

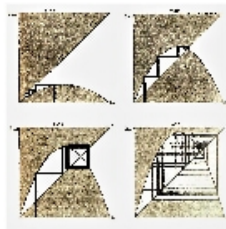
Veľký tresk a turbulencia – stretnutia newtonovského fyzika s chaosom

Vladimír Balek

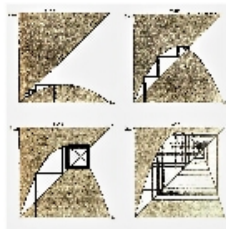
FMFI UK Bratislava

Aká si mi krásna, Banská Bystrica, 10. apríl 2018

James Gleick: *Chaos: vznik nové vědy* (1996); pr.: rast populácie
(logistická diferenčná rovnica): $x' = rx(1 - x)$ → $r < 1$: populácia
vymrie, $1 < r < 2,7$ populácia sa ustáli, $r > 2,7$: periódy 2, 4, 8,
..., potom chaos + občas vyššie periódy (3, 6, 12 ... atď.)

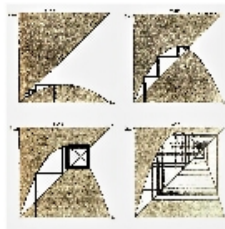


James Gleick: *Chaos: vznik nové vědy* (1996); pr.: rast populácie
 (logistická diferenčná rovnica): $x' = rx(1 - x)$ → $r < 1$: populácia
 vymrie, $1 < r < 2,7$ populácia sa ustáli, $r > 2,7$: periódy 2, 4, 8,
 ..., potom chaos + občas vyššie periódy (3, 6, 12 ... atď.)



univerzalita (Feigenbaum): $r_n \equiv$ hodnota r pri n -tom zdvojení
 periód: $\Delta r_{n+1} / \Delta r_n = q^{-n}$, $q_{lim} = 4,669201609 \dots$ – **ČO JE TO?**

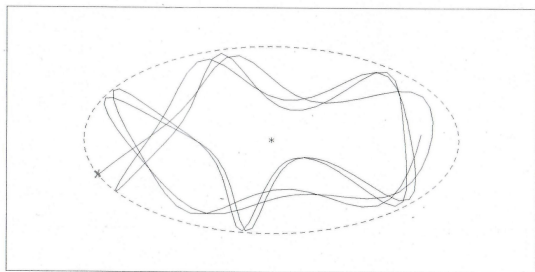
James Gleick: *Chaos: vznik nové vědy* (1996); pr.: rast populácie
 (logistická diferenčná rovnica): $x' = rx(1 - x)$ → $r < 1$: populácia
 vymrie, $1 < r < 2,7$ populácia sa ustáli, $r > 2,7$: periódy 2, 4, 8,
 ..., potom chaos + občas vyššie periódy (3, 6, 12 ... atď.)



univerzalita (Feigenbaum): $r_n \equiv$ hodnota r pri n -tom zdvojení
 periód: $\Delta r_{n+1} / \Delta r_n = q^{-n}$, $q_{lim} = 4,669201609 \dots$ – ČO JE TO?

„newtonovský fyzik“ je bezpečný? zdá sa, že je, ale...

... toto mi vyšlo, keď som rátal pohyb guľôčky v sploštenej jame:



oscilačný režim približovania sa k singularite

Belinskij–Lifšic–Chalatnikov (68)

plochý oscilujúci vesmír (Kasner): $dl^2 = t^{2p_1} dx^2 + t^{2p_2} dy^2 +$

$$+ t^{2p_3} dz^2, \quad \sum p_i = \sum p_i^2 = 1 \Leftrightarrow p_i = \frac{(-u, 1+u, u(1+u))}{1+u+u^2};$$

uzavretý oscilujúci vesmír, $dl^2 = e^{2\alpha_x} d\phi_x^2 + e^{2\alpha_y} d\phi_y^2 + e^{2\alpha_z} d\phi_z^2$:

$\alpha_i \doteq p_i \ln t$, $p_2 \leftrightarrow p_3$: **k-cykly** s $u_0 = k_0 + 1/[k_1 + 1/(k_2 + \dots)]$

VEĽKÝ TRESK: jeho nutnosť v klasickej teórii gravitácie

oscilačný režim približovania sa k singularite

Belinskij–Lifšic–Chalatnikov (68)

plochý oscilujúci vesmír (Kasner): $dl^2 = t^{2p_1} dx^2 + t^{2p_2} dy^2 + t^{2p_3} dz^2$, $\sum p_i = \sum p_i^2 = 1 \Leftrightarrow p_i = \frac{(-u, 1+u, u(1+u))}{1+u+u^2}$;

uzavretý oscilujúci vesmír, $dl^2 = e^{2\alpha_x} d\phi_x^2 + e^{2\alpha_y} d\phi_y^2 + e^{2\alpha_z} d\phi_z^2$:

$\alpha_i \doteq p_i \ln t$, $p_2 \leftrightarrow p_3$: **k-cykly** s $u_0 = k_0 + 1/[k_1 + 1/(k_2 + \dots)]$

vety o singularitách

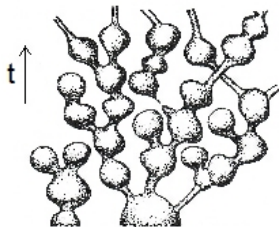
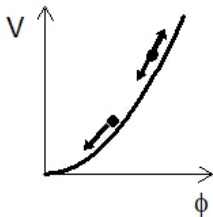
Hawking–Penrose (63–70)

singularita = „kraj časopriestoru“ (hranica, za ktorú nevieme predĺžiť geodetiky) – ex., ak ex. **zachytená plocha** = plocha, z ktorej sa lúče vyslané na *obe* strany zbiehajú, ak $t \uparrow$ (ČD) / $t \downarrow$ (vesmír)

chaotická inflácia

Linde (86), Linde–Linde–Mezhlumian (94)

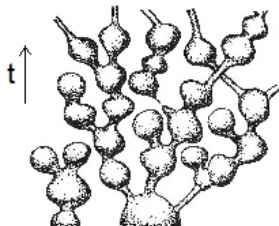
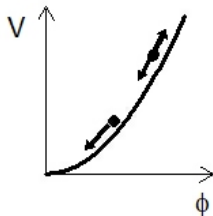
ϕ v oblasti s $l \sim |l_P|$ koná nulové kmity a keď \downarrow pod ϕ_{krit} , začne sa spúšťať, čím poháňa *infláciu* \Rightarrow vzniká **samoreprodukujúci sa vesmír**



chaotická inflácia

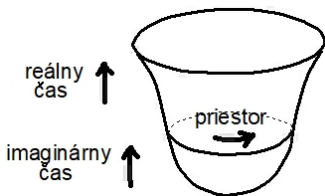
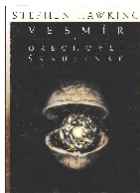
Linde (86), Linde–Linde–Mezhlumian (94)

ϕ v oblasti s $l \sim |l_P|$ koná nulové kmity a keď \downarrow pod ϕ_{krit} , začne sa spúšťať, čím poháňa *infláciu* \Rightarrow vzniká **samoreprodukujúci sa vesmír**



fraktálna štruktúra: max. objem s daným ρ je sústredený blízko stredov sférických „jám“ v $\rho(x)$ (typický pozorovateľ „žije v strede vesmíru“); PROBLÉM: počíta sa bez kvantovania geometrie

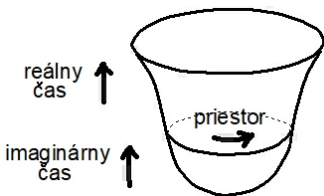
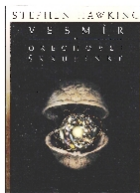
úplná QM (vrátane geometrie)? Hartle–Hawking (83): podmienka „bez okraja” – „okrajová podmienka vesmíru je, že nemá okraj”



VvOŠ, zhrnutie kap. 3: „Vesmír má rozmanité histórie, z ktorých každá je určená drobným orieškom.”

oriešok: história v τ , určuje históriu v t

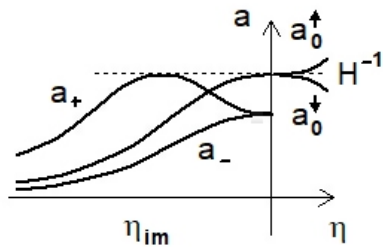
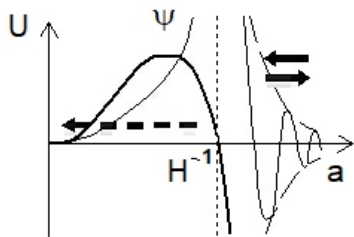
úplná QM (vrátane geometrie)? Hartle–Hawking (83): podmienka „bez okraja” – „okrajová podmienka vesmíru je, že nemá okraj”

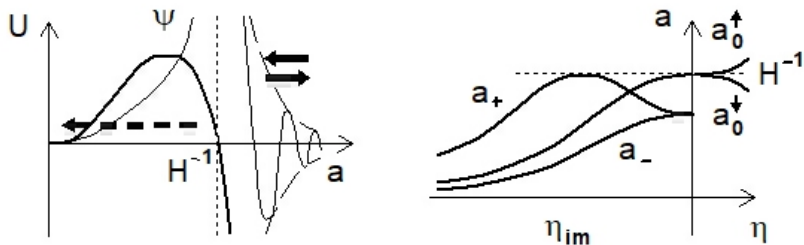


VVOŠ, zhrnutie kap. 3: „Vesmír má rozmanité histórie, z ktorých každá je určená drobným orieškom.”

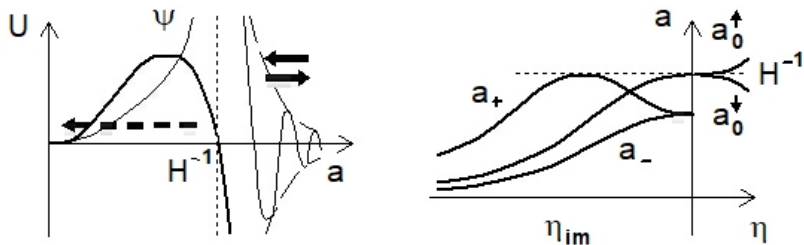
oriešok: história v τ , určuje históriu v t

tunelovanie z jamy: SchR $\rightarrow \psi_0$ v bariére $\propto e^{-S_E}$, $S_E =$ účinok pri pohybe častice **v potenciáli $-V$** \Leftrightarrow **v čase $-i\tau$** (\ominus : aby sme potlačili príspevok exc. stavov) / vesmír pri VT: S má zlé znamienko, $L = \ominus(T + V) \Rightarrow$ vesmír tuneluje *do jamy* \Leftrightarrow 4D priestor nemá okraj





Linde: vesmír nemá exc. stavy \Rightarrow môžeme zvoliť $t = \oplus i\tau \Leftrightarrow$ vesmír tuneluje z *jamy* („vznikne z ničoho“)



Linde: vesmír nemá exc. stavy \Rightarrow môžeme zvoliť $t = \oplus i\tau \Leftrightarrow$ vesmír tuneluje z *jamy* („vznikne z ničoho“)

hladký odchod z večnej inflácie?

Hawking–Hertog (2018)

$P = |\psi|^2$, ψ dané podmienkou „bez okraja“: P je sústredené na plochách blízkyh k $S^3 \Rightarrow$ (asi) vesmír *nemá* fraktálnu štruktúru

TURBULENCIA: kam sa stráca informácia?

unitarita: pri vzniku ČD by sa inf. mala zachovávať – AKO TO?

TURBULENCIA: kam sa stráca informácia?

unitarita: pri vzniku ČD by sa inf. mala zachovávať – AKO TO?

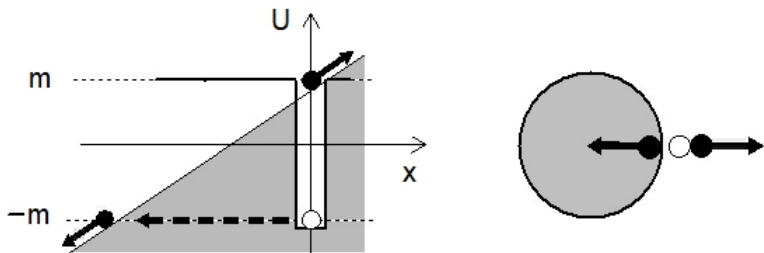
Hawking (74): vyparovanie ČD („ČD nie sú až také čierne“)

TURBULENCIA: kam sa stráca informácia?

unitarita: pri vzniku ČD by sa inf. mala zachovávať – AKO TO?

Hawking (74): vyparovanie ČD („ČD nie sú až také čierne“)

kolaps hv-y: $|0\rangle \rightarrow |0'\rangle \Rightarrow N = \sum \langle 0' | a_i^+ a_i | 0' \rangle \neq 0$; vznik NH:
kreácia **len počas Δt** / vznik ČD: rýchlosť kreácie sa **ustáli pri $t \rightarrow \infty$** ($t_i \uparrow$: $N_i = \text{konšt}$) – ako vznik $e^- e^+$ pri $\Delta U > 2m$



teplota ČD ($c = \hbar = k_B = 1$): $\phi'_i = \sum (\alpha_{ij}\phi_j + \beta_{ij}\bar{\phi}_j)$, $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$

$$\rightarrow N_i = \Gamma_i \cdot \frac{1}{e^{\omega_i/T} - 1}, \quad T = \frac{1}{4\pi r_g} \quad (M_{\odot}: 5 \cdot 10^{-8} \text{ K})$$

teplota ČD ($c = \hbar = k_B = 1$): $\phi'_i = \sum (\alpha_{ij}\phi_j + \beta_{ij}\bar{\phi}_j)$, $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$

$$\rightarrow N_i = \Gamma_i \cdot \frac{1}{e^{\omega_i/T} - 1}, \quad \boxed{T = \frac{1}{4\pi r_g}} \quad (M_{\odot}: 5 \cdot 10^{-8} \text{ K})$$

entropia ČD: $dE = dM = \frac{1}{2} dr_g = T \cdot 2\pi r_g dr_g = T \cdot \frac{1}{4} dA$

$$\Rightarrow \boxed{S = \frac{1}{4} A} \quad (\rightarrow \text{kvantovanie časopriestoru, holografia});$$

teplota ČD ($c = \hbar = k_B = 1$): $\phi'_i = \sum (\alpha_{ij}\phi_j + \beta_{ij}\bar{\phi}_j)$, $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$

$$\rightarrow N_i = \Gamma_i \cdot \frac{1}{e^{\omega_i/T} - 1}, \quad \boxed{T = \frac{1}{4\pi r_g}} \quad (M_{\odot}: 5 \cdot 10^{-8} \text{ K})$$

entropia ČD: $dE = dM = \frac{1}{2} dr_g = T \cdot 2\pi r_g dr_g = T \cdot \frac{1}{4} dA$

$$\Rightarrow \boxed{S = \frac{1}{4} A} \quad (\rightarrow \text{kvantovanie časopriestoru, holografia}); \text{ nápis na}$$

náhrobnom kameni:

$$S = \frac{\text{Boltzmann} \quad A \quad k \quad c^3}{4 \quad \hbar \quad G} \quad \text{Einstein} \quad \text{Planck}$$

ALE žiarenie je tepelné \Rightarrow neodnáša informáciu – ZLE

ALE žiarenie je tepelné \Rightarrow neodnáša informáciu – ZLE

Susskind–Thorlacius–Uglum (93), t'Hoft (85, 90): čiernodierová komplementarita – vonkajší pozorovateľ vidí, že sa informácia zohriala na **natahnutom horizonte** a vrátila / padajúci pozorovateľ vidí, že sa informácia prešla dovnútra; Hawking (2005): „prehral som stávkou” – žiarenie *objektívne* nesie informáciu, ale len ako spálená encyklopédia; Almheiri–Marolf–Polchinski–Sully (2012): informácia spod horizontu sa musí „odviazať” od častíc vysielaných nad horizontom \Rightarrow padajúci pozorovateľ narazí na **ohnivú stenu**

ALE žiarenie je tepelné \Rightarrow neodnáša informáciu – ZLE

Susskind–Thornlacius–Uglum (93), t’Hoft (85, 90): čiernodierová komplementarita – vonkajší pozorovateľ vidí, že sa informácia zohriala na **natahnutom horizonte** a vrátila / padajúci pozorovateľ vidí, že sa informácia prešla dovnútra; Hawking (2005): „prehral som stávkou” – žiarenie *objektívne* nesie informáciu, ale len ako spálená encyklopédia; Almheiri–Marolf–Polchinski–Sully (2012): informácia spod horizontu sa musí „odviazať” od častíc vysielaných nad horizontom \Rightarrow padajúci pozorovateľ narazí na **ohnivú stenu**

„predpovedanie počasia” pre čierne diery

Hawking (2014)

CPT symetria: ČD sa môže rozptýliť na žiarenie opačným dejom, ako vznikla \Rightarrow horizont je iba *zdanlivý* (dočasný); kolaps je turbulentný, preto získavať o ňom informáciu je ako predpovedať počasia na Zemi

THOMASÍNA: Hory nie sú ihlany a stromy nie sú kužele. Boh musí mať rád delostrelectvo a architektúru, ak je Euklides jeho jediná geometria. (*scéna 7*)

VALENTÍN: Veci s obvyklými rozmermi, ako naše životy, predmety, o ktorých ľudia píšu básne – oblaky – narcisy – vodopády – a čo sa stane so šálkou kávy, keď do nej pridáme smotanu – toto všetko je plné záhad, je to pre nás rovnako tajomné, ako bola obloha pre Grékov. Ľahšie sa nám predpovedá, čo sa stane na kraji Galaxie alebo vnútri jadra, než či bude pršať v nedeľu o tri týždne, keď sa má rodina zísť u tety v záhrade. Lebo úloha, ako sa ukazuje, je iná. (*scéna 4*)

Tom Stoppard: *Arkádia*