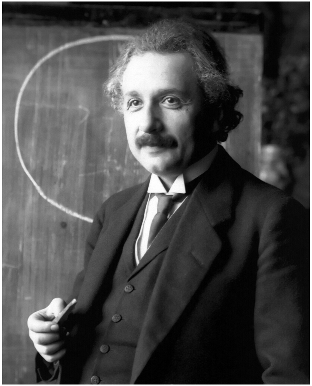
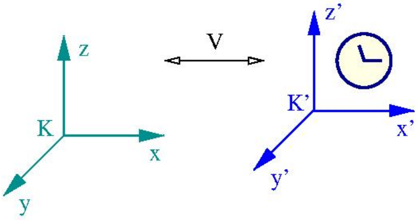
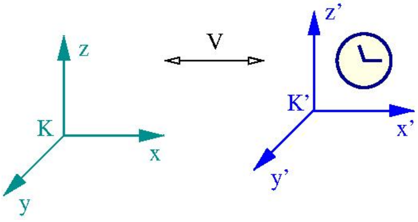


Bild: Wikipedia

Albert Einstein

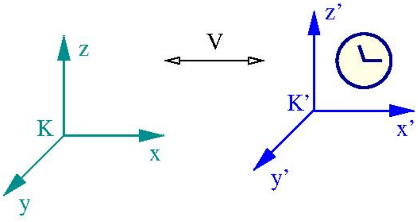
Zeit





Start / Stop der Zeitmessung: $E_1\,(t_1', x', y', z')$ und $E_2\,(t_2', x', y', z')$

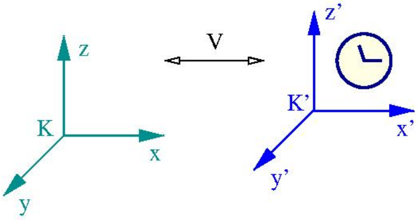
Ereignisse finden in K' nacheinander am selben Ort statt!



Start / Stop der Zeitmessung: $E_1\,(t_1', x', y', z')$ und $E_2\,(t_2', x', y', z')$

Ereignisse finden in K' nacheinander am selben Ort statt!

$\Delta t' = t_2' - t_1'$ und $\Delta x' = \Delta y' = \Delta z' = 0$

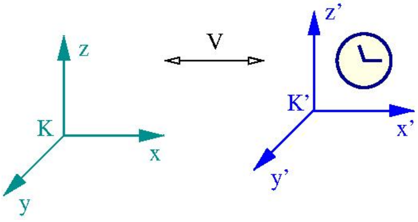


Start / Stop der Zeitmessung: $E_1\,(t_1', x', y', z')$ und $E_2\,(t_2', x', y', z')$

Ereignisse finden in K' nacheinander am selben Ort statt!

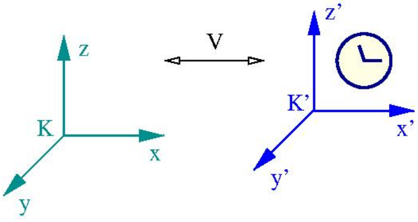
$\Delta t' = t_2' - t_1'$ und $\Delta x' = \Delta y' = \Delta z' = 0$, Raumzeitabstand ist:

$$\Delta s^2 = -c^2 \Delta t'^2 + \underbrace{\Delta x'^2 + \Delta y'^2 + \Delta z'^2}_{=0} = -c^2 \Delta t'^2$$



In K hat sich die Uhr während des Zeitintervalls $\Delta t = t_2 - t_1$

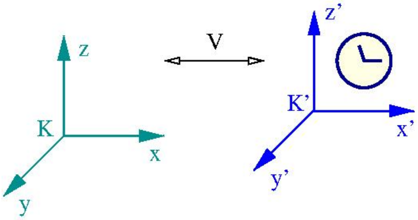
um die Strecke $\Delta x = x_2 - x_1$ bewegt!



In K hat sich die Uhr während des Zeitintervalls $\Delta t = t_2 - t_1$

um die Strecke $\Delta x = x_2 - x_1$ bewegt! (y und z unverändert)

Koordinaten in K sind $E_1\,(t_1, x_1, y, z)$ und $E_2\,(t_2, x_2, y, z)$



In K hat sich die Uhr während des Zeitintervalls $\Delta t = t_2 - t_1$

um die Strecke $\Delta x = x_2 - x_1$ bewegt! (y und z unverändert)

Koordinaten in K sind $E_1\,(t_1, x_1, y, z)$ und $E_2\,(t_2, x_2, y, z)$

$$\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2 + \underbrace{\Delta y^2 + \Delta z^2}_{=0} = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$$

4-dim. Raumzeitabstand in allen Inertialsystemen gleich!

4-dim. Raumzeitabstand in allen Inertialsystemen gleich!

Gleichsetzen von $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t'^2$ und $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$:

$$-c^2 \Delta t'^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$$

4-dim. Raumzeitabstand in allen Inertialsystemen gleich!

Gleichsetzen von $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t'^2$ und $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$:

$$-c^2 \Delta t'^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$$

$$\ldots = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{\Delta x^2}{c^2 \Delta t^2}\right) = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{1}{c^2} \left[\frac{\Delta x}{\Delta t}\right]^2\right)$$

4-dim. Raumzeitabstand in allen Inertialsystemen gleich!

Gleichsetzen von $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t'^2$ und $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$:

$$-c^2 \Delta t'^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$$

$$\ldots = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{\Delta x^2}{c^2 \Delta t^2}\right) = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{1}{c^2} \left[\frac{\Delta x}{\Delta t}\right]^2\right)$$

$\frac{\Delta x}{\Delta t} = V$ entspricht der Relativgeschwindigkeit von K und K'

$$\cancel{-c^2} \Delta t'^2 = \cancel{-c^2} \Delta t^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)$$

4-dim. Raumzeitabstand in allen Inertialsystemen gleich!

Gleichsetzen von $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t'^2$ und $\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$:

$$-c^2 \Delta t'^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2$$

$$\ldots = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{\Delta x^2}{c^2 \Delta t^2}\right) = -c^2 \Delta t^2 \left(1 - \frac{1}{c^2} \left[\frac{\Delta x}{\Delta t}\right]^2\right)$$

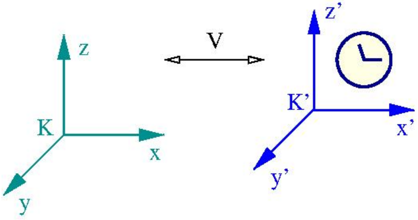
$\frac{\Delta x}{\Delta t} = V$ entspricht der Relativgeschwindigkeit von K und K'

$$\cancel{-c^2} \Delta t'^2 = \cancel{-c^2} \Delta t^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)$$

Zeitdilatation: $\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$

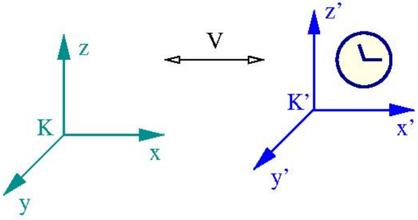
Die im **mitbewegten** Koordinatensystem gemessene Zeit wird

Eigenzeit τ genannt!



Die im **mitbewegten** Koordinatensystem gemessene Zeit wird

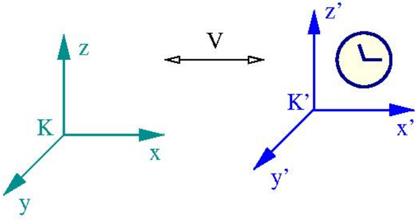
Eigenzeit τ genannt!



In $\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - V^2/c^2}$ ist $\Delta t' = \tau$, abkürzend sei $\Delta t = t$

Die im **mitbewegten** Koordinatensystem gemessene Zeit wird

Eigenzeit τ genannt!



In $\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - V^2/c^2}$ ist $\Delta t' = \tau$, abkürzend sei $\Delta t = t$

Im anderen Koordinatensystem K vergeht also die Zeit

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Ein Ufo bewegt sich mit $99,9\%$ der Lichtgeschwindigkeit, die Reise bei dieser Geschwindigkeit dauert aus Sicht des Ufos ein Jahr.

Ein Ufo bewegt sich mit $99,9\%$ der Lichtgeschwindigkeit, die Reise bei dieser Geschwindigkeit dauert aus Sicht des Ufos ein Jahr.

Von zwei 20-Jährigen Personen wird eine mitgenommen.

Die mitfahrende Person altert bei der Reise um $\tau = 1$ Jahr

Ein Ufo bewegt sich mit $99,9\%$ der Lichtgeschwindigkeit, die Reise bei dieser Geschwindigkeit dauert aus Sicht des Ufos ein Jahr.

Von zwei 20-Jährigen Personen wird eine mitgenommen.

Die mitfahrende Person altert bei der Reise um $\tau = 1$ Jahr

Die auf der Erde verbleibende Person altert um ca.

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1\,a}{\sqrt{1 - \frac{(0{,}999c)^2}{c^2}}} \approx 22\,a$$

Ein Ufo bewegt sich mit $99,9\%$ der Lichtgeschwindigkeit, die Reise bei dieser Geschwindigkeit dauert aus Sicht des Ufos ein Jahr.

Von zwei 20-Jährigen Personen wird eine mitgenommen.

Die mitfahrende Person altert bei der Reise um $\tau = 1$ Jahr

Die auf der Erde verbleibende Person altert um ca.

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1\,a}{\sqrt{1 - \frac{(0{,}999c)^2}{c^2}}} \approx 22\,a$$

Bei Wiedertreffen ist diese Person 42 und die aus dem Ufo 21.

Warum vergeht gerade für die Person im Ufo weniger Zeit?

Warum vergeht gerade für die Person im Ufo weniger Zeit?

Beide trennen sich im Raumzeitpunkt E_1, bewegen sich dann entlang ihrer jeweiligen Raumzeitkurven und treffen sich bei E_2.

Der **Raumzeitabstand** von E_1 und E_2 ist invariant!

Warum vergeht gerade für die Person im Ufo weniger Zeit?

Beide trennen sich im Raumzeitpunkt E_1, bewegen sich dann entlang ihrer jeweiligen Raumzeitkurven und treffen sich bei E_2.

Der **Raumzeitabstand** von E_1 und E_2 ist invariant!

Das Ufo hat eine größere räumliche Distanz zurückgelegt.

Warum vergeht gerade für die Person im Ufo weniger Zeit?

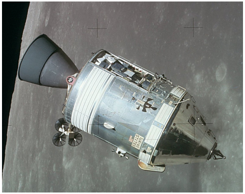
Beide trennen sich im Raumzeitpunkt E_1, bewegen sich dann entlang ihrer jeweiligen Raumzeitkurven und treffen sich bei E_2.

Der **Raumzeitabstand** von E_1 und E_2 ist invariant!

Das Ufo hat eine größere räumliche Distanz zurückgelegt.

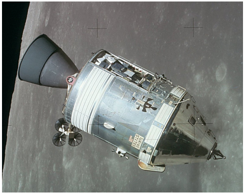
Um auf den gleichen Raumzeitabstand zu kommen muss auf der Erde mehr Zeit vergehen!

Aufgrund von Beschleunigung/Bremsen befindet sich das Ufo zwar nicht durchgehend in einem Inertialsystem, allerdings lassen sich Teilstücke mit konstanter Geschwindigkeit aufsummieren.



Bildquelle: Wikipedia

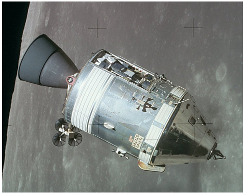
1969 stellt Apollo 10 beim Wiedereintritt mit knapp 40000 $\frac{km}{h}$ den Geschwindigkeitsrekord der bemannten Raumfahrt auf.



Bildquelle: Wikipedia

1969 stellt Apollo 10 beim Wiedereintritt mit knapp 40000 $\frac{km}{h}$ den Geschwindigkeitsrekord der bemannten Raumfahrt auf.

Während eines Tages im Raumschiff bei dieser Geschwindigkeit vergeht auf der Erde ein Tag und ca. $0,00006s = 60\mu s$



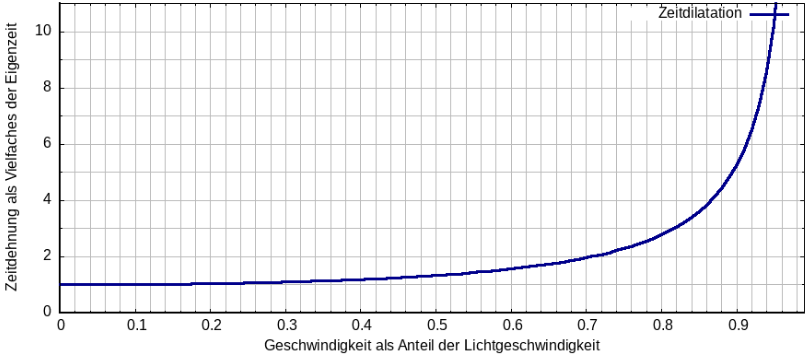
Bildquelle: Wikipedia

1969 stellt Apollo 10 beim Wiedereintritt mit knapp 40000 $\frac{km}{h}$ den Geschwindigkeitsrekord der bemannten Raumfahrt auf.

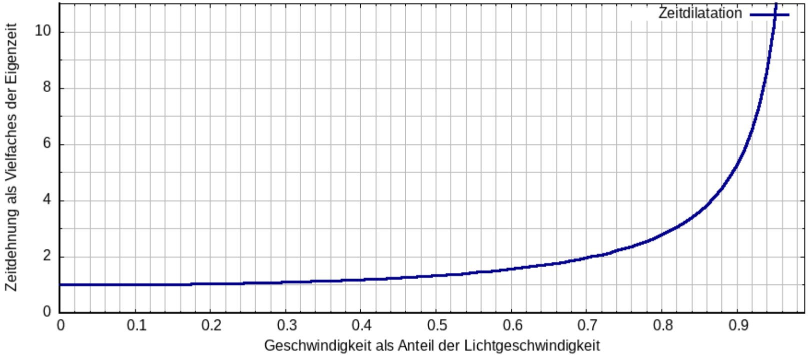
Während eines Tages im Raumschiff bei dieser Geschwindigkeit vergeht auf der Erde ein Tag und ca. $0,00006s = 60\mu s$

Bei Alltagsgeschwindigkeiten spielt der Effekt kaum eine Rolle.

Zeitdilatation



Zeitdilatation



"Relativistischer Zug" mit Geschwindigkeit $V \to c$

bedeutet am Bahnsteig geht $t \to \infty$

Wie viel Zeit vergeht hängt vom Bezugssystem ab!

Wie viel Zeit vergeht hängt vom Bezugssystem ab!

Es gibt **keine** universelle Zeit!

Bild: Salvador Dalí - **wikiart**

Weiter geht es in Teil 7 ...