

► Neben den Riesenresonanzen, die man auch als kollektive Teilchen-Loch-Anregungen ansehen kann, gelang es in Experimenten an den Elektronenbeschleunigern des Bates-Laboratoriums am MIT und am NIKHEF, Amsterdam, auch einfache Teilchen-Loch-Anregungen, sog. „gestreckte“ Zustände, zu beobachten, deren Gesamtdrehimpuls zum maximal möglichen Wert gekoppelt ist. Damit wurde es möglich, die Eigenschaften von elektromagnetischen Übergängen mit extrem hohen Multipolen wie M14, E12 usw. zu untersuchen [3]. Die Vermessung von Rotationsbanden lieferte andererseits ein detailliertes Bild der Form deformierter schwerer Kerne im Grundzustand [4].

► Vor rund 20 Jahren wurde ebenfalls am DALINAC in schweren deformierten Kernen und bei niedrigen Anregungsenergien eine kollektive magnetische Dipolanregung – die sog. „Scherenmode“ – entdeckt, bei der Neutronen und Protonen scherenartig gegeneinander schwingen [5]. Dies führte zu einer Renaissance und systematischen Weiterentwicklung kollektiver wie auch mikroskopischer Modelle der Niederenergie-Kernstruktur. Inzwischen ist diese Mode nicht nur in einer Vielzahl von Kernen systematisch nachgewiesen [6], sondern wird als globales Phänomen generell in Vielkörpersystemen (Festkörper, Metallcluster, Quantendots, Bose-Einstein- und Fermi-Kondensate) vorhergesagt. Beispielsweise wurde sie kürzlich in Bose-Einstein-Kondensaten beobachtet [7].

► Die insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten entwickelten neuartigen Beschleuniger mit kontinuierlichem Elektronenstrahl ermöglichen inzwischen Koinzidenzexperimente, bei denen zusätzlich zum gestreuten Elektron emittierte Nukleonen N oder leichte Ionen nachgewiesen werden können. Derartige Experimente vom Typ (e,e'N), die z. B. an den Elektronenbeschleunigern am NIKHEF oder am MAMI in Mainz bei Energien von einigen hundert MeV durchgeführt wurden, lieferten entscheidende Erkenntnisse über die Impulsverteilung der Nukleonen im Kern in der Nähe der Fermi-Oberfläche, die durch Vielteilchenkorrelationen der starken Wechselwirkung signifikant beeinflusst wird [8].

► Auch Koinzidenzexperimente bei niedrigen Elektronenenergien eröffnen einmalige Möglichkeiten der

Spektroskopie von Atomkernen, da es der gleichzeitige Nachweis des unelastisch gestreuten Elektrons und eines Neutrons, Protons usw. aus dem Zerfall des Kontinuums erlaubt, den Untergrund durch Bremsstrahlprozesse (den sog. „Strahlenschwanz“) fast vollständig zu unterdrücken. Die Energie- und Winkelabhängigkeit der emittierten Teilchen liefert darüber hinaus wichtige Erkenntnisse über den speziellen Charakter der Zerfallsmechanismen [9].

Im Zuge eines Trends zu immer höheren Energien hat sich auch das Interesse an den meisten Kernphysik-Elektronenbeschleunigern auf eine Untersuchung der Struktur des Nukleons verschoben. Beispiele hierfür sind der Elektronenbeschleuniger MAMI an der Universität Mainz – demnächst mit Energien bis zu 1,5 GeV – und an der Thomas Jefferson National Accelerator Facility in Newport News in den USA, derzeit mit Energien bis zu 6 GeV. Der einzige Elektronenbeschleuniger weltweit, dessen Forschungsprogramm sich zur Zeit auf Fragen der Kernstruktur und ihre astrophysikalische Relevanz (siehe z. B. [10]) konzentriert, ist der S-DALINAC in Darmstadt. Die ungebrochene Bedeutung dieser Arbeiten spiegelt sich wider

in der Einrichtung eines Sonderforschungsbereichs (SFB 634) der DFG im Jahre 2003 für das Forschungsprogramm am S-DALINAC. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse und Methoden sind auch von besonderer Bedeutung für das im Rahmen des Ausbaus der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI)\* geplante Projekt eines Elektron-Ion-Kolliders, dessen Ziel die Untersuchung der Struktur exotischer, radioaktiver Kerne ist.

PETER VON NEUMANN-COSEL  
UND ACHIM RICHTER

\*) siehe Physik Journal, Februar 2003, S. 6

Priv.-Doz. Dr. Peter von Neumann-Cosel, Prof. Dr. Achim Richter, Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt, Schlossgartenstr. 9, 64289 Darmstadt

- [1] J. A. McIntyre, B. Hahn und R. Hofstadter, Phys. Rev. **94**, 1084 (1954)
- [2] R. Pitthan und T. Walcher, Phys. Lett. **B36**, 563 (1971)
- [3] R. A. Lindgren et al., Phys. Rev. Lett. **42**, 1524 (1979)
- [4] T. Cooper et al., Phys. Rev. **C13**, 1083 (1976)
- [5] D. Bohle et al., Phys. Lett. **B137**, 27 (1984)
- [6] J. Enders et al., Phys. Rev. **C59**, R1851 (1999)
- [7] O. M. Maragò et al., Phys. Rev. Lett. **84**, 2056 (2000)
- [8] A. E. L. Dieperink und P. K. A. de Witt Huberts, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **40**, 239 (1990)
- [9] S. Strauch et al., Phys. Rev. Lett. **85**, 2913 (2000)
- [10] K. Langanke und G. Martínez-Pinedo, Rev. Mod. Phys. **75**, 819 (2003)

## Eine perfekte Linse für Linkshänder

Während die Auflösung gewöhnlicher Linsen aufgrund der Beugung inhärent begrenzt ist, sind in den vergangenen Jahren Ideen für „perfekte“ Linsen entwickelt worden, die diese Grenze überwinden. Ermöglichen sollen das sog. linkshändige Metamaterialien: links-händig, weil in ihnen die

gewöhnliche Rechte-Hand-Regel für elektrisches, magnetisches Feld und Wellenvektor durch eine Linke-Hand-Regel ersetzt wird, Metamaterialien, weil sie aus periodisch angeordneten „Einheitszellen“ bestehen, die kleiner sind als die Wellenlänge der betrachteten elektromagnetischen Strahlung. Die „Linkshändigkeit“ rührt daher,

dass in diesen Materialien sowohl die Permeabilität  $\mu$  als auch die Permittivität  $\epsilon$  negativ sind. In Toronto ist es Physikern nun ge-

lungen, mithilfe einer „Linse“, die aus einem Leitergitter mit eingesetzten Kondensatoren (C) und Spulen (L) besteht, die Beugungsgrenze zu überwinden.

Zum Nachweis tasteten sie das Bild einer Quelle (source), die Strahlung der Frequenz 1,057 GHz emittierte, mit einer beweglichen Antenne (probe) ab. Neben perfekten Linsen eignen sich linkshändige Materialien auch für Mikrowellen-Bauelemente wie Filter und Resonatoren. (A. Grbic und G. V. Eleftheriades, Phys. Rev. Lett. **92**, 117403 (2004))

