$v = \frac{dx}{dt}$ $\qquad x(t) = \int_{t_0}^{t} dt'\, v(t') + x_0$

$x(t) = \int dt'\, v(t') + C$

Kräften

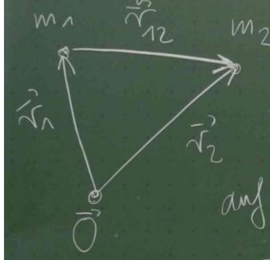
$|\vec{F}| \sim |\vec{v}|$ Stokessche Reibung (zähe Medien)

$|\vec{F}| \sim |\vec{v}|^2$ (Luft)

6) Scheinkräfte (Zentrifugalkraft, Zentripetal, Coriolis)

7) Zwangskräfte → Physik 3

8) Gravitationskraft



$\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

$\vec{F}_{12}$ = die Kraft, welche m_1 auf m_2 ausübt $= -\vec{F}_{21}$ ($\vec{F}_{21}$ = die Kraft, welche m_2 auf m_1 ausübt)

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

Newtonsche Gravitationsgesetz

Eigenschaften: – symmetrisch in m_1 und m_2

– Zentralkraft, Richtung entlang der Verbindungslinie

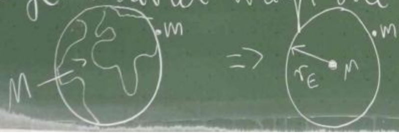
– $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ Cavendish-Experiment

[getestet bis ca 10^{-4} m]

– immer anziehend

– $|\vec{F}| \sim \frac{1}{r^2}$ ← 3 Raumdimensionen

Frage: Wieviel wiegt die Erde? Gravitationskraft auf m auf Erdoberfläche.



$\vec{F}_G = -m\vec{g}$; $\vec{g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$

Gravitationskraft einer Masse M im Abstand r_E

$r_E \cong 6000$ km auf m : $= -G \frac{mM}{r_E^2} \frac{\vec{r}_E}{|\vec{r}_E|}$

$= 6000 \cdot 10^3$ m

$$\Rightarrow \cancel{m} \cdot g = G \frac{\cancel{m} M}{r_E^2} \Rightarrow M = \frac{g\, r_E^2}{G} = \frac{9{,}81 \frac{m}{s^2} (6 \cdot 10^6)^2 m^2\, kg^2}{6{,}67 \cdot 10^{-11}\, kg\, m^3 s^{-2}}$$

$= 6 \cdot 10 \cdot 10^{12} \cdot 10^{11}$ kg

$= 6 \cdot 10^{24}$ kg

9) Elektrostatische Kraft einer Punktladung q_1 auf q_2 und umgekehrt

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

Coulomb's Gesetz

Impulserhaltung

Betrachte System von N Massenpunkten mit Impulsen $\vec{p}_i$: $\vec{P}_{ges} = \sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i$

[Bei $\vec{F} = 0$ folgt $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{const}$]

System sei ohne externe Wechselwirkung

$\vec{F}_{ext} = 0 \Rightarrow$ mit Newton II folgt $\vec{P}_{ges} = \text{const}$

"Der Gesamtimpuls $\vec{P}_{ges}$ eines isolierten Systems von Teilchen ist konstant."

Anwendung: Stöße, Streuprozesse

$\vec{P}_{ges}$ (vorher) $= \vec{P}_{ges}$ (nachher)

Gültigkeitsbereich der klassischen Mechanik

1) $v \ll c$ Geschwindigkeiten klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit

Im Vakuum $c \approx 299792 \frac{km}{s}$

→ spezielle Relativitätstheorie

2) Wirkung $S \gg \hbar$

$\hbar$: Plancksches Wirkungsquantum "h-quer"

$\hbar \approx 10^{-34}$ Nms

Wirkung = Energie x Zeit

→ Quantenmechanik (Physik 4)

a) Newton: beinhaltet "Fernwirkung", also instantane Kraftübertragung

Moderne Physik: Wechselwirkung muß sich mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreiten

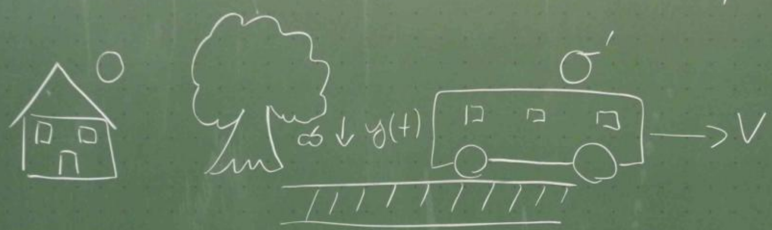
→ Feldtheorie

b) Zeitkonzept: "in klass. Mechanik läuft die Zeit so ab"

spezielle Relativitätstheorie: Raum-Zeit-Kontinuum.

Relativbewegung

(klassische Relativitätstheorie, $v \ll c$)



O: Beobachter im Haus

O': bewegt sich relativ zu O mit Relativgeschwindigkeit v

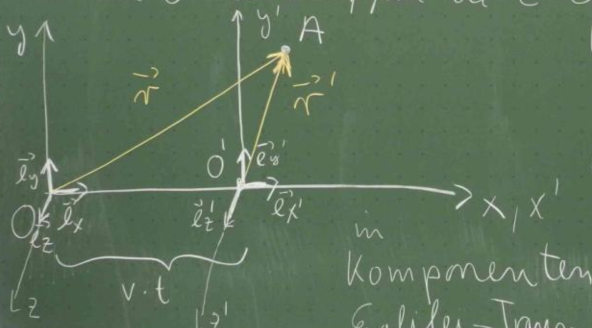
Gesucht: Beschreibung der Bewegung ein und denselben Massenpunktes aus der Sicht verschiedener, sich relativ zueinander bewegender Beobachter.

I gleichförmig bewegte Bezugssysteme ("Inertialsysteme", Trägheitsprinzip gilt)

O' bewege sich mit konstanter Geschwindigkeit $\vec{v}$ gegen O.

$\vec{v}$ habe nur eine x bzw x' Komponente. $v = |\vec{v}|$

O und O' überlappen bei $t = 0$



Koordinatentransformation

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} \cdot t$$

$$\Leftrightarrow \vec{r}' = \vec{r} - \vec{v} \cdot t$$

in Komponenten: Galilei-Transformationen

$x' = x - vt$	$x = x' + vt$
$y' = y$	$y = y'$
$z' = z$	$z = z'$
$t = t'$	

\# Transformation der Geschwindigkeit von A.

Beobachter O mißt

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{e}_x \frac{dx}{dt} + \vec{e}_y \frac{dy}{dt} + \vec{e}_z \frac{dz}{dt}$$

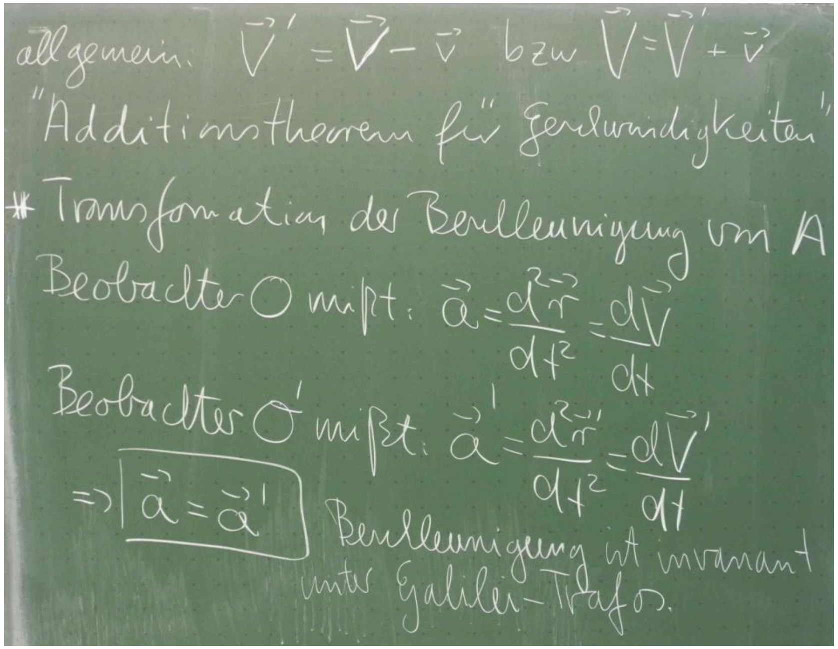
Beobachter O' mißt

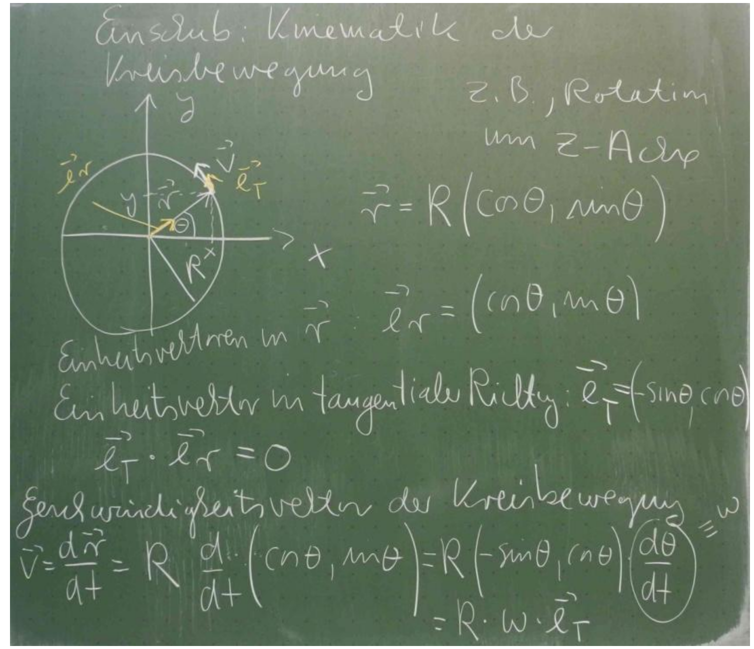
$$\vec{V}' = \frac{d\vec{r}'}{dt} = \vec{e}_x{}' \frac{dx'}{dt} + \vec{e}_y{}' \frac{dy'}{dt} + \vec{e}_z{}' \frac{dz'}{dt}$$

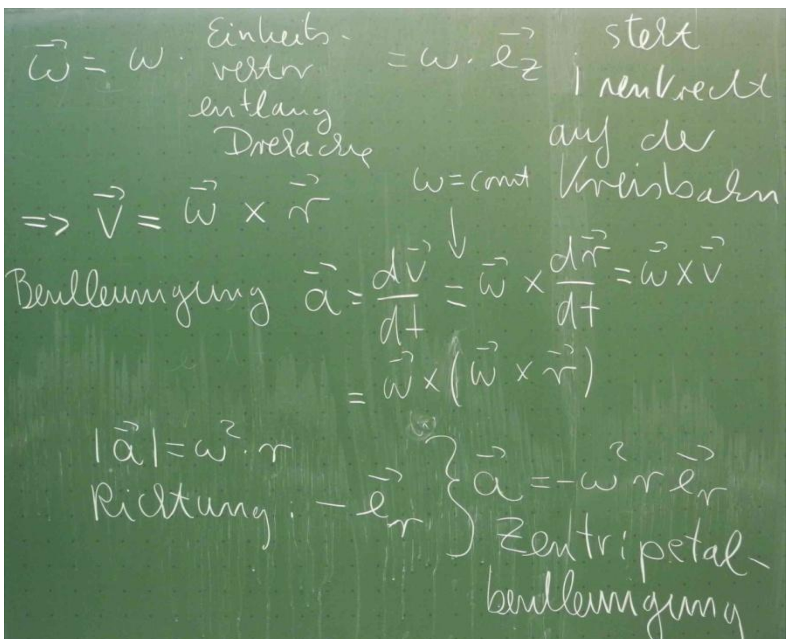
mit $\vec{e}_x = \vec{e}_x{}'$, $\vec{e}_y = \vec{e}_y{}'$, $\vec{e}_z = \vec{e}_z{}'$ + Galileitrafos

$$\Rightarrow \vec{V}' = \vec{e}_x \frac{d(x - vt)}{dt} + \vec{e}_y \frac{dy}{dt} + \vec{e}_z \frac{dz}{dt}$$

$$= \vec{V} - \vec{e}_x \frac{d(v \cdot t)}{dt} = \vec{V} - \vec{e}_x \cdot v$$


allgemein: $\vec{V}' = \vec{V} - \vec{v}$ bzw $\vec{V} = \vec{V}' + \vec{v}$
"Additionstheorem für Geschwindigkeiten"
* Transformation der Beschleunigung von A
Beobachter O mißt: $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d\vec{V}}{dt}$
Beobachter O' mißt: $\vec{a}' = \frac{d^2\vec{r}'}{dt^2} = \frac{d\vec{V}'}{dt}$
$\Rightarrow \boxed{\vec{a} = \vec{a}'}$ Beschleunigung ist invariant unter Galilei-Trafos.


Einschub: Kinematik der Kreisbewegung
z.B. Rotation um z-Achse
y
x
$\vec{e}_r$
$\vec{V}$
$\vec{e}_T$
$\vec{r}$
θ
R
$\vec{r} = R(\cos\theta, \sin\theta)$
Einheitsvektoren in $\vec{r}$: $\vec{e}_r = (\cos\theta, \sin\theta)$
Einheitsvektor in tangentiale Richtg: $\vec{e}_T = (-\sin\theta, \cos\theta)$
$\vec{e}_T \cdot \vec{e}_r = 0$
Geschwindigkeitsvektor der Kreisbewegung
$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = R \frac{d}{dt}(\cos\theta, \sin\theta) = R(-\sin\theta, \cos\theta) \cdot \frac{d\theta}{dt}$ $\equiv \omega$
$= R \cdot \omega \cdot \vec{e}_T$


$\vec{\omega} = \omega \cdot$ Einheitsvektor entlang Drehachse $= \omega \cdot \vec{e}_z$
steht senkrecht auf der Kreisbahn
$\Rightarrow \vec{V} = \vec{\omega} \times \vec{r}$
$\omega = \text{const}$
Beschleunigung $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{V}$
$= \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$
$|\vec{a}| = \omega^2 \cdot r$
Richtung: $-\vec{e}_r$
$\vec{a} = -\omega^2 r \vec{e}_r$
Zentripetalbeschleunigung