

کند و کاو درباره کرانش با استفاده از ساختارهای کیهانی
با همکاری:

سعید توسلی، فرهنگ حبیبی، رویا مهبانی و جوزف سیلک

“Unraveling the nature of gravity through our clumpy Universe”

Gravity Foundation award 2014-Honorable mention

Will be appear in special issue of gravity 2014- IJMPD

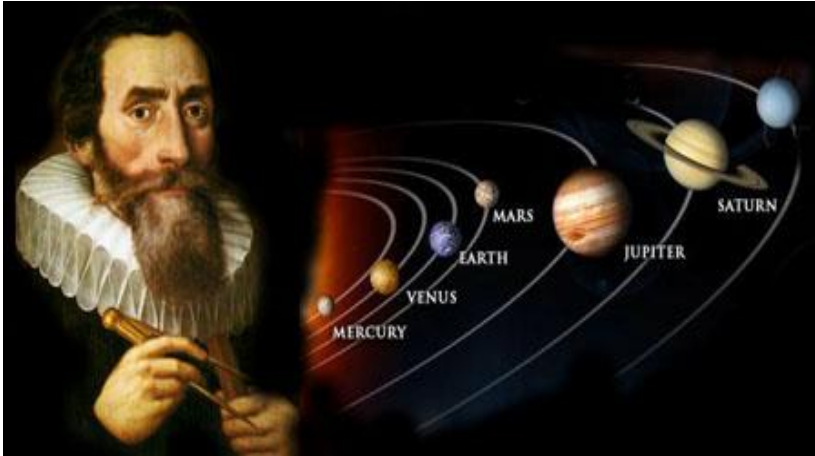
شانت باغرام

پژوهشگر نجوم پژوهشگاه دانش‌های بنیادی - کنفرانس بهار فیزیک ۹۳

Rogelio Bernal Andreo
DeepSkyColors.com

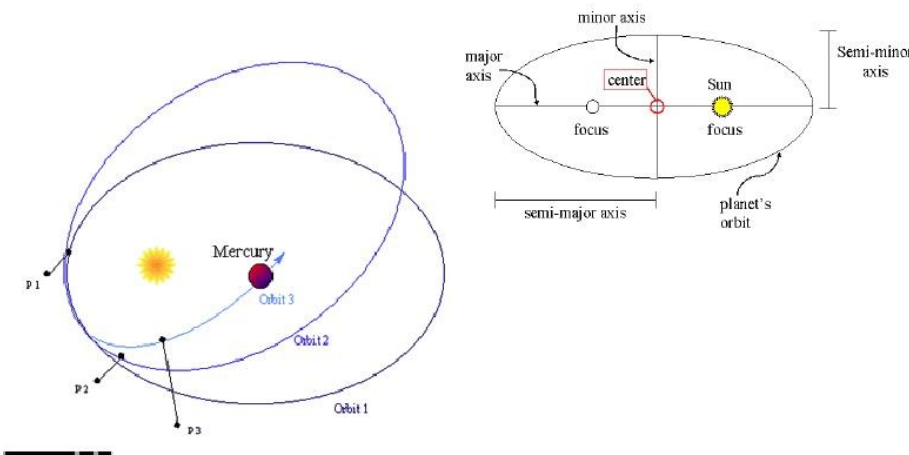
منظومه شمسی آزمایشگاه کُرانش

- قوانین کپلر و گرانش جهان شمول نیوتنی



© <http://cosmologybus.typepad.com>

- حضیض عطارد و نسبیت عام
دقت ۴۳ ثانیه قوسی در قرن



$$d_{\text{SolarSystem}} \approx 30 \text{ AU}$$

© <http://astrosun2.astro.cornell.edu/>

M 101



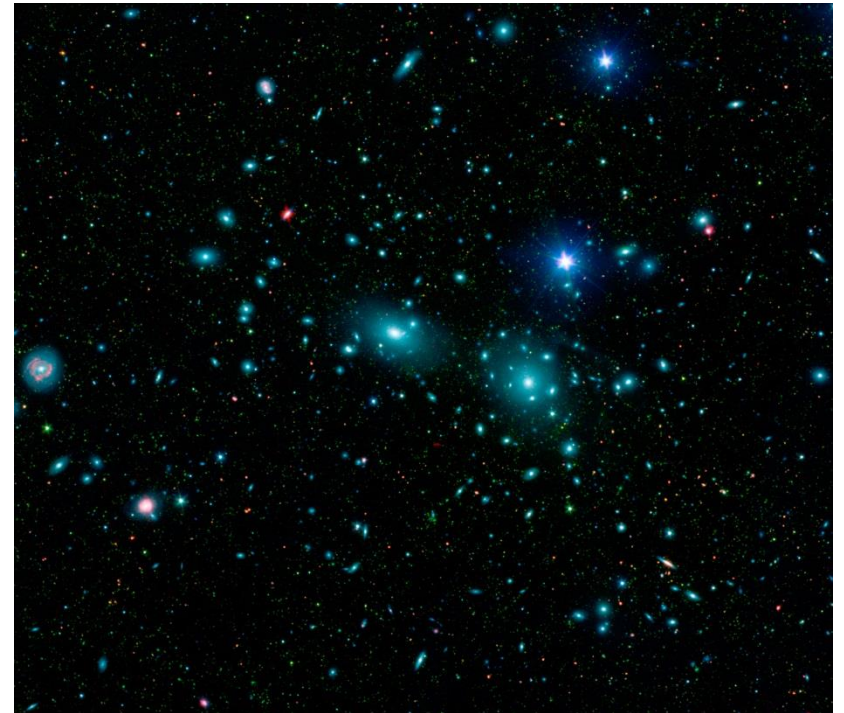
© NASA/JPL-Caltech/GSFC/SDSS

$$d_g \approx 30 \text{ kpc} \sim 10^7 d_{\text{SolarSystem}}$$

کرانش در مقیاس کهکشانی و خوشه کهکشانی

$$d_{cg} \approx 3 \text{ Mpc} \sim 10^9 d_{\text{SolarSystem}}$$

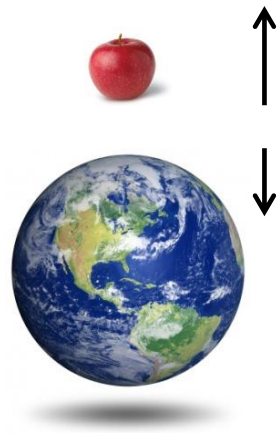
Coma Cluster



©: NASA/JPL-Caltech/GSFC/SDSS

$1 \text{ pc} \sim 3.2 \text{ lyr}$

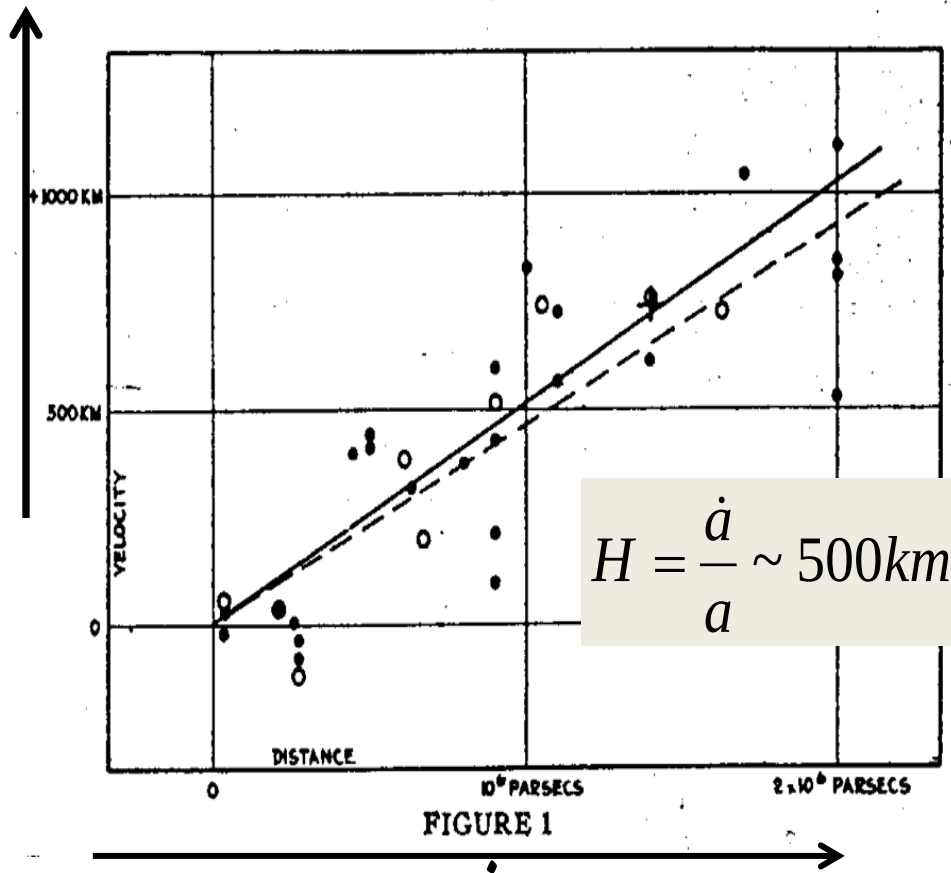
$z = \frac{1}{a} - 1 \sim \frac{v}{c}$



انبساط و نسیت عام

• ستاره های قیفاووسی: شمع های استاندارد

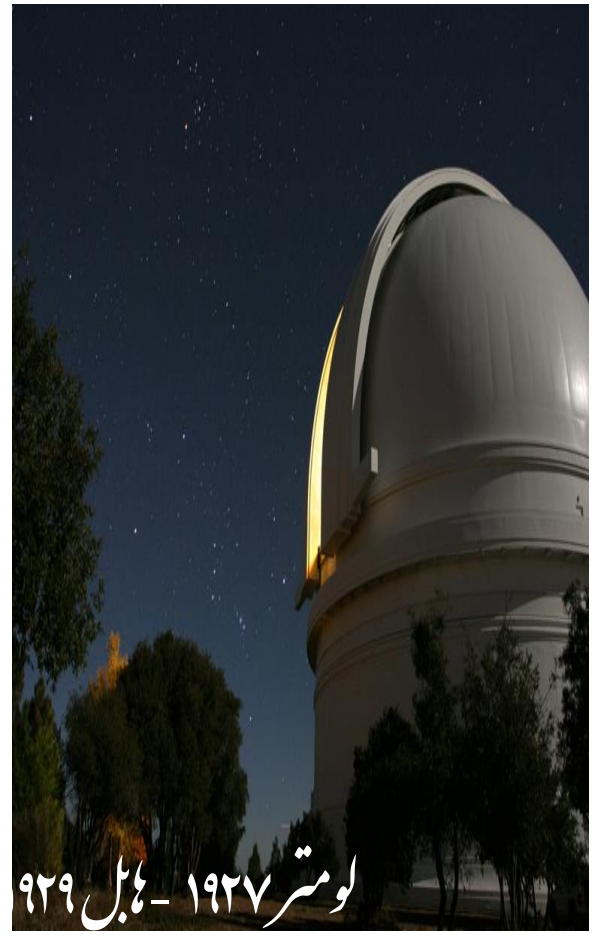
سرعت: انتقال به سرخ



$H = \frac{\dot{a}}{a} \sim 500 \text{ km / s / Mpc}$

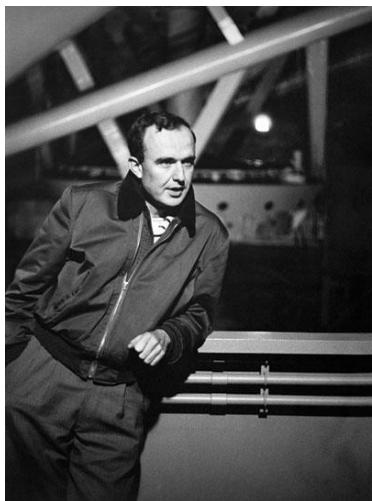
FIGURE 1

فاصله



لومتر ۱۹۲۷ - ۹۳۹

Mount Wilson Observatory, Pasadena, California



اندازه گیری فواصل در کیهان

$$H = \frac{\dot{a}}{a}, q = -\frac{\ddot{a}}{a\dot{a}}$$

• کیهان شناسی علم اندازه گیری دو کیمت است

آلن سانداثر-۱۹۲۶-۲۰۱۰



Photo: Lawrence Berkeley National Lab

Saul Perlmutter



Photo: Belinda Pratten, Australian National University

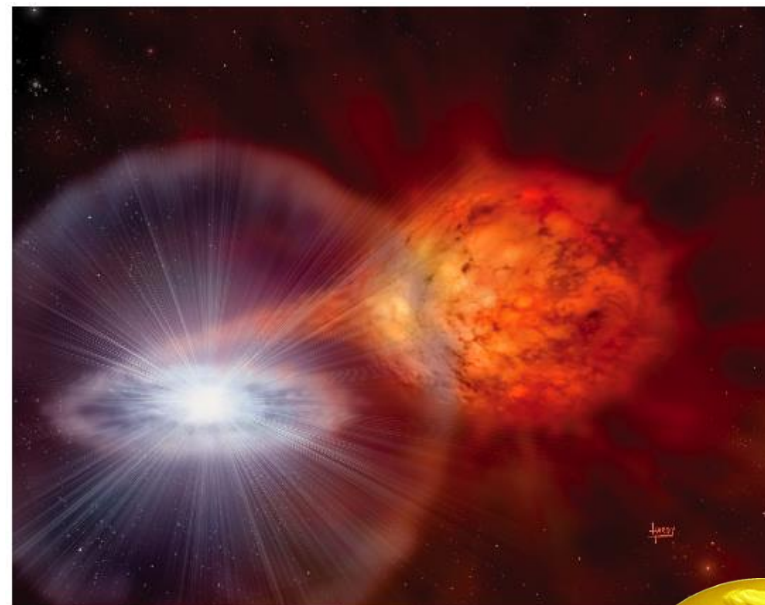
Brian P. Schmidt



Photo: Scanpix/AFP

Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011 was awarded "for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant *supernovae*" with one half to Saul Perlmutter and the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess.



Artist's rendition of a white dwarf accumulating mass from a nearby companion star. This type of progenitor system would be considered to degenerate.

Image courtesy of David A. Hardy, © David A. Hardy/www



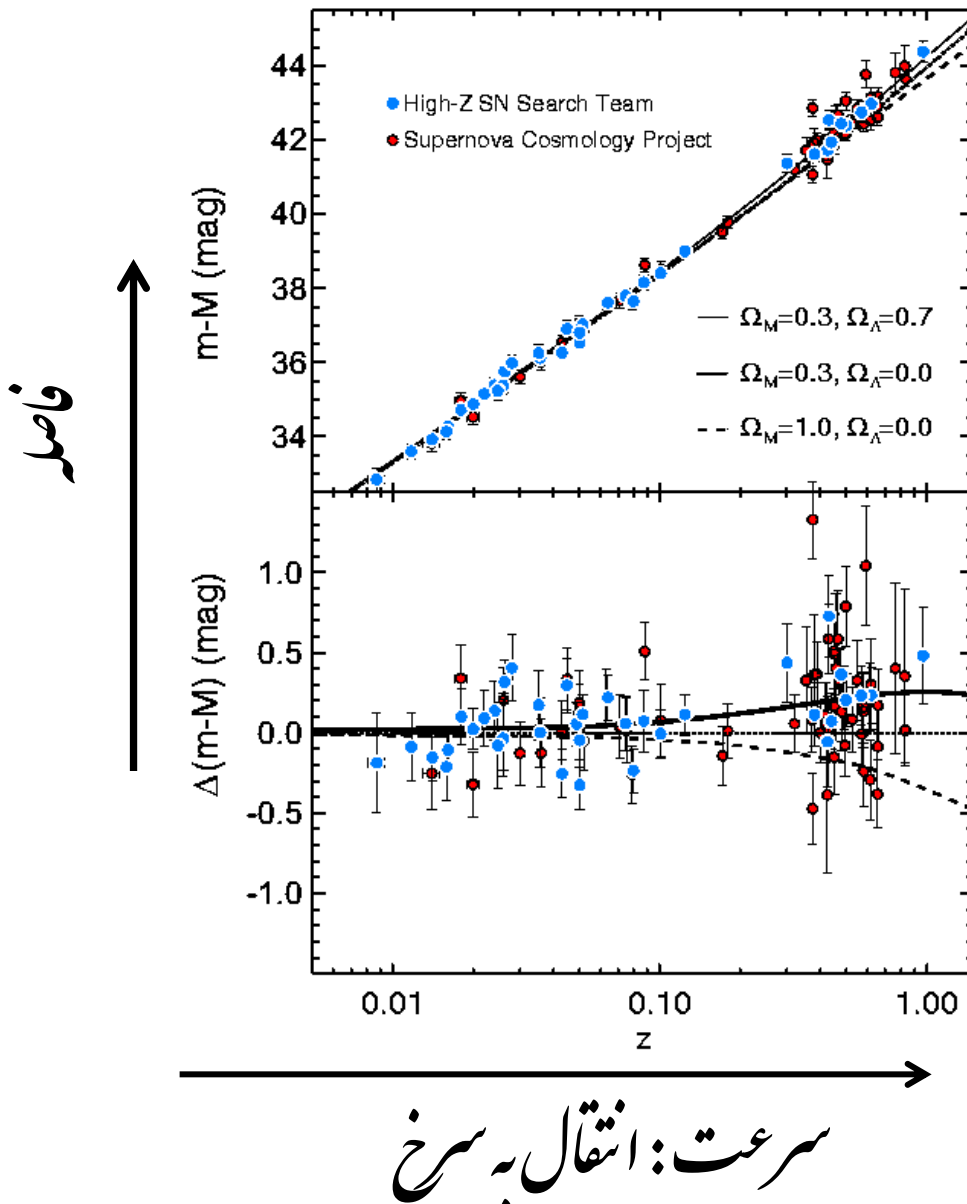
Adam Riess et al. Astron.J. 116 (1998) 1009-1038 (H-z)
Perlmutter et al. Astrophys.J. 517 (1999) 565-586 (SCP)

انرژی تاریک

• در تقریب اول انرژی با چگالی یکنواخت و ثابت

• رفتار گرانشی دافه!!!

• مقیاس انرژی به اندازه $10^{-3} eV$



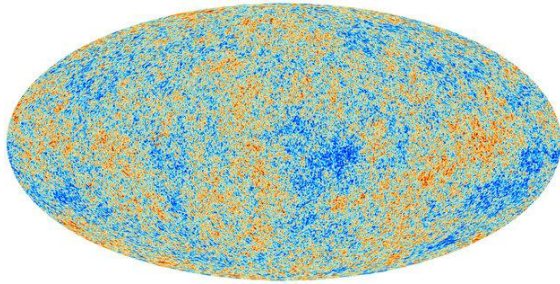
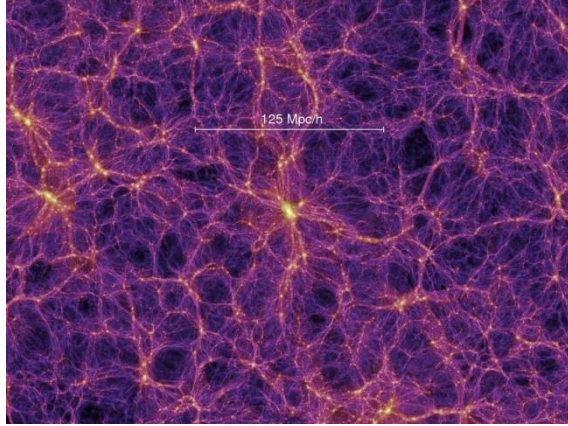
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p)$$

Approach these results not with your heart or head but with your eyes.

We are observers after all!"

Adam Riess 1998: Email communication before publishing the results

مدل استاندارد کیهان شناسی



• کیهان را با پارامتر می توان توضیح داد:

$$\Omega_b \sim 0.05 \pm 0.02$$

• باریون ها

$$\Omega_c \sim 0.31 \pm 0.02$$

• ماده تاریک

$$\Omega_\Lambda \sim 0.68 \pm 0.02$$

• انرژی تاریک

$$A \sim 10^{-10} + \dots$$

• دامنه اختلالات

$$n_s \sim 0.9616 \pm 0.0094$$

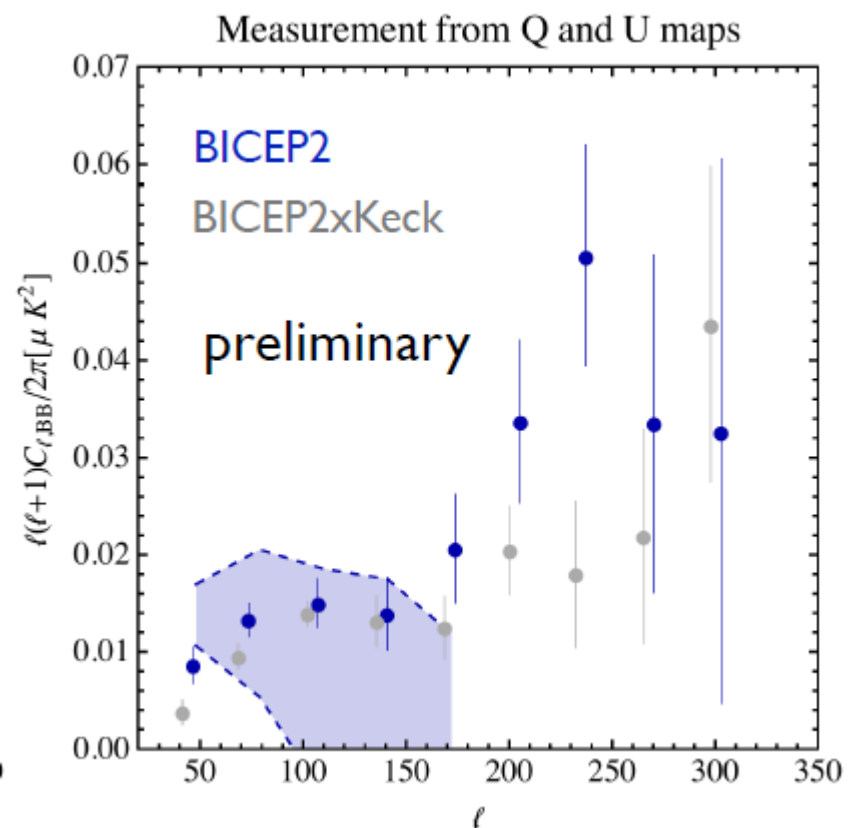
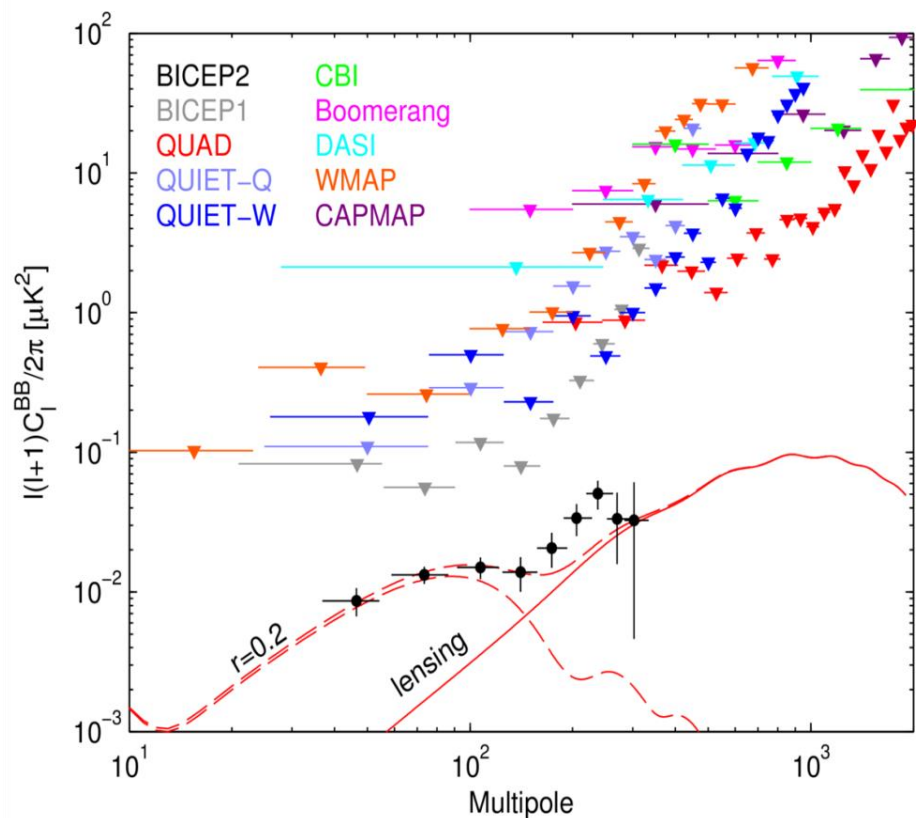
$$H_0 \sim 67.1 \pm 1.4 \text{ km / s / Mpc}$$

• بستگی به مقیاس

نسبت عام + اصل کیهان شناخت + شرایط اولیه (اسکالر + ...)



۷ پارامتر-شایعات و شبکه های اجتماعی؟!



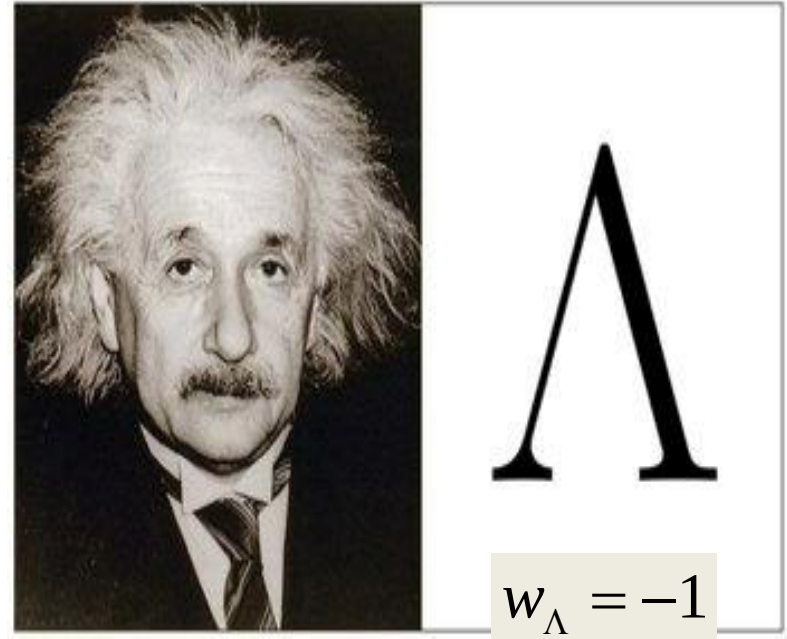
انرژی تاریک و چالش های آن برای کیهان شناسی مدرن

اصل کیهان شناخت + نسیت عام + ماده تاریک و باریونی

انرژی تاریک و چالش های آن برای کیهان شناسی مدرن

اصل کیهان شناخت + نسیت عام + ماده تاریک و باریونی

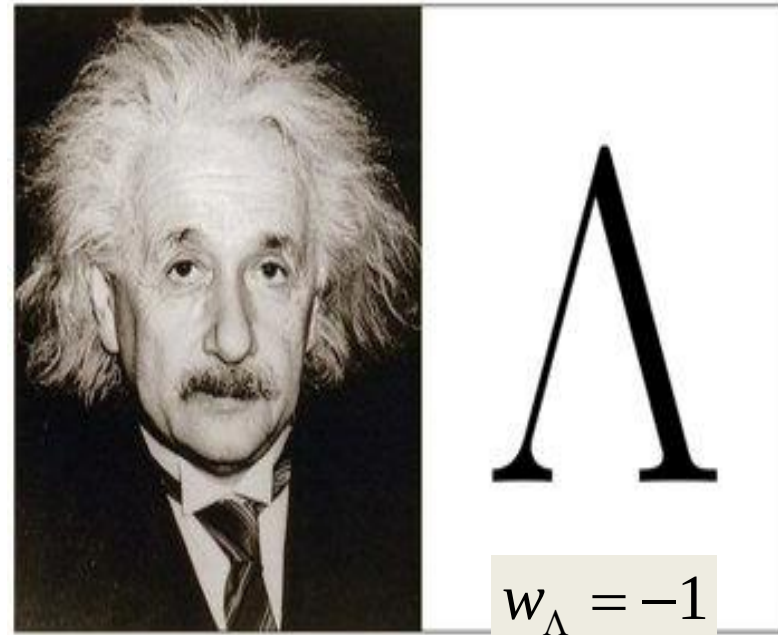
مسئله ثابت کیهان شناسی (قدیم و جدید)



انرژی تاریک و چالش های آن برای کیهان شناسی مدرن

اصل کیهان شناخت (کیهان ناممکن؟) + نسیت عام + ماده تاریک و باریونی (کویتنس؟)

مسئله ثابت کیهان شناسی (قدیم و جدید)



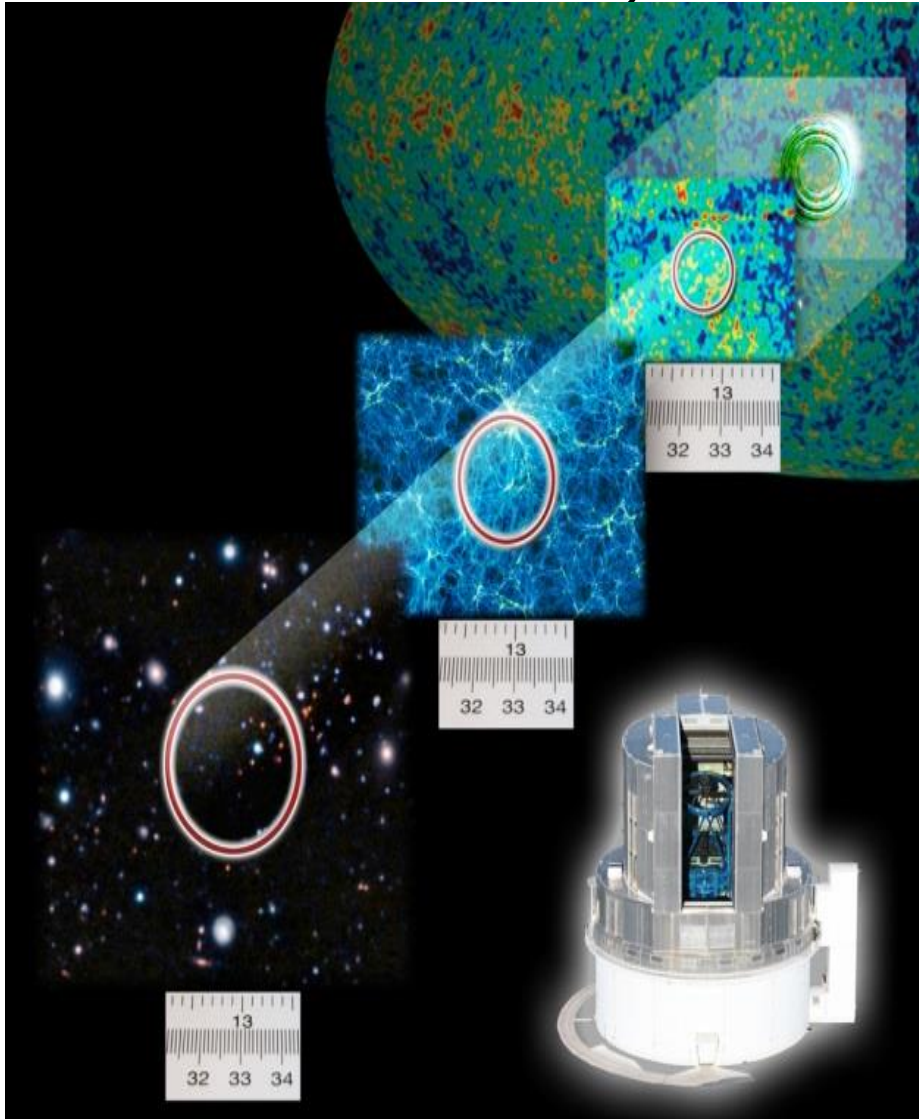
$$w_{DE} = \frac{p_{DE}}{\rho_{DE}} < -\frac{1}{3}$$

$$w_{DE} = w_0 + w_a \frac{z}{1+z}$$

چگونه نسبت عام رادیکهان شناسی بیازماییم؟

مشاهدات هندسی

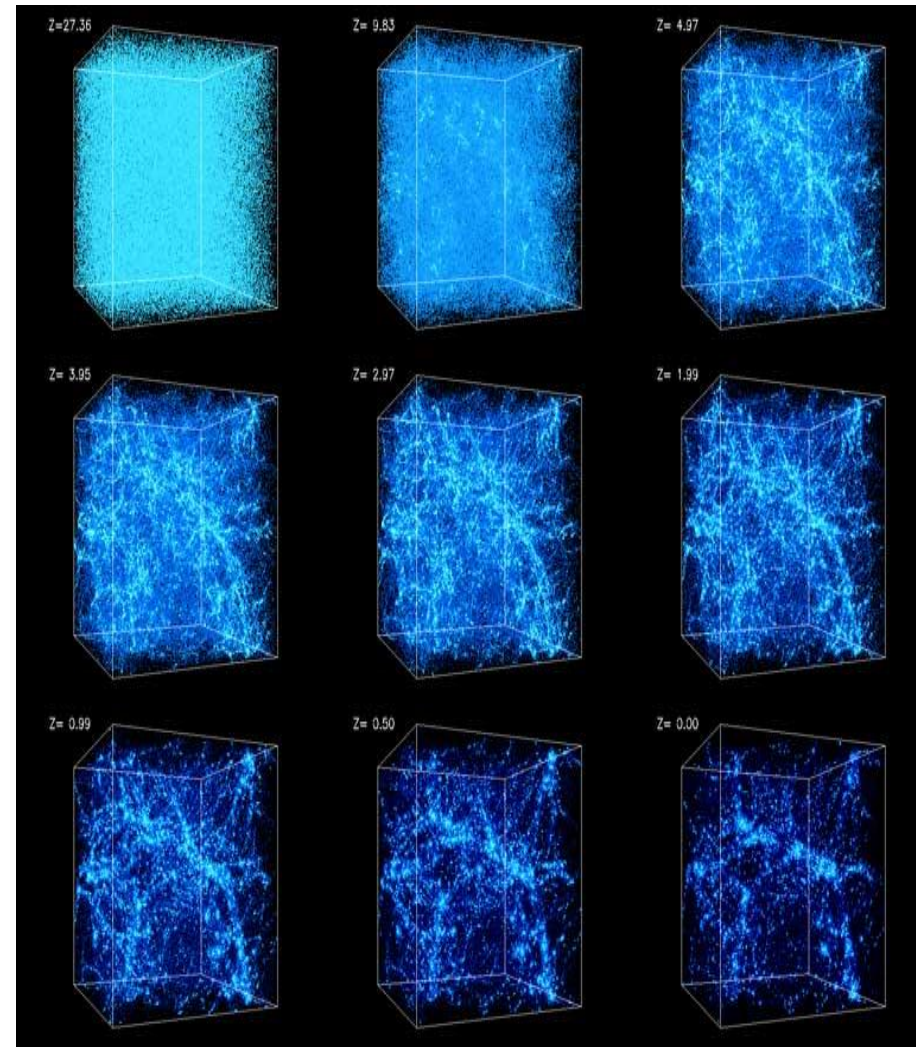
- ابر نو اخترها
- نوسانات اکوستیکی باریون ها
- مکان قله اول تابش پس زمینه کیهانی



چگونه نسبت عام را در کیهان شناسی بیازماییم؟

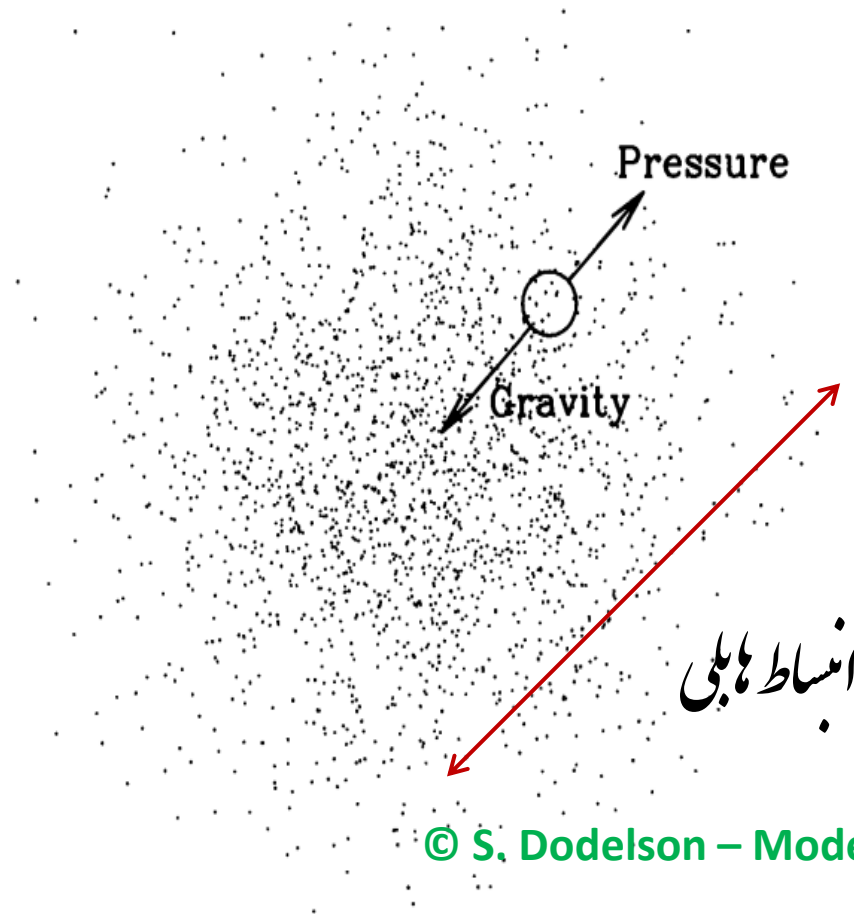
مشاهدات دینامیکی

- طیف توان تابش پس زمینه کیهان
- رشد ساختارها در کیهان
- طیف توان ماده در کیهان
- همگرایی گرانشی کیهانی



انبساط تند شونده کیهان فرصتی برای درک کرائش

$$\ddot{\delta} + [H(\text{background})]\dot{\delta} + [\text{pressure} - \text{gravity}]\delta = 0$$



نسبت عام

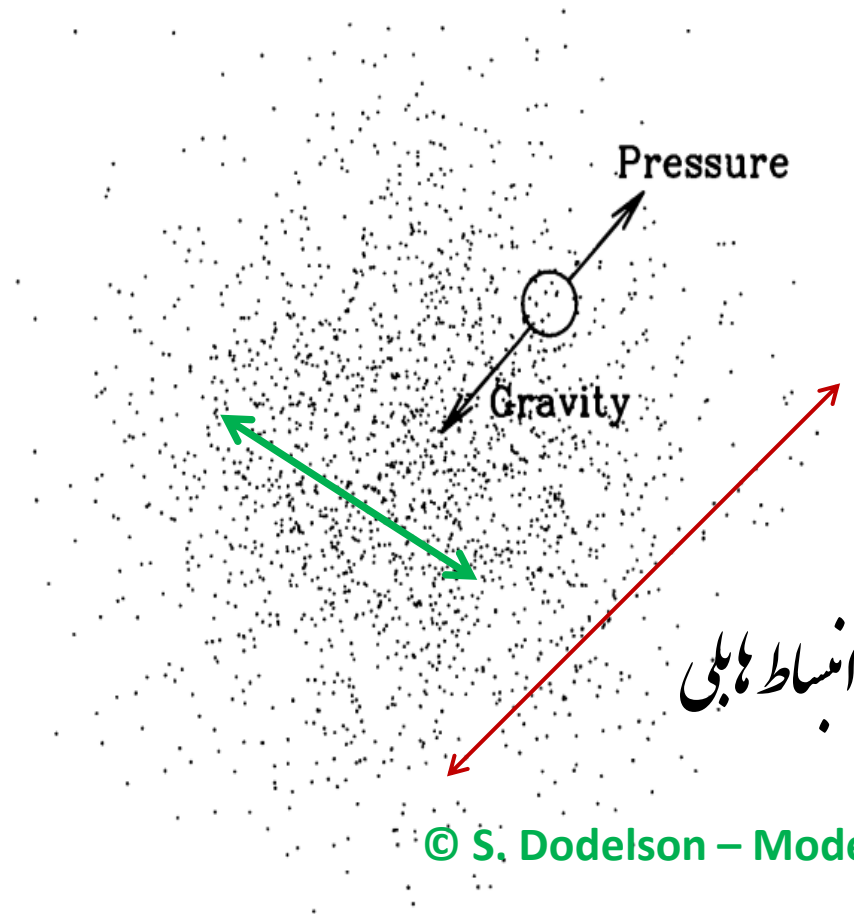
- ۴ بعد
- متریک تنها میدان گرانش است
- معادلات حرکت درجه ۲ برای متریک
- ناوردایی diffeomorphism
- موضعی

تغییر هر یک از فرض های فوق پارامتر جدید تعریف می کند!
مقیاس خاص در رشد ساختار ها !

انبساط تند شونده کیهان فرصتی برای درک کرانش - انحراف از نسیت عام

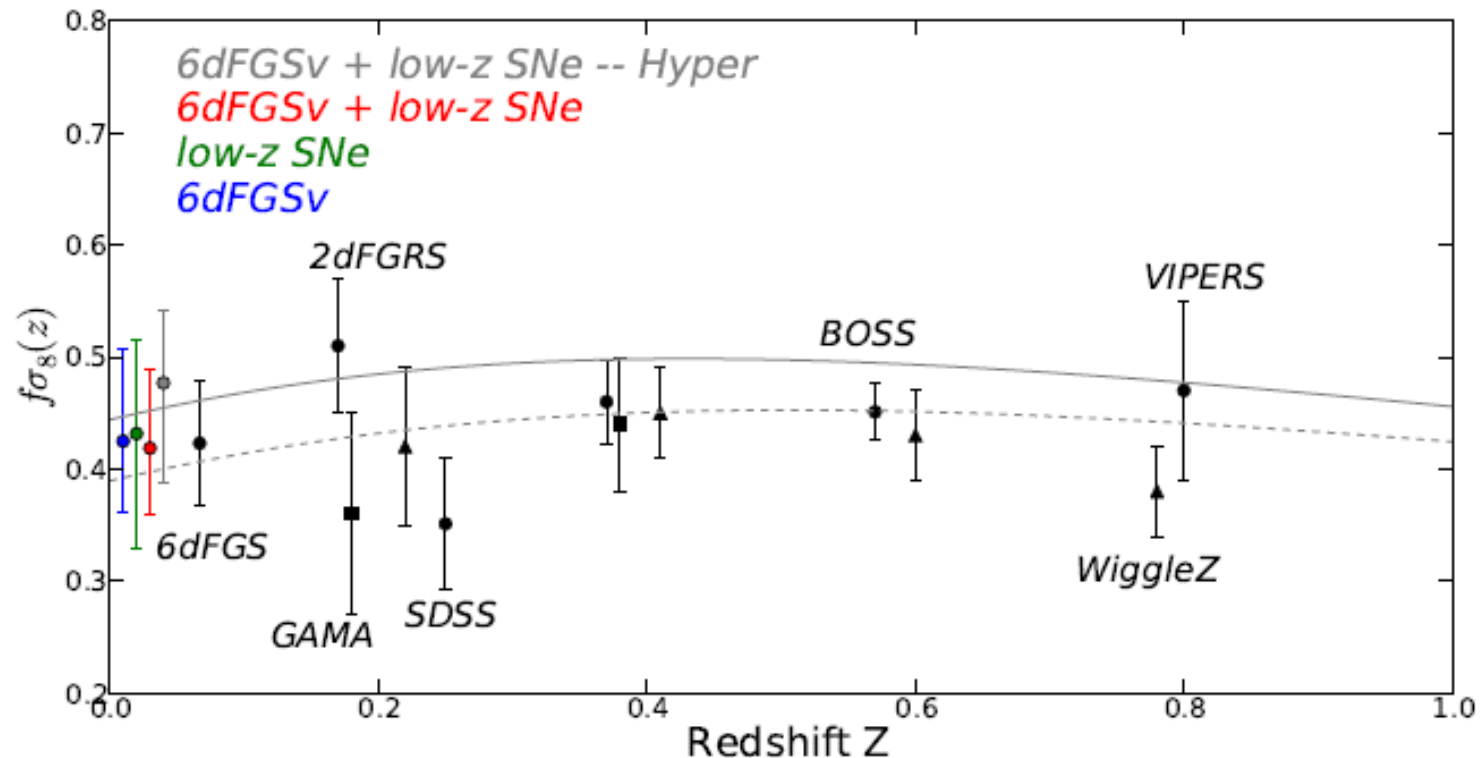
$$\ddot{\delta} + 2H\dot{\delta} + [\text{pressure} - \text{gravity}][Q(k, z)[1 + \gamma^{-1}(k, z)]]\delta = 0$$

$$\delta = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}}$$



رشد ساختارها: آزمون کرائش

$$f \equiv \frac{d \ln \delta}{d \ln a}$$



پیشنهاد جدید برای آزمون کُرانش

- نور شمع های استاندارد چگونه به ما می رسد!

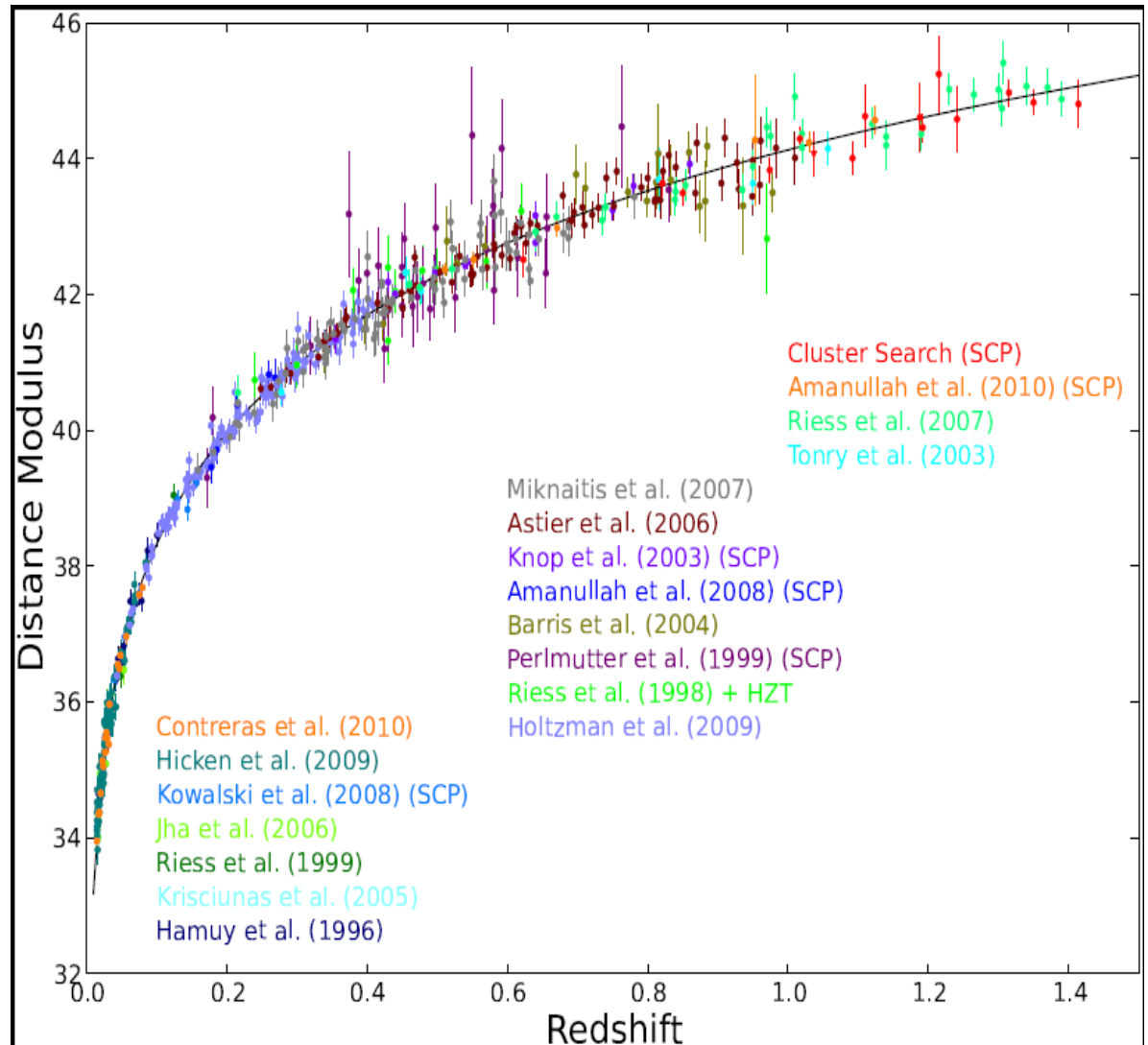
$$\mu \equiv m - M = 5 \log_{10} d_L(z_s) + 25$$

$$d_L(z_s) = d_L(\bar{z})(1 - \kappa)$$



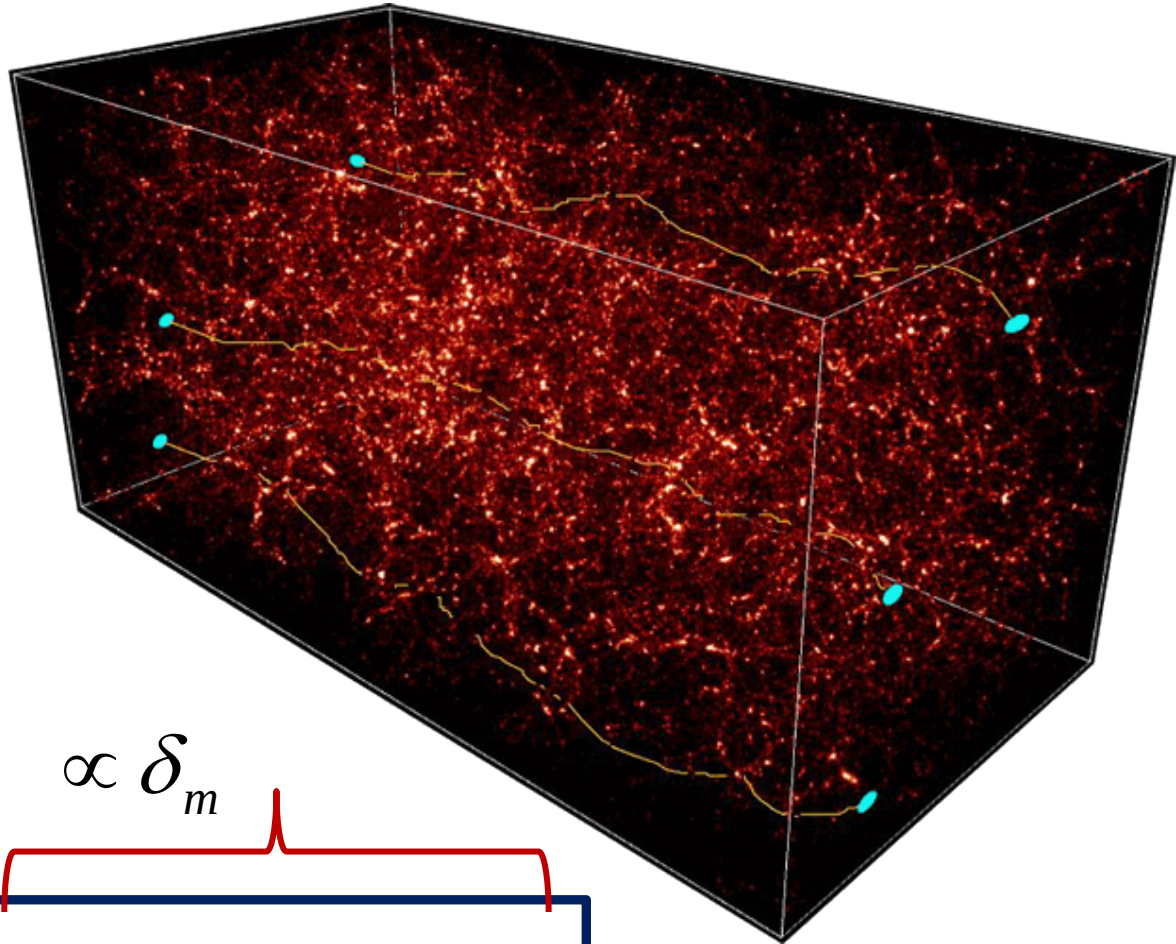
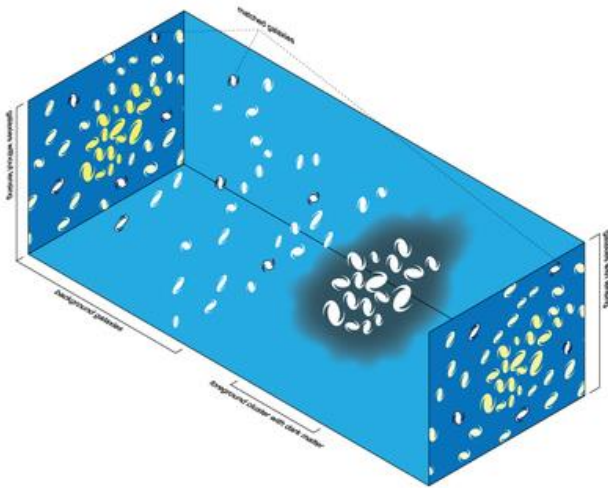
داده های ابرنواختری Union2

$$\mu = 5 \log(d_L) + 25$$
$$d_L = (1+z)\chi$$



$$ds^2 = -(1 + 2\Psi(x, t))dt^2 + a^2(t)(1 - 2\Phi(x, t))d\vec{x}^2$$

هکرایي-واکرایي کرانشي خوشه اى



$$\propto \delta_m$$

$$k_g = \frac{1}{2} \int_0^{\chi_s} d\chi (\chi_s - \chi) \frac{\chi}{\chi_s} \nabla_{\perp}^2 (\Phi(\vec{x}, t) + \Psi(\vec{x}, t))$$

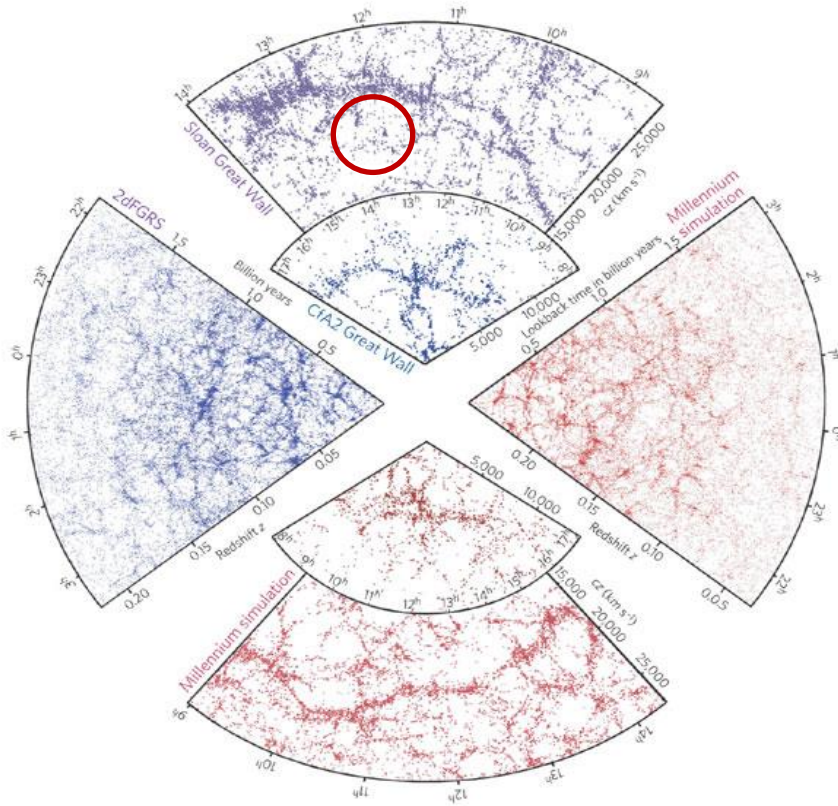
دوران مشاهدہ ساختارهای بزرگ مقیاس کیهانی

✓ مساحت بزرگ مقیاس

۱۴۵۵۵ درجه مربع پوشش آسمان

۹۳۲۸۹۱۱۳۳ طیف نگار

۲۲۸۴۶۸ طیف کوازار

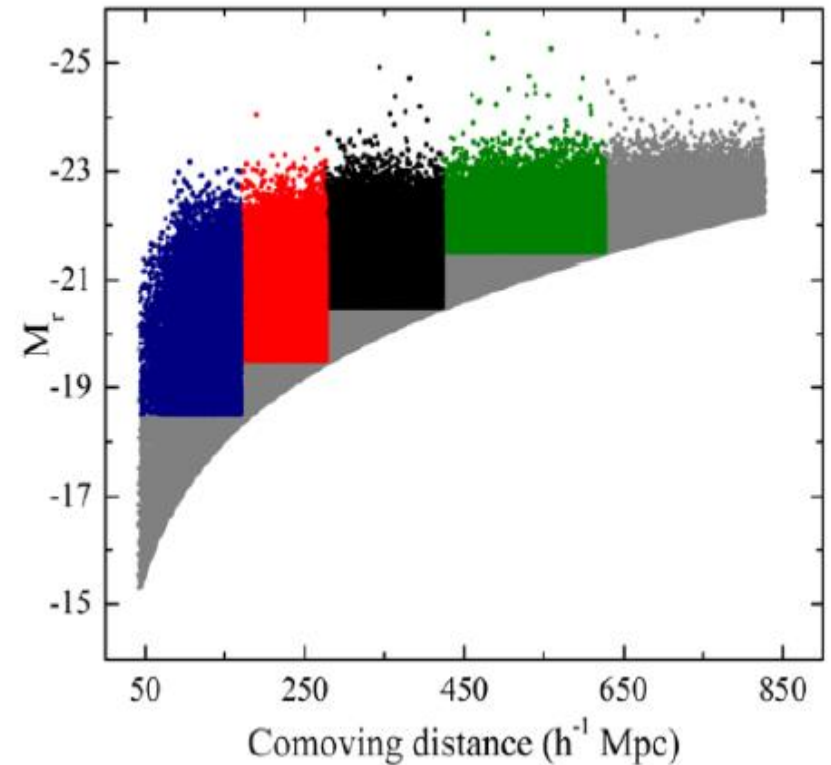
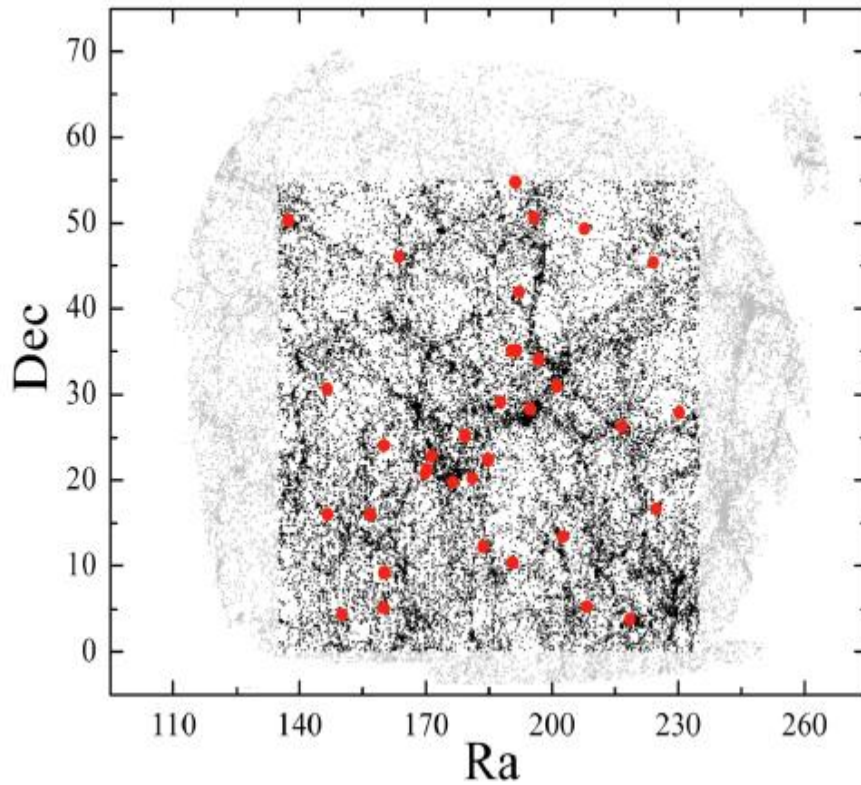


Volker Springel, Carlos S. Frenk & Simon D. M. White,
Nature 440, 1137-1144 (27 April 2006)

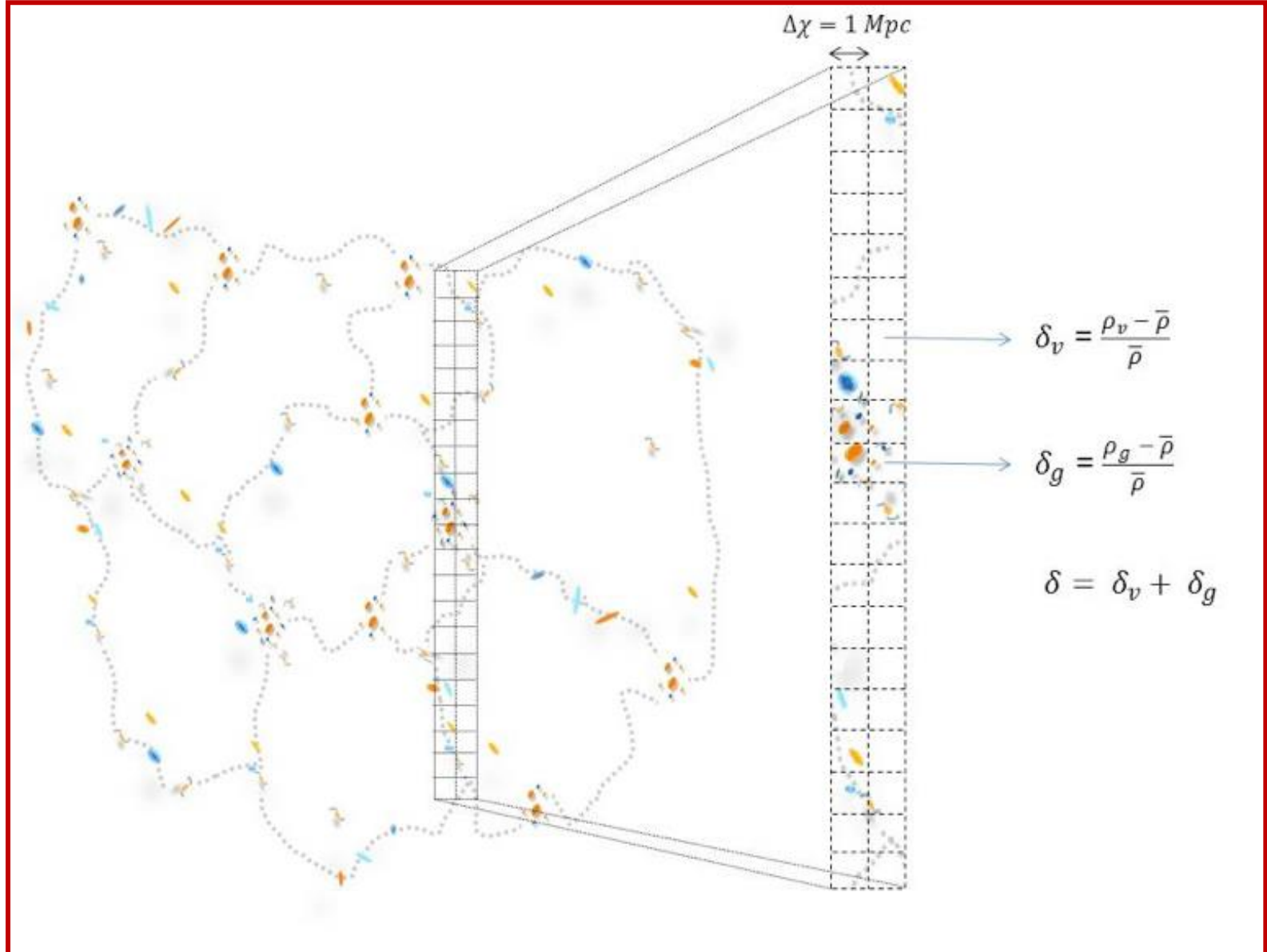


© wiki - 2.5-m wide-angle optical telescope at Apache Point Observatory in New Mexico (2000-)

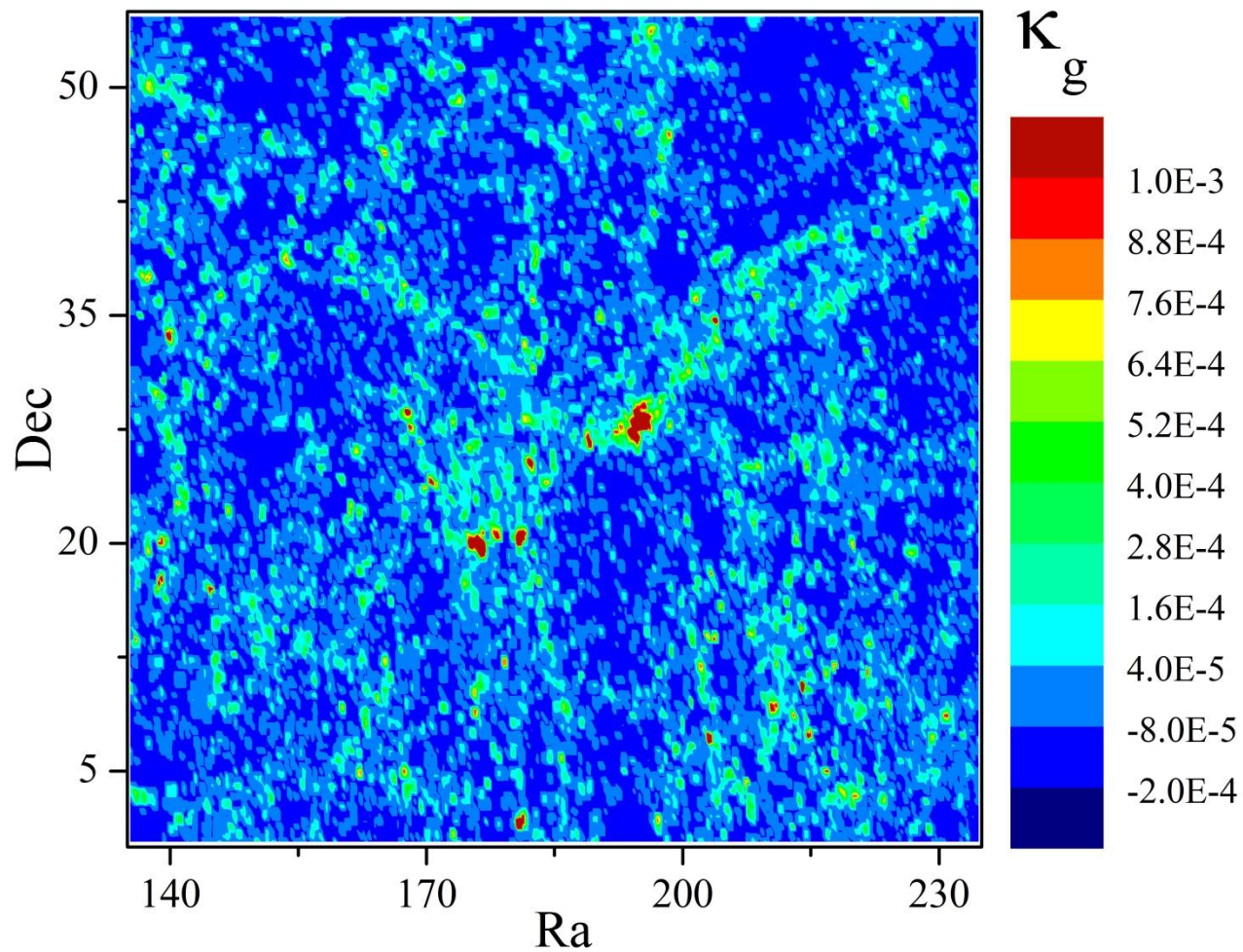
داده های رصدی ابرنواخترها و ساختارها



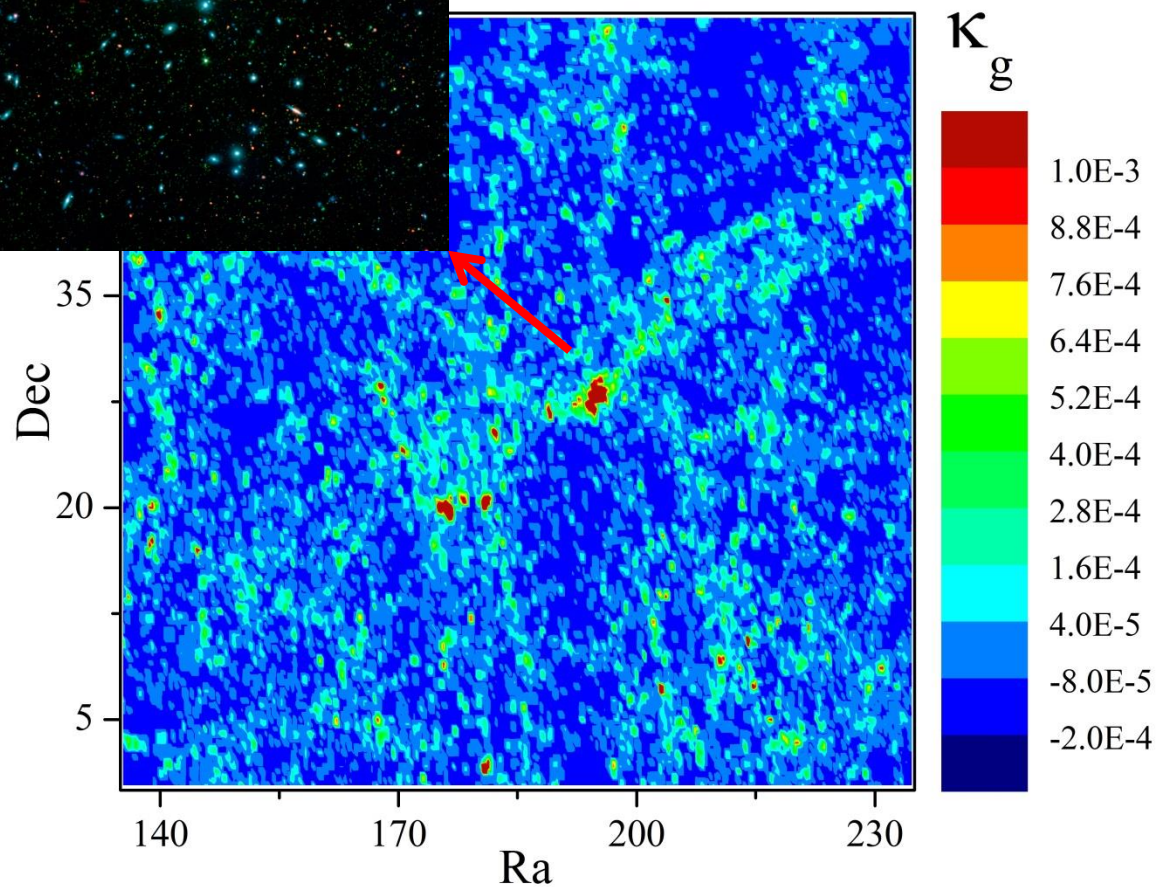
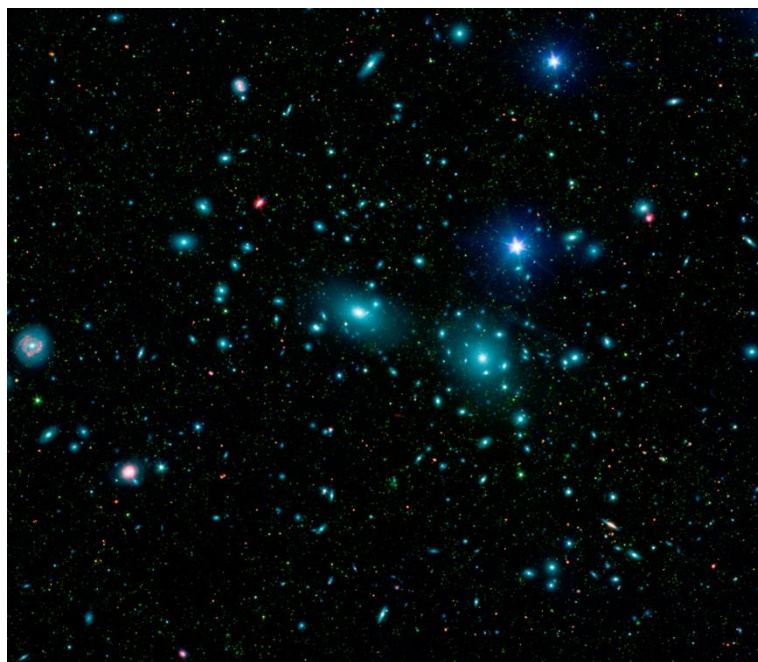
پیمایش کیهان با قدم های یک گالکسکی و نقشه برداری از انحراف نور



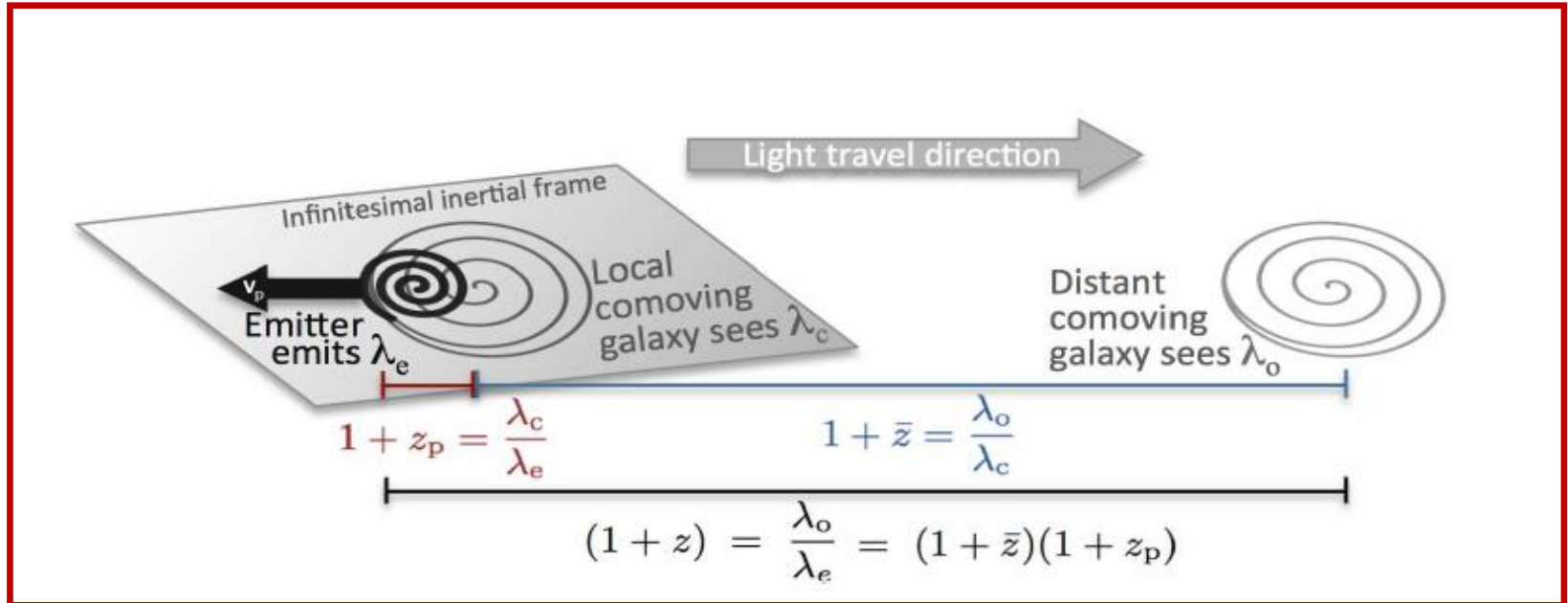
کیهان از دید K_g



کیهان از دید K_g



گهکشان ها همسایه های خود را می بینند! سرعت خاصه کسیتی موضعی



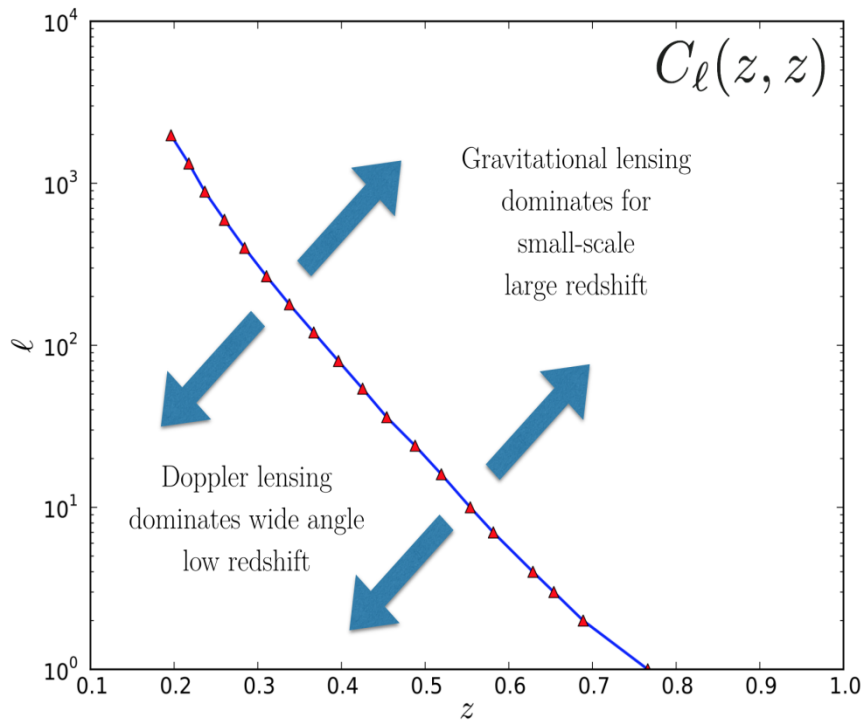
$$\kappa_v = \frac{1 + z_s}{H\chi_s} \vec{v}_o \cdot \vec{n} + \left(1 - \frac{1 + z_s}{H\chi_s}\right) \vec{v}_s \cdot \vec{n}$$

Tamara M. Davis, Morag I. Scrimgeour -arXiv:1405.0105

Bacon et al. arXiv:1401.3694

مصائب کیهان شناسی مقدماتی و رقابت همگرایی و سرعت خاصه

$$r = a\chi \rightarrow v_{obs}(z_{obs}) = v_{cos}(z_{cos}) + v_{pec}$$



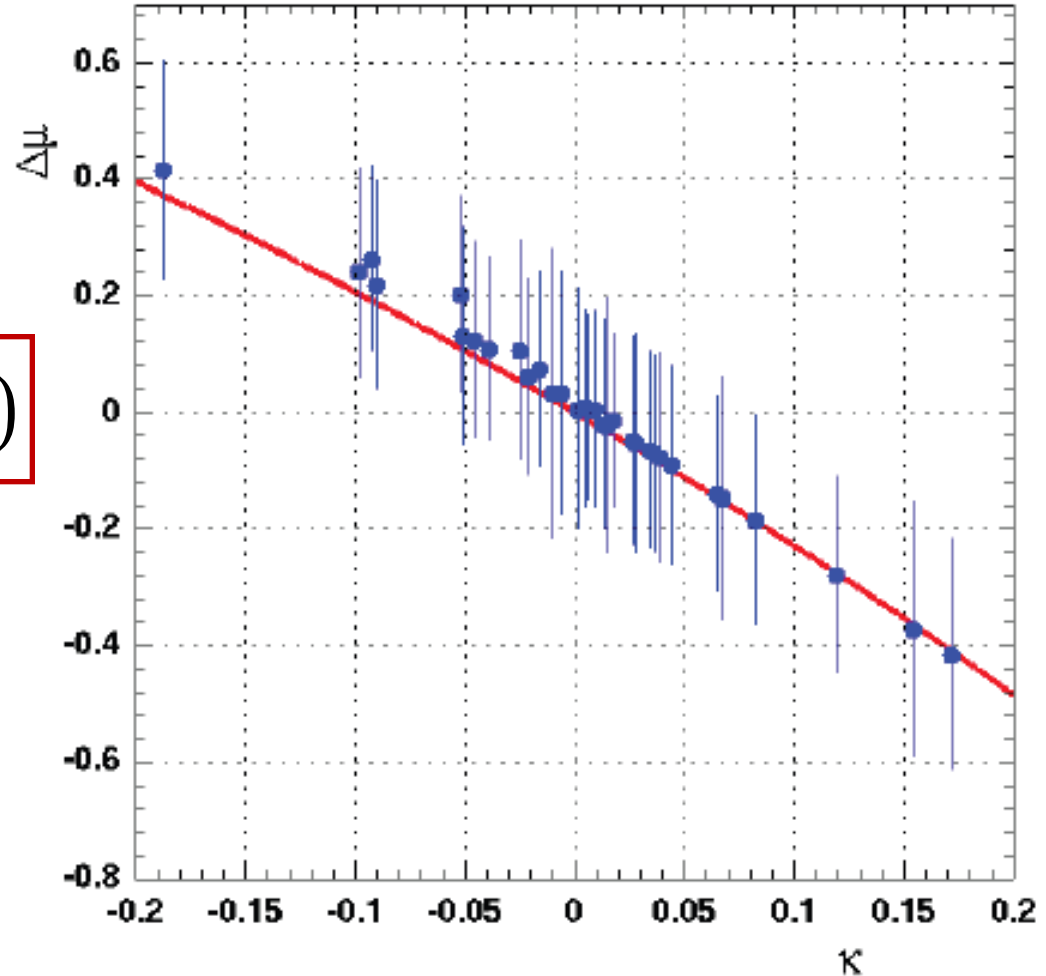
اندازه گیری سرعت خاصه:
الف) استفاده از شمع های استاندارد
ب) نظریه خطی اختلال و تباین چگالی
ج) اعوجاج در فضای انتقال به سرخ
...

انحراف از مدل ثابت کیهان شناسی تا ۲۰ کیگاسال قبل!

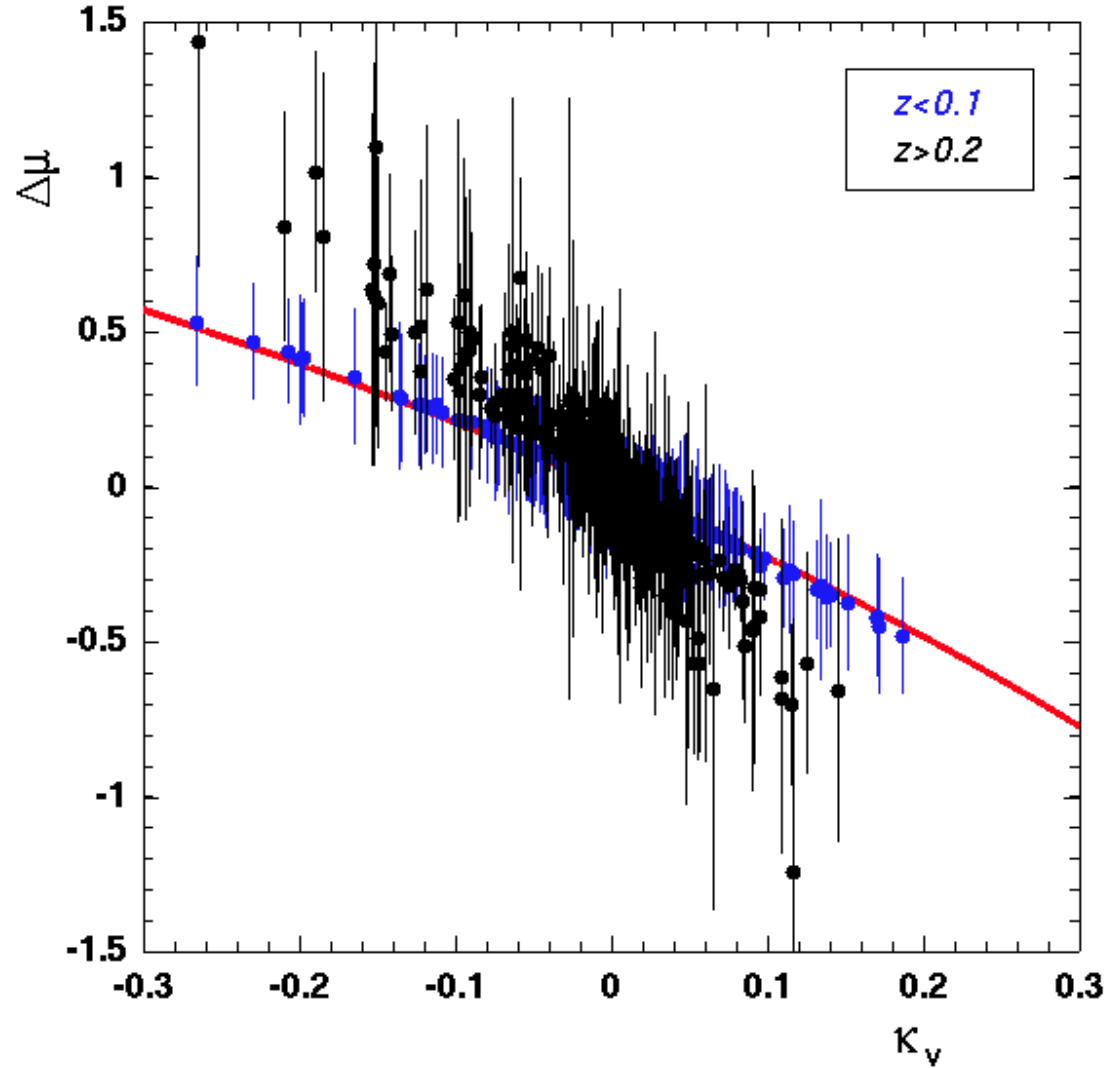
$$\Delta\mu = \mu_{obs} - \mu_{\Lambda CDM}$$

$$d_L(z_s) = \bar{d}_L(z_s)(1 - \kappa)$$

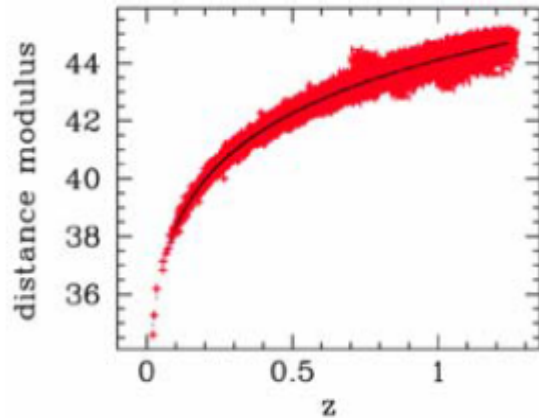
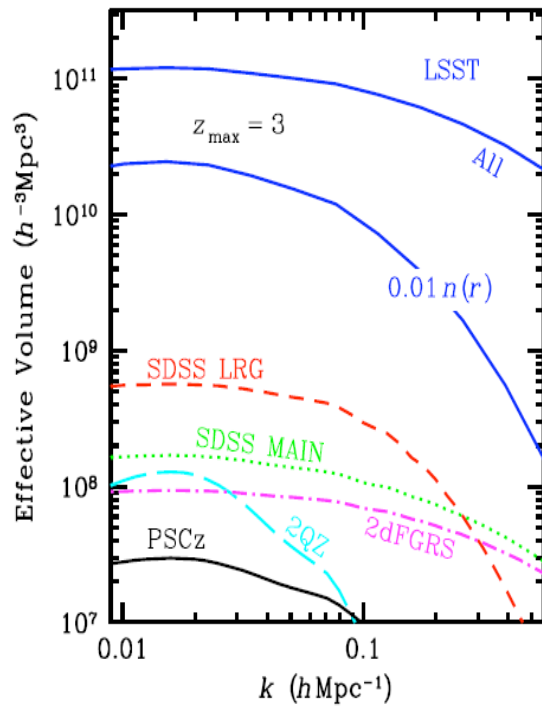
$$\kappa = \kappa_g + \kappa_v$$



چرا فکر می کنیم K_g و K_v مهم است؟



چرا فکر می کنیم K_g و K_v مهم است؟

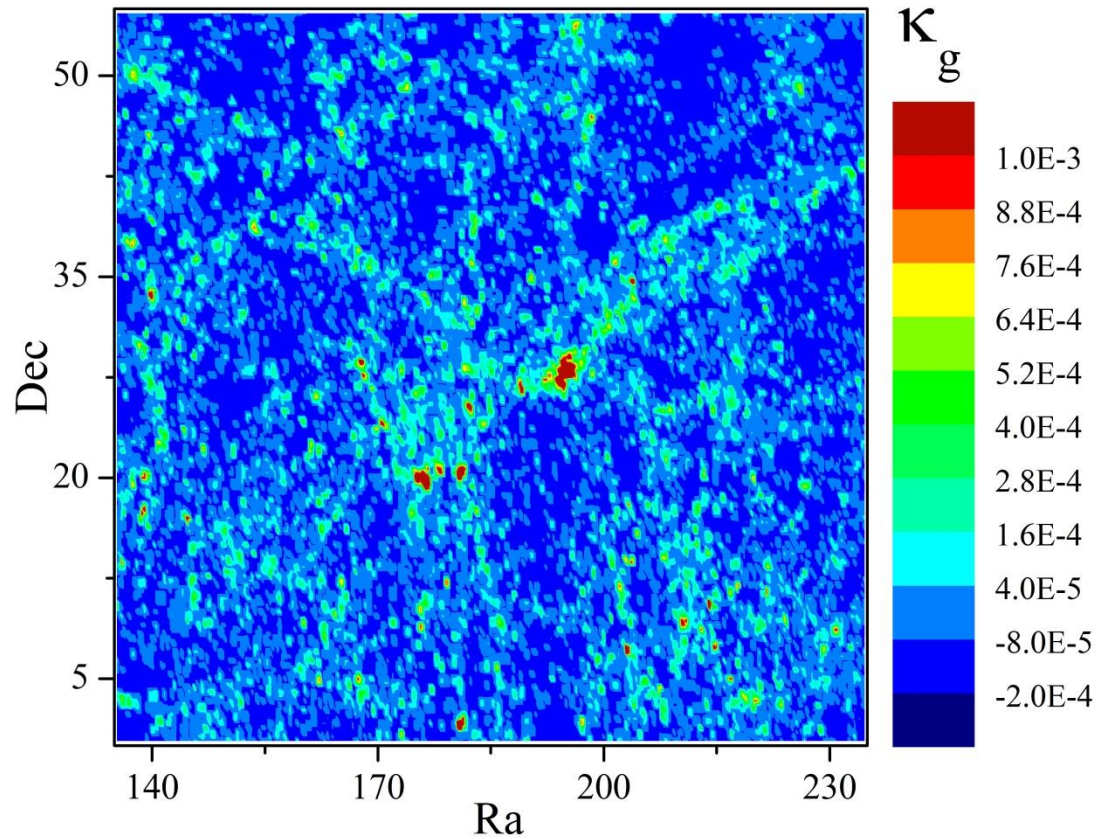


Above: Hubble diagram for 30,000 SNe obtained over three years in a single field, with redshifts determined photometrically. Regions of apparently increased scatter actually contain quite a small number (~ 100) of cases where the fitting procedure did not perform as well as usual. The cut-off near $z \sim 1.3$ occurs as the SN redshift out of the spectral range covered by LSST's grizY filter set.



© LSST Science book

یک دهمه فرصت برای کیهان شناسان نظری برای ساختن نقشه های همگرایی و سرعت خاصه



سنگ