

Zašto je voda prozirna?

(Antropijsko načelo i svrhovitost svemira)

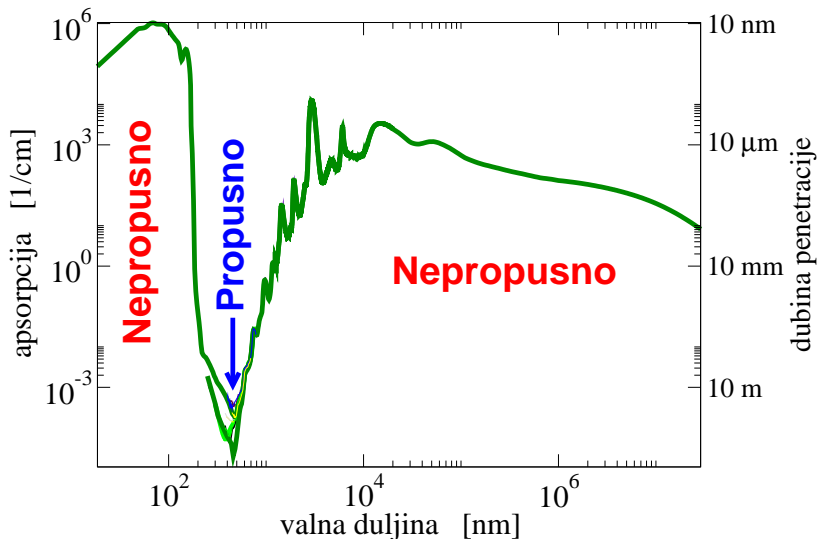
Krešimir Kumerički

Zavod za teorijsku fiziku, Fizički odsjek
Sveučilište u Zagrebu

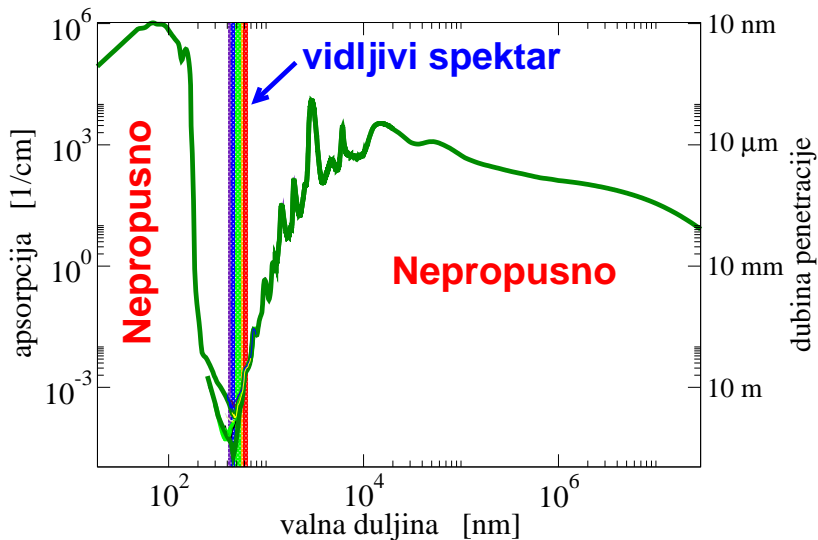
Studijska grupa Znanost i duhovnost

8. lipnja 2011.

Apsorpcija zračenja – prozirnost vode



Apsorpcija zračenja – prozirnost vode



Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Objašnjenje: Evolucija osjeta vida se odvila u vodenom okruženju.

Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Objašnjenje: Evolucija osjeta vida se odvila u vodenom okruženju.

Podudarnost 2: Maksimum sunčevog zračenja je na **istim tim** valnim duljinama!

Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Objašnjenje: Evolucija osjeta vida se odvila u vodenom okruženju.

Podudarnost 2: Maksimum sunčevog zračenja je na **istim tim** valnim duljinama!

Objašnjenje: ?????

Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Objašnjenje: Evolucija osjeta vida se odvila u vodenom okruženju.

Podudarnost 2: Maksimum sunčevog zračenja je na **istim tim** valnim duljinama!

Objašnjenje: ??????

Fizika sunca (nuklearna i fizika plazme) nema nikakve veze s fizikom molekule vode.

Dvije podudarnosti

Podudarnost 1: Valne duljine elektromagnetskog zračenja za koje je voda prozirna su iste kao i one vidljive ljudskom oku (400–700 nm).

Objašnjenje: Evolucija osjeta vida se odvila u vodenom okruženju.

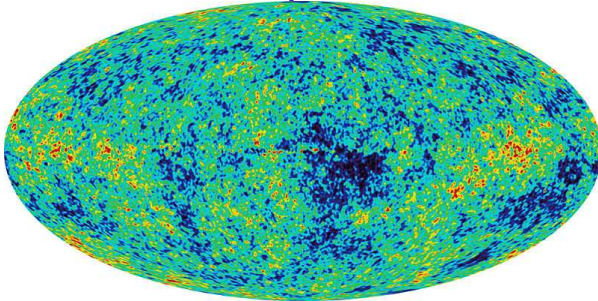
Podudarnost 2: Maksimum sunčevog zračenja je na **istim tim** valnim duljinama!

Objašnjenje: ??????

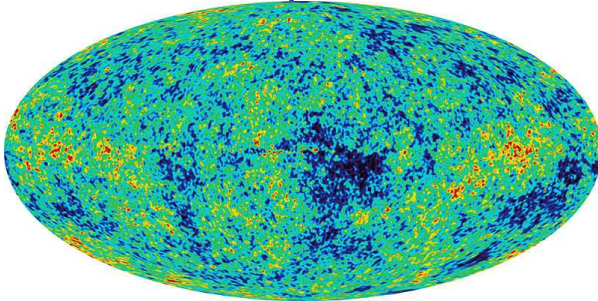
Fizika sunca (nuklearna i fizika plazme) nema nikakve veze s fizikom molekule vode.

- Da li bi se život na Zemlji razvio **bez podudarnosti 2?**

Kozmološke podudarnosti I



Kozmološke podudarnosti I

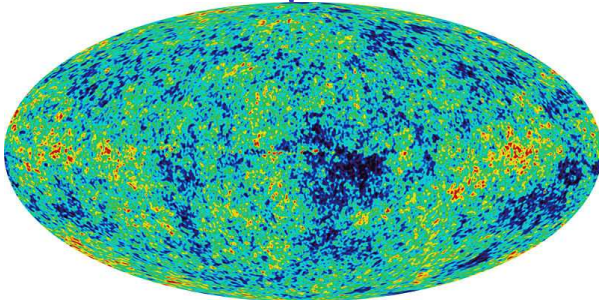


- Nejednolikosti u gustoći svemira 380 000 godina nakon Velikog praska:

$$\frac{\text{najveća gustoća}}{\text{najmanja gustoća}} \approx 1.0001$$

— klice budućih galaksija

Kozmološke podudarnosti I



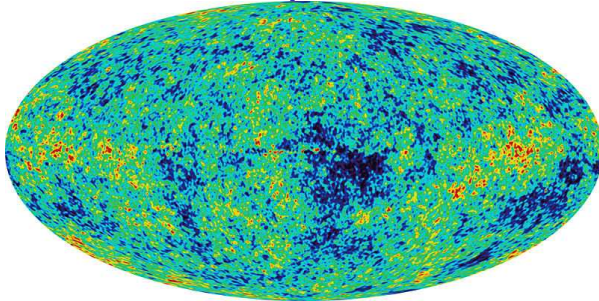
- Nejednolikosti u gustoći svemira 380 000 godina nakon Velikog praska:

$$\frac{\text{najveća gustoća}}{\text{najmanja gustoća}} \approx 1.0001$$

— klice budućih galaksija

- 1.001 \Rightarrow sva bi se materija brzo zgusnula u crne rupe

Kozmološke podudarnosti I



- Nejednolikosti u gustoći svemira 380 000 godina nakon Velikog praska:

$$\frac{\text{najveća gustoća}}{\text{najmanja gustoća}} \approx 1.0001$$

— klice budućih galaksija

- 1.001 \Rightarrow sva bi se materija brzo zgusnula u crne rupe
- 1.00001 \Rightarrow bilo bi nedovoljno da potakne stvaranje galaksija

Kozmološke podudarnosti II

- **Gustoća svemira ρ** danas u usporedbi s tzv. **kritičnom gustoćom**, $\rho_c = 0,9 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ je

$$0.98 < \frac{\rho}{\rho_c} \Big|_{\text{danas}} < 1.02$$

Kozmološke podudarnosti II

- **Gustoća svemira ρ** danas u usporedbi s tzv. **kritičnom gustoćom**, $\rho_c = 0,9 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ je

$$0.98 < \frac{\rho}{\rho_c} \Big|_{\text{danas}} < 1.02$$

Međutim, rješenja jednadžbi koje upravljaju širenjem svemira su nestabilna oko $\rho/\rho_c = 1$ i s vremenom se eksponencijalno udaljavaju od kritičnog rješenja:

$$0.999999 < \frac{\rho}{\rho_c} \Big|_{\text{rani svemir}} < 1.000001$$

Kozmološke podudarnosti II

- **Gustoća svemira ρ** danas u usporedbi s tzv. **kritičnom gustoćom**, $\rho_c = 0,9 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3$ je

$$0.98 < \left. \frac{\rho}{\rho_c} \right|_{\text{danas}} < 1.02$$

Međutim, rješenja jednadžbi koje upravljaju širenjem svemira su nestabilna oko $\rho/\rho_c = 1$ i s vremenom se eksponencijalno udaljavaju od kritičnog rješenja:

$$0.999999 < \left. \frac{\rho}{\rho_c} \right|_{\text{rani svemir}} < 1.000001$$

- Neznatno veća gustoća svemira u ranoj fazi i on bi ubrzo rekolapsirao u Velikom sažimanju

Kozmološke podudarnosti III

- **Jakost nuklearne sile** je taman takva da omogućava vezanje
proton + neutron \rightarrow deuterij

Kozmološke podudarnosti III

- **Jakost nuklearne sile** je taman takva da omogućava vezanje

proton + neutron \rightarrow deuterij

ali ne i

proton + proton \rightarrow helij-2

Kozmološke podudarnosti III

- **Jakost nuklearne sile** je taman takva da omogućava vezanje

proton + neutron \rightarrow deuterij

ali ne i

proton + proton \rightarrow helij-2

- U suprotnom, u svemiru bi preostalo zanemarivo malo vodika
 \Rightarrow danas ne bi bilo ni vode ni vodikovih zvijezda

Vrijednosti fizikalnih konstanti

- Planckova konstanta: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}$,
- Brzina svjetlosti: $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Vrijednosti fizikalnih konstanti

- Planckova konstanta: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}$,
- Brzina svjetlosti: $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- Zašto tako mali odnosno veliki brojevi?
- Zato jer su mjerne jedinice prilagođene svakodnevnim mjerenjima

Vrijednosti fizikalnih konstanti

- Planckova konstanta: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}$,
- Brzina svjetlosti: $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- Zašto tako mali odnosno veliki brojevi?
- Zato jer su mjerne jedinice prilagođene svakodnevnim mjerenjima \Rightarrow za pravi uvid treba promatrati **bezdimezionalne** veličine poput:
 - omjer gustoće leda na 0°C i vode na 4°C je
0,916
 - omjer mase protona i elektrona je otprilike
1836

Diracova koincidencija

- P. A. M. Dirac je uočio da su sve bezdimenzionalne veličine otprilike ~ 1 ,

Diracova koincidencija

- P. A. M. Dirac je uočio da su sve bezdimenzionalne veličine otprilike ~ 1 , osim nekoliko njih koje su “gigantske”, a tih nekoliko su međusobno podjednake
 - (1) omjer veličine svemira i veličine atoma: $N_1 \approx 6 \cdot 10^{39}$
 - (2) omjer jakosti električne i gravitacijske sile između protona i elektrona: $N_2 \approx 2,3 \cdot 10^{39}$ i
 - (3) korijen broja čestica u svemiru: $\sqrt{N} \approx 10^{40}$i tzv. **Diracova koincidencija** je

$$N_1 \approx N_2 \approx \sqrt{N} .$$

Diracova koincidencija

- P. A. M. Dirac je uočio da su sve bezdimenzionalne veličine otprilike ~ 1 , osim nekoliko njih koje su “gigantske”, a tih nekoliko su međusobno podjednake
 - (1) omjer veličine svemira i veličine atoma: $N_1 \approx 6 \cdot 10^{39}$
 - (2) omjer jakosti električne i gravitacijske sile između protona i elektrona: $N_2 \approx 2,3 \cdot 10^{39}$ i
 - (3) korijen broja čestica u svemiru: $\sqrt{N} \approx 10^{40}$i tzv. **Diracova koincidencija** je

$$N_1 \approx N_2 \approx \sqrt{N} .$$

- Uočite da se N_1 mijenja u vremenu: $N_1(t) \Rightarrow$ koincidencija ne postoji u ranom svemiru

“Objašnjenje” Diracove koincidencije

- R. Dicke: To što opažamo podudarnost $N_1(t) = N_2$ nije slučajno: u ranijim epohama kad ona nije vrijedila svemir je bio premlad i nije još bilo vremena za biološku evoluciju do razine inteligentnih opažača

“Objašnjenje” Diracove koincidencije

- R. Dicke: To što opažamo podudarnost $N_1(t) = N_2$ nije slučajno: u ranijim epohama kad ona nije vrijedila svemir je bio premlad i nije još bilo vremena za biološku evoluciju do razine inteligentnih opažača
- Za evoluciju su potrebni teži elementi (ugljik, kisik, ...) koji nastaju tek u eksplozijama supernovih \Rightarrow Potrebno vrijeme t_0 je otprilike upravo ono za koje je $N_1(t_0) = N_2$

“Objašnjenje” Diracove koincidencije

- R. Dicke: To što opažamo podudarnost $N_1(t) = N_2$ nije slučajno: u ranijim epohama kad ona nije vrijedila svemir je bio premlad i nije još bilo vremena za biološku evoluciju do razine inteligentnih opažачa
- Za evoluciju su potrebni teži elementi (ugljik, kisik, ...) koji nastaju tek u eksplozijama supernovih \Rightarrow Potrebno vrijeme t_0 je otprilike upravo ono za koje je $N_1(t_0) = N_2$
- Na sličan način možemo “objasniti” i sve ostale dosad spomenute podudarnosti: **Kad ih ne bi bilo, ne bi bilo ni nas da se pitamo zašto ih nema!**

“Objašnjenje” Diracove koincidencije

- R. Dicke: To što opažamo podudarnost $N_1(t) = N_2$ nije slučajno: u ranijim epohama kad ona nije vrijedila svemir je bio premlad i nije još bilo vremena za biološku evoluciju do razine inteligentnih opažача
- Za evoluciju su potrebni teži elementi (ugljik, kisik, ...) koji nastaju tek u eksplozijama supernovih \Rightarrow Potrebno vrijeme t_0 je otprilike upravo ono za koje je $N_1(t_0) = N_2$
- Na sličan način možemo “objasniti” i sve ostale dosad spomenute podudarnosti: **Kad ih ne bi bilo, ne bi bilo ni nas da se pitamo zašto ih nema!**
- No, da li je takvo “objašnjenje” znanstveno prihvatljivo?

Antropijsko načelo

Proučavajući svemir moramo uzeti u obzir da već *sama egzistencija* nas kao promatrača ograničava njegove parametre i fizikalne zakone na one koji dopuštaju da se u njemu razvijaju inteligentna bića.

Problem kozmološke konstante

- Kozmološka konstanta (tamna energija, energija vakuuma) je izmjerena

$$\Lambda^{\text{eksperiment}} = 10^{-29} \text{ g/cm}^3$$

- Teorijsko predviđanje (kvantna mehanika + teorija relativnosti):

$$\Lambda^{\text{teorija}} = 10^{91} \text{ g/cm}^3$$

“najgore teorijsko predviđanje u povijesti znanosti”

Problem kozmološke konstante

- Kozmološka konstanta (tamna energija, energija vakuuma) je izmjerena

$$\Lambda^{\text{eksperiment}} = 10^{-29} \text{ g/cm}^3$$

- Teorijsko predviđanje (kvantna mehanika + teorija relativnosti):

$$\Lambda^{\text{teorija}} = 10^{91} \text{ g/cm}^3$$

“najgore teorijsko predviđanje u povijesti znanosti”

- S. Weinberg objašnjava malu vrijednost Λ antropijskim načelom: Za $\Lambda > 10 \times \Lambda^{\text{eksperiment}}$ galaksije se nikad ne bi mogle formirati.

- Upotreba antropijskog načela za objašnjenje npr. zašto je Zemlja idealno udaljena od Sunca je trivijalna i nesporna u svjetlu brojnih planetarnih sustava u svemiru . . .
- . . . no da li je znanstveno dopušteno koristiti ga za objašnjenje fundamentalnih svojstava **jedinstvenog svemira**?

- Upotreba antropijskog načela za objašnjenje npr. zašto je Zemlja idealno udaljena od Sunca je trivijalna i nesporna u svjetlu brojnih planetarnih sustava u svemiru . . .
- . . . no da li je znanstveno dopušteno koristiti ga za objašnjenje fundamentalnih svojstava **jedinstvenog svemira**?
- Ideja **multiverzuma**: Naš svemir je jedan jedan od mnogih.

Kozmička inflacija i teorija superstruna

- **Kozmička inflacija** — teorija po kojoj je svemir u dijelicu sekunde nakon velikog praska prošao kroz razdoblje eksponencijalno brzog širenja.
- Teorija rješava brojne kozmološke probleme, objašnjava ranije spomenute koincidencije vezane uz gustoću materije u svemiru i široko je prihvaćena.
- U svojim fizikalno najboljim oblicima teorija inflacije predviđa brojne kauzalno nepovezane “svemire” — multiverzum.

Kozmička inflacija i teorija superstruna

- **Kozmička inflacija** — teorija po kojoj je svemir u dijeliću sekunde nakon velikog praska prošao kroz razdoblje eksponencijalno brzog širenja.
- Teorija rješava brojne kozmološke probleme, objašnjava ranije spomenute koincidencije vezane uz gustoću materije u svemiru i široko je prihvaćena.
- U svojim fizikalno najboljim oblicima teorija inflacije predviđa brojne kauzalno nepovezane “svemire” — multiverzum.
- **Teorija superstruna** — jedini kandidat za “teoriju svega” — predviđa 10^{500} različitih mogućnosti za fizikalne konstante svemira.

Kraj