□ NB: Zentralkräfte mit $\vec{F} \sim \vec{R}$

$$\dot{\vec{L}} = \vec{R} \times \dot{\vec{p}} = \vec{R} \times \underbrace{\vec{F}}_{\vec{F} \parallel \vec{R}} \sim \vec{R} \times \vec{R} = 0$$

$$\rightarrow \boxed{\dot{\vec{L}} = 0}$$

ändern Drehimpuls <u>nicht</u>!

- Federkräfte:

  Hookesches Gesetz: $\boxed{\vec{F}_r = -D\vec{x}}$

  D: Richtgröße
  Federkonstante
  [N/m]

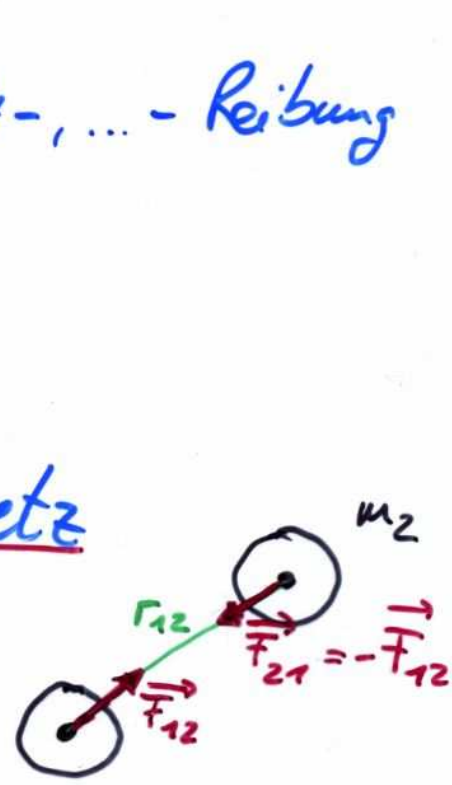
  → Anwendung als Kraftmesser

- Reibungskräfte:

  Haft-, Gleit-, Roll-, Luft-, ... - Reibung

- <u>Gravitationskraft</u>

  ▶ <u>Newtonsches Gravitationsgesetz</u>

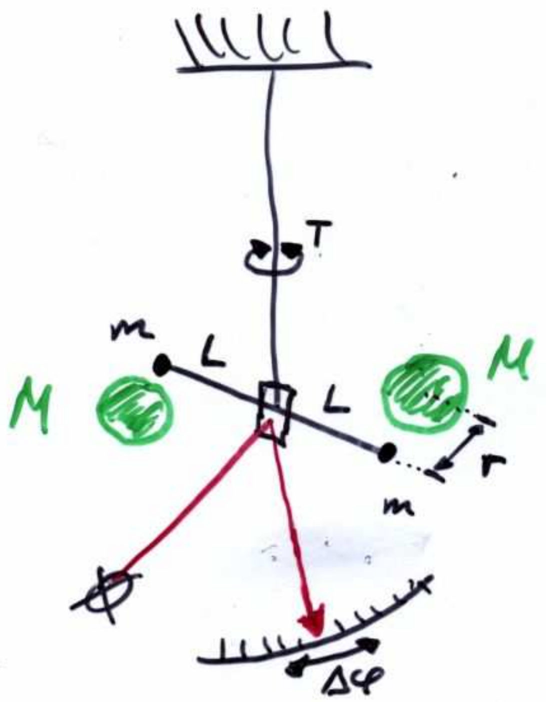


$$\boxed{F_G = G_N \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}}$$

(CODATA) $G_N = 6.6742 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$

Bestimmung der Gravitationskonst. G_N

Torsionspendel: (Cavendish, Eötvös)



$$F_G = G_N \cdot \frac{mM}{r^2}$$

Dreh-moment M_D

$$\boxed{M_D = 2L \cdot F_G = D^* \cdot \Delta\varphi/2}$$

D^*: Winkelrichtgröße

$$D^* = \frac{4\pi^2 \cdot m\left(L^2 + \frac{2}{5}R_m^2\right)}{T^2}$$

$$G_N = \frac{D^* \cdot \Delta\varphi/2 \cdot r^2}{2L \cdot mM}$$

$$\approx \frac{\pi^2 L \cdot \Delta\varphi \cdot r^2}{T^2 \cdot M} \quad (R_m \ll L)$$

$L = 50\,\text{mm}$

$m = 38.3\,\text{g}$

$M = 1.5\,\text{kg}$

$R_m = 9.5\,\text{mm}$ (Radius der Kugeln m)

$T = 496\,\text{s}$ (Schwingungsdauer)

Messung: $\rightarrow \Delta\varphi = \frac{8.34\,\text{mm}}{400\,\text{mm}} \simeq 0.0209\,\text{rad} \rightarrow$ $G_N \simeq 6.029 \cdot 10^{-11}\,\frac{\text{m}^3}{\text{s}^2\,\text{kg}}$

$r = 46.5\,\text{mm}$

$$1N = 1\,\text{kg}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow \frac{N\,\text{m}^2}{\text{kg}^2} = \frac{\cancel{\text{kg}}\,\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^{\cancel{2}}} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2\,\text{kg}}$$

▸ Erde: Gravitationskraft ist ortsabhängige Zentralkraft

$$\vec{F}_G = -G_N \frac{m \cdot M_E}{r^2} \vec{e}_r$$

NB: Kann Masse als in einem Punkt konzentriert betrachten
→ Punktmasse

3.3.1 Bewegungsgleichungen mit Kräften

- ortsunabhängige Kräfte: $\vec{F} \neq \vec{F}(\vec{r})$

  2. Newtonsches Axiom → $\vec{F} = \dot{\vec{p}} = m\dot{\vec{v}}$

  $$\rightarrow \vec{v}(t) = \frac{1}{m} \underbrace{\int \vec{F}\, dt}_{\text{Kraftstoß}} + \vec{v}_0$$

  $$\rightarrow \vec{r}(t) = \int \vec{v}\, dt + \vec{r}_0 = \dots$$

- ortsabhängige Kräfte: $\vec{F} = \vec{F}(\vec{r})$

  z.B. Gravitationskraftfeld

  ▸ radiale Bewegung: $\vec{a}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_G(\vec{r})}{m} = -G_N \cdot \frac{M_E}{r^2} \vec{e}_r$

  $$\rightarrow a(r) = -G_N \frac{M_E}{r^2}$$

  z.B. Erdoberfläche: $r = R_E = 6378.140$ km

  $$a(r = R_E) = g = 9.80665 \frac{m}{s^2}$$

  $$\rightarrow \boxed{M_E \simeq 5.977 \cdot 10^{24}\, kg}$$

NB: Erdbeschleunigung für alle Körper gleich!