

Zwei neue Versuche für das Grundpraktikum

Ilja Rückmann

Universität Bremen

Bad Honnef 2012



Gliederung

- 1 Polytropenexponent
- 2 Drehimpulserhaltung

Gliederung

- 1 Polytropenexponent
- 2 Drehimpulserhaltung

Einführung

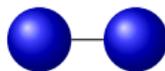
- Beispiele für adiabatische Zustandsänderung:
 - Aufpumpen eines Reifens
 - Entspannen einer Kohlendioxidpatrone
- nie ideale Wärmeisolation: Prozess zwischen adiabatisch und isotherm

$$pV^\kappa = \text{const}$$

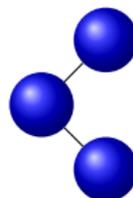
$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f+2}{f}$$



$f = 3$



$f = 5$



$f = 6$

Einführung

Energie pro mol und Freiheitsgrad

$$N_A \frac{kT}{2} = \frac{RT}{2}$$

spezifische Molwärme bei konstanten Volumen

$$C_V = f \frac{R}{2}$$

Wegen $R = C_p - C_V$ gilt $C_p = (f + 2) \frac{R}{2}$

Adiabatenkoeffizienten:

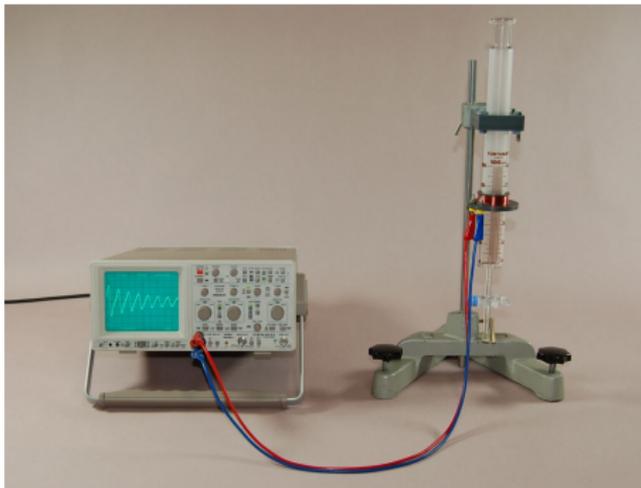
- einatomiges Gas (He, Ar, . . .): 1,66
- zweiatomiges Gas (Luft): 1,4
- dreiatomiges Gas (CO₂): 1,33

Klassische Versuche

- Clément-Desormes
 - relativ umständlich
 - 10l Volumen
 - beschränkt auf Luft
- Rüchardt
 - oszillierende Stahlkugel im Rohr
 - Leichtgängigkeit \leftrightarrow Dichtigkeit
 - 5-10l Volumen
 - beschränkt auf Luft

Experimenteller Aufbau

- Spritze mit Hahn, Kolben mit Neodymmagnet (Magnetvolumen kompensiert Restvolumen)
- Anschlagen des Kolbens führt zu Schwingungen
- Spule zur Messung der Induktionsspannung bei Bewegung des Kolbens
- Messung Schwingungsdauer



Füllvolumen: V_0 ($\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ des Kolbens)

$$\text{Druck: } p_0 = p_L + \frac{mg}{A}$$

Bereitstellung verschiedener Gase in gefüllten Luftballons (Ar, CO₂, He)

Theorie

Auslenkung x bewirkt Druckänderung Δp

Rücktreibende Kraft $F = A\Delta p$

$$2.NA: m \frac{d^2 x}{dt^2} = A\Delta p$$

Schwingungsgleichung und Periodendauer:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\kappa p_0 x A^2}{m V_0} = 0$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m V_0}{\kappa p_0 A^2}}$$

$$p = \frac{p_0 V_0^\kappa}{V^\kappa}$$

$$\frac{dp}{dV} = -\kappa \frac{p_0 V_0^\kappa}{V^{\kappa+1}}$$

Näherung: $|V - V_0| \ll V_0$

$$\text{und } \frac{\Delta p}{\Delta V} \approx \frac{dp}{dV}$$

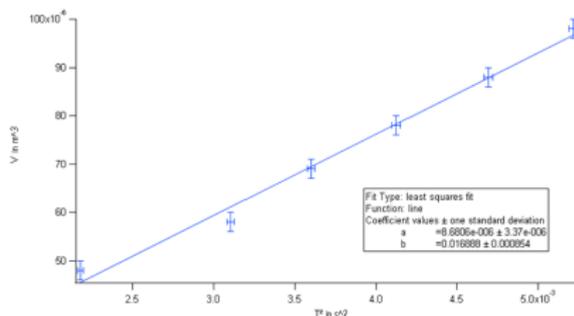
$$\text{und } \Delta V = Ax$$

$$\Delta p = -\frac{\kappa A x p_0}{V_0}$$

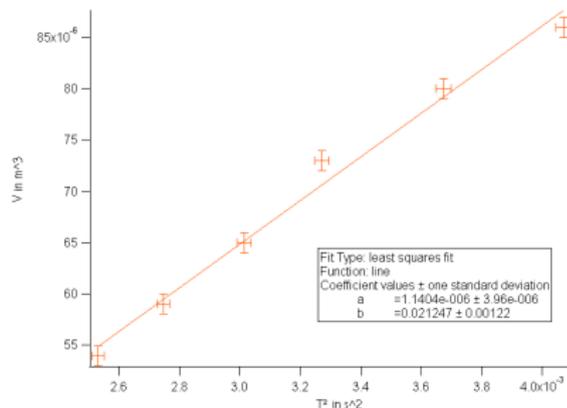
$$\text{Linearisierung: } V_0 = \frac{\kappa A^2 p_0}{4\pi^2 m} T^2$$

Messungen

- Messungen bei verschiedenen Füllvolumina V_0
- Geradenausgleich
- T -Messungen über mehrere Perioden / Cursorfunktion nutzen (T geht quadratisch ein)



$$\kappa_{\text{Argon}} = 1,71 \pm 0,15$$



$$\kappa_{\text{Luft}} = 1,37 \pm 0,15$$

Zusammenfassung

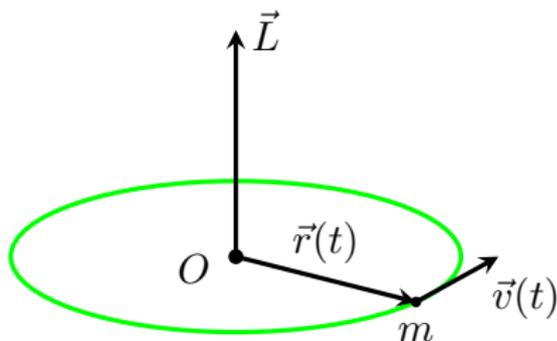
- einfacher und schnell durchzuführender Versuch
- gute Ergebnisse
- einfacher Gaswechsel (1 Luftballon reicht für ca. 5 Gruppen)

Gliederung

- 1 Polytropenexponent
- 2 Drehimpulserhaltung

Drehimpulserhaltung

- Planetenbewegung, Fahrradfahren, Pirouette, Elektronenbahn, Spin, Drehzahlregler, ...

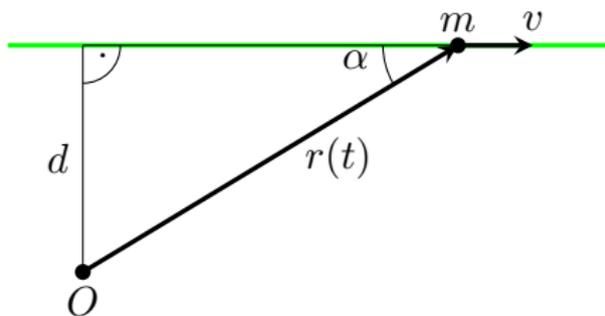


$$\vec{L} = m \vec{r}(t) \times \vec{v}(t)$$

$$L = m |\vec{r}(t)| |\vec{v}(t)| \sin \alpha$$

Erhaltung: $\vec{r} \times \vec{F} = \vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = 0$ bei $\vec{F} = 0$
 oder $\vec{F} \parallel \vec{r}$

Drehimpuls bei geradlinig gleichförmiger Bewegung



$$L = m |\vec{r}(t)| \cdot v \cdot \sin \alpha$$

$$L = m \cdot v \cdot d$$

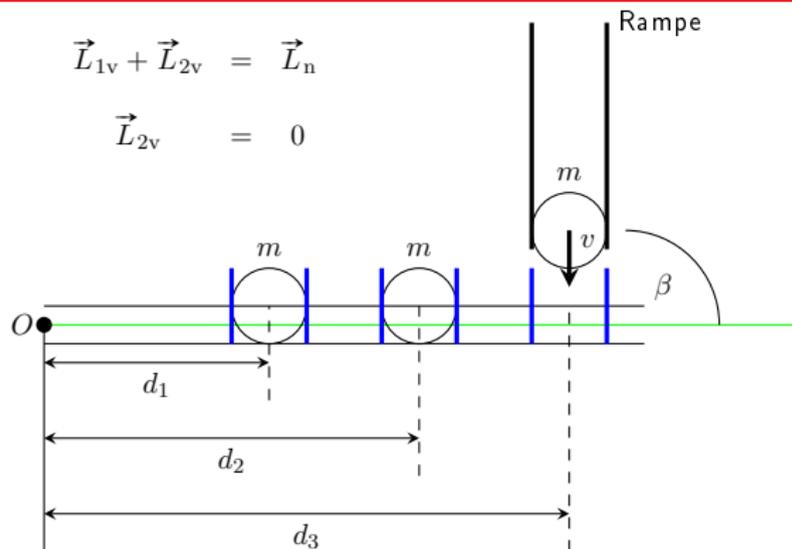
Drehimpuls:

- abhängig vom Bezugssystem
- keine reine Teilcheneigenschaft

Inelastischer Stoß Kugel-Arm

$$\vec{L}_{1v} + \vec{L}_{2v} = \vec{L}_n$$

$$\vec{L}_{2v} = 0$$

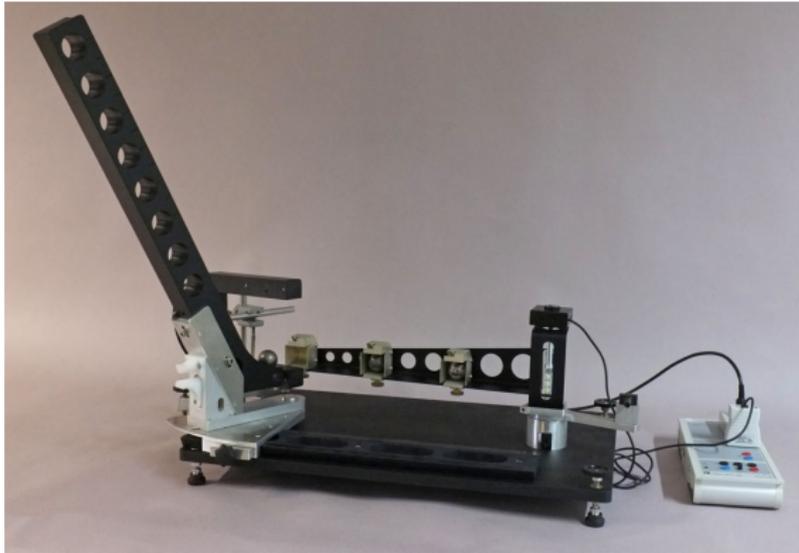


$L_{1v} = m \cdot d_i \cdot v$
 v -Messung mit einer
 Lichtschranke

$$\vec{L}_n = J_A \cdot \omega$$

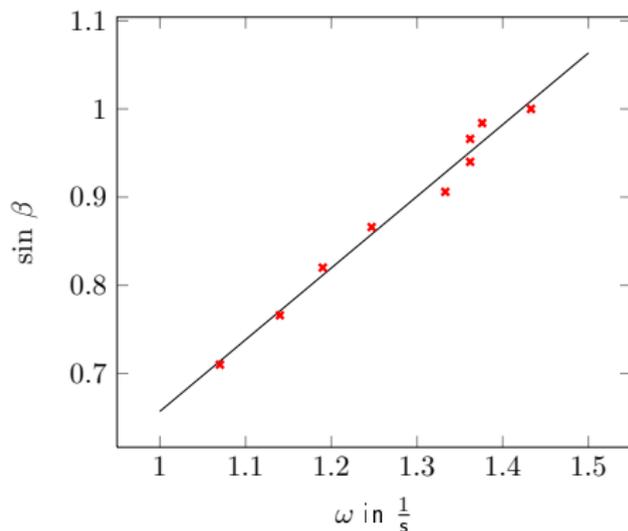
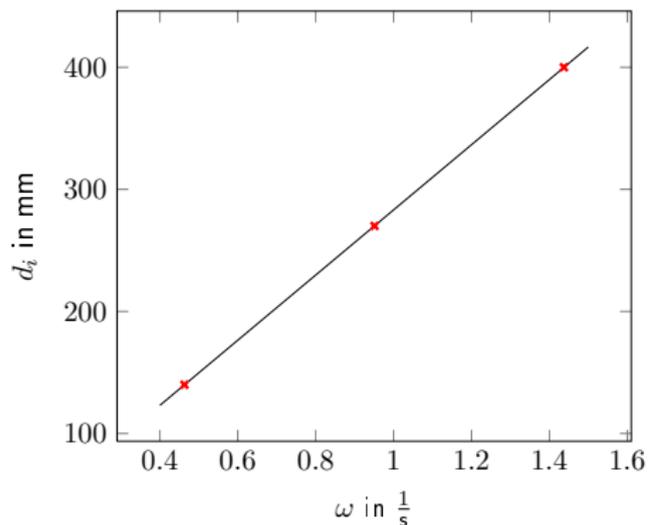
$$m \cdot d_i \cdot v \cdot \sin \beta = J_A \cdot \omega$$

Versuchsaufbau



- Rampe gerade auslaufend
 - v -Messung mit Lichtschranke
 - J_A -Arm besetzt mit drei Kugeln
-
- Drehwinkel über Zeit- bzw. ω -Messung mit Drehwinkelsensor und CASSY

Messergebnisse



$$v = 2,34 \pm 0,01 \text{ m/s}$$

Zusammenfassung

- sehr anschaulicher Versuch zur Drehimpulserhaltung beim inelastischen Stoß
- Drehimpuls bei geradlinig gleichförmiger Bewegung
- Messung von Winkelgeschwindigkeiten
- Komponentenzzerlegung
- Überprüfung von $m \cdot d_i \cdot v = J_A \cdot \omega$
- Bestimmung der Kugelmasse durch Drehimpulssatz und Wägung

Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio
und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio