

Oponentský posudek doktorské práce Mgr. Pavla Stránského

Klasický a kvantový chaos v atomových jádrech

Předložená práce se zabývá geometrickým kolektivním modelem atomového jádra GCM, zavedeným na přelomu šedesátých a sedmdesátých let A. Bohrem, G. Gneussem, U. Moselem a W. Greinerem. Shrnuje výsledky rozsáhlého teoretického studia projevů chaosu v chování tohoto modelového systému, dosažené autorem v posledních letech.

Po úvodu následují tři obsáhlé kapitoly, které tvoří vlastní těžiště disertace. V první kapitole autor stručně charakterizuje GCM systém a v obecné rovině vysvětluje svůj přístup ke studiu hamiltonovských systémů. V druhé kapitole autor podrobně vykládá aplikace tohoto přístupu ke studiu chaotičnosti klasického GCM systému i jeho kvantového protějšku, a podrobně diskutuje dosažené výsledky. Třetí kapitola přináší shrnutí závěrů a odkazy na autorovy publikace věnované tématu disertace (přílohy I - V). Závěr práce obsahuje informace o autorem vytvořených programech (dodatky A a B), bibliografii a úplný seznam autorových publikací.

Postup výzkumu a hlavní dosažené nové vědecké poznatky lze krátce shrnout takto. V nerotačním režimu představuje geometrický kolektivní model GCM hamiltonovský systém s dvěma stupni volnosti a s dynamikou řízenou energií E a parametry Hamiltoniánu (vnější parametry A).

Při studiu chaotičnosti klasického GCM systému autor vychází z vizualizace trajektorií na Poincarého řezu, a z určení jejich stabilnosti pomocí metody SALI (smaller alignment method, Skokos 2001). Autor využívá ale rovněž geometrický přístup nazývající trajektorie jako geodetiky na vhodné riemannovské varietě (Horwitz 2007). Autor metodou regulární části Poincarého řezu určuje klíčovou veličinu, klasickou regulárnost GCM systému $f_{\text{reg}}(E,A)$, měřící velikost části fázového prostoru pokryté

regulárním pohybem. Závislost regulárnosti f_{reg} na energii E a na parametrech Hamiltoniánu A autor vizualizuje na mapě uvedené na obr. 2.5. Složitost mapy demonstruje neobvykle silnou intermediárnost dynamiky klasického GCM systému, tj. proměnlivost zastoupení regulárních a chaotických trajektorií s měnící se energií a s měnícími se vnějšími parametry. Jak autor konstatuje, tento jev nemá obdoby v žádném z dosud studovaných neintegrabilních hamiltonovských systémech typu biliárů či vázaných oscilátorů. Autor obsah mapy podrobně analyzuje a dává mu hlubší fyzikální interpretaci (nárůst regulárnosti při rezonancích, jeho IBM protějšek, pokles regulárnosti při fázových přechodech, zvláštnosti oblasti nízkých energií, žíly regulárnosti, průběh hranice oblasti úplné regulárnosti).

Při studiu kvantového GCM systému autor uvažuje obě fyzikálně se nabízející varianty kvantování 5D a 2D (přesněji, 2DO a 2DE). Energetické hladiny $E_i = E_i(A)$ a jejich stavové vektory $\phi_i = \phi_i(A)$ autor určuje diagonalizací hamiltonovské matice $H(A)$ v oscilátorové basi. Při unfoldingu používá polynomiální aproximaci distribuční funkce. Autora zajímá hlavně reflexe chaotičnosti klasického systému ve spektru hladin E_i a ve struktuře stavů ϕ_i .

Podle Bohigasovy hypotézy (Bohigas 1984) je růst chaotičnosti klasického GCM systému doprovázen charakteristickou změnou spektrální statistiky jeho kvantového protějšku. Autor tuto hypotézu testuje na rozdělení vzdáleností sousedních hladin (NNS rozdělení). Autorovy výpočty ukazují, že toto rozdělení je dobře popsáno Brodyho formulí (Brody 1973) s Brodyho parametrem $w = w(E, A)$ přibližně (kvalitativně) daným rozdílem $1 - f_{\text{reg}}(E, A)$. Tento autorův výsledek potvrzuje platnost Bohigasovy hypotézy a etabluje doplněk Brodyho parametru $1 - w(E, A)$ jako kvantovou míru regulárnosti GCM systému. Autor ukazuje, že uvedené výsledky platí pro všechna kvantování, a to přes rozdíly v polohách jednotlivých energetických hladin.

Podle Peresovy hypotézy je růst chaotičnosti klasického GCM systému doprovázen charakteristickými změnami 2D korelací mezi hladinami E_i a středními hodnotami $P_i = (\phi_i P \phi_i)$ pozorovatelných kvantového systému P (Peresovy mříže, Peres 1984). Autor tuto hypotézu testuje sestrojením Peresových mříží odpovídajících dvěma různým pozorovatelným P , operátoru neintegrabilní poruchy H' a redukovanému Casimirovu operátoru algebry ortogonální grupy L^2 . Sestrojené mříže jsou presentovány na obr. 2.19 - 2.23. Vizualizace mříží potvrzuje Peresovu hypotézu. Zcela regulárnímu režimu odpovídají zcela pravidelné mříže. S růstem chaotičnosti se mříže deformují, a velikost jejich pravidelné části klesá úměrně poklesu regulárnosti f_{reg} . Jak autor podrobně ukazuje, z detailního studia mříží a mapy regulárnosti lze usoudit na míru chaotičnosti jednotlivých skupin stavů a na její příčiny. Závěry odvozené z různých mříží se doplňují.

Studium deterministického chaosu představuje velmi živou oblast současné fyziky. Téma disertace je tak velmi aktuální, a dosažené výsledky přinášejí nové poznatky cenné pro řešení otevřených otázek fyziky jádra i fyziky obecných hamiltonovských systémů. Tyto výsledky byly publikovány v předních odborných časopisech, a setkaly se s výraznou odezvou komunity.

Disertace se mi po všech stránkách velmi líbí, a k postupu výzkumu a prezentaci jeho výsledků nemám kritické připomínky. Ale přece jen bych se rád dozvěděl proč autor nezkusil semi-klasické kvantování, a proč nestudoval kvantové spektrální korelace dlouhého dosahu.

Rád konstatuji, že disertace vyhovuje všem na disertace kladeným požadavkům, a plně prokazuje předpoklady autora k samostatné tvořivé práci.

Praha, 28.4.2009

Doc. c.