

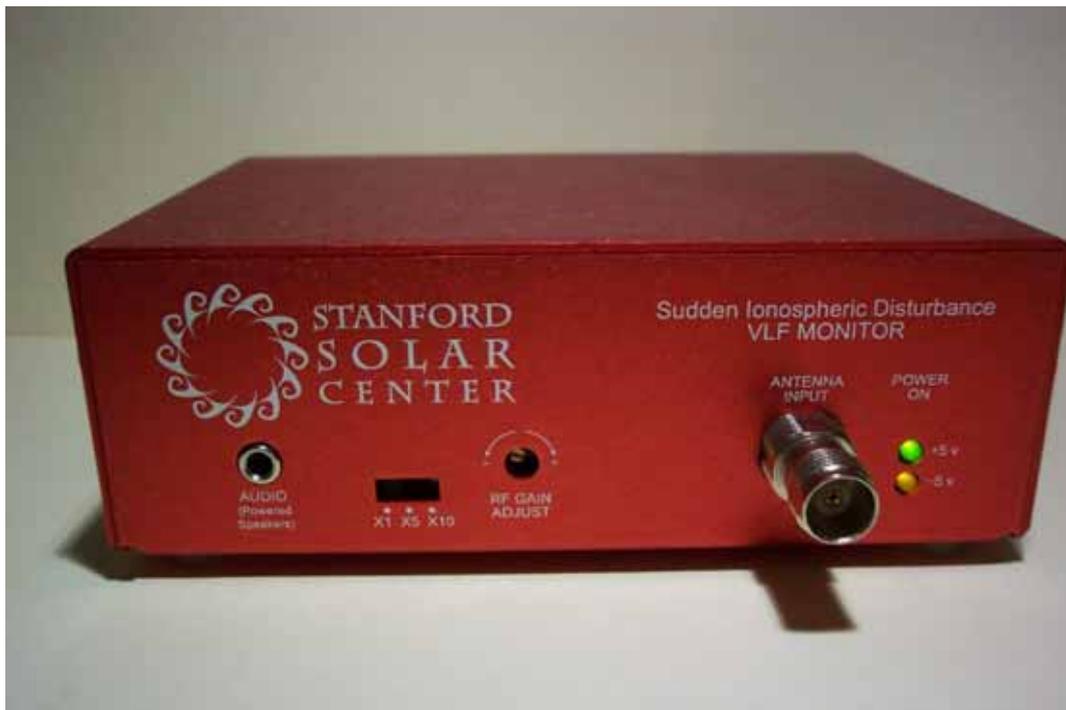
# 太空监测数据研究

## 课堂活动和教师参考

黛博拉·谢若(Deborah Scherrer) 主编  
斯坦福太阳中心(Stanford Solar Center)

王崇熙 符兴 蔡志斌 翻译  
北京大学数学学院

孙旭东 审校  
斯坦福大学太阳观测小组



电离层突扰 (SID) 监测器

斯坦福太阳中心  
斯坦福大学  
HEPL-4085  
斯坦福, 加利福尼亚州 94305-4085  
<http://sid.stanford.edu>

Stanford Solar Center  
Stanford University  
HEPL-4085  
Stanford, CA 94305-4085  
<http://sid.stanford.edu>

*致谢:*日落/日出活动的灵感来自于地球工作(Earthworks)的教育者 Lowell Bailey, Dottie Edwards, Pete Saracino 和 Melynda R. Thomas, 及其科学顾问 Lars Kalnajs, Hartmut Spetzler 和 Mark McCaffrey。感谢评阅者 Ben Burrell, Morris Cohen 和 John Beck 的独到见解, 以及教育者 Jeffrey Rodriguez 和位于俄亥俄州辛辛那提的安德森高中(Anderson High School)为这一活动所作的测试! 还要特别感谢斯坦福大学赵学溥博士对术语表的辛勤翻译, 使得后续工作得以顺利开展。感谢 Sharon Murrell 博士和北京大学数学科学学院的同学们, 他们翻译了空间天气和电离层突扰 (SID) 监测器的核心文件, 并向中国高中引入了这项国际活动。

英文版最后修改于: 2007 年 7 月 23 日  
汉文版最后修改于: 2008 年 3 月 25 日

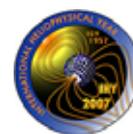


用于教学目的的复制和使用是完全被允许并受鼓励的。

由以下机构支持:



2007-2008 国际日球物理年项目



# 目录

简介.....	5
空间天气监测项目.....	5
什么是空间天气监测仪? .....	5
太阳如何影响地球? .....	5
数据的获得.....	6
太阳起落活动 .....	8
教师指导.....	8
学生知识量调查.....	12
SID 监测器 .....	16
学生数据分析表.....	16
日出/日落数据表 .....	21
日出时间图.....	22
日落时间图.....	23
地球的电离层.....	24
数据示例.....	28
追踪太阳耀斑活动 .....	31
在你的 SID 数据中找到潜在的耀斑 .....	32
查找潜在耀斑, 看看它是否也被 GOES 卫星监测到 .....	32
找到你的耀斑的强度.....	33
在太阳上追踪你的耀斑.....	35
缺失的耀斑? .....	36
学习耀斑活动区域的历史.....	36
太阳耀斑追踪表.....	37
对进一步研究活动和计划的建议 .....	39
日出日落数据的进一步分析.....	39
纬度不同会影响电离层对耀斑的反应吗? 如果是, 那是以怎样的方式呢? .....	40
不明事件? .....	40
电离层突扰天线.....	40
闪电现象和夜间活动.....	41
伽马射线的活动.....	42
日冕物质抛射对地球电离层的影响.....	43
对大地震的电离层预报器.....	43
流星雨? .....	45
在一个日全食期间, 甚低频信号图像会发生什么变化? .....	45
电干扰.....	45
术语表.....	47



# 简介

## 空间天气监测项目



太空中看地球【图片由NASA提供】

斯坦福太阳中心，斯坦福电子工程学院甚低频电磁波研究小组以及当地的一些老师共同研制成了一种廉价的空间天气监测仪。学生能够在当地的高中或是大学安装并使用这仪器。观测仪主要探测由太阳活动或是其他扰动引起的地球电离层变化。学生只需花很少的钱和几个小时，自行制造简单天线即可参与这项活动。数据的收集和分析只需一台普通电脑完成。斯坦福将提供一个数据收集中心以及一个

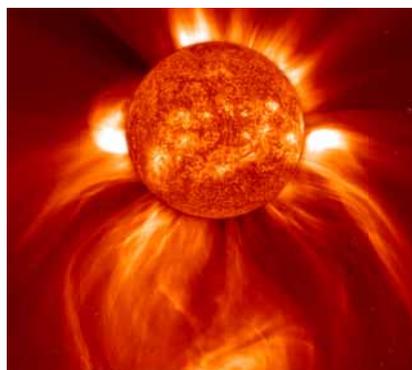
网络日志，方便学生互相交流。

现有两个版本的监测仪——简称 SID(电离层突扰)的仪器价格较低，主要用于高中。另一个更敏感的研究级的监测仪 AWESOME，是为大学准备的。这份指南将介绍使用 SID 数据的方法。你不用拥有一个 SID 也能做到。更多关于 SID 监测仪项目的信息可以访问网站：

<http://sid.stanford.edu>

## 什么是空间天气监测仪？

空间天气监测仪通过观测甚低频电磁波（VLF）在地球电离层反弹时的变化来测量太阳以及耀斑对地球的影响。甚低频电磁波由潜艇通讯中心发射，能在地球各个角落被接收。空间天气监测仪本质上就是一个 VLF 接收器。学生将观测无线电信号从接收器传到发射器的过程中在电离层发生反射后信号强度的变化。



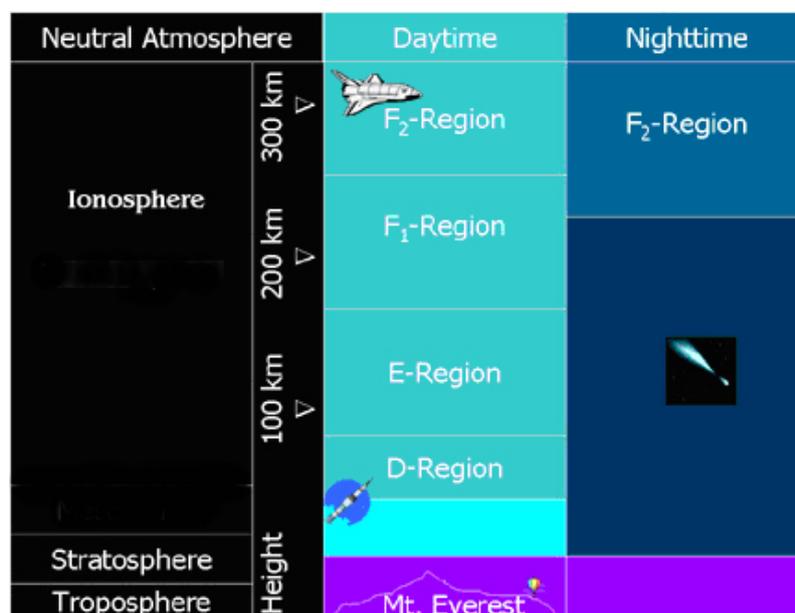
太阳远紫外爆发时的组合图像。  
Steele Hill & SOHO 组合

## 太阳如何影响地球？

太阳通过两种机制影响地球。第一种是能量。太阳平时向四面八方辐射恒定的 X 射线和远紫外射线（EUV）。而当太阳发生耀斑时，它会突然放射出大量的 X 射线和远紫外射线。这些射线以光速前进，只需要 8 分钟就能抵达地球。

另一种机制是太阳喷出的物质的。在扰动中，太阳也会喷射出等离子态的物质，这种状态下电子可以在原子核周围自由活动。这一大堆物质被称为日冕物质抛射（CME）。这些物质流以每小时两百万公里的速度从太阳涌向地球，大约 72 小时就能到达。

太阳的能量和物质喷射都能影响地球。我们的空间天气监测仪追踪太阳活动造成的能量变化。这些来自太阳与宇宙射线的能量，始终都在影响我们头顶 60 公里处开始的地球的电离层。太阳的能量或是宇宙射线袭击电离层时，电子从原子核脱离。这种现象称之为电离，因此有电离层一说。



地球的电离层

电离层可以按海拔高度分为好几层，每层的电离程度不同。每层有自身不同的特性，而层的状态和数目每天都在太阳的干扰下发生变化。白天时电离层在太阳的影响下高度电离。而夜晚，因为太阳在地平线下面，宇宙射线占主导地位。因此，电离程度以一天为一个小周期。

除了每日的波动外，太阳活动也能造成电离层的巨大突变。当太阳耀斑或是其他干扰所产生的能量到达地球时，电离层的物质将瞬间大量电离，直接改变各子层的电离强度和位置。因此，我们用 SID（电离层突扰）来描述我们观测到的变化。

对无线电信号的传播产生强烈影响的是电离层中的自由电子。甚低频电磁波（波长较长）在电离层中被这些自由电子反射。这给我们带来了便利，使得无线电可以越过地平线并且绕过弯曲的地球表面进行通讯。接收到的无线电信号强度，由甚低频电波发生反射所在的那一子层的电离程度和位置决定。

## 数据的获得

作为 2007-2009 国际日球物理年的一部分，SID 观测仪在世界各地都有设置。从世界各地收集到的数据将被储存于位于斯坦福的总数据服务器，任何人都可以获取这些数据：

<http://sid.stanford.edu/database-browser/>

学生可以使用自己收集的 SID 数据，或是从数据中心得到的数据，或者使用这里提供的样板数据来进行上述研究活动。也就是说，学生不需拥有自己的监测器，也能接收和分析数据。

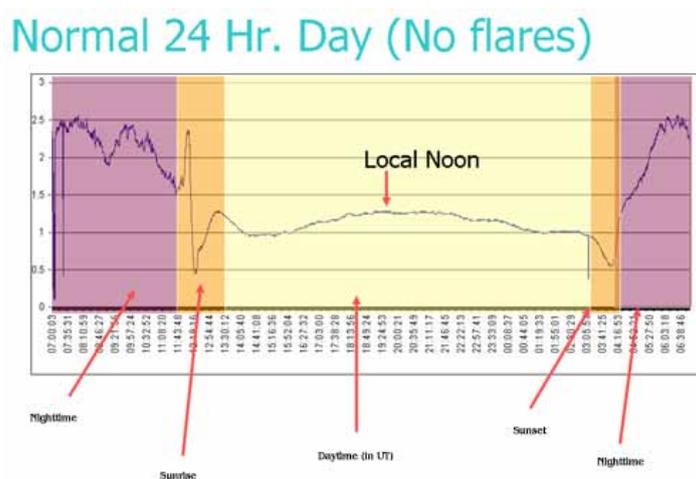


鹿谷高中的学生正在校准他们的SID 观测仪

# SID 监测器 太阳起落活动

## 教师指导

**活动：** 尽管 SID 观测仪是用来观测电离层突扰的（SIDs, 由太阳耀斑造成），它们也能观测由太阳的 X 射线、紫外光以及夜晚的宇宙射线造成的常规影响。下面是一张没有耀斑活动情况下清晰的 24 小时 SID 数据图。日出和日落时刻的曲线具有独特的形状。



*SID 白天时的样板数据（黄色部分）*

接下来是 SID 数据处理的入门练习。学生将结合当地的情况，通过查找 SID 数据中日出日落的特征信号，确定 SID 在何时探测到日出和日落。

**目标：** 让学生更好地理解 SID 数据以及电离层的变化是如何影响它的。这是为以后复杂的 SID 数据处理做准备。

**适合年级：** 5-14

### 需要的资料：

- 至少 7 天的 SID 观测数据。如果没有真实数据可以利用样板数据。数据也能从如下网站获得 <http://sid.stanford.edu/database-browser/>
- “你是怎么想的？”学生课前调查
- 学生数据分析表，包括例子，数据表以及电离层的信息
- 能够上网，或是能够确定当地（接收点）和发射点日出和日落的时间

**时间：** 1-2 课时，如果你想要自己收集 SID 监测仪的数据，需要提前一周左右的时间。

**预备知识：** 算术平均，绘图，测量，时区的基本概念，全球通用时间 UT（格林威治时间——简称通用时间），经度，当地时间与通用时间的转换。

**背景知识：** 你的学生应该知道为什么每天日出和日落都在不同的时间。他们应该知道每天的日照时间为什么会随着季节和纬度而变化。

### 同国家科学教育标准之间的关系（美国）：

*See <http://books.nap.edu/readingroom/books/nses/html/>*

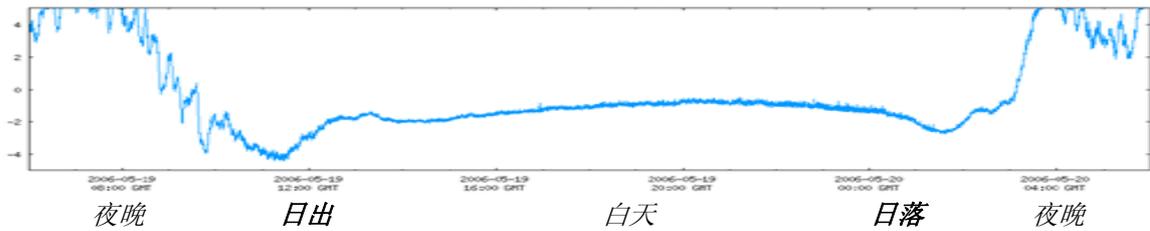
统一概念和过程（系统，指令和组织；；证据，模型；变化，一致性和测量）；科学调查（有科学调查的能力；理解什么是科学调查）；物理科学（属性和物质属性的改变；运动和力；能量的转化；物质和原子的结构和特性；能量和物质的转化）地球和空间科学（地球系的结构；地球系的能量；地球在太阳系中的位置）；科学技术（技术设计的能力；对科学技术的理解）；科学与个人及社会观念（自然资源；自然与人类造成的危害；科学技术在本地的，国家的，全球性的竞争）；科学发展的历史（科学是人类努力的结晶；科学知识的本质）；数学（解题，推理，联系，计算和估算，测量，建模和函数）；科学研究过程中的技巧（测量，交流，收集数据，推测，解释数据）。

上面是能够通过这项活动得到训练的一些能力（美国人重视的方面）。

### 研究步骤：

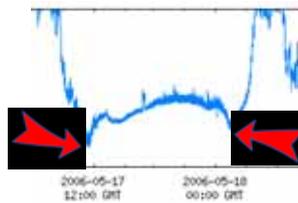
1. 让学生完成课前调查表“你是怎么想的？”（附件）。讨论并接受各种推测，因为这只是一节了解学生的课。
2. 设置并运行你的 SID 观测仪至少 7 天。确定每天你都能收集到反映日出日落的数据图样。如果没有，那么按照手册中的指示校准你的仪器。缺少一两天的数据并没有关系。如果没有 SID 观测仪，那么学生可以使用所提供的样板数据或者从以下网站得到的数据  
<http://sid.stanford.edu/database-browser/>
3. 得到数据之后，学生需要绘出并打印，或者显示他们的数据。最简单的办法是用 Excel 软件（手册里也有教程）或者用网站上的数据图样（当你用网站上的数据时）(<http://sid.stanford.edu/database-browser/>)或者使用样板图样。
4. 与你的学生一起讨论你们的数据图。他们能够辨别出何时信号强何时信号弱吗？逐渐减弱的信号显示出太阳造成的电离作用，这也是白天的开始。而逐渐增强的信号在太阳下山时才会发生，它预示着夜晚的到来。一般来说每天都有大致相同的标准图样。你的学生能分辨出来吗？

SID 样板数据图



5. 给每个小组分发数据分析表并且按照以下的步骤来讨论：

- 在图表上找出日出日落的图样。因为这种图样特征一般都延续一段时间，所以找到你用来描述日出日落时间的那一点，以方便接下来的分析。在日出日落图样上的最小值点，也就是最低点，被认为是明暗分界点。这些通常都是很容易分辨的点，因而使用起来很方便。



*Lowest point, for sunrise and sunset signatures*

日出日落图样中的最低点。

- 让你的学生从你们的图样中找到每天日出以及日落的明暗分界点对应的世界通用时间。将它们下面的表格里记录下来。
- 确定在你的观测点（或是你们数据的来源地）每天日出和日落的实际时间。同样确定发射点的日出和日落时间，你可以通过下面网站来确定这个时间 [http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS\\_OneDay.html](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.html) 不要忘了把这些时间转换成对应的世界通用时间。下面的网站将有所帮助 <http://www.worldtimezone.com/>
- 绘出当地的，发射点的，和你的数据决定的日出时间图（学生的数据表上有样例）。在另一张图上绘出日落时间。
- 要求你的学生完成数据分析表并且分组讨论得到的结果。

与你的学生讨论可能的进一步研究。在“进一步研究”章有一些相关的问题

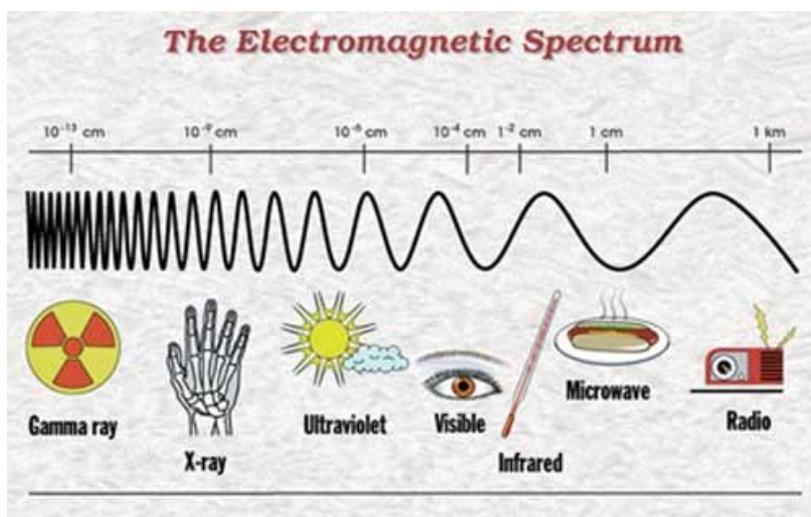


姓名: \_\_\_\_\_

你是怎么想的？

## 学生知识量调查

你将要进行一个与无线电波的发送和接收有关的研究。无线电波，微波，X 射线，伽马射线和可见光都是同一种东西——电磁波。不同之处在于它们的波长。无线电波的波长长；你将要研究的电波有数英里的波长。伽马射线的波长极短，只有一万亿分之几米长。



电磁波光谱。由赫舍天文台提供。

无线电波以及其他的电磁波是通过电磁场的震荡传播的，它们能穿过真空而不需要电线或是其他的传送工具。无线电波和其他的电磁波一般都沿直线传播，尽管有时它们也能被反射，折射或是被其他物质吸收。部分地球大气层能够反射，折射以及吸收某些频率电磁波。

1. 你可以使用你自己的观测仪获得的数据，或是样板数据，或者网上的数据。你的数据来自哪个国家的哪个州，哪个城市的观测仪？  
\_\_\_\_\_
2. 你的观测仪接收某个发射器发射的甚低频电磁波。你接受的发射器位于哪  
国家，哪个州，哪个城市？  
\_\_\_\_\_
3. 在地图或地球仪上找到你的观测仪和发射器所在的位置，或者通过 Google Earth (<http://earth.google.com/>)。估计这两个地方在经纬方面各相差多少，以及这两个地方之间相距多远。（有一个免费的软件能够帮你完成这个工作 <http://tonnesoftware.com/pizza.html>）。

接收器和发射器的相对位置样图



图片经 [www.theodora.com/maps](http://www.theodora.com/maps) 授权使用

接收器： Palo Alto, California 北纬 38°-西经 122°

发射器： Cutler, Maine 北纬 44°-西经 67°

大约 4900 公里， 55 经度， 6 纬度

写下你接收器所在地的经纬度：

\_\_\_\_\_

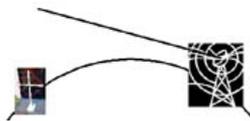
写下你发射器所在地的经纬度：

\_\_\_\_\_

它们之间相距多远？

\_\_\_\_\_

4. 你的接收器测量发射器发射的甚低频电磁波的强度(一般用于潜艇通信)。无线电波只能直线传播。如果你的接收器里发射器很远，你认为无线电波如何绕过弯曲的地表到达你这里呢？



5. 你认为无线电波的强度在白天与黑夜是否不同？如果是，是什么导致了这种区别？

6. 当你查看自己的数据后，你会发现监测仪记录下了能指出日出与日落时间的数据特征。如果你的监测仪和对应的发射器处于不同经度，你认为你的监测仪记录下的是当地的日出时间或是发射器所在地的日出时间或是其他地方的日出时间呢？
- 



发射器所在地日出时间 *Cutler, Maine*  
大约 11: 00UT



美国中部日出时间  
大约 12: 30UT

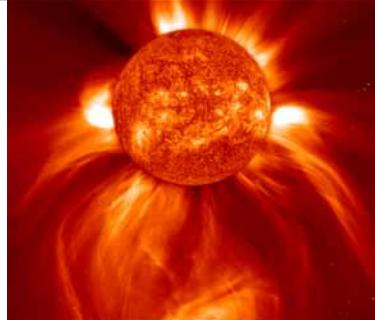


接收器所在地日出时间 *Palo Alto, California* 大约 14: 00UT

图片由 Piero Massimino, Osservatorio Astrofisico, Catania – Italy 提供  
<http://ntserver.oact.inaf.it/cgiplan/terminator.htm>

### 7. 这些地方离你多远？

按这些地方离地球的远近将它们分类。

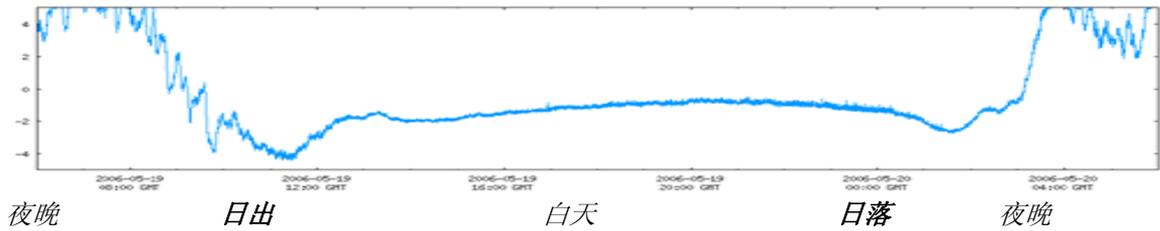
 <p>电离层</p>	 <p>珠穆朗玛峰顶</p>	 <p>极光</p>
 <p>哈勃望远镜</p>	 <p>超音速飞机</p>	 <p>太阳</p>
 <p>彗星</p>	 <p>闪电</p>	 <p>云</p>
 <p>月亮</p>	 <p>地球同步卫星</p>	 <p>航天飞机（太空梭）</p>

# SID 监测器

## 学生数据分析表

1. 收集你的 **SID** 数据。你可以用自己的监测仪收集，或是从网上或由老师提供
2. 我的监测仪位于 \_\_\_\_\_, 时区 \_\_\_\_\_.  
发射器位于 \_\_\_\_\_, 时区 \_\_\_\_\_.
3. 通过你的数据图样分析得到白天, 夜晚以及日出日落数据图样的不同。  
下面是具体步骤:

SID 样板数据图



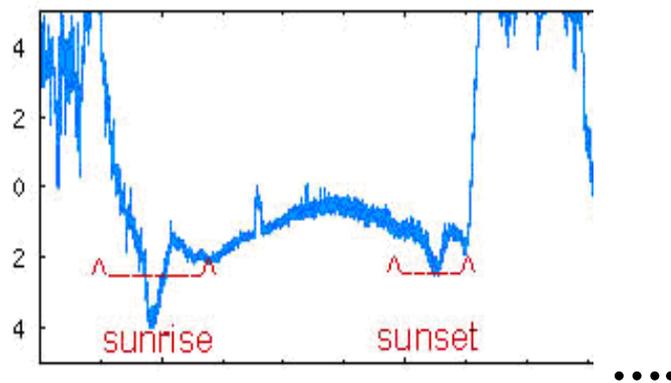
a) 信号强度

\_\_\_ 晚上更强吗?

\_\_\_ 白天更强吗?

\_\_\_ 白天晚上一样?

白天晚上一样吗

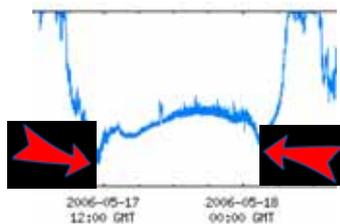


b) 通过观察你的数据, 估计你的日出图样持续了多久(几分钟)?

\_\_\_\_\_

c) 估计你的日落图样持续了多久 \_\_\_\_\_.

4. 在你的数据表上，写下不同的日出日落的时间。由于你的图样持续一段时间，选定同样的一点作为日出时间。最低点是一个不错的选择。



第一天日出在 11: 30 AM UT, 2006 年 5 月 17 日

	数据日出时间 (UT)	当地日出时间 (UT)	发射器所在地日出时间 (UT)
第一天	<b>11:30 AM</b> 17 May 06		
第二天	<b>11:30 AM</b>		
第三天	<b>11:25 AM</b>		

第一天日落在 1: 45 AM UT, 2006 年 5 月 18 日

	数据日落时间 (UT)	当地日落时间 (UT)	发射器所在地日落时间 (UT)
第一天	<b>1:45 AM</b> 18 May 06		
第二天	<b>1:20 AM</b>		
第三天	<b>1:40 AM</b>		

5. 查找与你数据对应的当地的日出日落时间。这里当地表示你获得数据的观测仪所在地。报纸上有，或者

[http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS\\_OneDay.html](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.html).

接着，把当地时间转化为通用时间 UT（你可以在下面网页得到帮助 <http://www.timezoneconverter.com/cgi-bin/tzc.tzc>）。这里是 Palo Alto, California, USA 监测仪的对应转换：

我当地的时区是太平洋时区，

当地时间是7小时后的通用时间，

所以我需要加上 7小时得到通用时间。

我的时区是 \_\_\_\_\_。

(如果必要，记得考虑白天补偿时间.)

我的当地时间是 \_\_\_\_\_ 小时 \_\_\_\_\_ 来得到通用时间 UT.

之前还是之后？

所以我需要从当地时间中 \_\_\_\_\_ 这么多时间以获得通用时间

加还是减？

写下你当地的日出日落时间（通用时间）。下面是一个例子。

	数据日出时间 (UT)	当地日出时间 (UT)	发射器所在地日出 时间 (UT)
第一天	11:30 AM	12:58 AM UT	
	06/5/17	5:58 AM 太平洋时区	
第二天	11:30 AM	12:57 AM UT	
第三天	11:25 AM	12:56 AM UT	

↑↑↑↑↑↑

用 [http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS\\_OneDay.html](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.html)  
<http://www.timezoneconverter.com/cgi-bin/tzc.tzc>

↓↓↓↓↓↓↓↓

	数据日落时间 (UT)	当地日落时间 (UT)	发射器所在地日落 时间 (UT)
第一天	1:45 AM	3:12 AM UT	
	06/5/18	8:12 PM 太平洋时区	
第二天	1:20 AM	3:13 PM UT	
第三天	1:40 AM	3:14 PM UT	

6. 找到发射器所在地的日出日落时间。将它转换成通用时间并记录在你的数据表中。下面是一个例子 Cutler, Maine, USA

	数据日出时间 (UT)	当地日出时间 (UT)	发射器所在地日出 时间 (UT)
第一天	11:30 AM	12:58 UT	<b>8:59 UT</b>
	06/5/17	5:58 AM 太平洋时区	4:59 AM 美国东部
第二天	11:30 AM	12:57 UT	<b>8:58 UT</b>
第三天	11:25 AM	12:56 UT	<b>8:57 UT</b>

↑↑↑↑

[http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS\\_OneDay.html](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.html)  
<http://www.timezoneconverter.com/cgi-bin/tzc.tzc>

↓↓↓↓

	数据日出时间 (UT)	当地日出时间 (UT)	发射器所在地日出 时间(UT)
第一天	1:45 AM	3:12 UT (5/18)	<b>11:52 UT</b>
	06/5/18	8:12 PM 太平洋时区	7:52 PM 美国东部
第二天	1:20 AM	3:13 UT	<b>11:53 UT</b>
第三天	1:40 AM	3:14 UT	<b>11:54 UT</b>

7. 在绘图纸上画出日出和日落的时间。下面是一个例子：



样板日出图样（不完整）

8. 通过观察你的数据表和图像，回答下列问题：

a) 你的数据日出日落时间

- 同当地日出日落时间一样？
- 同发射器所在地日出日落时间一样？
- 都不一样？

b) 计算当地日出日落时间与你的数据日出日落时间的平均区别：

- 当地日出时间与数据日出时间的平均区别是 \_\_\_\_\_ (精确到分钟)
- 当地日落时间与数据日落时间的平均区别是 \_\_\_\_\_ (精确到分钟)

c) 当地的日出日落时间与你的数据日出日落时间每天的差距变化吗？  
如果变化，你认为原因是什么？

---



---

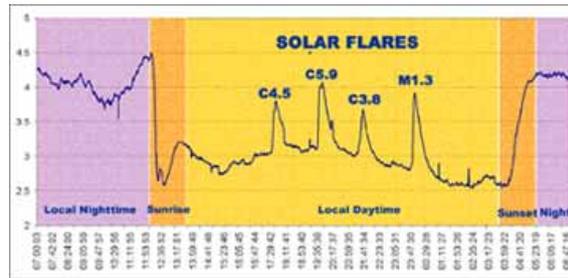


---

d) 发射器一般来说会每周定期维护。你的数据中有没有一段看起来没有信号的时间？

- 没有
- 有，在通用时间： \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 之间

- e) 如果你的监测仪记录下了一次耀斑，那么它在强度上会看上去像尖塔一样（或是突降）。并且只会出现在白天（为什么？）



*SID 数据图样（着色使它更清晰）*

你认为你记录下了一次耀斑吗？ \_\_\_\_\_

如果是，在通用时间何时？ \_\_\_\_\_

如果你想做更深入地研究，下一个活动将教你如何追踪耀斑在太阳上的发源区域。

- f) 阅读电离层在白天，夜晚，耀斑发生时和闪电风暴时的变化材料。你能在你的数据中找到某些闪电风暴的痕迹吗？

\_\_\_ 是的，我找到闪电风暴在如下时间 \_\_\_\_\_，  
\_\_\_\_\_， \_\_\_\_\_

9. 同你的老师和其他学生讨论你的结果。

10. 如果你想用 SID 监测仪的数据作进一步研究，你的老师会给你“进一步研究的建议”材料。

姓名 \_\_\_\_\_

## SID 监测仪

### 日出/日落数据表

我的数据来自: \_\_\_\_\_  
(城市,州,国家)

时区: \_\_\_\_\_

发射器所在地是: \_\_\_\_\_  
(城市,州,国家)

时区: \_\_\_\_\_

	数据日出时间 (UT)	当地日出时间 (UT)	发射器所在地日 出时间 (UT)
第一天			
第二天			
第三天			
第四天			
第五天			
第六天			
第七天			
第八天			

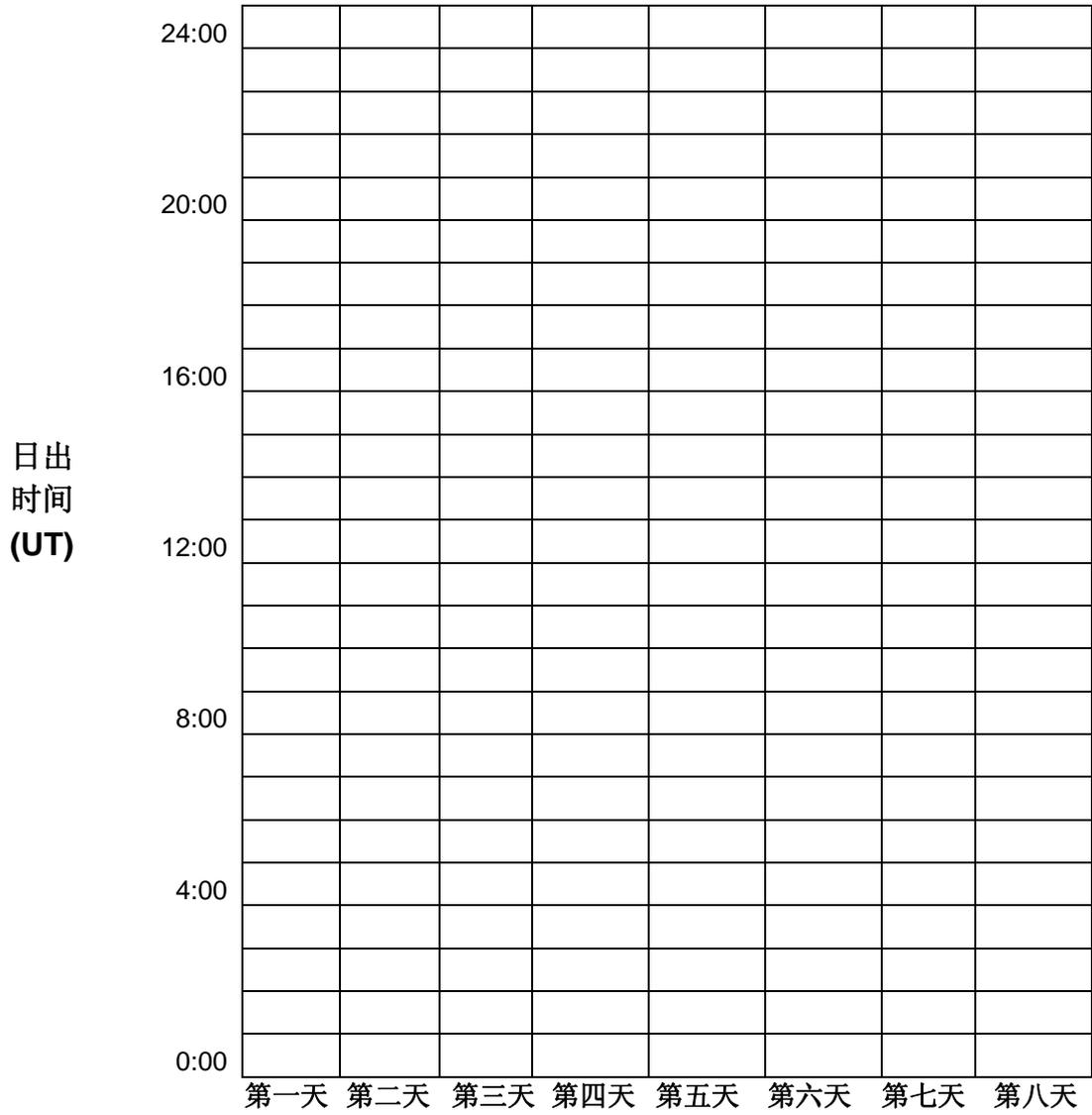
	数据日落时间 (UT)	当地日落时间 (UT)	发射器所在地日 落时间 (UT)
第一天			
第二天			
第三天			
第四天			
第五天			
第六天			
第七天			
第八天			

查找日出日落时间, 访问 [http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS\\_OneDay.html](http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.html)  
转化为国际通用时间, 访问 <http://www.timezoneconverter.com/cgi-bin/tzc.tzc>

姓名 \_\_\_\_\_

**SID 监测仪**

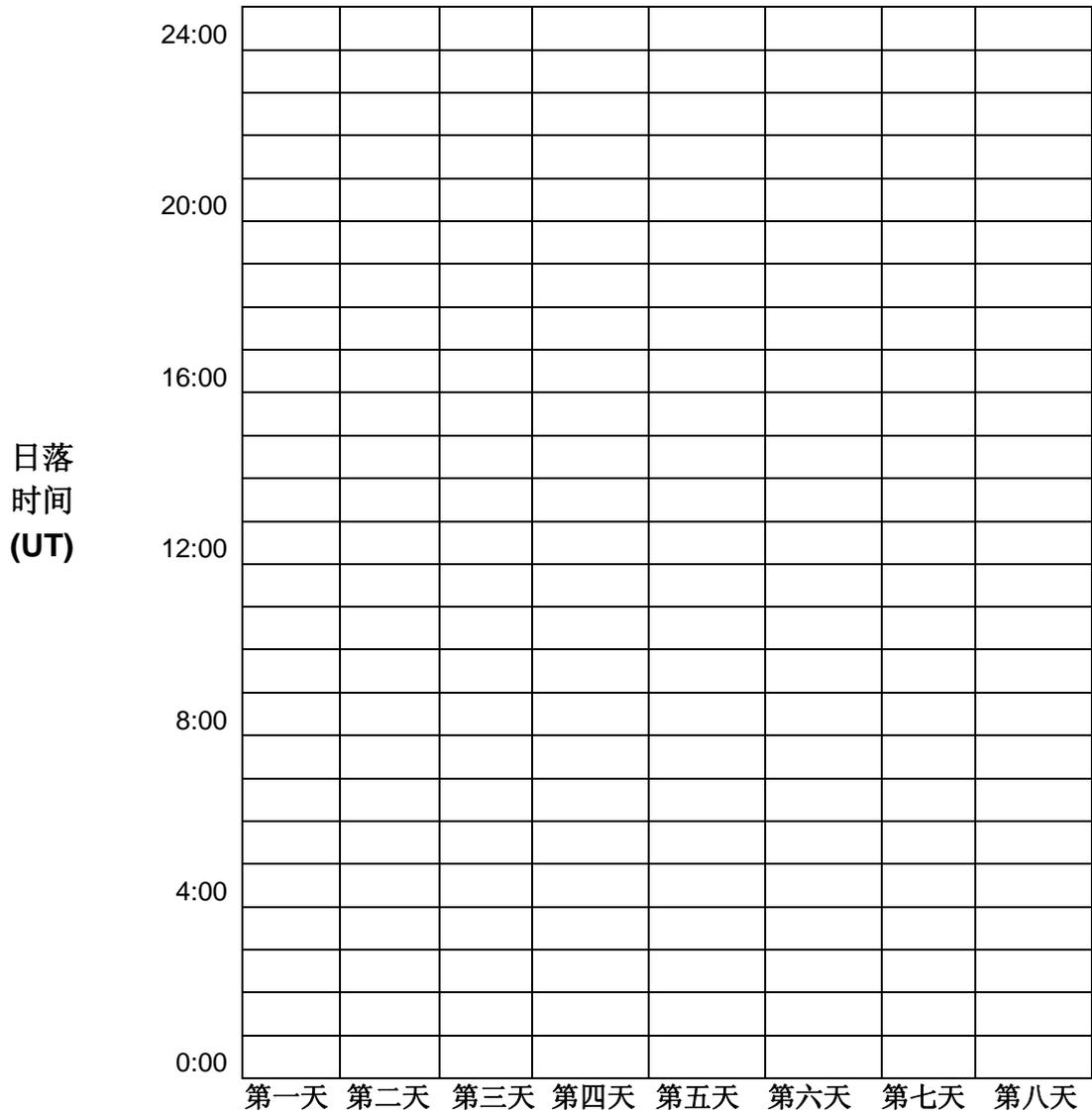
**日出时间图**



姓名 \_\_\_\_\_

**SID 监测仪**

**日落时间图**



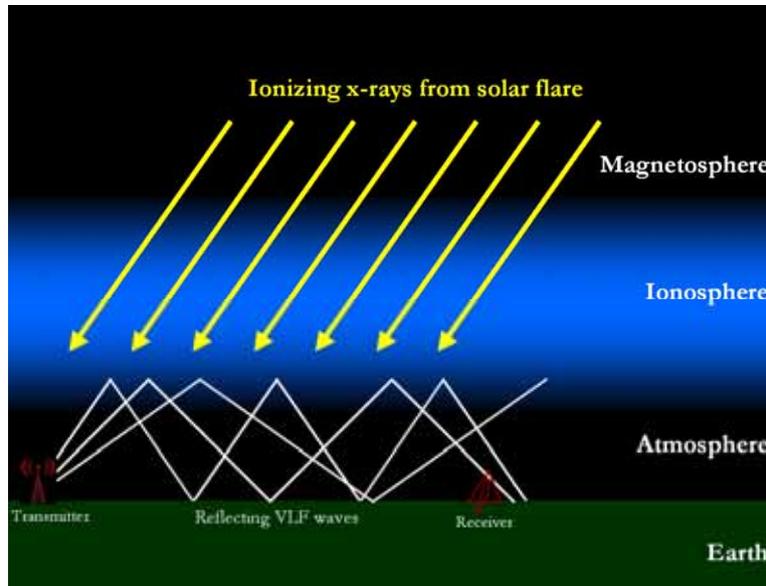
## 地球的电离层

### 信息表

电离层是指地球大气层中被太阳和宇宙射线离子化的大气层。它位于地球上空 75-1000 公里（46-621 英里）处。（地球的半径是 6370 公里，所以电离层的厚度与地球的体积相比是很薄的。）由于太阳和宇宙射线的高能量，这个区域中的原子已经被剥离掉了一个或多个电子，也就是“电离”。因此这些原子都带正电。被电离出来的电子成为自由的粒子。太阳的上层大气，也就是日冕，温度非常高而且产生一股稳定的等离子流，和从太阳流出的紫外线、X 射线一起影响，或者说电离地球的大气层。在任何时候，只有一半的地球电离层被太阳电离（为什么？）。

在夜间没有太阳干扰的时候，宇宙射线也能电离大气层，虽然它们没有太阳那么强烈。这些高能射线源于我们所在的星系和宇宙—旋转的中子星，超新星，射电星系，类星体和黑洞。因此电离层在晚上被电离的程度要小得多，这也就是为什么许多电离效应在夜间更容易观察到—较微弱的变化也能被注意到。

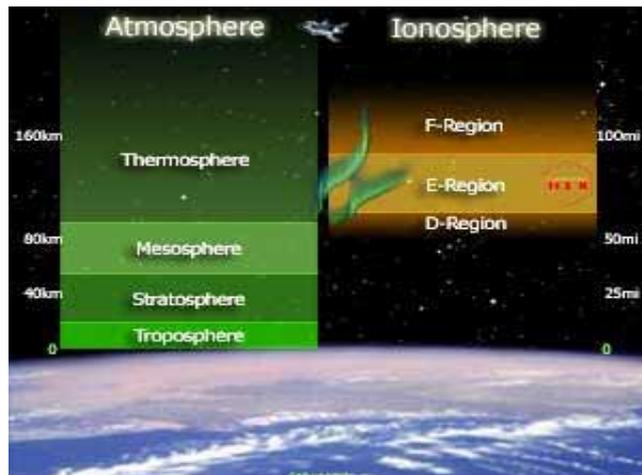
在电离层的诸多功能中，对我们最为重要的是它对地球上远距离无线电传播，以及卫星与地球的无线电传播的影响。对于由空间天气监测仪追踪的甚低频电波，电离层和地面会产生一个“波导”使得无线电信号可以通过波导反射并沿着弯曲的地球表面传播。



地球电离层和地面形成一个“波导”使得较低频波的无线电信号可以传播或在围绕地球反射。

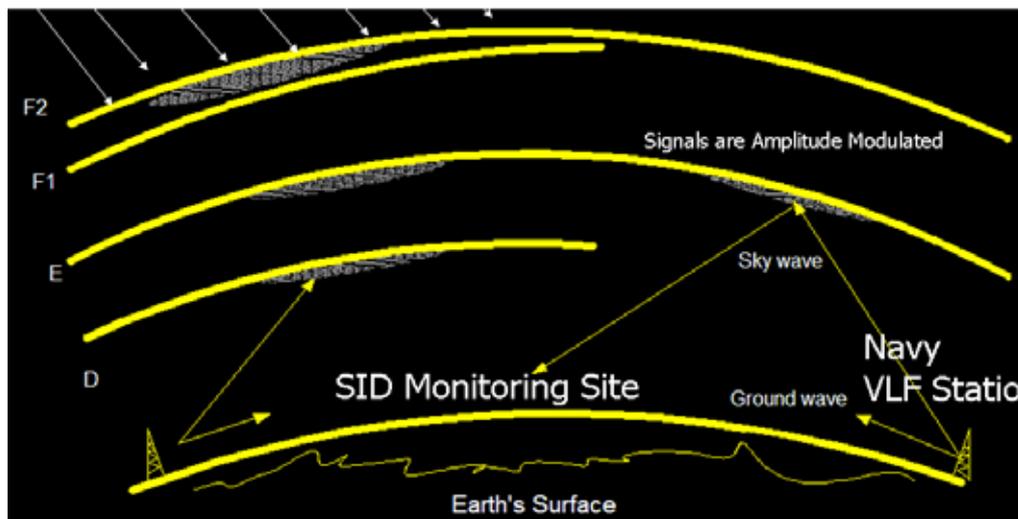
图片版权: Morris Cohen, 斯坦福大学

电离层由三个主要部分组成，由于不明确的历史原因分别被命为 D, E, F 区域。电子密度在上层即 F 区域最高。F 区域在白天和晚上都存在。在白天它被太阳辐射电离，在晚上它被宇宙射线电离。D 区域在夜间消失，E 区域在夜间要比白天弱。



地球的大气层和电离层

**夜间：**在夜晚（下图，右侧），电离层只有 F 和 E 层。一个发射器的较低频波在 E 层的离子反射并弹回地面[发射器发射的甚低频电波在 E 层遇到离子后反射和并弹回地面]。

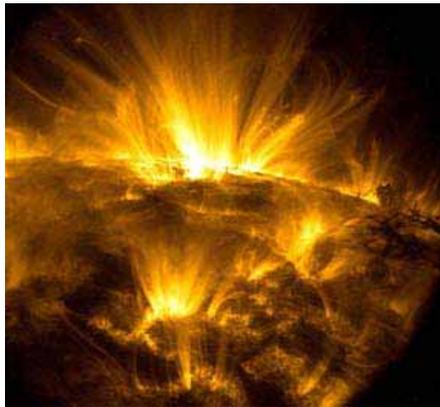


**白天：**在白天（上图，左侧），太阳的 X 射线和紫外线增加了电离层的电离化，产生了 D 层，加强了 E 层，并把 F 层分为两部分。通常 D 层不够稠密，不能反射无线电波。然而，E 层可以，所以甚低频信号穿过 D 层，在 E 层反射，然后返回穿过 D 层到达地面。信号在穿越 D 层的时候损失能量，因此收音机在白天接收到的信号要弱些。当太阳耀斑发生时，D 层在白天也被电离，从而使信号可以被反射。

**日出和日落效应：**甚低频波的反射高度随时间变化不同，白天大约 70 公里，晚上大约 85 公里（44-53 英里）。在日出的时候，太阳光在到达地面之前先抵达电离层，在日落的时候光线也可以继续抵达电离层即使太阳已经落到地平线以下（为什么呢？）。太阳光在电离大气层时所花的时间可以被看作是瞬时的。

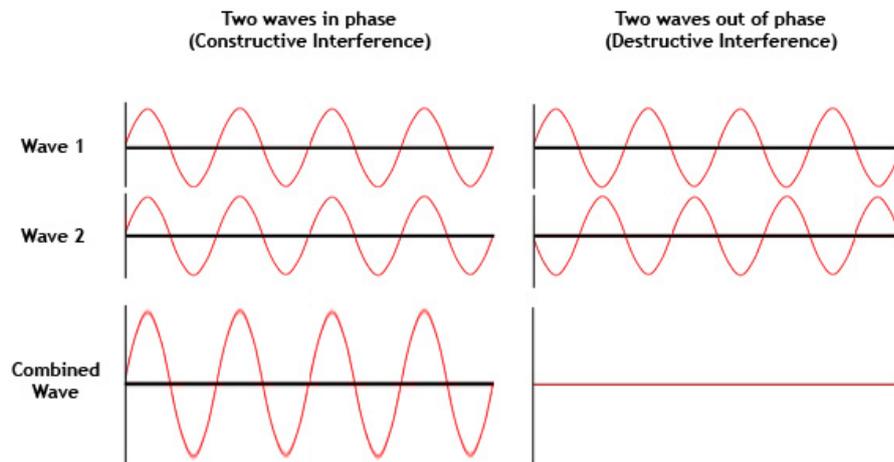
所以在日出和日落时，你们的 SID 监视器收到的信号实际上是甚低频波沿着从发射器到接收器的路径被电离层反射的效果。也就是说，监视器收到的是当阳光扫过发射器和接收器之间路径时这一过程中条件的变化。影响的长度取决于两个地点之间的经度间隔（因为日出/日落的明暗分界线需要更长的时间扫过这段路径）。所以如果你观察的是发射器和接收器间的北/南路径，数据会显示出定义明确的“白天”和“夜间”，而且昼夜转换是很迅速的。而对于在经度上间隔很远的路径，日出/落效应持续的更久并不会显出很快的变化。纬度也是原因之一，因为赤道的白天是等长的，但更高纬度地区的白昼长度却是季节性的。

## 耀斑:



由 TRACE 卫星拍摄的耀斑。照片版权归美国宇航局。

当太阳耀斑发生时，耀斑中的 X 射线会增强所有层的电离程度，包括 D 层。因此这使 D 层变得足够强从而可以在低空反射无限电波。所以在太阳耀斑发生的过程中，电波传播的距离要少些（从 D 层反射而不再从 E 或 F）。因为电波没有因穿过 D 层而损耗能量，信号强度通常会增加。然而，甚低频波的强度在发生耀斑时可增可减。信号可能减弱，是因为电波反射处越低，大气层相对越厚，或者说更多的碰撞或相互干扰。这些电波碰撞可以导致相消性的干扰，正如下图所示：



图像来自新世界网站, <http://newworlds.colorado.edu/starshade/>

事实上，在反射高度附近的碰撞主要是甚低频波的阻尼机制。然而由于其他因素的存在，并不是所有干扰都导致强度减弱。一旦 X 射线结束，电离突扰（SID）就结束了，因为 D 区域中的电子会迅速重新结合，信号强度恢复到正常。

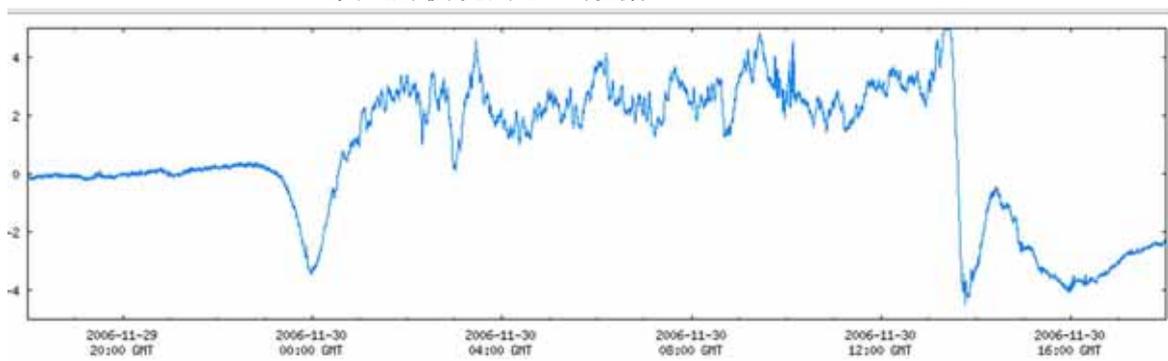
**闪电：**在白天，太阳的电离通常掩盖住了闪电的影响。然而，在夜间雷电可以电离地球的电离层并改变无线电波的反射区域。



照片来自 NOAA 照片馆

如果你在夜间看到了许多波动的数据，那么很可能是无线电波受到了在你和发射器之间某处雷电的影响。通过查看天气预报并比较你和其他地方的数据，有时你可以追踪到雷电的发生地！

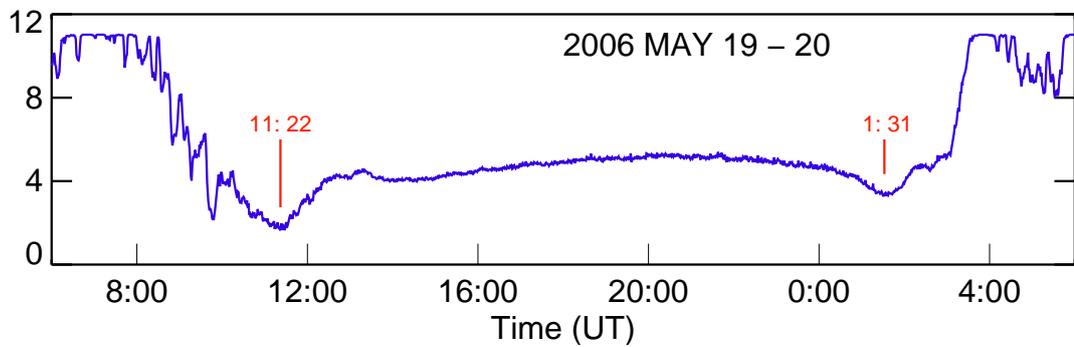
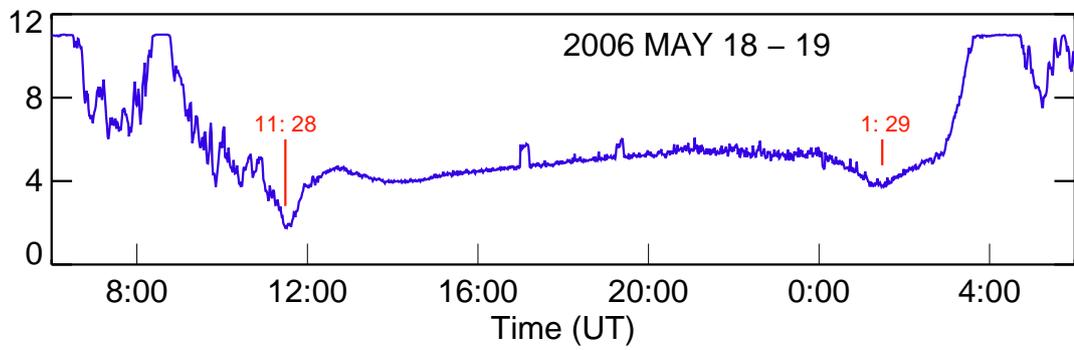
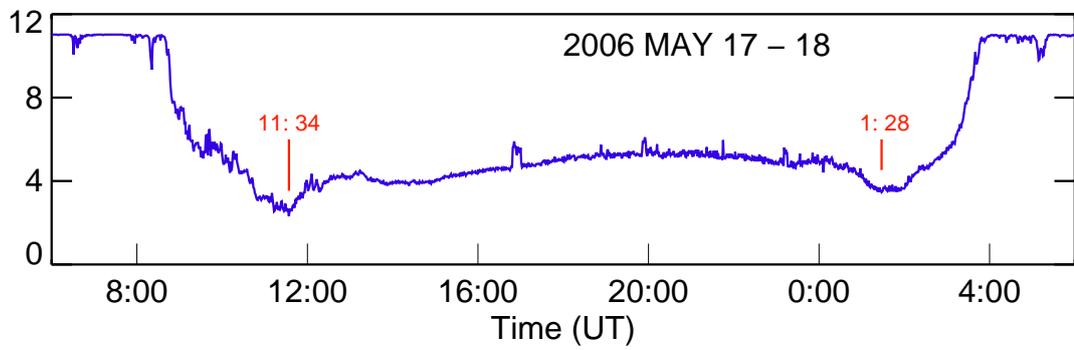
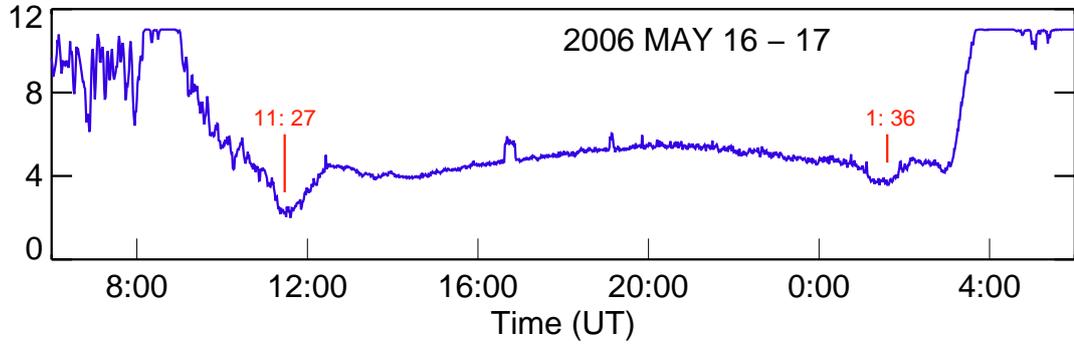
暴风雨夜晚的 SID 数据



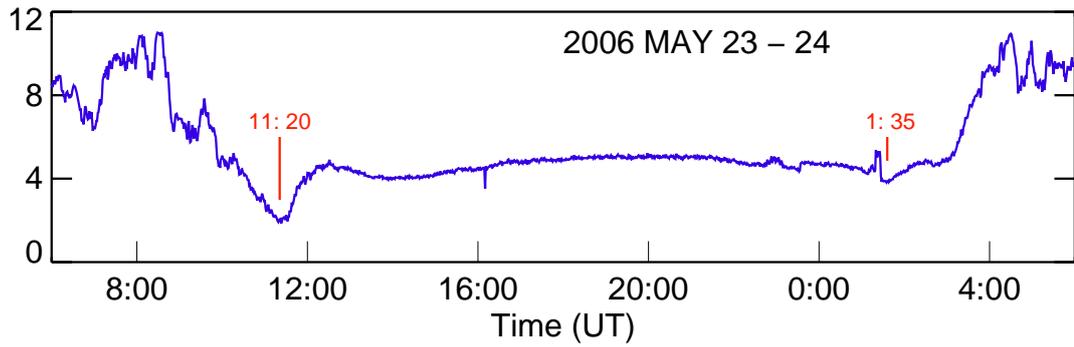
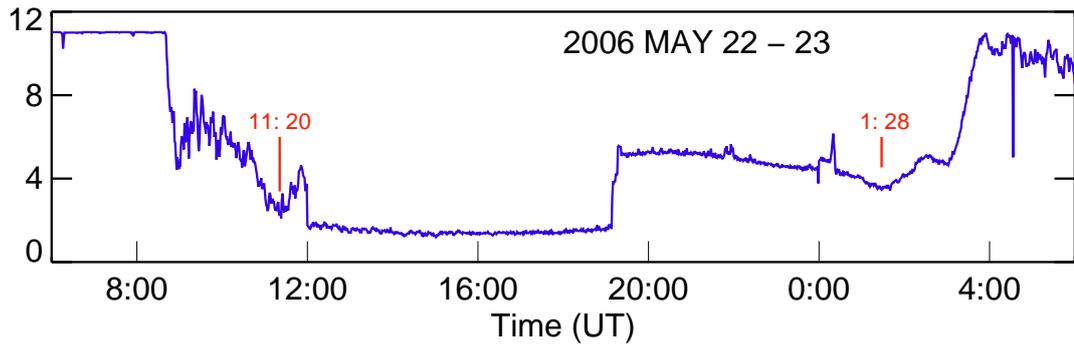
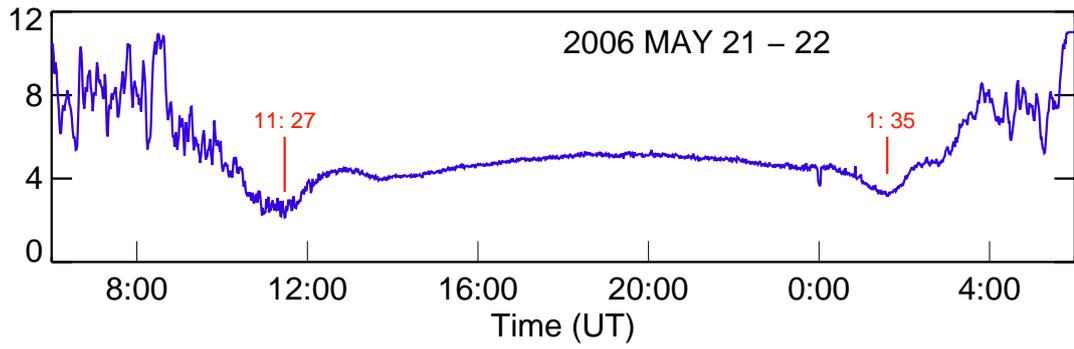
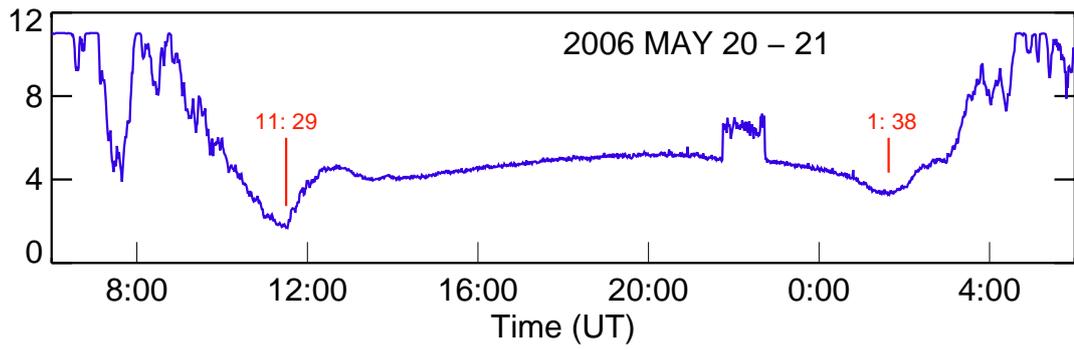
## 数据示例

来自 WSO, Palo Alto, 加利福尼亚州, 美国  
监测发射器位于 NAA, Cutler, 缅因州, 美国

### WSO NAA S-0049-FB-0049



# WSO NAA S-0049-FB-0049



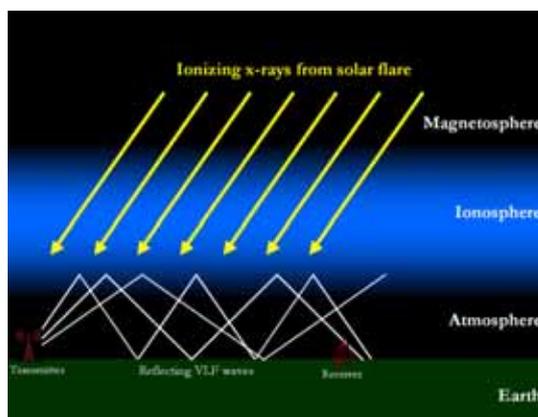


## 电离突扰监测器 追踪太阳耀斑活动

太阳喷涌出一股稳定的 X 射线和远紫外线 (EUV) 辐射。这股能量和宇宙射线一起影响着从我们上方大约 60 公里处的地球电离层。当太阳能量或宇宙射线击中电离层的时候，电子被剥离出原子核。这个过程称作电离，电离层也由此得名。正是电离层中的自由电子对无线电信号的传播起到了重要的影响。超长波长的无线电频率（即甚低频率，“VLF”）因为这些电离层中的自由电子发生反射，使我们方便地越过水平面和绕着地球曲面使用无线电进行通信。接收到的无线电信号的强度因电离的程度和反射甚低频波的电离层区域而不同。



由 TRACE 卫星拍摄的日冕。照片版权归美国宇航局。



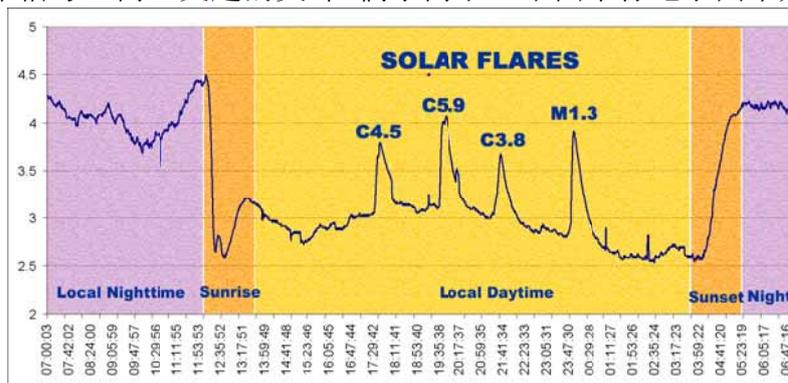
地球电离层和地面形成一个“波导”使得较低频波的无线电信号可以传播或在地球表面反射。  
图片版权: Morris Cohen, 斯坦福大学

电离层有若干层面，它们的海拔高度不同，而且有不同的电离密度。每一层有它自身的性质，而且层面的存在与否和数量每天都因太阳的影响而变化着。在白天，电离层被太阳电离，电离程度很高。在夜间，因为没有太阳导致的电离（太阳已经落到地平线以下），宇宙射线对电离层起主导作用。因此电离程度每天有一个循环。

除了日常的波动，太阳的活动还能导致电离层的剧烈突变。随着一个耀斑，即由巨大磁场活动导致的太阳大气层的强烈爆炸，太阳可以毫无征兆地爆发。这些突然的耀斑产生出大量 X 射线和远紫外 (EUV) 能量，它们以光速到达地球（和其他行星）。当太阳耀斑的能量或其他干扰抵达地球，电离层的电离程度会突然提高，它的层面的密度和位置也将改变。因此术语“电离层突扰” (SID) 既是对我们监测的变化的描述，也是我们的空间天气监测设备的别称。

## 在你的 SID 数据中找到潜在的耀斑

太阳的 SID 数据有点像地震仪的数据。在下面的图中，水平轴代表时间，在这里大约 24 小时。纵轴代表收到的甚低频 (VLF) 信号的强度。(真正重要的并不是实际测量值，而是改变值。)正如你在前面学到的，VLF 信号强度随着地球电离层的电离程度而改变。太阳耀斑在 SID 数据上表现为正常信号上向上突起的尖峰(偶尔向下)。下图中标记了四个太阳耀斑。

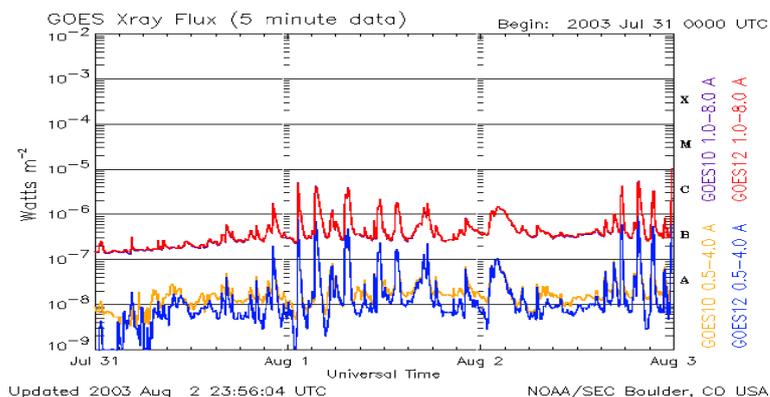


显示耀斑的 SID 数据。颜色和标记是为了表示清晰。

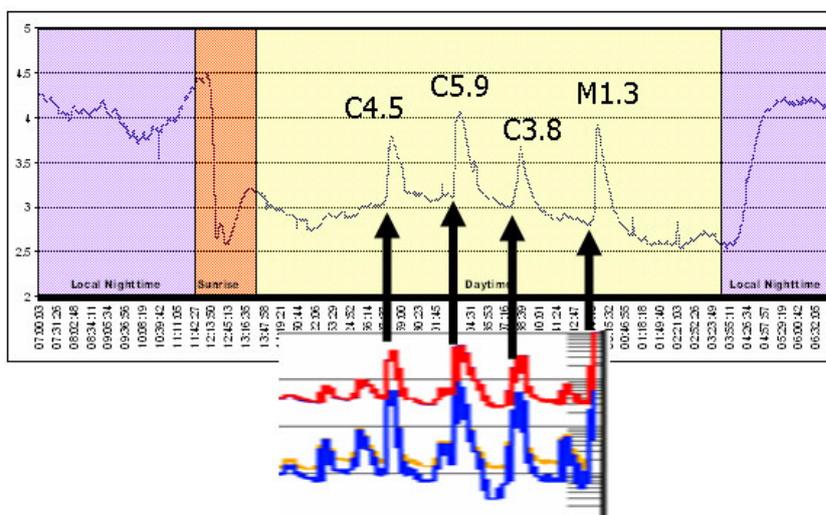
## 查找潜在耀斑，看看它是否也被 GOES 卫星监测到

寻找你的数据中任何大的尖峰(向上或向下)。核对日期和时间(通用时间)。如果你认为你可能现在正看到一个发生的耀斑，或几小时前的，请登录 [http://www.sec.noaa.gov/rt\\_plots/xray\\_5m.html](http://www.sec.noaa.gov/rt_plots/xray_5m.html) 核查。如果你认为你找到了一个前一天的耀斑，请登录 [http://www.lmsal.com/SXT/plot\\_goes.html?goes=Access+GOES+Data](http://www.lmsal.com/SXT/plot_goes.html?goes=Access+GOES+Data) 核查。

尽管这两处数据是来自一个位于赤道上方的地球同步环境观测卫星 (GOES)，但它们的数据和你的会很相似。这些 GOES 图像通常给出的是最近几天的数据(注意是通用时间)。图像每五分钟更新一次，所以如果现在正有一个耀斑发生的话，你可以从图像中看到变化!下面给出了一个 GOES 图像示例。不同的彩线代表来自不同频道和卫星的数据。通常你只需要注意最上面的那条线。



现在你可以比较你的图和 GOES 的那些图，匹配潜在的耀斑：



如果你的数据和 GOES 数据匹配，你很有可能找到了一个耀斑！如果 GOES 数据并没有在你的数据中尖峰的地方突起，你可能观测到了其他的东西。最有可能的是电干扰。

### 找到你的耀斑的强度

如果你的耀斑发生在一天以前，你可以从国家海洋和大气局（NOAA）下属的空间环境中心存有的耀斑表中找到它的强度。这些耀斑像上面提到的一样，也是从 GOES 数据中发现并整理分类的。

<http://www.sec.noaa.gov/ftpmenu/indices/events.html>

在这个网站上，点击你认为你找到的耀斑的日期（通用时间）。（如果你需要前一年的表，点击“To parent directory”链接。）你会发现一个和下面类似的页面：

```

:产品: 20050831events.txt
:创建于: 2005 年 9 月 1 日, 2102, 通用时间
:日期: 2005 08 31
# 由美国商务部, NOAA, 空间环境中心准备。
# 请将观点和建议发往 SEC.Webmaster@noaa.gov
#
# 缺失数据: ///
#.每 30 分钟更新
#
#                               编辑事件 2005 年 8 月 31 日
#
# 事件 开始 最大值 结束 观测 类型 地点/频率 细节 区域
# 编号
#-----
7520 + 0018 0023 003 G12 5 XRA 1-8A B1.6 1.3E-04
0806
7520 0024 0024 0024 G12 5 XFL S18E35 5.0E+01 8.4E+01
0806

7530 + 0052 0110 0123 G12 5 XRA 1-8A B5.0 5.9E-04
0806
7530 0055 0111 0122 G12 5 XFL S18E34 8.5E+02 2.1E+03
0806

7540 0155 0156 0156 PAL G RBR 410 480 ....

```

### GOES 条目示例 (加亮)

首先, 核对第三行给出的“日期”是你想要的日期。(不要被“创建”日期迷惑。) 你唯一需要另加关注的是**类型**, **细节**和**区域编号**三列。(如果你想了解报告中的所有内容, 请阅读 <http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/indices/events/README>。)

**类型:** 有关事件被分类的类型。太阳耀斑被标记为 **XRA**。你可以忽略其他没有 **XRA** 的行。

**细节:** 它告诉我们 GOES 探测到的耀斑强度。为了理解它, 你需要了解太阳耀斑是如何分类的:

**B 级耀斑:** 这些是最小的耀斑, 经常发生。SID 不够敏感, 因此观测不到它们。

**C 级耀斑:** 这些是次强的耀斑, 尽管它们经常也很小。一般 SID 可以探测到类别在 C2.0 和以上的耀斑。

**M 级耀斑:** 更大但更少发生。这些耀斑在你的 SID 图像上应该非常明显。

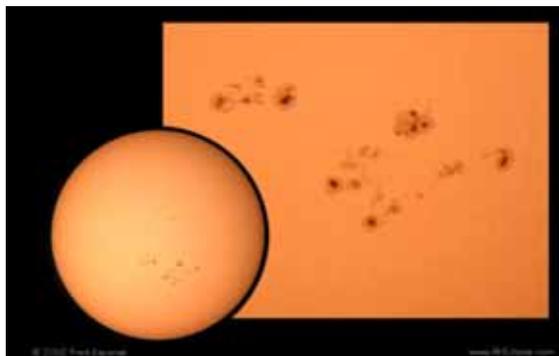
**X 级耀斑:** 这些耀斑都很巨大, 很容易探测到。如果正对着地球, 他们可能导致对通信, 无线电和电网的巨大破坏。有些 X 级耀斑过于强大, 以至于 SID 无法处理, 它们的顶端会冲出图表, 造成一个平定曲线效应。

耀斑等级后面给出数字是强度的度量，例如 B1.6 或 C8.3。这些数字意义与里氏震级相似—是一个以 10 为底的对数值，其中每增加一个整数代表能量增加了 10 倍。

**区域编号：**这一列告诉你哪一块太阳区域产生了耀斑。你将在下一部分的活动用这个数字。

## 在太阳上追踪你的耀斑

活动区域是指太阳可视表面上具有复杂结构的，包含强磁场的区域，通常处于不停的变化和流动中。活动区域常和太阳黑子有关。他们通常是你所观测到的耀斑的来源。

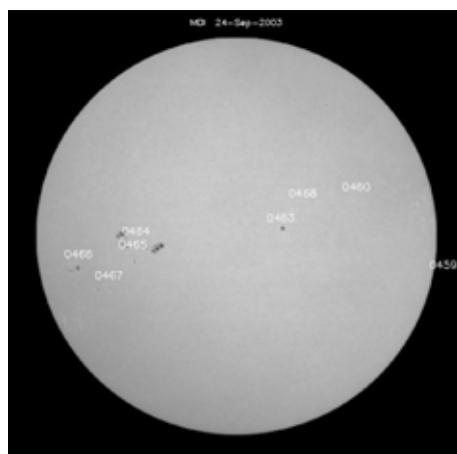


太阳的活动区域

根据他们在圆盘上位置，科学家给活动区域用连续数字作了标记。如果你观测到了一个耀斑，想知道它来自太阳的哪个位置，请参看上面 GOES 目录中的区域编号。然后，使用耀斑的时间和区域编号，你可以看到这个活动区域在太阳上面的图像！请登录

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>并点击右上角的“sunspot”。

当天太阳的活动区域就会呈现出来。（如果圆盘是空白的，表明那天没有活动区域。）如果你需要核查前些天的图像，点击页面下方的“List of all available daily images”。



标有太阳活动区域的图片示例。  
图像版权属于 SOHO 飞船上的 MDI 仪器。

## 缺失的耀斑？

有时你的耀斑会在 GOES 数据上显示，但是并没有出现在目录中。GOES 数据是通过手工分类的，经常耀斑会被漏掉，或者由于某种原因没有添加到目录中。如果你在你的 SID 数据和 GOES 图像中找到了耀斑图样，但它们并没有列在 GOES 目录中，那么你可能找到了被 GOES 分类员漏掉或忽视的耀斑。如果你确实找到了一个出现在 GOES 数据里但没有在目录中的耀斑，你可以联系 GOES 人员来了解遗失的原因。请登录 GOES 网站查询联系方式。

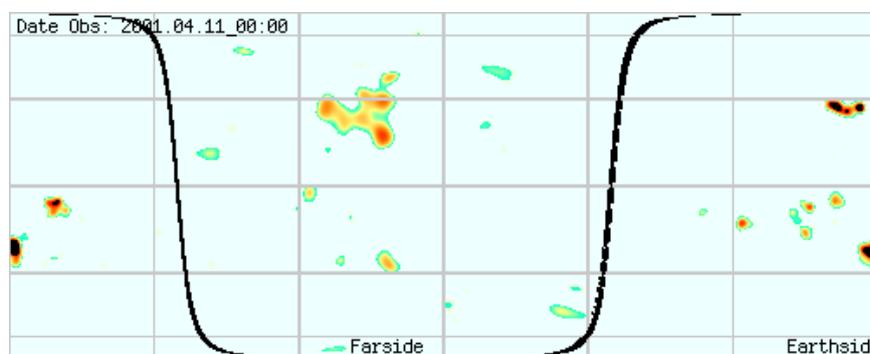
记住 GOES 卫星是用来探测由太阳发射出的耀斑的。你的 SID 监测器是用来监测这些耀斑导致的地球电离层变化。所以尽管你的监测器和卫星追踪的是不同的效应，它们是基于相同的现象的。

## 学习耀斑活动区域的历史

从 <http://sohowww.nascom.nasa.gov/> 开始，点击“Sunspots”，你可以追踪你的耀斑活动区域的历史。使用页面底部的“List of all available daily images”链接，*往回寻找，直到找到耀斑刚刚出现的区域*。如果区域从太阳最东面出现（左边），那么你可以在太阳的背地面，或背面查找。你可以在下面地址找到图像：

**[http://soi.stanford.edu/data/full\\_farside/](http://soi.stanford.edu/data/full_farside/)**

要读懂这些图像需要花些时间，但是网页会给你一些帮助。当你发现你的活动区域有可能是第一次出现时，或许在太阳背面，所有努力都是值得的。



太阳图像，包括正对地球面和背地面。  
图像版权归 Phil Scherrer，斯坦福大学

墨卡托投影，与下面的地球图像类似：



图像来自 <http://www.world-atlas.us/>

姓名: \_\_\_\_\_

## 太阳耀斑追踪表

对每个追踪的耀斑使用一张表

1. 填写潜在 SID 耀斑的通用时间日期、时间和监测器，地点和发射器：

耀斑日期 (通用时间)	耀斑时间 (通用时间)	
监测器 ID	监测器地点	发射器

2. 比较你的图像和 GOES 数据，检测下列项：

\_\_\_\_\_ 我的耀斑是在最近几天发生的，我在下列地址找到了它：

[http://www.sec.noaa.gov/rt\\_plots/xray\\_5m.html](http://www.sec.noaa.gov/rt_plots/xray_5m.html)

\_\_\_\_\_ 我的耀斑是在前些天发生的，我在下列地址找到了它：

[http://www.lmsal.com/SXT/plot\\_goes.html?goes=Access+GOES+Data](http://www.lmsal.com/SXT/plot_goes.html?goes=Access+GOES+Data)

\_\_\_\_\_ 我没有在 GOES 数据中找到我的耀斑

*如果你的数据给出了 GOES 数据没有的数据，你很有可能找到的是电干扰或其他事件。没有必要再填这个表了。*

3. 观察你的耀斑在 GOES 中的图像，估计它的大概强度。（使用图像中最上面的那条线，找到你的耀斑的峰值并读出图右边的标记。）

看起来我的耀斑是\_\_\_\_\_级耀斑。

C / M / X

4. 核对 GOES 耀斑目录（表）来保证你的耀斑被分类了并决定你的耀斑的实际强度。（一天以内的耀斑不会在表中。）

<http://www.sec.noaa.gov/ftpmenu/indices/events.html>

找到 Type=XRA ，“细节”列会告诉你强度。

（如果你需要前一年的数据表，使用“To parent directory”链接。）

\_\_\_\_\_ 我的耀斑出现在 GOES 分类中，强度是

\_\_\_\_\_ (e.g. C4.2, X7) (例, C4.2,X7)

\_\_\_\_\_ 我的耀斑没有出现在 GOES 分类中（尽管有时它出现在第二步中的 GOES 数据图中）（有时确实会发生这样的情况）

5. 在上面 GOES 分类中，找出你的耀斑发出的太阳活动区域数字（在“Reg#”中）：

我的耀斑是从这个太阳活动区域中发出的： \_\_\_\_\_

6. 现在寻找那个活动区域在太阳上的图像:

前往 <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

点击右上角的“Sunspots”。

我这个网站找到了我的耀斑活动区域图像:

[http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/synoptic/sunspots\\_earth/](http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/synoptic/sunspots_earth/)\_\_\_\_\_

7. 找到你的活动区域第一次在太阳上出现的时候。与上面的 SOHO 网址核对以前的图像。如果图像显示你的活动区域从太阳的东边出现(最左侧),那么检查背地面的图像:

[http://soi.stanford.edu/data/full\\_farside/](http://soi.stanford.edu/data/full_farside/)

导致我的耀斑的活动区域第一次出现在太阳上是在:

\_\_\_\_\_ (日期, 通用时间)

## 对进一步研究活动和计划的建议

学生如果想要比较其他 SID 观测点得到的数据，可以查看网站  
<http://sid.stanford.edu/database-browser/>

### 日出日落数据的进一步分析

日出和日落的信号图像通常有一个不寻常的形状。这些形状在不同的监测器或者观测点下是一致的吗？它们会随经度和纬度的不同而变化吗？它们会随季节变化吗？天气状况或者雷暴会对信号图像产生影响吗？还有什么其他的因素可能会影响信号图像？

通过观察接受地和发射地日出的不同之处，你能判断电离层的高度吗？

在一年之中，长度，也就是日出/日落信号的时间长度，会有所变化吗？在你的站点是什么样的？在其它站点呢？长度会因为不同的监测器，发射器，纬度，经度或者季节而发生变化吗？如果在一天中有大型的太阳活动，日落的信号图像会有所不同吗？

日出和日落信号图像的高低起伏都对应于不同的电离活动。图像中的第一次下降发生在实际日出前多久？那是什么引起的呢？日出和日落的信号图像相同吗？如果不是，为什么？其它站点的监测器有什么情况？这些都是很难的问题。探索这些问题首先需要你对电离层有一个深入的了解。

如果你收集了数据并且认为你已经得到了一些问题的答案，那么试试看你能否预测在一年的不同时间里，日出和日落将对你的监测图样有什么影响。再考虑一个距离较远的 SID 监测器，或是一个正在跟踪不同频率的监测器又会有怎样的情况？能否准确预测事件是对你的发现（理论或理解）是否正确的一个很好的检验。



地球上的日出 图片来源：NASA

## 纬度不同会影响电离层对耀斑的反应吗？如果是，那是以怎样的方式呢？

学生可以尝试去比较世界上用不同的监测器得到的太阳耀斑的信号，这样就可以发现纬度是否会影响信号，从而进一步影响电离层对耀斑的反应。互相比一下从已知的太阳活动中得到的图表，再同由 GOES 卫星得到的数据进行对比。你需要调整时间点来使不同的图像组合起来进行对比。想要了解 GOES 卫星探测出的已知耀斑活动，查看网站：

<http://www.sec.noaa.gov/ftpmenu/indices/events.html>

当你在比较数据时，要记住不同的监测器之间在校准时会有微小的差别，因此可以将这些数据的值都转换到-5 到 5，或者-2 到 4 之间。在这里重要的不是这些数据的绝对值，而是在给定基线下变化的大小。学生们可以把他们的数据规范化，或者转换到一个相同的基线下。例如，他们可以把所有数据都等比率转换到 0 和 1 之间。不同站点的计算机时钟也可能会有区别。在匹配耀斑活动的图像时，要考虑到这个因素。

学生可以先比较由多个纬度的监测器所探测到的电离层突扰事件。这些事件的反应信号在图表上的形状相同吗？时间呢？反应长度呢？依赖于被跟踪的发射器，这些反应信号又是如何不同的？你的数据与 GOES 数据比较有什么区别？

## 不明事件？

如果你发现了不明信号，那可能是你的学生接收到了从某个地方传出来的电干扰或是其它东西。很可能这是地方性扰动，比如由于附近的某个人打开了某台机器所产生的。如果这种扰动是有规律的且具有周期性，那么它很有可能是电干扰。

如果一些其它站点也找到的这样的事件，那么它可能是由一次发生在发射器和接收器之间某个地方的雷暴所引起的。也有可能他们接收到的是一次伽玛射线爆发。或者它可能与一次强烈的地磁极活动有关。也许我们应该检查一下粒子的宇宙射线监测器或者日冕物质抛射冲击效应的地磁指数。

为了跟踪到这些，让学生们把他们的地方性数据与其它站点的数据进行比较，既要比较跟踪同一个发射器的数据，又要比较不同发射器的。有些站点显示出了这次事件而有些则没有，学生能从中发现什么？他们能够用“三角法”得出可能造成这次扰动的电磁源吗？注意，不明事件也有可能是在夜间发生，而不仅仅是在白天。

## 电离层突扰天线

“天线”，用一个朋友的话说，“是一个很玄妙的东西。” SID 使用手册介绍了怎样建造一个双环天线，其中一个环的半径是另一个的两倍。但是大小、形状、原料和电线的选取都是没有限制的。这是为什

么？对于一个 SID 天线和一个 AWESOME 天线，什么是最佳的设计和型号？有哪些东西是要权衡的？什么样的材料是可以用的？什么样的材料是要避免使用的？大部分问题的答案现在还不能清楚地知道。如果你有一些优秀的学生对这一富有挑战性的工作有兴趣，他们可以自己对天线的设计进行实验。开始时可以去阅读 *Antenna Basics*(<http://www.electronics-tutorials.com/antennas/antenna-basics.htm>), *Loop Antennas* (<http://www.frontiernet.net/~jadale/Loop.htm>) 以及我们关于天线的网页(<http://sid.stanford.edu/SID/educators/antennas.html>)。

## 闪电现象和夜间活动



闪电 阿兰·莫勒拍摄

就像你的学生知道的那样，太阳活动只在白天影响电离层。但是很多现象，例如雷雨，？和哨声波，都在夜间对电离层有剧烈的影响，而这时候太阳的影响已经不能把它们淹没。斯坦福的 STAR Laboratory（星辰实验室） - VLF Group（无线电小组）(<http://www-star.stanford.edu/~vlf/>) 研究了地球的电环境，闪电放电，放射带和电离层。AWESOME 仪器的数据是宽波段的，而且要比 SID 仪器的数据灵敏精确的多，因此它对夜间电离层的研究更有用。

通过与其它站点的数据进行比较，你的学生能识别出接收到的雷雨吗？运用气象资料，你的学生能确定这些风暴的发生地点吗？如果一次风暴可以被记录下来，那它需要与站点和发射器的直线路径有多近的距离？这里有些网站可以帮助学生开始：

[http://www.vlf.it/Thierry/waveguide\\_propagation.html](http://www.vlf.it/Thierry/waveguide_propagation.html)

（介绍了波导是怎样工作的）

[http://www.vlf.it/storm\\_monitor/stormmonitor.htm](http://www.vlf.it/storm_monitor/stormmonitor.htm)

（说明了怎样建立一个特殊的电路来监控闪电）

<http://www.vlf.it/parmigiani-frozen/frlight.htm>（关于超级闪电）。

## 伽马射线的活动



伽马射线爆发 图像来源: NASA/SkyWorks Digital

伽马射线爆发（详情查看

[http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know\\_11/bursts.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_11/bursts.html)），是短时的伽马射线光子的爆发，是一种最具能量的电磁辐射形式。有些伽马射线的爆发被认为与来自巨大恒星死亡并可以产生黑洞的超新星有关；或由中子星合并产生；又或者是由一个超磁化中子星在星震时所放射出来的。无论在什么地方，伽马射线爆发仅持续几毫秒至几分钟，它的光亮程度要比一个典型的超新明星亮几百倍，是太阳亮度的大约  $10^{18}$  倍。

伽马射线爆发是罕见的自发现象。我们并不期望学生们单凭他们的监测器来等待这些事情的发生。然而，如果你的学生接收到了一个重大的而且无法解释的电离层变化，那他们也许是探测到了一次伽马射线爆发。查看这个网站：<http://grb.sonoma.edu/>（伽马射线爆发实时天象），核对当前的和已知的伽马射线爆发列表。有关 SID 监测器能否捕捉到伽马射线活动的研究现在还很少。有可能你的学生将会是第一个发现这个结果的人！

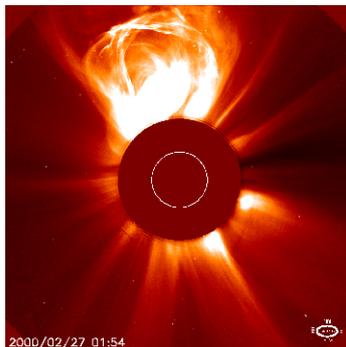
巨大的伽马射线爆发会对较低位置的电离层产生很大的影响，因此科学家们通过观察和测量电离层对爆发的反应和爆发后的复原来研究上层大气区域的动力学。类 AWESOME 监测器曾经探测到的一次伽马射线活动，完整的记录可以在这个网站找到

<http://news-service.stanford.edu/news/2006/march1/ainansr-030106.html>

（来自恒星的大的伽马射线爆发干扰地球的电离层。）

最近地球伽玛射线闪光（TGF）的发现在有关雷电的物理过程的性质方面提出了广泛的问题，特别是那些产生了超强电场和能够导致伽马射线喷射的高相对论性电子的闪电现象。这些 TGF 的能量级可以与强大的宇宙源，例如黑洞和坍缩星的能量级相匹敌，只不过他们是起源于我们自己的大气层。大多数 TGF 都与单独的雷击现象有密切的联系。然而，产生 TGF 的物理过程的性质现在还不清楚。我们不知道 SID 监测器是否能够探测到这些高能量的局部传播。你的学生有兴趣找出答案吗？

## 日冕物质抛射对地球电离层的影响



日冕物质抛射在太阳上爆发。  
图片来源: LASCO/SOHO.

日冕物质抛射 (CMEs) 是指从太阳上偶尔排出的巨大的高温等离子云。一个 CME 可以加速离子和电子, 并且穿过行星间的空间到达行星。这些 CME 对地球的大气圈和磁气圈有很重要的影响。除了可以引发美丽的极光以外, 这些太阳风暴还会损害人造卫星, 破坏电网和电力系统, 干扰通信, 以及扰乱动物活动。它们产生的辐射甚至还会威胁到宇航员和在高空飞行的飞机。这些活动事件都是空间天气的一部分, 是太阳对地球及其他行星的影响。想要学习更多有关宇宙气象的知识, 查看网站: <http://solar-center.stanford.edu/solar-weather/>。

CME 对地球的影响表现最为明显的就是它对地球磁场的破坏, 这可以通过一个磁力计很好的检测到。然而, CME 对电离层是否有重大的可探测的冲击现在还不清楚。就算有, 我们也不知道 SID 和 AWESOME 监测器能否监测到这些活动。你们可以从这个网站开始了解 CME: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/CMEs.shtml>

LASCO 仪器 (<http://lasco-www.nrl.navy.mil/>) 可以在 SOHO 宇宙飞船上对 CME 进行跟踪并作出图像。可能你的学生想要搜索 SID 数据来确定 CME 是否对电离层有可测量的冲击并且可以用监测器来跟踪。他们可以先去查看 CME 冲击效应的地磁指数。

## 对大地震的电离层预报器

关于大地震是否与电离层的变化有关这一方面有一些引人入胜的研究。Friedemann Freund 写过一篇很好的概述, 《预测地震》, 出自《经济学家》, 2005 年 12 月 14 日。



伊朗地震 BBC 图像

在实验室里，岩石的晶体结构在被压碎时会产生电磁场。这个理论是说，地球上这样的相似事件会影响到电离层，从而成为大地震的先兆。这个研究现在还是有争议的，而且即使有影响，可能也是很微小的以至于没法用 SID 仪器来探测。

然而，至少有一个科研组声称，他们找到了与 2004 年 12 月份发生的那场破坏性的地震海啸有关的不寻常的日落信号图像。这篇论文是 “*Unusual Sunset Terminator behavior of VLF signals at 17kHz during the Earthquake episode of Dec., 2004*”

([http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA05/pdf/EP.18\(01596\).pdf](http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA05/pdf/EP.18(01596).pdf))。他们发现日落信号被推迟了 9 分钟，这是一个重大的变化。有人可能会认为，如果一个监测器能够接收到这些异常，那么这个大地震的震心应该位于从发射器到接收器的连线上或者连线附近。然而，这些研究人员和发射器都是在印度，远离震心。

如果你的学生对探索 SID 信息与重要地震的关系这方面有兴趣，这里有一些额外的参考资料，他们可以从这里开始着手。要注意的是，这一类的信息很少为学生写的，因此，他们要读懂这些论文可能会有难度：

- Fraser-Smith, A. C., A. Bernardi, P. R. McGill, M. E. Ladd, R. A. Helliwell, and O. G. Villard, Jr., "Low-Frequency Magnetic Field Measurements near the Epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta Earthquake," *Geophys. Res. Letters*, 17,1465-1468, 1990  
里式7.1级 Loma Prieta 地震震中附近低频电磁场的变化
- Hayakawa, M, O.A. Molchanov, T. Ondoh, & E. Kawai, Precursory signature of the Kobe earthquake on VLF subionospheric signal. *J Atmos Electr*, 16, p. 247, 1996.  
神户地震的次电离层前兆
- Molchanov, O. A., and M. Hayakawa, "Subionospheric VLF signal perturbations possibly related to earthquakes," *J. Geophys. Res.*, vol. 103, p. 17 489, 1998.  
次电离层甚低频信号干扰与地震可能有联系
- Chakrabarti, S K, M Saha, R Khan, S Mandal, K Acharyya, R Saha. Unusual sunset terminator behavior of VLF signals at 17 kHz during the Earthquake episode of Dec. 2004. URSI General Assembly, 2005.  
2004年12月的地震时17kHz波段的特殊甚低频日落信号

如果你的学生想继续追踪这一类的东西，你一定要让他们清楚地明白这个目前还是一个很新的富有挑战性的试验性研究，他们的 **SID** 或者 **AWESOME** 监测器可能不够灵敏而接收不到这些变化，以至于他们可能得不到好的结果。但另一方面，他们也可能会有大的发现。

## 流星雨？

有没有较低频信号与流星雨或者大流星有关？目前为止，答案基本上是没有。但你的学生可能会想作进一步的研究。他们可以看一看这个网站：<http://www.vlf.it/leonids/leonids.htm>

## 在一个日全食期间，甚低频信号图像会发生什么变化？

日食的路径一定要在相对于发射器和接收器的什么位置？先看看这个网站：<http://www.vlf.it/eclipse99/eclipse.htm>。你的学生对使用 **SID** 监测器来跟踪一个即将到来的日食有兴趣吗？如果有，我们可以在地球较北部地区放置一些监测器来跟踪 2008 年 8 月 1 日的日食。如果他们对接收数据有兴趣，让他们联系我们([sid@sun.stanford.edu](mailto:sid@sun.stanford.edu))。

## 电干扰

干扰通常会使 **SID** 的数据出问题。你的学生能够做一些调查和试验来理解什么类型的装置可能会引起电干扰吗？还有，你的 **SID** 监测器需要离开这些装置多远的距离才能避免？可以先查看网站

<http://www.vlf.it/localsignals/localsignals.html> 或者 <http://www.vlf.it/nrs/nrs.htm>



## 术语表

**埃, 长度单位(Angstrom, unit of length):** 常用于表达电磁辐射的波长的一个小的长度单位。1 埃= $10^{-10}$  米。

**背地面(Farside):** 在太阳上距离地球较远的、在给定的时刻无法被地球上的观察者直接观测到的那半部分。参加向地面 (Earthside)。

**赤道(Equator):** 在球体表面位于两极正中间, 或者说是与地轴垂直、位于南北中间的一个圆圈。对于地球和太阳来讲, 赤道就定义为纬度为零度的区域。

**赤道面(Equatorial plane):** 一个想象中的, 与球体赤道相重合的无限平面, 该球体可能是地球、太阳、其他行星、月球或者恒星。

**磁场(Magnetic field):** 由于电荷的加速运动而产生的电磁力场, 例如在电磁石中、在地球的铁核区以及在太阳等离子区的磁场。

**磁力图(Magnetogram, M-gram):** 显示太阳光球层的强磁力区及其极性 (N 或 S 极) 的地图。磁力图来源于对太阳磁场内部气体所发射出来的光的偏振的测量。

**磁气圈(Magnetosphere):** 由地球、太阳或其他具有磁场的行星或卫星所产生的总磁场。

**等角纬度(Conformal latitude):** 在一个球面的正交投影地图中, 距赤道越远, 水平距离 (东西向) 越伸展。等角纬度是指将南北向的距离和东西向的距离以同样比例度量所得到的纬度。

**等离子(Plasma):** 固态、液态、气态之外的“第四物态”。等离子是原子受高温或高能电磁辐射影响, 或因其与高能粒子相互作用而被电离的气体。等离子是带电荷的, 磁场对其有显著影响。

**地磁暴(Geomagnetic storm):** 由日冕物质抛射引起的地表磁场的扰动。地磁暴可使导体中产生感应电流。人们已经了解到, 地磁暴会使输电网络超负荷, 并且会损坏输油管道。

**电磁辐射(Electromagnetic radiation):** 由电磁波构成的各种辐射。根据电磁辐射的波长可划分为可见光, X 射线, 紫外线, 红外线, 微波和无线电波。

**电离层(Ionosphere):** 位于地球大气层上部, 由不同层的被太阳紫外线辐射所电离的气体组成。

**多普勒效应(Doppler Effect):** 由于波源和观察者相对速度的差异而引起的一种音调或频率发生变化的波现象, 如声波和光波等。

**伽玛辐射(Gamma radiation):** 能量最强、波长最短的电磁辐射。

**格林威治时间 (Greenwich Mean Time, GMT) :** GMT 是全球标准时间, 它基于本初子午线上英国格林威治的时间(事实上, 格林威治这个城市定义了作为地球经度参照的本初子午线)。UT 是天文学家所使用的世界时间, 为了实际应用的方便它和 GMT 相等。

**光球层(Photosphere):** 由可见光组成的太阳的可见“表面”。它的字面含义即是“由光组成的球”。

**黑子相对数(Relative Sunspot Number):** 通过观测太阳黑子和太阳黑子群来计算和报告太阳每天的总体磁活动的一种传统方法。计算黑子相对数的公式为  $R = k(10g + s)$ , 其中  $g$  是太阳黑斑群的数量,  $s$  是单独的太阳黑子的数量,  $k$  是一个依赖于用于观测太阳黑子的望远镜的大小/性能和观测条件的变量。

**横向运动(Lateral motion):** 被观测物体的总运动中的侧向运动部分。如果物体是直接朝向或背离观测者运动, 那么该物体没有横向运动(此时观测不到侧向运动); 该物体的全部运动都是沿着视线方向的纵向运动。

**活动区(Active region):** 位于太阳光球层和大气层, 具有持续增强的、剧烈的电磁活动的区域。位于太阳光球层的活动区常以太阳黑子为特征; 位于太阳光球层之上的大气层的活动区则在紫外线和 X 射线图象中显示有过热气体和电磁结构的存在。

**极光(Aurora):** 北极光和南极光; 发源于两极地区的高层大气, 由地球磁气圈活跃的等离子体和电离层被电离的气体之间的碰撞和相互作用而产生。

**假彩色(False color):** 为了人为的突出, 或是使图象或数据集合中的数据在数量或质量上的可见度更显著而选定的颜色。在太阳成像中一定要人为的上色, 比如 X 射线或是太阳的紫外线图象, 这是因为这些形式的光是不可见光, 因而自身是没有颜色的。

**伽利略(Galileo Galilei):** 文艺复兴时期的天文学家。他被公认为在 1610 年, 在人类历史上首次利用望远镜观测天体。在其他观测中, 伽利略记录并追踪了太阳黑子, 并首次由观测到的证据提出, 太阳黑子是太阳表面的特征。

**角速度(Angular velocity):** 物体旋转的速度, 通常指每单位时间内转过的度数(例如, 每分钟转过的度数, 每天转过的度数等)。

**近地面(Earthside):** 在任何时刻都能被地球上的观察者直接观测到的那半部分太阳表面。参见背地面(Farside)。

**经度(Longitude):** 沿着球面、在子午线和基准子午线之间沿东西方向度量出的角距离。

**卡尔文温标(Kelvin, temperature scale):** 以绝对零度作为零度的温度。绝对零度是可能存在的最低的温度, 在该温度下一切原子和分子的运动都会停止。0 卡尔文 = -273 摄氏度。

**卡林顿坐标(Carrington coordinates):** 太阳光球层的纬度/经度系统, 其中经度的子午线随太阳的旋转而旋转, 这与地球系统中的纬度/经度随地球而自转, 以便建立对于地面上固定的物体来说是稳定不变的地理坐标是类似的。

**空间天气(Space weather):** 在地球大气层和磁器圈之外的电磁辐射和粒子流动的情况, 主要由太阳活动引起, 包括太阳风以及其中由日冕物质抛射所引起扰动, 耀斑以及冕洞。

**亮度图象(Intensity-gram, I-gram):** 由测量来自同一物体不同部位的光的强度(或亮度)的差异而形成的图象。这是“照片”的另一种比较酷的说法。

**冕洞(Coronal hole):** 位于日冕的一个区域, 在该区域磁场线延伸到太空, 使得太阳大气的等离子体能够逃逸。冕洞在远紫外区和 X 射线图象中是颜色较深的区域, 这是因为这些电磁开放区和“无拘束”区相对于电磁活动区和封闭区而言, 受热较少。

**内动(Intrinsic motion):** 一个被观测物体的实际运动, 和因观测者的运动而被感觉到的物体运动相对。

**偏振(Polarization):** 在电磁辐射中,大部分光波朝向同一方向“排列”,即偏振。引起光的偏振的原因有很多,包括光的反射、光穿过某些透明物质、经过偏振片等。当光发射出的原子或分子受磁场影响朝向同一方向旋转时也会发生偏振。

**日冕(Corona):** 位于太阳色球层之上的太阳大气层的部分,并向太空中延展了很长的距离。

**日面的(Heliographic):** 和太阳“地理”有关的,通常和太阳上经纬度系统相关。

**日冕物质抛射(Coronal mass ejection):** 从太阳爆发的炙热的等离子体和磁场,常包含大量的运动速度高达百万英里以上的物质(多为氢离子和电子)。

**日震学(Helioseismology):** 通过观测由穿过太阳的震波或声波引起的多普勒效应,推断太阳内部结构和环境的新兴科学。

**色球(Chromosphere):** 位于太阳光球层上方的太阳大气层中紧挨太阳光球层的部分。色球的字面解释即为有颜色的球。

**世界时间(Universal Time, UT):** 见格林威治时间。

**斯托尼赫斯特圆盘(Stonyhurst Disks):** 在一年之中的不同时间,在地球上以不同视角观测太阳所绘制的一系列纬度/经度坐标网。斯托尼赫斯特圆盘用于度量太阳黑子和太阳活动区的经纬度。

**太阳边缘(Limb, solar):** 观测者所看到的太阳圆盘的“边缘”。太阳边缘标记了太阳向地面和背地面之间的分界线。

**太阳风(Solar wind):** 从太阳发射出来的太阳等离子体和电磁场的恒流。尽管非常稀薄,流过地球的太阳风的速度不低于 200 至 400 公里每秒。

**太阳黑子(Sunspot):** 受太阳内部产生的强磁场影响而被冷却的太阳光球层上的区域。典型的太阳黑子的温度为 3000 到 4000 摄氏度左右,而太阳光球层的平均温度为 6000 摄氏度。

**太阳黑子群(Sunspot group):** 位于太阳光球层上的和同一电磁扰动有关的一系列太阳黑子。位于同一纬度、并且彼此经度相差不超过 10 度的一群太阳黑子就被认为属于同一太阳黑子群。

**太阳活动顶峰期, 低谷期(Solar maximum, minimum):** 太阳电磁活动水平最高和最低的时期, 分别对应太阳活动周期的波峰和波谷。

**太阳活动周期(Solar cycle):** 太阳电磁活动中两个连续的高峰之间的时间跨度。该周期已经由最近几个世纪观测到的数据得到, 尽管得到得周期不尽相同, 但总体来说都是十一年左右。

**太阳极点(Poles—solar):** 太阳表面上的两点, 即北极和南极, 与想象中的太阳自转轴相交。相当于地球上的北极和南极。

**太阳视动(Apparent motion, Sun):** 由于地球自转引起的每天所观察到的太阳在天空中的运动。

**太阳自转—恒星旋转, 相合旋转(Rotation, solar—sidereal, synodic):** 太阳的恒星旋转与参照恒星所固定的“参照系”相关。太阳赤道的一个恒星旋转用时大约 25.38 天。太阳的相合旋转与参照地球所建立的运动参照系相关, 后者随太阳旋转而绕其旋转。从我们在地球上的观点来看, 我们认为太阳赤道的旋转周期为 27.2753 天。

**天文单位 (Astronomical Unit, AU):** 平均日地距离, 相当于 149,597,870,691 米或 92,956,000 英里。

**通量(Flux):** 总的来说, 是指在某一个给定的时间段, 射入一个实际存在或想象中的面的能量或物质的总量。例如, 日光通量就是指每秒射入一平方米的表面的太阳能的总量, 即瓦特每平方米。

**图象标度(Scale, image):** 图象上的距离和该图象所代表的实际距离之比。

**纬度(Latitude):** 沿着球面、从赤道指向正南或正北的两极方向度量出的角距离。

**X 射线(X-ray):** 波长小于紫外线但长于伽玛射线的电磁辐射。

**旋转微分(Rotation, differential):** 位于不同纬度的太阳表面的旋转速度的差异。

**耀斑(Flare):** 由强烈扭曲的磁场分解和重组引起的相对较小、集中、高能的超热日冕气体爆炸。

**耀斑等级(Flare, classes):** 对耀斑能量等级划分的度量，和用于度量地震能量的里氏震级类似。太阳耀斑等级的度量基于该耀斑 X 射线的亮度，而 X 射线的亮度是由范围在 1 至 8 埃的波长所衡量的。

**正交投影(Rectangular projection):** 将一个球面投影到平面矩形地图的一种方法。

**转动轴(Axis of rotation):** 物体旋转所围绕的一根虚拟的线。

**紫外线(Ultraviolet):** 波长小于可见光但长于 X 射线的电磁辐射。

**子午线(Meridian):** 想象中的沿着球体表面的南北走向的线，以两极作为端点。

**纵向运动(Line-of-sight motion):** 被观测物体的总运动中的朝向或背离观测者的运动部分。参见横向运动。

**GOES 卫星:** 地球同步环境观测卫星(Geostationary Operational Environmental Satellite)。在其他测量中，GOES 卫星也监测太阳 X 射线的发射。

**MDI:** 迈克耳逊多普勒成像仪(Michelson Doppler Imager)，搭载在 SOHO 航天器上的仪器，拍摄太阳的亮度图象和磁力图。

**SOHO:** 欧洲宇航局的太阳与日球观测站(*Solar and Heliospheric Observatory*)。