

Klassische Physik 1

Johannes Bümer

WS 2014/15

V26 03. Februar 2015

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Klausur

- 19. Februar 2015, 8:00 – 10:00 Uhr
- Orte: Hörsaal am Fasanengarten (Geb. 50.35),
Daimler-Hörsaal (Geb. 10.21),
Hörsaal Neue Chemie (Geb. 30.46)
(genaue Aufteilung wird noch bekannt gegeben)
- Keine Hilfsmittel (Aufgaben kopfrechenbar)
- Anmeldung: <https://studium.kit.edu>
 1. Vorleistung: **bis 6. Februar**
(Ein paar Tage warten bis Bestätigung eintrifft,
spätestens 8. Februar sollte Bestätigung da sein)
 2. Klausur: **bis 12. Februar**
(Geht nur nachdem Vorleistung bestätigt wurde)

Zusammenfassung von v25

- **Oberflächenspannung** $F = 2\gamma l + mg$ l = eff. Länge des abreißenden Oberflächenfilms
 $\uparrow$

Kapillareffekt $h = \frac{2\gamma \cos \theta_k}{\rho r g}$
 $\uparrow$

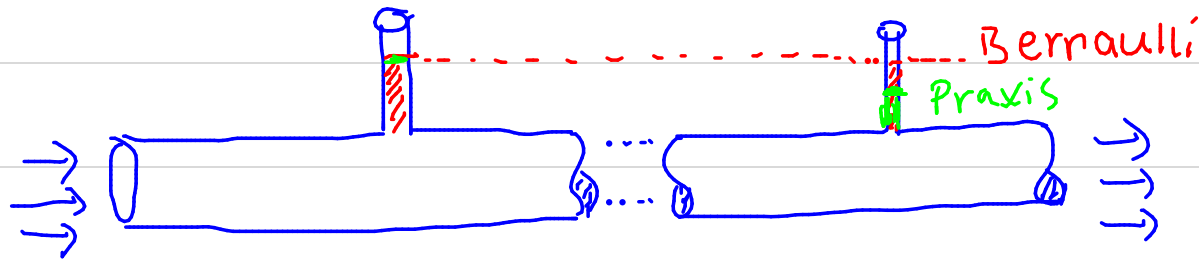
- **Kontinuitätsgleichung** $\dot{V} = Av = \text{konst.}$
Inkompressible Flüssigkeit $\rightarrow$ Volumenstrom erhalten

- **Bernoulli-Gleichung** $P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konst.}$
 $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
statischer Druck (Außendruck) Schweredruck dynamischer Druck

Grenzen der Bernoulli-Gleichung:

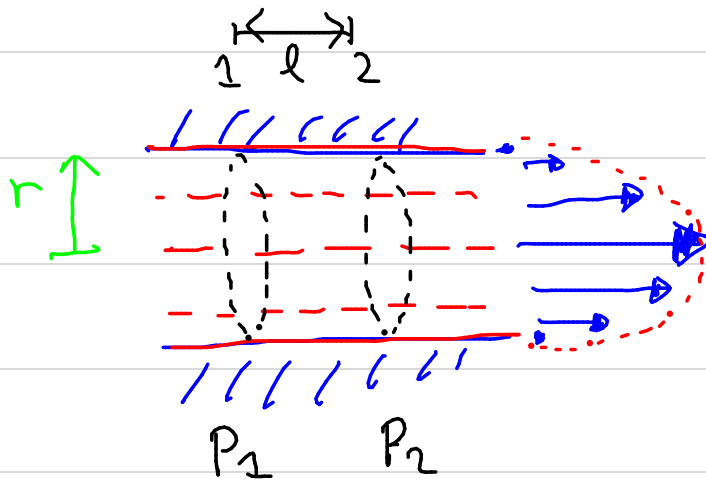
- Innere Reibung vernachlässigt (Energiebilanz komplex, Viskosität)
 - Gase sind kompressibel ($\rho \neq \text{konst.}$)
 - Turbulenzeffekte ...
- ⇒ eher für qualitative Untersuchungen geeignet

- Viskose Strömung : Innere Reibung der Fluid-Teilchen!



Druckabfall in Strömungsrichtung
 ↳ Innere Reibung der Fluidteilchen
 und Haftung an der Wand

„Viskosität $\hat{=}$ Zähigkeit“



$v(r)$: 0 $\simeq$ an Grenzschicht
 max. in der Mitte

$\sim$ Quadratischer
 Verlauf von v

Druckabfall über Länge l in Röhre

mit Radius r :

Volumenstrom $\dot{V} = A \cdot v$

$$\textcircled{*} \Delta p = p_1 - p_2 = \dot{V} \cdot \underline{R}$$

$\underline{R}$ „Strömungswiderstand.“

$$R = f(r, l, \eta)$$

η „Viskosität“

η definiert durch

die Scherkraft zwischen Flächen A im Abstand d ,
um eine Geschwindigkeit v zu erzielen:

$$F = \eta \cdot \frac{v \cdot A}{d}$$

$$[N \cdot s / m^2 = Pa \cdot s]$$

nicht für turbulente
Strömung

Blut: $\eta = 4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ $\Leftarrow \eta = \eta(r)$

Glycerin: $10^4 \text{ mPa}\cdot\text{s} @ 0^\circ\text{C}$

$81 \text{ mPa}\cdot\text{s} @ 60^\circ\text{C}$

„Gesetz
von
Hagen-
Poiseuille“

Wasser: $1 \text{ mPa}\cdot\text{s} @ 20^\circ\text{C}$

Luft: $0,02 \text{ mPa}\cdot\text{s} @ 20^\circ\text{C}$

Für $\odot$ gilt der Strömungswiderstand:

$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$



$$\Delta P = \frac{8\eta l \dot{V}}{\pi r^4}$$

$\Delta P \propto \frac{1}{r^4}$ drastische
Abhängig-
keit

• Turbulente Strömung

$v > v_{\text{krit.}}$: Wirbelbildung, chaotisches Verhalten
„Abreißen“ von Strömungslinien

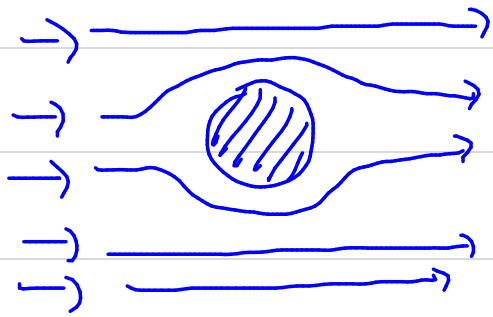
Kennzahl :
$$Re = \frac{2 r \rho \cdot v}{\eta}$$
 Reynolds-Zahl

$Re \lesssim 2000$: laminare Strömung

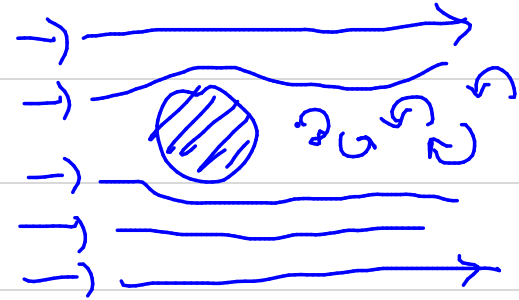
$Re \gtrsim 3000$: turbulente Strömung

dazwischen : „instabil“

Laminare Strömung:



turbulente Strömung:



größter Strömungswiderstand im instabilen
Grenzbereich zwischen laminarer und
turbulenter Strömung

⇒ Turbulenz kann besser sein:
rauer Golfball fliegt weiter!

Luftwiderstandskraft: $\underline{F_L} = \frac{1}{2} C_w \cdot \rho \cdot A \cdot \underline{v^2}$

ρ = Luftdichte

A = Querschnitt des Objekts

v = Geschw. Obj. - Luft

C_w = Widerstandsbeiwert des Objekts messen!

Kraft $F \propto v^2$

Leistung $P \propto F \cdot v \propto \underline{v^3}$!

$C_w = 0,9$ Radfahrer
 $0,3$ Auto

1. Einführung

- 1.1. Was ist Physik?
- 1.2. Physikalische Größen und Einheiten
- 1.3. Messungen, Datenauswertung, Fehler

2. Klassische Mechanik

- 2.1. Kinematik der Massenpunkte
- 2.2. Dynamik der Massenpunkte
- 2.3. Systeme von Massenpunkten
- 2.4. Rotation

3. Gravitation

- 3.1. Gravitationsgesetz
- 3.2. Feld und Potential

3.3. Planetenbahnen: Kepler

3.4. Massenverteilungen

3.5. Dunkle Materie

4. Relativistische Mechanik

4.1. Bezugssysteme und Transformationen

4.2. Spezielle Relativitätstheorie

4.3. Relativistische Kinematik

5. Feste Körper und Flüssigkeiten

5.1. Feste Körper

5.2. Hydrostatik und Hydrodynamik

6. Schwingungen und Wellen

6.1. Schwingungen

6.2. Wellen

Wellenausbreitung

1. Gekoppelte Schwingungen
2. Wellenausbreitung, - Phänomene, - gleichung
3. Gruppengeschwindigkeit
4. Fourierentwicklung, Spektralanalyse
5. Dopplereffekt, Akustik

Erinnerung an: Pendel

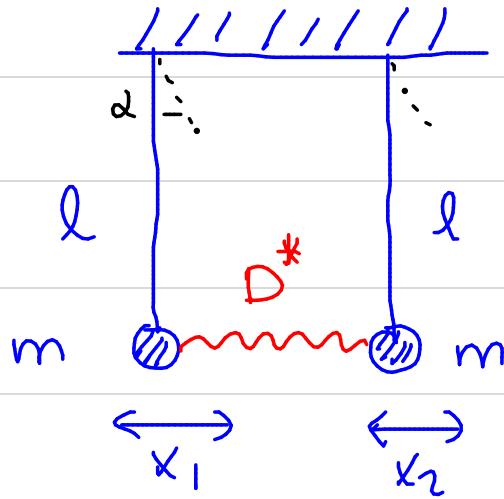
Federschwingungen

Erzwungene Schwingungen

Dämpfung

⋮

• Gekoppelte Schwingungen



2 gleiche Fadenpendel
(m, l) mit Koppelfeder

Federkraft nur von $x_1 - x_2$

abhängig, $= D^* \cdot (x_1 - x_2)$

muss zur bekannten Rückstellkraft
der Feder addiert werden:

$$\boxed{\frac{mg}{l}} \cdot x_1, \quad \boxed{\frac{mg}{l}} \cdot x_2$$

$\stackrel{!}{=} D$

$$\begin{cases} m \ddot{x}_1 = -D \cdot x_1 + D^* \cdot (x_2 - x_1) \\ m \ddot{x}_2 = -D \cdot x_2 - D^* \cdot (x_2 - x_1) \end{cases}$$

2 gekoppelte homogene lin. Dgl.

Ansatz: $X_1(t) = \underline{X_{10}} \cdot e^{\underline{i\omega t}}$

Ansatz erlaubt
nur eine Frequenz!

$X_2(t) = \underline{X_{20}} \cdot e^{\underline{i\omega t}}$

Amplitude

in Dgl. einsetzen: $m\omega^2 X_{10} - D \cdot X_{10} + D^* \cdot (X_{20} - X_{10}) = 0$

$m\omega^2 X_{20} - D \cdot X_{20} - D^* \cdot (X_{20} - X_{10}) = 0$

↳ Matrix-schreibweise:

$$\left(\begin{array}{c|c} m\omega^2 - D - D^* & D^* \\ \hline D^* & m\omega^2 - D - D^* \end{array} \right) \begin{pmatrix} X_{10} \\ X_{20} \end{pmatrix} = 0$$

System hat dann nicht-verschwindende Lösungen,
wenn die Determinante der Matrix = 0 ist.

d.h. wenn

$$(m\omega^2 - D - D^*)^2 - D^{*2} = 0$$

oder $(m\omega^2 - D - D^*) = \pm D^*$

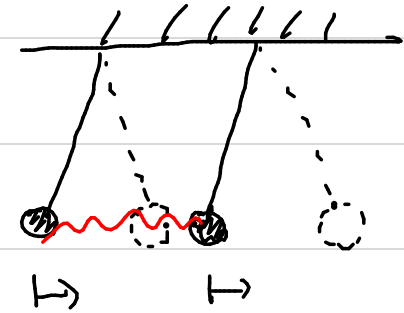
↳ 2 mögl. Werte für ω :

VZ-Wahl "-" $\rightarrow \omega_1$

VZ-Wahl "+" $\rightarrow \omega_2$

" - "

$$\omega_1^2 = \frac{D}{m} \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

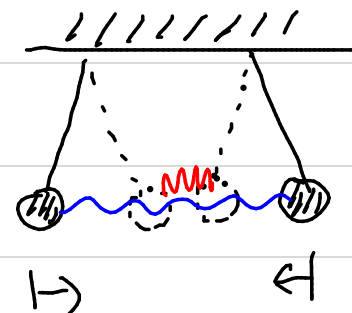


Gleiche Phase,
Feder hat keine Wirkung

" + "

$$\omega_2^2 = \frac{D + 2D^*}{m}$$

$$\Rightarrow \omega_2 = \sqrt{\frac{D + 2D^*}{m}}$$



gegenphasige
Schwingung

eng gefasster Ansatz liefert "nur" die beide Moden.

⇒ verschiedene Amplituden und Frequenzen zulassen:

$$\begin{cases} x_1(t) = x_{11} e^{i\omega_1 t} + x_{12} e^{i\omega_2 t} \\ x_2(t) = x_{21} e^{i\omega_1 t} + x_{22} e^{i\omega_2 t} \end{cases}$$