

Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



2. Klassische Mechanik

2.2 Dynamik der Massenpunkte

- Newton'sche Axiome
- Impuls
- Energie
- Stoßgesetze
- Reibung
- Schwingungen (1)
- Drehbewegungen (2)
- Rotierende Bezugssysteme

Zusammenfassung v14

- **Satz von Steiner**

$$J = J_s + ma^2 \quad \text{für Achsen die nicht durch den Schwerpunkt gehen}$$

- **Physikalisches Pendel**

$$\omega^2 = \frac{amg}{J_s + ma^2} = \frac{g}{l_{\text{red}}} \quad \text{mit} \quad l_{\text{red}} = \frac{J_s + ma^2}{am} \quad \text{reduzierte Länge}$$

- **Dynamische Unwucht**

Lagerkräfte, falls Rotationsachse nicht parallel zu Figuren-/Symmetrie-/Hauptachse

Lagerkräfte versuchen Körper auf eine der Hauptachsen zu drehen

- **Kreisel (frei rotierender Körper)**

Besondere Phänomene, da $\vec{\omega} \nparallel \vec{L}$ sein kann $\rightarrow$ Nutation

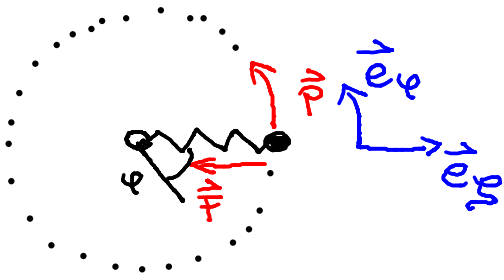
Allgemein: $\vec{L} = J\vec{\omega}$ **J ... Tensor des Trägheitsmoments**

Kreisbewegung falls äußeres Drehmoment senkrecht zu Drehimpuls angreift $\rightarrow$ Präzession

$$\omega_p = \frac{mgD}{L} \quad \text{für} \quad \vec{L} \perp \vec{M} \quad \text{mit} \quad M = mgD$$

Einschub: Präzession - Die Analogie zur Translationsbewegung

Translation:



Immer bei Translation

$$\vec{v} \parallel \vec{p} \perp \vec{F}$$

Warum fällt
Massepunkt nicht
in den Ursprung?
Impulserhaltung!

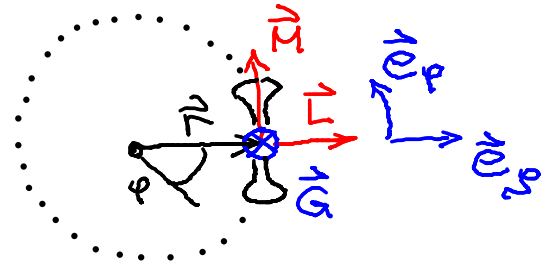
$$\dot{\vec{p}} = \vec{F} \text{ mit } \vec{p} \perp \vec{F}$$

$$\begin{aligned} \dot{\vec{p}} &= \frac{d(p \vec{e}_\varphi)}{dt} = \dot{p} \vec{e}_\varphi + p \dot{\vec{e}}_\varphi \\ &= \vec{F} = F \vec{e}_\rho \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \dot{p} = 0 \wedge \dot{\phi} = \frac{F}{p}$$

$$\Rightarrow p = \text{konst. und } \omega \propto \frac{1}{p}$$

Rotation (Präzession):



$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{G}$$

$$\vec{\omega} \parallel \vec{L} \perp \vec{M}$$

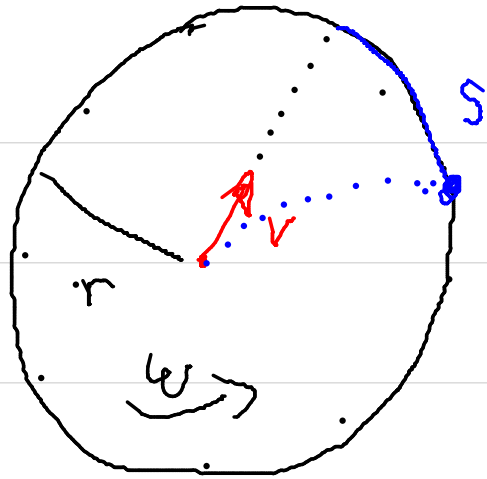
Warum kippt Rad
nicht nach unten?
Impulserhaltung!

$$\dot{\vec{L}} = \vec{M} \text{ mit } \vec{L} \perp \vec{M}$$

$$\begin{aligned} \dot{\vec{L}} &= \frac{d(L \vec{e}_\varphi)}{dt} = \dot{L} \vec{e}_\varphi - L \dot{\phi} \vec{e}_\varphi \\ &= \vec{M} = M \vec{e}_\varphi \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \dot{L} = 0 \wedge \dot{\phi} = -\frac{M}{L}$$

$$\Rightarrow L = \text{konst. und } \omega \propto \frac{1}{L}$$



t : Zeit bis zum Erreichen des Rands

$$r = vt$$

Rand hat sich um Strecke s gedreht

$$s = r\omega t = v\omega t^2$$

Verursachung durch
Coriolisbeschleunigung a_c :

$$s = \frac{1}{2}a_c t^2$$

$$\hookrightarrow \frac{1}{2}a_c t^2 = v\omega t^2 \Rightarrow$$

$$a_c = 2v\omega$$

$$F_c = 2m v \omega$$

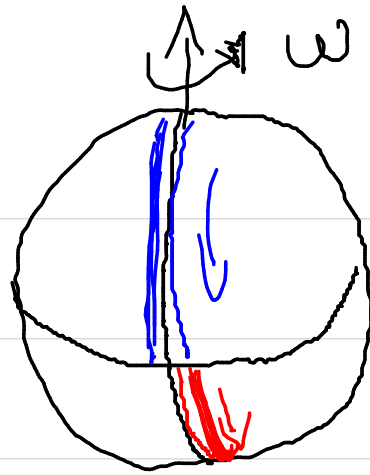
Corioliskraft

Beispiel: Lokomotive $m = 80t$

$v = 72 \text{ km/h}$ in Nord-Süd
Richtung

Nord-
halbkugel

Süd-
halbkugel



Lok wird gegen westl. Schiene
gedrückt

~ östliche Schiene

$$F_c = 2m v \omega = 2m v \frac{2\pi}{T} \approx 230 \text{ N}$$

86400 s

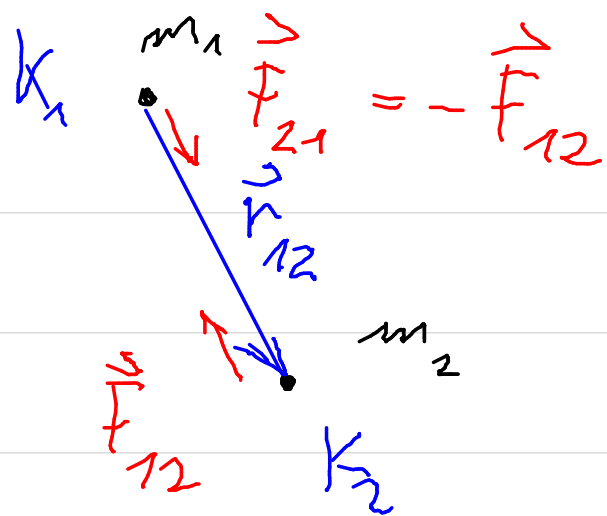
Gravitation

- Kraftgesetz
- Planetenbahnen, Kepler'schen Gesetze
(→ Astrophysik)

Kepler: astronom. Beobachtungen von Tycho Brahe
↳ kinematische Regeln

Newton: Dynamik erklärt durch die wechselwirkenden Kräfte
→ Verallgemeinerung auf das ganze Universum

"Jeder Körper übt eine anziehende Kraft auf jeden anderen Körper aus."



$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

Gravitationskonstante:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

[Cavendish 1798]

Beispiel: $m_1 = 100 \text{ kg}$
 $m_2 = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$
 (Erde Masse)

$$r_{12} = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$$

↳ $F_{12} = 978 \text{ N} \approx \text{Gewicht eines } 100 \text{ kg-Körpers}$
 [am Äquator, Erde ist abgeplattet:
 $(r_a - r_p) / r_a = 1/297$]

2 Körper von 1 kg in 10 cm üben nur eine Kraft
 von $6,67 \cdot 10^{-9} \text{ N}$ aus

↳ Schwierige Bestimmung von G aus Kraftmessungen!

Cavendish: rotationssymmetrische Anordnung
1% Genauigkeit (1798) von G

Heute auf 4 Stellen genau ...

Fragen: materialabhängig?
Umgebungseinflüsse?

Träge Masse = Schwere Masse?

TESTEN!

$$\vec{p} = \tilde{m} \vec{a} = m \vec{g}$$

- Materialabhängigkeiten nicht festgestellt
↳ Anzahl n, p verschieden bei gleicher Masse
- Umgebungseinfluß nicht festgestellt
- Äquivalenzprinzip: $\tilde{m} \equiv m$ auf 10^{-12} !
(Einstein)

Planetenbahnen und Keplers Gesetze

Antike: Abstand zum Mond:

CCXXX MMMMMMM DCCCLVII

Meilen $\rightarrow$ 238857

Zeitmessung $\downarrow$

Keplers Gesetze

1. Planetenbahnen sind Ellipsen, die die Sonne in einem ihrer Brennpunkte haben.

2. Die Verbindungslinie zw. Sonne - Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

Flächensatz $\stackrel{?}{=}$ Drehimpulserhaltung

3. (Umlaufdauer)² $\propto$ (mittlere Entfernung z. Sonne)³

$$T^2 \propto r^3$$

Zentralkraft $\propto \frac{1}{r^2}$