

RÁDIOAKTIVITA AKO MOŽNÝ INDIKÁTOR FRAKTÁLNEJ ŠTRUKTÚRY FYZIKÁLNEHO VÁKUA

Július Krempaský*, Štefan Húšťava**, Pavel Valko*

*Katedra fyziky, FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

** Katedra fyziky Stavebná fakulta STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Abstrakt: V súvislosti s pokusmi o vypracovanie teoretického modelu štruktúry fyzikálneho vákua sa v článku polemizuje o možnosti využitia rádioaktívneho rozpadu prvkov na potvrdenie či vyvrátenie návrhu modelu požadujúceho jeho fraktálnu štruktúru. Podnety zodpovedné za rádioaktívny rozpad sú generované fyzikálnym vákuom, preto sa možno domnievať, že poznatky charakterizujúce tento rozpad mohli niesť určitú informáciu aj o štruktúre samotného fyzikálneho vákua. Analýza výsledkov merania vedie k záveru, že táto štruktúra veľmi pravdepodobne je naozaj fraktálna.

Kľúčové slová: rádioaktivita, fyzikálne vákuum, fraktálna štruktúra, deterministický chaos, sebe podobnosť, stochastický chaos.

Úvod

V súvislosti s najnovšími výsledkami astrofyzikálneho výskumu, podľa ktorých sa rozpínanie vesmíru zrýchľuje (JONES M. H., LAMBOURNE R. A. 2003) a zodpovednosť za tento fenomén prisudzuje vákuovej energii, sa pozornosť fyzikov začala viac sústreďovať na otázky týkajúce sa samotnej podstaty fyzikálneho vákua a jeho štruktúry. V prácach (AMBJORN J., JURKIEWICZ J. and LOLL R., 2008) a (AMBJORN J., GÖRLICH A., JURKIEWICZ and LOLL) sa objavili domnienky, že by hypotetické elementy tvoriace toto médium mohli byť usporiadané do štruktúr vykazujúcich fraktálnu povahu. Ako je známe, takáto štruktúra sa viaže na vlastnosť „self-similarity“ (MANDELBROT R. 1982), ktorej prototypom je známa Cantorova množina. Zrejmé je aj to pozri napr. (MIKHAILOV A. S. 1990) a (MIKHAILOV A. S. and LOSKUTOV A. Y. 1991), že tento typ štruktúr sa môže navonok prejavíť chaotickou dynamikou charakterizovanou režimom deterministického chaosu.

Uvedené skutočnosti sa v praxi potvrdili v súvislosti so skúmaním možnosti dlhodobej prognózy počasia na základe analýz dynamiky klimatických systémov v prácach (LORENZ E. N., 1963), (YORKE J. A., 1975), (RUELLE D. and TAKENS F. 1971). Kvantitatívnym ukazovateľom existencie režimu deterministického chaosu je kladná hodnota tzv. Ljapunovho exponentu, čím možno tento typ chaosu odlišiť od bežného stochastického chaosu, ktorého príčinou je veľký počet stupňov voľnosti. V súvislosti s tým sa ukázala potreba vypracovať algoritmy vhodné na zisťovanie prítomnosti deterministického chaosu v skúmaných procesoch. Takéto argumenty sa skutočne našli pozri práce (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Phys. Rev. Lett) a (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Physica D9). Ich aplikáciu na problém, či pri známych fotosyntetických osciláciách hrá dominantnú úlohu stochastický resp. deterministický chaos, možno nájsť napr. v práci (BOKES P. and KREMPASKÝ J., 1997).

Zmysel pátrania po prítomnosti deterministického chaosu je najmä v tom, že jeho existencia je viazaná len na systémy charakterizované tromi a viac stupňami voľnosti, čiže na systémy opísateľné minimálne tromi nezávislými diferenciálnymi rovnicami. Ak by sa teda potvrdilo, že štruktúra fyzikálneho vákua je naozaj fraktálna a teda že môže navonok generovať dynamiku v režime deterministického chaosu, potom by sa z toho mohlo vydedukovať napríklad aj to, že hľadaná „teória všetkého“

nielenže môže reálne existovať, ale aj to, žeby nemohla spočívať na jedinej východiskovej rovnici, ale minimálne na troch. V tejto súvislosti možno len ako na zaujímavosť upozorniť na (doteraz ešte fyzikálnou obcou neakceptovateľnú) publikáciu ruského fyzika G. J. Šipova (ŠIPOV G. J. 1993), v ktorej prezentuje pokus o vytvorenie určitej mechanicky vykonštruovanej „teórie všetkého“, pričom prichádza k zaujímavému záveru, že príslušné fundamentálne rovnice sú práve tri.

Uvedené skutočnosti svedčia o tom, že problém štruktúry fyzikálneho vákua je veľmi aktuálny a významný, preto aj otázka, či sa možno niečo netriviálneho dozvedieť aj pomocou experimentu, nadobúda vysokú aktuálnosť. Treba sa len sústrediť na fenomény, ktoré sú bezprostredným produktom dynamiky prebiehajúcej vo fyzikálnom vákuu. Ako jeden z možných indikátorov tejto dynamiky prichádzajú do úvahy podnety, ktoré sú zodpovedné za rádioaktívny rozpad. Ten prebieha nepredikovateľne, teda chaoticky a otázka je, či sa tu jedná o stochastický alebo deterministický chaos. Indikátorom charakteru tohto chaosu by mohlo byť pozorovanie prítomnosti „self-similarity“, v dostatočne hustých záznamoch rozpadu vhodného rádioaktívneho prvku. Takéto meranie sme uskutočnili a keďže získané údaje vizuálne naznačovali prítomnosť „self-similarity“, pristúpili sme aj ku serióznej matematickej analýze získaných dát. Boli sme prekvapení, ako transparentne a presvedčivo nás táto analýza priviedla k záveru, že tento fenomén je pre dynamiku nášho fyzikálneho vákua suverénne dominantný.

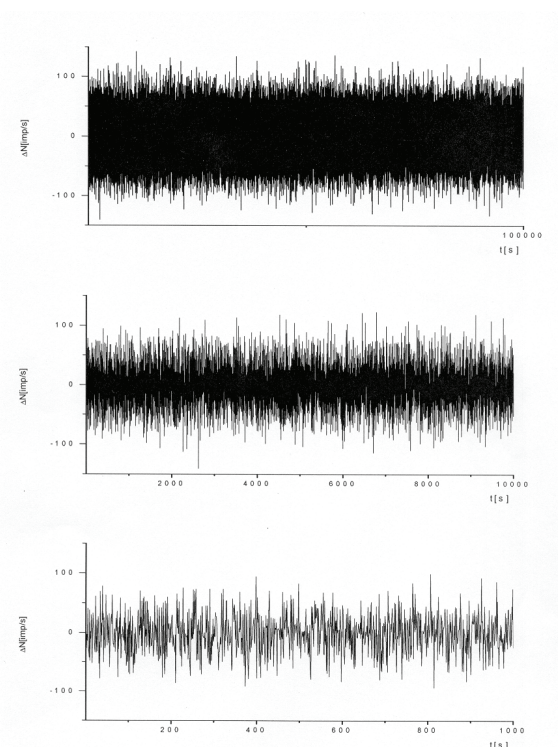
Meranie a namerané výsledky

Ústredná myšlienka tohto príspevku vychádza z postulátu, že aj keď samotná rádioaktívna premena je determinovaná viacerými faktormi, jej štart bezprostredne stimulujú podnety generované vo fyzikálnom vákuu. Ako sme už zdôraznili, samotný akt rádioaktívnej premeny je nepredikovateľný, čo značí, že vlastná produkcia podnetov prebieha chaoticky. Problémom je len zistiť, či tento chaos je stochastický alebo deterministický. Algoritmus schopný poskytnúť toto rozlíšenie je založený na zistení prítomnosti či absencie „self-similarity“ v časovom slede impulzov z vákua stimulujúcich premenu a to si vyžaduje zaregistrovanie dostatočného počtu impulzov v rozumnom čase. Táto požiadavka determinovala výber vhodnej vzorky. Ako najvhodnejší prvok sa z tohto hľadiska ukázal izotop jódu $^{131}_{54}J$, ktorý sa premenou svojich atómov mení na $^{131}_{54}Xe$ s polčasom premeny $T=8,802070$ dní. Meranie počtu premien v priebehu niekoľkých dní v sekundových intervaloch tak umožňuje zhromaždiť rádovo 10^5 nameraných údajov potrebných pre numerickú analýzu.

V uvedenom prípade sa jedná o beta premenu sprevádzanú emisiou gama žiarenia, ktoré možno spoľahlivo zaregistrovať proporcionálnym detektorom. Použil sa detektor NPGD02 vložený do inteligentnej sondy RS 03/232 firmy Bitt Technology Austria. Citlivosť meracieho zariadenia bola 4 imp.s^{-1} na 100 nSv.h^{-1} a presnosť registrácie bola lepšia ako 3%. Analýzou príslušného procesu premeny bolo zistené, že dominantnou zložkou pri registrácii bola energetická čiara gama žiarenia $E=364,489 \text{ keV}$ s výťažkom 81,76%. Časy prechodu medzi inými energetickými hladinami sú rádovo nano- a pikosekundy, takže všetky energetické čiary sú pri meraní v sekundových intervaloch integrálne zaregistrované. Z vlastností použitého detektora vyplýva, že bola vylúčená registrácia beta aj X žiarenia. Mŕtva doba použitého detektora je $1 \mu\text{s}$.

Merala sa okamžitá hodnota početnosti impulzov v sekundových intervaloch a pomocou programu Origin sa vykonalo porovnanie nameraných údajov s údajmi vyplývajúcimi z exponenciálnej funkcie charakterizujúcej globálnu rádioaktívnu premenu. Do grafu sa vyniesli príslušné odchýlky (ΔN) a tie podľa očakávania vykazovali náhodné veľkosti. Na obr. 1 sú vynesené závislosti týchto odchýliek pre

časový interval 10^3 s, 10^4 s, 10^5 s získané po jednej sekunde. Vzhľadom na jednosekundové merania počet meraní sa rovná celkovému času merania.



Obr. 1: Odchýlky nameraných početností premien od údajov vyplývajúcich z exponenciálnej premenovej funkcie pre časové intervaly 10^3 s, 10^4 s, 10^5 s získané po jednej sekunde.

Aj vizuálnym porovnaním týchto závislostí sa dalo usúdiť, že vykazujú určitú „self-similaritu“. O tom, či sa pri týchto nameraných priebehoch skutočne jedná o jav „self-similarity“, mohla však rozhodnúť len dôsledná matematická analýza. Uskutočnila sa metódou, ktorú vypracovali Grassberger a Procacia v prácach (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Phys. Rev. Lett) a (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Physica D9).

Analýza nameraných výsledkov

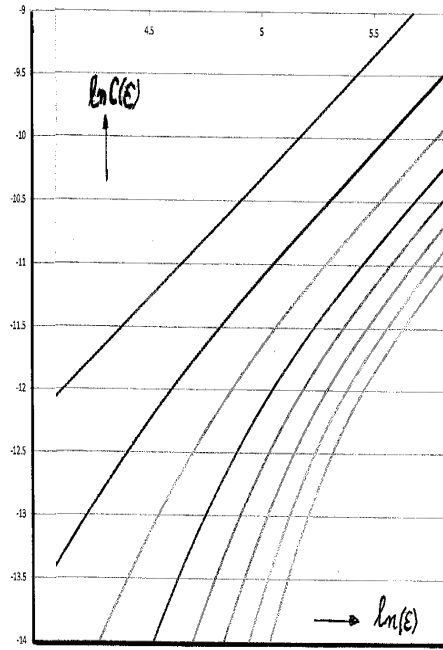
Analýza experimentálnych dát bola vykonaná v niekoľkých krokoch. Najprv sa vykonalo fitovanie exponenciálnej rádioaktívnej premeny pre meraní početnosť v intervale $N=3 \times 10^5$ jednosekundových meraní. Vypočítaný polčas premeny bol $T_{1/2} = (710,62 \pm 0,39) \times 10^3$ s, je to nepatrne dlhší polčas, než tabuľková hodnota pre beta premenu izotop jódu $^{131}_{54}J$, ale v dobrom súhlase s excitovanými hladinami $^{131}_{54}Xe$, aj s dlhodobou hladinou (11,84 dní) a 163,9 keV energetickou hladinou v rovnováhe. Rozdiel medzi experimentálnou početnosťou a fitovanou hodnotou ukazuje maximálny prebytok do 174 impulzov a nedostatok do -166 impulzov. Pre účely ďalšej numerickej analýzy celý súbor dát bol posunutý o 166 impulzov, aby vznikol súbor dát s početnosťou impulzov v intervale 0 až 340. V nasledujúcom sme počítali korelačné integrály $C_d(\varepsilon)$ pre tento súbor dát a to vzťahom:

$$C_d(\varepsilon) = \frac{1}{N^2} \{ \text{počet dvojíc}(n, m) \} \quad (1)$$

pričom tento počet spĺňa podmienku:

$$\left\{ \sqrt{(x_n - x_m)^2 + (x_{n+1} - x_{m+1})^2 + (x_{n+d-1} - x_{m+d-1})^2} \langle \varepsilon \right\}$$

kde x_i sú počty impulzov v každom intervale a $\varepsilon = 1, 2, \dots, x_{max}$ (v našom prípade $x_{max} = 340$)



Obr. 2

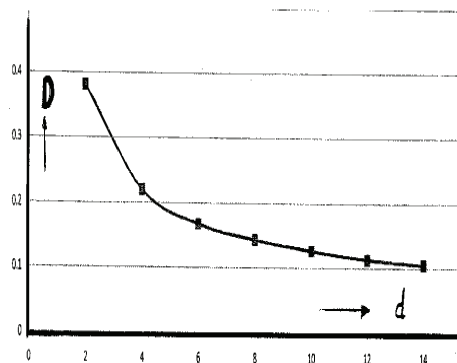
Obrázok 2 ukazuje korelačné integrály pre analyzovaný súbor dát. Na stanovenie Kolmogorovej entropie K , počítali sme 2^{nd} rád Renyiovej entropie K_2 použitím

$$K_{2,d}(\varepsilon) = \frac{1}{2} \ln \frac{C_d(\varepsilon)}{C_{d+2}(\varepsilon)} \quad (2)$$

pričom platí

$$\lim_{\substack{d \rightarrow \infty \\ \varepsilon \rightarrow 0}} K_{2,d}(\varepsilon) \approx K_2 \quad (3)$$

Nerovnosť $K_2 > 0$ predstavuje dostatočnú podmienku pre prítomnosť deterministického chaosu v systéme.



Obr. 3

Záver

Obrázok 2 jasne demonštruje prechod skúmaných závislostí na lineárny priebeh, čo je podľa citovaných prác (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Phys. Rev. Lett) a (GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Physica D9) spoľahlivou базou pre výpočet Hausdorffovej dimenzie D charakterizujúcej skúmaný systém. Táto dimenzia je určená smernicou lineárnych častí závislosti na obr. 2 a vedie na hodnotu $D=2,19\pm 0,2$. Je to v prekvapujúco dobrom súhlase s hodnotou tejto dimenzie nájdenou pre spomínaný Lorenzov klimatický systém $D_L = 2,05 \pm 0,1$. Obr. 3 zasa presvedčivo indikuje konvergenciu parametra K ku ustálenej a neceločíselnej hodnote $(0,1)$, čo je neklamným znakom prítomnosti „self-similarity“ a teda fraktálnej štruktúry skúmaného systému. Tento záver sa nám javí ako veľmi podstatný v súvislosti s často formulovanou otázkou, či nejaká „teória všetkého“ môže vôbec existovať. Existencia fraktálovej štruktúry systému a režimu deterministického chaosu v ňom implikuje aj existenciu deterministických rovníc opisujúcich dynamiku tohto systému. Tak ako v prípade známych Lorenzových klimatických systémov existujú východiskové (Lorenzove) rovnice, tak aj fraktálnosť fyzikálneho vákuua si logicky vyžaduje existenciu východiskových deterministických rovníc (ako základ „teórie všetkého“) – len ich treba nájsť.

Zdá sa preto, že výsledky našich meraní a ich numerická analýza dostatočne presvedčivo dokumentujú pravdivosť domnienky formulovanej v citovaných prácach, podľa ktorej základné elementy tvoriace bázu fyzikálneho vákuua sú usporiadané do fraktálnej štruktúry. Získané kvantitatívne údaje umožňujú síce aj vytváranie ďalších konkrétnych hypotéz, avšak s ohľadom na to, že sú generované len z poznatkov získaných na jedinej vzorke a na základe analógie s už dobre preskúmanými systémami, nemajú ešte povahu vedeckej serióznosti a treba ich zaradiť len do kategórie „špekulácií“. Spomenieme dve z potenciálne možných dedukcií.

Ako sme už uviedli fraktálna dimenzia globálnych Lorenzových systémov je $D_L = 2,05$ a fraktálna dimenzia príslušného Poincareho rezu $D = 0,63$. Z prvého údaju (potvrdeného čiastočne aj druhým) vyplýva, že napriek tomu, že systém je trojparametrický (teda „trojrozmerný“), objem elementu vo fázovom priestore konverguje k dvojdimenzionálnemu útvaru, takže jeden rozmer je tu silne potlačený. Jeho reálny tvar pripomína len jedno či dvojrozmerný útvar, čo navodzuje predstavu „struny“. Z tohto hľadiska by v našom výsledku bolo možné vidieť aj určitú preferenciu „strunových teórií“ pri hľadaní „teórie všetkého“.

Napokon je tu ešte náznak pochopenia fundamentálnej fyzikálnej záhady, prečo náš svet demonštruje v niektorých aspektoch prekvapujúci „modul“ 3: existujú tri rodiny kvarkov a tri rodiny leptónov, tri druhy látky, tri dominantné energie (viditeľná, tmavá a vákuová), tri základné symetrie, trojkový kód v biologických systémov, trojrozmernosť nášho vesmíru, atď. atď. Ak je fyzikálne vákuuum ako báza nášho vesmíru naozaj fraktálne konštruované, takže jeho dynamika musí vykazovať minimálne tri stupne voľnosti (možno že práve tri), potom je dosť logické, že aj niektoré významné konkrétne prejavy tohto média by mohli odrážať tento aspekt.

Záverom treba konštatovať, že výsledky získané preskúmaním procesu rozpadu len jediného izotopu nemusia mať univerzálnu platnosť. Bude potrebné preskúmať správanie aj ďalších izotopov, samotný systém neutrónov, ale aj napr. procesy generovania žiarení preskokom elektrónov, či známe tunelové javy, avšak jeden poznatok sa zdá byť veľmi pravdepodobne všeobecný, a to ten, že naše fyzikálne vákuuum „pracuje“ v režime deterministického chaosu.

Literatúra

- JONES M. H., LAMBOURNE R. A. 2003. An Introduction to Galaxies and Cosmology. The Open University Cambridge, University Press Cambridge 2003
- AMBJORN J., JURKIEWICZ J. and LOLL R., 2008. Scientific American 7, 2008 s. 24-31
- AMBJORN J., GÖRLICH A., JURKIEWICZ and LOLL R. 2008. Phys. Rev. Lett. 100, 2008
- MANDELBROT R. 1982. The Fractal Geometry of Nature . WH. Freeman and Co, San Francisco 1982
- MIKHAILOV A. S. 1990. Foundation of Synergetics, Springer v. Berlin-heidelberg-New York-London Paris-Tokio-Hong Kong-Barcelona 1990
- MIKHAILOV A. S. and LOSKUTOV A. Y. 1991. Foundation of Synergetics II. Springer V.- Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapes 1991
- LORENZ E. N., 1963. Journ. Atmospheric Sci., 20 1963, s. 130-141
- YORKE J. A., 1975. Am. Math. Mon. 82 1975 s.985 – 992
- RUELLE D. and TAKENS F. 1971 Comm. Math.Phys. 20 ,1971 s. 167-192
- GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Phys. Rev. Lett. 50 1983 s. 346-349
- GRASSBERGER P. and Procacia J. 1983. Physica D9 1983 s. 189-208. Rev. Lett. 50 1983 s. 346-349
- BOKES P. and KREMPASKÝ J., 1997. J. Elec. Eng. 48 1997 s. 312-315
- ŠIPOV G. J. 1993. Teorija fizičeskogo vakuuma. HT – Centr. Moskva 1993

Adresy autorov

Prof. RNDr. Július Krempaský, DrSc.
Slovenská technická univerzita Fakulta elektrotechniky a informatiky
FEI STU
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava
krempask@elf.stuba.sk

doc. RNDr. Štefan Húšťava, PhD.
Katedra fyziky
Stavebná fakulta STU Bratislava
Radlinského 11
813 68 Bratislava
stefan.hustava@stuba.sk

doc. RNDr. Pavol Valko, PhD.
Slovenská technická univerzita Fakulta elektrotechniky a informatiky
FEI STU
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava
valko@elf.stuba.sk