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 TP I/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 Azhand, 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. Webseite 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 $\uparrow$ „Ansatz" „Interpret." $\downarrow$ 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. Webseite

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

Grundbegriff: a) Raum und Zeit (vorgegeben)
Beschreibung durch Ortsvektoren $\underline{r}(t) \in \mathbb{R}^3$

b) Teilchen (Körper)
Idealisierung durch Massenpunkte

<u>Klassifizierungen</u>

(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 → <u>Dynamische Systeme</u> (interdisziplinäres Forschungsgebiet: phys./chem./biolog./technolog./sozioökonom. Systeme)

<u>Internat. Tagungsreihe</u>:

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 Massenpkt.es 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 $\underline{a}(t) := \ddot{\underline{r}}(t)$

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

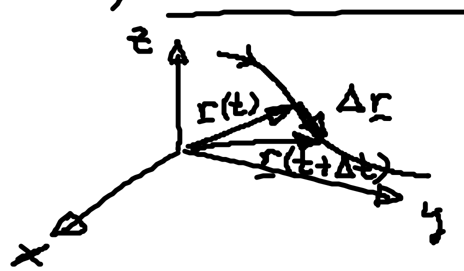
Anfangsbed.: $\underline{r}(0) = \underline{r}_0$

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

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) Kartesische Koord.



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

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

Komponenten; kartes. Basisvektoren $|\underline{e}_j| = 1$ zeitunabhängig

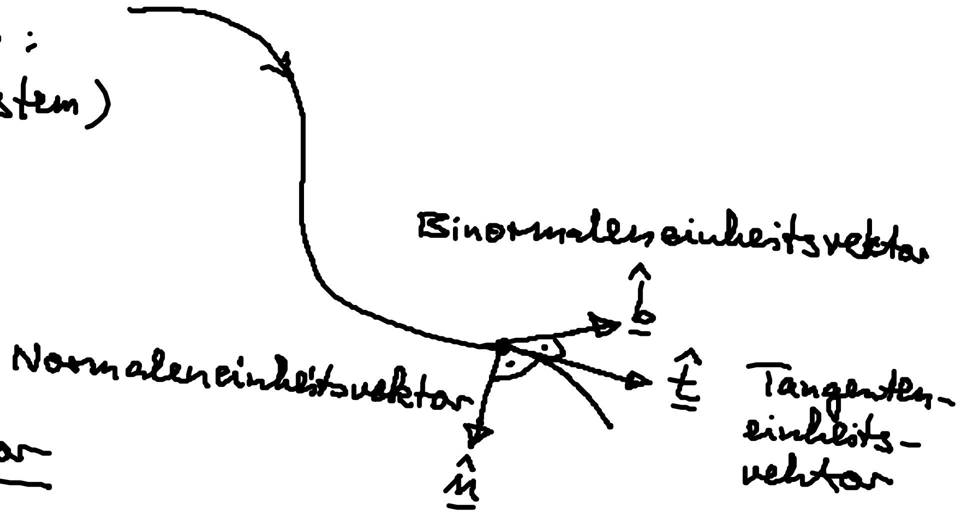
Geschwind. vektor $\underline{v}(t) = \sum_{j=1}^{3} \dot{x}_j(t)\, \underline{e}_j = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \underline{r}}{\Delta t}$

tangential zur Bahnkurve

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

b) Natürliche Koordinaten

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

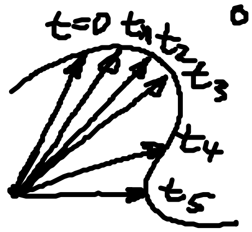


<u>Tangenteneinheitsvektor</u>

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

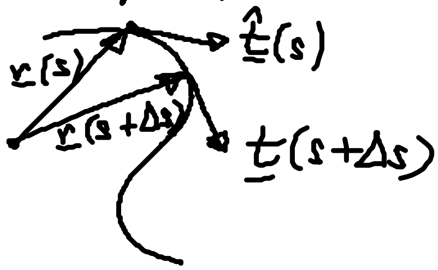
Parametrisierung der Bahnkurve $\underline{r}(t)$ nach der <u>Bogenlänge</u>

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



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

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



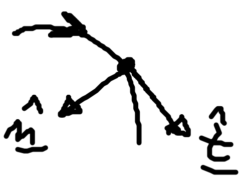
<u>Krümmungsradius</u> $\hat{\rho} := \frac{1}{\kappa}$

<u>Normaleneinheitsvektor</u>

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

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

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



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