

Äquivalenzprinzip der Allgemeinen Relativitätstheorie

(Einstein 1915)

Newtonsche Mechanik hat keine Erklärung für die Tatsache, dass

$$\begin{array}{ccc} \text{träge Masse} & \stackrel{!}{=} & \text{schwere Masse} \\ \swarrow & & \searrow \\ m_t \vec{a} = \vec{F} & & \vec{F}_G = - G m_s M_s \frac{\hat{r}}{r^2} \end{array}$$

$$m_t \vec{a} = \vec{F}_G$$

$$\Leftrightarrow \quad \underline{\underline{\frac{m_t}{m_s} \ddot{\vec{r}} = - G M_s \frac{\hat{r}}{r^2}}}$$

Experiment: alle Körper fallen unter

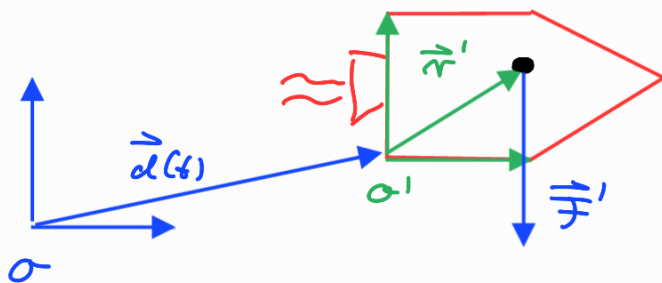
Gravitation mit denselben Beschleunigung!

$$\rightarrow \quad \frac{m_t}{m_s} = \text{konst!} \quad \left(\text{Konvention: } \frac{m_t}{m_s} = 1 \right)$$

Gibt es in Newt. Mechanik außer Gravitationskraft andere Kräfte, die strikt proportional zur trägen Masse eines Körpers sind?

Scheinkräfte!

→ Newt. Mechanik im "falschen" (d.h. nicht-inertialen) System K' erfordert Scheinkraft $\vec{F}_s'$:



$$\vec{b} = \ddot{\vec{a}}$$

$\vec{r}'(t)$ genügt Bwgl. $\underline{m_t} \ddot{\vec{r}}' = \underline{\vec{F}'} + \underline{\vec{F}_s'}$

mit $\underline{\vec{F}_s'} = -\underline{m_t} \underline{\vec{b}}$!

→ Scheinkraft $\vec{F}_s'$ per Konstruktion strikt proportional zur trägen Masse !

Einstein: "Gravitationskräfte sind Scheinkräfte"

... und deshalb strikt proportional zur
trägen Masse!

Newtonsche Mechanik benötigt diese Scheinkräfte,
da ein Inertialsystem (im Sinne Newtons) in
Gegenwart von Massen ein "falsches" Bezugssystem
darstellt; in einem passend gewählten System
sollten diese Scheinkräfte verschwinden!

2 → das "richtige" Bezugssystem ist dann
offenbar ein frei fallendes Bezugssystem!
und nicht rotierendes

2 → Äquivalenzprinzip

In allen frei fallenden, nicht rotierenden Bezugssystemen gelten dieselben Naturgesetze, insbesondere die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

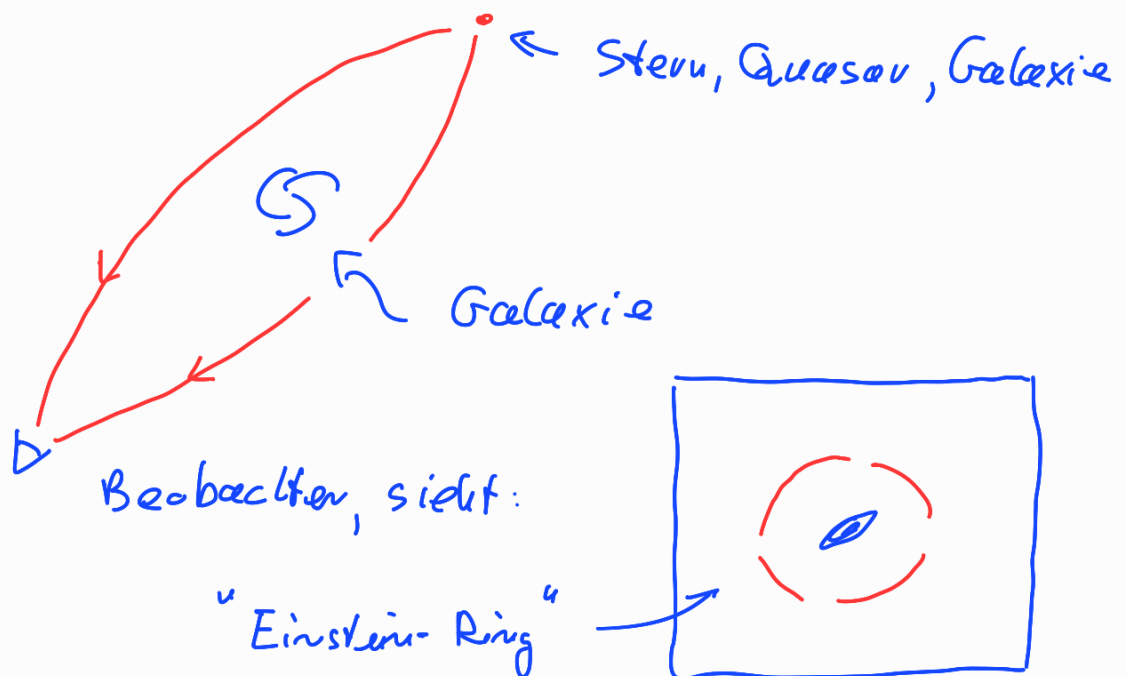
grundlegendes Prinzip der Allgemeinen Relativitätstheorie

↑ vgl. mit Relativitätsprinzip der Speziellen RT:

"In allen Inertialsystemen gelten" ↓

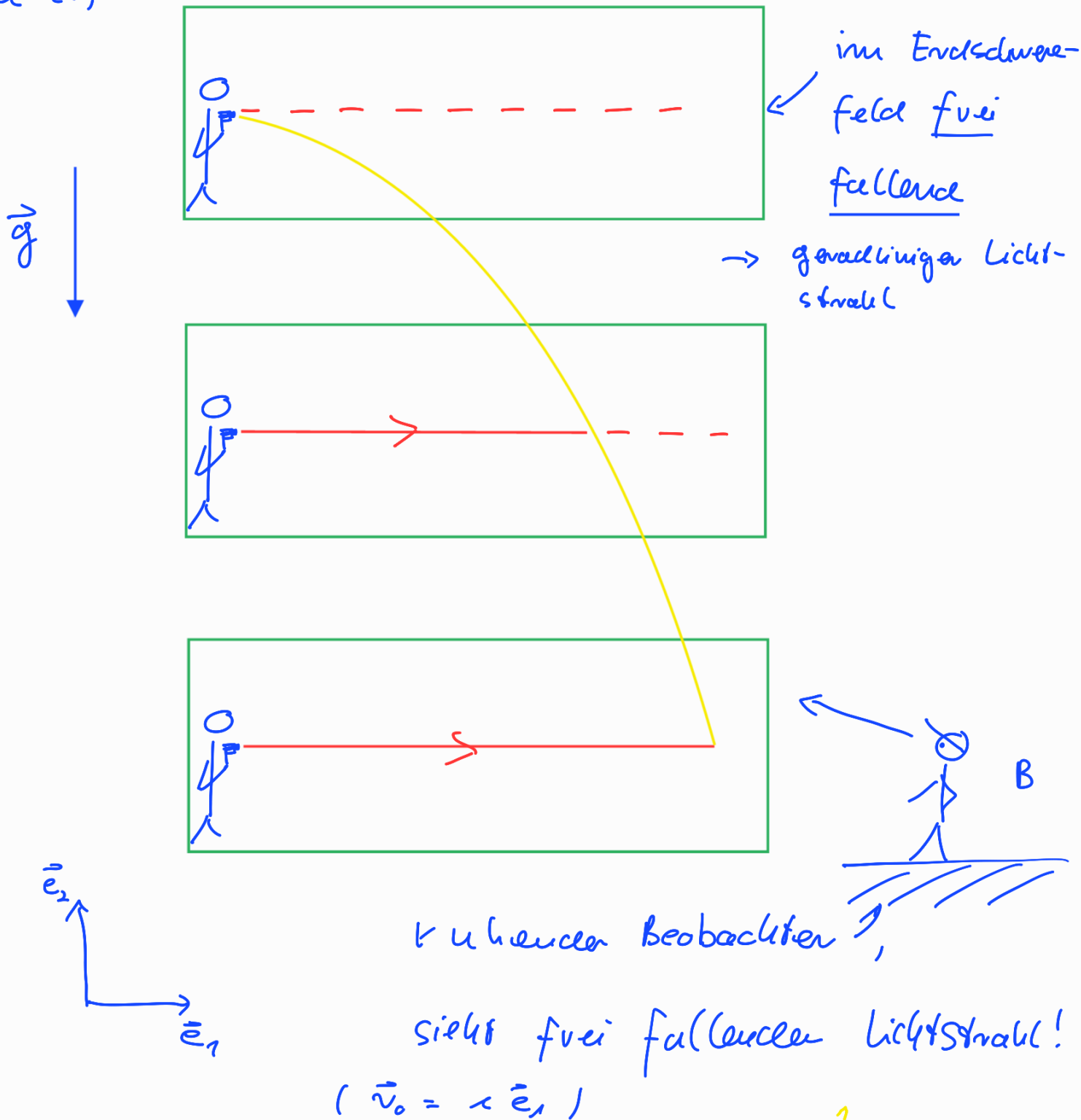
folgende Konsequenzen können aus dem Äquivalenzprinzip direkt (d.h. ohne den math. Formalismus der ART) abgeleitet werden:

(i) Licht wird durch Massen abgelenkt!

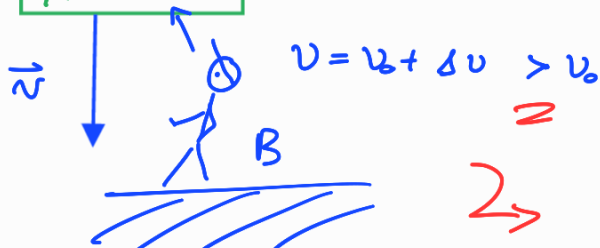
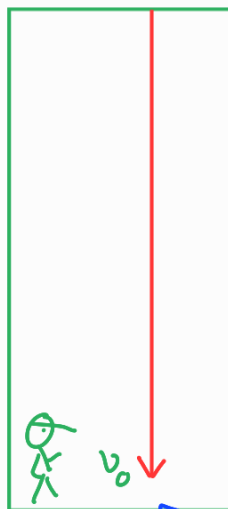
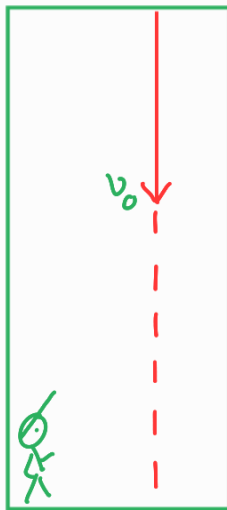


(ii) Uhren auf geringem Gravitationspotenzial
 laufen langsamer als solche auf
 höherem (gravitative Zeitdilatation)

zu (i)



zu (ii):



→ Uhr von B läuft langsamer!

quantitativ:

$$h \Delta \nu = \Delta E = \frac{h \nu}{c^2} m g H$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta \nu}{\nu} = g H / c^2$$

Bsp: Uhr auf Turmspitze des Kölner
Doms läuft gegenüber Uhr auf
Domplatte in 10^7 Jahren etwa
2 Sek. vor.

