

DEMONSTRATIONSEXPERIMENT

Paramagnetismus von flüssigem Sauerstoff

Das Verhalten einer Substanz in einem Magnetfeld liefert wichtige Erkenntnisse über die Anordnung ihrer Elektronen. Moleküle mit einem oder mehreren freien (ungepaarten) Elektronen werden in ein Magnetfeld hineingezogen, sie sind paramagnetisch. Ein einfacher Versuch verdeutlicht dies an flüssigem Sauerstoff.

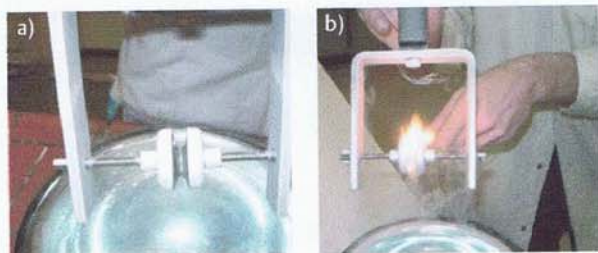


Abb. 2 Links: Blauer, flüssiger Sauerstoff zwischen den beiden Magnetpolen. Rechts: Sauerstoffnachweis mit glimmendem Holzspan.

Wie jede naturwissenschaftliche Disziplin verwendet auch die Chemie Symbole, die im Laufe von Jahrhunderten entwickelt wurden. Der amerikanische Chemiker Gilbert N. Lewis (1875 - 1949) schlug einen einfachen Weg vor, die Valenzelektronen in einem Atom anzugeben und sie im Falle einer Bindungsbildung zu verfolgen. Dahinter steckt die Beobachtung, dass die Atome in einer Bindung nach einem Elektronenoktett (Edelgaskonfiguration, Oktettregel) streben.

In solchen Lewis- oder Valenzstrichformeln werden die Valenzelektronen durch Striche oder Punkte symbolisiert. Ein Strich entspricht einem Elektronenpaar mit gepaartem Spin, ein Punkt einem einzelnen (ungepaarten) Elektron. Moleküle mit gerader Zahl von Valenzelektronen, deren Lewis-Formeln ausschließlich mit Strichen formuliert werden können, sollten daher diamagnetisch sein. Es zeigt sich, dass diese Vorhersage für die überwiegende Zahl von Molekülen auch zutrifft.

Es gibt aber auch Ausnahmen, wie das paramagnetische Disauerstoffmolekül O_2 , das in den meisten Lehrbüchern zur Allgemeinen Chemie [1] und der Experimentalphysik [2] ausführlich diskutiert wird. Die in Abbildung 1 oben angegebene

Valenzstrichformel zeigt keine freien Elektronen. Seinem paramagnetischen Verhalten entsprechend, sollte O_2 jedoch zwei ungepaarte Elektronen enthalten. Alternativ könnte man auch eine Valenzstrichformel mit zwei ungepaarten Elektronen zeichnen (Abbildung 1 unten). Bei dieser Darstellung liegt das Molekül aber (entgegen den experimentellen Befunden beispielsweise zur Bindungsenergie) in einer Einfachbindung vor, und jedes Sauerstoffatom verfügt nur über sieben Elektronen.

Eine angemessene Beschreibung der Bindungsverhältnisse erfolgt durch die Molekülorbital (MO)-Theorie, die die Anwesenheit zweier entarteter antibindender π^* -Orbitale fordert [2]. Diese werden nach der Hund'schen Regel mit je einem Elektron besetzt, die parallelen Spin aufweisen. Der Grundzustand von O_2 ist daher ein (paramagnetischer) Triplett-Zustand.

Flüssiger Sauerstoff wird deswegen zwischen die Pole eines ausreichend starken Magneten hineingezogen, und viele Lehrbücher sowohl der Physik als auch Chemie illustrieren dies mit mehr oder weniger eindrucksvollen Fotografien [3]. Flüssiger Stickstoff zeigt diese Eigenschaft nicht, denn N_2 ist ein diamagnetisches Molekül, sowohl

nach der Lewis-Formel als auch nach der MO-Theorie.

Die kommerzielle Verfügbarkeit von starken Neodym-Permanentmagneten erlaubt es nun, dieses Phänomen im Rahmen von Experimentalvorlesungen in einfacher Weise zu demonstrieren. Wir haben zu diesem Zweck zwei NdFeB-Magnete zwischen den beiden Gabeln eines u-förmig gebogenen, nichtmagnetischen Edelstahlrahmens mit Stellschrauben in einem Abstand von etwa 5 mm angebracht (Abbildung 2). Mit Hilfe eines gegen Kälte isolierenden Haltegriffes (Feilengriff aus dem Baumarkt) können die beiden Magnete in flüssigem Stickstoff vorgekühlt und anschließend in den Sauerstoff eingetaucht werden.

Beim Herausziehen ist ganz klar eine Schicht von flüssigem Sauerstoff zwischen den Polen zu beobachten (Abbildung 2a). Mit Hilfe eines glimmenden Spanes lässt sich der Sauerstoff entzünden (Abbildung 2b). Auf diese Weise erkennen auch weiter entfernt sitzende Studenten, dass man mit den Magneten Sauerstoff herausgehoben hat. Hierbei ist Vorsicht geboten, weil die Kunststoffeinbettung des Magneten Feuer fangen kann. In diesem Fall taucht man die ganze Anordnung schnell in den flüssigen Stickstoff.

Selbstverständlich sind die üblichen Vorsichtsmaßnahmen (Lederhandschuhe, Schutzbrille) beim Hantieren mit $N_2(l)$ und $O_2(l)$ einzuhalten. Brennbare Substanzen und Gegenstände dürfen nicht in die Nähe des Dewargefäßes mit O_2 gebracht werden.

Hakenmagnete (NdFeB) mit 32 mm Durchmesser gibt es im Internet unter www.magnet-shop.net. Die Haken lassen sich leicht durch eine Gewindestange ersetzen, mit zwei Flügelmuttern aus Messing kann man den Abstand problemlos verändern. Es ist darauf zu achten, dass die Magnete an der Frontseite entgegengesetzte Polarität besitzen.

Stefan Pichler, Thomas Schalk,
Karl Hassler, TU Graz

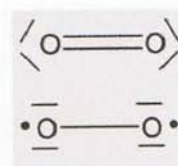


Abb. 1 Valenzstrich- oder Lewis-Formel von O_2 , oben ohne freie Elektronen, unten mit zwei ungepaarten Elektronen.

Literatur

- [1] T. L. Brown, H. E. LeMay, B. F. Bursten, Chemie – die zentrale Wissenschaft, Pearson Studium 2006.
- [2] Bergmann Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, Teilchen, Wilhelm Raith (Hrsg.), Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1992.
- [3] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentals of Physics, Wiley-VCH, Weinheim 1993.