

Abschlussbericht

Vorhaben: Resonanzenanregungen in exotischen Kernen

Zuwendungs-
empfänger: Technische Universität Dresden

Projektleiter: Professor Dr. J. Voigt

FKZ: **06DD9052D**

Förderzeitraum: 01.07.2009–30.06.2012

Ziel des Projektes war es, die begonnenen systematischen Studien der Kernanregungsspektren im gesamten Energiebereich der Dipolmoden fortzusetzen und dabei verschiedene Isotopen- und Isotonenkette einzubeziehen. Gleichzeitig sollten die Untersuchungen auch auf andere Moden, wie magnetische Moden, Scherschwingungen und exotische E1-Moden ('pygmy', 'vortical', 'toroidal' und 'compression') ausgedehnt werden. Wie schon in früheren Untersuchungen wurde dabei die separable RPA (SRPA), selbstkonsistent auf Skyrme-Hartree-Fock (SHF) aufbauend, benutzt. Folgende Arbeiten wurden im Rahmen des Projektes durchgeführt:

1. Noch im Rahmen des vorangegangenen Projektes wurden erste Untersuchungen des Photoanregungsquerschnittes im Dipolkanal unterhalb der Teilchenemissionsschwelle begonnen. Dabei wurden 4 verschiedene Skyrme-Kräfte verwendet (SkT6, SkM*, SLy6 und SkI3), die sich durch ihren Wert der effektiven Masse stark unterscheiden. Die Ergebnisse hierzu wurden mit den Daten aus den Experimenten an ELBE im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf zu $^{92-100}\text{Mo}$ verglichen und in [1] veröffentlicht. Diese Untersuchungen wurden fortgesetzt für die "pygmy"-Resonanzen in der Isotopenkette $^{132-164}\text{Sn}$, wieder unter Verwendung der 4 Skyrme-Kräfte SkT6, SkM*, SLy6 und SkI3 ([7]). Weitere Untersuchungen galten den Dipolriesenresonanzen in den N=28 Isotonen ^{48}Ca , ^{50}Ti , ^{52}Cr , ^{54}Fe . Dabei wurden die drei Skyrme-Kräfte, SkM*, SLy6 und SV-bas verwendet. Mit Ausnahme von ^{50}Ti ergab sich auch hier eine gute Übereinstimmung mit den vorhandenen experimentellen Daten und somit die Bestätigung, dass die Verwendung von Skyrme-Kräften auch für die Berechnung der Dipolriesenresonanzen in leichten Kernen möglich ist (siehe [9]).
2. Die theoretischen Vorarbeiten für die Berechnung von magnetischen Moden und Scherschwingungen wurden abgeschlossen und das Programmpaket entsprechend erweitert, um die notwendige Einbeziehung zusätzlicher t-ungerader Terme im Skyrme-Potenzial und die Verwendung von

magnetischen Übergangs-Operatoren und t-ungeraden Eingabeoperatoren zu ermöglichen .

Erste Ergebnisse zu den Spin-M1-Resonanzen liegen vor und wurden in [2] und [3] vorgestellt. In [2] wurden Untersuchungen zu diesen Resonanzen in leichten und schweren sowie sphärischen und deformierten Kernen (^{48}Ca , ^{158}Gd , ^{208}Pb und ^{238}U) mit Hilfe von insgesamt 8 Skyrme-Kräften (SkT6, SkM*, SLy6, SG2, SkO, SkO', SkI4 und SV-bas) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit den Daten aus Experimenten verglichen. In der zweiten Veröffentlichung [3] werden diese Untersuchungen auf die Isotopenkette $^{142-152}\text{Nd}$ unter Verwendung von 4 Skyrme-Kräften (SkT6, SkM*, SLy6 und SkI3) ausgedehnt und ausserdem der Einfluss der verwendeten Eingabeoperatoren untersucht.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass keine dieser Skyrme-Kräfte die Struktur der Resonanzen in sphärischen und deformierten Kernen gleichzeitig gut wiedergeben kann. Die Ergebnisse und (mögliche) Ursachen wurden in einem Beitrag in dem Sonderheft des Journal of Physics G "Open Problems in Nuclear Structure Theory" diskutiert [4]. Die Resultate sollten unter anderem auch für die Weiterentwicklung der 'mean-field'-Modelle genutzt werden können, wo man bisher nur sehr wenig Informationen aus Anregungen unnatürlicher Parität ausgewertet und z. B. im Skyrme-Hartree-Fock-Modell für eine bessere Kalibrierung der Skyrme-Kräfte benutzt hat. Ein Bericht über die bisher im Rahmen des Skyrme-Hartree-Fock-Modells auch in dieser Richtung erfolgten Arbeiten wurde in einem Vortrag auf der Bogoliubov Konferenz gegeben [5].

3. Um bei den Dipolresonanzen eine tiefergehende Analyse zu ermöglichen, wurde das vorhandene Programmpaket um die Möglichkeit zur Berechnung der 'vortical', 'toroidal' und 'compressional' Moden erweitert. Hierzu waren umfangreiche theoretische Vorarbeiten notwendig um die separable RPA auf Untersuchungen der Vortizität (Turbulenz) anwenden zu können. Auf der Grundlage eines von Ravenhall und Wambach benutzten Konzeptes für die Vortizität wurde der 'vortical' Operator hergeleitet und eine einfache Beziehung zu den 'toroidal' und 'compression' Operatoren erhalten. Diese Vorarbeiten wurden abgeschlossen und eine Beschreibung des Modells sowie erste Ergebnisse veröffentlicht (siehe [6]). Die Rechnungen wurden für ^{208}Pb unter Verwendung der Skyrme-Kraft SLy6 ausgeführt. Die Stärkefunktionen der Moden für Isoskalar(T=0)- und Iovektor(T=1)-Riesenresonanzen und Geschwindigkeitsfelder wurden berechnet und analysiert.

Begonnen wurde mit einer Analyse der toroidal, compression und pygmy E1(T=0) Moden in sphärischen (Pb, Sn) und deformierten (Sm) Kernen. Dabei werden gleichzeitig die Ergebnisse der RPA und der SRPA-

Rechnungen verglichen. Die Arbeit soll noch in diesem Jahr zur Veröffentlichung eingereicht werden.

4. Es wurde mit Arbeiten zu den Monopolriesenresonanzen $E0(T=0)$ begonnen. Dabei werden Pb-, Sn- und Zr-Isotope unter Verwendung neuerer Skyrme-Kräfte (SV-bas etc) untersucht. Es erweist sich, dass mit diesen Skyrme-Kräften nicht gleichzeitig diese Resonanzen sowohl in doppelt magischen als auch in semimagischen Kernen wiedergegeben werden kann. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sollen gleichfall noch in diesem Jahr veröffentlicht werden.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen wurden auf einer großen Anzahl von Tagungen vorgestellt. Stellvertretend seien hier nur folgende genannt:

- “Spin-flip M1 giant resonance as a challenge for Skyrme forces”, 3rd Intern. Confer. “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy”, (NPAE-Kyiv2010, Kyiv, Ukraine, 07-12.06.2010)
- “Description of Magnetic Giant Resonances with Skyrme Forces” in 3rd International Conference “Frontiers in Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions” FINUSTAR-3 (Rodos,Greece, 23-27.08.2010)
- “Nuclear vorticity in electric giant resonances: vortical, toroidal, and compression modes”, International Symposium “Advances in Nuclear Many-Body Theory” (Primosten, Croatia, 7-10.06.2011).
- “Vortex and spin-flip giant resonances as a challenge for self-consistent models”, International Symposium “Quantum Mechanics in Play”, Erlangen, Germany, 10.06.2011.

Eine Übersicht der Ergebnisse zu den Punkten 1+2 wurde auf der Tagung in Vietri Sul Mare, Italien [8] vorgestellt.

Literatur

- [1] J. Kvasil, P. Vesely, V.O. Nesterenko, W. Kleinig, P.-G. Reinhard, and S. Frauendorf,
“Skyrme-Random-Phase-Approximation Description of E1 strength in $^{92-100}Mo$ ”,
Int. J. Mod. Phys. E**18**, n.4, 975-985 (2009); arXiv:0811.4741[nucl-th].
- [2] P. Vesely, J. Kvasil, V.O. Nesterenko, W. Kleinig, P.-G. Reinhard, and V.Yu. Ponomarev,
“Skyrme-RPA description of spin-flip M1 giant resonance”,
Phys. Rev. C**80**, 031302(R) (2009); arXiv:0907.0923[nucl-th].

- [3] V.O. Nesterenko, J. Kvasil, P. Vesely, W. Kleinig, and P.-G. Reinhard, “Skyrme Random-Phase-Approximation description of spin-flip and orbital M1 giant resonances”, *Int. J. Mod. Phys. E***19**, n.4, 558-567(2010); arXiv:0911.2410[nucl-th].
- [4] V.O. Nesterenko, J. Kvasil, P. Vesely, W. Kleinig, P.-G. Reinhard, and V.Yu. Pomomarev, “Spin-flip M1 giant resonance as a challenge for Skyrme forces”, *J. Phys. G. (special issue on Open Problems in Nuclear Structure Theory (OPeNST))*, v.37, n.6, pp. 064034(11), (2010); arXiv:1001.3965[nucl-th].
- [5] J. Erler, W. Kleinig, P. Klüpfel, J. Kvasil, V.O. Nesterenko, and P.-G. Reinhard, “Self-consistent mean-field description of nuclear structure and dynamics - a status report”, *Phys. Part. Nucl.* **41**, n.6, 851-856 (2010); ISSN 1063-7796, (published as *Proceed. of Bogoliubov conference, Dubna, Russia, 2009*).
- [6] J. Kvasil, V.O. Nesterenko, W. Kleinig, P.-G. Reinhard, and P. Vesely, “General treatment of vortical, toroidal, and compression modes”, *Phys. Rev. C***84**, n.3, 034303(1-14) (2011).
- [7] J. Kvasil, V. O. Nesterenko, W. Kleinig, D. Božík, and P.-G. Reinhard, “Skyrme-Hartree-Fock description of the dipole strength in neutron-rich tin isotopes”, *Int. J. Mod. Phys. E***20**, n.2, 281-291 (2011); arXiv: 1011.5097[nucl-th].
- [8] J. Kvasil, V.O. Nesterenko, P. Vesely, W. Kleinig, and P.-G. Reinhard, “Description of Giant Resonances with Skyrme forces”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **267** 012055(1-6) 2011 (*Proceed. of 10th International Spring Seminar on Nuclear Physics “New Quests in Nuclear Structure”, Vitri Sul Mare, Italy, 2010*).
- [9] J. Kvasil, A. Repko, V.O. Nesterenko, W. Kleinig, and P.-G. Reinhard, “E1 strength in light nuclei: Skyrme RPA analysis”, *Int. J. Mod. Phys. E***21**, n.5, 1250041(1-9) (2012).