

Astrofizičke primjene Einsteinove opće teorije relativnosti

Dario Hrupec
Institut Ruđer Bošković, Zagreb

SFeraKon 2013, Zagreb
10. svibnja 2013.

SVEMIR - nezaobilazna tema SF-a



Neki elementi SF-a
(prema <http://en.wikipedia.org>):

- **Vrijeme radnje: budućnost...**
- **Mjesto radnje: svemir...**
- **Izvanzemaljci**, mutanti, androidi ili roboti kao likovi.
- Buduće tehnologije: **strojevi za teleportaciju**, humanoidna računala...
- Nova znanstvena načela: **putovanje kroz vrijeme, crvotočine...**
- **Novi politički i društveni sustavi, primjerice distopija**
- Nadnaravne sposobnosti poput telepatije, telekineze i **teleportacije**
- **Drugi svemiri ili druge dimenzije**

RAZVOJ SVEMIRA - do nedavno isključivo u domeni fikcije

- (1) tumačenje postanka i razvoja svijeta
mitologijska (ili religijska) kozmologija
> 5000 godina
- (2) znanost o podrijetlu, razvoju,
strukturi i dinamici svemira
fizička kozmologija
< 50 godina



Matematičko polazište za kozmološke teorije

opća teorija relativnosti

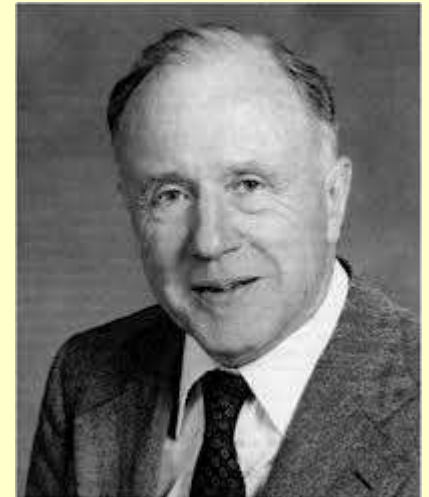
teorija gravitacije

Einstein, 1915. godine

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

**“Spacetime tells matter how to move;
matter tells spacetime how to curve”**

John Archibald Wheeler



Astrofizičke primjene opća teorija relativnosti

gibanje nebeskih tijela

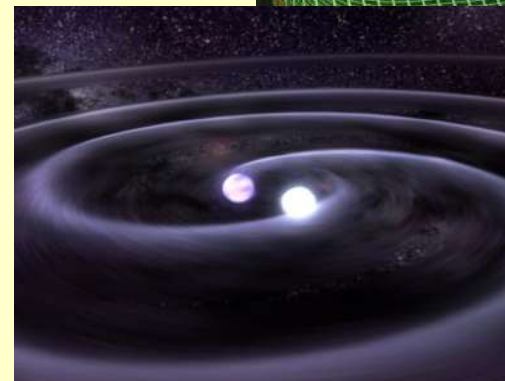
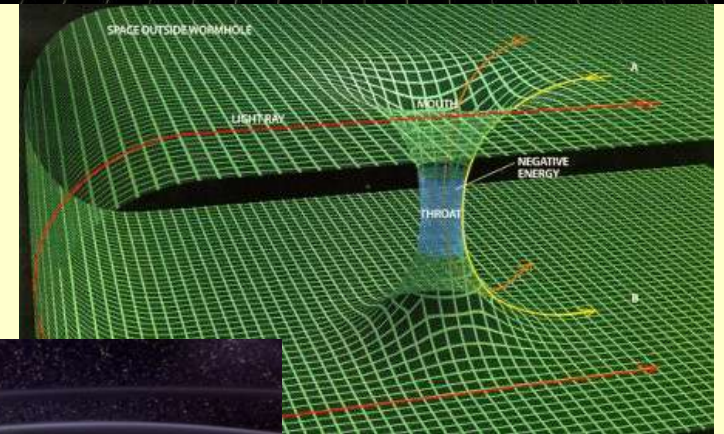
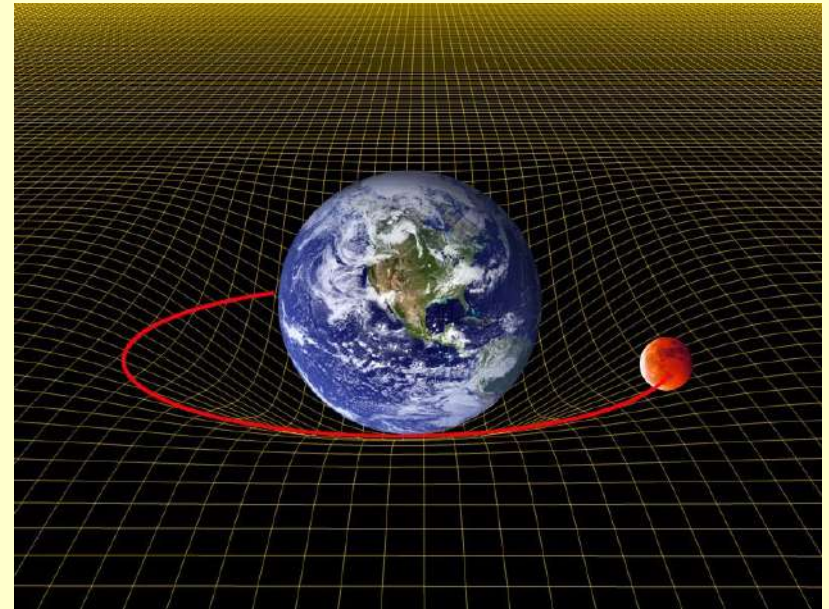
kozmozologija

crne rupe

crvotočine

gravitacijske leće

gravitacijske valovi



VELIKI PRASAK - trenutno najbolji model razvoja svemira

ŠTO JE UOPĆE TEORIJA/MODEL?

dosljedni skup ideja koji objašnjava skup činjenica i koji je izdržao falsifikabilna predviđanja

HIPOTEZA

zamišljena ali provjerljiva spekulacija koja bi mogla objasniti neke činjenice

ČINJENICA

svakome dostupno empirijsko opažanje

ZAKON

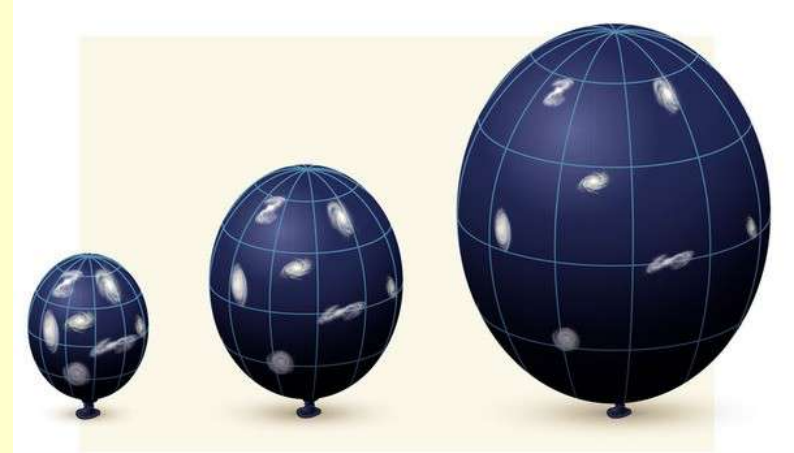
teorija/model koji je izdržao brojne nemilosrdne provjere

VELIKI PRASAK - trenutno najbolji model razvoja svemira

KAKO NASTAJE ZNANSTVENI MODEL?

- (1) postavljanje **pitanja** o nekoj pojavi
- (2) zamišljanje mogućeg objašnjenja
(postavljanje **hipoteze**)
- (3) provjeravanje hipoteze
odgovarajućim **eksperimentom**
- (4) **modificiranje** hipoteze
- (5) **ponovno** provjeravanje
(modificirane) hipoteze

Predviđanja modela velikog praska



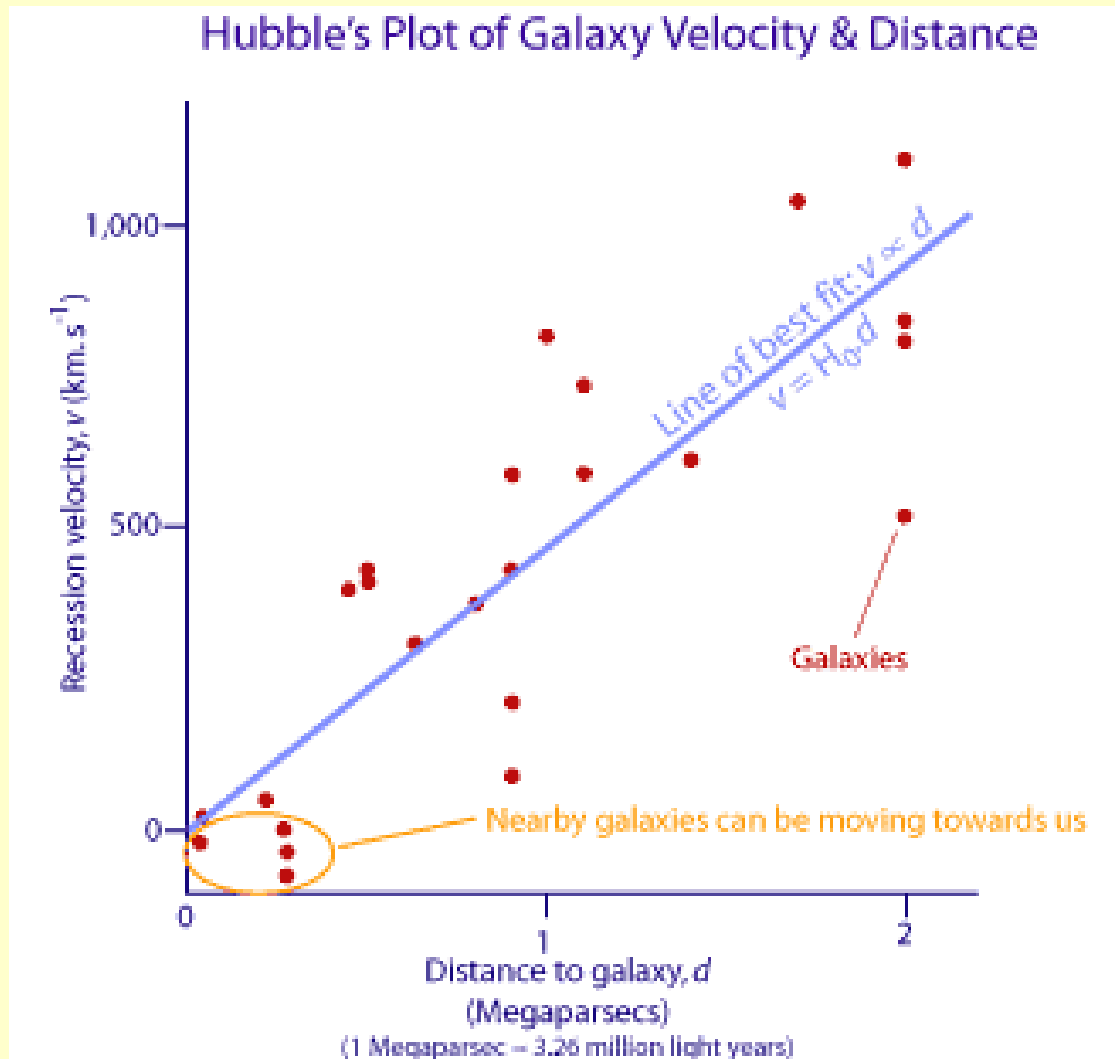
(1) širenje svemira

(2) vruće, gusto stanje **u početku**

(3) nastanak lakih elemenata u ranoj fazi razvoja svemira
(nukleosinteza)

(4) postojanje kozmičkog mikrovalnog pozadinskog
zračenja

Potvrde modela velikog praska: (1) udaljavanje galaksija

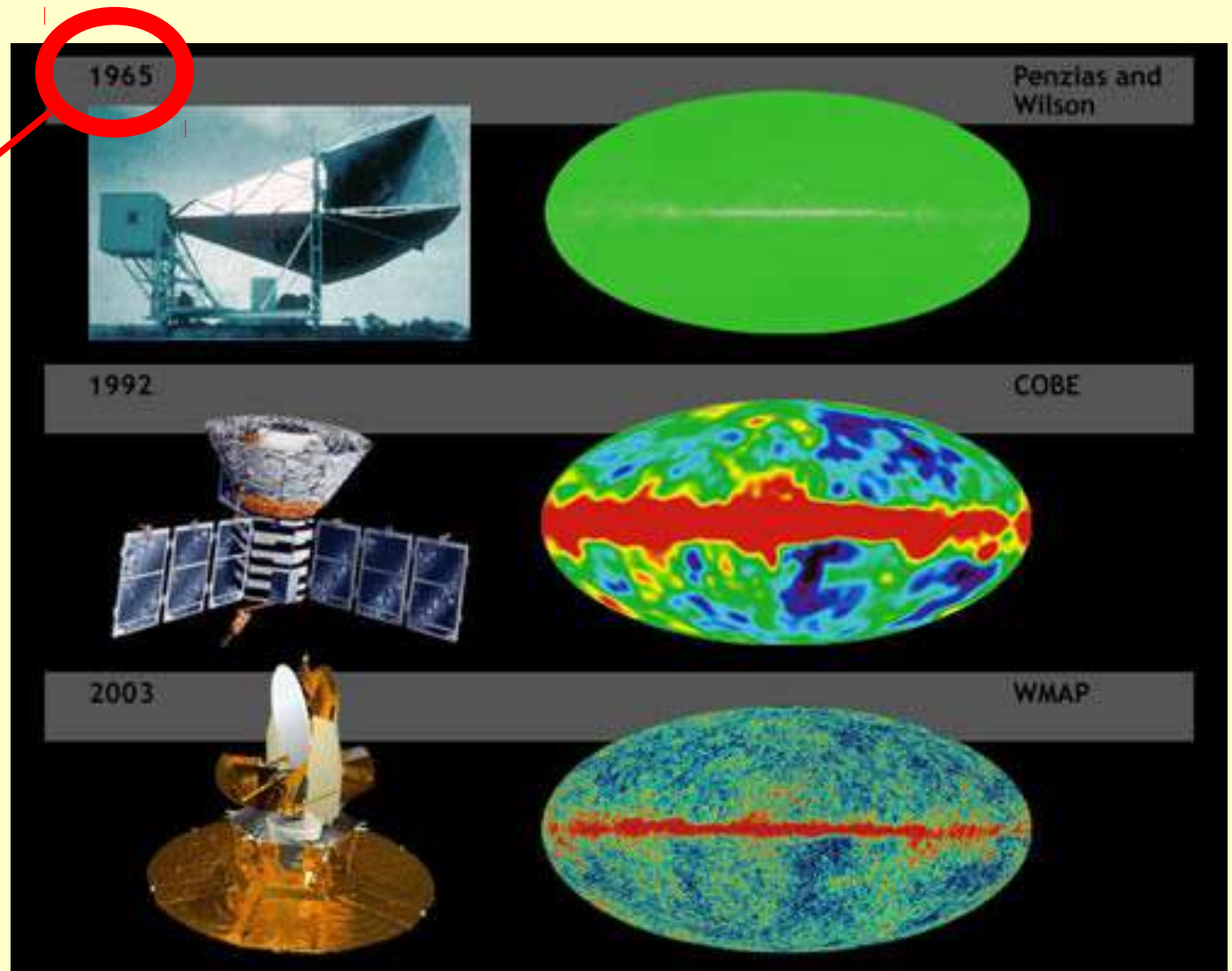


$$v = H_0 d$$

$$H_0 = 68 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

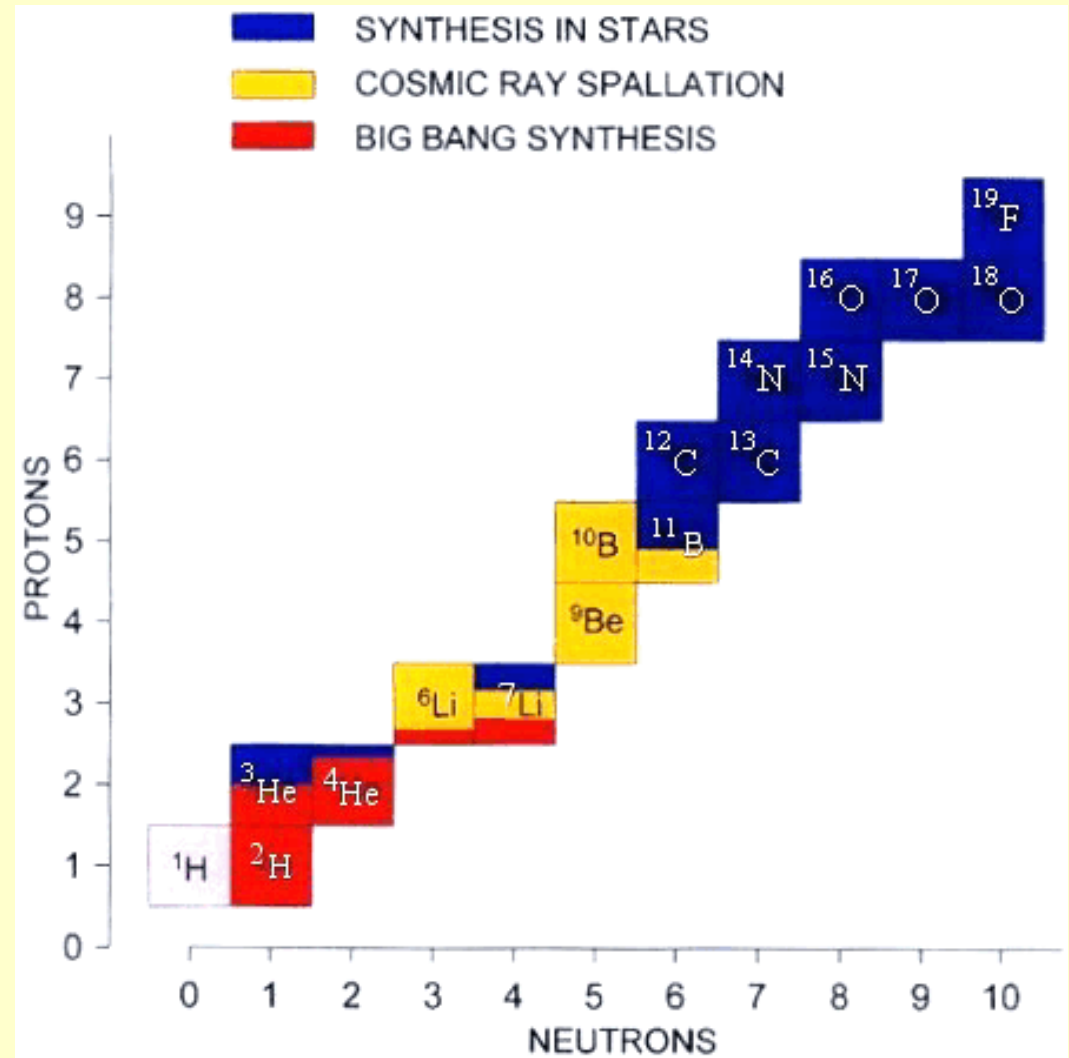
Potvrde modela velikog praska: (2) kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje

kozmiologija
postaje znanost



Potvrde modela velikog praska: (3) udjeli primordijalnih elemenata

astronomska opažanja
H, D, ^3He , ^4He , ^7Li , ...
u dalekim oblacima
primordijalnog plina
potvrdila su proračune
modela velikog praska

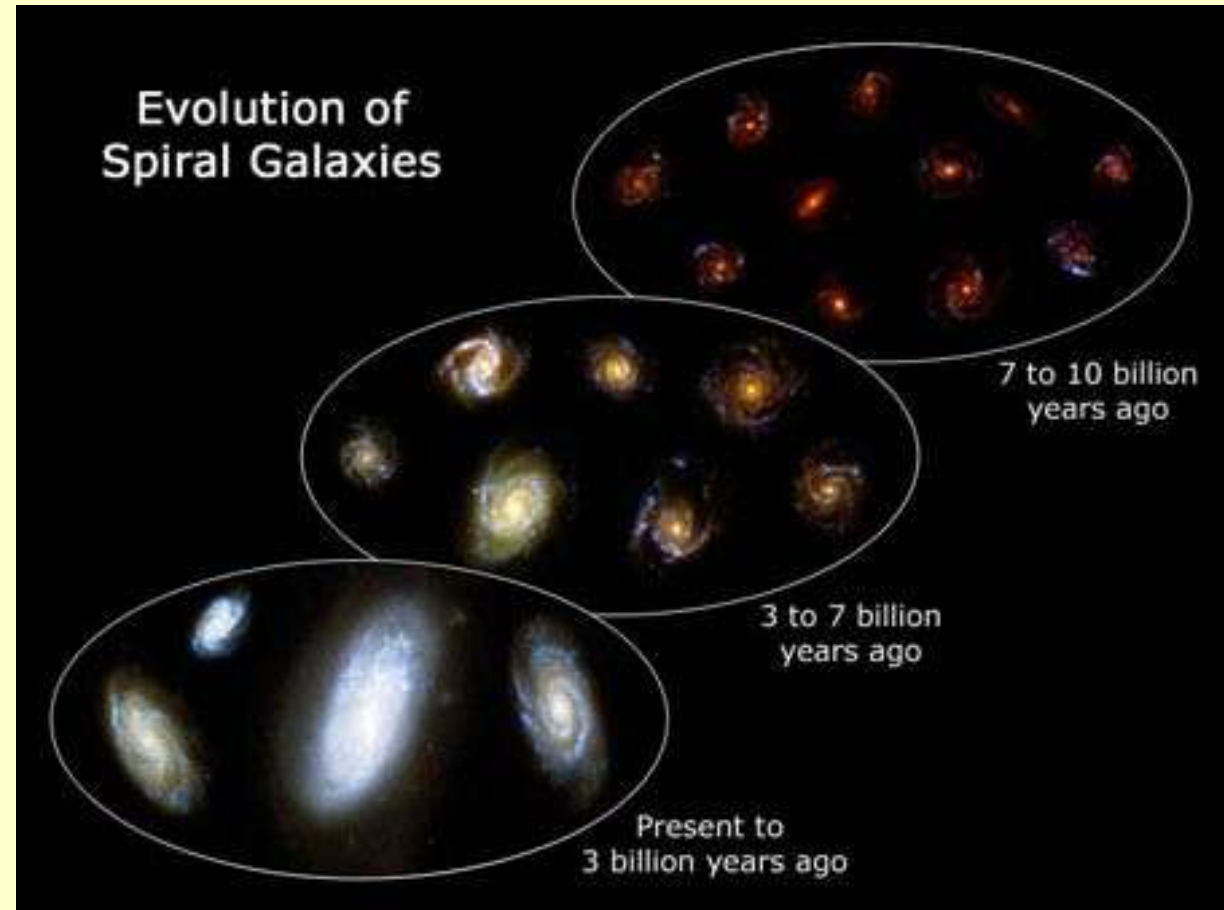


Potvrde modela velikog praska: (4) razvoj izvangalaktičkih objekata

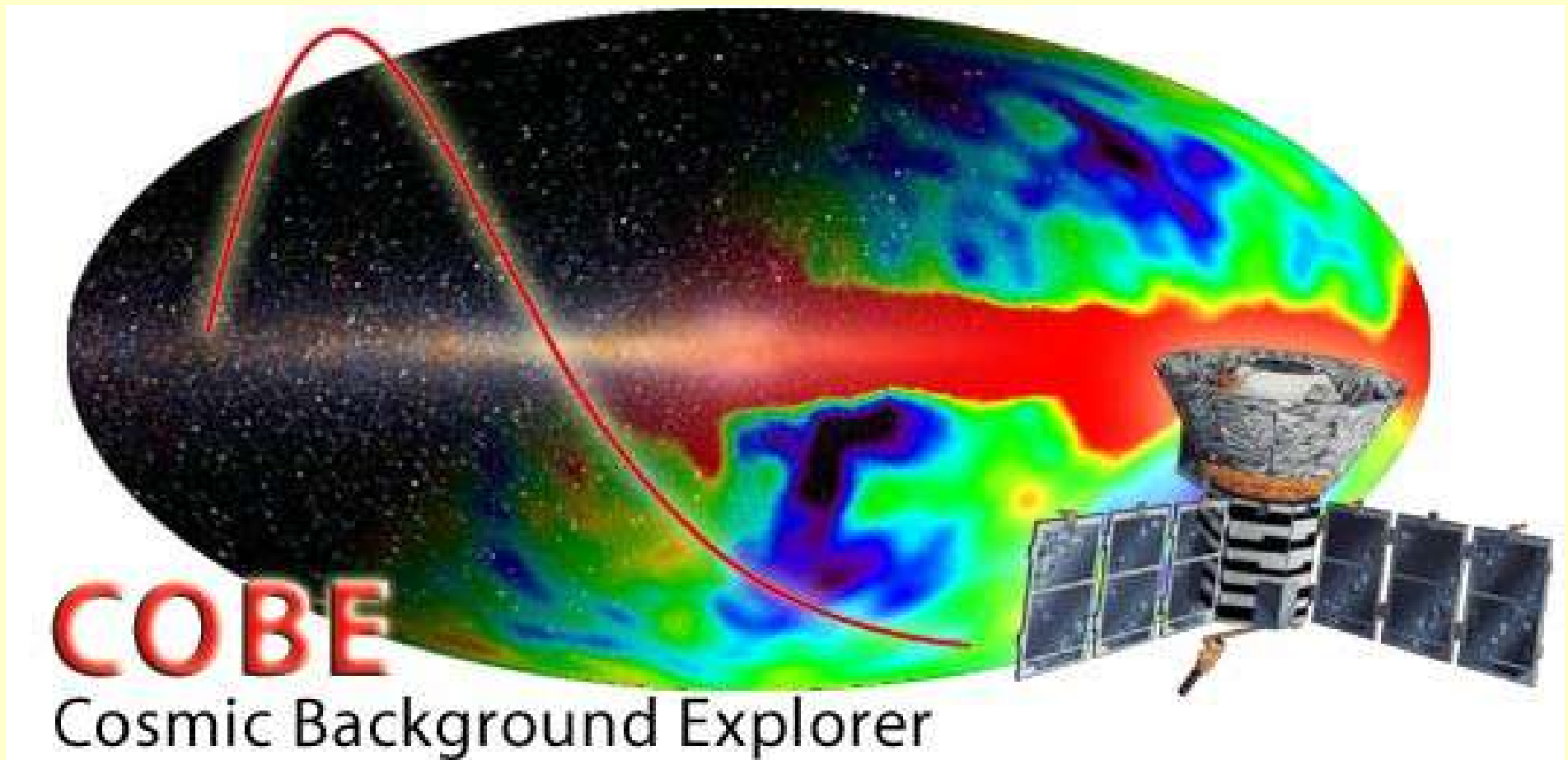
$C = \text{konst}$



“dalje” == “ranije”



COBE

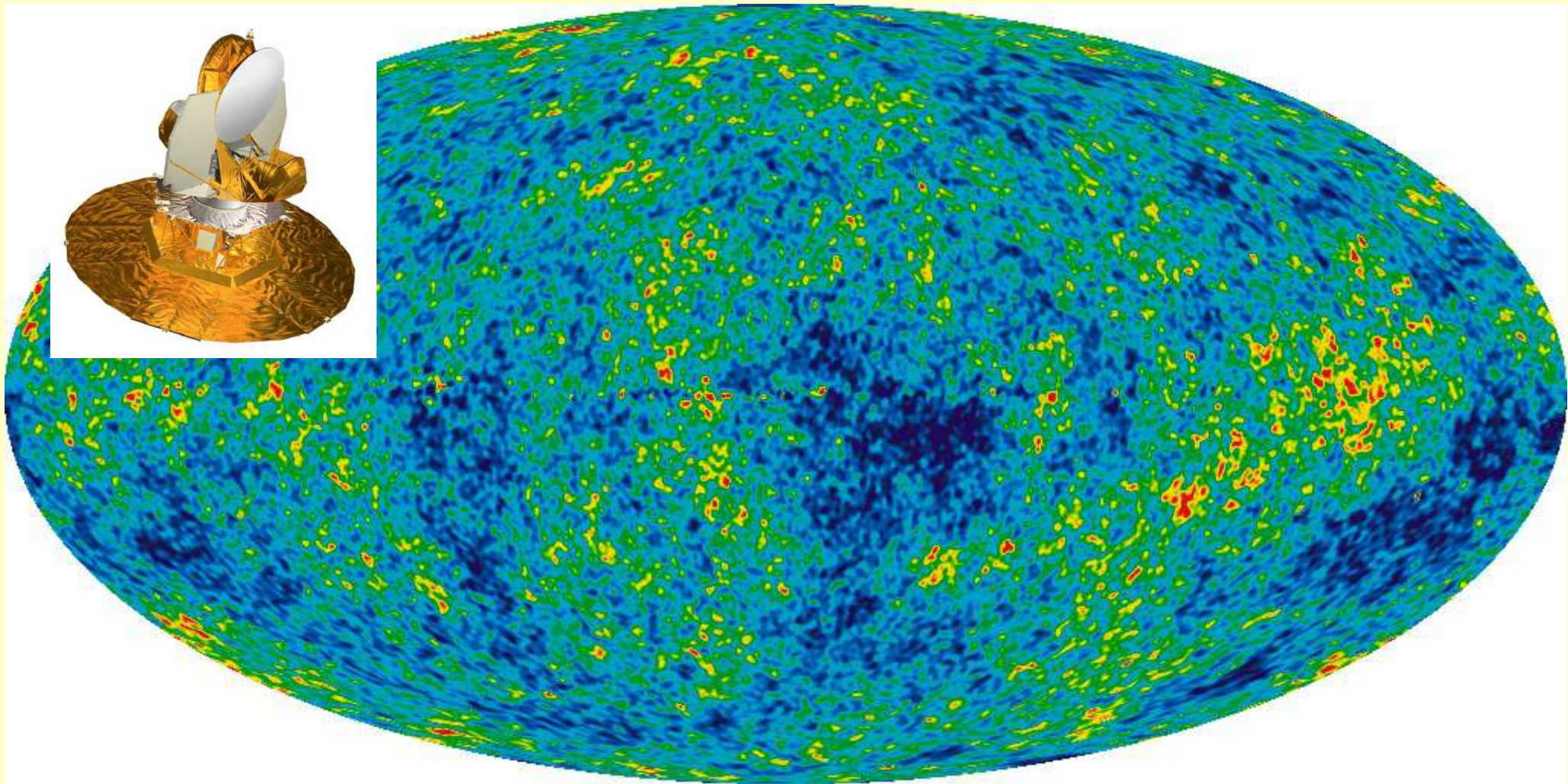


lansiran 1989. godine

Nobelova nagrada 2006. godine za

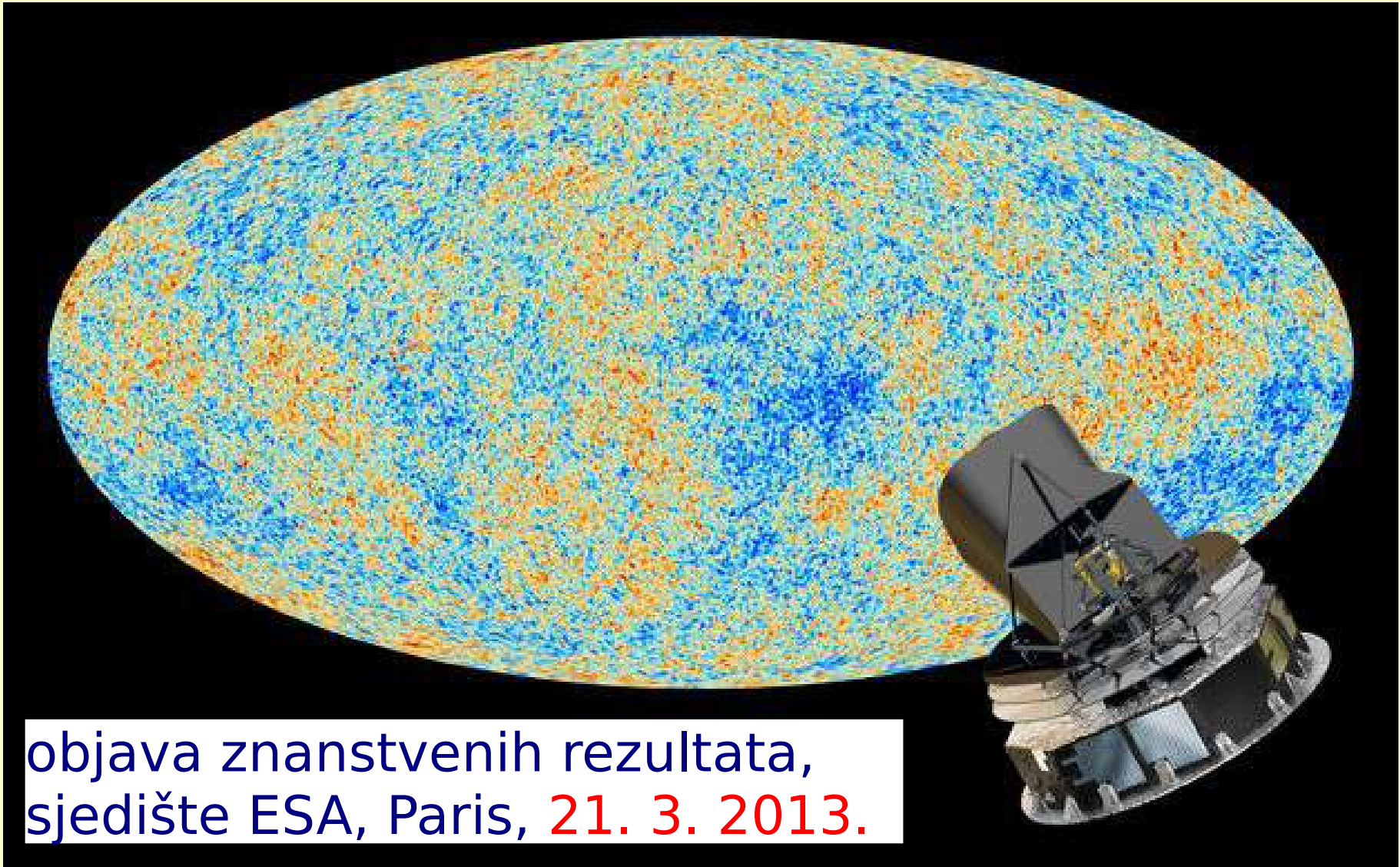
“discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation”

WMAP



**Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
devet godina opažanja
fluktuacije koje odgovaraju začetku formiranja galaksija**

Planck



objava znanstvenih rezultata,
sjedište ESA, Paris, 21. 3. 2013.

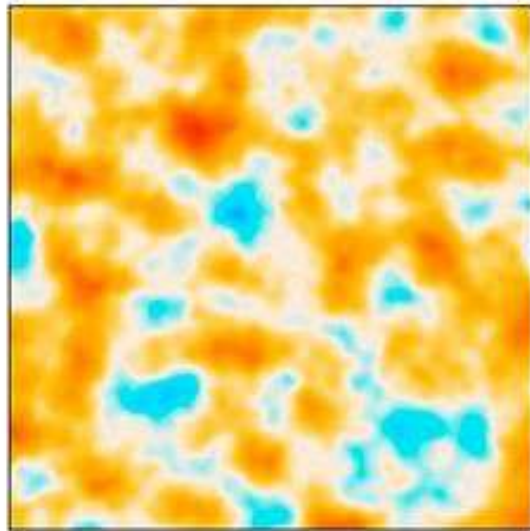
lansiran 14. svibnja 2009.

najpreciznije mjerenje anizotropije kozmičkog mikrovalnog zračenja

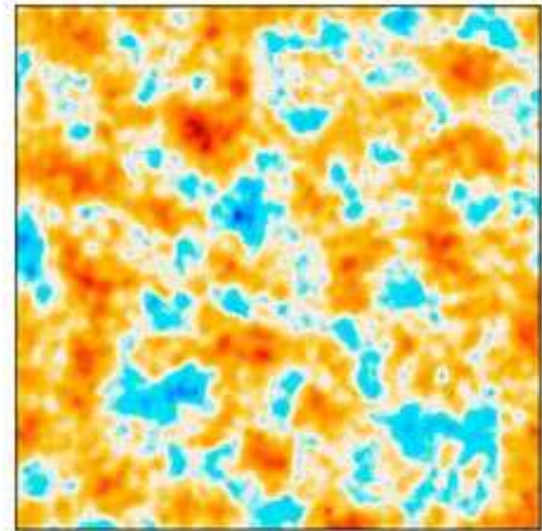
COBE -> WMAP -> Planck



COBE

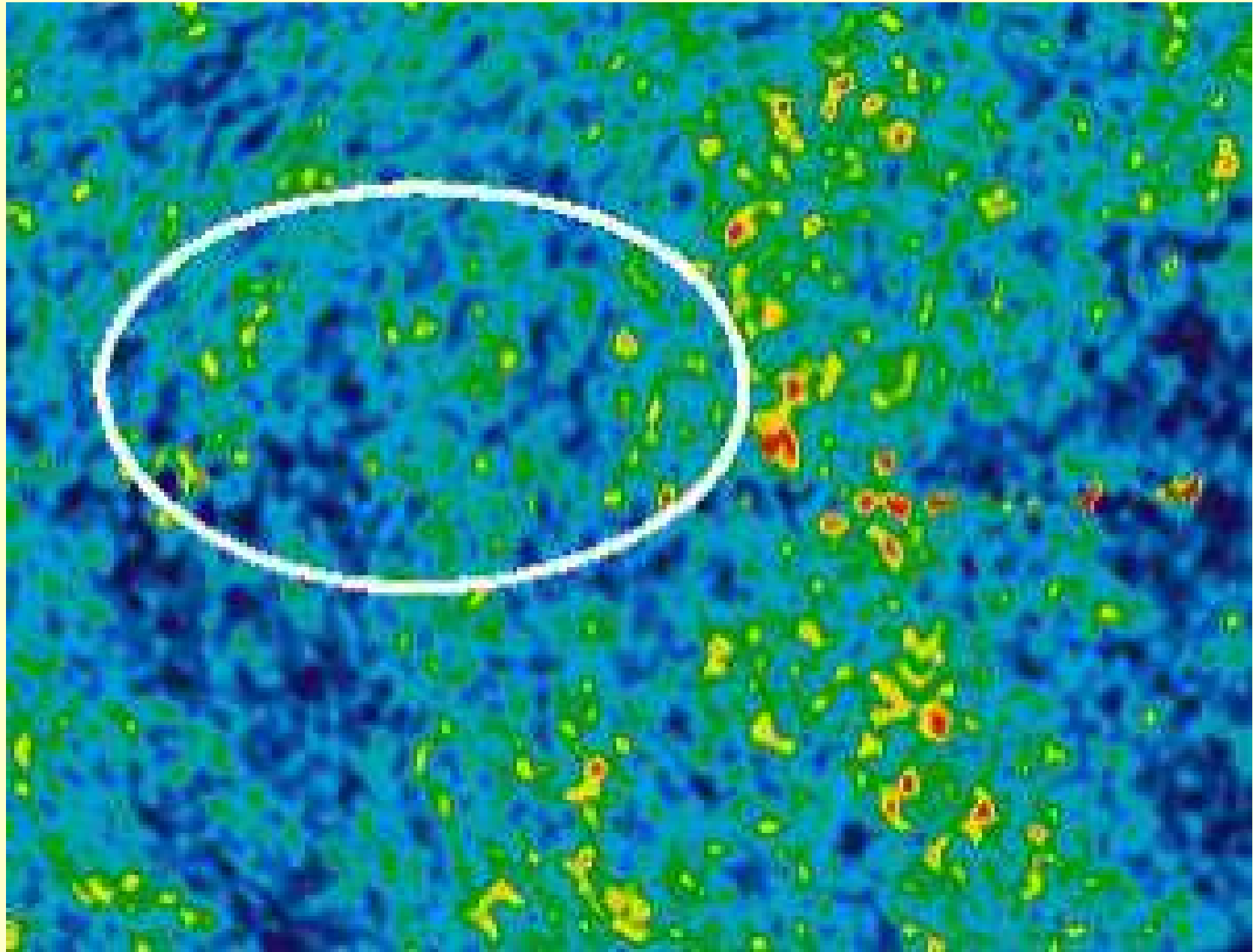


WMAP

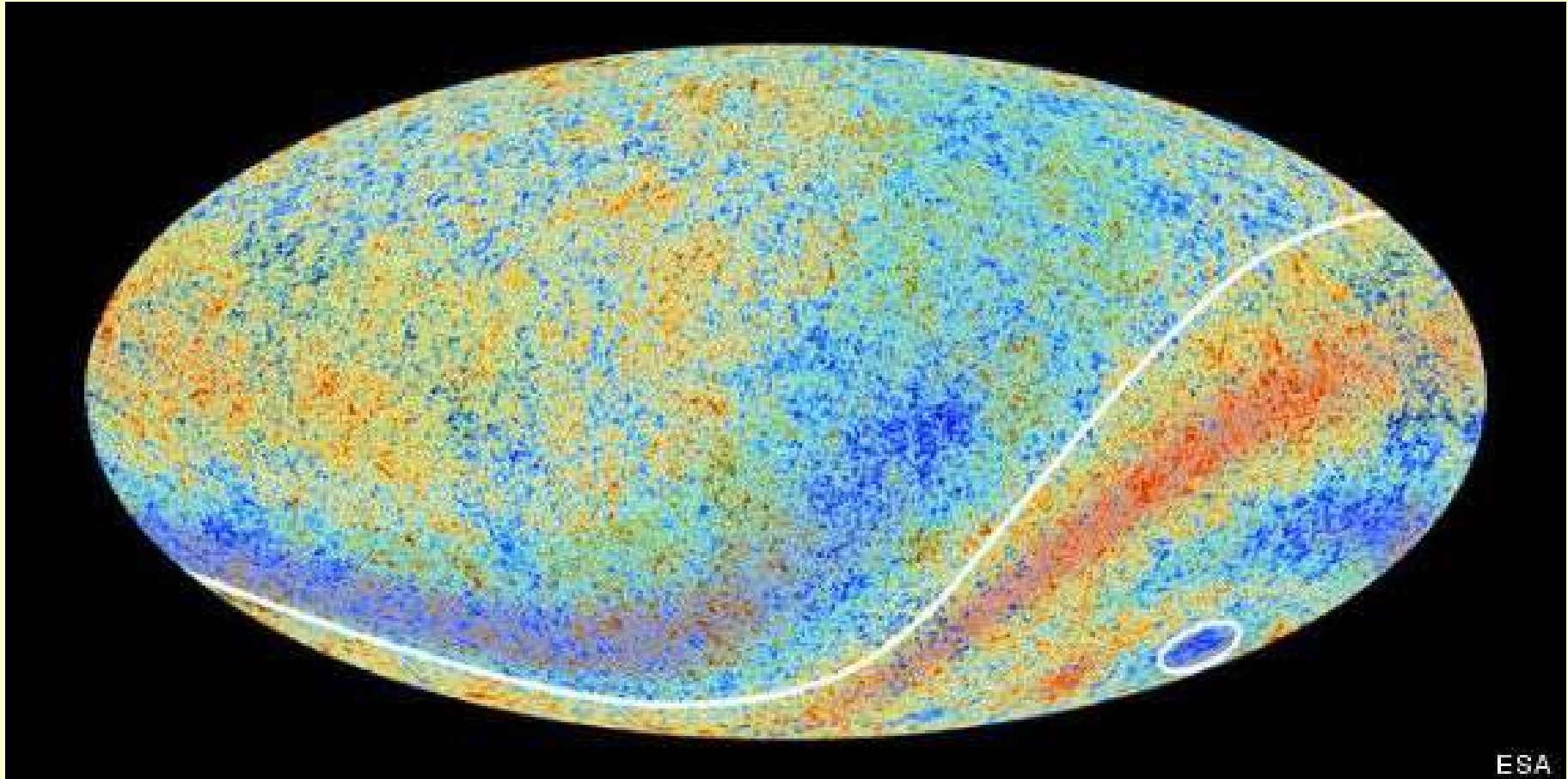


Planck

Inicijali Stephena Hawkinga 😊



Os zla? ☹



Hubbleova konstanta i starost svemira

~~(69.32 ± 0.80)~~

~~km s⁻¹ Mpc⁻¹~~



(67.80 ± 0.77)

km s⁻¹ Mpc⁻¹

~~(13.772 ± 0.059)~~

~~milijardi godina~~



(13.798 ± 0.037)

milijardi godina

“4% svemira” --> “5% svemira”

