



**教育部粒子天体物理与宇宙学重点实验室
上海市粒子物理和宇宙学重点实验室
年度汇报 -- 宇宙大尺度结构**

报告人：张骏

2023年1月6日



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



报告提纲



- 概览
- 亮点工作介绍



报告提纲



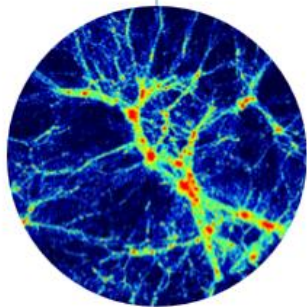
- 概览
- 亮点工作介绍



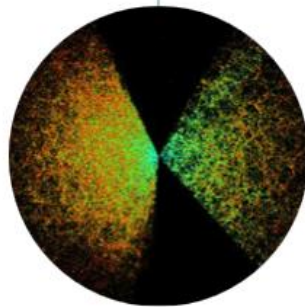
**引力理论、暗物质、
暗能量、加速膨胀机制、
中微子质量**



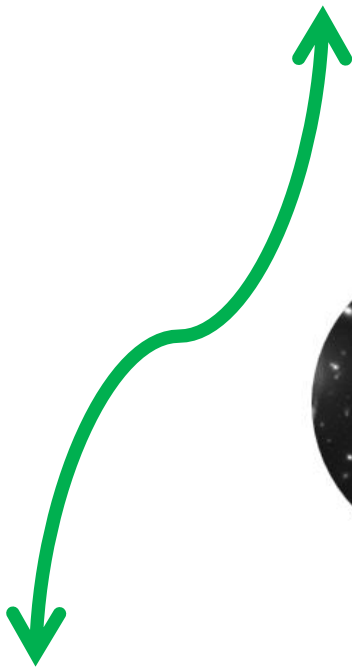
**宇宙大尺度结构：
精确测量 vs 精确理论模型**



**暗物质结构形成
暗晕非线性演化**



**星系形成
星系-暗晕关系、
重子效应**

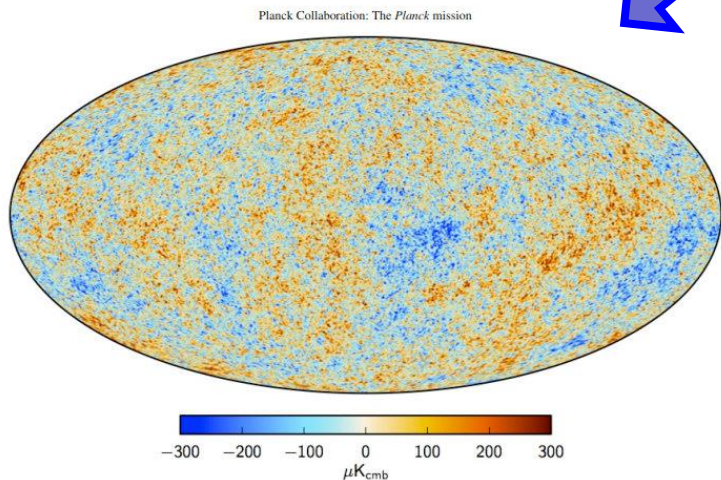
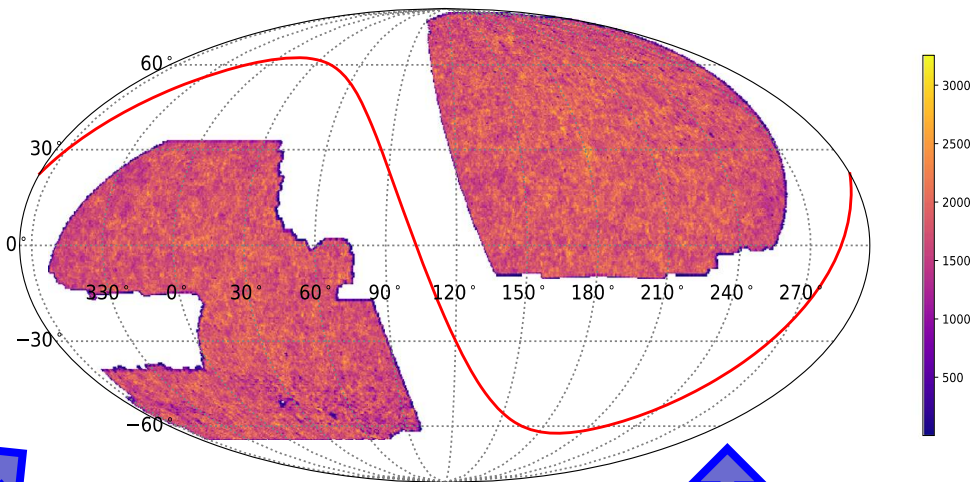


宇宙大尺度 结构测量

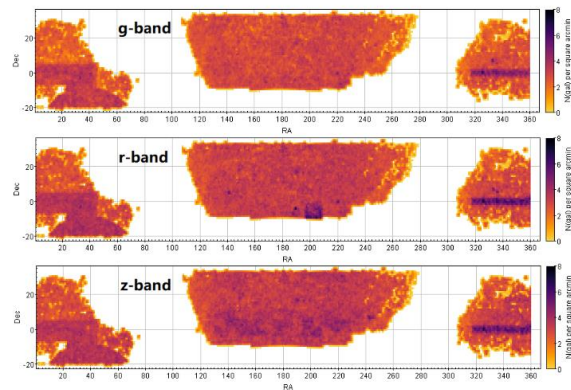
Region	Galaxies	Sky coverage	Groups $N_g >= 1$	$N_g >= 3$	$N_g >= 5$	$N_g >= 10$
NGC	67197600	9622	51440885	2626797	835349	193254
SGC	59958088	8601	45416930	2406873	793217	187310

得益于自主构建的DESI图像巡天 DR8/DR9 的数据构建的星系团/群目录 (Yang et al., 2021) 以及弱引力透镜信号目录, 并结合PLANCK卫星的CMB温度数据, 完成了一系列宇宙大尺度结构测量, 包括TSZ效应、KSZ效应、ISW效应、暗晕密度轮廓测量等。整体结果与基于LCDM的宇宙学模型符合得很好。

星系团/群分布



Planck CMB 温度分布



弱引力透镜剪切信号分布



报告提纲

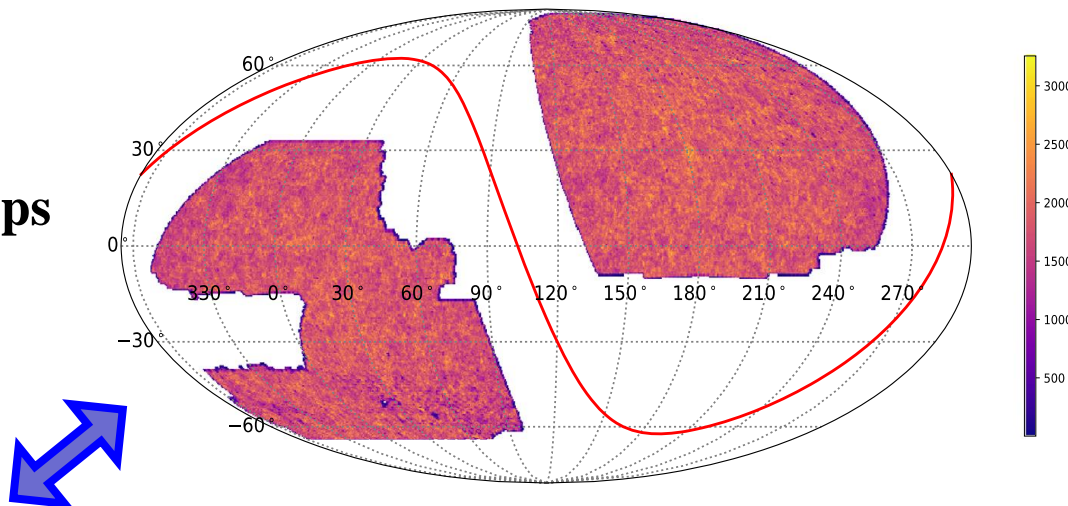


- 概览
- **亮点工作介绍**

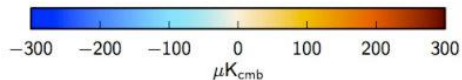
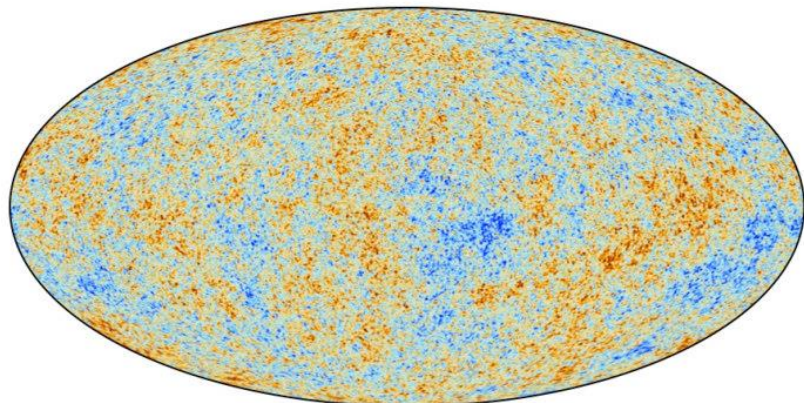
CMB-LSS

Region	Galaxies	Sky coverage	Groups $N_{g \geq 1}$	$N_{g \geq 3}$	$N_{g \geq 5}$	$N_{g \geq 10}$
NGC	67197600	9622	51440885	2626797	835349	193254
SGC	59958088	8601	45416930	2406873	793217	187310

**Galaxy clusters/groups
DESI DR8/DR9**



Planck Collaboration: The *Planck* mission



Planck CMB T map

SZ效应的测量

SZ效应是一种由宇宙大尺度结构造成的微波背景辐射的各向异性，是由自由电子对CMB光子的逆康普顿散射造成的。其主要的信号体现在角分这个尺度上。

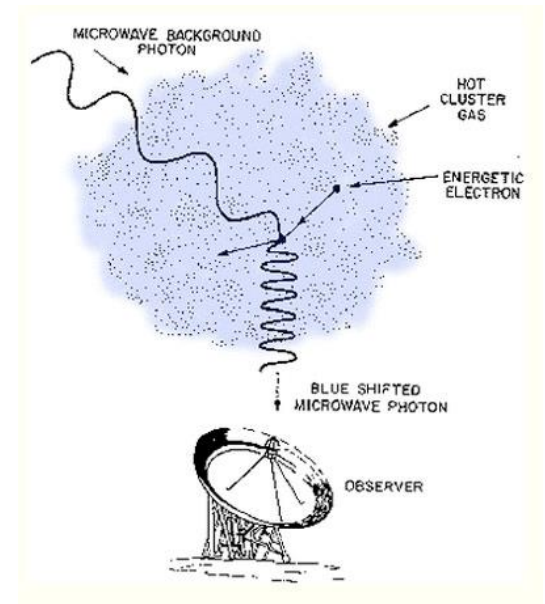
- tSZ效应 (热力学SZ效应, 电子的随机热运动造成)

$$\frac{\Delta T_{\text{tSZ}}}{T_{\text{CMB}}} = g(x)y, \quad y = \frac{\sigma_T}{m_e c^2} \int n_e k_B T ad\chi$$

- kSZ效应 (动力学SZ效应, 电子的整体运动造成)

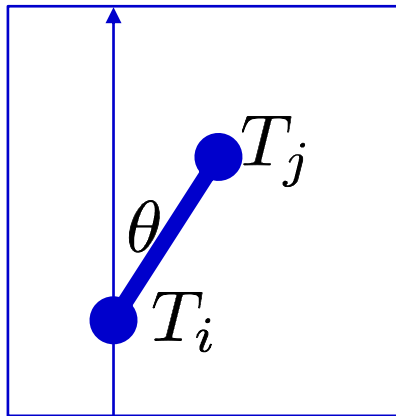
$$\frac{\Delta T_{\text{kSZ}}}{T_{\text{CMB}}}(\hat{\mathbf{n}}) = - \int n_e(\hat{\mathbf{n}}, l) \sigma_T \frac{\hat{\mathbf{n}} \cdot \mathbf{v}}{c} dl$$

- tSZ: biased tracer of ionized baryons, high S/N
- kSZ: unbiased tracer of ionized baryons, but low S/N at the moment



改进的 kSZ 测量方法以提升信噪比且去除噪声

在假设CMB的噪声是高斯随机的前提下，得到了kSZ效应最佳的测量形式：



$$T_{ij}^{\text{theory}} = \hat{T}_{\text{pkSZ}} C_{ij} + \hat{n}_0 + \hat{n}_1 z_{ij}$$

期望的信号
噪声1

↙
↓

↑
↑

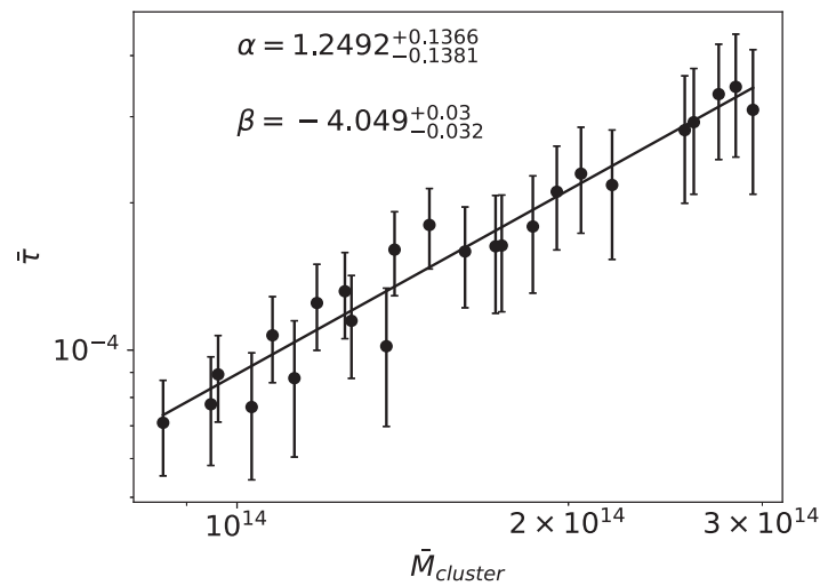
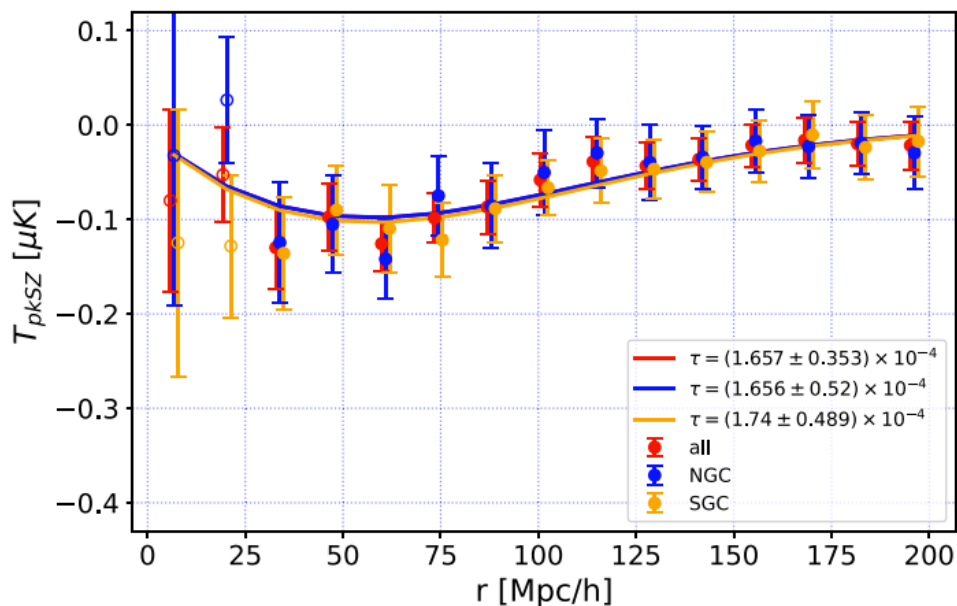
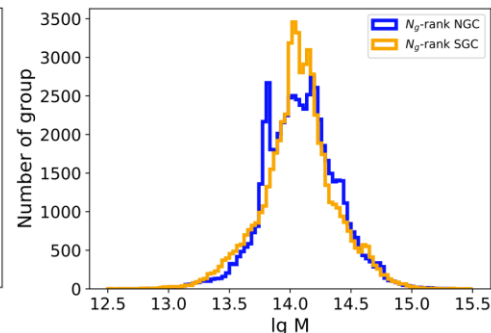
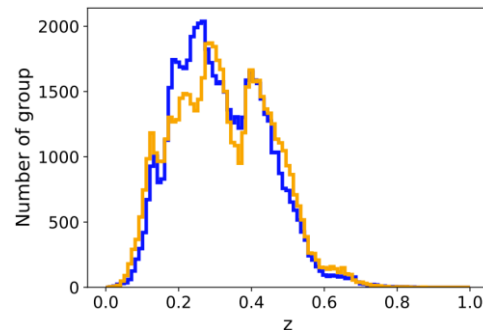
方向依赖性因子
噪声2

$$\mathcal{L} \propto \exp \left[-\frac{1}{2} \sum_{ij} \frac{(T_{ij} - T_{ij}^{\text{theory}})^2}{\sigma_{ij}^2} \right] \rightarrow \begin{pmatrix} \langle C^2 \rangle & \langle CZ \rangle & \langle C \rangle \\ \langle CZ \rangle & \langle Z^2 \rangle & \langle Z \rangle \\ \langle C \rangle & \langle Z \rangle & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{T}_{\text{pkSZ}} \\ \hat{n}_1 \\ \hat{n}_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \langle TC \rangle \\ \langle TZ \rangle \\ \langle T \rangle \end{pmatrix}$$

最大似然法

主要测量结果

- 60,000 高丰度星系团/群 (NGC/SGC)
- 星系团/群质量分布:
 $5 \times 10^{13} - 5 \times 10^{14} M_{\text{太阳}}$
- 红移分布: $z \sim 0.1 - 0.5$

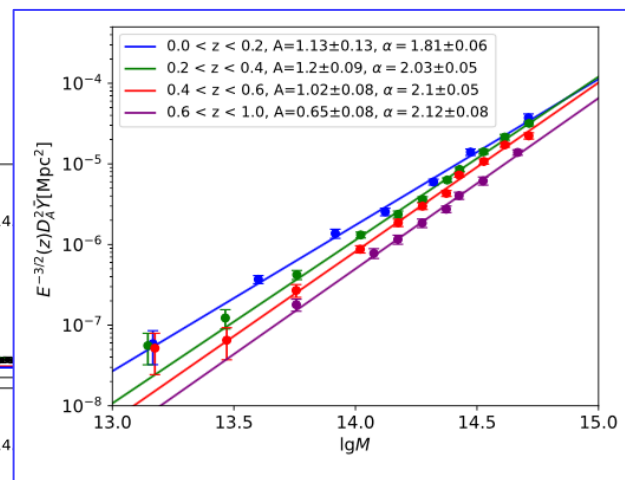
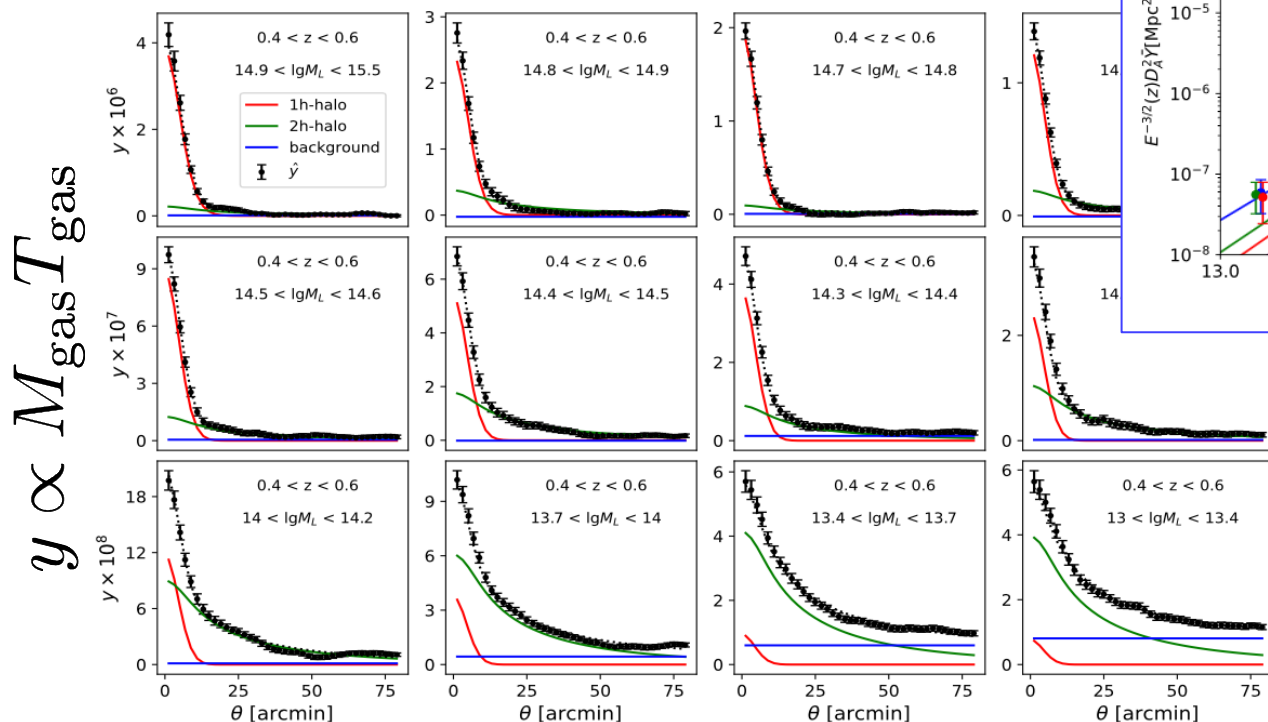


测量到 5σ 左右显著的信号!
光学厚度与星系团的质量近似成正比 (大质量端)

tSZ效应的测量

以高信噪比同时测到了1halo (S/N>60) 和 2halo (S/N>30) 项, 并发现Y-M关系 ($Y \sim M^\alpha$, $\alpha \approx 2$) 比绝热演化的预言 ($\alpha \approx 5/3$) 要更陡

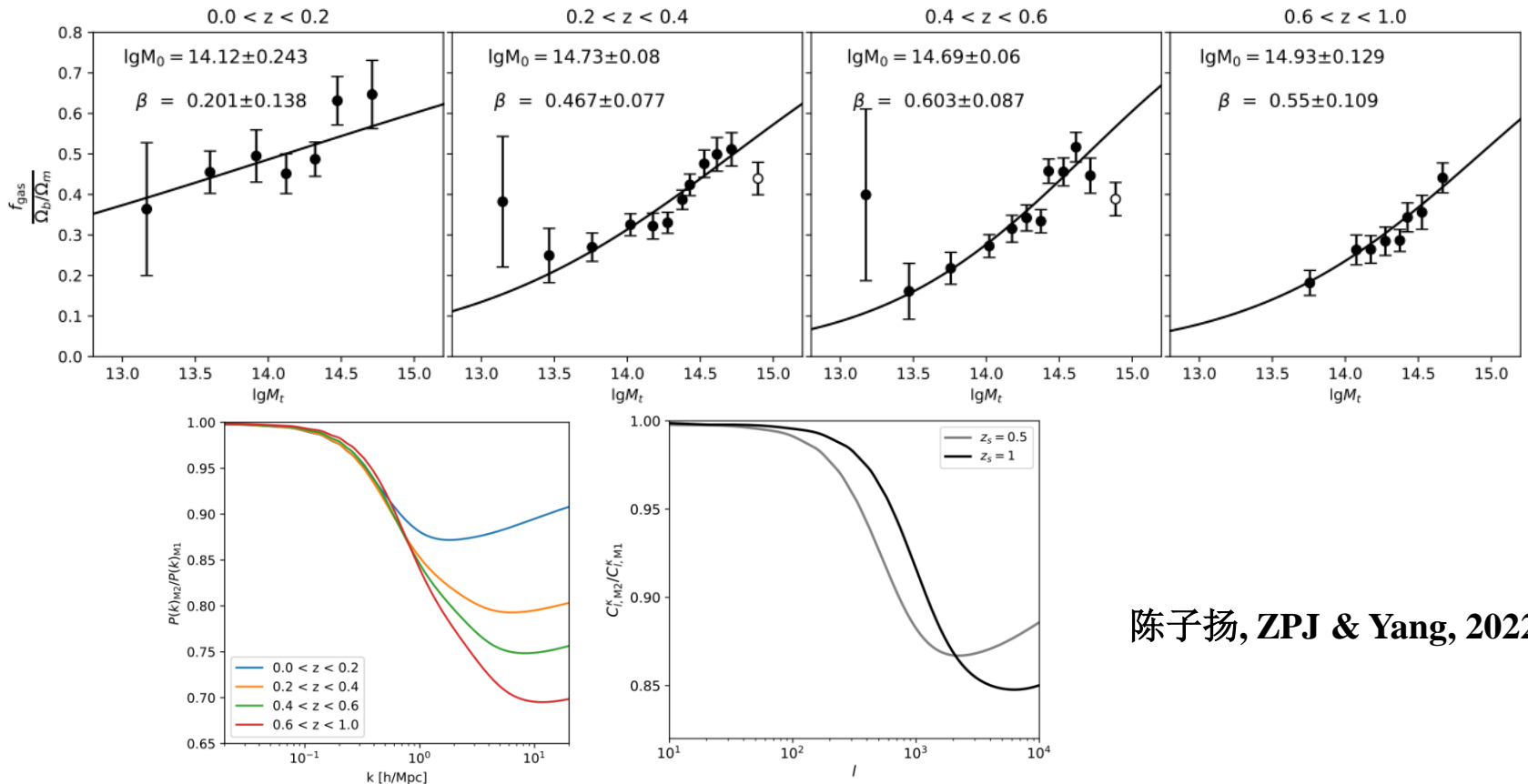
(与我们的kSZ效应测量结果符合)。



$$Y \propto M^\alpha, \alpha \approx 2 \neq \frac{5}{3}$$

用tSZ效应测量暗晕中的气体比例

- 在所有红移上，气体比例随着暗晕质量的减少而变小；
- 气体丢失在 $10^{14}M_{\text{太阳}}$ 达到50%，结果之后被DES Y3 弱引力透镜分析所验证 (A. Chen+, 2206.08591)；
- 计算了重子物理反馈对弱引力透镜的影响，发现对物质功率谱的压低在1 Mpc/h的尺度上达到约10%， $\sim 10\%$ at $k=1$ Mpc/h ($\sim 10\%$ at $l=1000$)。



陈子扬, ZPJ & Yang, 2022

暗能量的探针

不同暗能量探针对暗能量的敏感度不一样:

➤ $H(z)$: BAO, SNe Ia, lensing ratio

$$H^2(a) = \Omega_m a^{-3} + \Omega_{\text{DE}} e^{-3 \int_a^1 (1+w) da/a} + \Omega_K a^{-2}$$

• Integral of H, less sensitive

➤ Density/velocity growth rate: weak lensing, cluster abundance, redshift distortion, (direct) peculiar velocity.

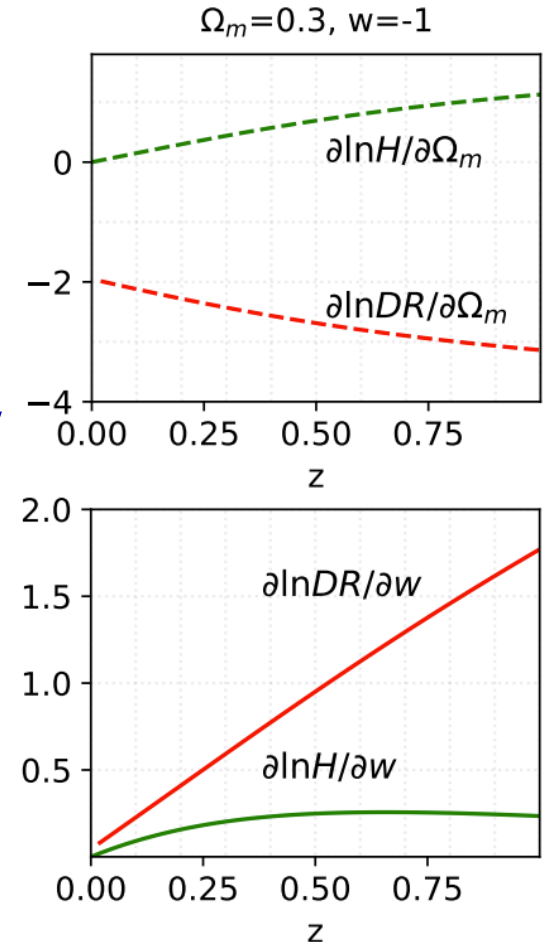
$$\delta'' + \frac{\delta'}{a} \left(\frac{H' a}{H} + 3 \right) - \frac{\delta}{a^2} \left(\frac{3\Omega_m H_0^2}{2H^2 a^3} \right) = 0$$

• Extra sensitivity to dH/da

➤ Decay rate of gravitational potential:

$$\dot{\psi}$$

• Much more sensitive to dark energy than other probes



Integrated Sachs-Wolfe (ISW) 效应

$$\frac{\Delta T}{T} \Big|_{\text{ISW}} = \int 2\dot{\psi} dt \quad \psi \propto \frac{\delta}{a}$$

- ISW 在一个平坦且只有物质的广义相对论宇宙里为零.
- 探测到ISW效应意味着探测到
 - 暗能量
 - (或) 修改引力理论
 - (或) 空间曲率
- 非常小的CMB信号, 非常难测量, S/N从WMAP时代以来一直很低
- 但是, 因为ISW直接敏感于暗能量的存在, 所以即使是低S/N仍旧可以对暗能量的限制有显著的贡献!

利用ISW效应限制暗能量性质

结合星系与CMB透镜场 κ 的关联函数以及ISW效应与星系的关联函数，首次直接测得引力势的衰减速率 (3.3σ)，提升了目前对暗能量丰度和其状态方程的限制 (董符煜+ 2022)。

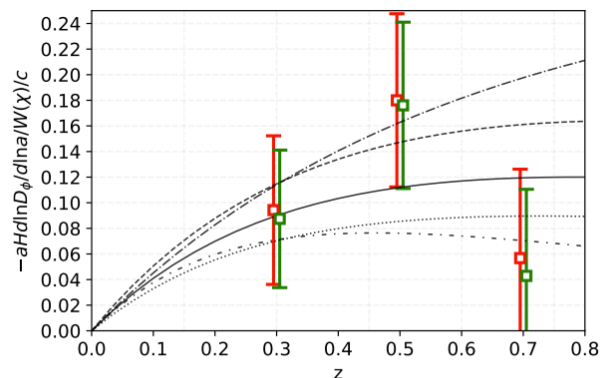
$$\frac{\Delta T}{T} \Big|_{\text{ISW}} = \int 2\dot{\psi} dt \quad \kappa = \int \nabla^2 \psi W_L dz$$

× galaxies

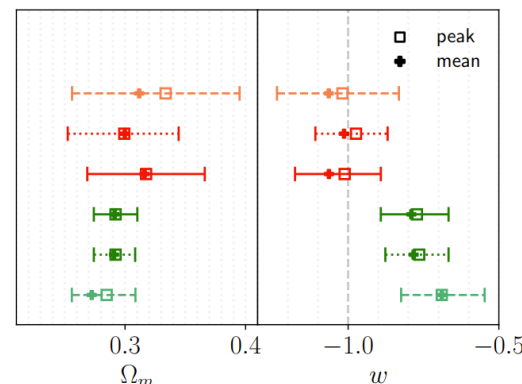
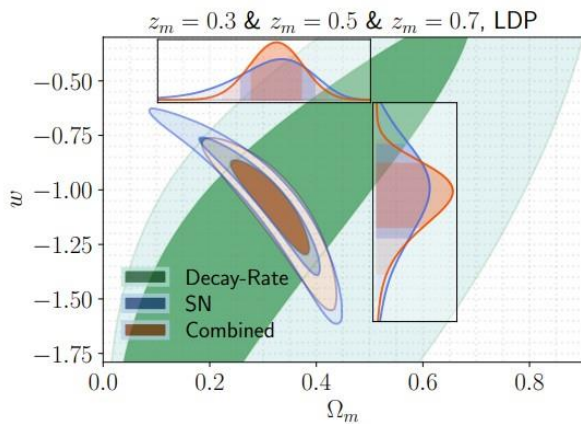
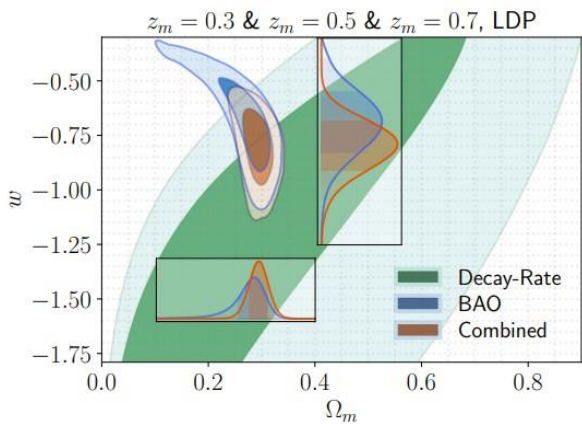
× galaxies

$$C_{I_g}(\ell) \simeq DR(z) C_{\phi g}(\ell)$$

$$DR(z) = \left(-\frac{d \ln D_\phi}{d \ln a} \right) \left(\frac{aH(z)/c}{W_L(z)} \right)$$



- - - $\Omega_m=0.2, w=-1$ - - - $\Omega_m=0.3, w=-0.6$ \square LDP
 — $\Omega_m=0.3, w=-1$ ··· $\Omega_m=0.3, w=-1.4$ \square galaxy
 ····· $\Omega_m=0.4, w=-1$

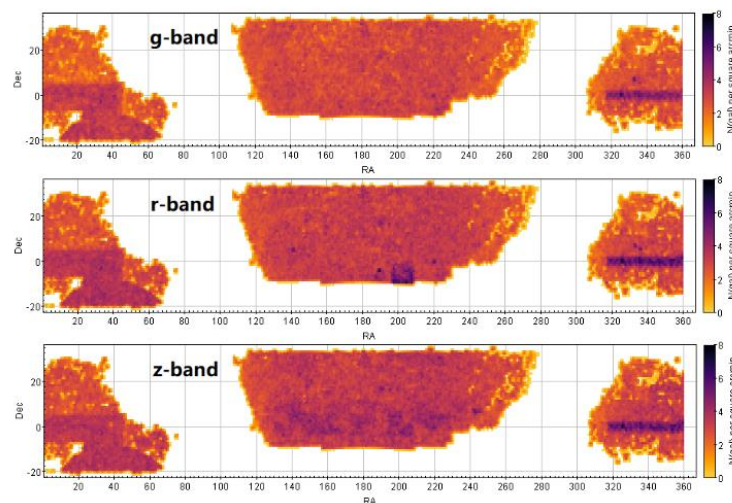
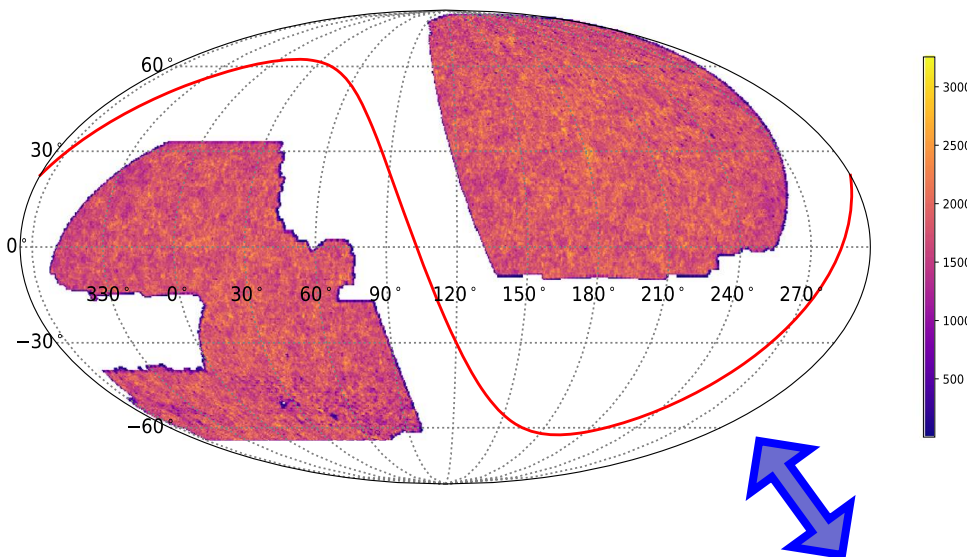


\square peak \bullet mean
 \square SN \square SN+DR(|DEC| > 30°) \square BAO
 \square SN+DR \square BAO+DR(|DEC| > 30°) \square BAO+DR

Lensing-LSS

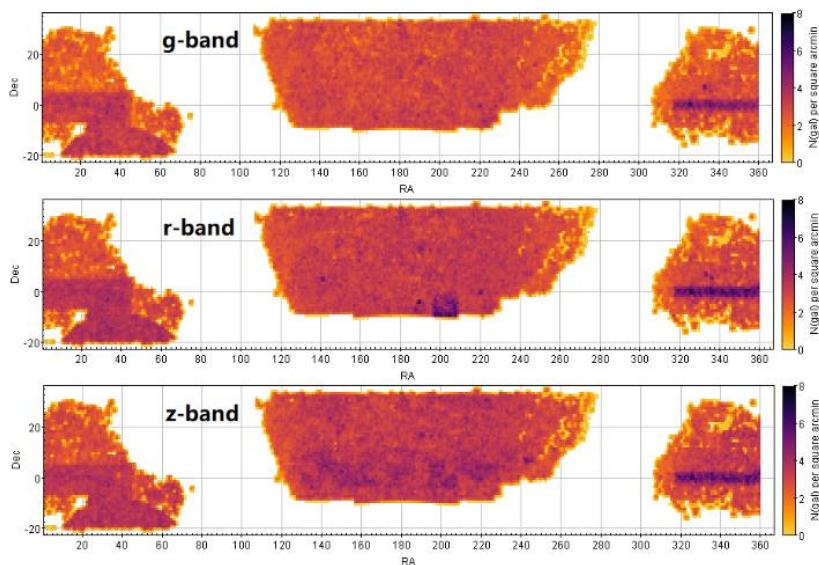
Region	Galaxies	Sky coverage	Groups $N_g \geq 1$	$N_g \geq 3$	$N_g \geq 5$	$N_g \geq 10$
NGC	67197600	9622	51440885	2626797	835349	193254
SGC	59958088	8601	45416930	2406873	793217	187310

Galaxy clusters/groups
DESI DR8/DR9

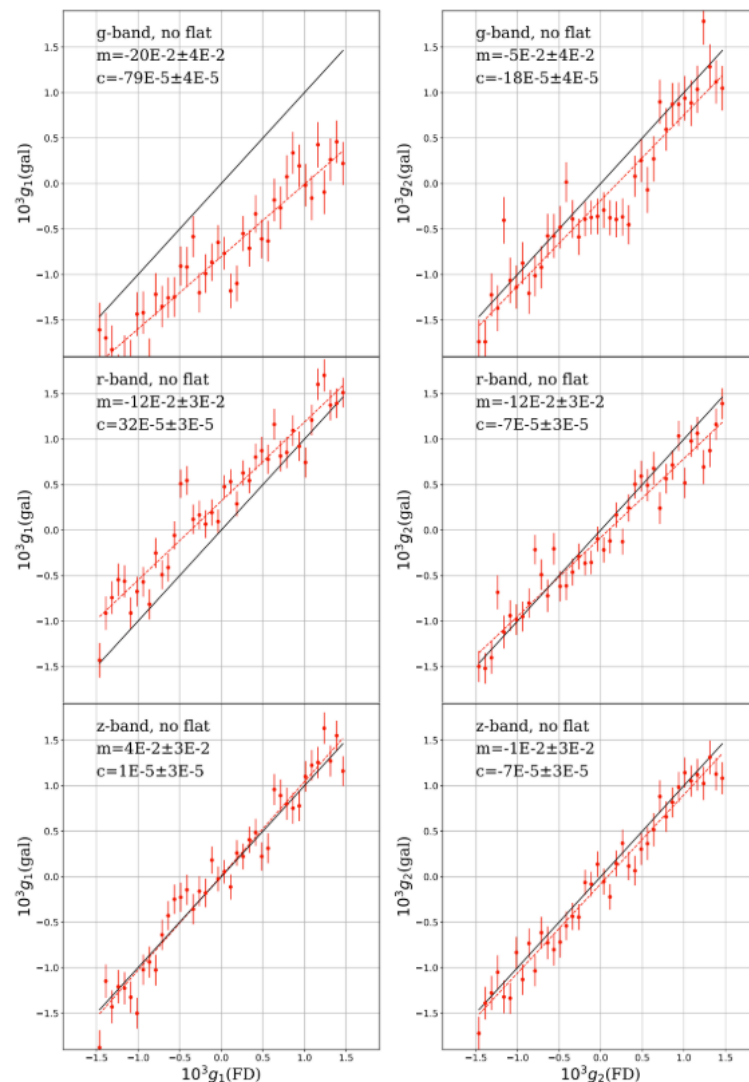


Cosmic Shear Catalog

完成了DECaLS巡天在三个波段图像的剪切信号测量

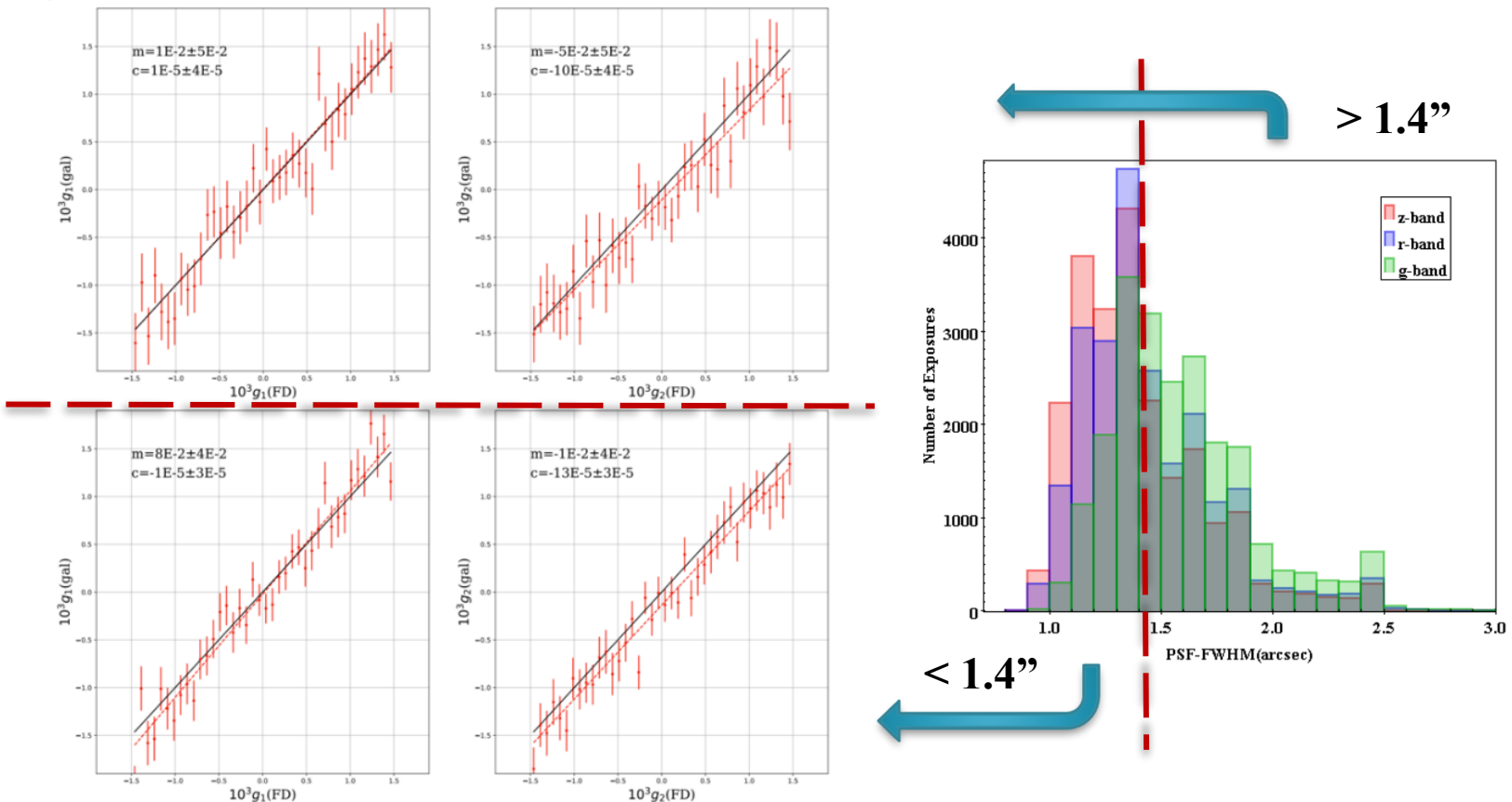


完成了三个版本的DECaLS巡天在g/r/z三个波段超过一万平方度的剪切信号测量，其中r和z波段的图像质量较好，通过了像场畸变检验。这批数据每平方角分的星系数量有4 - 5个左右。



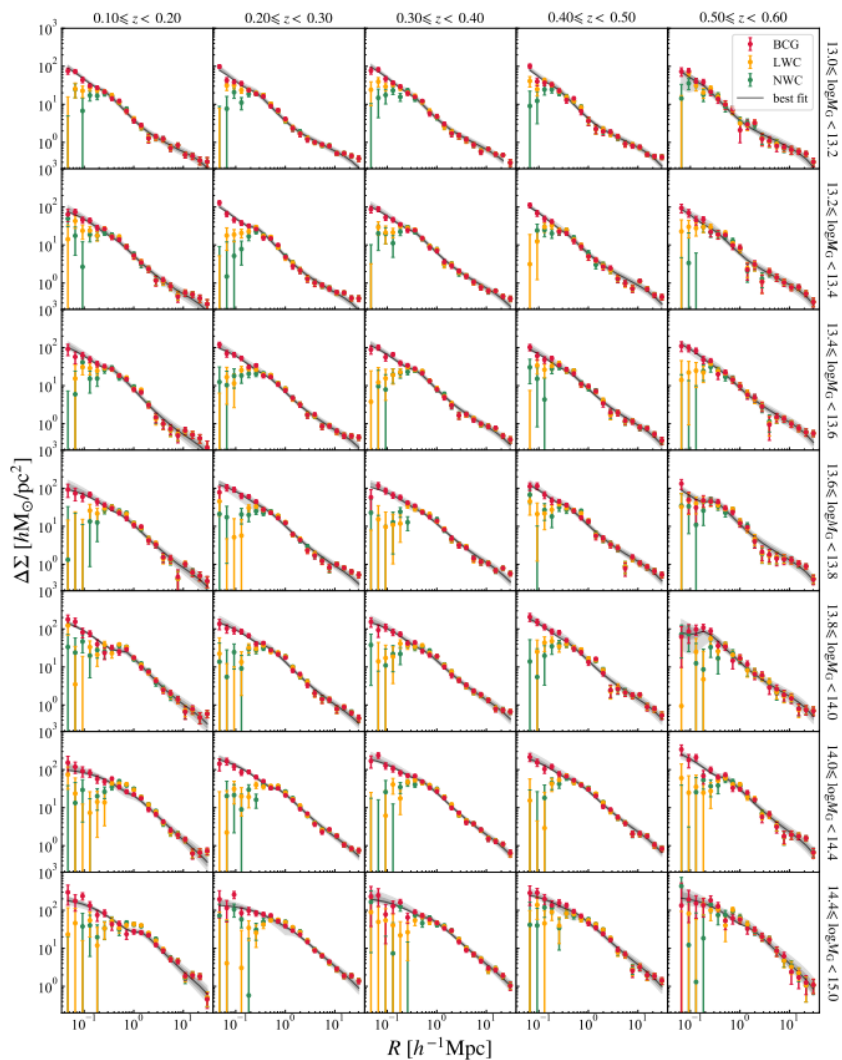
验证了Fourier_Quad方法在视宁度较差的情况下的测量精度

此次完成的DECaLS巡天数据的视宁度较差，这主要是因为DECaLS巡天的主要科学目标是为DESI项目选源，而不是弱引力透镜效应测量。然而，我们的Fourier Quad方法的有效性并不敏感于视宁度。我们对DECaLS图像所对应的PSF大小按1.4角秒为界进行区分，证实了Fourier_Quad的有效性不受视宁度的影响。

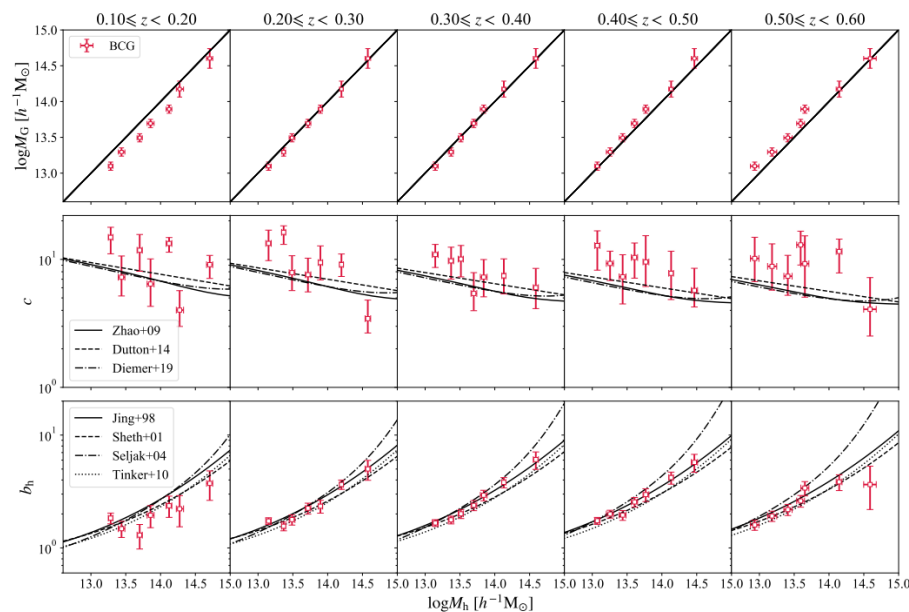


利用DECaLS弱透镜目录测量暗物质晕性质

质量函数, c-M关系, b-M关系 (结果与基于LCDM的理论预言符合得很好)



$$\begin{aligned} \Delta\Sigma(R) &= P_{cen} \cdot \Delta\Sigma_{NFW} \\ &+ (1 - P_{cen}) \cdot \Delta\Sigma_{NFW}^{mis} \\ &+ \Delta\Sigma_{2h} \end{aligned}$$

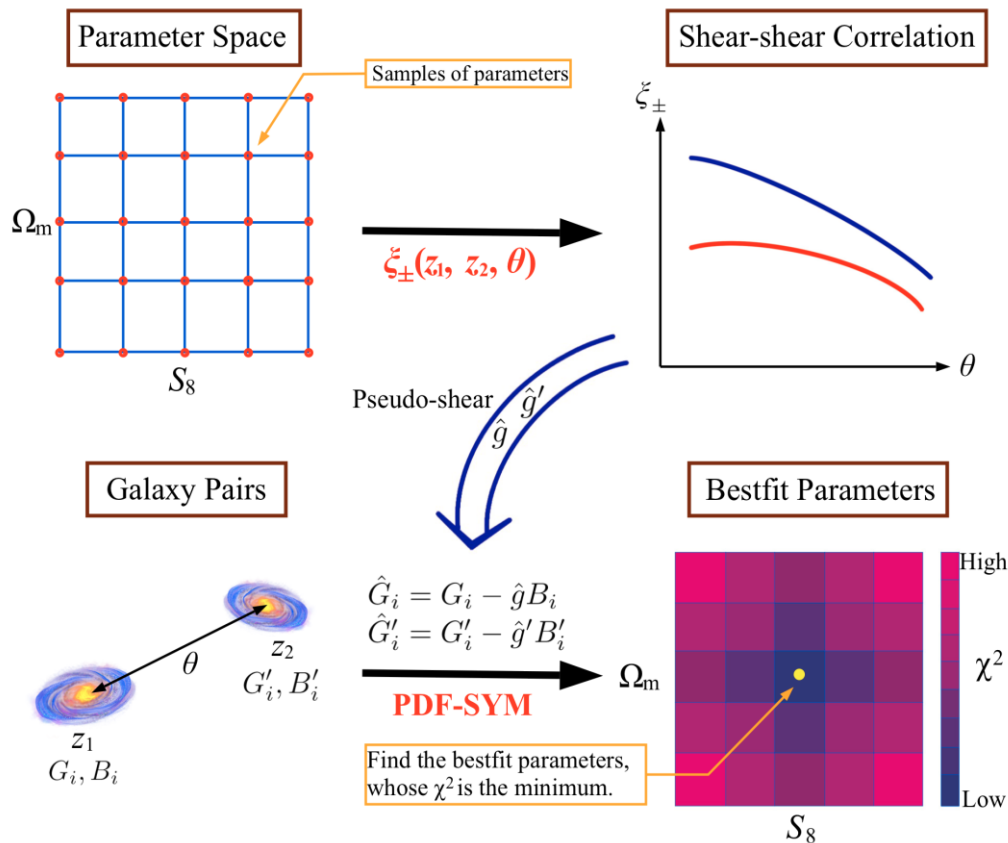


2D Shear-Shear Correlation



刘珍洁

Parameters: S_8 , Ω_m , A_{IA} , R
(ratio between data and Planck results)



Baseline constraints

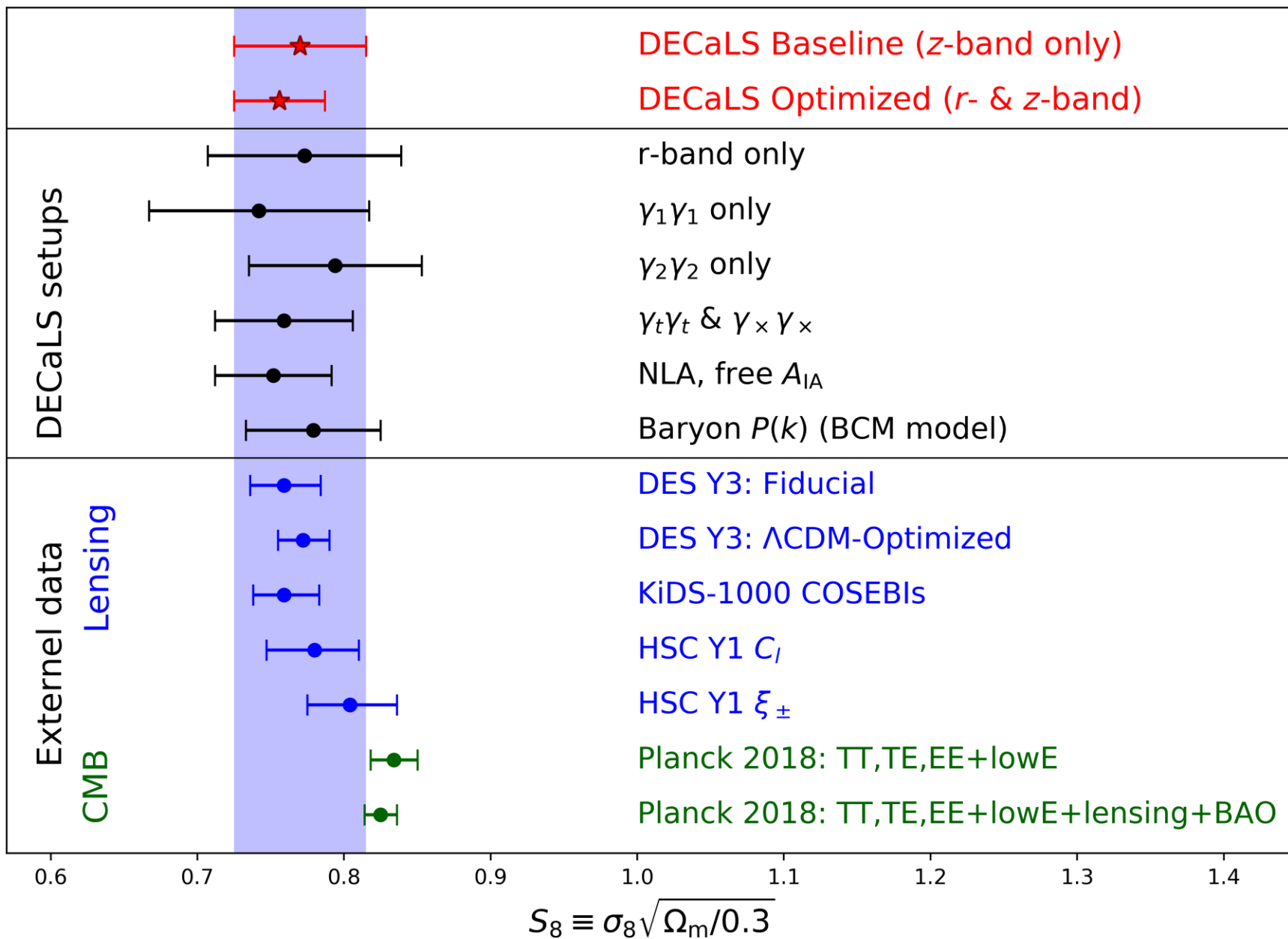
	G_1	G_2	$G_1 \cup G_2$
S_8	0.75 ± 0.08	0.81 ± 0.06	0.78 ± 0.05
Ω_m	0.31 ± 0.31	0.23 ± 0.24	0.26 ± 0.14
R	0.79 ± 0.18	0.93 ± 0.17	0.87 ± 0.13

Constraints using rotated shear estimators

	G_t	G_x	$G_t \cup G_x$
S_8	0.76 ± 0.05	0.76 ± 0.12	0.74 ± 0.06
Ω_m	0.25 ± 0.18	0.37 ± 0.18	0.29 ± 0.18

Constraints considering intrinsic alignment

	G_1	G_2	$G_1 \cup G_2$
S_8	0.76 ± 0.10	0.68 ± 0.08	0.75 ± 0.11
Ω_m	0.32 ± 0.29	0.26 ± 0.15	0.27 ± 0.14
A_{IA}	0.1 ± 1.5	-1.8 ± 1.4	-0.4 ± 1.8





谢谢各位专家！

