

## Oponentský posudek doktorské práce Mgr. Pavla Stránského

# „Klasický a kvantový chaos v atomových jádrech“

Chaos se projevuje ve velmi široké škále fyzikálních systémů, a to nejen systémů popsatelných klasickou mechanikou. Jeho plné pochopení je předmětem rozsáhlých teoretických a experimentálních studií která nabrala na intenzitě v polovině 70. let minulého století. Stalo se tak přibližně dvacet let poté, co John A. Harvey aj. [Phys. Rev. **99**, 1032 (1955)] poprvé pozorovali efekt odpuzování  $s$ -vlnových neutronových rezonancí těžkých jader s fixovanou velikostí spinu a kdy Eugene P. Wigner [Conference on Neutron Physics by Time-of-Flight, Gatlinburg, Tennessee, Nov. 1-2, 1956] vysvětlil následně tento efekt jako projev chování charakteristických hodnot gaussovského ortogonálního souboru (GOE) v soulase s hypotézou, kterou formuloval již v roce 1951 [Proc. Cam. Phil. Soc. **47**, 790 (1951)]. Dalšími významnými milníky byly práce autorů Madana Lal Mehty [Nucl. Phys. **18**, 395 (1960)] a Michela Gaudina [Nucl. Phys. **25**, 447 (1961)] ve kterých se podařilo odvodit analyticky tvar distribuční funkce vzdáleností sousedních neutronových rezonancí příslušejících stejné symetrii a práce autorů H. I. Liou aj. [Phys. Rev. C **5**, 974 (1972)] která na základě dat o  $s$ -rezonancích systému  $^{166}\text{Er}+n$  a použití statistiky  $\Delta_3$  přinesla prvý přesvědčivý důkaz existence korelací mezi energiemi velmi vzdálených rezonancí, a to v plně shodě s předpověďmi modelu GOE pro korelace dalekého dosahu.

Je nutno dodat, že problém nahodilých matic byl studován již v roce 1928 J. Wishartem [Biometrika **A20**, 32 (1928)] a že statistické vlastnosti jiného souboru matic – gaussovského unitárního souboru (GUE) mají patrně co do činění s jedním z největších dosud nevyřešených problémů matematiky – s důkazem platnosti Riemannovy hypotézy podle které pro všechny netriviální nuly Riemannovy funkce  $\zeta(s)$  se komplexní proměnná  $s$  vyznačuje reálnou částí  $\text{Re}(s) = 1/2$ .

Převážná část mých úvodních poznámek se týká kvantového chaosu. Lze však konstatovat, že v posledních desetiletích předmětem zvýšeného zájmu se stal rovněž i chaos projevující se v klasicko-mechanických systémech a zejména jeho souvislost s chaosem který vykazují kvantově-mechanické analogy takových systémů, přičemž centrálním problémem je testování hypotézy O. Bohigase [Phys. Rev. Lett. **52**, 1 (1984)], která vypovídá o korespondenci mezi těmito chaosity, jejichž projevy jsou kvalitativně naprosto odlišné.

Autor posuzované doktorské práce se zaměřil na studium klasického a kvantového chaosu při rotacích a kvadrupólových vibracích kapky, jejíž hamiltonián má tvar vyplývající z geometrického kolektivního modelu jádra (GCM), tj. hamiltonián mající strukturu

$$H = B_2 [\pi \times \pi]^{(0)} + C_2 [\alpha \times \alpha]^{(0)} + C_3 [|\alpha \times \alpha|^{(2)} \times \alpha]^{(0)} + C_4 (|\alpha \times \alpha|^{(0)})^2.$$

Jde-li o klasickou kapku, pak veličina  $\alpha$  představuje zobecněné souřadnice ve formě sférického tenzoru 2. řádu a  $\pi$  – jejich kanonicky sdružené hybnosti. V případě kvantové kapky (tj. jádra) veličiny  $\alpha$  a  $\pi$  představují příslušné operátory, vyhovující nezbytným komutačním relacím. Autor však uvažoval i dva specifické typy rozšíření kinetického členu  $B_2 [\pi \times \pi]^{(0)}$ .

Hlavní problém se kterým se autor musel vypořádat spočíval v odlišení regulárních a chaotických vibrací daného systému. Soustředil se přitom především na chování kvadrupólových vibrací v podmínkách nulového momentu hybnosti.

Při studiu klasického chaosu autor využil existujících metod (metody Poincarého řezů, metody SALI – vyrovnání směrů dvojice odchylek a geometrické metody). S tímto arzenálem se mu podařilo stanovit míru regularity  $f_{\text{reg}}$  kvadrupólových vibrací v závislosti na různých parametrech hamiltoniánu, resp. na energii nesené vibracemi.

Pro stanovení stupně regularity kvadrupólových vibrací kvantové kapky autor analyzoval distribuci vzdáleností mezi sousedními charakteristickými hodnotami energie s cílem odhadnout

velikost parametru Brodyho rozdělení, když předtím provedl příslušnou korekci na systematickou energetickou závislost hustoty těchto charakteristických hodnot (tzv. unfolding). Pokusil se rovněž aplikovat nedávno zavedenou metodu, založenou na stanovení typu frekvenční závislosti zbytkového šumu [A. Relaño, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89**, 244102 (2002)], avšak s určitým zklamáním. Avšak použití metody Peresových mříží se ukázalo překvapivě úspěšným. Podle své vlastní rešerše jsem nabyl přesvědčení, že autor byl v tomto ohledu jedním z mála, ne-li jediným, který prokázal vysokou citlivost Peresových mříží k regularitě chování kvantového systému a použitím těchto mříží umožnil hlubší pohled na dramatickou konkurenci mezi regulárními a neregulárními (chaotickými) vibracemi při měnících se vnějších parametry systému.

Nejcennějším přínosem autorovy práce je velmi překvapující souhlas závislosti stupně regularity  $f_{\text{reg}}$  na vnějších podmínkách klasické varianty studovaného systému s obdobnou závislostí komplementu  $1-\omega$  k Brodyho parametru  $\omega$  která se vztahuje ke kvantově-mechanické variantě systému. Tento závěr lze nejpřesvědčivěji dokumentovat obrázky č. 5 až 7 na stránkách 133-136 předkládané práce, kde veličiny  $f_{\text{reg}}$  a  $1-\omega$  v závislosti na energii vykazují naprosto shodné struktury. Tento závěr lze považovat za velmi významný argument ve prospěch platnosti Bohigasovy hypotézy.

Práce je provedena s vysokou kvalitou. Proto jsem při jejím čtení našel jen některé formální nedostatky.


- (i) Na stránkách 6-7 není specifikováno co se rozumí pod pojmem „generující funkce“. Podle mého soudu by v tomto kontextu mělo být konstatováno který ze čtyř základních typů generující funkce vede ke kanonické transformaci jejímž výsledkem jsou nové kanonické proměnné typu „akce-úhel“.
- (ii) V této souvislosti rovněž není specifikován smysl pojmů „stabilní trajektorie“ a „lineární vzdalování“.
- (iii) Nerovnost (1.9), která rozhoduje o tom, zda při neintegrabilní poruše dochází či nedochází k úniku trajektorie z deformovaného toru, pozbývá jakéhokoliv smyslu, ježto není uvedeno jak volit konstanty  $K$  a  $\alpha$ .
- (iv) Na stránce 105 (Příloha II) se text odvolává na obrázek 1. Z textu, ani z popisu obrázku však není zřejmé, že veličina  $\zeta$  se vztahuje k reálné části složky  $m=2$  tenzoru  $\alpha$ .

Autorova aktivita při řešení daného problému začala raketovým startem již v průběhu magisterského studia, což lze dokumentovat tím, že výsledky jeho diplomové práce byly začleněny do práce uveřejněné v prestižním periodiku Physical Review Letters. Autor během svého doktorandského studia odvedl obrovský objem intelektuálně náročných, složitých a pracných výpočtů a analýz. Podle mého názoru autorův přínos k poznání v dané oblasti základního výzkumu je bezesporný a kvalita jeho doktorské práce vysoce převyšuje obvyklá kritéria. Autor by si proto zasloužil nejen udělení hodnosti PhD, ale i prestižní ocenění v rámci možností poskytovaných vzdělávacím systémem. České republiky.

Jsem plně přesvědčen o tom, že autor splnil veškeré cíle doktorandského studia, neboť prokázal neobyčejnou erudici a schopnost k samostatné vědecké práci a kromě toho dosáhl vynikajících originálních výsledků.

Zcela jednoznačně doporučuji, aby doktorská práce Mgr. Pavla Stránského byla přijata k obhajobě. Doporučuji rovněž, aby po uspokojivé reakci na mé poznámky a úspěšné obhajobě doktorské práce byla Mgr. Pavlu Stránskému udělena hodnost PhD.

V Praze dne 7. května 2009

  
Doc. Ing. František Bečvář, DrSc.  
katedra fyziky nízkých teplot MFF UK