

Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů

M. Fürst¹, J. Poštulka², V. Remiš³, K. Rosická⁴
G Christiana Dopplera¹, G Uničov², G Nymburk³, G J. Ortена Kutná Hora¹
furst@gchd.cz¹, jan.postulka16@seznam.cz², 12bremis@gym-nymburk.cz³,
kacka.rosicka@gmail.com⁴

Abstrakt

V našem miniprojektu jsme si dali za cíl vizualizovat tvary orbitalů nukleonů v atomovém jádře, a to jak ve sféricky symetrickém, tak v deformovaném případě. Pomocí grafického programu GNUPLOT jsme vygenerovali několik tvarů, přesvědčili se o vlivech jednotlivých parametrů a prozkoumali energii těchto orbitalů.

1 Úvod

V atomovém jádře se nacházejí protony a neutrony, které dohromady nazýváme nukleony. Stejně jako elektrony v atomovém obalu, i nukleony v jádře se chovají podle zákonů kvantové mechaniky, tedy veličiny, které je popisují, mohou nabývat pouze konkrétních diskrétních hodnot. Jak jsou ale nukleony v jádře rozložené? To nemůžeme říct přesně, pouze s jakou pravděpodobností se nacházejí v daném místě. Naším cílem bylo vykreslovat tato rozložení pravděpodobnosti pomocí grafického programu GNUPLOT.

2 Teorie

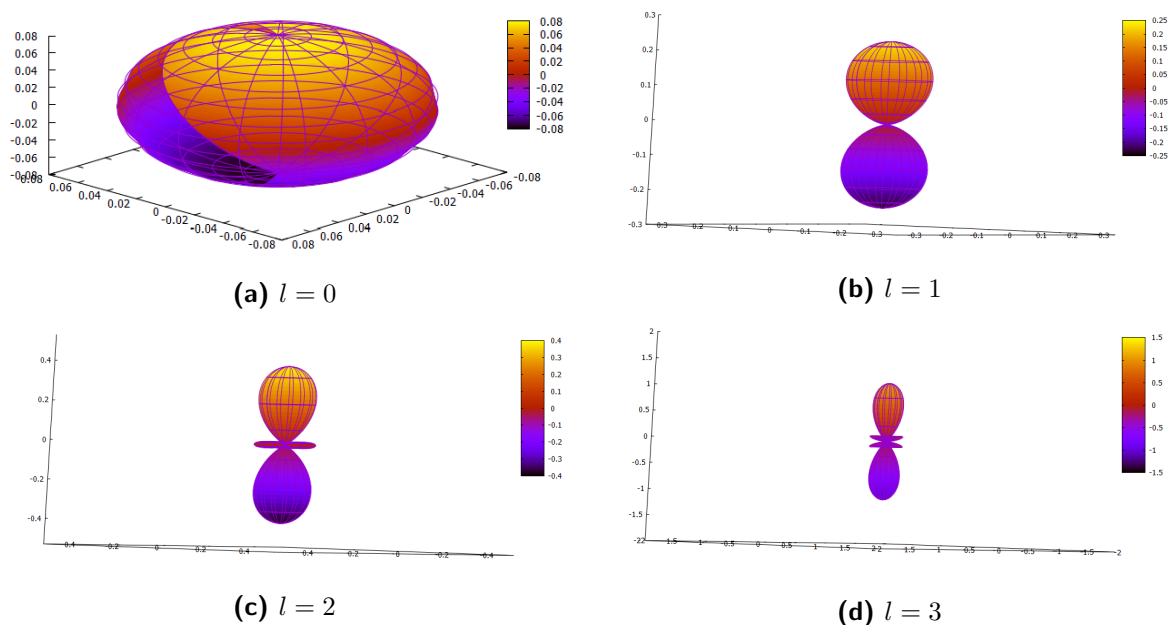
Jádro atomu je objektem mikrosvěta, tedy k jeho popisu musíme použít kvantovou mechaniku. V této teorii nejsou objekty částicemi ani vlnami, ale díky takzvanému *částicově-vlnovému dualismu* obojím zároveň. To znamená, že například proton nebo elektron může interferovat sám se sebou nebo se může nacházet na více místech zároveň díky takzvanému *principu superpozice*. Pravděpodobnou polohu nukleonu popisujeme pomocí vlnové funkce, jejíž druhá mocnina znamená pravděpodobnost výskytu nukleonu v prostoru. V momentě, kdy provedeme měření, vlnová funkce kolabuje a částice se objeví pouze v jednom bodě. V našem příspěvku jsme se zabývali dvěma situacemi, a to sféricky symetrickým stavem a deformovaným stavem. Ve sféricky symetrickém případě popisuje stav částice v jádře popisují 4 kvantová čísla – hlavní kvantové číslo n , orbitální kvantové číslo l určující moment hybnosti, magnetické kvantové číslo m určující projekci momentu hybnosti a spinové číslo s_z . Hlavní kvantové číslo n určuje velikost slupky a nabývá hodnot přirozených čísel, orbitální číslo nabývá hodnot 0 až n , magnetické číslo $-l$ až $+l$ a spinové číslo má hodnoty $-1/2$ nebo $+1/2$. Číslo slupky je zde určeno výrazem $N = 2n + l$. V deformovaném případě popisují stav částice opět 4 kvantová čísla, tentokrát hlavní kvantové číslo v rovině xy n_{\perp} , hlavní kvantové číslo v ose z n_z obě s hodnotami přirozených

čísel, moment hybnosti v rovině xy Λ a spinové číslo s_z nabývající hodnot $-1/2$ nebo $1/2$. Číslo slupky N je pak součtem hlavních kvantových čísel n_\perp a n_z v obou směrech. Deformací se rovněž mění energie částice, proto pro různé deformace nemusí množství energie odpovídat pořadí slupek.

3 Vizualizace

V naší práci jsme vizualizovali jádra pomocí vykreslování ploch se stejnou pravděpodobností výskytu nukleonu při různých hodnotách kvantových čísel.

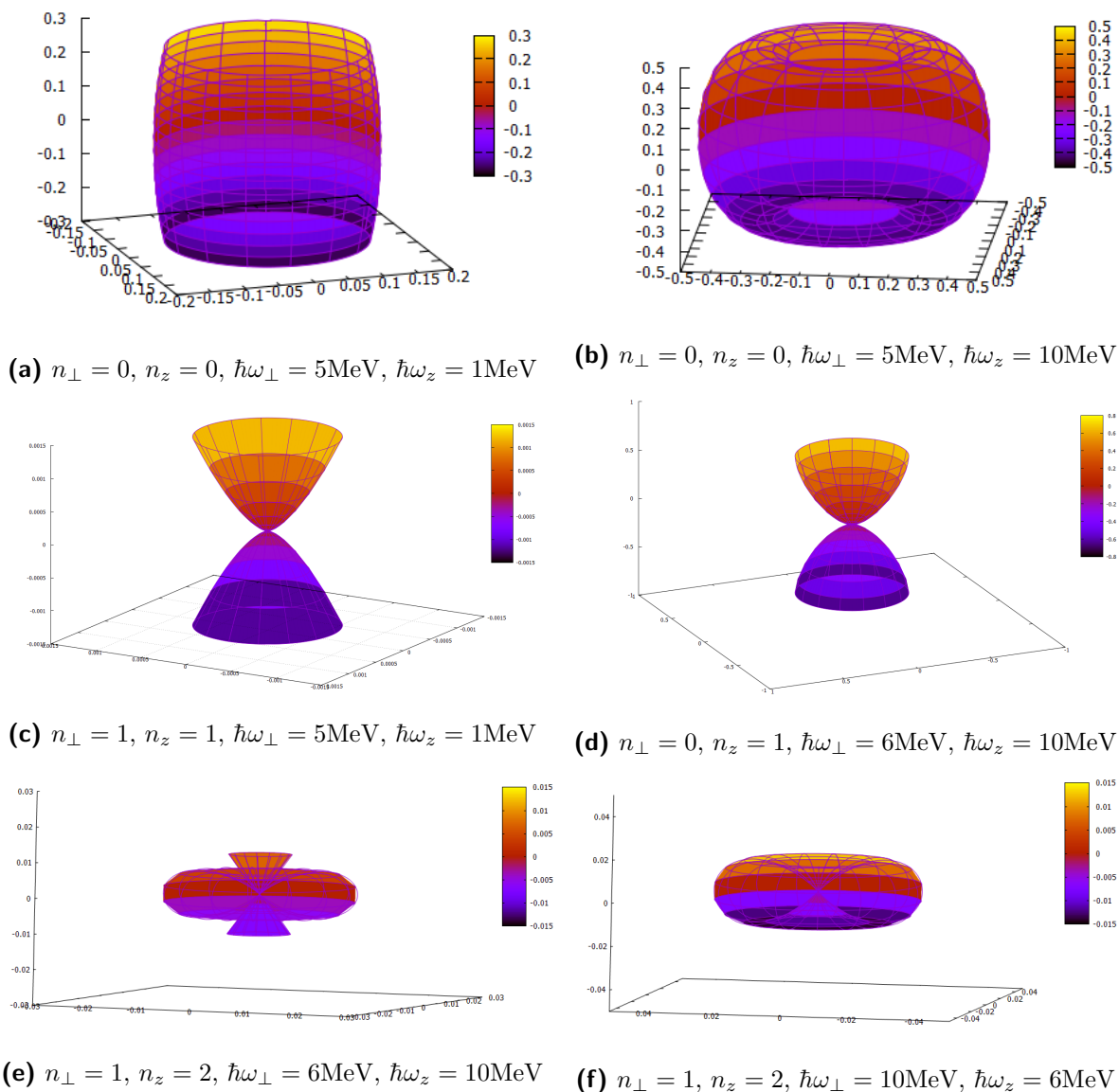
- Vizualizaci jsme realizovali pomocí programu GNUPLNOT, kam jsme zadávali vypočtené funkce pravděpodobnosti polohy ve sférických souřadnicích pro symetrická jádra a v cylindrických pro deformovaná jádra.
- Ve sféricky symetrickém případě jsme vizualizovali pouze 4 podoby orbitalů dle vedlejšího kvantového čísla l . Vykreslili jsme tedy různé podoby orbitalů pro vedlejší kvantová čísla 0, 1, 2 a 3 s výsledky na obrázku 1.



Obrázek 1: Sféricky symetrické orbitaly

V nesymetrickém případě kromě kvantových čísel ovlivňuje podobu orbitalu i míra deformace, tedy je mnohem více možných tvarů orbitalů. U deformace rozlišujeme dva typy, jeden s větším roztažením v rovině xy a druhý ve směru osy z . Kromě toho tvar ovlivňují i kvantová čísla n_\perp a n_z . Na obrázku 2 můžete vidět některé z námi vygenerovaných deformovaných tvarů orbitalů. Na obrázcích jsou z dobré viditelnosti různé rozměry os.

- Různě deformované orbitaly se navzájem liší nejen svým tvarem, ale i svou velikostí, což je způsobeno rozdílnou energií orbitalů pro daná kvantová čísla. Závislost energie orbitalu na poměru úhlových frekvencí kmitání v ose z a v rovině xy zobrazuje obrázek 3.



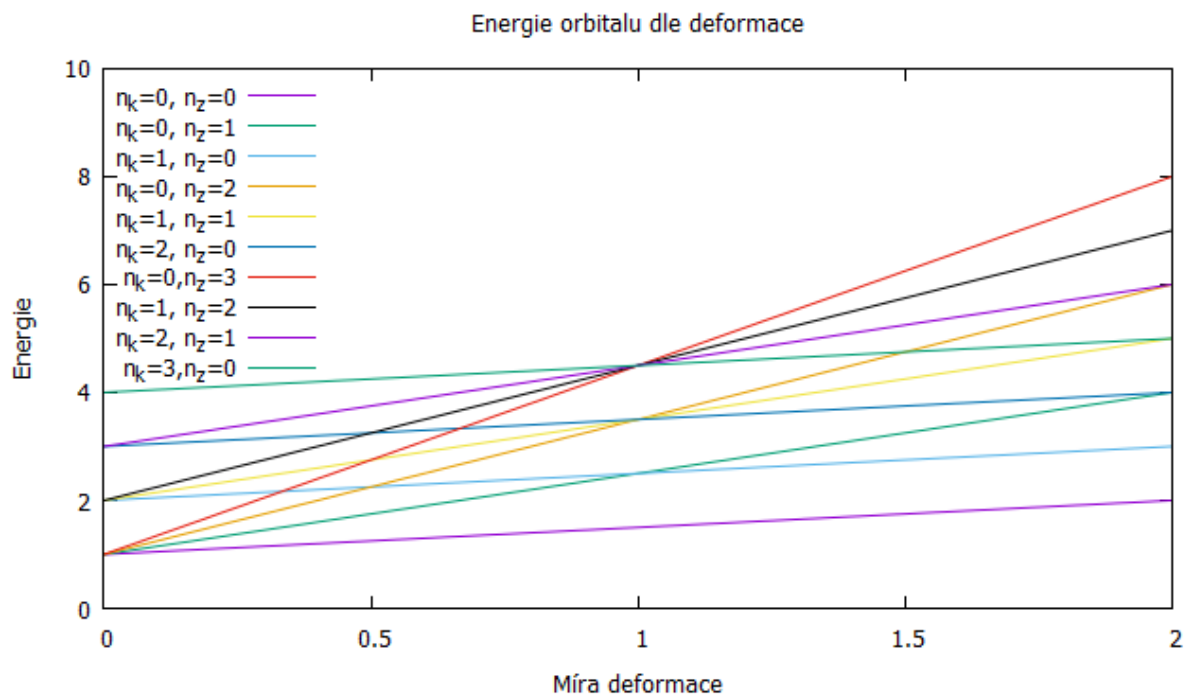
Obrázek 2: Deformované orbitály

4 Shrnutí

V našem miniprojektu jsme se pokusili vizualizovat sféricky symetrické i deformované orbitály nukleonů v jádře. Zjistili jsme, že na podobu orbitalu mají kromě kvantových čísel výrazný vliv i deformační činitelé.

Poděkování

Děkujeme našim vedoucím, Petru Veselému a Janu Pokornému za vysvětlení potřebné teorie a pomoc s technickým provedením vizualizace. Dále děkujeme všem organizátorům Týdne Vědy na Jaderce za možnost zúčastnit se této akce.



Obrázek 3: Závislost energie na míře deformace

Reference

- [1] P. Veselý *Vizualizace deformací atomových jader a nukleonových stavů*. http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~vesely/seminars/2019/Tyden_vedy/Miniprojekt_tyden_vedy.pdf. 2019.