

# Messung von $^{23}\text{Al}(\text{d},\text{n})^{24}\text{Si}$ zur Einschränkung des rp-Prozesses in X-Ray-Bursts

Clemens Wolf

Im Weltall existieren hunderte sehr helle Objekte, die eine hohe konstante Leuchtkraft im Wellenlängenbereich von Gammastrahlung besitzen. Die konstante Leuchtkraft mancher dieser Objekte wird in regelmäßigen Abständen von starken Ausbrüchen, den sogenannten X-Ray-Bursts, unterbrochen. Hauptenergiequelle dieser X-Ray-Bursts ist der „rapid-proton-capture“-Prozess (rp-Prozess). Dieser zeichnet sich durch eine Abfolge von  $(\text{p},\gamma)$ -Reaktionen und  $\beta^+$ -Zerfällen aus, die die charakteristischen Lichtkurven produzieren. Für viele am Prozess beteiligte Reaktionen ist der Q-Wert sehr klein, wodurch die Rate der einzelnen Reaktionen von den resonanten Einfängen in die ungebundenen Zustände dominiert wird. Die Unsicherheiten in der Beschreibung der Lichtkurve sind derzeit aufgrund fehlender kernphysikalischer Informationen von vielen am Prozess beteiligten Isotopen sehr groß. Sensitivitätsstudien zeigen, dass dabei die Unsicherheiten der  $^{23}\text{Al}(\text{p},\gamma)^{24}\text{Si}$ -Reaktion eine der größten Auswirkungen auf die Lichtkurve hat. Diese werden durch ungenaue und widersprüchliche Informationen zu den ungebundenen Zuständen im kurzlebigen  $^{24}\text{Si}$  hervorgerufen.

Um Informationen über die Kernstruktur von  $^{24}\text{Si}$  zu erhalten, wurde am National Superconducting Cyclotron Laboratory (NSCL), Michigan, USA, die  $^{23}\text{Al}(\text{d},\text{n})^{24}\text{Si}$ -Transferreaktion untersucht. Der in dieser Form erstmals umgesetzte Versuchsaufbau bestand aus einem Gammadetektor zur Messung der Übergangsenergien des produzierten  $^{24}\text{Si}$ , einem Neutronendetektor zur Messung der Winkelverteilung der emittierten Neutronen und einem Massenspektrometer zur Identifikation des produzierten Isotops. Mit diesem Aufbau, der eine Detektion der kompletten Kinematik der  $(\text{d},\text{n}\gamma)$ -Reaktion ermöglichte, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Aus der Energie der nachgewiesenen Gammas konnten die Übergänge zwischen den Kernniveaus von  $^{24}\text{Si}$  bestimmt und daraus die Energien der einzelnen Zustände ermittelt werden. Dabei konnte neben dem bereits bekannten gebundenen  $2^+$ -Zustand (in dieser Arbeit gemessen bei  $1874 \pm 2,9$  keV) und dem ungebundenen  $2^+$ -Zustand ( $3448,8 \pm 4,6$  keV), erstmals ein weiterer ungebundener ( $4^+, 0^+$ )-Zustand bei  $3470,6 \pm 6,2$  keV beobachtet werden. Zusätzlich konnte die Diskrepanz, die bezüglich der Energie des ungebundenen  $2^+$ -Zustands aufgrund früherer Messungen bestand, beseitigt und die Energieunsicherheit reduziert werden.

Aus der Anzahl der nachgewiesenen Gammas konnten ebenfalls die (d,n)-Wirkungsquerschnitte in die einzelnen Zustände von  $^{24}\text{Si}$  bestimmt werden. Unter Verwendung der Ergebnisse von DWBA-Rechnungen konnte mithilfe dieser die spektroskopischen Faktoren berechnet werden. Für die angeregten Zustände musste dabei zwischen verschiedenen Drehimpulsüberträgen unterschieden werden. Mittels der Winkelverteilung der nachgewiesenen Neutronen konnte gezeigt werden, dass die Gewichtung anhand der theoretischen spektroskopischen Faktoren zur Berechnung der Anteile des jeweiligen Drehimpulsübertrags am gesamten Wirkungsquerschnitt für den entsprechenden Zustand gute Ergebnisse liefert. Für eine quantitative Bestimmung der spektroskopischen Faktoren der Zustände anhand der Neutronenwinkelverteilungen in  $^{24}\text{Si}$  war allerdings die Statistik zu gering. Für den Fall der deutlich häufiger beobachteten  $^{22}\text{Mg}(d,n)^{23}\text{Al}$ -Reaktion konnte hingegen ein spektroskopischer Faktor für den  $^{23}\text{Al}$ -Grundzustand von  $0,29 \pm 0,04$  bestimmt werden.

Abschließend wurden die Auswirkungen der gewonnenen Erkenntnisse zur Kernstruktur von  $^{24}\text{Si}$  auf die Rate der  $^{23}\text{Al}(p,\gamma)$ -Reaktion untersucht. Dabei konnte aufgrund der besseren Energiebestimmung zum einen die Diskrepanz zwischen den Raten die auf Grundlage der beiden früheren Untersuchungen berechnet wurden und bis zu einem Faktor von 20 voneinander abweichen, beseitigt werden. Zum anderen konnte aufgrund der kleineren Unsicherheit in der Energiebestimmung der Fehlerbereich der Rate verkleinert werden. Die Untersuchungen zeigen, dass die Unsicherheit in der neuen Rate von der Ungenauigkeit der Massenbestimmung der beiden beteiligten Isotope und damit dem Q-Wert der Reaktion dominiert wird. Durch eine bessere Bestimmung des Q-Werts könnte die Unsicherheit in der Rate aufgrund der neuen experimentellen Ergebnisse auf ein Zehntel gesenkt werden.