



FIZIKAI NOBEL-DÍJ 2011

2011. Október 11
Csabai István
ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék



Photo: Roy Kaltschmidt. Courtesy:
Lawrence Berkeley National Laboratory

Saul Perlmutter



Photo: Belinda Pratten, Australian
National University

Brian P. Schmidt



Photo: Homewood Photography

Adam G. Riess

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

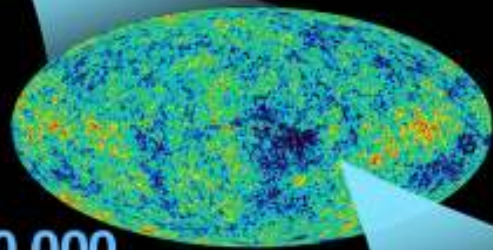
<http://www.nobelprize.org/>

**DAWN
OF
TIME**



**tiny fraction
of a second**

inflation



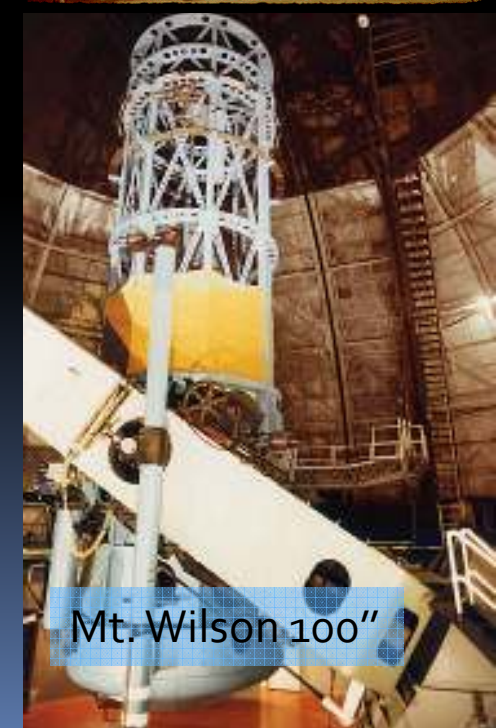
**380,000
years**

**13.7
billion
years**



Mér földkövek

- Kopernikusz (1543), Galilei (1609): mozog a Föld
 - Kepler (1609), Newton (1687): a mozgás és gravitáció törvényei
- Halley (1718): mozognak a csillagok
- Hubble: mozognak a galaxisok (1929) és persze, hogy vannak (1924)
 - $v = H * r$



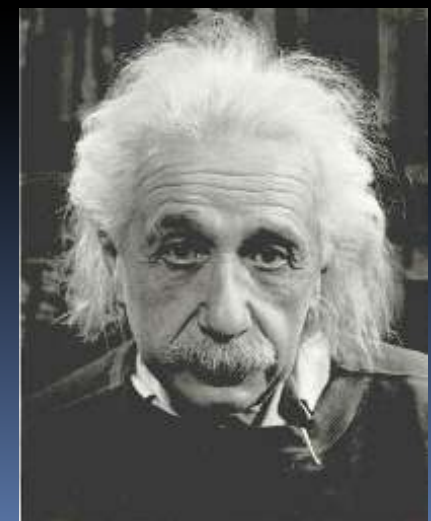
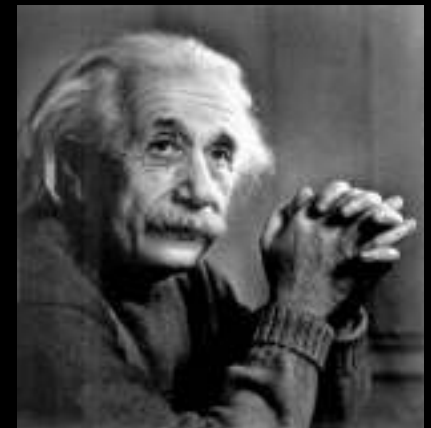
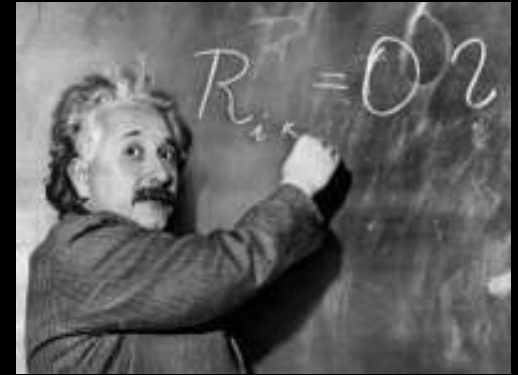
- Einstein (1915): általános relativitás elmélet

- Einstein: statikus modell homogén, izotróp Univerzumra (1917), gravitációt kiegyensúlyozandó: kozmológiai konstans

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu}\Lambda = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

- Friedmann (1922), Lemaitre (1927): Einstein modellje instabil, de van egy táguló megoldás
- Hubble (1929) észlelései alapján ismeri el Einstein „legnagyobb tévedését”, a kozmológia konstans egy időre lekerül a színpadról

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu}\mathbf{X} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

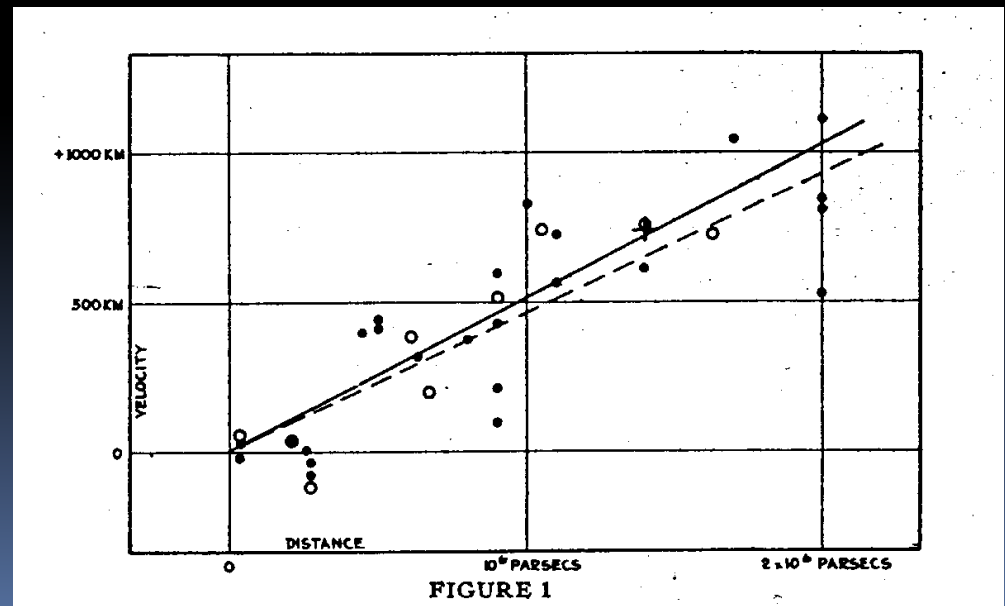


Milyen rátával csökken/növekszik a tágulás?

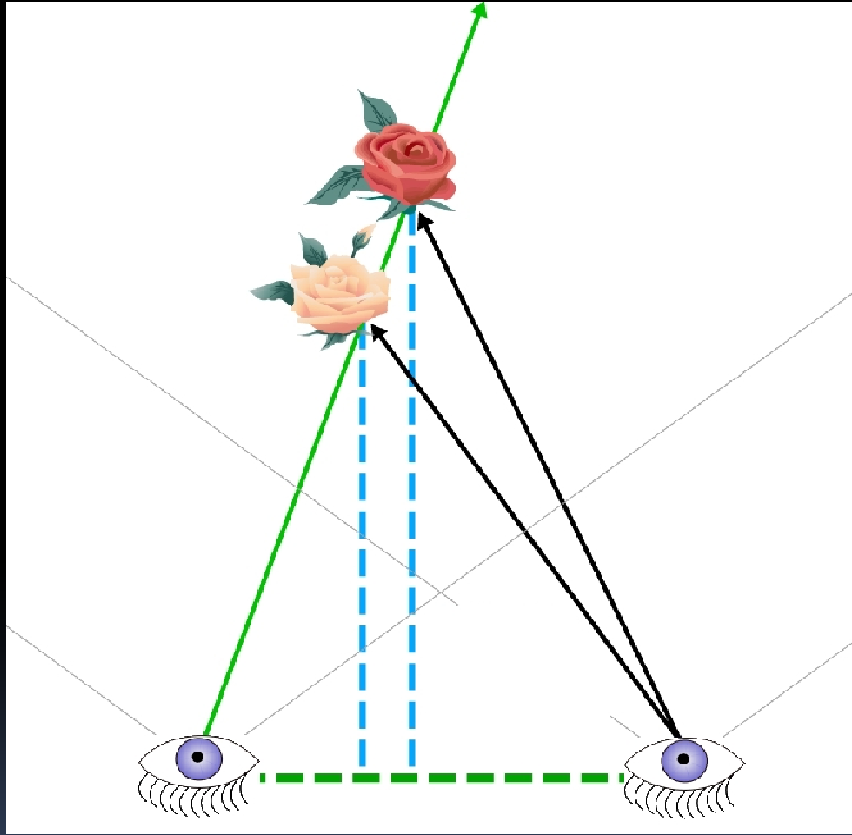


Mit kell mérni?

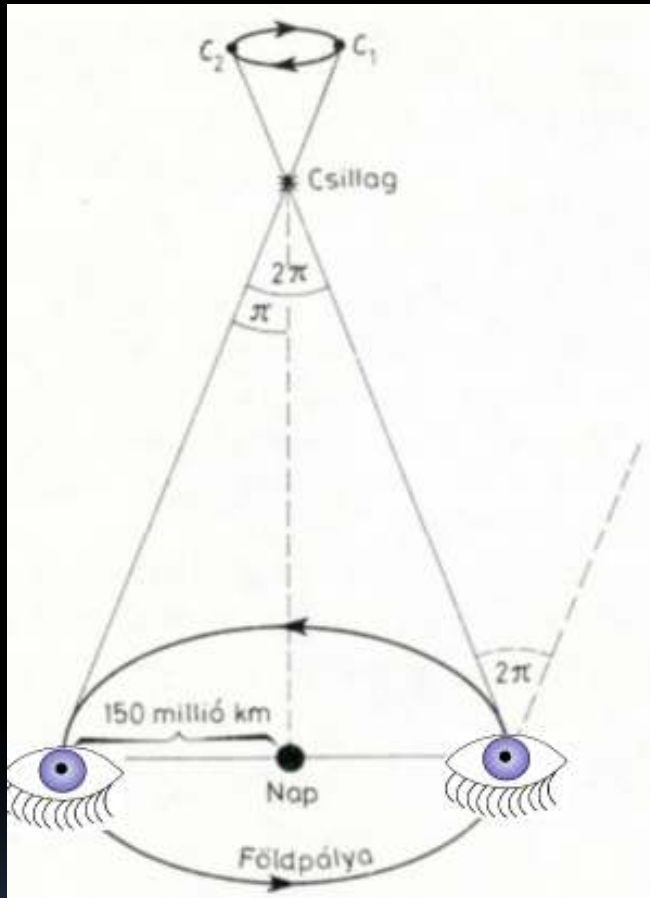
- Távolságot
 - Parallaxis
 - Standard gyertyák: Cefeidák, szupernóvák, galaxisok eloszlása
- „~~Sebességet~~” azaz tágulást



Háromszögelés - parallaxis



Háromszögelés - parallaxis

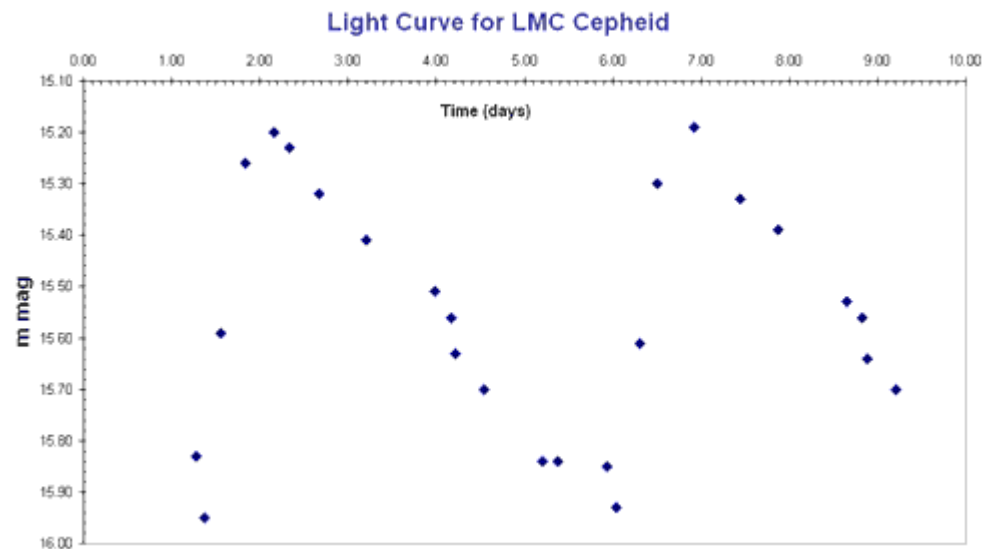
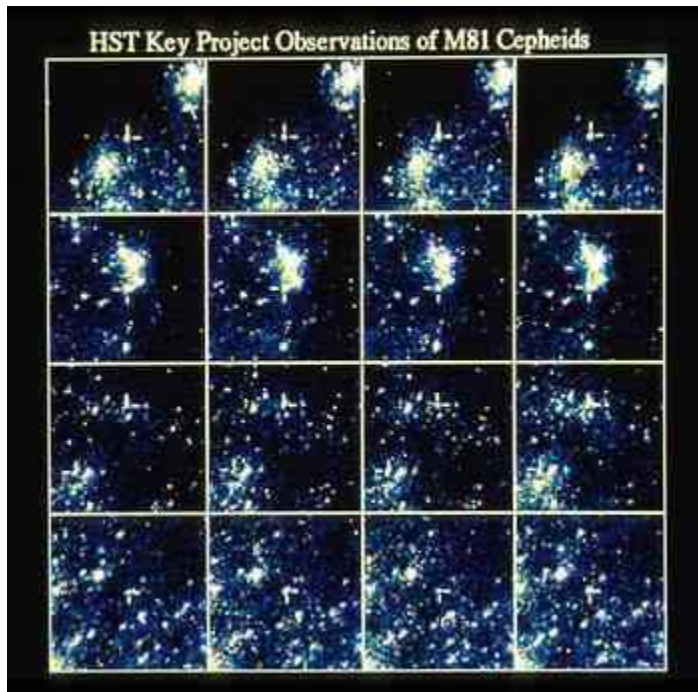
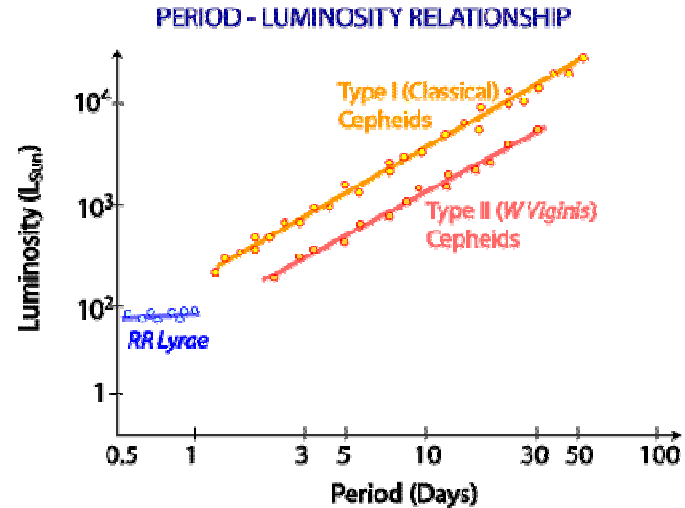


Hatótávolság: $1'' = 1\text{pc}$, max 10kpc

$$d = 1 \text{ AU} \cdot 180 \cdot \frac{3600}{\pi} \approx 206,265 \text{ AU} \approx 3.2616 \text{ ly} \equiv 1 \text{ parsec.}$$

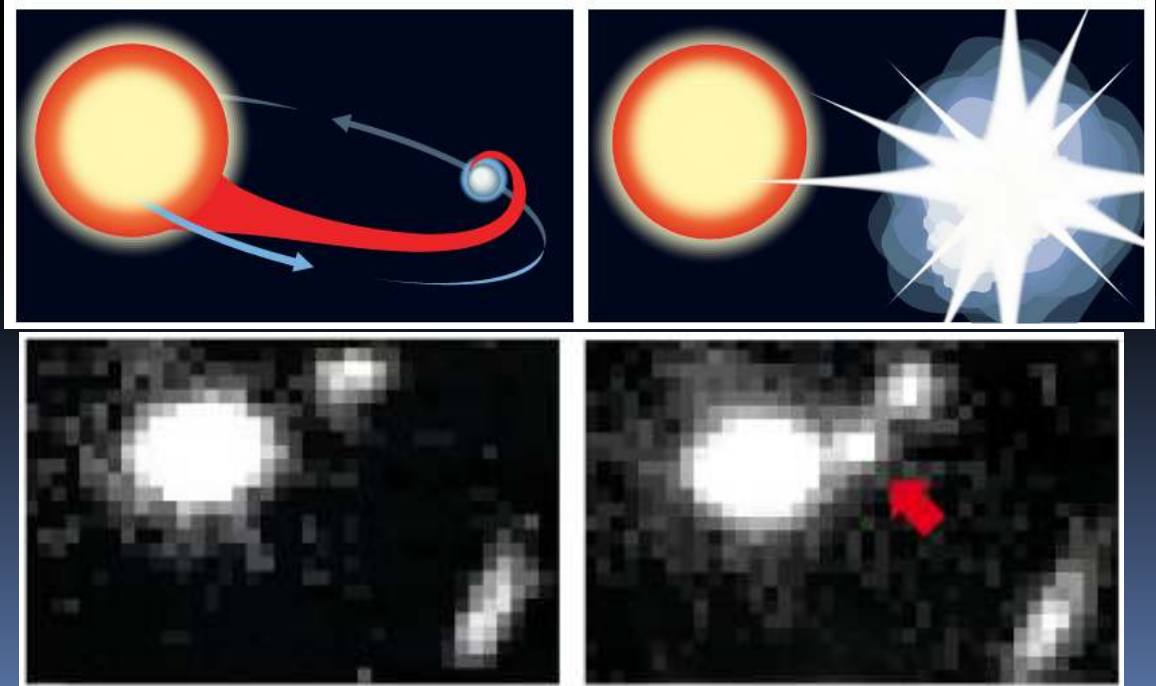
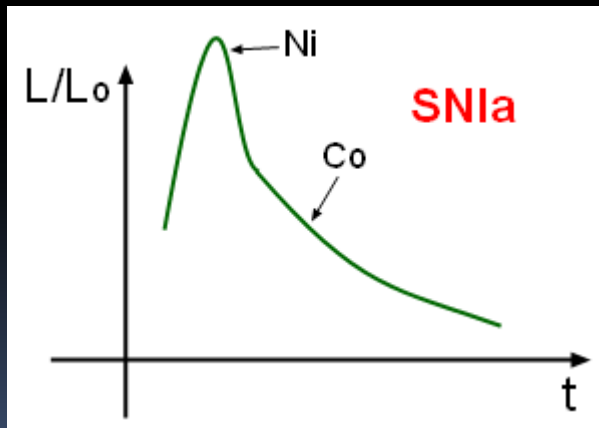
Standard gyertyák I.: cefeidák

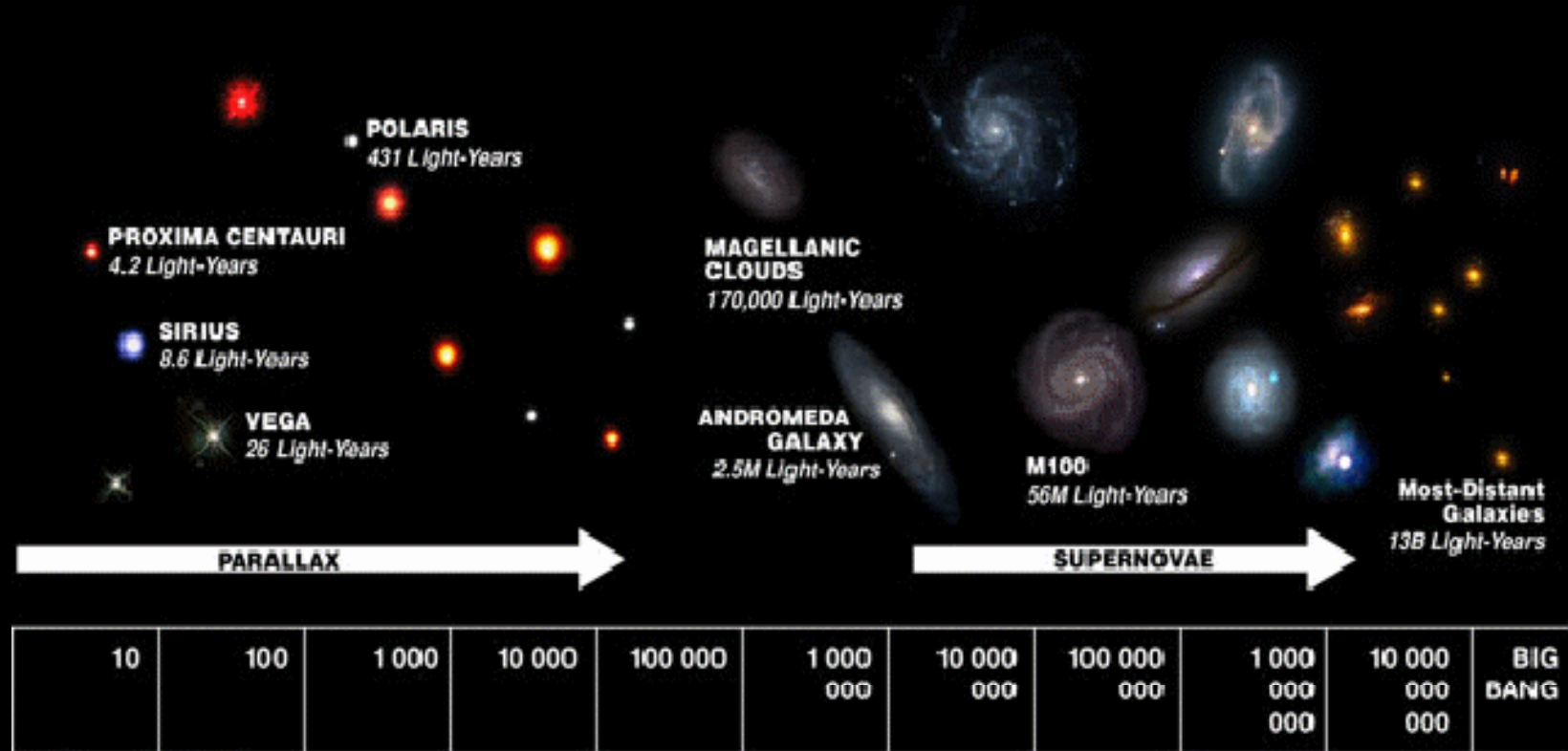
- H. Leavitt, 1912, (Hubble)
- Eddington-szelep:
sugárzás -> ionozáció ->
kétszeresen ionizált hélium elnyel ->
kitágulás -> lehűlés ->
rekombináció -> újra átlátszó -> gravitáció
hatására sűrűsödés
- Maximum 10Mpc



Standard gyertyák 2:Ia típusú szupernóvák

- Baade, Zwicky 1938, Fowler, Chandrashekar 1983 Nobel-díj
- Kettős rendszerben fehér törpecsillag anyagot szív el
- elérve a Chandrashekar limitet(1.38 MNap) az elektron degenerációs nyomásnál nagyobb a gravitáció
- A törpecsillag összeroppan neutroncsillaggá
- Ledobja héját
- Jellegzetes fénygörbe és spektrum





SCALING THE UNIVERSE

Astronomers use several techniques to measure the distances to stars and galaxies. These techniques overlap, providing greater confidence that each one is accurate.

PARALLAX

The most accurate method of measuring distance. Astronomers look at a star when Earth is on opposite sides of its orbit. The star shifts position with respect to more-distant stars. The size of the shift reveals the star's distance.

CEPHEIDS

These big, bright stars pulse in and out like a beating heart. The length of the pulse reveals the star's brightness. Comparing *true* brightness to the star's *apparent* brightness reveals its distance. Used to measure nearby galaxies.

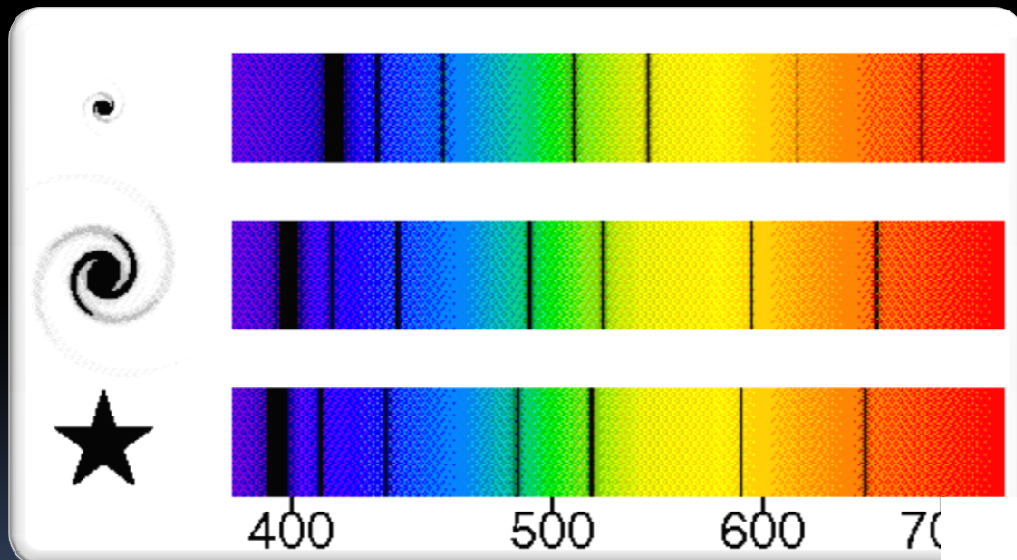
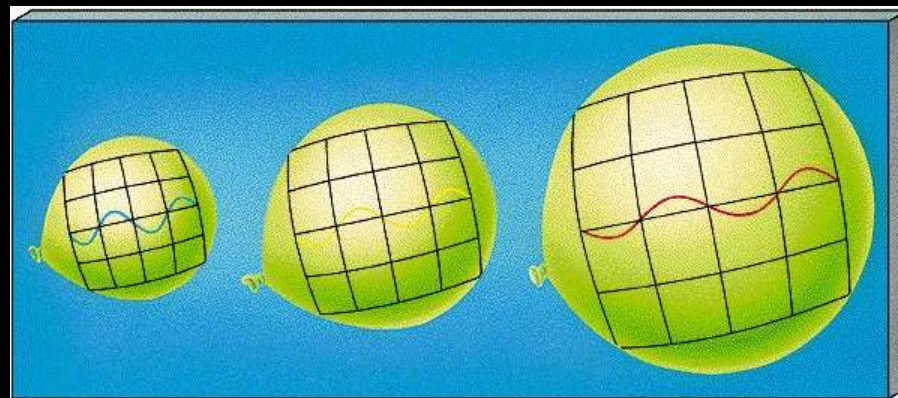
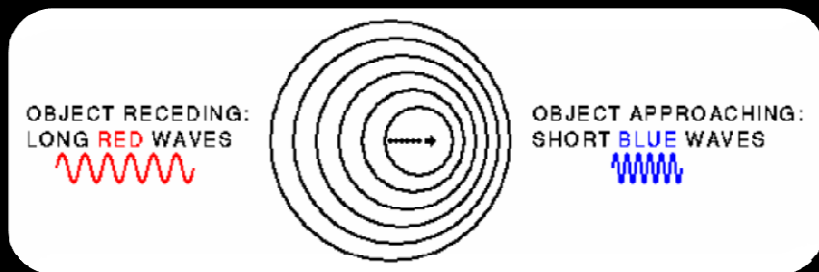
SUPERNOVAE

Certain types of exploding stars brighten and fade in a way that reveals their true brightness, which astronomers then use to calculate their distances. Effective out to several billion light-years.

REDSHIFT

Distant galaxies move away from us because the universe is expanding. Astronomers can measure this motion, which varies with distance: faster galaxies are farther away. Least-accurate method because it depends on models of how the universe is expanding.

„Sebesség” mérés: Vöröseltolódás



$$v \approx c * z$$

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{a(t_0)}{a(t_1)} - 1$$

(Doppler, kozmológiai, gravitációs)

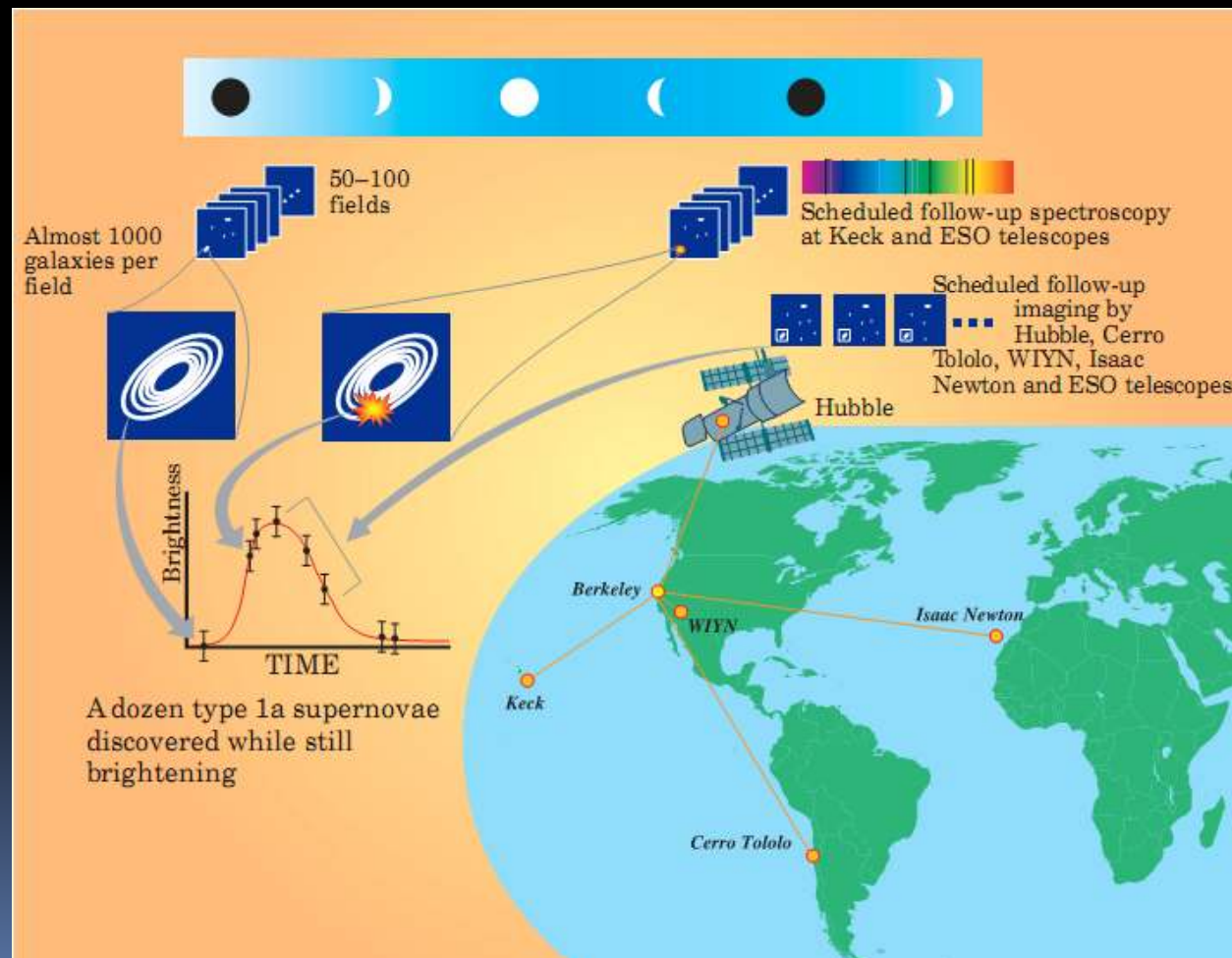
SN Ia észlelések

- Ideális tartomány: $z=0.3..2.0$
- Galaxisunkban: kínaiak 1054, Tycho Brahe 1572
- '80 : Dán-angol kollaboráció, SN1988U, $z=0.31$
(1.5m távcső, La Silla, Chile)

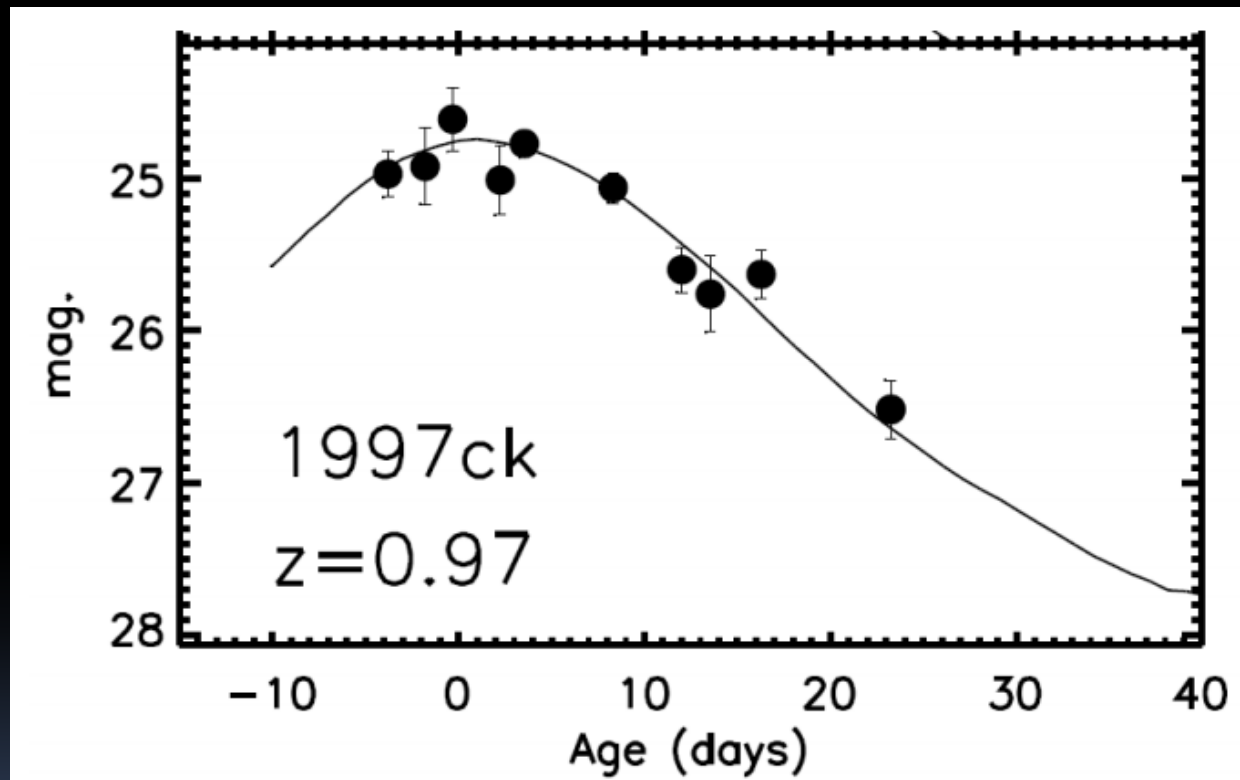


SN 1572 (Tycho) maradvány,
Röntgen+infravörös
(NASA/CXC/JPL-Caltech/Calar Alto O.
Krause et al.)

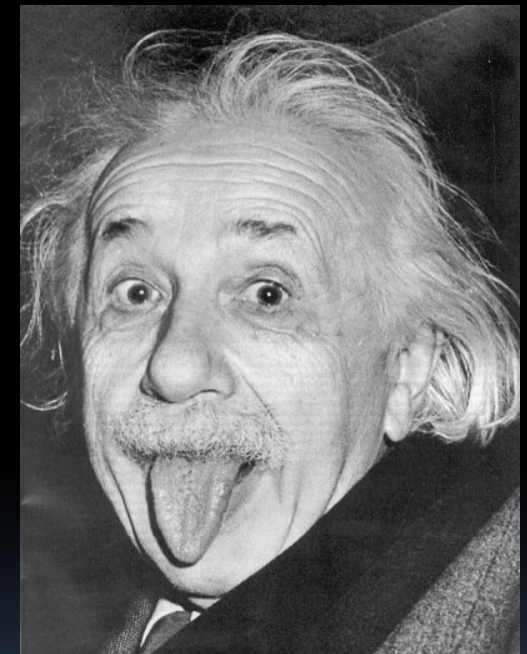
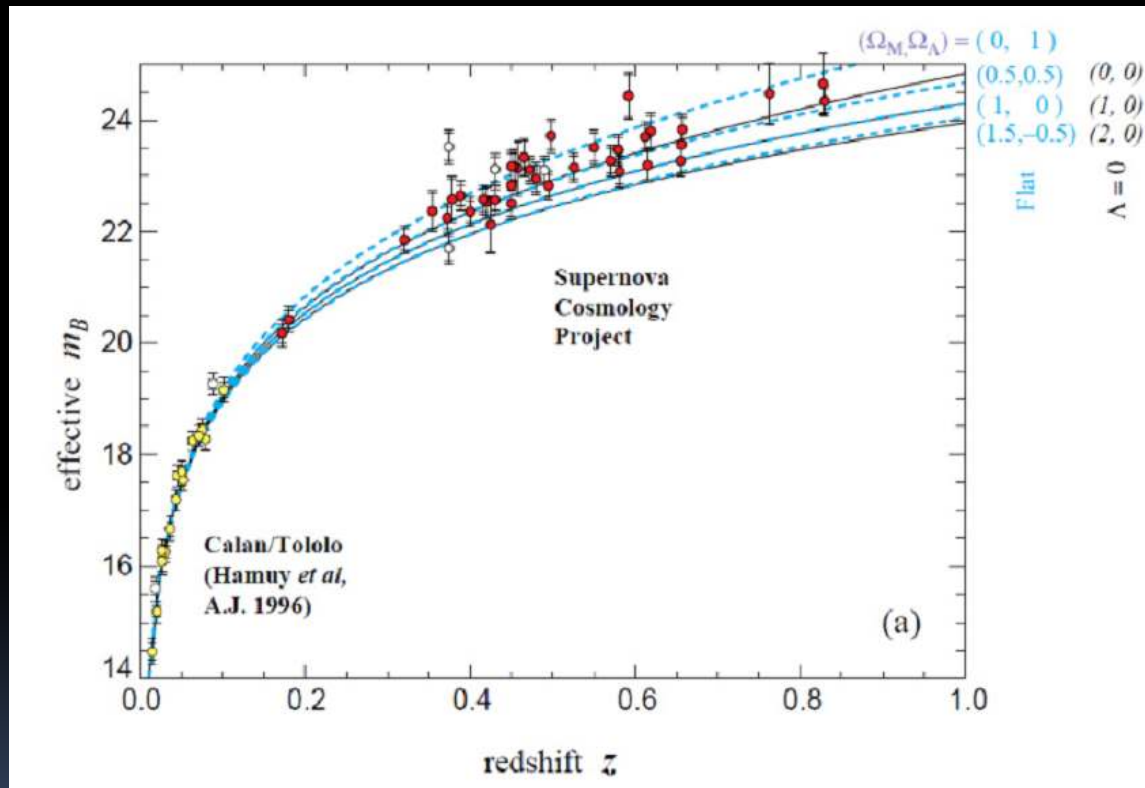
- 1988: Supernova Cosmology Project (SCP), Saul Perlmutter et al. (4m nagy látószögű távcső, CCD! + utómérések Chile, Hawaii, La Palma). 1995-re 7db $z \sim 0.5$



- 1994: High-z Supernova Search Team (HZT), Brian Schmidt & Robert Kirshner et al.



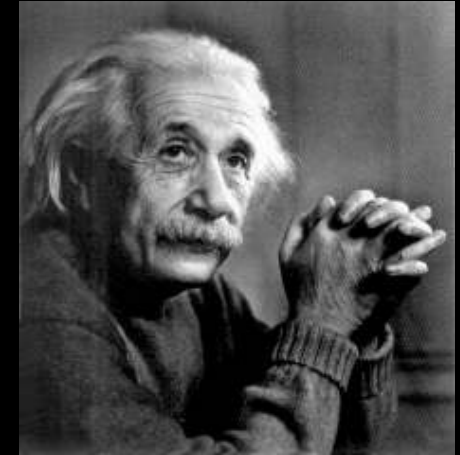
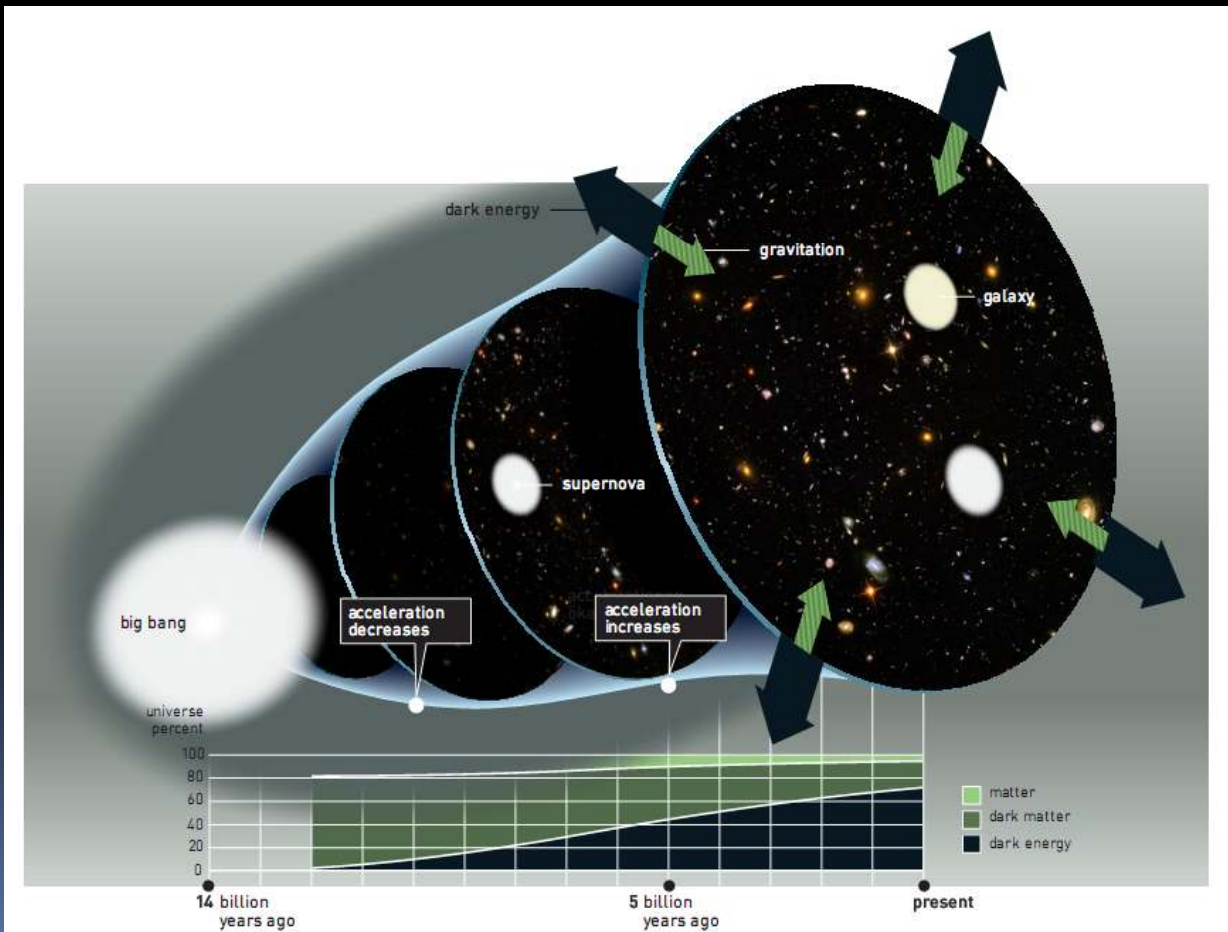
- Adam Riess SCP elemzések (16, később 42 high-z szupernóva): gyorsulva tágulás



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Vagy mégse? A szürke por

- A gyorsulva tágulás $z < 1$ vöröseltolódáson a lambda mentes modellnél halványabb szupernóvákat ad
- Okozhatja elnyelődés, por
 - nincs vörösödés: szürke por



A szürke por kizárása

- $z > 1$ esetében fényesedést ad a sötét energiás modell a lambda menteshez képest

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 560:49–71, 2001 October 10

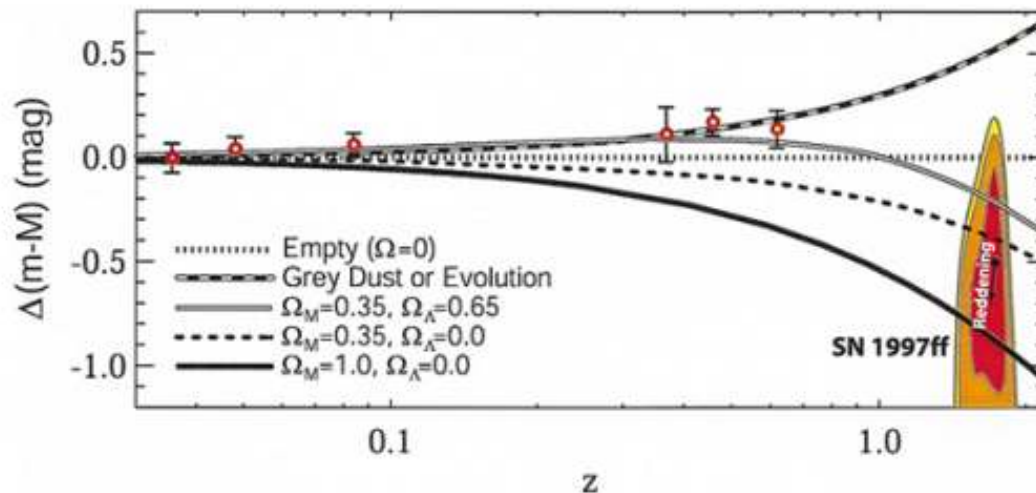
© 2001. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

THE FARTHEST KNOWN SUPERNOVA: SUPPORT FOR AN ACCELERATING UNIVERSE AND A GLIMPSE OF THE EPOCH OF DECELERATION¹

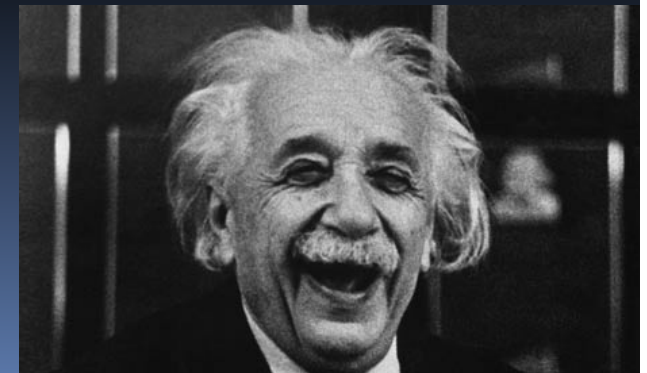
ADAM G. RIESS,² PETER E. NUGENT,³ RONALD L. GILLILAND,² BRIAN P. SCHMIDT,⁴ JOHN TONRY,⁵ MARK DICKINSON,² RODGER I. THOMPSON,⁶ TAMÁS BUDAVÁRI,⁷ STEFANO CASERTANO,² AARON S. EVANS,⁸ ALEXEI V. FILIPPENKO,⁹ MARIO LIVIO,² DAVID B. SANDERS,⁵ ALICE E. SHAPLEY,¹⁰ HYRON SPINRAD,⁹ CHARLES C. STEIDEL,¹⁰ DANIEL STERN,¹¹ JASON SURACE,¹² AND SYLVAIN VEILLEUX¹³

Received 2001 March 12; accepted 2001 May 18

⁷ Department of Physics and Astronomy, The Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, and Department of Physics, Eötvös University, Budapest, Pf. 32, Hungary, H-1518.



- Fotometrikus vöröseltolódás $z=1.6$



A sötét energia

- Negatív nyomás

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

$$\rho_{\Lambda} = \frac{\Lambda}{8\pi G} \quad \rho_{\lambda}(1, -1, -1, -1) = (\rho, p, p, p)$$

- Vákuum energia

$$\rho_{\Lambda} \sim \frac{M_p c^2}{l_p^3} \quad 10^{118} \text{ GeV/cm}^3$$

122 nagyságrend tévedés!

- **A jövő generációra vár a rejtély megoldása!**



Simon Danaher