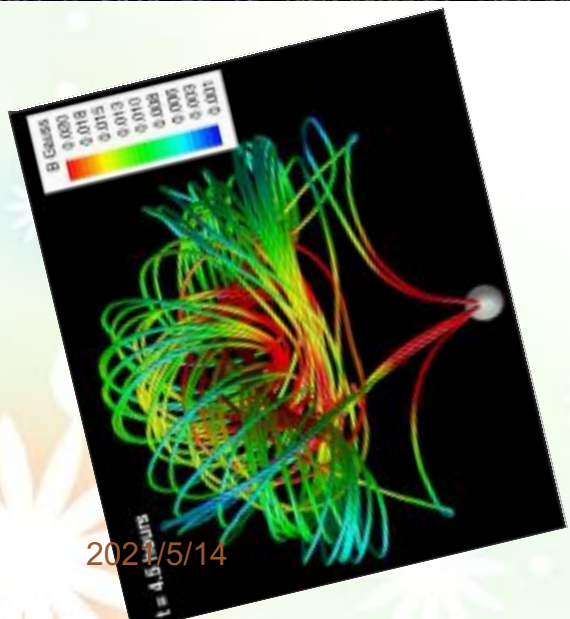
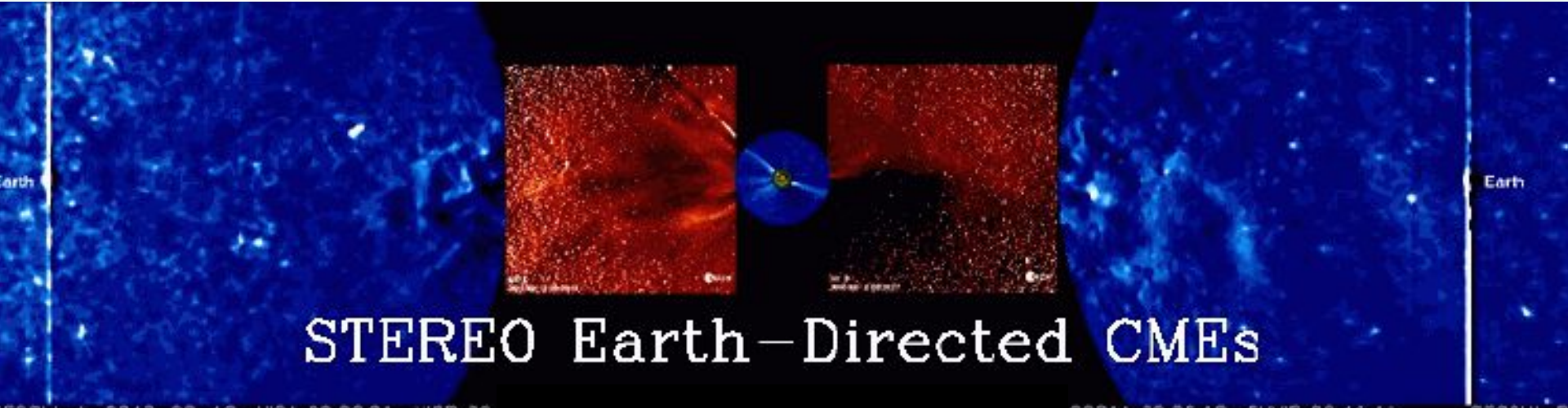
日冕物质抛射经常具有持久的南向磁场，与磁层强烈地相互作用，导致磁层亚暴和磁暴

快速CME在行星际空间产生激波，是高能粒子和射电暴的主要来源



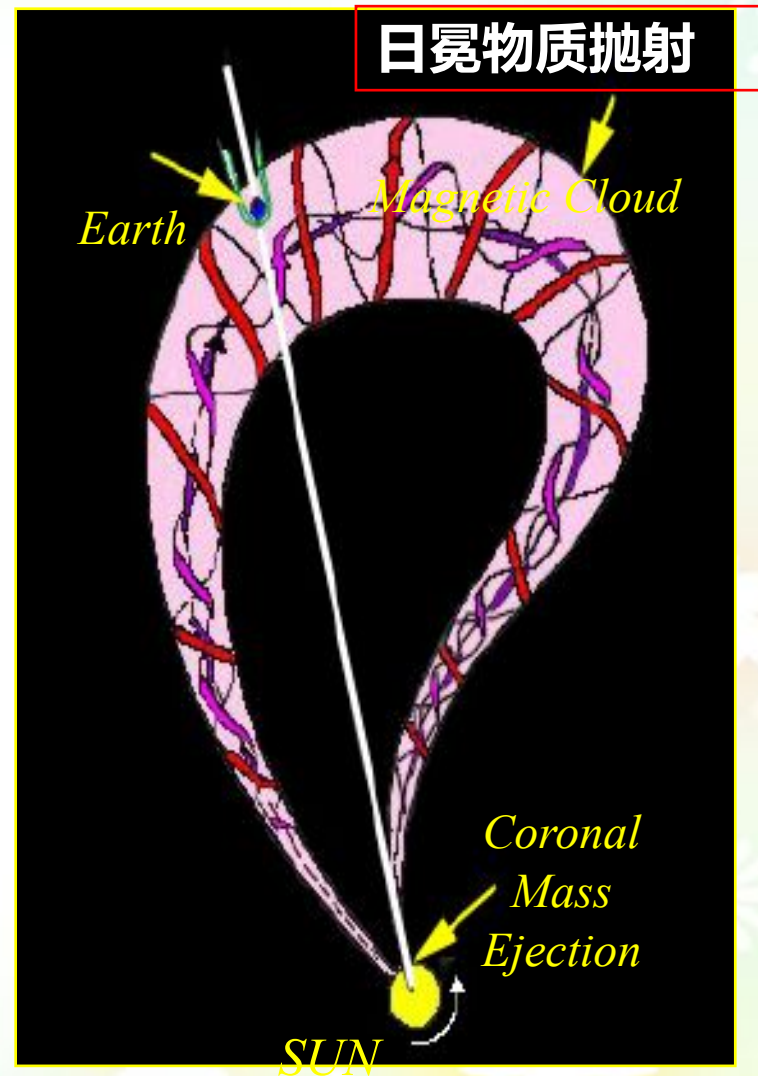
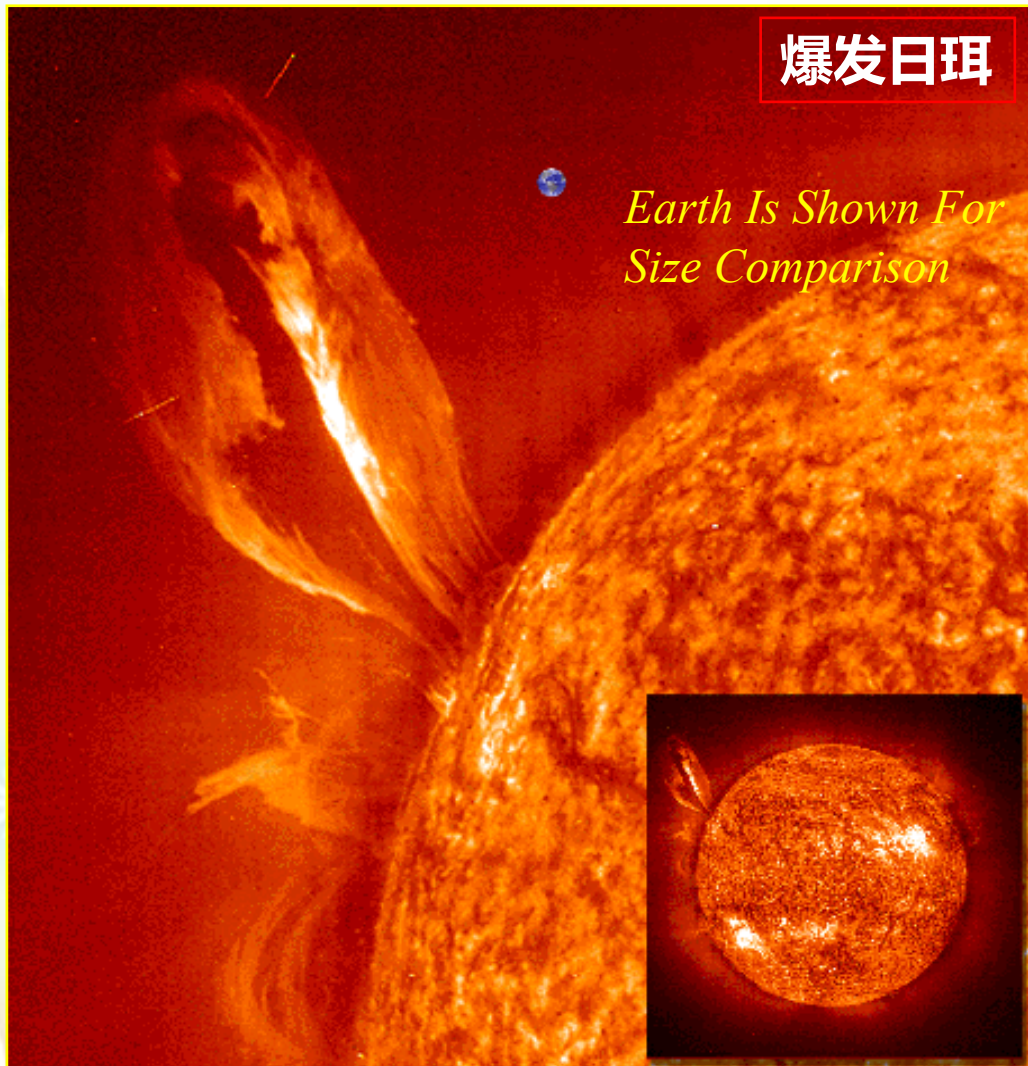
# 太阳电磁风暴

( [http://sprg.ssl.berkeley.edu/~liuxying/CME\\_catalog.htm](http://sprg.ssl.berkeley.edu/~liuxying/CME_catalog.htm) )





# 太阳活动对象的尺度



# Flare and Coronal Mass Ejection 23 July 2002

CME Energy  
 $10^{32}$  ergs

Energetic Particles  
 $< 10^{30}$  ergs ?

**Energy Budget**  
ACE, RHESSI, SOHO, TRACE, WIND

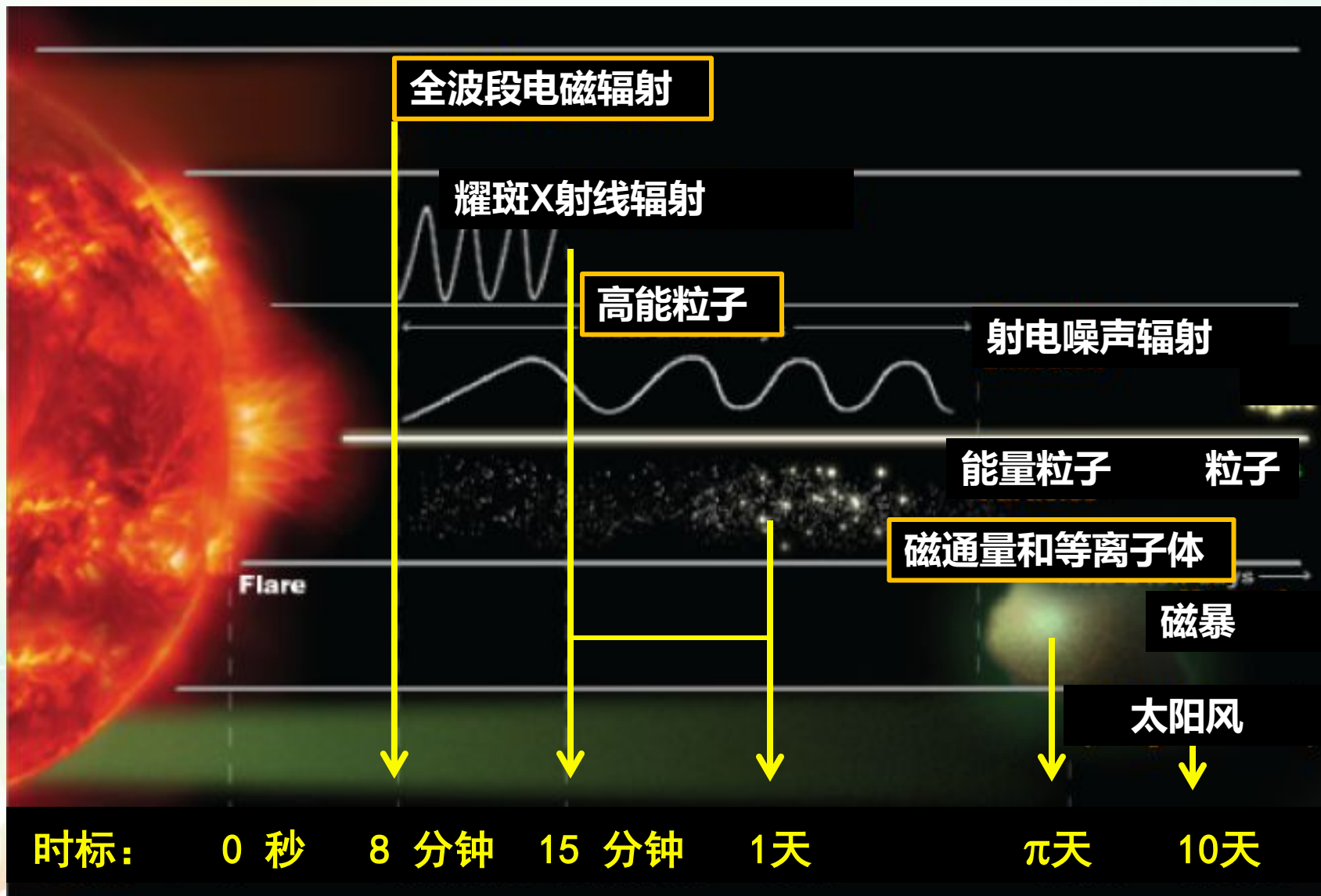
Thermal Plasma  
 $7 \times 10^{30}$  ergs

Nonthermal Electrons  
 $3 \times 10^{31}$  ergs

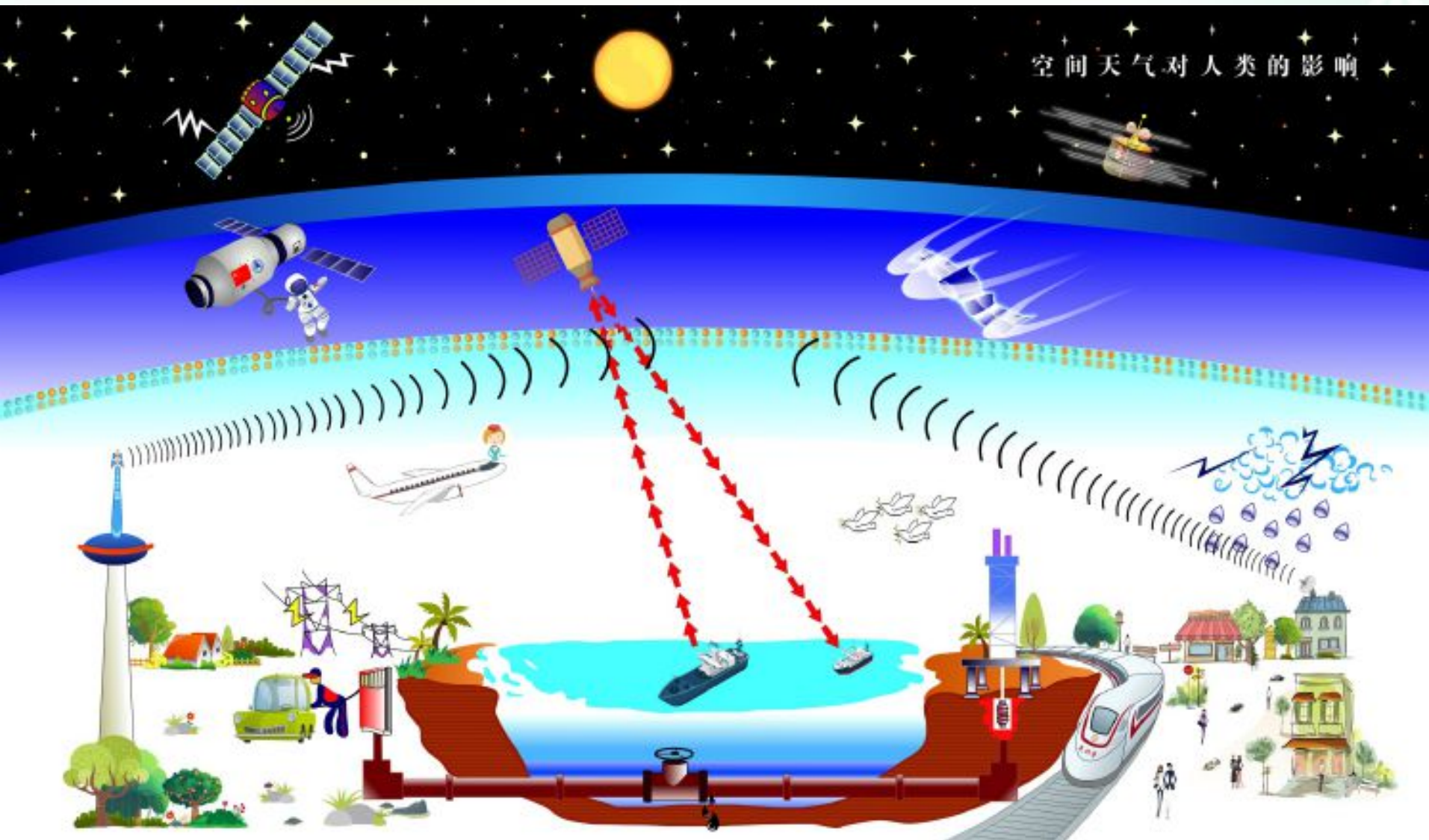
Nonthermal Ions  
 $2 \times 10^{31}$  ergs

耀斑和日冕物质抛射的能量

# 太阳风暴影响日地环境的方式和时标

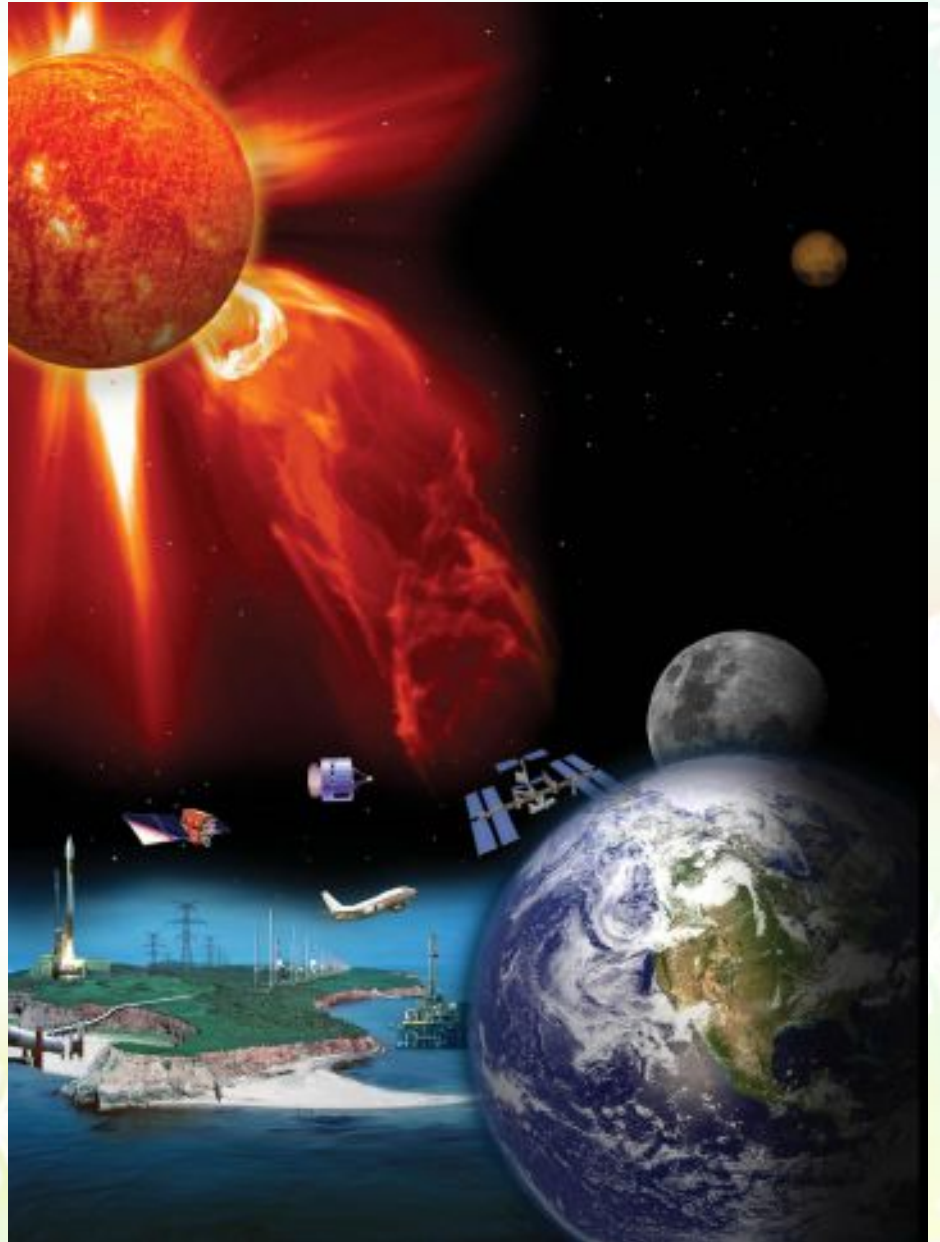


# 空间天气对人类的影响



- 太阳风暴—以太阳耀斑/日冕物质抛射为代表的太阳爆发及其在行星际的传播和相互作用的过程
- 空间天气—由太阳风暴驱动地球空间环境（通常剧烈的）综观变化
- 在高度依赖空间技术的今天，太阳风暴驱动的空间灾害性天气，成为人类面临的自然灾害之一

2021/5/14



# 3. 超强太阳风暴

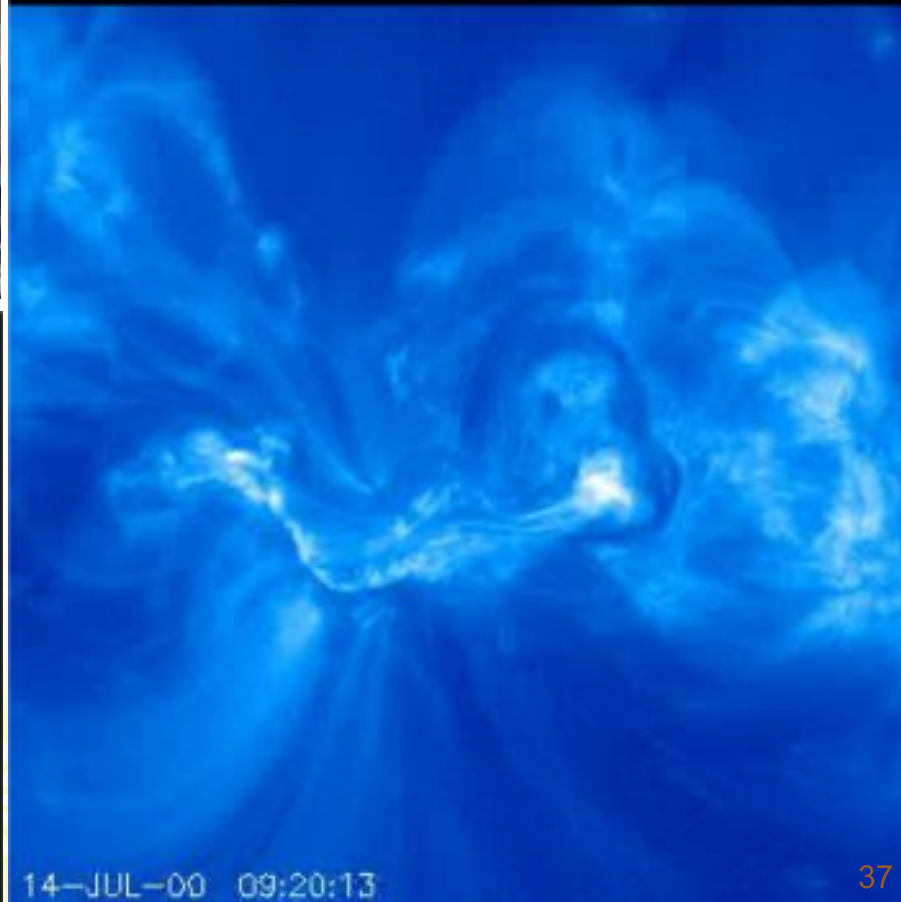
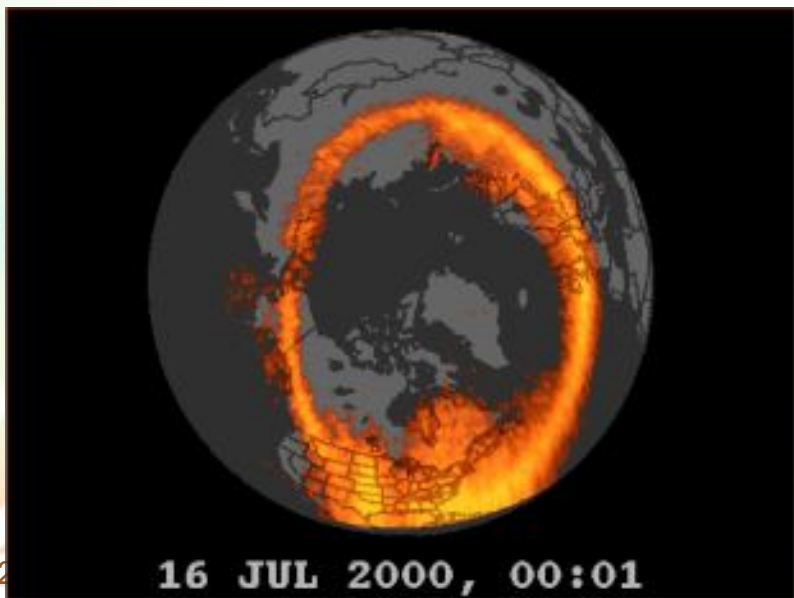
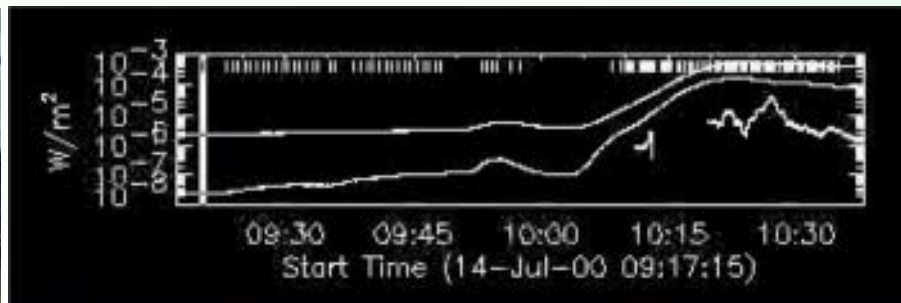
2000年的巴士底事件

百年最强的1989 March事件

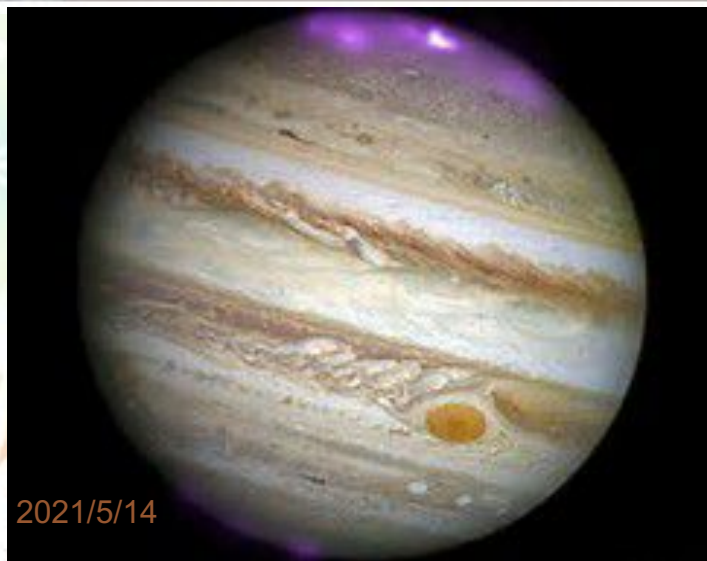
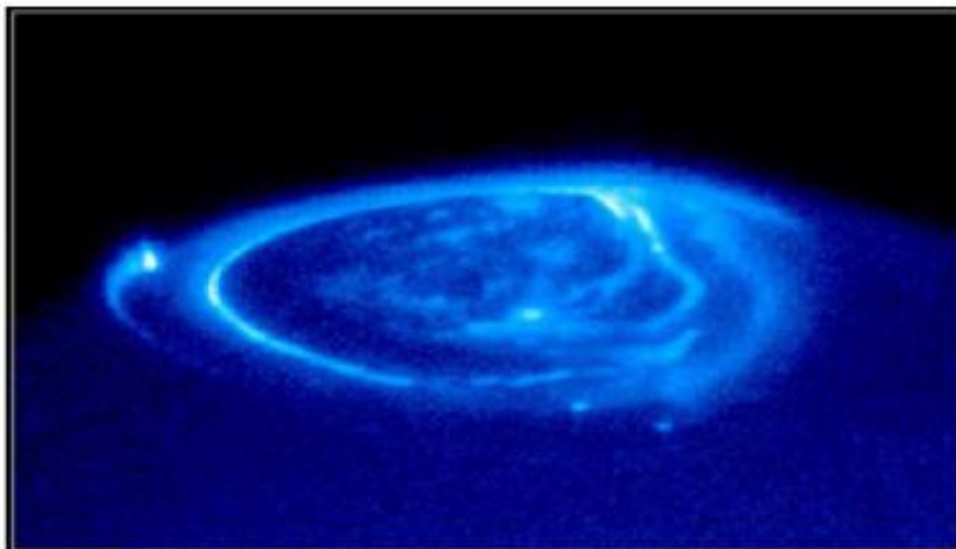
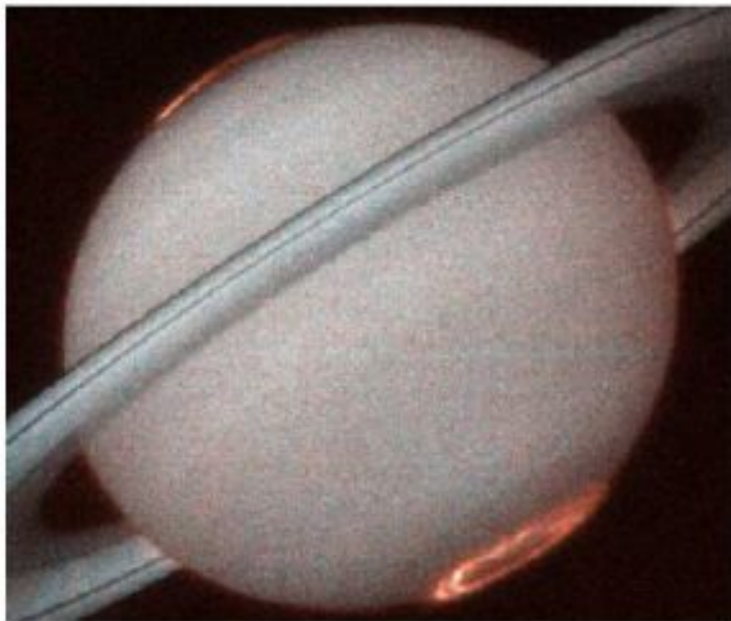
百年第二强2003万圣节事件

500年一遇的卡灵顿事件

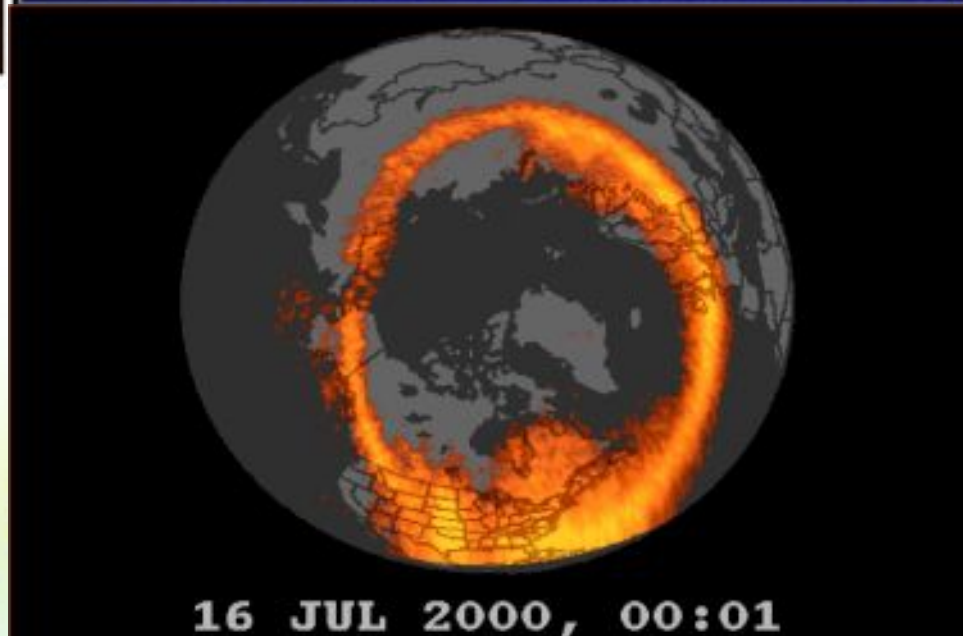
# 2000年的巴士底事件



# 地球、木星和土星的极光



2021/5/14



16 JUL 2000, 00:01

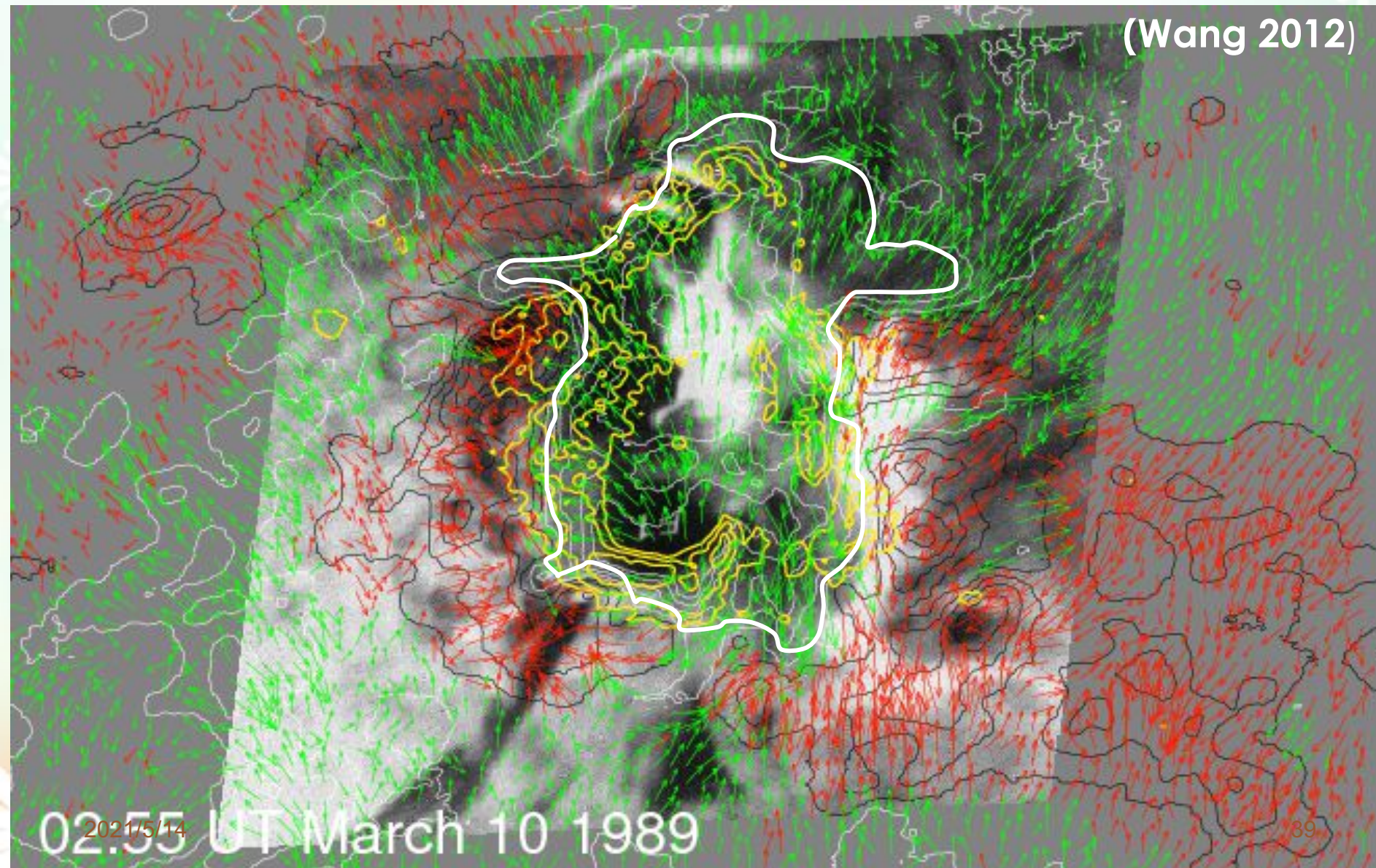


# 百年来最强的太阳风暴(1989年3月)

我国太阳磁场望远镜观测到太阳向量磁场的演化



(Wang 2012)



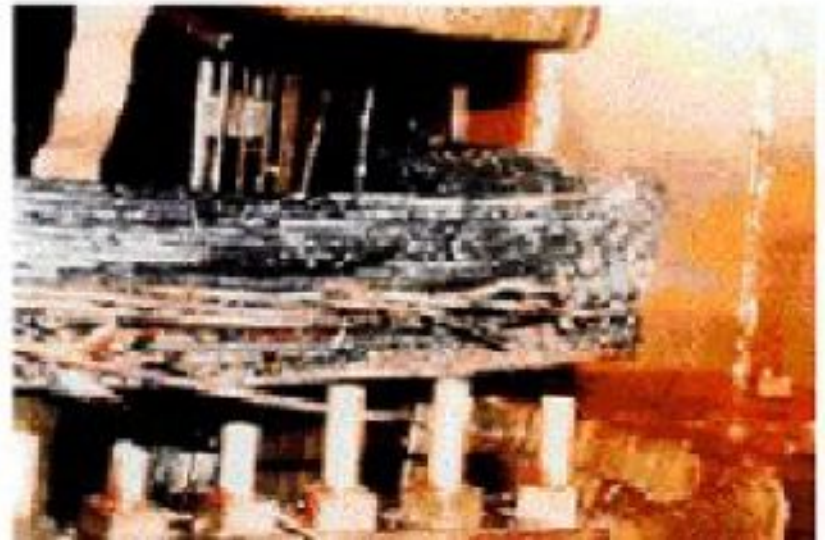
02:55 UT March 10 1989

# 1989年3月太阳风暴的损害

加拿大Hydro-Quebec电力公司5个输电线路中断,造成9,450 MW电力损失,魁北克600万人停电9个小时;美国新泽西州输电变压器融化

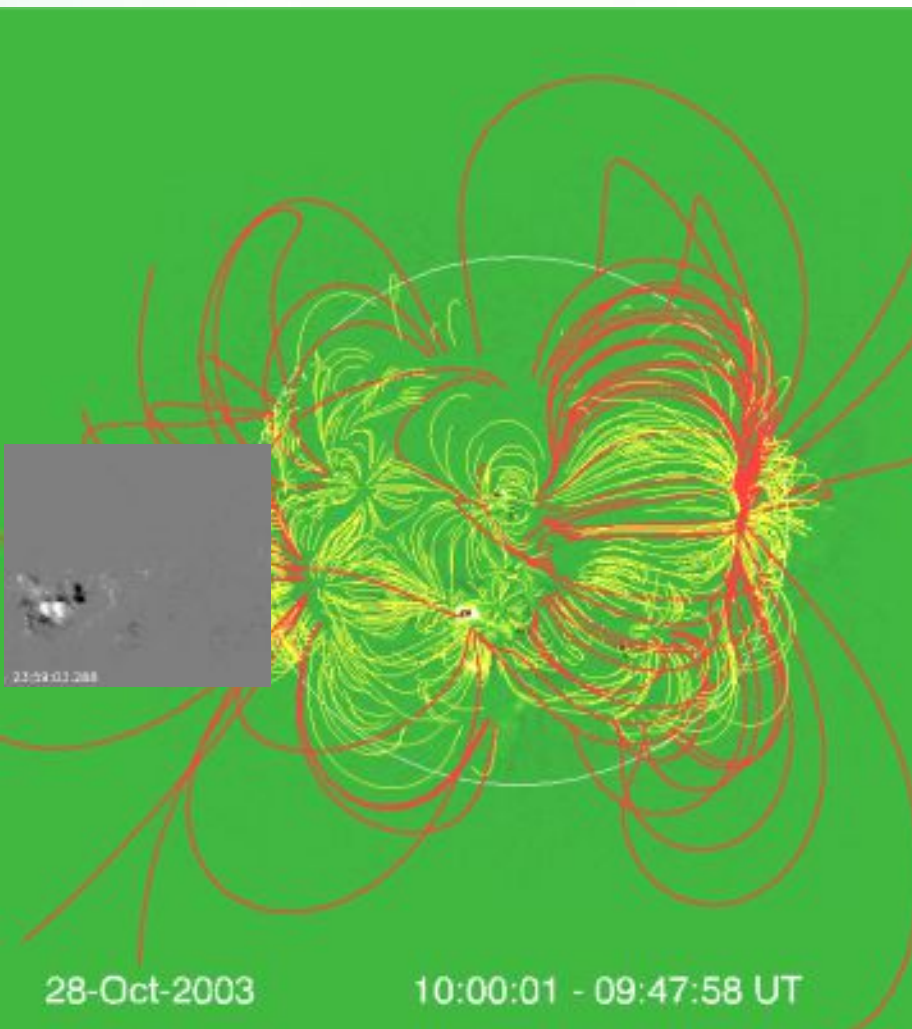


Severe internal damage caused by the space storm of 13 March, 1989



# 百年来第二强的太阳风暴- 2003年10月末的万圣节事件事件

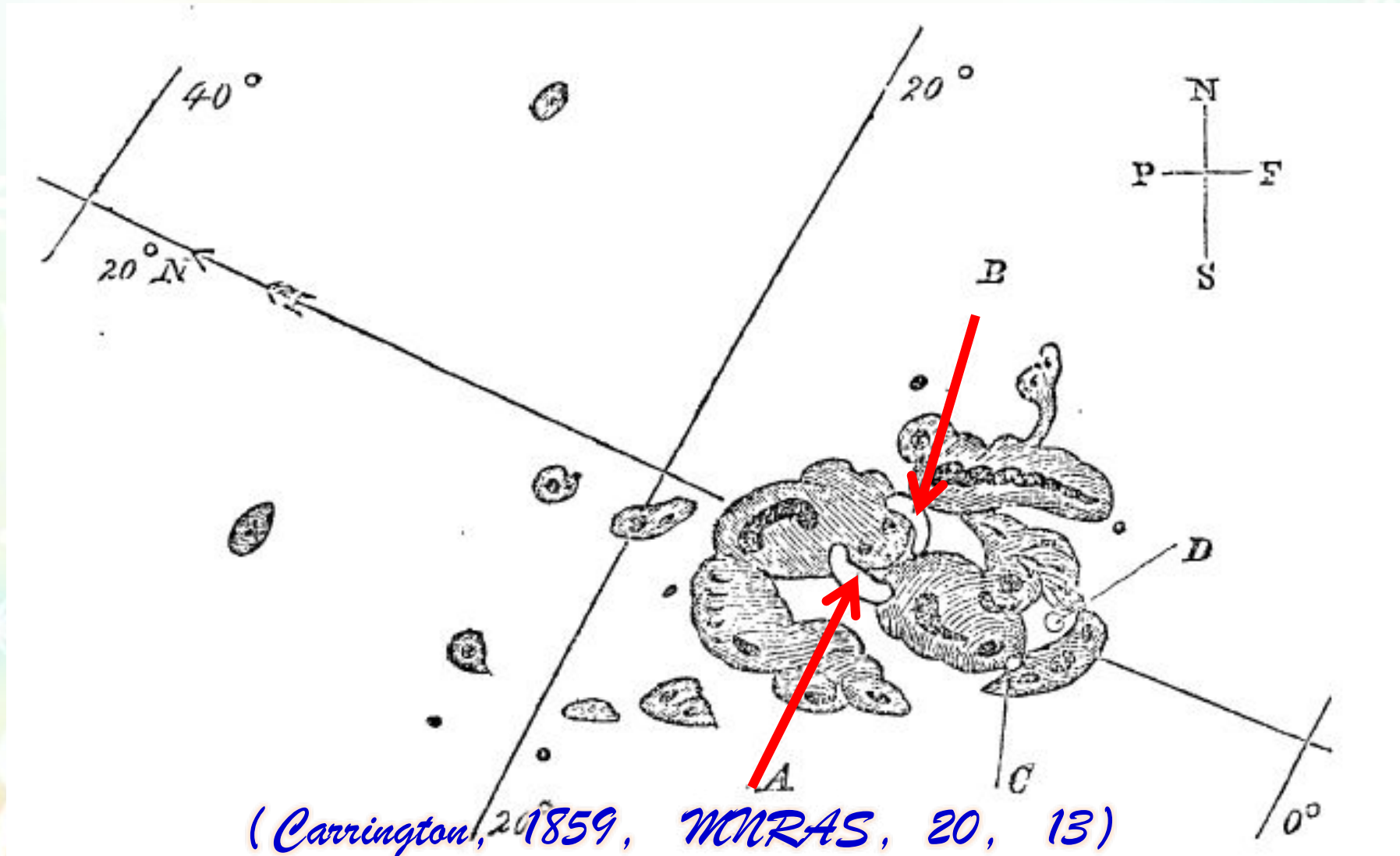
*(Zhang et al. 2007; Zhou et al. 2007)*



# 2003年10月的空间天气灾害

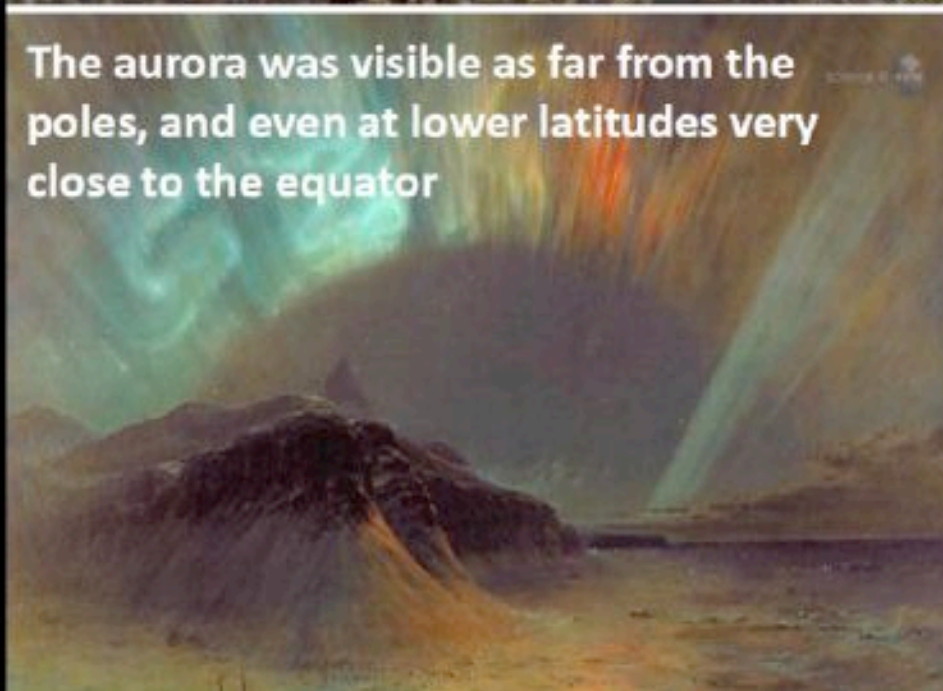


# 1859年9月1日的卡灵顿事件

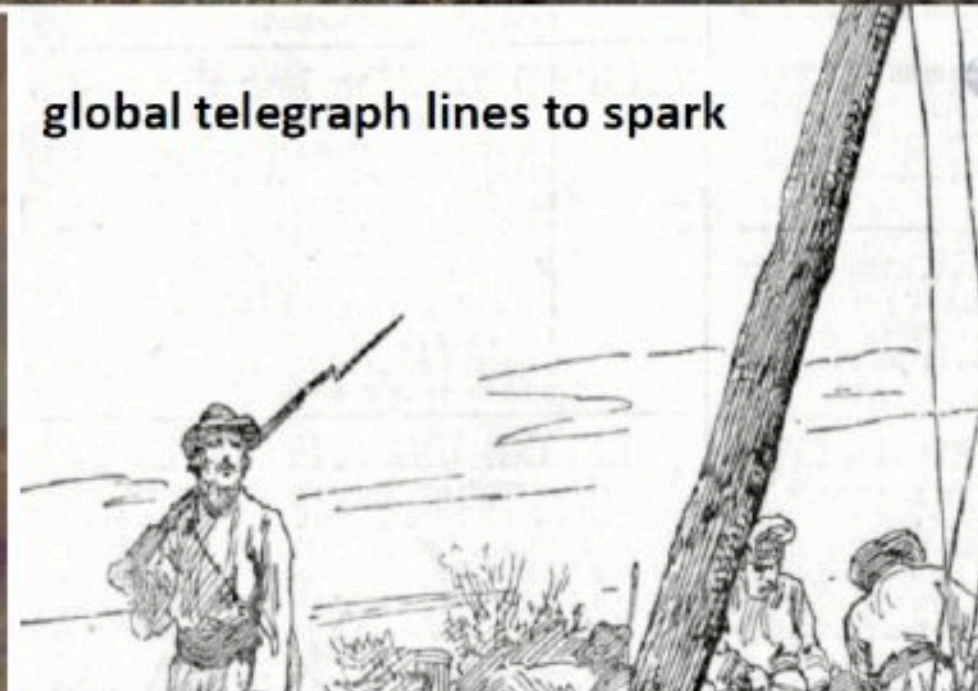




Setting fire to some telegraph offices



The aurora was visible as far from the poles, and even at lower latitudes very close to the equator



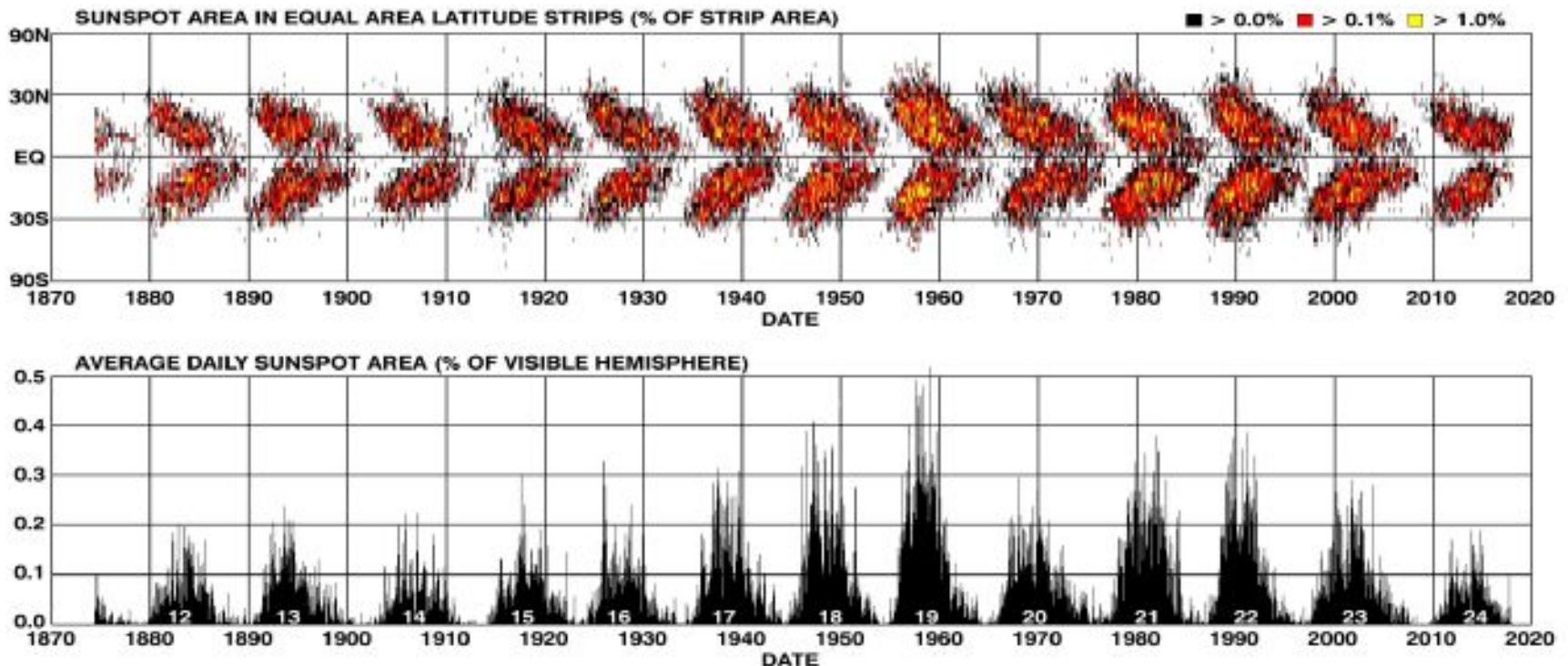
global telegraph lines to spark

# 4. 太阳活动周 孟德尔极小现象

# 太阳黑子的蝴蝶图

黑子在一个太阳周开始时首先出现在南北纬30度左右的较高纬度；随太阳周发展，依次出现在较低纬度；到太阳周结束时，黑子出现在赤道附近

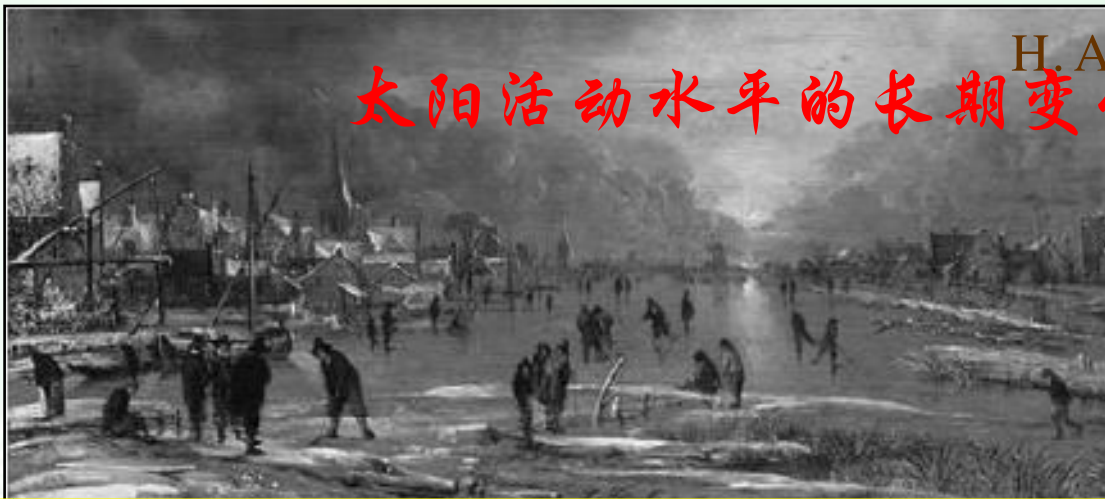
DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS





# 太阳活动水平的长期变化和太阳周

H. A.

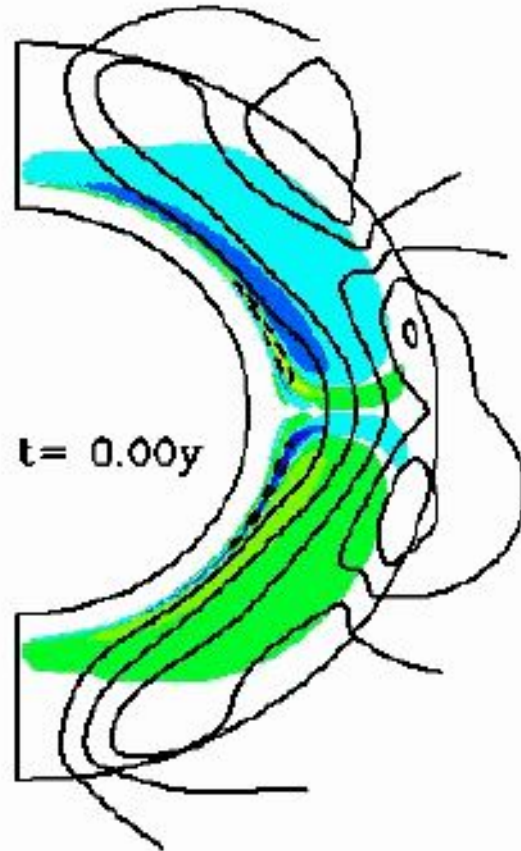


- The coldest decade in England since the 1690s;
- 1813/1814 – last Christmas on the Thames

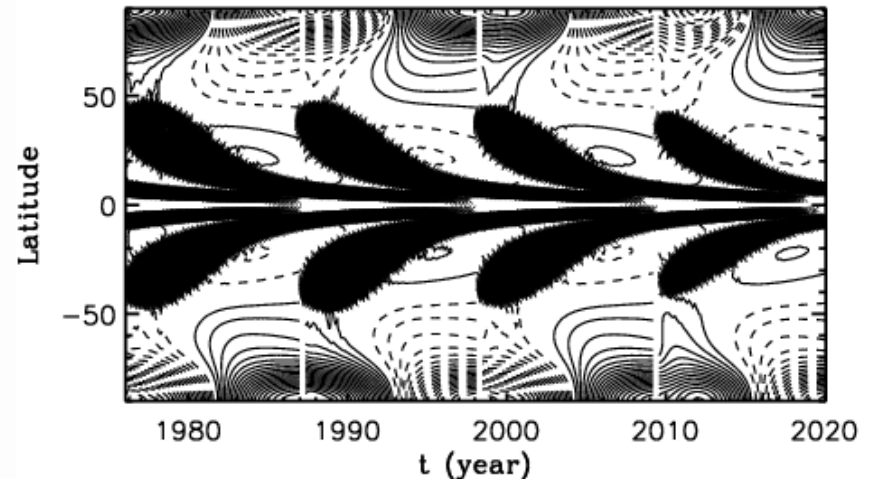
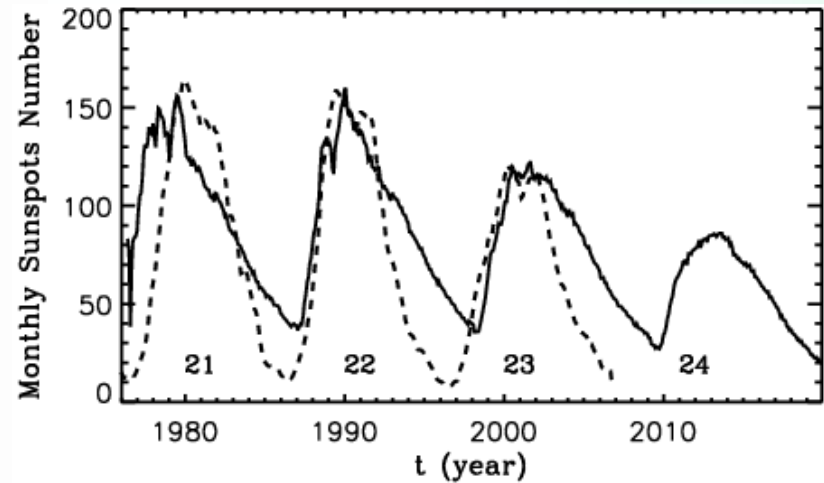


# 第24太阳周活动水平的理论预报

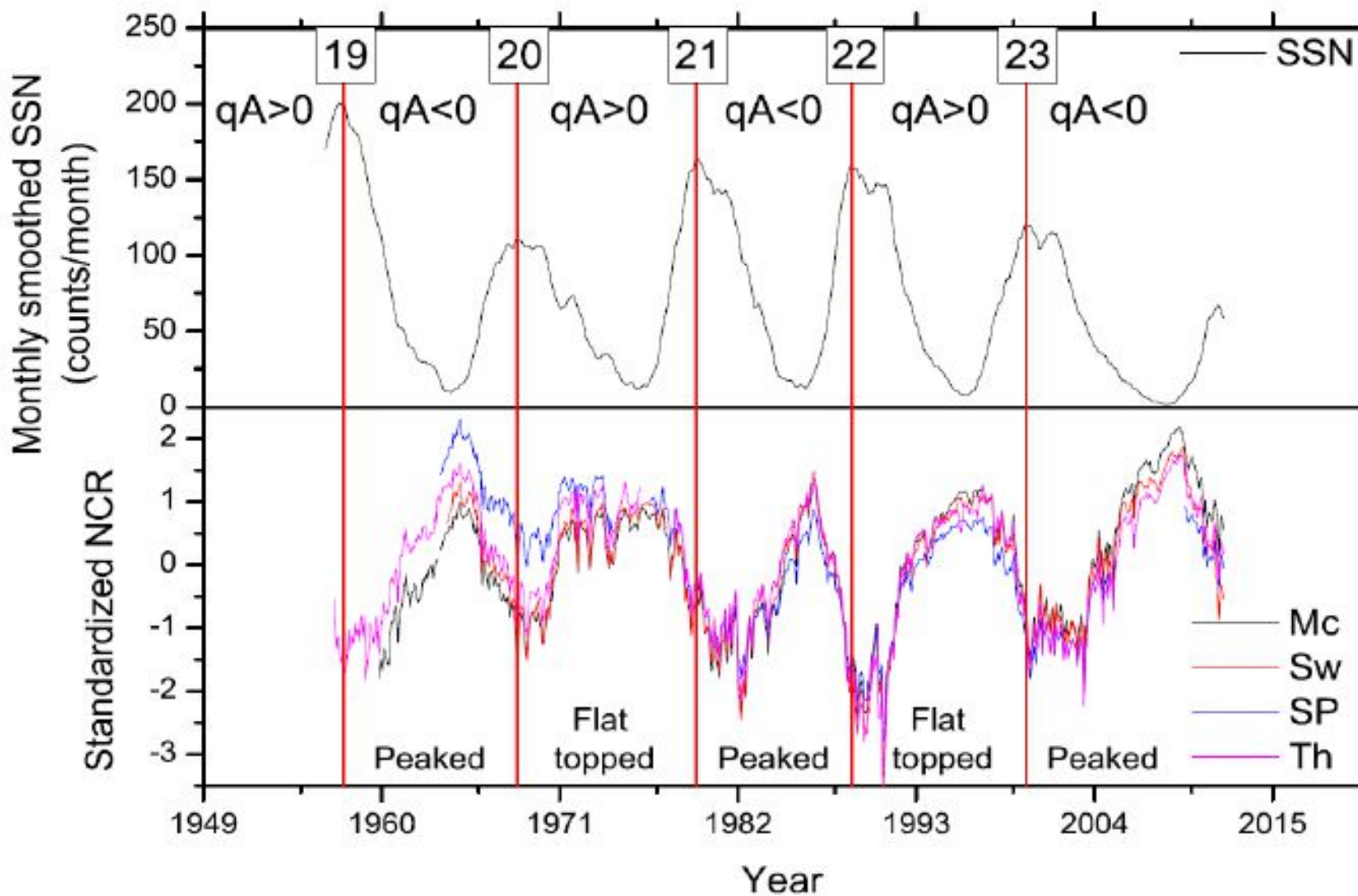
(Choudhury et al. 2007 PRL; Jiang et al. 2007 MNRAS)



模型磁场分布：彩色阴影区域对应环向磁场；实（虚）线 - 极向磁场



# 宇宙线强度和月平均黑子数



# 5. 国内外研究进展

# 重大基础性问题

- ✿ 太阳磁场和活动周的起源
- ✿ 太阳活动机理
- ✿ 日冕加热机制
- ✿ 太阳内部结构和动力学

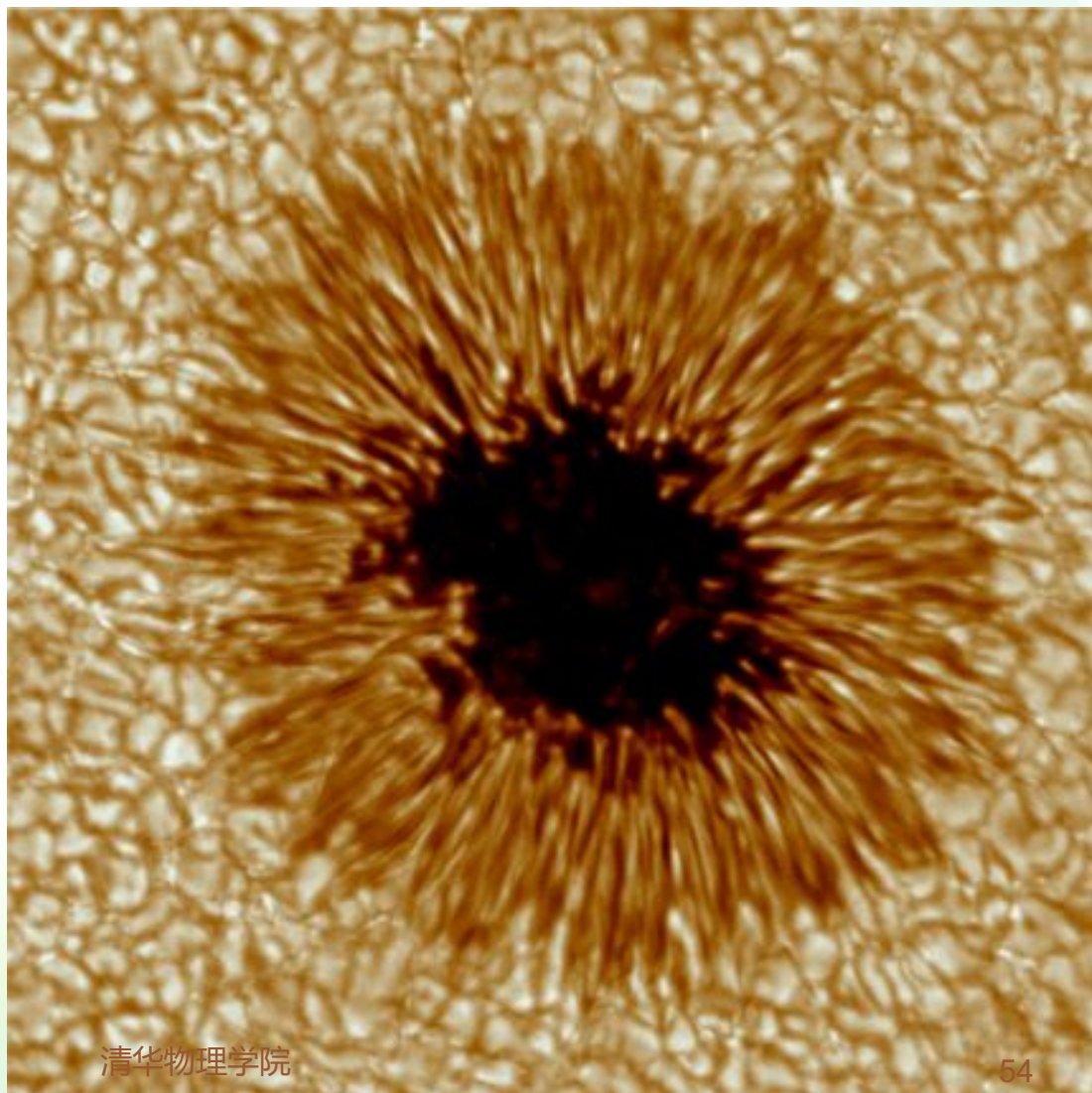
# 国内外观测研究的进展

- 对太阳磁场和太阳活动超过一个太阳活动周的、连续时间覆盖的、全日面空间观测（太阳和日球天文台-SOHO, 1996-）
- 实现从太阳到行星际的太阳风暴多视角成像监测（实时日地关系天文台-STEREO, 2006-）
- 高时空分辨率多波段太阳大气三维成像观测（太阳动力学天文台-SDO/AIA 大气成像系统, 2010-）— 每12秒在10个波长从色球-过渡区-高温日冕的4096×4096像素单色像
- 具有一致性偏振测量精度的太阳向量磁场空间观测（日出卫星-Hinode, SDO/HMI 磁场Doppler成像系统）
- 局地日震学揭示太阳内部动力学信息
- 实现前所未有的太阳过渡区的空间光谱成像观测（IRIS）
- 优于观测分辨率的三维辐射磁流体动力学数值模拟

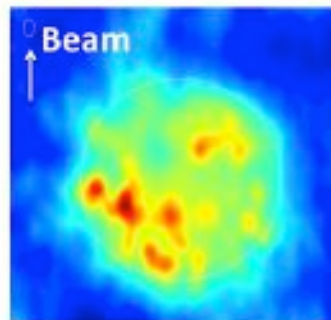
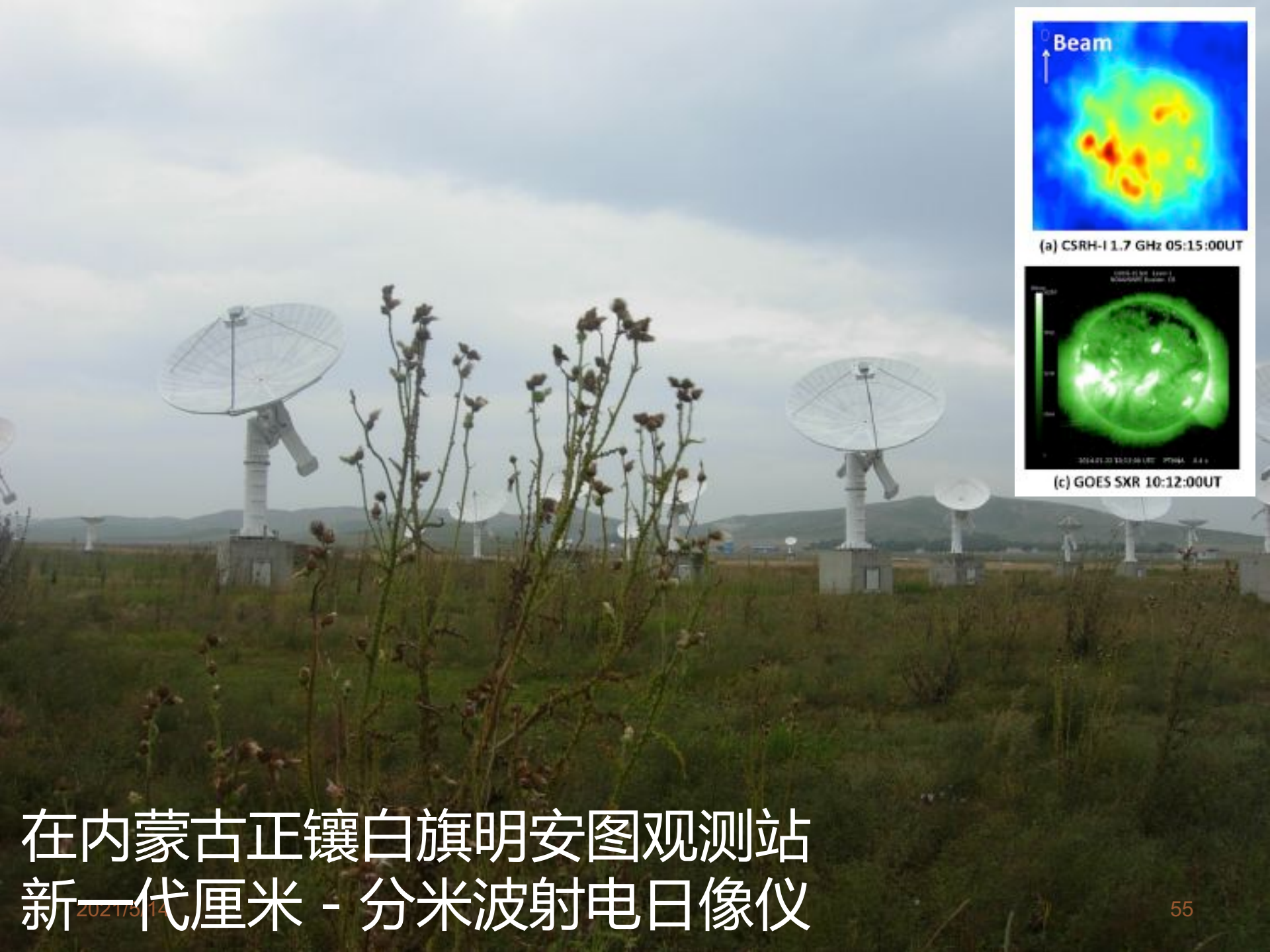
# 国家天文台怀柔太阳观测站



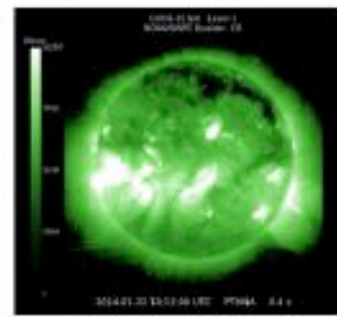
# 云南抚仙湖太阳观测站一米新真空太阳望远镜







(a) CSRH-I 1.7 GHz 05:15:00UT



(c) GOES SXR 10:12:00UT

在内蒙古正镶白旗明安图观测站  
新一代厘米 - 分米波射电日像仪

# 我国首颗太阳观测卫星—先进天基太阳天文台ASOS

预计2021年发射

全日面太阳矢量磁像仪

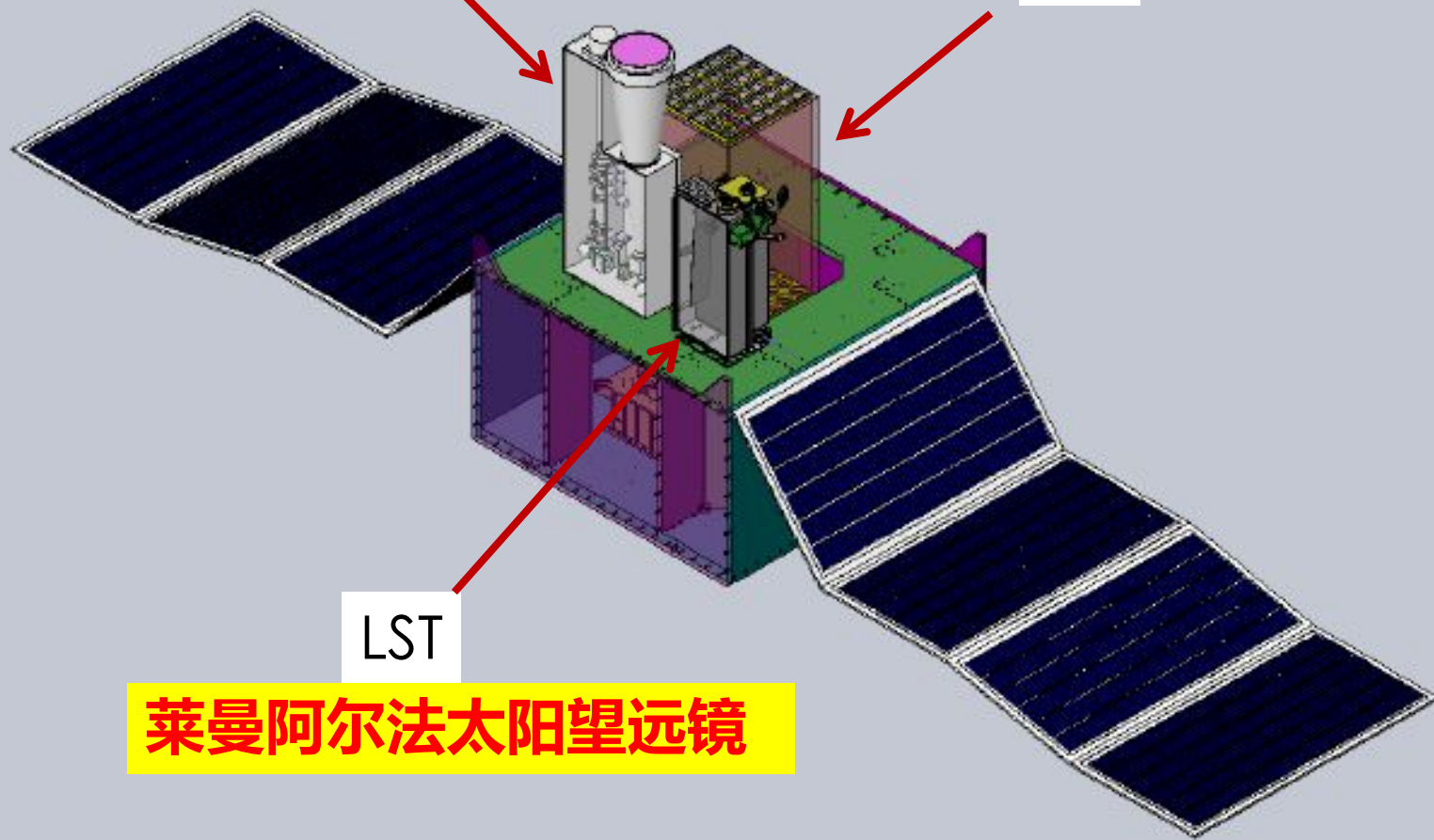
FMG

硬X射线成像仪(HXI)

HXI

LST

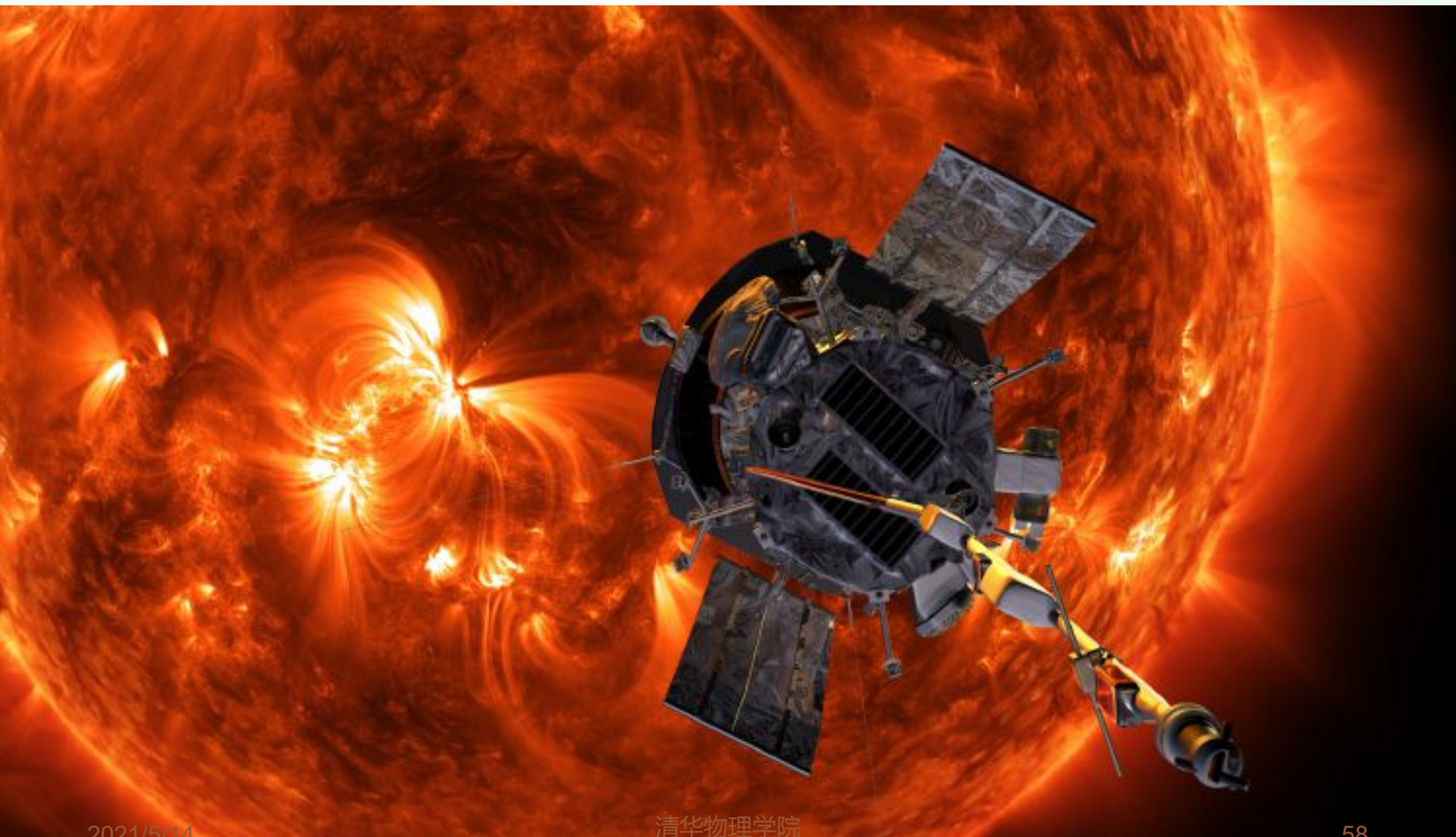
莱曼阿尔法太阳望远镜



# 两个历史性的空间计划 - 太阳轨道者和太阳探针

- ✿ 欧空局Solar Orbiter 把原位和遥测结合起来，获取太阳风、日球磁场、太阳能量粒子、行星际瞬变湍动、太阳磁场的新的知识。计划2020年2月发射，3年半进入运行轨道；将实现对太阳近距高纬度的观测，借助金星的引力，增大与太阳赤道的夹角到25-34度。将首次实现对太阳极区的观测
- ✿ 2018年8月发射的美国宇航局的Parker Solar Probe（帕克太阳探针）将实现对太阳认知的革命，它将在2025年抵达距离日心9.86个太阳半径的地方观测太阳，局地测量日冕大气、磁场和日冕物质抛射。

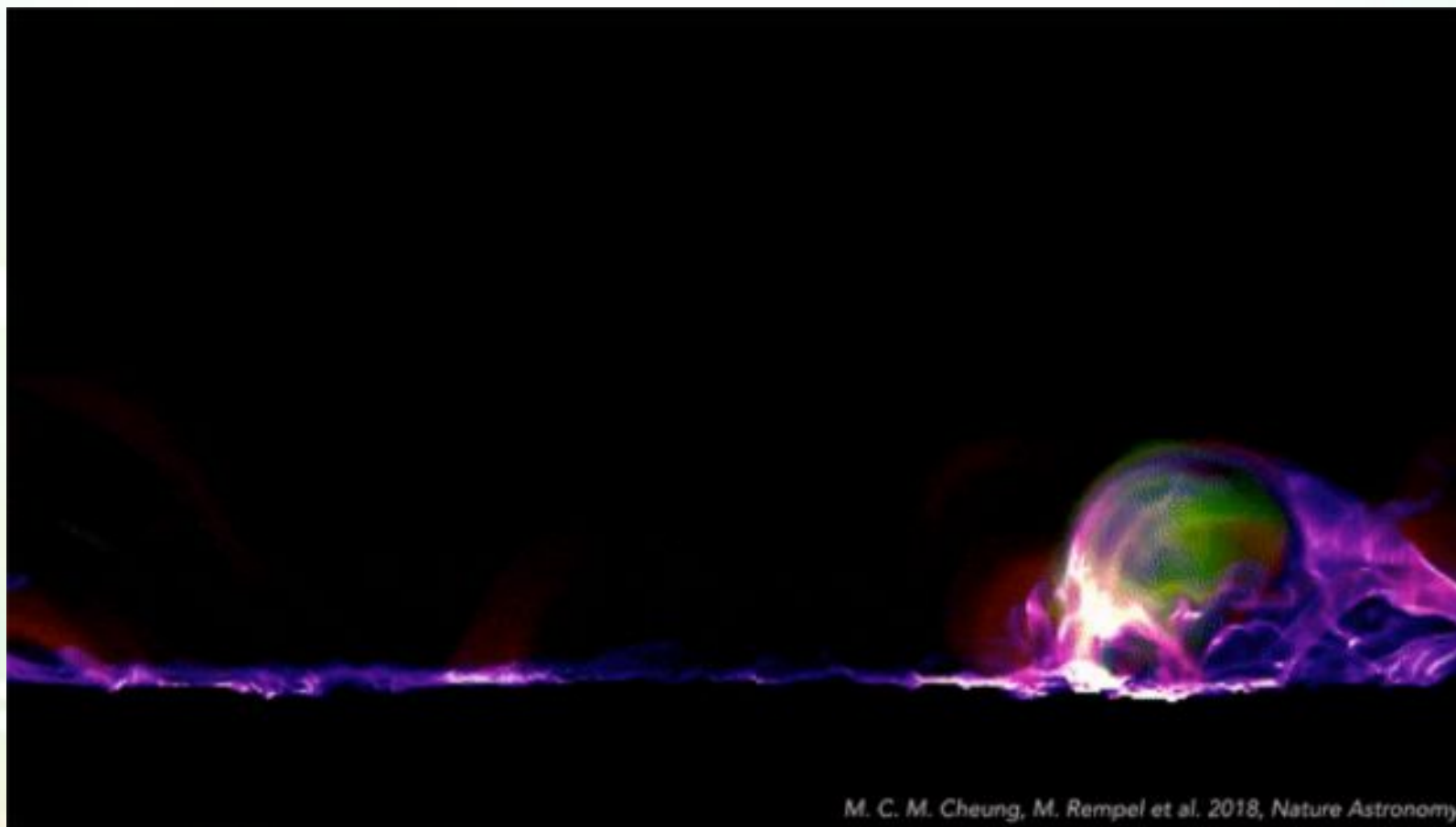
# Parker 太阳探针



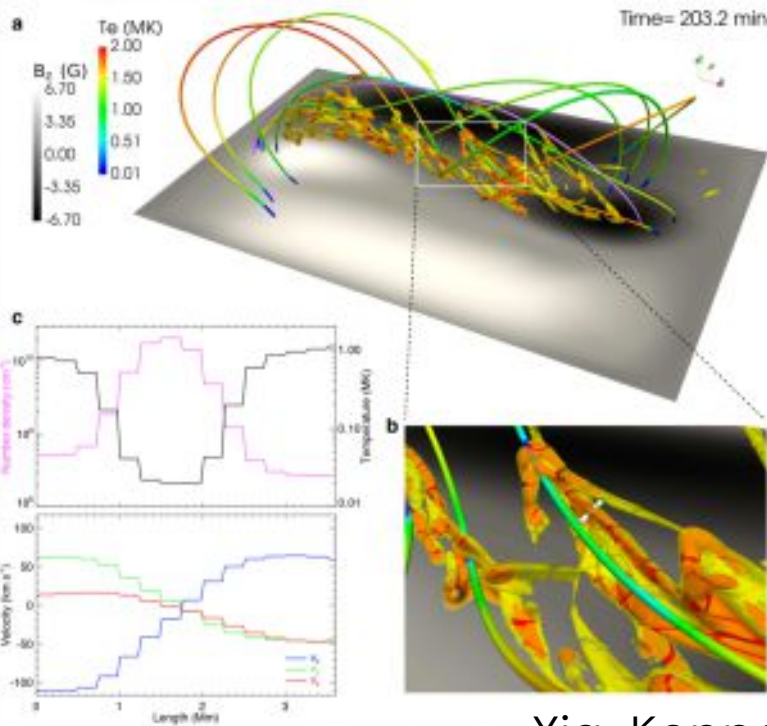
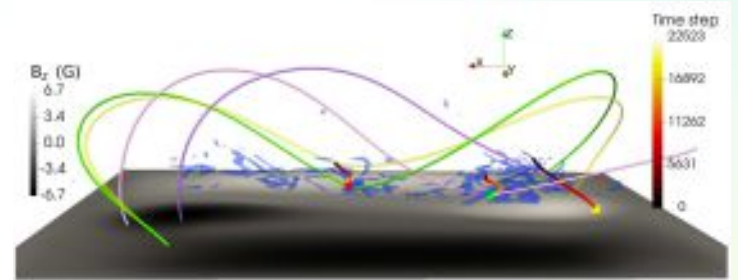
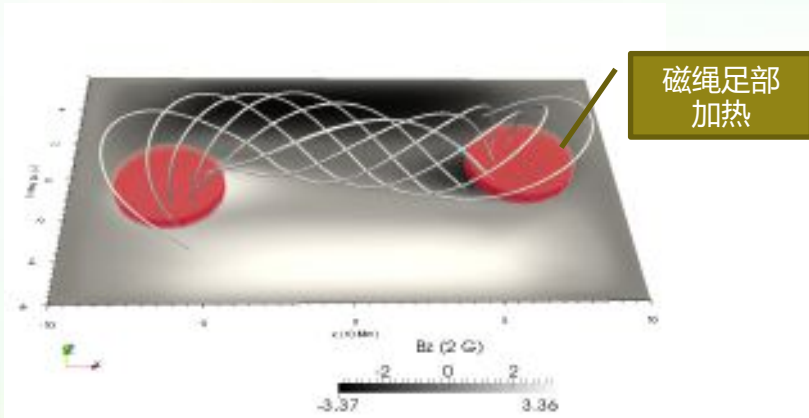
# 太阳探针项目科学家访谈

- 人类最接近太阳的飞行  
第一次直接测量恒星能量的漩涡  
寻访太阳风的源头并冲浪其中  
回答最重大疑难 - 百万度日冕的来源
- 2012年旅行者1号走出太阳系，两周后太阳探针将走进太阳大气。人类正进入太阳系新的王国。

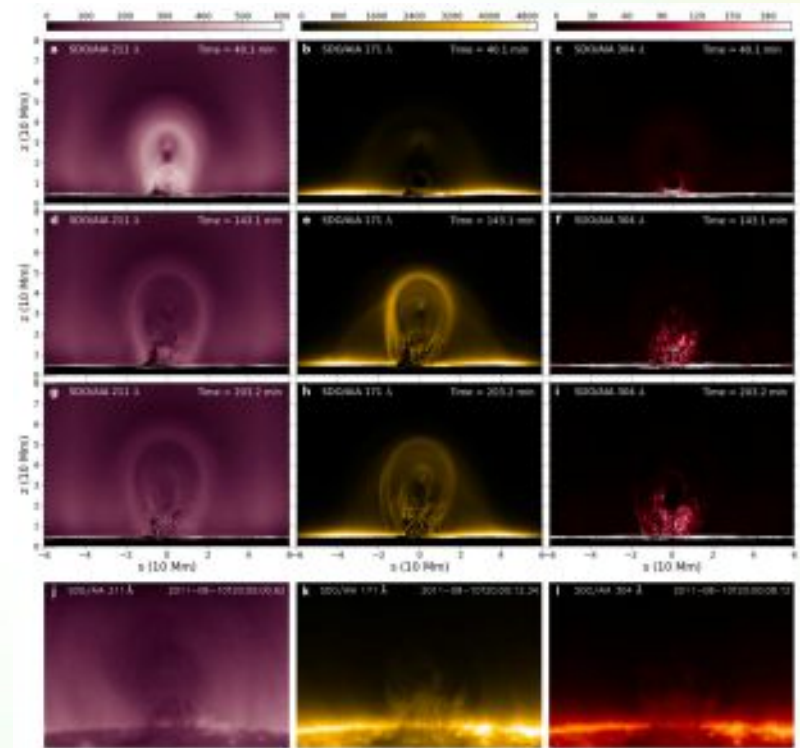
# 太阳耀斑的RMHD数值模拟



# 日珥的三维RMHD数值模拟

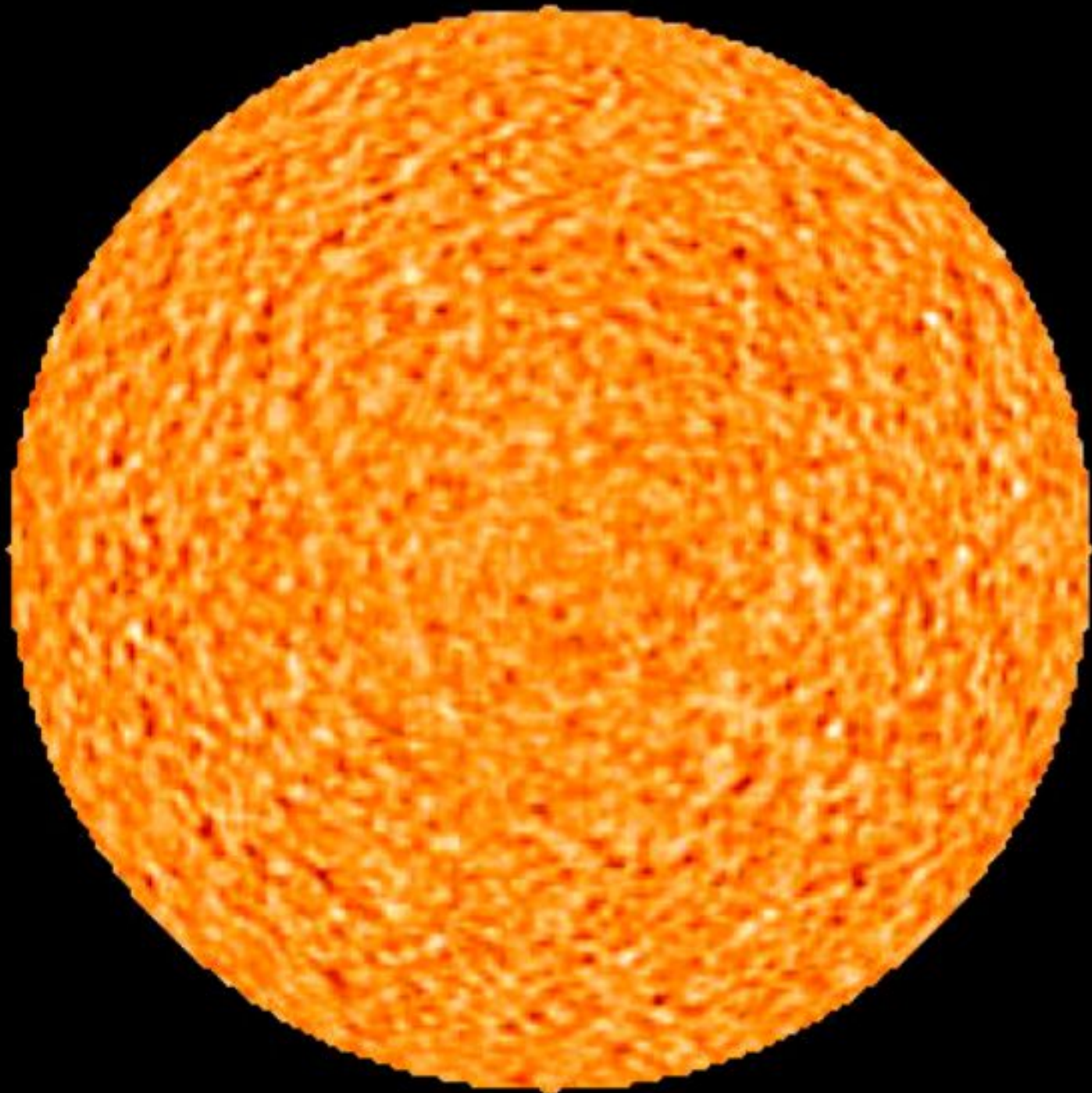


数值模拟EUV



观测实例

# 太阳的震荡





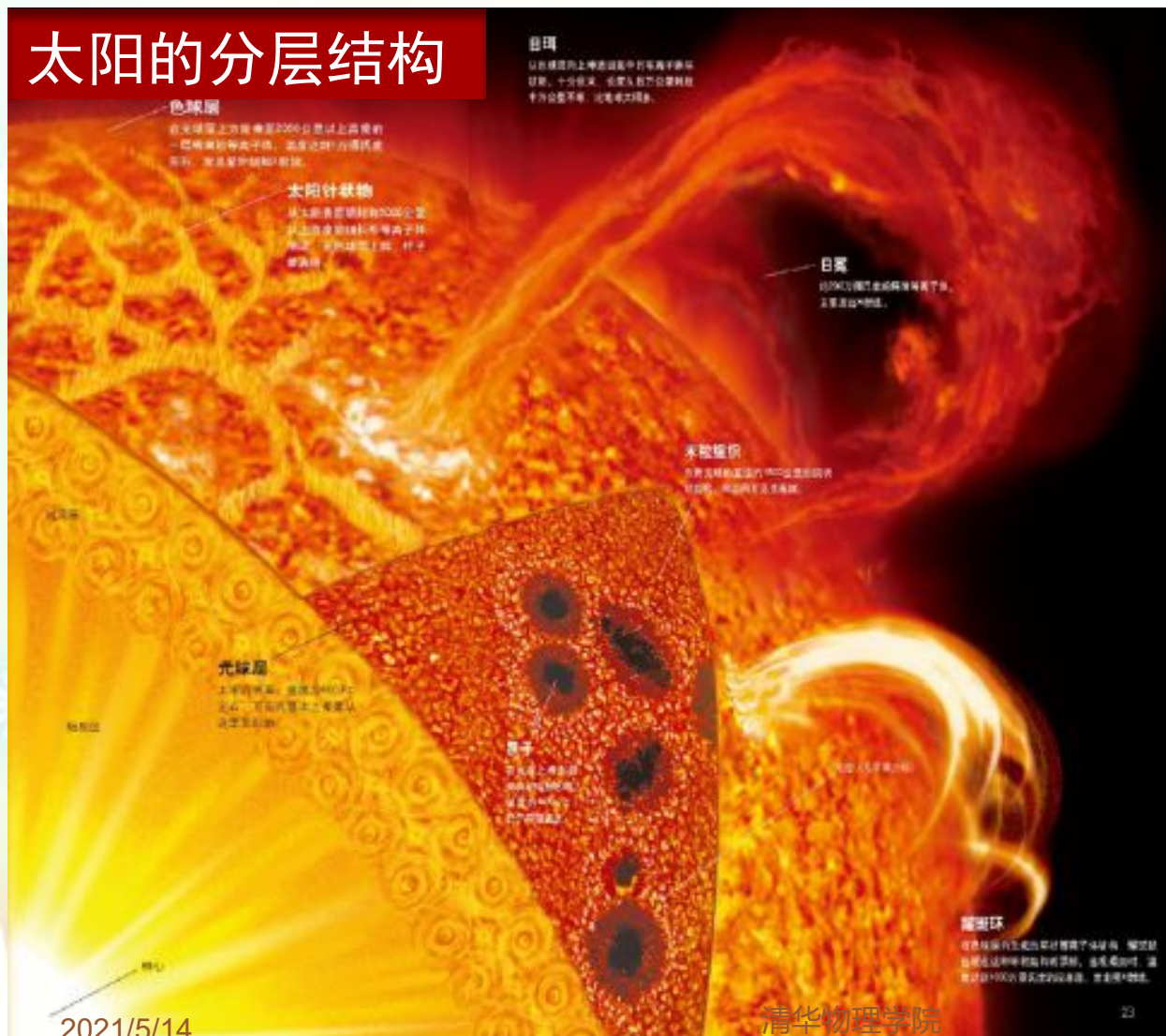
# 由日震学方法预报太阳黑子的浮现

(Ilonidis, Zhao, & Kosovichev, 2011 Science)



# 主导的物理规律 - 复杂系统中的 辐射磁流体力学和等离子体物理学

## 太阳的分层结构

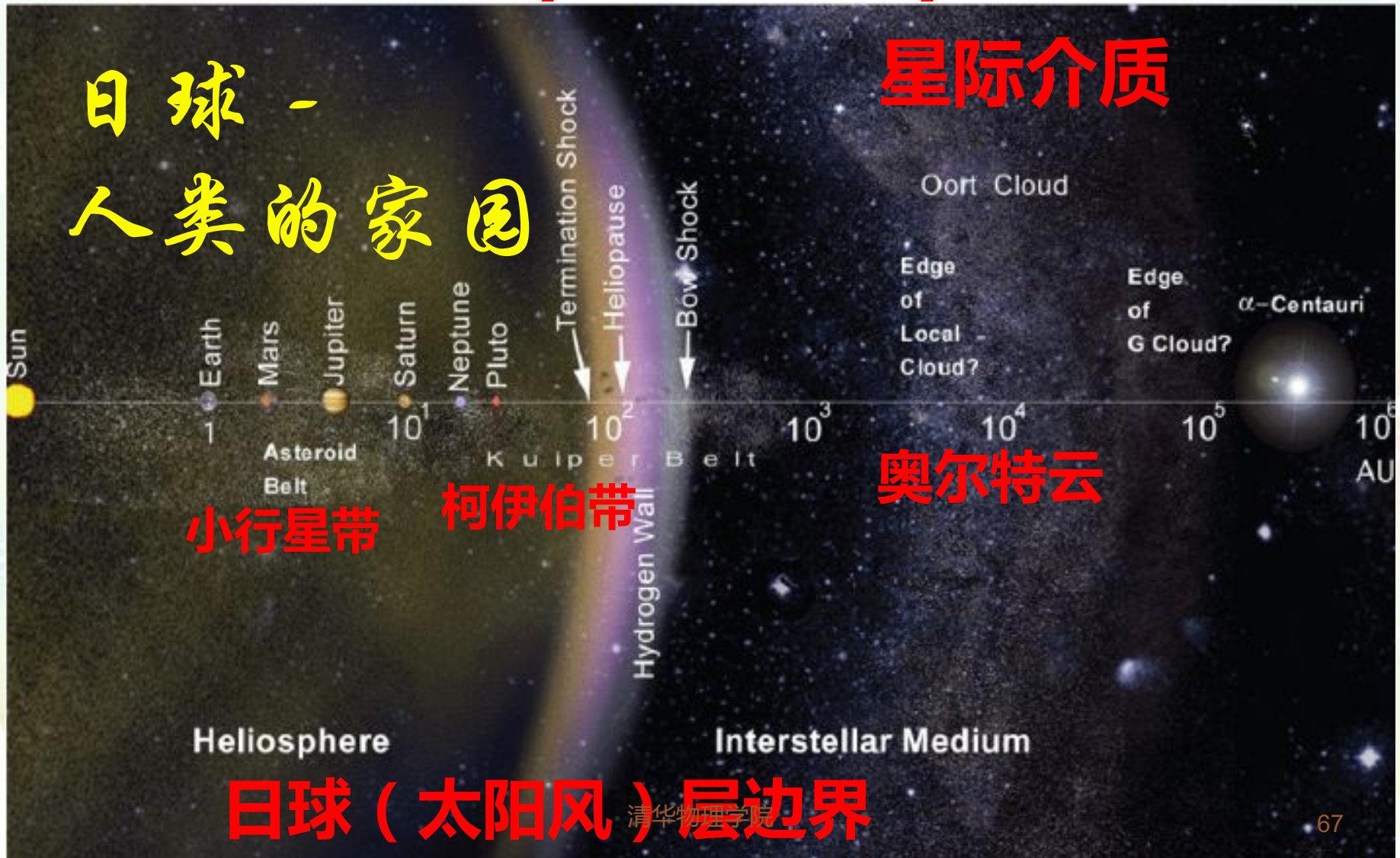


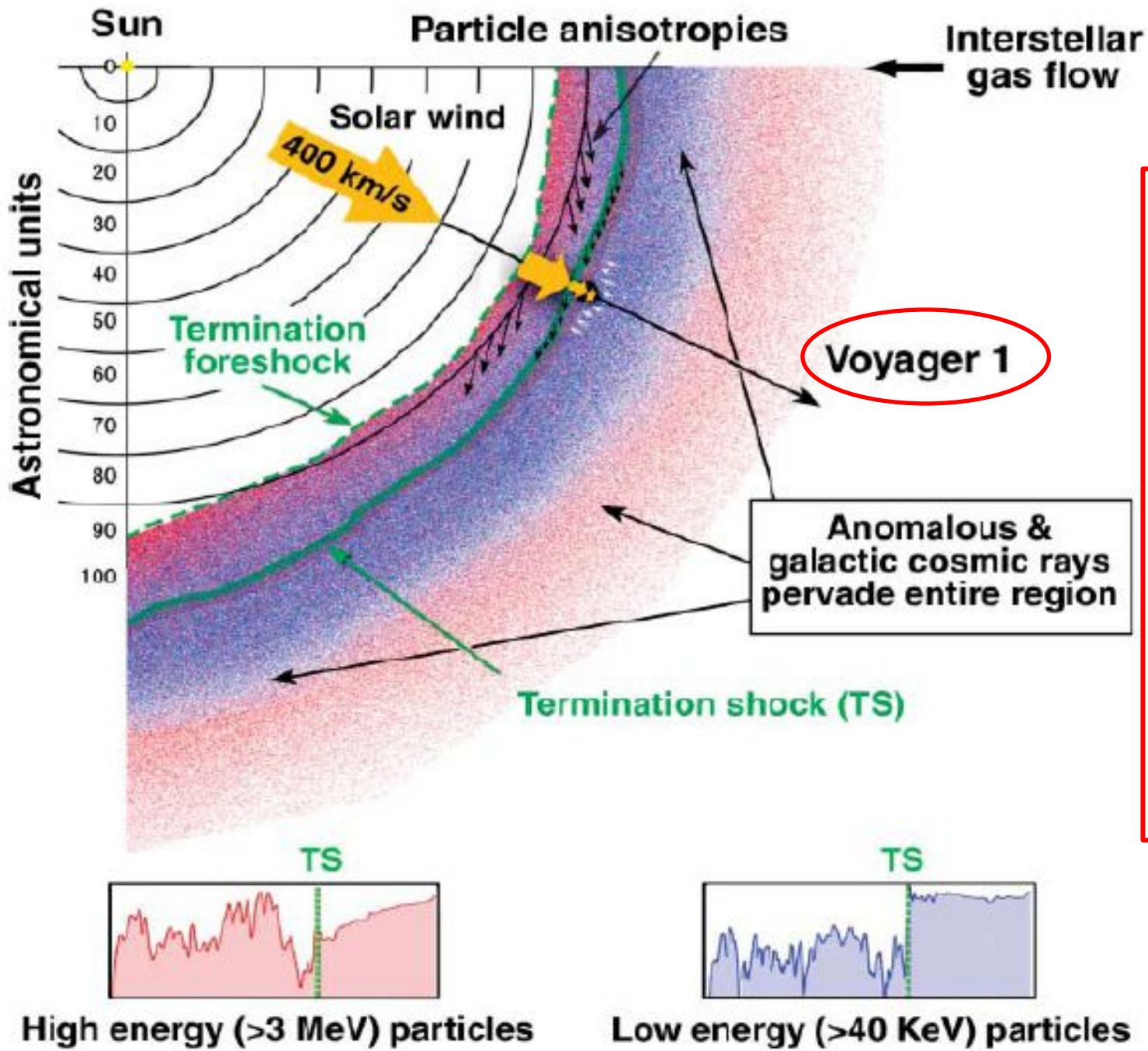
- ★ 原初能量来自  $0.1R_{\odot}$  核内的热核反应，通过辐射、对流和磁流体力学过程部分以磁能方式储存于太阳大气，驱动太阳活动
- ★ 从日核到日冕，密度变化超过 22 个数量级
- ★ 太阳大气包涵极为复杂的磁拓扑和冻结等上的磁化等离子体

# 太阳和空间物理学已扩展为 Heliosphere Physics

日球 -  
人类的家园

星际介质





2012. 8. 25 Voyager 1  
 走出日球边界，  
 进入银河系星际空间

# 太阳的物理参数

日地距离	$1.496 \times 10^{11}$ m (~8.3 min. by light)
半径	$6.955 \times 10^8$ m (地球的109倍)
质量	$1.989 \times 10^{30}$ kg (地球的33万倍)
逃逸速度 (光球)	$6.178 \times 10^5$ ms <sup>-1</sup> (~618公里/秒)
平均密度	1409 kgm <sup>-3</sup> (水的1.4倍)
太阳常数	1366 Wm <sup>-2</sup>
亮度 (表面温度)	$3.85 \times 10^{26}$ W (5780 k)
年龄	$4.566 \times 10^9$ 年 (~46亿年)
化学组成	氢70.68%, 氦27.43%, 其他1.89%