

## CHAOTICKÁ DYNAMIKA V RÁDIOAKTÍVOM ROZPADE

J. Krempaský\*, Š. Húšťava\*\*

\*FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

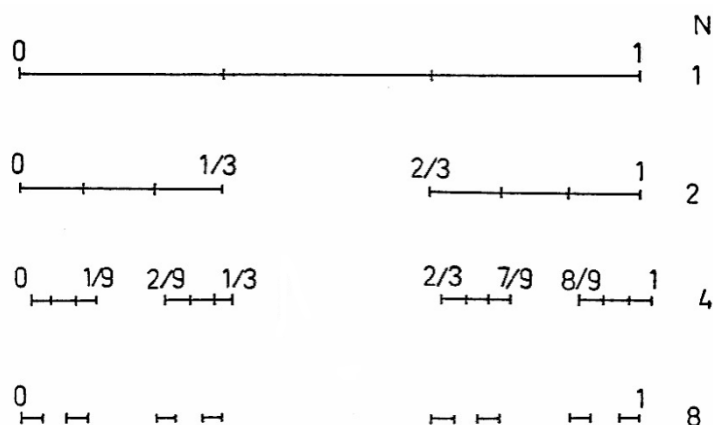
\*\*Stavebná fakulta STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

**Abstrakt:** V príspevku sa objasňuje, prečo je potrebné skúmať rádioaktívny rozpad prvkov aj vyše sto rokov po objavení rádioaktivity. Ukázalo sa, že dominantnú úlohu v dynamike nášho vesmíru hrá tzv. fyzikálne vákuum, preto je potrebné preskúmať jeho vlastnosti. Keďže jeho priame experimentálne skúmanie je vylúčené, je potrebné sa oprieť o javy, ktoré sú fyzikálnym vákuom ovplyvňované a jedným z nich je rádioaktívny rozpad prvkov. Ukazuje sa, že touto cestou možno získať veľmi zaujímavé a netriviálne informácie.

**Kľúčové slová:** fyzikálne vákuum, rádioaktivita, chaotická dynamika, self-similarita, deterministický chaos, fraktálna štruktúra.

### Úvod

Koncom minulého storočia sa fyzici oboznámili s javmi, ktorých význam sa doceňuje až v tomto storočí. V súvislosti so skúmaním klimatických systémov narazil klimatológ Lorenz [1] na problém chaotickej dynamiky, ktorá však demonštrovala iné vlastnosti, ako už predtým známa a dobre rozpracovaná dynamika súvisiaca s tzv. stochastickým chaosom. Ukázalo sa, že vzniká aj v systémoch s malým počtom stupňov voľnosti (ale nie menším ako tri) a že vytvára vo fázovom priestore zvláštne štruktúry vyznačujúce sa self-similaritou (sebe-podobnosťou). Elementárnym modelom takejto štruktúry je tzv. Kantorova množina. Jej vznik demonštruje obr.1. Podobným algoritmom možno vykonštruovať aj viacrozmerné štruktúry charakterizované sebe-podobnosťou.



Obr. 1: Konštrukcia jednoduchej Kantorovej množiny.

Matematik Mandelbrot [2] nazval základné elementy takýchto štruktúr „fraktály“ a preto sa príslušné štruktúry nazývajú aj fraktálové štruktúry. Pre ich charakteristiku sa zaviedla tzv. fraktálová dimenzia (Hausdorffova miera) a to vzťahom

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)}$$

Kde  $\varepsilon$  je lineárna mierka zvolená za základ,  $N(\varepsilon)$  počet základných elementov, ktoré sú potrebné na pokrytie útvaru o jednotkovej veľkosti. Táto miera poskytuje celé čísla (1, 2 a 3) pre bežne jedno, dvoj a trojdimenzionálne útvary a necelé čísla pre fraktálové

štruktúry. Tieto informácie, ktoré zo začiatku mali skôr povahu matematickej zábavy, nadobudli pragmatický význam, keď sa zistilo, že dynamika mnohých fyzikálnych procesov je naozaj fraktálová a v súvislosti s domnienkou autorov práce [3], že aj fyzikálne vákuum mohlo by vykazovať fraktálovú dynamiku. Práve tieto skutočnosti boli stimulom pre preskúmanie rádioaktívneho rozpadu ako možného indikátora tohto fenoménu.

### 1. Rádioaktivita ako možný indikátor fraktálovej štruktúry fyzikálneho vákua

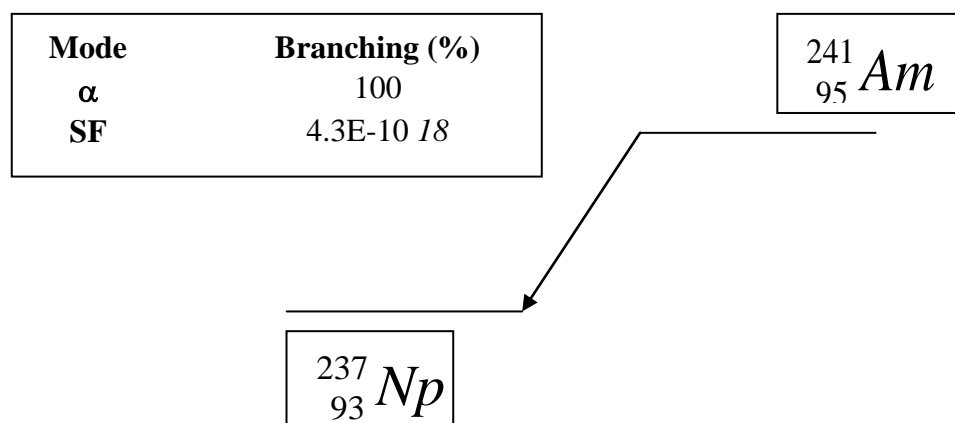
Je známe, že rádioaktívny rozpad prvkov prebieha v chaotickom režime, avšak doteraz si nikto nepoložil otázku, či tento chaos je stochastický alebo deterministický. Pričom nájdenie správnej odpovede na túto otázku by malo podstatný vplyv na riešenie takých závažných fyzikálnych problémov, akými sú v súčasnosti napríklad problém „teórie všetkého“ a problém tzv. hierarchie (problém prečo v prírode existujú len určité kategórie elementárnych častíc). Ak by totiž fyzikálne vákuum „pracovalo“ v režime stochastického chaosu, potom by sme sotva mohli očakávať existenciu nejakej striktno definovanej teórie všetkého, ak však je tento chaos deterministický, potom je nutné, aby príslušná dynamika bola definovaná prostredníctvom deterministických rovníc.

Uvedené myšlienky boli podnetom pre autorov práce [4], aby sa pokúsili pomocou vhodného experimentu uvedenú otázku skúmať. Ako materiál na skúmanie sa zrodil rádioaktívny jód a pri získaní konkrétnych výsledkov sa opierali o prácu Grassbergera a Procaciu [5]. Jednoznačne sa preukázalo, že skúmaný rozpad prebieha v režime deterministického chaosu, pričom príslušná dynamika je fraktálová s fraktálnou dimenziou  $D = 2,19 \pm 0,2$ . Tento výsledok nás povzbudil k tomu, aby sme sa získaný poznatok pokúsili preveriť aj na iných materiáloch.

### 2. Meranie rádioaktívneho rozpadu amerícia $^{241}\text{Am}$

Pri voľbe rádioaktívneho amerícia  $^{241}\text{Am}$  sme vychádzali z požiadavky, aby to bola kvalitatívne iná vzorka, ako bol rádioaktívny jód  $^{131}\text{J}$ . Zatiaľ, čo jód sa rozpadá čistým beta rozpadom, rádioaktívne amerícium možno považovať prakticky za čistý alfa žiarič. Možno sa preto domnievať, že rovnaké stimuly pre rozpad, ktoré sa generujú vo fyzikálnom vákuu, sú kvalitatívne odlišné. Tak by sa mohla preskúmať aj otázka, či sa toto vákuum správa „uniformne“ vo všetkých svojich zásahoch do dynamiky nášho reálneho sveta, alebo či nepredstavuje mnohovrstvovú „štruktúru“ s odlišnými účinkami. Samotný meraný materiál možno charakterizovať nasledovnými údajmi:

Jedno meranie nemusí byť dostatočne presvedčivé, preto sme zvolili alfa rozpad nuklidu  $^{241}\text{Am}$  podľa nasledujúcej schémy rozpadu.



Z rozpadovej schémy možno zistiť nasledujúce údaje o energiách a pravdepodobnosti energetického prechodu. Registrujeme alfa rozpad prostredníctvom sprievodného gama žiarenia. Alfa žiarenie je odtienené 3 mm obalom detektora a samotnou katódou detektora, preto ho nemožno zaregistrovať vzhľadom na jeho prenikavosť. Nevzniká žiadne beta

žiarenie a ani pozitrony. Teda  $^{241}\text{Am}$  je čistý alfa žiarič so sprievodným gama žiarením o energii 59,5 keV s pravdepodobnosťou prechodu 35,9 %. Gama žiarenie pod túto energetickú čiaru detektor nie je schopný zaregistrovať. Energia 69,2 keV má zanedbateľne malú pravdepodobnosť prechodu 0,18 %. Takže detektor naozaj registruje len na energetickú čiaru 59,5 keV, teda alfa rozpad je meraný cez gama žiarenie.

$^{241}\text{Am}$  sa mení na  $^{237}\text{Np}$  s polčasom premeny 432,2 roka.

Nasledujúca tabuľka uvádza energiu a pravdepodobnosť alfa prechodov.

Energia (MeV)	Pravdepodobnosť
5.308200	0.000339
5.388000	0.014000
5.443000	0.128000
5.485700	0.852000
5.512000	0.002000
5.544300	0.003400

Nasledujúca tabuľka uvádza energiu a pravdepodobnosť sprievodných gama prechodov.

Energia (MeV)	Pravdepodobnosť
0.013900	0.427000
0.026345	0.024000
0.033205	0.001060
0.059537	0.359000
0.069231	0.001793

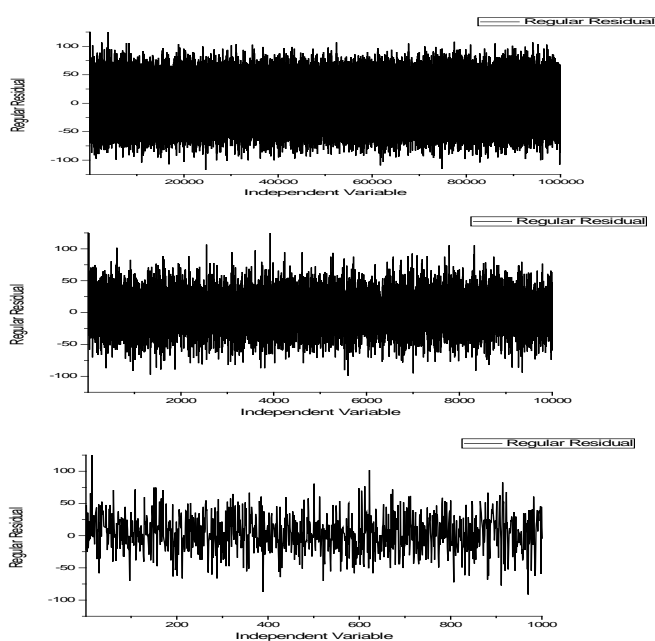
Meranie sa vykonalo s proporcionálnym detektorom gama žiarenia na meranie príkonu dávkového ekvivalentu RS 04 rakúskej firmy Bitt Technology s nasledujúcimi základnými parametrami:

Energetický rozsah: 40 keV až 3 MeV

Merací rozsah: 10 nSv/h až 10 Sv/h

Účinnosť detekcie: 1 %

Výsledky našich meraní sú znázornené na obr. 2. Predstavujú záznamy početnosti odchýlok rozpadov od fitovanej rozpadovej krivky v jednosekundových meraniach zaznamenané v intervaloch  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$  meraní.



Obr. 2: Záznamy  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$  jednosekundových meraní na rádioaktívnom americíu  $^{241}\text{Am}$

## Diskusia

Aj vizuálny pohľad na záznamy znázornené na obr. 2. signalizuje, že skúmaná dynamika jasne demonštruje prítomnosť self-similarity a teda fraktálnej štruktúry. Vyplýva to aj z priameho porovnania záznamov z meraní na rádioaktívnom jóde a terajších našich meraní na ameríciu. Tie prvé (merania jódu) boli podrobené aj serióznej matematickej analýze, ktorá vyústila aj do stanovenia hodnoty fraktálnej dimenzie. V prípade našich meraní na ameríciu sa uvedená analýza ešte neuskutočnila z dôvodu veľkej prístrojovej i časovej náročnosti matematického vyhodnotenia/stanovenia dimenzie fraktálnej štruktúry. Jeden záver sa však javí ako nespochybiteľný, aj merania na rádioaktívnom ameríciu demonštrujú fraktálnu podobu dynamiky fyzikálneho vákua.

## Literatúra

- [1] LORENZ E. N., 1963. Jour. Atmospheric Sci.. 20 1963, s. 130-141
- [2] MANDELROT R. 1982 The Fractal Geometry of Nature. WH. Freeman and Co, San Francisco 1982
- [3] AMBJORN J., GÖRLICH A., JURKIEVITZ and LOLL R. 2008. Phys. Rev. Lett. 100, 2008
- [4] KREMPASKÝ J., HÚŠŤAVA Š., VALKO P., Zborník „Tvorivý učiteľ fyziky II“., SFS, Ekvilibria, Košice 2009
- [5] GRASSBERGER P. and PROCACIA J. 1983. Phys. Rev. Lett. 50 1983 s. 346-349

## Adresy autorov

Prof. RNDr. Július Krempaský, DrSc.

Slovenská technická univerzita Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ilkovičova 3

812 19 Bratislava

krempask@elf.stuba.sk

Doc. RNDr. Štefan Húšťava, PhD.

Slovenská technická univerzita Stavebná fakulta

Radlinského 11

813 68 Bratislava

stefan.hustava@stuba.sk