



第十屆海峽兩岸天文望遠鏡與觀測前沿技術研討會

GTC望遠鏡高分辨率超穩定光譜儀中西合作

CHORUS

Canary Hybrid Optical high-Resolution Ultra-stable Spectrograph

张 凯

中国科学院南京天文光学技术研究所

2023年11月23日

台湾台北



CONTENTS

01 | 共赢的中西合作

02 | CHORUS 项目

03 | 项目合作进展

04 | 总 结

CHORUS



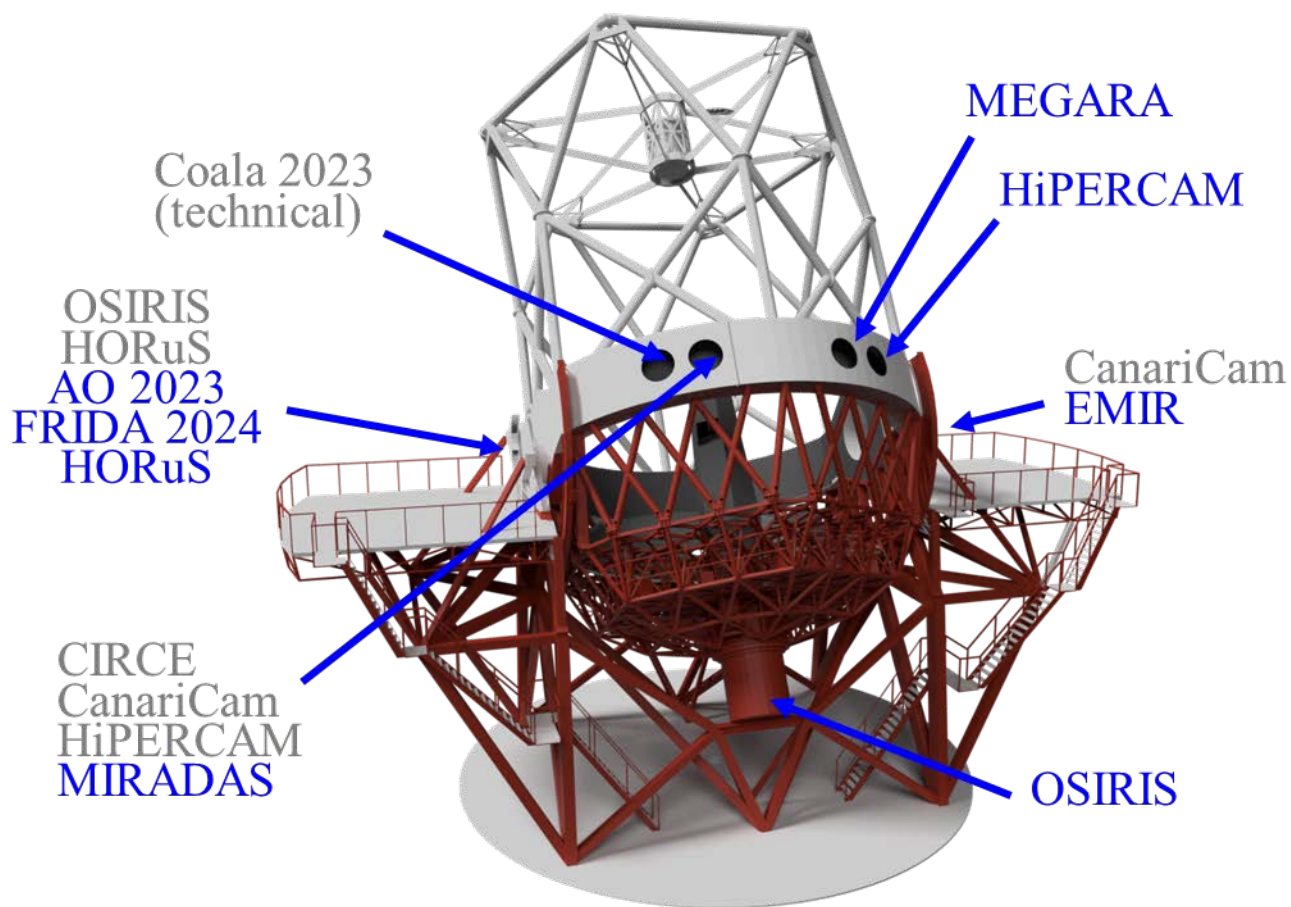
CONTENTS

共赢的中西合作



GTC (Gran Telescopio CANARIAS)

当前世界上在运行的最大口径光学红外望远镜，口径10.4米，拥有多样的科学终端仪器。



科技合作的“中欧班列”

- 我国与西班牙有长期友好的天文合作传统
- 希望把中西天文合作的“中欧科技班列”开到“一带一路”的欧洲最后一站



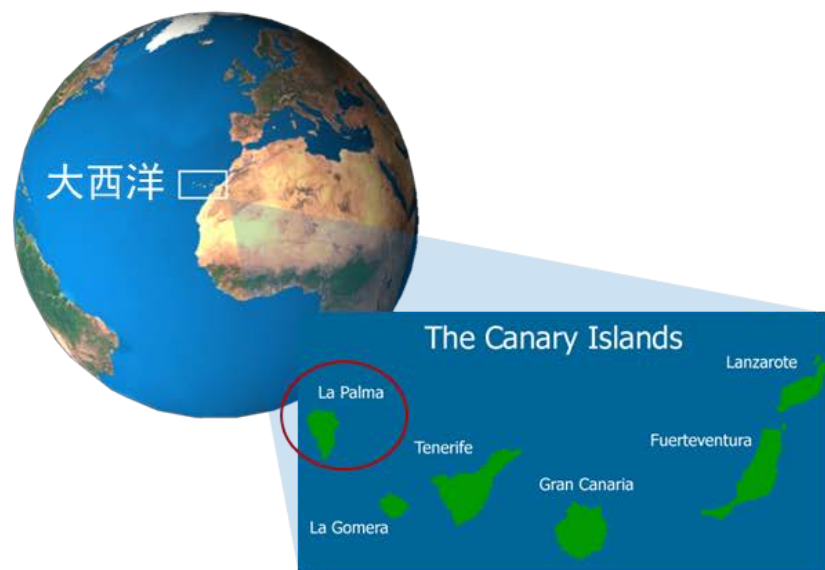
2014年，“义新欧”班列开通，从义乌到马德里，打造了新的亚欧经济走廊。

GTC望高分辨率超稳定光谱仪（CHORUS）有望成为我国研制的第一台10米级望远镜的终端仪器，拥有国际前列的视向速度测量精度，助力系外行星等多样化前沿研究。

中国与西班牙天文合作框架下，我国将以此实物贡献成为GTC合作伙伴，获得相应比例观测时间，可使用GTC全部仪器开展研究，惠及全国天文界。



西班牙加那利大望远镜 GTC



西属加那利群岛



拉帕尔马岛

纬度: 28° 45' N
经度: 17° 53' W
海拔: 2396 米



拉帕尔马岛 ORM 台址

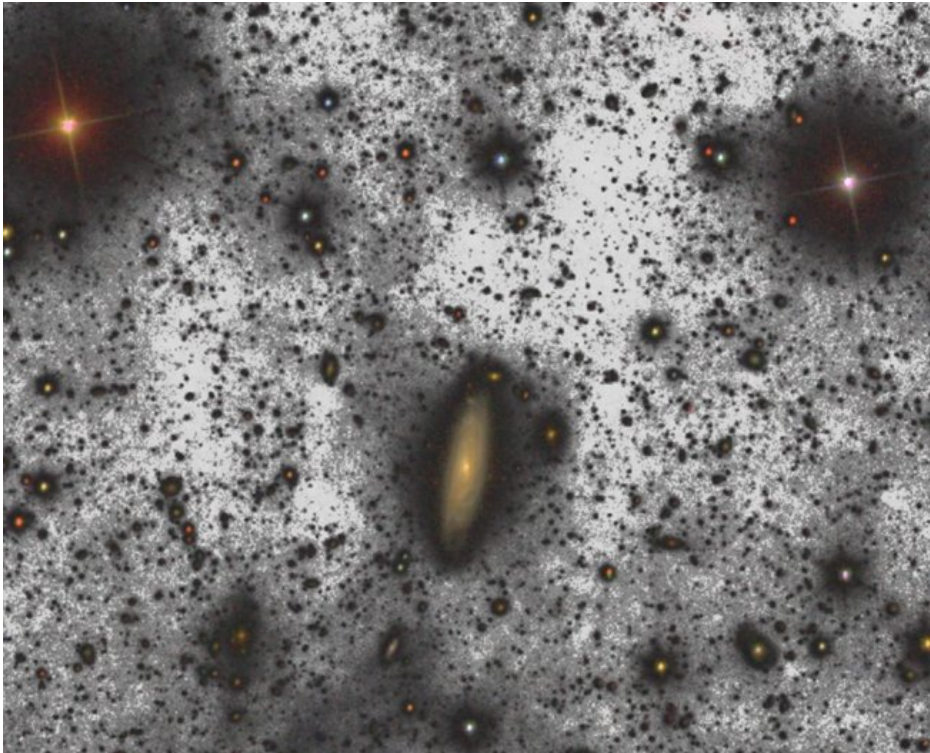
ORM (Roque de los Muchachos Observatory)

大西洋加那利群岛中的拉帕尔马岛 (La Palma)，海拔2267米，与美国夏威夷、智利Paranal并称为三大台址，视宁度中值0.7角秒。

望远镜由非盈利性机构 GTC天文台 (GRANTECAN S.A.) 负责日常运行与维护。



DEEP 探测更深



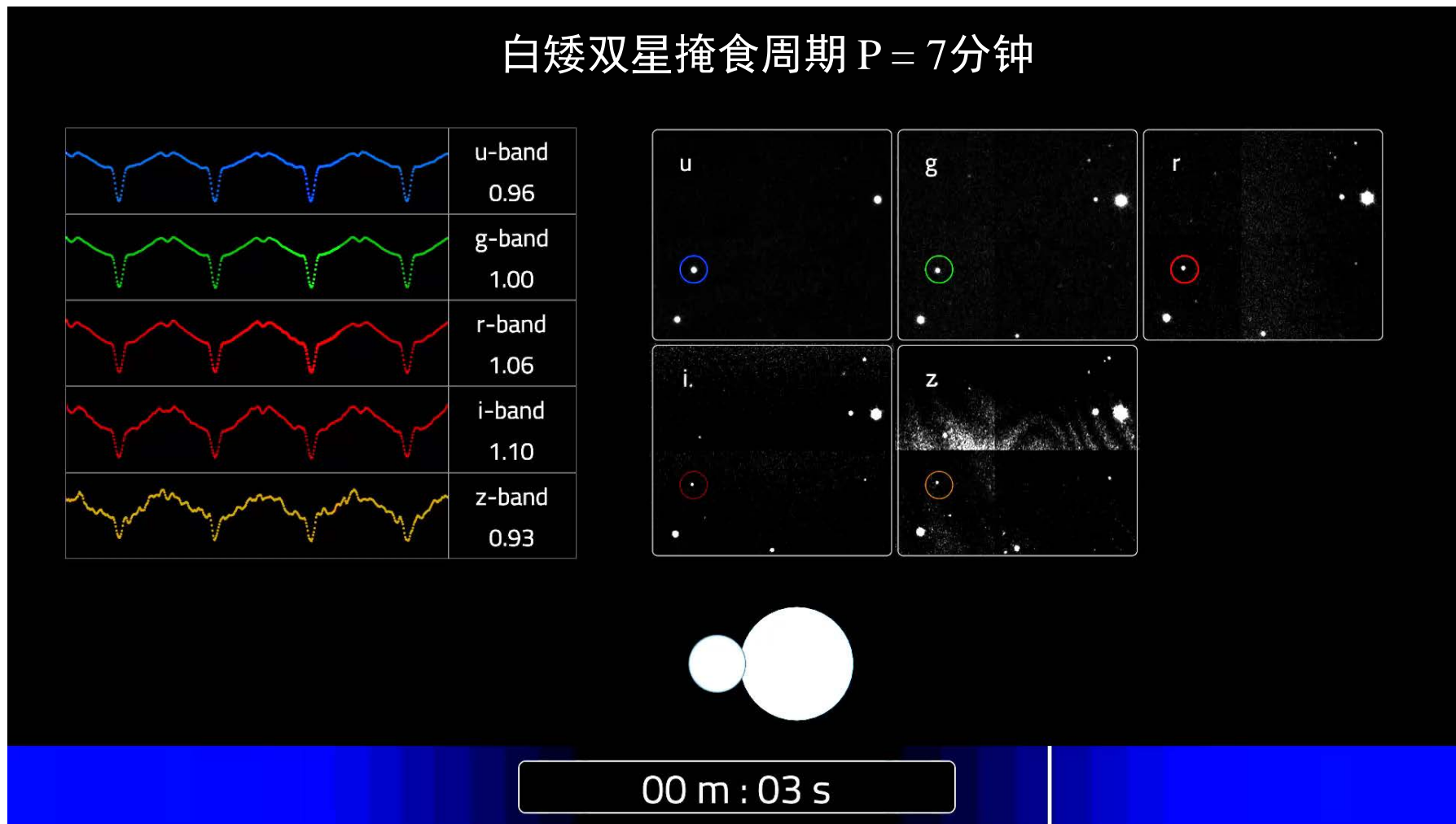
$>31 \text{ mag arcsec}^{-2}$ (r' , 8.1 h)
Trujillo & Liri 2016, ApJ, 823, 123



SHARDS (240h OSIRIS) *P. Pérez González*



FAST 响应更快





GTC 的科学成果



PRECISE 测得更精

太阳系外行星科学

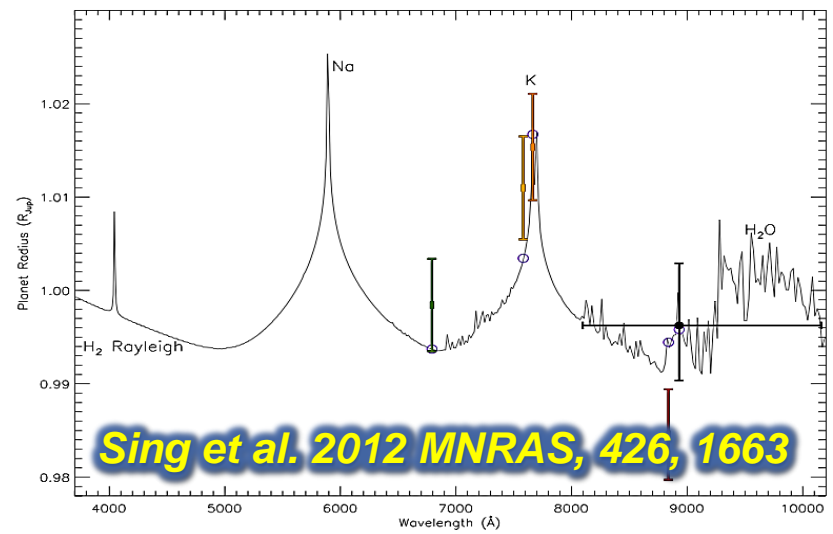
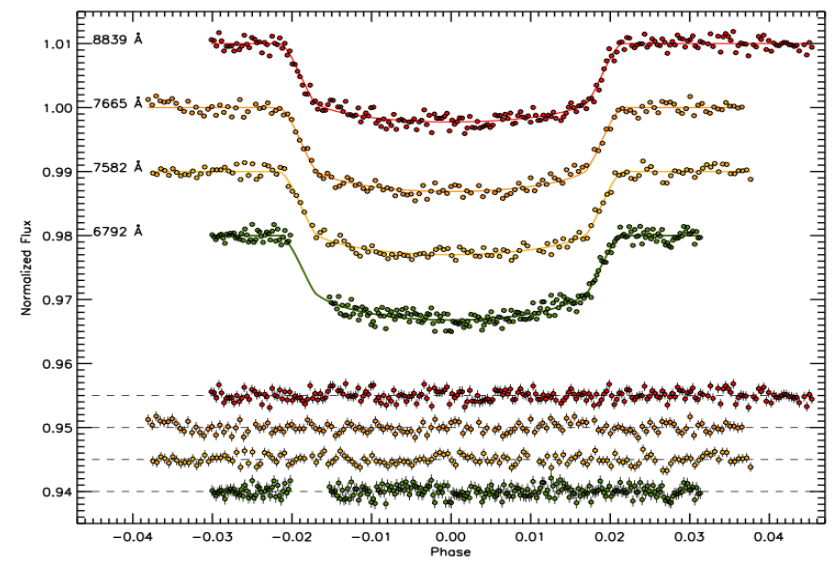
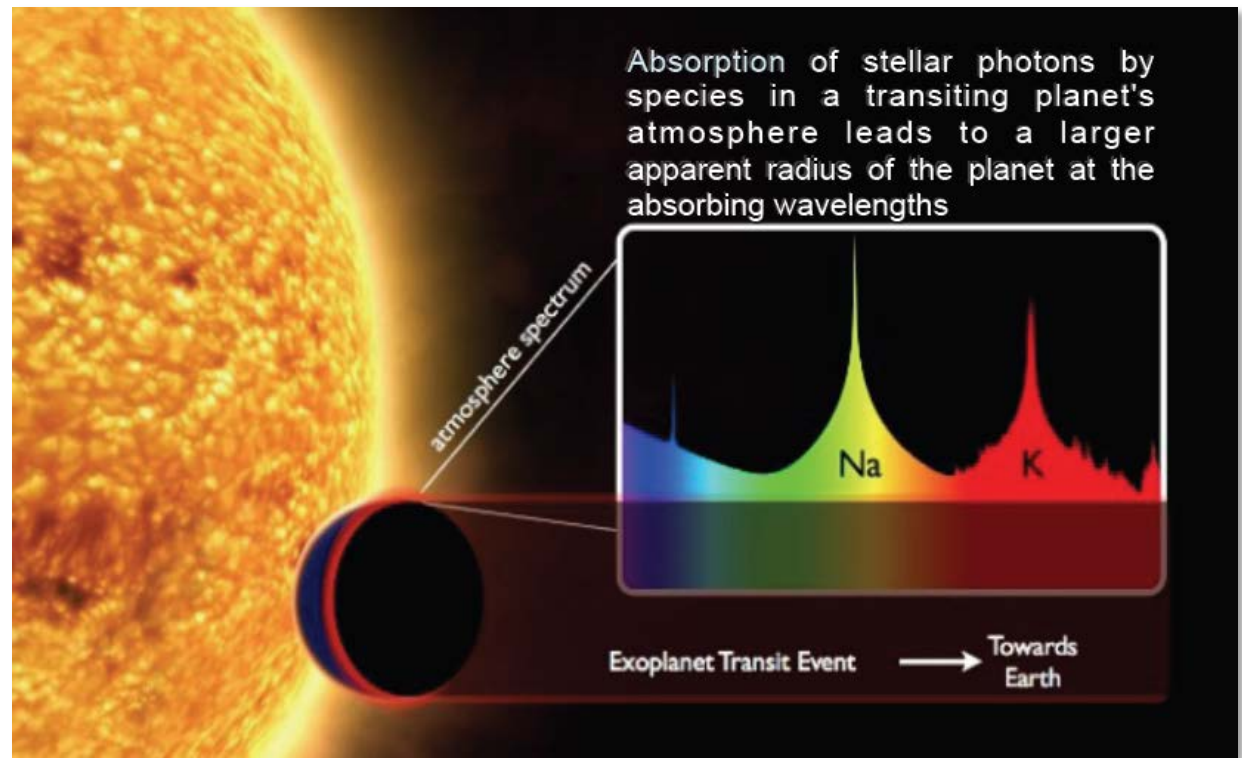
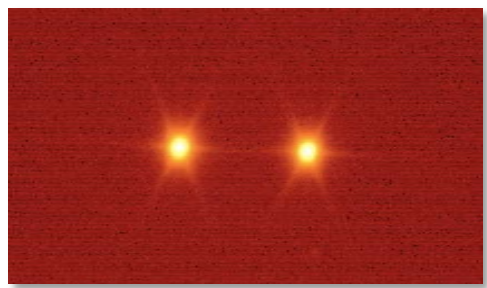


Fig. 3. XO-2b narrow-band GTC photometric results at four wavelengths (colored points) along with the z-band radius (black dot) of Fernandez et al. (2009). The X-axis error

双方积极推进天文合作



2015年，西班牙研发创新国务秘书 Carmen Vela Olmo 访问国家天文台



2016年，国家天文台与GTC在马德里签署合作协议



2019年，CHORUS概念设计方案通过国际评审

2015

2016

2017

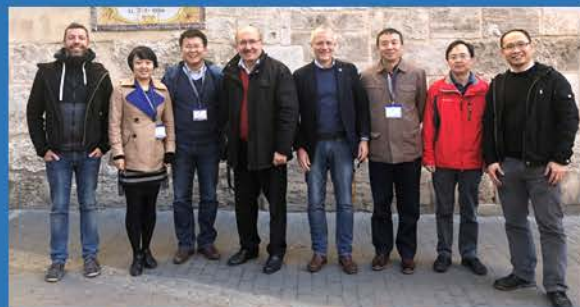
2018

2019

2020



2016年，IAC所长和GTC台长访问国家天文台、南京天光所

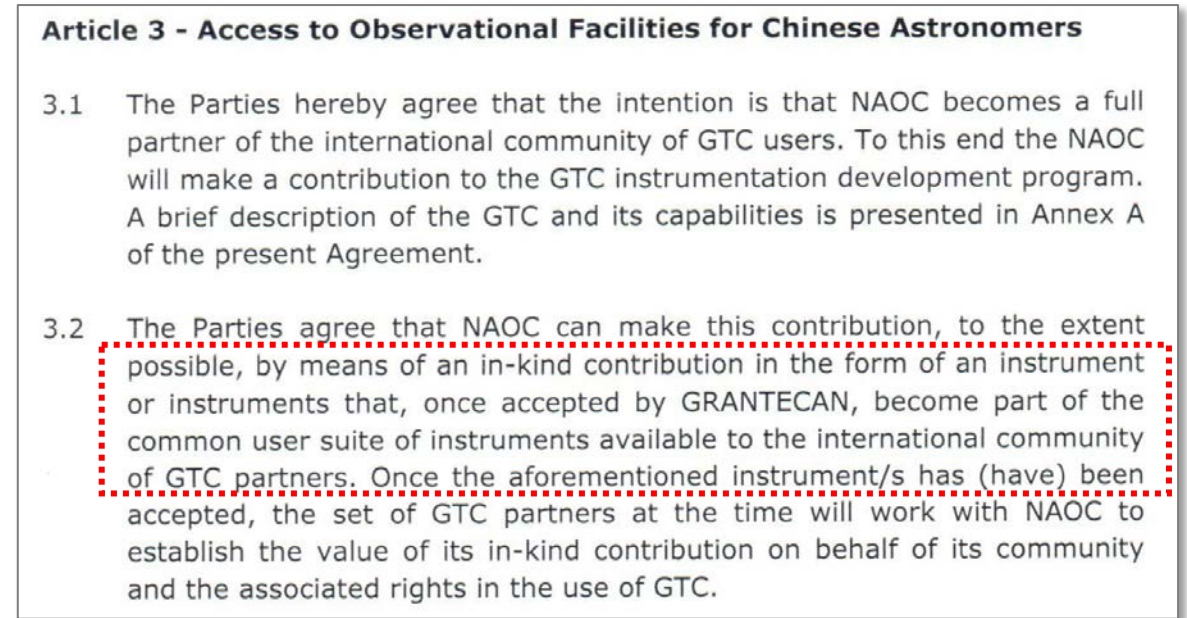
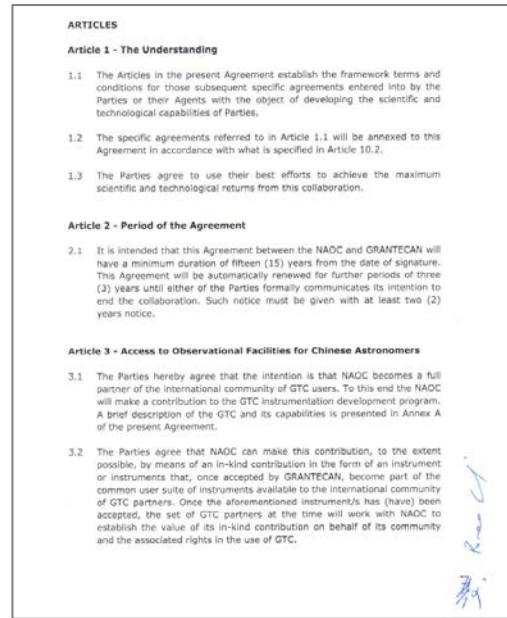
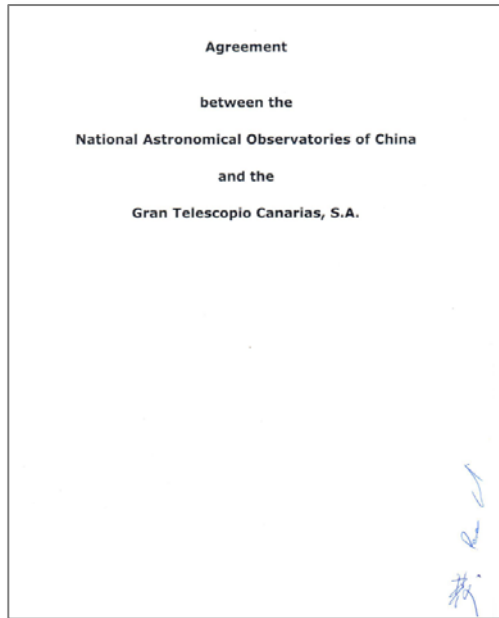


2018年，项目代表团参加GTC第六届科学论坛



2019年，第一届中西天文学术研讨会在北京召开

公平、共赢的双边合作协议（2016）



中方提供一台对方认可的科学终端仪器（高分辨率光谱仪CHORUS），以实物贡献方式加入GTC国际合作团队，获得与仪器等价的望远镜股份。

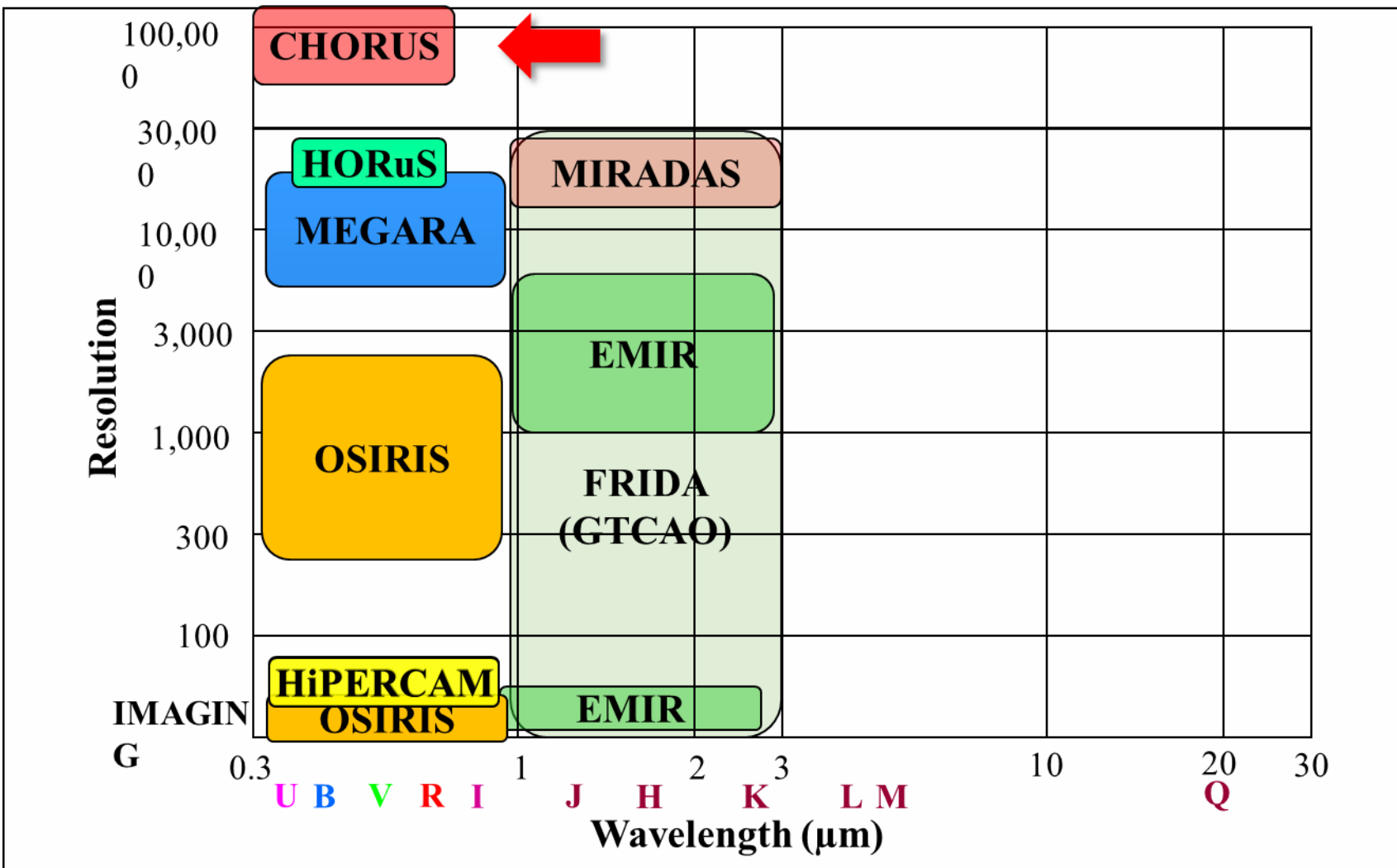
- 交付前，中方优惠购买GTC保障性观测时间（2017年起实施）
- 交付后，西方补齐GTC在高分辨率光谱领域的短板，中方获得部分的GTC保障性观测时间，使用GTC装备的所有科学终端仪器开展观测研究



中西双方的合作共识：CHORUS



填补 GTC 在高分辨率光谱精测方面的能力空白，推进太阳系外行星科学研究。

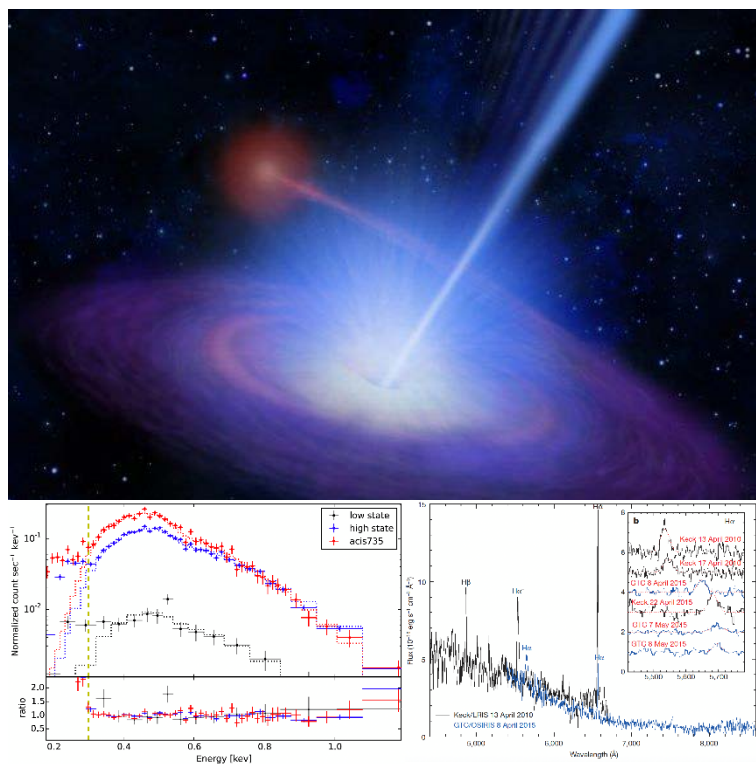




与 GTC 的科学合作成果

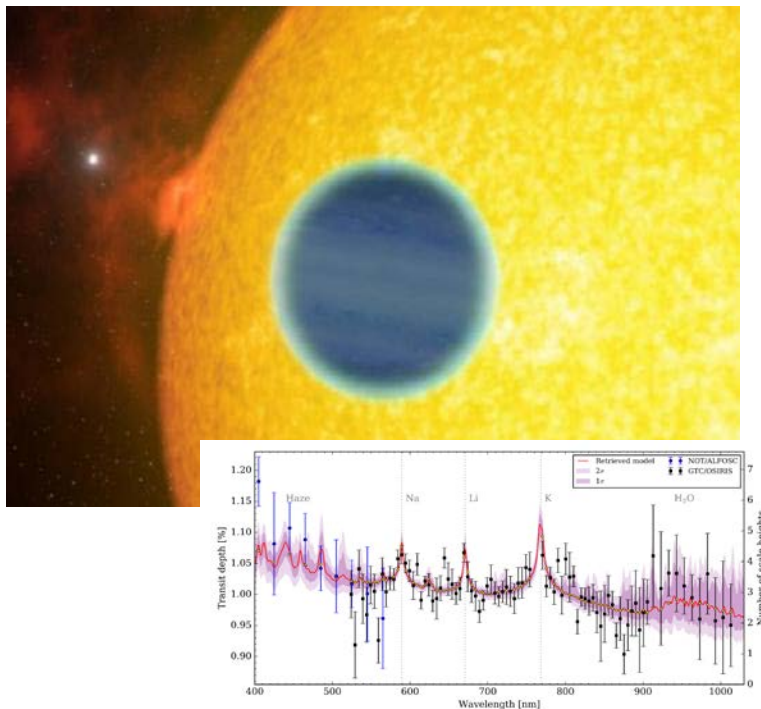


- 已观测 121.2 小时（6.5 年 - 18.6 小时/年），用户来自国内多家科研院所与高校。
- 25 篇一作（一篇文章/5小时，超出GTC平均水平一倍）。



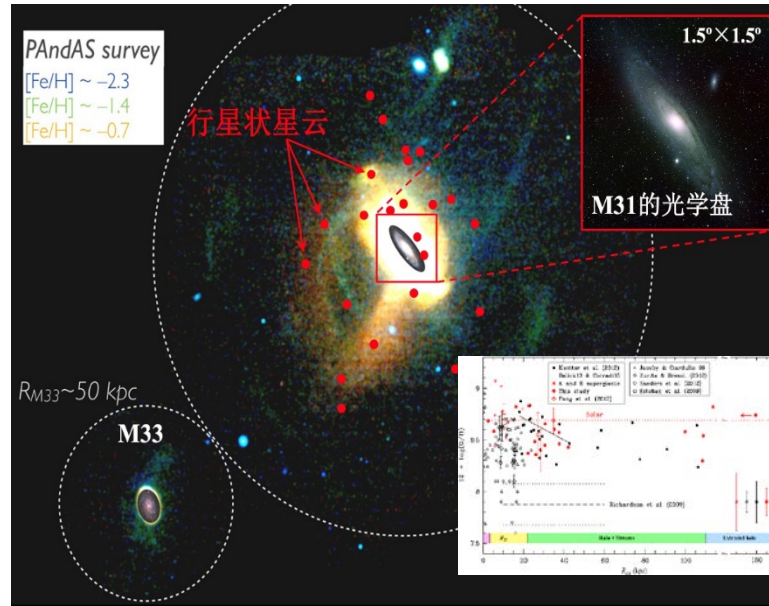
首次在黑洞超软谱态下发现相对论性喷流

Liu et al. 2015, Nature, 528, 108



在超级海王星WASP-127b发现高浓度的碱金属，包括钠、钾和锂，以及疑似水的迹象。

Chen et al. 2018, A&A, 616, 145



发现仙女座星系M31外晕中行星状星云的富金属特征，证实M31并合演化过程

Fang et al. 2015, ApJ, 815, 69

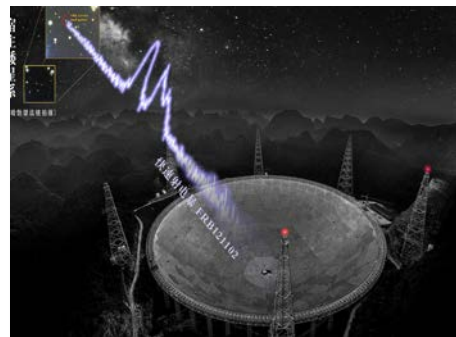
Fang et al. 2018, ApJ, 853, 50



预期的深度合作



LAMOST



FAST



中国空间站巡天望远镜CSST



爱因斯坦探针 EP



空间变源监视器 SVOM

利用GTC望远镜的各种终端仪器，为我国天文大科学装置（LAMOST / FAST 等）和空间项目（中国空间站巡天望远镜CSST / 爱因斯坦探针卫星 EP / 空间变源监视器卫星SVOM等），开展后随光学精测，产出更多亮点成果。

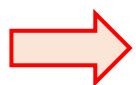
CHORUS



CONTENTS

CHORUS 项目

千百年的终极问题



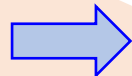
天文学正在**分步解答**这个问题

人类是否孤独？
赖以生存的地球是否
独一无二？

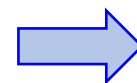


屈原《天问》

①其它恒星是否
存在行星系统？



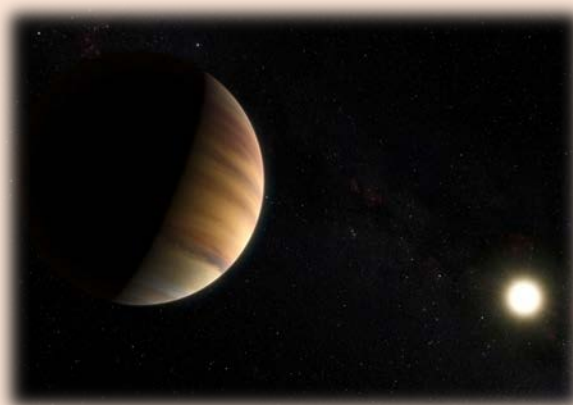
②有否系外行星
适宜生命存在？



③这些系外行星
有否生命信号？



ELODIE
1.93米望远镜
15m/s 精度



飞马座51b



M. Mayor D. Queloz



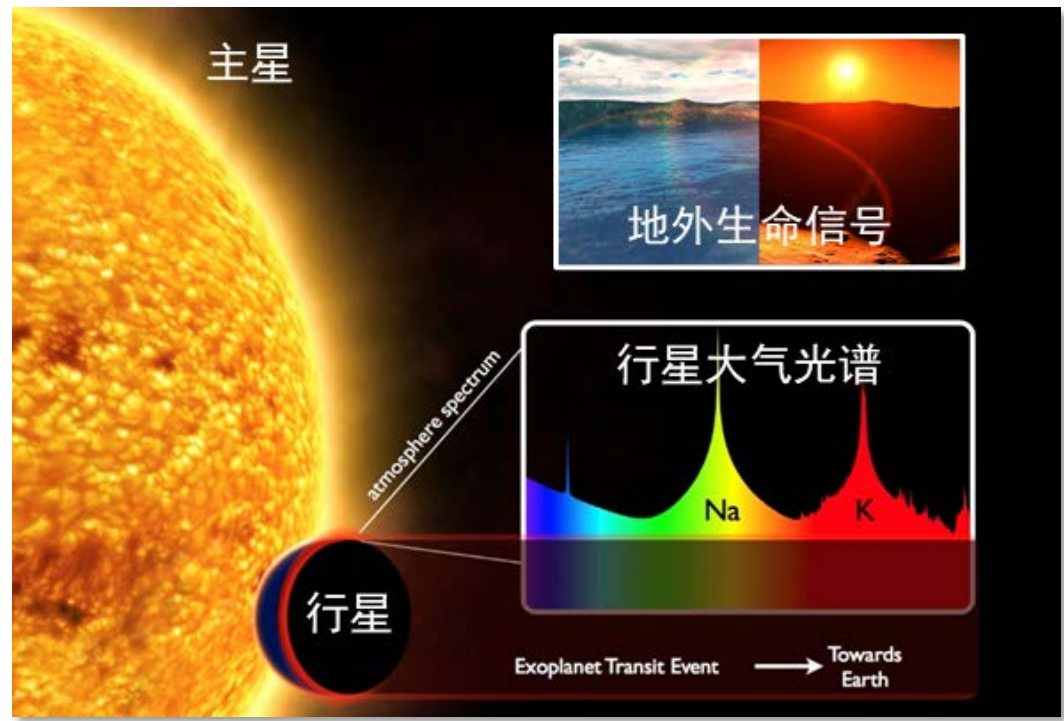
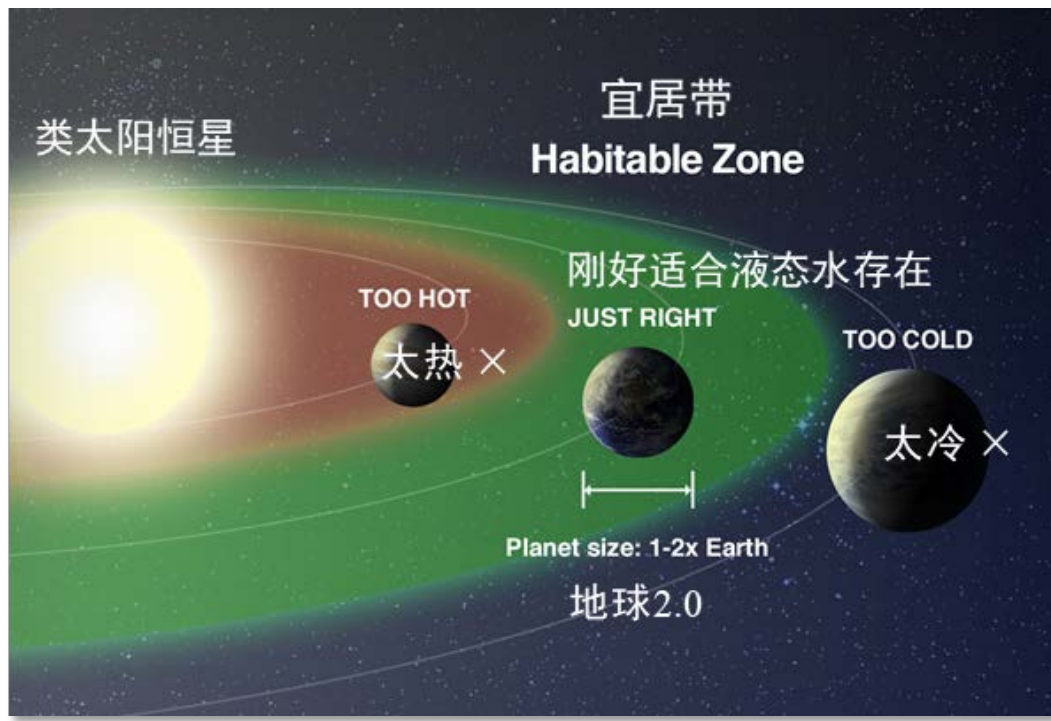
2019诺贝尔物理奖：
视向速度法探测到的首颗太阳系外行星



宜居行星与地外生命：系外行星研究的未来任务

寻找宜居行星，乃至地球2.0

细致研究行星大气，探测地外生命信号

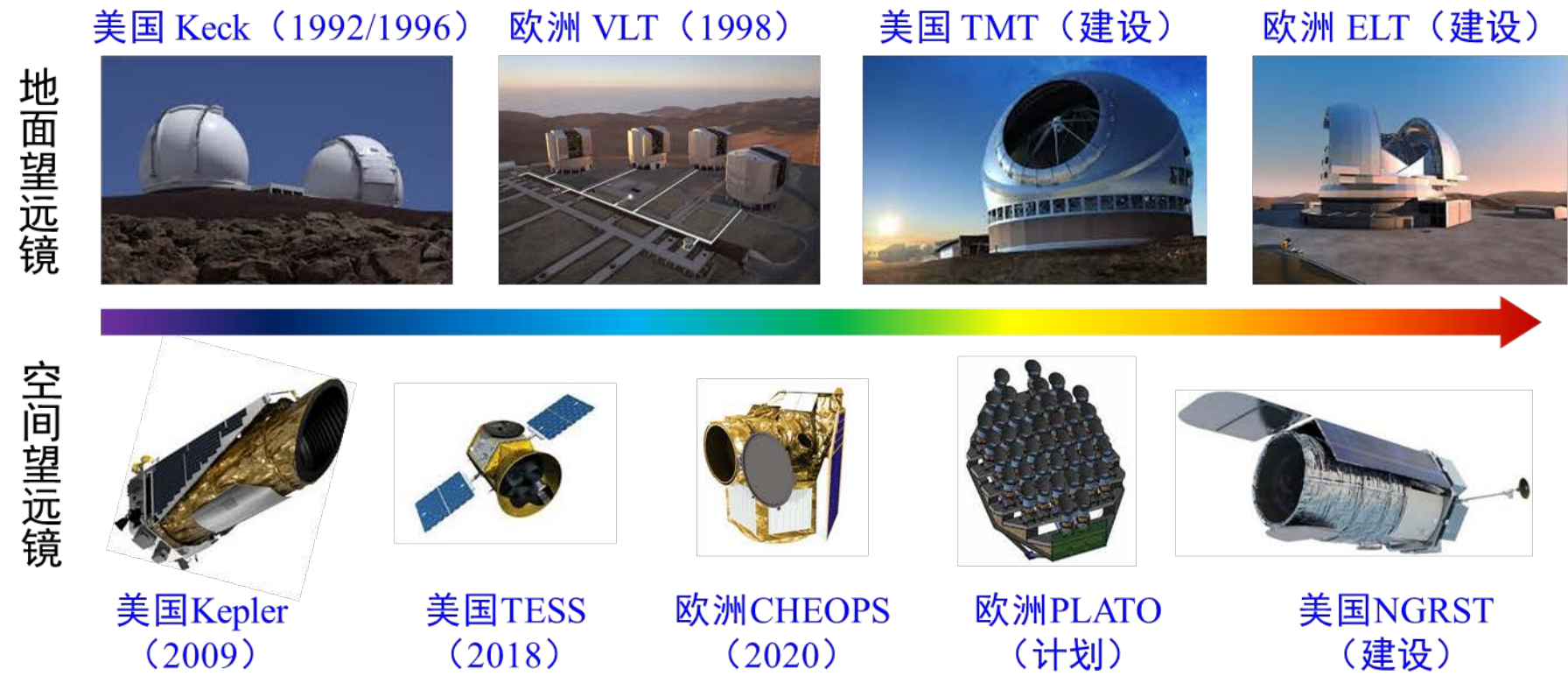




欧美制定了宏大的系外行星科学规划



- 美国国家科学院《天文学与天体物理学十年调查2020》（Astro 2020）
- 美国宇航局《NASA 科学规划2014》（NASA Strategic Plan 2014）
- 欧洲《航程2050》（Voyage 2050）





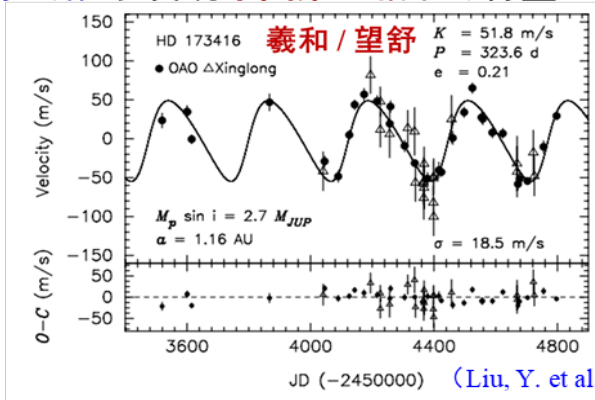
中国在系外行星领域应有一席之地



国家自然科学基金“十四五”发展规划将“太阳系外行星的探测与性质等方向的研究”列入天文学科发展战略，“银河系、恒星、太阳及行星系统的多信使探测及研究”列为优先发展领域。

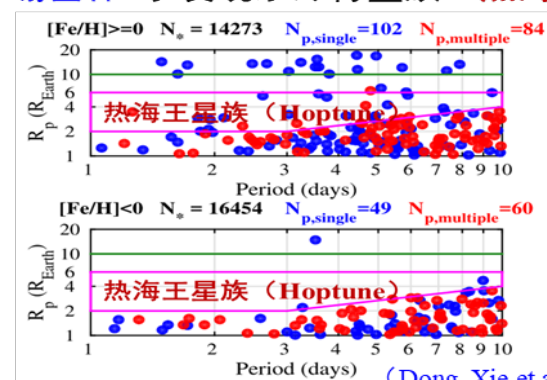
大批青年学者已取得显著成果，越来越多海外青年加入其中。

刘玉娟等发现中国第一颗系外行星 (2009)



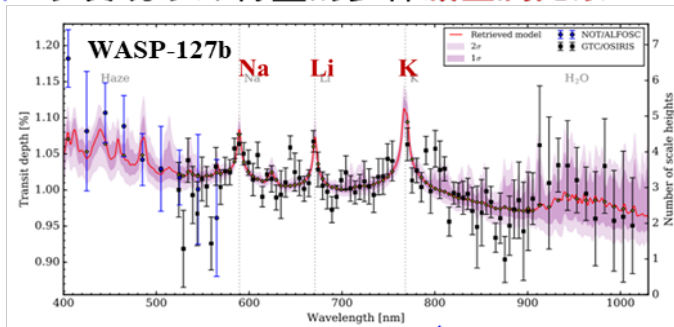
(Liu, Y. et al., 2009, RAA)

东苏勃、谢基伟等发现系外行星族“热海王星” (2019)



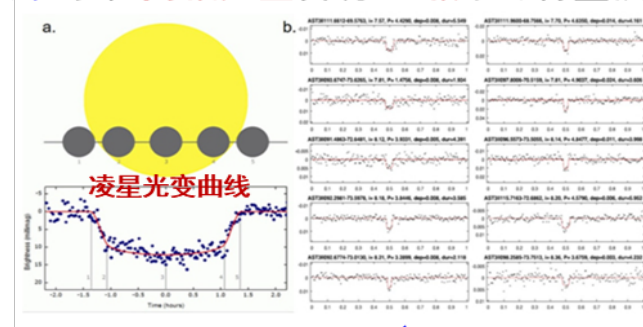
(Dong, Xie et al., 2019, ApJS)

陈果等发现系外行星的多种碱金属元素 (2018)



(Chen, G. et al., 2018, A & A)

张辉等在南极天区发现116颗系外行星候选体 (2019)



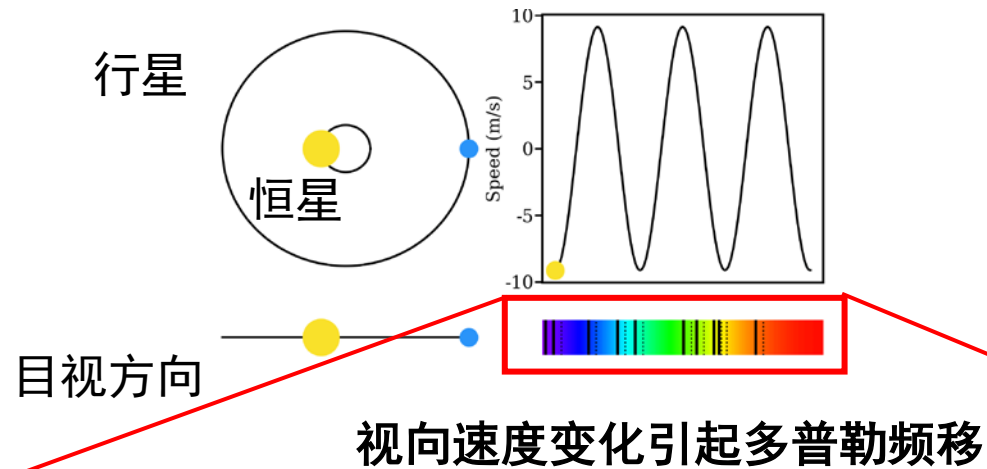
(Zhang, H. et al., 2019, ApJS)




宜居系外行星探测极为困难



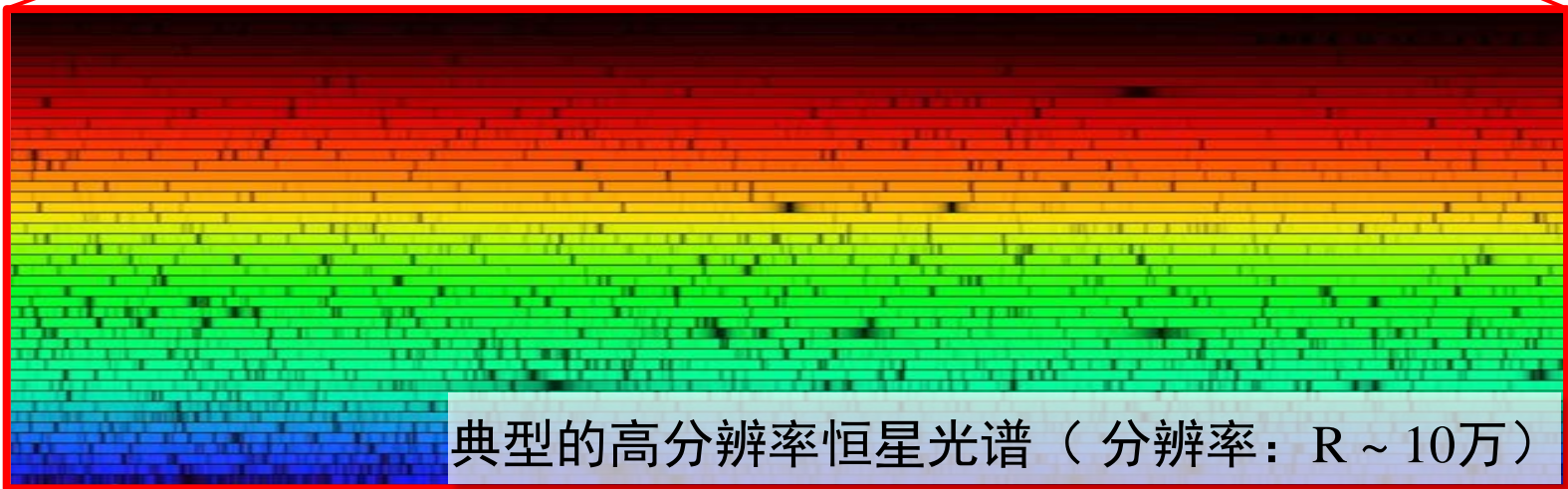
地球2.0：0.5-2倍地球质量，0.8-1.25倍地球半径，处于宜居带内。



行星引起的恒星速度变化太小！

 地球引起太阳速度变化仅 ~ 0.1 米/秒

相当于谱线在探测器上偏移万分之一一个像素

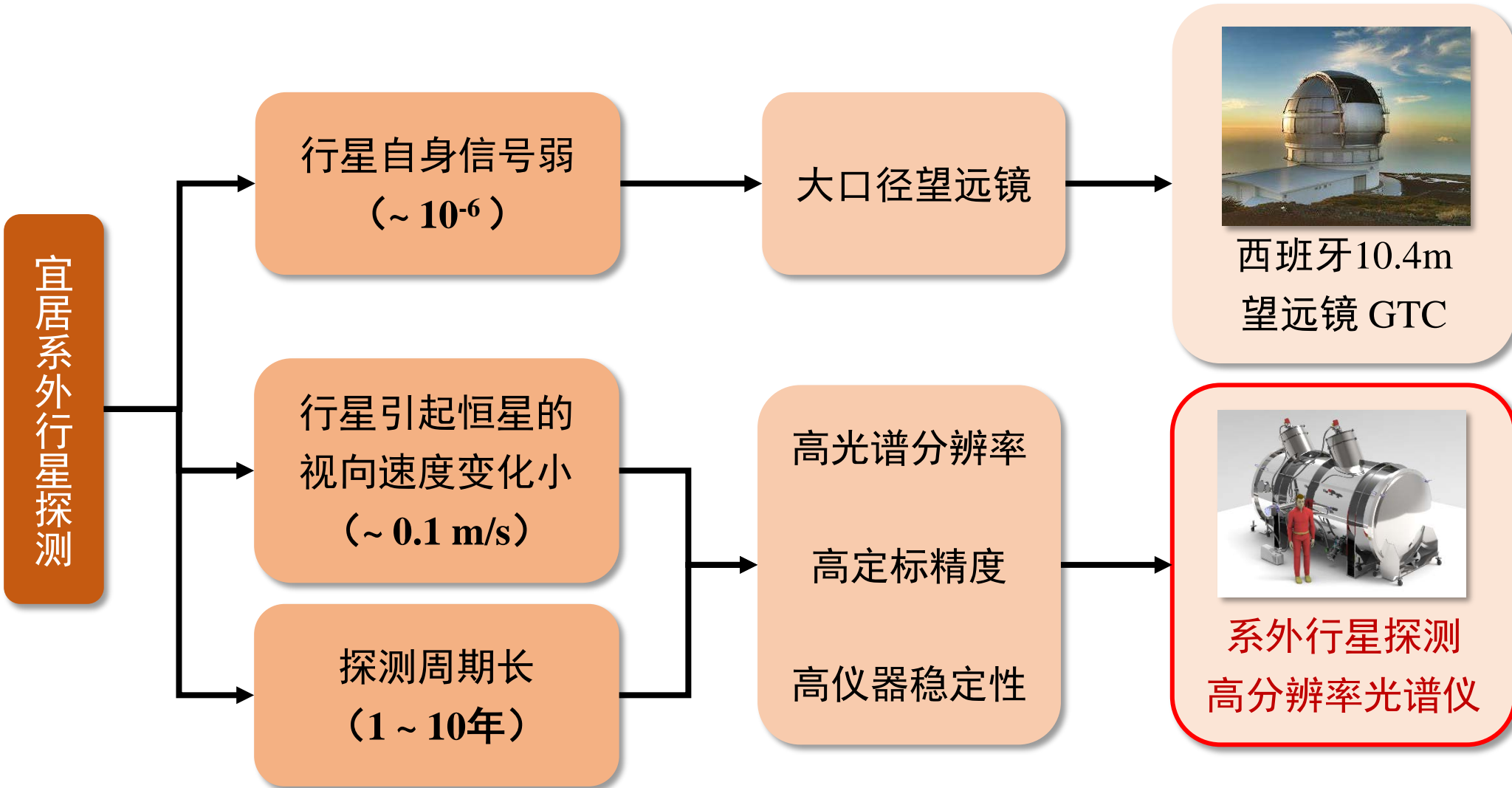




需要大口径望远镜 + 高分辨率光谱仪



地球2.0: 0.5-2倍地球质量, 0.8-1.25倍地球半径, 处于宜居带内。





CHORUS 仪器技术指标

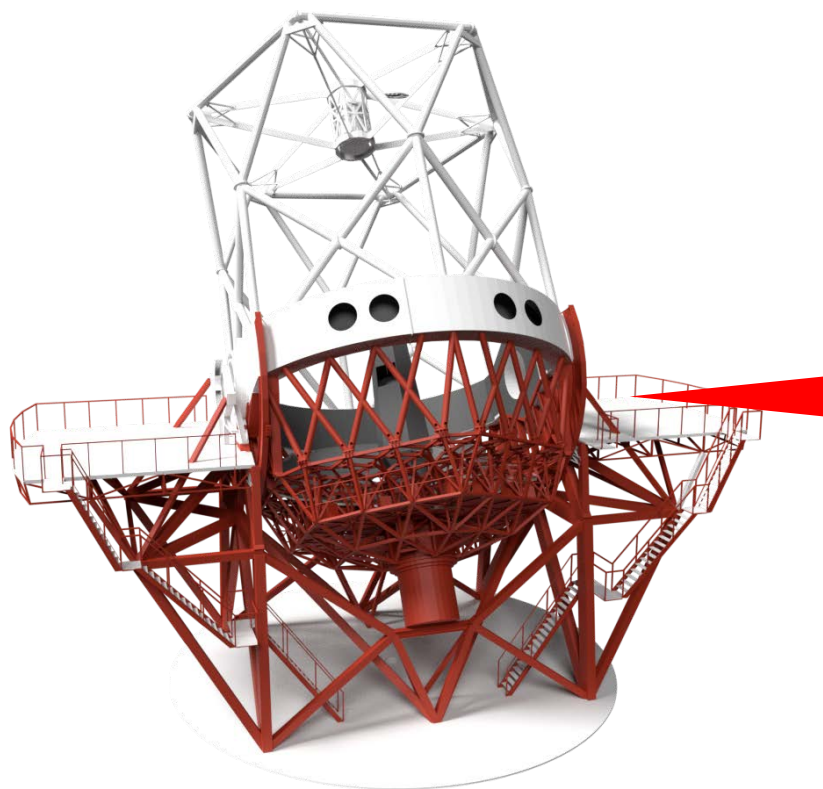


双波段组合的高分辨率光谱仪：可见光波段 $R \geq 100000$ ，紫外波段 $R \geq 25000$ ，具有高精度视向速度测量兼顾广泛科学研究的技术特点。

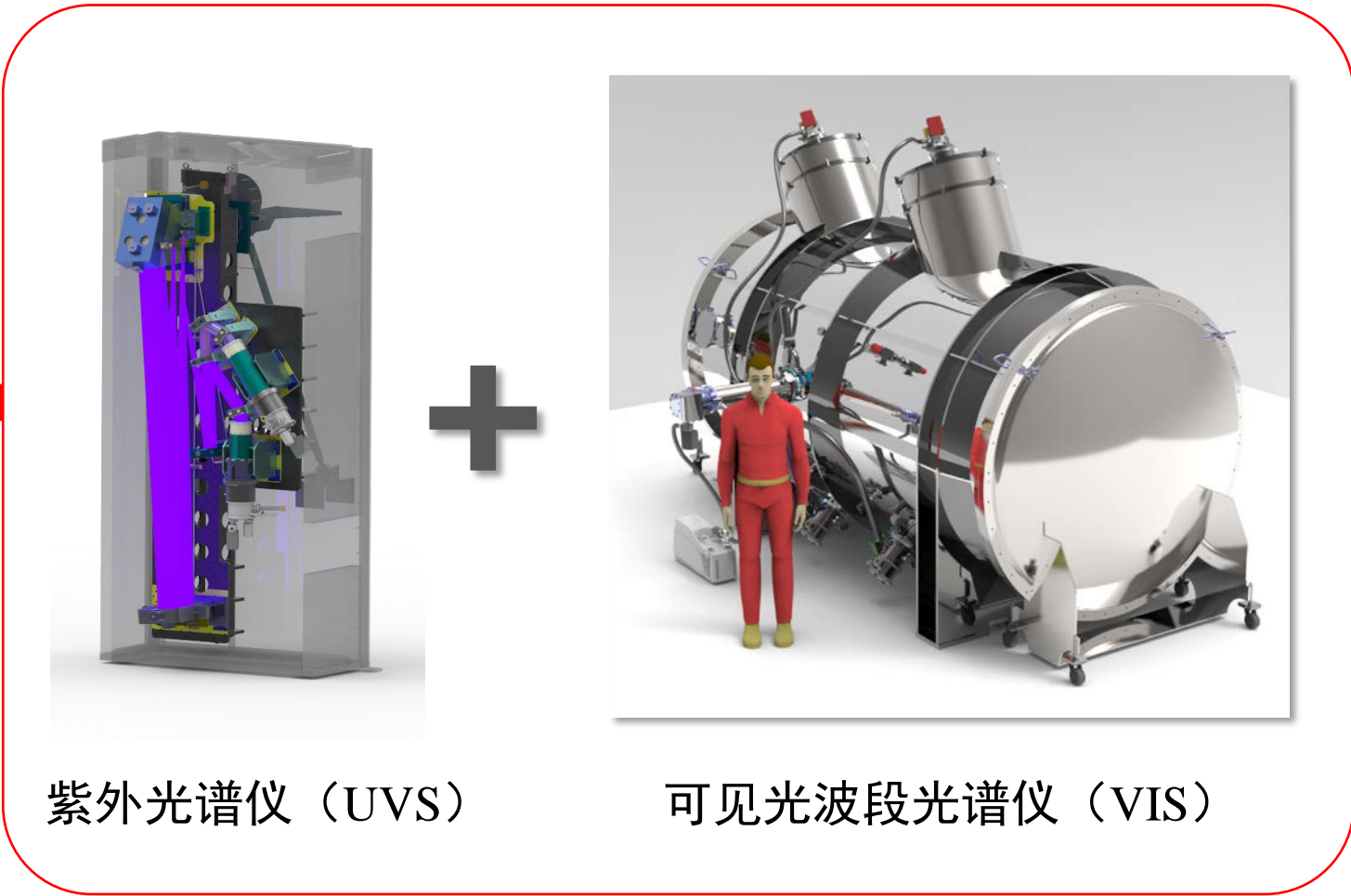
参数	紫外光谱仪 (UVS)	可见光光谱仪 (VIS)
安装位置	望远镜耐焦平台下方	库德房
功能	传统光谱观测, 精确视向速度测量中通过Ca II H & K线监测恒星活动	精确视向速度测量, 传统光谱观测
Sky aperture	1.2" or 1.5" (光学或光纤连接)	1.2" (光纤连接)
波长覆盖	310 – 420 nm	410 – 780 nm
光谱分辨率	$R \geq 25000$	$R \geq 100000$
环境稳定性	非主动热控	真空仓 & 热控 超高温稳定性 RMS $\pm 0.001^\circ\text{C}/\text{night}$
定标	天光扣减	ThAr/LFC/FPU同步定标
仪器RV精度	—	$\leq 0.1 \text{ m/s}$ (LFC定标源)



CHORUS 紫外、可见光光谱仪



GTC望远镜



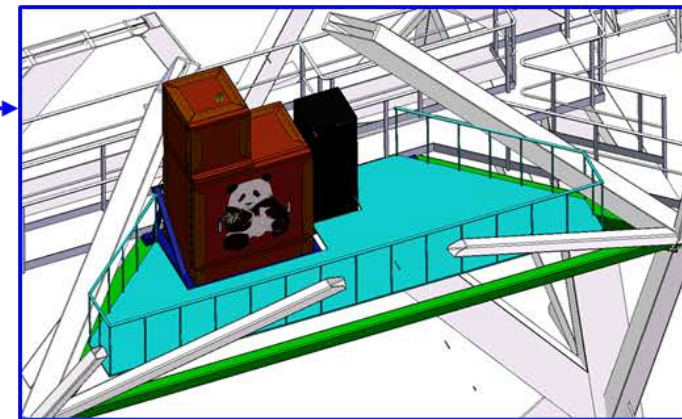
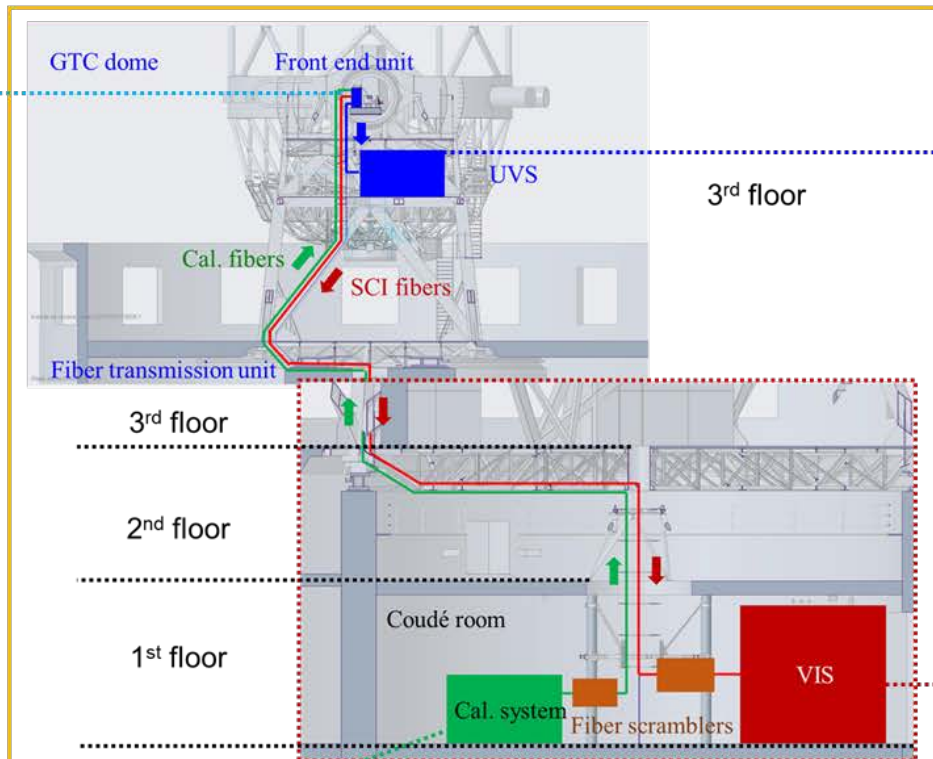
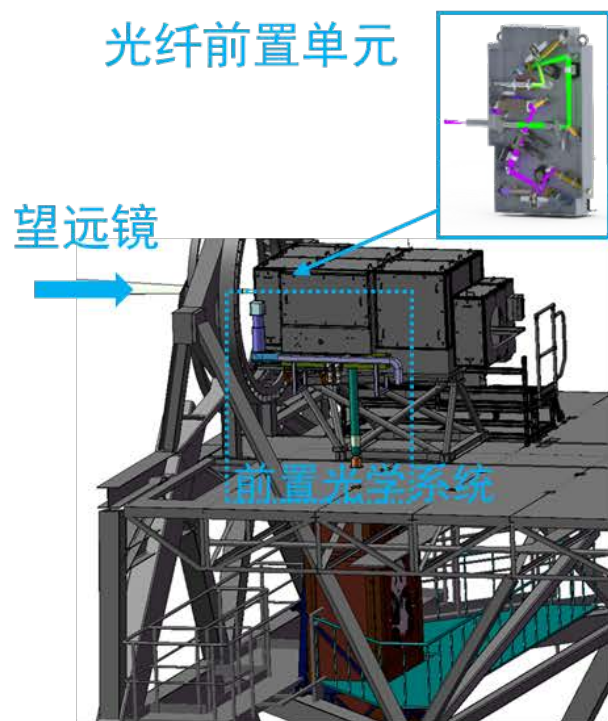
紫外光谱仪 (UVS)

可见光波段光谱仪 (VIS)



仪器组成与布局

GTC望远镜及圆顶内部结构

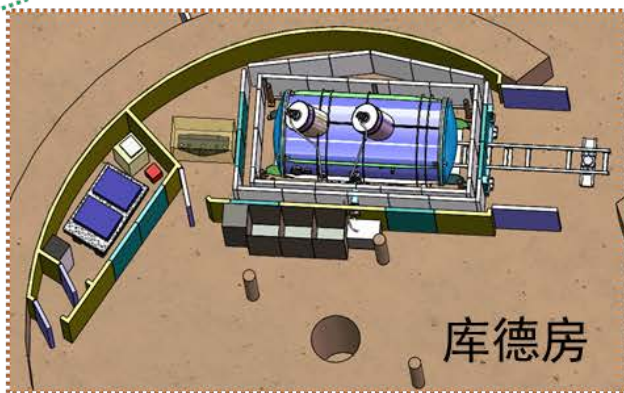


紫外光谱仪安装在耐焦平台

可见光光纤连接单元与紫外前置光学系统

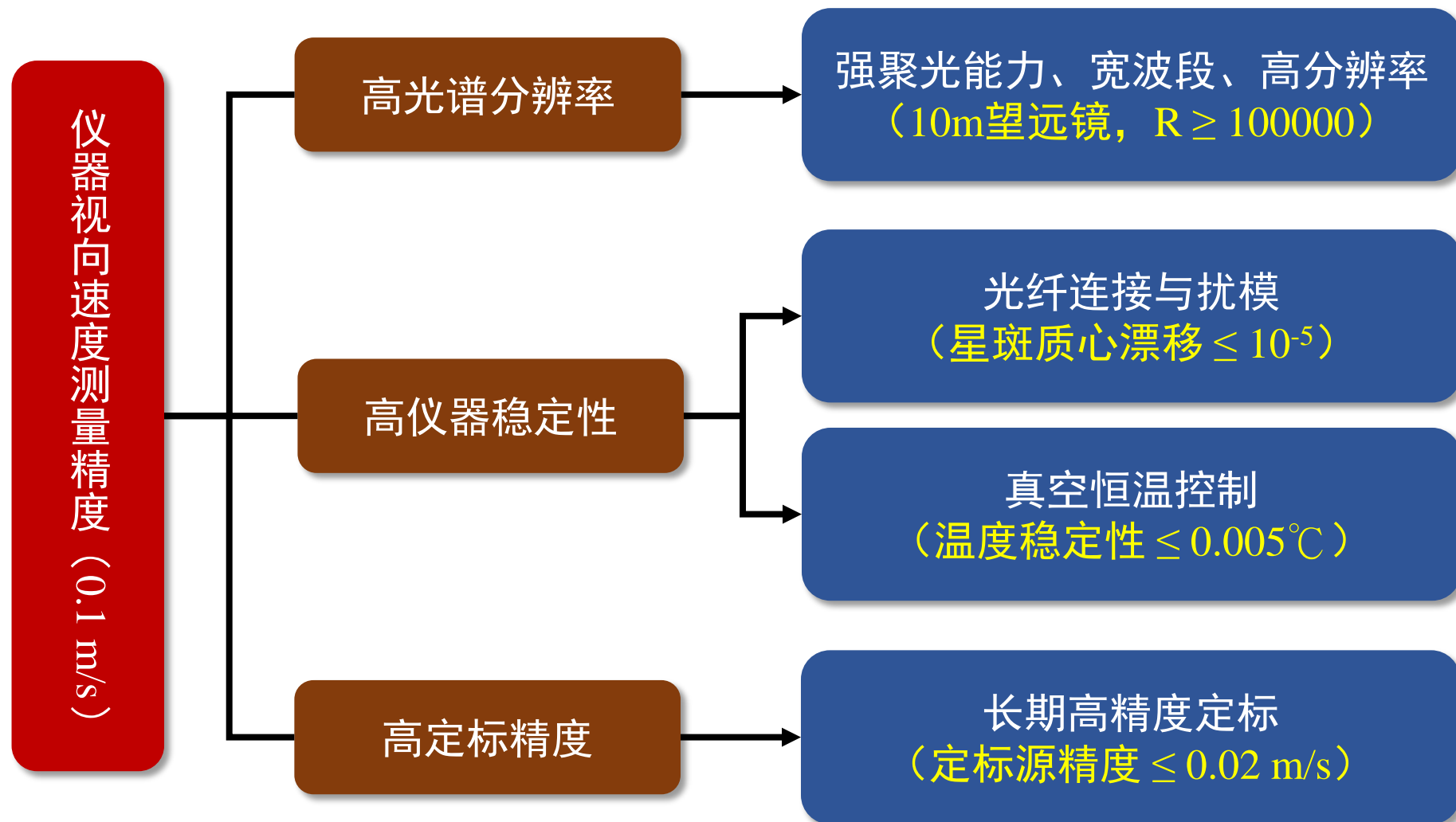


可见光定标系统系统 (LFC, FPU, ThAr)



可见光谱仪安装在库德房

极端的精度要求意味着极端的技术挑战





CHORUS 技术挑战



我们需要做到：

最大的拼接阶梯光栅

(拼接总长1.2米)



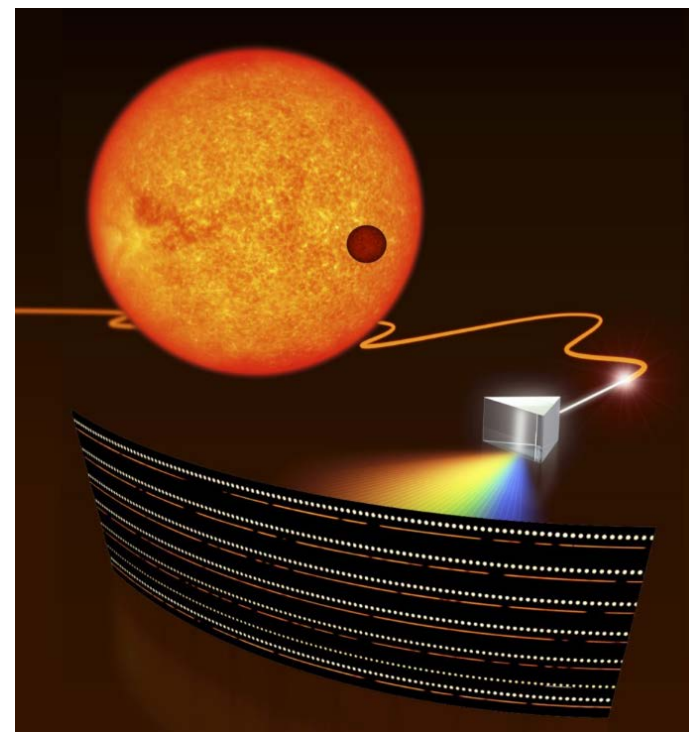
最稳定的真空恒温系统

(0.001°C/夜 RMS)



最高精度的定标系统

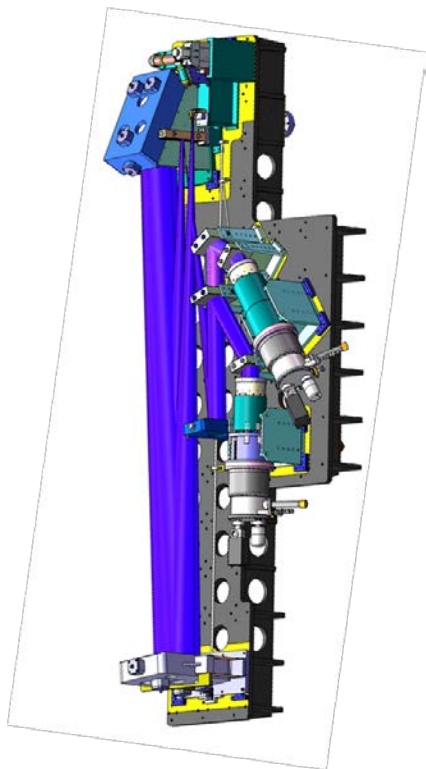
(激光频率梳、法珀定标源)



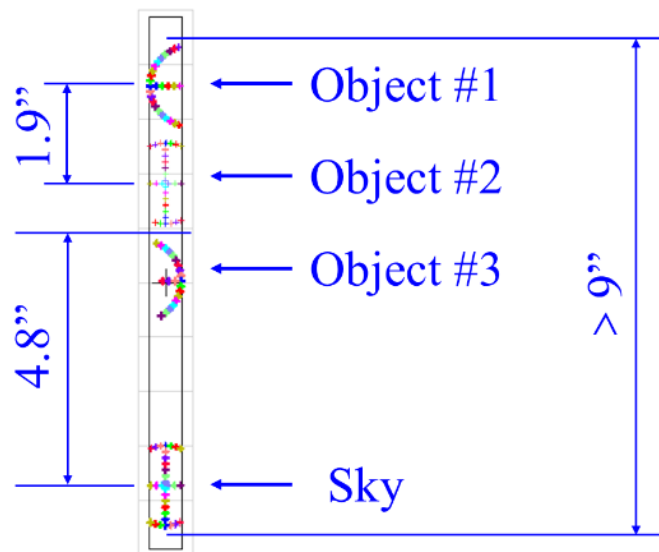
双通道观测方式：天光背景扣减；

三切分像切分器：光谱分辨率 $R \geq 25000$ ；

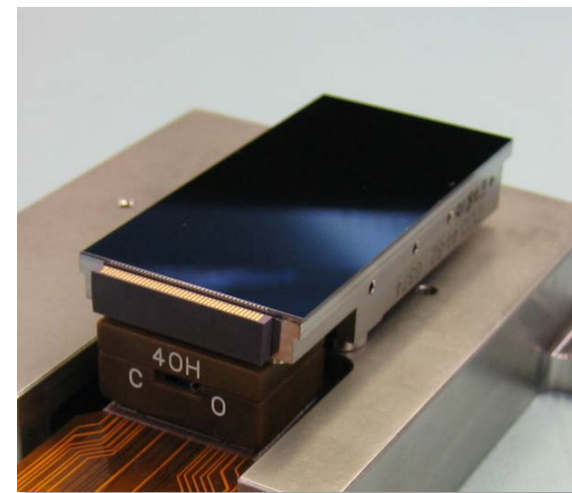
探测器： $2K \times 4K$ 像素CCD



光机设计方案



缝前像斑排列



$2K \times 4K$ 像素CCD芯片

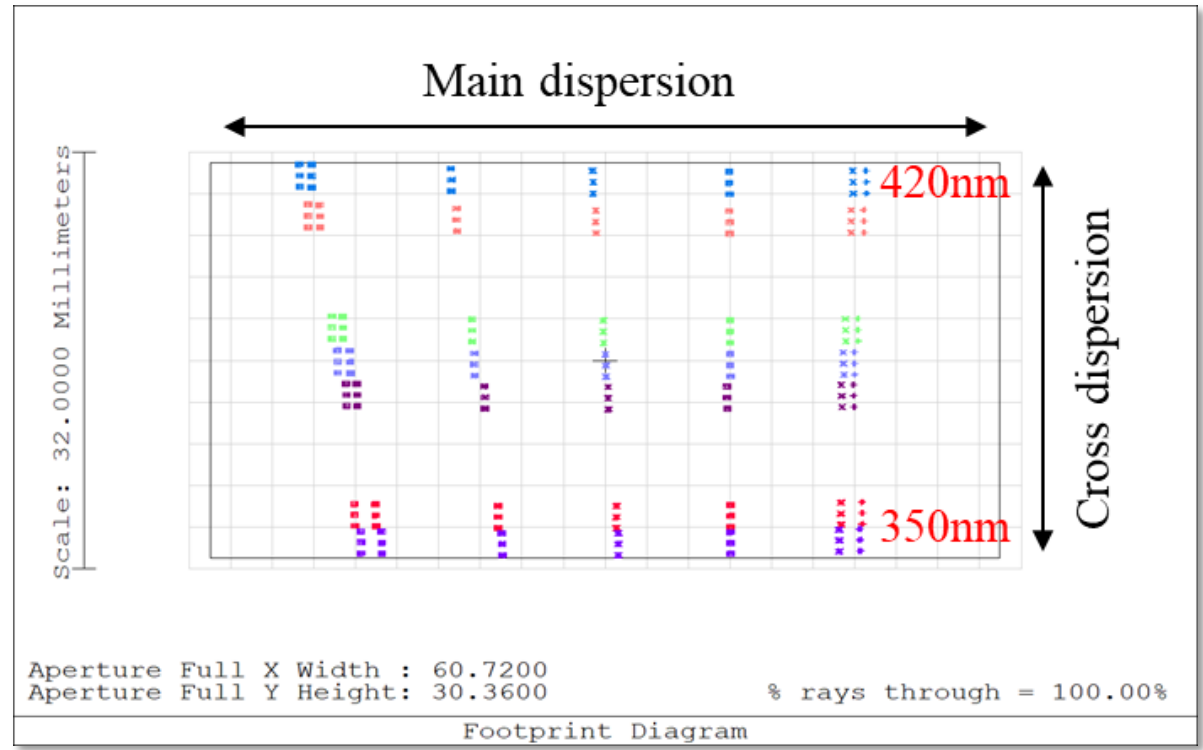
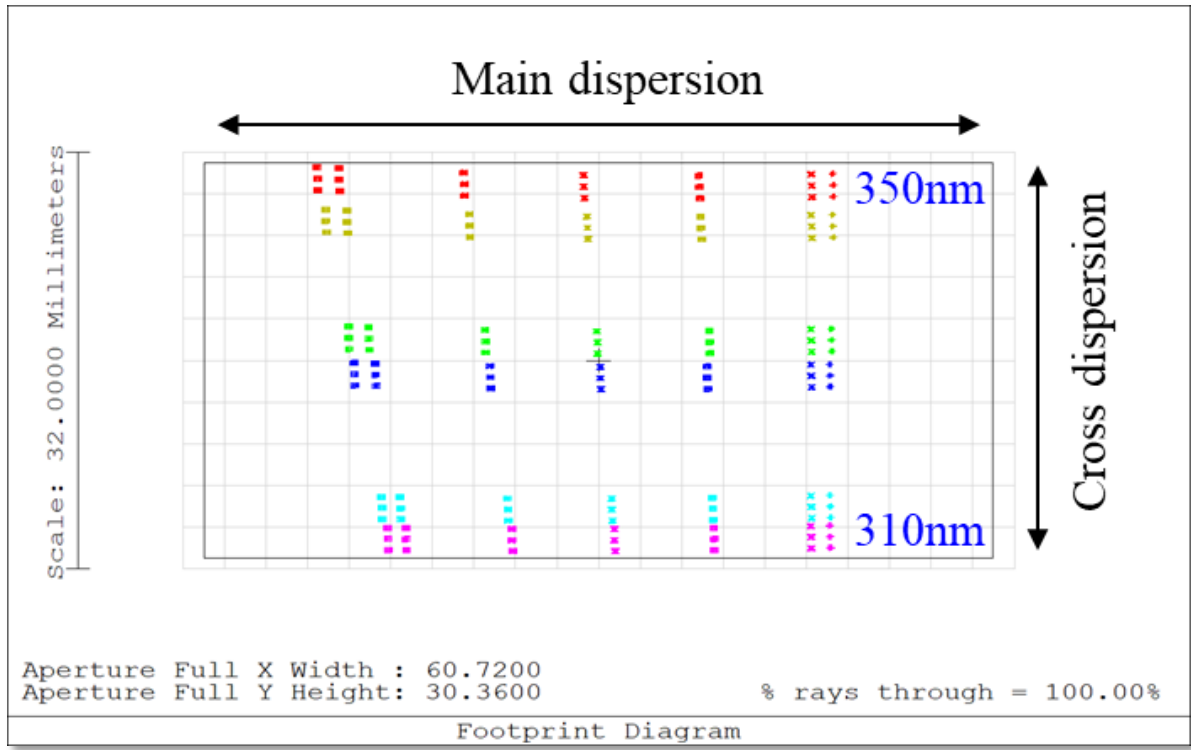


CHORUS 紫外光谱图像

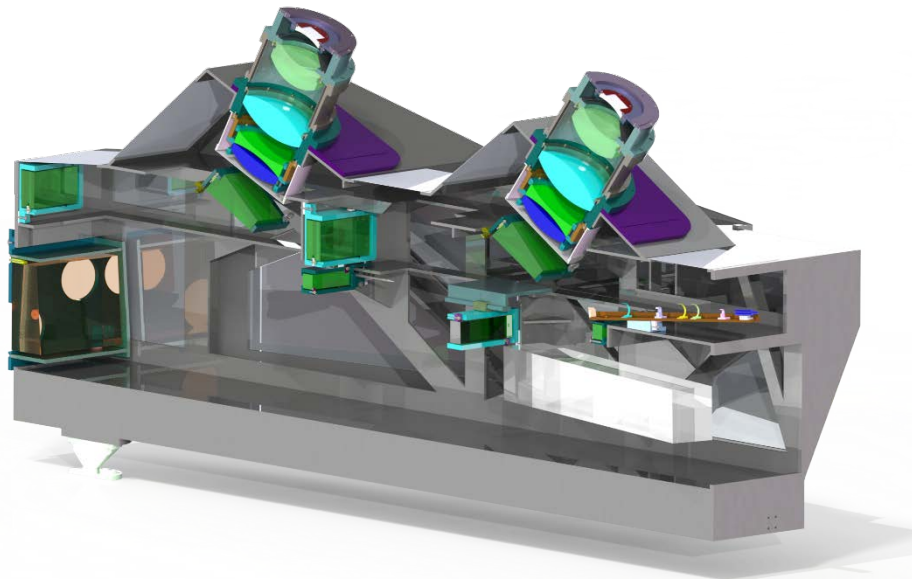


U通道: 2K×4K像素CCD

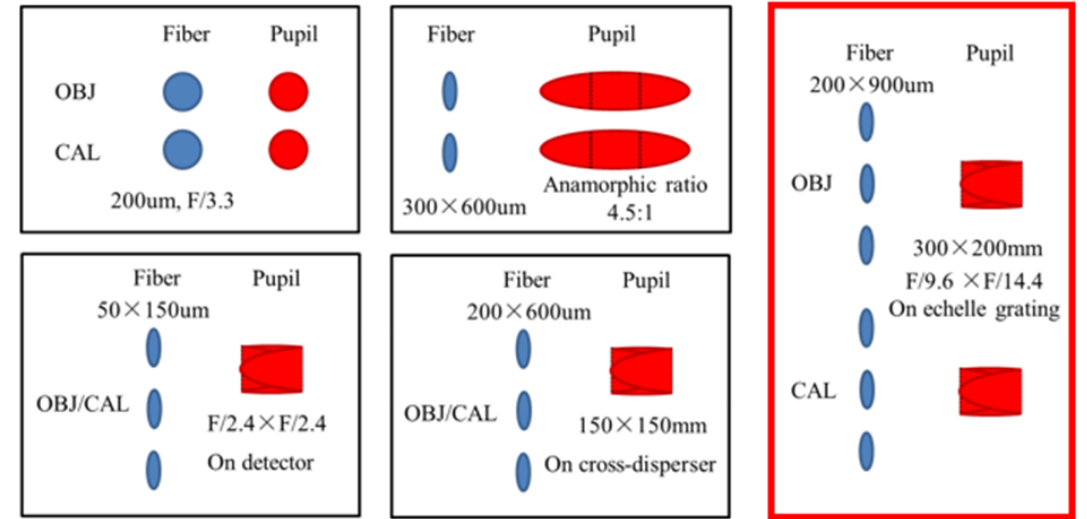
B通道: 2K×4K像素CCD



同步定标观测方式：监测仪器微量漂移；
三切分瞳切分器：光谱分辨率 $R \geq 100000$ ；
探测器：9K×9K像素CCD



光机设计方案



瞳切分方案



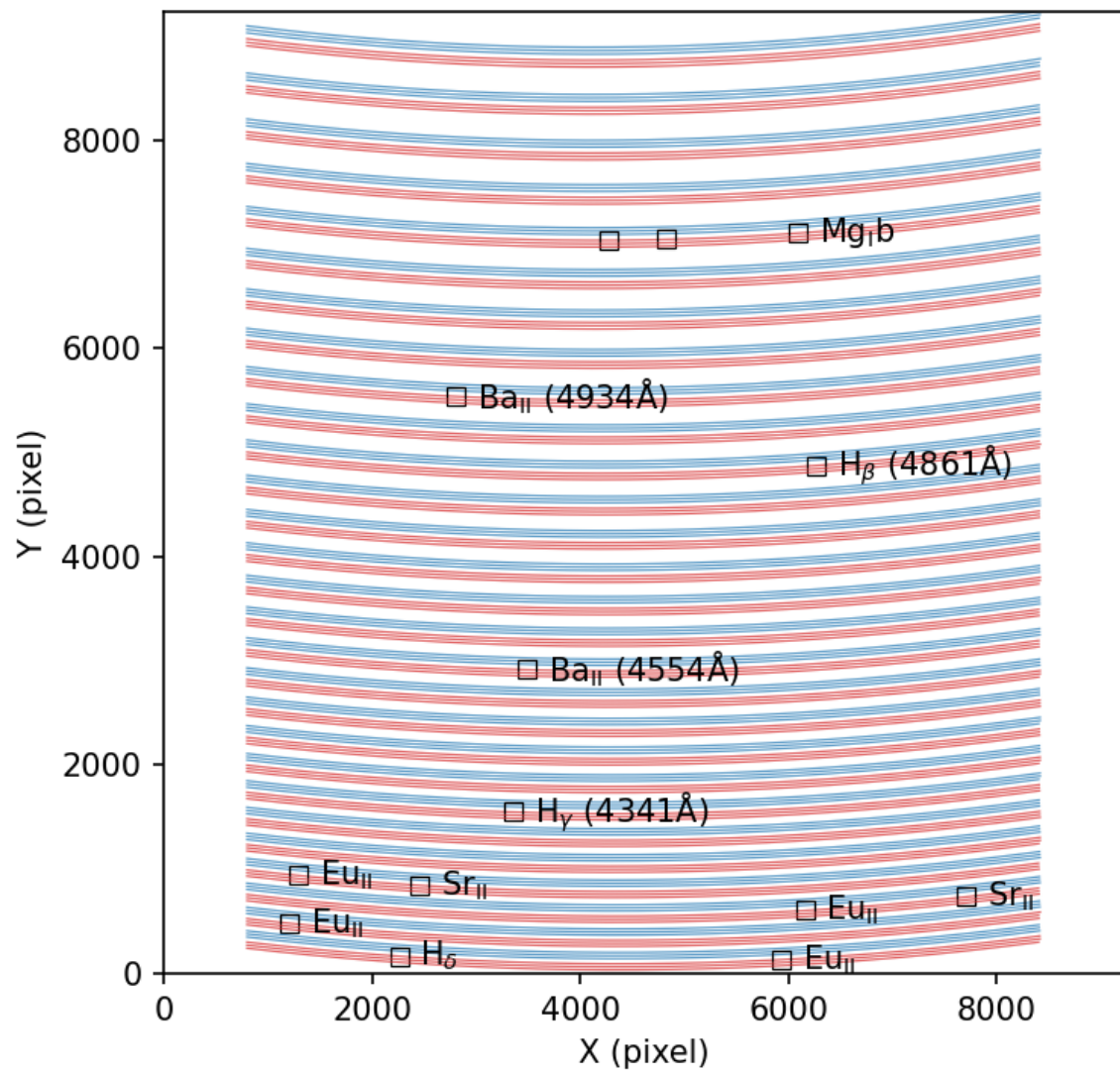
9K×9K像素CCD芯片



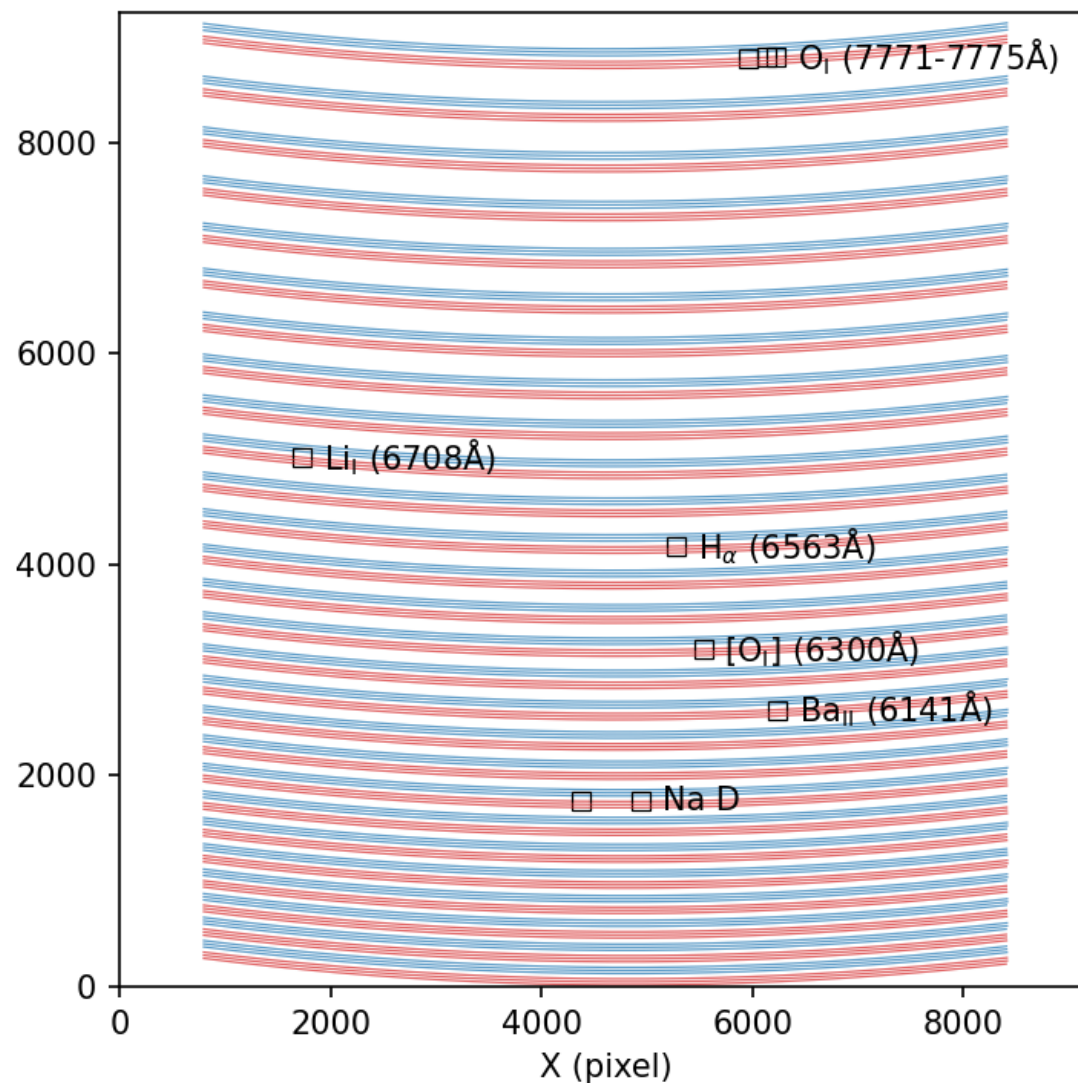
可见光的同步定标光谱



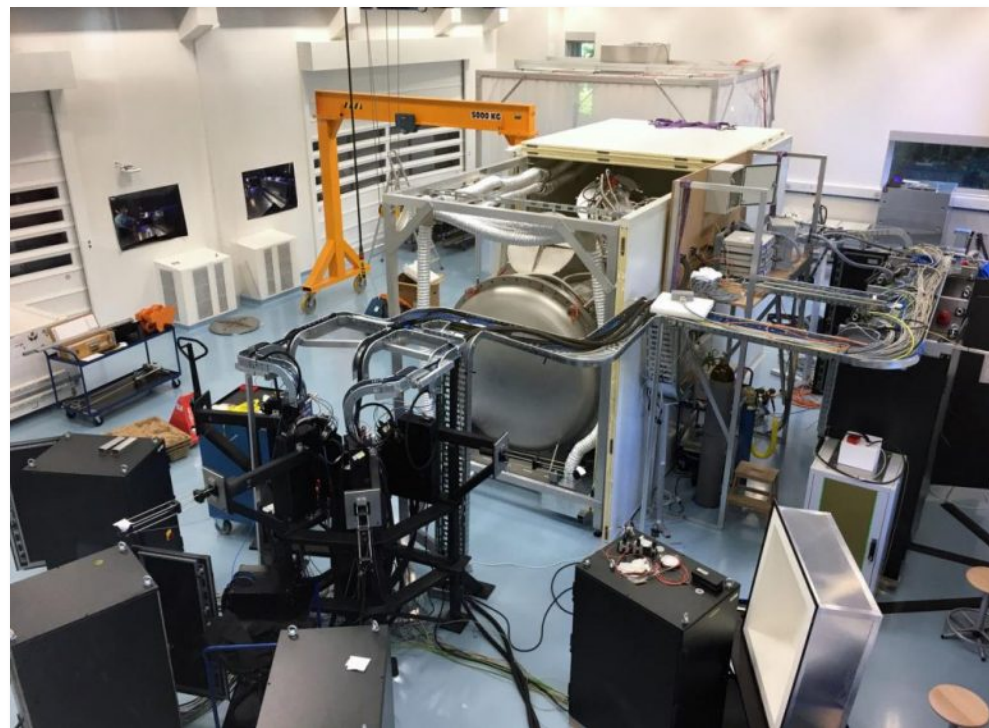
G通道: 9K×9K像素CCD



R通道: 9K×9K像素CCD

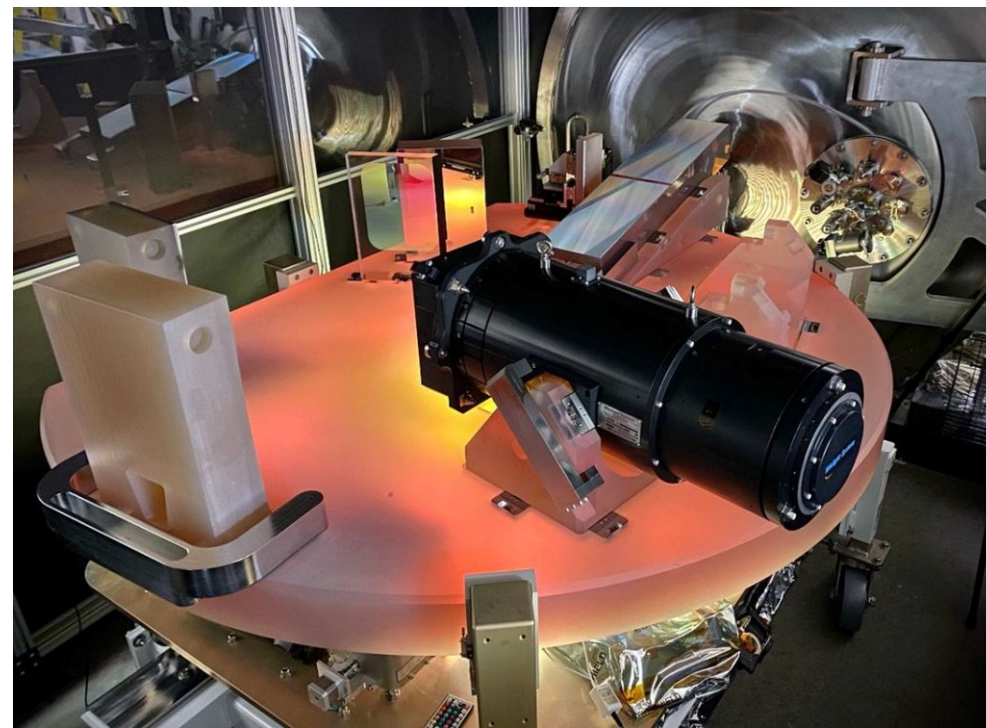


当今世界上最先进的两台高分辨率光谱仪 (RV精度 ~ 0.3 m/s)



高分辨率光谱仪 ESPRESSO (2019)

欧洲南方天文台 8.2m 望远镜 VLT

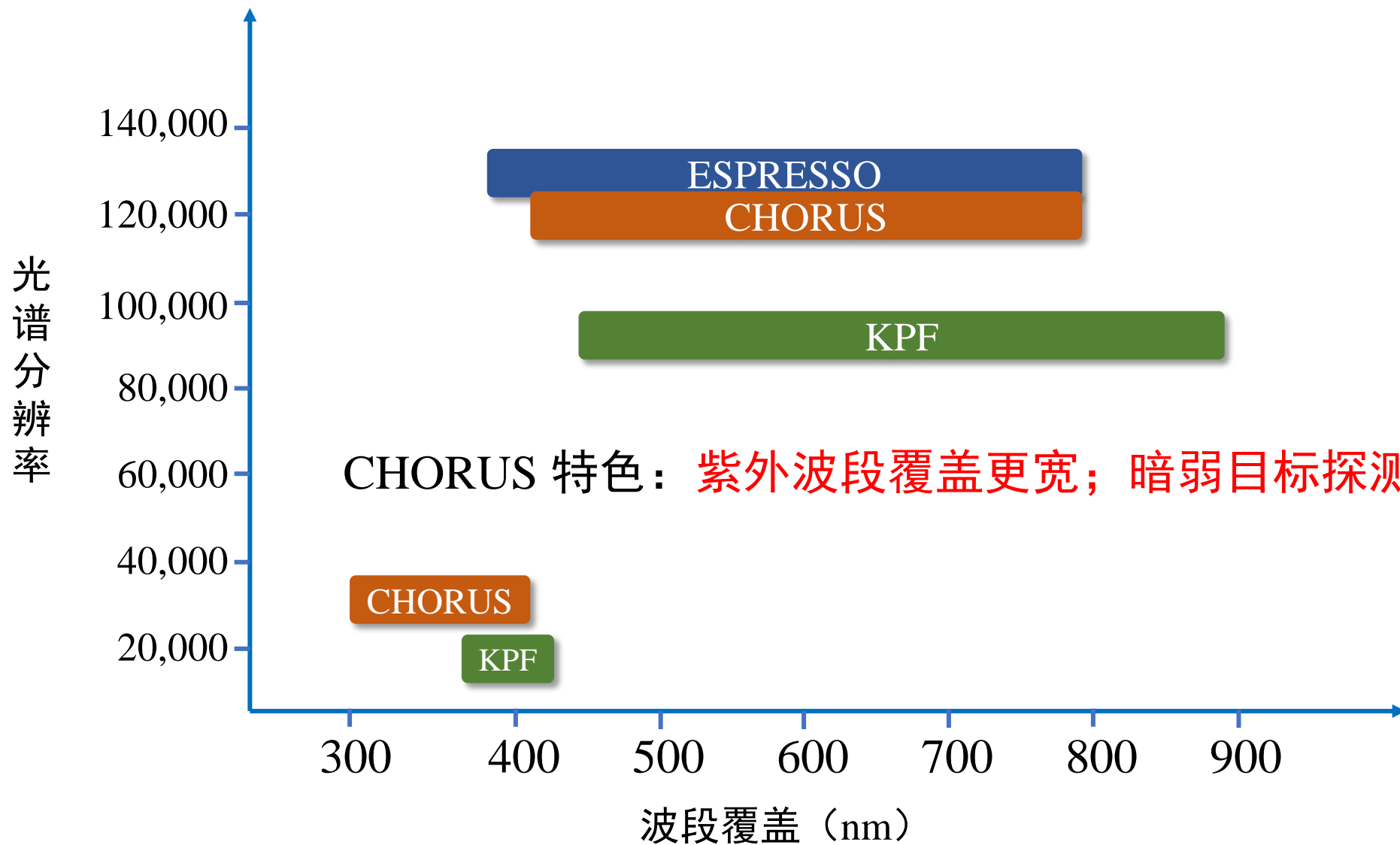


高分辨率光谱仪 KPF (2023)

美国 10m 望远镜 Keck

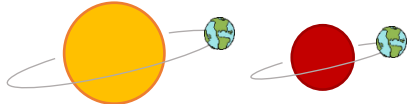

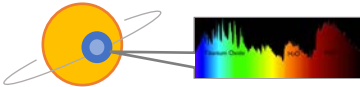


CHORUS 研发目标

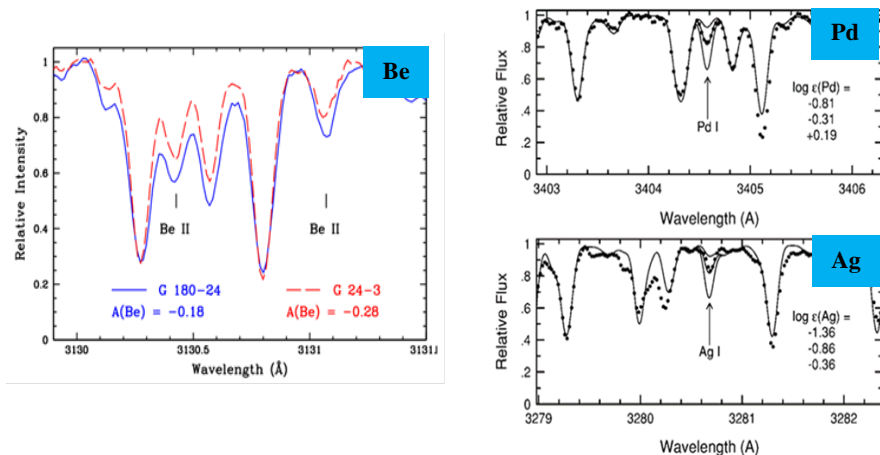


CHORUS 特色：紫外波段覆盖更宽；暗弱目标探测能力更强

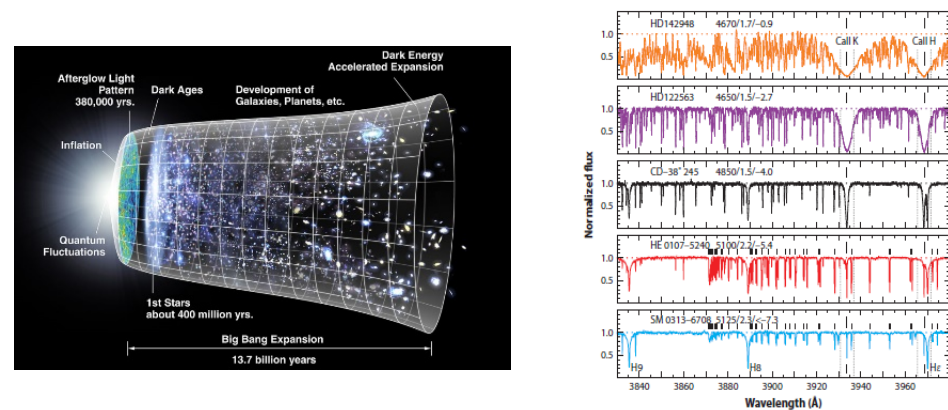


科学目标	预期成果
 <p data-bbox="356 625 682 682">搜寻类地行星</p>	<p data-bbox="901 496 1411 562">发现宜居系外行星</p> <p data-bbox="901 591 1793 656">发现多类型恒星周围的宜居行星</p>
 <p data-bbox="356 899 631 956">行星多样性</p>	<p data-bbox="901 771 1854 836">证认和刻画凌星行星，含类地行星</p> <p data-bbox="901 865 1793 931">拓展行星轨道倾角等动力学测量</p>
 <p data-bbox="270 1128 749 1248">系外行星大气高精度 和系统化研究</p>	<p data-bbox="901 1099 1854 1165">精细刻画一批系外行星的大气成分</p>

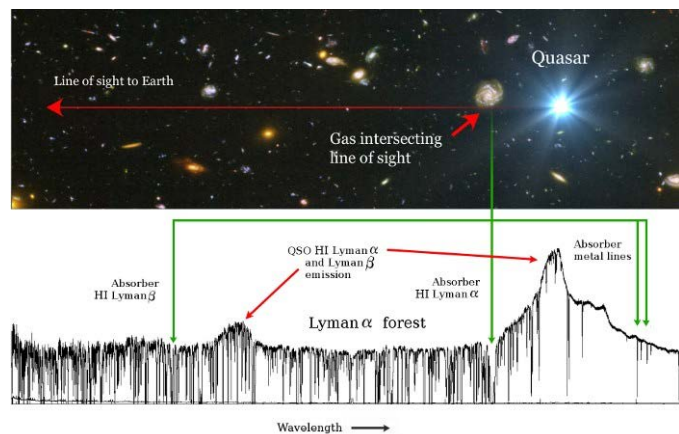
轻元素、快中子俘获元素起源等



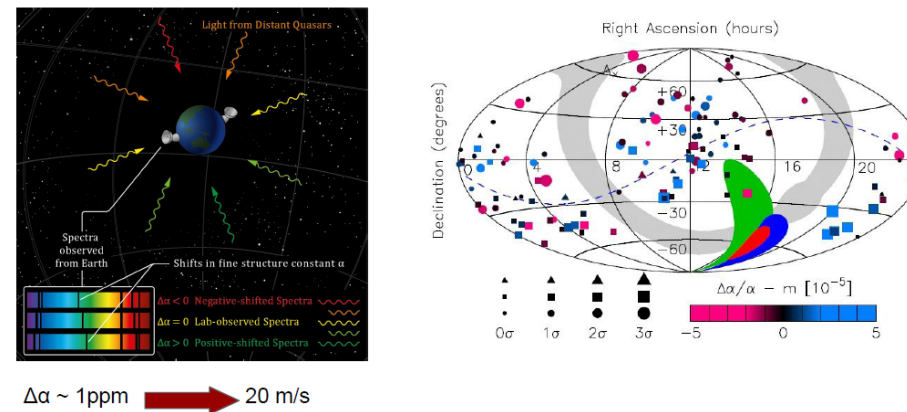
星族、银河系、近邻矮星系的化学演化



宇宙早期的星系际介质



基本物理常数（比如 α ）的测量





CHORUS 项目团队



国家天文台



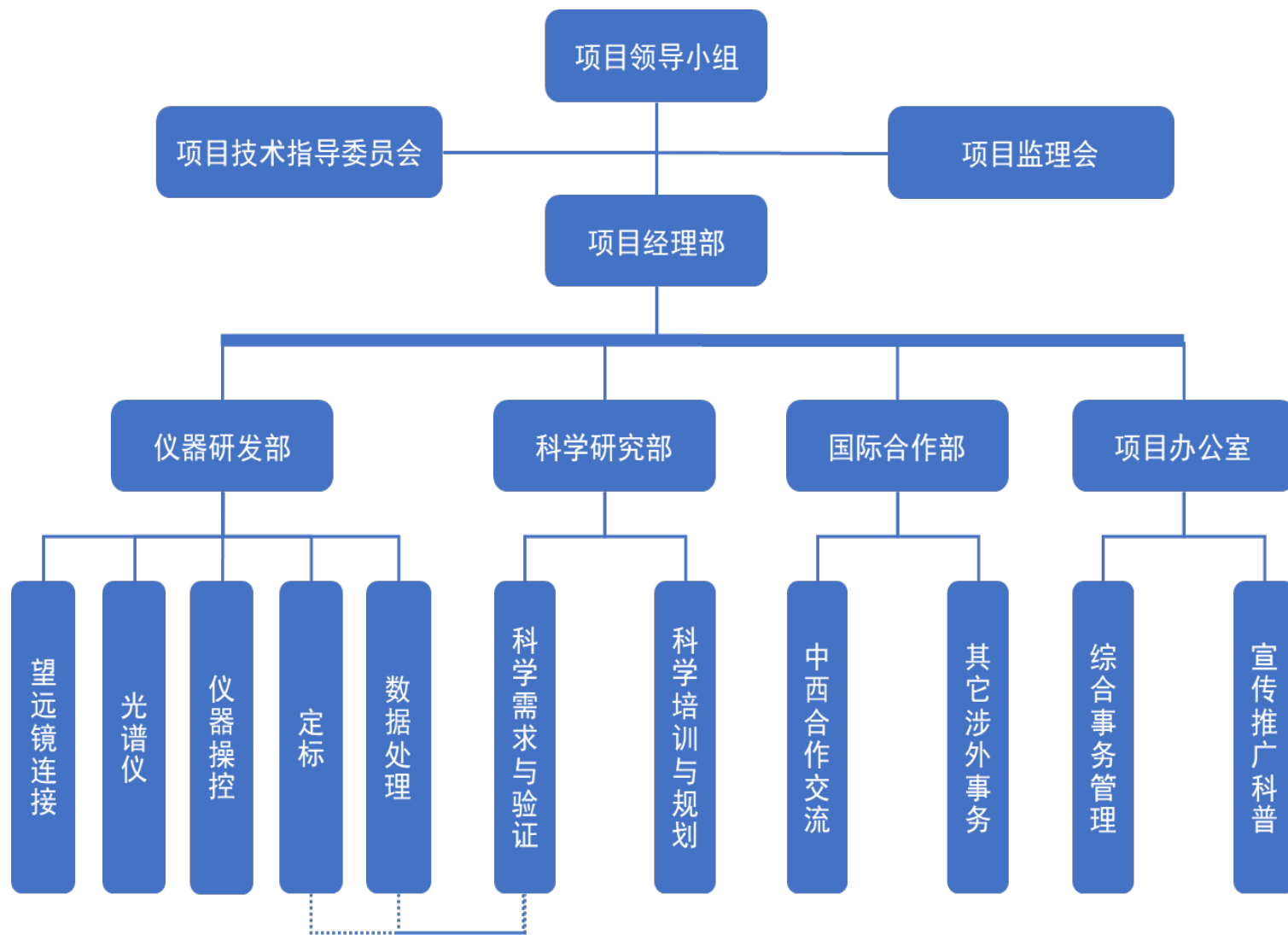
南京天文所



IAC
西班牙加那利天体
物理研究所

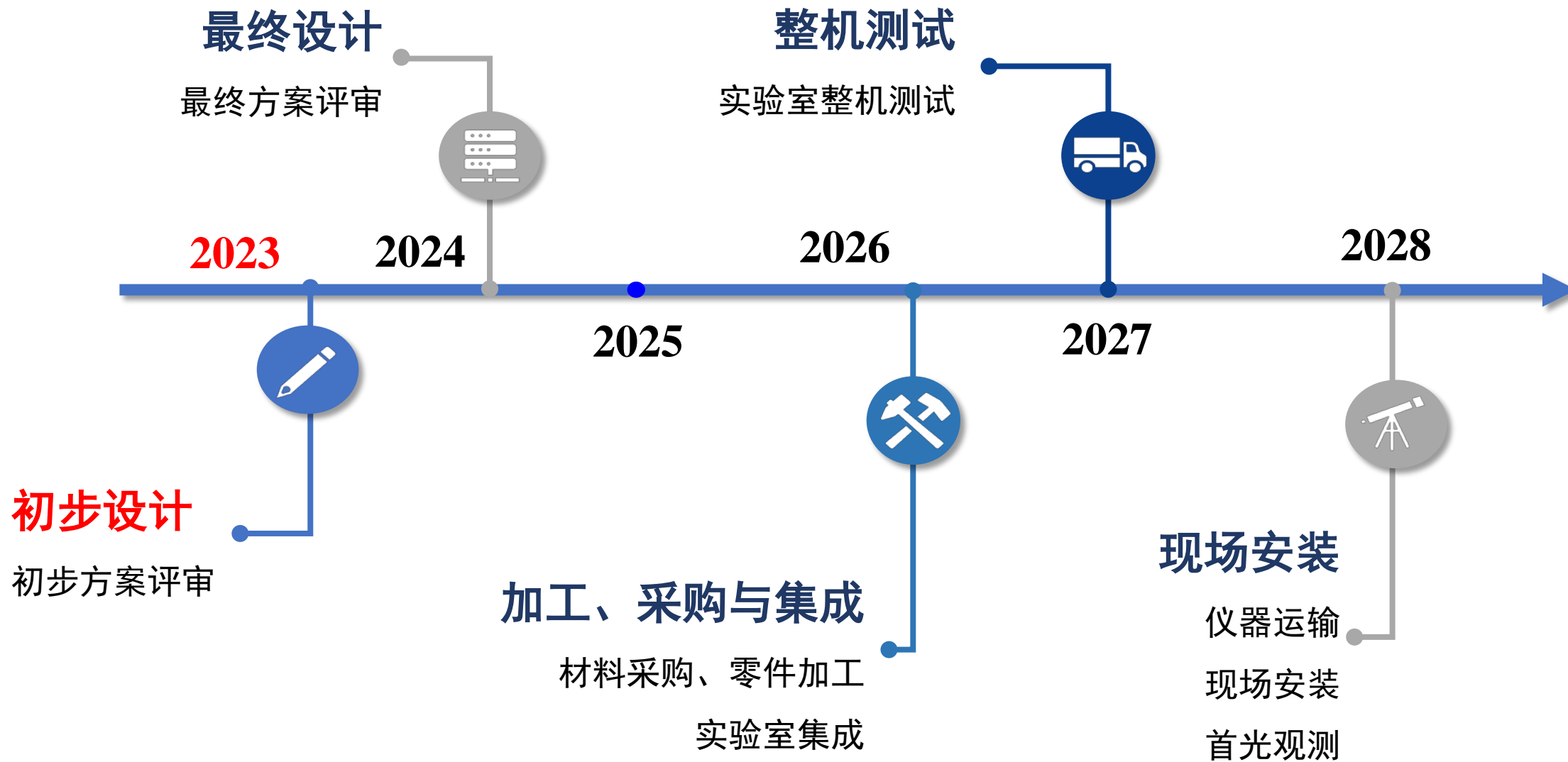


GRANTECAN S. A.
GTC天文台





CHORUS 研制计划



CHORUS



CONTENTS

项目合作进展



CHORUS 项目与合作进展



GTC 课堂: 2021年5月起, 举办 27 场, 覆盖GTC相关性能、观测、科学各方面。

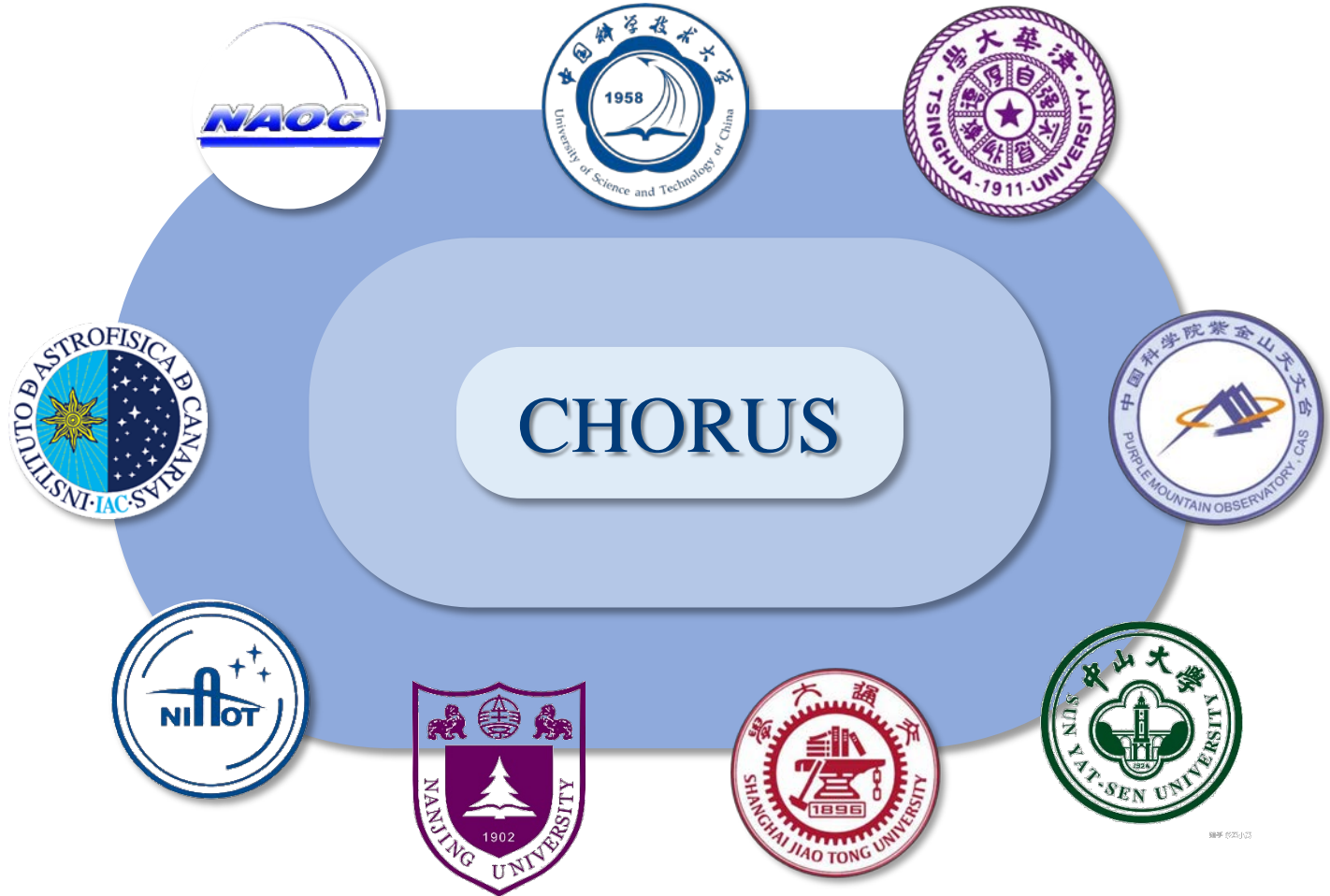
National Astronomical Observatories of China
GTC Academy
 Time: 16:00-18:00 on May 25th (Wednesday), 2022
 Place: Online Meeting
 Zoom Meeting ID: 952 4149 3242 (passcode: 718365)

Title: GTC Science Highlights
Lecturer: Antonio Cabrera-Lavers, IAC
Host: Xuan Fang, NAOC

Abstract: GTC telescope began its scientific operations in 2009, producing more than 18000 observing hours and 740 papers in refereed journals to date. In this talk I will describe some of the highlights of the science observations obtained with GTC, that demonstrate the versatility and capability of the telescope in obtaining high level science.

Bio of the lecturer: Antonio Cabrera-Lavers, born in Tenerife (Spain) in 1975, got his PhD in Astrophysics at Universidad de La Laguna (Spain) in 2005. He became Support Astronomer at the GTC in 2005, as OSIRIS instrument specialist, up to 2014, when he was promoted to Head of GTC Science Operations, being responsible for the Scientific Operations of the 10.4 m GTC telescope.

Zoom Meeting ID: 952 4149 3242
passcode: 718365
 Lecture Series on Astrophysical Sciences with Ground-based Optical Large Telescopes





中西双边天文学学术研讨会



- 2019年10月，在北京成功召开**第一届**中西双边天文学学术研讨会 “Present and future of optical infrared astronomy”
- 2023年7月，在西班牙La Palma岛成功召开**第二届**中西双边天文学学术研讨会 “China-Spain collaboration on astronomical high-resolution spectroscopy”

Present and future of optical and infrared astronomy: synergies and collaboration between China and Spain 2019.10





CONTENTS

总 结

CHORUS: 我国首台装备在10米光学望远镜上的大型科学终端仪器，性能跻身世界三甲

为我国天文界提供
10米级大口径通用
光学红外望远镜观
测资源



为我国自主研发大
型光学望远镜终端
仪器积累建设经验

为飞速发展的系外行星领域，提供高精度探测、分析手段

谢谢大家!

gtc@nao.cas.cn

kzhang@niaot.ac.cn

