

Organisatorisches:

VL jeweils Di, Mi um 8¹⁵ h in EW Z01

Übungen: Anmeldung bei Moses bis 18.10. um 18⁰⁰h

0. Vorbemerkungen

Gegenstand der klassischen Mechanik:

→ Analyse von Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich "materielle Körper" in Raum und Zeit bewegen (⇒ Bewegungsgleichungen)

materielle Körper ("Massenpunkt"):

zeitlich und räumlich lokalisierbar!

(anders als in der Quantenmechanik:

da sind Zeit und Ort nicht gleichzeitig messbar)

→ man spricht von "klassischen Teilchen"

- Weitere Grundfragen

• Symmetrieprinzipien und ihr Zusammenhang mit Erhaltungssätzen

• Relativitätsprinzipien (Galilei, Einstein)

⇒ Beschreibung schnell bewegter Körper

- Grundleigenschaften der klassischen Mechanik.

• "Kausal" : d.h. Änderungen des Bewegungszustands erfolgen durch Kräfte

— noch zu spezifizieren

• "deterministisch" : Bewegungszustand eines materiellen Körpers (Ort zu einem Zeitpunkt) oder auch eines Teilchens des Systems aus materiellen Körpern ist aus den Anfangsbedingungen berechenbar

Zur Rolle der klassischen Mechanik in der Theoretischen Physik

- ältestes Teilgebiet (z.B. Newton'sche Gesetze 1687)
- Grundlage für die ganze Theor. Physik:

- Quantenmechanik : Bewegung in mikroskopischen Dimensionen
(Theor. Phys II) (Elektronen, Protonen, Quantenpunkte...)
TP nicht deterministisch, Unschärferelation

- Elektrodynamik : Dynamik magnetischer und elektrischer Felder, Lichtwellen
(TP III) Kopplung an Teilchenbewegung : Lorentzkraft

- Statistische Physik, Thermodynamik :

(TP IV) - Physik von Vielteilchensystemen (klassisch oder quantenmechanisch)

- Verbindung zw. mikroskopischer Bewegung zu makroskopischen Größen, z.B. Entropie, Druck

Warum ist die Mechanik für diese Gebiete die Grundlage?

- Vermittlung physikalischer Grundbegriffe (Bewegungsgl., Symmetrien ..)
- Formaler Rahmen reicht weit über die Mechanik hinaus!

z.B. Hamilton formalismus

↔ Hamiltonoperatoren in der Quantenmechanik

→ Zustandssumme in der statistischen Physik

z.B. ein Vielteilchensystem

Stoff dieser Veranstaltung

I. Newton'sche Mechanik

II. Kanonische Mechanik (Lagrange formalismus, Hamilton formalismus, Hamilton-Jakobi-Form)

III. Mechanik des starren Körpers

IV: Einführung in die Relativistische Mechanik

(V: Dynamische Systeme)

Literaturvorschläge:

- Goldstein: Klassische Mechanik } „Klassiker“
- Landau-Lifshitz: Band I

- Wolfert: Grundkurs Theor. Physik Band 1+2

viele mathemat. Grundlagen, Beispielaufgaben,
Testfragen

- Scherl: Theor. Physik I

sehr modern, eher etwas mathemat. - formale Darstellung
(enthält auch dynamische Systeme)

I. Newton'sche Mechanik

Wir betrachten ein System aus endlich vielen "Massenpunkten"

einfache Körper mit vernachlässigbarer Ausdehnung

Begriff häufig auch sinnvoll bei mathematischen Objekten (Ball, Erde)

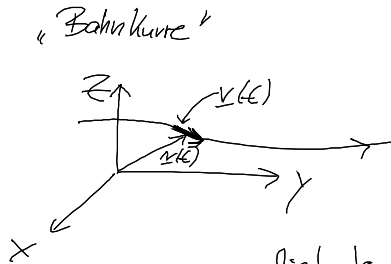
Schwerer nur für die Schwerpunktsbewegung interessant

Annahme: Die Massenpunkte sind Kräfte unterworfen,
 sie unterliegen aber zunächst keinen "Zwangbedingungen"
 (Einschränkung der freien Bewegung, siehe Kap. II)

I.1. Kinematische Begriffe

- Bewegung des Massenpunktes wird charakterisiert durch:

- Ortsvektor $\underline{r}(t)$ ← Zeit
 (vektorielle Größe, hier in 3 Dimensionen)



"Bahnkurve"

- Geschwindigkeitsvektor

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

"velocity"

liegt tangential zur Bahnkurve!

$$\text{denn: } \underline{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\underline{r}(t+\Delta t) - \underline{r}(t)}{\Delta t}$$

- Beschleunigungsvektor

$$\underline{a}(t) = \frac{d}{dt} \underline{v}(t) = \dot{\underline{v}}(t) = \ddot{\underline{r}}(t) \left(= \frac{d^2}{dt^2} \underline{r}(t) \right)$$

"acceleration"

Beispiele

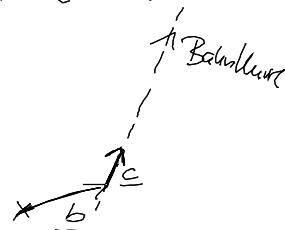
a) Bewegung auf einer Geraden

$$\text{d.h. } \underline{r}(t) = \underline{b} + \alpha(t) \underline{c}$$

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

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

mit $\underline{b} = \text{const}$
 $\underline{c} = \text{const}$



einfachster Fall ("gleichförmige Bewegung"): $\alpha(t) = t$

$$\Rightarrow \underline{v}(\epsilon) = \underline{c}$$

$$a(\epsilon) = 0 \quad (!)$$

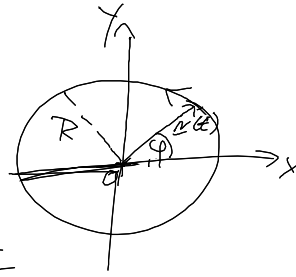
b) Kreisbewegung (2 Dimension)

benutze diese Polarkoordinaten:

$$x = R \cos \varphi$$

$$y = R \sin \varphi$$

mit $\varphi = \arctan \frac{y}{x}$



$$R = \sqrt{x^2 + y^2} = \text{const} \quad (\text{da Bewegung ist auf Kreisbahn})$$

Einheitsvektoren

(allg. in krummlinigen Systemen)

$$\underline{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \rightarrow \underline{r} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}$$

kartesisch Krummlinig

hier:

$$u = R$$

$$v = \varphi$$

$$w = 0$$

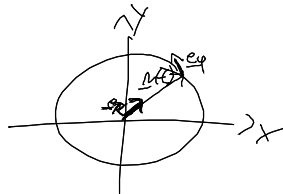
Tangenteneinheitsvektoren:

$$\underline{e}_u = \frac{\frac{\partial \underline{r}}{\partial u} |_{v,w}}{\left| \frac{\partial \underline{r}}{\partial u} \right|}, \quad \underline{e}_v = \frac{\frac{\partial \underline{r}}{\partial v} |_{u,w}}{\left| \frac{\partial \underline{r}}{\partial v} \right|}, \quad \underline{e}_w = \dots$$

für ebene Polarkoordinaten folgt: $\underline{e}_R = \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{pmatrix}, \quad \underline{e}_\varphi = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \end{pmatrix}$

man sieht: Radius

$$\underline{r}(\epsilon) = R \underline{e}_R$$



man sieht:

$$\underline{e}_R \perp \underline{e}_\varphi$$

(da Polarkoordinaten ein kreuzmäßig-orthogonales Koordinatensystem bilden)

Geschwindigkeit

$$\underline{v}(\epsilon) = \dot{\underline{r}}(\epsilon) = \underbrace{\dot{R}}_0 \underline{e}_R + R \dot{\underline{e}}_R$$

$$= R \dot{\underline{e}}_R = R \begin{pmatrix} -\sin \varphi \dot{\varphi} \\ \cos \varphi \dot{\varphi} \end{pmatrix} = R \dot{\varphi} \underline{e}_\varphi \quad (*)$$

(Winkeländerung pro Zeiteinheit)

man definiert:

$$\omega = \dot{\varphi} \quad \text{Winkelgeschwindigkeit}$$

$$\underline{\omega} = \omega \underline{e}_z \quad \text{Vektor, der die Richtung der Drehachse definiert}$$

(Einheitsvektor in z-Richtung)

allg: $\underline{v}(t) \stackrel{\oplus}{=} R \omega \underline{e}_\varphi = \underline{\omega} \times \underline{r}(t)$

Beschleunigung

da R zeitunabhängig

$$\underline{a}(t) = \dot{\underline{v}}(t) = \dot{\underline{r}}(t) = R \dot{\omega} \underline{e}_\varphi + R \omega \dot{\underline{e}}_\varphi$$

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

$$= -\dot{\varphi} \underline{e}_R$$

$$= -\omega \underline{e}_R$$

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

D.h., \underline{a} liegt in der Kreisebene und hat zwei Anteile

daher: $a_R = -R \omega^2$

$$a_\varphi = R \dot{\omega}$$

$$\Rightarrow \underline{a}(t) = a_R \underline{e}_R + a_\varphi \underline{e}_\varphi$$

Zentripetalbeschleunigung
(legt sich direkt zu \underline{v})

Tangentialbeschleunigung
(betragmäßige Änderung
der Geschwindigkeit entlang der Tangente)