

Notizen

Versuche zur Spinpolarisation der schwereren Elemente der Stickstoff-Gruppe durch Spinaustausch mit optisch gepumpten Alkalien: Spinpolarisation von ^{121}Sb durch Spinaustausch mit optisch gepumptem ^{133}Cs

R. Tilgner und E. Lüscher

Physik-Department E 13, Technische Universität München

(Z. Naturforsch. **29 a**, 947–948 [1974]; received April 10, 1974)

Experiments on spin polarization of the heavier Nitrogen group elements by spin exchange with optically pumped alkali atoms: Spin polarization of ^{121}Sb by spin exchange with optically pumped ^{133}Cs

The molecules of a Sb-vapour were dissociated by irradiating them with an UV-lamp. The three outer electrons of the atoms were spinpolarized in a He buffer atmosphere by spin exchange with optically pumped Cs. For the ^{121}Sb -isotope the polarization was monitored by inducing rf-transitions between the Zeeman sublevels of the $F=4$ hyperfine niveau.

Einleitung

Die Elemente der fünften Gruppe besitzen neben den Elektronen der abgeschlossenen inneren Schalen im Grundzustand drei äußere p-Elektronen, die sich zusammen bei Annahme von LS-Kopplung zu einem $^4\text{S}_{3/2}$ -Zustand formieren. Die bei diesen Elementen vorhandenen Hyperfeinaufspaltungen, die bei einer reinen S-Grundzustandskonfiguration nicht vorhanden wären, lassen Schlüsse auf das Ausmaß des „configuration mixing“ im Grundzustand zu. Hyperfeinstruktur-Messungen ausreichender Genauigkeit liegen dazu bis jetzt, soweit uns bekannt ist, nur für Stickstoff^{1, 2}, Phosphor³ und Wismut⁴ vor. Die bekannten EPR-Messungen⁵ reichen in ihrer Genauigkeit nicht aus. Die Methode der Messungen an Stickstoff und Phosphor bestand im Optischen Pumpen der Grundzustände durch Spinaustausch mit optisch gepumpten Alkalien und Beobachtung magnetischer Resonanz; das magnetische Resonanzexperiment an Wismut führten Hull und Brink⁴ an einem Atomstrahl durch.

Es stellt sich die Frage, ob Spinaustauschexperimente wie die oben erwähnten auch an den restlichen Elementen der Stickstoff-Gruppe durchführbar sind. Technisch ist das Experiment an Stickstoff am einfachsten. Bei der Arbeit mit Phosphor ist ein Spinaustauschexperiment mit Alkalien bereits mit

Schwierigkeiten verbunden, die in der Neigung des Phosphors, chemisch mit Alkalien zu reagieren, bestehen. Im folgenden soll von Versuchen berichtet werden, Antimon durch Spinaustausch mit Cäsium zu polarisieren.

Experimente

Natürliches Antimon kommt in zwei stabilen Isotopen ^{121}Sb und ^{123}Sb mit den relativen Häufigkeiten von rund 57% bzw. 43% vor. Die jeweiligen Kernspins betragen 5/2 bzw. 7/2, wodurch der Grundzustand in die Hyperfeinniveaus $F=4\dots 1$ bzw. $5\dots 2$ aufspaltet. Der Elektronen- g -Faktor beträgt 1,97⁵. Die Dampfdruckkurve⁶ lässt bei rund 660 K eine Dampfdichte von 10^{-5} Torr erwarten. Dieser Dampf ist molekular, wobei die Bindungsenergie zweier Antimon-Atome etwa 3,1 eV beträgt⁷. Man kann daher hoffen, durch Aufheizen von Antimon in kleinen Öfen, wie sie bei ähnlichen Experimenten^{8, 9} schon verwendet wurden, und durch Einstrahlen von Licht durch ein Quarzfenster, um auch den UV-Anteil des Lampenspektrums auszunützen, eine ausreichende Dichte freier Antimon-Atome zu erzeugen.

Bei einem Spinaustauschexperiment kann es schwierig sein, chemische Reaktionen zwischen den Stoßpartnern zu vermeiden, die den ganzen Pumpprozeß unwirksam werden lassen. So ist es beispielsweise bei einem System Europium-Cäsium nur unter ganz bestimmten räumlichen Temperaturbedingungen in der Pumpzelle möglich, Signale zu beobachten⁹. Auch das System Phosphor-Rubidium bereitet nach Lambert und Pipkin³ Schwierigkeiten.

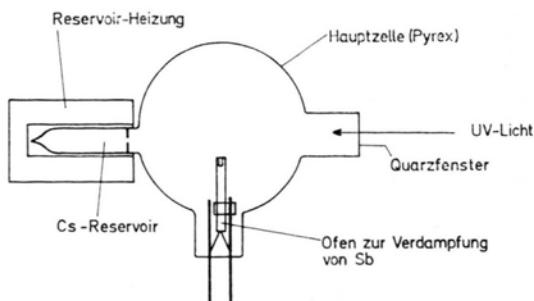


Abb. 1. Zelle für Spinaustausch Cs–Sb. Um ein Bedampfen des Cs mit Sb weitgehend zu verhindern, ist das Cs in einem Seitenarm gelagert, woraus es nur durch eine kleine Öffnung in die Hauptzelle gelangen kann. Das durch ein Quarzfenster einfallende Licht dissoziert einen gewissen Teil des molekularen Sb-Dampfes. Das Cs-Dl-Pumplicht tritt senkrecht zur Zeichenebene durch die Zelle.

ten, da der Phosphor-Dampf das metallische Rubidium leicht mit einer rötlichen Schicht überzieht, wodurch das Rubidium „inaktiviert“ wird und die Rubidium-Dampfdichte in der Zelle gegen Null geht.

Um eine derartige „Inaktivierung“ der Oberfläche des Alkalimetalls – in unserem Falle Cäsium – zu vermeiden, wurde folgende Anordnung in der Spinaustauschzelle gewählt (Abb. 1): Der Antimon-Dampf wird durch Erhitzen in einem kleinen Ofen erzeugt und durch Einstrahlen von Licht (Hg-Hochstdrucklampe Osram HBO 200/2, Spektrum mit erheblichem UV-Anteil) teilweise dissoziiert. Das Cäsium ist in einem Seitenarm deponiert, der nur durch ein enges Loch (Durchmesser 1 mm) mit der Zelle verbunden ist. Eine eigene Heizung ermöglicht die Einstellung der Cäsium-Dichte in Reservoir und Pumpzelle. Als Puffergase konnten bereits bei dem Phosphor-Experiment³ nur Helium und Neon verwendet werden. Aus diesem Grund wurde angesichts der größeren Polarisierbarkeit des Antimon-Atoms nur Helium als Puffergas verwendet.

Im übrigen entsprach der Aufbau des Experiments den herkömmlichen Anordnungen zum Optischen Pumpen bzw. zur Spinpolarisation durch Spinaustausch: Es wurde die Absorption des Cs-Dl-Pumplichts bei gleichzeitigem Induzieren magnetischer Dipolübergänge zwischen den Zeeman-Niveaus der Antimon-Isotope mit Lock-in-Technik beobachtet.

Ergebnis

Bisher war der eindeutige Nachweis einer erfolgten Spinpolarisation nur für ^{121}Sb möglich, wobei die Zeeman-Resonanz des Hyperfein-Niveaus $F=4$ in einer Zelle mit 27 Torr Helium als Puffergas beobachtet wurde. Nach Abschalten des dissoziierenden Lichts verschwand das Signal. Die Qualität des beobachteten Signals ist mäßig (Abb. 2) und lässt noch keine Aussage darüber zu, ob mit der Spinaustauschtechnik eine Verbesserung der bekannten EPR-Daten möglich sein wird.

- ¹ W. W. Holloway, E. Lüscher u. R. Novick, Phys. Rev. **126**, 2109 [1962].
- ² R. H. Lambert u. F. M. Pipkin, Phys. Rev. **129**, 1233 [1963].
- ³ R. M. Lambert u. F. M. Pipkin, Phys. Rev. **128**, 198 [1962].
- ⁴ R. J. Hull u. G. O. Brink, Phys. Rev. A **1**, 685 [1970].
- ⁵ W. G. Zijlstra, J. M. Henrichs, J. H. M. Mooy u. J. D. W. Van Voorst, Chem. Phys. Lett. **7**, 553 [1970].

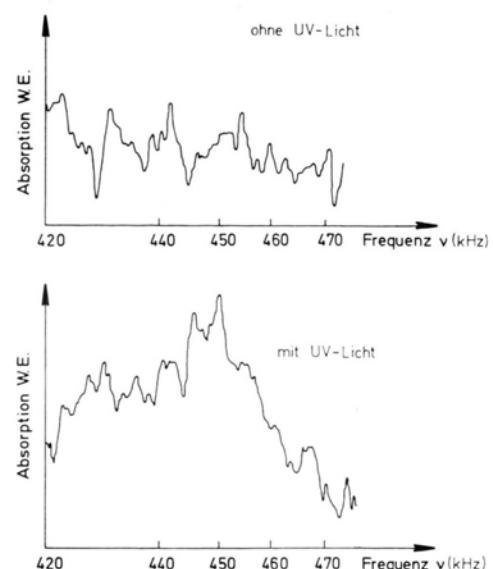


Abb. 2. Zeeman-Resonanz im Hyperfeinniveau $F=4$ von ^{121}Sb bei einem H_0 -Feld von $1/3$ Gauß. Abschalten des dissoziierenden UV-Lichts bringt die Resonanz zum Verschwinden.

Die Schwierigkeiten dürften zum Teil aus den sich auch unter den geschilderten Vorkehrungen erneut den chemischen Reaktionen zwischen Cäsium und Antimon resultieren. Nach längerer Betriebsdauer überzieht sich die Zellwand im Bereich der Cäsium-Quelle mit einem rötlichen Niederschlag.

In welchem Ausmaß die Relaxation der polarisierten Antimon-Atome in der Puffergasatmosphäre für die schlechte Signalqualität verantwortlich ist, kann eventuell durch Experimente mit Variation des Stickstoffgruppen-Partners erhellt werden. Ein Versuch, Wismut unter ähnlichen Versuchsbedingungen zu polarisieren, brachte kein Ergebnis, woraus man möglicherweise auf den Einfluß der Relaxation schließen und für Arsen bessere Ergebnisse erwarten kann.

Dipl.-Phys. R. Schumacher, Dipl.-Phys. J. Crone sowie Dipl.-Ing. B. Luderer danken wir für hilfreiche Gespräche.

- ⁶ R. E. Honig u. D. A. Kramer, RCA-Laboratories.
- ⁷ G. de Maria, J. Drwartz u. M. G. Inghram, J. Chem. Phys. **31**, 1076 [1959].
- ⁸ A. Aßfalg, J. Fricke, J. Haas, R. Tilgner u. E. Lüscher, Z. Naturforsch. **26a**, 1567 [1971].
- ⁹ R. Tilgner, J. Fricke, J. Haas u. E. Lüscher, Z. Naturforsch. **28a**, 454 [1973].