Theoretische Physik I: Mechanik (3233 L 060)

VL WS 2013/14 Eckehard Schöll + Philipp Hövel

Pflichtvorles. Bachelorstudiengang Physik: 11 ECTS
3. Semester, Teil des Moduls TPI/II
(2 Ü-Scheine, 21 ECTS)

VL Di + Mi 8:30 – 10:00 EW 201

UE 2 SWS Kleingruppen (Tutorien): Anmeldung MOSES $\boxed{\text{bis 16.10.}}$
Beginn 21.10.13 (Arash Achand, Judith Lehnert, Ken Lichtner, Andrea Vüllings + 3 Tutoren Zeynep Cetinkaya, Samuel Brehm, Robert Kohlhaas)

Klausur Mi 12.2.14 ER 270 8:00 – 10:00

Studienreformprojekt „Offensive Wissen durch Lernen":
Computer-Visualisierungen (Java-Applets)

e-Kreide-Manuskript: s. Website http://www.itp.tu-berlin.de/?mechanik13

English Summary: 5 min. zu Beginn

** Besuch der VL und Übung dringend empfohlen **

2 Säulen der Physik:

- Exp. Physik: Physikal. Phänomene im Vordergrund
  (VL, Praktika)
- Theoret. Physik: Grundlegende theoret. Konzepte u. Methoden, systemat. Einordnung u. Beschreibung der einzelnen Phänomene, Entwicklung von Modellen u. Lösungsmethoden

(VL, Übungsaufgaben; Sprache: Mathematik
→ VL Math. Methoden SS 2013)

Kurs Theor. Physik I : Mechanik (3. Sem.)
II : Quantenmechanik (4.)
III : Elektrodynamik u. Optik (5.)
IV : Thermodyn. u. Statistik (6.)

Max Planck: „Theorie ohne Exp. ist leer,
„Exp. ohne Theorie ist blind"

abstrakte Ebene: $\boxed{\text{Modelle, math. Formalismus}}$

Reduktion auf das Wesentliche ↑ „Ansatz" „Interpret." ↓ Verständnis

konkrete Ebene: $\boxed{\text{Wirklichkeit, phys. Phänomene}}$

Inhalt der Vorlesung:

1. Newton'sche Mechanik von Massenpunkten
2. Analytische Mechanik (Verallgemeinerung, Vielteilchensyst.)
   - 2.1 d'Alembert'sches Prinzip
   - 2.2. Hamilton'sches Prinzip
3. Symmetrien und Erhaltungssätze
4. Hamilton'scher kanonischer Formalismus
5. Mechanik starrer Körper
6. Spezielle Relativitätstheorie

Lit.: s. Website

z.B. Nolting, Grundkurs (Bd. 1 + 2)
Fließbach, Mechanik
Scheck, Theoret. Physik 1: Mechanik

Englisch: Feynman Lectures
Berkeley Physics Course

1. Newton'sche Mechanik

Gegenstand der klass. Mechanik:
Bewegung von Körpern unter dem Einfluss von Kräften

Grundbegriffe: a) Raum und Zeit (vorgegeben)
Beschreibung durch Ortsvektoren $\underline{r}(t) \in \mathbb{R}^3$
b) Teilchen (Körper)
Idealisierung durch Massenpunkte

Klassifizierungen

(i) • Mechanik von Massenpunkten
• " des starren Körpers
• " der Kontinua (deformierbare Körper)
Elastomechanik, Hydrodynamik)

(ii) • Klassische Mechanik
• Relativistische Mechanik

(iii) • Elementare Mechanik (Newton)
• Analytische Mechanik (d'Alembert, Lagrange, Hamilton)
(Extremalprinzipien der kanon. Mechanik, verallgemeinerte Koordinaten)

(iv) • Kinematik (Bewegung eines Massenpunktes)
• Dynamik (Ursachen der Bewegung: Kräfte)

↙	↘	
lineare Dynamik (harmon. Osz.)	nichtlineare Dynamik (alles übrige) Bifurkationen, Chaos	→ Dynamische Systeme (interdisziplinäres Forschungsgebiet: phys./chem./biolog./technolog./sozioökonom. Systeme)

Internat. Tagungsreihe:
Dynamics Days Europe / US / South East Asia / South America / Central Asia / Berlin Brandenburg: 1.+2.10.13 TU Berlin

1.1 Kinematik

(s. Math. Methoden §4.1; krumml. Koord. §4.2)

Bewegung eines Massenpktes charakterisiert durch

Ortsvektor $\underline{r}(t) \in \mathbb{R}^3$

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

Beschleunigungsvektor $\underline{a}(t) := \ddot{\underline{r}}(t)$

<u>Aufgabe</u>: Berechne die <u>Bahnkurve</u> $\underline{r}(t)$ aus vorgegebener Beschleunigung

Anfangsbed.: $\underline{r}(0) = \underline{r}_0$

$\underline{v}(0) = \underline{v}_0$

Lösung: $\underline{v}(t) = \underline{v}_0 + \int_0^t \underline{a}(t')\,dt'$

$$\underline{r}(t) = \underline{r}_0 + \underline{v}_0 t + \int_0^t dt' \left[\int_0^{t'} dt''\,\underline{a}(t'')\right]$$

a) <u>Kartesische Koord.</u>

Rechtssystem $\underline{r} \mathrel{\hat{=}} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$

$$\underline{r}(t) = \sum_{j=1}^{3} x_j(t)\,\underline{e}_j$$

Komponenten

kartes. Basisvektoren $|\underline{e}_j| = 1$ zeit<u>un</u>abhängig

Geschwind.vektor $\underline{v}(t) = \sum_{j=1}^{3} \dot{x}_j(t)\,\underline{e}_j = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \underline{r}}{\Delta t}$

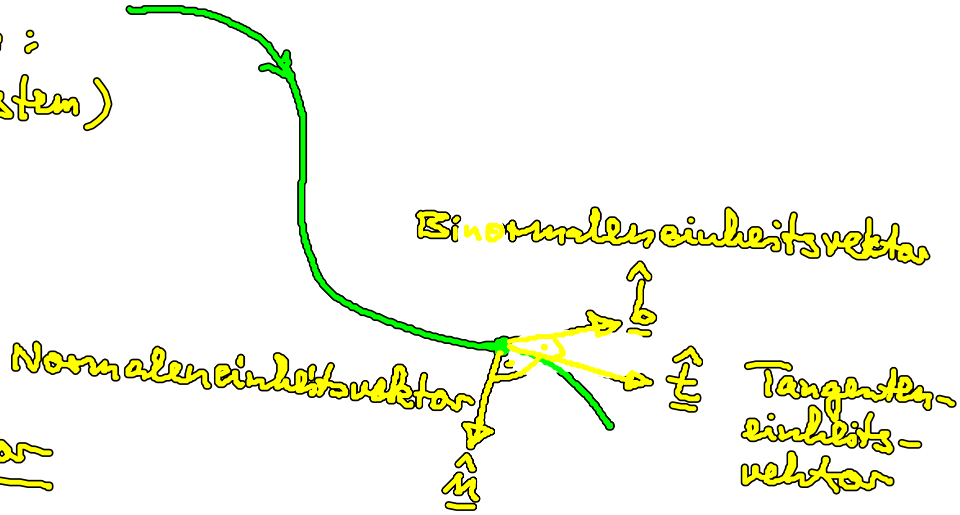
tangential zur Bahnkurve

Beschleun.vektor $\underline{a}(t) = \sum_{j=1}^{3} \ddot{x}_j(t)\,\underline{e}_j$

b) <u>Natürliche Koordinaten</u>

begleitendes Dreibein:

$\hat{\underline{t}}, \hat{\underline{n}}, \hat{\underline{b}}$ (Rechtssystem)

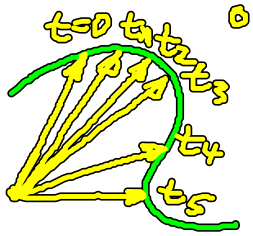


<u>Tangenteneinheitsvektor</u>

$$\hat{\underline{t}} := \frac{\frac{d\underline{r}}{dt}}{\left|\frac{d\underline{r}}{dt}\right|}$$

Parametrisierung der Bahnkurve $\underline{r}(t)$ nach der <u>Bogenlänge</u>

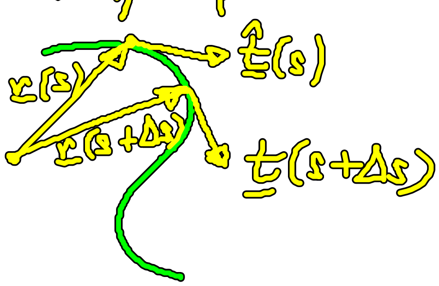
$$s(t) := \int_0^t \left|\frac{d\underline{r}(t')}{dt'}\right| dt' = \int_0^{s(t)} ds' \qquad \text{also } \frac{ds}{dt} = \left|\frac{d\underline{r}}{dt}\right|$$



$$\Rightarrow \boxed{\hat{\underline{t}} = \frac{\frac{d\underline{r}}{dt}}{\frac{ds}{dt}} = \frac{d\underline{r}}{dt}\frac{dt}{ds} = \frac{d\underline{r}(s)}{ds}}$$

Änderung der Richtung von $\hat{\underline{t}}(s)$:

Maß für die <u>Krümmung</u> der Bahnkurve: $\kappa := \left|\frac{d\hat{\underline{t}}}{ds}\right|$



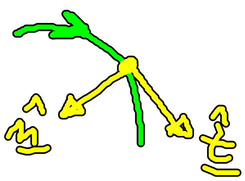
<u>Krümmungsradius</u> $\hat{\rho} := \frac{1}{\kappa}$

<u>Normaleneinheitsvektor</u>

$$\boxed{\hat{\underline{n}} := \frac{\frac{d\hat{\underline{t}}}{ds}}{\left|\frac{d\hat{\underline{t}}}{ds}\right|} = \frac{1}{\kappa}\frac{d\hat{\underline{t}}}{ds}}$$

$\hat{\underline{n}} \perp \hat{\underline{t}}$

(Beweis: $\hat{\underline{t}}\cdot\hat{\underline{t}} = 1 \Rightarrow 0 = \frac{d}{ds}(\hat{\underline{t}}\cdot\hat{\underline{t}}) = 2\hat{\underline{t}}\frac{d\hat{\underline{t}}}{ds}$)



$\hat{\underline{n}}$ und $\hat{\underline{t}}$ spannen die <u>Schmiegungsebene</u> auf

Binormalenvektor $\boxed{\underline{\hat{b}} := \underline{\hat{t}} \times \underline{\hat{n}}}$, $\underline{\hat{b}} \perp \underline{\hat{t}}, \underline{\hat{n}}$

Geschwindigk.vektor $\underline{v}(t) = \frac{d\underline{r}}{dt} = \underbrace{\frac{d\underline{r}}{ds}}_{\underline{\hat{t}}} \underbrace{\frac{ds}{dt}}_{|\underline{v}|} \Rightarrow \boxed{\underline{v}(t) = v\,\underline{\hat{t}}}$

Betrag Richt.

Beschleunig.vektor

$\underline{a}(t) = \frac{d}{dt}(v\underline{\hat{t}}) = \dot{v}\underline{\hat{t}} + v\frac{d}{dt}\underline{\hat{t}} = \dot{v}\underline{\hat{t}} + v\underbrace{\frac{d\underline{\hat{t}}}{ds}}_{\kappa\underline{\hat{n}}}\underbrace{\frac{ds}{dt}}_{v}$

$\boxed{\underline{a}(t) = \dot{v}\underline{\hat{t}} + \kappa v^2 \underline{\hat{n}}}$ liegt in der Schmiegungsebene

Tangential- Normal-(Zentripetal-)

beschleunigung