



**prof. Dr. Ing. Michal BENEŠ**  
katedra matematiky  
fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská  
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Trojanova 13  
120 00 PRAHA 2

## Komise obhajoby

Tel.: (+420)- 778-546-087  
E-mail: [michal.benes@jfifi.cvut.cz](mailto:michal.benes@jfifi.cvut.cz)

Č.j.: dis/2023/01

V Praze dne 10. června 2023

### Posudek oponenta disertační práce

**Doktorand:** Mgr. Ing. Martin Malachov

**Disertace:** "Chaotic dynamics of purification protocols"

Předložená práce vznikla v rámci studia oboru Matematické inženýrství doktorského studijního programu Aplikace přírodních věd. Autor se v práci věnuje studiu chaotických systémů v souvislosti s kvantovými systémy. Soustředí se na protokoly a jejich vztah k chaotické dynamice.

První část práce je věnována interdisciplinární povaze dané problematice propojující kvantovou fyziku a nelineární chaotickou dynamiku. Shrnuje základní poznatky o otevřených kvantových systémech, kvantové teorii informace, chaotických systémech v komplexním prostoru a o chaotických protokolech o čistotě stavů.

Významnou částí práce je chaotický protokol založený na kvantovém logickém hradlu CNOT. Autor popisuje jeho funkci, využívá nelineární dynamiky, symetrie a zpětných iterací a uvádí praktické důsledky pro konvergenci stavů. Na to navazuje kapitola o protokolech s otočnými hradly, která dynamiku upravují. Autor jejich činnost popisuje, využívá symetrie, stability a invariantních množin, jejichž příklady přehledně uvádí. Pozoruje také závislost fraktální dimenze na čistotě s fázovým chováním. Autor rozebírá rovněž protokoly vyššího stupně, včetně vlastností symetrie. Zkoumá u nich asymptotický režim a univerzalitu. Závěrem diskutuje protokoly pro páry qubitů. Přílohou textu jsou základní vlastnosti mřížkové dimenze a její aproximace. V závěru autor komentuje směry dalšího vývoje zkoumání v dané oblasti.

Práce formuluje a řeší problematiku protokolů v kvantové teorii informace založených na chaotické dynamice. Je uceleným textem představujícím srozumitelný popis této problematiky a podrobnosti o dosažených výsledcích. Zvolené metody patří v dané oblasti nejmodernější. Výsledky týkající se

obsahu práce byly publikovány a jsou připravovány pro další publikace v impaktovaných časopisech.

Práce je psána anglickým jazykem odpovídající úrovně. Odborný text je dle mého názoru psán precizně a srozumitelně.

Do diskuse mám následující podněty:

- jaké zkušenosti měl autor s numerickou aproximací mřížkové dimenze z hlediska přesnosti?

Závěrem konstatuji, že jsem v práci nenašel závažné chyby. Dle mého názoru práce splnila svůj cíl, autor svou prací prokázal, že je schopen nezávisle působit v dané oblasti. Práce tím splnila požadavky kladené na disertační práce. V případě úspěšné obhajoby práce doporučuji kandidátovi udělit akademicko-vědecký titul doktor (Ph.D.) ve smyslu příslušného zákona.

Michal Beneš