Vorlesung 12

Weihnachtsvorlesung

https://www.physikshow.uni-bonn.de/

	Mittwoch		Freitag
12.10.2022	1	14.10.2022	2
19.10.2022	3	21.10.2022	4
26.10.2022	5	28.10.2022	6
02.11.2022	7	04.11.2022	8
09.11.2022	9	11.11.2022	10
16.11.2022	11	18.11.2022	12
23.11.2022	13	25.11.2022	14
30.11.2022	15	02.12.2022	16
7.12.2022	*Dies Academicus*	9.12.2022	17
14.12.2022	18	16.12.2022	19
21.12.2022	20	23.12.2022	*Vorlesung fällt aus*
28.12.2022	*Weihnachtsferien*	30.12.2022	*Weihnachtsferien*
4.01.2023	*Weihnachtsferien*	6.01.2023	*Weihnachtsferien*
11.01.2023	22	13.01.2023	23
18.01.2023	24	20.01.2023	25
25.01.2023	26	27.01.2023	27
01.02.2023	28	03.02.2023	29

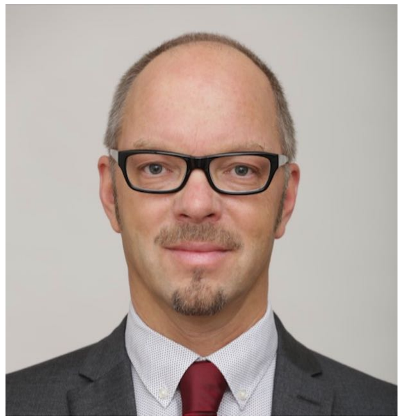
UNIVERSITÄT BONN
Rheinische
Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn

Wann: 21.12 zur normalen Vorlesungszeit

Physikalisches Kolloquium

Fachgruppe Physik/Astronomie der Universität Bonn

Freitag, 18. November 2022, 15 Uhr c.t. im Hörsaal I des Physikalischen Instituts

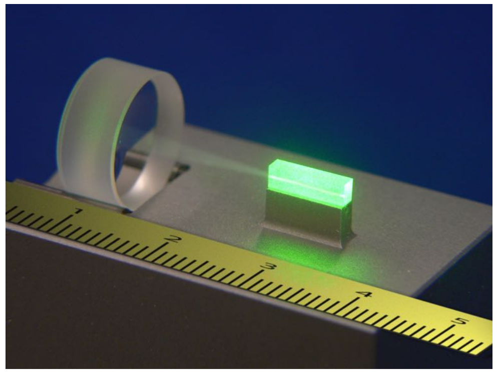


Roman Schnabel

Universität Hamburg

"Squeezed light – now exploited by all gravitational-wave observatories"

Light with squeezed quantum uncertainty allows for the sensitivity improvement of laser interferometers. Since 2010, the gravitational-wave (GW) detector *GEO600* has been using squeezed light in all of its searches for GWs. The successful sensitivity improvement triggered the implementation of squeezed light sources also in *Advanced LIGO* and *Advanced Virgo*. On April 1st, 2019 these observatories started their third observational run. Since then they have been detecting more than one GW event per week. An increased event rate of up to 50% is due to the exploitation of squeezed states of light. Squeezed light is fully described by quantum theory, however, observations on squeezed light represent physics that is not self-evident. I present a description of why a squeezed photon counting statistic is rather remarkable.



Es gelten die Corona-Regelungen des Landes Nordrhein-Westfalen

3.3 Drehimpuls und Drehmoment

Drehimpuls eines MP mit Impuls $\vec{p}$ bezüglich des Koordinatenursprungs:

$$\boxed{\vec{L} := \vec{r} \times \vec{p}}$$

Drehimpuls (engl. *angular momentum*)

★ $\vec{L} \perp \vec{r} \quad ; \quad \vec{L} \perp \vec{p}$

★ Betrag: $|\vec{L}| = |\vec{r} \times m\vec{v}| = m \cdot r \cdot v \cdot \sin(\angle(\vec{r}, \vec{v}))$

Zunächst **Spezialfall** : $\vec{r}(t)$ = Kreisbewegung um Ursprung

$$\rightarrow \vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \quad \longleftarrow$$

Wähle $\vec{\omega}$ so, dass $(\vec{R}, \vec{v}, \vec{\omega})$ ein Rechtssystem bilden :

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R} \quad \left(= -\vec{R} \times \vec{\omega} \right)$$

(Wir hatten schon $v = \omega R$)

$$\Rightarrow \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m \left(\vec{r} \times \vec{v} \right)$$

$$= m\,(\vec{r} \times \vec{\omega} \times \vec{r})$$

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = (\vec{a} \cdot \vec{c})\vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b})\vec{c}$$

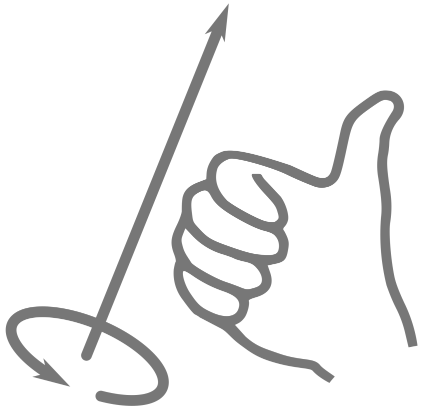
$$= m\left(\vec{\omega}(\vec{r} \cdot \vec{r}) - \vec{r}\,(\underbrace{\vec{\omega} \cdot \vec{r}}_{0})\right)$$

$$\boxed{\rightarrow \vec{L} = m\,r^2\,\vec{\omega}}$$

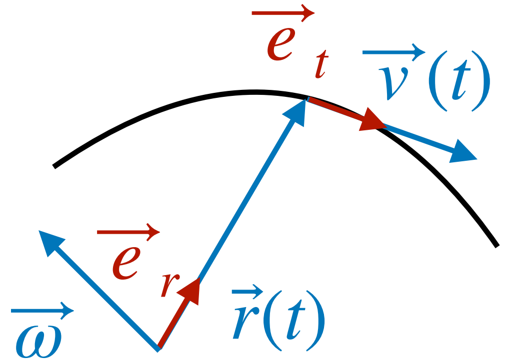
$$|\,\vec{L}\,| = m\,\omega\,r^2 = m\,\frac{v}{r}\,r^2 = m\,v\,r \qquad \rightarrow |\,\vec{L}\,| \sim m, \;\; \sim v, \;\; \sim r$$

→ Richtung von $\vec{L}$ = Richtung von $\vec{\omega}$

Richtung von $\vec{L}\,/\,\vec{\omega}$ kann man einfach mit der Rechten-Hand-Regel bestimmen



jetzt: allg. Bewegung $\vec{r}(t)$



wir hatten : $\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{d}{\mathrm{d}t}\left(r\,\vec{e}_r\right) = \dot{r}\,\vec{e}_r + r\,\dot{\vec{e}}_r$

$$\vec{e}_r = \begin{pmatrix}\cos\varphi\\ \sin\varphi\end{pmatrix}$$

(vgl. Vorlesung 5)

$$\dot{\vec{e}}_r = \begin{pmatrix}-\sin\varphi\\ \cos\varphi\end{pmatrix}\dot{\varphi} = \vec{e}_t\,\dot{\varphi}$$

$$= \dot{r}\,\vec{e}_r + r\,\vec{e}_t\,\dot{\varphi} \longleftarrow$$

Definition Winkelgeschw. (!) $\dot{\varphi} := \omega$

$$= \underbrace{\dot{r}}_{v_r}\,\vec{e}_r + \underbrace{r\,\omega\,\vec{e}_t}_{\vec{\omega}\times\vec{r}}$$

Tangent.bewegung

$$\Rightarrow \vec{L} = m\left(\vec{r}\times\vec{v}\right) = m\,v_r\underbrace{\left(\vec{r}\times\vec{e}_r\right)}_{=0} + m\,\vec{r}\times\left(\vec{\omega}\times\vec{r}\right) = m\,r^2\,\vec{\omega}$$

(hier ist $\vec{\omega}$ die mom. Kreisfrequenz der Kreisbewegung)

★ $\vec{L}$ hängt immer vom Bezugspunkt (Ursprung) ab

★ $[\vec{L}] = \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}} = \mathrm{Nm\,s} = \mathrm{Js}$ [Wirkung]

Betrachte $\dot{\vec{L}}$:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{L} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\vec{r}\times\vec{p}\right) = \underbrace{\dot{\vec{r}}\times\vec{p}}_{\vec{v}\times m\vec{v} = 0} + \vec{r}\times\underbrace{\dot{\vec{p}}}_{\dot{\vec{p}} = \vec{F}}$$

↑

z.B. mit $m(t) = \mathrm{const}$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(m\vec{v}\right) = m\vec{a}$$

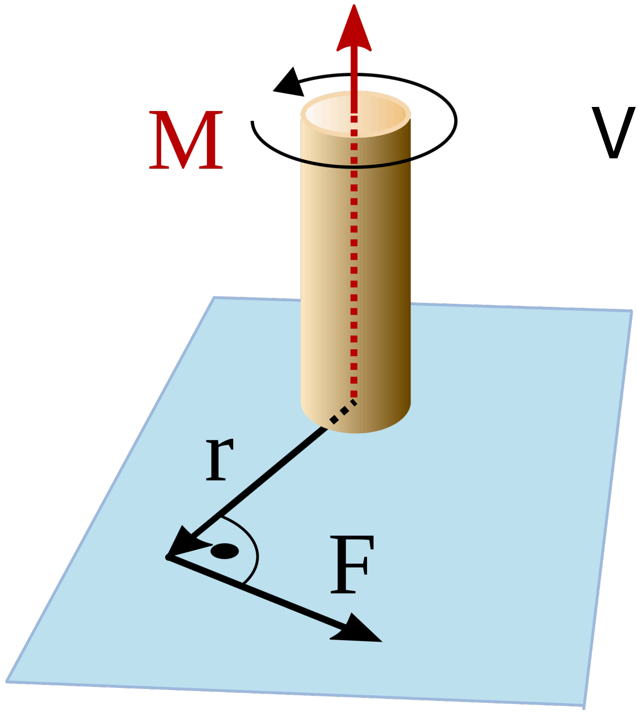
$$= \vec{r}\times\vec{F} \quad := \quad \boxed{\vec{M}}$$

↓

$[M] = \mathrm{Nm}$

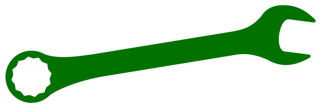
$\vec{M}$ **Drehmoment** *(engl. torque)*

(= [Arbeit] aber ganz andere Größe $\vec{M}\perp\vec{r}$ / $W = \vec{r}\cdot\vec{F}, \vec{r}\,||\,\vec{F}$)

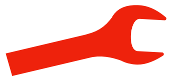


Vgl. **Drehmomentschlüssel** & Festziehen einer Schraube

→ langer Schlüssel, wenig Kraft



→ kurzer Schlüssel, viel Kraft



Versuch: Garnrolle

$$\boxed{\vec{M} = \dot{\vec{L}}}$$

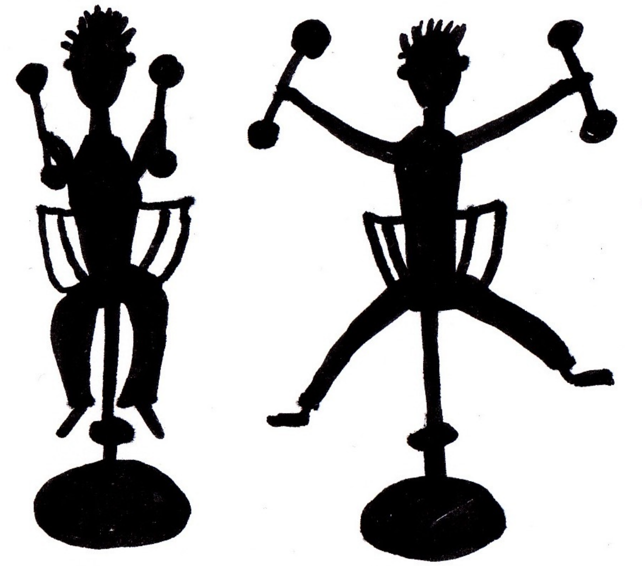
“Drallsatz” → Um $\vec{L}$ zu ändern braucht man $\vec{M}$

Wenn auf ein System kein äußeres Drehmoment wirkt (z.B. wenn $\vec{F} = 0$) dann ist

$$\rightarrow \dot{\vec{L}} = 0, \quad \vec{L} = \text{const}$$

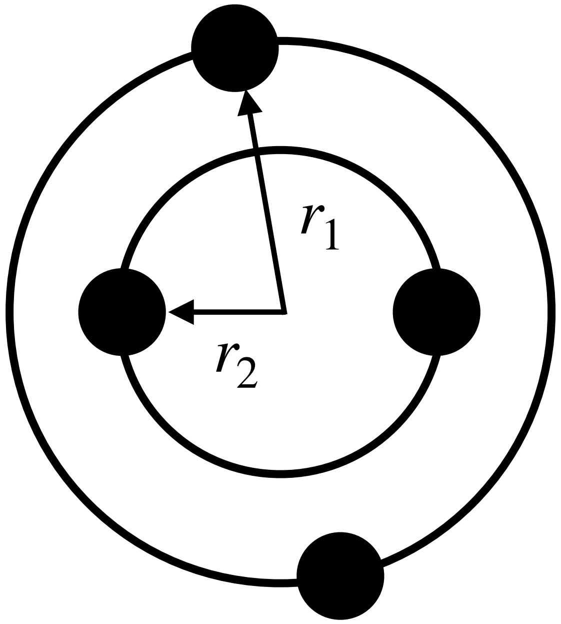
Versuch: Drehsessel

0) Sessel in Ruhe → Drehmoment mit Hanteln



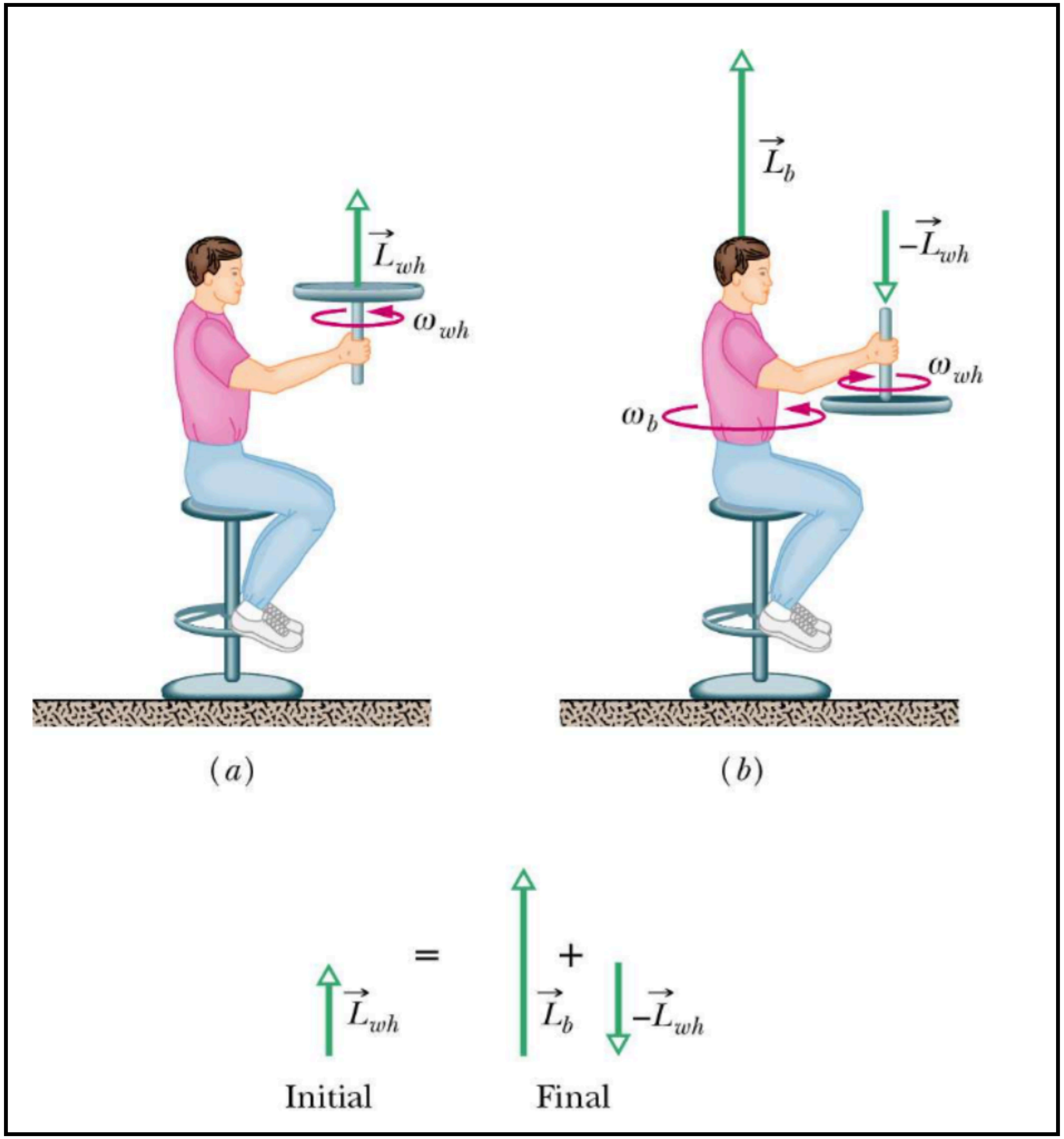
1) $L = m\underset{\substack{\downarrow \\ \text{Hantel}}}{r^2}\omega$ $\quad r$ groß → ω klein

Wenn wir jetzt r reduzieren, muss L erhalten bleiben → ω muss größer werden!



$$L = mr_1^2\omega_1 = mr_2^2\omega_2$$

2) Mit Schwungrad

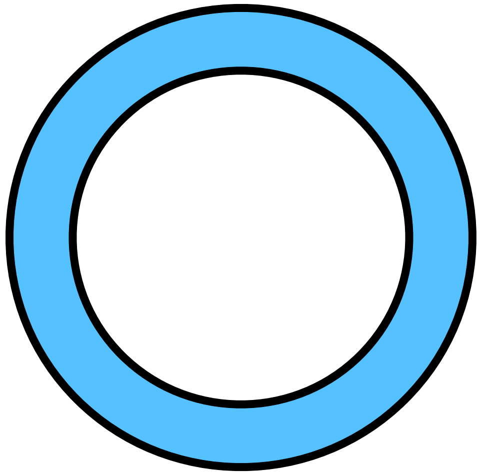


Versuch: Kugeln auf schmaler / breiter Schiene

kleiner Drehimpuls
(elast. Stoß bei Kollision)

großer Drehimpuls
(Drehimpuls sort für
Vorwärtsbewegung nach Kollision=

Versuch: Fahrradreifen m. Wasser



$$\vec{L} = \vec{L}_{\text{Reifen}} + \vec{L}_{\text{Wasser}}$$

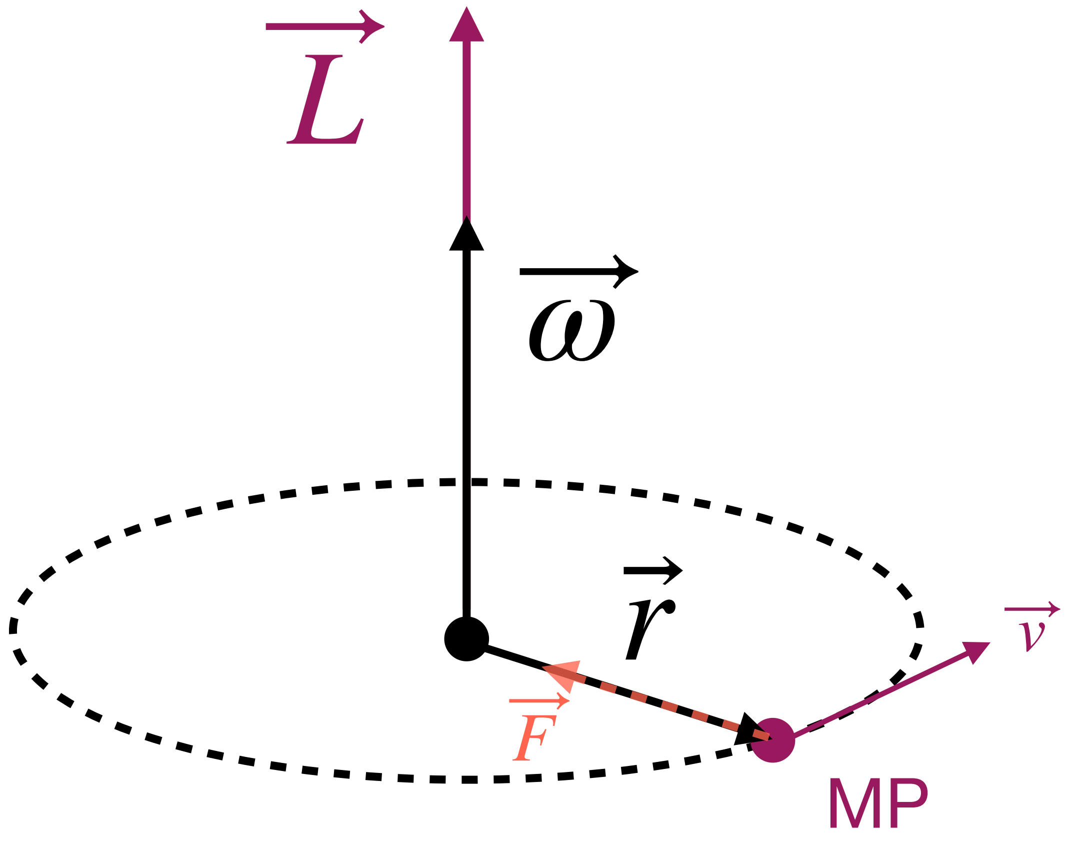
stoppen den Reifen: $\vec{L}_{\text{Reifen}} = 0 \rightarrow \vec{L} = \vec{L}_{\text{Wasser}}$

Versuch: Masse am Faden

Versuch: Koffer mit Schwungrad

Drehimpuls und Ursprung:

Für MP, Ursprung im Zentrum



Koordinatenursprung

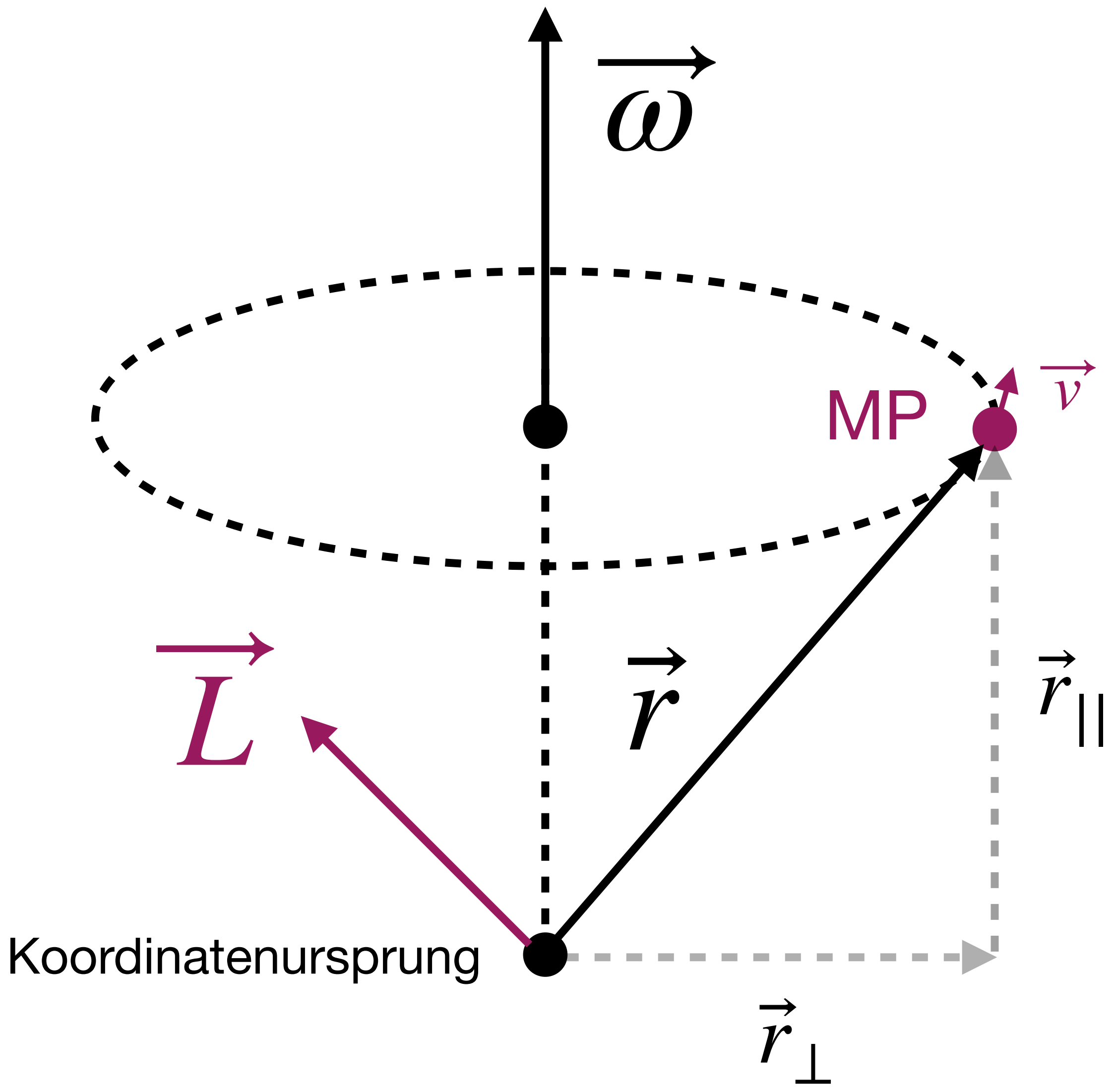
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\vec{F} = -m\,\omega^2\,\vec{r}$$

$$\vec{F} \sim \vec{r} \Rightarrow \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = 0$$

$$\Rightarrow \dot{\vec{L}} = 0$$

Für Ursprung versetzt entlang $\vec{\omega}$-Achse :



$$\vec{r} = \vec{r}_{||} + \vec{r}_\perp$$

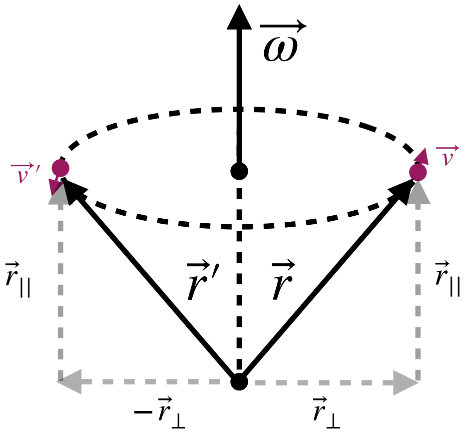
$$\rightarrow \vec{L} = \underbrace{\vec{r}_{||} \times \vec{p}}_{\vec{L} \sim \vec{r}_\perp} + \underbrace{\vec{r}_\perp \times \vec{p}}_{\substack{\text{wie vorher} \\ \dot{\vec{L}} = 0, \quad \vec{L} \sim \vec{\omega}}}$$

$$\downarrow$$

$$\vec{M} = \vec{r}_{||} \times \vec{F} \neq 0$$

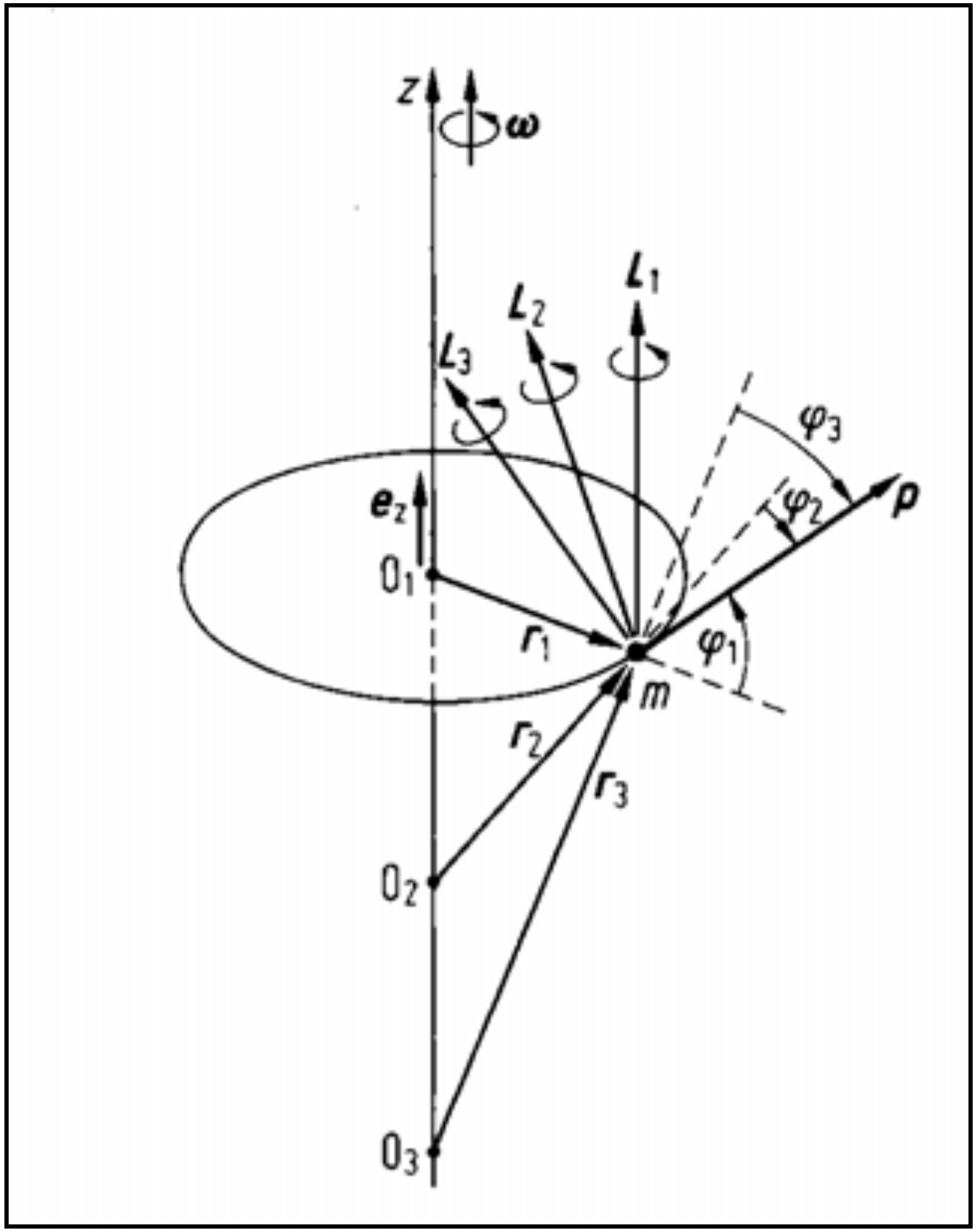
$$\dot{\vec{L}} \neq 0$$

aber 2 MP mit $\Delta\phi = \pi$ haben $\dot{\vec{L}} = 0$



$$\dot{\vec{L}} = \vec{M} = \vec{r}_{||} \times \vec{F} + \vec{r}_{||} \times \vec{F}' = \vec{r}_{||} \times \vec{F} - \vec{r}_{||} \times \vec{F} = 0$$

Für Ursprung versetzt entlang $\vec{\omega}$-Achse :



Beachte: hier wurde
L zum einfacheren Vergleich
in den MP verschoben.

Zusammenfassung Erhaltungssätze

	Wenn	Symmetrie
$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}E_{\text{gesamt}} = 0$	$\Delta E_{\text{ext.}} = 0$	$t \to t'$
$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{p}_{\text{gesamt}} = 0$	$\vec{F}_{\text{ext.}} = 0$	$\vec{x} \to \vec{x}' + \vec{r}$
$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\vec{L}_{\text{gesamt}} = 0$	$\vec{M}_{\text{ext.}} = 0$	$\vec{x} \to \vec{x}' = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Drehung}}}{V}(\vec{x})$

→ Noether-Theorem :

Erhaltungsgröße $\Longleftrightarrow$ Symmetrie

4. Trägheitskräfte + beschl. Bez.systeme

Bisher : Inertialsystem $\vec{F} = m\,\vec{a}$, $\vec{F} = 0 \;\Rightarrow\; \vec{p} = 0$

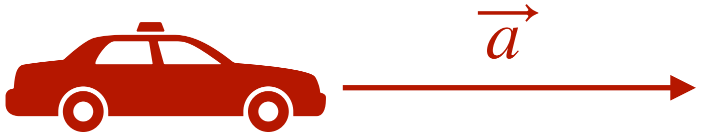
(Trägheitsgesetz)

Was passiert mit dem Trägheitsgesetz, wenn man es in ein beschleunigtes Bezugsystem betrachtet?

4.1 Gleichm. beschl. Bezugssystem

Bsp.

Rennfahrer beim Start im Ruhesystem des Fahrers:



Fahrer ruht $\Longrightarrow$ $\vec{p}\,' = 0\,,\ \vec{a}\,' = 0$

Der Fahrer spürt aber eine Kraft, die ihn in den Sitz presst $\Longrightarrow$ **“Scheinkraft”** (da $\vec{a}\,' = 0$)

“Trägheitskraft”

Im “Laborsystem” (Zuschauer) klar

Fahrer erfährt Beschleunigung $\vec{a}$ und damit $\vec{F} = m\,\vec{a}$