Vorlesung 13

Physikalisches Kolloquium

Fachgruppe Physik/Astronomie der Universität Bonn

Freitag, 25. November 2022, 15 Uhr c.t. - **Online**

Laura Kreidberg

MPI für Astronomie, Heidelberg

„Planets are Places: Exoplanet Atmosphere Characterisation in the JWST Era“

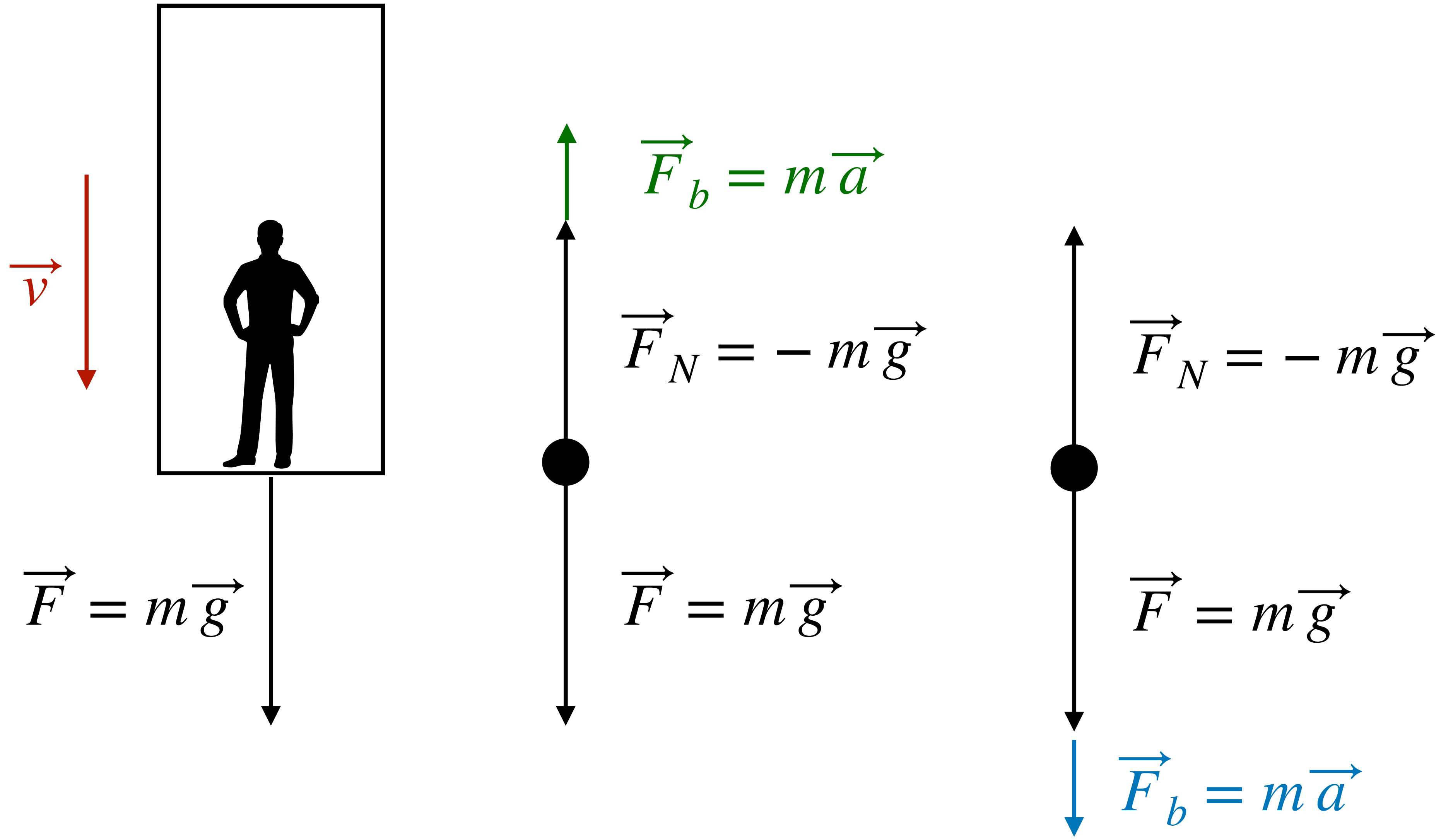
The past 25 years have revealed a diversity of exoplanets far beyond what was imagined from the limited sample in the Solar System. With new and upcoming observing facilities and a rapidly growing number of nearby planets, we are beginning to bring this diversity into focus, with detailed follow-up characterization of the planets' atmospheres. In this talk, I will focus on two key questions in exoplanet atmosphere studies: (1) what can we learn about giant planets' origins from their present-day atmospheres? And (2) what can we learn about habitability from "Earth cousins", planets that are a little bigger or a little hotter than the Earth? I will provide some historical context on these two questions, share a few preliminary results from the first JWST observations of transiting planets, and conclude with a longterm perspective on exoplanet atmosphere characterization through the 2040s, including the search for biosignatures in the atmospheres of potentially inhabited planets.

https://uni-bonn.zoom.us/j/93502490448?pwd=Yy9QZ1hOd3kvcG0xSTdRcjRWd0hqdz09

Bsp.

bremsender Aufzug $\Longrightarrow$ erhöht Gewichtskraft

beschl. Aufzug $\Longrightarrow$ verringert Gewichtskraft



“Schein”kräfte haben **reale Auswirkungen** !

(**Extremfall**: freier Fall,
sie fühlen sich schwerelos)

Colonel John Paul Stapp bei 25g (1951)
- wollte durchsetzen, dass die Gurte in Airforce Jets stärker werden
- starb im Alter von 91 Jahren eines natürlichen Todes

Im beschl. System (B')

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{A}$$

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{A}\,t$$

$$\vec{r}' = \vec{r} - \frac{1}{2}\vec{A}\,t^2$$

$\downarrow$

Rennfahrer : $\vec{r}' = \text{const}, \vec{v}' = \vec{a}' = 0$

spürt aber Kraft $\vec{F} = -\,m\,\vec{A}$

Laborsystem (B)

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{A}\,t$$

$$\vec{r} = \vec{r}' + \frac{1}{2}\vec{A}\,t^2$$

$\downarrow$

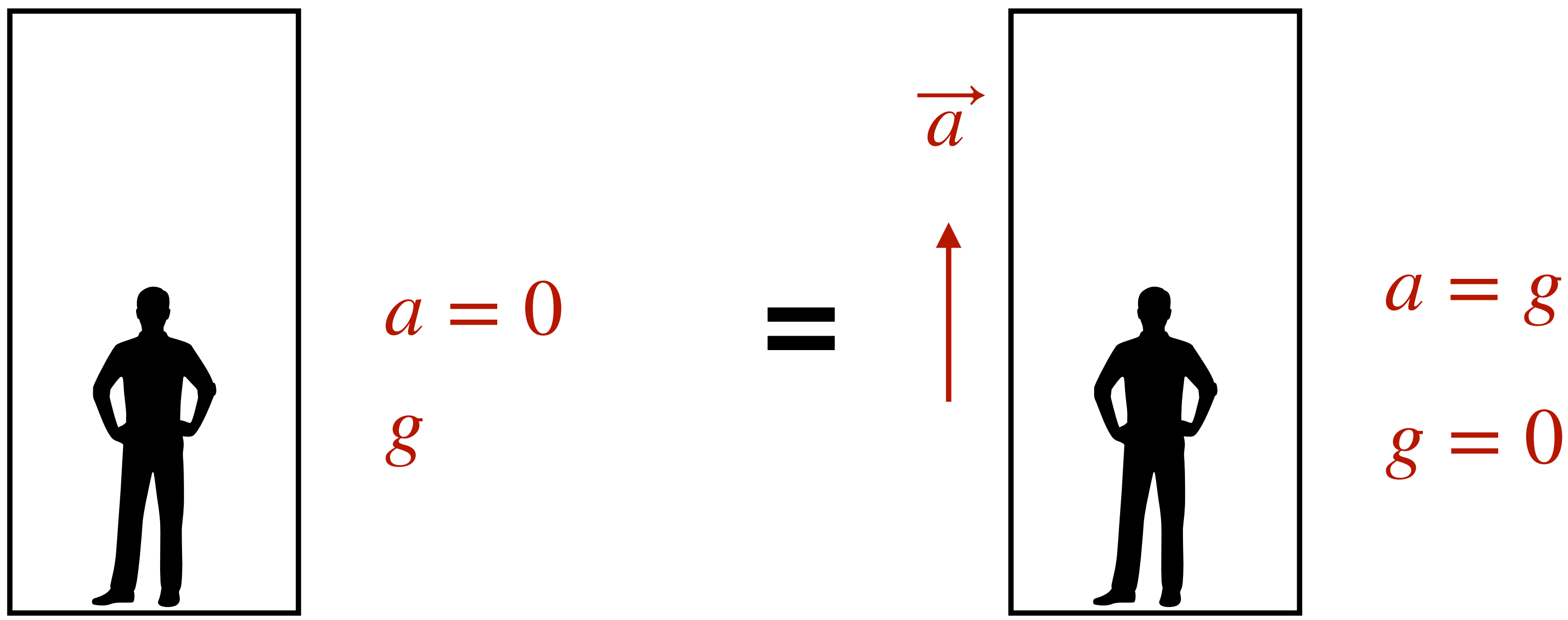
Zuschauer : sieht $\vec{a} = \vec{A}$

und sagt klar $\vec{F} = +\,m\,\vec{A}$

↯ zu 2. NG? (Nein, B' kein Inertialsystem)

$\Longrightarrow$ im beschl. System treten Trägheitskräfte auf

Nebenbemerkung: Einstein



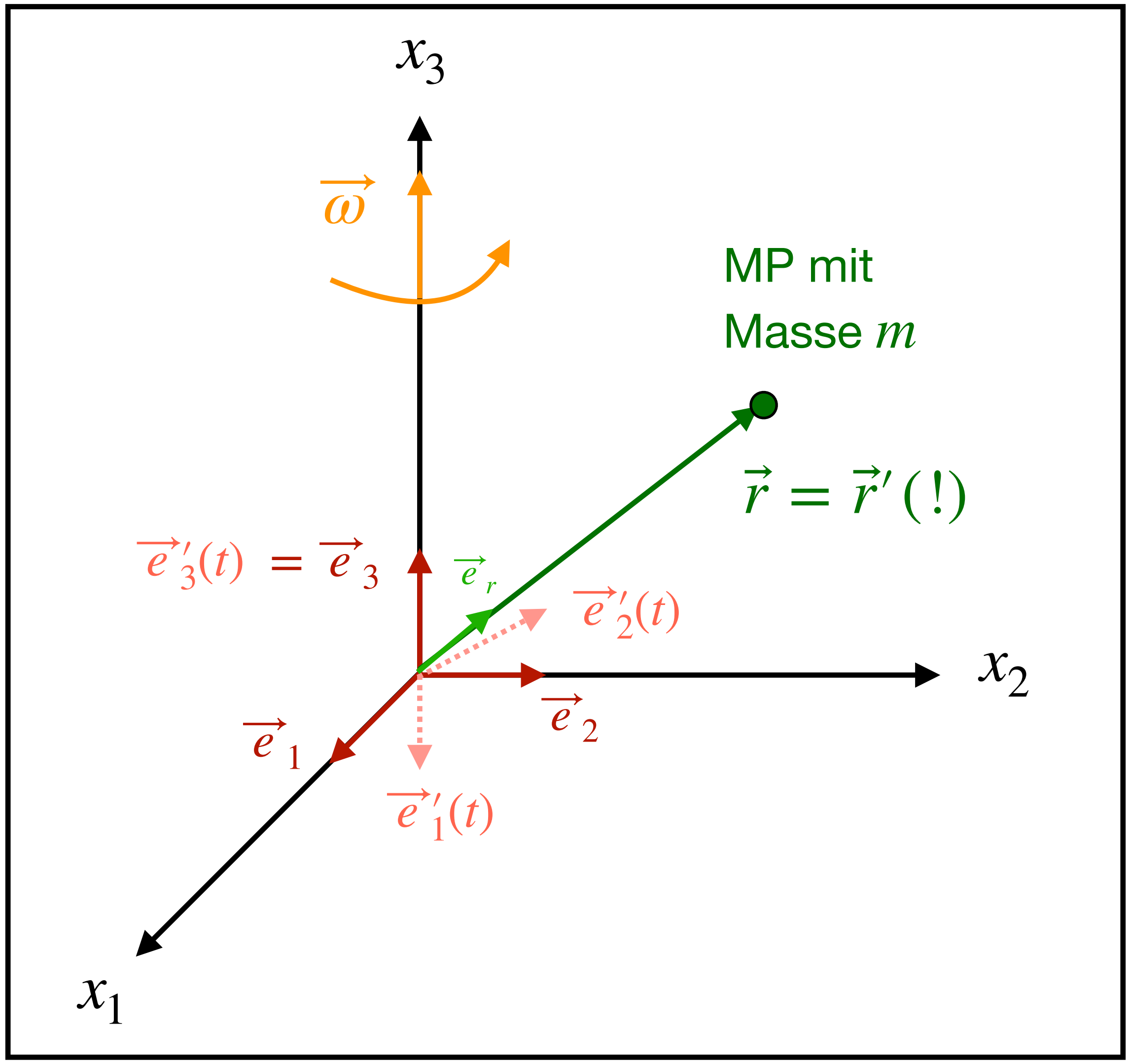
$\Longrightarrow$ vielleicht ist die Gravitation auch “nur” eine Trägheitskraft

→ Suche nach (sehr komplizierten) Transformationen des Beszugsystems in dem die Grav.kraft verschwindet

→ ART

Versuch: mit Federwage vom Tisch springen

4.2 Gleichförmig rotierendes Bezugsystem



$\vec{\omega} = \text{const}$ mit $\omega_3 = \dfrac{d\varphi}{dt}$ $\quad \omega_{1,2} = 0$

$$\vec{r} = \vec{r}\,' \qquad t = t'$$

$$= \sum_i x_i(t)\,\vec{e}_i \qquad = \sum_i x_i'(t)\,\vec{e}\,'_i$$

→ Beobachter B ruht in S (x_i, $\vec{e}_i$)
Beobachter B' rotiert selbst und ruht in S' mit (x_i', $\vec{e}\,'_i$)

Geschwindigkeit des MP :

$\vec{e}\,'_i = \vec{e}\,'_i(t)$

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \sum \dot{x}_i \vec{e}_i = \dot{\vec{r}}' = \underbrace{\sum \dot{x}'_i \vec{e}\,'_i}_{\vec{v}\,'} + \underbrace{\sum x'_i \dot{\vec{e}}\,'_i}_{\vec{u}\,'}$$

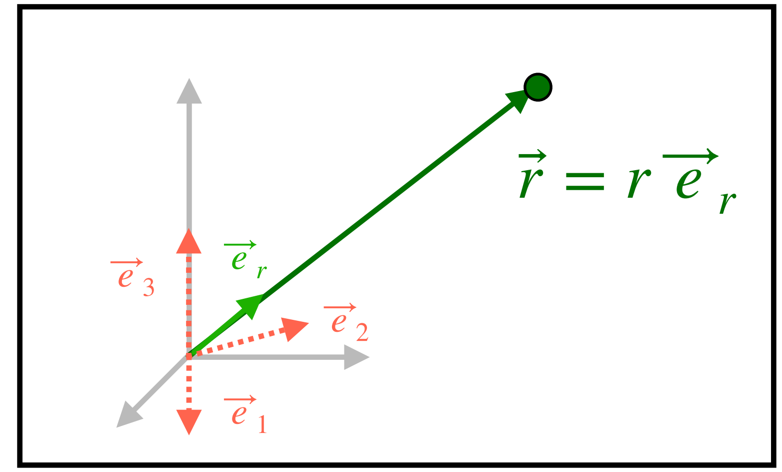
Beschleunigung des MP :

$$\vec{a} = \ddot{\vec{r}} = \dot{\vec{v}} = \sum \ddot{x}_i \vec{e}_i = \ddot{\vec{r}}' = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\vec{v}\,' + \vec{u}\,'\right)$$

$$= \sum \ddot{x}'_i \vec{e}\,'_i + \sum \dot{x}'_i \dot{\vec{e}}\,'_i + \sum \dot{x}'_i \dot{\vec{e}}\,'_i + \sum x'_i \ddot{\vec{e}}\,'_i$$

$= \vec{a}\,'$ + Beschleunigung durch Scheinkräfte

Kreisbewegung mit $\overrightarrow{\omega} = \text{const}$:



$$\dot{\vec{r}} = \overrightarrow{v} = \overrightarrow{\omega} \times \vec{r} = r\left(\overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{e}_r\right)$$

$$\rightarrow r\left(\overrightarrow{\omega} \times \sum \overrightarrow{e}_i\right) = r\left(\overrightarrow{\omega} \times \sum \overrightarrow{e}'_i\right) \quad \text{(!)}$$

Bewegung des S'-Systems (ausgedrückt mit Einheitsvektoren $\overrightarrow{e}'_i$)

$$\dot{\overrightarrow{e}}'_i = \overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{e}'_i$$

$$\ddot{\overrightarrow{e}}'_i = \overrightarrow{\omega} \times \dot{\overrightarrow{e}}'_i \qquad (\, \dot{\overrightarrow{\omega}} = 0 \,)$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} = r \sum_i \dot{\overrightarrow{e}}'_i = r\left(\overrightarrow{\omega} \times \sum_i \overrightarrow{e}'_i\right)$$

$r(t) = \text{const}$

$$\Rightarrow \quad \overrightarrow{v} = \overrightarrow{v}' + \overrightarrow{u} \qquad = \overrightarrow{v}' + \sum x'_i\, \dot{\overrightarrow{e}}'_i$$

$$= \overrightarrow{v}' + \sum x'_i \left(\overrightarrow{\omega} \times \overrightarrow{e}'_i\right)$$

$$= \vec{v}\,' + \vec{\omega} \times \sum x_i' \vec{e}_i'$$

Mit $\quad \vec{r}\,' = \sum x_i' \vec{e}_i' = \vec{r}$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\vec{v} = \vec{v}\,' + \vec{\omega} \times \vec{r}}$$

$$\ddot{\vec{e}}_i' = \vec{\omega} \times \dot{\vec{e}}_i' = \vec{\omega} \times \left(\vec{\omega} \times \vec{e}_i'\right)$$

$$\vec{a} = \vec{a}\,' + 2 \sum \dot{x}_i' \dot{\vec{e}}_i' + \sum x_i' \ddot{\vec{e}}_i'$$

$$\dot{\vec{e}}_i' = \vec{\omega} \times \vec{e}_i' \quad \rightarrow \sum \dot{x}_i' \left(\vec{\omega} \times \vec{e}_i'\right) = \vec{\omega} \times \vec{v}$$

$$= \vec{a}\,' + 2\,(\vec{\omega} \times \vec{v}\,') + \sum x_i' \left(\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{e}_i')\right)$$

$$= \vec{a}\,' + 2\,(\vec{\omega} \times \vec{v}\,') + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

oder

$$= -\,2\,\left(\vec{\omega} \times \vec{v}\,'\right) \qquad = -\,\vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{a}\,' = \vec{a} + 2\,(\vec{v}\,' \times \vec{\omega}) + \vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega})$$

Beschleunigung die B’ **“spürt”**

$$\vec{a}\,' = \vec{a} + \vec{a}_c + \vec{a}_{\mathrm{ZF}}$$

Zentrifugalbeschleunigung

Coriolisbeschleunigung

Gaspard de Coriolis (1792-1843)

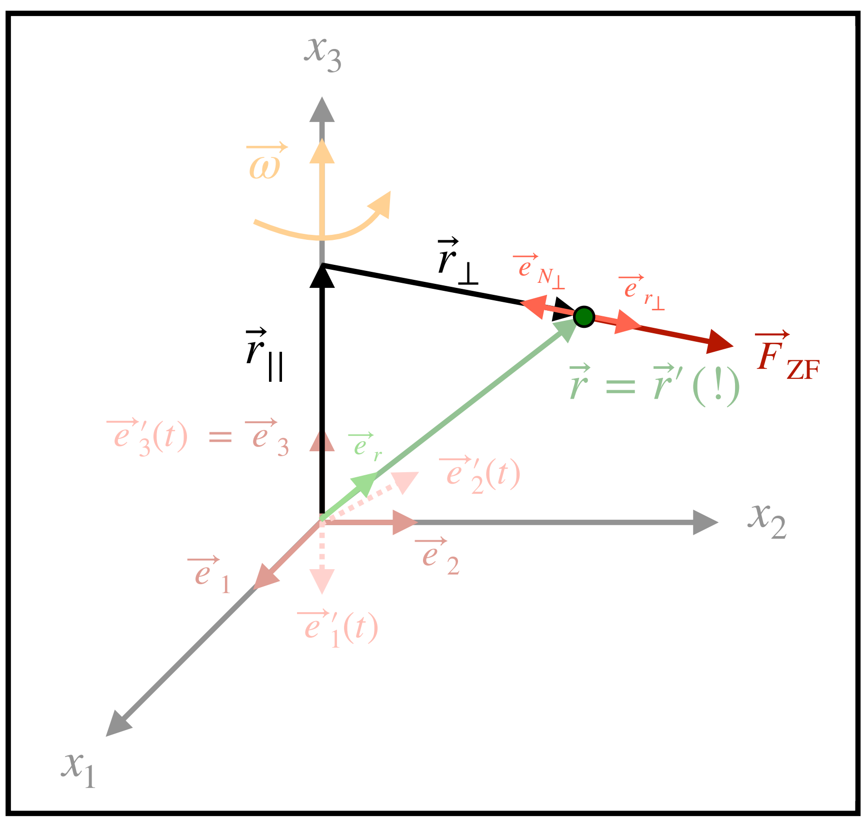
$$\boxed{\begin{aligned} \vec{a}_c &= 2\left(\vec{v}\,' \times \vec{\omega}\right) \\ \vec{a}_{\mathrm{ZF}} &= \vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \end{aligned}}$$

Coriolis-Kraft: $F_c = 2m\,\left(\vec{v}\,' \times \vec{\omega}\right)$

Zentrifugalkraft: $\vec{F}_{\mathrm{ZF}} = m\,\vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega})$

$$\vec{F}_{\mathrm{ZF}} = m\,\vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega}) \;= m\,\omega^2\,\vec{r}_\perp = m\frac{v^2}{r}\vec{e}_{r_\perp}$$

$$= -\,m\frac{v^2}{r}\vec{e}_{N_\perp} = -\,\vec{F}_{\mathrm{Zentipetal}}$$



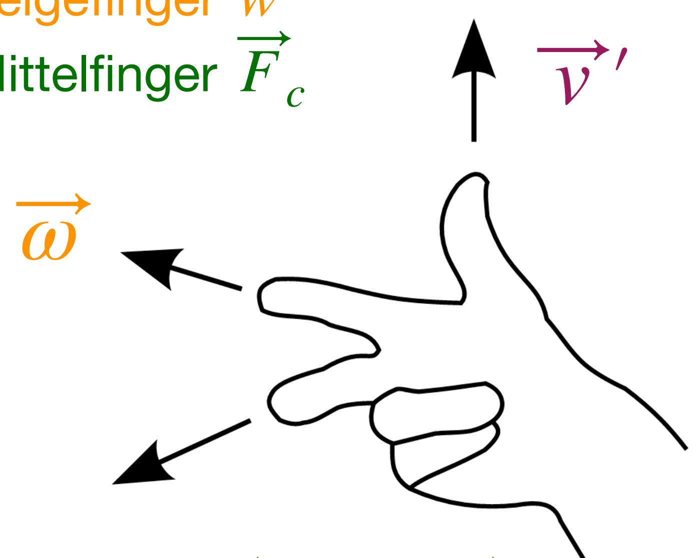
Richtung von $\overrightarrow{F}_c$: $2m\ (\overrightarrow{v}' \times \overrightarrow{\omega})$

r.H.-Regel mit

Daumen $\overrightarrow{v}'$

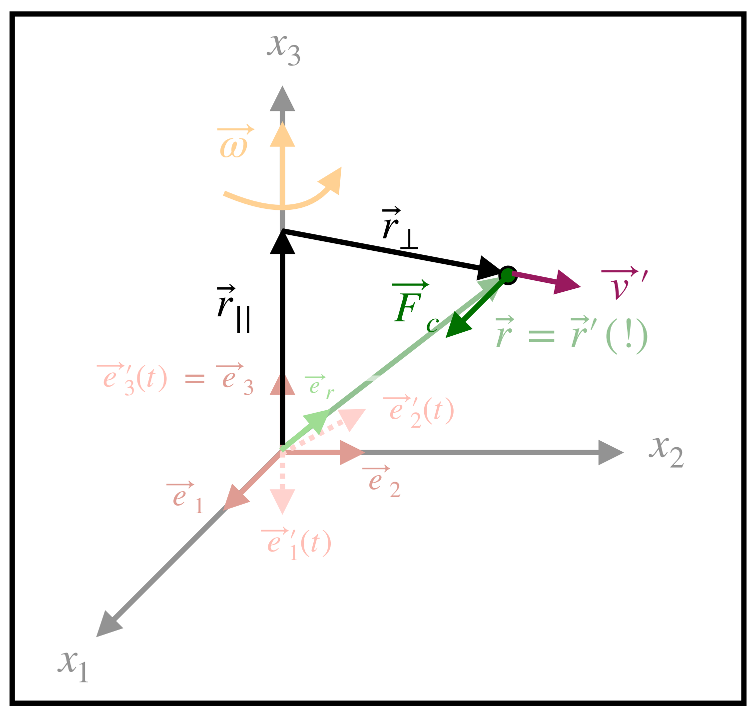
Zeigefinger $\overrightarrow{w}$

Mittelfinger $\overrightarrow{F}_c$

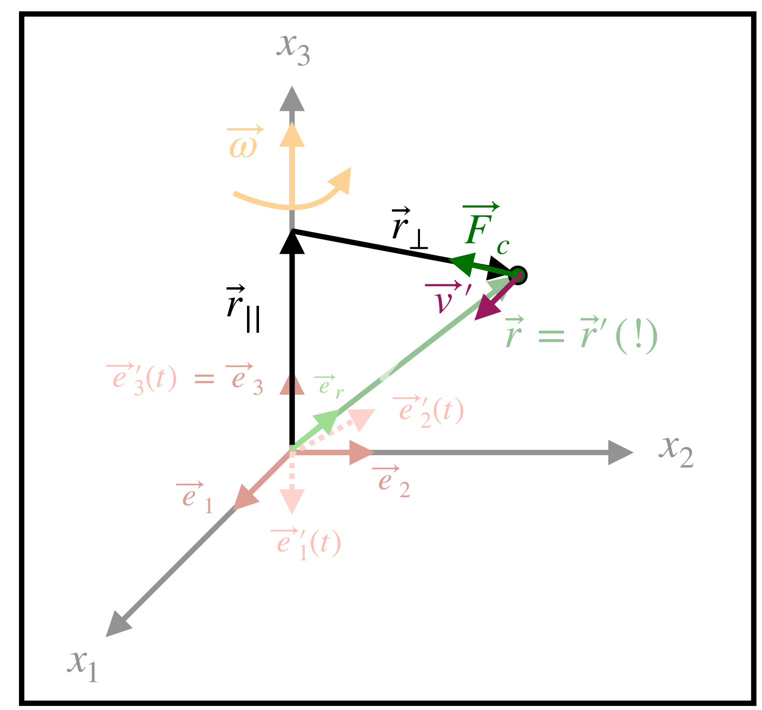


$$F_c = 2m\ (\overrightarrow{v}' \times \overrightarrow{\omega})$$

$\vec{r}_\perp \,||\, \overrightarrow{v}'$



$\vec{r}_\perp \perp \overrightarrow{v}'$



$\overrightarrow{F}_{\mathrm{ZF}}$ existiert auch, wenn MP in S' ruht !

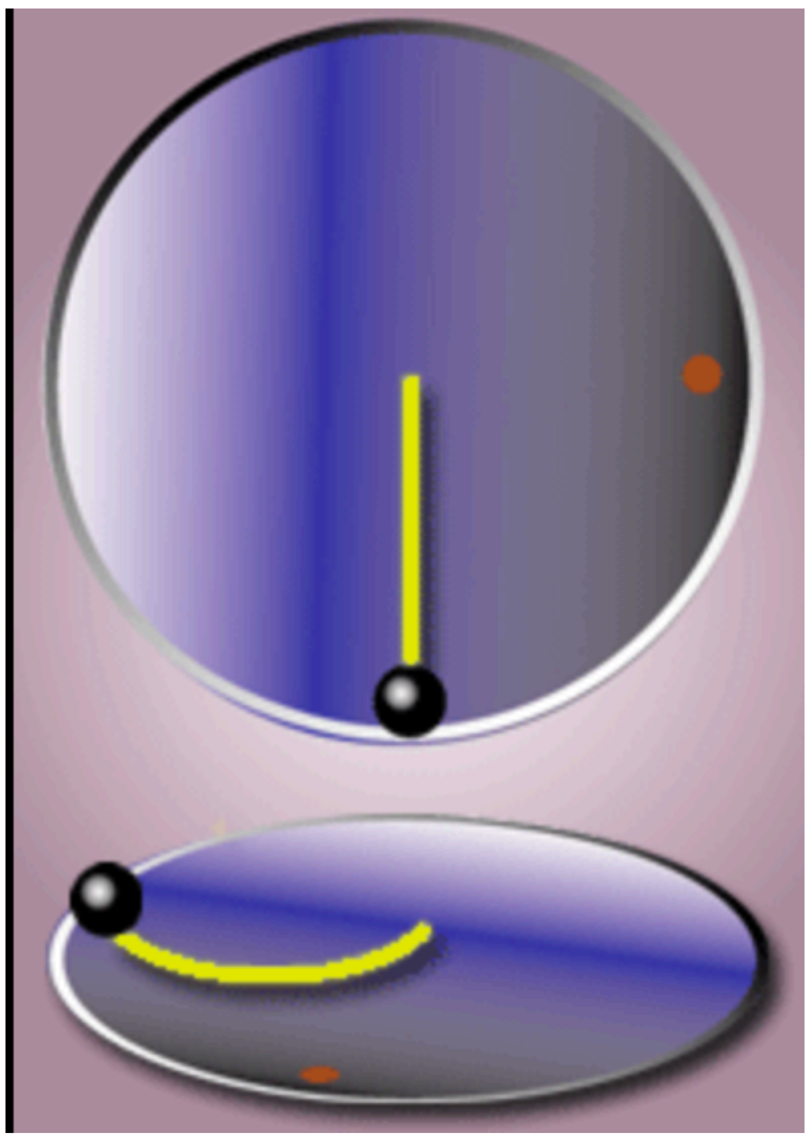
$\overrightarrow{F}_c$ nur wenn sich MP (in S') bewegt mit Komponente von $\overrightarrow{v}' \perp \overrightarrow{\omega}$

Versuche: Kreidekugel auf Scheibe

B : Während $t = \dfrac{R}{v'}$ bewegt sich Scheibe unter Kugel weg, $\vec{v} = \text{const}, \ \vec{F} = 0$

B' : Kugel beschreibt gekrümmte Bahn $\Rightarrow$ Beschleunigung $\dot{\vec{v}}' \Rightarrow \vec{F}_c$

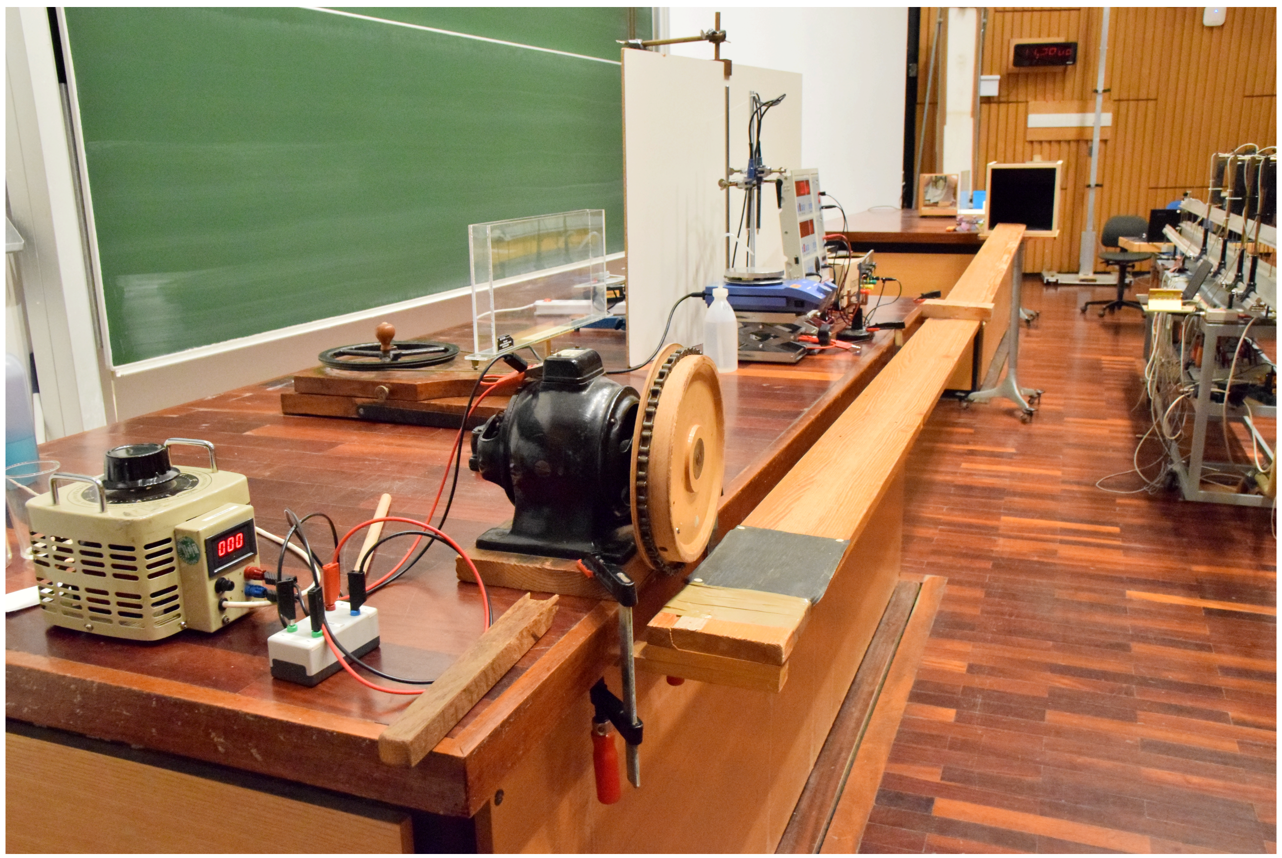
B



B'

Wasserstrahl über Platte

rotierende Fahrradkette



Schleifstein
(warum fliegen die Funken nicht radial weg?)