

Theoretische Physik Ib: Analytische Mechanik 7

VL SS2025, Dr. habil. Philipp Hövel

philipp.hoewel@uni-saarland.de, E2 6, Raum 4.03

VL: Di: 12-14 c.t. (12:15-13:45) E2 5, Hörsaal II/02
Do: 12-14 c.t. (12:15-13:45) E2 5, Hörsaal II/02 } 4h $\Rightarrow$ 6h

UE: Mi: 14:15-15:45 E2 6, 4.15, Start: 16.4.
Fr: 10:15-11:45 E2 6, 1.14 } Start: 11.4.
Fr: 12:15-13:45 E2 6, 2.21 }
(pünktliche Schluss)

2h $\Rightarrow$ 3h

TUT: Do: 14-16 (2 13:45-15:15) E2 5, Hörsaal II/02
optionales Angebot

6h $\Rightarrow$ 9h

Umfang: - 8 ECTS (B.Sc. Physik ...) $\Rightarrow$ 240h $\rightarrow$ 150h

Zeit außerhalb der Vorlesungstf. $\Rightarrow$ 10h/Woche

- Option b für Lehramt

Note: Klausurnote

Übungsblätter $\xrightarrow{\geq 50\%}$ Klausur $\xrightarrow{\geq 50\%}$ Bestanden
12 Blätter
(Di $\rightarrow$ Di)

Start Do: 10.4.

Stil: anspruchsvoll orientiert, anregend, schülerorientiert, aufbauend,
viele Hinweise rechts, links, oben, unten, vorne, hinten...

"Bergsteigen" & "Laurel"

Hilfsmittel: - VL-Notizen

- Glossar (individuell)

- Definitionen, Sätze ... formal

- Lehrbücher (s. Koolle)

2

0. Übersicht

Klassische Mechanik: • Bewegung von Körpern (**deteterministisch**, d.h. aus **Anfangsbedingungen** vorher berechenbar;
(vgl. Relativistische Mechanik, Quantenmechanik, Statistische Mechanik) **Kausal**, d.h. verursacht durch **Kräfte**)

• Grundlage der theoretischen Physik

↳ physikalische Grundbegriffe

↳ Paradigmen einer physikalischen Theorie

(mathematische - geometrische Strukturen der Dynamik)

• Fokus: - Symmetrien & Invarianzprinzipien

- geometrische Strukturen

- Nichtlineare Theorie

- Grundlage für andere Theorien

- Verallgemeinerte **kanonische** Formulierung

↳ **Lagrange** → Feldtheorien (z.B.: E-Dynamik, Relativitätstheorie)

↳ **Hamilton** → Quantenmechanik, statistische Mechanik

- Differenzialprinzip: **D'Alembert**

- Integralprinzip: **Hamilton**

1. Newtonsche Mechanik

3

1. Herangehensweise
2. Newtonsche Axiome
3. Galilei-Transformation
4. Weitere Folgerungen

1. Newtonsche Mechanik

1.1 Herangehensweise (des Pädels Kern)

Kinematik & Dynamik von Systemen von Massenpunkten
ohne Zwangsbedingungen

1.2 Newtonsche Axiome

- (I) Kräftefrei Körper bewegen sich geradlinig und gleichförmig
(lex prima / Trägheitsgesetz)
- (II) Beschleunigung: $\underline{a} := \frac{d}{dt} \underline{v} \sim \underline{F}$ Kraft $(\underline{F} = \dot{\underline{p}} \stackrel{m=\text{const.}}{=} m \underline{a})$
(lex secunda / Bewegungsgesetz)
- (III) actio = reactio
(lex tertia / Reaktionsgesetz)
- (IV) lineare Superposition von Kräften
(lex quarta / Superpositions-gesetz)

Impuls $\underline{p} = m \underline{v}$

Bem.: - Raum ist homogen & isotrop (3D, Euklidischer Raum) } nicht-relativistisch
- Zeit ist universell ("universelle" Synchronisationsmöglichkeit)

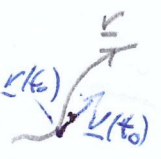
- Ereignis: $(\underline{x}, t) \in \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R}$

- dynamische Variable $\underline{r}(t)$: Bahnkurve / Trajektorie

$\underline{v}(t) := \frac{d}{dt} \underline{r}(t) \equiv \dot{\underline{r}}(t)$ Geschwindigkeit (Tangentenvektor)

- 1. Axiom $\Rightarrow$ Inertialsystem (def. durch kräftefreie Bewegung)

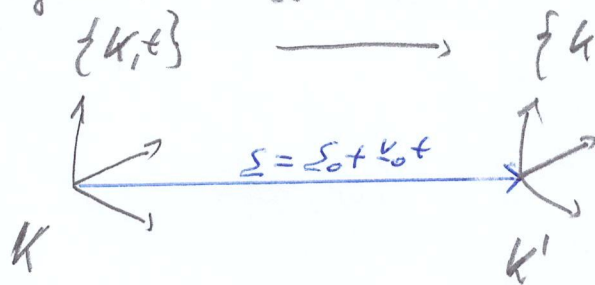
$\hookrightarrow$ Folgerung: Galilei-Transformation



1.3 Galilei-Transformationen (Folgerung aus (I))

9

- allgemeine Transformation zwischen 2 Inertialsystemen



$$\underline{r}(t) = \underline{R} \underline{r}'(t) + \underline{v}_0 t + \underline{x}_0 \quad \text{mit } \underline{R} : \text{Drehmatrix}$$

$$t = t' + t_0$$

$$\underline{\dot{r}}(t) = \underline{\dot{r}}'(t') + \underline{v}_0$$

Newton'sche Mechanik ist **forminvariant** gegenüber den **Galilei-Transformationen**
 ↳ **Galilei invariant**

1.4 Weitere Folgerungen

(II): $\underline{a} \sim \underline{F}$: Proportionalitätsfaktor: m : träge Masse

⇒ **Bewegungsgleichung**: $\underline{F}(\underline{r}, \underline{\dot{r}}, t) = m \frac{d^2 \underline{r}}{dt^2}$ (3 gekoppelte i.a. nichtlineare DGLs)
 eindeutige Lösung zu Anfangsbedingungen $(\underline{r}_0, t_0) : \underline{r}(t; \underline{r}_0, t_0)$

$$(III) \quad \underline{F}^{(12)} + \underline{F}^{(21)} = 0 \quad (\text{Achtung: Notation vertauschen in Brüchen})$$

$$\begin{array}{cc} \uparrow & \uparrow \\ \text{Kraft} & \text{Kraft} \\ \text{von 2 auf 1} & \text{von 1 auf 2} \end{array} \quad \left(\text{Matrixnotation} \quad \begin{pmatrix} \underline{F}^{(11)} & \underline{F}^{(12)} \\ \underline{F}^{(21)} & \underline{F}^{(22)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Teilchen 1} \\ \text{Teilchen 2} \end{pmatrix} \right)$$

⇒ Same äußere Kräfte:

$$\left. \begin{array}{l} m^{(1)} \underline{a}^{(1)} = m^{(1)} \frac{d \underline{v}^{(1)}}{dt} = \underline{F}^{(1)} \\ m^{(2)} \underline{a}^{(2)} = m^{(2)} \frac{d \underline{v}^{(2)}}{dt} = \underline{F}^{(2)} \end{array} \right\} \frac{d}{dt} \left(\underbrace{m^{(1)} \underline{v}^{(1)}}_{\underline{p}^{(1)}} + \underbrace{m^{(2)} \underline{v}^{(2)}}_{\underline{p}^{(2)}} \right) = \underline{F}^{(12)} + \underline{F}^{(21)} = 0$$

⇒ Erhaltung des Gesamtimpulses $\underline{p}^{(1)} + \underline{p}^{(2)} = \text{const.}$

(IV) Vektorcharakter der Kräfte $\Rightarrow$ **Superposition**

Kräfte $\sim$ Felder $\rightarrow$ lineare Feld-Theorien (z.B. E-Dynamik)

oder: Bewegungsgleichung $\vec{F}(\vec{v}) = m \frac{d\vec{v}}{dt}$ i. A. nichtlinear in $\vec{v}$
(Ausnahme: harmonischer Osz.)
 $\vec{F}(\vec{v}) \sim \vec{v}$

oder: **Gravitationskraft** $\vec{F}^{(12)} = -G m_s^{(1)} m_s^{(2)} \frac{\vec{r}^{(1)} - \vec{r}^{(2)}}{|\vec{r}^{(1)} - \vec{r}^{(2)}|^3}$

$m_s^{(i)}$: Schwere Masse (Kopplungsstärke der Gravitationswechselwirkung)

exp. Erfahrung: $m_s^{(i)} \sim m^{(i)}$ (alle Körper fallen gleich schnell)

bei Wahl der Gravitationskonstante $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$
 $m_s^{(i)} = m^{(i)}$

Einheiten: MKS (Meter, Kilogramm, Sekunde)

Größe	SI-Einheit	CGS-Einheit
Länge	m	cm
Zeit	s	s
Masse	kg	g
Geschw.	m s^{-1}	cm s^{-1}
Beschl.	m s^{-2}	$\text{Gal} = \text{cm s}^{-2}$ (Gal)
Kraft	$\text{N} = \text{kg m s}^{-2}$ (Newton)	$\text{dyn} = \text{g cm s}^{-2}$ (Dyn)
Energie	$\text{J} = \text{N m}$ (Joule)	$\text{erg} = \text{dyn cm}$ (Erg)
Leistung	$\text{W} = \text{J s}^{-1}$ (Watt)	erg s^{-1}

Schreibweise: $[\vec{v}] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $[\vec{F}] = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = [m][\vec{v}]$

Hilfreich für Konsistenzcheck bei Rechnungen