

27. Januar 2011

Das „neue“ Kilogramm kommt näher

Avogadro-Konstante mit angereichertem Silicium-28 bestimmt



Ein Meilenstein im internationalen Avogadro-Projekt, das von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) koordiniert wird: Mithilfe eines Einkristalls aus hochangereichertem ^{28}Si ist jetzt die Avogadro-Konstante mit einer relativen Gesamtmessunsicherheit von $3 \cdot 10^{-8}$ so genau wie nie zuvor gemessen worden. Im Rahmen der Kilogramm-Neudefinition ermöglicht der Wert $N_A = 6,02214078(18) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ die zurzeit genaueste Realisierung dieser Einheit. Die Ergebnisse sind in der aktuellen Ausgabe der Zeitschrift *Physical Review Letters* veröffentlicht.

Die heiße Phase des von der PTB koordinierten, langjährigen Avogadro-Projekts begann 2003: In dem Jahr begannen mehrere nationale Metrologieinstitute zusammen mit dem Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in Kooperation mit russischen Forschungsinstituten mit dem ehrgeizigen Vorhaben, etwa 5 kg hochangereichertes ^{28}Si (99,99 %) als Einkristall herstellen zu lassen, die Avogadro-Konstante damit zu messen und bis zum Jahr 2010 eine Messunsicherheit von ca. $2 \cdot 10^{-8}$ zu erreichen. Inzwischen sind erste Messungen an den zwei in Australien polierten 1 kg-Kugeln aus ^{28}Si abgeschlossen und ihre Dichte, Gitterparameter und Oberflächenbeschaffenheit bestimmt worden.

Die Einzelschritte: Nach einer umfangreichen Prüfung der Kristallperfektion wurde der Einfluss der Kristallbaufehler abgeschätzt. Dann wurde am italienischen Metrologieinstitut (INRIM) mittels eines Röntgeninterferometers der Gitterparameter bestimmt und durch Vergleichsmessungen mit einem natürlichen Si-Kristall am amerikanischen NIST bestätigt. Die Massen der beiden Siliciumkugeln wurden am BIPM, am NMIJ (Japan) und in der PTB im Vakuum an die internationalen Massennormale angeschlossen. Das Kugelvolumen wurde optisch mit Interferometern unterschiedlicher Strahlgeometrien in den entsprechenden Arbeitsgruppen von NMIJ, NMI-A (Australien) und PTB mit exzellenter Übereinstimmung gemessen. Die Oberflächenschicht (im Wesentlichen bestehend aus Siliciumdioxid) wurde mit Elektronen-, Röntgen- und Synchrotronstrahlung nach unterschiedlichen Verfahren spektroskopiert, analysiert und bei der Bestimmung der Siliciumdichte berücksichtigt. Die beim Polierprozess entstandene unerwartet hohe metallische Kontamination der Kugeloberflächen mit Kupfer- und Nickelsiliciden wurde gemessen und ihr Einfluss auf die

Ergebnisse von Kugelvolumen und -masse abgeschätzt, was zu einer höheren Messunsicherheit führte.

Ausschlaggebend für den erzielten Erfolg, eine relative Gesamtmessunsicherheit von $3 \cdot 10^{-8}$, war die Entwicklung einer neuen massenspektrometrischen Methode zur Bestimmung der molaren Masse in der PTB.

Das Ergebnis ist ein Meilenstein auf dem Weg zu einer erfolgreichen Darstellung der neuen Kilogrammdefinition auf der Basis einer in ihrem Wert festgelegten Fundamentalkonstanten. Zurzeit ist aber die Übereinstimmung dieses Wertes mit anderen Darstellungen des Kilogramm nicht gut genug, um die bestehende Definition der Masseinheit zu ändern. Der gegenwärtige Status des Avogadro-Projekts ist aber so vielversprechend, dass auf der Basis neuer Messungen mit verbesserten Kugelinterferometern an kontaminationsfreien Kugeln in naher Zukunft die vom Beratenden Komitee für die Masse (CCM) verlangte Messunsicherheit von $2 \cdot 10^{-8}$ erreicht und voraussichtlich sogar unterschritten wird.

ptb/es

Ansprechpartner:

Dr. Peter Becker, PTB-Projekt 4.34 Avogadro-Konstante,
Telefon: (0531) 592-4300, E-Mail: peter.becker@ptb.de

Dr. Horst Bettin, PTB-Projekt 4.34 Avogadro-Konstante,
Telefon: (0531) 592-3330, E-Mail: horst.bettin@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

Andreas, B.; Azuma, Y.; Bartl, G.; Becker, P.; Bettin, H.; Borys, M.; Busch, I.; Gray, M. *et al.* (2011), "An accurate determination of the Avogadro constant by counting the atoms in a ^{28}Si crystal", *Phys. Rev. Lett.* **106** (3): 030801 (4 pages),
[doi:10.1103/PhysRevLett.106.030801](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.030801).

Mehr zu den einzelnen Teilprojekten des Avogadro-Projekts

finden Sie in den PTBnews 3/2010:

www.ptb.de > Publikationen > PTBnews > aktuelle Ausgabe



Foto:

In der hochreinen Silicium-Kugel des Avogadro-Experiments spiegelt sich eine Kopie des internationalen Kilogramm-Prototyps, die letzte Verkörperung einer Einheit über einen physischen Körper. Die neue Kugel dagegen steht für die Definition auf der Grundlage von atomaren Eigenschaften bzw. Naturkonstanten. (Foto: PTB)(Das Foto kann als hochauflösende Datei aus dem Internet heruntergeladen werden: www.ptb.de > Presse/Aktuelles > Presseinfos)