

Klassische Physik 1

Johannes Blümer

WS 2014/15

V20 13.1.15

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



1. Einführung

- 1.1. Was ist Physik?
- 1.2. Physikalische Größen und Einheiten
- 1.3. Messungen, Datenauswertung, Fehler

2. Klassische Mechanik

- 2.1. Kinematik der Massenpunkte
- 2.2. Dynamik der Massenpunkte
- 2.3. Systeme von Massenpunkten
- 2.4. Rotation

3. Gravitation

- 3.1. Gravitationsgesetz
- 3.2. Feld und Potential

3.3. Planetenbahnen: Kepler

3.4. Massenverteilungen

3.5. Dunkle Materie

4. Relativistische Mechanik

4.1. Bezugssysteme und Transformationen

4.2. Spezielle Relativitätstheorie

4.3. Relativistische Kinematik

5. Feste Körper und Flüssigkeiten

5.1. Feste Körper

5.2. Hydrostatik und Hydrodynamik

6. Schwingungen und Wellen

6.1. Schwingungen

6.2. Wellen

Zusammenfassung v19

Galilei-Transf.

$$\left. \begin{array}{l} x = x' + vt' \quad y = y' \quad z = z' \quad t = t' \\ x' = x - vt \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = t \end{array} \right\} \checkmark \text{ für } v \ll c$$

Einstein Postulate: E1: $c = \text{const}$; E2: $\nexists$ ausgezeichnetes Inertialsystem

↳ $t = t'$ nicht haltbar

Lorentz-Transformation

$$x = \gamma(x' + vt'), \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \gamma\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right)$$

$$x' = \gamma(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$

$$\beta = v/c$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

↳ Zeitdehnung $\Delta t = \gamma \Delta t'$

Längenkontraktion $L = L'/\gamma$

rel. Geschwindigkeitsaddition

Klassisch: $v = v_1 + v_2 \rightarrow v + u$... Bsp. $\frac{2}{3}c + \frac{2}{3}c = \frac{4}{3}c > c$ ⚡

S' bewege sich mit v relativ zu S

Teilchen bewege sich in S' mit Geschw. u'_x in x -Richtung

Teilchengeschwindigkeit u_x in S ? $u'_x = dx'/dt'$

$u_x = dx/dt$ L.T. anwenden und differenzieren

$$\left. \begin{aligned} dx &= \gamma (dx' + v dt') \\ dt &= \gamma (dt' + \frac{v dx'}{c^2}) \end{aligned} \right\} u_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + v dt'}{dt' + \frac{v dx'}{c^2}} \quad | \div dt'$$

$$u_x = \frac{dx'/dt' + v}{1 + v \frac{dx'/dt'}{c^2}} \quad \left| \frac{dx'}{dt'} = u'_x \text{ s.o.} \right| \rightarrow$$

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v u'_x}{c^2}}$$

Bem.: Gl. ist symmetrisch
in u'_x und v , d.h. Geschwindigkeiten von Teilchen
und Bezugssystemen sind gleichwertig

$u_x \rightarrow c$ wenn $u'_x, v \rightarrow c$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Beisp. } v = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} \sim 2/3 c \\ u'_x = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} \sim 2/3 c \end{array} \right\} u_x = \frac{2/3 c + 2/3 c}{1 + 4/9} = \frac{12}{13} c$$

statt $4/3 c$
klassisch

Dopplereffekt

vgl. Schall: Ausbreitung von Druckwellen in Luft
mit Schallgeschwindigkeit v Medium!

Q Quelle

B Beobachter

$$Q: f'_Q = f_0 / (1 - u/v)$$

$$B: f'_B = f_0 \cdot (1 + u/v)$$

Q, B bewegen sich aufeinander zu



relativ zum Medium

Bei Lichtausbreitung gelten E_1, E_2

Unterscheidung Q, B nicht möglich

Im Ruhesystem von B: $Q \xrightarrow{v} B$

B misst N elektromagn. "Wellenberge" in Δt_B

$$\text{Wellenlänge } \lambda_B = \frac{c \Delta t_B - v \Delta t_B}{N} = \frac{c-v}{N} \Delta t_B$$

$$\text{Frequenz } f_B = \frac{c}{\lambda_B} = \frac{c}{c-v} \frac{N}{\Delta t_B} = \frac{1}{1-\beta} \frac{N}{\Delta t_B}$$

Im Ruhesystem der Quelle: $N = f_Q \Delta t_Q$

Eigenfreq.

im Bez. system der Quelle

Eigenzeit f. Q

N muss für Q, B identisch sein! $\Delta t_B = \gamma \Delta t_Q$

$$f_B = \frac{1}{1-\beta} \frac{f_Q \Delta t_Q}{\Delta t_B} = \frac{1}{1-\beta} \frac{1}{\gamma} f_Q \quad \left| \quad \text{Rollentausch von Q, B} \hat{=} \text{VZW von } v, \beta \right.$$

$$\frac{\lambda_B}{\lambda_a} = \frac{\sqrt{1 \pm \beta}}{\sqrt{1 \mp \beta}} = \frac{\lambda_a}{\lambda_B} \rightarrow \text{Verschiebung von Wellenlängen aufgrund von Relativ-Bewegung}$$

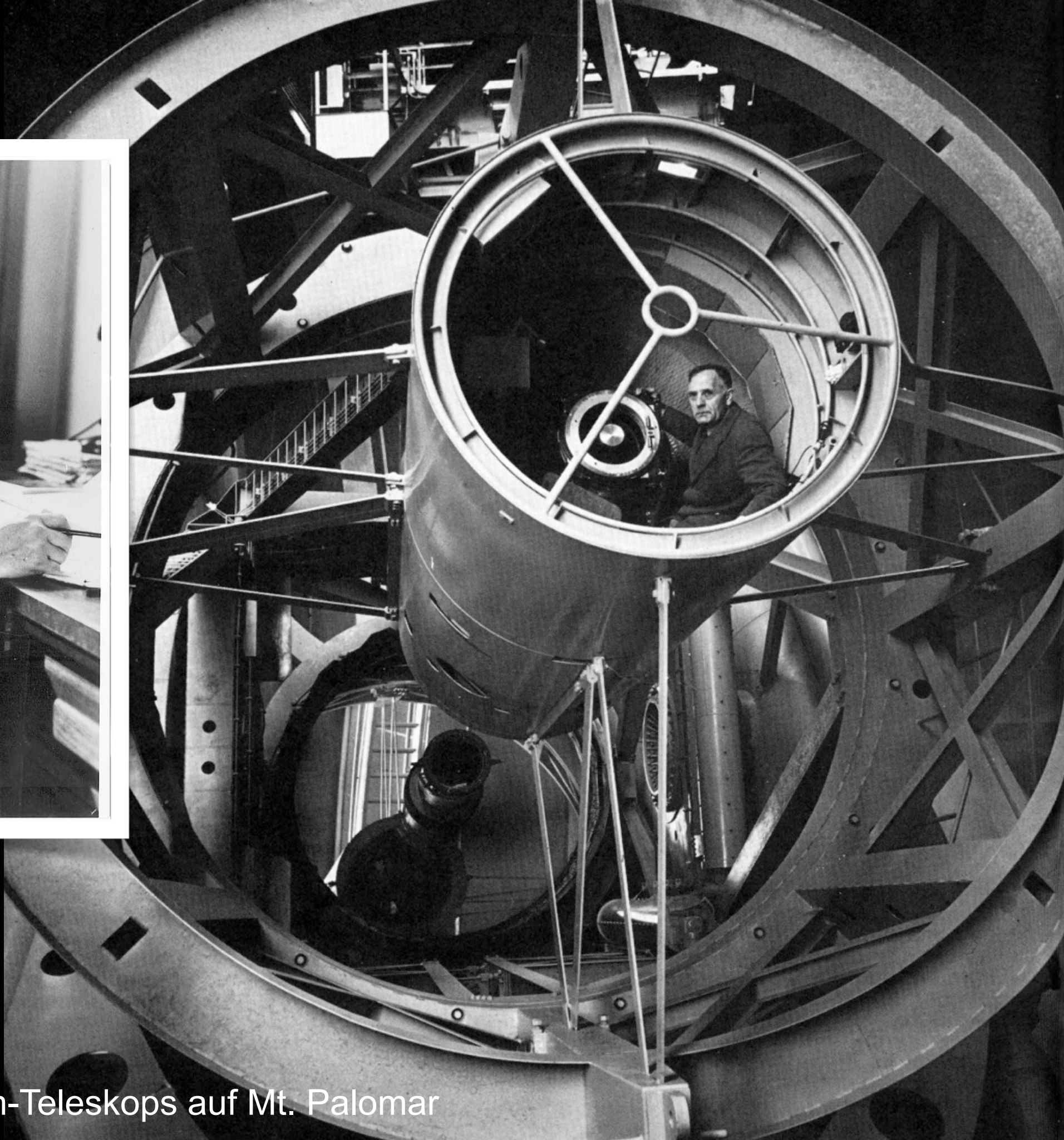
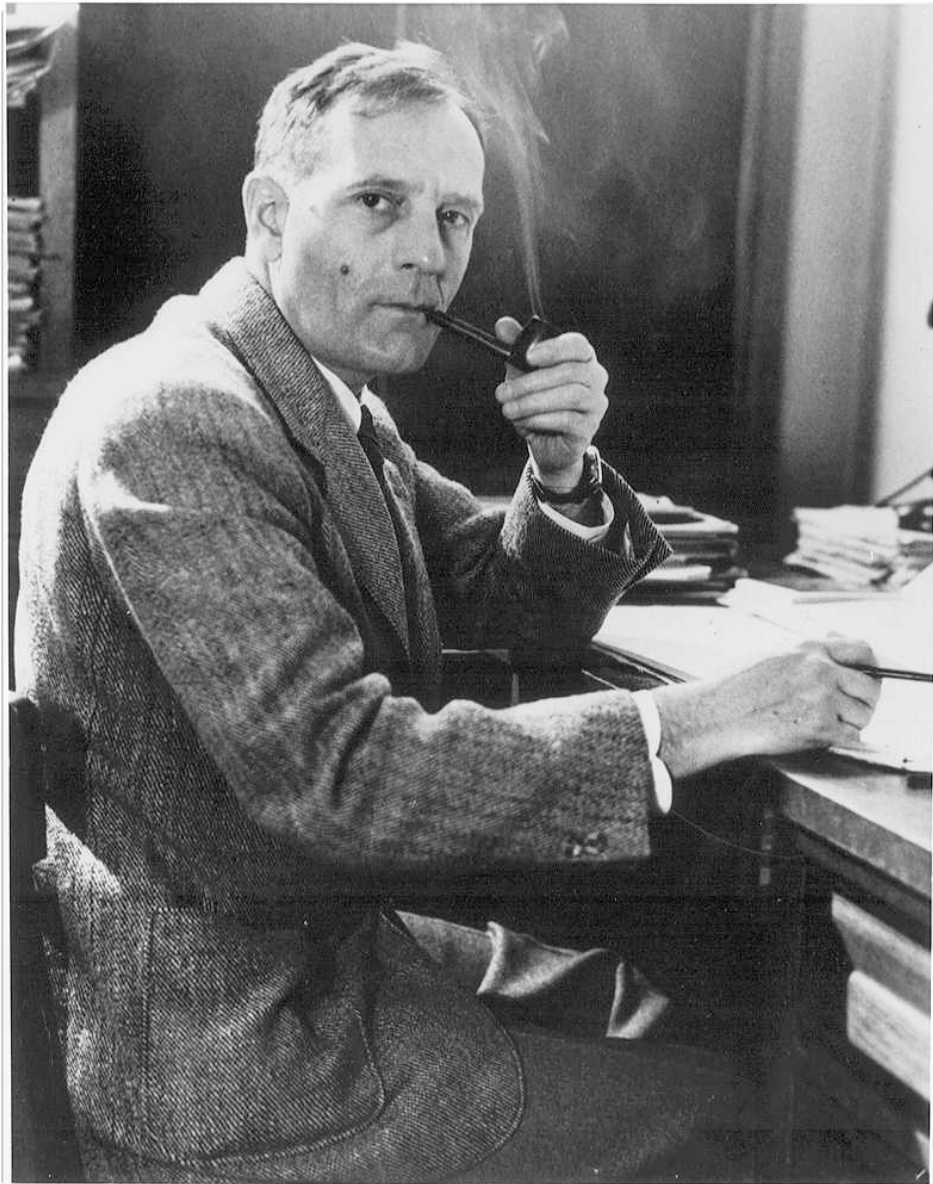
↳ "Rotverschiebung von Galaxien", "kosmische Expansion"

Spektrallinien von weit entfernten Galaxien erscheinen nach "rot" verschoben ↙ Hubble 1929: Expansion des Weltalls

$$\begin{aligned} \text{Rotverschiebung } z &= \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \\ &= \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} - 1 \Rightarrow \beta = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \end{aligned}$$

Beisp. "ULAS" hat gemessenen $z = 7.1 \Rightarrow \beta = 0.97$

Edwin Hubble 1889-1953



... im Primärfokus des 5m-Teleskops auf Mt. Palomar

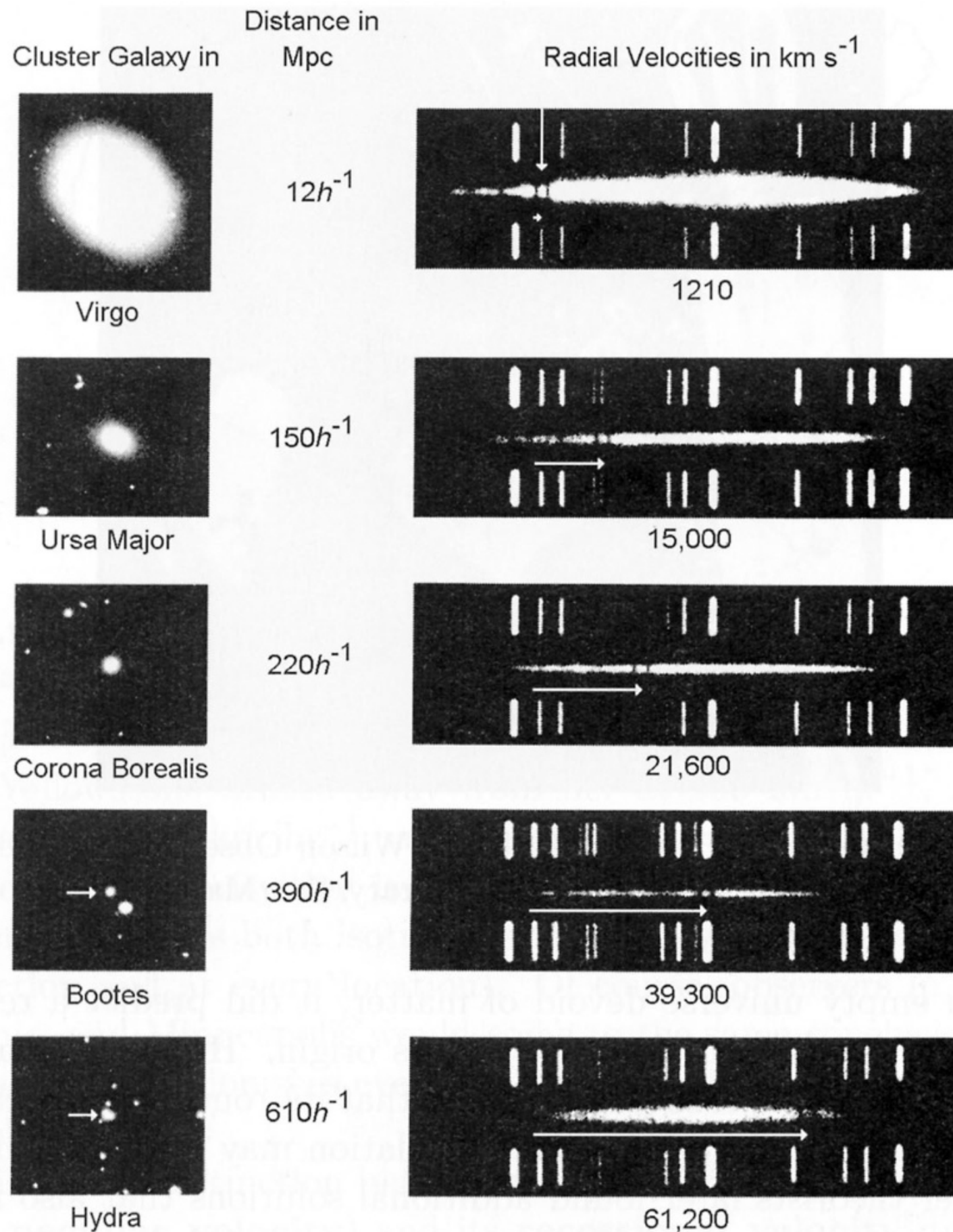


Figure 25.7 The appearance and redshifts of the H and K lines of calcium for five galaxies. (Courtesy of Palomar/Caltech.)

Cepheiden
Supernova
Ib

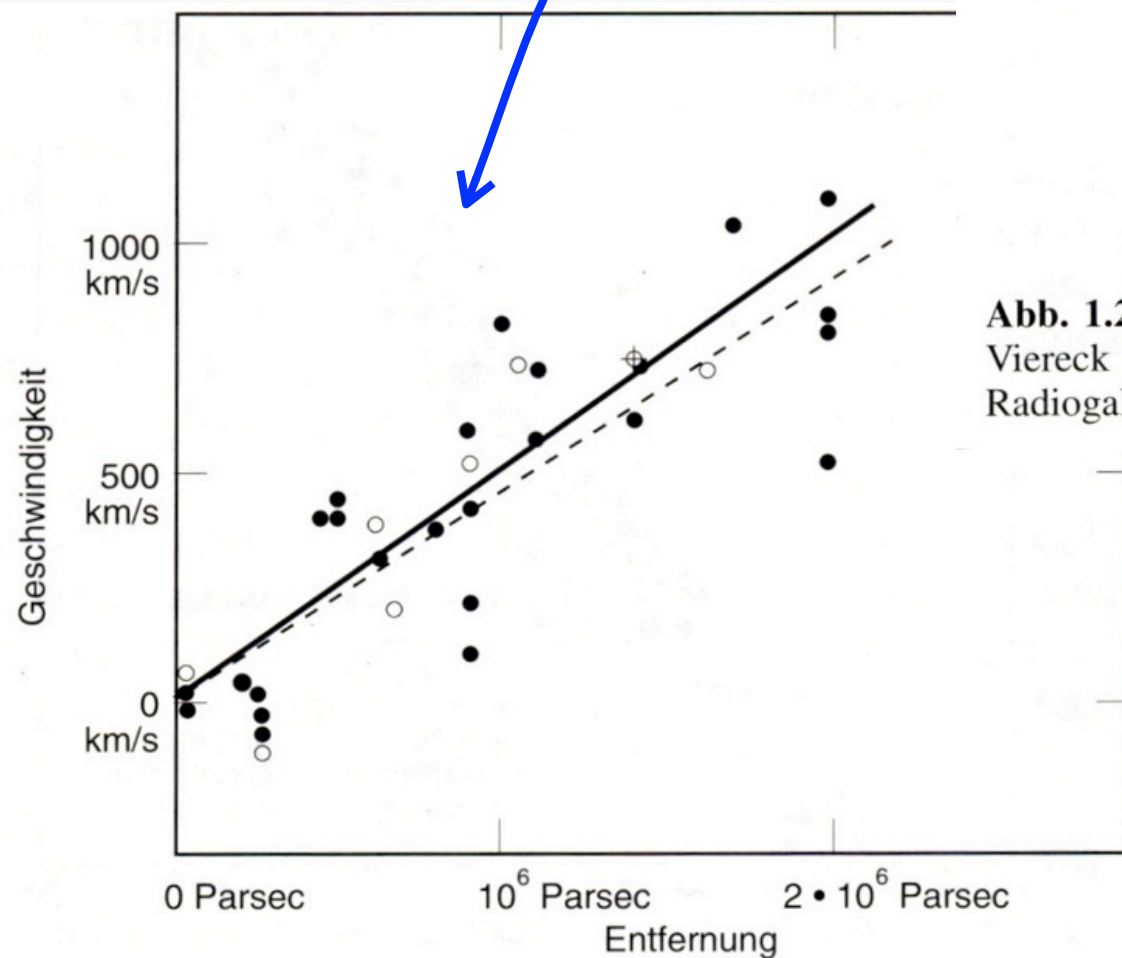


Abb. 1.1. Hubble's Geschwindigkeits-Entfernungsdiagramm von 1929 (nach Smith 1982). Die vollen Scheiben und die durchgezogene Linie beziehen sich auf die einzelnen Galaxien relativ zum Milchstraßensystem. Die Kreise und gestrichelte Linie auf eine bestimmte Gruppierung der Galaxien.

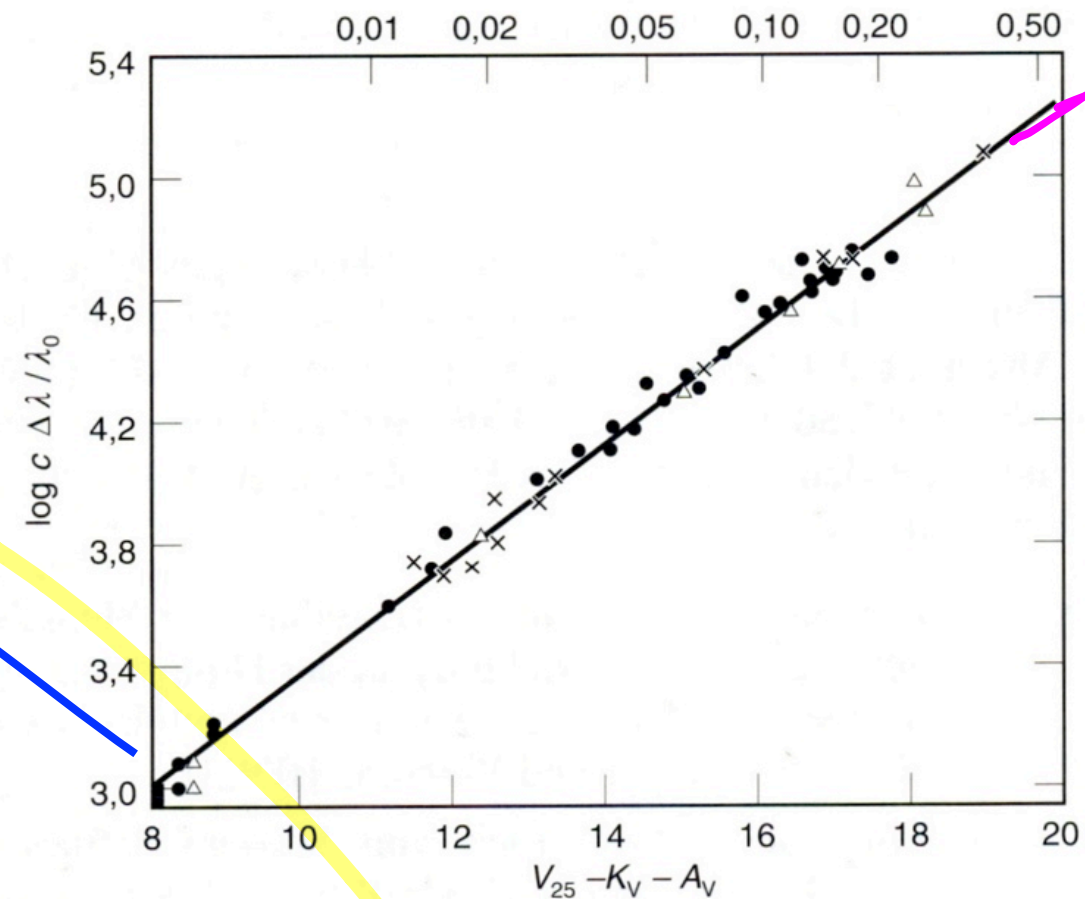


Abb. 1.2. Hubble-Diagramm nach Sandage (Observatory 88, 91 (1968)) Das schwarze Viereck links unten bezeichnet den Bereich von Hubbles ursprünglicher Messung (×: Radiogalaxien).

$$1 \text{ pc} \sim 3 \text{ lj}$$

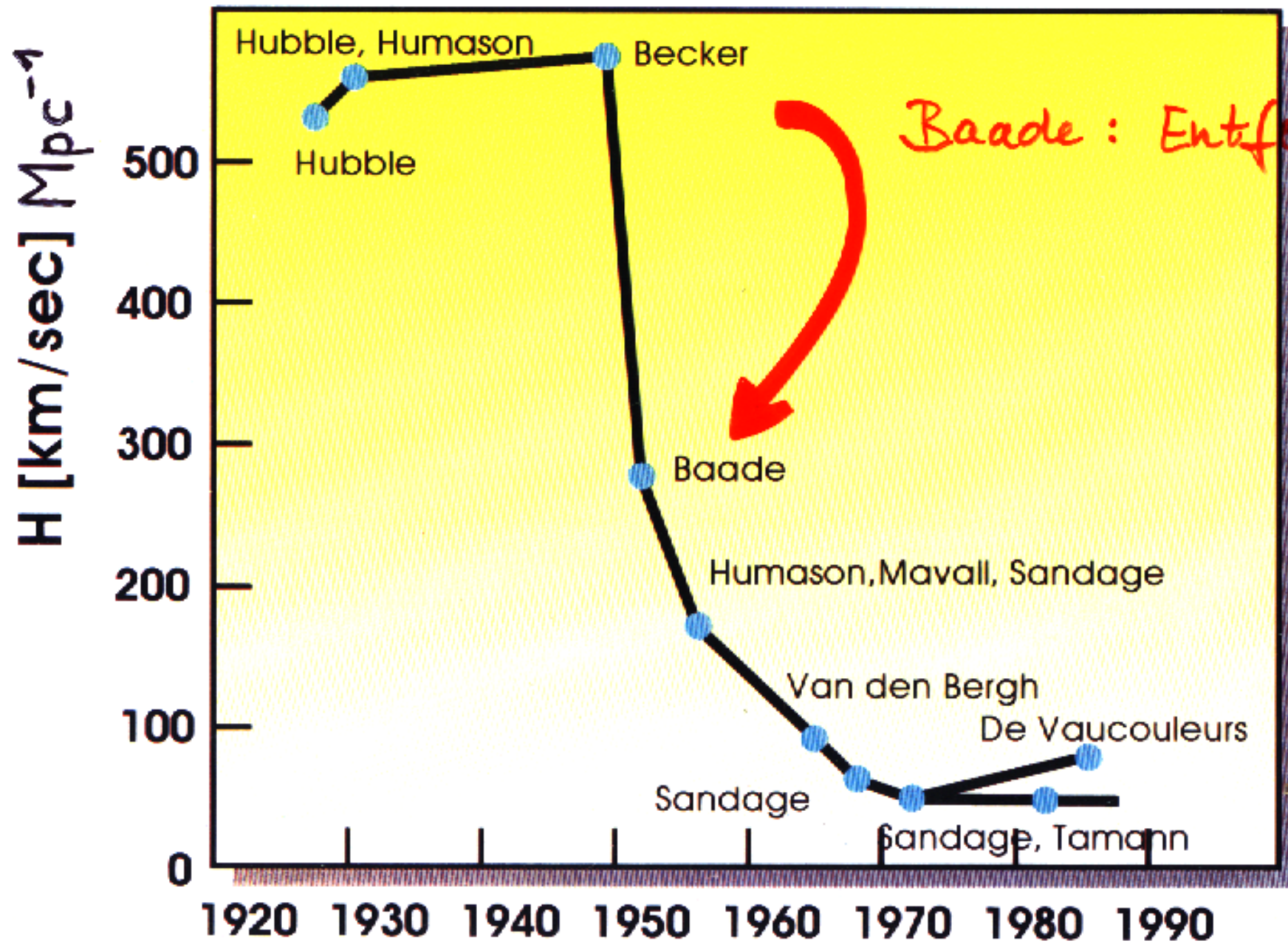
$$L \propto \frac{1}{r^2}$$

$$L_B = \frac{L_0}{r^2} \Rightarrow r$$

Geschichte der Hubble-Konstante

$$v = H_0 \cdot D$$

↑
aus Rotverschiebung



Cepheiden-Problem
systematische Verzerrungen bei Auswahl der "Standardkerzen"

$$H_0 = 100 h \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$$

$$0.4 \leq h \leq 1$$



ULAS J1120+0641 June 2011 $z = 7.1$



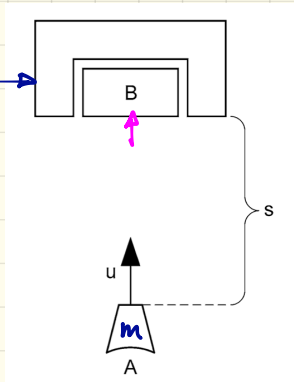
Der Swing Speed Radar mit Geschwindigkeits Zeitmesser ist ein kleiner, kostengünstiger Mikrowellen Doppler Radar Geschwindigkeits Sensor welcher Schwung Tempo und Geschwindigkeits Rythmus Golfer jeden Alters und jeden Handicaps unterstützt. Er hilft Spielern beim Entwickeln und optimieren ihrer Schwungs. Er misst die aktuelle Zeit des Abschlags sowie die Abschlagsgeschwindigkeit des Schlägerkopfes beim Treffen des Balles.



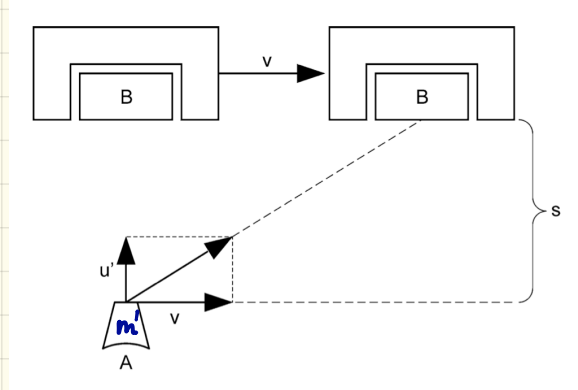
rel. Massenzunahme

[Lit.: Beyver]

Messgerät
für Impuls
nur in
dieser ↑
Richtung



"Beobachter B ruht"



Beobachter B' bewegt sich mit v

Impuls muss unabhängig von v sein

B' sieht "A" langsamer fliegen $u' < u \Rightarrow m' > m$

$$p = m \cdot u = m \frac{s}{t}$$

$$p' = m' u' = m' \frac{s}{t'} \\ = m' \frac{s}{\gamma t}$$

[s bleibt gleich
weil $s \perp v$]

$$p = p'$$

$$\rightarrow m \frac{s}{t} = m' \frac{s}{\gamma t} \Rightarrow$$

$$m' = \gamma m$$

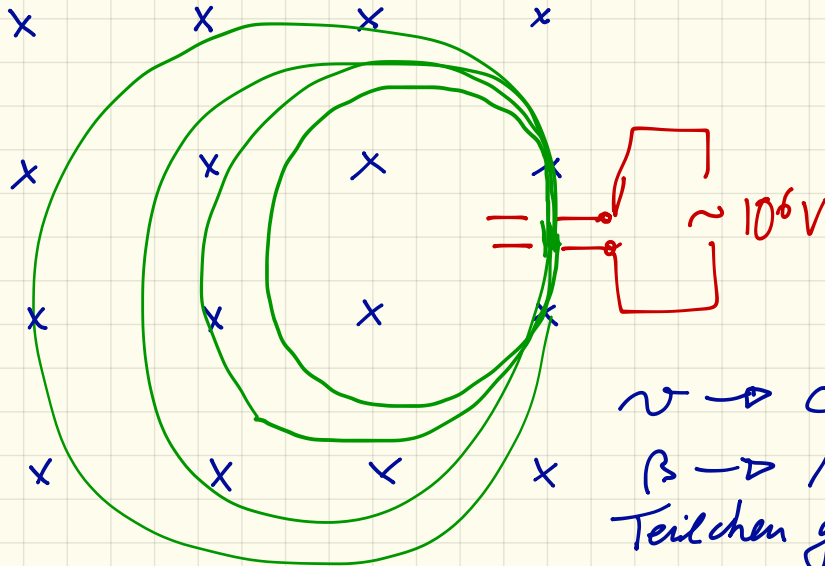
Masse ist nicht mehr konstant,
sondern hängt vom Bez. system ab

$$m' = \gamma m \rightarrow m = m_0 \cdot \gamma$$

relativistische Masse $\left\{ \begin{array}{l} \text{"Ruhemasse": Masse eines Körpers} \\ \text{"in seinem Ruhesystem"} \end{array} \right.$

$$\left[m \rightarrow \infty \text{ für } \beta \rightarrow 1 \right]$$

Beschleuniger:



Teilchen geraten aus dem Takt