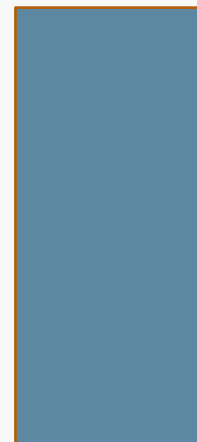
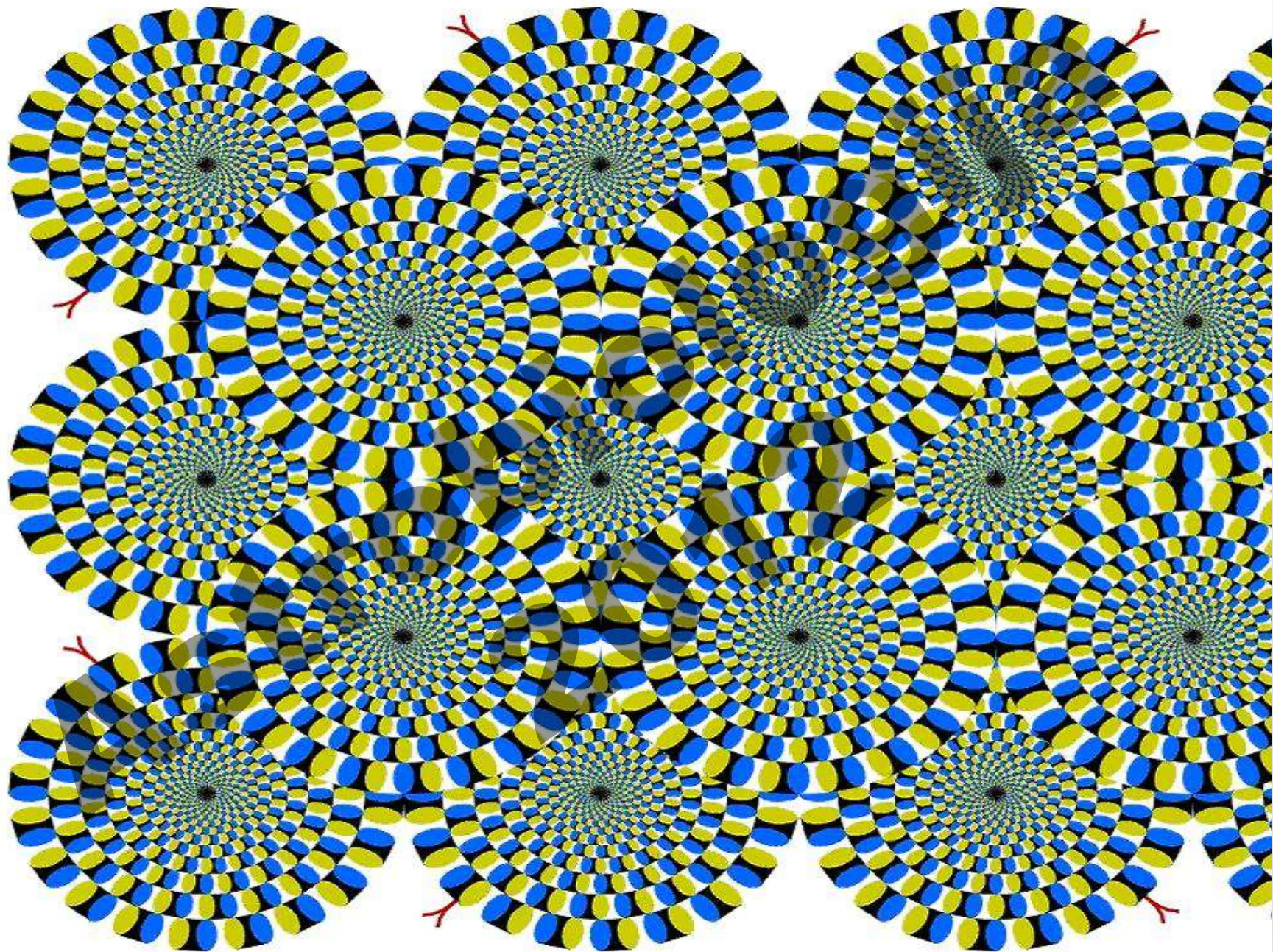


# KOSMOLOŠKA FINA PODEŠAVANJA

07.09.2012.





# ANTROPIČKI PRINCIP(I)



- **Slabi antropički princip (WAP; Karter 1974):** izmerene vrednosti fizičkih i kosmoloških veličina **nisu podjednako verovatne**, već su ograničene zahtevom da postoje mesta gde život baziran na ugljeniku može evoluirati, i zahtevom da univerzum bude dovoljne starosti da se to **već dogodilo**.
- Fizičke, hemijske, geološke, itd. preduslove za nastanak života i inteligencije nam daje astrobiologija.
- WAP je **informativna tautologija!**
- Veoma brojna “fina podešavanja” su **empirijske činjenice**.

# KOSMOLOŠKI POSMATRAČKI SELEKCIONI EFEKTI

- Fina podešavanja su **činjenice!**
- Sporni mogu biti
  - „finoća“ (koliki su intervali i mere?)
  - interpretacija (da li i kakva objašnjenja zahtevaju?)
- Lako se brkaju sa teleološkim idejama, ali suštinski nemaju sa njima veze
- Ukazuju na slobodu (degeneraciju) u izboru parametara
- Od Aristotela do Ajnštajna („Želim da znam da li je Tvorac imao izbor u stvaranju svemira.“)...

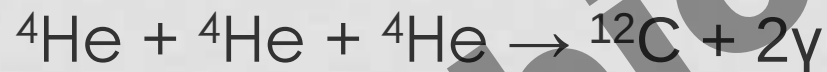


# ŠTA JE FINO PODEŠENO?

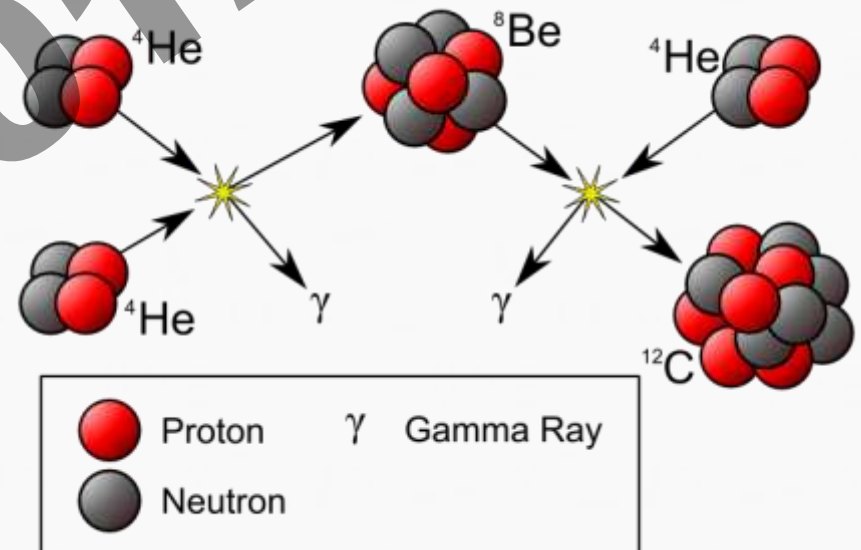
| Quantity                               | Symbol                                                   | Value in our universe                                              |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Speed of light                         | $c$                                                      | $299792458 \text{ m s}^{-1}$                                       |
| Gravitational constant                 | $G$                                                      | $6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ |
| (Reduced) Planck constant              | $\hbar$                                                  | $1.05457148 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$         |
| Planck mass-energy                     | $m_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar c / G}$                     | $1.2209 \times 10^{22} \text{ MeV}$                                |
| Mass of electron; proton; neutron      | $m_e; m_p; m_n$                                          | 0.511; 938.3; 939.6 MeV                                            |
| Mass of up; down; strange quark        | $m_u; m_d; m_s$                                          | (Approx.) 2.4; 4.8; 104 MeV                                        |
| Ratio of electron to proton mass       | $\beta$                                                  | $(1836.15)^{-1}$                                                   |
| Gravitational coupling constant        | $\alpha_G = m_p^2 / m_{\text{Pl}}^2$                     | $5.9 \times 10^{-39}$                                              |
| Hypercharge coupling constant          | $\alpha_1$                                               | 1/98.4                                                             |
| Weak coupling constant                 | $\alpha_2$                                               | 1/29.6                                                             |
| Strong force coupling constant         | $\alpha_s = \alpha_3$                                    | 0.1187                                                             |
| Fine structure constant                | $\alpha = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$ | 1/127.9 (1/137 at low energy)                                      |
| Higgs vacuum expectation value         | $v$                                                      | 246.2 GeV                                                          |
| QCD scale                              | $\Lambda_{\text{QCD}}$                                   | $\approx 200 \text{ MeV}$                                          |
| Yukawa couplings                       | $\Gamma_i = \sqrt{2} m_i / v$                            | Listed in Tegmark et al. (2006)                                    |
| Hubble constant                        | $H$                                                      | 71 km/s/Mpc (today)                                                |
| Cosmological constant (energy density) | $\Lambda \text{ } (\rho_\Lambda)$                        | $\rho_\Lambda = (2.3 \times 10^{-3} \text{ eV})^{-4}$              |
| Amplitude of primordial fluctuations   | $Q$                                                      | $2 \times 10^{-5}$                                                 |
| Total matter mass per photon           | $\xi$                                                    | $\approx 4 \text{ eV}$                                             |
| Baryonic mass per photon               | $\xi_{\text{baryon}}$                                    | $\approx 0.61 \text{ eV}$                                          |

# PRIMER 1: FRED HOJL I 3- $\alpha$ REAKCIJA

- Kako prevazići masene procepe na  $A = 5, 8$  ?
- Hojl (1953): **trostruka** reakcija koja se **mora** odigrati

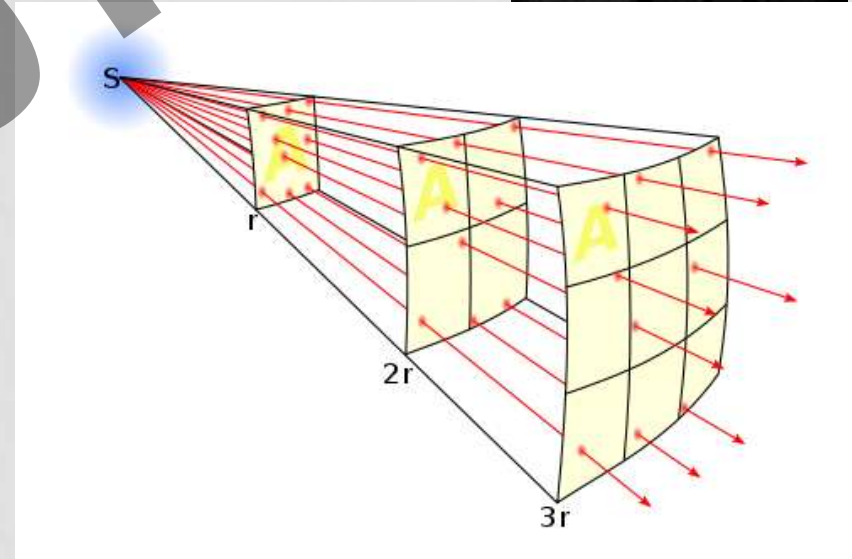


- Stopa reakcije  
 $\propto T^{30}$  (!!!)
- Prisustvo rezonance u  
 ${}^{12}\text{C}$  i **odsustvo** rezonance  
u  ${}^{16}\text{O}$ ...



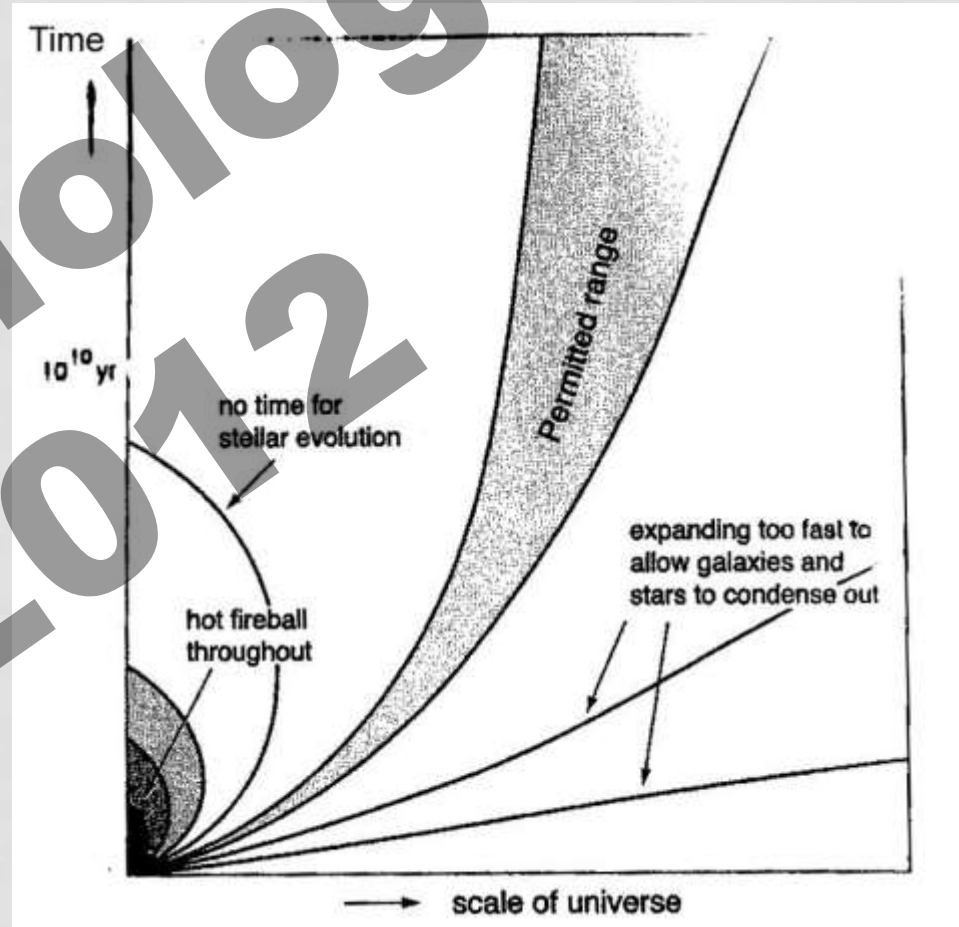
# PRIMER 2: DIMENZIONALNOST PROSTORA

- Kant (cca. 1750) – poreklo zakona gravitacije?
- **Ehrenfest, 1917**: Stabilni planetski i atomski sistemi su mogući **samo u 3D prostoru**
- Keplerove putanje stabilne samo u  $D = 3$
- Za  $D > 3$  planetski sistemi su nestabilni!
- Za  $D < 3$  nema gravitacione između zvezda i planeta!
- **Pošto su nam atomi i planete za život...**



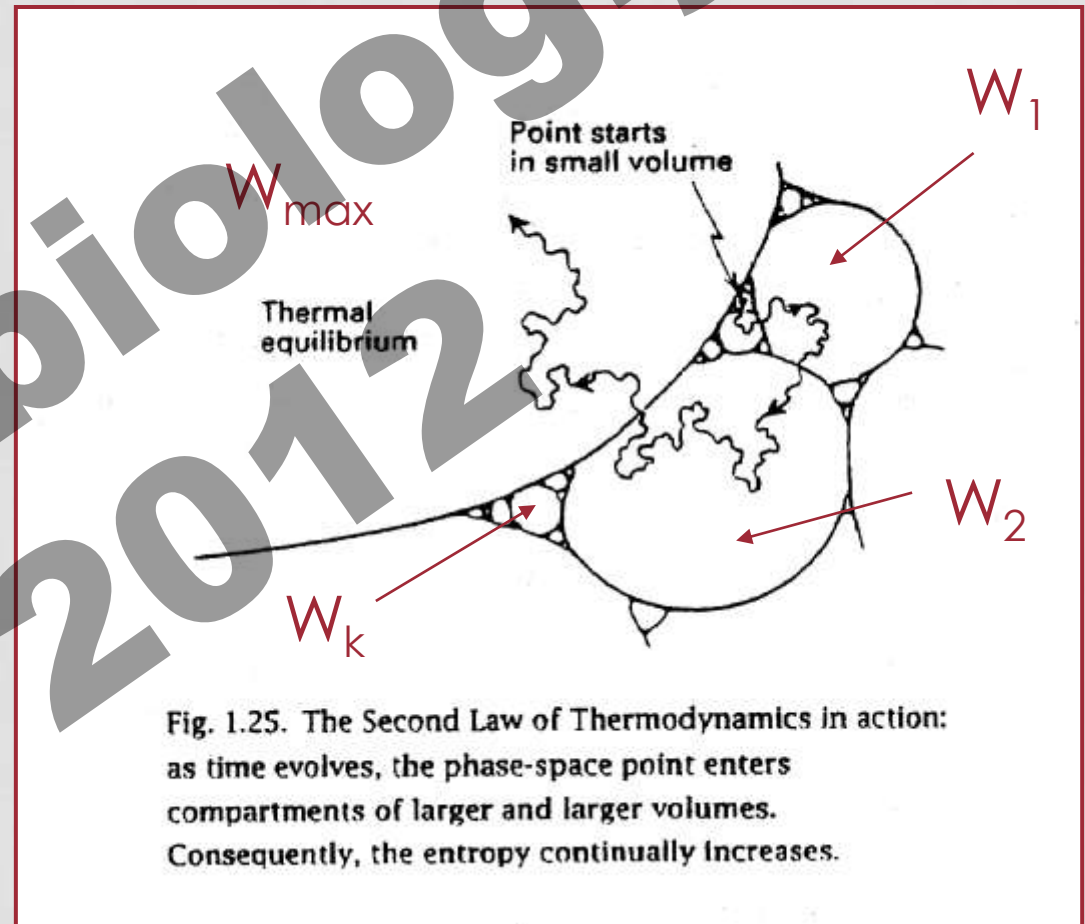
# PRIMER 3: STOPA ŠIRENJA SVEMIRA

- Kriva faktora skaliranja
- Tipičan „efekat Zlatokose“: ni previše brzo ni previše sporo
- Mera dozvoljene oblasti = 0 (!)
- Ideja da kosmološka inflacija rešava problem je pogrešna...
- ...jer generička inflacija predviđa mnoštvo domena!



# PRIMER 5: TOTALNA ENTROPIJA VIDLJIVOG SVEMIRA

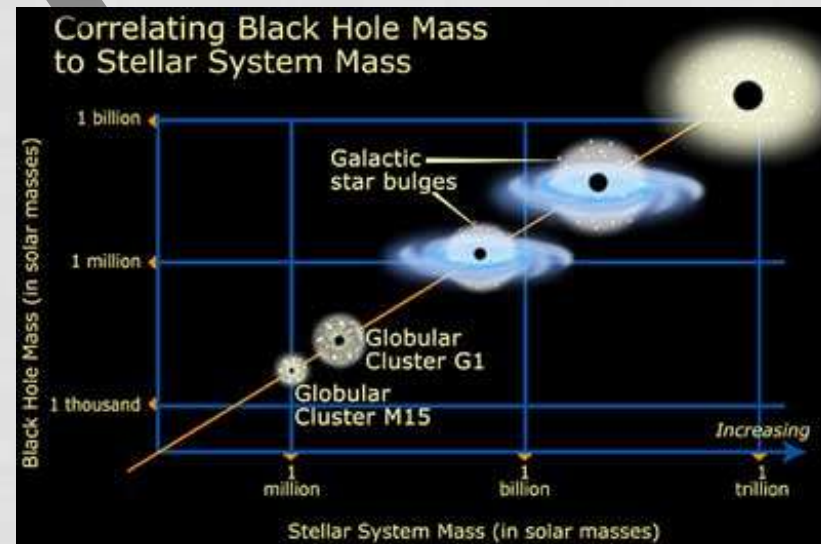
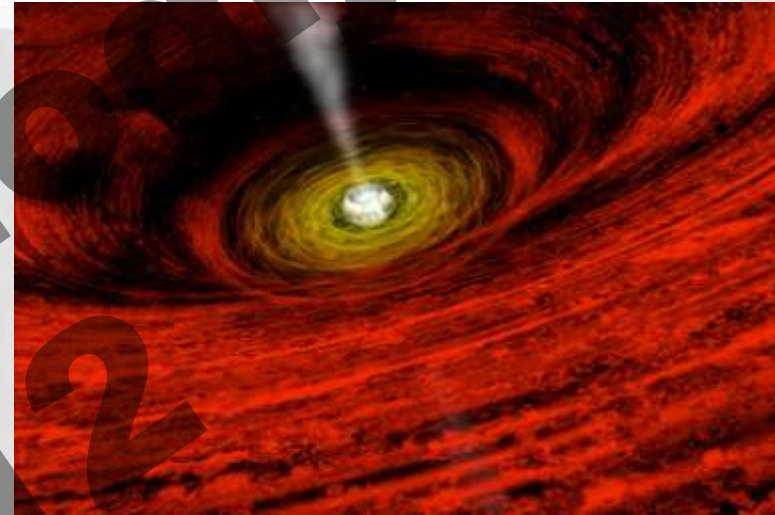
- Naše postojanje bilo bi nemoguće bez **strukture**!
- Struktura je veoma daleko od stanja termodinamičke ravnoteže (= maksimalne entropije = **toplotne smrti**)
- $T = 2,725 \text{ K}$
- Termodinamička **NERavnoteža** je suštinski preduslov života!
- Ali koliko je stvarna entropija različita od najtipičnije?



$$S = k \ln W$$

# I PREVIŠE STRUKTURE JE OPASNO...

- ...jer materija teži da dostigne stanje najveće entropije = stanje **crne rupe**!
- 1970-te: Bekenštajn, Hoking, Penrouz, Geroh, ...
- U svemiru danas: malo crnih rupa.
- U prošlosti: još manje!
- $\Rightarrow$  svemir je nastao u stanju jako niske entropije!
- $\Leftrightarrow$  **naš Veliki prasak je ekstremno malo verovatan!**



# KOLIKO MALO VEROVATNO?

- Koliko puta je posmatrana entropija manja od najveće moguće za materiju unutar horizonta?
- Bekenštajn-Hokingova formula:  
(ovo je “prirodna” vrednost entropije!)

$$N_{\min} \sim \frac{\exp S_{\max}}{\exp S_0} = \frac{1}{\exp S_0} \exp\left(\frac{c^3 A}{G\hbar 4}\right) = \frac{1}{\exp S_0} \exp\left(\frac{4\pi G}{\hbar c} m^2\right)$$

$$= \frac{1}{\exp S_0} \exp\left(\frac{\pi}{G\hbar c} H_0^4 \Omega_m^2 R_h^6\right), \quad \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$$

- kosmološki horizont (događaja):  $R_h = \frac{c}{H_0 \sqrt{\Omega_\Lambda}}$

$$N_{\min} \sim \exp\left(\frac{\pi c^5}{G\hbar} \frac{\Omega_m^2}{\Omega_\Lambda^3} \frac{1}{H_0^2} - S_0\right) = \exp\left[\frac{\pi c^5}{G\hbar} \frac{\Omega_m^2}{(1-\Omega_m)^3} \frac{1}{H_0^2} - S_0\right]$$

$$s_{CMB} = \left(\frac{n_\gamma}{n_B}\right)_0 \approx 10^8$$

- Za uobičajene vrednosti kosmoloških parametara ( $\Omega_m \approx 0.3$ ) i ( $H_0 \approx 60 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ) dobijamo

$$N_{\min} \sim \exp(1.9 \times 10^{121}) \quad (!!!)$$

# ŠTA POKUŠAVAMO DA OBJASNIMO U KOSMOLOGIJI?

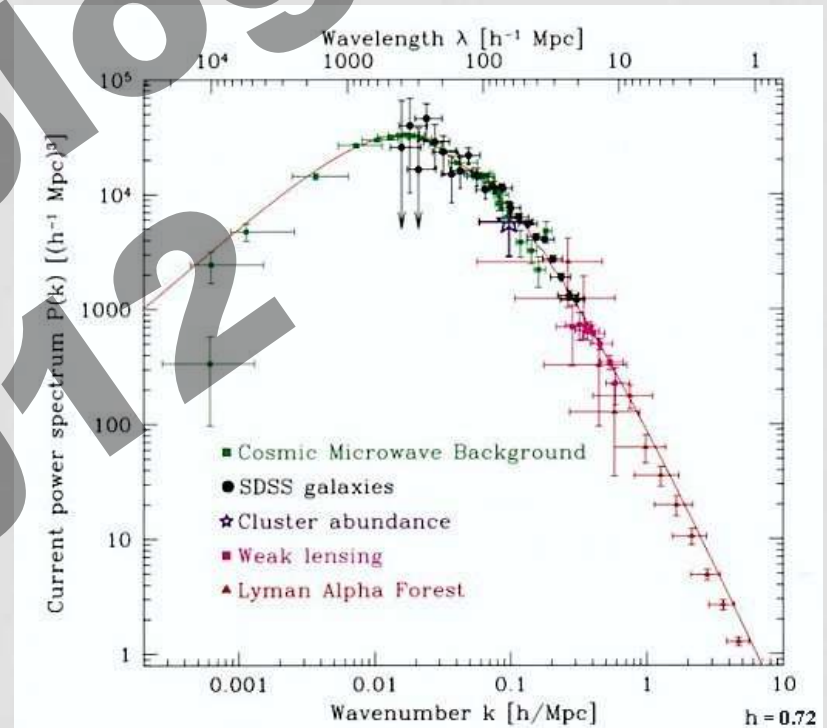
- Formiranje strukture opisane spektrom primordijalnih fluktuacija  $P(k)$

$$\xi(r) = \frac{1}{2\pi^2} \int k^2 P(k) \frac{\sin(kr)}{kr} dk$$

gde je

$$dP = [1 + \xi(\vec{r}, t)] \rho dV$$

- Dva **različita** pitanja:
  - Šta je poreklo posmatranog PS?
  - Zašto PS izgleda baš tako?



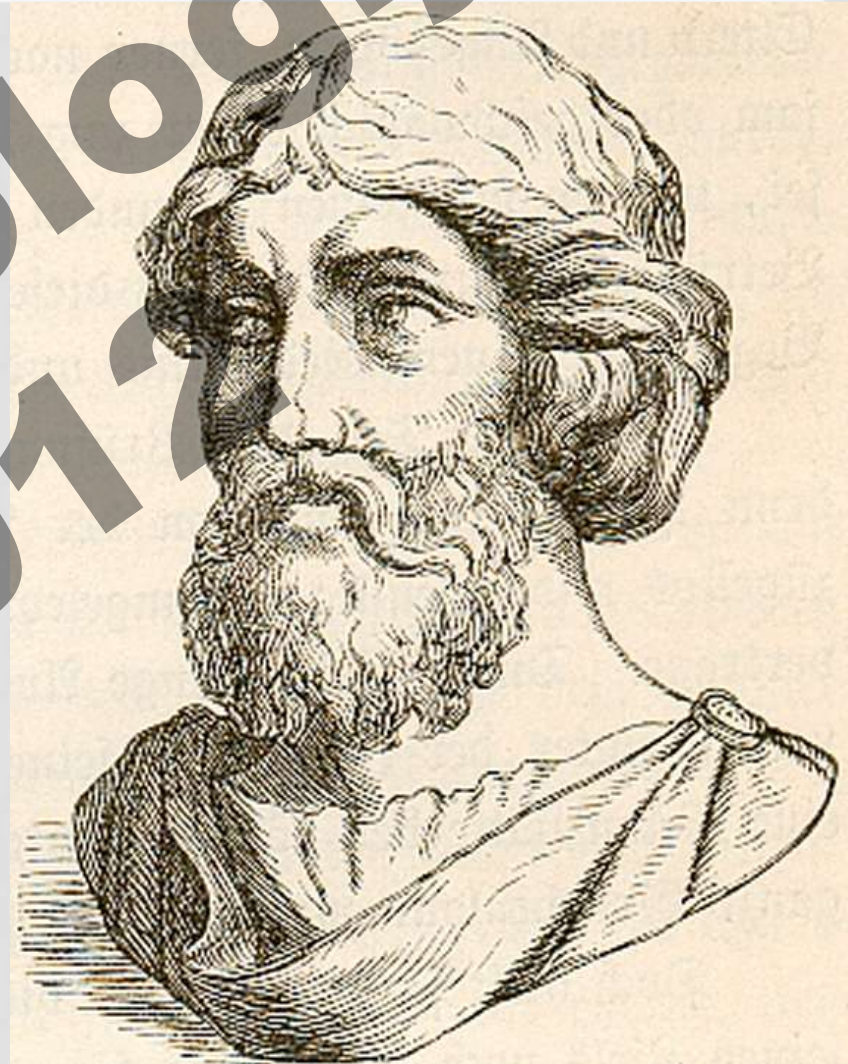
$$P(k) \propto k^n$$

# ISTORIJSKA KONFUZIJA...

- Iako istorijski vezano za “numerologiju”, antropičko rasuđivanje se odavno od nje odvojilo.
- “Numerologija”: neutemeljeno verovanje da je fizička realnost opisana elegantnim/estetski privlačnim/jednostavnim matematičkim zakonima
- “Harmonija sfera”, “misao Tvorca”, “Elegant Universe”,...



# “IONIAN ENCHANTMENT”



# NAUČNA NUMEROLOGIJA?



- 1766. Johan Danijel Ticijus i 1772. Johan Bode uočavaju

$$r_n = 0.4 + 0.3 \times 2^n ; n = 0, 1, 2, \dots$$

što nakon otkrića Neptuna i Plutona prestaje da biva tako impozantno!

- 1919. Herman Vajl, od 1923. ser Artur Edington: “**naučna**” numerologija
- Npr. Edington je tvrdio da su mase elektrona i protona date rešenjima kvadratne jednačine:

$$10m^2 - 136m + 1 = 0$$

- ...ili da je konstanta fine strukture  $\alpha$  povezana sa brojem nezavisnih komponenti 16-dimenzijskog tenzora:

$$\alpha^{-1} = \frac{16^2 - 16}{2} + 16 = 136.$$

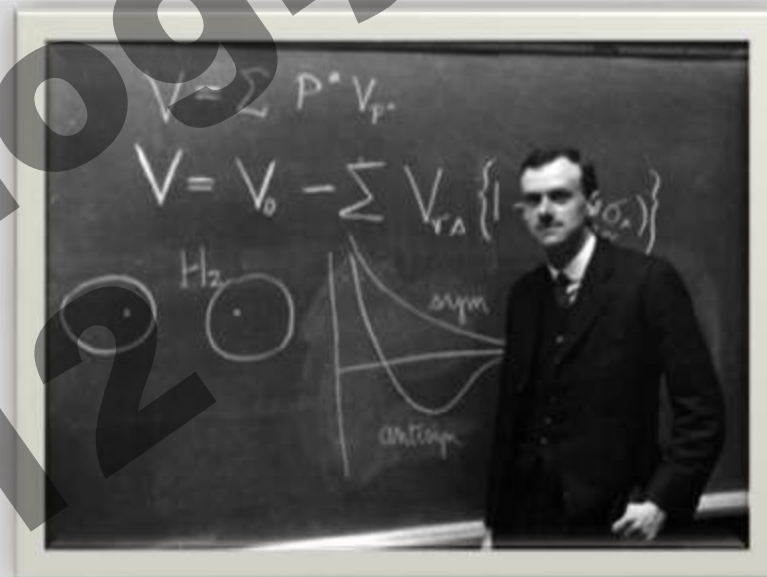
- Edingtonova “fundamentalna teorija” brzo zaboravljena, ali ne i numerološki pristup!
- Npr. Teller zapazio da važi

$$\alpha \approx \ln \left( \frac{Gm_p^2}{hc} \right).$$

- Ovo su primeri **matematičkog finog podešavanja!**

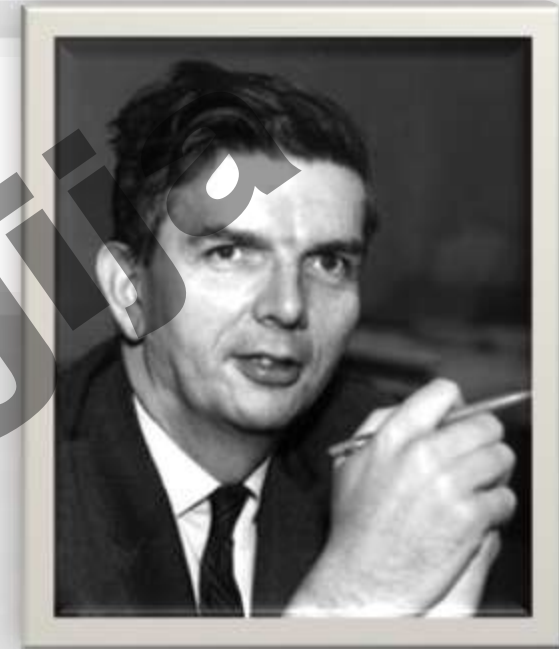
# POSLEDNJI KRIK NUMEROLOGIJE: DIRAK I LNH

- Fizičari nikad nisu preterano ozbiljno shvatali numerološki pristup (Born 1944) – za razliku od filozofa!
- Poslednji pokušaj čini Dirak (1937):  
*Any two of the very large dimensionless numbers occuring in Nature are connected by a simple mathematical relation, in which the coefficients are of the order of magnitude unity.*
- $10^{40}$**  i njegovi stepeni izražavaju zavisnost svih fizičkih veličina od **starosti svemira**.
- LNH predviđa  $G \propto t^{-1}$ .



$$\frac{ct_0}{r_e} \approx \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_p m_e} \approx 10^{40}$$

# DIKIJEV PREOKRET



- Nova perspektiva: 1961. Diki razrešava problem: koineidencije nisu posledica starosti svemira kao takve, već starosti **neophodne za postojanje života i inteligentnih posmatrača!**
- $\Rightarrow$  **posmatrački selekcionni efekat**
- Matematičko fino-podešavanje je izlišno! Njega zamenjuje **fizičko fino-podešavanje + posmatračka selekcija**

$$t_0 \sim t_{MS} \sim \frac{E_{\text{nukl}}^*}{L^*} \approx \frac{\varepsilon M c^2}{KM^3}$$

$$t_{MS} \sim \left( \frac{\hbar c}{G m_p^2} \right) \left( \frac{\hbar}{m_p c^2} \right)$$

# PROTIVČINJENIČNO MATEMATIČKO UREĐENJE...

- Zamislimo svet u kome važi “prelepa jednačina” :

$$\alpha = \pi^1 e^4 c^9 h^{16} G^{25} \Omega^{36}$$

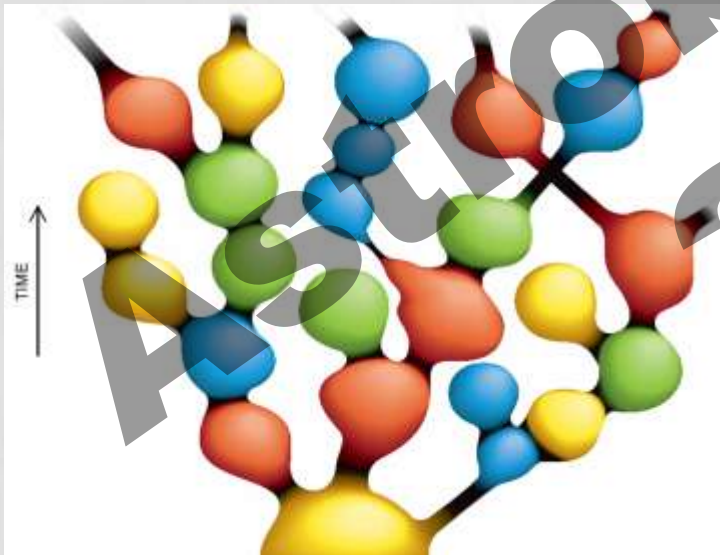
- Ili svet u kome sve planete imaju prost broj satelita!
- Kakve veze to ima sa uslovima za život???
- AP se bavi uslovima za život, a ne estetikom, “harmonijom”, itd.!

# KAKO OBJASNITI FINA PODEŠAVANJA?

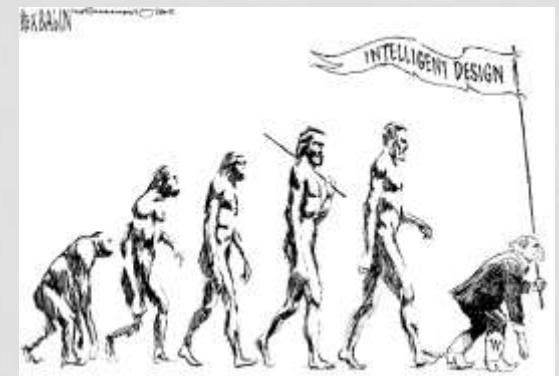
- 4 grupe odgovora: 2 „egzotične“, 2 „popularne“
- Egzotični odgovori:
  - Eksplanatorni nihilizam („brute fact“ pristup)
  - Participacija posmatrača (Wheeler, „igra 12 pitanja“)
- Granice objašnjenja?

# DVA POPULARNA OBJAŠNENJA

- Hipoteza **dizajna**
- Hipoteza **multiverzuma**  
(vide Michael Moorcock, ~1956)



Hipoteza dizajna nema ničeg zajedničkog sa kvazireligioznom ideološkom konstrukcijom poznatom kao "inteligentni Dizajn"!



# PRIMER 6: PROBLEM KOSMOLOŠKE KONSTANTE

- “Najveća greška mog života” – Ajnštajn o kosmološkoj konstanti  $\Lambda$
- “Efekat Zlatokose”: kosmološka konstanta ni suviše velika ni suviše mala, nego “baš kako treba”!
- Od 1998. godine znamo za postojanje veoma male kosmološke konstante.
- Iako je  $0 < \Lambda < 10^{-45}$  (!), ona igra ključnu ulogu u evoluciji strukture u svemiru.

# WEINBERG (1987) – NOVI “ŽANR” ANTROPIČKOG RASUĐIVANJA

- Sledeći ideje Banks (1985), Abbott (1985), Linde (1986)  $\Rightarrow$  antropičko ograničenje kosmološke konstante  $\Lambda$
- Za  $\Lambda < 0$ ,  $|\Lambda|^{-\frac{1}{2}} \geq t_*$
- Za  $\Lambda > 0$ , antropički uslov: ne sme deformisati PS toliko da spreči formiranje galaksija
- U prvom redu teorije perturbacija

$$\left(\frac{da}{dt}\right)^2 + \Delta k = \frac{8\pi G}{3} a^2 (\rho + \Delta\rho + \rho_\Lambda)$$

$$\Omega_\Lambda \equiv \frac{8\pi G}{3H_0^2} \rho_\Lambda$$

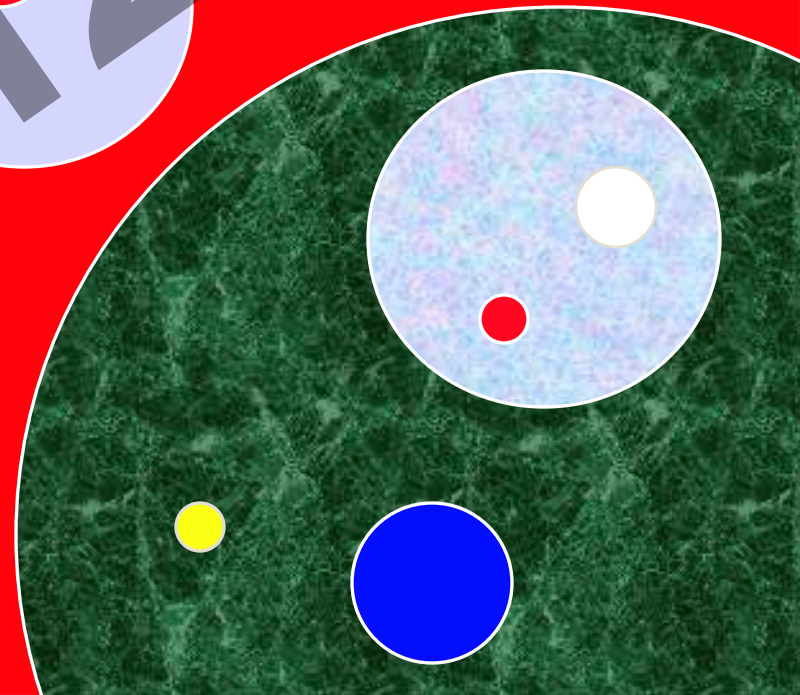
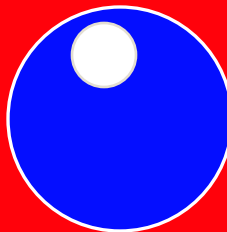
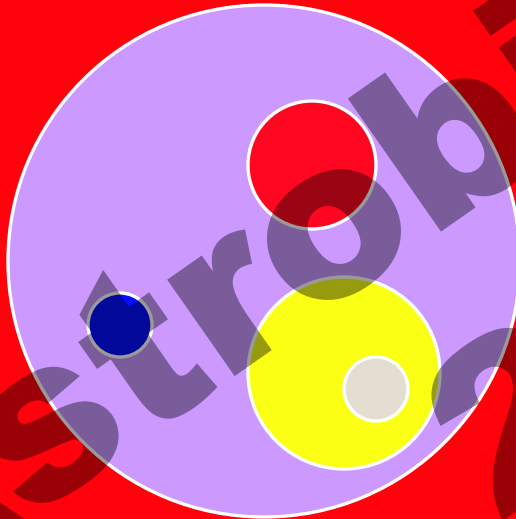
- $\Rightarrow \rho_\Lambda / \rho < 125$

I dalje veliki limit, ali Weinberg je bio krajnje pozitivan!

# MULTIVERZUM: BOGATSTVO RAZLIČITOSTI



$$\Lambda > 0$$



# “REVOLUCIONARNO ŠIRENJE HORIZONTA”



1543



1859



1924



1980-83

# “MASTER” JEDNAČINA ZA ANTROPIČKI PRISTUP

- Verovatnoća da neki posmatrač bilo gde u multiverzumu izmeri karakteristiku  $X$  :

$$p(X) = \frac{\sum_n \sigma_n(X) V_n \rho_n^{\text{obs}}}{\sum_n V_n \rho_n^{\text{obs}}}$$

- $V_n$  je prostorvremenska zapremina,  $\rho_n^{\text{obs}}$  gustina posmatrača i

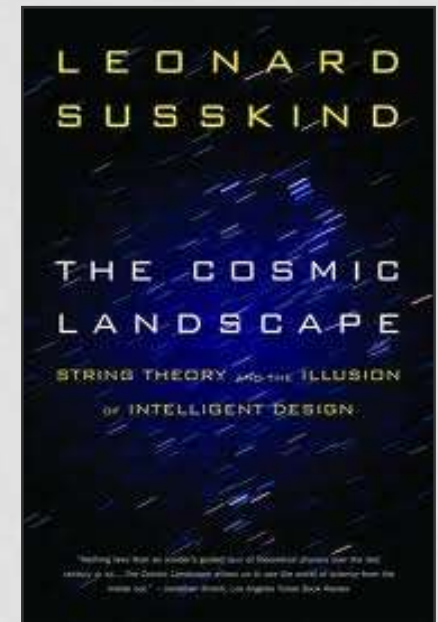
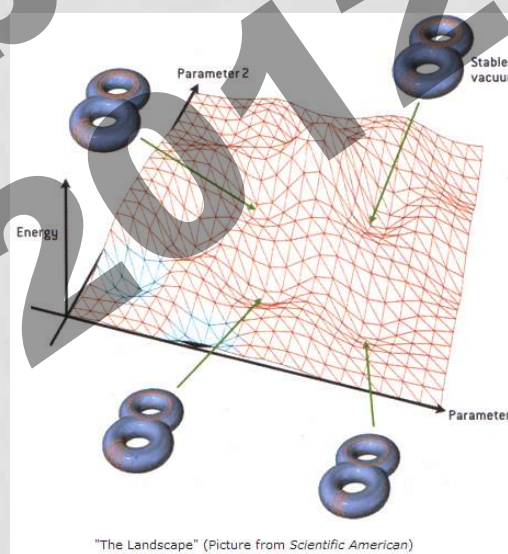
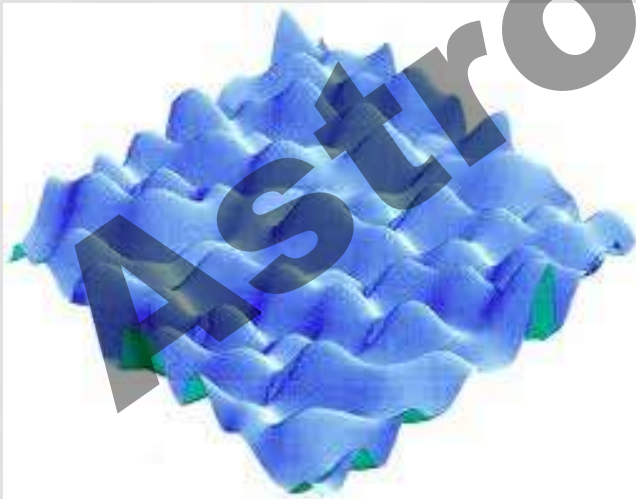
$$\sigma_n = \begin{cases} 1, & \text{if universe } n \text{ has property } X \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

**PITANJE: KAKO ODREDITI  $\rho_n^{\text{obs}}$  ZA  
NEKU KONKRETNU  
NISKOENERGETSKU FIZIKU?**

**Odgovor: Kroz istraživanja u  
astrobiologiji!**

# NAJZANIMLJIVIJA REALIZACIJA – “ANTROPIČKI PEJZAŽ” TEORIJE STRUNA

- Teorija struna, superstruna, M-teorija... – TOE?
- Ogroman broj vakuumskih stanja ( $\sim 10^{500}$ )
- Susskind (2003): antropički pejzaž



# MULTIVERZUM I ARHIPELAG

- Koji delovi multiverzuma su nastanjivi?
- Neophodni uslovi za niskoenergetsku fiziku:
  - Omogućuje kompleksnost
  - Prediktabilnost
  - Stabilnost
  - ???



**Archipelag Nastanjivosti:** skup oblasti u prostoru parametara koji opisuju one delove multiverzuma koji su nastanjivi za život i inteligentne posmatrača bilo koje vrste.



# ISLANDS' PROFILES

"PARADISE"?

ALL  
BLACK HOLES

NO  
STRUCTURE

HABITABILITY

X.

PARAMETER X



Archipelago of Habitability



Habitable universe



Galactic Habitable Zone



Stellar population



Habitable planetary system



Circumstellar habitable zone



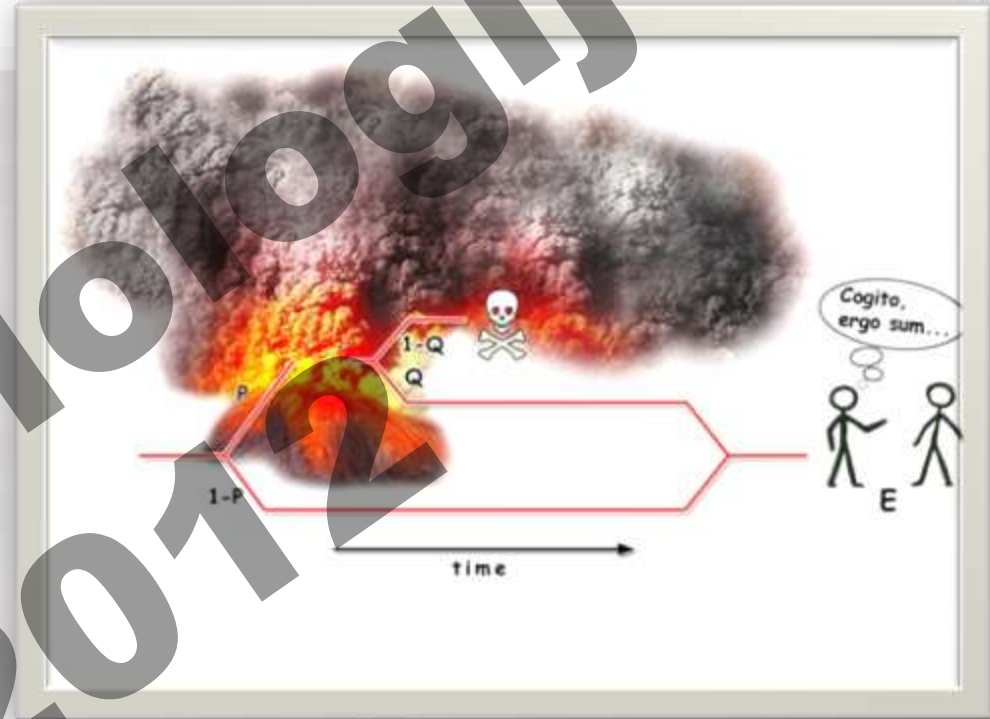
Earthlike planet / moon

# PRIMER 7: GLOBALNI KATASTROFIČKI RIZICI

- Uslovna verovatnoća:

$$P(B_i | E) = \frac{P(B_i)P(E|B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(E|B_j)}$$

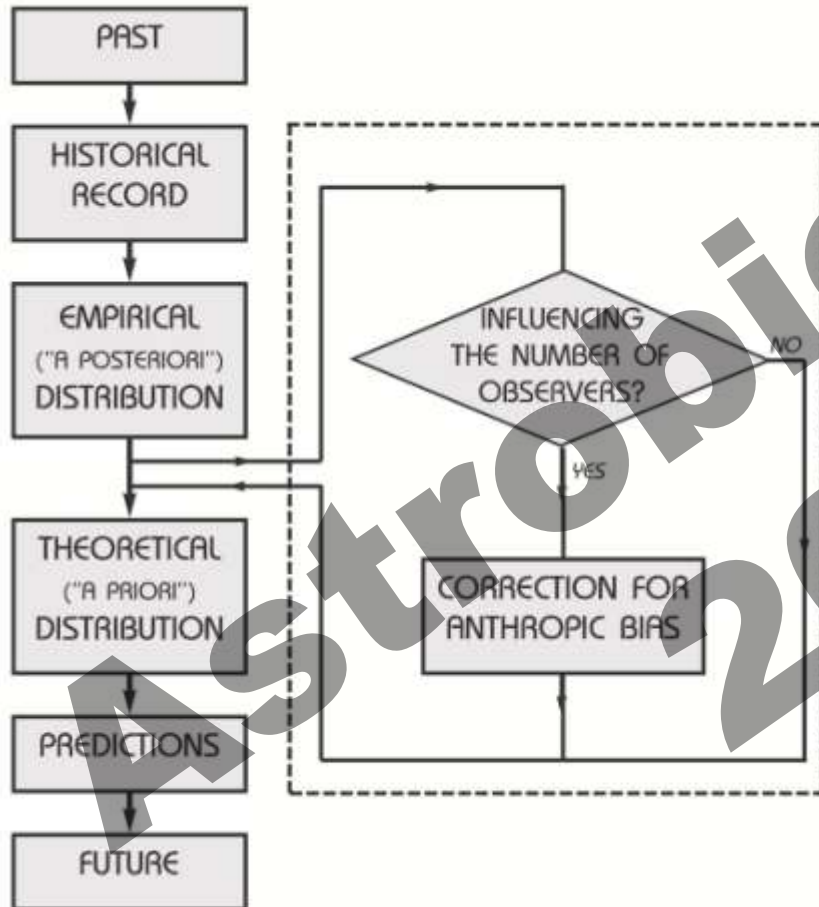
- $B_1$ : katastrofa se (u prošlosti) nije odigrala ( $1-P$ )
- $B_2$ : katastrofa se odigrala ( $P$ )  $P(B_2) = P$
- $Q$ : verovatnoća preživljavanja / nastavka evolutivnog lanca
- $E$ : naše današnje postojanje



$$P(B_2 | E) = \frac{P(B_2)P(E | B_2)}{P(B_1)P(E | B_1) + P(B_2)P(E | B_2)}$$

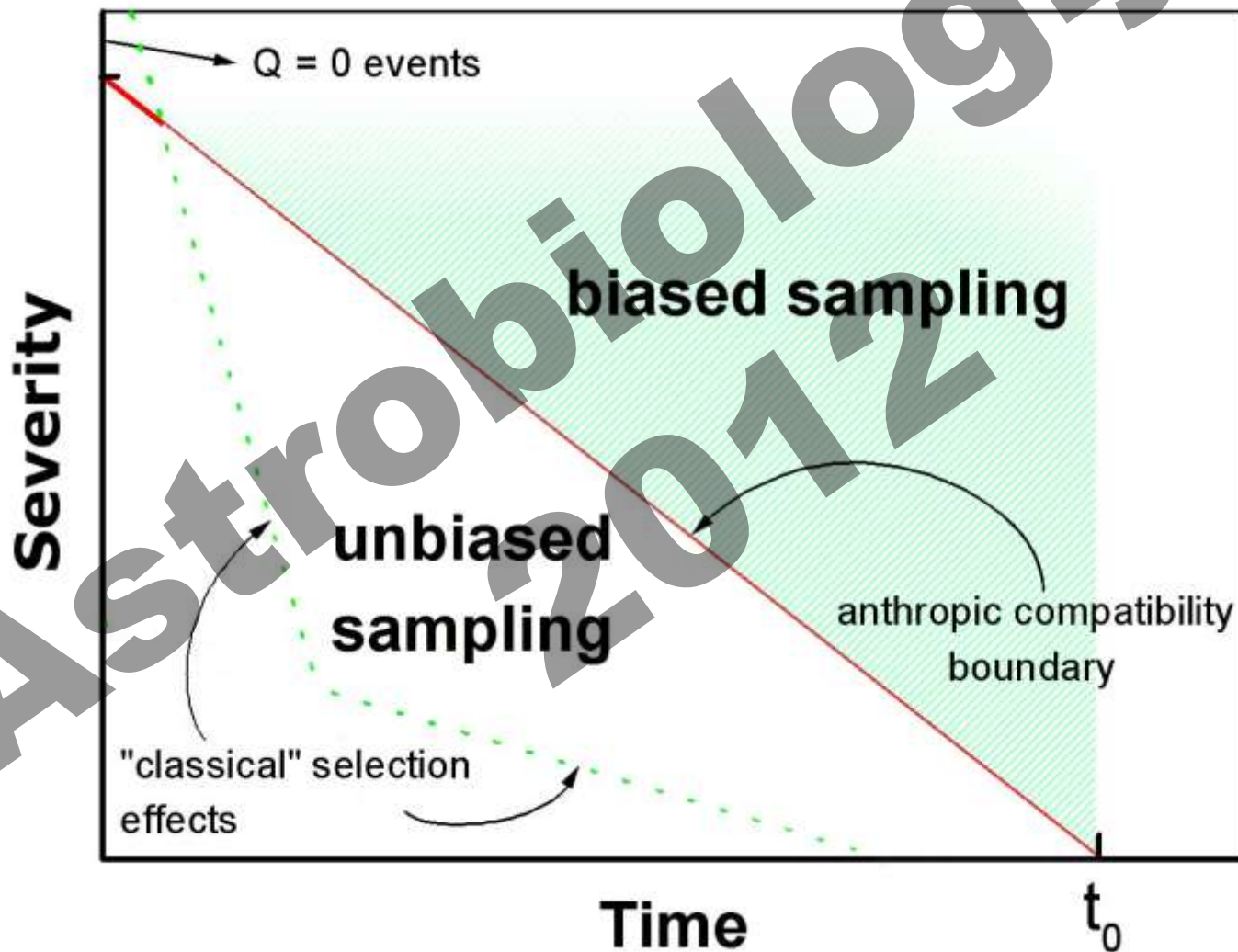
$$P(B_2 | E) = \frac{PQ}{(1-P) \cdot 1 + PQ} = \frac{PQ}{1-P+PQ} \quad \text{vs.} \quad P(B_2) = P$$

# DA LI ĆE BUDUĆNOST LIČITI NA PROŠLOST?

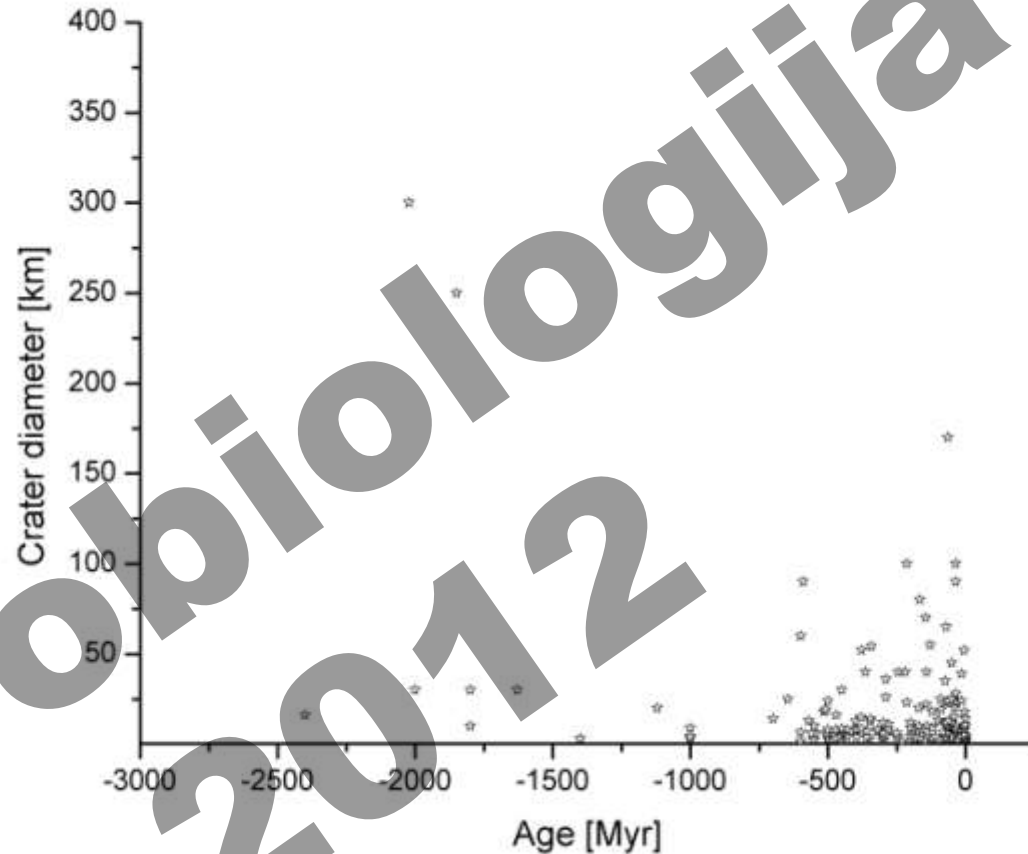


- A priori raspodela neophodna za predviđanje budućnosti!
- Postojanje posmatrača **sada** narušava simetriju prošlost-budućnost
- Generalna procedura primenljiva i na benigne događaje...
- ...ali samo u slučaju egzistencijalnih rizika je korekcija značajna

# „ANTROPIČKA SENKA“



## EMPIRIJSKI PODACI?



Earth Impact Database:

<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>

# UMESTO ZAKLJUČKA

- Fina podešavanja postoje i u drugim oblastima fundamentalne fizike (npr. problem hijerarhije u Standardnom modelu)
- Fina podešavanja pružaju odlične modele za kvantifikovanje nastanjivosti i uvid u to **šta je tipično...**
- JAKO MNOGO PREOSTALOG POSLA!