

Interferenzexperimente hoher Auflösung bei atomaren Stößen

U. BUCK und H. PAULY

Institut für Angewandte Physik der Universität Bonn

(Z. Naturforsch. 23 a, 475—476 [1968]; eingegangen am 9. Januar 1968)

Messungen des differentiellen Streuquerschnittes bei Atom-Atom-Stößen gestatten genaue Aussagen über das zwischenatomare Potential, wenn es im Experiment gelingt, alle Interferenzerscheinungen aufzulösen¹. Wie weit diese Forderung in der Praxis realisiert werden kann, hängt im wesentlichen nur davon ab, welche Halbwertsbreite $\Delta g/g$ für die Verteilung der Relativgeschwindigkeit g im Experiment erreicht wird. Bisherige Werte für $\Delta g/g$ liegen in günstigen Fällen (Alkalimetall-Edelgas-Systeme, bei denen die Sekundärstrahlquelle gekühlt wird) zwischen 6 und 10%². Bei Systemen mit großer Potentialtopftiefe ist es bisher noch nicht gelungen, alle Informationen, welche die Regenbogenstreuung liefern kann, voll auszunutzen; solche Stoßpaare (z. B. Alkalimetall-Quecksilber) lassen eine Vielzahl von Regenbogenextrema theoretisch erwarten, von denen bisher jedoch höchstens zwei Maxima genügend gut aufgelöst werden konnten^{3, 4}.

Neben der Geschwindigkeitsauflösung ist die Absolutbestimmung der Relativgeschwindigkeit in einem Experiment mit gekreuzten Molekularstrahlen ein schwieriges Problem. Der Fehler in der Relativgeschwindigkeitsmessung resultiert einmal aus der Geschwindigkeitsmessung im Primärstrahl, die mit Hilfe mechanischer Selektoren erfolgt, zum anderen aus der Bestimmung der Sekundärstrahlgeschwindigkeit, die bei allen bisher durchgeführten Experimenten nicht direkt gemessen wird, sondern aus der Ofentemperatur unter bestimmten Voraussetzungen über den Strömungsvorgang in der Ofenöffnung berechnet wird. Da die Relativgeschwindigkeit g in die Bestimmung der Potentialtopftiefe quadratisch, und in die Bestimmung des Gleichgewichtsabstandes linear eingeht, ist eine Erhöhung der bisher in g erreichten Genauigkeit wünschenswert. Im folgenden wird eine Anordnung beschrieben, die Messungen des differentiellen Streuquerschnittes mit einer Auflösung $\Delta g/g$ kleiner als 2% gestattet. Die Geschwindigkeitsanalyse beider Strahlen mit symmetrischen Geschwindigkeitsselektoren erlaubt zudem eine genaue Festlegung der Relativgeschwindigkeit. Erste Messungen am System Na—Hg zeigen eine bisher nicht erreichte Auflösung der Interferenzstruktur.

Fig. 1 zeigt ein Schema der verwendeten Meßanordnung. Der Primärstrahl, der in einem Düsenofen (1) erzeugt wird, passiert einen Fizeau-Geschwindigkeitsselektor (2), dessen Auflösung $\Delta v_1/v_1 = 1,3\%$ beträgt. Bei einer Gesamtlänge von 10 cm wird die hohe Auflösung durch die Verwendung sehr enger Schlitzes (0,3 mm breit) erreicht. Der Sekundärstrahl ist eben-

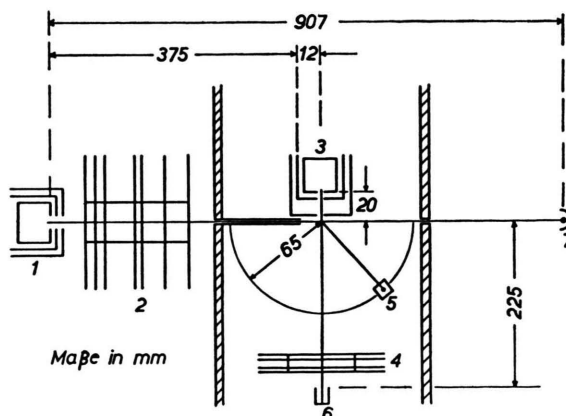


Abb. 1. Schema der Apparatur (Beschreibung siehe Text).

falls ein Düsenstrahl (3), der den Primärstrahl senkrecht durchsetzt. Seine Winkeldivergenz ist durch Blenden auf eine Halbwertsbreite von $3,5^\circ$ begrenzt.

Der Sekundärstrahl durchläuft nach Passieren des Streuzentrums einen zweiten Geschwindigkeitsselektor (4) (Länge 16 mm, Auflösungsvermögen $\Delta v_2/v_2 = 15,3$ Prozent), und wird von einem Elektronenstoßdetektor

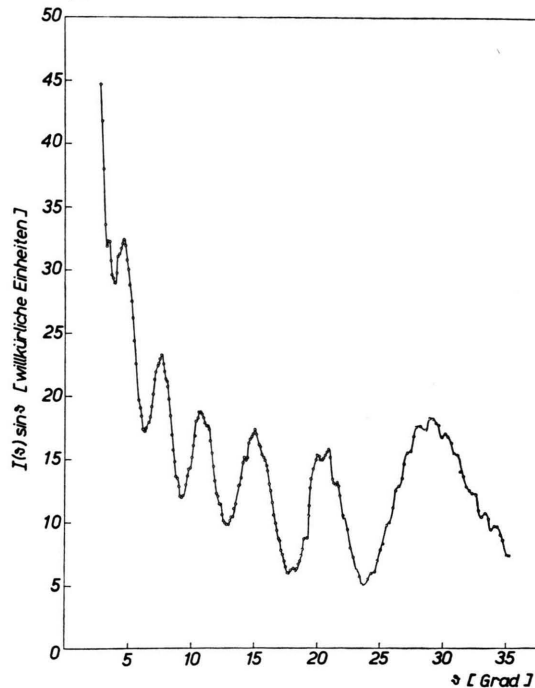


Abb. 2. Differentieller Streuquerschnitt $I(\theta) \sin \theta$ (im Schwerpunktsystem) für die Stoßpartner Na—Hg. Relativgeschwindigkeit $g = 1350$ m/sec, Geschwindigkeitsauflösung $\Delta g/g = 1,7\%$.

¹ U. BUCK u. H. PAULY, Z. Phys. **208**, 390 [1968].

² P. BARWIG, U. BUCK, E. HUNDHAUSEN u. H. PAULY, Z. Phys. **196**, 343 [1966].

³ E. HUNDHAUSEN u. H. PAULY, Z. Phys. **187**, 305 [1965].

⁴ D. BECK, H. J. DUMMEL u. U. HENKEL, Z. Phys. **185**, 19 [1965].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

(6) nachgewiesen. Bei Drücken zwischen 600 und 900 Torr im Sekundärstrahlrohr zeigen die gemessenen Geschwindigkeitsverteilungen Halbwertsbreiten, die nur sehr geringfügig über der Breite liegen, welche von der Durchlaßkurve des Selektors vorgegeben wird. Das bedeutet, daß die Halbwertsbreiten der Sekundärstrahl-Geschwindigkeitsverteilung kleiner als 7% sind, was Mach-Zahlen von $M > 25$ entspricht. Die gestreuten Primärstrahlteilchen werden in der Ebene, die durch die beiden Strahlen definiert wird, mit Hilfe eines Langmuir-Taylor-Detektors (5) nachgewiesen. Ein zweiter Detektor (7) dient als Monitor für den Primärstrahl. Die Verwendung zweier Monitordetektoren hat außerdem zur Folge, daß zeitliche Schwankungen in den Strahlen eliminiert werden können.

Um den Absolutwert der Relativgeschwindigkeit genau messen zu können, sind beide Geschwindigkeits-selektoren symmetrisch aufgebaut, d. h. die Relation zwischen Drehzahl und Sollgeschwindigkeit ist unabhängig von der Drehrichtung des Selektors. Durch Messung der Geschwindigkeitsverteilung mit beiden

Drehrichtungen können sowohl Justierfehler des Selektors als auch Justierfehler des Atomstrahls bezüglich der Selektorachse erkannt und korrigiert werden.

Abb. 2 zeigt ein Beispiel für eine Messung des differentiellen Streuquerschnittes. Aufgetragen ist $I(\theta) \sin \theta$ gegen den Winkel θ im Schwerpunktsystem. Man erkennt deutlich sechs sehr gut aufgelöste Regenbogenmaxima; man erkennt ferner die überlagerten Interferenzen kleinen Winkelabstandes. Daß diese Interferenzen nicht so gut aufgelöst sind wie die Regenbogenextrema, liegt an der endlichen Winkelauflösung der Apparatur, die bei diesen ersten Experimenten aus Intensitätsgründen nur $0,45^\circ$ beträgt. Bei einem Winkelabstand von $0,7$ bis $0,9^\circ$, der sich bei den Interferenzoszillationen ergibt, wirkt sich die Winkelauflösung natürlich stark auf die Interferenzen aus, während die Regenbogenstruktur hiervor praktisch unbeeinflusst bleibt.

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung dieser Arbeit.

Influence of Bragg Reflection on Thermal Diffuse Scattering of Electrons in Si Single Crystals

D. PETER and G. MEYER-EHMSSEN

Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg,
Germany

(Z. Naturforsch. **23 a**, 476—477 [1968]; received 7 February 1968)

A variation of thermal diffuse scattering intensity is observed when the diffraction condition of the incident beam is varied. This indicates that the interaction potential between electrons and lattice vibrations is periodic within the crystal.

In two recent papers^{1, 2} one of the authors has reported experiments on the influence of thermal lattice vibrations on anomalous absorption of electrons in Si and Ge crystals. It was shown that an increase of crystal temperature leads to an increase of the absorption parameters μ_0 and μ_h (see also³) and it was concluded that thermal diffuse scattering is one of the causes of anomalous absorption. Observations of diffraction contrast in energy selecting microscopes⁴⁻⁶ led to the same conclusion. This can be understood by the assumption⁷ that the interaction potential between electrons and thermal lattice vibrations is peaked around the atomic lattice sites. In the present paper absolute intensity measurements of thermally scattered electrons shall be described which show this fact more directly.

Experiments

The following experimental arrangement was used. A nearly parallel beam of 70 keV electrons enters a platelike perfect Si single crystal (thickness 1200 Å, preparation see⁸) which is tilted continuously through the (2, 2, 0) diffraction condition, the tilting axis being parallel to the (2, 2, 0) lattice planes. Accidental reflections are avoided largely by suitable crystal orientation. During the tilt the intensities of the transmitted beam and of the electrons scattered quasielastically (energy losses < 3 eV) into some special directions of the background are recorded, the energy analysis being performed by a filter lens⁹.

The directions of observation chosen in the experiments are indicated in the schematic diffraction pattern of Fig. 1: Besides of the transmitted beam (a) the background intensity has been recorded in directions where the scattered electrons fulfill either the same diffraction condition as the primary beam (b) or the same as the (2, 2, 0) reflected beam (c) or no diffraction condition (d). These directions have been chosen so that none of the weakly excited Bragg reflections enter the slit.

The intensities measured in the cases a) — d) are plotted in Fig. 1 as full lines in units of the incident intensity I_0 vs the angle of incidence θ of the primary beam. In the cases b) and d) results for 500 and 750 °K are given. These indicate an increase of back-

¹ G. MEYER, Phys. Letters **20**, 240 [1966].

² G. MEYER, Z. Naturforsch. **21 a**, 1489 [1966].

³ M. J. GORINGE, Phil. Mag. **14**, 93 [1966].

⁴ R. CASTAING, A. EL HILL, and L. HENRY, C. R. Acad. Sci. **262 B**, 1051 [1966].

⁵ S. L. CUNDY, A. J. F. METHERELL, and M. J. WHELAN, Phil. Mag. **14**, 623 [1967].

⁶ A. EL HILL, J. Microscopie **6**, 725 [1967].

⁷ H. YOSHIOKA and Y. KAINUMA, J. Phys. Soc. Japan **17**, Suppl. B-II, 134 [1962].

⁸ I. GRAMBOW, Z. Physik **187**, 187 [1965].

⁹ K. BRACK, Z. Naturforsch. **17 a**, 1066 [1962].