

Klassische Physik 1

Johannes Bümer

WS 2014/15

V08 13. November

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



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

Zusammenfassung V07

- Newton'sche Axiome gelten nur in **Inertialsystemen!** [$\vec{v} = \text{const}$]

- Bewegungsgleichung**

$$\vec{F} = \dot{\vec{p}} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} + \underbrace{\frac{dm}{dt}}_{\substack{\text{wenig üblich, Bsp: beladener Güterzug, Rakete}}} \cdot \vec{v}$$

Kraft = zeitliche Impulsänderung

- Arbeit**

$$W = \int_S \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad \text{wirkende Kraft entlang } S$$

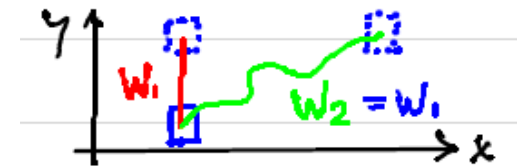
$W=0$ falls $\vec{F} \perp d\vec{s}$ „Führungskräfte“ leisten keine Arbeit

Bsp: Fadenkraft in Pendel, Normalkraft bei schiefer Ebene etc.

- Konservative Kräfte:**

W hängt nicht von Weg ab,
Gravitation, elektr. u. mag. Kraft

$$W_1 = W_2$$



- Nicht-konservative Kräfte:**

W hängt von Wegverlauf ab
Reibungskraft $W_1 \neq W_2$



- Leistung** $P = \frac{dW}{dt}$

2. Klassische Mechanik

2.1 Dynamik der Massenpunkte

- Newton'sche Axiome
- Impuls
- Energie
- Stoßgesetze
- Reibung
- Schwingungen (1)
- Drehbewegungen (2)
- Rotierende Bezugssysteme

Erhaltung von Energie und Impuls

■ Impuls

$$\left. \begin{aligned} \vec{p} &= m \cdot \vec{v} \\ \vec{F} &= \dot{\vec{p}} \end{aligned} \right\}$$

hier Folgerung:

$$\vec{F} = 0 \iff \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$$

$\Rightarrow$

$$\sum_i \vec{p}_i = \text{konst.}$$

„Wenn keine äußeren Kräfte auf ein System einwirken, ist der Impuls konstant.“

■ Energie

Die an einem System geleistete Arbeit „steckt winterher“ als Energie (Arbeitsvermögen) darin

Beschleunigter Körper: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$

kin. En.

Last anheben:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

pot. En.

gedehnter Feder:

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} k L^2$$

-||-

Aufgeladener Kondensator: $E_e = \frac{1}{2} C U^2$

elektr. En.

Magnetfeld in Spule:

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2$$

magn. En.

[Gesamtenergie von Körpern
der Masse m :

$$E = mc^2]$$

$$\sum E_i = \text{konst.}$$

Energieerhaltung

" In einem abgeschlossenen System bleibt
die Gesamtenergie konstant "

VERSUCH

zur Erhaltung von Energie u. Impuls

- Rakete
- Pendel

Raketengleichung

Was ist hier das "abgeschl. System"?

Raketenkörper + Gas!

Impulse: P_R = Rakete

P_G = Gas

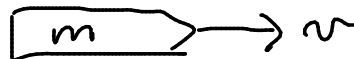
P = Gesamt, $P = P_R - P_G$

$m = m(t)$ Masse der Rakete inkl. restl. Treibstoff

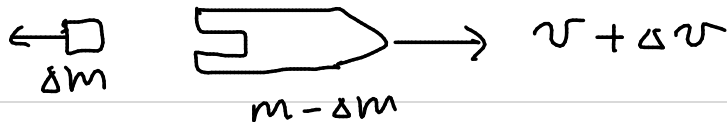
Zeitintervall Δt wird Masse Δm ausgestoßen:

$$P_G = \Delta m \cdot v_G$$

t :

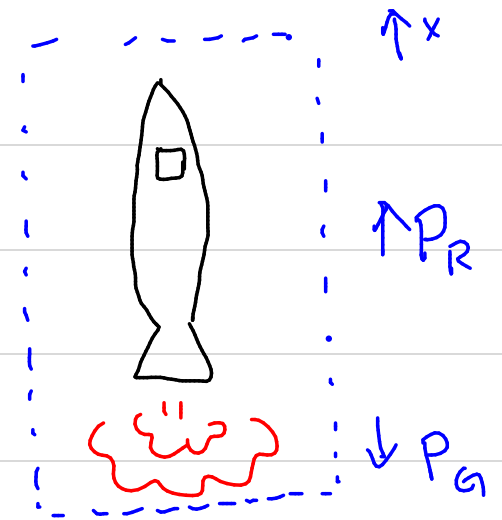


$t + \Delta t$:



$$-v_G + v + \Delta v$$

Impulsänderung ist null!



$$\Delta \vec{p} = 0 \Rightarrow m \cdot v = \Delta m \cdot (-v_G + v + \Delta v) + (m - \Delta m)(v + \Delta v)$$

$$\cancel{m} \cdot \cancel{v} = \underbrace{-\Delta m v_G}_{\text{}} + \cancel{\Delta m v} + \cancel{\Delta m \Delta v} + \cancel{m} \cdot \cancel{v} + \underbrace{m \Delta v}_{\text{}} - \cancel{\Delta m v} - \cancel{\Delta m \Delta v}$$

$$\Leftrightarrow 0 = -\Delta m v_G + m \cdot \Delta v$$

$$\begin{matrix} \Delta t \rightarrow dt \\ \Delta m \rightarrow dm \end{matrix}$$

$$\Rightarrow 0 = -dm v_G + m \cdot \underbrace{dv}_{\text{}}$$

$$\Rightarrow \int dv = \int_{\underbrace{m_0}_{\text{von}}}^{\underbrace{m_1}_{\text{leer}}} \frac{dm}{m} \cdot v_G$$

$$\Rightarrow \underbrace{v}_{\text{von}} = v_G \cdot \ln m \Big|_{m_0}^{m_1} = v_G \cdot (\ln m_1 - \ln m_0) = v_G \cdot \underbrace{\ln \left(\frac{m_1}{m_0} \right)}_{\text{„Massenverhältnis“}}$$

Endgeschwindigkeit $\propto$ Ausströmungsgeschwindigkeit

des Gases

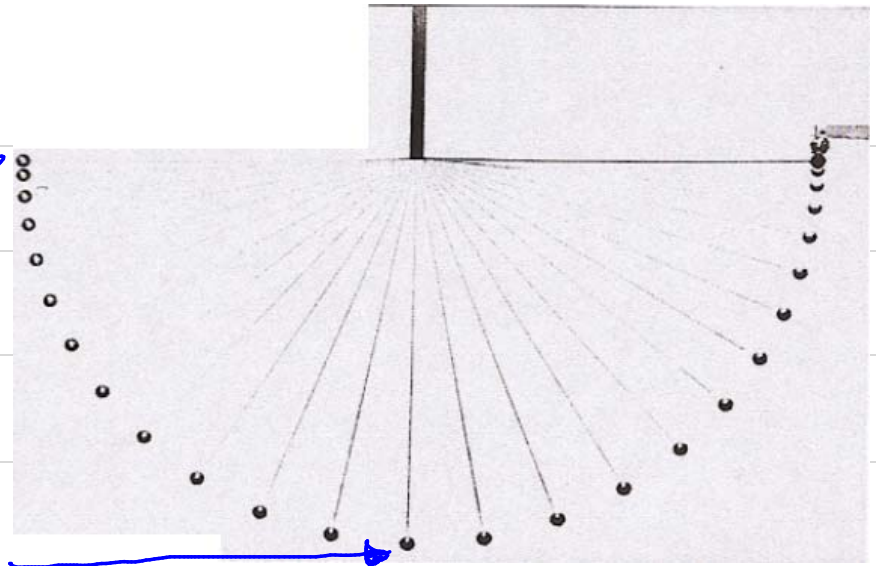
$$\propto \ln \left(\frac{m_1}{m_0} \right)$$

Pendel

mehrfach belichtete Photo
einer Pendelschwingung

Endhöhe
= Anfangshöhe
nur potentielle
Energie

max. Geschw.
im tiefsten Punkt
nur kinetische Energie



$$E_{\text{kin}} = E_{\text{pot.}}$$

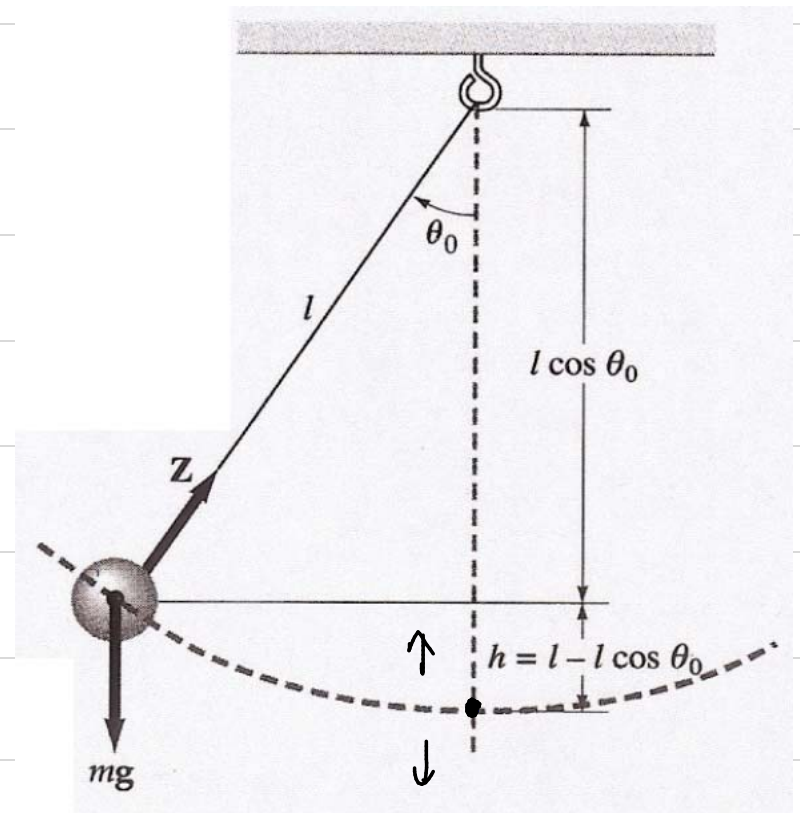
$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h$$

$$\Rightarrow \begin{cases} h = l(1 - \cos \theta_0) \\ v_{\text{max}}^2 = 2gh = 2gl(1 - \cos \theta_0) \end{cases}$$

$$\theta_0 = 90^\circ : h = l$$

$$\Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{2gh}$$

wie bei freiem Fall aus gleicher Höhe !!



Zugkraft im Faden am tiefsten Punkt:

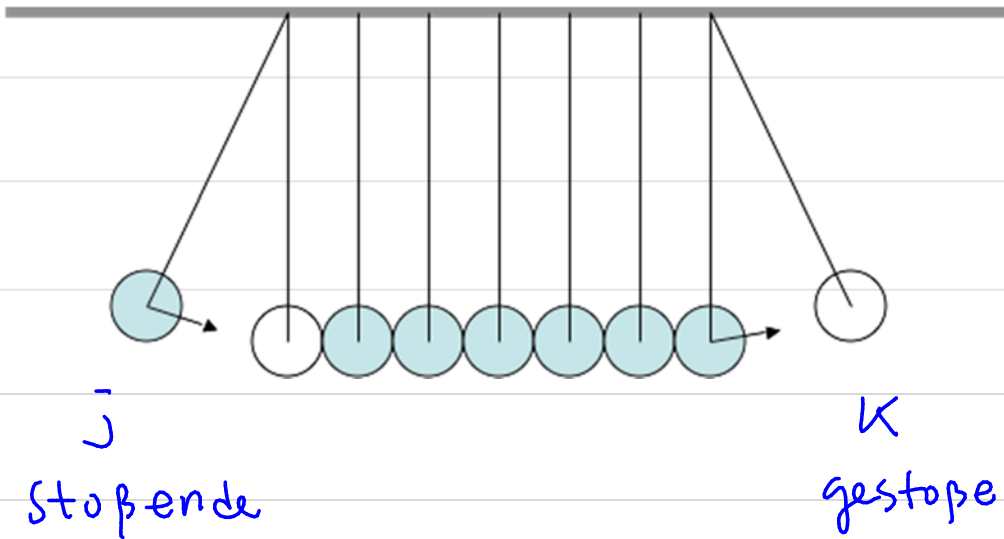
$$Z = \underbrace{mg}_{\text{Gewichtskraft}} + \underbrace{m \cdot \frac{v_{\max}^2}{l}}_{\text{Zentripetal-Beschl.}} \quad \text{Zentripetal-Kraft}$$

$$= mg + m \cdot \frac{2gl(1 - \cos\theta_0)}{l}$$

$$= mg + 2 \cdot mg(1 - \cos\theta_0)$$

Wieder $\theta_0 = 90^\circ \Rightarrow \underline{Z = 3 \cdot mg}$ "

■ Energie- und Impulssatz & Mehrfachpendel



m Kugelmasse

ideale elastische
Stöße

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot (j \cdot m) \cdot v^2 = E_{kin}' = \frac{1}{2} (k \cdot m) \cdot v'^2 \quad (1)$$

$$p = (j \cdot m) \cdot v = p' = (k \cdot m) \cdot v' \quad (2)$$

↑
Energiesatz, Impulssatz

$$\left. \begin{array}{l} (2) \rightarrow \frac{j}{k} = \frac{v'}{v} \\ (1) \rightarrow \frac{j}{k} = \frac{v'^2}{v^2} \end{array} \right\} \text{für alle } v \Rightarrow \left. \begin{array}{l} v' = v \\ \text{einsetzen in (2)} \end{array} \right\} \Rightarrow j = k$$

j, k hier ganzen Zahlen!

↳ Verallgemeinerung auf beliebige stoßende Massen & Geschw.

Stoßgesetze

■ Elastischer Stoß:

$E_{\text{kin}}^{\text{gesamt}}$ erhalten

→ keine Deformations-
Arbeit, etc.

In der Praxis: meist Mischformen!

$$\sum E_{\text{kin}} = \sum E_{\text{kin}}'$$

$$\sum p_i = \sum p_i'$$

vor

nach

Stoß

■ (völlig) Inelastischer Stoß:

Gemeinsame Bewegung
nach Stoß mit gleicher
Geschw.

$\Delta E_{\text{kin}} \rightarrow W_{\text{Deform.}}, \text{ Wärme} \dots$

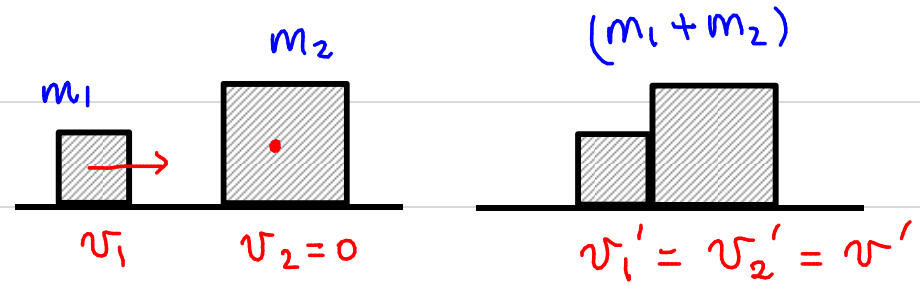
$$v_1' = v_2'$$

$$\sum p_i = \sum p_i'$$

VERSUCHE: 2 Wagen auf LKS

■ Inelastischer Stoß:

Impulssatz:



$$m_1 v_1 + m_2 \cdot 0 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'$$

$$\Rightarrow v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

umgewandelte Kin. Energie: $E_{\text{kin}}^{(1)} = E_{\text{kin}}^{(1+2)} + W_{\text{stop}}$

$\frac{1}{2} m_1 v_1^2$ $\frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2$

↑
v' einsetzen

$$W_{\text{stop}} = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 \left(1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) = E_{\text{kin}}^{(1)} \cdot \left(1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)$$

↳ 0 für $m_2 \gg m_1$

Bem. $W_{\text{stop}} \xrightarrow{\text{max.}} E_{\text{kin}}^{(1)}$ für $m_2 \gg m_1$

■ Elastischer Stoß:

Innere pot. Energie des Systems soll sich nicht ändern!

Energie- und Impulssatz:

$$\begin{array}{lcl} \textcircled{1} & \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 & \\ \textcircled{2} & m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' & \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 2 \text{ Gl.} \\ \text{mit} \\ 2 \text{ unbek.} \end{array}$$

Mehrdeutigkeit wg. quadr. Terme ...

$$\textcircled{1} \rightarrow m_1 (v_1^2 - v_1'^2) = m_2 (v_2'^2 - v_2^2)$$

$$\underbrace{m_1 (v_1 - v_1') (v_1 + v_1')} = \underbrace{m_2 (v_2' - v_2) (v_2' + v_2)} \left. \vphantom{\underbrace{m_1 (v_1 - v_1') (v_1 + v_1')}} \right\} \text{Div.}$$

$$\textcircled{2} \rightarrow \underbrace{m_1 (v_1 - v_1')} = \underbrace{m_2 (v_2' - v_2)}$$

$$v_1 + v_1' = v_2' + v_2$$

$\Rightarrow$

$$\boxed{v_1 - v_2 = - (v_1' - v_2')} \quad \textcircled{3}$$

Relativgeschw.
vor dem Stoß

Relativgeschw.
nach dem Stoß

