

BROWNSche Bewegung (BB)

Betreuer: DIPL. PHYS. R. STÜBNER*
Raum: PHY D 115
Beginn: 11:10 Uhr

1 Ziel und Aufgabenstellung

Infolge von naturgesetzlichen Schwankungserscheinungen besteht für jede physikalische Größe – auch bei Ausschaltung jeglicher äußerer Störungen – bei vorgegebener Messzeit eine untere Grenze für die kleinste noch nachweisbare Änderung. Am Beispiel der BROWNSchen Bewegung sollen Ursachen solcher Schwankungen erkannt und die resultierenden Bewegungen quantitativ untersucht werden. Ziel dieses Versuches ist die Bestimmung des Diffusionskoeffizienten der gegebenen Kombination Kügelchen – Flüssigkeit und des Radius der verwendeten Kügelchen. Die Konstanz des von der Theorie gegebenen Diffusionskoeffizienten für verschiedene Zeitintervalle ist nachzuweisen.

2 Theorie

Machen Sie sich mit der zugrundeliegenden Theorie vertraut! Einige Literaturhinweise finden Sie weiter unten, weitere sind in der SLUB sowie im Internet vorhanden. Versuchen Sie zu verstehen, was der Diffusionskoeffizient ist.

3 Experimente

Beim Mikroskopieren sind unbedingt folgende Hinweise zu beachten!

- Um beim Scharfstellen Objektiv und Objekt nicht zu beschädigen oder zu zerstören, muß man das Objektiv stets vom Objekt wegbewegen! Wird das Objektiv auf das Objekt zubewegt, so muß deren gegenseitiger Abstand beobachtet werden! (Nur wenige Objektive sind durch einen Federmechanismus in gewissen Grenzen gegen solche Beschädigungen geschützt.)
- Wie bei allen optischen Geräten dürfen die vergüteten optischen Flächen nicht mit bloßen Fingern berührt werden.

*Raum: PHY C 209, Telefon: (0351) 463-34343, E-Mail: ronald.stuebner@physik.tu-dresden.de

- Linsensysteme (Objektive, Okulare) dürfen nicht auseinandergenommen werden.
- Arbeiten mit hoher Vergrößerung und Dunkelfeldbeleuchtung erfordern eine sehr gute Justierung des Beleuchtungsstrahlengangs. Die sorgfältige Befolgung der am Arbeitsplatz ausliegenden Anleitung zum Einrichten des Mikroskops unter Beachtung der Reihenfolge ist Voraussetzung für das Gelingen des Versuches.

3.1 Präparation

Das Präparat besteht aus einer dünnen Schicht einer Suspension mikroskopischer Kügelchen (Latex), die zwischen einen Objektträger und ein Deckgläschen gebracht wird.

3.2 Vergrößerung V'_M

Da die direkte Messung der Verschiebung X sehr schwierig ist, setzt man in der Regel vergrößernde optische Hilfsmittel ein. Deren Vergrößerung muss berücksichtigt werden, um aus der gemessenen vergrößerten Verschiebung die reale Verschiebung zu berechnen. Die Vergrößerung der Anordnung wird zweckmäßig bei Hellfeldbeleuchtung bestimmt. Dazu wird eine Strichplatte (Strichabstand 0,01 mm) in den Strahlengang gebracht und mit dem Objektiv mit der größtmöglichen Vergrößerung scharf eingestellt. Anschließend wird die Videokamera so über dem Okular justiert, dass auf dem Bildschirm ein deutliches Abbild der vergrößerten Strichplatte erscheint. Mit einer Millimeterfolie wird der Strichabstand gemessen und die Vergrößerung V'_M bestimmt.

3.3 Beobachtung der BROWNSchen Bewegung

Das Licht einer Mikroskopierleuchte fällt in den Dunkelfeldkondensator des Mikroskops ein. Die BROWNSche Bewegung der kleinen Kügelchen wird mit Hilfe eines hochvergrößernden Mikroskops mit Immersionsobjektiv beobachtet. Nachdem man die Videokamera wieder justiert hat und auf dem Fernsehschirm die BROWNSche Bewegung deutlich zu erkennen ist, legt man eine Millimeterfolie auf. Von den sich bewegenden Teilchen wählt man ein gut sichtbares etwa aus der Mitte des Sichtfeldes aus und markiert dessen Position in gleichen Zeitabständen mit einem Stift. Alle derart ermittelten Punkte sind sofort fortlaufend zu nummerieren. (Es sind mehrere solcher Meßreihen aufzunehmen!)

In jedem Zeitintervall τ hat das Teilchenbild eine statistisch unterschiedliche Strecke zurückgelegt. Die Projektionen dieser Strecken auf die beiden Achsenrichtungen sollen x_τ bzw. y_τ genannt werden. Daraus bildet man die Mittelwerte $\overline{x_\tau^2}$ und $\overline{y_\tau^2}$ der Quadrate der Projektionen aller in den Zeitintervallen τ zurückgelegten Teilstrecken. Die Bewegung des Teilchens erscheint zunächst völlig regellos. Die Theorie der statistischen Schwankungen nach A. EINSTEIN und M. VON SMOLUCHOWSKI zeigt jedoch, dass die Größe

$$D = \frac{1}{2\tau} \overline{\left(\frac{x}{V'_M}\right)^2} \quad (1)$$

der sogenannte Diffusionskoeffizient, bei konstanter Temperatur für die vorhandene Kombination Kügelchen–Flüssigkeit eine Konstante ist. (Da die Lage der Achsen x und y völlig willkürlich ist – es gibt in der x - y -Ebene keine Vorzugsrichtung –, kann für die x^2 der Mittelwert aus allen x_τ^2 und y_τ^2 eingesetzt werden.) D hängt nicht von der willkürlichen Wahl von τ ab, der Ausdruck $\overline{x_\tau^2}/\tau$ muß bei Variationen von τ konstant bleiben (siehe Theorieteil). Diese Tatsache läßt sich zur Kontrolle der durchgeführten Messreihen benutzen. Dazu bildet man aus den Messpunkten die Größen

$$\overline{x_{2\tau}^2}, \overline{x_{3\tau}^2}, \dots, \overline{x_{n\tau}^2} \quad .$$

Bei hinreichend genauer und umfangreicher Ausmessung der statistischen Bewegung der herausgegriffenen Teilchen (alle Kugeln besitzen den gleichen Radius) muß dann der Zusammenhang

$$\frac{\overline{x_\tau^2}}{\tau} = \frac{\overline{x_{2\tau}^2}}{2\tau} = \frac{\overline{x_{3\tau}^2}}{3\tau} = \dots = \frac{\overline{x_{n\tau}^2}}{n\tau}$$

erfüllt sein. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen ist es ausreichend, wenn man die Konstanz bis $n = 3$ überprüft.

3.4 Teilchenradius

Bestimmen Sie mit Hilfe der EINSTEIN-SMOLUCHOWSKI-Gleichung (Gleichung 2) den Radius der Latex-Kügelchen.

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} = \frac{\overline{X^2}}{2\tau} \tag{2}$$

4 Fragen zum Experiment

- Erklären Sie die BROWNSche Bewegung. Überlegen Sie sich, wieso die BROWNSche Bewegung die Steigerung der Empfindlichkeit einer Waage bzw. eines Galvanometers beschränkt.
- Wie ist ein Mikroskop aufgebaut? Zeichnen Sie den Strahlengang. Wie ist die Vergrößerung eines Mikroskops definiert?

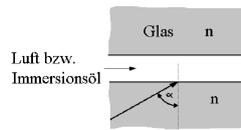


Abbildung 1: Spalt zwischen Glasplatten

- Wie wirkt ein Dunkelfeldkondensor?
- Überlegen Sie sich den Strahlenverlauf für den Fall $n \sin \alpha > 1$, wenn sich a) Luft oder b) Immersionsflüssigkeit ($n_I \approx 1,5$) zwischen zwei Glasplatten ($n = 1,5$) befindet (siehe Abb. 1).
- Ein Objekt wird zuerst ohne, dann mit Immersionsflüssigkeit zwischen Objekt und Objektiv betrachtet. Ändert sich die Vergrößerung? (Objektiv besitzt eine Planfläche an der Eintrittsseite).
- Weshalb verwendet man bei der Beobachtung der BROWNSchen Bewegung Dunkelfeldbeleuchtung?
- Kann man die Teilchen auch sehen, wenn sich
 1. zwischen Kondensor und Präparat oder
 2. zwischen Präparat und Objektiv
 keine Immersionsflüssigkeit befindet?
- Unter welchen Bedingungen lassen sich zwei Messreihen, die nicht von dem selben Teilchen aufgenommen wurden, miteinander kombinieren?
- Im Experiment werden mehrere Kügelchen verfolgt. Welchen Einfluß hat eine Streuung des Durchmessers dieser Kügelchen?
- Wie wirkt sich eine Strömung der Einbettungsflüssigkeit auf die Bestimmung der BOLTZMANNkonstanten aus? Wodurch kann eine solche Strömung zustande kommen? Warum stören im Präparat eingeschlossene Luftblasen?
- Warum soll die Wärmestrahlung vor Eintritt in das Präparat absorbiert werden? Wie könnte man experimentell feststellen, ob die verbleibende Wärmestrahlung noch stört?
- Was versteht man unter Suspension und Sedimentation? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Moleküldichte und potentieller Energie der Teilchen in einem Sedimentationsgleichgewicht? Was besagt das BOLTZMANNsche Theorem?

Literatur

- [1] G. JOOS: *Lehrbuch der Theoretischen Physik*, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig (1959).
- [2] B. M. JAWORSKI, DETLAF, A. A.: *Physik griffbereit*, Akademie-Verlag, Berlin (1973).

- [3] A. EINSTEIN: *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*, Annalen der Physik **322**, Seiten 549–560 (1905)

Weiterführend

- [4] E. NELSON: *Dynamical Theories of Brownian Motion*,
<http://www.math.princeton.edu/~nelson/books/bmotion.pdf>