观测天文学

第一章：观测天文学简介

课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

第一章：观测天文学简介

课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

课程网站：https://deepsky.pages.dev/

Observational Astrophysics

Class Hours

Tuesday（19：10 – 19：55；20：05 – 20：50；21：00-21：45）

Classroom

Rm 208, Haiyun School Bldg

Description

This course provides a lecture-based introduction to the tools and techniques used to acquire and analyze astronomical data, hours for hands-on data reduction and analysis, and a chance for students to present observation proposals and their project results.

基本教学内容（1）

- ✓ 观测天文学的基本概念（1讲）
- ✓ 天文的统计方法（3讲）
- ✓ 多波段天文观测（10讲）
- ✓ 观测申请报告 （1讲）

基本教学内容（2）

在每一个观测窗口/波段，我们将讨论：

- 重要的物理机制和辐射过程
- 光子/各类辐射的探测过程和机制
- 重大的历史发现
- 未来的发展

我们希望通过这门课程的学习，达到：

- 理解基本的观测过程
- 掌握一些基本的数据处理方法
- 读懂观测方面的文献

基本教学内容（3）

Week	Notes	Lecturer	Assignments	References
1	Introduction	Fang T.	Ch.I	“xxxx”
2	Astro-statistic (1) Probability theory	Xue L.	Ch.II-1	“xxxx”
3	Astro-statistic (2) Hypothesis test	Sun M.	Ch.II-2	“xxxx”
4	Astro-statistic (3) Bayesian analysis / model selection	Zhang X.	Ch.II-3	“xxxx”
5	Multi-band Observation (1) X-ray emission / point sources	Wang J.	Ch.III-1	“xxxx”
6	Multi-band Observation (2) X-ray emission / diffuse sources	Ge C.	Ch.III-2	“xxxx”
7	Multi-band Observation (3) UV / spectroscopy	Fang T.	Ch.III-3	“xxxx”
8	Midterm			

基本教学内容（3）

9	Multi-band Observation (4) Optical / Image Analysis	Wang J.	Ch.III-4	“xxxx”
10	Multi-band Observation (5) Optical / Time Domain	Sun M.	Ch.III-5	“xxxx”
11	Multi-band Observation (6) sub-mm/mm Instrument	Feng S.	Ch.III-6	“xxxx”
12	Multi-band Observation (7) sub-mm/mm ISM	Feng S.	Ch.III-7	“xxxx”
13	Multi-band Observation (8) radio	Fang T.	Ch.III-8	“xxxx”
14	Multi-band Observation (9) radio Universe	Feng S.	Ch.III-9	“xxxx”
15	Multi-band Observation (10) Multi-messenger	Huang F.	Ch.III-10	“xxxx”
16	Project Presentation			
17-18	Final			

考核方式（暂定）

课堂出勤：10%

平时作业+团队项目：40%

期中考试：20%

期末考试：30%

课后作业

- 作业是巩固课堂知识、拓宽视野的重要的一个环节。
- 每周的作业必须在下一周上课前向助教递交，同时助教会发回上周改好的作业。
- 每次作业满分为100分，迟交或未交的作业为0分
- 作业分类：个人作业、文献阅读，及项目作业。
- 鼓励大家讨论，但禁止抄袭，凡是有雷同的作业均为0分
- 作业可以用中文或英文回答，鼓励用英文
- 可以利用从网络上搜寻的结果，但需要按自己的理解重新撰写，严禁原封不动地照抄（等同于抄袭）。
- 作业请用 Word 或 LaTeX 撰写（参见课程网页）。请转化并递交 PDF 版。

课后作业

- 通过厦大云盘递交，链接在课程网站上

厦大云盘

Observational Astrophysics

发起人：冯思轶(物理科学与技术学院)

截止时间：无

ⓘ 提交的文件将会根据以下信息自动重命名，请认真填写！

姓名：

必填，最多30个字

第x次作业：

必填，最多30个字

团队项目

撰写一个申请观测的 proposal

- 如有问题，欢迎大家通过QQ群或电子邮件联系各位老师
- 我的邮箱：fangt@xmu.edu.cn
- 课程网页：
  - ➡ https://deepsky.pages.dev/

有用的天文学网站

文献：

- http://cn.arxiv.org/archive/astro-ph
- http://ads.bao.ac.cn/abstract_service.html

数据库

- http://ned.ipac.caltech.edu/
- http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid
- http://heasarc.nasa.gov/
- http://archive.stsci.edu/

天文数据分析软件

- http://cdsweb.u-strasbg.fr/astroWeb/astroweb/software.html
- http://heasarc.nasa.gov/

Not Secure | ned.ipac.caltech.edu

Everything | Research | Database | Reference | Software | Admin | Life Style | Teaching | Abby | 翻译

ipac

NED NASA/IPAC Extragalactic Database

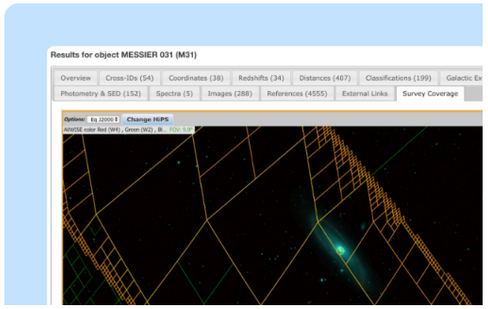
Home | Search Objects » | Tools » | Services » | Information »

M31 Go

Latest Release Highlights

Content and User Interface (Feburary 2020)

- 42,021 new objects from the literature have been added, along with 119,619 sources from the literature cross-identified with existing NED objects.
- 132,054 additional redshifts have been added, and 295,394 new photometric data points have been integrated into SEDs.



NED NASA/IPAC Extragalactic Database

Home | Search Objects » | Tools » | Services » | Information »

Home » Search Objects » By Name

Detailed Information for a Named Object

Object Name

M31

Search Options

Go

Results for object MESSIER 031 (M31)

Overview | Cross-IDs (54) | Coordinates (38) | Redshifts (34) | Distances (407) | Classifications (199) | Galactic Extinctions | Diameters (7) | Photometry & SED (152) | Spectra (5) | Images (288) | References (4558) | External Links | Survey Coverage

主要参考书籍、文献

编著者	书名	出版社
李宗伟、肖兴华	天体物理学	高等教育出版社
Frenk Shu	The Physical Universe	University Science Books
Smith	Observational Astrophysics	Cambridge Press

希望。。。

- 本课程作业和英文阅读量较大！
- 大家要努力提高英文（听、说、读、写）
- 多读学术文献，多找老师讨论
- 我们系几乎每周都有学术报告，欢迎大家参加（周四下午）

第一章：观测天文学简介

课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

最古老的观测仪器——肉眼

- 当人类目光第一次指向星空，第一次对苍穹上的繁星点点感到惊奇的时候，最早的天文观测就开始了。

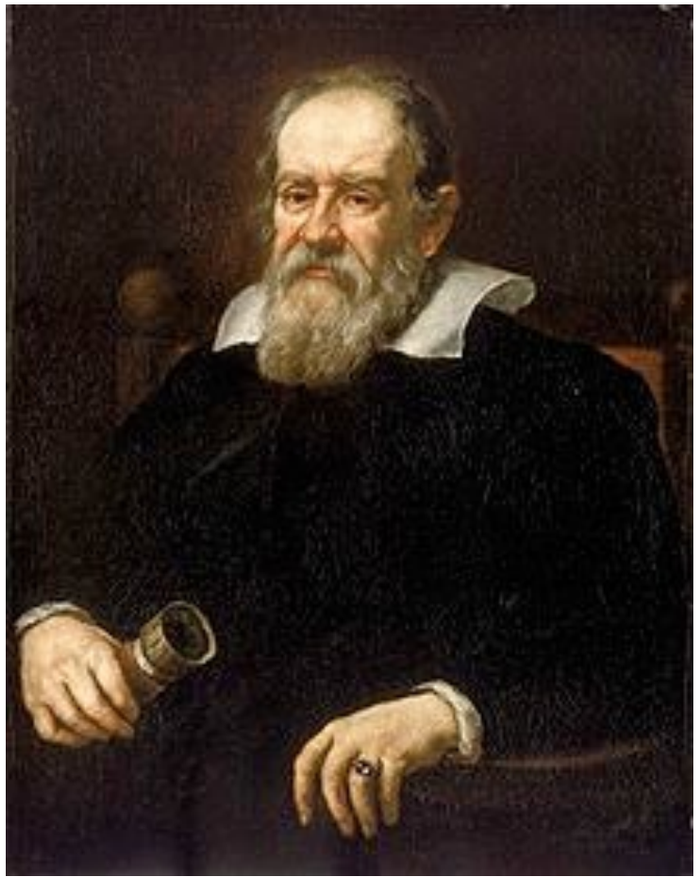
•人类为了方便对星空的观测，专门修建了观星台，有的甚至建造了巨型的建筑来辅助观测。

中国古代天文观测设备

登封观星台。位于河南登封，建于元朝初年，是中国现存最早的天文台。

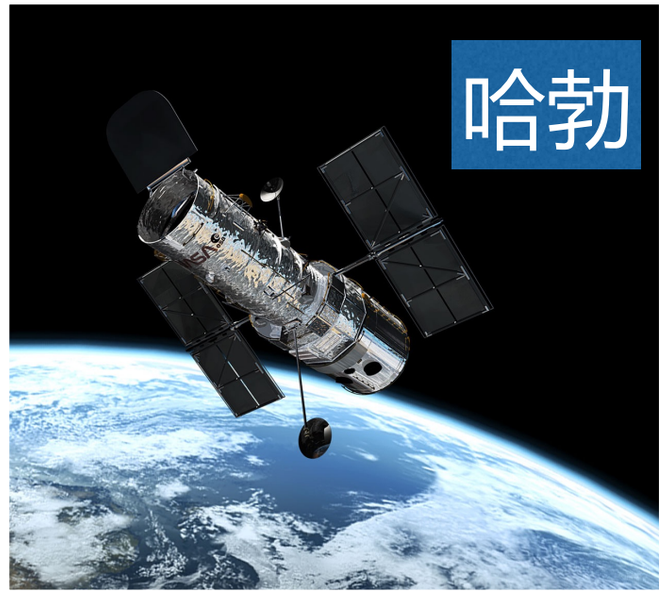
玛雅古天文台。它是一组建筑群，从一座金字塔上的观测点望去：东、东北和东南庙宇分别是春(秋)分、夏至和冬至日出方向。

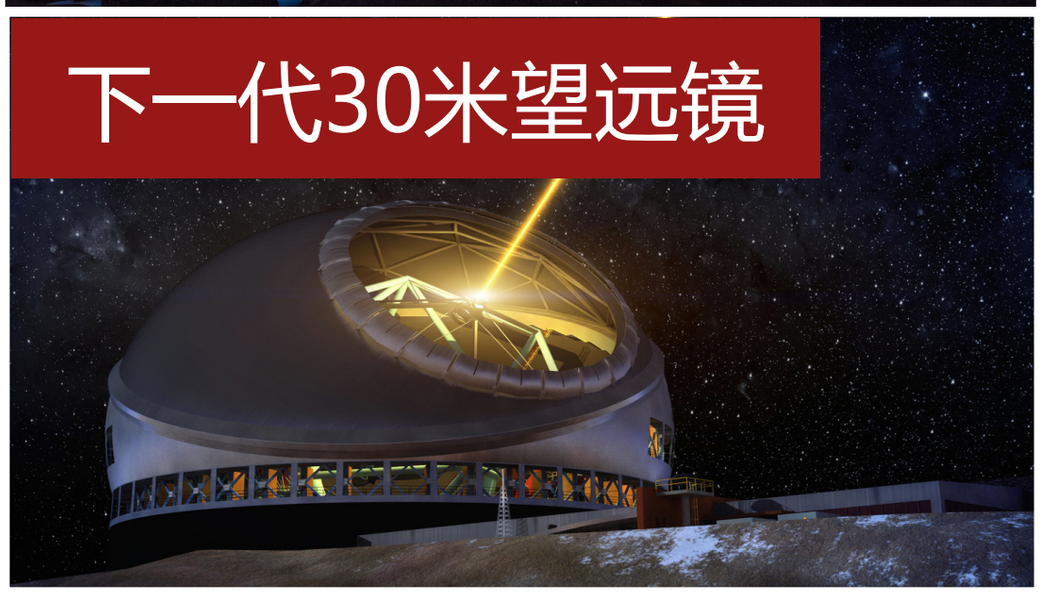
人类探索宇宙的第一次飞跃

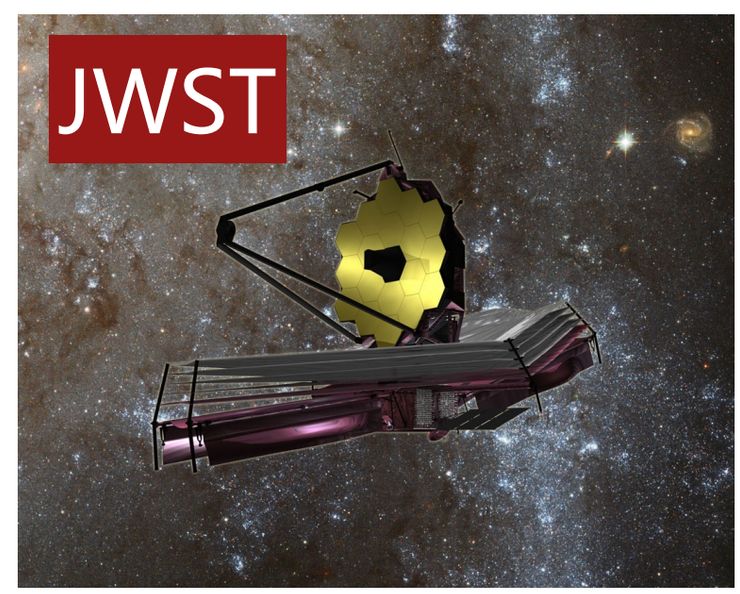


在1609年，大约400多年前，伽利略发明了第一台口径只有2.6厘米，放大倍数为14倍的望远镜，并把它指向了天空，看到了月球的丘壑和木星的卫星。这是人类探索宇宙的第一次飞跃。

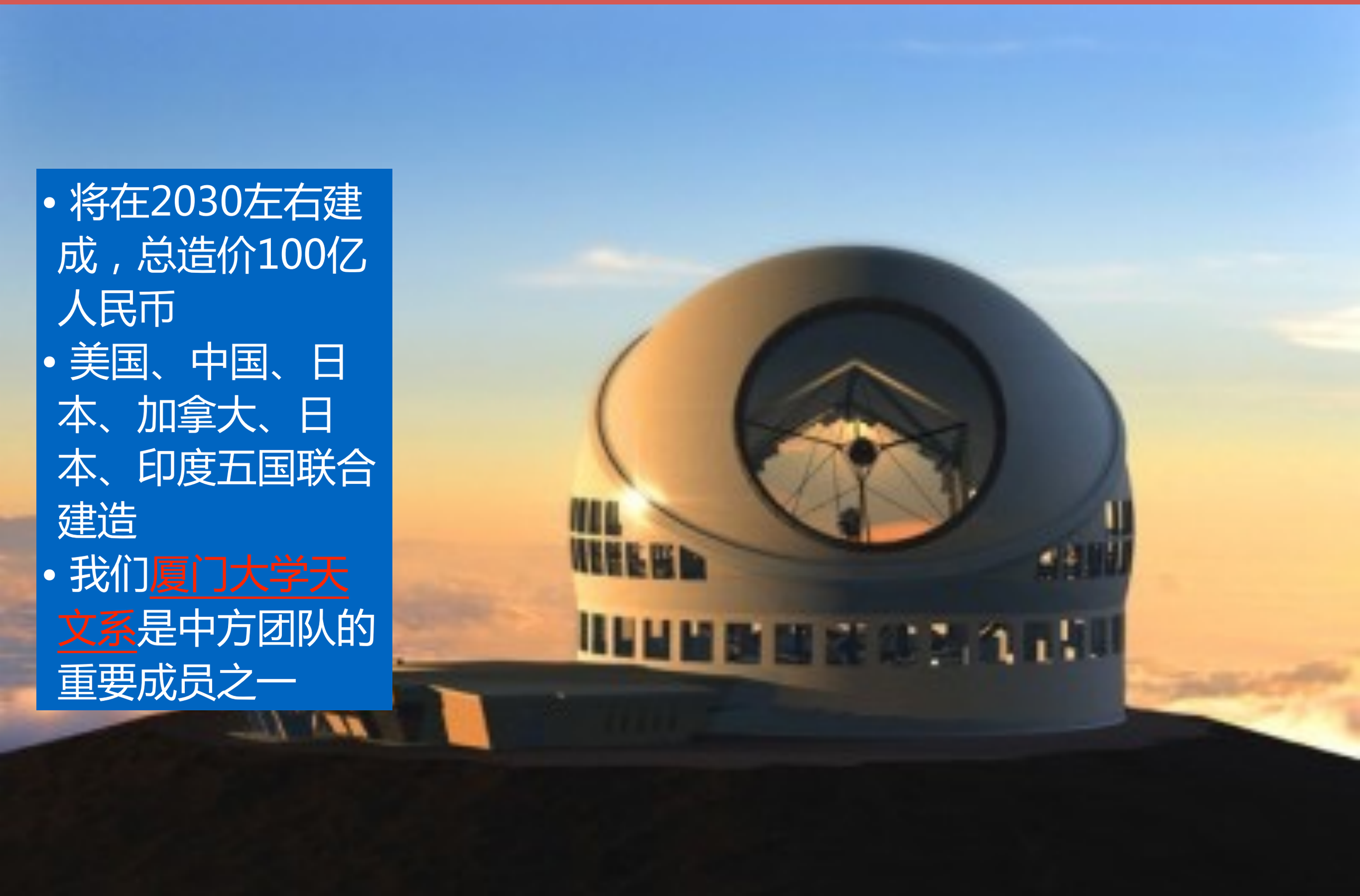
现在的和下一代的光学望远镜







国际三十米巨型光学-红外望远镜（TMT）

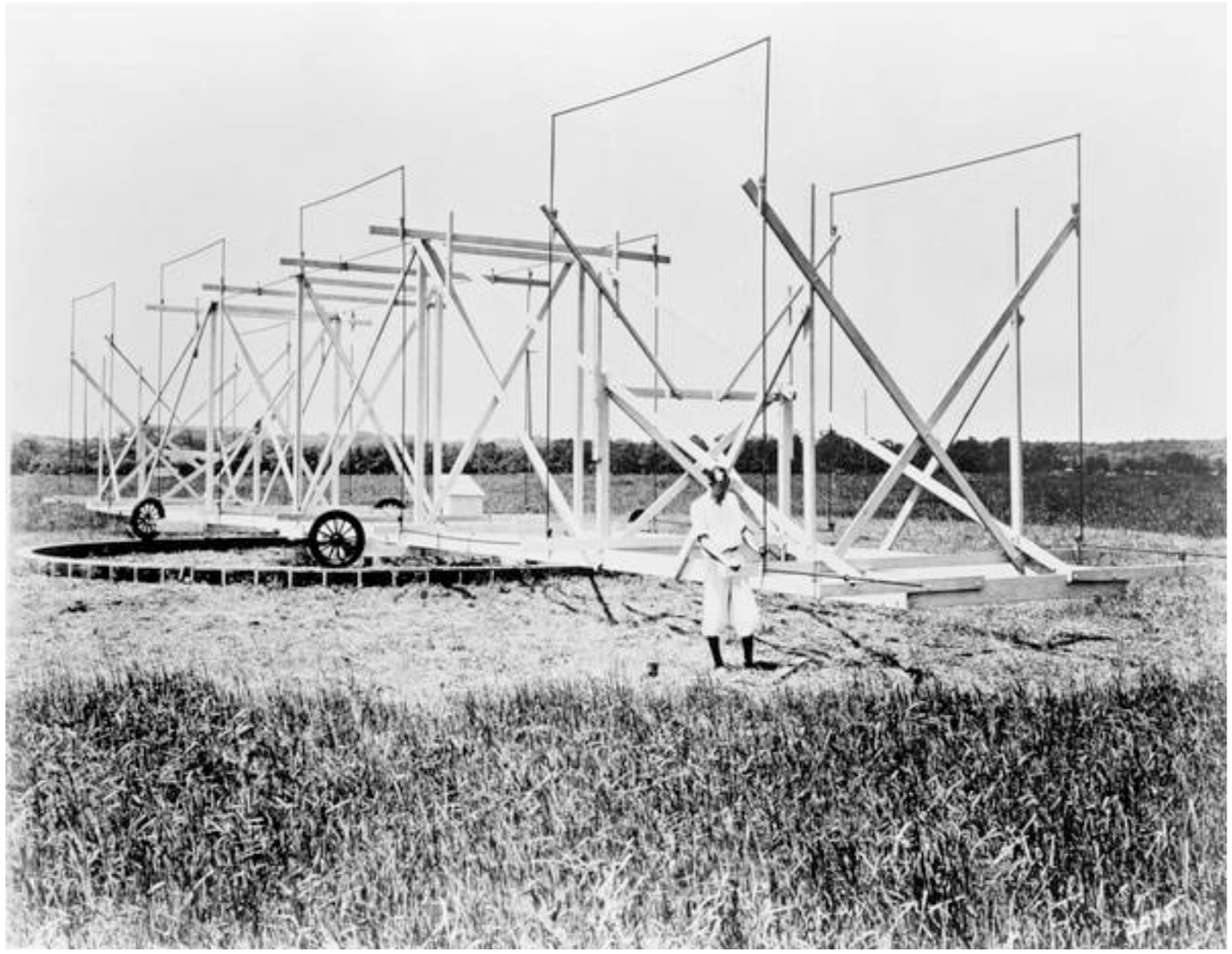


- 将在2030左右建成，总造价100亿人民币
- 美国、中国、日本、加拿大、日本、印度五国联合建造
- 我们厦门大学天文系是中方团队的重要成员之一

James Webb Space Telescope

人类探索宇宙的第二次飞跃

在1931年，美国贝尔实验室的工作人员杨斯基，在鉴别电话干扰信号时，偶尔发现了银河系的射电辐射，从此开创了用射电研究天体的新纪元，同时也让人类首次在可见光波段以外探索宇宙。这算是第二次飞跃。



现在的和下一代的射电望远镜

波多黎各

厦大天文系是FAST科学团队重要成员之一！

中国贵州

人类探索宇宙的第三次飞跃

20世纪60年代，美国的天体物理学家贾克尼利用火箭发现了太阳系外的第一批X射线源，之后又建造专门的X射线卫星，发现宇宙剧烈变化的的一面，同时也让人类首次能够在地球大气层以外探索宇宙；这是第三次飞跃。

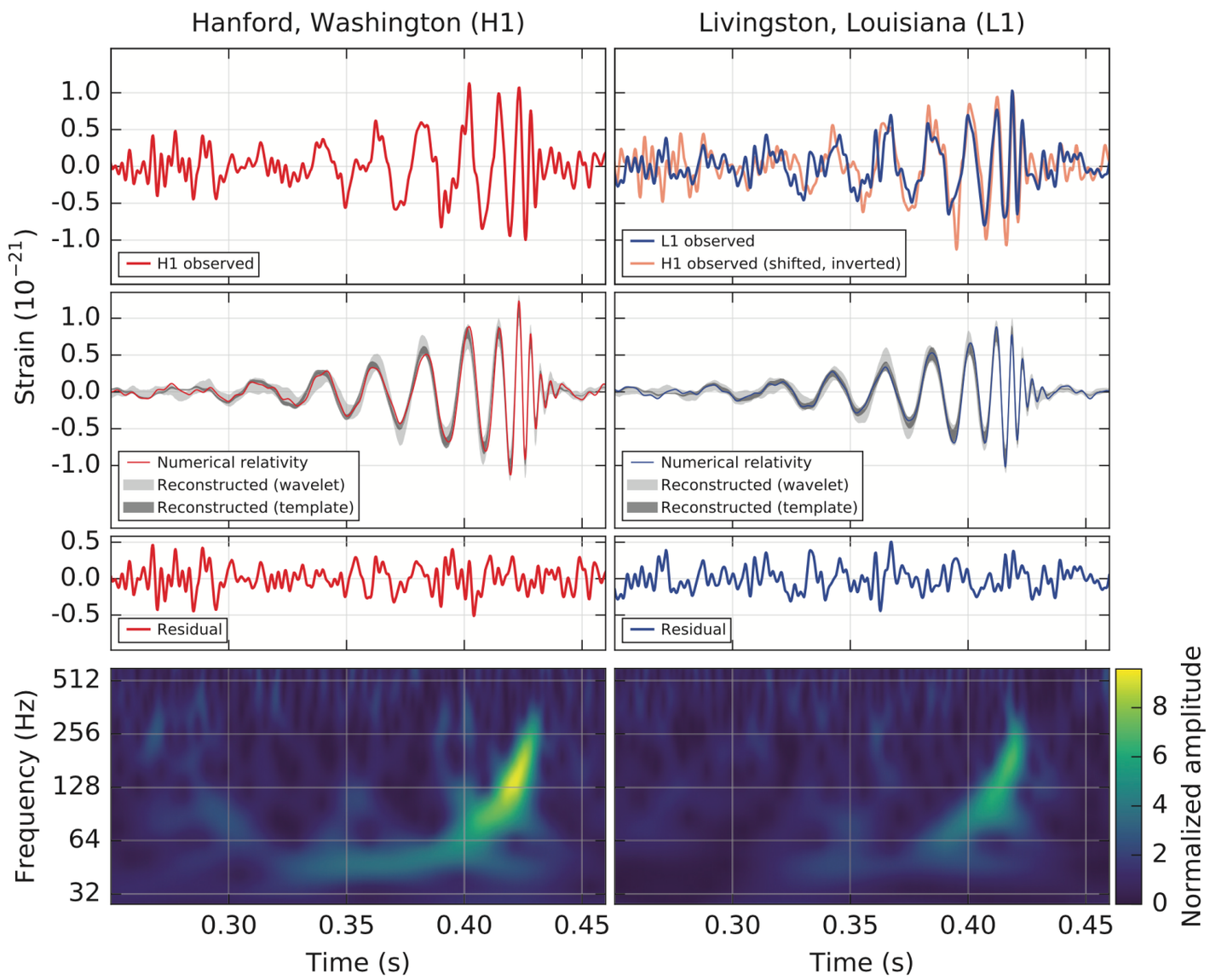
美国宇航局钱德拉X射线望远镜

人类探索宇宙的第四次飞跃

在1987年，当大麦哲伦星云中的超新星爆发之时，美国的戴维斯和日本的小柴昌俊同时观测到了超新星爆发的中微子信号，这是人类第一次观测到来自太阳之外的中微子信号，由于此发现，也开创了一门新的天文学科，中微子天文学。这可以算是第四次飞跃，使得人类能够首次利用电磁波以外的信号探索宇宙

引力波：人类探索宇宙的第五次飞跃

美国LIGO探测器，分别位于华盛顿州的Hanford和路易斯安那州的Livingston，与2015年9月14号同时探测到一个振动一致的信号，并且和引力波理论预言一致！



第一章：观测天文学简介

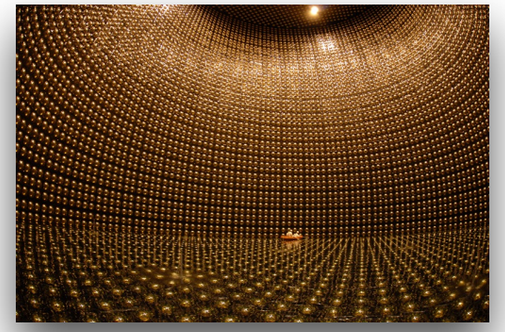
课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

天文观测的一些基本概念

天文观测的窗口
距离、星等、坐标系统
大气成分、消光改正
大气视宁度
天文望远镜的选址

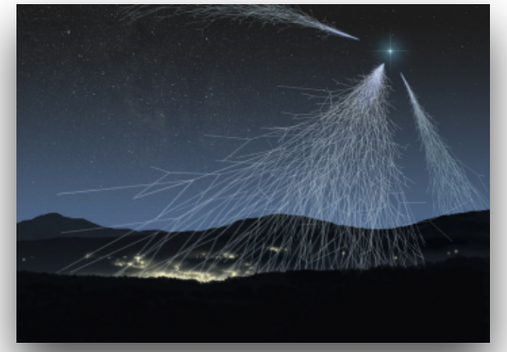
基本概念：天体物理观测的窗口

电磁辐射

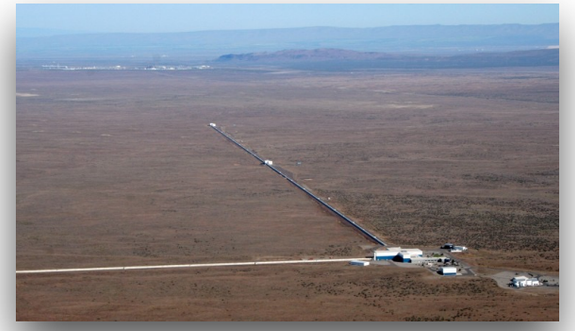


中微子

暗物质



宇宙线



引力波

电磁辐射广泛存在于我们周围

自然界的
电磁辐射

人为的
电磁辐射

闪电

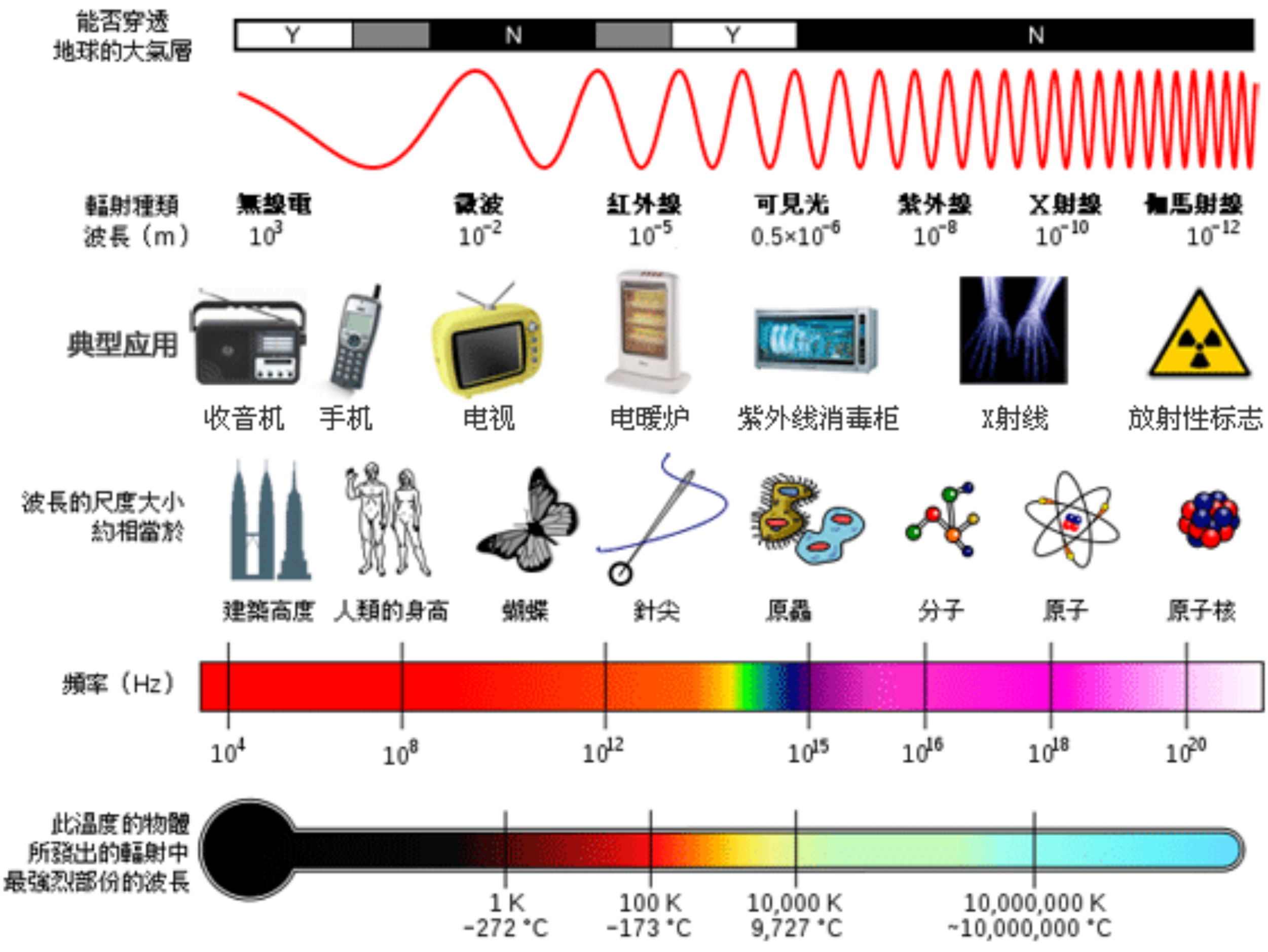
电脑 手机

太阳黑子
活动

各类电子
设备

宇宙射线

各类家用
电器


能否穿透
地球的大氣層
Y
N
Y
N
輻射種類
波長（m）
無線電
10^{3}
微波
10^{-2}
紅外線
10^{-5}
可見光
0.5×10^{-6}
紫外線
10^{-8}
X射線
10^{-10}
伽馬射線
10^{-12}
典型应用
收音机
手机
电视
电暖炉
紫外线消毒柜
X射线
放射性标志
波長的尺度大小
約相當於
建築高度
人類的身高
蝴蝶
針尖
原蟲
分子
原子
原子核
頻率（Hz）
10^{4}
10^{8}
10^{12}
10^{15}
10^{16}
10^{18}
10^{20}
此溫度的物體
所發出的輻射中
最強烈部份的波長
1 K
-272 °C
100 K
-173 °C
10,000 K
9,727 °C
10,000,000 K
~10,000,000 °C

天体辐射

辐射类型	波长范围	温度(K)	典型辐射源
伽马射线	0.03-0.1 Å	> 10^8	吸积盘
X射线	0.1-100 Å	10^6-10^8	星系团中气体、超新星遗迹、恒星冕区
紫外	100-4000 Å	10^4-10^6	超新星遗迹、热恒星
可见光	4000-7600 Å	10^3-10^4	行星、恒星、某些卫星
红外	0.76-1000μm	10-10^3	冷尘埃云和气体、行星
射电	1mm-100km	< 10	磁场中的电子运动

主要环节

- 望远镜：收集尽可能多的天体的辐射
- 前置系统：根据不同的研究目的，对望远镜所收集的辐射进行必要的处理。
- 探测器：将天体的辐射能（已经过前置系统处理）转换为可测信号。
- 记录设备：能精确记录来自探测器的信号的电子仪器。
- 数据处理：对记录的原始观测数据进行整理和归算，得到可供理论分析应用的资料。

基本概念：距离

Astronomical Unit (AU): the distance between the Sun and the Earth

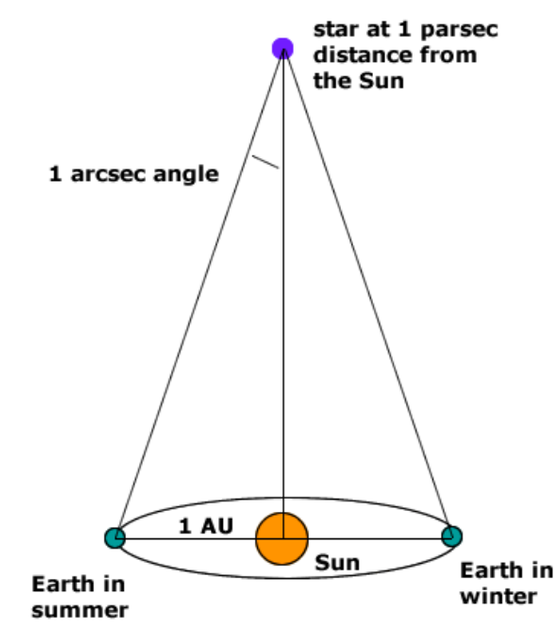
$$1\ \mathrm{AU} = 1.5 \times 10^8\ \mathrm{km}$$

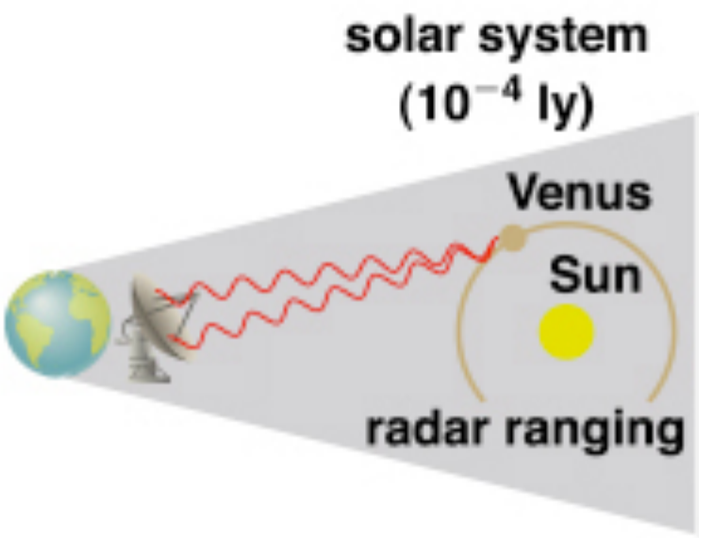
Light year (ly): the distance light travels in a year

$$1\ \mathrm{ly} = 9.46 \times 10^{12}\ \mathrm{km} = 6 \times 10^4\ \mathrm{AU}$$

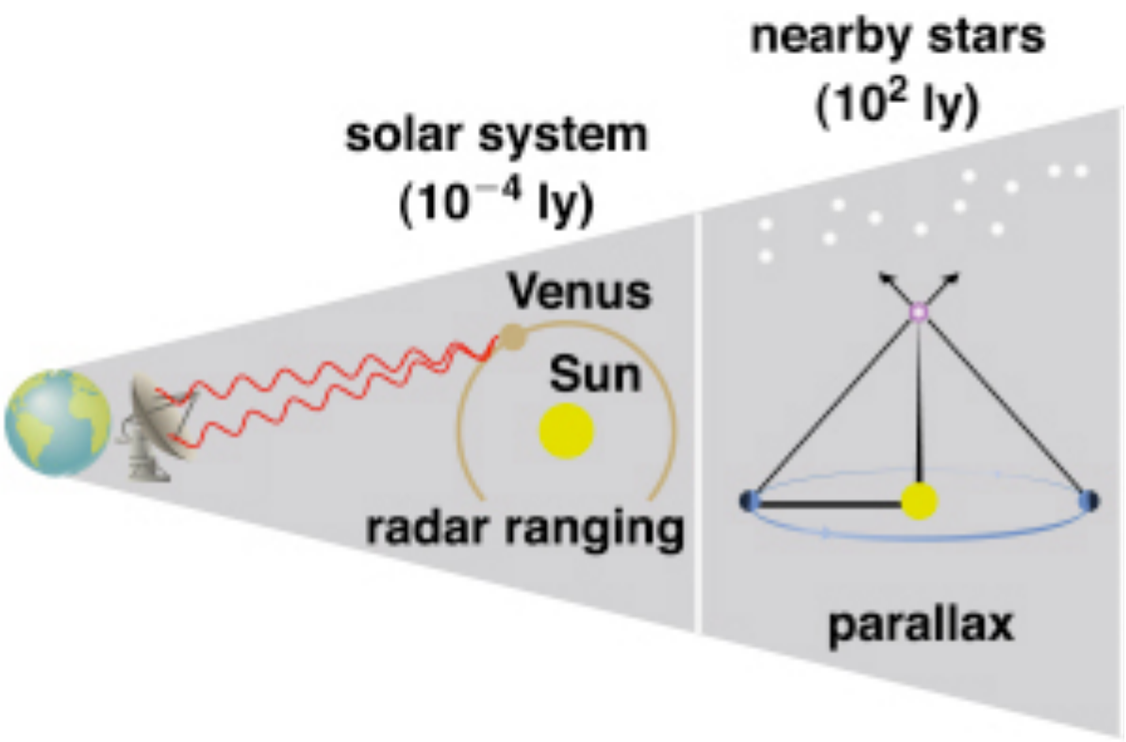
Parsec: the distance at which one astronomical unit subtends an angle of one arcsecond.

$$1\ \mathrm{pc} = 3 \times 10^{13}\ \mathrm{km} = 2 \times 10^5\ \mathrm{AU} = 3.25\ \mathrm{ly}$$





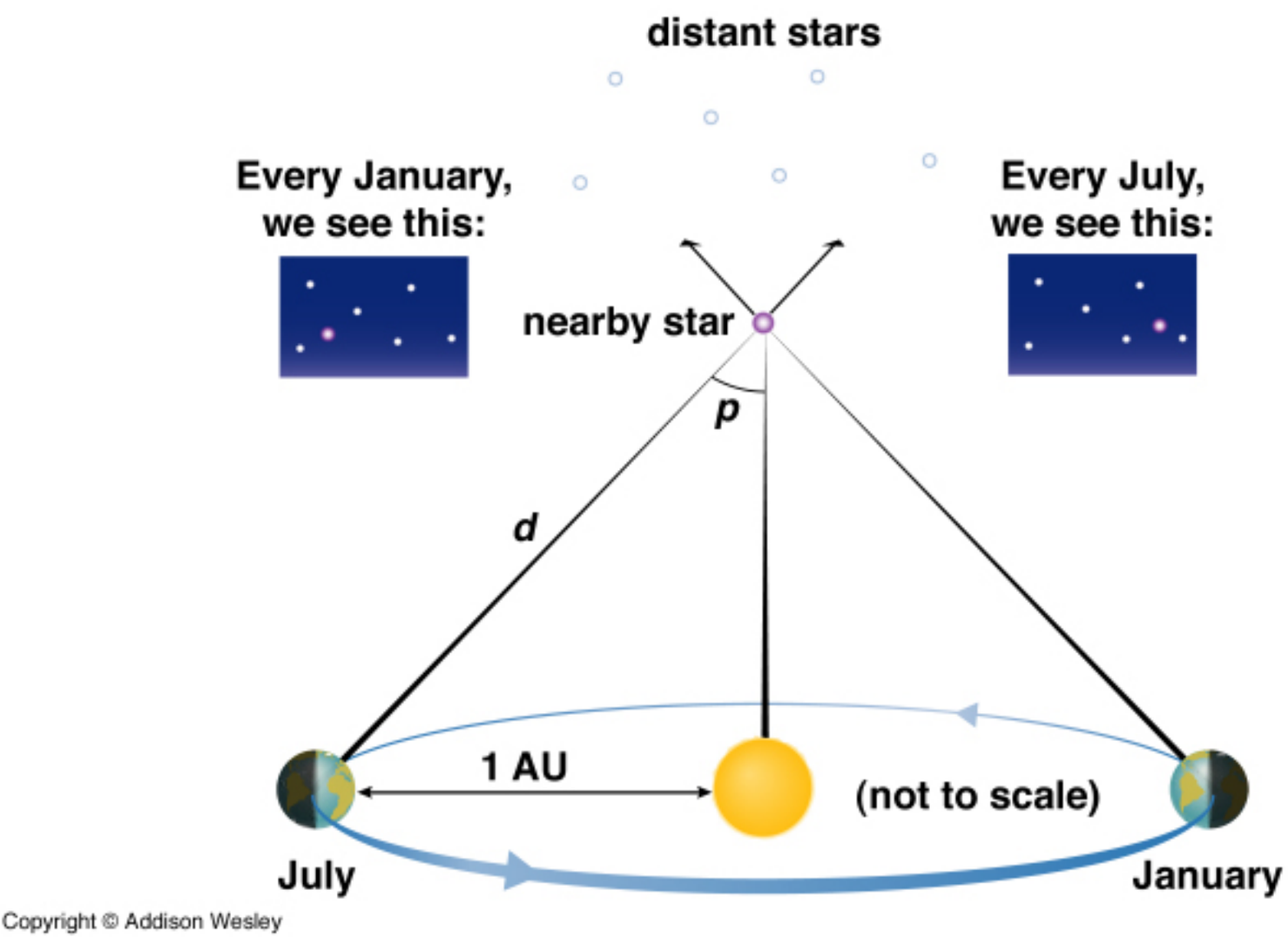
Copyright © Addison Wesley



pc

Copyright © Addison Wesley

视差（Parallax）

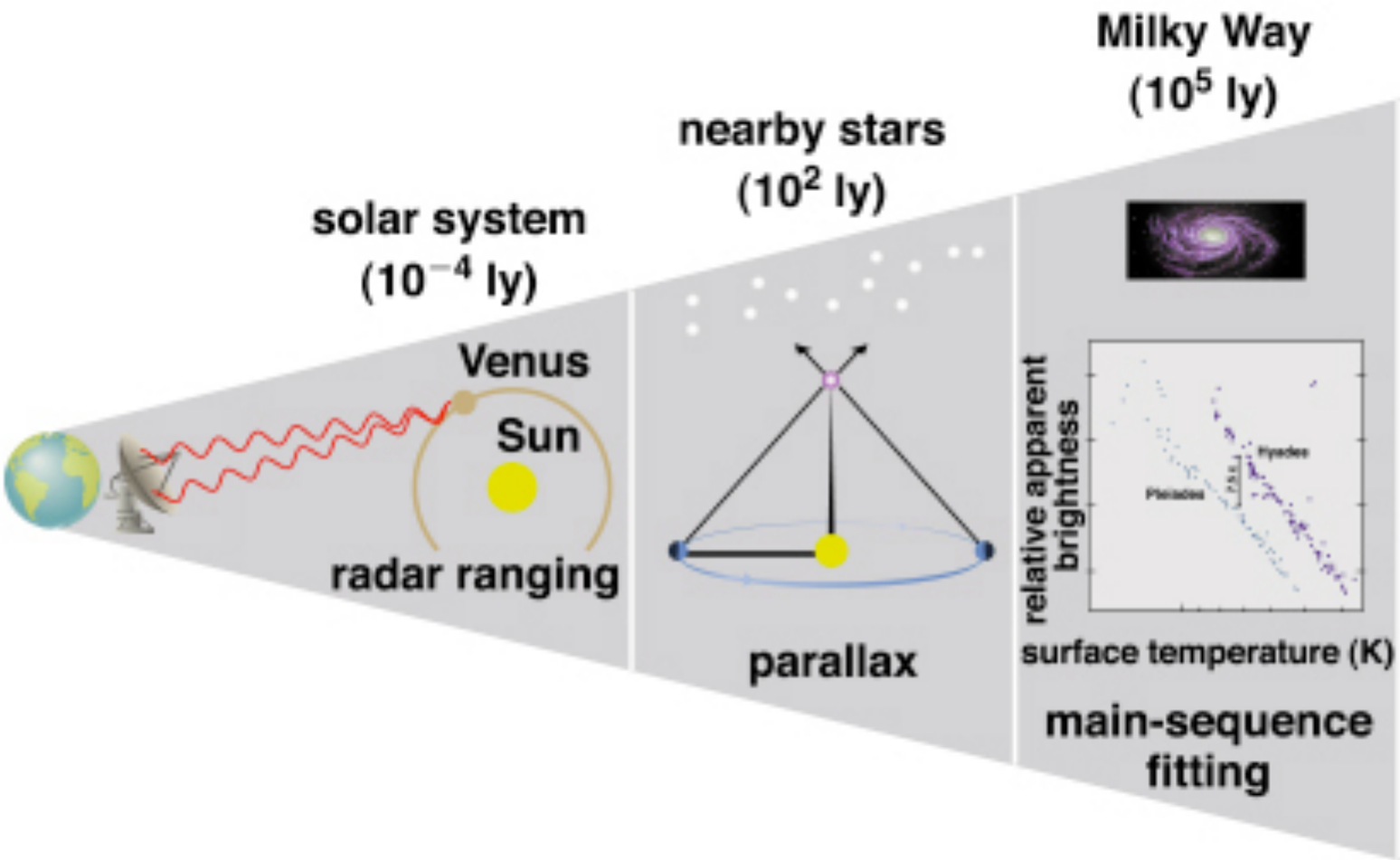


The distance at which 1 AU subtends 1" (one arcsecond) is called 1 parsec (pc)

$$d\ (pc) = \frac{1}{p\ (arcsec)}$$

$$1\ milliarcsecond = 1\ mas = 10^{-3}\ arcsec$$

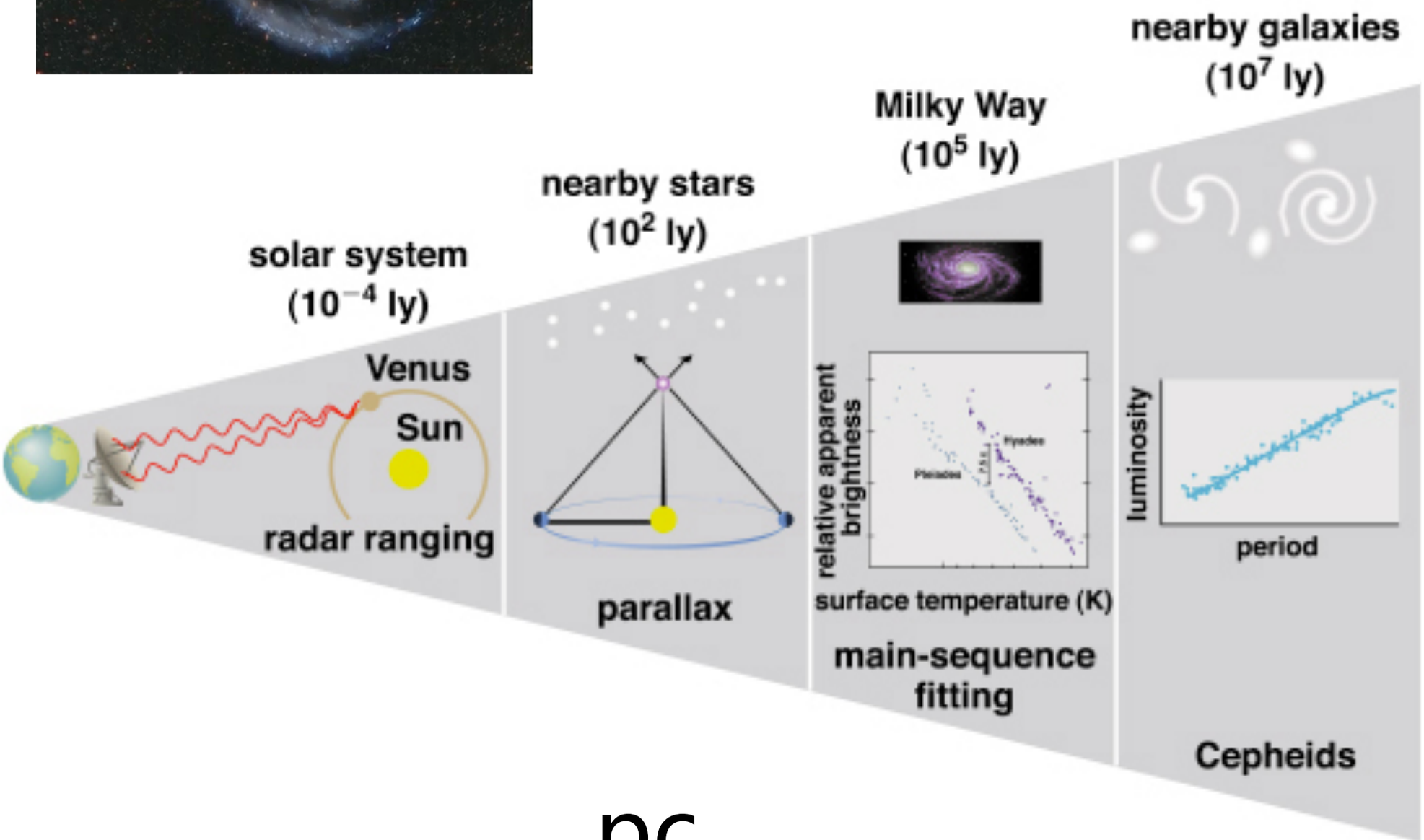
$$1\ microarcsecond = 1\ \mu as = 10^{-6}\ arcsec$$



pc

kpc

Copyright © Addison Wesley

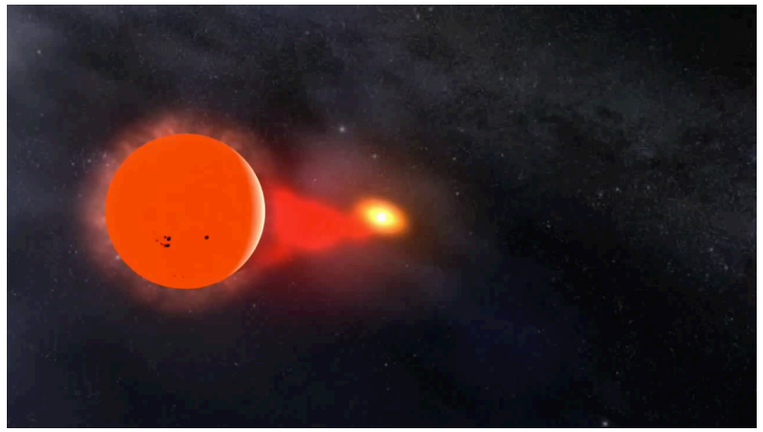


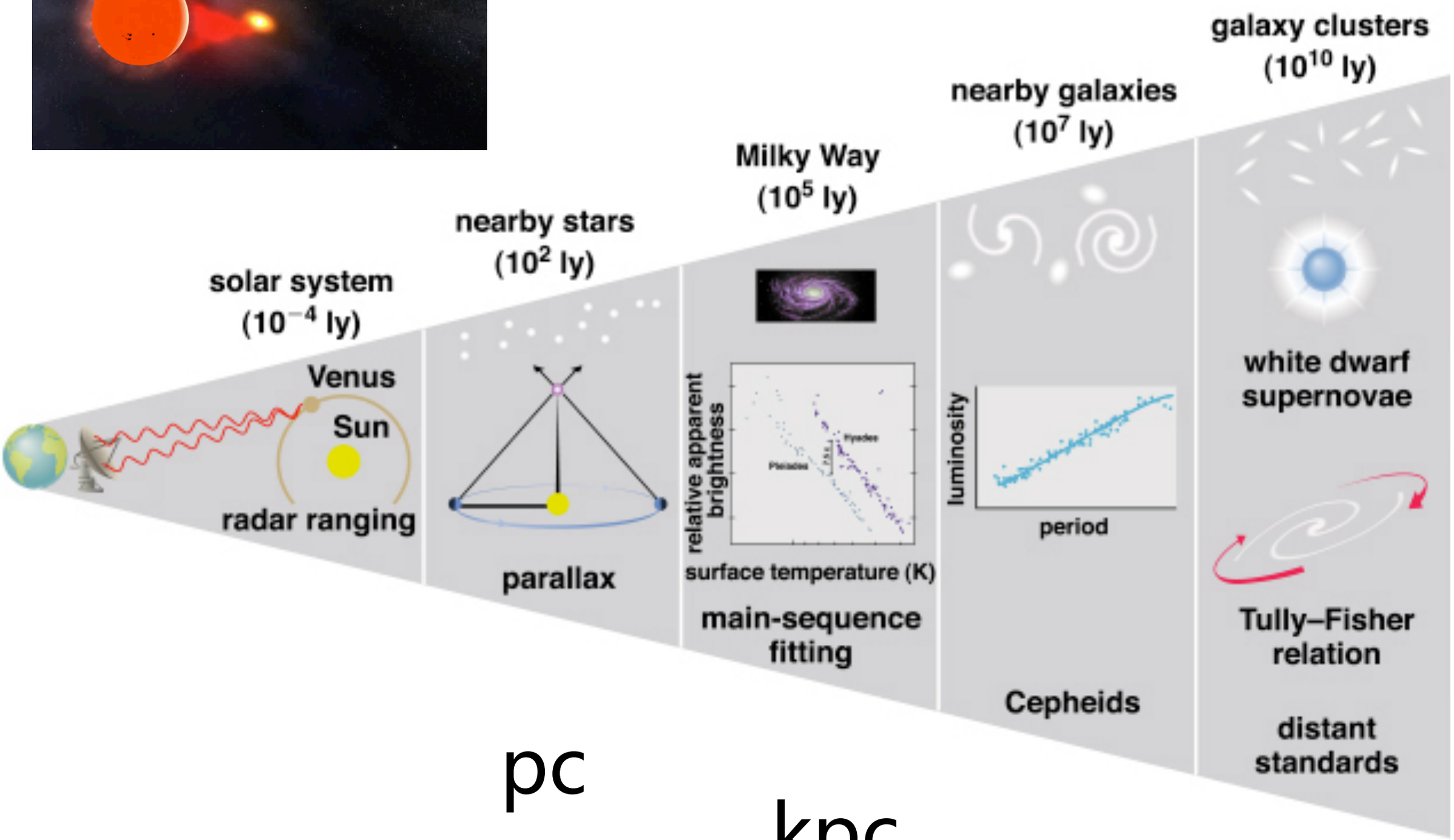
pc

kpc

Mpc

Copyright © Addison Wesley





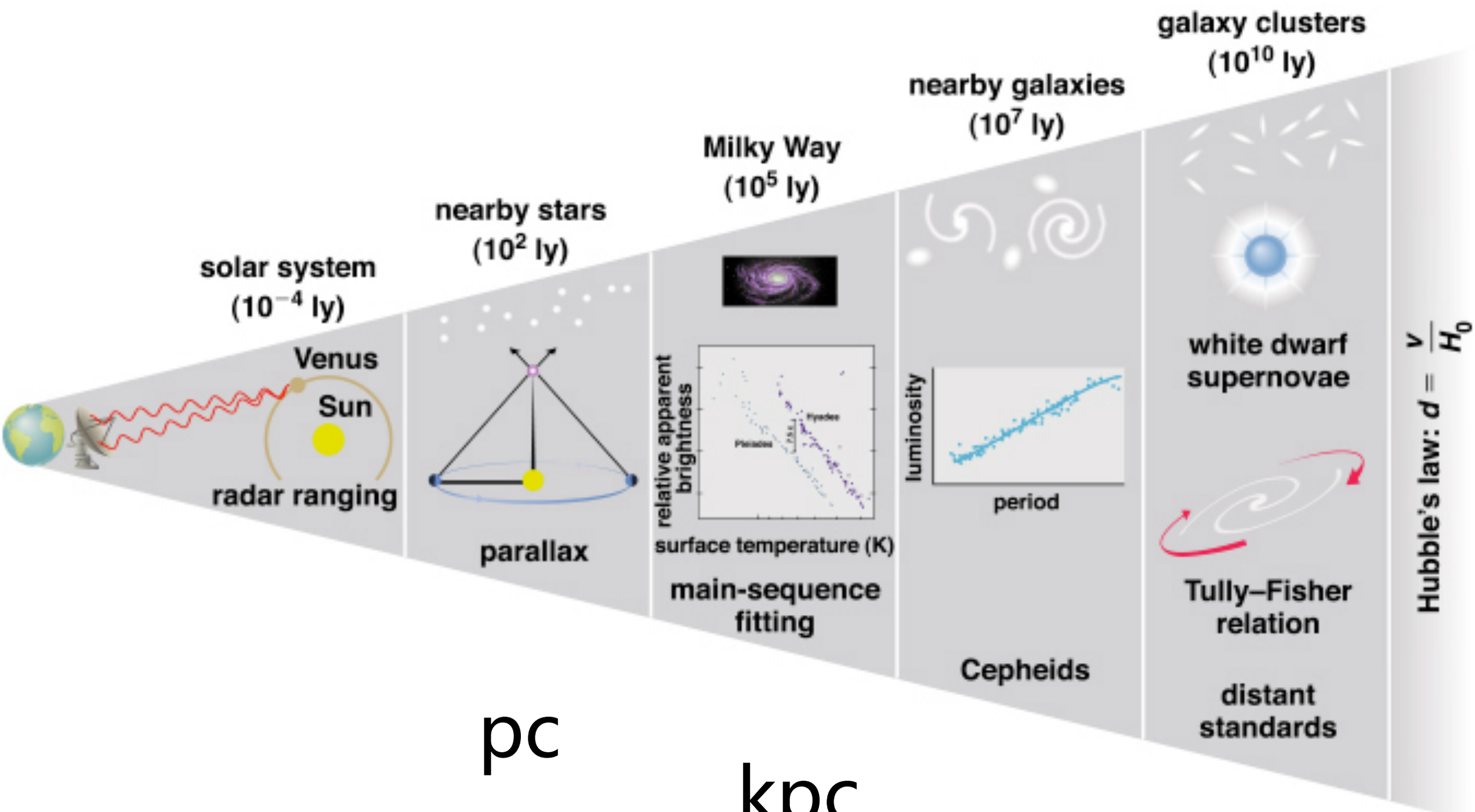
Copyright © Addison Wesley

pc

kpc

Mpc

Gpc



pc

kpc

Mpc

Gpc

Copyright © Addison Wesley

一些典型的天体距离、尺度

恒星之间的距离 ~ pc

星系尺度 ~ kpc

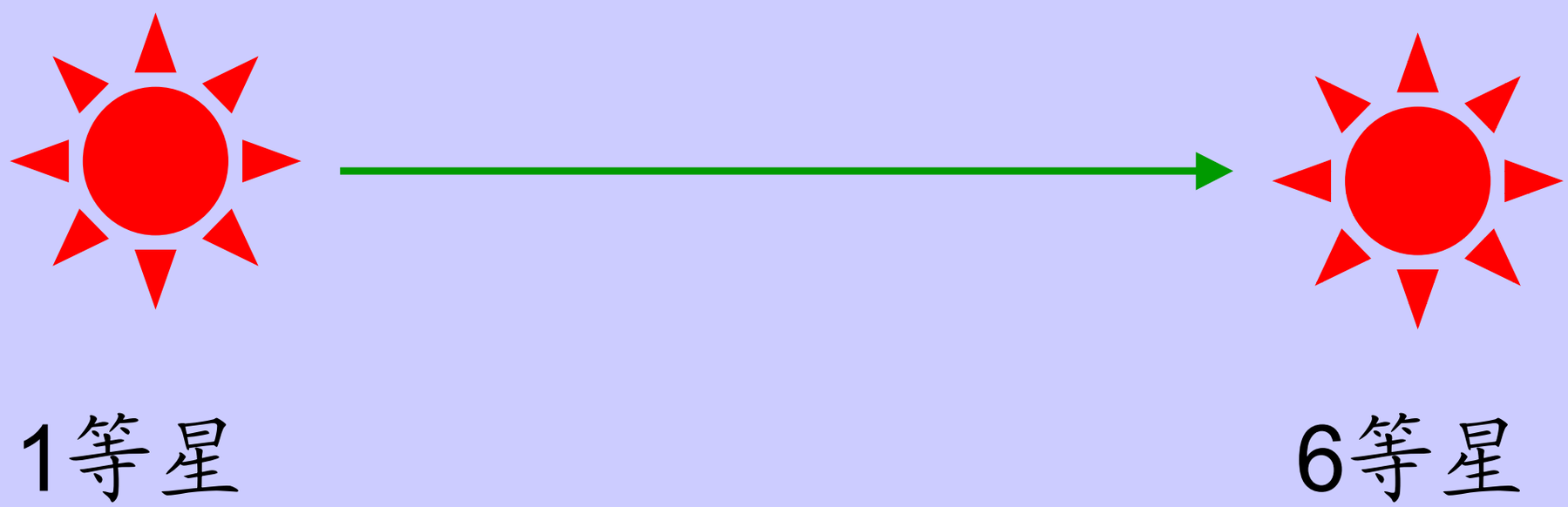
星系团尺度 ~ Mpc

基本概念：星等

2. 视星等*m* (apparent magnitude)

(1) 定义

- 古希腊天文学家Hipparcos在公元前150年左右首先创立的表征恒星亮度的系统（1等星-6等星）。
- 星等值越大，视亮度越低。



- 天文学家在此基础上建立了星等系统，定义星等相差5等的天体亮度相差100倍，即星等每相差1等，亮度相差 $(100)^{1/5}=10^{0.4}\approx 2.512$倍。
- 星等分别为m_1和m_2的恒星亮度之比为

$$F_1/F_2 = 10^{-0.4\,(m1-m2)}$$

$$m_1 - m_2 = -2.5\log(F_1/F_2)$$

或$m = -2.5\log(F/F_0)$，其中F_0为定标常数。

3. 绝对星等M (absolute magnitude)

- 天体位于10 pc 距离处的视星等，它实际上反映了天体的光度。

对同一颗恒星:

$F_{10}/F_{\mathrm{d}} = (10/d)^{-2}$

$M - m = -2.5 \log(F_{10}/F_{\mathrm{d}}) = 5 - 5 \log d\ (\mathrm{pc})$

距离模数 (distance modulus)： m-M

$d = 10^{(m-M+5)/5}$

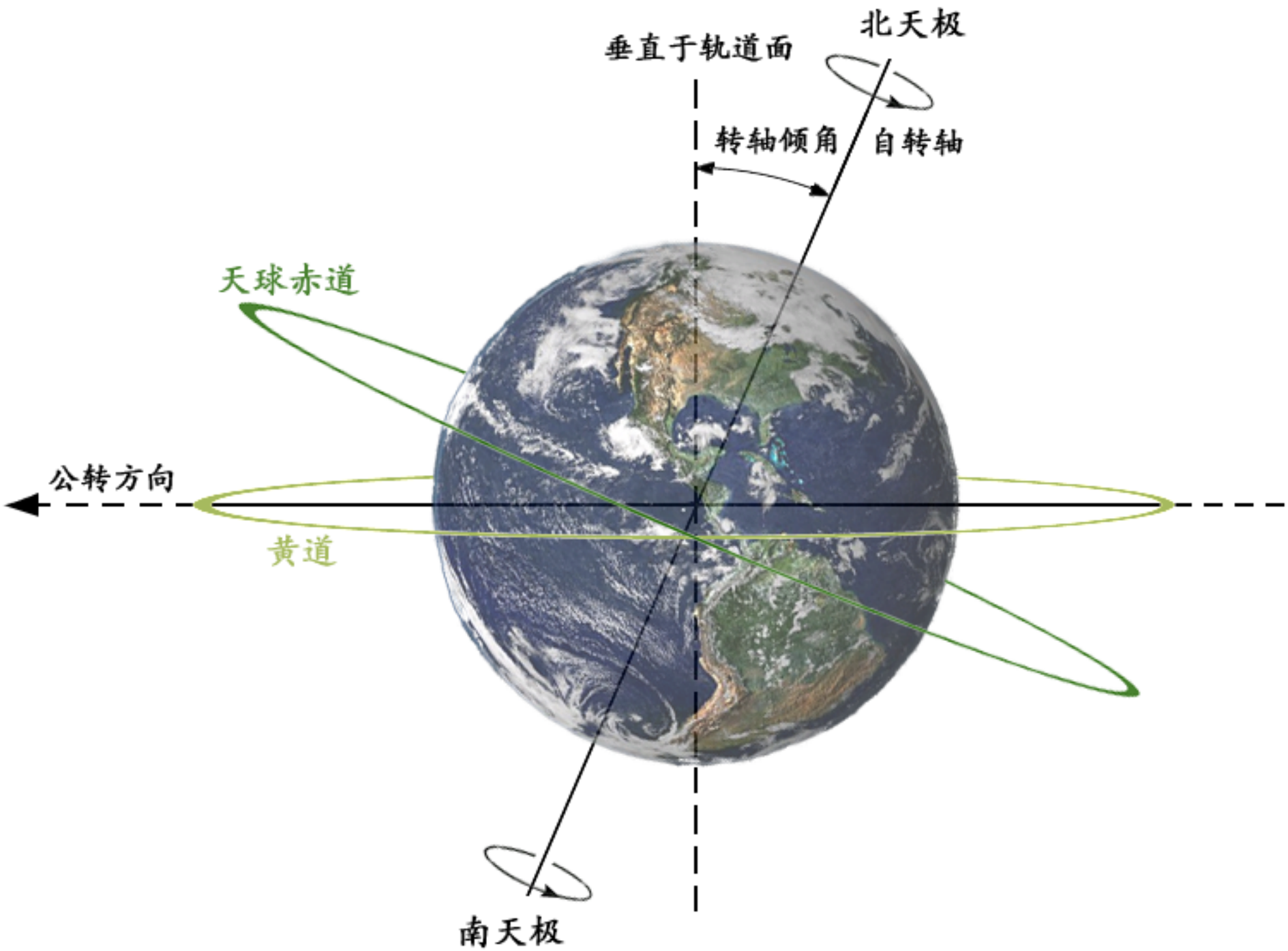
对不同的恒星:

$M_1 - M_2 = -2.5 \log (L_1/L_2)$

$M - M_\odot = -2.5 \log (L/L_\odot)$

其中$L_\odot = 3.86 \times 10^{33}\ \mathrm{ergs}^{-1}$, $M_\odot = 4.75^{\mathrm{m}}$

基本概念：观测的坐标系统

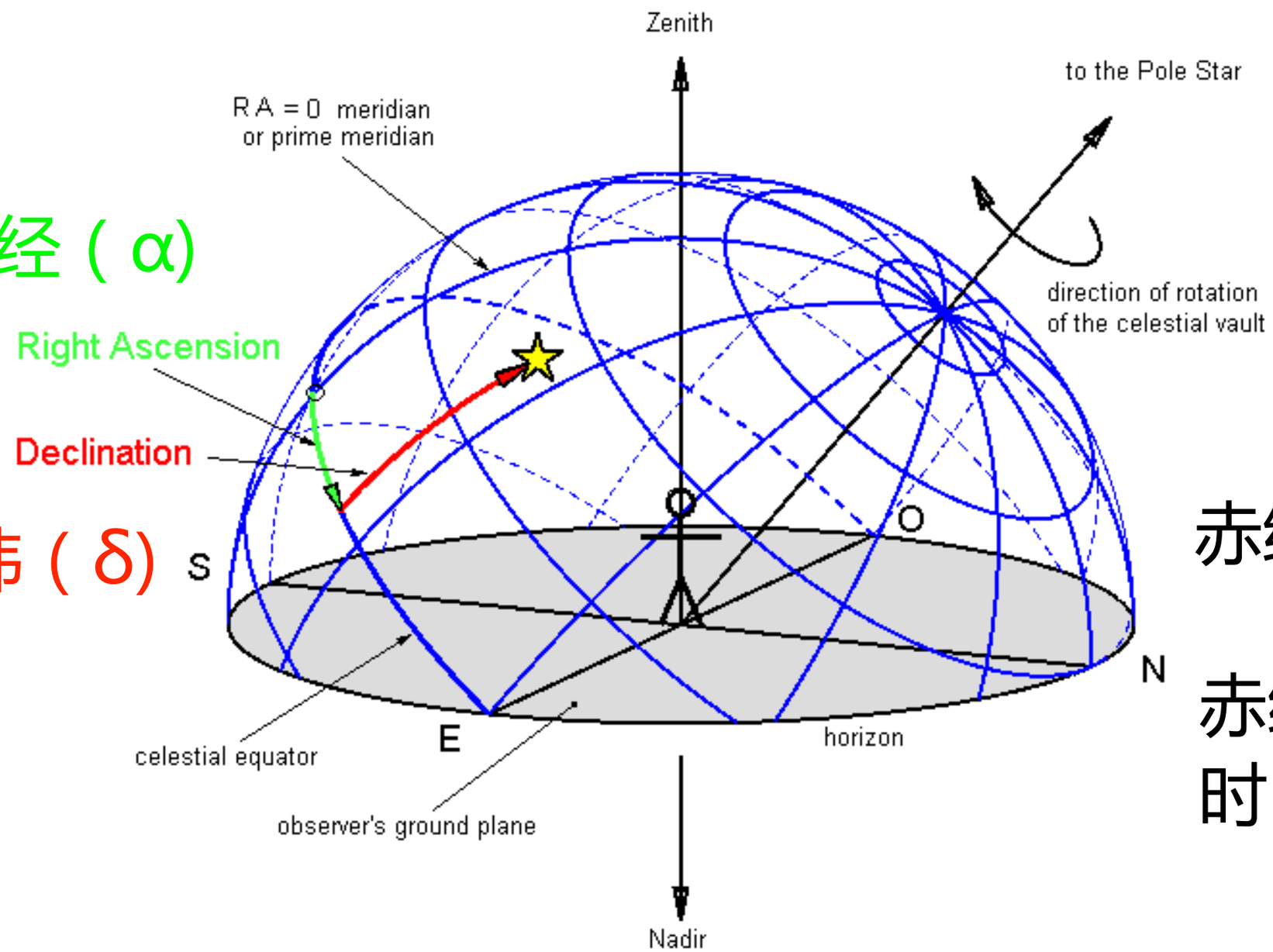


© 2006 Jerry

赤道坐标系（Equatorial Coordinate System）

赤经（α)

赤纬（δ)

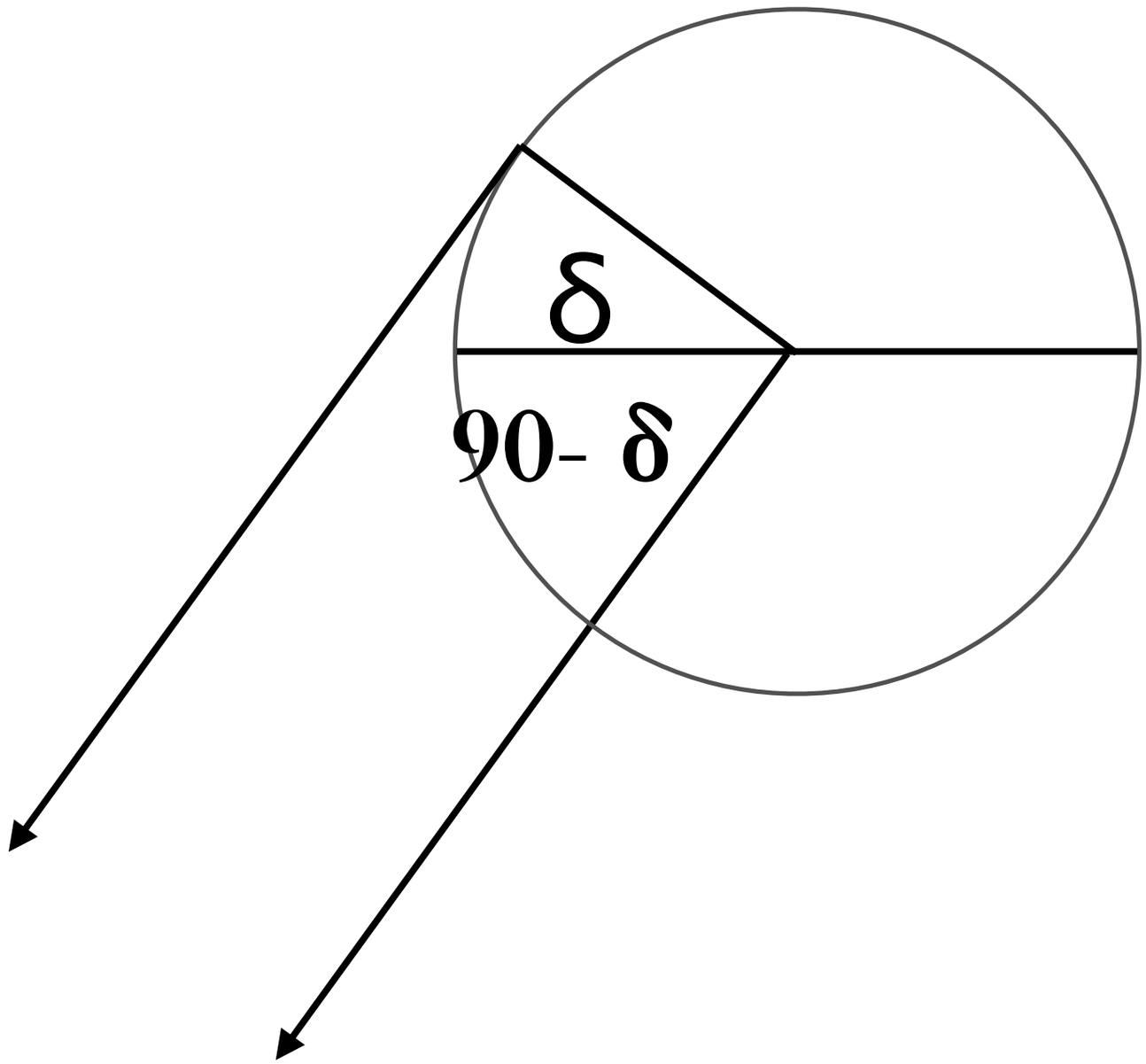


赤纬：-90°到90°

赤经：0到24小时，或 0 到 360°

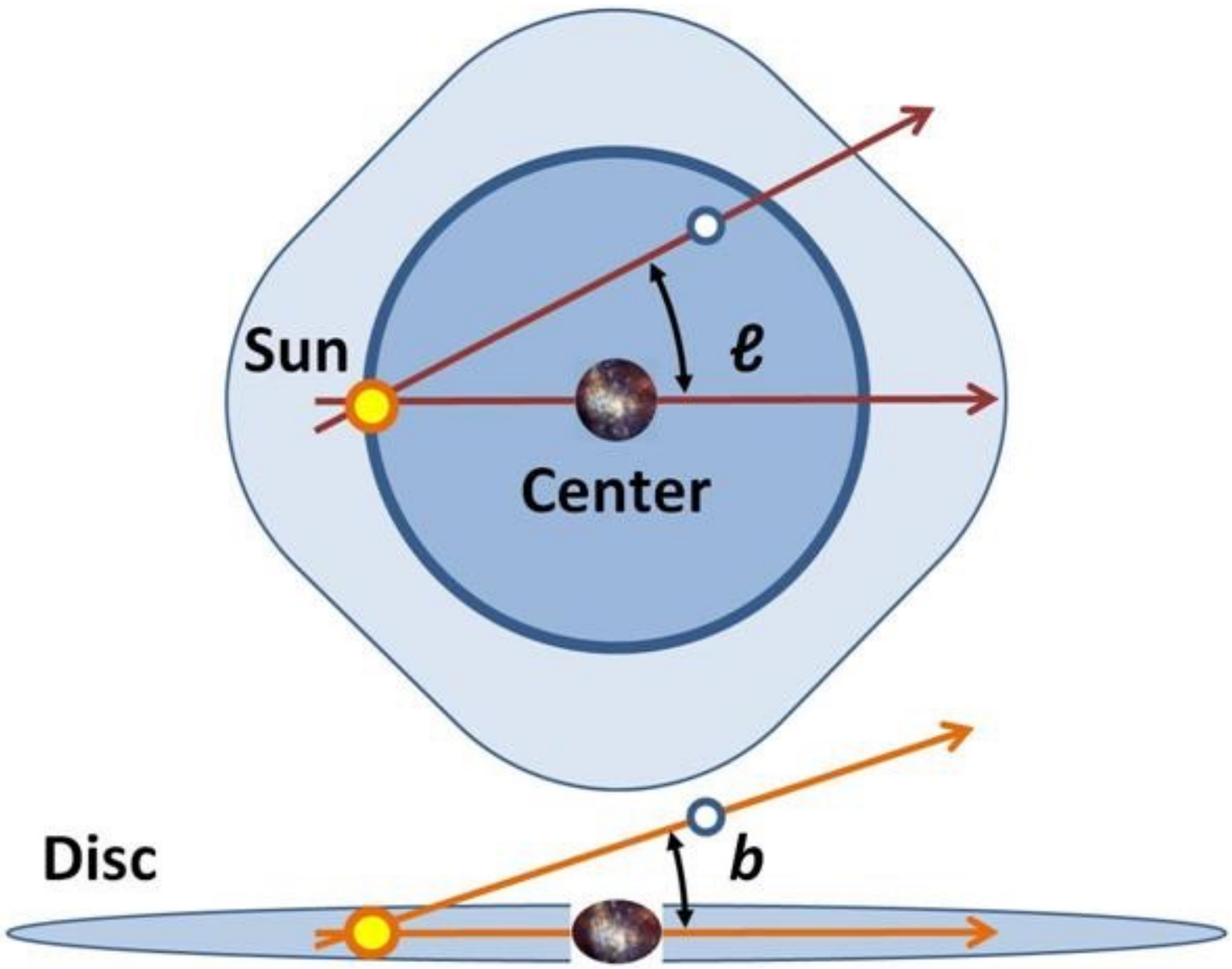
因岁差进动等原因，地球自转轴在不断变化。为保证赤道坐标系的恒定，需要确定是在哪一年做的测量。目前一般是公元2000年，一般标记为 J2000。有时也使用 J1950 定时间标准

赤道坐标系（Equatorial Coordinate System）



天空中有些区域是一个(地面）望远镜永远没法看到的。假定一个望远镜建在北纬δ度的地方，在南纬超过（90-δ）天区，该望远镜将无法看到！

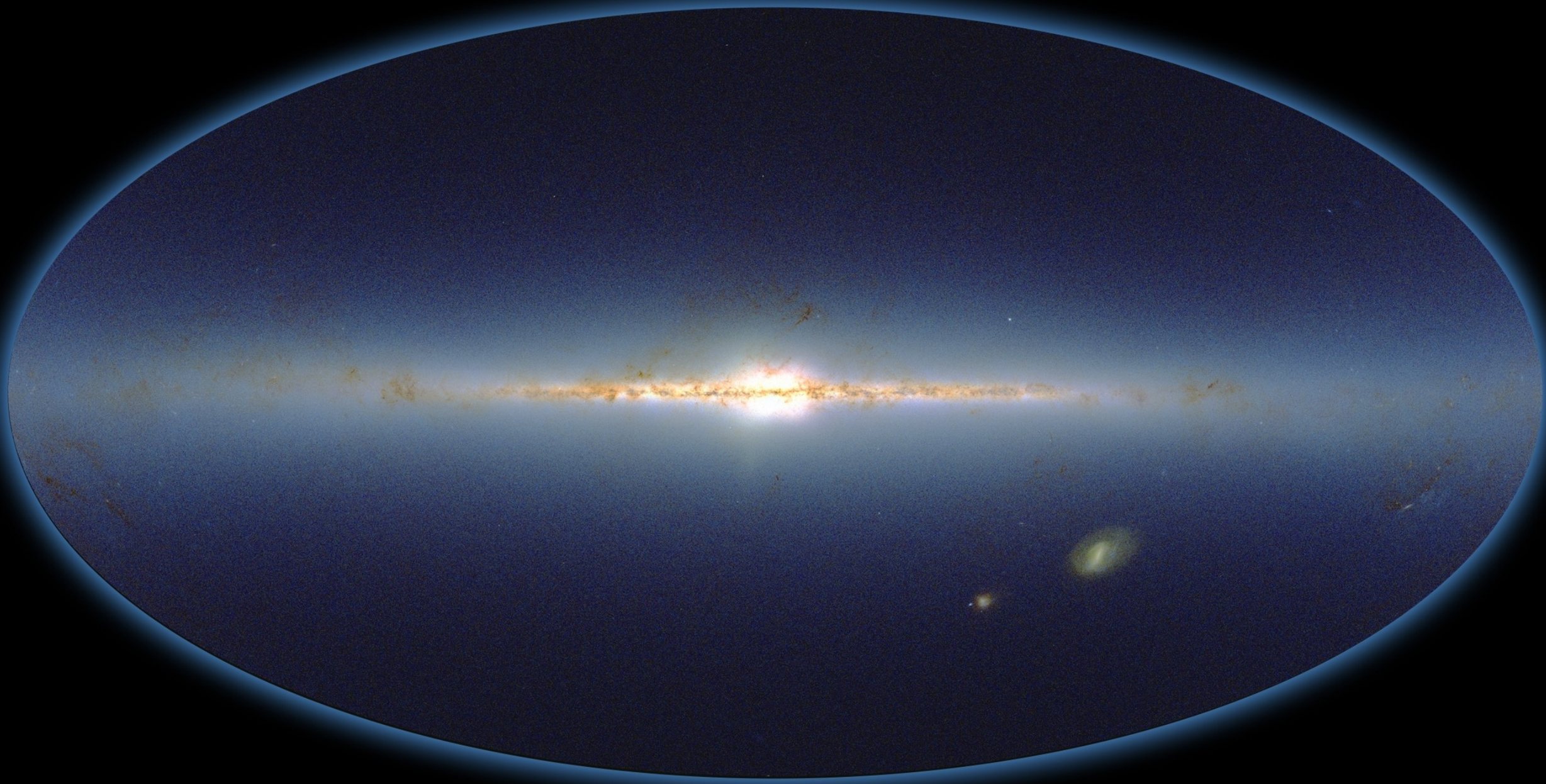
银道坐标系（Galactic Coordinate System）



银纬：-90° 到90° （b）

银经：0 到 360°（l）

2MASS Covers the Sky



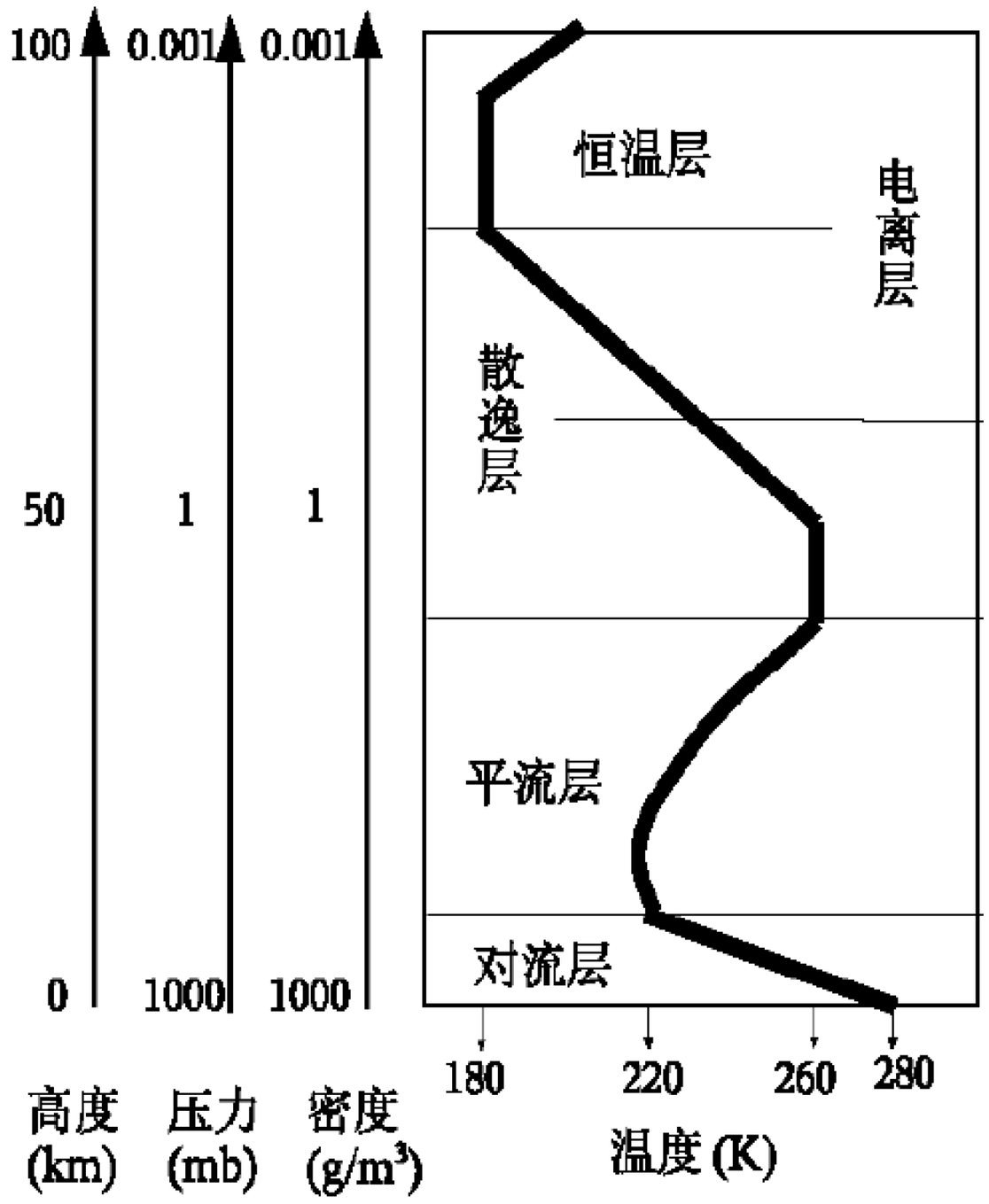
The Two Micron All Sky Survey

Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & Univ. of Massachusetts

基本概念：大气垂直结构和成分

大气垂直结构：

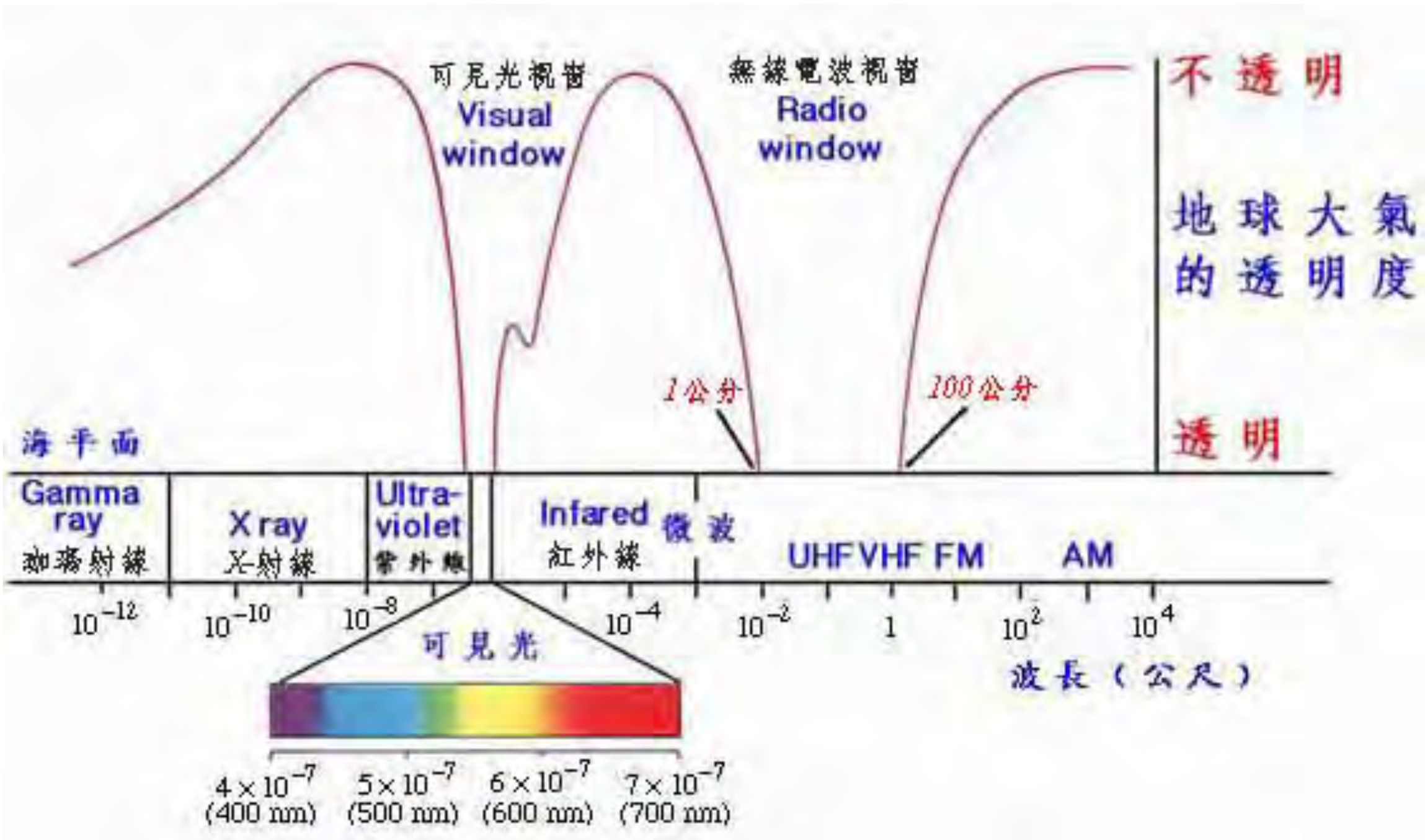
压力、密度、温度随高度的变化



大气消光

地球大气消光的物理机制是大气分子和固体颗粒对辐射的吸收和散射作用。它既减弱了天体辐射的强度，又改变了天体辐射的能谱，使天体的颜色发生变化。最明显的例子是日出（或日落）的太阳颜色与中午时几乎完全不同，这就是大气消光的缘故。

大气窗口


可見光視窗
Visual window
無線電波視窗
Radio window
不透明
地球大氣的透明度
1公分
100公分
透明
海平面
Gamma ray
伽瑪射線
X ray
X-射線
Ultra-violet
紫外線
Infared
紅外線
微波
UHF VHF FM
AM
10^{-12}
10^{-10}
10^{-8}
10^{-4}
10^{-2}
1
10^{2}
10^{4}
可見光
波長（公尺）
4×10^{-7} (400 nm)
5×10^{-7} (500 nm)
6×10^{-7} (600 nm)
7×10^{-7} (700 nm)

大气成分

大气的主要成分是氮分子和氧分子，此外还有臭氧、二氧化碳、水蒸气、甲烷、氧化氮、尘埃和电离层等。

- N_2和O_2：产生吸收带，主要分布于 2000A 直到远紫外区（1000 A）的波段范围。
- O_3：吸收带位于2300-2900Å；O_3在大气中的含量随高度增加，在22km外达到极大，而后逐渐减少，影响紫外观测
- CO_2：对红外辐射吸收强，还影响mm—cm波，在很大高度范围内均影响观测，其吸收直到22km还相当明显。

- H_2O：影响红外和mm波观测，但水汽随高度增加而迅速减少，12km以上可忽略其影响。

- CH_4和NO：影响红外和微波观测。

- 尘埃：主要存在于4km以下，故天文台最好建在海拔4km以上。影响红外及比红外短波长的观测。

- 电离层：影响射电观测。位于地面以上60km-2000km，由于太阳的紫外辐射使大气中氧原子发生光化学反应，使大气电离度增加，电子密度很高，150km-300km处达2×10^6个电子/cm^3，故卫星近地点在一般500km以上，飞船在300km以上。

- 由于氮分子、氧分子以及臭氧的吸收，地面上几乎接收不到波长小于 3000A 的电磁辐射。

- 大气中的水蒸气、二氧化碳和臭氧对红外辐射吸收相当强。尽管如此，大气层还是给红外辐射留下了几个小小的窗口

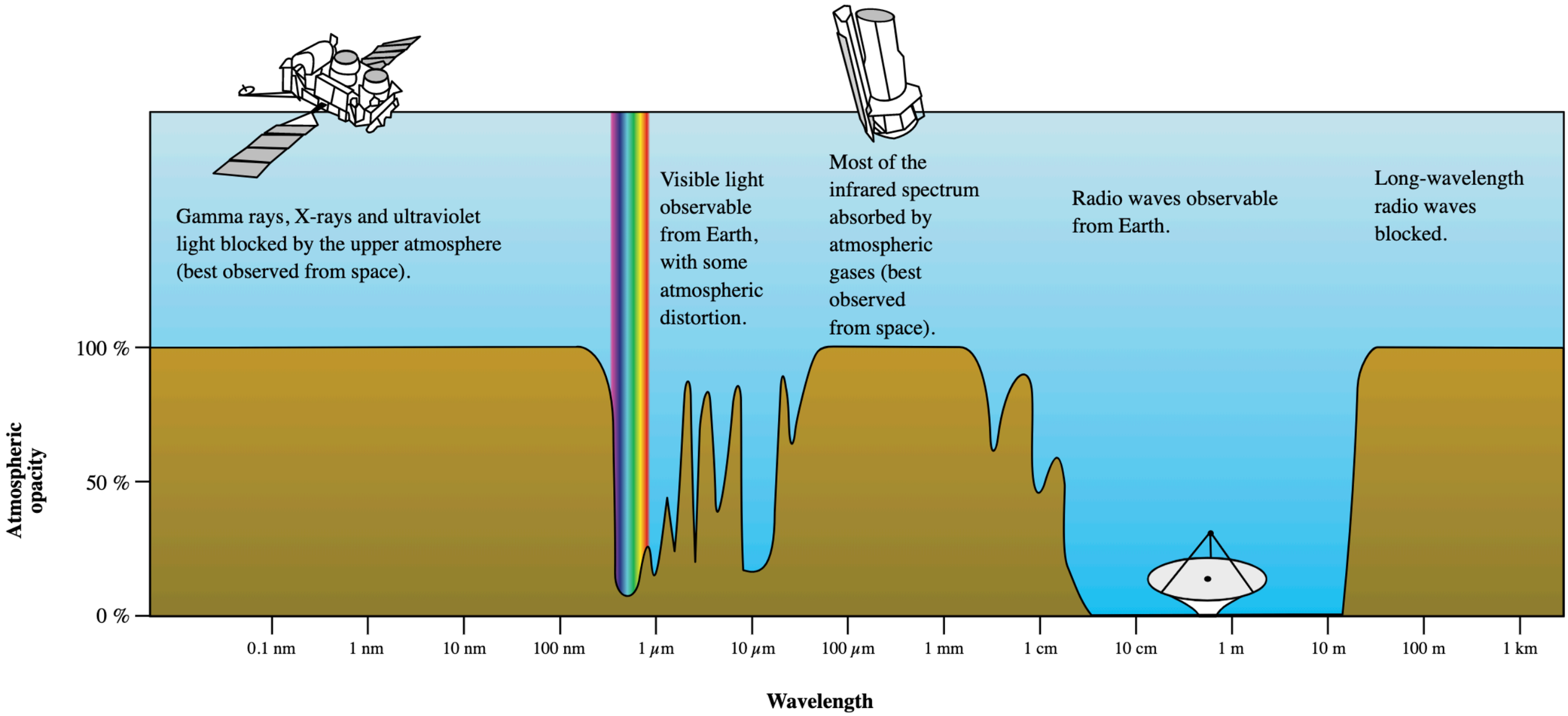
- 在可见光区域（3500-7000 A），大气的吸收很小，主要是大气的散射作用使辐射减弱，但不厉害。

- 射电波段的cm波和米波也基本不受大气吸收的影响。

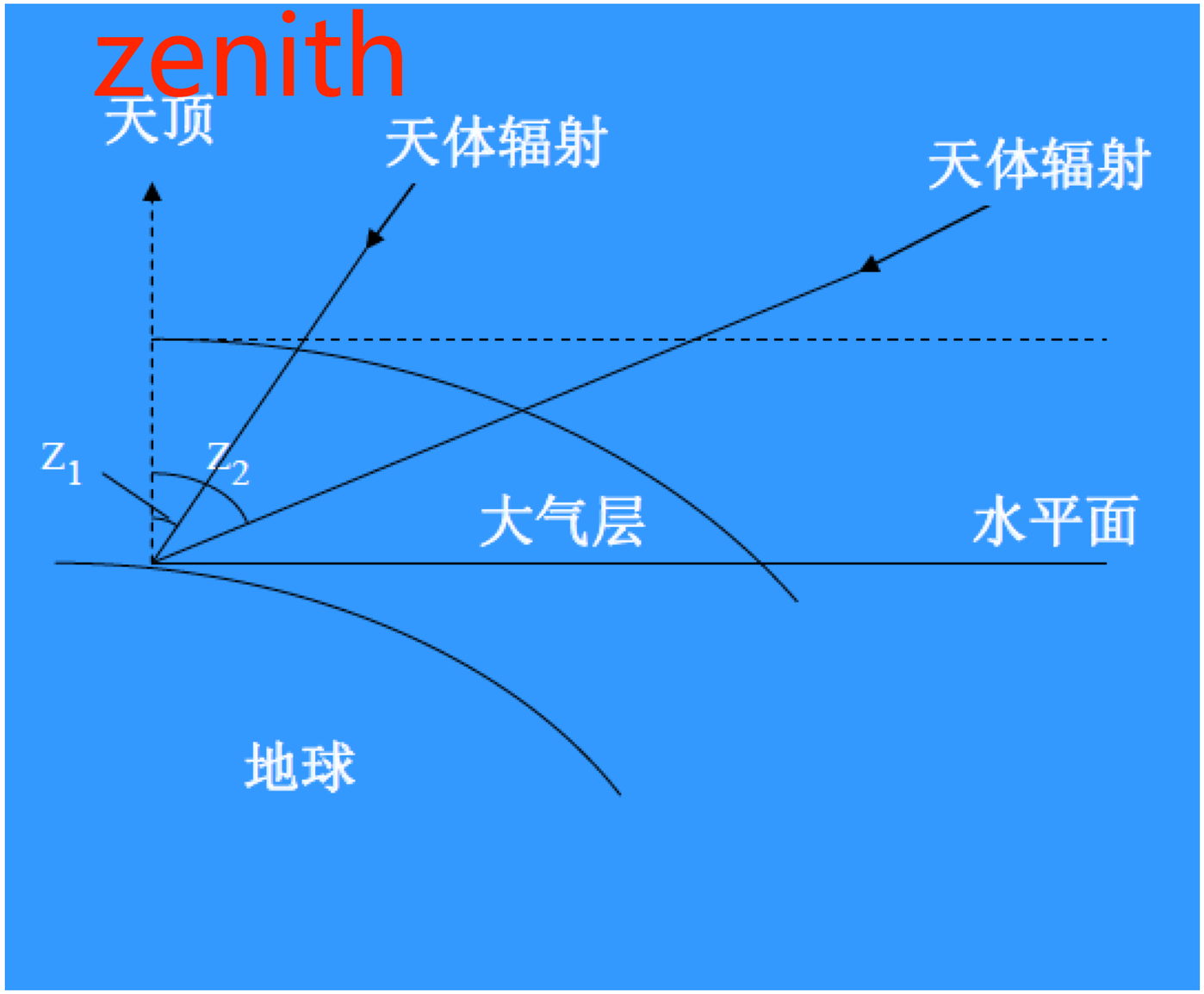
- 在地面上根本无法观测来自天体的紫外、X射线和γ射线，大部分红外辐射也同样无法到达地面。

- 对于这些辐射，只能借助于飞机、高空气球、火箭和人造卫星等飞行器，把观测仪器携带到地球大气层外去进行观测。

大气窗口


Gamma rays, X-rays and ultraviolet light blocked by the upper atmosphere (best observed from space).
Visible light observable from Earth, with some atmospheric distortion.
Most of the infrared spectrum absorbed by atmospheric gases (best observed from space).
Radio waves observable from Earth.
Long-wavelength radio waves blocked.
Atmospheric opacity
100 %
50 %
0 %
0.1 nm
1 nm
10 nm
100 nm
1 μm
10 μm
100 μm
1 mm
1 cm
10 cm
1 m
10 m
100 m
1 km
Wavelength

大气消光改正

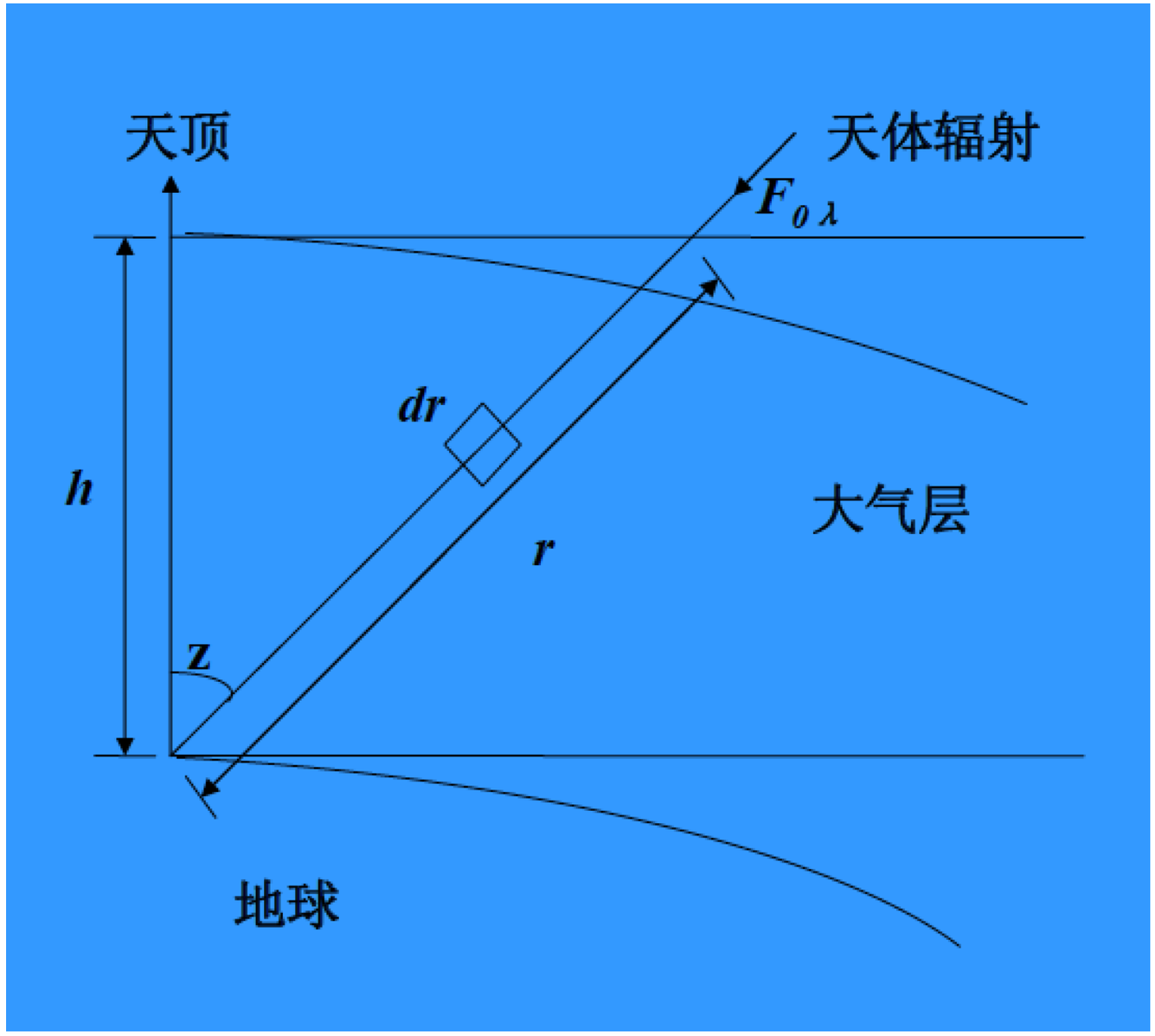


“天顶距”(zenith angle)定义为天体辐射的光线与天顶之间的夹角

大气消光严重歪曲了天体的亮度和颜色，为了得到天体的真实辐射情况，必须对地面上的观测结果进行消光改正，这是实测天体物理学的重要内容之一。

当天顶距Z_1较小时，天体辐射穿过的大气层厚度小，比相应于较大天顶距Z_2的厚度为小。在地平附近，天顶距最大，大气消光最厉害。所以一般天文观测都尽量避开大天顶距的情况。

大气消光改正



$$dF_\lambda = -\alpha_\lambda F_\lambda dr$$

α_λ为比例系数，它由大气性质所决定，称作吸收系数，是h或r的函数。r 由大气外 r =0，向地面增大。

大气消光改正

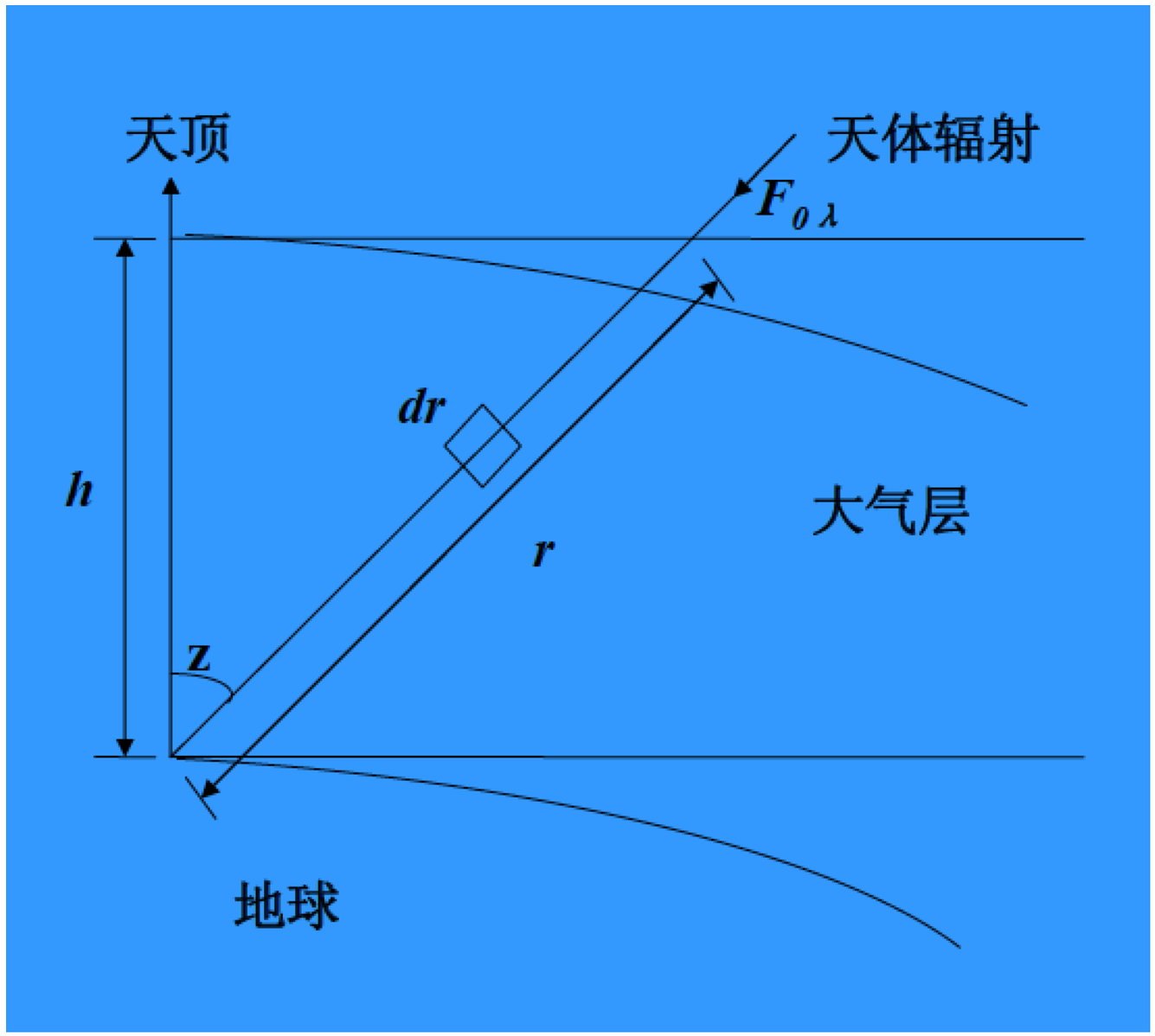
$$F_\lambda = F_0 e^{-\int_0^r \alpha_\lambda dr}$$

定义z方向大气的光学厚度: $\tau_\lambda(z) \equiv \int_0^r \alpha_\lambda dr$

定义z方向大气的透射系数: $T_\lambda(z) = F_\lambda / F_0$

$$T_\lambda(z) = e^{-\tau_\lambda(z)}$$

大气消光改正



$$dr = -\sec z \; dh$$

$$\tau_\lambda(z) = \tau_\lambda(0) \sec z$$

$$\tau_\lambda(0) = \int_0^h \alpha_\lambda dh$$

τλ（0）：天顶方向（z = 0）大气的光学厚度

大气消光改正

- 大气质量（air mass）：观测天体物理里的一个非常重要的概念
- 定义天顶距z 方向上的大气质量，为该方向上大气光学厚度与天顶方向大气光学厚度的比值。

$$M(z) \equiv \frac{\tau_\lambda(z)}{\tau_\lambda(0)}$$

$$T_\lambda(z) = e^{-\tau_\lambda(z)} = e^{-\tau_\lambda(0)\times M(z)} = [T_\lambda(0)]^{M(z)}$$

$T_\lambda(0)$：表示天顶方向（z = 0）大气的透射系数

大气消光改正

$$\tau_\lambda(z) = \tau_\lambda(0)\sec z$$

$$M(z) \equiv \frac{\tau_\lambda(z)}{\tau_\lambda(0)} \Bigg\} \quad M(z) = \sec(z)?$$

Not exactly! Atmospheric Refraction!

The above approximation works only at small zenith angle when $z < 60^\circ$

At larger zenith angles, the air mass is measured empirically from balloon observations

大气消光改正

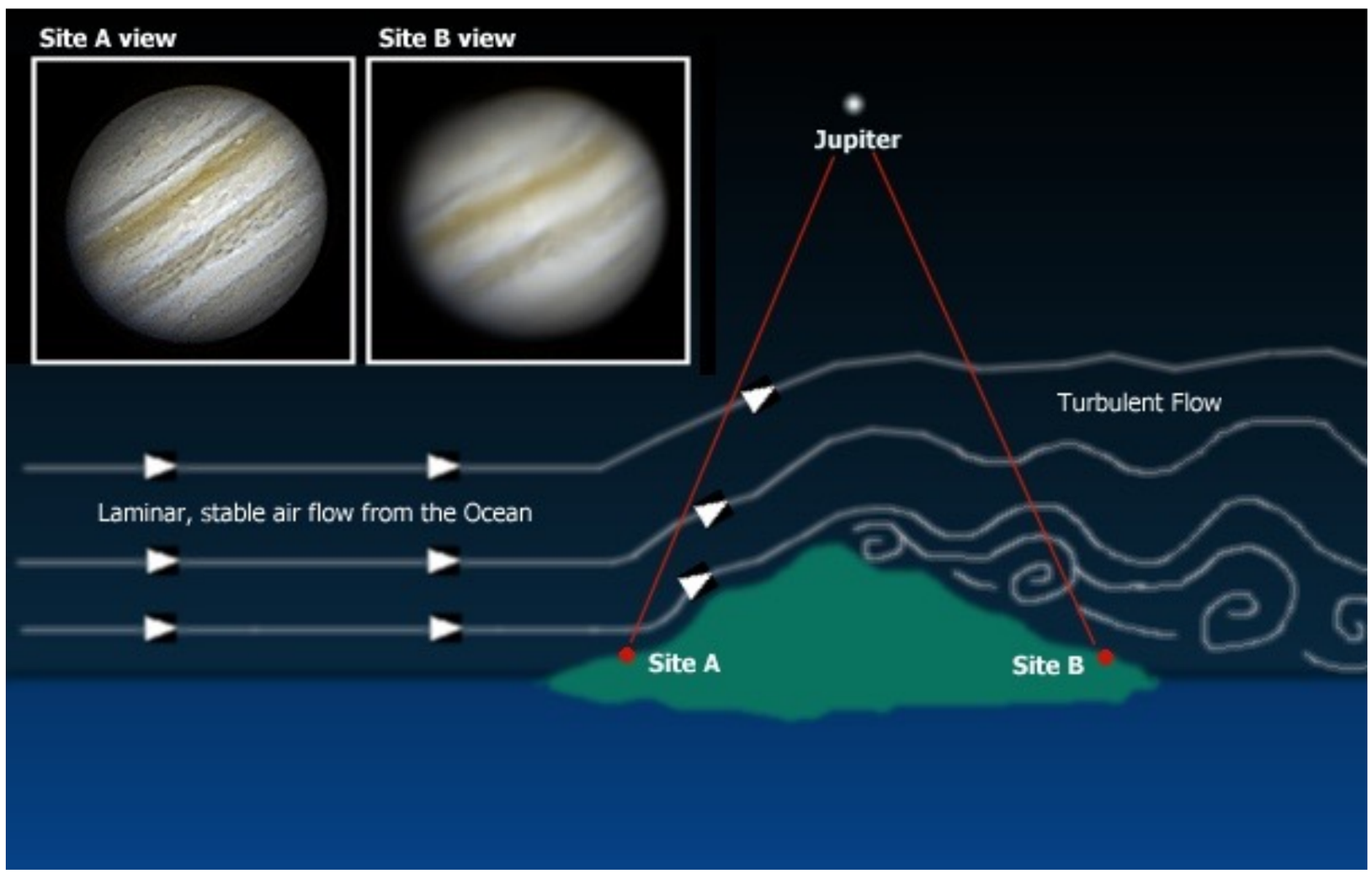
以下两个式子是进行地球大气消光改正的基本公式。大气质量M(z)由z值根据专门的表查得；$T_\lambda(0)$随观测地点和观测时间而变化，必须在对天体进行测量的同时测得它的值。

$$\frac{F_\lambda}{F_0} = [T_\lambda(0)]^{M(z)}$$

$$\Delta m = m_\lambda - m_0 = -2.5M(z)\log T_\lambda(0)$$

大气视宁度（seeing）

由于大气中微弱但总是存在的热气流，使得星象在高倍放大下总是显得闪烁不定。视宁度就是大气扰动造成星光闪烁的程度。视宁度的单位是“角秒”（arcsec）。视宁度是决定天文台选址的最关键因素之一。



大气视宁度（seeing）

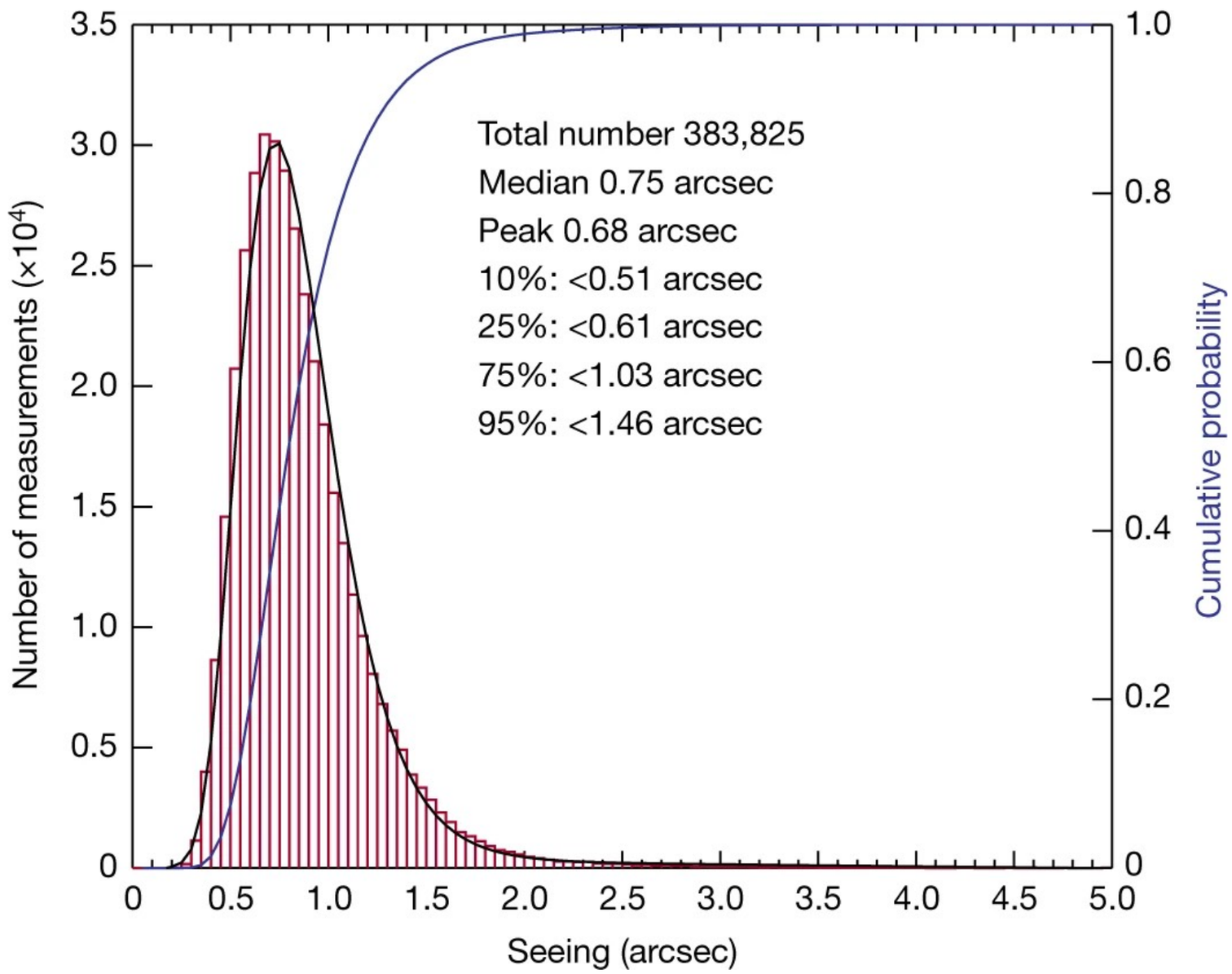
国际台址

台址	视宁度（角秒）
Mauna Kea Observatory（MKO)	0.45
Mt. Graham (Emerald Peak sites)	0.60
MMT (Mt. Hopkins/ summit)	0.60
European Southern Obs. (VLT site)	0.66
Magellan (Las Campanas)	0.76

我国台址

台址	视宁度（角秒）
北京天文台兴隆观测站	2 - 3
青海德令哈	1.6
云南天文台高美古观测站	1
青海冷湖	0.76
西藏阿里	0.7-0.8

青海冷湖视宁度数据



Deng et al. (2021)

选择望远镜的台址

对于地面天文台，台址的选择非常重要。如果台址选择不当，即使拥有优质的大口径光学望远镜和红外望远镜，也是“英雄无用武之地”。一个好的台址, 应当具备以下一些条件：

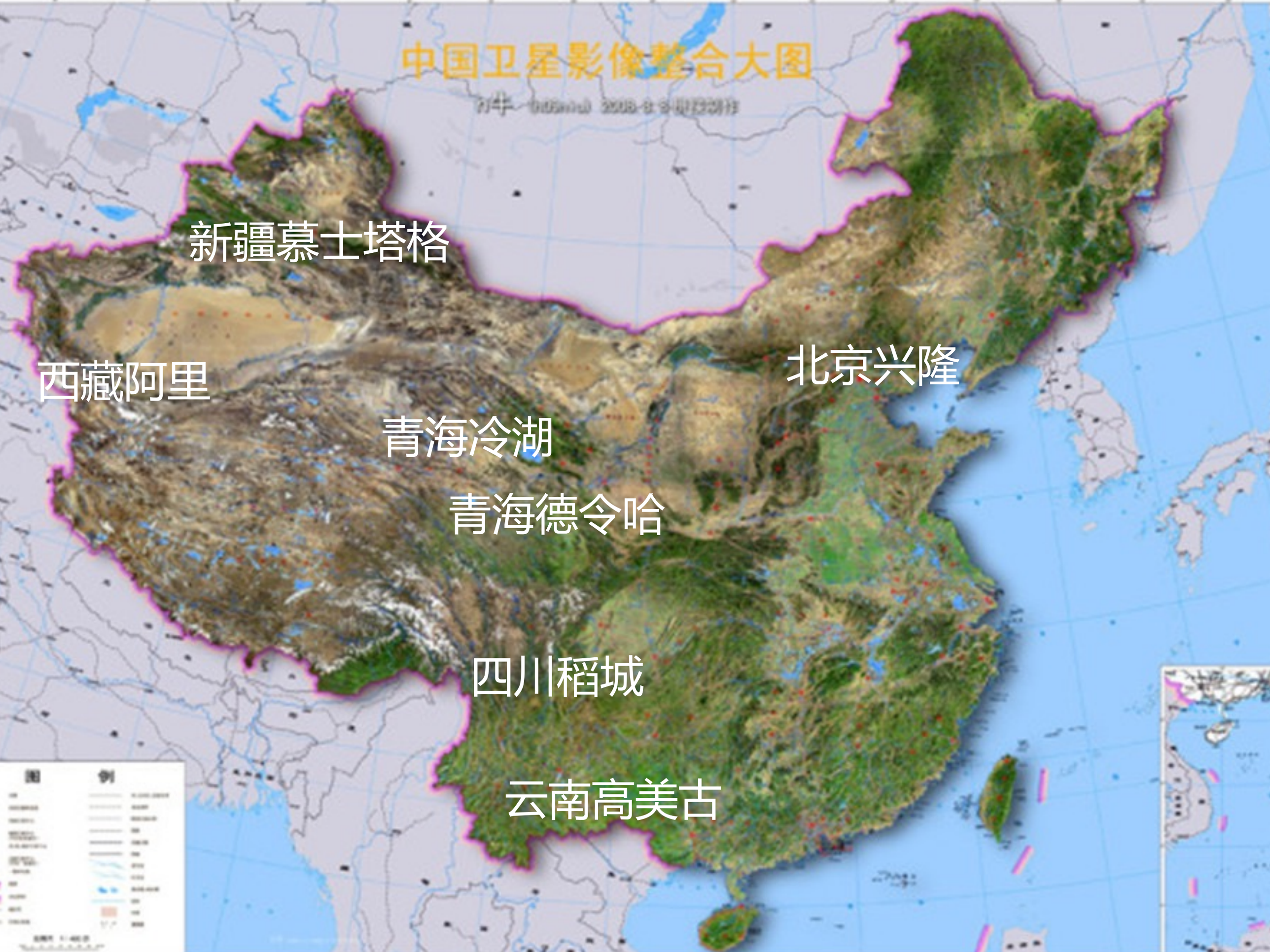
- 晴夜数多：晴夜指无雨、少云、无高云
- 天气变化小，温度变化小（仪器要求）
- 空气干燥，尘埃少，水蒸气含量低
- 视宁度好
- 气流稳定：无龙卷风、台风等
- 地质结构好：无地震等
- 无光污染：远离城市

拍扫网
s123.Net

www.city

夏威夷 Mauna Kea

智利欧洲南方天文台


中国卫星影像整合大图
新疆慕士塔格
西藏阿里
北京兴隆
青海冷湖
青海德令哈
四川稻城
云南高美古
图 例

北京兴隆观测站（LAMOST）

云南丽江高美古

西藏阿里

青海冷湖

主要地面望远镜台址性能比较

Table 1 | Comparison of key site characteristics with other known best sites in the world

Site	Median seeing (arcsec)	Air stability, ΔT 10–90% (°C)	Clear fraction (%)	Sky brightness (mag arcsec^{-2})	PWV <2 mm (%)
Lenghu	0.75	2.7	70	22.0	55
Mauna Kea	0.75	6.8	76	21.9	54
Cerro Paranal	0.80	3.6	71	21.6	36
La Palma	0.76	–	84	21.9	21

- seeing
- air stability
- clear sky fraction
- sky brightness
- precipitable water vapour

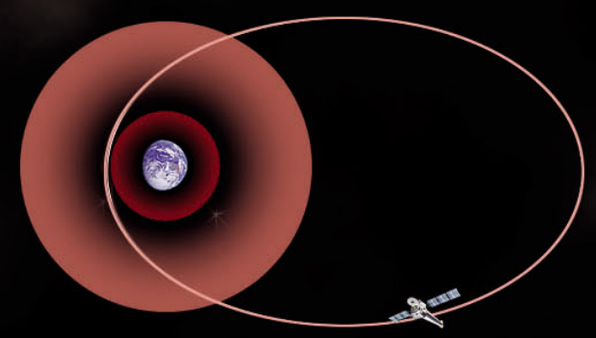
- 中国科大-紫金山天文台2.5米巡天望远镜
- 清华大学6.5米望远镜

Deng et al. (2021)

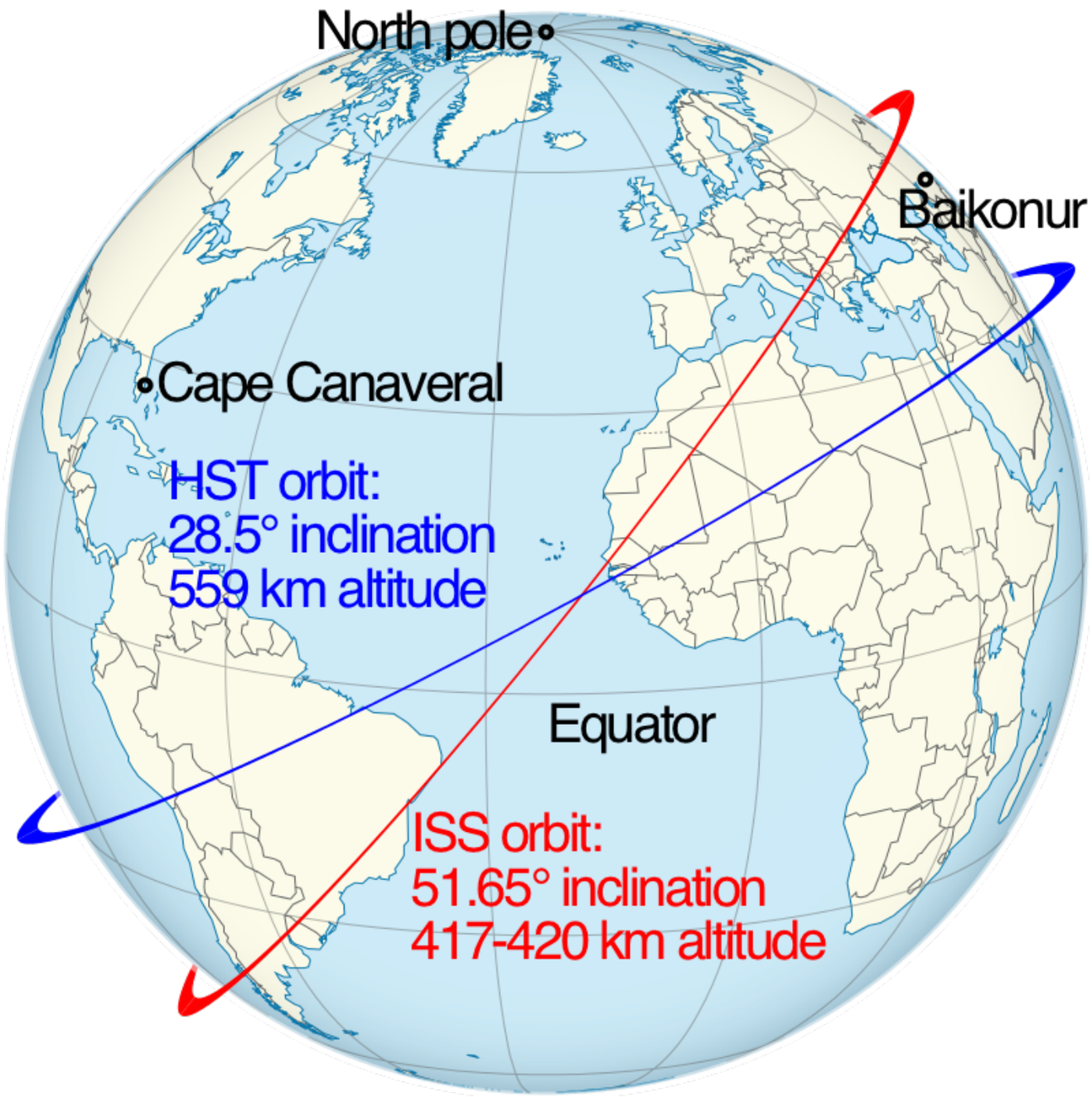
空间望远镜的“选址”

钱德拉X射线望远镜

- 高度椭率的椭圆形，近地点1.4万公里
- 周期：60小时。保证可以长时间不间断观测同一目标
- 避开地球的辐射带



空间望远镜的“选址”

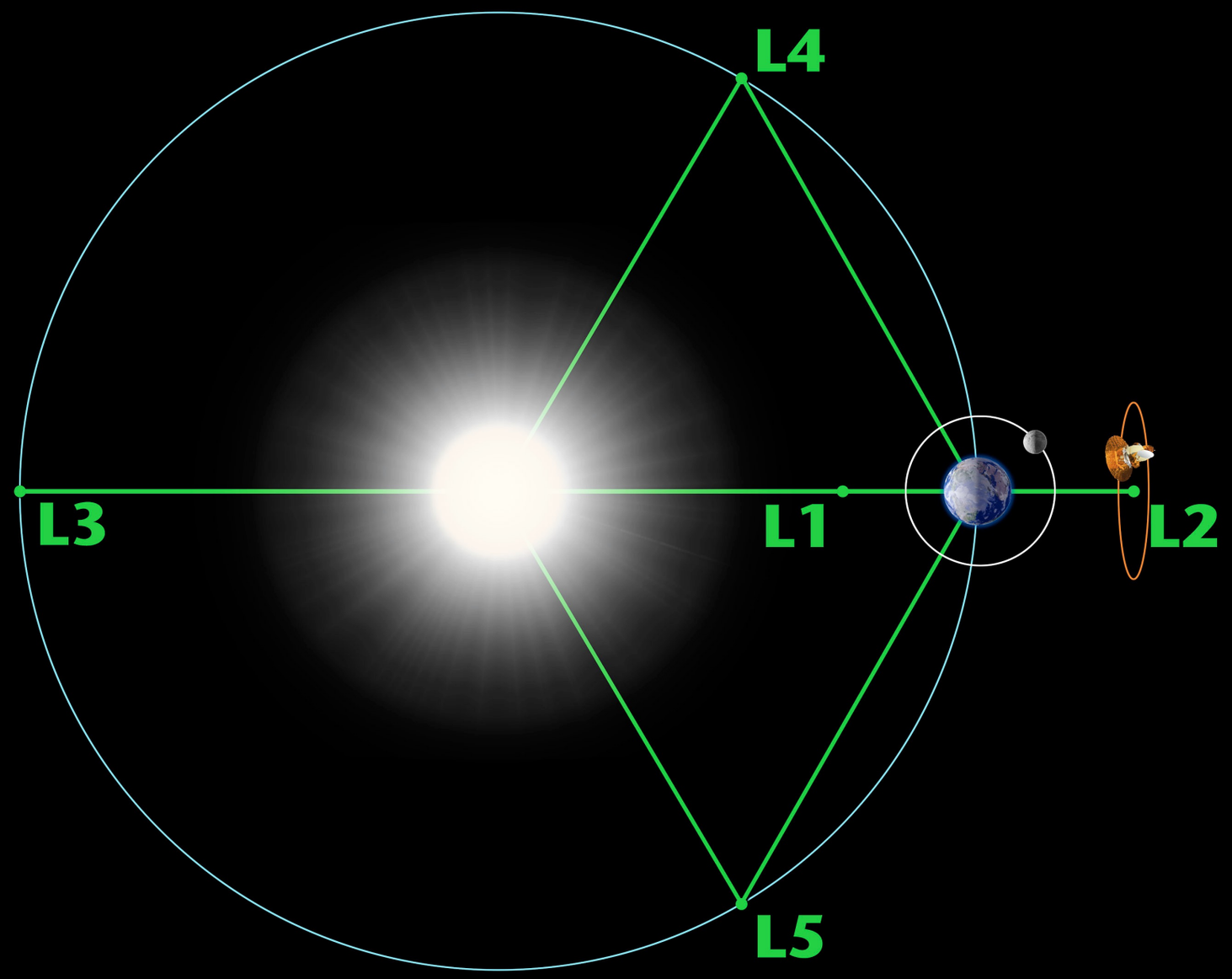


哈勃空间望远镜

- 轨道接近圆形，半径约600公里；周期1.5小时
- 轨道接近地球，便于航天飞机进行修理，更换仪器

筹建中的中国空间站望远镜（预期2024年）

空间望远镜的“选址”



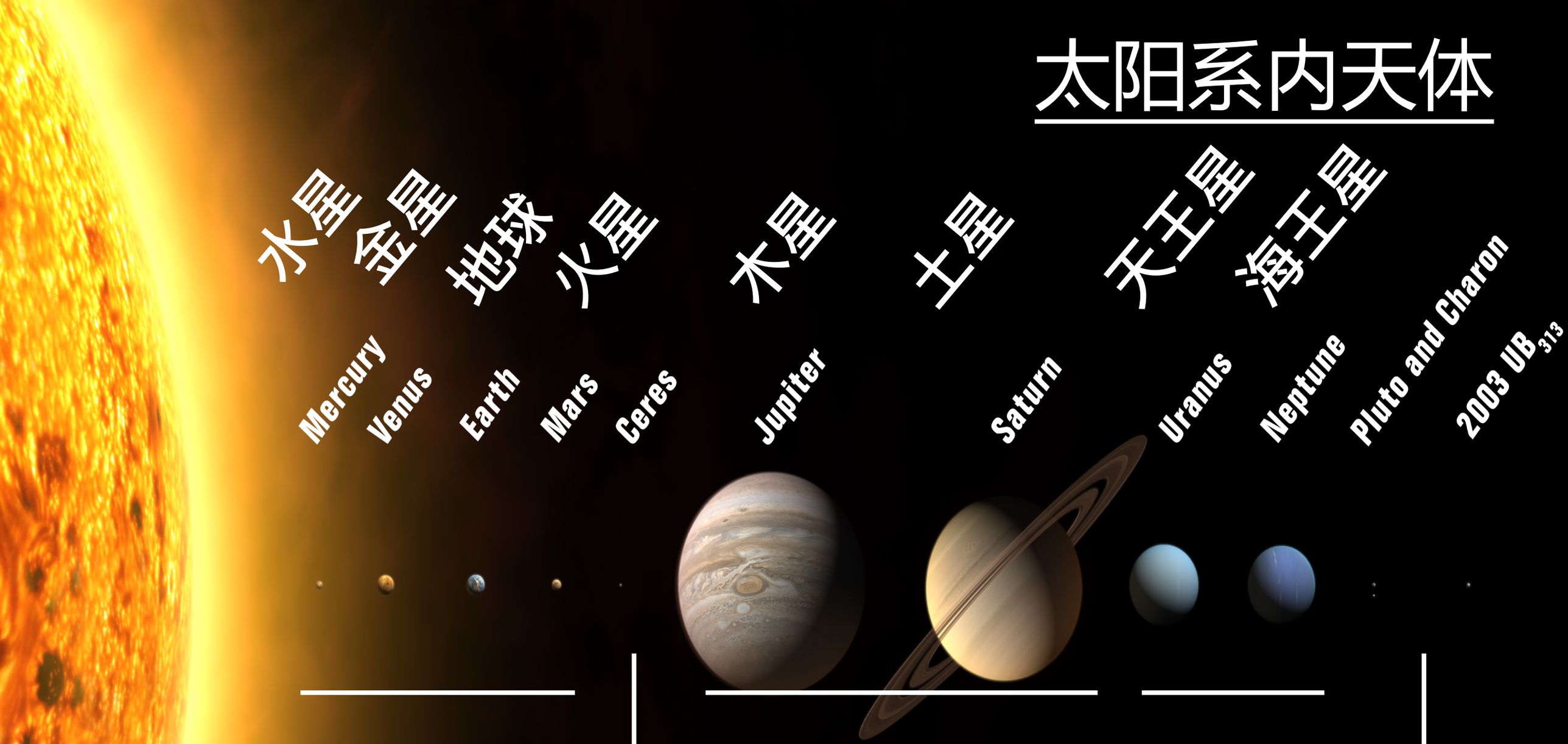
威尔金森微波各向异性探测器（WMAP）、JWST

- 第二拉格朗日点，距离地球一百五十万公里
- 需要一个绝对冷却的环境
- 地球将遮挡来自太阳的热量
- 远离地球这个热源

第一章：观测天文学简介

课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

太阳系内天体

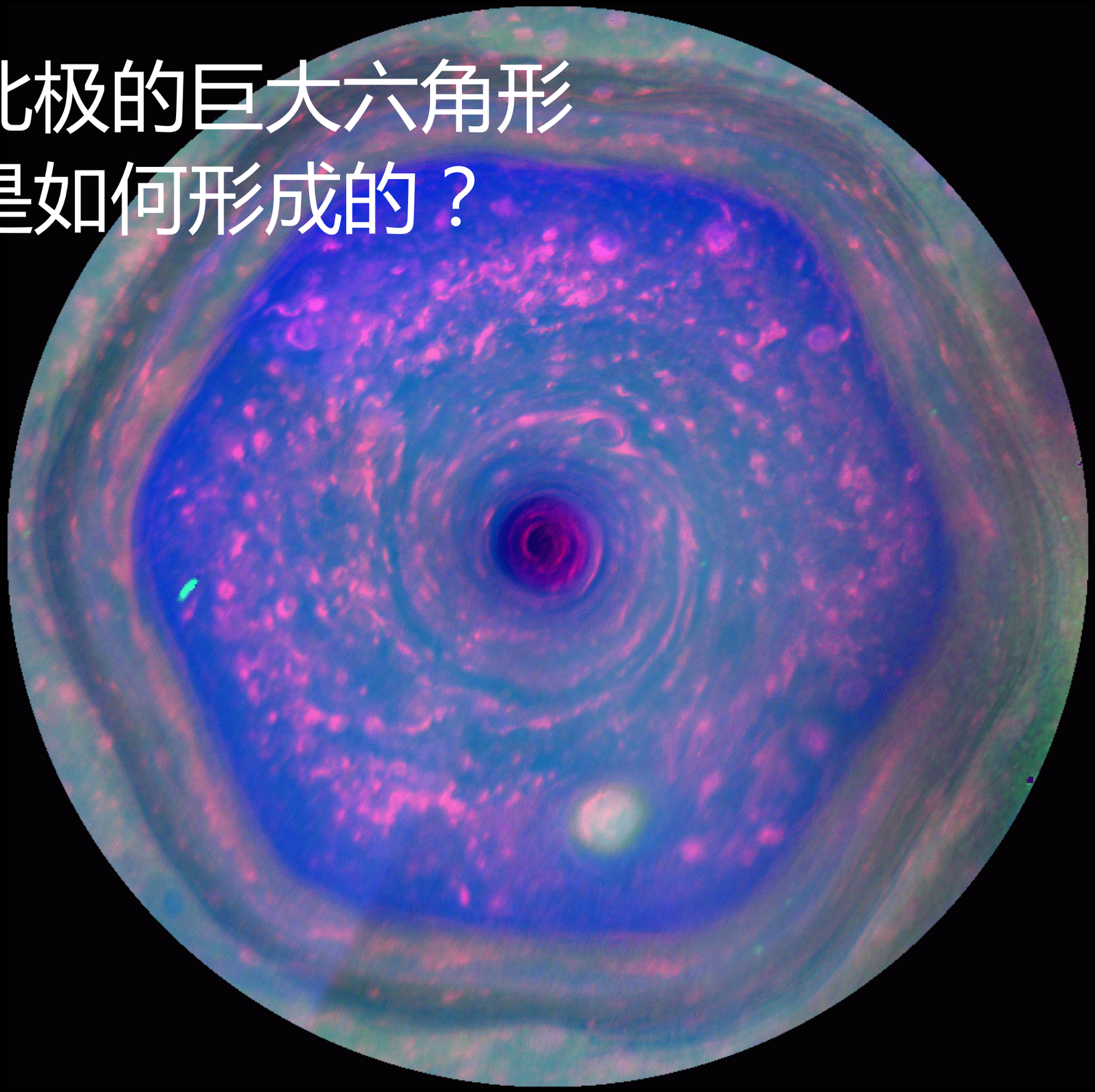


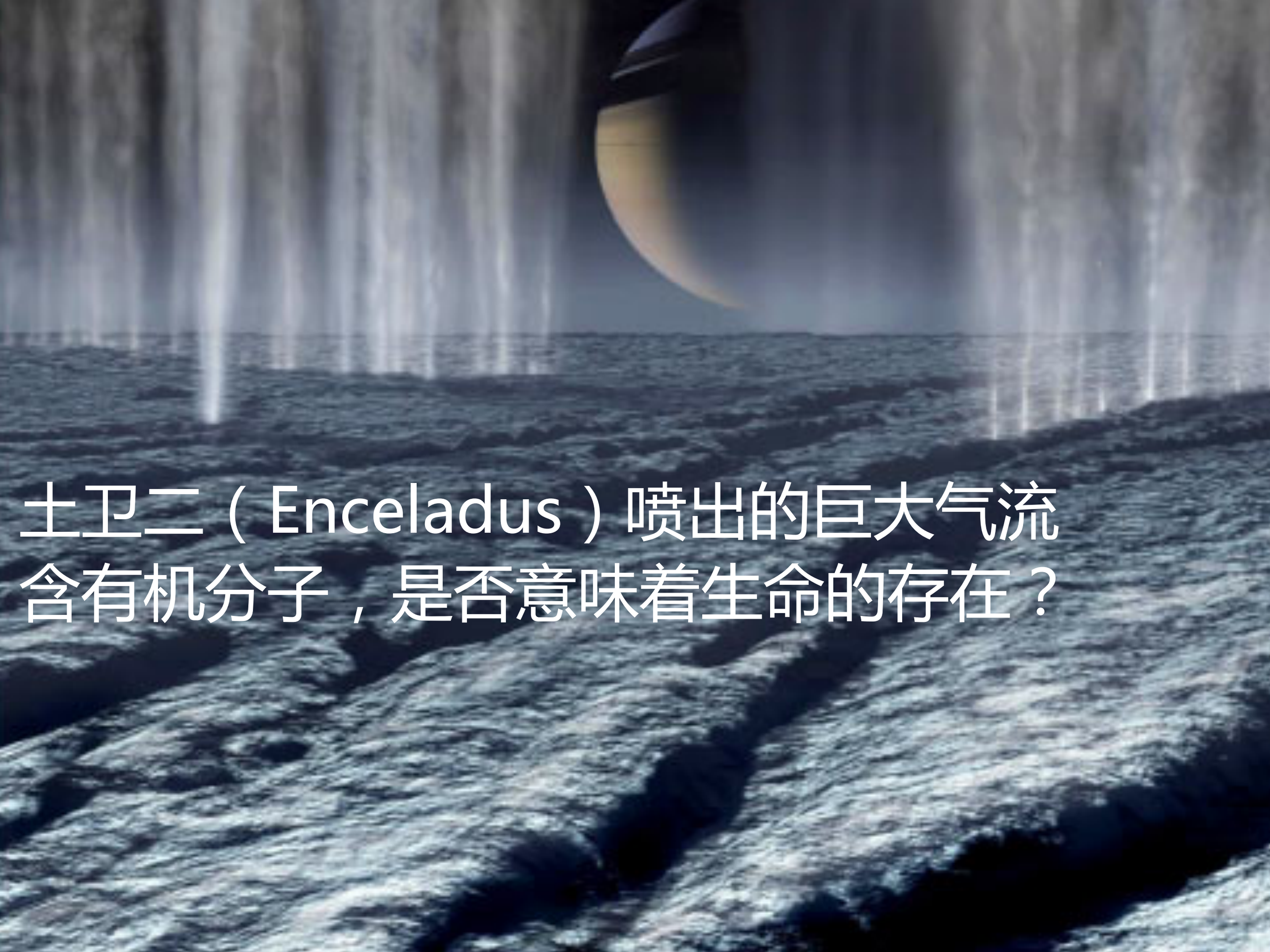
类地行星 | 气体巨行星 | 冰行星

小行星带

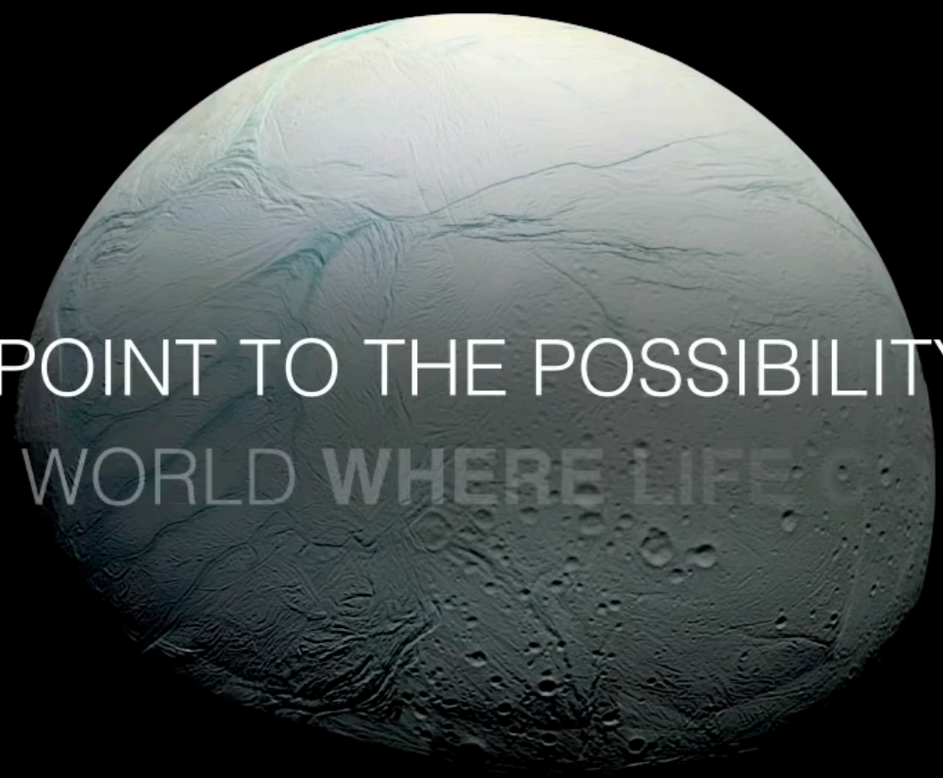
柯伊伯带

土星北极的巨大六角形气流是如何形成的？





土卫二（Enceladus）喷出的巨大气流
含有机分子，是否意味着生命的存在？



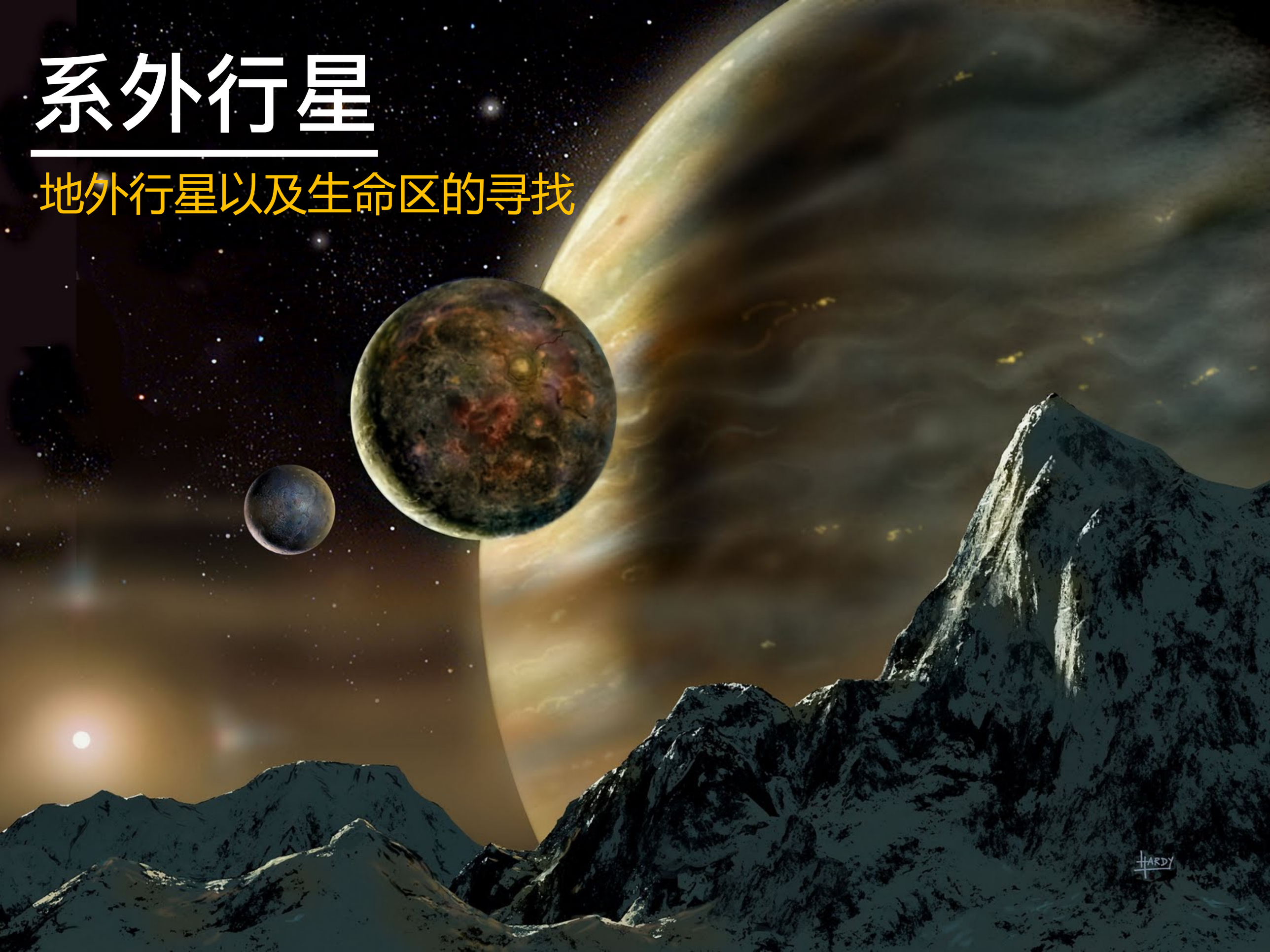
ALL POINT TO THE POSSIBILITY OF

AN OCEAN WORLD **WHERE LIFE C**

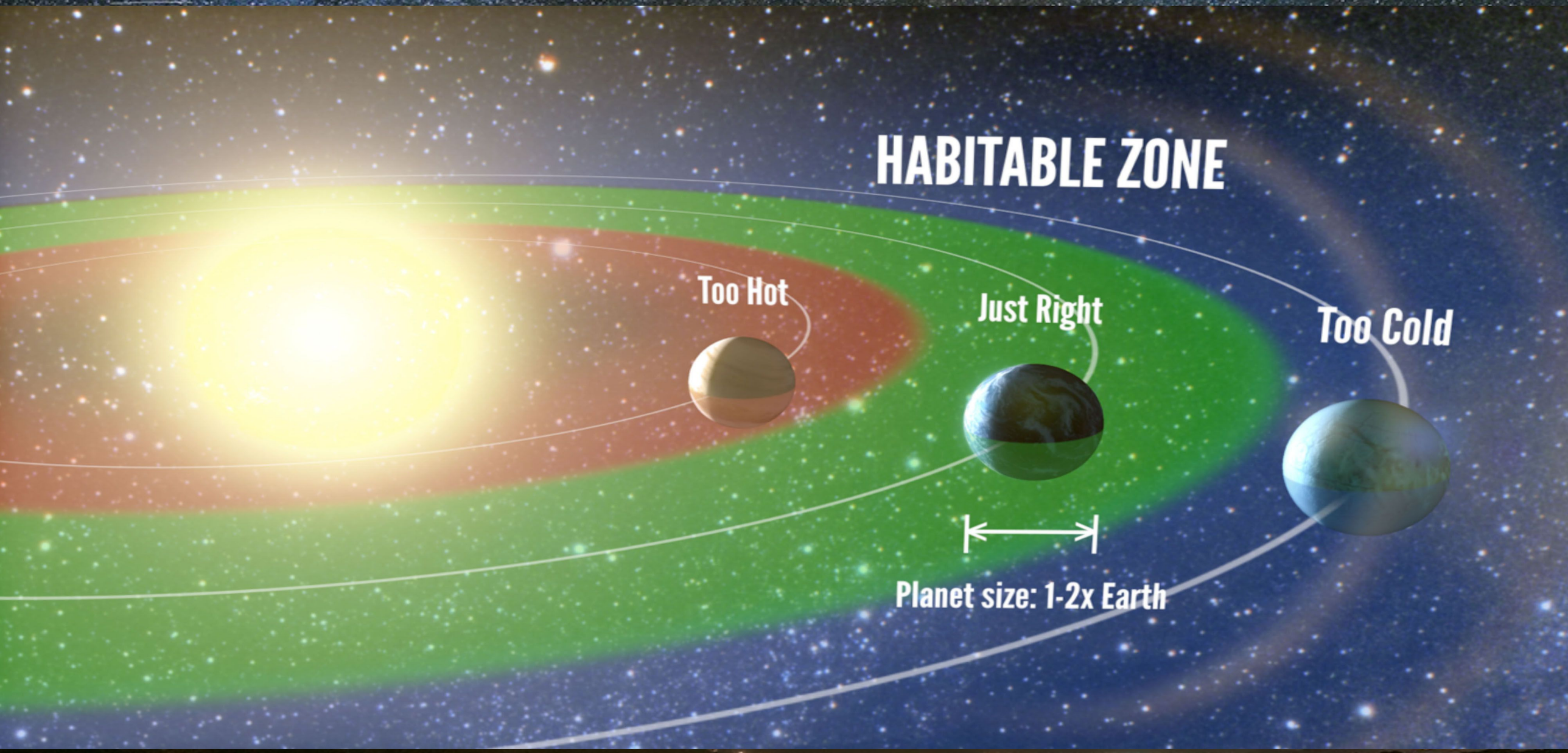
奥陌陌（’ Oumuamua），太阳系的第一个星际来客！

系外行星

地外行星以及生命区的寻找



能在生命适宜区的行星上找到生命吗？



年轻的行星系统是如何成长的？

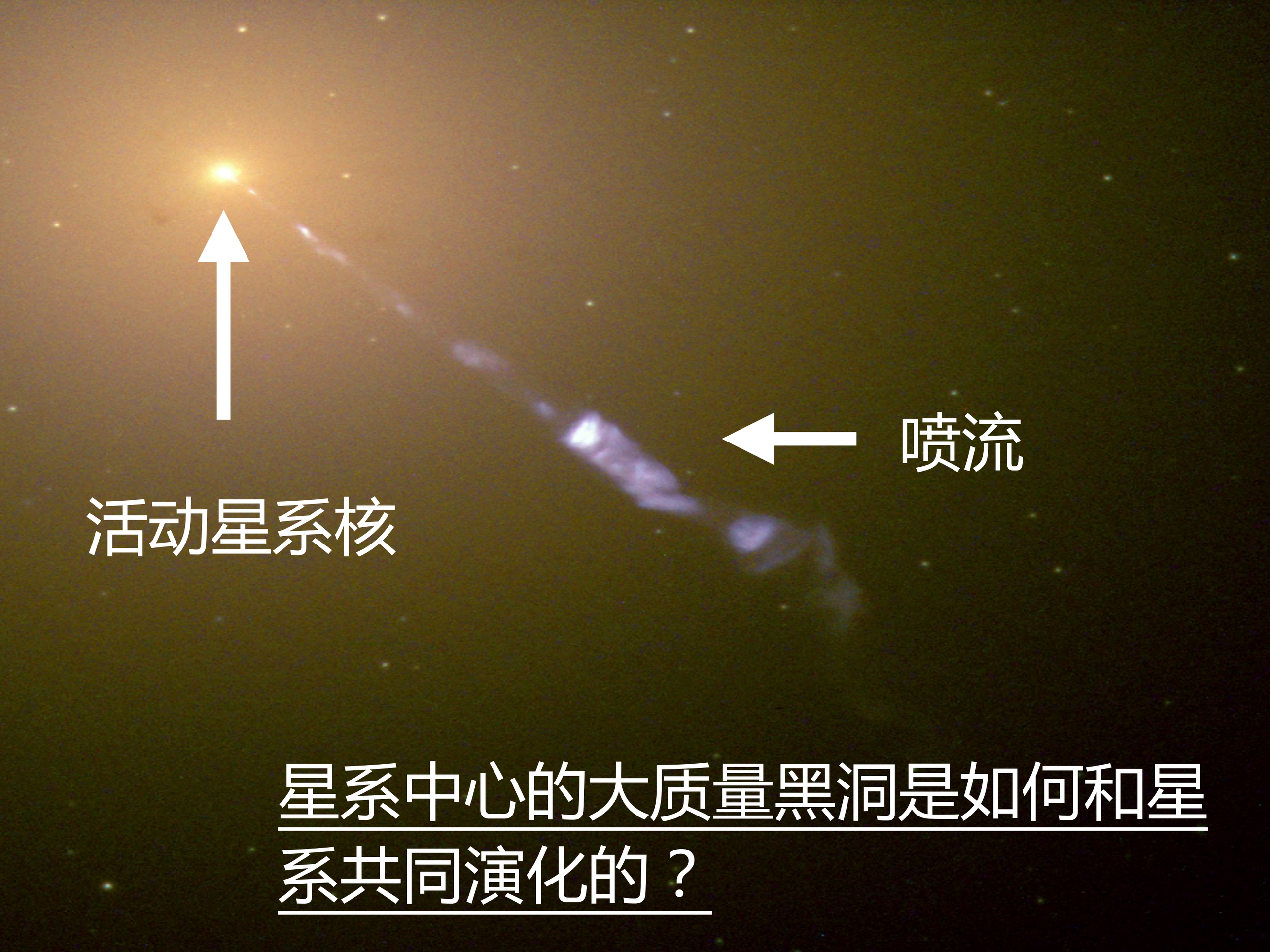
ALMA观测发现，构成行星系统的物质除了在中心恒星周围形成盘状结构，还通过一些“桥状”结构和中心恒星有物质交流

恒星是如何形成，演化，并最终死亡的？

著名的蟹状星云

星际介质（interstellar medium）对恒星乃至星系的形成和演化有什么作用？

星系是如何形成与演化的？

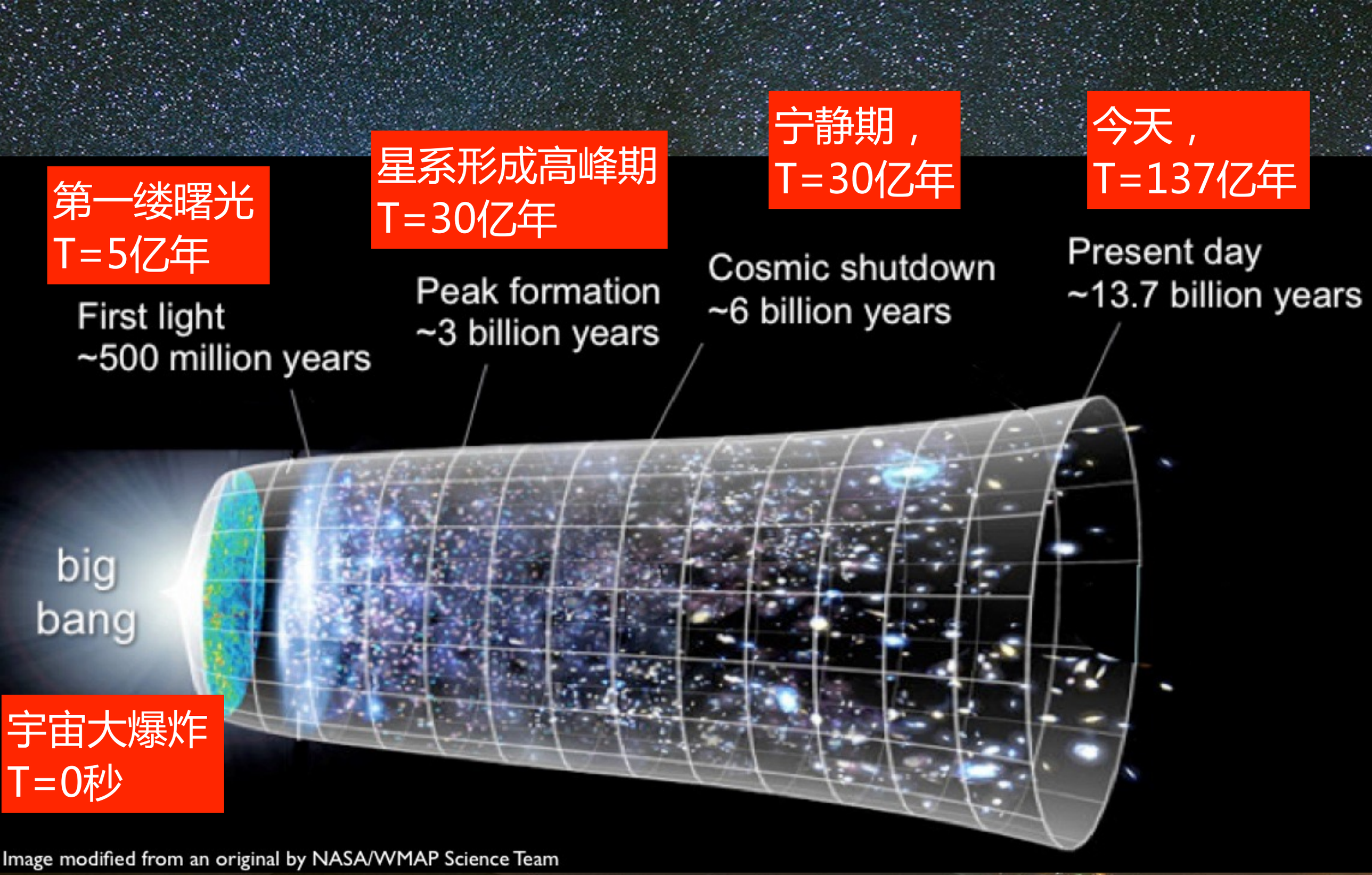


星系中心的大质量黑洞是如何和星系共同演化的？

哈勃深场巡天：在星系之间是什么？
星系际介质！（Intergalactic Medium）

宇宙网（Cosmic Web）结构

星系团：由成千上万个星系所组成的巨大引力结构！
Abell 370 及其引力透镜效应



宇宙大尺度结构形成及演化

第一章：观测天文学简介

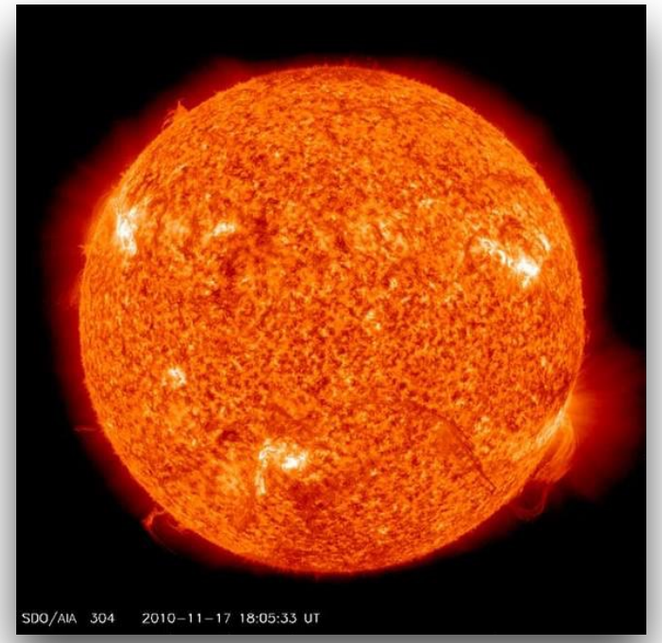
课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

天文观测的基本方法

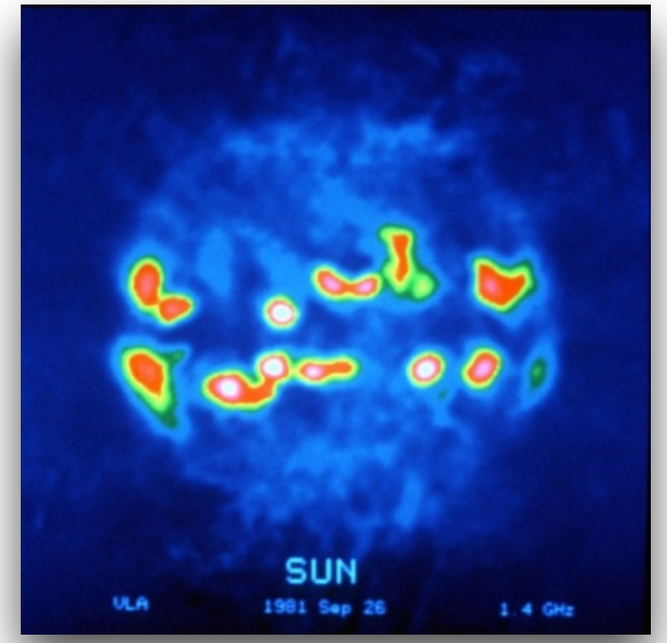
测光观测（Photometry）
光谱观测（Spectroscopy）
偏振观测（Polarization）
时变观测（Timing）

测光观测（Photometry）

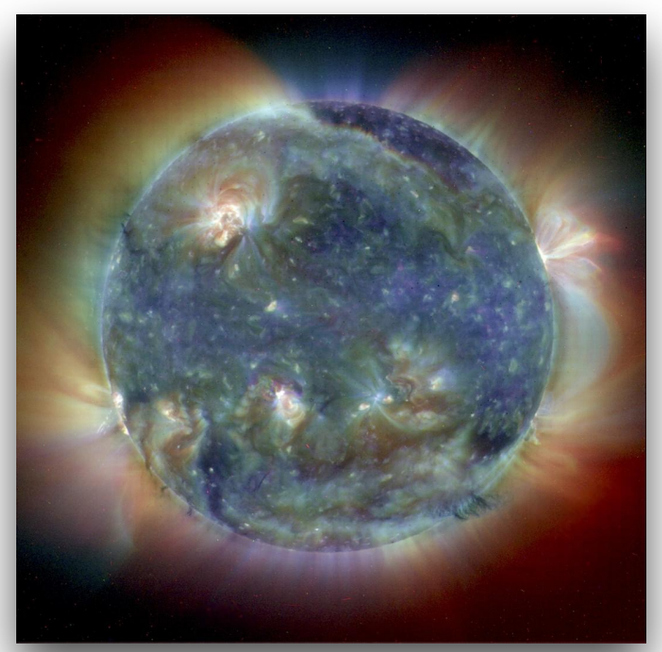
光学



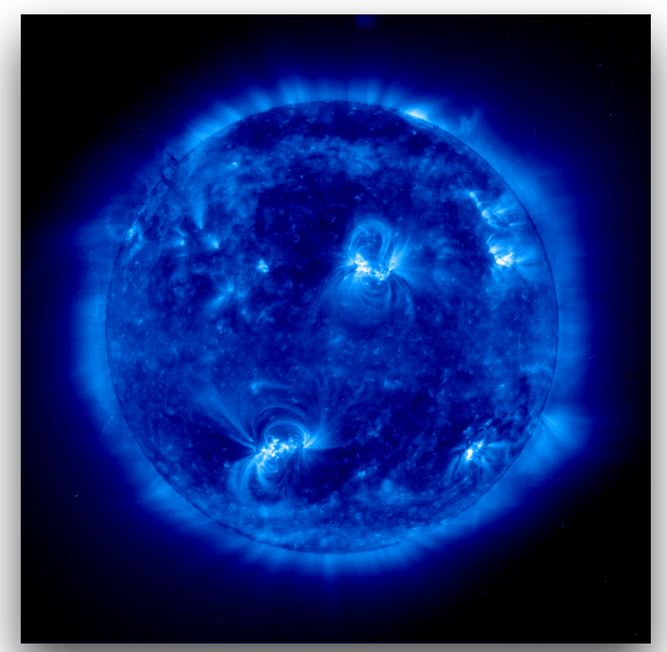
射电



紫外

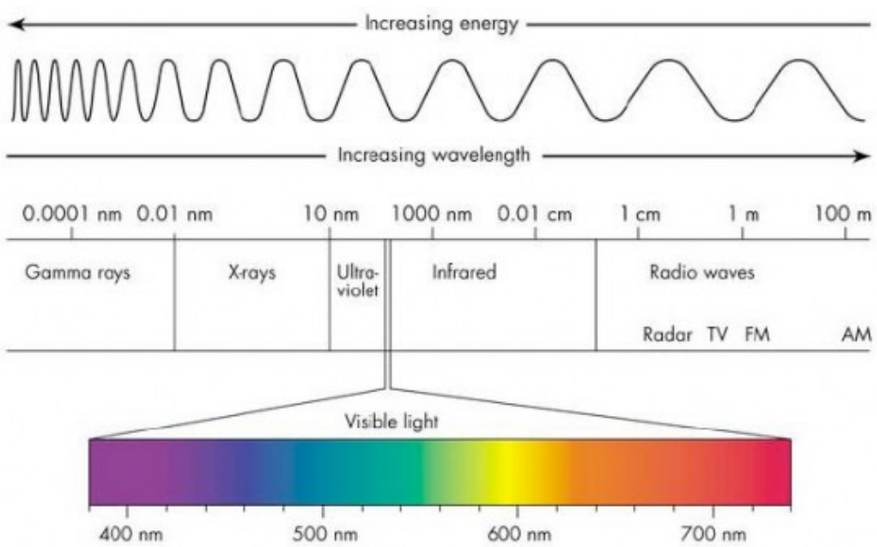


X-ray

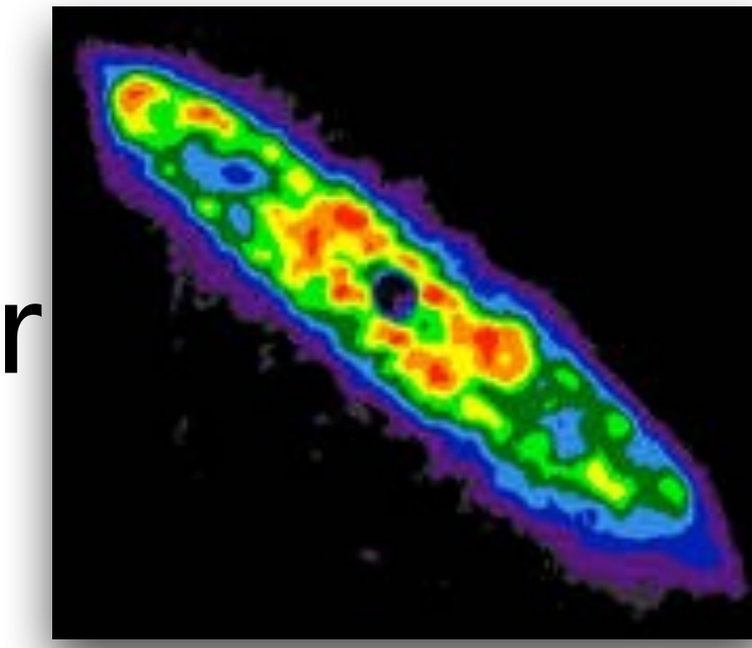


如何“看见”非光学波段的天体？

NGC 253

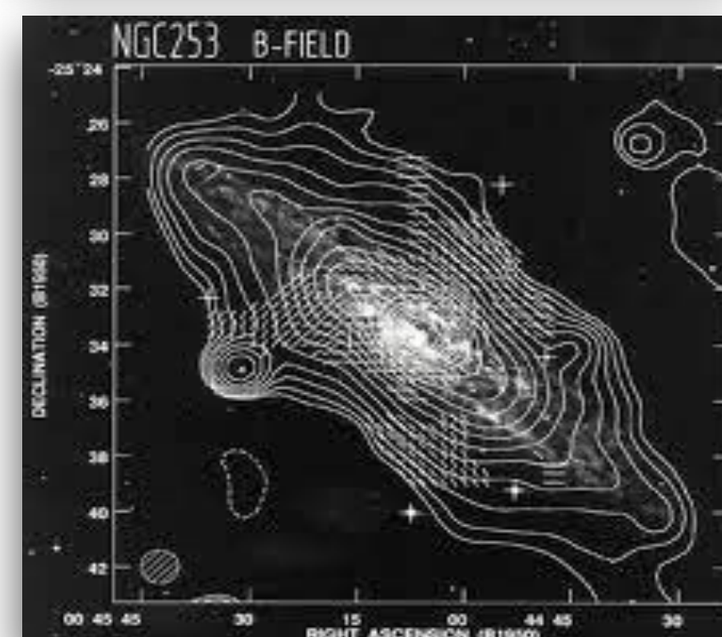


false color

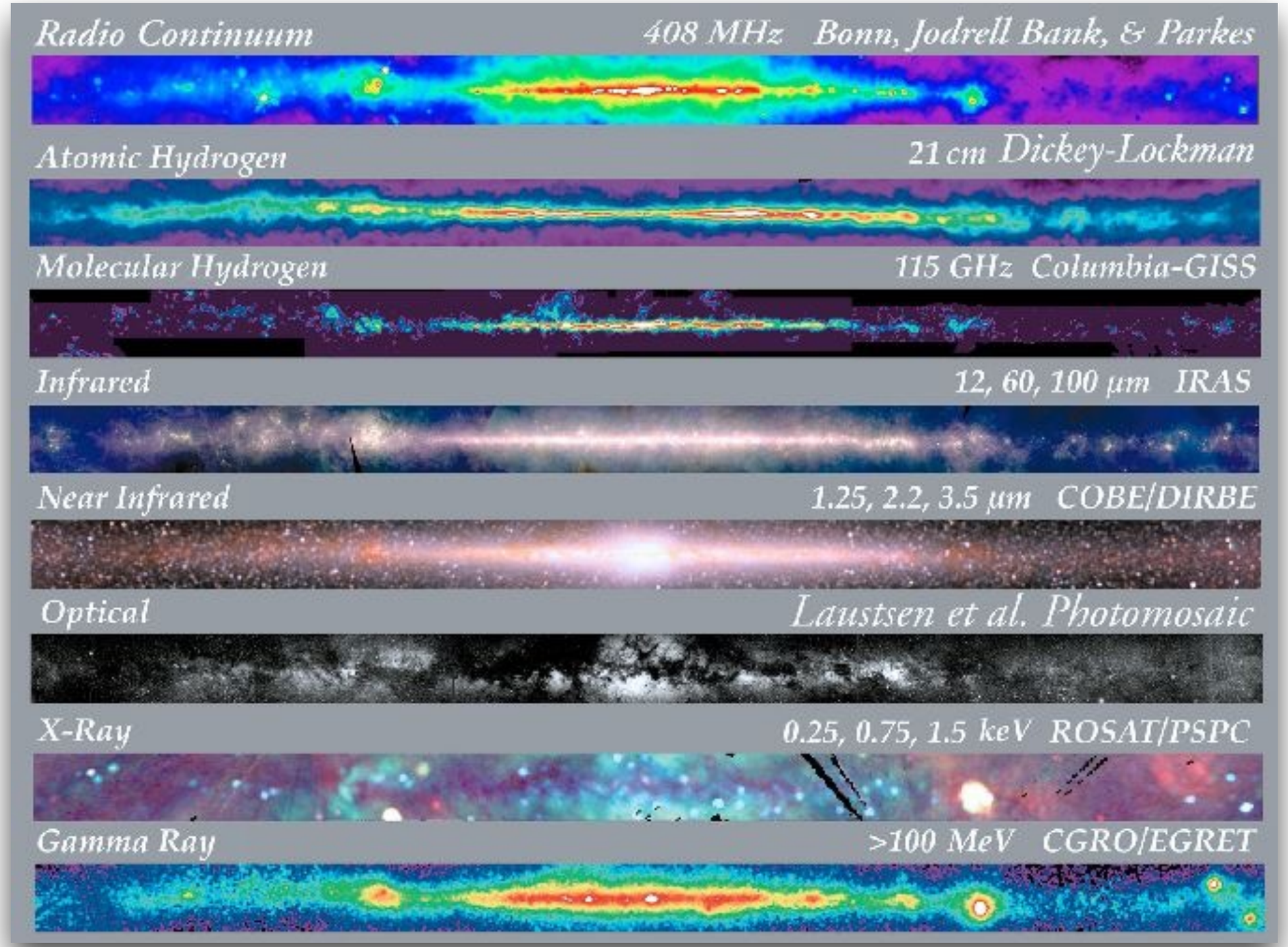


true color

contour



多波段下的银河系


Radio Continuum
408 MHz Bonn, Jodrell Bank, & Parkes
Atomic Hydrogen
21 cm Dickey-Lockman
Molecular Hydrogen
115 GHz Columbia-GISS
Infrared
12, 60, 100 μm IRAS
Near Infrared
1.25, 2.2, 3.5 μm COBE/DIRBE
Optical
Laustsen et al. Photomosaic
X-Ray
0.25, 0.75, 1.5 keV ROSAT/PSPC
Gamma Ray
>100 MeV CGRO/EGRET

星爆星系 M82

测光的基本概念

- 测光：利用望远镜测量天体的流量（flux）或亮度（视星等，m_v）

- 最简单、直接的观测（无需光谱仪等复杂仪器）

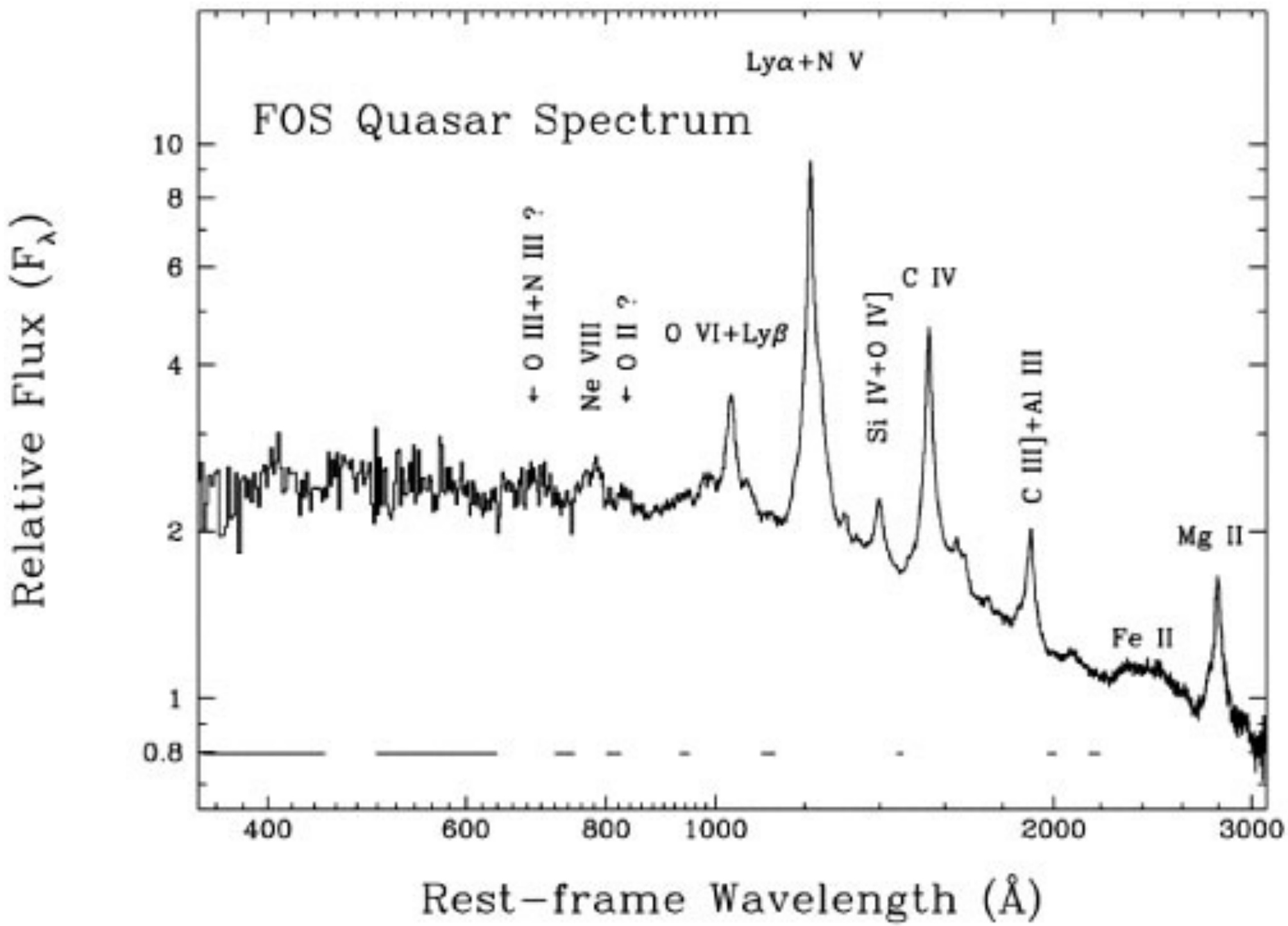
- 作用：

  ➡ 测量基本参数：坐标、星等、测光红移等

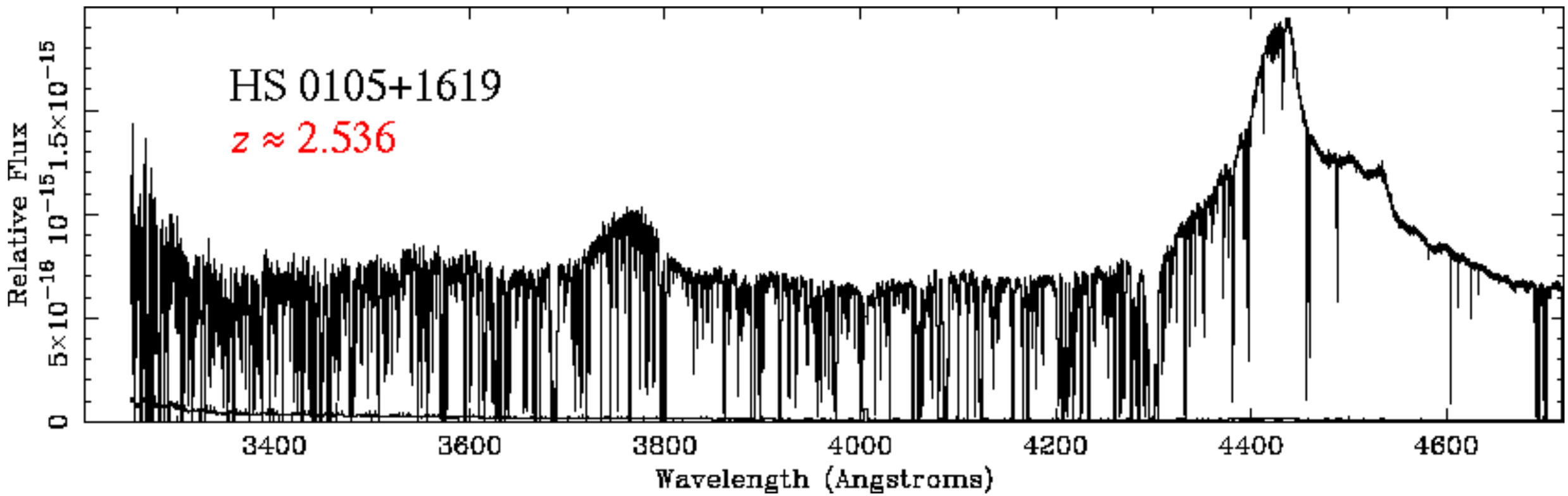
  ➡ 结合多色测光、窄带测光等方法，测量：色指数、温度、分类、年龄等

  ➡ 还可通过星际消光测量星际介质的性质等

光谱观测（Spectroscopy）



光谱观测（Spectroscopy）



Lyα森林线

光谱观测（Spectroscopy）

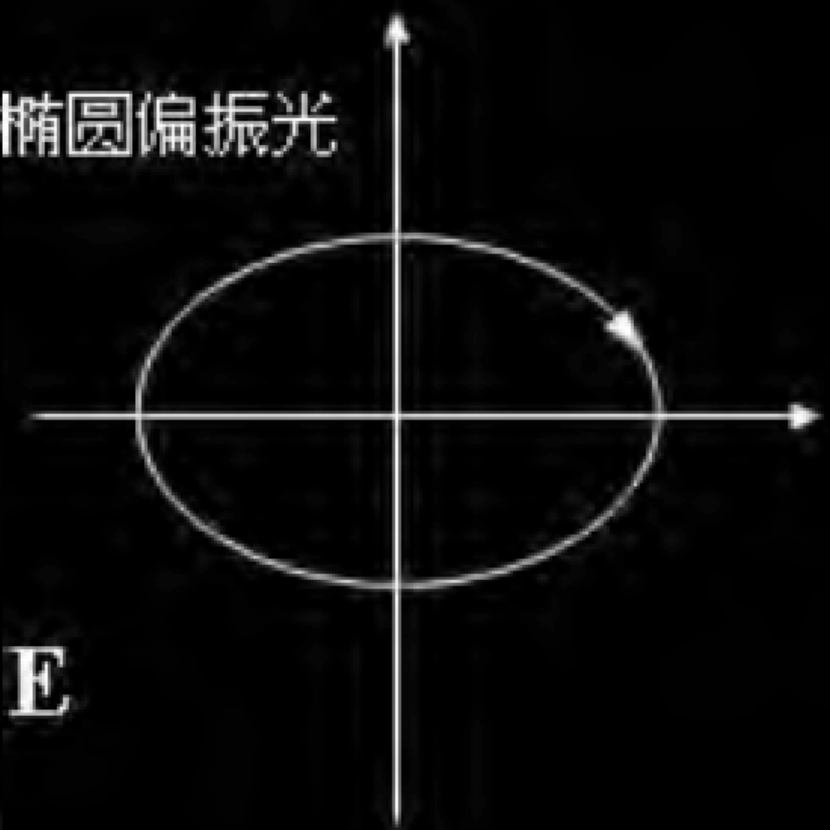
- 光谱观测提供了极为丰富的天体信息
- 连续谱（continuum）：天体辐射机制、温度、密度等
- 谱线：金属丰度、温度、密度、天体红移等
- 利用背景天体发出的光，谱线还可用于研究前景天体（包括星际、星系际介质等）的性质

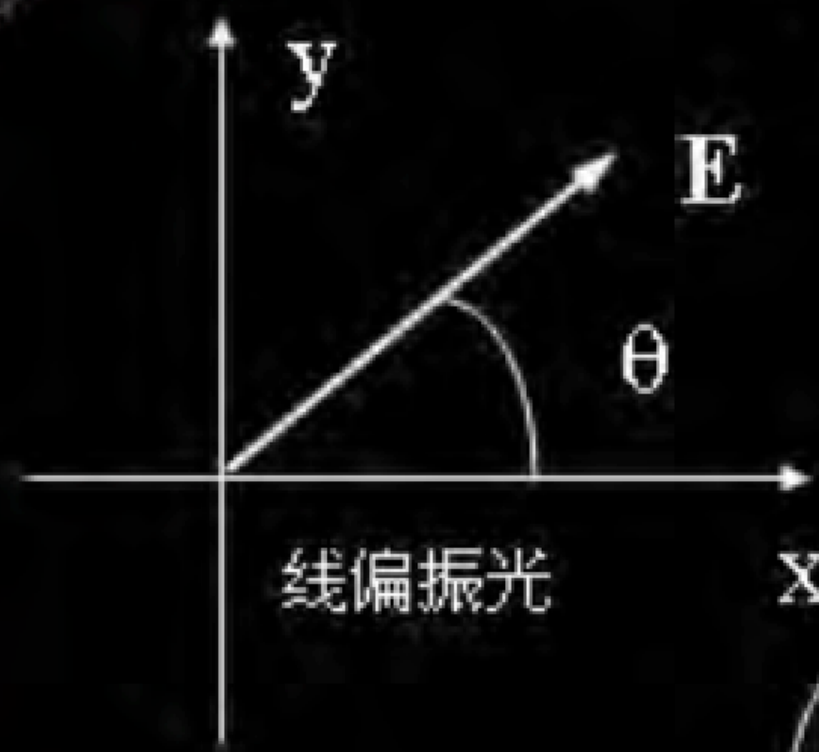
偏振观测（Polarization）

光的偏振态：沿着光波传播方向，在垂直于传播方向的波前平面内，振动矢量振动方向的选择。天文学中常用电矢量来讨论。

- 电矢量在各方向振动几率相等：“非偏振光”
- 电矢量只沿某个固定方向振动：“线偏振光”
- 电矢量端点随时间在振动平面内画出一个圆：“圆偏振光”
- 电矢量端点随时间在振动平面内画出一个椭圆：“椭圆偏振光
- 自然光：在垂直于光传播方向的平面内，电矢量振动方向随机分布，沿各方向的概率相同，各个振动方向的振幅相等，是多个振动的无规混杂。
- 偏振测量的应用：天体磁场、天体的辐射机制、物质分布等

自然光

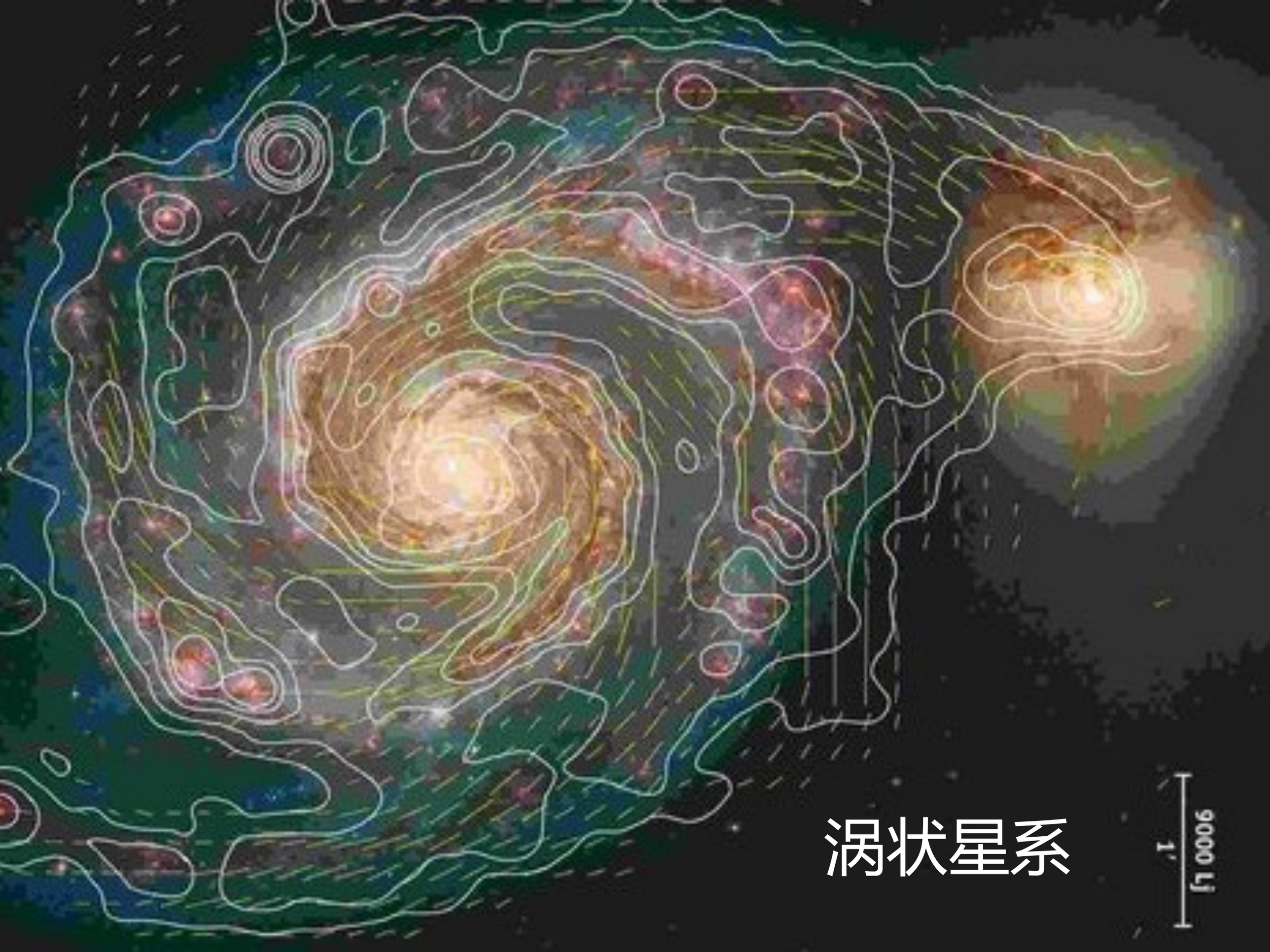




线偏振光

部分偏振光

圆偏振光


涡状星系
9000 Lj
1'

时变观测（Timing Analysis）

- 时变观测：天体辐射随时间的变化
- 大部分天体在人类开始天文观测的数百年间是没有显著变化的
- 但有少部分天体在极短时间（秒级甚至毫秒级）内其亮度会发生急剧变化 - 通常意味着极高能的天体物理现象，比如超新星爆发、致密天体的并合等
- 研究天体的时变规律有助于了解这些天体物理现象背后的物理规律

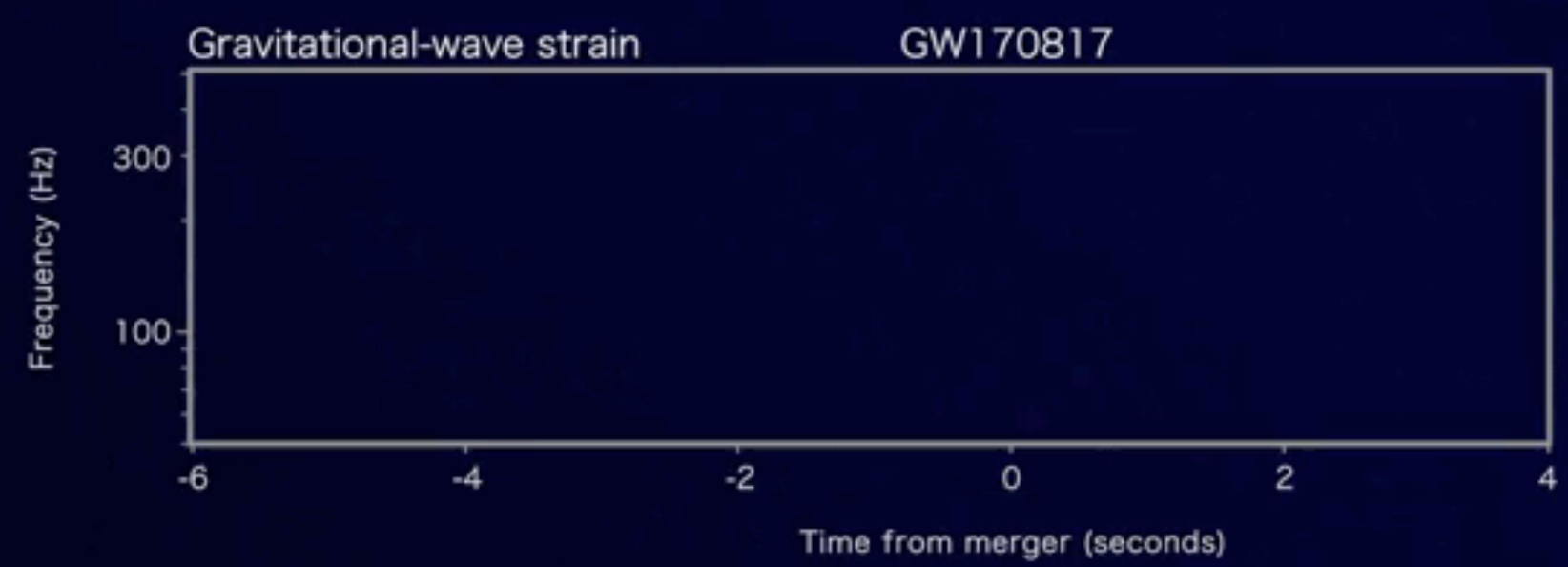
造父变星：标准烛光定距

首次探测到引力波源的电磁辐射！

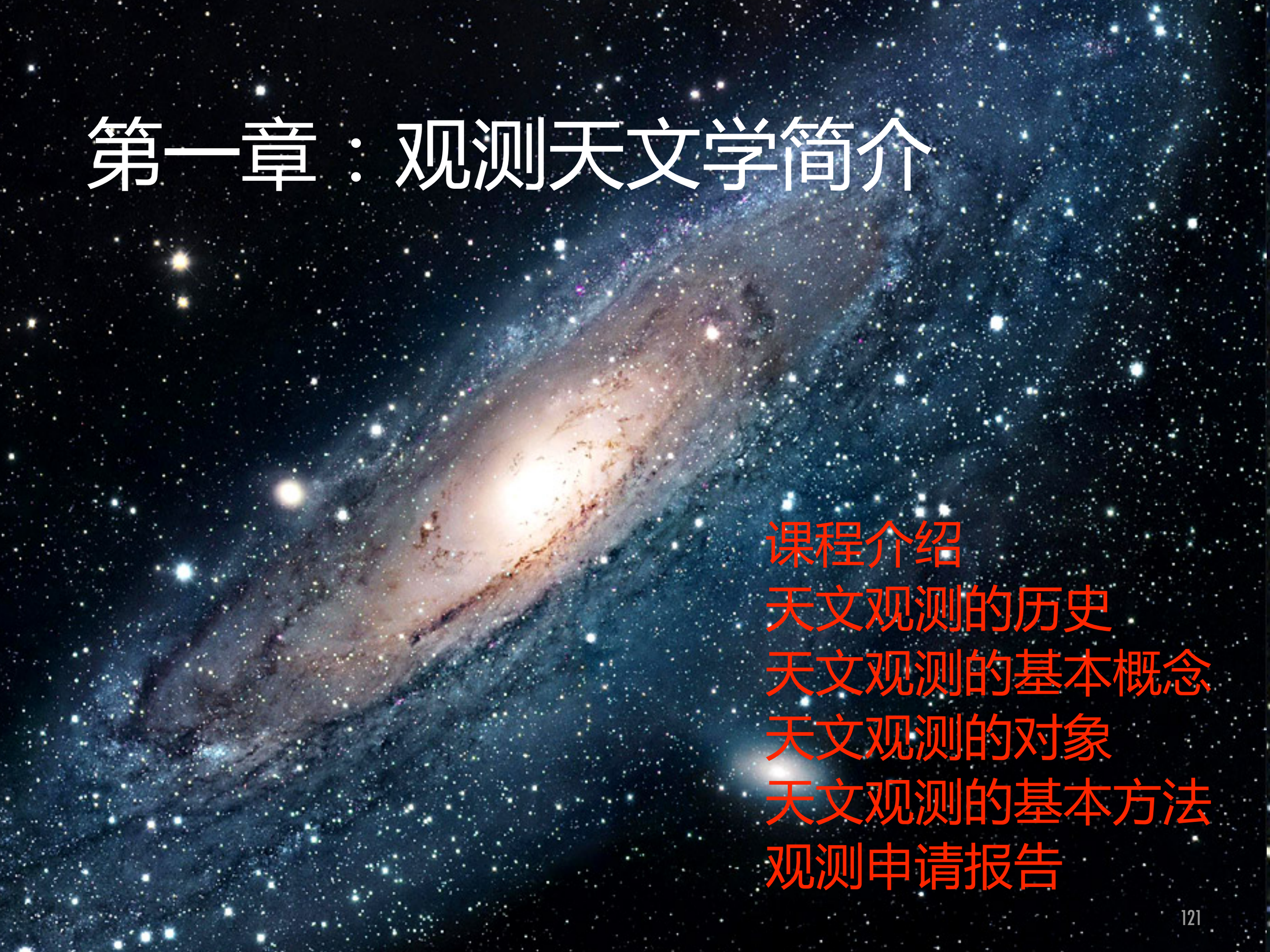
第一个引力波和电磁辐射体：GW170817

Fermi

LIGO

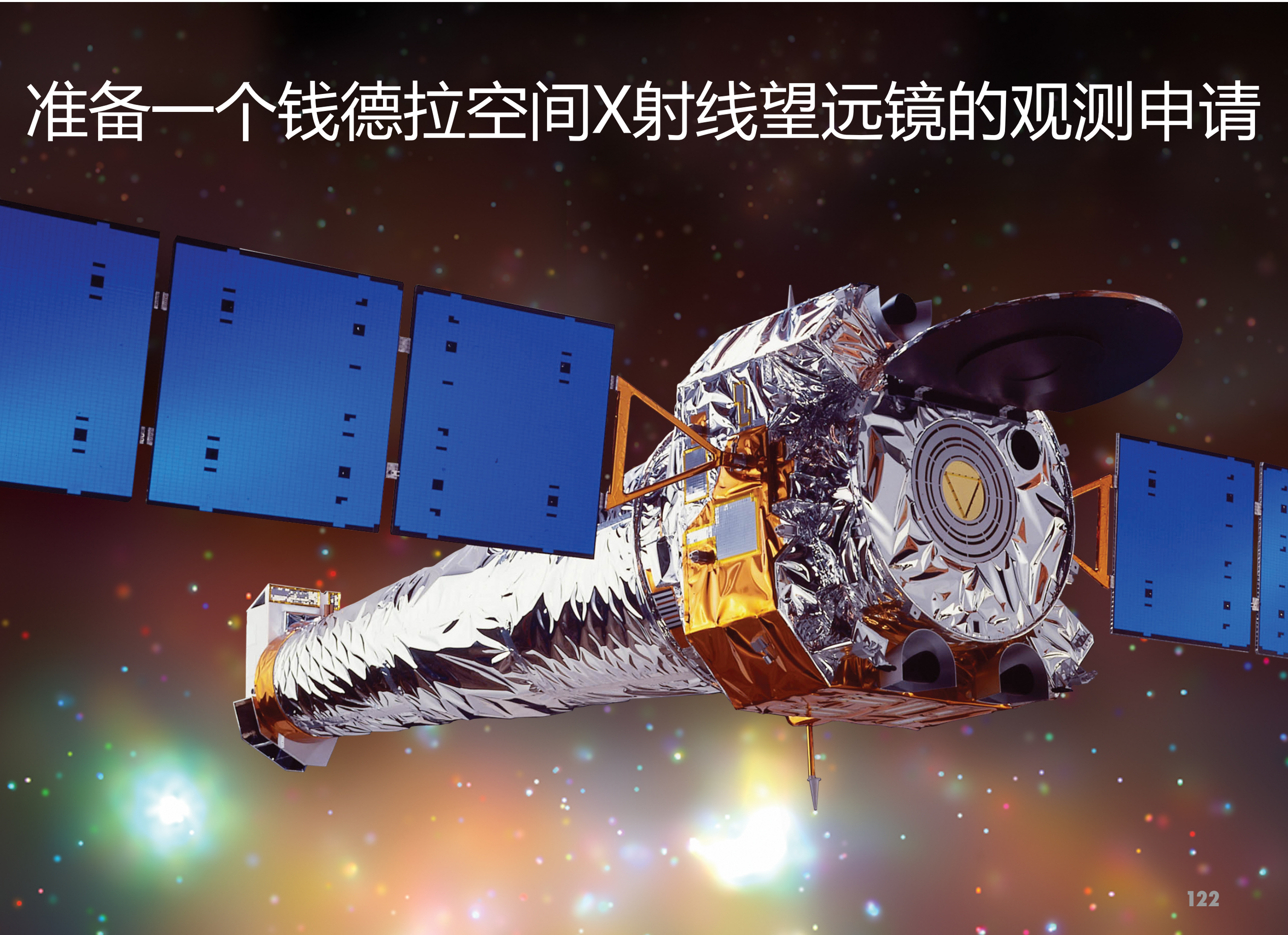


第一章：观测天文学简介



课程介绍
天文观测的历史
天文观测的基本概念
天文观测的对象
天文观测的基本方法
观测申请报告

准备一个钱德拉空间X射线望远镜的观测申请



Project Introduction

One of the important jobs of an observational astronomer is to write science proposals. Even for those who prefer theory/simulation, one could still benefit from such experience. Typical steps are: (1) getting familiar with the telescope/instrument; (2) understanding the basics of data analysis; (3) formulating the science question one would like to study with the proposed telescopes and researching literature; (4) feasibility study; (5) writing the proposal according to the required format and submitting the proposal.

For this team project, students will be divided into several groups, and every group will have 3-4 students. **The final deliverables consist of: (1) an individual homework; (2) a group presentation; and (3) a team report. Each student will submit one individual homework, and each team will give one team presentation and submit one team report (the proposal).**

Getting Familiar with Telescope/Instruments

We will choose *the Chandra X-ray Telescope* as the proposed telescope. Please browse its website as much as possible. General information for preparing a proposal can be found here. In particular, section "Proposal Submission" provides a LaTeX template for the proposal; section "Instrument & Observatory Information" offers some quick information, e.g., effective area, instrument PSF, etc.; section "Count Rate Estimation & Simulators" provides helpful tools for simple & quick X-ray count estimation, which will be particularly helpful in estimating the exposure time.

Please also read the Proposers' Observatory Guide. You should at least read Ch. 1 (Mission Overview), Ch. 6 (Advanced CCD Imaging Spectrometer), Ch. 8 (High Energy Transmission Grating), and Ch. 9 (Ligh Energy Transmission Grating).

Understanding the Basics of X-ray Data Analysis

For *Chandra* data analysis, the first step is handled by CIAO (Chandra Interactive Analysis of Observations) CIAO is installed in our virtual machine, so for students who are taking Prof. Li Xue's Python class, you should already have an account and can start using CIAO from there. For those who are not taking this class, please email Prof. Xue to open an account. You can also download it directly and install it on your own laptop, following the instructions on this website.

Typical data analysis involves: (1) downloading/retrieving the raw data, processing it, and producing spectra, images, and/or light curves (sometimes both); (2) studying the products from the previous steps to extract physical information.

Some tools that come with CIAO also offer the second-step analysis. For example, Sherpa provides spectral modeling and fitting, and ds9 offers some tools for simple imaging analysis. A more popular spectral analysis software is XSPEC from Heasoft, both of which are installed in our virtual machine; you can also download and install them on your own machine. Please read this section for the basics of the spectral fitting.

The individual homework is to help understand the data reduction and analysis processes. It involves downloading the raw observation data of a quasar, 3C 273, reducing a spectrum, and performing spectral fitting with a simple model. The homework can be downloaded here.

Researching the Science

This is probably the most difficult part. You will need to define the specific science problem you would like to address with the proposed observations. You will also need to explain how the proposed observation can solve the problem or improve our understanding in this area, the physics behind the proposed observation, and the feasibility.

This is an excellent review article: "Highlights and Discoveries from the Chandra X-ray Observatory" by Tananbaum et al. (2014), providing a general idea of how *Chandra* can help advance our knowledge in different areas of astrophysics. You can also search the abstract of approved proposals to get some ideas. To search the past proposals, go to the ADS search website, choose the tab "Modern Form", and type in, for example, the following phrase in the search bar: **pub:"chandra proposal" year: 2011**. This returns all the approved proposals and their abstracts in the year 2011.

The team presentation will be the results of your research. For each team, you need to provide two to three ideas in the presentation. Each idea will be explained in 5 pages:

- **Page 1: The problem.** You need to explain the importance of your proposed observation, and you should be as specific as possible. For example, instead of proposing: "I would like to solve the dark matter problem", you can propose: "Detecting 3.5 keV X-ray emission line predicted by the dark matter annihilation model in galaxy clusters."
- **Page 2: The physics.** For example, what is the dark matter annihilation model, and why this model predicts an X-ray emission line at 3.5 keV.
- **Page 3: The history.** What has been done in this area, and why are your proposed observations necessary in solving the scientific problem? In other words, can this problem be solved without your observation? Can this problem be solved with other observations, for example, using ground-based telescopes? Remember, time for space telescopes is more expansive.
- **Page 4: The setup.** What instruments you are planning to use? For example, are you planning to use ACIS only, or ACIS plus gratings? Which gratings you would like to use, and why? What is the aim point at the focal plane?
- **Page 5: The feasibility.** You need to give a rough estimation of how long your proposed observation will be. Typical observing time should be in the range of 10 ksec to 500 ksec, and you shouldn't go much longer than that. One critical question you **NEED** to address is: what can one learn from a non-detection?

Writing the Proposal

The final report will be a proposal written in LaTeX, in English, with the standard Chandra proposal format. The template can be downloaded here (Proposal Submission -> Science Justification LaTeX Template), and should be submitted to TA in PDF format. Here is an example proposal that I wrote a few years ago.

Some Notes

You should start early with arranging team meetings, and you can also arrange meetings with me for help/discussion by contacting me/TA via email or QQ.

A very helpful website is the "Frequently Asked Questions" for proposers. In particular, this webpage offers a detailed proposal planning for an on-axis point source with ACIS. You can also find general considerations for observation planning with HETG and LETG. Here you can also find an example of technical feasibility calculation for LETG.

Important Due Dates

Deliverables	Due Date	Point	Note
Individual Homework	TBD	20	Please email your homework to TA before midnight
Team Presentation	TBD	30	Each team will have about 15-20 minutes to present their ideas. I will comment on these ideas and give suggestions for the proposal. The presentation should be written in PPT and apply the guideline I describe above.
Team Report	TBD	50	The final report should be written with the *Chandra* template.