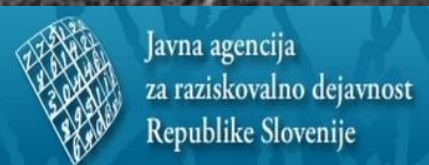


# Znanost na cesti in ZRC SAZU

Od prvih galaksij do temne snovi: življenjepis našega vesolja

Prof. dr. Maruša Bradač, Univerza Kalifornije v Davisu  
Maja Ratej, Val 202





Movie by B. Tully

# Svetla stran vesolja

- Sončev sistem - 1 zvezda
- Mlečna cesta  $10^{12}$  (1 tera) zvezd
- Več kot  $10^{12}$  galaksij (1 tera galaksij) v vesolju
- Več kot yotta zvezd

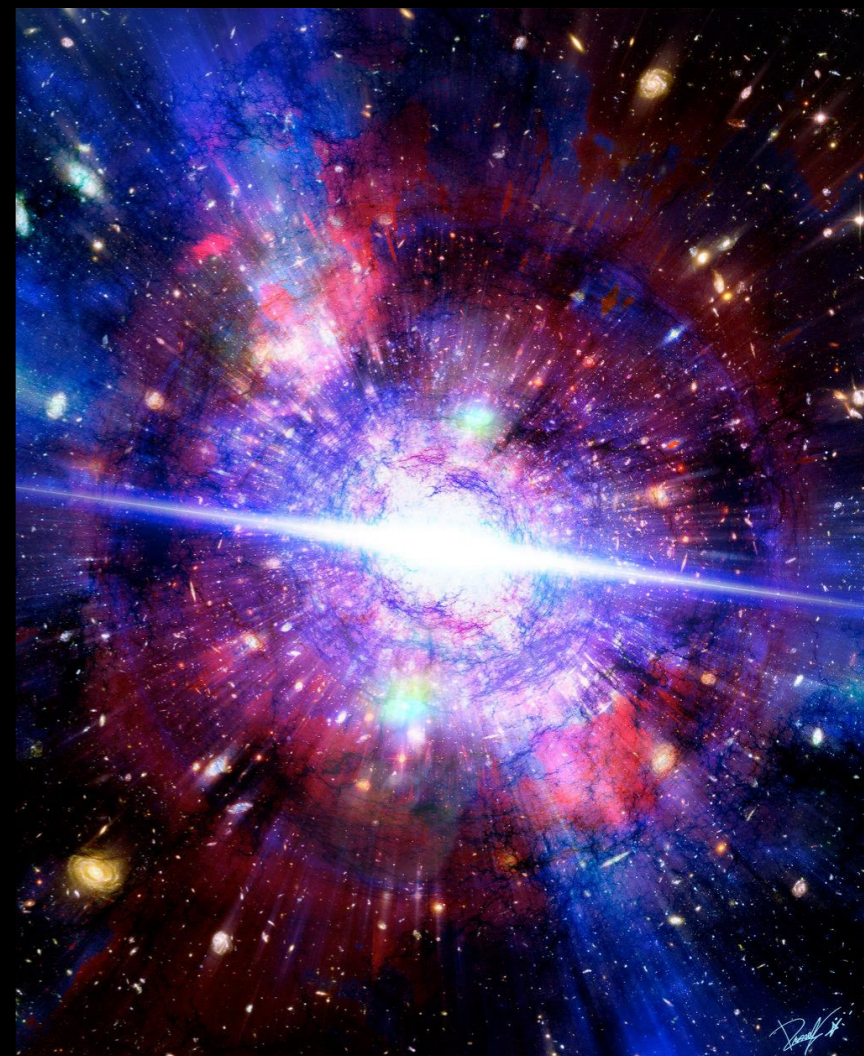


PRED 13.8 MILIJARDAMI LET

veliki  
pok

ZnC





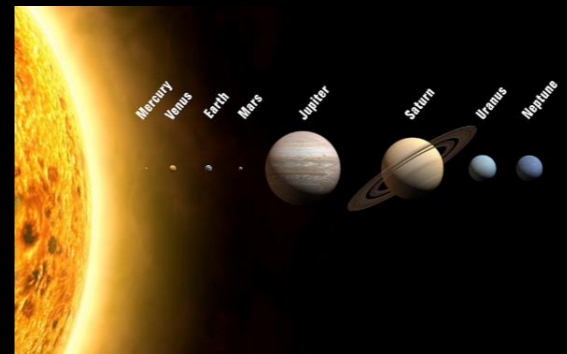
# KAR SLEDI JE DEJANSKA SLIKA VESOLJA PRED 13.8 MILIJARDAMI LET





# PRED 13.8 MILIJARDAMI LET

veliki  
pok



1. Jan

1. apr

31. avg



31.Dec

ZnC





PRED 13.8 MILIJARDAMI LET

veliki  
pok

ZnC

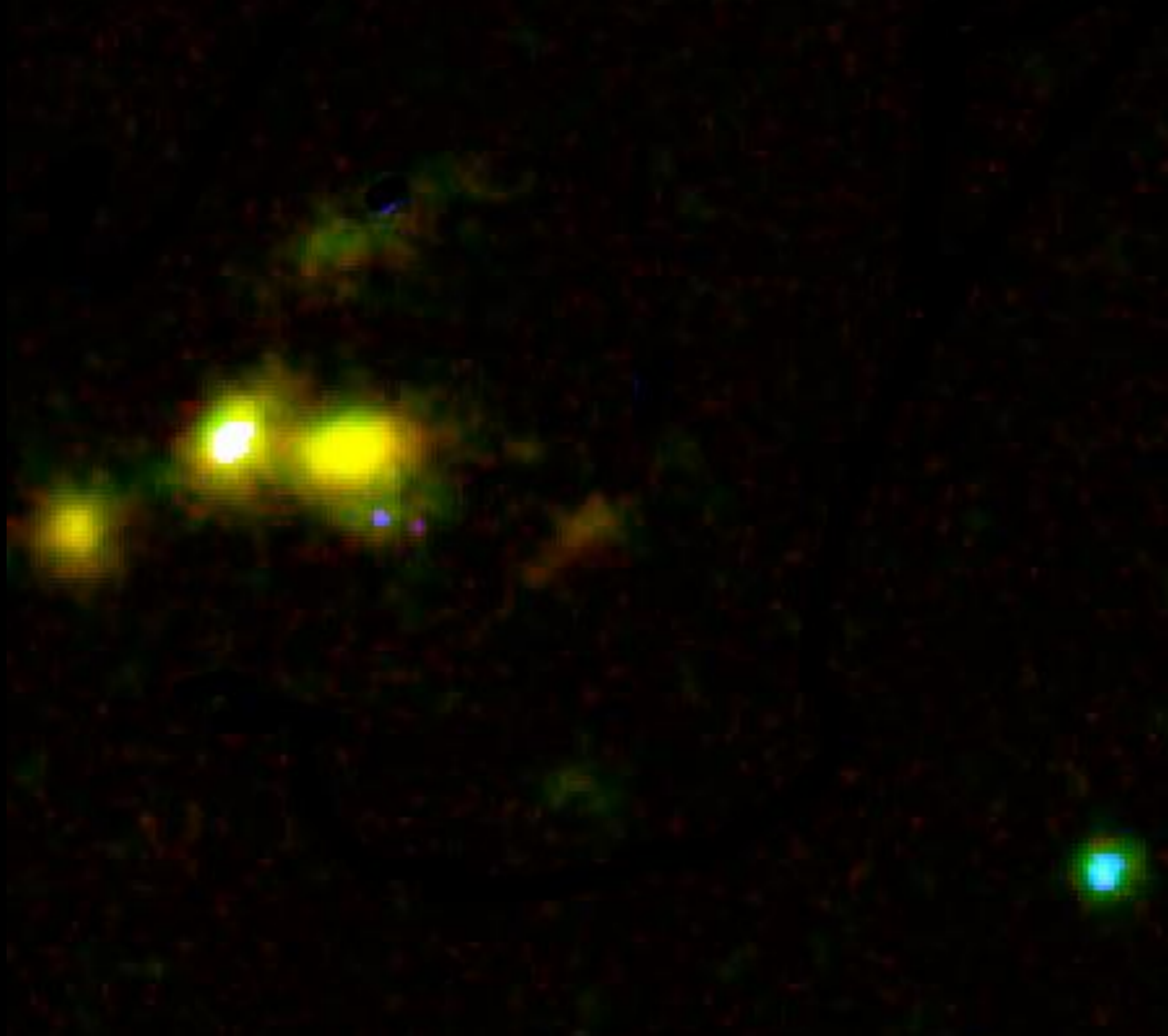
Jan

Dec

9. januar → nastanek prvih zvezd  
14. januar → nastanek prvih galaksij

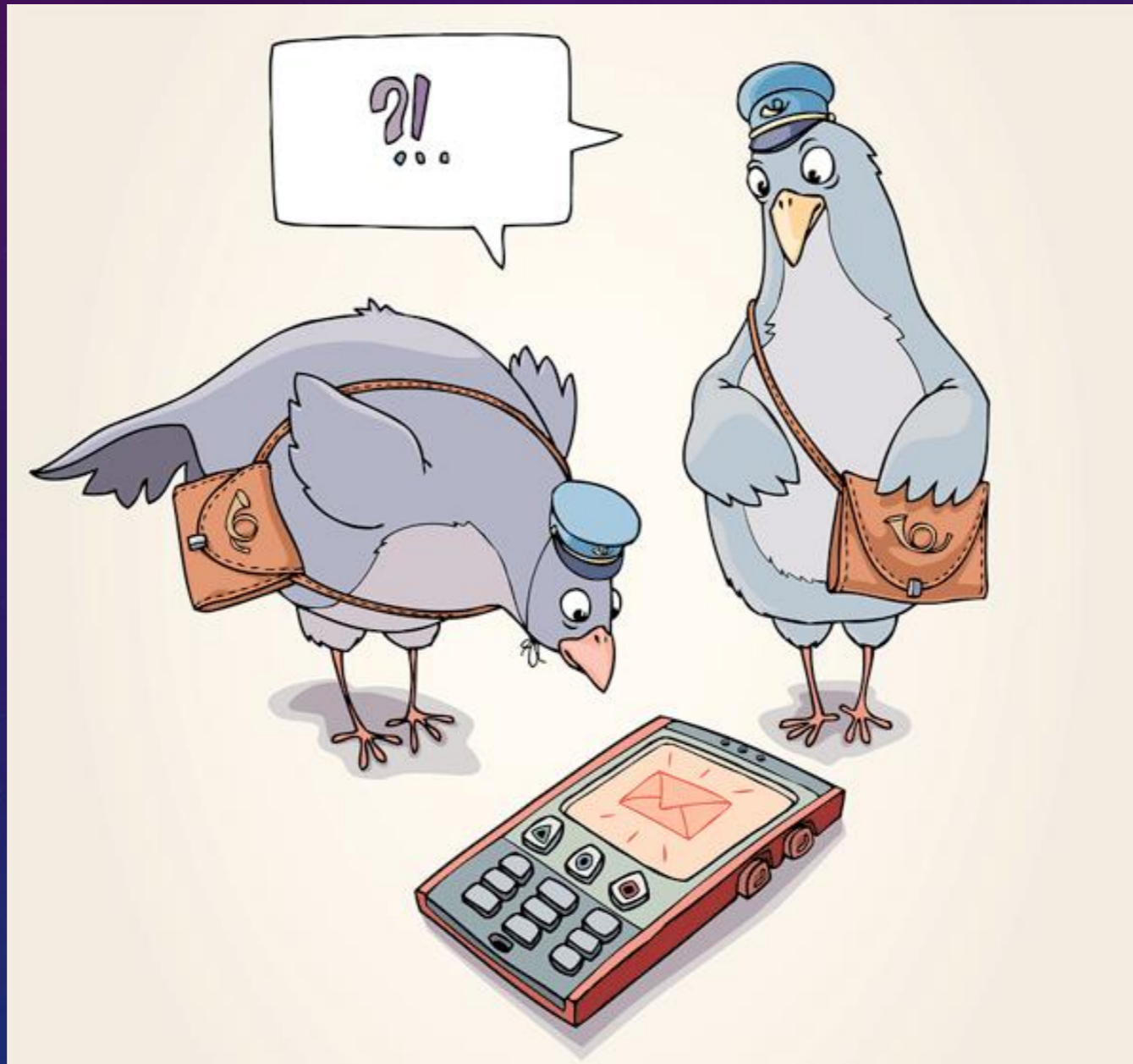
# KAR SLEDI JE DEJANSKA SLIKA ENE PRVIH GALAKSIJ







# Pogled v preteklost



# Pogled v preteklost



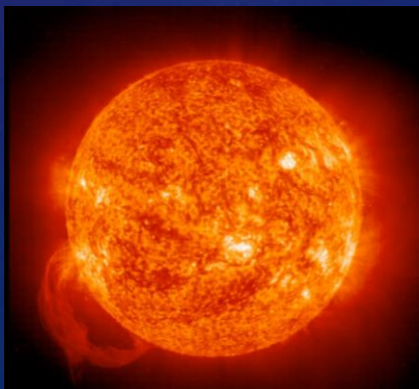
26000 let



4 leta



5 ur



8 minut



ZnC



ZnC

ZnC

13 200 000 let



# Splošna teorija relativnosti

Linie zu demjenigen Punkte einer benachbarten Kurve, welcher zu dem nämlichen  $\lambda$  gehört. Dann läßt sich (20) durch

$$(20a) \quad \begin{cases} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \delta w \, d\lambda = 0 \\ w^2 = g_{\mu\nu} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda} \end{cases}$$

ersetzen. Da aber

$$\delta w = \frac{1}{w} \left\{ \frac{1}{2} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda} \delta x_\sigma + g_{\mu\nu} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \delta \left( \frac{dx_\nu}{d\lambda} \right) \right\},$$

so erhält man nach Einsetzen von  $\delta w$  in (20a) mit Rücksicht darauf, daß

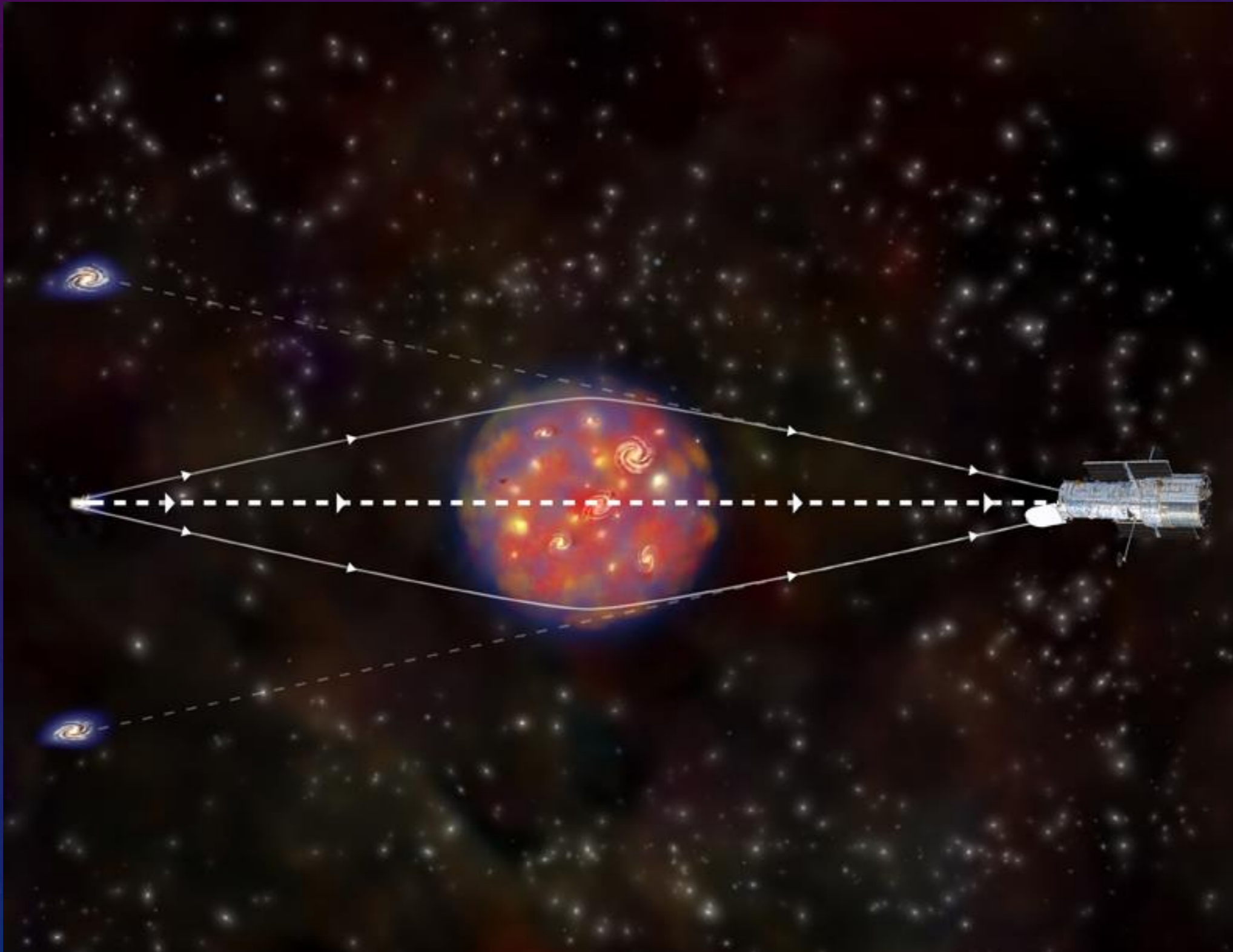
$$\delta \left( \frac{dx_\nu}{d\lambda} \right) = \frac{d\delta x_\nu}{d\lambda},$$

nach partieller Integration

$$(20b) \quad \begin{cases} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda \kappa_\sigma \delta x_\sigma = 0 \\ \kappa_\sigma = \frac{d}{d\lambda} \left\{ \frac{g_{\mu\nu}}{w} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \right\} - \frac{1}{2w} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} \frac{dx_\mu}{d\lambda} \frac{dx_\nu}{d\lambda} \end{cases}$$

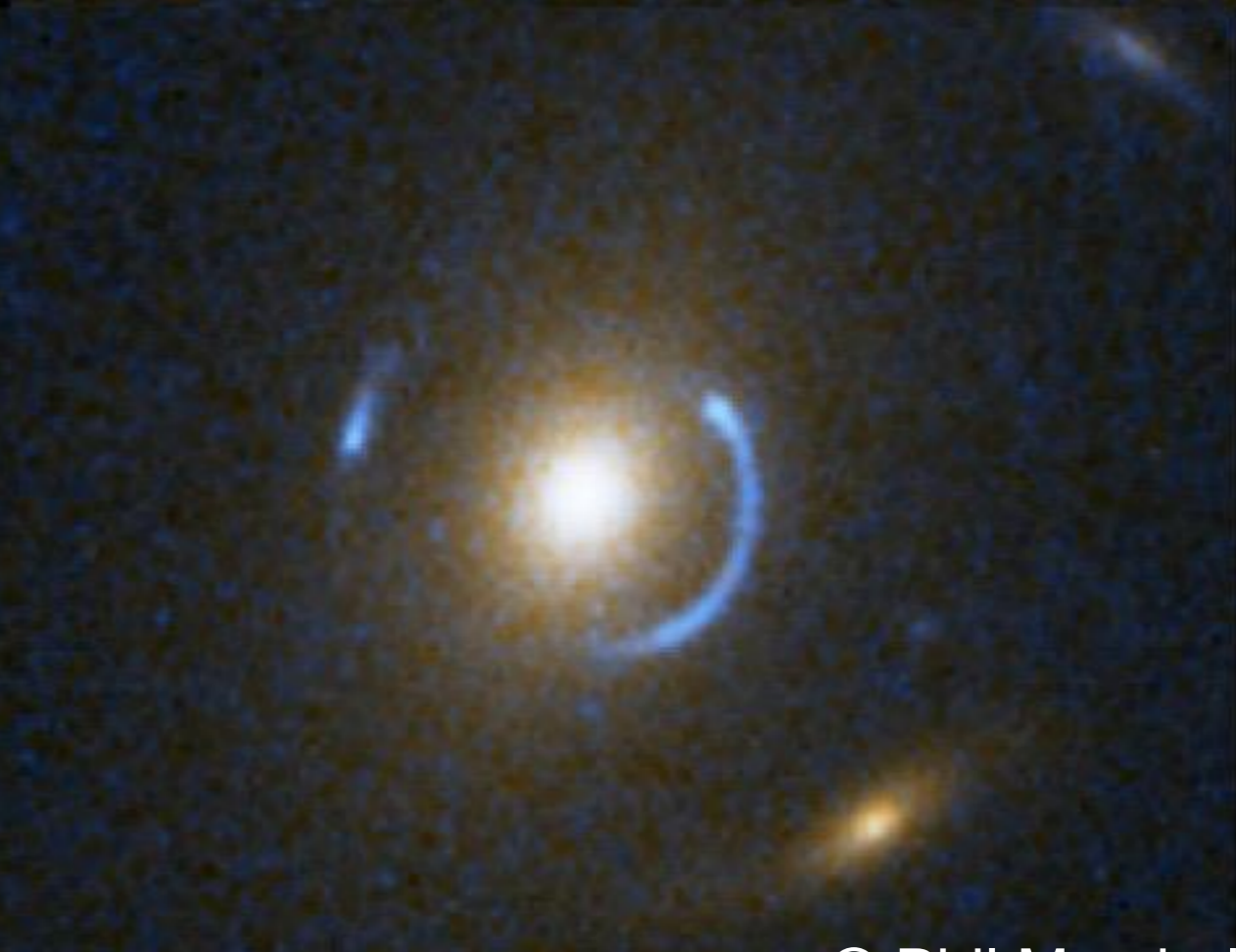
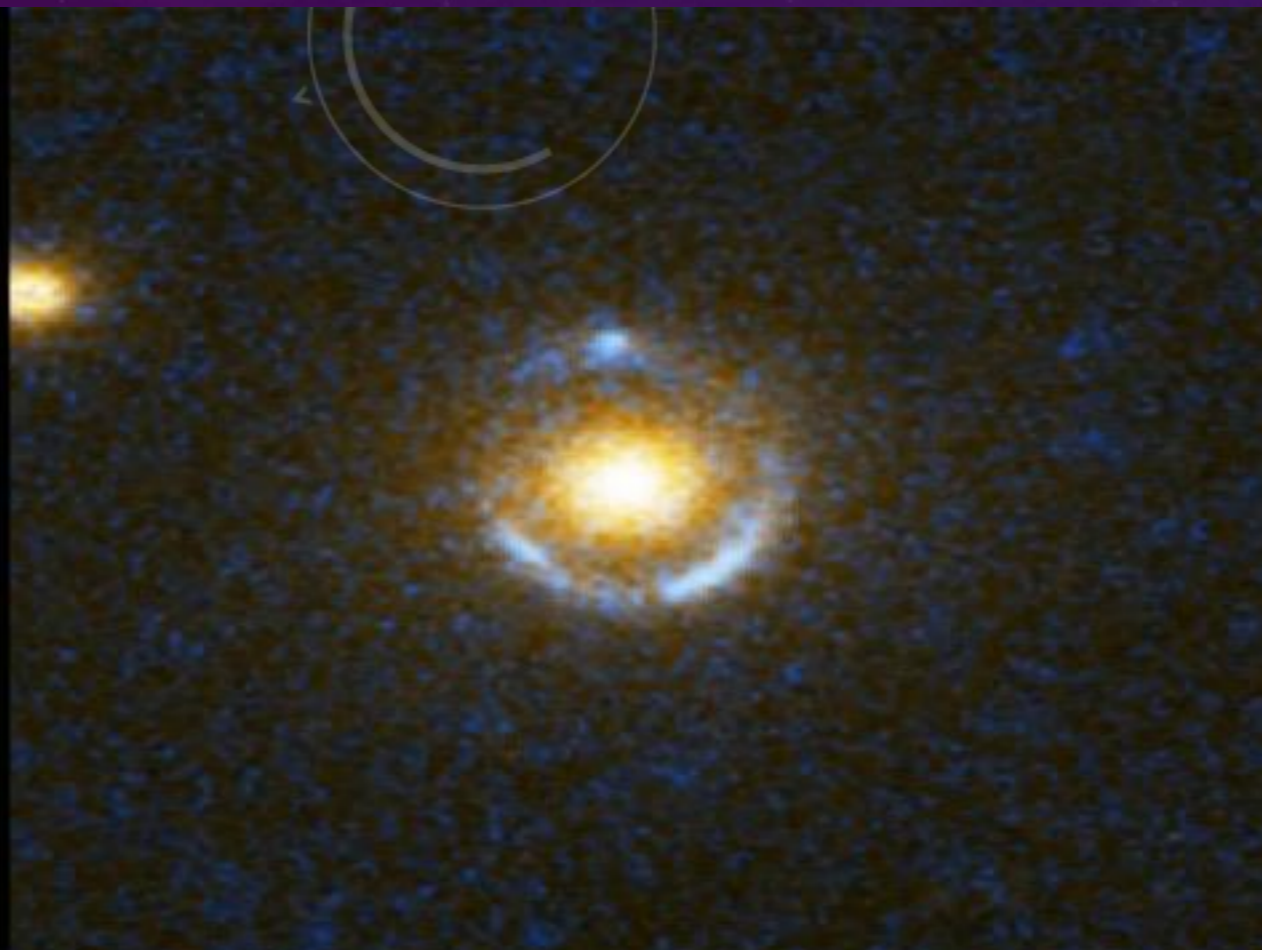


# Ukrivljanje prostora-časa



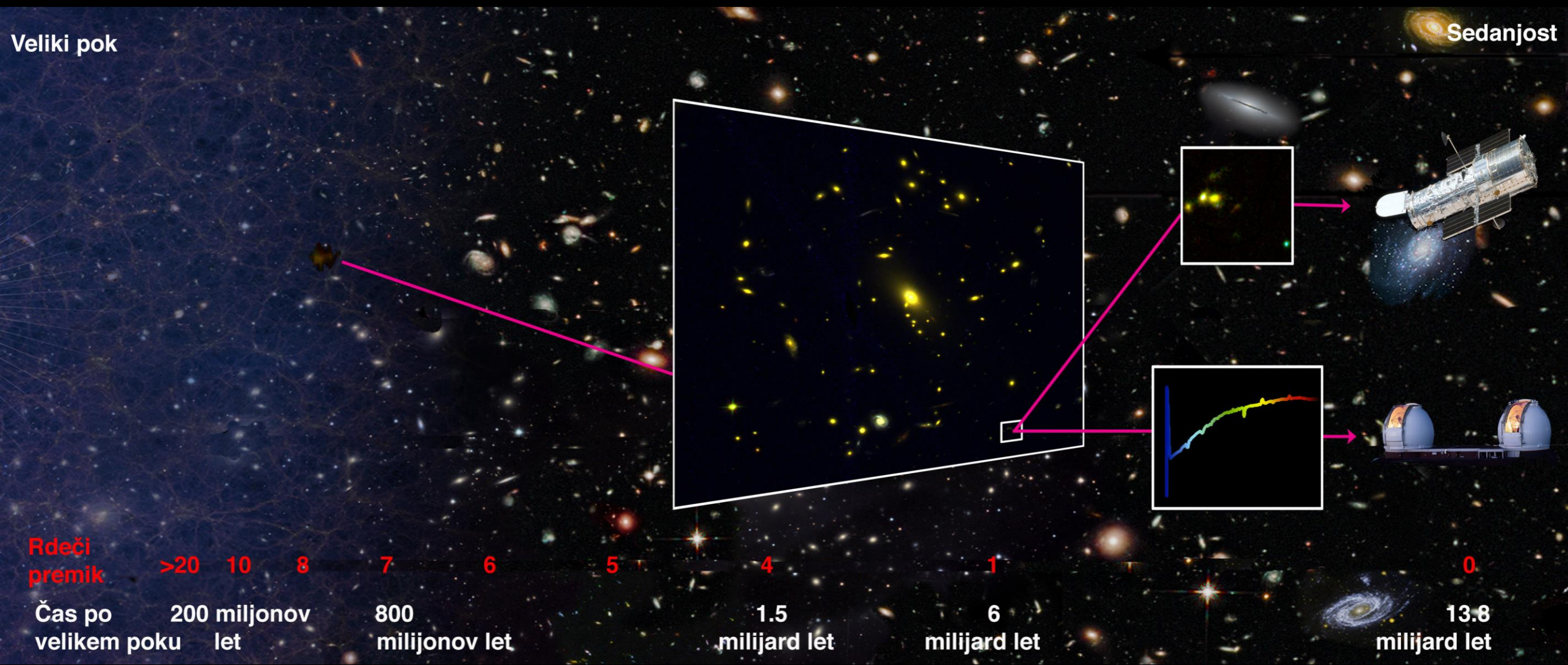
# Ukrivljanje prostora-časa





Veliki pok

Sedanjest



Rdeči premik

>20 10 8

7 6 5

4 1

0

Čas po velikem poku 200 miljonov let

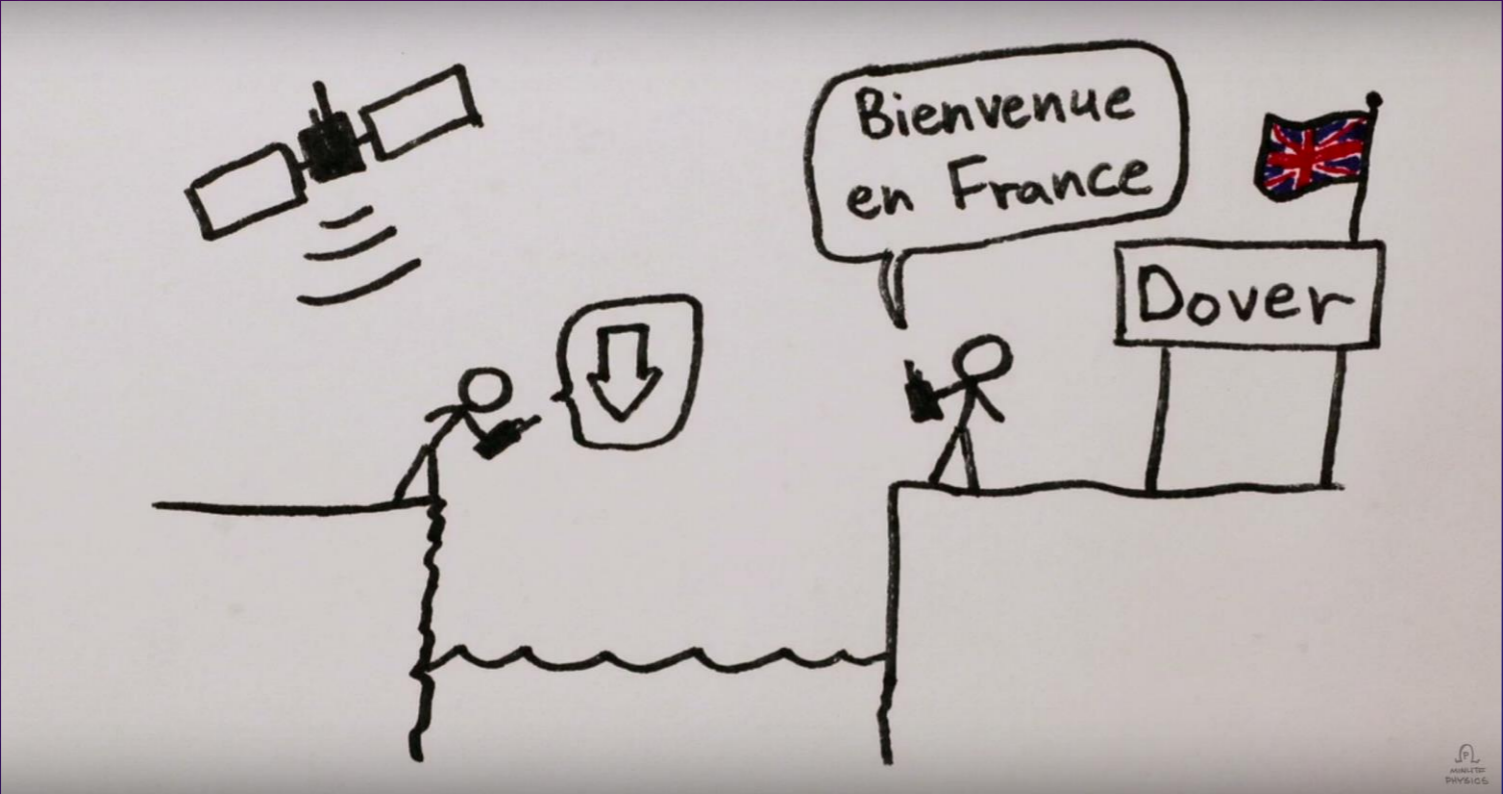
800 miljonov let

1.5 milijard let

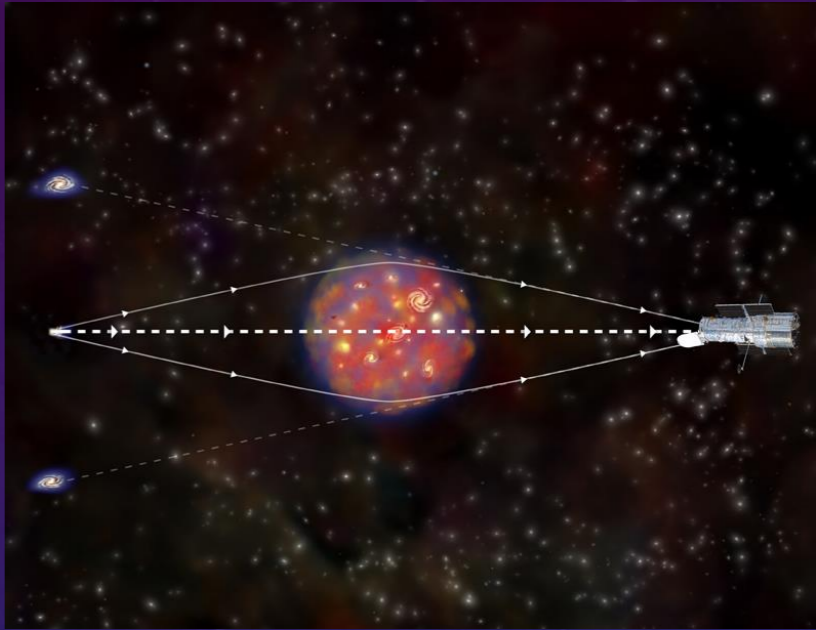
6 milijard let

13.8 milijard let

# Splošna teorija relativnosti

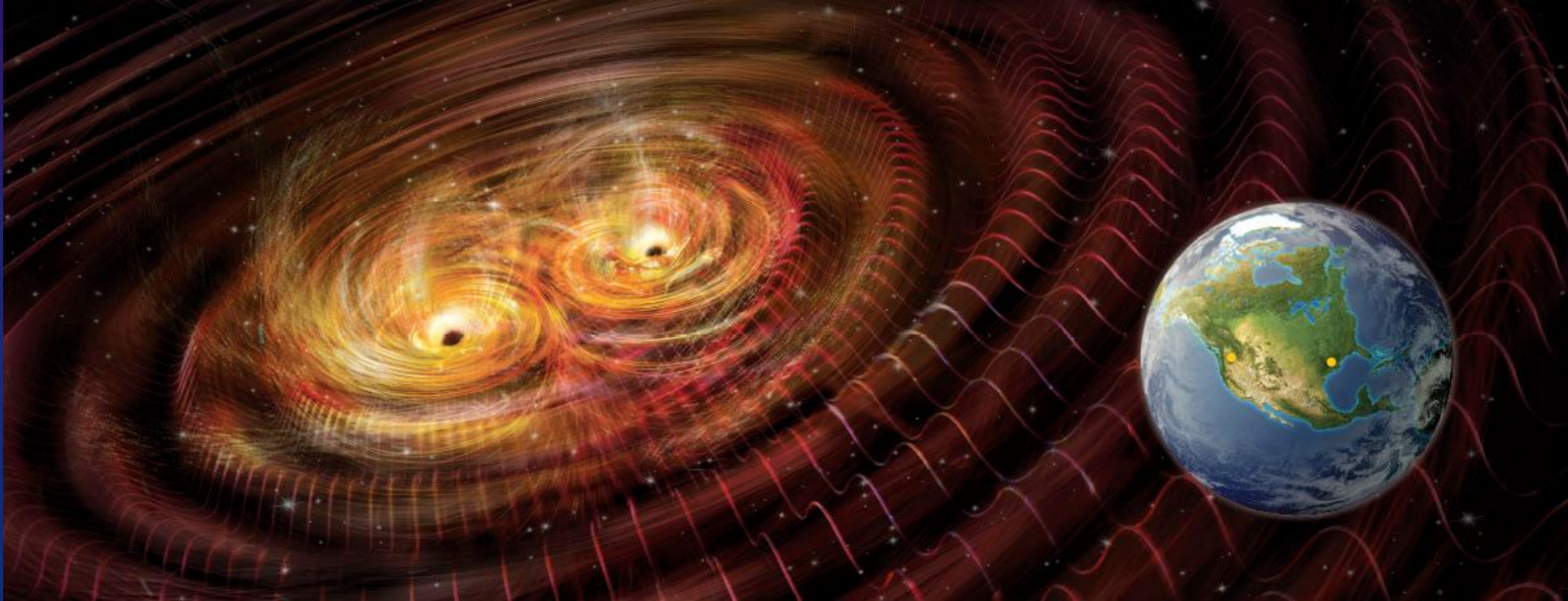


GPS

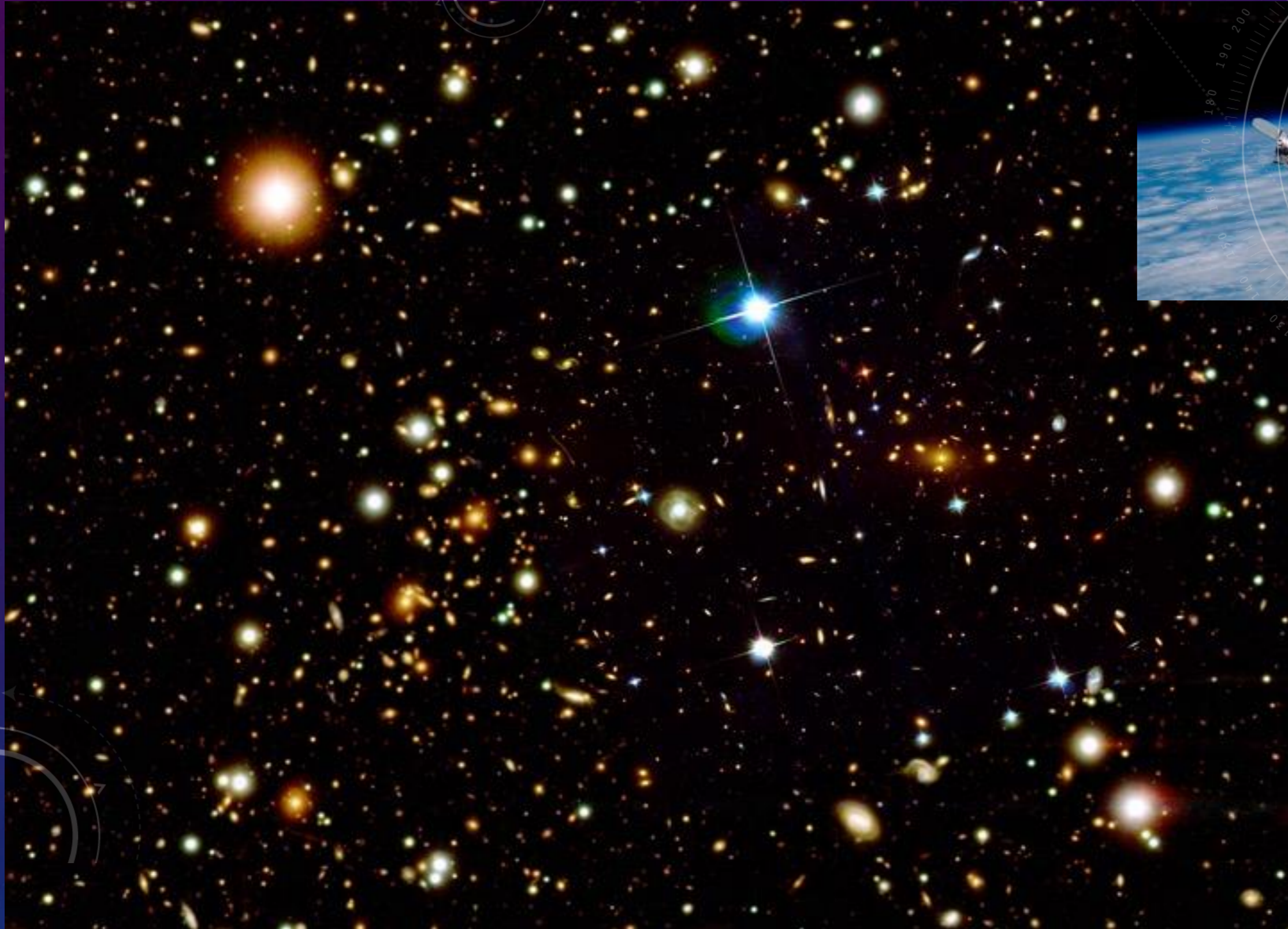


Gravitacijsko  
lečenje

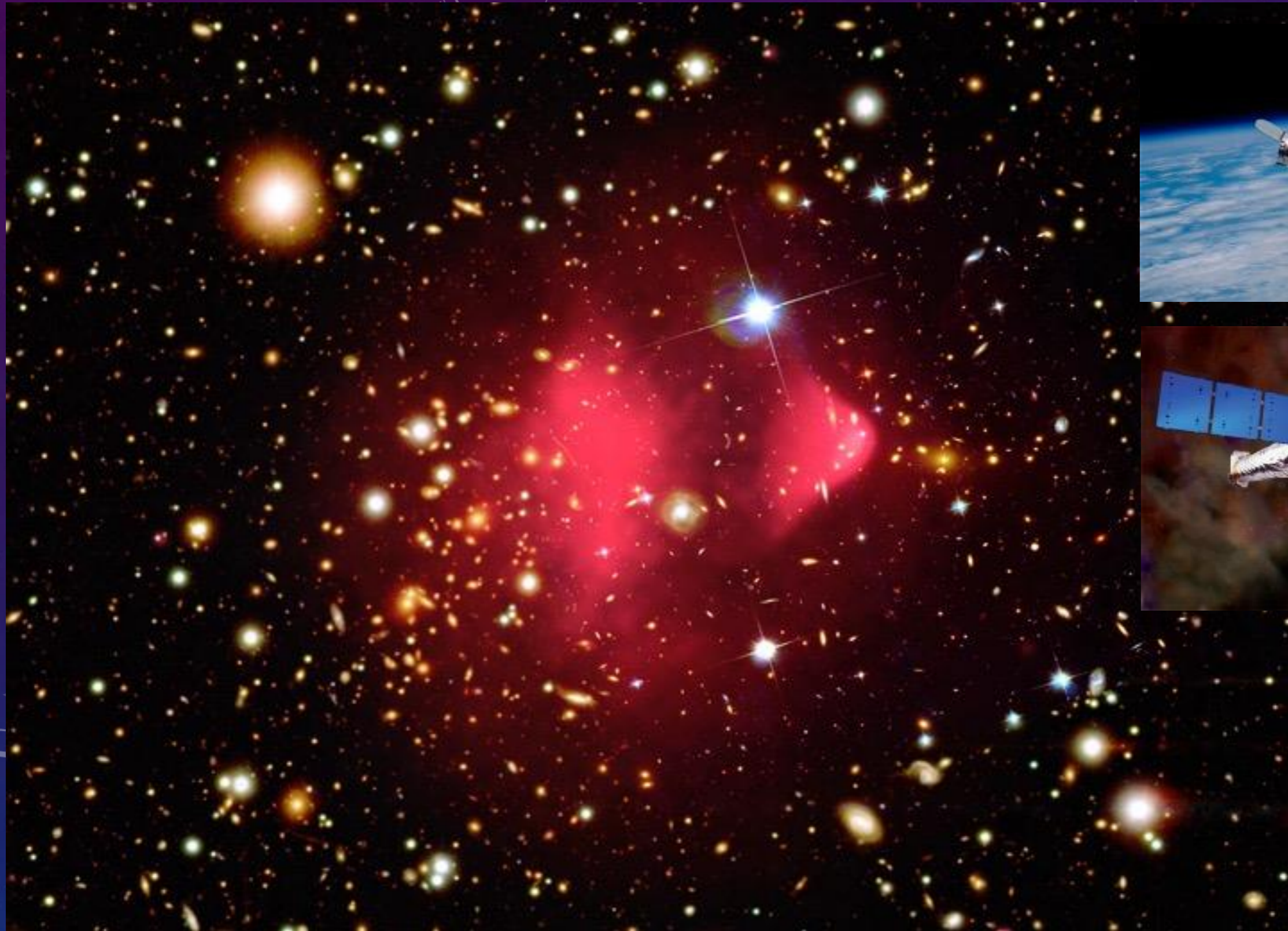
Gravitacijski  
valovi

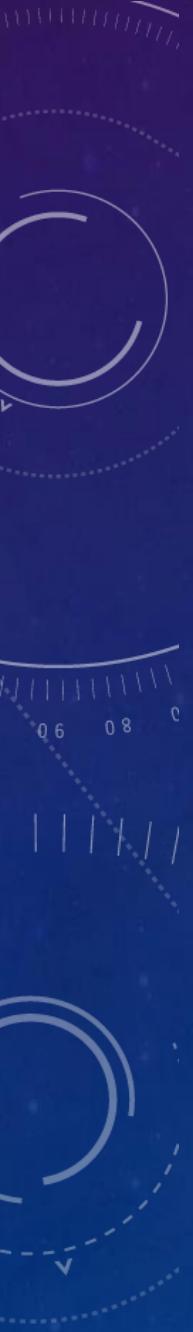
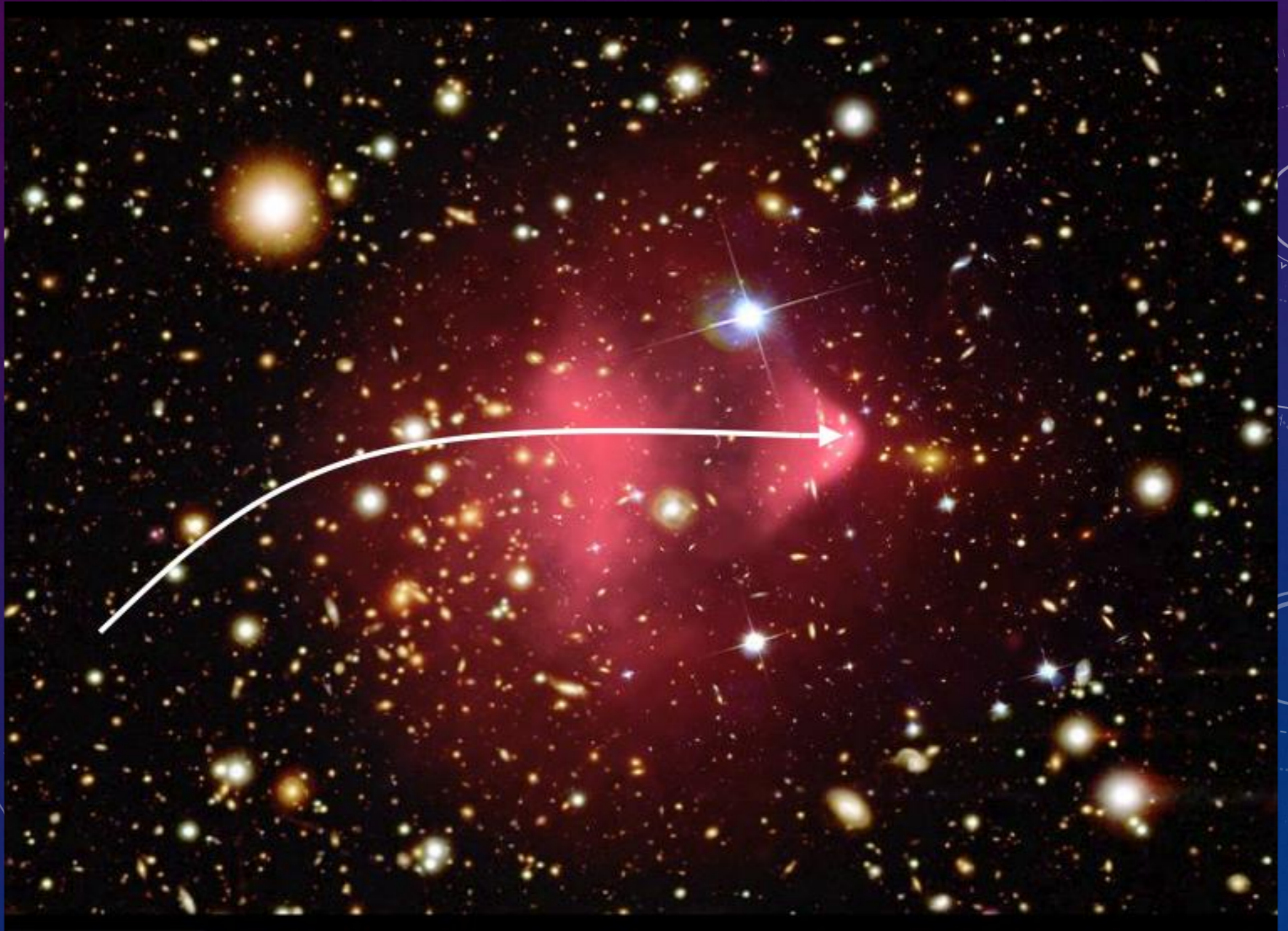


# Jata galaksij 1E0657-56: galaksije



# Jata galaksij 1E0657-56: vroč plin

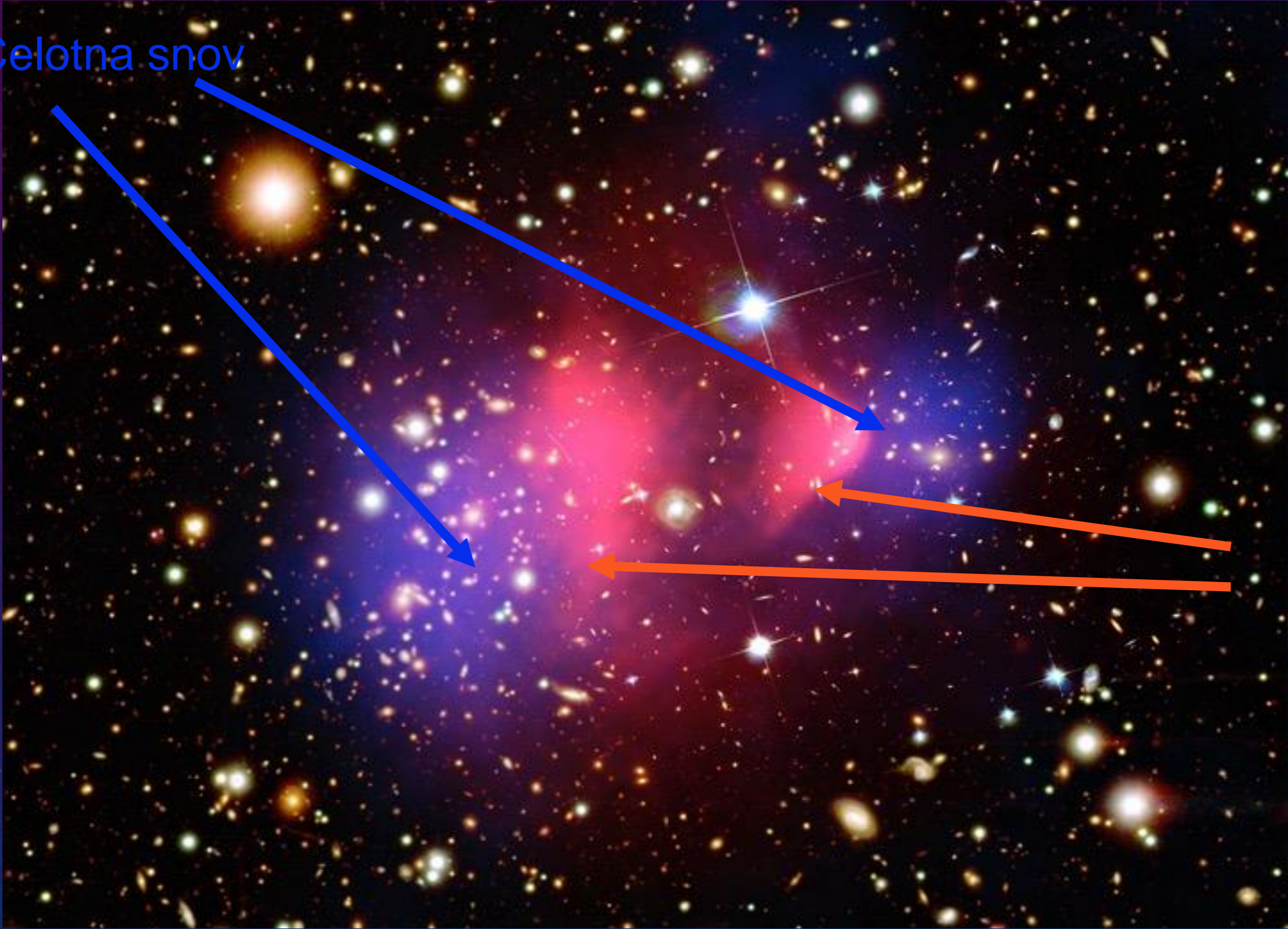




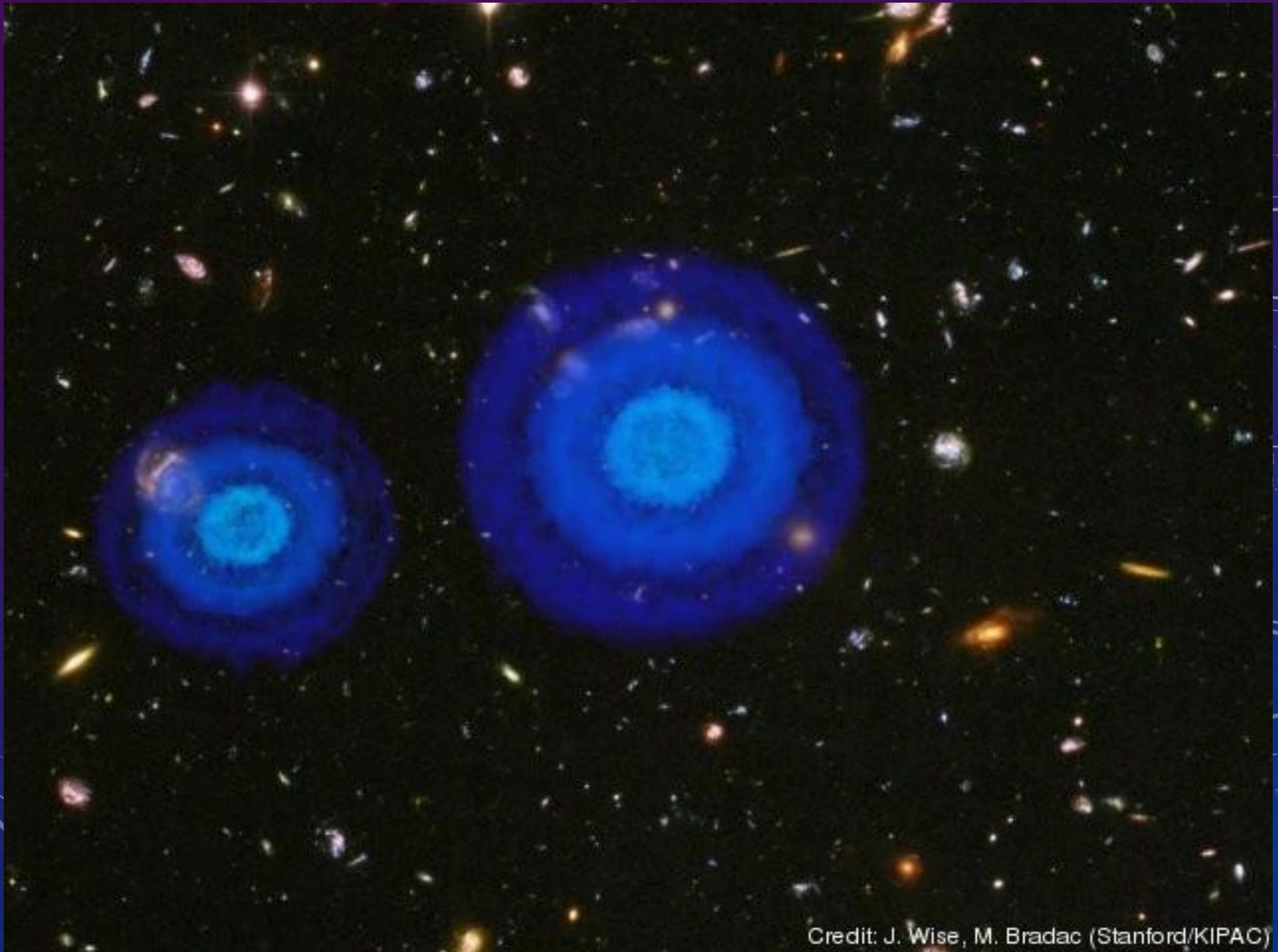


# Jata galaksij: 1E0657-56

Celotna snov

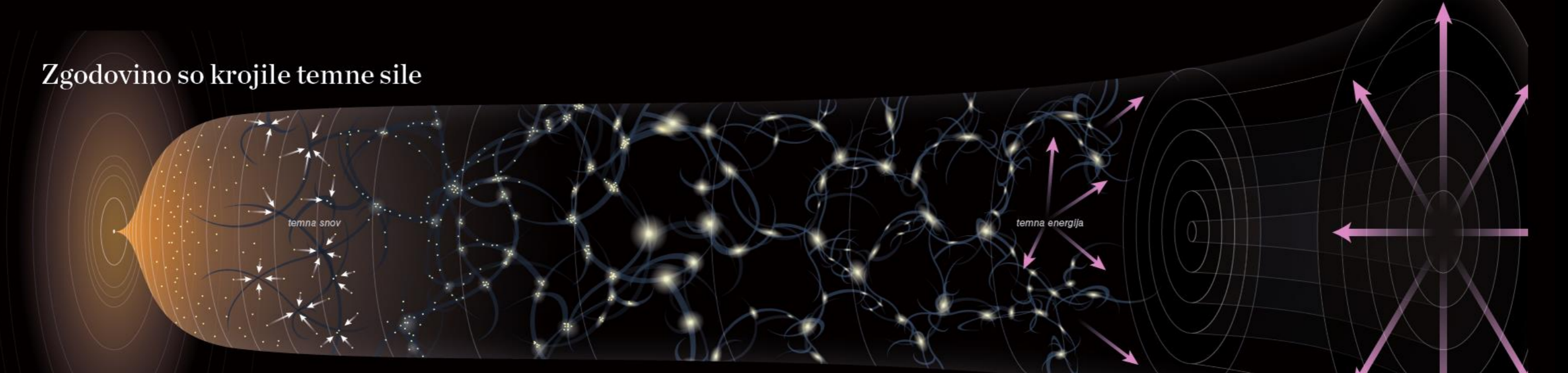


Plin



Credit: J. Wise, M. Bradac (Stanford/KIPAC)

# Zgodovino so krojile temne sile



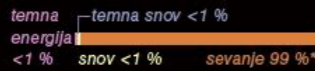
## Veliki pok

Pred 13,8 milijarde let  
Naše vesolje se je razcvetelo iz vročega, gostega stanja, manjšega od atoma. Že v prvih milisekundah se je močno razširilo.

Sestava vesolja

## Nastanek temne snovi

Prve sekunde vesolja  
Tudi temna snov se je pojavila v prvi sekundi. V medsebojnem delovanju z delci normalne snovi prek gravitacije se je začela vsa snov zgoščevati.



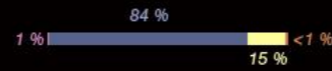
## Prižgejo se zvezde

100 milijonov let po velikem poku  
Oblaki vodika, ki so se začeli zgoščevati pod vplivom gravitacije temne snovi, so se stisnili in nastale so prve posamezne zvezde, ki so osvetlile vesolje. Z jedrskimi zlivanji v njihovih sredicah so začeli nastajati prvi težji elementi.



## Širjenje se upočasni

1 milijarda let po velikem poku  
Zvezde so se zbirale v galaksije, te pa v jate in nadjate. Vse to je poganjala struktura temne snovi. Masa vse snovi, od katere je bila večina temne, je bila tako velika, da je upočasnjevala širjenje vesolja.



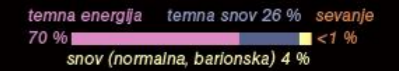
## Pojavi se temna energija

4–8 milijard let po velikem poku  
Po upočasnjevanju, ki je trajalo nekaj milijard let, se je vesolje ponovno začelo pospešeno širiti. Zakaj? Skrivnostna odbojna sila, imenovana temna energija, je začela nasprotovati privlačni sili temne snovi.

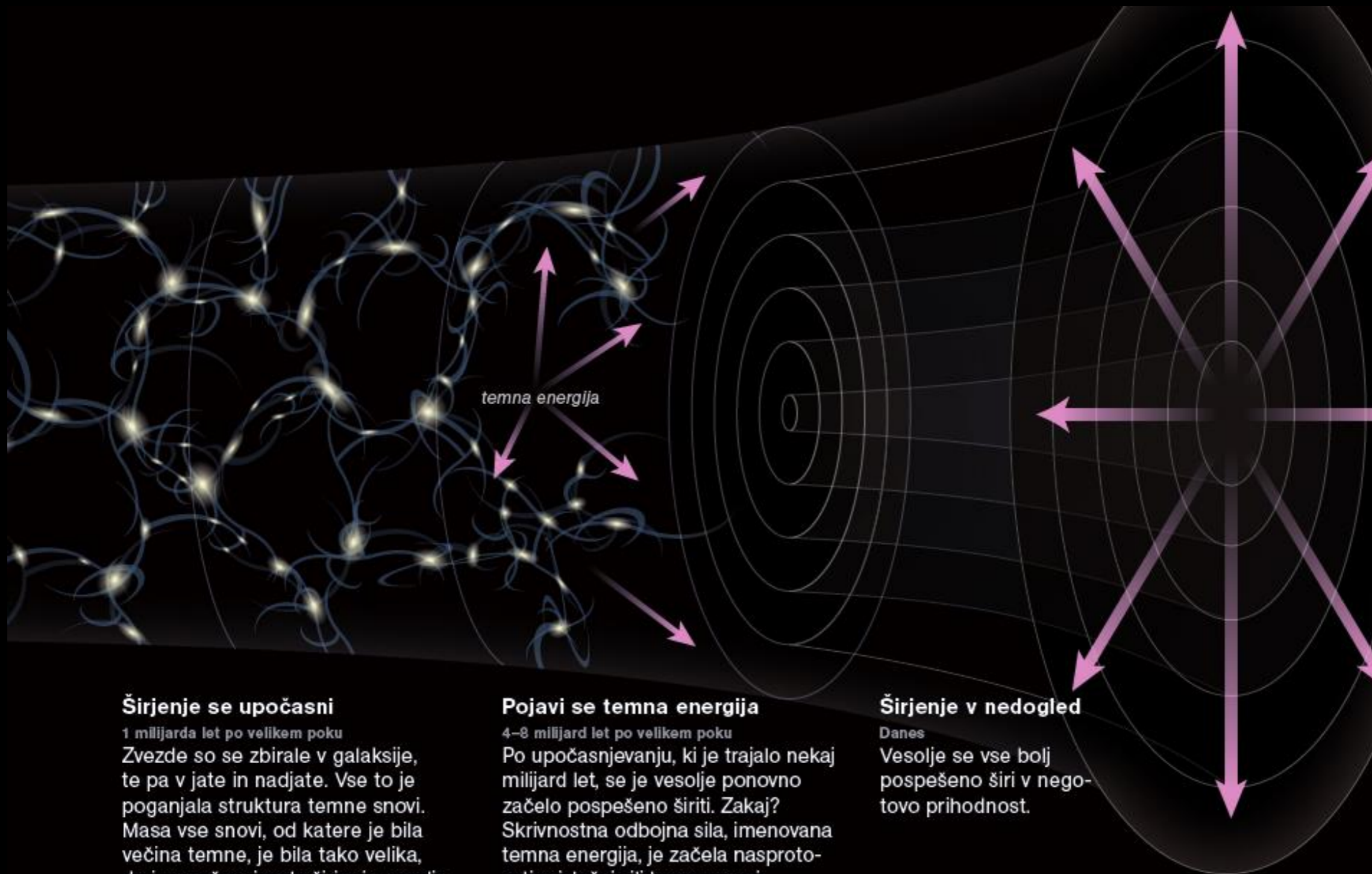


## Širjenje v nedogled

Danes  
Vesolje se vse bolj pospešeno širi v negotovo prihodnost.



\* Vsota odstotkov ne doseže 100 zaradi zaokrožanja posameznih vrednosti.



### Širjenje se upočasni

1 milijarda let po velikem poku  
Zvezde so se zbirale v galaksije, te pa v jate in nadjate. Vse to je poganjala struktura temne snovi. Masa vse snovi, od katere je bila večina temne, je bila tako velika, da je upočasnjevala širjenje vesolja.



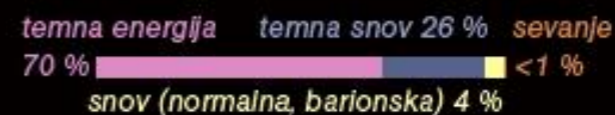
### Pojavi se temna energija

4–8 milijard let po velikem poku  
Po upočasnjevanju, ki je trajalo nekaj milijard let, se je vesolje ponovno začelo pospešeno širiti. Zakaj? Skrivnostna odbojna sila, imenovana temna energija, je začela nasprotovati privlačni sili temne snovi.



### Širjenje v nedogled

Danes  
Vesolje se vse bolj pospešeno širi v negotovo prihodnost.



\* Vsota odstotkov ne doseže 100 zaradi zaokrožanja posameznih vrednosti.



	Teoretična napoved	Eksperimentalna potrditev
Gravitacijski valovi	 Rainer Weiss, Barry C. Barish, Kip S. Thorne (2017)	
Temna snov	Fritz Zwicky 1939 Vera Rubin 1970s	TI?
Temna energija	 Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess 2011	TI?

NE MĚCITE ZNANOSTI NA CESTO



Znanost  
na cesti

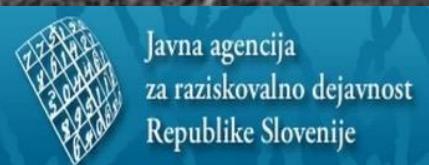
Mladinska knjiga



Knjigarna Konzorcij  
1. februar 2018 ob 18h

**Bukov ostrigar:  
strupena ali užitna goba?**

Prof. dr. Robert Frangež, Veterinarska fakulteta UL  
Renata Dacinger, TV Slovenija

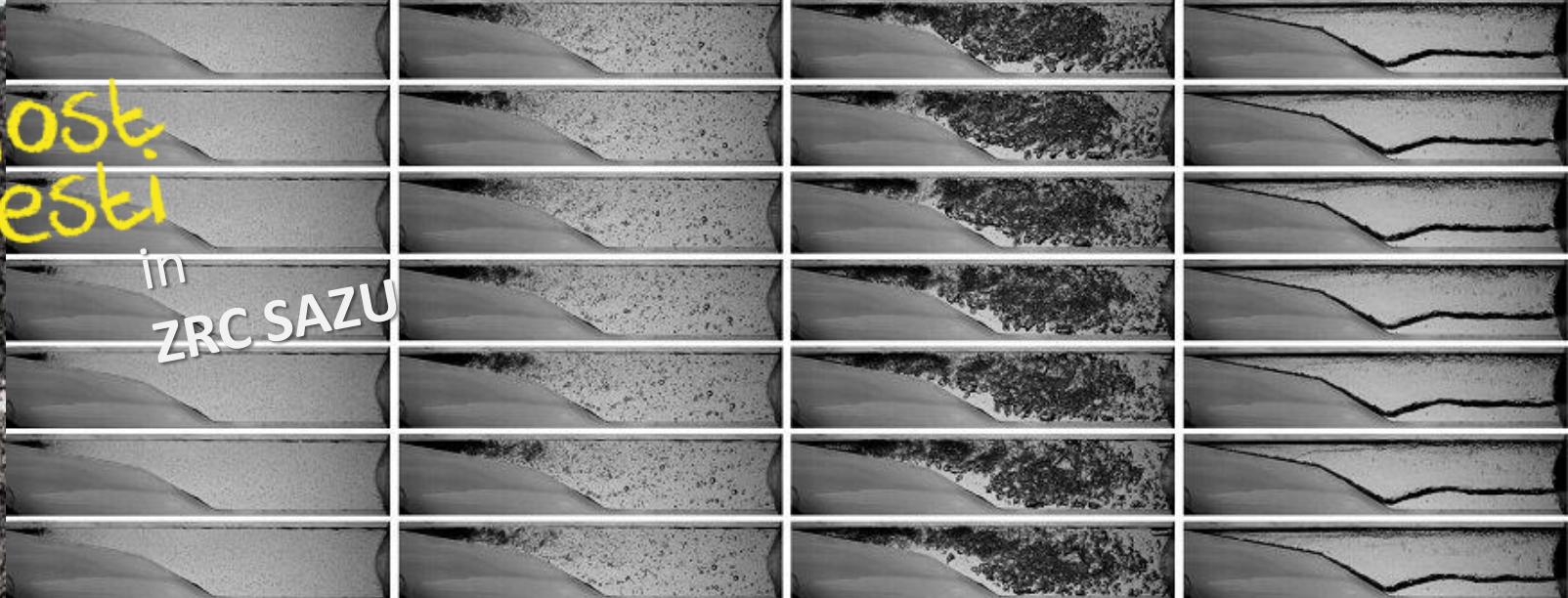


Javna agencija  
za raziskovalno dejavnost  
Republike Slovenije



Znanost  
na cesti

in  
ZRC SAZU



Atrij ZRC

27. februar 2018 ob 19h

**CABUM**

Prof. dr. Matevž Dular, Fakulteta za strojništvo UL  
Anja Čuček, TV Slovenija

