Experimentalphysik III - Studiengang Medizinphysik an der TU Dortmund

Aus dem Modulhandbuch

2	**Lehrveranstaltungssprache:** Deutsch
3	**Lehrinhalte** **Transportphänomene**: Hydrodynamik, Wärme- und Stofftransport, Diffusion **Phänomene der Quanten- und Atomphysik**: Grenzen der klassischen Physik, Atommodelle, Wellen und Teilchen, Unschärfeprinzip, Die Schrödingergleichung, Das Wasserstoffatom, Der Aufbau der Elektronenhülle der Elemente, Die chemische Bindung, Die allgemeine Struktur der Quantenmechanik **Kern- und Elementarteilchenphysik:** Der Atomkern, Radioaktive Strahlung, Das Standardmodell der Teilchenphysik
4	**Kompetenzen** Die Studierenden sind mit den in den Lehrinhalten genannten Phänomenen und Gesetzmäßigkeiten der klassischen Physik und einfacher Teilgebiete der modernen Physik vertraut und können diese anwenden, d.h. sie können Erscheinungen der Physik einordnen und Zusammenhänge zwischen diesen herstellen.

1. Transportphänomene

konzeptionell ähnliche Vorgänge: Wärmeleitung, Diffusion, Viskosität

Wärmeleitung (1-dimensional)

Bei Temperaturdifferenz Δ*T* wird die Leistung *P* (Energie *W* pro Zeiteinheit) durch eine Fläche *A* über eine Länge Δ*x* übertragen:

$$P = \dot{W} \sim \frac{A}{\Delta x} \Delta T$$

$$\boxed{\dot{W} = -\lambda \frac{A}{\Delta x} \Delta T} \qquad [\lambda] = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}$$

λ: Wärmeleitfähigkeit z.B.

Kupfer	390 W/(m K)
Aluminium	230 W/(m K)
Wasser	0,6 W/(m K)
Luft	0,03 W/(m K)

Die Werte hängen von der Temperatur ab

Wärmeleitung

Transport von Wärme
(Energiestromdichte)
Temperaturgradient

$$\boxed{j_W = \frac{\dot{W}}{A} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}}$$

$$[\lambda] = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{K}} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}$$

Wärmeleitfähigkeit

Diffusion

Transport von Teilchen
(Teilchenstromdichte)
Dichtegradient

$$\boxed{j = -D \cdot \frac{dn}{dx}}$$

$$[D] = \frac{1}{\mathrm{m}^2\mathrm{s}}\frac{\mathrm{m}^4}{} = \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$$

Diffusionskonstante

Viskosität

Transport von Impuls
(Impulsstromdichte)
Geschwindigkeitsgradient

$$\boxed{\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\dot{p}}{A} = -\eta \cdot \frac{dv_\perp}{dx}}$$

$$[\eta] = \mathrm{Pa}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m/s}} = \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{s}$$

Viskosität

Allgemein (bei Gasen)

Strom einer physikalischen Größe (Wärmeenergie, Teilchenzahl, Impuls) entsteht, weil ihr Gradient bewirkt, dass Atome oder Moleküle von einer Seite mehr von dieser Größe herantragen als von der anderen Seite. Betrachte ein Gas mit mittlerer freier Weglänge l, Teilchendichte n_0 und mittlerer Geschwindigkeit v_0 bei $x = x_0$.
Teilchenstrom durch eine Fläche bei x_0

von links: $$j_{links} = \frac{1}{6} n_{links} \cdot v_{links} \approx \frac{1}{6}\left(n_0 - l \cdot \frac{dn}{dx}\right) \cdot \left(v_0 - l \cdot \frac{dv}{dx}\right)$$

von rechts: $$j_{rechts} = \frac{1}{6} n_{rechts} \cdot v_{rechts} \approx \frac{1}{6}\left(n_0 + l \cdot \frac{dn}{dx}\right) \cdot \left(v_0 + l \cdot \frac{dv}{dx}\right)$$

Differenz bei konstanter Geschwindigkeit

$$j = j_{links} - j_{rechts} = \frac{1}{6} v_0 \left\{ \left(n_0 - l \cdot \frac{dn}{dx} \right) - \left(n_0 + l \cdot \frac{dn}{dx} \right) \right\} = -\frac{1}{3} v_0 \cdot l \cdot \frac{dn}{dx}$$

$$j = -D \cdot \frac{dn}{dx} \quad \rightarrow \quad \boxed{D = \frac{1}{3} v_0 \cdot l}$$ **Teilchenstromdichte mit Diffusionskonstante *D***

Differenz bei konstanter Teilchendichte

$$j = j_{links} - j_{rechts} = \frac{1}{6} n_0 \left\{ \left(v_0 - l \cdot \frac{dv}{dx} \right) - \left(v_0 + l \cdot \frac{dv}{dx} \right) \right\} = -\frac{1}{3} n_0 \cdot l \cdot \frac{dv}{dx}$$

Viskosität: *v* konstant, aber Impulse senkrecht zu *x* verschieden

$$m \cdot \bar{v} \cdot j = -\frac{1}{3} \cdot m \cdot \bar{v} \cdot n_0 \cdot l \cdot \frac{dv_\perp}{dx}$$

$\bar{v}$: mittlere ungeordnete Geschwindigkeit

$$\sigma = m \cdot \bar{v} \cdot j = -\eta \cdot \frac{dv_\perp}{dx} \quad \rightarrow \quad \boxed{\eta = \frac{1}{3} m \cdot \bar{v} \cdot n_0 \cdot l}$$ **Impulsstromdichte mit Viskosität *η***

Wärmeleitung: Temperaturgradient, Energie pro Freiheitsgrad *f* variiert mit *x*

$$\frac{1}{\bar{v}} \frac{d\bar{v}}{dx} = \frac{1}{2T} \frac{dT}{dx}$$ wegen kin. Gastheorie $\bar{v} \propto \sqrt{T}$ $\left(\text{z.B. } \bar{v} = a \cdot T^{1/2} \text{ in } \frac{d\bar{v}}{dx} = \frac{d\bar{v}}{dT} \frac{dT}{dx} \text{ einsetzen} \right)$

$$\frac{f}{2} kT \cdot j = -\frac{1}{3} \cdot \frac{f}{2} k \cdot T \cdot n_0 \cdot l \cdot \frac{d\bar{v}}{dx} = -\frac{f}{6} k \cdot T \cdot n_0 \cdot l \cdot \frac{\bar{v}}{2T} \cdot \frac{dT}{dx} = -\frac{f}{12} k \cdot \bar{v} \cdot n_0 \cdot l \cdot \frac{dT}{dx}$$

$$j_W = -\lambda \cdot \frac{d\bar{v}}{dx} \quad \rightarrow \quad \boxed{\lambda = \frac{f}{12} k \cdot \bar{v} \cdot n_0 \cdot l}$$ **Energiestromdichte mit Wärmeleitfähigkeit *λ***