



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

以镜观天400年 之 天文精测

孔旭

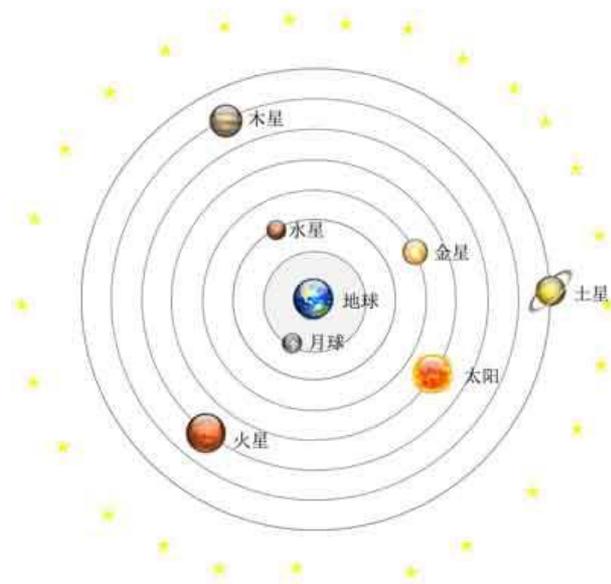
中国科学技术大学天文学系

报告内容

1. 认识宇宙
2. 大显神通
3. 技术突破
4. 视力拓展
5. 进入太空
6. 未来巨镜

1. 认识宇宙 – 地心说

- ◆ 最早天文观测记录之一：来自北欧~公元前1600年的**内布拉 (Nebra) 星云盘**
- ◆ 30厘米的青铜盘描绘了太阳、新月和恒星（包括昴星团）

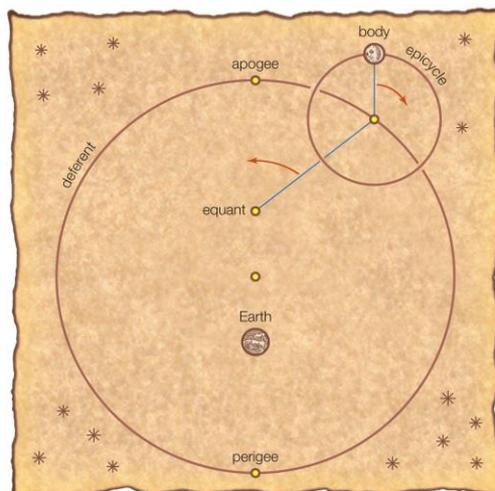


地心说：公元前4世纪亚里士多德→公元前150年喜帕恰斯→公元140年托勒密

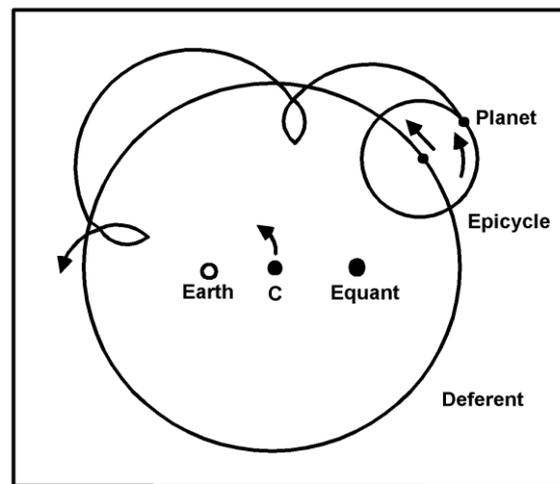
地心说



- ◆ 行星**逆行**现象：从地球上
看有些星体的运动轨迹有
时会往反方向行走
- ◆ 托勒密地心说模型：**本轮**
+ **均轮**理论，即这些星体
除了绕地球轨道外，还会
沿着一些小轨道运转



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.



(b)

本轮-均轮模型

Heliocentrism

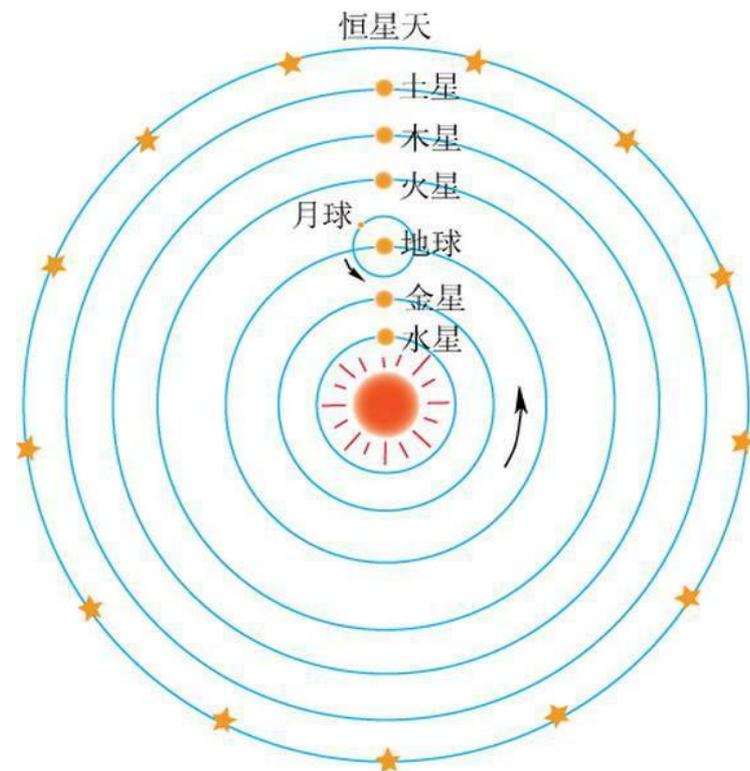


Geocentrism



第一个里程碑：日心说创立

- ◆ 随着观测技术进步，托勒密地心体系**推算**大行星的位置与**观测**差别越来越大
- ◆ 商业、航海发展，地心说**无法提供**准确太阳、月亮、行星位置预报：海航历书
- ◆ 波兰天文学家**哥白尼**：1543年出版《天体运行论》，提出日心说
 - ◆ 地球只是引力中心和月球轨道的中心，并不是宇宙的中心
 - ◆ **所有天体都绕太阳运转，宇宙的中心在太阳附近**
 - ◆ 地球到太阳的距离同天穹高度之比是微不足道的
- ◆ 公元1616年罗马教廷将《天体运行论》列为禁书，1822年开禁



布鲁诺：宇宙没有中心



伽利略 6

第二个里程碑：认识银河



银河的组成？

银河的结构？

- ◆ 欧洲人把银河想像成是天上的神后喂养婴儿时流淌出来的乳汁形成的，**Milky Way**
- ◆ 早在汉朝的文献中就收录有著名的中国神话传说**牛郎织女**的故事



2020_11_13

19_04_40

The Origin of the Milky Way



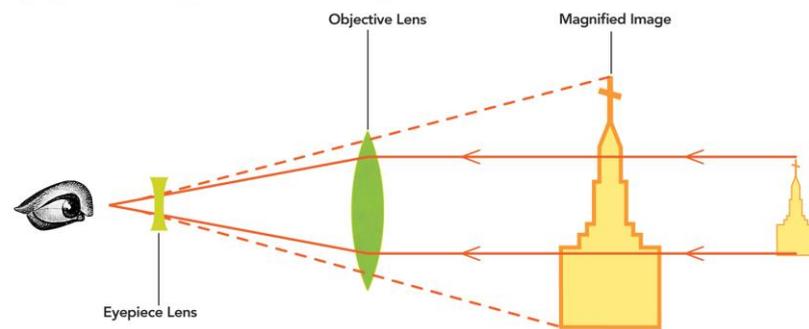
16世纪意大利画家
Tintoretto根据希
腊神话创作的油画
《银河的起源》

银河系的组成？

- ◆ 1608年，出生于德国的荷兰眼镜制造商**汉斯·利伯希**发明了世界上第一台望远镜
- ◆ 两个熊孩子玩耍：远处教堂顶上风标
- ◆ 利伯希准备申请望远镜专利；出售望远镜给政府、商人、军队

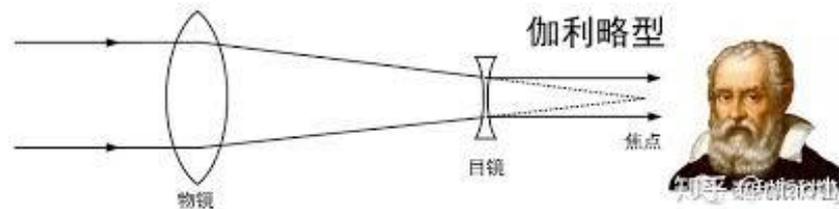
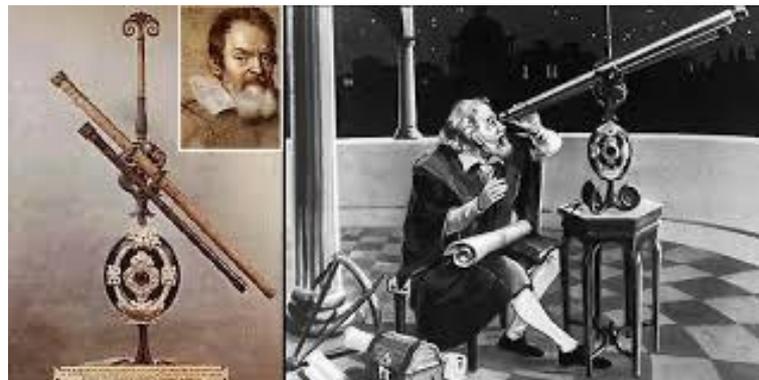


Lippershey's telescope

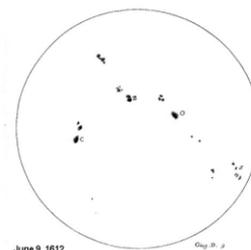
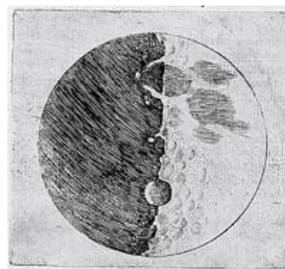
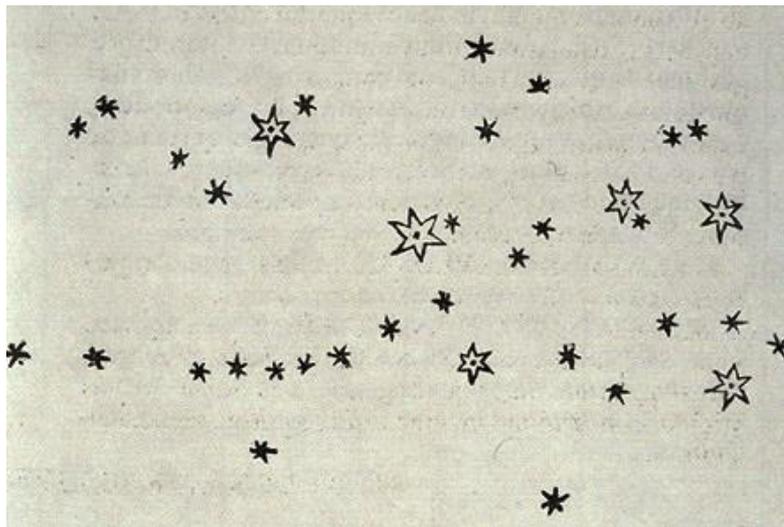


银河系的组成？

- ◆ 1609年，意大利天文学家**伽利略**把他自己新制作的望远镜指向银河
- ◆ 银河系并非流体，肉眼看到的模糊亮带原来是数不清的恒星—**解决了银河系组成的争论**



伽利略看到的银河



| | | | |
|--------|------|-----------|------|
| Jan 10 | East | * * ○ | West |
| Jan 11 | East | * * ○ | West |
| Jan 12 | East | * ○ * * | West |
| Jan 13 | East | * ○ * * | West |
| Jan 15 | East | ○ * * * * | West |
| Jan 16 | East | * ○ * * | West |
| Jan 18 | East | * * ○ * | West |
| Jan 19 | East | * ○ * * | West |

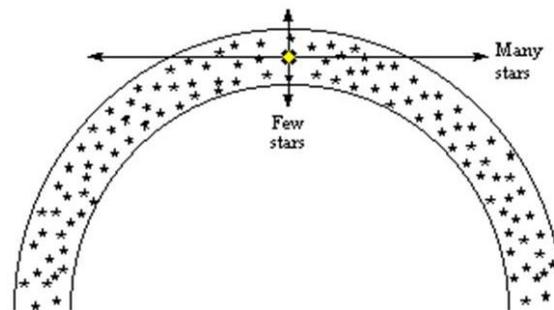
月球高地和环形山；太阳黑子；木星的4个最大卫星；银河系组成等

银河系的结构？

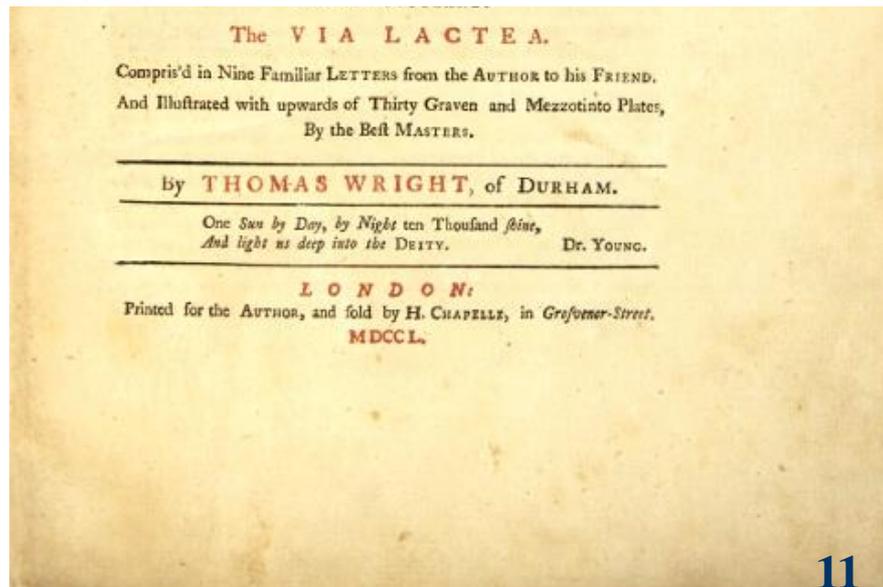
- ◆ 英国天文学家赖特在1750年发表《**宇宙的原始理论或新假设**》
- ◆ 银河和宇宙是由恒星组成薄球壳，太阳位于薄球壳层的中间
 - ◆ 沿着球壳层看，许多恒星—**银河**
 - ◆ 沿着垂直方向看，恒星数目稀少
- ◆ 1755年，德国天文学家康德发表《自然通史和天体论》：**银河是由恒星组成的盘状物**



Wright's Milky Way (1750)

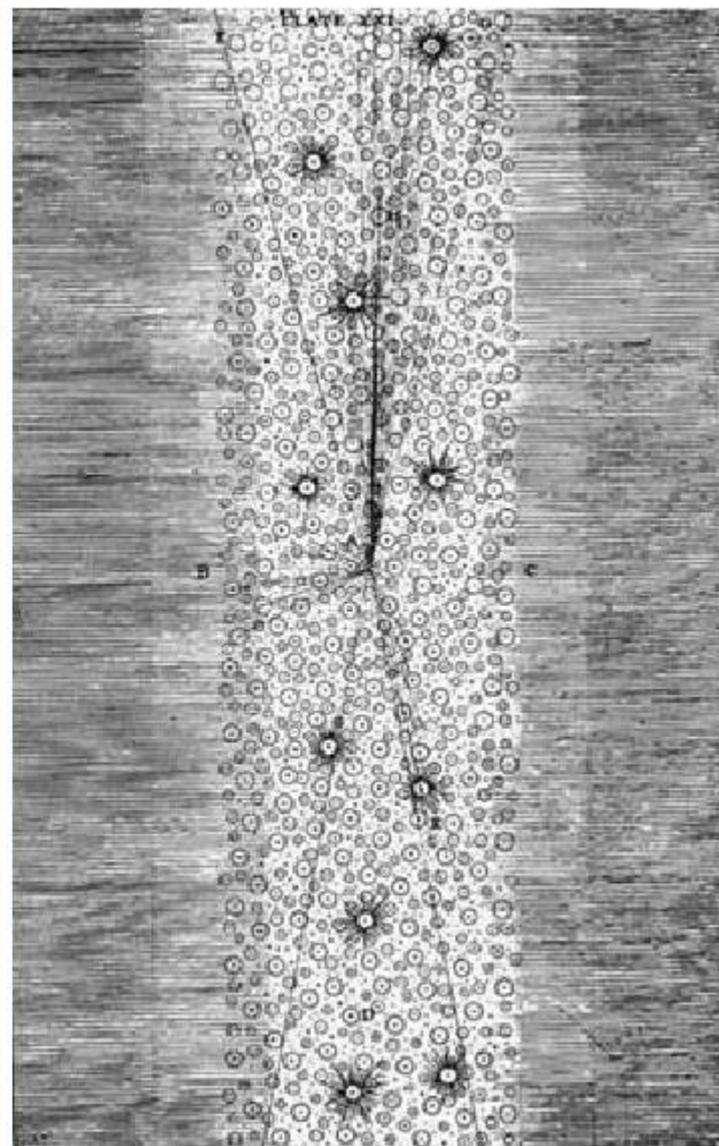


Milky Way is thin shell of stars, which explains why we see a band across the sky.



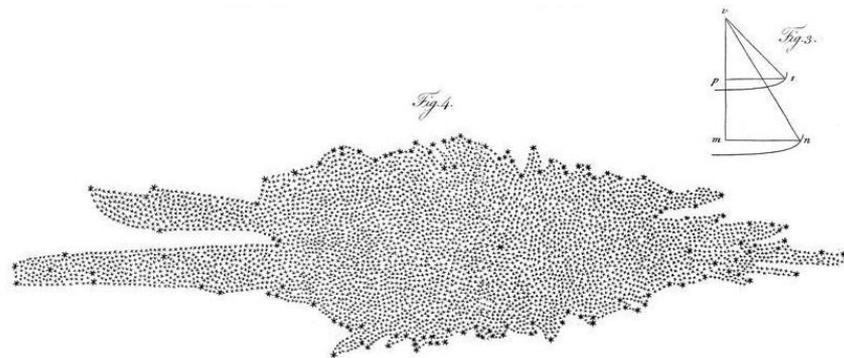
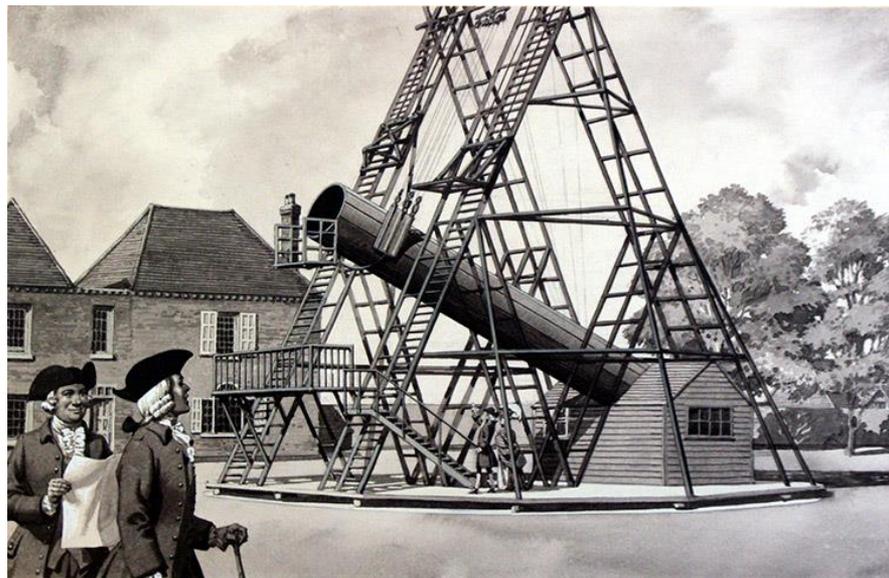
“球壳宇宙”模型

大胆假设，天文学家却需要小心求证



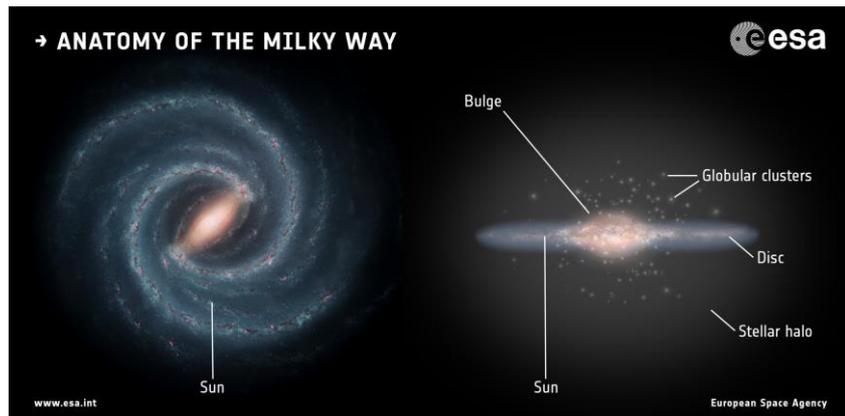
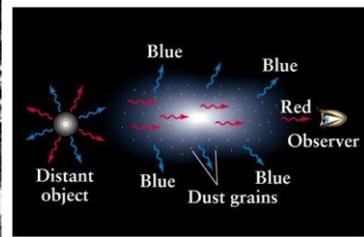
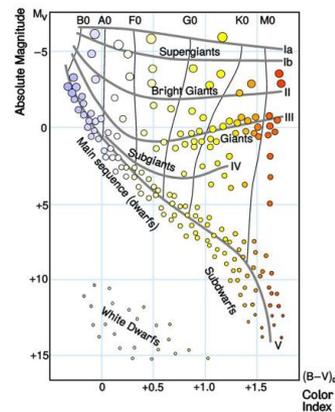
数星星

- ◆ 伽利略之后，越来越强大的**天文望远镜**出现
- ◆ 英国天文学家威廉·赫歇尔亲手制作了400多架望远镜
 - ◆ 1781年用自制的望远镜发现了**天王星**，声名大噪
 - ◆ 拥有当时最大的望远镜：12米长、口径1.26米的**反射望远镜**
- ◆ **恒星计数：数星星**
 - ◆ 把望远镜指向天空的某一个方位，**数那里能看到的星星**、记录它们的亮度
 - ◆ 先后作了1083次观测，在683个取样天区中一共数了**117600颗恒星**
- ◆ **1785年**，赫歇尔发表了有史以来第一幅**银河结构图**：盘状物，太阳在盘中心附近



恒星计数

- ◆ **基于假设：**
 - ◆ 所有恒星的**实际光度相同**，看上去**越暗**的恒星离我们**越远**
 - ◆ 恒星空间是**完全透明**的，不存在会影响星光亮度的星际介质
 - ◆ 恒星的**空间分布均匀**，看到恒星越多的地方，恒星分布延伸越远
 - ◆ 用他的望远镜可以看见**最远的恒星**，即可以看到银河系的边缘
- ◆ **实际情况：**恒星光度差异大，存在星际尘埃，恒星分布不均匀，现在的大望远镜也不能看到银河系边缘的暗星
- ◆ 银河系模型粗糙，与实际有差异，但与银河系扁平、对称状结构基本一致
- ◆ **历史意义：**把人类的视野从太阳系拓展到比太阳系大得多的银河系

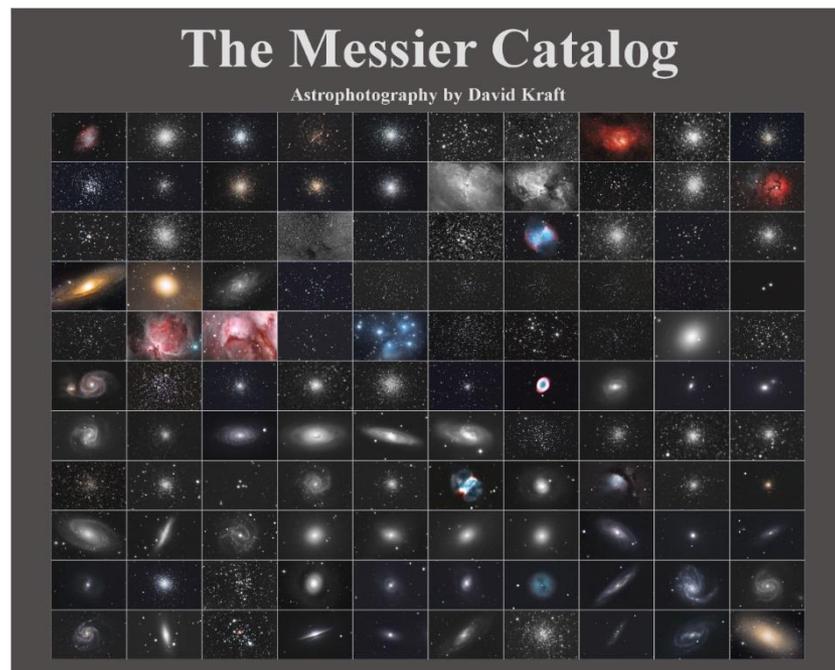


第三个里程碑：天外有天

- ◆ **夏尔·梅西耶**：1730年6月26日－1817年4月12日，法国天文学家
- ◆ 年轻时曾遇见一些著名的天文现象：1744年大彗星；1748年7月25日出现日食 → 对天文感兴趣
- ◆ 彗星猎人：在搜寻彗星的过程中，经常将彗星和其它模糊天体混淆。
- ◆ 从1764年初开始制作一张彗星和星际间朦胧天体的列表
- ◆ **梅西耶**星团星云列表
 - ◆ 1774年在巴黎法国科学院期刊上发表了第一卷（M1至M45）
 - ◆ 1781年和1784年发表了第二卷（M46至M68）和第三卷（M69至M103）；后增至110个。
- ◆ 星云与银河的关系，银河内天体？

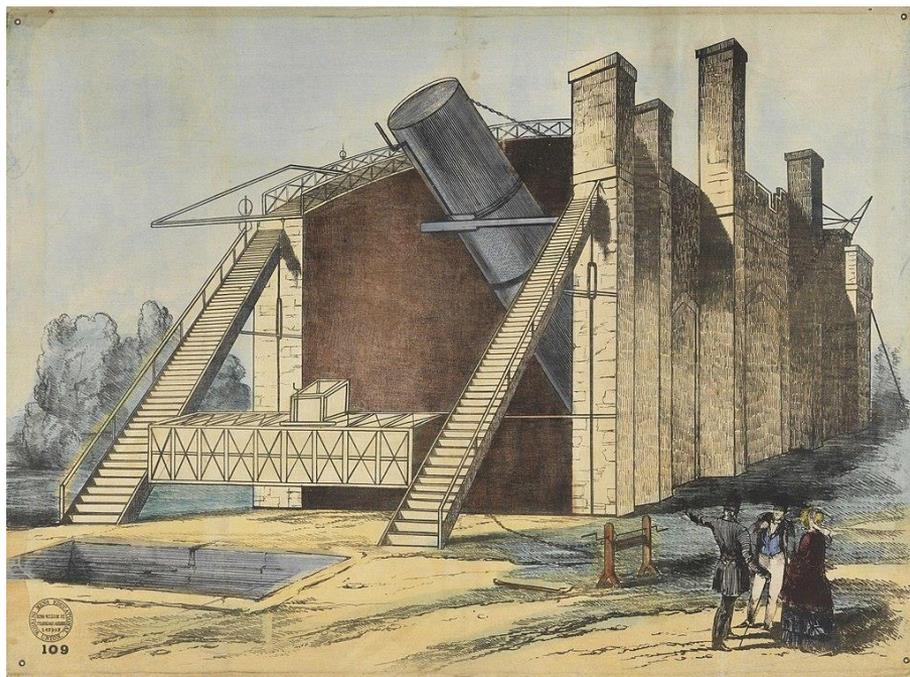


1744年大彗星：1744年3月9日日出前在地平线上扩展的彗尾

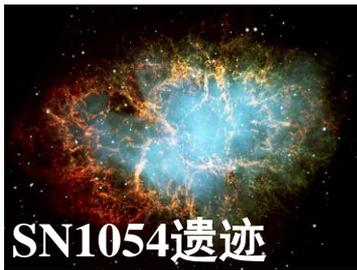
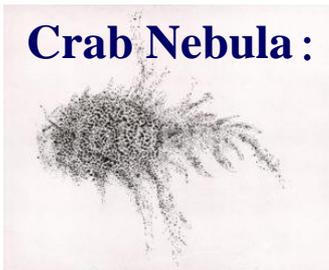


第三个里程碑：天外有天

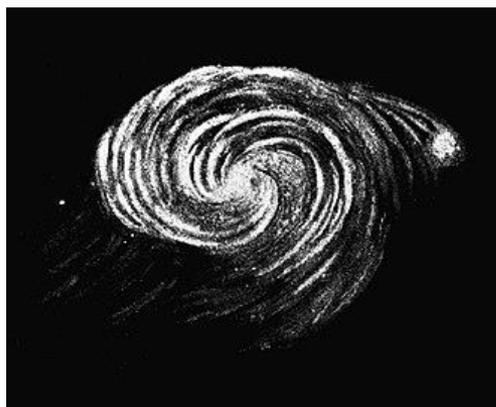
- ◆ 罗斯伯爵的“列维亚森”
 - ◆ **威廉·帕森斯**，第三代罗斯伯爵：1800年6月17日-1867年10月31日，爱尔兰天文学家
 - ◆ **Leviathan of Parsonstown**：1845年建成，口径1.83m，**金属反射镜**重达3.5吨，镜筒长达18米
 - ◆ 1917年位于美国加州的**2.5米胡克望远镜**建成前，一直是世界最大口径望远镜
- ◆ 主要目标研究**梅西耶星云**：星云是未解析的星团，还是真正星云
- ◆ 发现**螺旋星云M51**，是由**恒星**组成



Crab Nebula: M1



SN1054遗迹



现代望远镜的M51

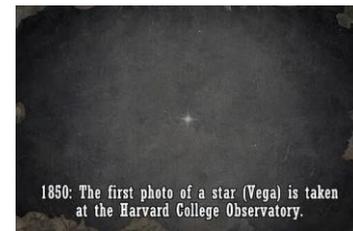
1845年：帕森斯的螺旋星云 M51

卡普坦的小宇宙

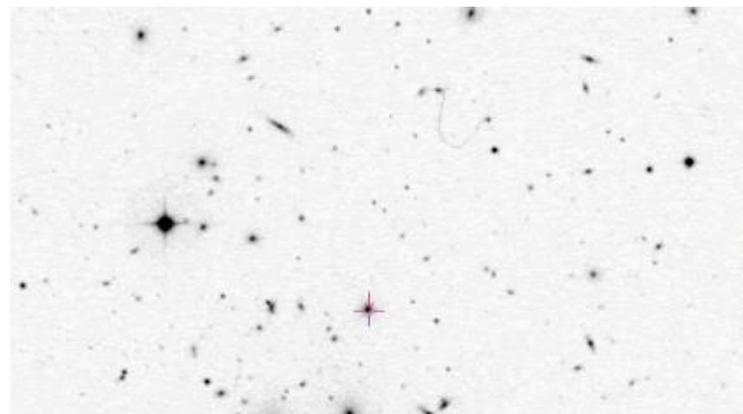
- ◆ 1930年代**照相术**的问世，为天文研究提供了一种全新的观测手段
- ◆ 卡普坦（J.C.Kapteyn）率先利用**照相方法**进行恒星计数
 - ◆ 雅各布·**卡普坦**：1851-1922, 荷兰天文学家
 - ◆ 1906年，设计了一个**深度银河系巡天计划**：观测天空**206个**随机选小天区内的恒星
 - ◆ 1922年，分析**恒星计数**、**视亮度**、**视向速度**和**自行（距离）**，构建了银河系模型
- ◆ 银河系是由恒星组成的盘状结构，直径**5.5万光年**，厚度为**1.1万光年**，其中包含了**474亿颗恒星**，**太阳靠近盘中心**



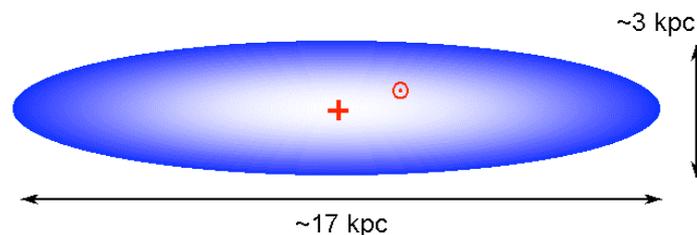
1845年4月2日



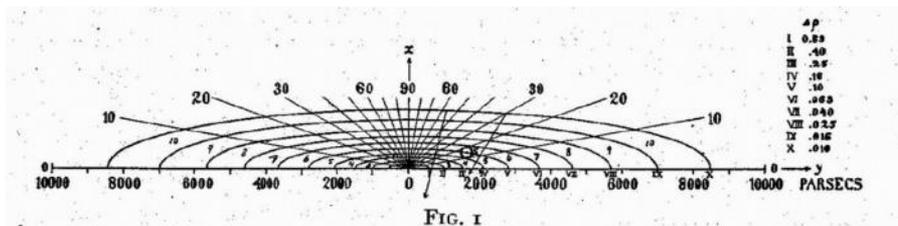
1850织女星



Kapteyn Model (1922)

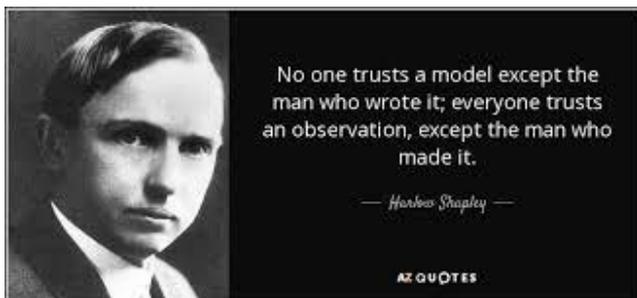
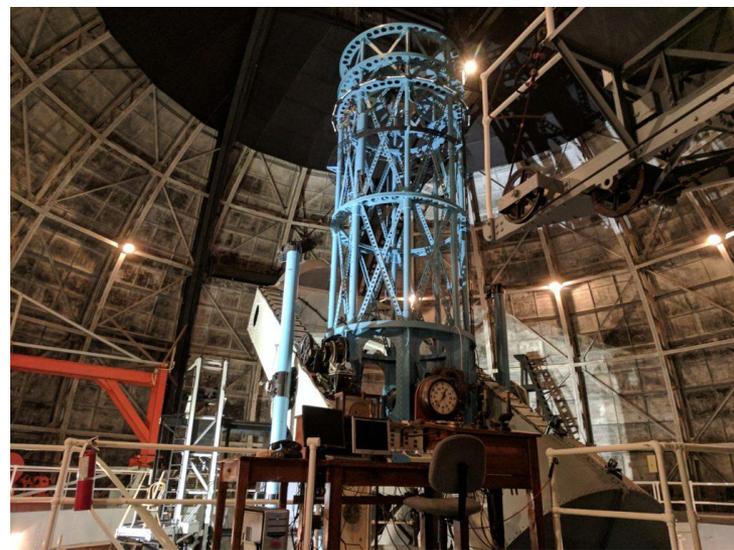
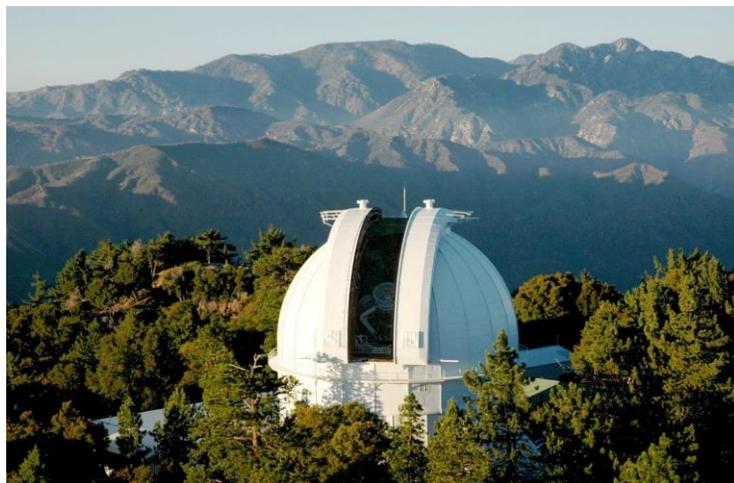


kpc = kiloparsec = 1000 pc



胡克望远镜

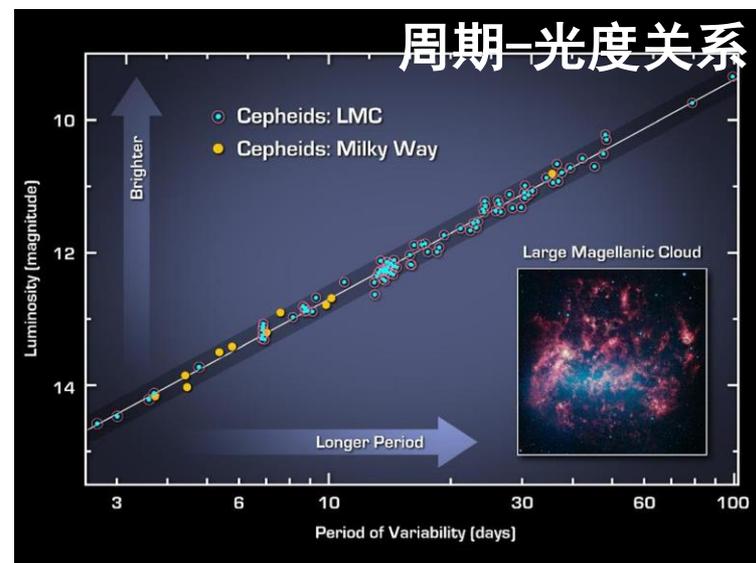
- ◆ 就在卡普坦醉心于统计汇总数据，勾勒银河系形状的那些年，在美国加州距洛杉矶32公里的**威尔逊山**上，一个巨大的工程项目正在悄悄地进行。
- ◆ **海尔**说服了当地的一位富商**约翰.胡克**，出资建设一架**口径2.5米**的反射镜
- ◆ 1917年，口径达到2.5米的胡克望远镜在威尔逊山天文台安装完成，其后30年保持世界**最大望远镜**记录
- ◆ 这座天文台在今后的50多年中，将迎来一位又一位天文学巨星，做出一个又一个世人瞩目的伟大成就。



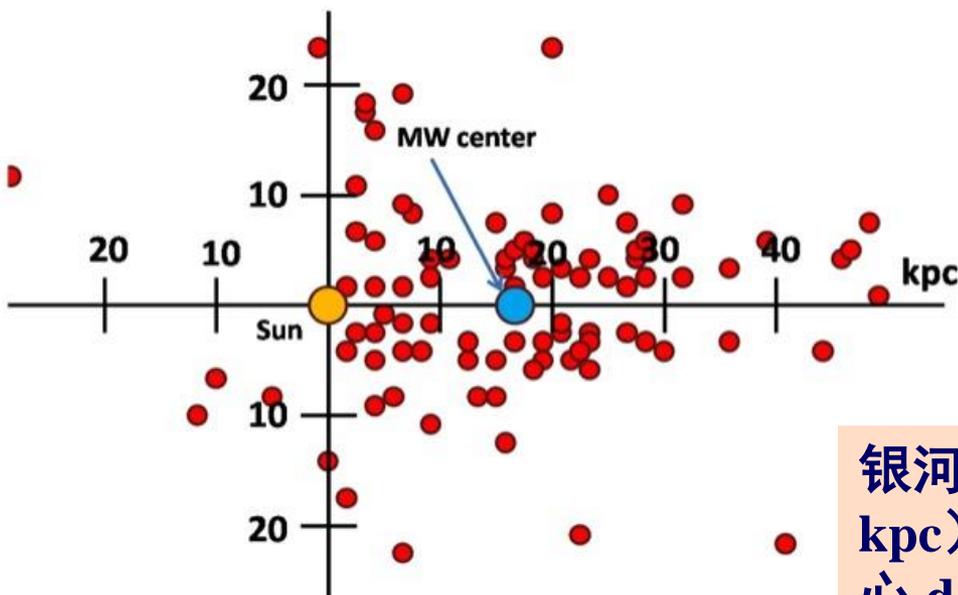
沙普利的大银河

archaeology

- ◆ 研究对象选取了**星团**，而不是恒星：工作量大大减小，观测距离更远
- ◆ 距离测量：1918年，利用**造父变星**的周期-光度关系，测定93个球状星团距离
- ◆ **球状星团**分布不均匀，分布的对称中心就是银河系中心：太阳不在银河系中心



globular cluster
(has lots of
Cepheid variable
stars in it!)



太阳不在银河系中心

银河系大小 ~100 kpc (卡普坦模型~17 kpc)；银心在人马座方向，太阳距银心 $d \sim 15$ kpc：比真实值大

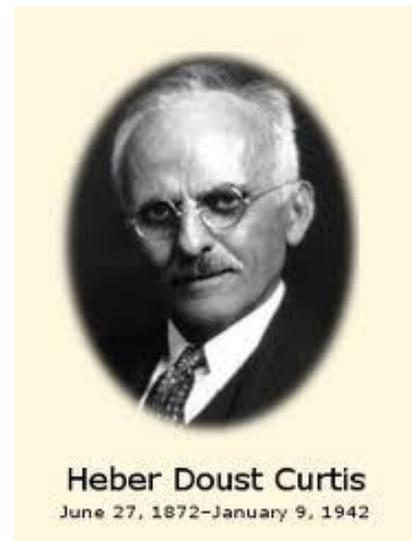
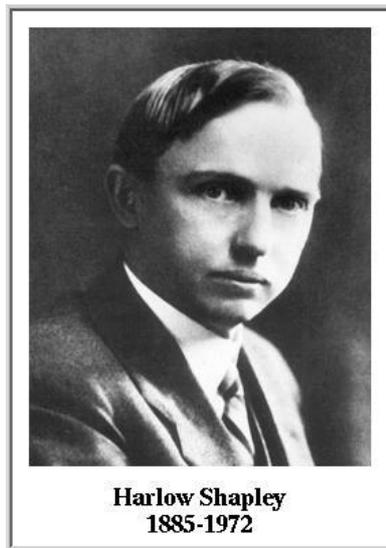
沙普利-柯蒂斯之争

The Great Debate

- ◆ **世纪天文大辩论：1920年4月，美国科学院**

- ◆ **人物：威尔逊山天文台的沙普利和利克天文台的希伯·柯蒂斯**

- ◆ **焦点：宇宙的尺度**
 - ◆ 银河系到底有多大？
 - ◆ 旋涡星云到底是什么？



- ◆ **沙普利：银河系的直径达到30万光年，仙女座那片星云是银河系中一种星云状天体**
- ◆ **科蒂斯：银河系的直径只有4万光年，仙女座星云距离我们至少50万光年，是银河系之外的另一个星系**
- ◆ **在场的天文学家也分成了两个不同的阵营，彼此争吵不休。然而在热闹的礼堂一角，有一个人静静地坐着，嘴里叼着一个标志性的**大烟斗**，他没有参与到这场辩论中，只是静静地听着，嘴角泛起一丝冷笑。**

美国科学院1920年4月26日年会日程

MONDAY, APRIL 26

MORNING SESSION

10.30 a. m.—12.30 p. m.

- JOHN M. CLARKE: Conservation of natural resources as a proper function of the National Academy. (15 minutes.)
RAYMOND PEARL: On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical expression (illustrated). (15 minutes.)
FRANZ BOAS: Growth and development as determined by environmental influences. (15 minutes.)
CHARLES B. DAVENPORT: Plural births in man (illustrated). (12 minutes.)
SAMUEL J. MELTZER: The importance of the presence of both sympathetic superior cervical ganglia to the maintenance of life; and their possible relations to respiratory diseases. (15 minutes.)
CHARLES D. WALCOTT: Structure of Marrella and allied Middle Cambrian crustaceans. (15 minutes.)
JAMES R. ANGELL: The National Research Council (illustrated). (20 minutes.)
ROBERT M. YERKES (introduced by E. L. Thorndike): A psychological study of the medical officers in the Army. (15 minutes.)

AFTERNOON SESSION

2.00 p. m.—4.30 p. m.

- ROBERT W. WOOD: Spectroscopic phenomena of very long vacuum tubes (illustrated). (25 minutes.)
L. T. E. THOMPSON, C. N. HICKMAN and N. RIFFOLT (introduced by Arthur G. Webster): The measurement of small time intervals and some applications, principally ballistic. (10 minutes.)
ROBERT A. MILLIKAN: The effect of molecular structure upon the reflection of molecules from the surface of liquids and solids (illustrated). (12 minutes.)
ARTHUR G. WEBSTER: The Springfield rifle and the Leduc formulae. (5 minutes.)
ARTHUR G. WEBSTER: Some new methods in internal ballistics of the Springfield rifle. (15 minutes.)
GEORGE E. HALE: The 100-inch Hooker telescope of the Mt. Wilson Observatory (illustrated). (15 minutes.)
A. A. MICHELSON: The vertical interferometer.
Preliminary tests in an attempt to measure the diameter of the stars.
A modification of the Foucault method adapted to long-distance measurement of the velocity of light (illustrated). (30 minutes.)
ARTHUR G. WEBSTER: Preliminary measurements on the pressures in the "Onde de Choc." (15 minutes.)
ARTHUR G. WEBSTER: On the connection of the specific heats with the equation of state of a gas. (10 minutes.)
EDWIN H. HALL: Thermal conductivity of metals. (15 minutes.)

8.15 p. m.

- WILLIAM ELLERY HALE LECTURES. Discussion: The Scale of the Universe. By Harlow Shapley, Mount Wilson Solar Observatory, and Heber D. Curtis, Lick Observatory. (Illustrated), (open to the public), U. S. National Museum (main auditorium).

9.30 p. m.

- Conversazione. Galleries, U. S. National Museum.

4月26日，科学院年会开幕：白天是平常的议程

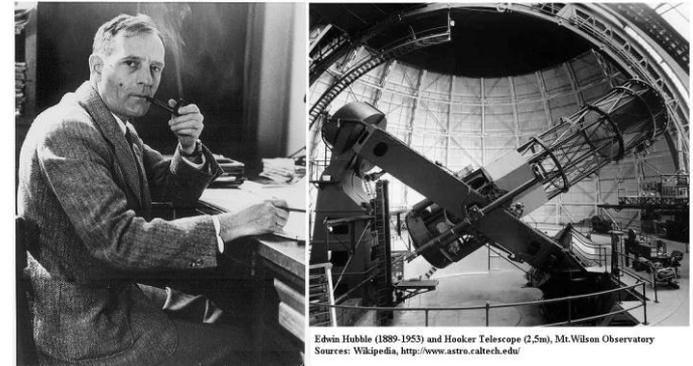
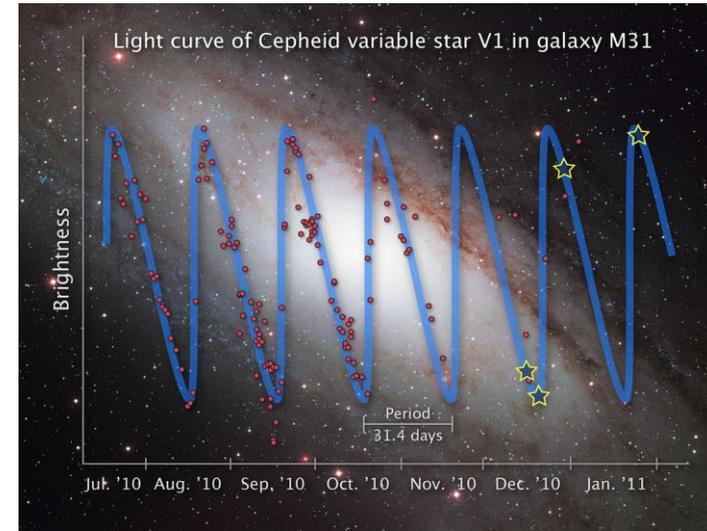
著名物理学家密立根（Robert Millikan）、迈克尔逊（Albert Michelson）等各方面科学家做了学术讲演。威尔逊山天文台台长海尔（George Hale）也介绍了他们那个胡克望远镜的最新进展。

晚餐之后，沙普利与柯蒂斯的专题在8点15分开始。

虽然后来被夸张地称为“世纪天文大辩论”（The Great Debate），当时那其实只是两个天文学家自说自话地综述了当时天文学界对银河系的大小和范畴的认识及分歧。

哈勃的裁决

- ◆ **1923—1924年**，哈勃利用位于威尔逊山2.5m 望远镜：
 - ◆ 在M31中分解出几十个**造父变星**
 - ◆ 证实了**M31是由恒星组成的系统**
- ◆ 由造父变星周光关系，估计M31的距离 $d \sim$ **285 kpc (100万光年)**
- ◆ 大于最远的球状星团距离，即远大于沙普利提出的银河系大小 ($\sim 100\text{kpc}$, 30万光年)
- ◆ 仙女星云的**距离远远超出了银河系的尺度**：**M31是一个象银河系一样的星系，存在河外星系**



天外有天：银河系只是星系世界中的普通一员（**超过1000亿个星系**），**宇宙根本不存在什么中心。**

2. “大” 显神通

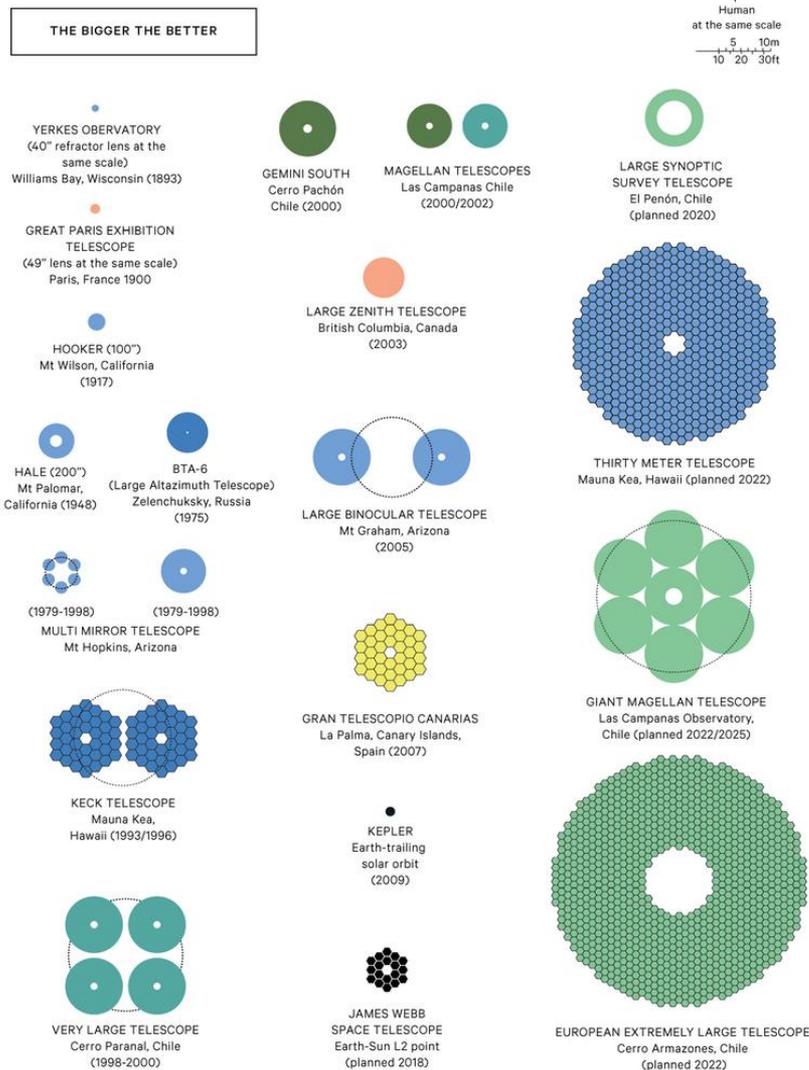
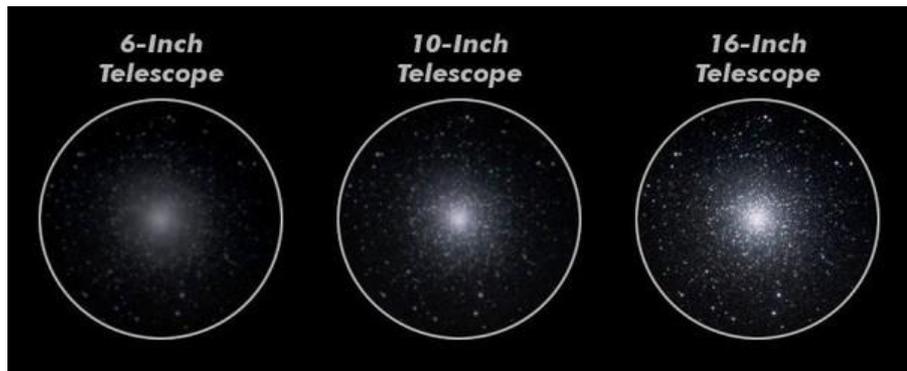
◆ The Bigger, The Better!

◆ 口径愈大，聚光能力越强，就能看到愈暗弱的天体

◆ 光通量 $\sim D^2$

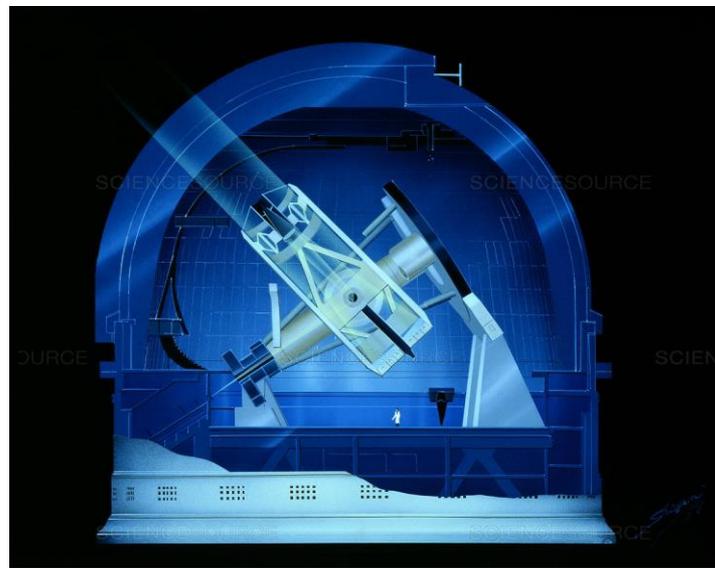
◆ 口径越大，望远镜分辨本领越强，分辨天体结构或近邻天体

◆ 分辨率 $= 1.22\lambda/D$



海尔的终极梦想

- ◆ 目视（2.5毫米）-伽利略（4.2厘米）-赫歇尔（1.26米）-胡克（2.5米）- **更大望远镜?**
- ◆ 海尔望远镜（Hale Telescope）
 - ◆ **主镜口径5.1米**，200英寸，P200，重40吨
 - ◆ 帕拉马山顶：海拔1713米，远离光污染
 - ◆ **洛克菲勒基金会**：600万美金（海尔游说）
 - ◆ 整个装置可移动**重量 > 500吨**，精密跟踪
 - ◆ 1936年开建，1948年建成（已经是海尔逝世10年以后）
- ◆ **很长时间，海尔望远镜被认为望远镜发展的极限。事实果真如此?**
- ◆ **十米凯克望远镜**：位于海拔4200多米莫纳克亚山，由石油企业家威廉凯克捐助修建



大口径光学反射望远镜



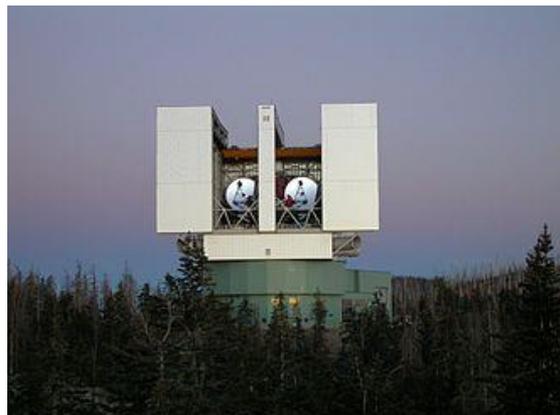
Keck 1 & 2: 2 x 10m



VLT 1-4: 4 x 8.2m



Subaru : 8.2m



**Large Binocular Telescope
(LBT): 2x8.4**



**Southern African
Large Telescope: 9.2m**



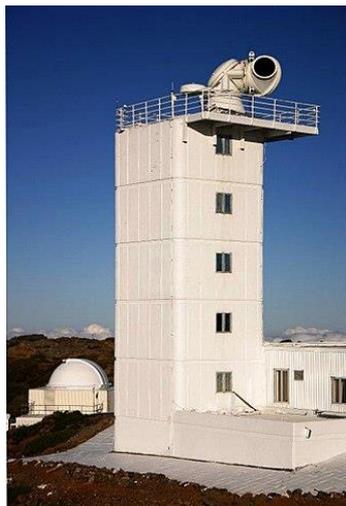
**Gran Telescopio Canarias
(GTC): 10.4m**

光学折射望远镜

为何没有大口径折射望远镜？



1900大巴黎展览望远镜：最大口径折射望远镜**1.25米**，57米长，不适合天文观测，展览完即撤除



瑞典**1米折射太阳望远镜**：位于加那利群岛拉帕尔马的罗克德洛斯穆恰乔斯天文台，焦长**20.3米**。



利克望远镜：**91厘米**，加州圣何塞汉密尔顿山顶

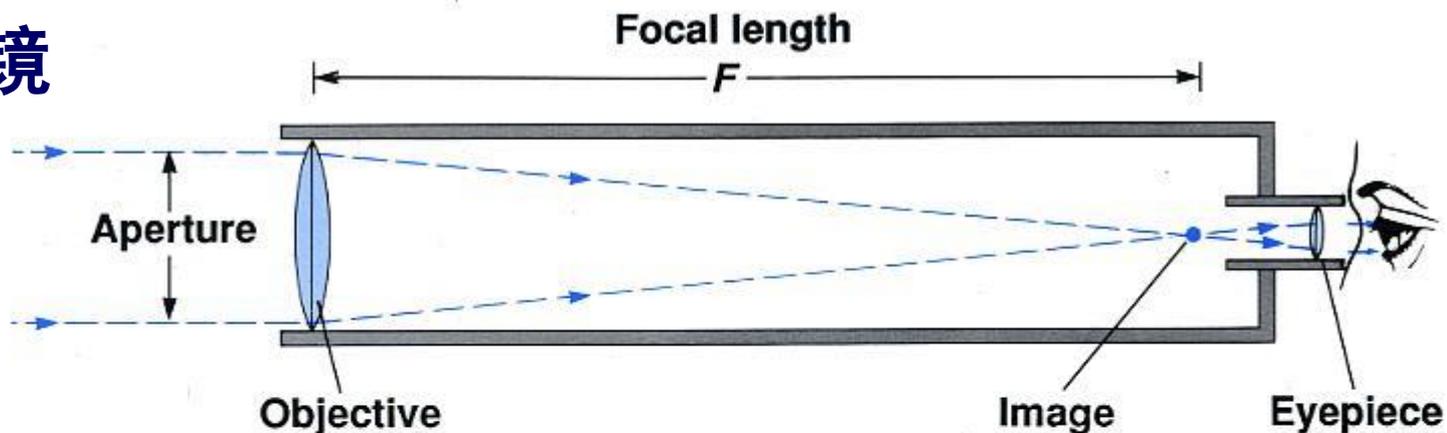
叶凯士天文台（Yerkes Observatory）**1.02米**折射望远镜，焦长19.3米；于1897年建成。**最大天文折射望远镜**

叶凯士天文台及望远镜由乔治·海尔负责建设，资助者为查尔斯·叶凯士。

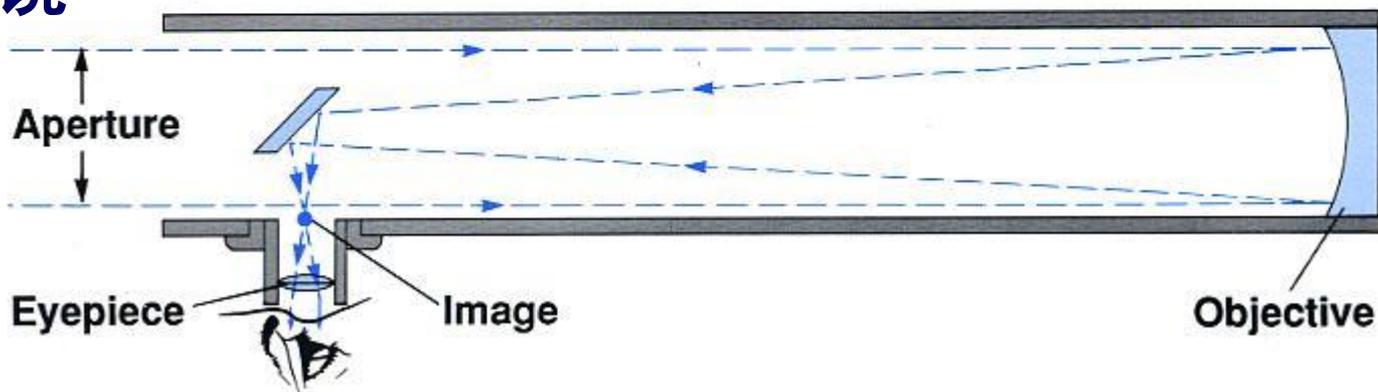


两类望远镜

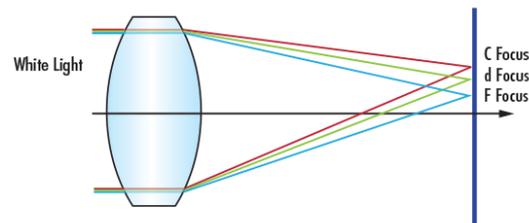
折射望远镜



反射望远镜

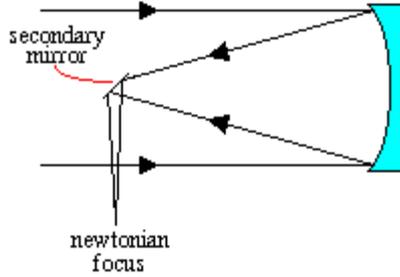


大口径光学透镜制造困难，并且极易发生形变；玻璃会吸收入射光，尤其是对蓝、紫光吸收严重：折射望远镜可得到大视场的像，但存在各种像差。

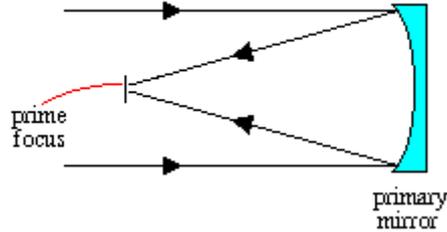


反射望远镜

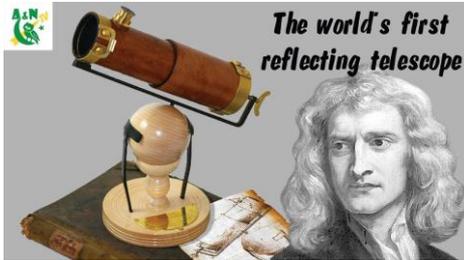
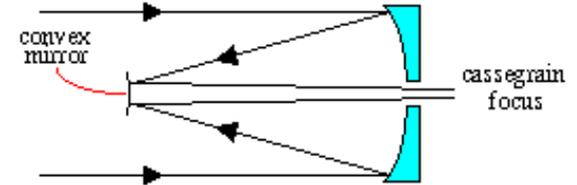
Newtonian



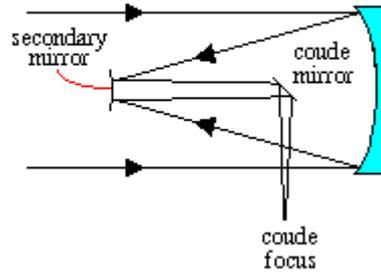
Prime



Cassegrain

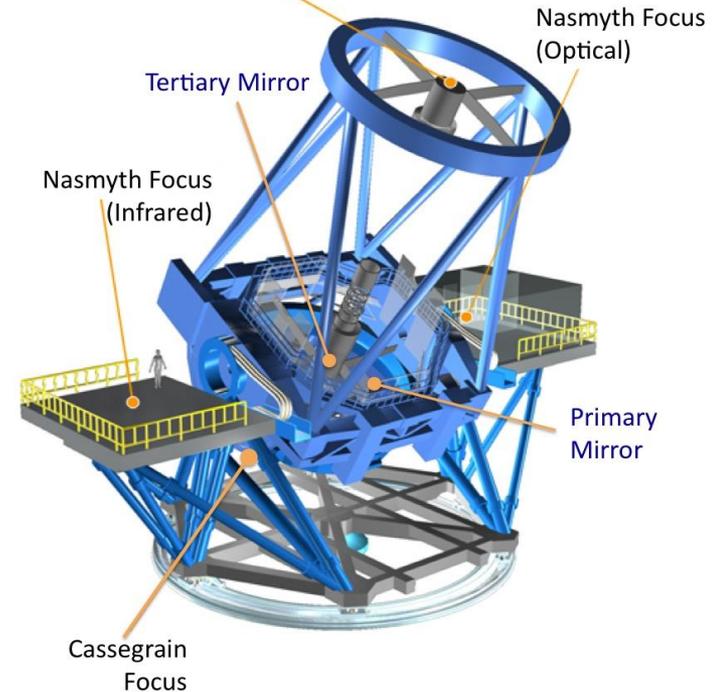


Coude



Prime Focus
Secondary Mirror

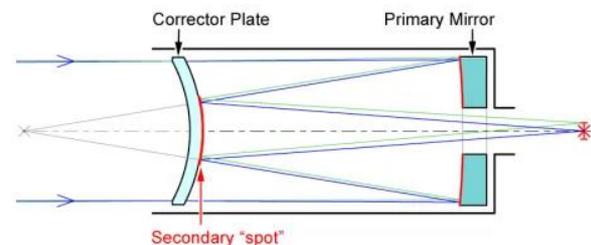
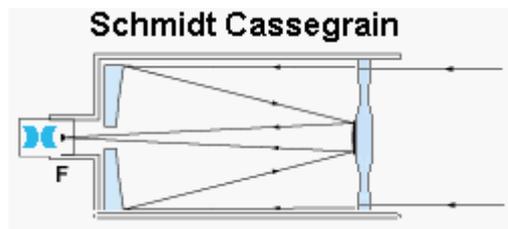
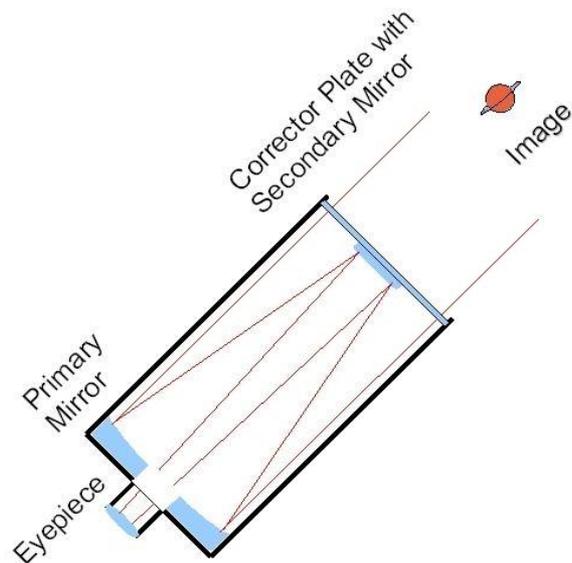
Suprime-Cam



一架大口径反射望远镜一般设有**主焦点系统**、**卡塞格林系统**(和光轴成 45° 的平面镜, **耐氏焦点系统**)、**折轴系统**等数种光学系统。

折反射望远镜

- ◆ 光线先经过透镜（**折射**），再由**反射镜**成像的物镜系统：视场大；弯曲视场
- ◆ 主要有施密特望远镜（改正镜）和马克苏托夫望远镜（弯月形透镜）两大类



BATC
60/90cm



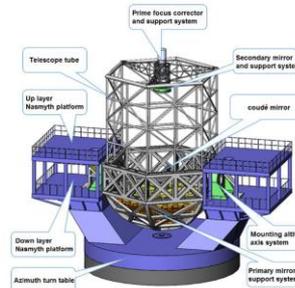
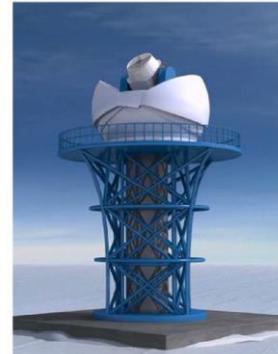
我国光学望远镜



NAOC 2.16-m Telescope



Lijiang 2.4-m Telescope

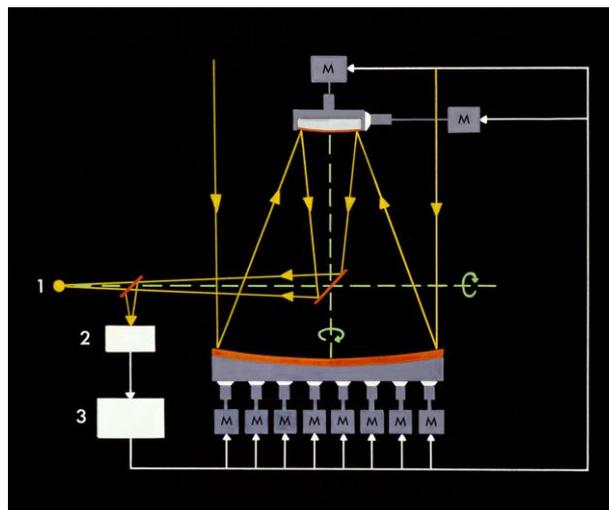


3. 技术突破 (I) 主动光学

Active Optics



P200: 口径5.1m, 1949- 1992世界最大口径望远镜。主镜重量14.5吨, 厚度49.8厘米 (刚性厚反射镜)



主动光学:
New
Technology
Telescope
3.58米
1989年建成

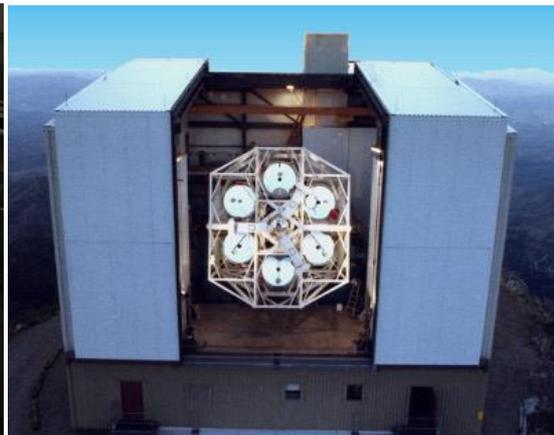


VLT4架同样的8.2米望远镜组成。主镜厚度仅18厘米。

3. 技术突破 (II) 拼接镜面

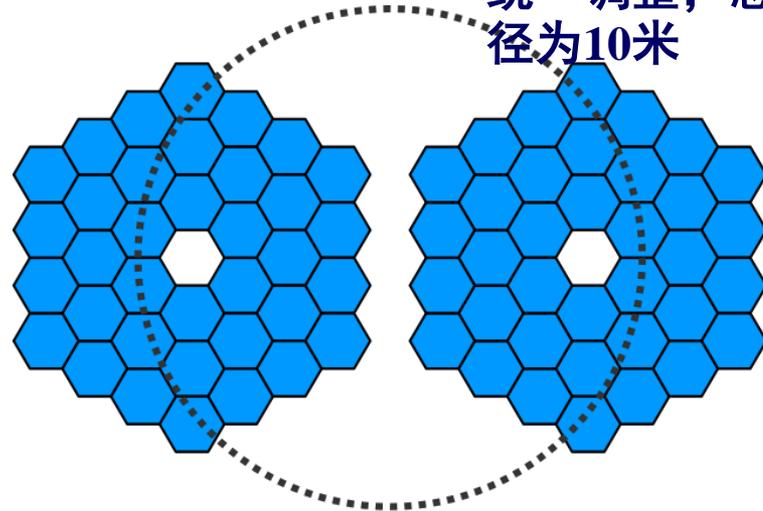


P200: 口径5.1m, 1949- 1992世界最大口径望远镜。主镜重量14.5吨, 厚度49.8厘米



多镜面望远镜: 6个1.8米望远镜组成, 6.5米MMT (~ 4.5米)

每个由36个1.8米的六边形镜片拼合而成, 由电脑统一调整, 总口径为10米



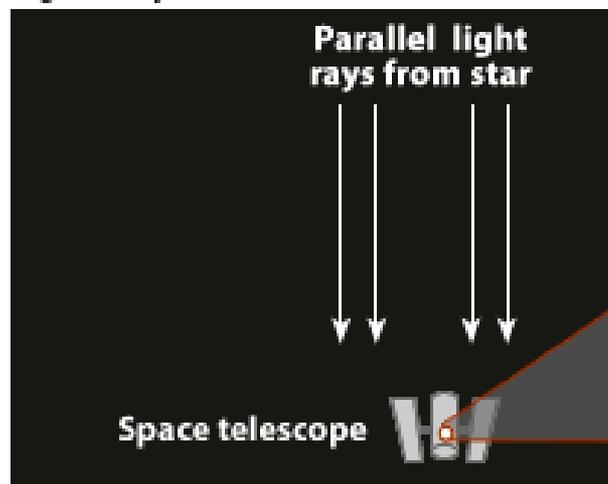
Keck Telescope

1993年凯克 I 号、1996年凯克 II 号

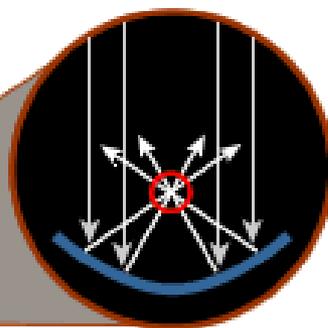
3. 技术突破 (III) 自适应光学

- ◆ 望远镜的分辨率与观测的**波长 λ** 和望远镜**口径D**相关 $\theta=1.22\lambda/D$ (衍射极限)
 - ◆ θ 的单位是**弧度**； λ 是波长，单位m；D是望远镜**口径**，单位m.
 - ◆ 人眼 $D = 3\text{mm} = 0.003\text{m}$, $\lambda = 6000\text{\AA} = 6 \times 10^{-7} \text{m}$, $\theta = 2.44 \times 10^{-3}$ 弧度 ~ 1 角分
 - ◆ 地面10cm光学望远镜 $\theta=1\text{arcsec}$ ；Keck望远镜 $D=10\text{m}$ ，分辨率 ~ 0.005 角秒

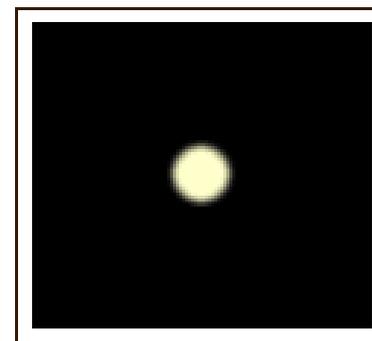
Light in space



Light hitting the space telescope mirror



Resulting image



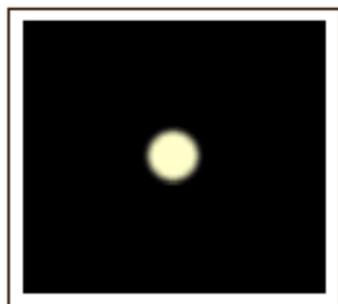
1 Incoming light rays remain parallel because they do not pass through the atmosphere.

2 The parallel light rays reach the mirror and bounce back to cross at a single focal point.

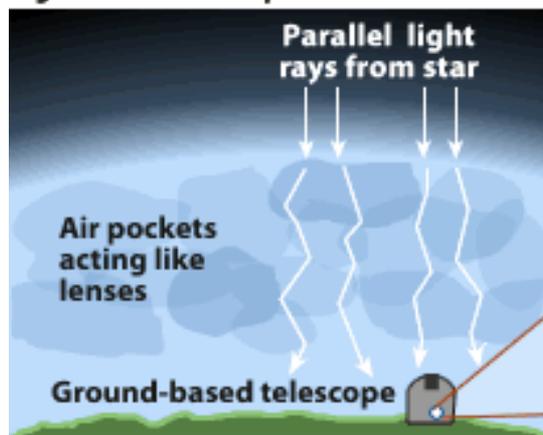
3 The result is a clearer image.

3. 技术突破 (III) 自适应光学

- ◆ 望远镜的分辨率与观测的**波长 λ** 和望远镜**口径 D** 相关 $\theta=1.22\lambda/D$ (衍射极限)
 - ◆ θ 的单位是**弧度**； λ 是波长，单位m； D 是望远镜**口径**，单位m.
 - ◆ 人眼 $D = 3\text{mm} = 0.003\text{m}$, $\lambda = 6000\text{\AA} = 6 \times 10^{-7} \text{m}$, $\theta = 2.44 \times 10^{-3}$ 弧度 ~ 1 角分
 - ◆ 地面10cm光学望远镜 $\theta=1\text{arcsec}$ ；Keck望远镜 $D=10\text{m}$ ，分辨率 ~ 0.005 角秒
- ◆ 不改正大气视宁度效应，地面10米望远镜和10cm望远镜空间分辨率相近

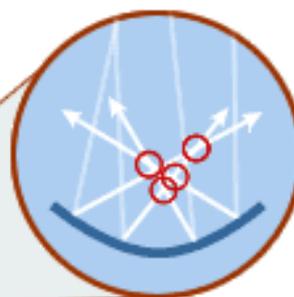


Light in the atmosphere



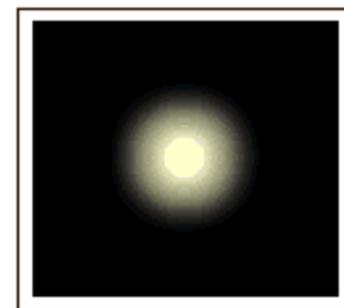
1 The uneven heating and cooling of the atmosphere creates moving bundles, or pockets, of air. These air pockets act like little lenses. The parallel light rays hit the bundles and bend in unpredictable ways.

Light hitting the ground-based telescope mirror



2 The light rays bent by the atmosphere hit the mirror at different angles. The reflected rays cross at many shifting points, instead of at one **focal point**.

Resulting image

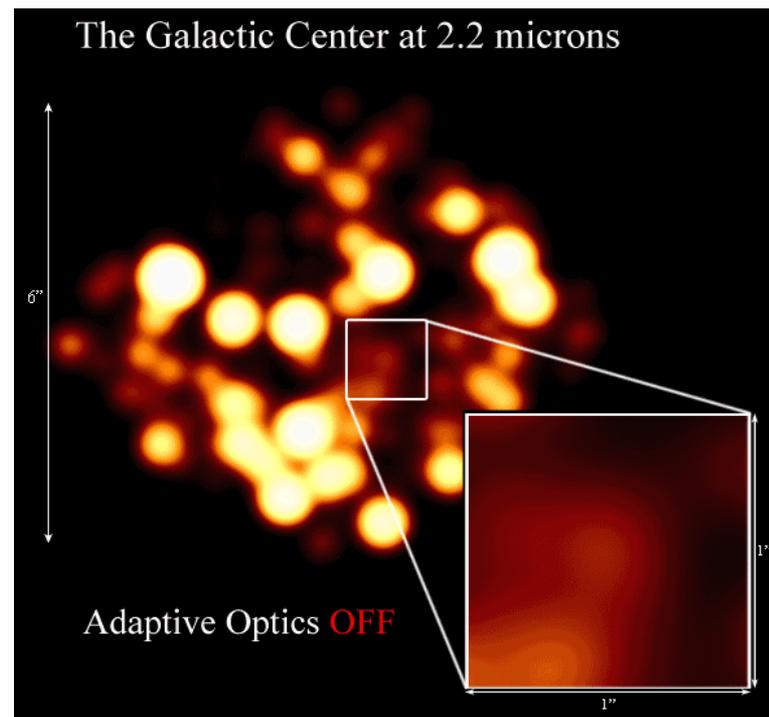
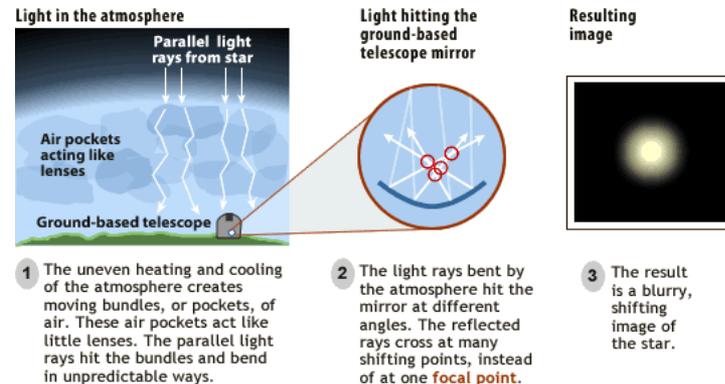
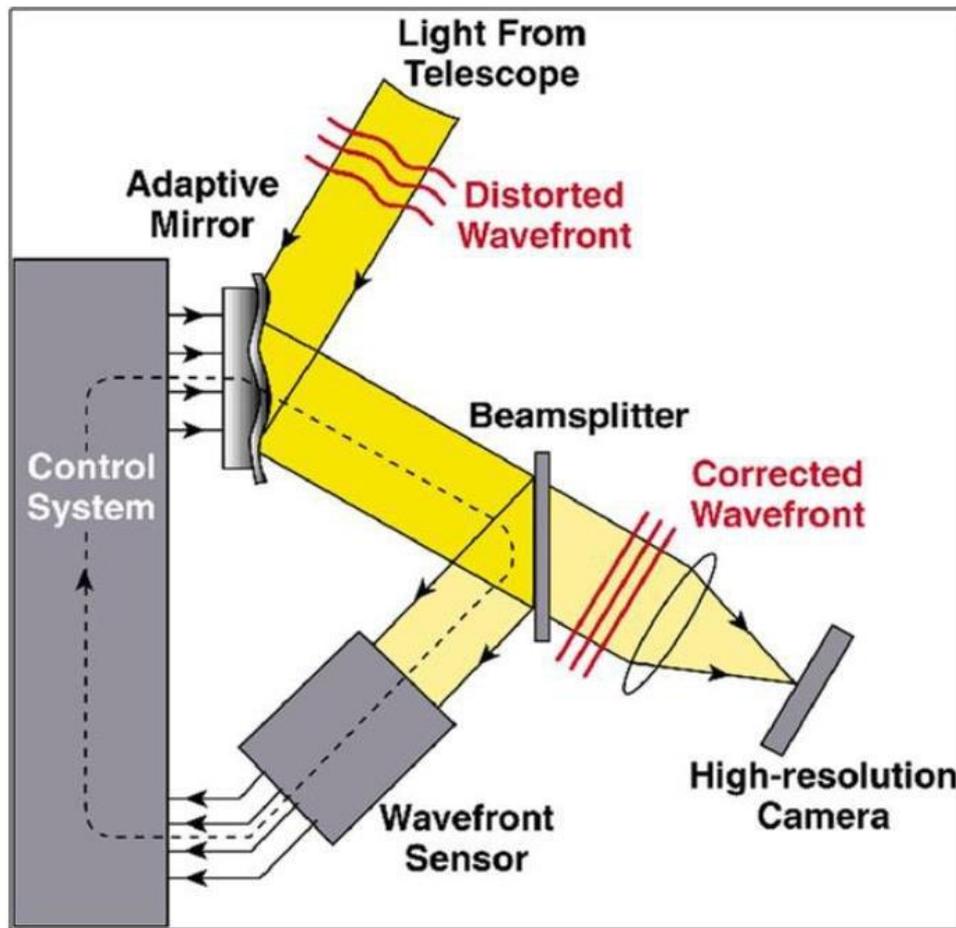


3 The result is a blurry, shifting image of the star.

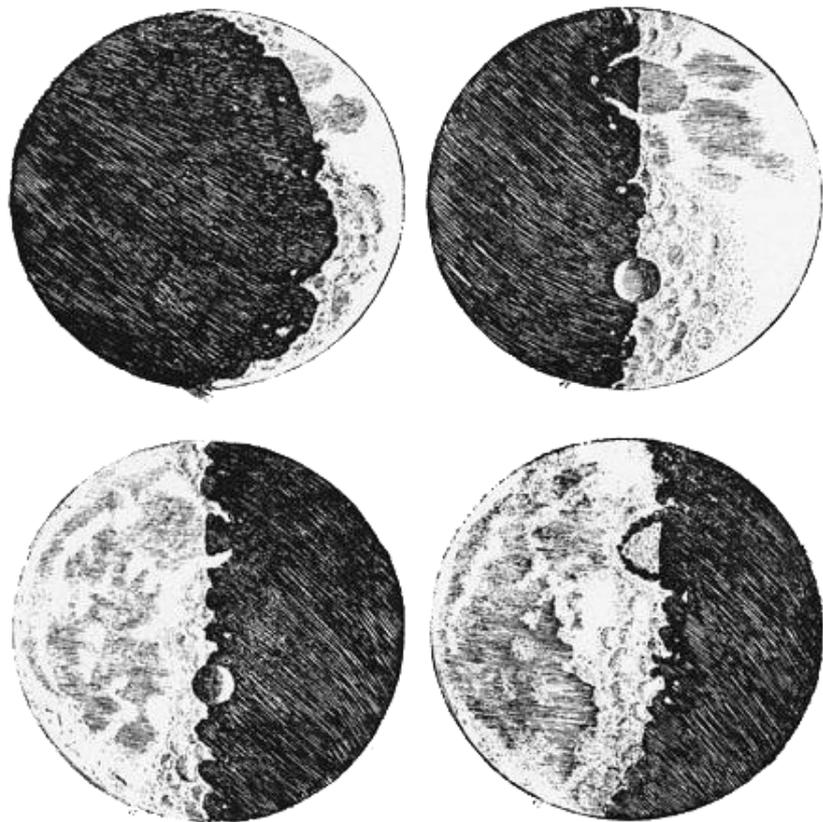
| Site | Seeing |
|---------------|--------|
| La Palma | 0.64 |
| Cerro Paranal | 0.81 |
| Mauna Kea | 0.75 |
| Maidanak | 0.69 |
| Armazones | 0.64 |
| Oukaimeden | 0.84 |
| Aklim | 0.72 |

3. 技术突破 (III) 自适应光学

- ◆ 使用**可变形镜面**矫正因大气抖动造成光波波前发生畸变：激光（自然）引导星、波前传感器、可变形镜、控制系统



3. 技术突破 (IV) 成像革命



手绘记录：1609-1840s，天文学家必须具备**绘画技能**



天文摄影：1840年威廉·德雷珀拍摄了**第一张月球相片**

客观记录 + 长时间曝光

成像革命-照相底片



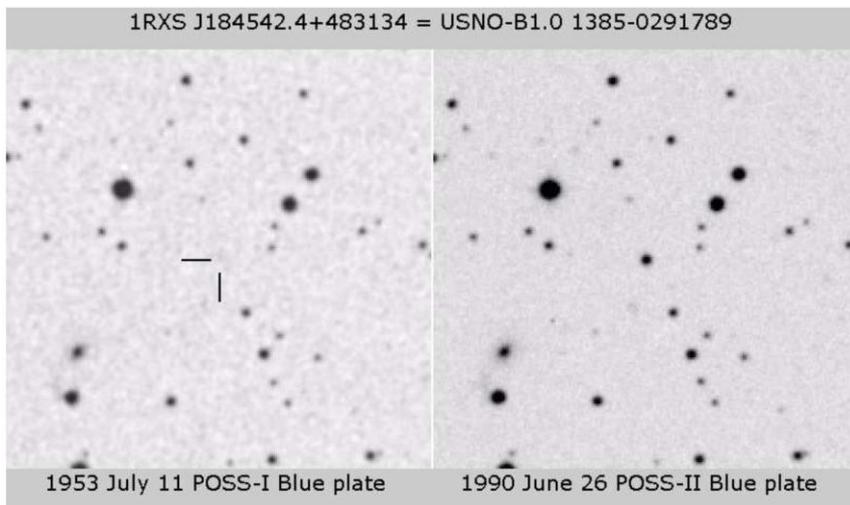
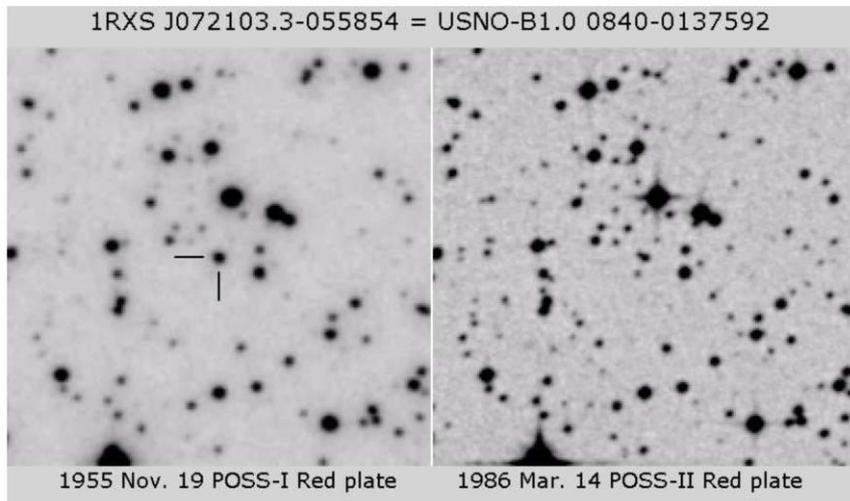
1880年Henry Draper拍摄的世界**第一张星云照片**：猎户座大星云。曝光时间**50分钟**，望远镜口径**28厘米**。



里程碑式照片：由Andrew Common拍摄于1883年。91cm口径的折射式望远镜，**曝光时间60分钟**。

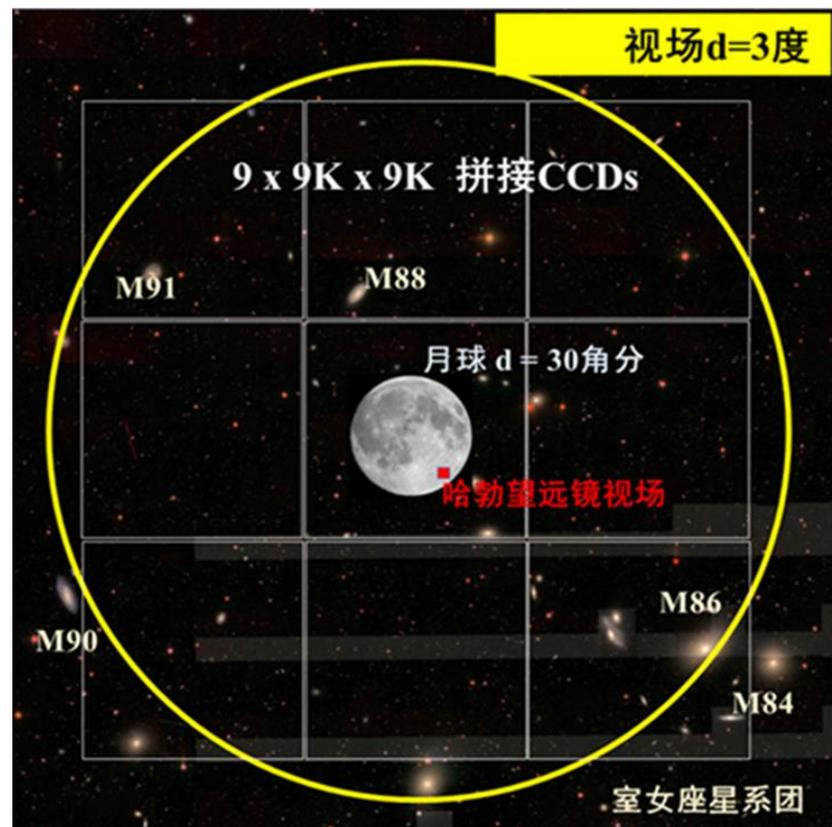
M42星云的延展云气细节第一次向世人展示了天体摄影术的潜力，**拍摄到人眼所无法观测的暗弱星云和恒星**。

成像革命-数字巡天时代

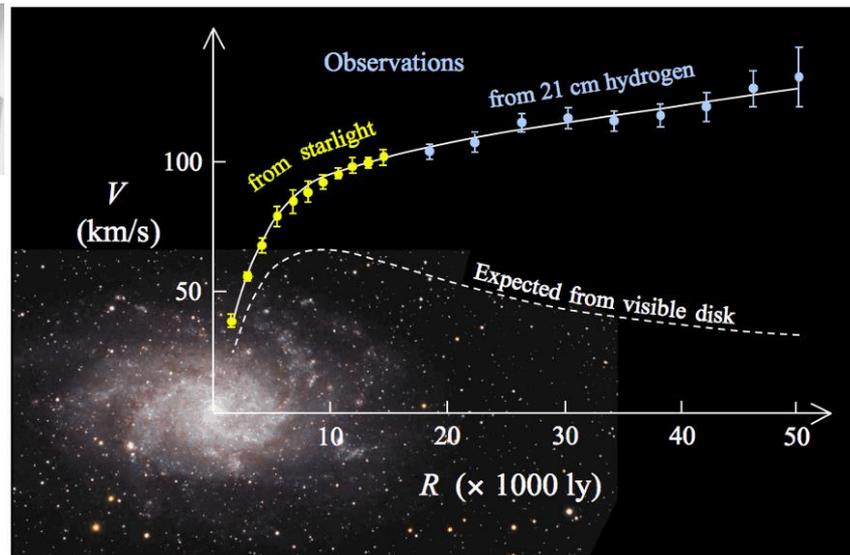
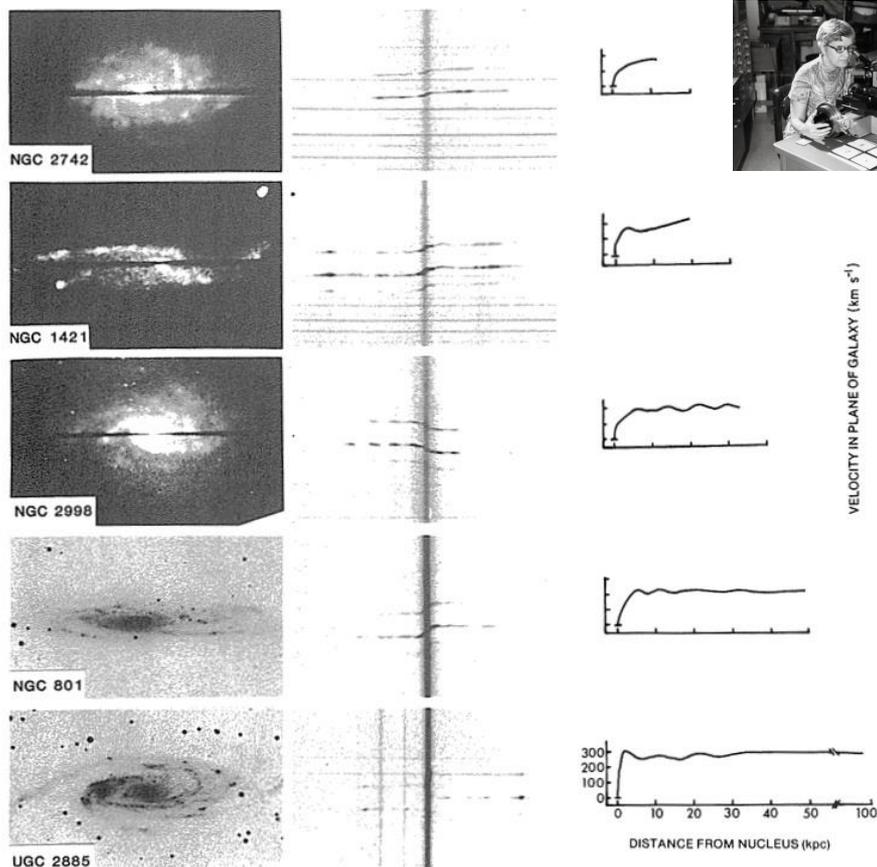


POSS-I/II:两千张天文照片，每张曝光一个小时，比人眼能见暗100万倍

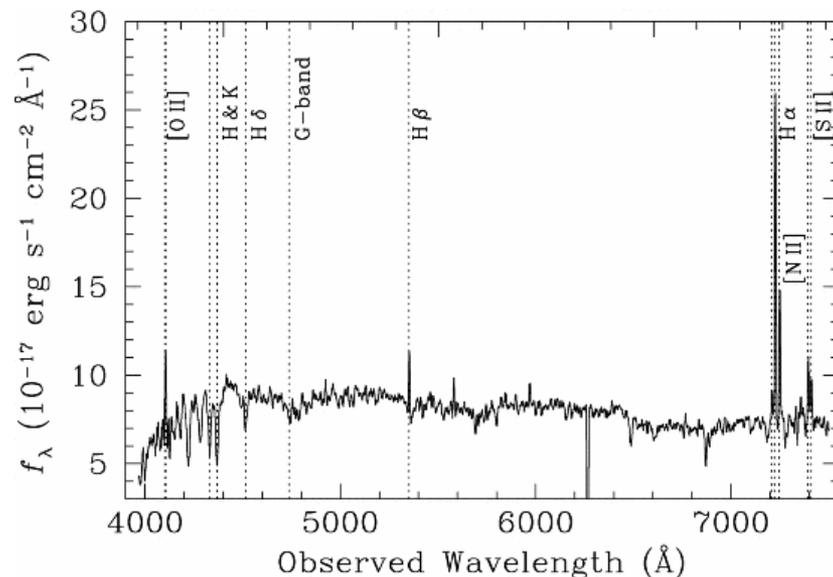
- ◆ 1969年，**电荷耦合器件（CCD）**发明
- ◆ **银反应速率慢**：硅代替银，像素代替了卤化银颗粒，CCD代替了照相底片
→ 数字巡天时代



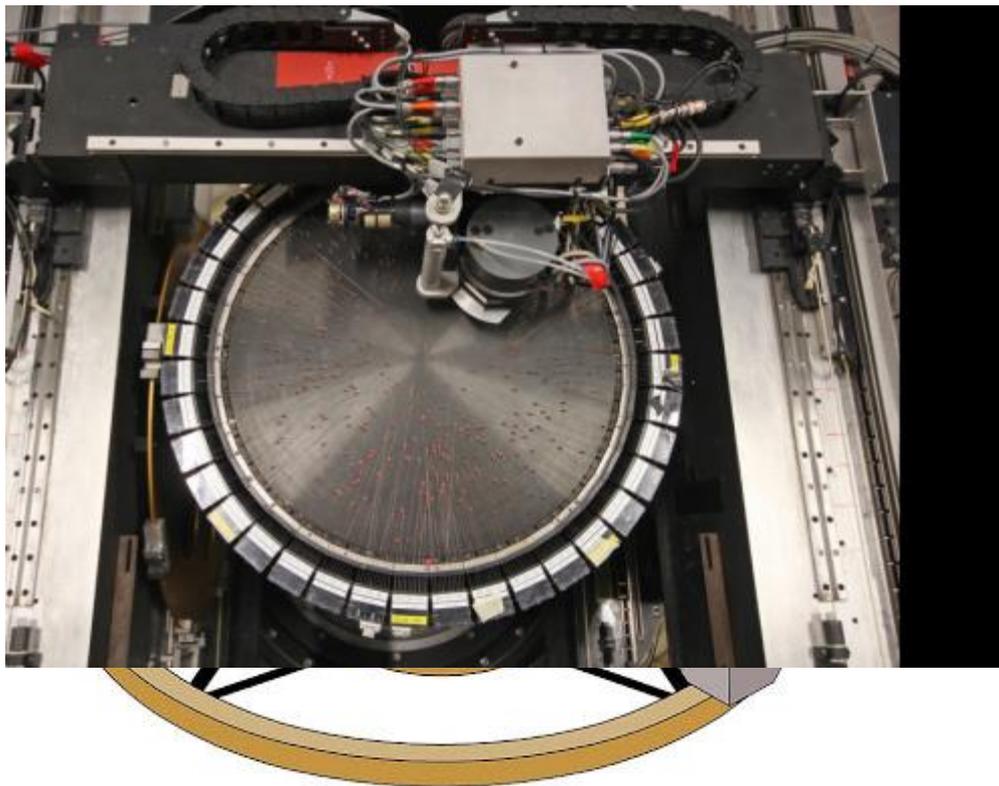
3. 技术突破 (IV) 多光纤



Vera C. Rubin: 第一位利用P200的女性天文学家，通过盘星系光谱观测，得到星系旋转曲线，给出暗物质存在证据。

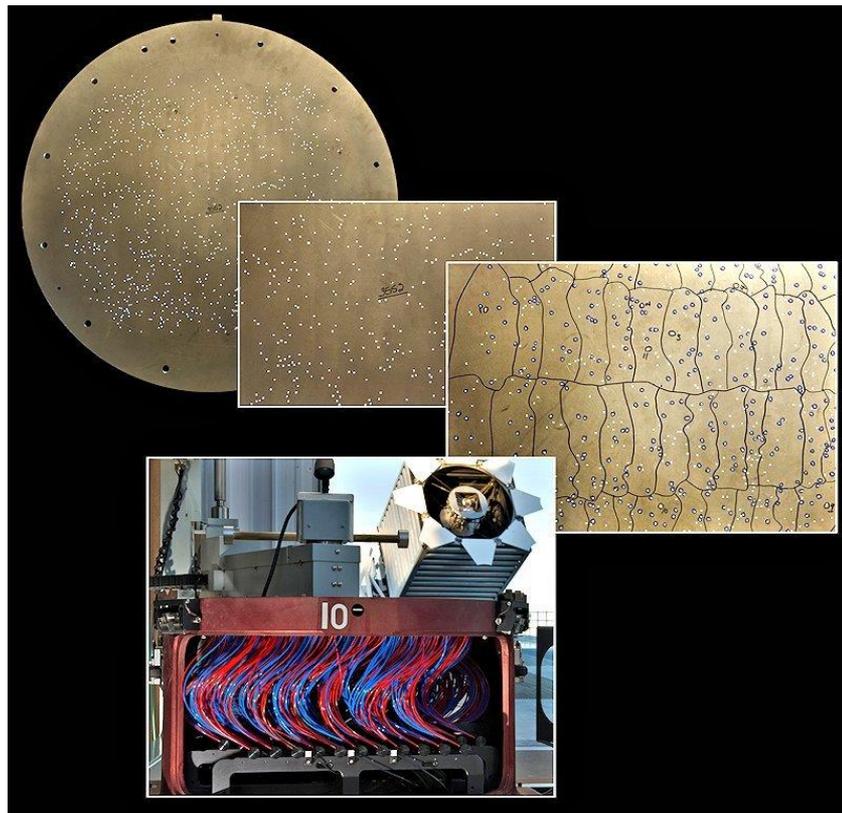


焦面光纤定位方法



AAT 2度视场星系红移巡天 (2dFGRS)
): **392根光纤**, 每根光纤都装有稀土磁扣, 可以用一台专门的机械将其固定到不锈钢焦面定位板上 (需要45分钟)

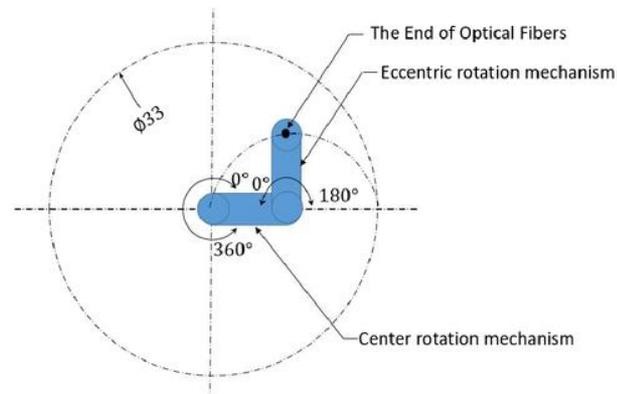
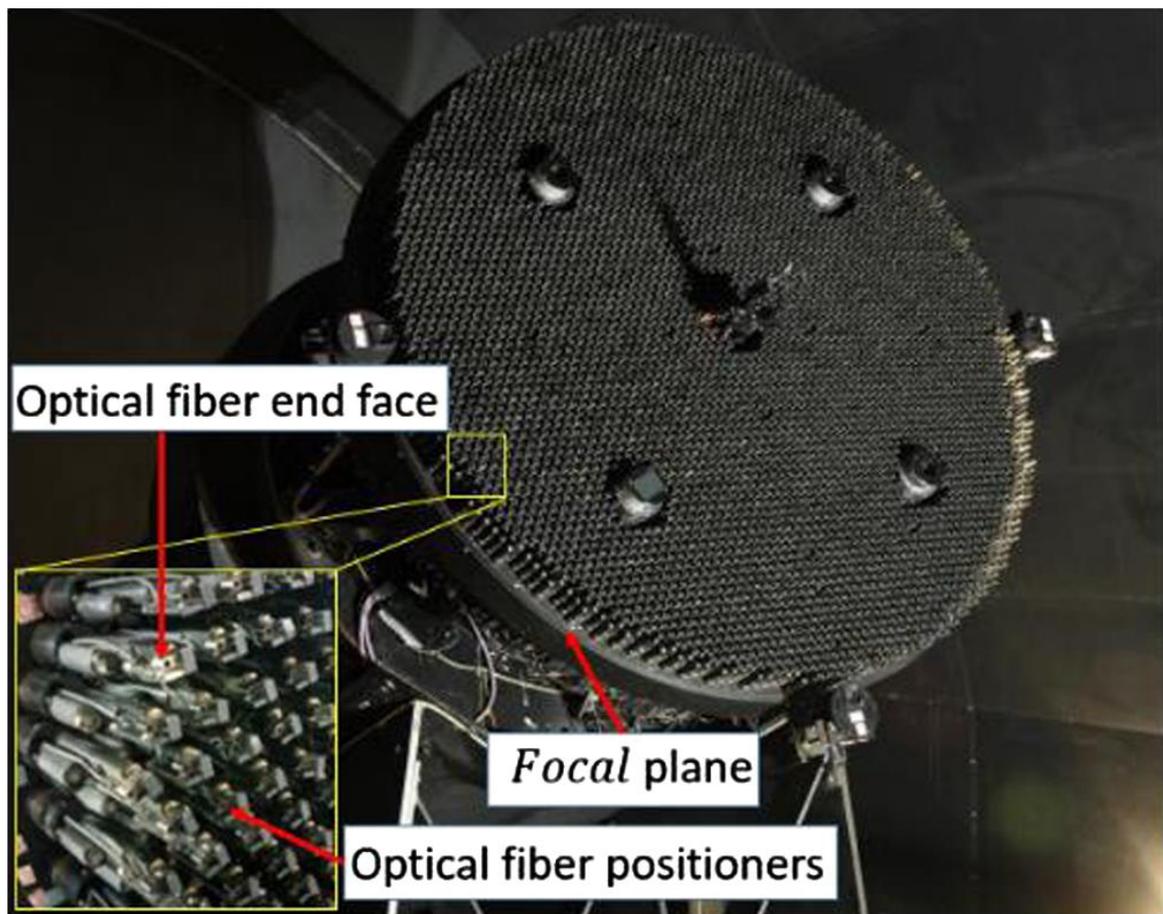
Since 2001: 245591 objects



SDSS插接式: 光纤要逐一手工插接在预先钻好孔的铝板上, 再安装到望远镜上。**640根、1000根光纤**

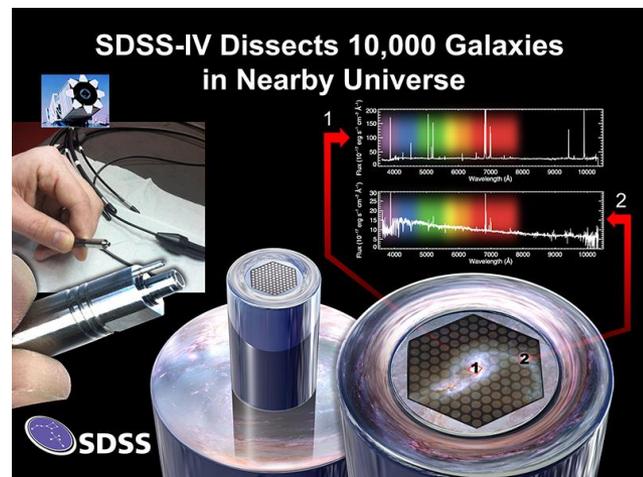
Since 2000: 930,000 galaxies

焦面光纤定位方法



每个光纤定位单元都是双回转系统

LAMOST: **4000根独立定位的光纤**遍布整个球面焦面。每根都有各自的定位系统，且覆盖区域彼此交叉，光纤可以放置到望远镜视场的任意地方



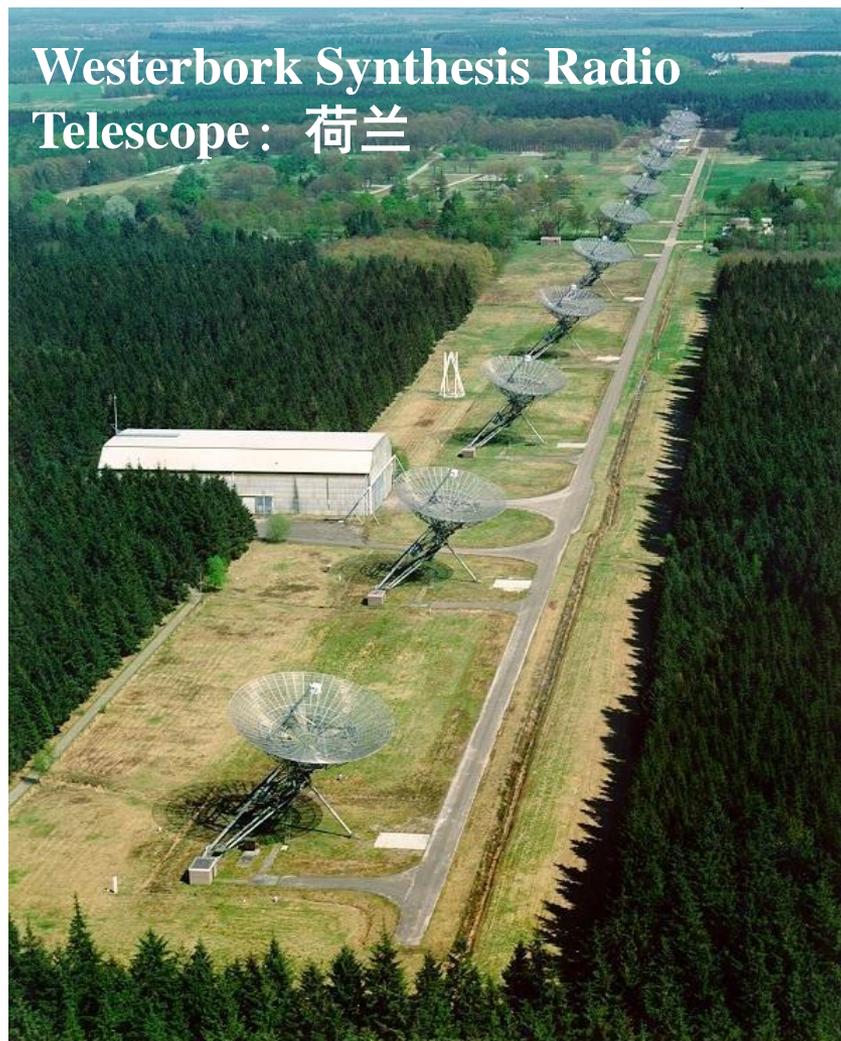
"integral field units" (IFUs)

4. 视力拓展



“不可见光” 宇宙： 星际间氢云、恒星育婴室、...；如何观测？

射电巨阵



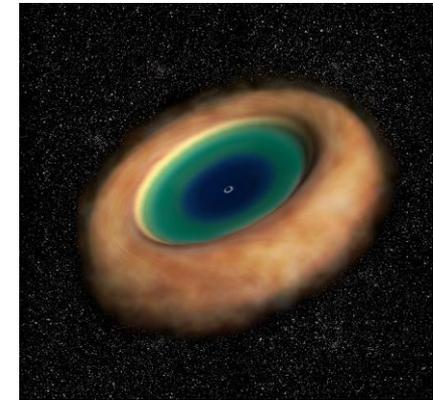
Westerbork Synthesis Radio
Telescope: 荷兰

WSRT:14个25米射电天线，长度
3km。1970年完工；2000年翻新。



甚大天线阵（VLA）射电望远镜：由
27台25米口径的天线组成的射电望远
镜阵列，位于美国新墨西哥州。所有
天线呈Y形排列，分布在三条臂上，每
臂长21千米，组合成的最长基线可达
36千米。于1981年建成。

ALMA



阿塔卡马大型毫米波/亚毫米波阵列（ALMA）：有 54 座口径宽12 米的天线以及 12 座口径 7 米的天线，总共是66 座天线一起协同工作。天线间的距离最短可以是 150米，最长可以到 16 公里。2014年建成。

超级大锅

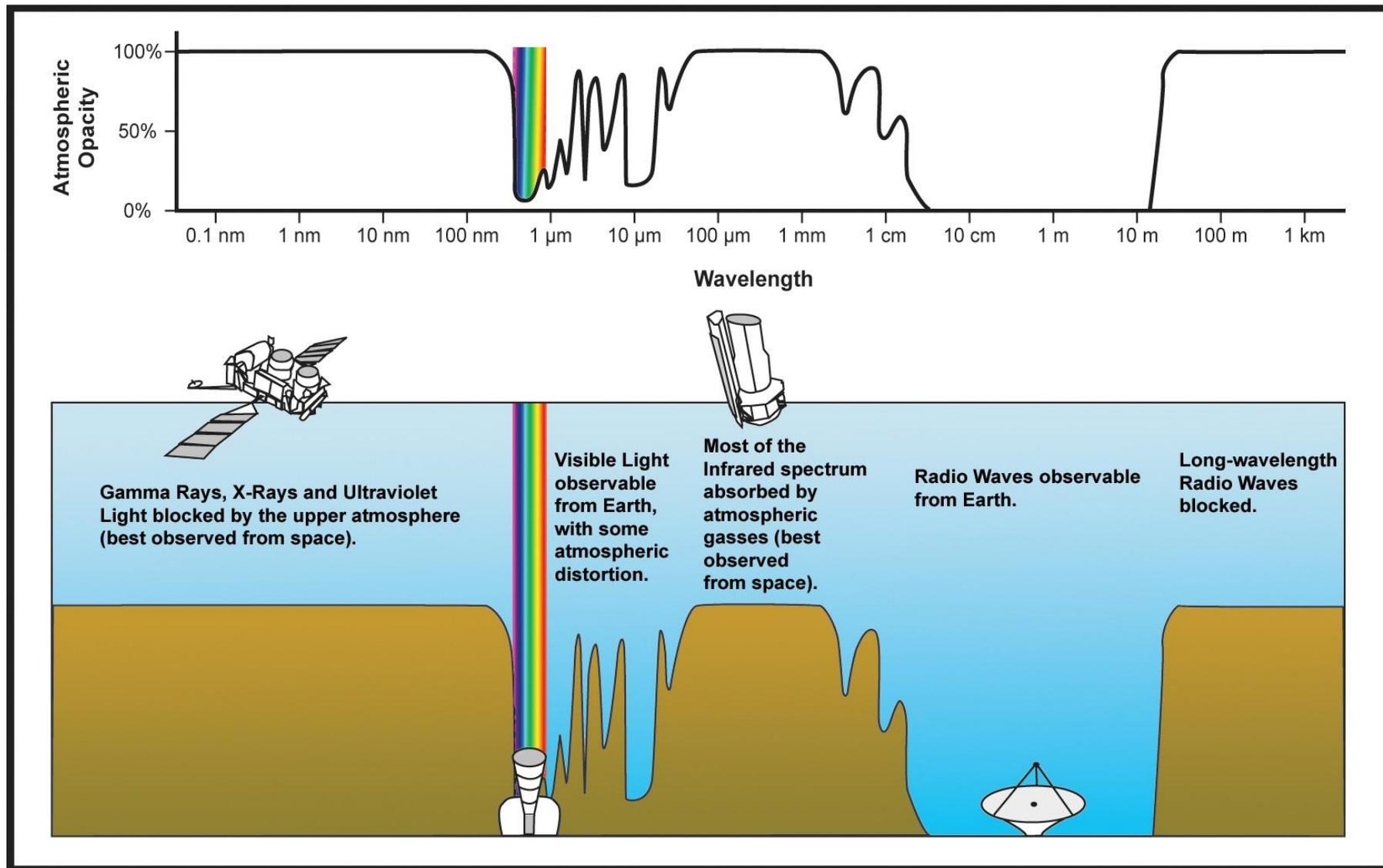


阿雷西博天文台：位于波多黎各。从1936年落成至2016年7月，在中国的FAST建成之前，阿雷西博天文台**305米射电望远镜**是世界上最大的单口径望远镜。



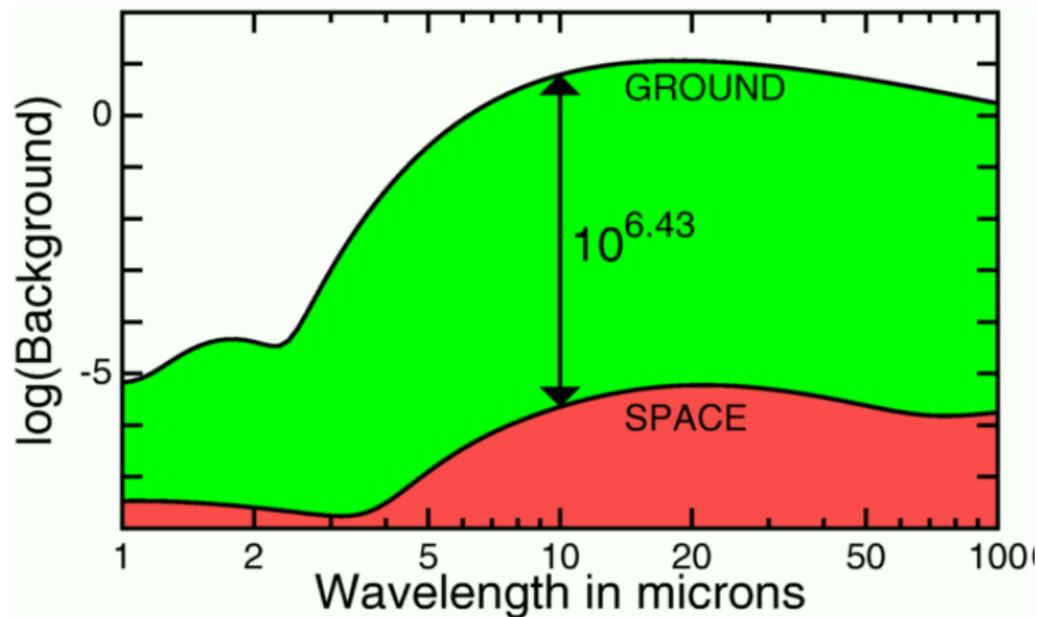
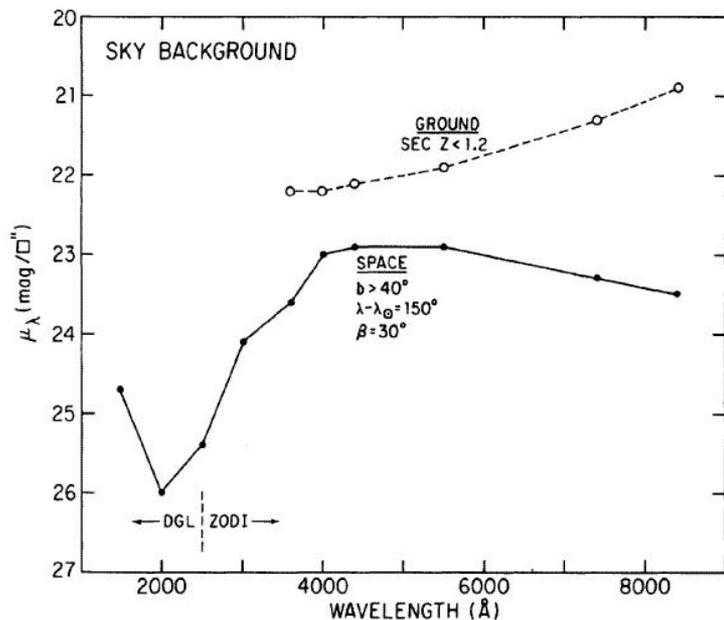
500米口径球面射电望远镜 (FAST)：位于贵州省平塘县克度镇大窝凼洼地，利用喀斯特洼地的地势而建。其主体工程于2011年开工，2016年落成。FAST是目前世界上最大单口径射电望远镜。

5. 进入太空

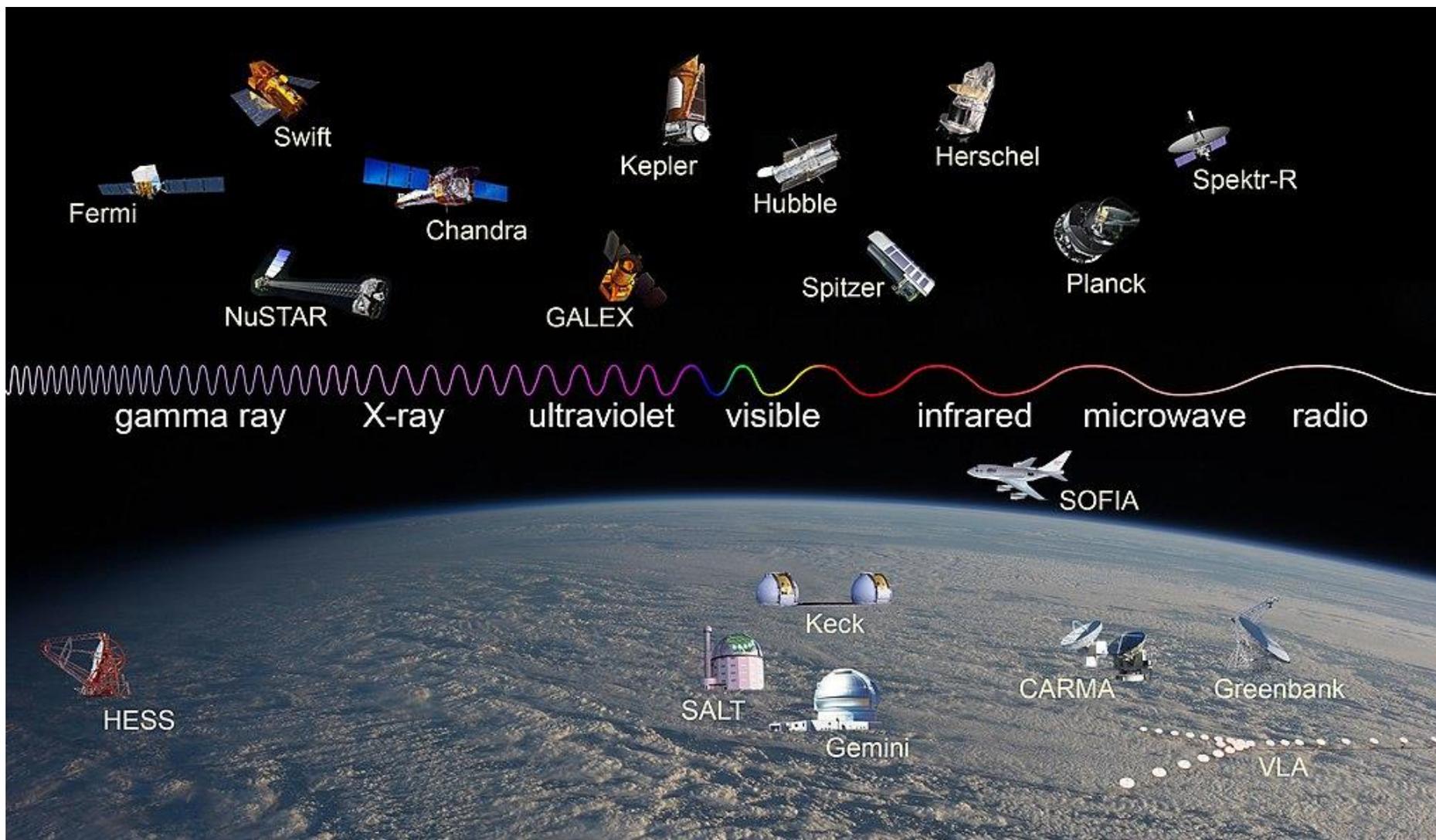


太空优势

- ◆ 突破了地球大气层对天体辐射的阻挡；高灵敏度和高分辨率的观测；全天候、全天区观测
- ◆ 红外天文观测、紫外天文观测、X射线天文观测、 γ 射线天文观测、光学等



空间望远镜



光学-红外

光学波段图像



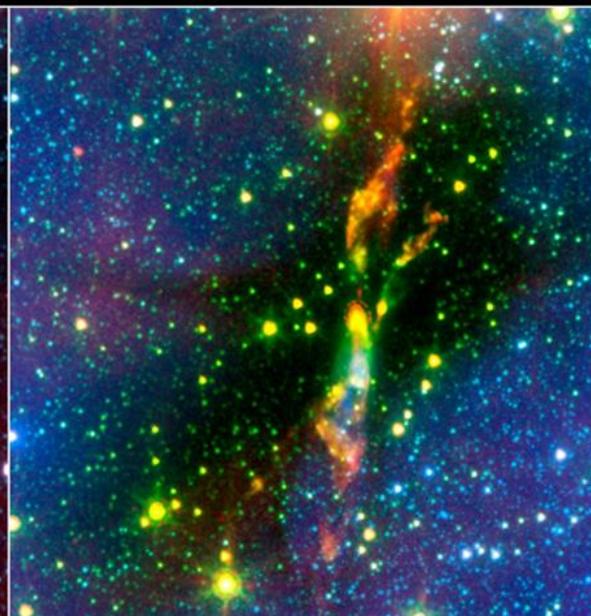
红外波段图像



Visible (VLT)



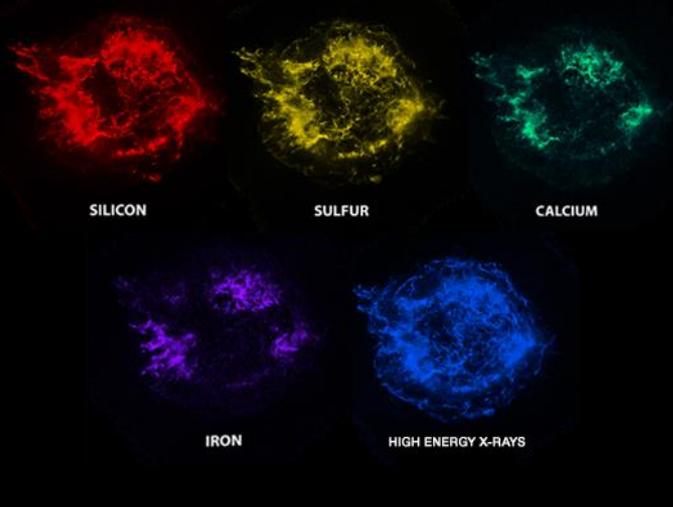
Infrared



Combined

仙后座A - 最年轻的超新星遗迹

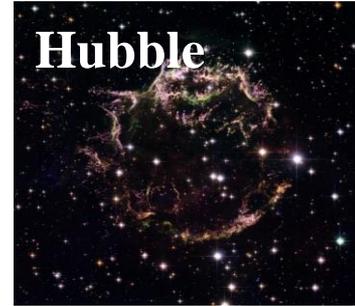
Chandra X-ray Observatory



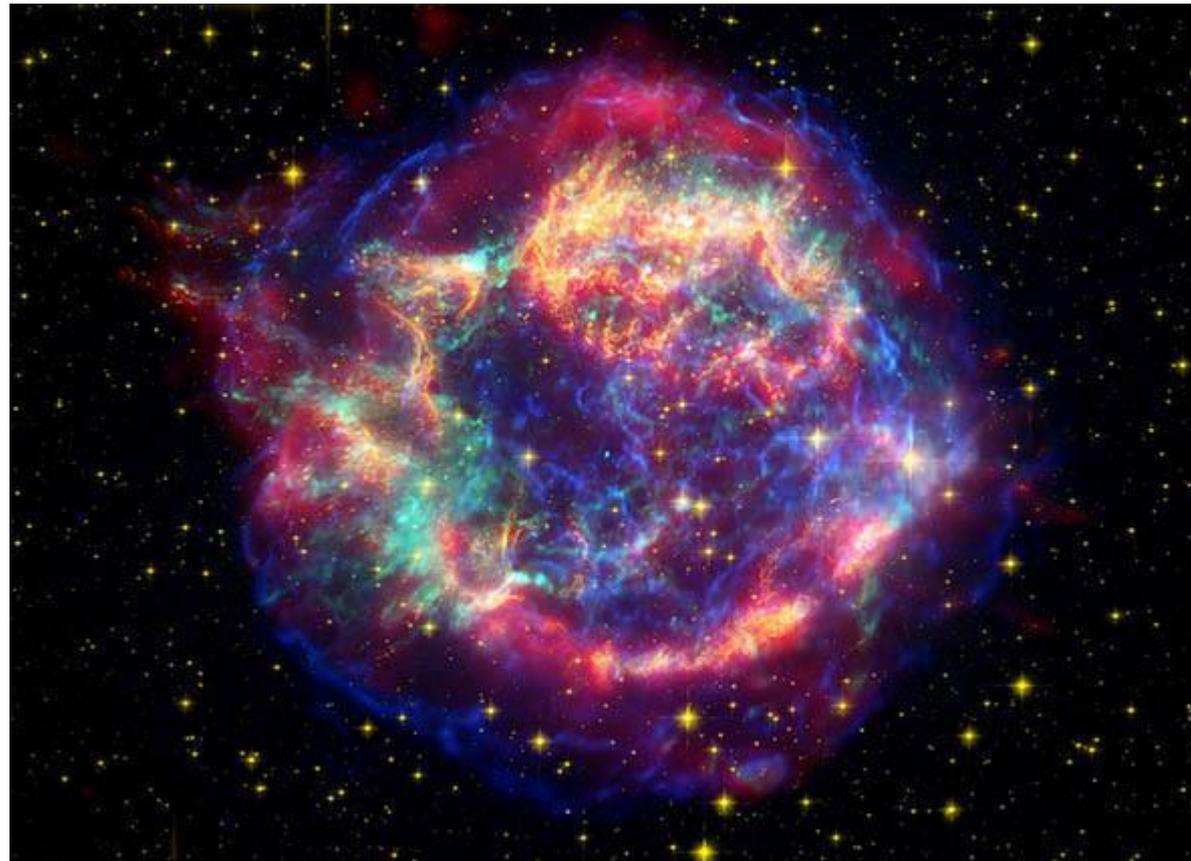
Spitzer



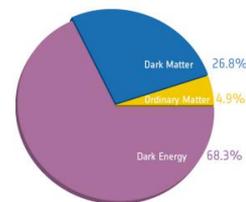
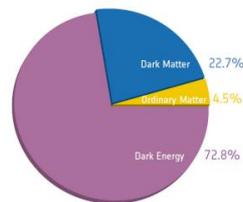
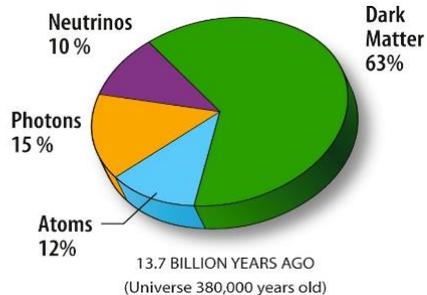
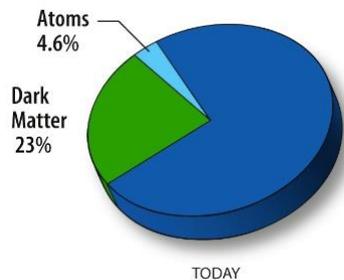
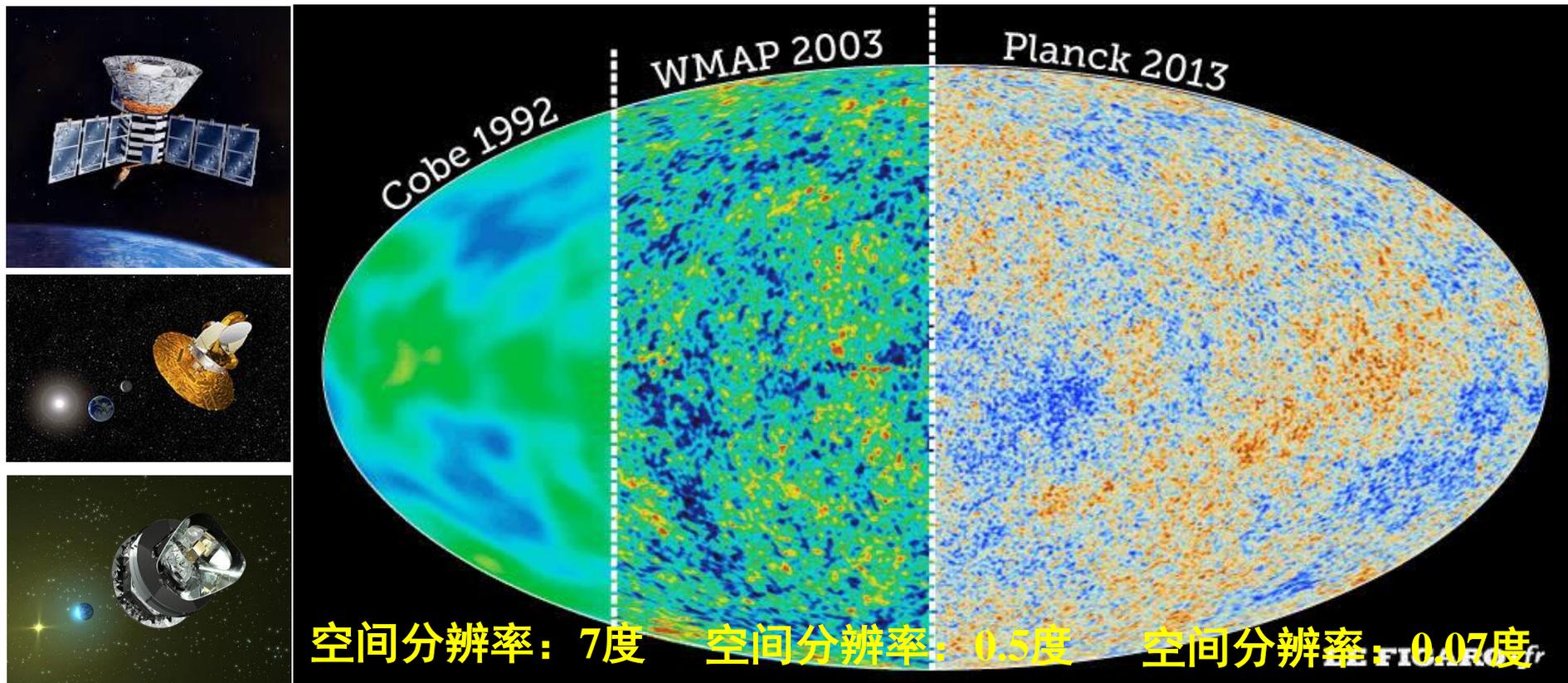
Hubble



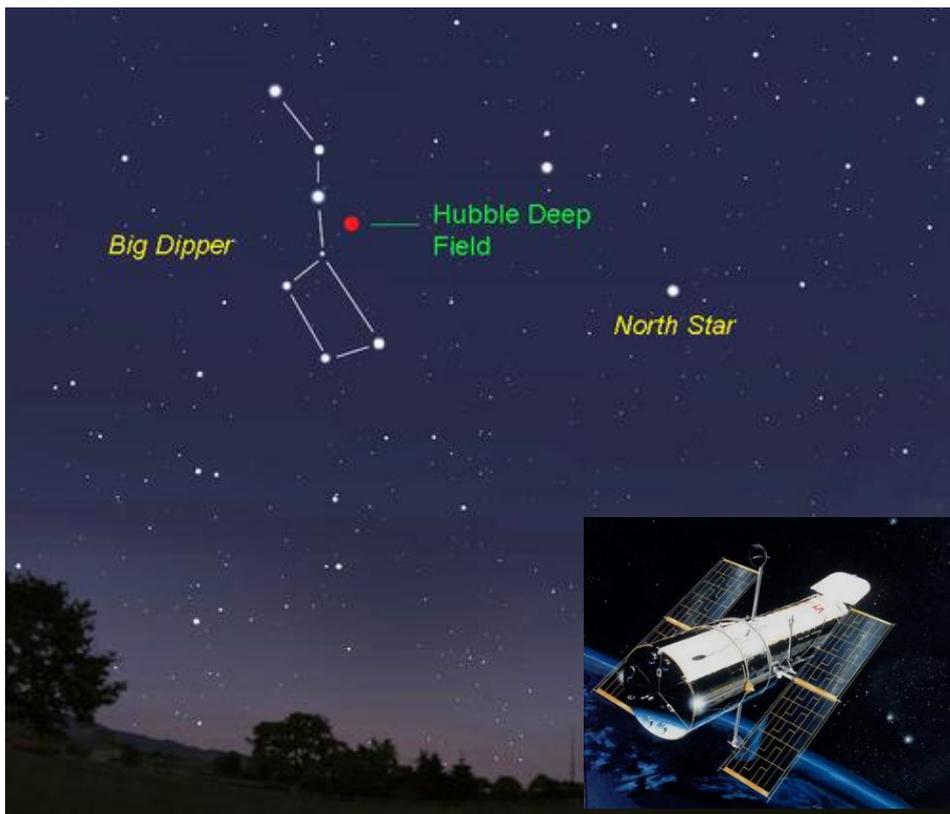
Red is infrared data from Spitzer; gold is visible data from HST, and blue and green are data from the Chandra X-ray Observatory.



宇宙微波背景辐射：宇宙早期

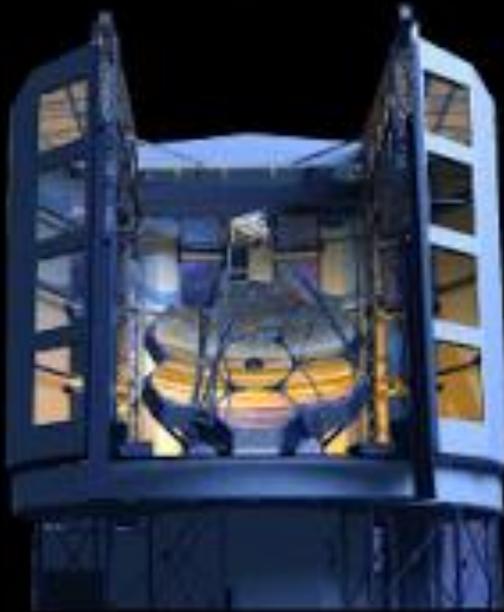


哈勃深场 – 浩瀚宇宙



- ◆ 哈勃望远镜拍摄了大熊座一个144角秒的天区（角度相当于在100米外放置一颗网球）：有1067个像银河系一样的星系。
- ◆ HST在天文学多个领域掀起了天翻地覆的革命：**最著名望远镜**

6. 未来巨镜 – 光学



GIANT MAGELLAN TELESCOPE

MAIN MIRROR DIAMETER:

80 feet (24.5 m)

MIRROR SEGMENTS: 7

LOCATION: Las Campanas
Observatory, Chile

PLANNED OPERATIONAL START:
2020



EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE

MAIN MIRROR DIAMETER:

129 feet (39.3 m)

MIRROR SEGMENTS: 798

LOCATION: Cerro Armazones, Chile

PLANNED OPERATIONAL START: early 2020s



THIRTY METER TELESCOPE

MAIN MIRROR DIAMETER:

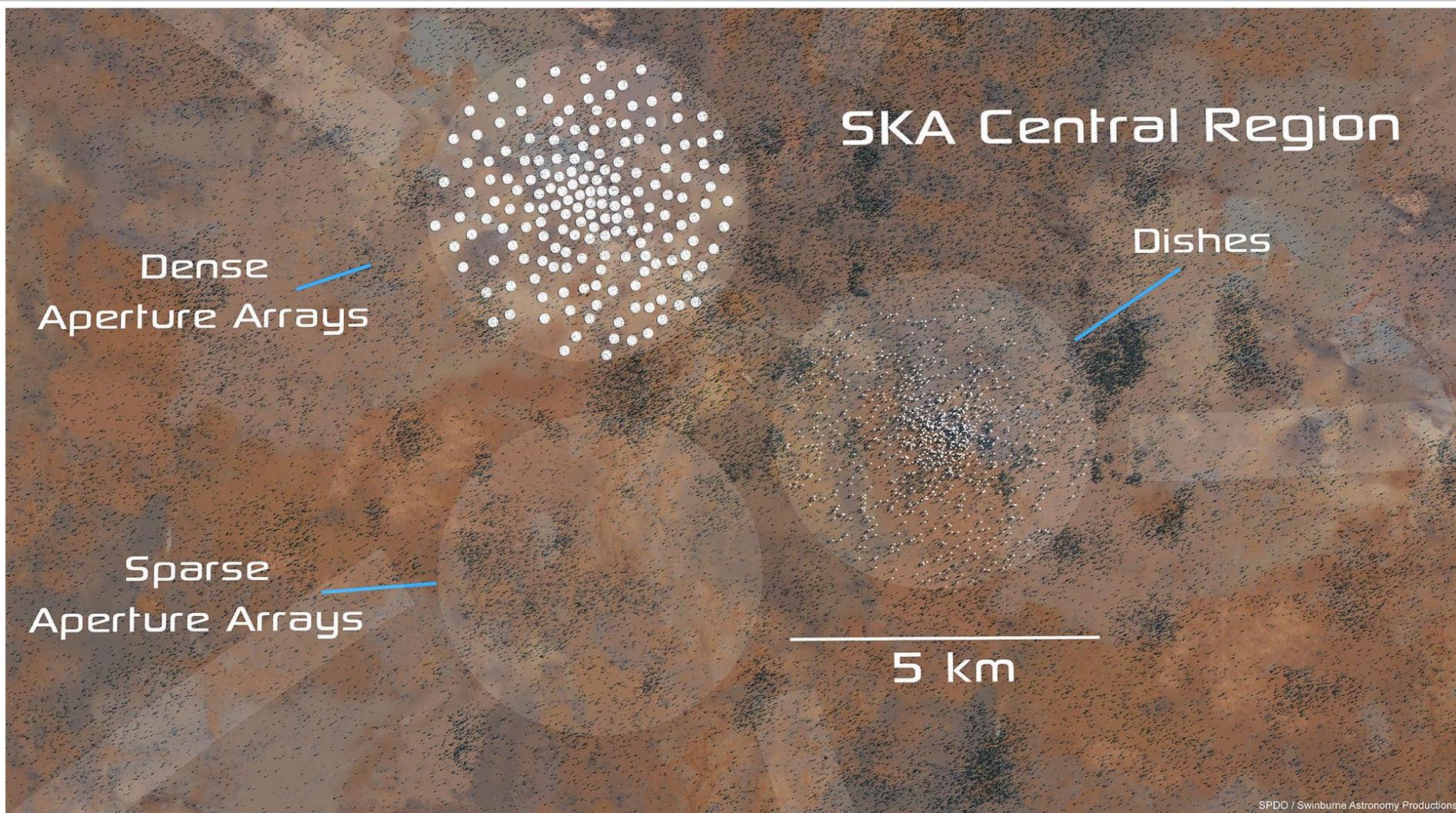
98 feet (30 m)

MIRROR SEGMENTS: 492

LOCATION: Mauna Kea, Hawaii

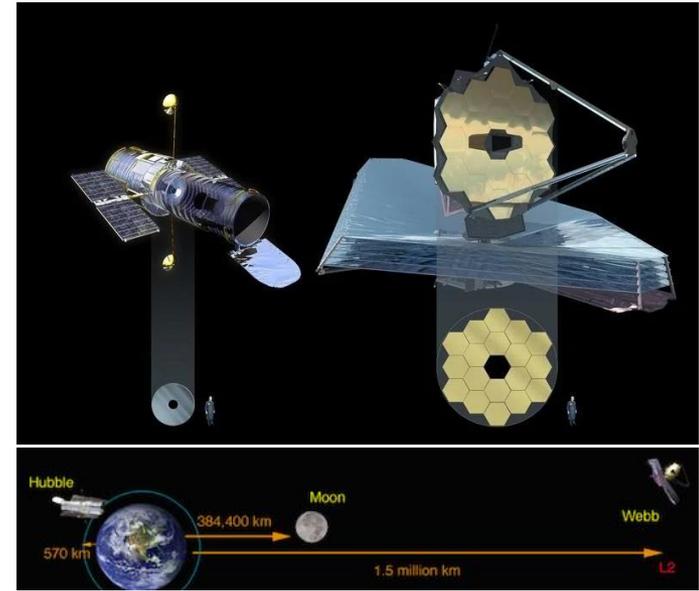
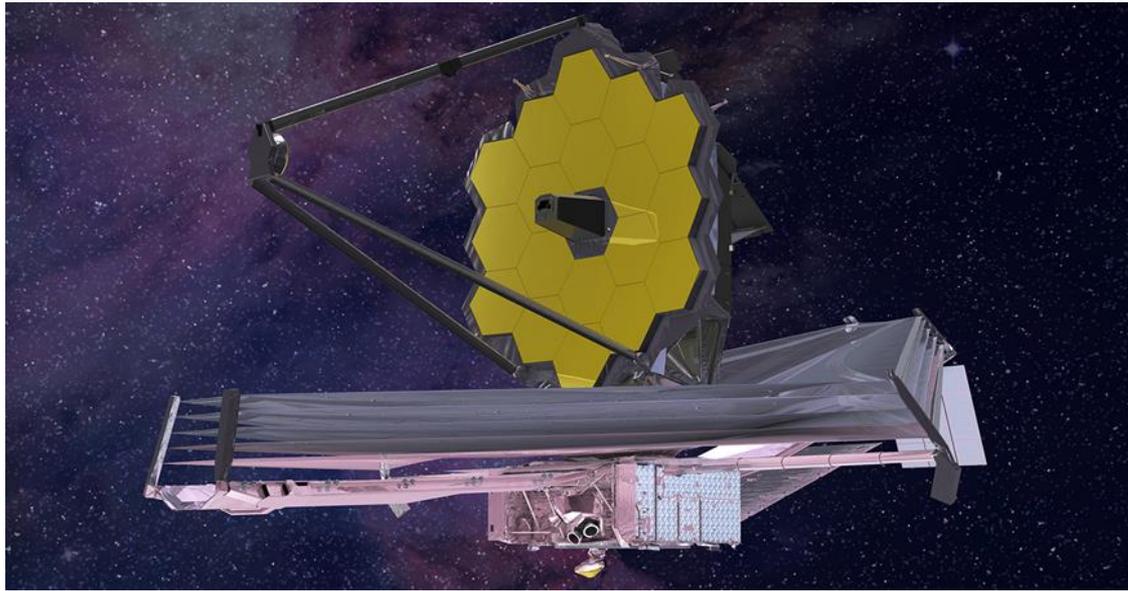
PLANNED OPERATIONAL START:
early 2020s

未来巨镜 – 射电



平方公里射电阵 (Square Kilometre Array)

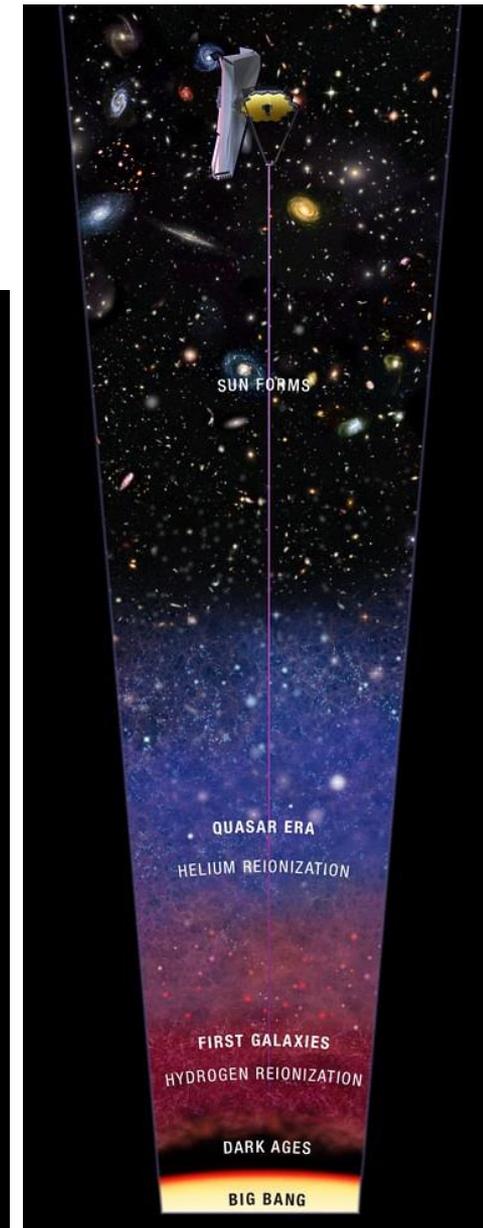
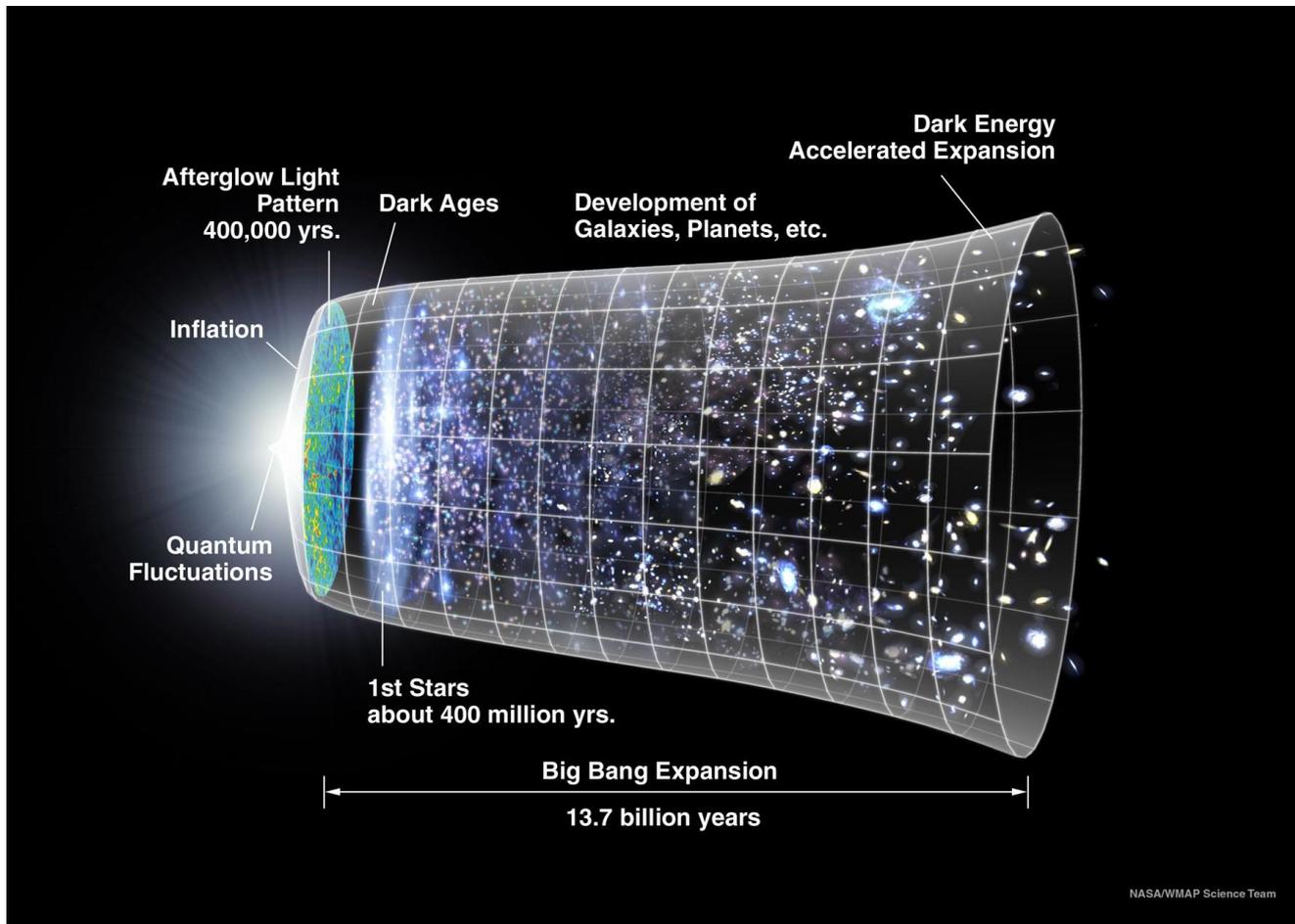
JWST



- ◆ The James Webb Space Telescope will be a giant leap forward in our quest to understand the Universe and our origins.
- ◆ Webb will examine **every phase of cosmic history**: from the first luminous glows after the Big Bang to the formation of galaxies, stars, and planets to the evolution of our own solar system.

First Light & Reionization

- ◆ **When** and **how** did reionization occur?
- ◆ **What** sources caused **reionization**?
- ◆ What are the **first** galaxies?



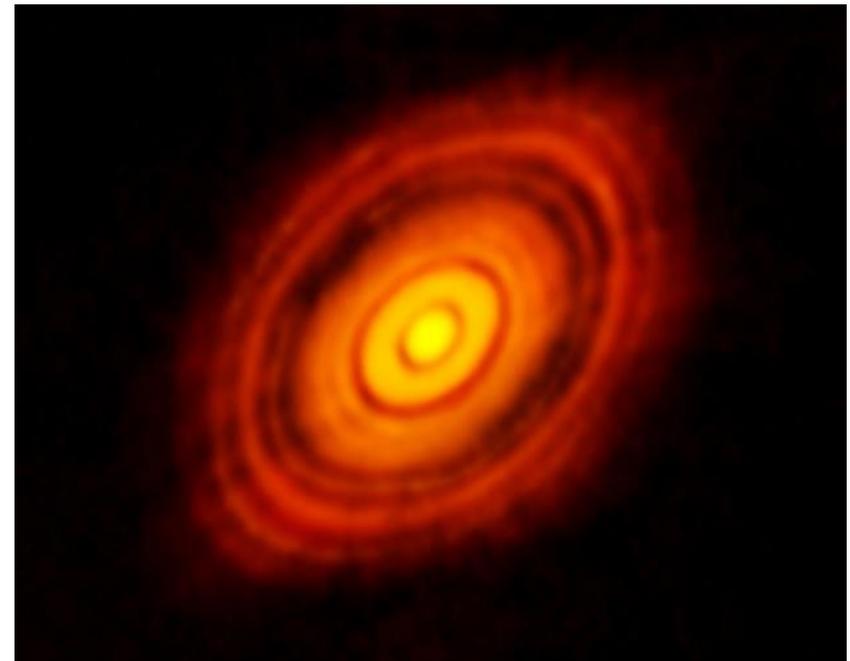
Assembly of Galaxies

- ◆ How are galaxies are **formed**?
- ◆ What gives them their **shapes**?
- ◆ How are the **chemical elements** distributed through the galaxies?
- ◆ How do the central **black holes** in galaxies influence their host galaxies?
- ◆ What happens when small and large galaxies **collide or join** together?



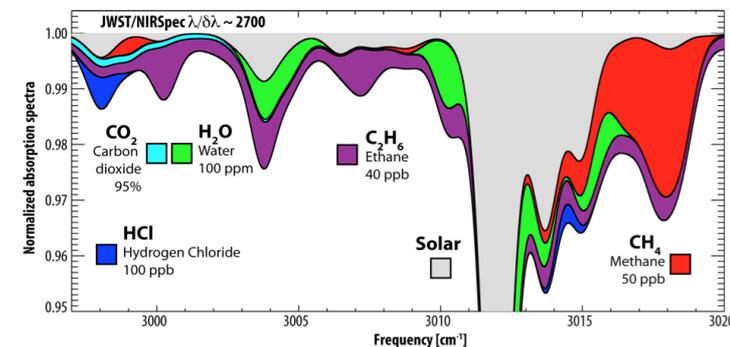
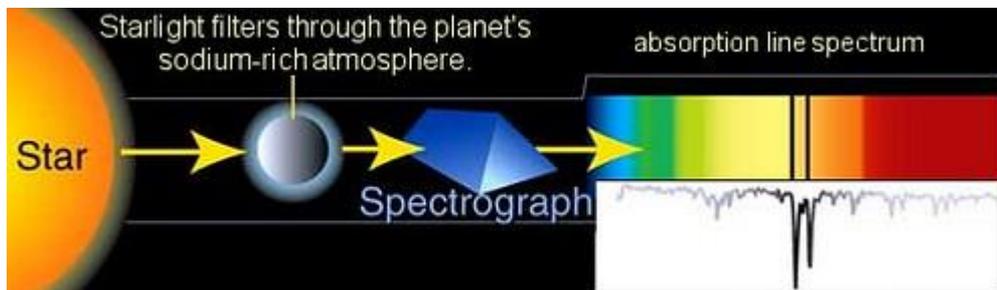
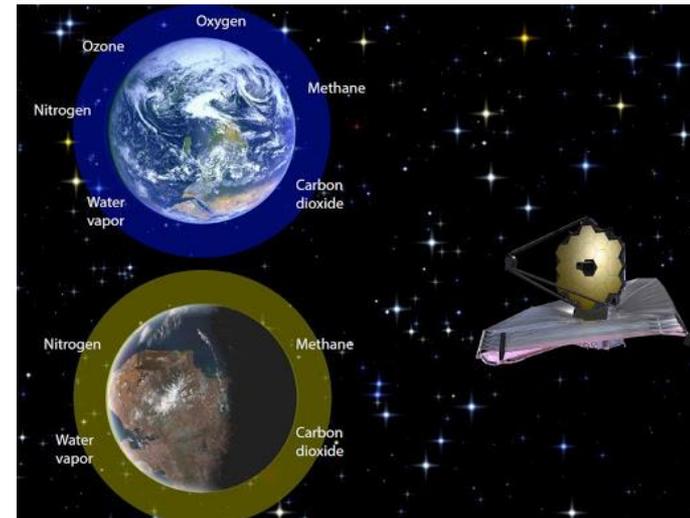
Birth of Stars & Protoplanetary Systems

- ◆ How do clouds of gas and dust collapse to **form stars**?
- ◆ Why do most stars form in **groups**?
- ◆ Exactly how do **planetary systems** form?
- ◆ How do stars evolve and release the heavy elements they produce back into space for **recycling** into new generations of stars and planets?



Planets & Origins of Life

- ◆ Do planets in a planetary system **form in place**, or **travel inwards** after forming in the outer reaches of the system?
- ◆ How do planets reach their **ultimate orbits**?
- ◆ Can we find planets orbiting in the **habitable zones** of stars where it is possible for water, or perhaps life, to exist?
- ◆ How did **life** develop on Earth? Was there ever **life** on Mars?
- ◆ Do comets and other distant icy bodies contain clues to **our origins**?



时域天文

