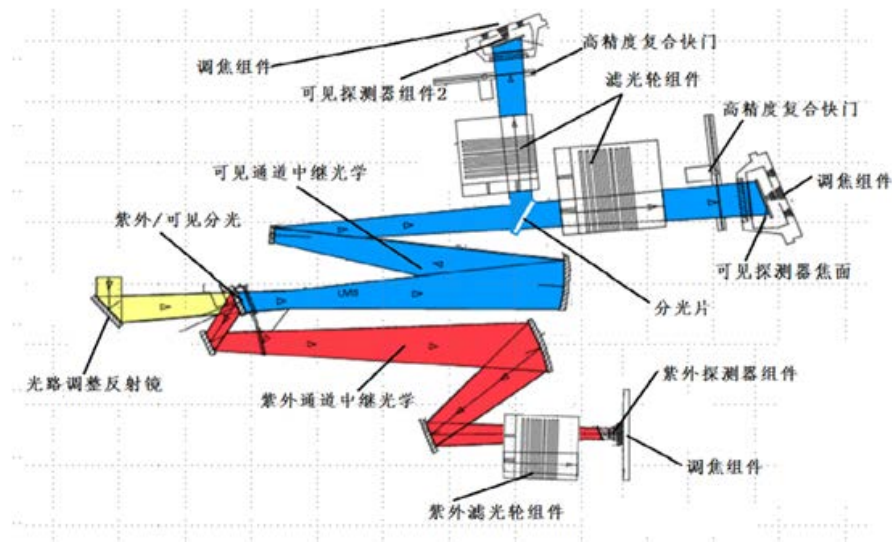


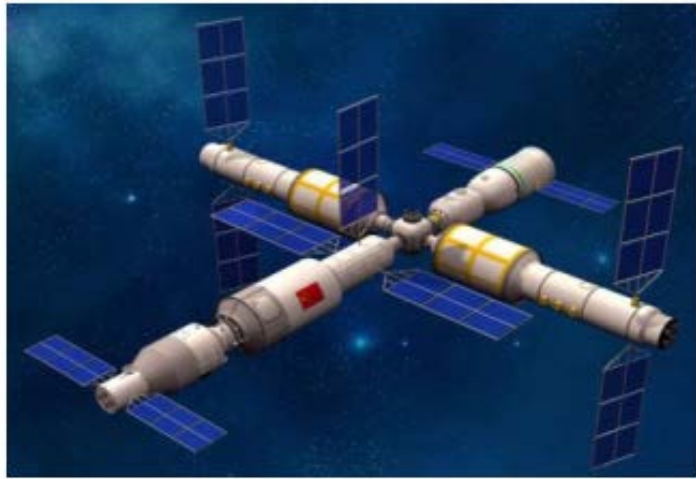
CSST-MCI流量定标任务进展

钟靖

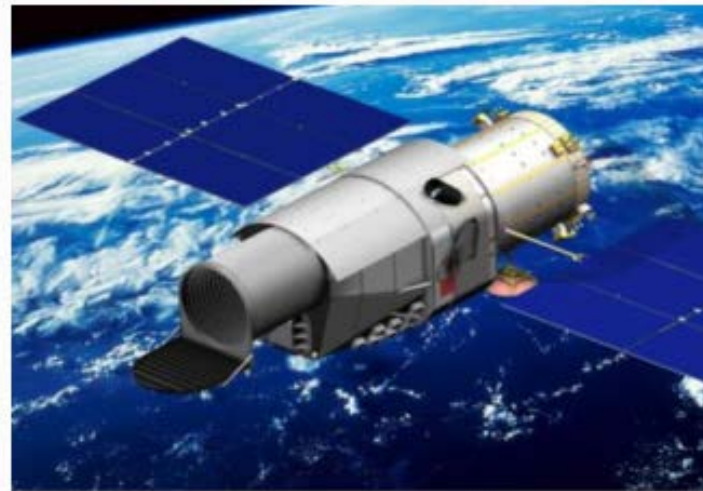
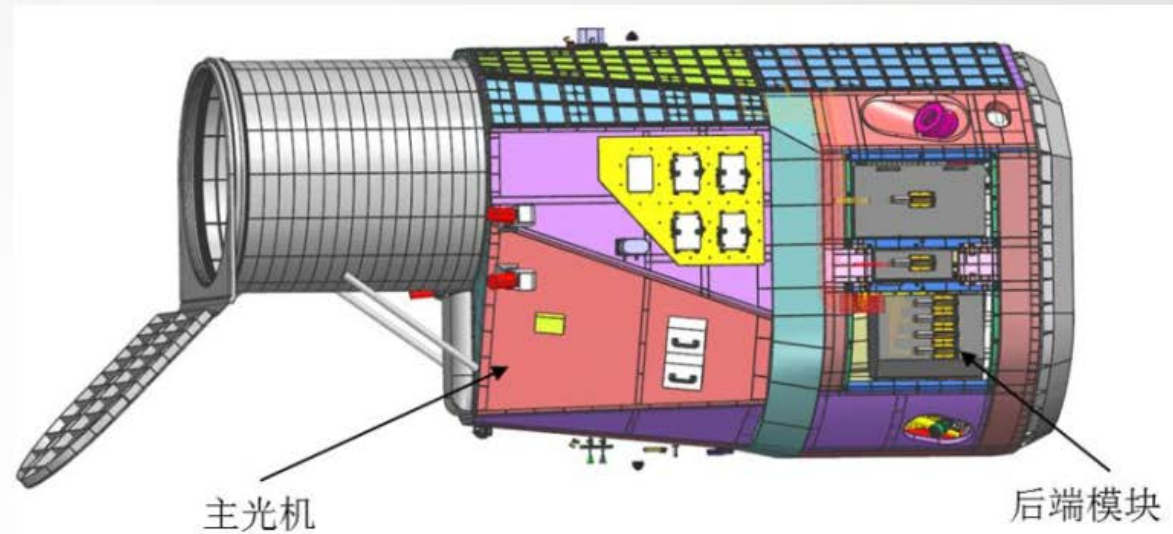
上海天文台CSST-MCI项目组



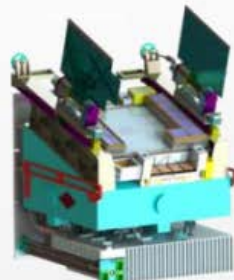
中国空间站工程巡天空间望远镜 (CSST)



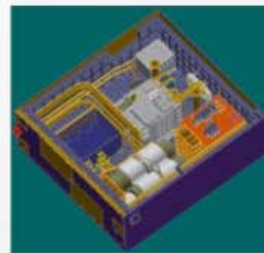
载人空间站



巡天空间望远镜



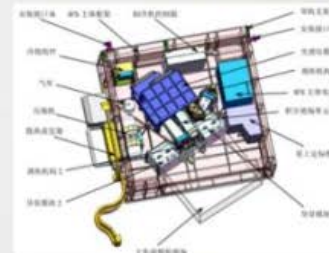
巡天模块



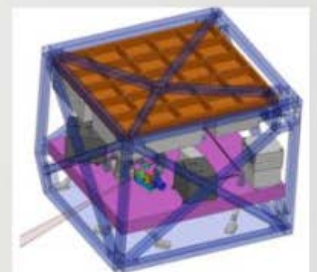
太赫兹模块



多通道成像仪



积分视场光谱仪

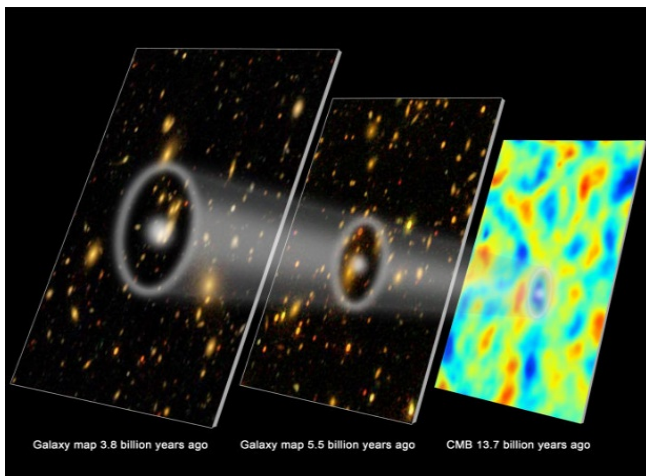


星冕仪模块

高精度流量定标

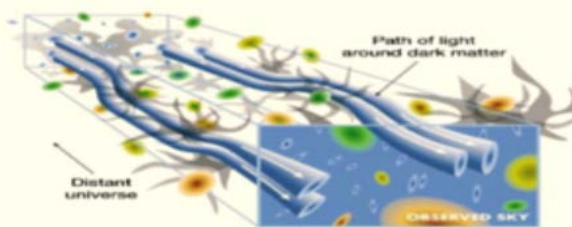
→ 主巡天牵引性科学项目成功的关键

重子声学振荡



星系组成的声学振荡边界是宇宙中最大的“标尺”，对其测量可获得宇宙暗物质暗能量性质

弱引力透镜效应



弱引力透镜效应是宇宙学研究的主要观测手段，对于研究暗物质暗能量性质具有独特的优势

→ CSS-OS的主要科学驱动

星系团宇宙学



星系团是宇宙中最大的重子物质维里化结构，对其统计研究可获得暗物质和宇宙学信息

以上宇宙学项目都需要精确测定天体的红移信息。光谱观测仅能获得小部分亮源红移，绝大多数样本只能通过测光红移来获取。

→ 测光红移：红移0星系光谱模板反卷积各波段测光

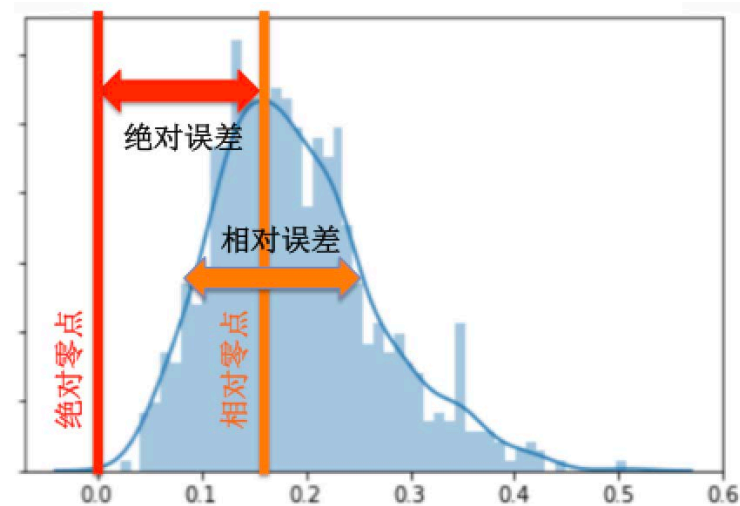
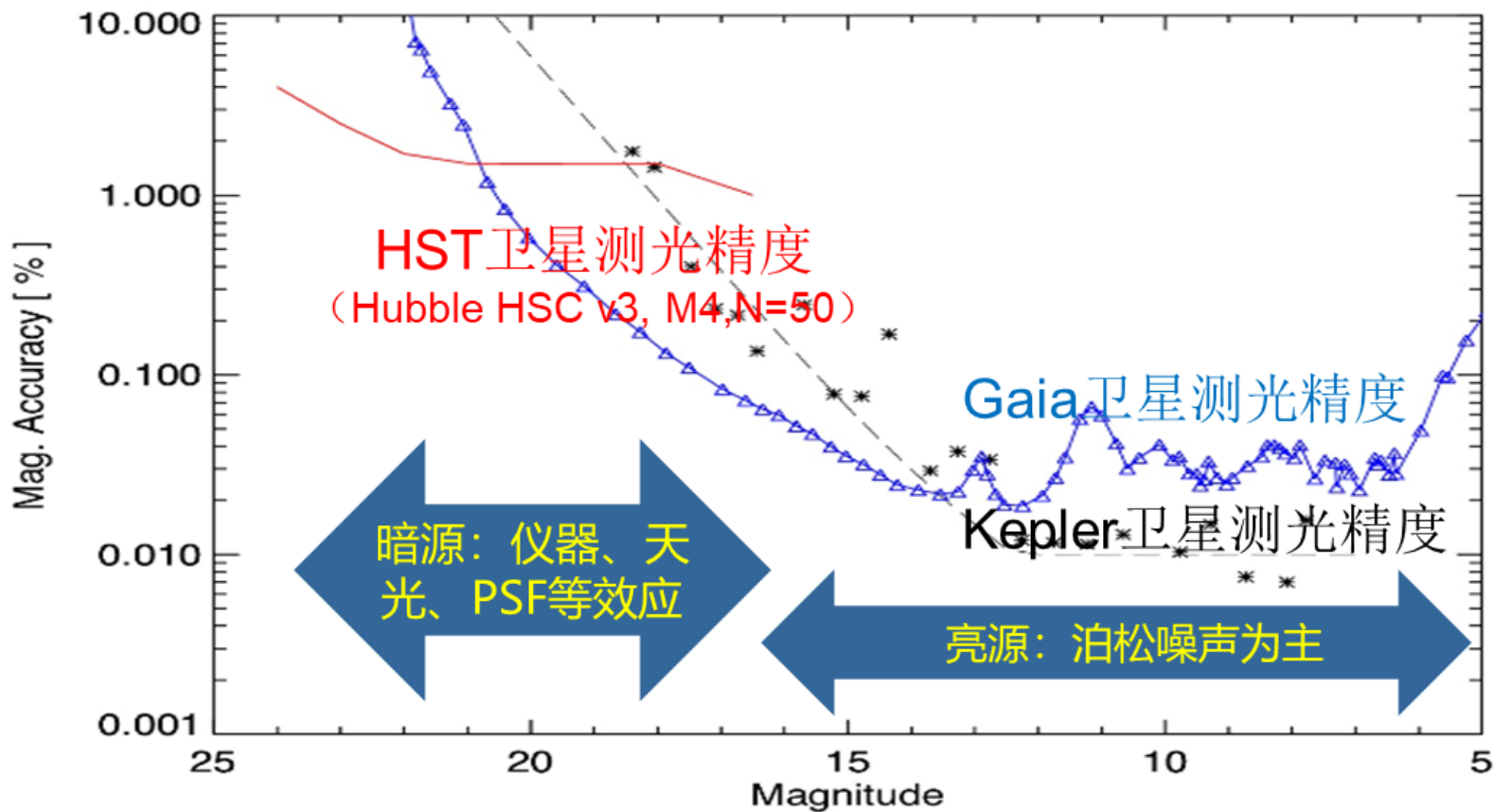
→ **测光精度决定了测光红移的精度**

r 波段绝对星等定标偏离0.02和0.04 mag



测光红移弥散会偏大约5%和14%

光学红外天文发展的**永恒追求**：更高精度



SDSS & DES

相对测光精度已达~1-2%级别
(Schlafly+2016)

KiDS-450 WL:

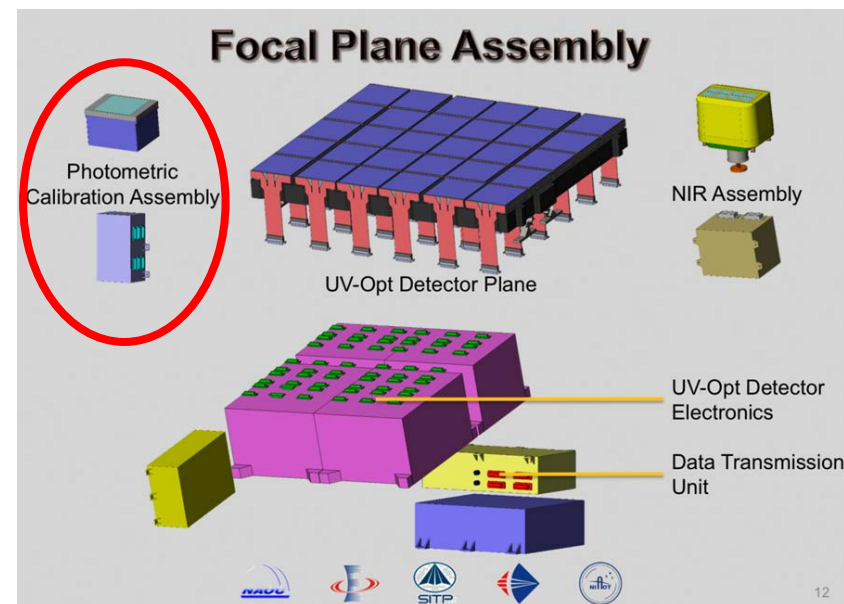
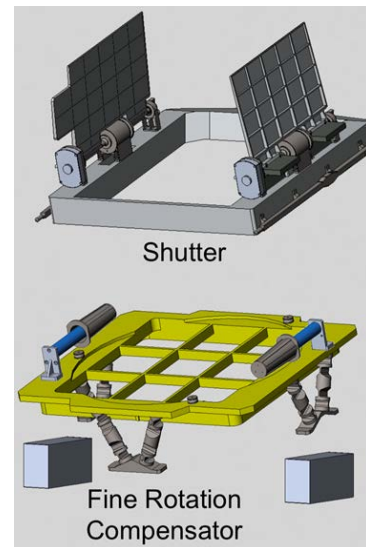
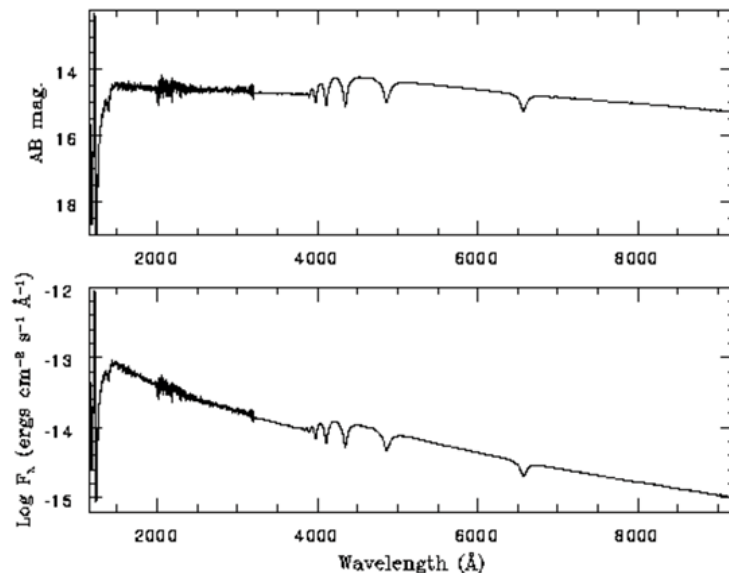
shear error精度~1%级别
Photo-z error精度1-5%
(Hildebrandt+2016)

CFHT/DES SN Ia项目

绝对测光精度已达~< 1%级别
(Regnault+09, Betoule+2016)

CSST巡天模块单独定标的困难

- HST一级流量定标星普遍偏亮
 - 26颗(Bohlin+1990, Oka+1990, J. Wash 1993)
- 主巡天模块对亮星的曝光时间 < 10秒
- 主巡天模块快门设计在短曝光时误差较大
- 衰减片方案响应曲线的变化未知，仅覆盖单一波段，误差较大
- 主巡天模块视场较大，在观测亮星时会受到额外杂散光污染，容易引入额外误差



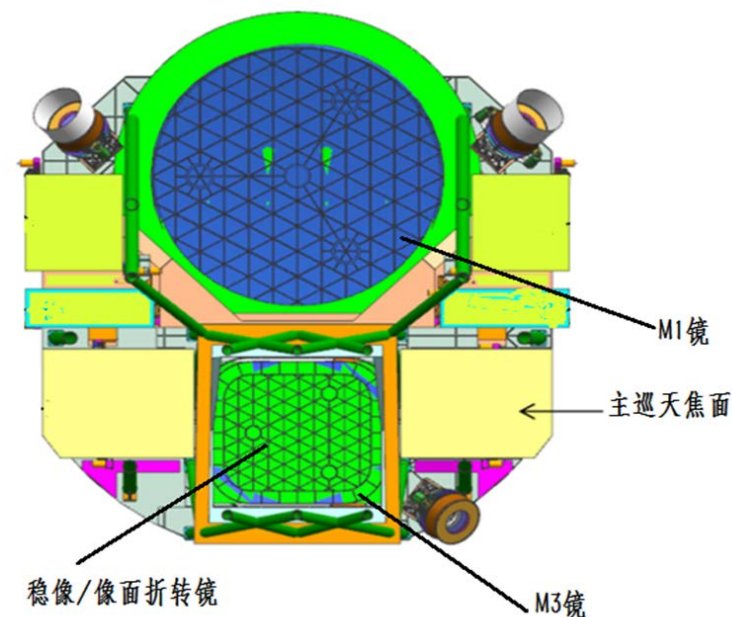
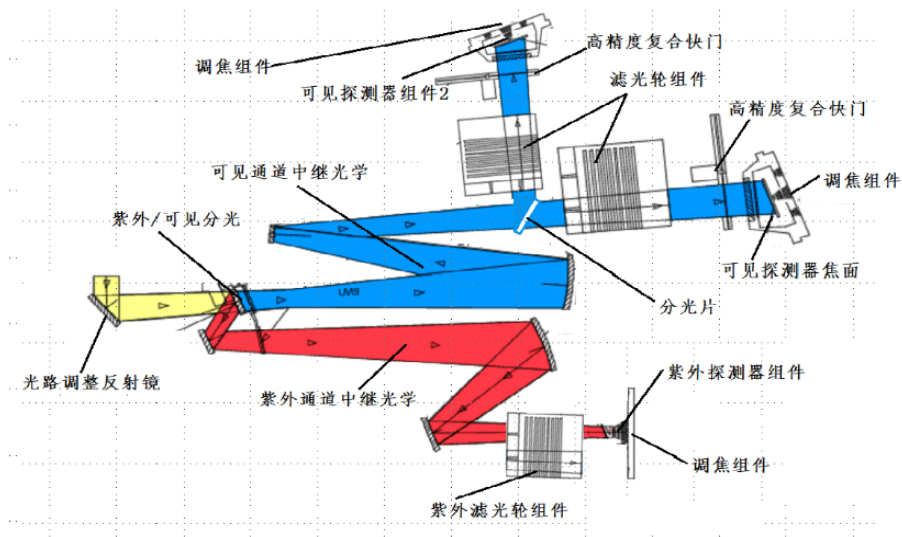
多通道成像仪 (MCI)

- 多通道：光路分色设计，NUV/u, g/r, i/z三通道同时
- 成像：每个通道一台CCD相机
- 波长范围：0.25-1微米
- 总波段数目：约30个

优点：

- 获取天体的实时颜色信息
- 将在空间上首次实现多通道高精度测光观测

首要任务：辅助主巡天开展高精度流量定标



MCI首要科学任务

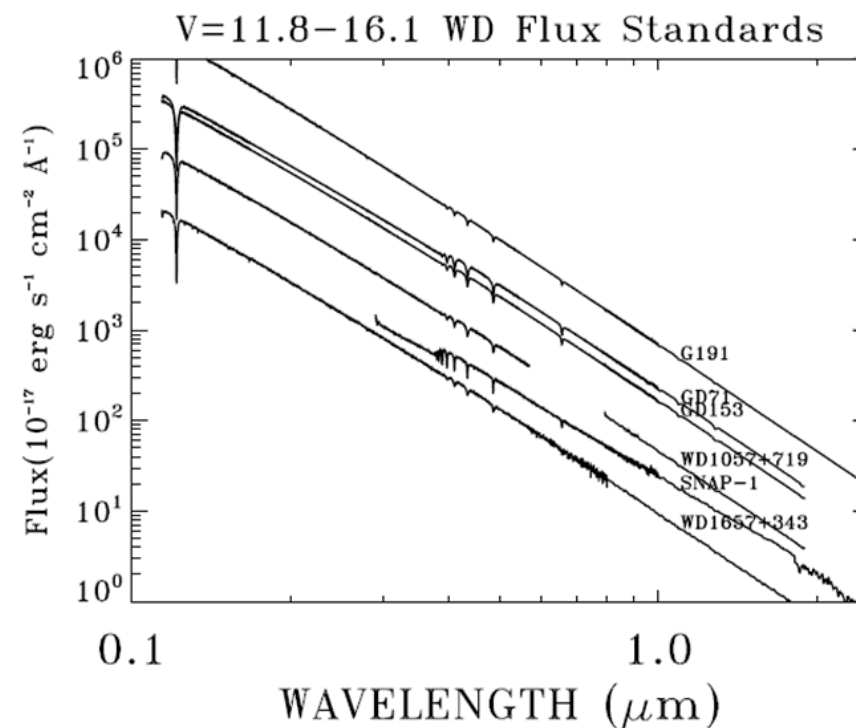
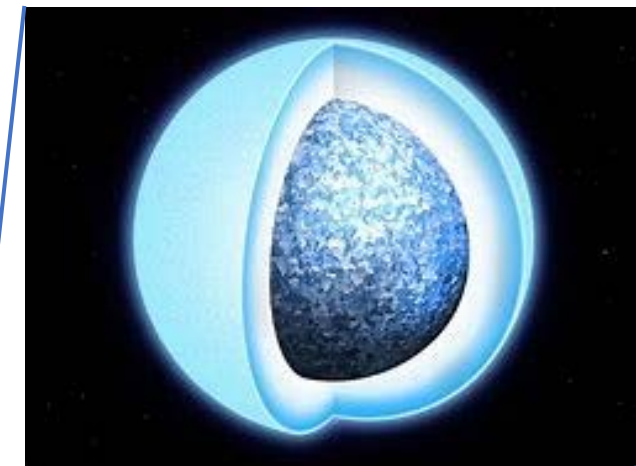
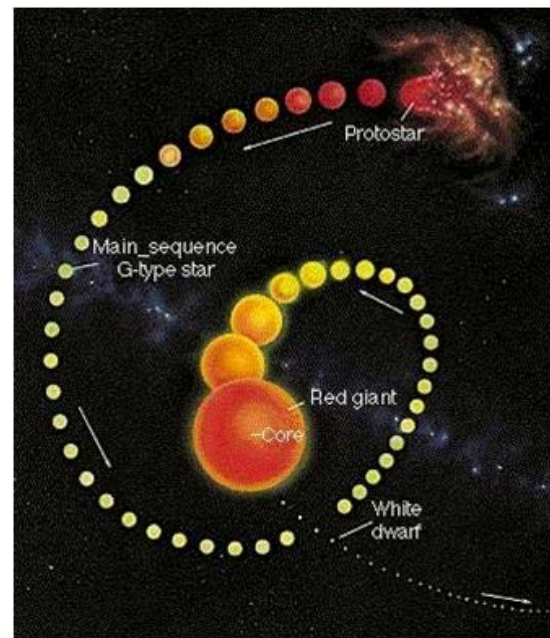
任务一

利用MCI建立**CSST流量定标星表**，辅助主巡天开展流量定标

白矮星：一级流量定标星

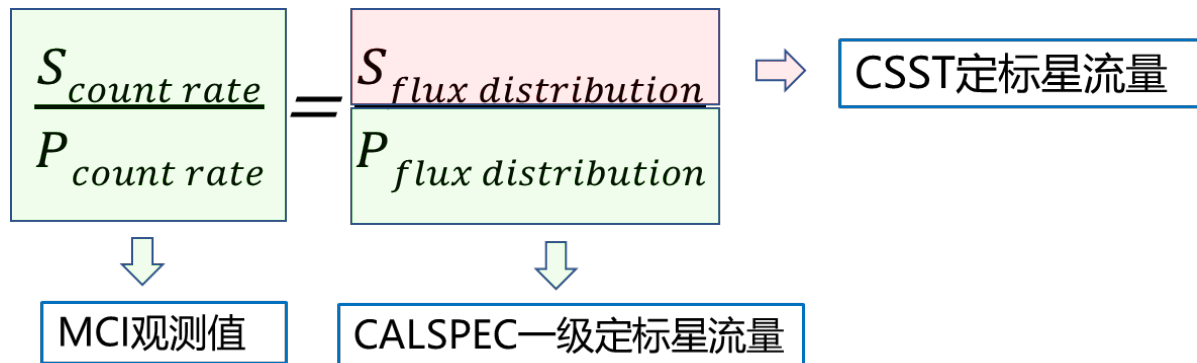
- 中小质量恒星演化晚期的产物，具有低光度、高密度、高温等特点
- 分布广泛，容易证认，候选源丰富
- 20000K-50000K范围内模型和观测星等误差好于1%
- 流量变化主要来自于辐射冷却，时标很长，光变可忽略不计

Star	RA (J2000) ^a (hh:mm:ss)	Dec. (J2000) ^a (dd:pp:ss)	<i>B</i> (mag)	<i>V</i> (mag)	Type ^b
G191-B2B	05:05:30.61	+52:49:51.95	11.46 ^c	11.78 ^c	DA0
GD 71	05:52:27.63	+15:53:13.37	12.78 ^b	13.03 ^b	DA1
GD 153	12:57:02.33	+22:01:52.52	13.07 ^b	13.35 ^b	DA1



Bohlin.2007

MCI流量定标优势



利用MCI建立CSST流量标准星：

- ✓ 高精度快门（秒级曝光，毫秒级稳定度）
 - ➔ 更适合观测HST一级定标星（10-15等）
- ✓ 相同的滤波片设计，相似的透过率曲线
 - ➔ 更小的定标误差（<0.5%）
- ✓ 更小的视场，杂散光控制更好
 - ➔ 更高的测光精度

MCI在轨定标方案及误差分析

3颗HST流量标准星+36颗CSST流量标准星：

- u,r,z滤光片
- HST流量标准单次曝光5s, 曝光>100次, 单次测量信噪比>500, 泊松涨落对应的流量误差<0.03%。
- CSST流量标准星单次曝光150s, 单像元获得
 $990 \times 150 / 4 = 37125$ pht, 单颗星信噪比385, 单次曝光泊松涨落0.26%, 曝光>16次, 统计误差为0.06%。

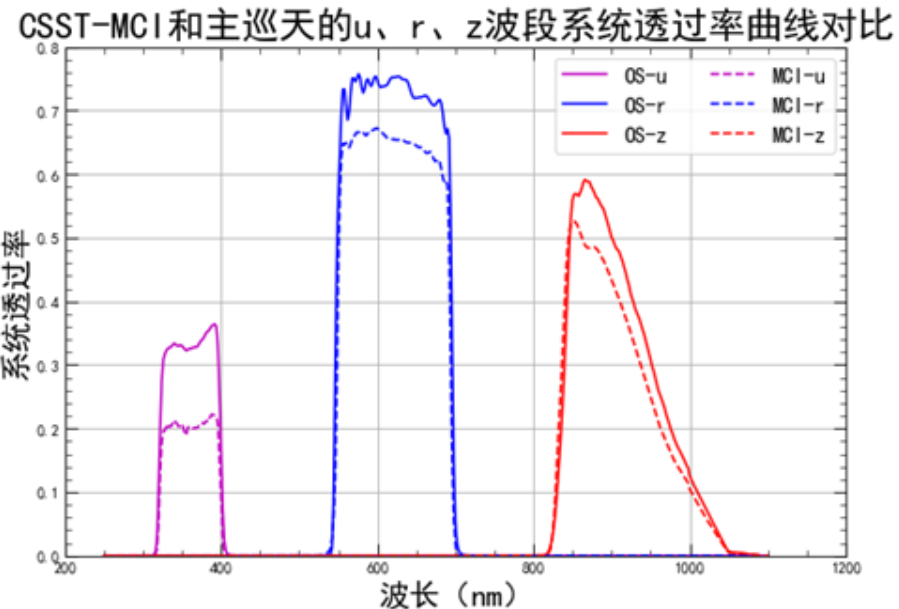
MCI提供给主巡天的二级流量定标星r波段统计误差估计:

$$\text{sqrt}(0.03^2 + 0.06^2 + 0.5^2 + 0.5^2)\% = 0.71\%$$

一/二级定标星
泊松涨落误差

平场改正误差
(滤光片/探测器)

数据处理
误差



Systematic Error Estimates:

- Uncertainty in Vega Flux: ~0.7% @ 5557Å
- Uncertainty in models: <1% in UVIS, ~2% in NIR

Statistical Error Estimates (Measurement Precision):

- Poisson: 0.2%
- Flat fields: ~0.4%-0.6% (filter/detector dependent)
- Repeatability: 0.2-0.5% (detector dependent)
- Other: = 0.5% - 1%
 - Processing noise (bias & dark subtraction, flatfielding), gain, readnoise, CTE (CCDS), persistence (HgCdTe), count rate and count non-linearities
- WFC3/UVIS: 1.3% (stat) + 1.22% (syst)
- WFC3/IR: ~1.6% (stat) + 2.1% (syst)

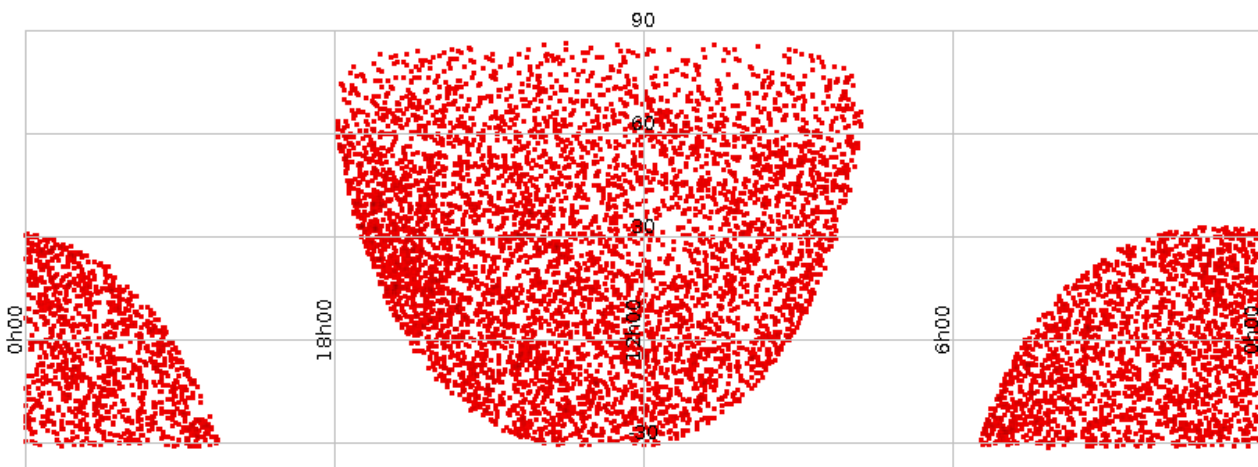
HST测光精度分析

来源: Susana Deustua 2017

MCI流量定标星选取

选取原则：

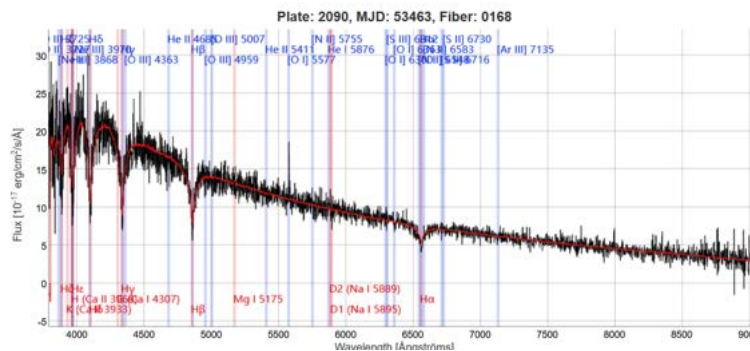
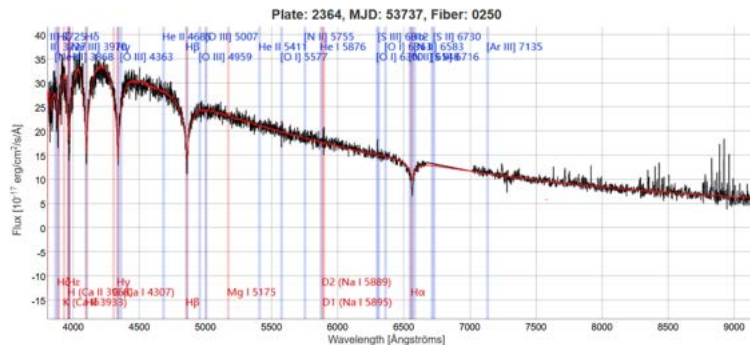
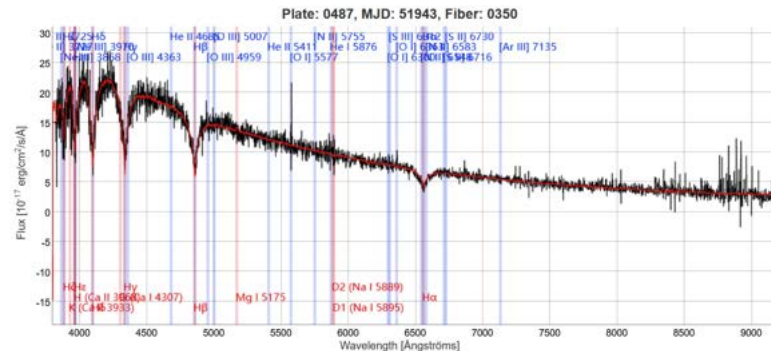
- 18-19等白矮星
- 静态稳定（无光变，无红外超）
- 周围无明显背景天体污染
- 银纬 > 20, 黄纬 > 20
- 主巡天定标天区附近，适合常规观测



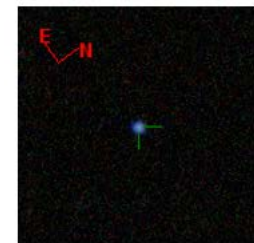
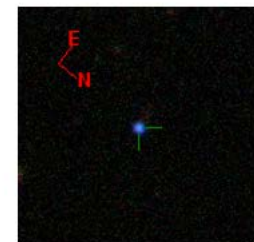
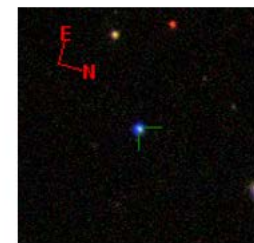
8867 WD candidates



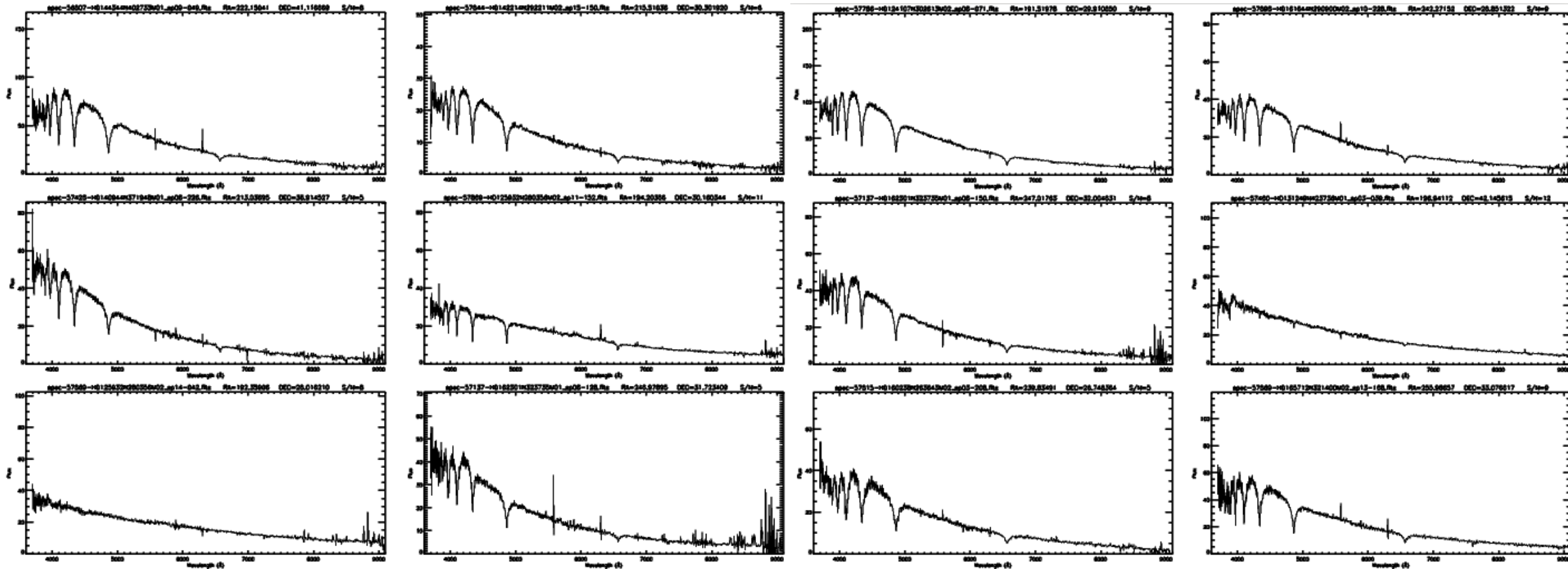
Gaia, SDSS, PS1, ZTF, PTF, allwise, LAMOST



1831 WD candidates with spectra



MCI流量定标星 (LAMOST 光谱)

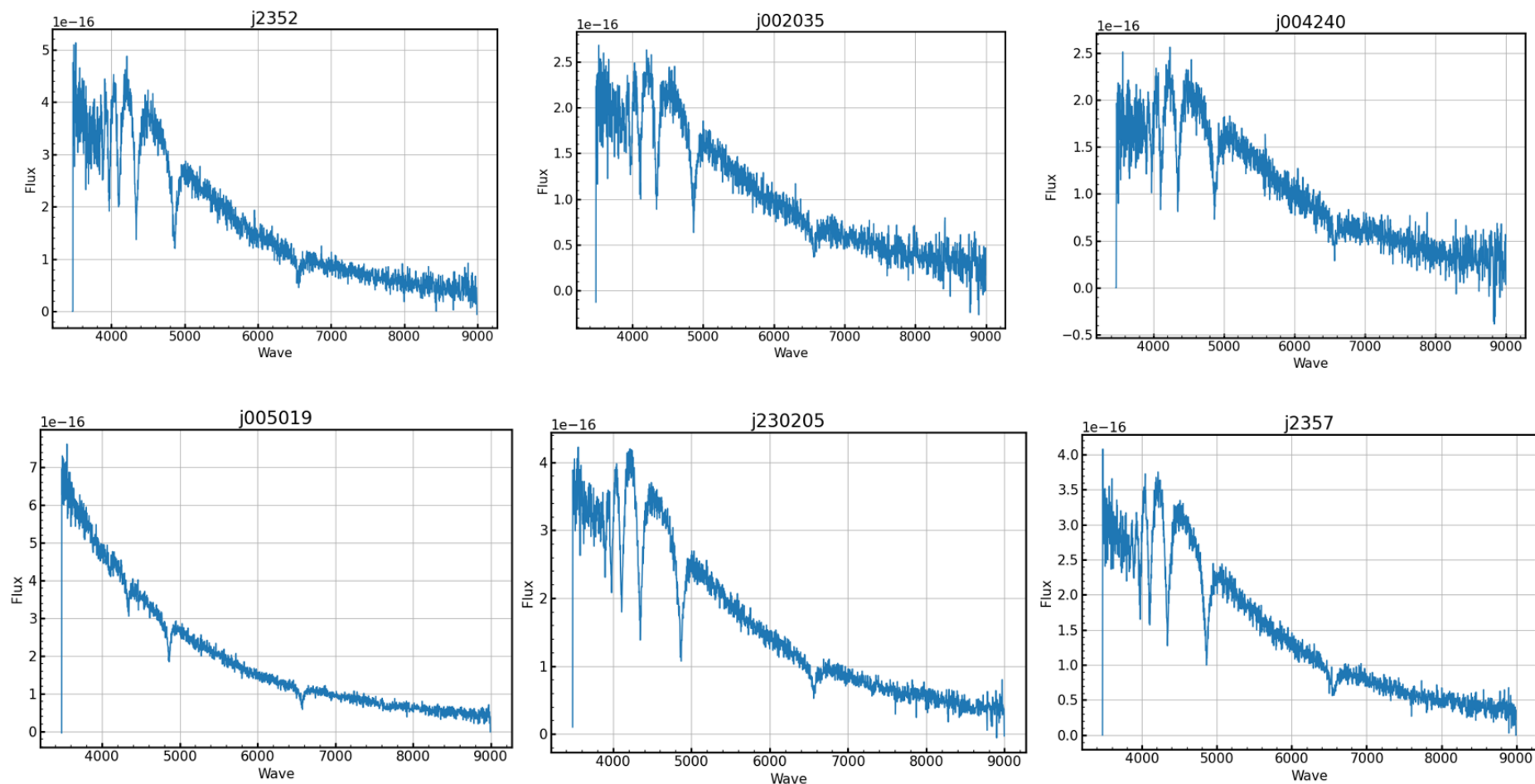


丽江2.4米望远镜试观测

- 2022年11月，上半夜，4晚，新月
- 2023年3月，下半夜，3晚，满月
- 使用G3+2.5"光谱仪观测，每颗星曝光40-60分钟



- 剔除非WD光谱
- 确定光谱类型 (DA , $20k < T_{\text{eff}} < 50K$)
- 确定理论光谱，拟合SED



MCI科学数据系统任务

任务二

选定MCI流量定标天区，开展MCI多波段绝对流量定标

MCI多波段流量定标

MCI定标特点：

- 多波段观测，搭载30片多种带宽滤光片
- 波长范围255-1000nm
- 较小的视场（8"）

MCI定标的困难

- ☹ 传统方法颜色项转换误差大（尤其窄带）
- ☹ 偏紫的波段标准星等需要外推，引入额外系统误差
- ☹ 视场中巡天星表的恒星数目不足，无法开展定标零点的实时监测

紫外通道
(255-430nm)

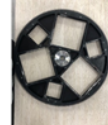
每个通道
4大6小



Band	λ_c	FWHM	λ_{L50}	λ_{R50}	TanL50 (\otimes)	TanR50 (\otimes)	<Tib>、 T50(\oplus)	备注
FilterWheel 01								
F275W	273	45	250 \pm 2.5	295 \pm 2.5	0.069	0.171	\geq 56%	HST
F280N	279.5	4.2	277.5 \pm 0.4	281.6 \pm 0.4	0.008	0.008	\geq 20%	MgII, HST
NUV	286.4	69.2	251.9 \pm 2.5	321 \pm 2.5	0.01	0.01	\geq 63%	定标
WU	316	128.1	251.9 \pm 2.5	380 \pm 2.5	0.01	0.01	\geq 72%	定标
U'	328.2	146.4	255 \pm 3	425 \pm 3	0.02	0.02	\geq 75%	超深场
F343N	344.4	28.9	330 \pm 2	358.9 \pm 2	0.01	0.01	\geq 65%	
U	359.7	83.4	321 \pm 2.5	401.4 \pm 2.5	0.01	0.01	\geq 80%	定标
F373N	373	4.9	370.5 \pm 0.5	375.4 \pm 0.5	0.005	0.005	\geq 70%	OII, HST
F395N	395.5	8.4	391.3 \pm 0.5	399.7 \pm 0.5	0.008	0.008	\geq 75%	
F336W	337.1	54	310.1 \pm 3	364.1 \pm 3	0.028	0.031	\geq 80%	HST

可见1通道
(430-700nm)

每个通道
4大6小



Band	λ_c	FWHM	λ_{L50}	λ_{R50}	TanL50 (\otimes)	TanR50 (\otimes)	<Tib>、 T50(\oplus)	备注
FilterWheel 02								
F487N	487.2	6	484.2 \pm 0.5	490.2 \pm 0.5	0.006	0.006	\geq 80%	
F502N	501	6.6	497.7 \pm 0.5	504.3 \pm 0.5	0.006	0.006	\geq 80%	OIII, HST
G'	544.85	294.5	435 \pm 3	695 \pm 4	0.02	0.02	\geq 85%	超深场
R	619.4	145.3	546.8 \pm 3	692.1 \pm 3.5	0.02	0.02	\geq 90%	定标
F656N	656.2	1.8	655.3 \pm 0.2	657 \pm 0.2	0.005	0.005	\geq 80%	Ha, HST
F658N	658.6	2.75	657.2 \pm 0.5	659.9 \pm 0.5	0.005	0.005	\geq 80%	Ha-w, HST
F467M	468.4	21.5	457.6 \pm 3	479.1 \pm 3	0.01	0.01	\geq 90%	HST
F555W	526.6	159	447.1 \pm 3	606.2 \pm 3.5	0.015	0.015	\geq 90%	HST
F606W	594.7	229.1	480.1 \pm 3	709.2 \pm 4	0.02	0.02	\geq 90%	HST
F673N	676.5	11.9	670.6 \pm 1	682.5 \pm 1	0.008	0.008	\geq 85%	Ha-off, HST

可见2通道
(700-1000nm)

每个通道
4大6小



Band	λ_c	FWHM	λ_{L50}	λ_{R50}	TanL50 (\otimes)	TanR50 (\otimes)	<Tib>、 T50(\oplus)	备注
FilterWheel 01								
Z	-	-	842.4 \pm 4	1100	0.01	-	\geq 92%	定标
Y	-	-	926.7 \pm 5	1100	0.015	-	\geq 92%	定标
F815N	815	20	805 \pm 2	825 \pm 2	0.01	0.01	\geq 80%	ELGs(z=5.7Lya)
R'	868.45	383.8	705 \pm 5	1100	0.01	0.01	\geq 90%	超深场
F925N	925	30	910 \pm 2	940 \pm 2	0.01	0.01	\geq 80%	ELGs(z=6.6Lya)
F960M	960	60	930 \pm 4	990 \pm 4	0.01	0.01	\geq 90%	
F968N	968	20	958 \pm 2	978 \pm 2	0.01	0.01	\geq 80%	ELGs(z=7.0Lya)
F845M	847.2	88	803.2 \pm 4	891.2 \pm 4	0.02	0.01	\geq 90%	
F850LP	977.8	245.1	855.2 \pm 4	1100	0.06	-	\geq 85%	HST
F814W	833.7	253.1	707.2 \pm 4	960.3 \pm 4	0.015	0.015	\geq 85%	HST

MCI流量定标

$$f_{\lambda}(P) \equiv \frac{\int f_{\lambda} P(\lambda) \lambda d\lambda}{\int P(\lambda) \lambda d\lambda}$$

SPSS标准星 f_{λ}



望远镜系统响应曲线 $P(\lambda)$



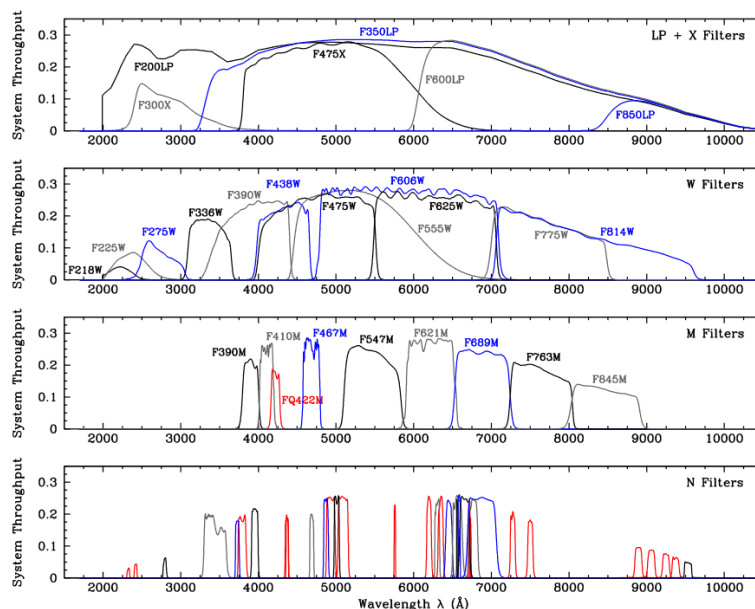
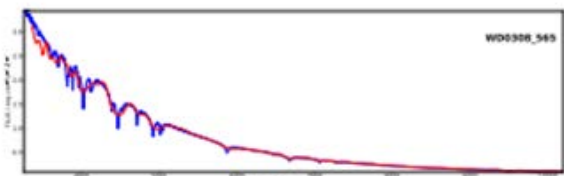
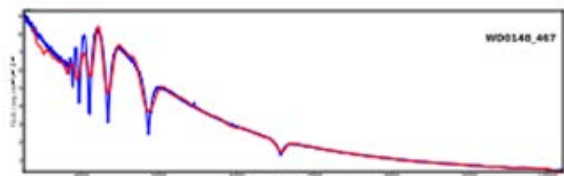
标准星流量



仪器星等

Calspec 光谱

Gaia XP 光谱



Instrument Science Report WFC3 2009-31

$$f_{\lambda}(P) = \text{PHOTFLAM}(P) \times (\text{count rate})$$

$$\begin{aligned} \text{STMAG}(P) &= -2.5 \log [f_{\lambda}(P)] - 21.10 \\ &= -2.5 \log (\text{total counts} \times \text{s}^{-1}) \\ &\quad + \text{STMAGZpt}(P). \end{aligned}$$

新疆南山1米望远镜 (NOWT) 观测试验:

➤ 测光夜观测

➤ 多波段观测疏散星团:



- ugriz

- UBVRI

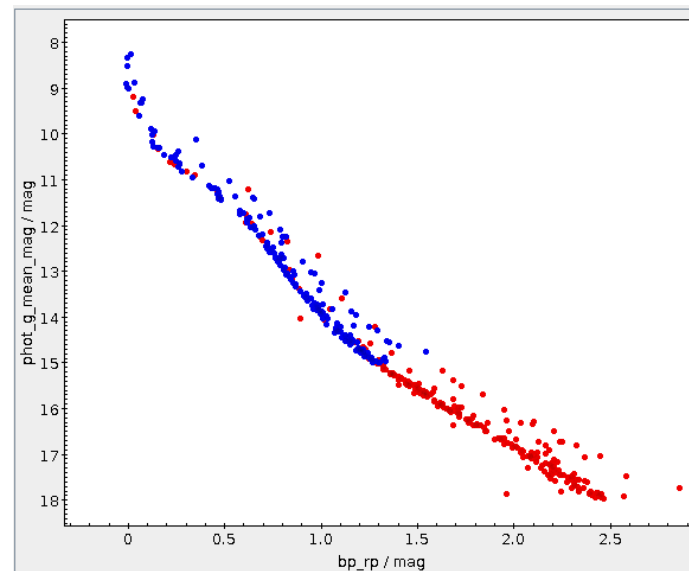
- 探索建立NOWT多波段的响应曲线的方法

- 检验响应曲线稳定性

- 分析影响定标精度的因素 (测光平场, 快门效应等)



NGC1039



187颗成员星 (Gaia XP光谱)

总结

- MCI辅助流量定标任务：HST一级定标星→ MCI流量定标星→ 主巡天流量定标
- MCI流量定标星候选体：
 - Gaia/PS1测光 (8867)
 - LAMOST/SDSS/2.4m光谱 (1831)
- MCI多波段流量定标任务：选定MCI定标天区，基于Gaia光谱确定SPSS，开展MCI多波段流量定标
- MCI定标天区：
 - M67星团天区
 - NGC188星团天区
- 下一步计划：
 - 选定MCI流量定标星+流量定标天区
 - 基于系统响应曲线，开展定标误差传递的仿真试验，优化辅助定标方案
 - 基于实测数据和仿真数据，逐一分析各种仪器效应对观测精度的影响，确定MCI流量定标方案