Theoretische Physik I

VL Di 8.30 – 10 h
Mi 8.30 – 10 h

Klausur: 03.02.2010
7.30 h in ER 270

0. Vorbemerkungen

– Gegenstand der klassischen Mechanik:
→ Analyse der Gesetzmäßigkeiten, unter denen sich materielle Körper in Raum und Zeit bewegen

materieller Körper:

Körper, die man zeitlich und räumlich lokalisieren kann

→ man spricht von „klassischen Teilchen"

- Weitere Grundfragen der Mechanik:
  - Symmetrieprinzipien und ihr Zusammenhang mit Erhaltungssätze
  - Relativitätsprinzipien (Galilei-Prinzip, Einstein'sche Relativitätsprinzip)
- Grund-Eigenschaften der klassischen Mechanik

  - Kausal

    Änderungen des Bewegungszustandes erfolgen durch Kräfte

  - deterministisch

    Bewegungszustand eines Körpers oder eines Systems aus vielen Körpern ist — jedenfalls im Prinzip — aus den Anfangsbedingungen errechenbar

- Zur Rolle der klassischen Mechanik in der Theoretischen Physik
  - älteste Teilgebiet (z.B. Newton'sche Gesetze 1687)

- Grundlage für die ganze theoretische Physik!

  - <u>Quantenmechanik</u>
    Bewegung in mikroskopischen Dimension (z.B. Elektronen)
    Teilchen nicht gleichzeitig räumlich und zeitlich lokalisierbar!
    Bewegungsgesetz: Schrödingergleichung
    → Hamiltonoperator, der aussieht wie in der klassischen Mechanik
    → Korrespondenzprinzip

  - <u>Elektrodynamik</u>
    → magnetische und elektrische Felder
    Zusammenhang zur Mechanik:
    Bewegung geladener Körper durch magnet./elektr. Felde

  - <u>Statistische Physik / Thermodynamik</u>
    Es geht um Vielteilchensysteme
    (Atome in einem Gas / Flüssigkeit; Elektronen in einem Metall)

Verbindung mikroskopischer und makroskopischen Größen

↳ z.B. Energie

→ Konzept der Klass. Mechanik (z.B. Hamilton-funktion)

<u>Stoff dieser Vorlesung</u>:

I. Newton'sche Mechanik

II. Kanonische Mechanik
(Lagrange- und Hamilton Formalismus)

III. Mechanik des starren Körpers
(Kreisel!)

IV. Einführung in die Relativistische Mechanik

(V. Dynamische Systeme)

I. Newton'sche Mechanik

Wir betrachten im folgenden Systeme aus endlichen vielen <u>materiellen Körpern</u>

$i = 1, \dots, N$

„Massenpunkt"

also Körper mit vernachlässigbarer Ausdehnung

Begriff ist auch noch sinnvoll für große Körper, solange man sich nur für die Schwerpunktbewegung interessiert!

Annahme:
Die Massenpunkte sind Kräften unterworfen; sie unterliegen aber keinen sogenannten „Zwangsbedingungen" (Einschränkungen der Bewegung, siehe Kap. II)

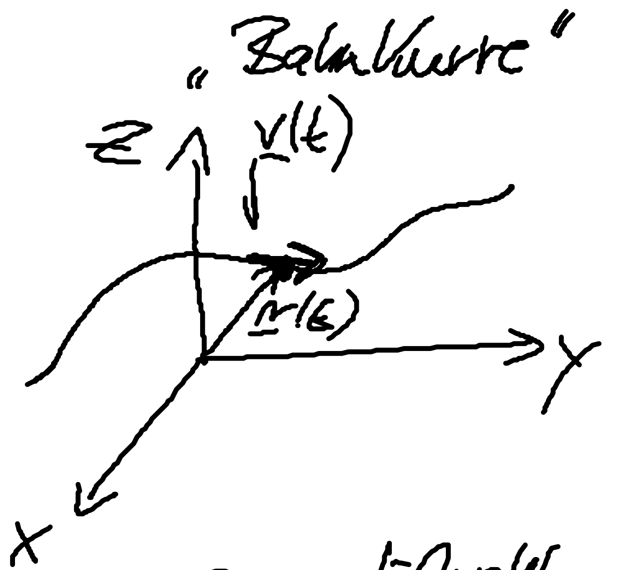
I.1. Kinematische Begriffe

- Bewegungszustand eines Massenpunktes wird charakterisiert durch:

Ortsvektor $\underline{r}(t)$

3-dimensionaler Vektor

Zeit



Geschwindigkeitsvektor

$$\underline{v}(t) = \frac{d}{dt}\underline{r}(t) = \dot{\underline{r}}(t)$$

Tangentialvektor zur Zeit t

Beschleunigung

$$\underline{a}(t) = \frac{d}{dt}\underline{v}(t) = \dot{\underline{v}}(t) = \ddot{\underline{r}}(t)$$

Beispiele

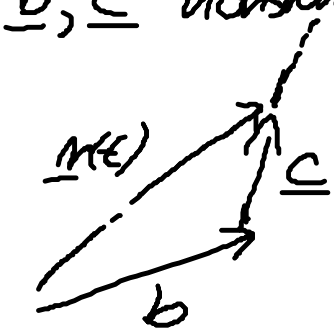
a) Bewegung auf einer Geraden

$$\underline{r}(t) = \underline{b} + \alpha(t)\,\underline{c}$$

$$\underline{v}(t) = \dot{\alpha}(t)\,\underline{c}$$

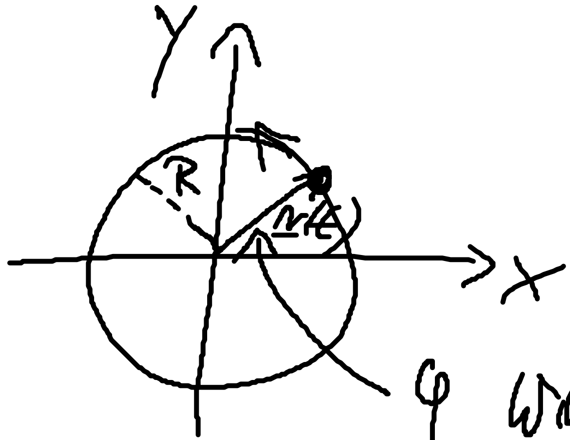
$$\underline{a}(t) = \ddot{\alpha}(t)\,\underline{c}$$

$\underline{b}, \underline{c}$ Konstante Vektor



b) Kreisbewegung

Benutze ebene Polarkoordinaten



$x, y \rightarrow R, \varphi$

φ Winkel zur x-Achse

$$\underline{r}(t) = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R\cos\varphi \\ R\sin\varphi \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \end{pmatrix}$$

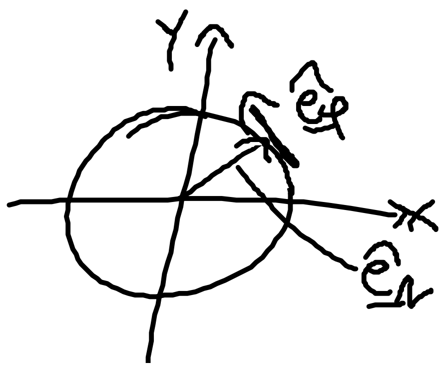
$$= R\,\hat{\underline{e}}_r$$

radiale Einheitsvektor

$$\underline{v}(t) = \frac{d}{dt}\underline{r}(t)$$

$$= \cancel{\dot{R}\,\hat{\underline{e}}_r} + R\,\dot{\hat{\underline{e}}}_r$$

$$= R\,\dot{\hat{\underline{e}}}_r = R\begin{pmatrix} -\sin\varphi\;\dot{\varphi} \\ \cos\varphi\;\dot{\varphi} \end{pmatrix}$$



$$= R\dot{\varphi}\underbrace{\begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix}}_{\hat{\underline{e}}_\varphi} = R\dot{\varphi}\,\hat{\underline{e}}_\varphi$$

man definiert:

$\omega = \dot{\varphi}$ „Winkelgeschwindigkeit"

$\underline{\omega} = \omega \hat{\underline{e}}_z$ Vektor, dessen Richtung der Drehachse entspricht

$$\Rightarrow \underline{v}(t) = R\,\omega\,\hat{\underline{e}}_\varphi$$

$$= \underline{\omega} \times \underline{r}$$

o.k. da $\hat{\underline{e}}_r \perp \hat{\underline{e}}_\varphi$

$\begin{pmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix}$

Beschleunigung bei der Kreisbewegung:

$$\underline{a}(t) = \dot{\underline{v}}(t) = \frac{d}{dt}\left(R\,\omega\,\hat{\underline{e}}_\varphi\right)$$

$$= R\,\dot{\omega}\,\hat{\underline{e}}_\varphi + R\,\omega\,\dot{\hat{\underline{e}}}_\varphi$$

benutze $\dot{\hat{\underline{e}}}_\varphi = \begin{pmatrix} -\cos\varphi \\ -\sin\varphi \end{pmatrix}\dot{\varphi}$

$= -\dot{\varphi}\,\hat{\underline{e}}_r$

$$\Rightarrow \underline{a}(t) = -R\,\omega^2\,\hat{\underline{e}}_r + R\,\dot{\omega}\,\hat{\underline{e}}_\varphi$$

man nennt

$$a_r = -R\omega^2 \quad \text{„Zentripetal-beschleunigung"}$$

$$a_\varphi = R\dot{\omega} \quad \text{„Tangentialbeschleunigung"}$$

I.2. Die Newton'schen Axiome

① Jeder Körper verharrt in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig, wenn er keinen äußeren Kräften unterworfen ist

lex prima
„Galilei'sches Trägheitsgesetz"

Erläuterung:

„in Ruhe" $\Longleftrightarrow$ Bahnkurve

$$\underline{r}(t) = \underline{r}(0) = \text{const}$$

(d.h. auch $\underline{v}(t) = 0$
$\underline{a}(t) = 0$)

„gleichförmige Bewegung"

Geschwindigkeit

$$\Longleftrightarrow \underline{r}(t) = \underline{r}(0) + \underline{v} \cdot t$$

mit $\underline{v} = \text{const}$

In beiden Fällen gilt $\ddot{\underline{r}}(t) = 0$
d.h. keine Beschleunigung!

Koordinatensysteme (Bezugssysteme) in denen ein kräftefreier Körper tatsächlich in Ruhe ist oder sich gleichförmig bewegt, heißt

„Inertialsystem"

Sei K ein Inertialsystem. Jedes relativ zu K mit konstanter Geschwindigkeit $\underline{v}_0$ bewegte Koordinatensystem K' ist wieder ein Inertialsystem

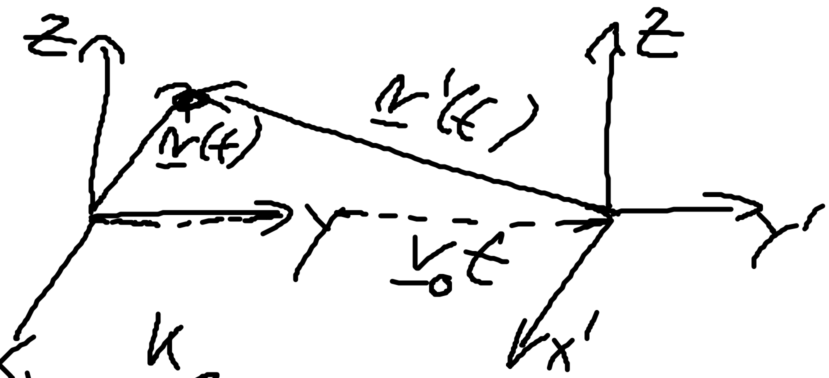
Umrechnen zwischen den Orten und Zeiten der beiden Inertialsysteme:

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

Ort bzgl. K

Ort bzgl. des Koordinatensystem K'

„Galilei-Transformation"



„Zeit ist absolut"
(ist in allen Inertialsystemen gleich)

Zusammenfassend:

- Inertialsysteme dienen dazu, die Grundgleichungen der Bewegung besonders einfach zu formulieren

- „Nicht-Inertialsysteme"
  $\hat{=}$ Koordinatensysteme, die relativ zum Inertialsystem beschleunigt sind

  $\Rightarrow$ „~~Ent~~ Entstehung sogenannter Scheinkräfte"

Literaturvorschläge

- W. Nolting
  Grundkurs Theoretische Physik
  Band 1+2

- F. Scheck: Theoretische Physik 1
  (etwas mathematisch)

- Goldstein: Klassische Mechanik
- Landau-Lifshitz: Mechanik

„Klassiker"