

Fizikalne konstante in obstoj življenja

Bojan Golli

Pedagoška fakulteta, UL

predavanje

27. oktober 2022

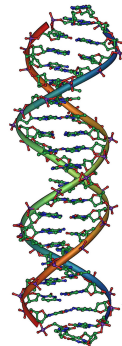
Vprašanja

- Zakaj imajo osnovne fizikalne konstante tolikšne vrednosti?
- Zakaj so fizikalni zakoni takšni kot so?
- Ali bi bili zakoni in konstante lahko tudi drugačni?
- Ali bi tudi v tem primeru obstajalo življenje, inteligentna bitja, človek?
- Zakaj je vesolje takšno kot je?
- Ali obstajajo druga vesolja z drugačnimi velikostmi osnovnih fizikalnih konstant?

Pogoji za življenje

Pogoji za nastanek življenja:

- organska snov $\leftarrow$ ogljikove spojine $\leftarrow$ ogljik
- prisotnost (nastanek) ogljika in težjih elementov
- milijarde let primernih okoljskih pogojev



Fizikalni zakoni

Fizikalni zakoni

oblika osnovnih zakonov je preprosta – „*preprosteje ne gre*“.

Osnovne fizikalne konstante

povezane s pogoji za nastanek življenja in osnovnimi silami v naravi.

Osnovne fizikalne konstante

Konstante, povezane s silami (interakcijami):

Elektromagnetna vezavna energija:

$$\alpha = \frac{W_{EM}}{W_0} = \frac{e_0^2}{4\pi\epsilon_0 r} \frac{1}{mc^2}$$

Značilna razdalja $\lambda_C = hc/mc^2$ (Comptonova val. dolžina), naj bo $2\pi r = \lambda_C$, $r = hc/2\pi mc^2 = \hbar c/mc^2$

$$\alpha = \frac{e_0^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{1}{137}.$$

Močna interakcija (med kvarki) $\alpha_s \approx 1.$

Gravitacijska interakcija (glede na elektron/proton):

$$\alpha_G = \frac{W_G}{W_0} = \frac{Gm_e^2}{\hbar c} \approx 10^{-45}, \quad \alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-38}.$$

Standardnim modelom delcev in interakcij

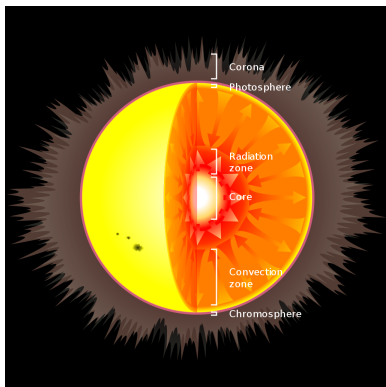
Konstante, povezane z masami delcev

Standardni model:

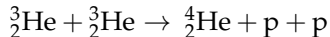
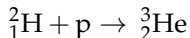
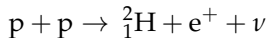
mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
LEPTONS	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
GAUGE BOSONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

Skupaj **26** brezdimenzijskih konstant, katerih vrednosti fizika danes ne zna pojasniti. Nekatere so pomembnejše za razumevanje zgradbe narave (masi lahkih kvarkov, elektrona, nevtrina, jakosti EM in močne interakcije.)

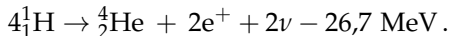
Nastanek elementov



V zvezdah velikosti Sonca poteka reakcija zlivanja vodika v helij pri temperaturi nekaj milijonov stopinj.

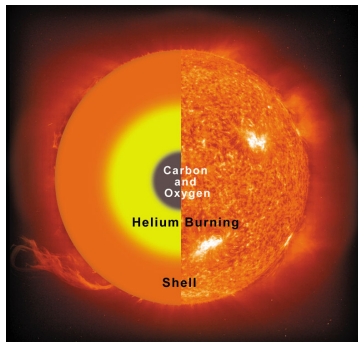


Skupaj:

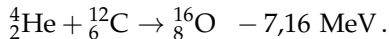
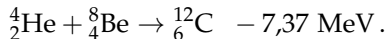
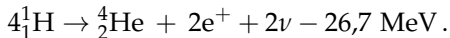


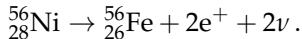
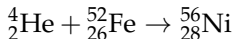
Reakcija lahko poteka več milijard let.

Nastanek težjih elementov (nukleosinteza)

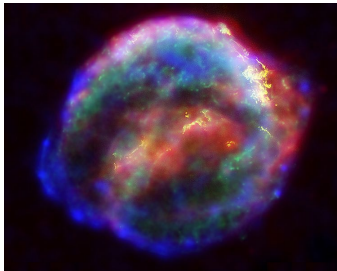


Elementi do niklja nastajajo pri gorenju helija pri temperaturah več deset milijonov stopinj v notranjosti večjih zvezd (rdečih orjakinj).



$$\vdots$$


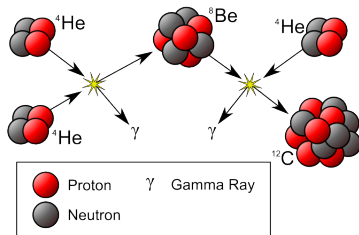
Nastanek težkih elementov (supernove)



Pri eksploziji supernove železno jedro kolapsira. Pri tem se spajajo protoni in elektroni v nevtrone. Nastane močan udarni val, ki se širi navzven. Tok nevtronov se absorbira v jedrih predvsem železa in silicija v zunanjih plasteh. Nastajajo težji elementi s presežkom nevtronov, ki nato z razpadom β^- generirajo elemente z vrstnim številom, večjim od železa.

Najtežji elementi nastajajo pri združitvi dveh nevtronskih zvezd.

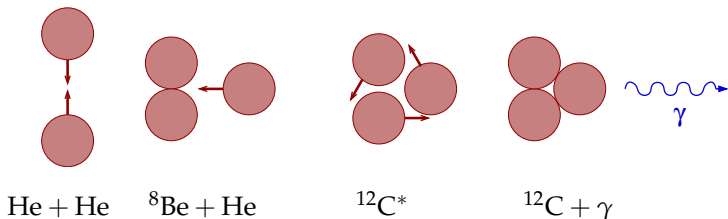
Tvorba ogljika



Ozko grlo je produkcija ${}^8\text{Be}$, saj beriljevo jedro ni obstojno in razpade nazaj v dve jedri helija. Jedri helija sicer tvoriti **metastabilno** stanje, ki živi dovolj časa, da se jima pridruži še **tretje jedro helija** in se vsi trije spojijo v jedro ogljika.

Ampak, količina ogljika, ki bi pri tem nastala, je veliko manjša od količine, ki je prisotna v naravi.

Vloga vzbujenega stanja ogljika



Fred Hoyle (1957): Ker vemo, da ogljik nastaja v dovolj velikih količinah, mora obstajati mehanizem, ki produkcijo močno ojača.

Reakcija poteka preko **vzbujenega stanja ogljika** z energijo, ki je ravno enaka skupni energiji berilija in helija.

Če bi bila jakost jedrske sile le **0,5 %** manjša ali večja, bi ogljik in težji elementi nastajali v ekstremno majhnih količinah. **Življenje se v tem primeru ne bi moglo razviti.**

Povezava z antropičnim načelom

Antropično¹ načelo (po *Britanski enciklopediji*): Obravnava zgradbe vesolja, fizikalnih zakonov ali osnovnih fizikalnih konstant v povezavi z obstojem življenja.

Obstoj vzbujenega stanja ogljika pri napovedani energiji so kasneje eksperimentalno potrdili.

Napoved in njeno potrditev imajo nekateri za **prvi uspeh antropičnega načela**: dokaz, da načelo ni le filozofska kategorija, ampak tudi fizikalna, saj ima **napovedno moč**, ki jo je mogoče eksperimentalno potrditi.

antropos [gr] človeški

Povezava z antropičnim načelom

Drugi primeri:

- Če bi bila jedrska sila **šibkejša**, sploh ne bi prišlo do spajanja protonov v težje elemente in v vesolju bi **obstajal le vodik**.
- Če bi bila jedrska sila **močnejša**, bi prišlo do spajanja protonov ne le v devterij, helij ${}^2_2\text{He}$ in vezano stanje dveh nevtronov. **Namesto vodika** bi že v začetnem stadiju vesolja (pred nastankom zvezd) obstajal **helij**. Do jedrske reakcij bi prihajalo le zvezdah, težjih od Sonca, ki bi v središču lahko dosegle temperaturo, potrebno za spajanje He jeder v težje elemente. Velike zvezde pa veliko hitreje porabijo jedrsko gorivo, in po nekaj milijardah let bi **vesolje „zamrlo“**.
- Če bi bil razmerje med **elektromagnetno** in **gravitacijsko** silo manjše, bi vsi procesi v vesolju potekali **hitreje**. Vesolje bi se začelo prej krčiti in **ne bi bilo dovolj časa** za razvoj življenja.

Zakaj so velikosti konstant tolikšne kot so?

Izoblikovala so se naslednje stališča:

- Velikosti konstant so tolikšne povsem slučajno.
- Obstaja fundamentalna teorija, ki bo pokazala, da morajo biti velikosti osnovne konstante tolikšne kot so.
- Obstaja več vesolj z različnimi velikostmi konstant in očitno živimo v vesolju, kjer so velikosti konstant ravno tolikšne, da omogočajo razvoj življenja. (Šibko antropično načelo)
- Velikosti konstant so tolikšne, da omogočajo razvoj inteligentnega življenja v določeni fazi razvoja vesolja. (Močno antropično načelo)

Interpretacija šibkega načela

Osnovne konstante so generirane **naključno**. Obstaja množica vesolj (*multiverzum, mnogotero vesolje*), v katerih imajo osnovne konstante različne vrednosti. V nekaterih vesoljih se lahko razvije inteligentno življenje, v drugih ne. Gre za neke vrste **kozmični naravni izbor**.

Mehanizem nastajanja (obstoja) novega vesolja:

- kvantne fluktuacije ob velikem poku
- rojevanje novega vesolja znotraj črne luknje
- vzporedna vesolja

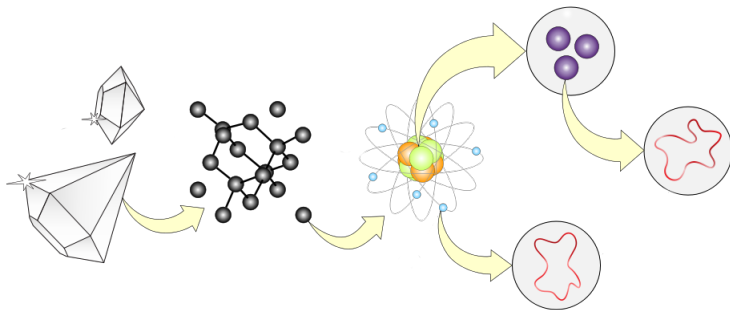
Alternativa hipotezi več vesolj

Številni znanstveniki nasprotuje takšnim razmišljanjem in menijo, da o tem nima smisla razpravljati, pač pa je potrebno iskati teorije, ki bi mogle napovedati obstoj različnih sil in naravnih konstant na podlagi zakonov, ki bi jih bilo moč **eksperimentalno preveriti**.

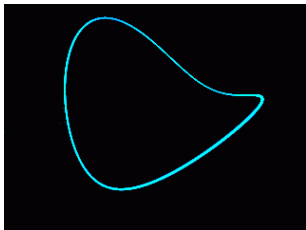
Takšna **teorija vsega** bi morala poenotiti vse sile v naravi in hkrati povezati Einsteinovo **splošno teorijo relativnosti**, ki opisuje razvoj vesolja, z zakoni **kvantne mehanike**, ki vladajo v mikroskopskem svetu.

V zadnjih 30 letih se je ogromno najboljših fizikov in matematikov ukvarjalo z iskanjem takšne teorije. Kot kandidat se pojavlja **teorija strun**.

Teorija strun



V standardne modelu so osnovni delci (elektron, kvarki, ...) točkasti. Točkasti delci pa predstavljajo načelno težavo v teoriji, saj vodijo do **divergentnih** (neskončnih) rezultatov. Težavo zaobidemo, če predpostavimo, da so osnovni delci nekakšne **strune** ali zanke, ki lahko **vibrirajo**.



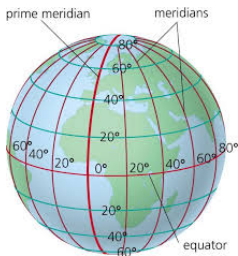
Energije vibracij določajo masni spekter delcev. Z interakcijo med strunami pojasnimo sile med delci; teorija uspešno napove lastnosti **gravitacijske** in **elektromagnetne** (elektrošibke) sile. Poleg fotonov, posrednikov EM interakcije, se v teoriji pojavljajo tudi brezmasni **gravitoni**, ki posredujejo gravitacijo med telesi.

Težava:

Teorija je konsistentna z Einsteinovo relativnostno teorijo samo v primeru, če se gibljejo v prostoru, ki ima **devet dimenzij** – skupaj s časovno dimenzijo govorimo o deset dimenzionalnem prostoru.

Kompaktne dimenzije

Zakaj šestih dodatnih dimenzij ne opazimo?

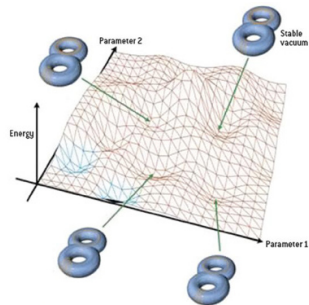
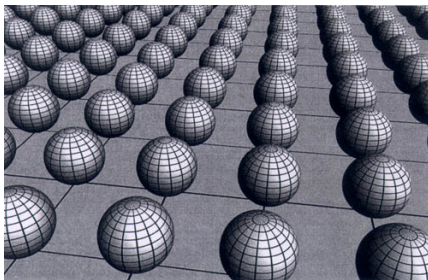


Teorija strun pravi, da so dodatne dimenzije **kompaktne**. Kompaktne dimenzije ponazorimo s površjem Zemlje. Za opis gibanja potrebujemo le dve dimenziji: zemljepisno dolžino in zemljepisno širino. Če se gibljemo vzdolž izbrane smeri, se zopet vrnemo v izhodišče. Pri gibanju opišemo krožnico z radijem Zemlje. Dimenzija je zato kompaktna.

Dodatne dimenzije v teoriji strun so kompaktificirane na tako **majhnem prostoru**, da eksperimentalno niso opazljive.

Pokrajina teorije strun

Lastnosti strun so odvisne od tega, kako so dodatne dimenzije zavite (kompaktificirane). Namesto krogel so to lahko svitki ali še bolj kompleksna telesa.



Če želimo s teorijo strun **napovedati vrednosti 26 konstant**, ki določajo lastnosti osnovnih sil, moramo vedeti, **kako so dodatne dimenzije kompaktificirane**.

Neenolične napovedi

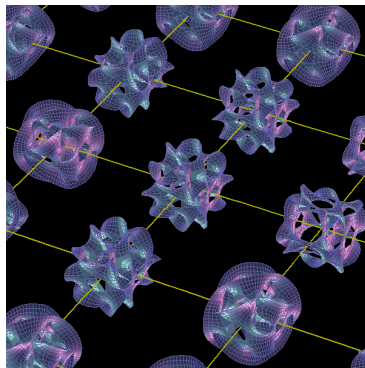
Matematiki so klasificirali vse možne kompaktifikacije v 6 D prostoru, in ugotovili, da jih je nekaj **sto tisoč**.

Vsaki kompaktifikaciji ustreza

druga teorija strun,

ki daje

drugačne napovedi.



Multiverzum namesto univerzuma

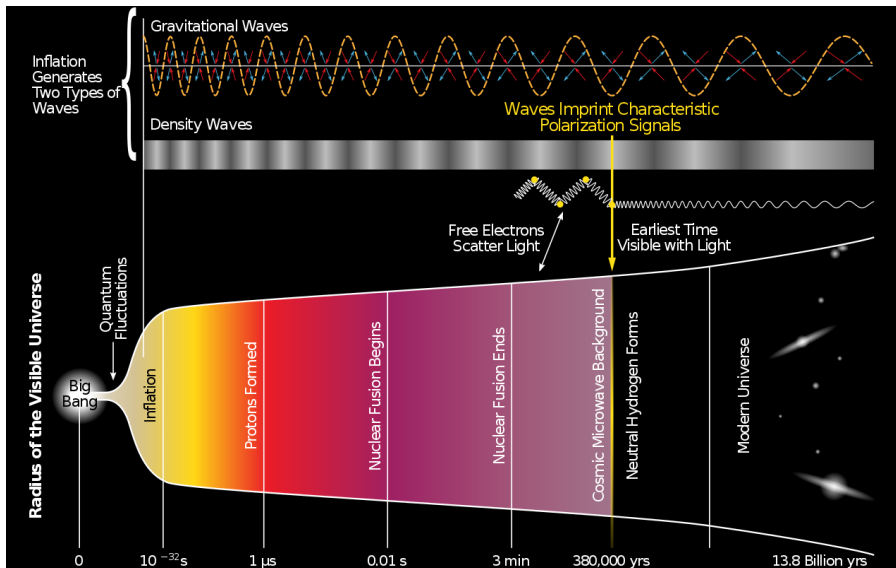
Fiziki so več kot dve desetletji iskali kriterij, po katerem bi lahko poiskali „pravo“ teorijo strun, a rezultat tega iskanja je v še večjem številu možnih teorij. Govorijo o številki 10^{500} .

Po eni strani pomeni tak zaključek veliko razočaranje za številne teoretike, ki delajo na teoriji strun, saj to pomeni, da

teorija strun ne vodi do enoličnih napovedi.

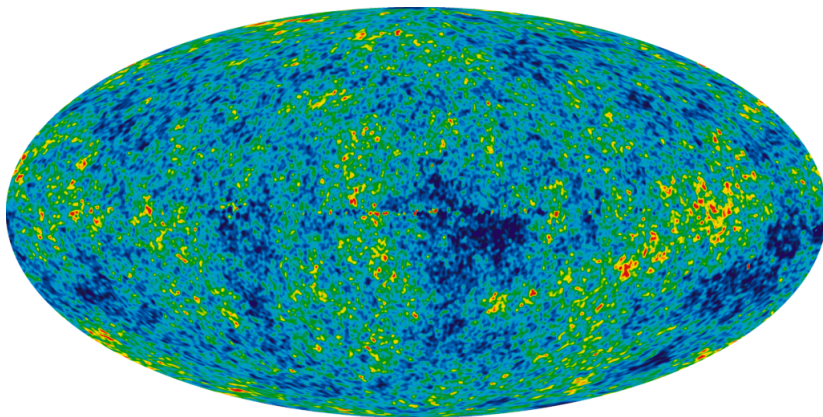
Po drugi strani pa tak rezultat predstavlja veliko vzpodbudo za pobornike antropičnega razmišljanja. Številni vodilni fiziki, med njimi sta najbolj znana nobelovec Steven Weinberg in kozmolog Steven Hawking, povsem resno obravnavajo antropično načelo v povezavi s hipotezo velikega števila vesolj (*multiverzum, mnogotero vesolje*).

Zgodovina vesolja



[https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_\(cosmology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_(cosmology))

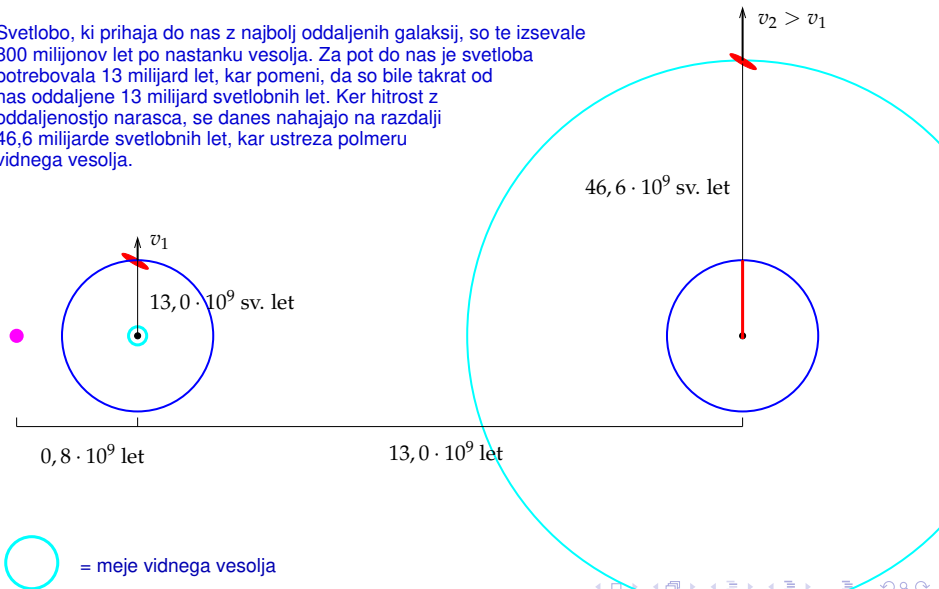
Prasevanje



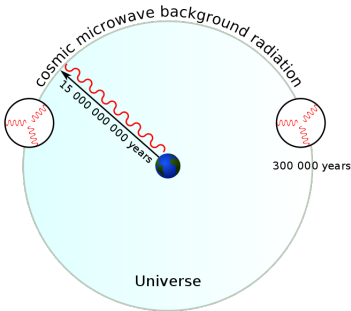
Spekter ustreza spektru črnega telesa pri $2,726 \pm 0,001$ K, z odstopanji $\pm 10^{-4}$, označenimi z modro in oranžno barvo.

Vidno vesolje

Svetlobo, ki prihaja do nas z najbolj oddaljenih galaksij, so te izsevale 800 milijonov let po nastanku vesolja. Za pot do nas je svetloba potrebovala 13 milijard let, kar pomeni, da so bile takrat od nas oddaljene 13 milijard svetlobnih let. Ker hitrost z oddaljenostjo narasča, se danes nahajajo na razdalji 46,6 milijarde svetlobnih let, kar ustreza polmeru vidnega vesolja.



Prasevanje in horizont

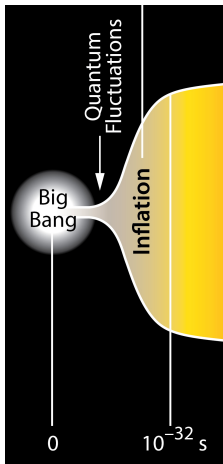


Področji na različnih straneh neba, od koder prejemamo prasevanje (mikrovalovno ozadje), nikoli nista bili med seboj vzročno povezani, zato je nenavadno, da imata enako temperaturo.

Homogenost pojasni model kozmične inflacije: v času od 10^{-36} s do 10^{-32} s se je vesolje povečalo za faktor 10^{26} in obdržalo začetno homogenost. Manjša odstopanja so posledica kvantnih fluktuacij.

https://en.wikipedia.org/wiki/Horizon_problem

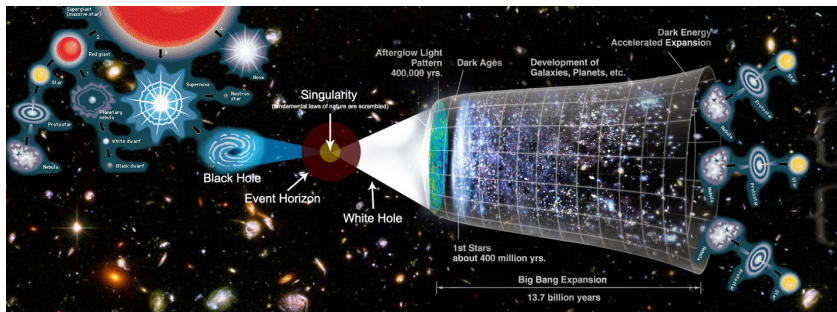
Kvantne fluktuacije ob velikem poku (Hartle-Hawking)



V prvih 10^{-32} s so v vesolju prevladovala **kvantne fluktuacije**. Stanje vesolja v začetnem trenutku opišemo z valovno funkcijo, ki je **superpozicija** stanj, ki ustrezajo **različnim vrednostim osnovnih konstant**:

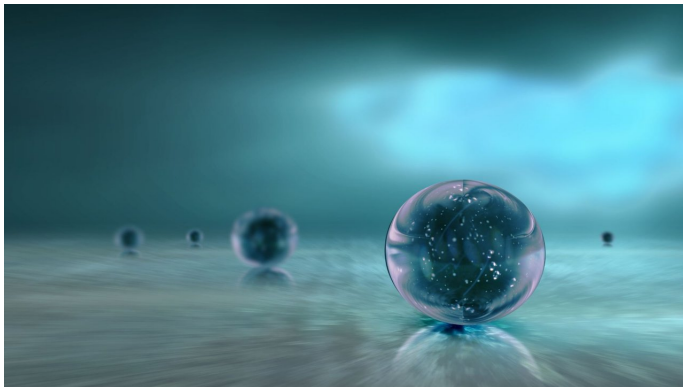
$$\sum_{\alpha} \Psi_{\alpha}$$

Model naravne selekcije (Lee Smolin)



Nova vesolja se neprestano rojevajo znotraj **črnih lukenj**. V novem vesolju so vrednosti konstant nekoliko drugačne kot v prvotnem vesolju. Uspešneje se razmnožujejo vesolja, ki imajo pogoje za rojstvo črnih lukenj. (Obstoj črnih lukenj implicira obstoj težki elementov in dovolj časa za razvoj vesolja, kar sta tudi potrebna pogoja za nastanek življenja.)

Vzporedna vesolja (Max Tegmark)



Mnogotero vesolje je neskončno in sestavljeno iz neskončnega števila ločenih vesolj, v katerih imajo vrednosti konstant nekoliko drugačne vrednosti. *Vse strukture, ki obstajajo v matematiki, naj bi se tudi fizično uresničile.*

Dve mnenji namesto zaključka

Lahko da smo sedaj pri novem preobratu, radikalni spremembi o tem, kaj sprejemamo kot legitimni temelj za fizikalno teorijo ... Večje kot je število parametrov, ki jih vsebuje pokrajina teorije strun, večja je legitimnost antropičnega razmišljanja kot o izhodišča fizikalne teorije: Znanstveniki, ki raziskuje naravo, se morajo zavedati, da živijo v delu pokrajine, kjer so fizikalni parametri takšni, da omogočajo nastanek in evolucijo življenja vse do njih samih.

Stephen Weinberg, Living in the Multiverse, hep-th/0511037

Ko tako razmišljamo, izgubimo zmožnost, da preverimo svojo teorijo na način, ki je potreben, da razlikujemo pravilne teorije od lepih, a napačnih teorij. Zgodovina znanosti nam znova in znova dokazuje, da mora teorija voditi do določenih in natančnih napovedi, ki jih je mogoče potrditi ali zavreči.

Lee Smolin, The Trouble with Physics, Penguin Books 2008

Now we may be at a new turning point, a radical change in what we accept as a legitimate foundation for a physical theory. ... The larger the number of possible values of physical parameters provided by the string landscape, the more string theory legitimates anthropic reasoning as a new basis for physical theories: Any scientists who study nature must live in a part of the landscape where physical parameters take values suitable for the appearance of life and its evolution into scientists.

Stephen Weinberg Living in the Multiverse, hep-th/0511037

Once you reason like this, you loose the ability to subject your theory to the kind of test that the history of science shows over and over again is required to winnow correct theories from beautiful but wrong ones. To do this, a theory must make specific and precise predictions that can either be confirmed or refuted.

Lee Smolin, The Trouble with Physics, Peguin Books 2008