C1

$$\cancel{x = \frac{v}{c} = \frac{3000 \cdot \cancel{3600}}{3 \cdot 10^5 \cdot 3600} =}$$

$$\cancel{x = \frac{v}{c} = \frac{3600 \text{ km/h}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = \frac{1000 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}}$$

$$300 \text{ m/s} \;\widehat{=}\; 1080 \text{ km/h}$$

$$900 \text{ m/s} = 3240 \text{ km/h}$$

$$x = \frac{v}{c} = \frac{900 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \frac{300}{10^8} = 3 \cdot 10^{-6}$$

$$\sin \varphi = \frac{v}{c} = 3 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow \varphi \approx 3 \cdot 10^{-6} \;\widehat{=}\; 0.000'172^\circ$$

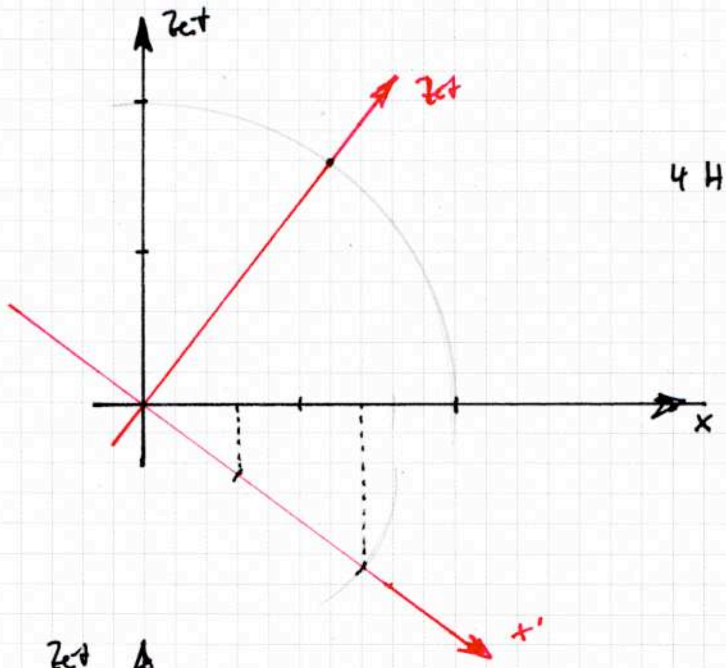
$$\widehat{=}\; 0.010'313'$$

$$\widehat{=}\; 0.618'794''$$

$\Rightarrow$ Die Zeitachsen wären um weniger als eine Winkelsekunde, also um weniger als 1/3600 von 1° gegeneinander abgekippt !!

G2

B6 :

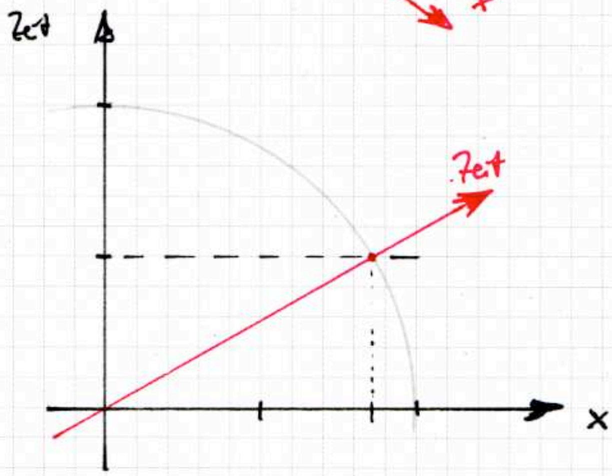



4 H → ~ 5H !

( Pythagoreisch △
6/8/10
≙ 3/4/5 !! )

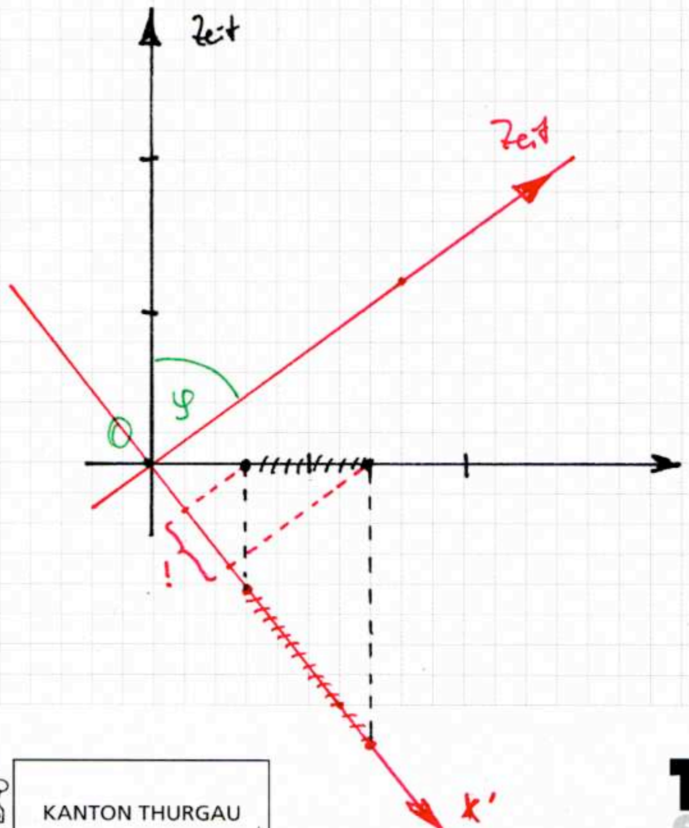
40 m → 50 m !

B7 :




$\frac{v}{c} \approx 0.86$

B11 :



C3

Wir befinden uns im System des Tunnels, wenn wir das so formulieren!

$$240 = 260 \cdot \sqrt{1 - x^2}$$

$$\frac{12}{13} = \sqrt{1 - x^2} \quad ; \quad \frac{144}{169} = 1 - x^2 \quad \Rightarrow \quad x^2 = \frac{25}{169}$$

$$x = \frac{5}{13} \quad ; \quad v = \frac{5}{13} \cdot c$$

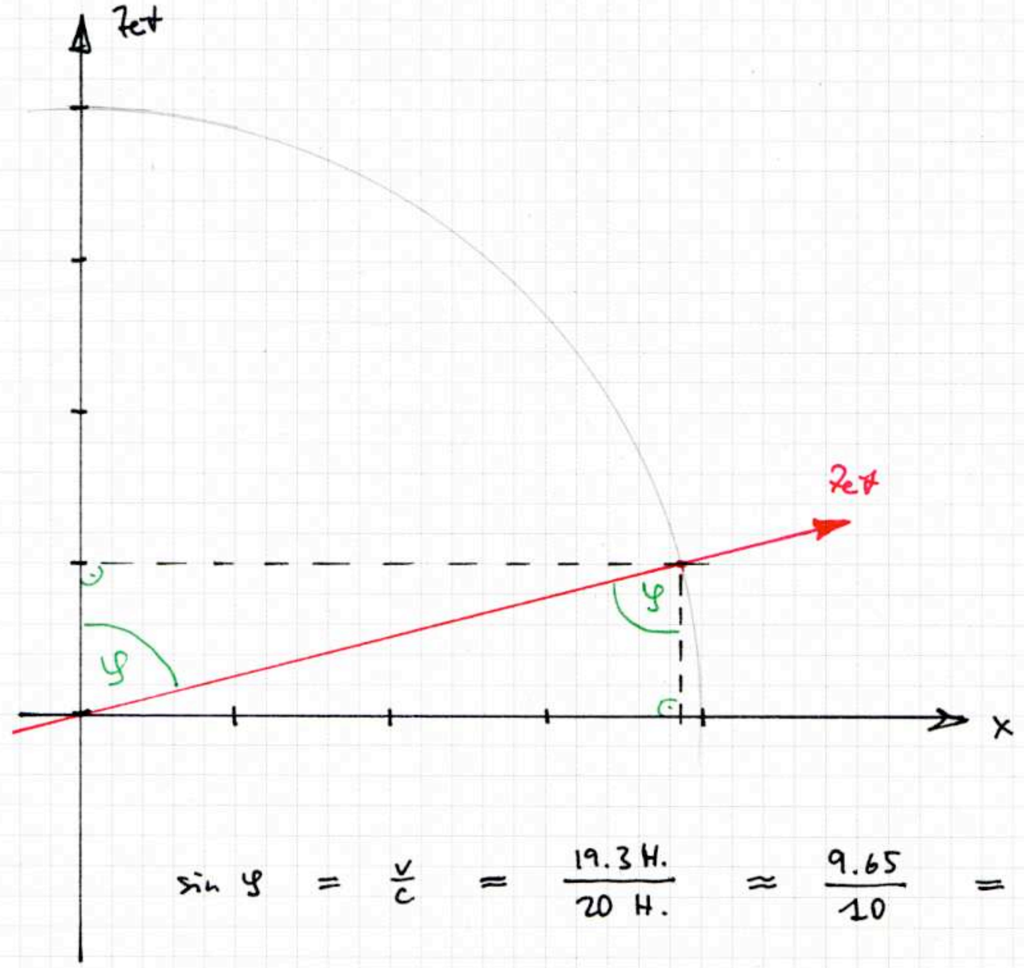
C4

a) $\sqrt{1-x^2} = \frac{1}{4}$ ; $1-x^2 = \frac{1}{16}$ ; $x^2 = \frac{15}{16}$

also $x = \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{15}}{4} \approx 0.968'246$

$v \approx 96.8\,\%$ von $c$

b)




$\sin\varphi = \frac{v}{c} = \frac{19.3\text{ H.}}{20\text{ H.}} \approx \frac{9.65}{10} = 0.965$

C5

a) Die Rechnung: $\ell' = \ell \cdot \sqrt{\phantom{xx}} = 6\,m \cdot 0.6 = 3.6\,m$

(Länge des schnellen Autos im System der Garage).

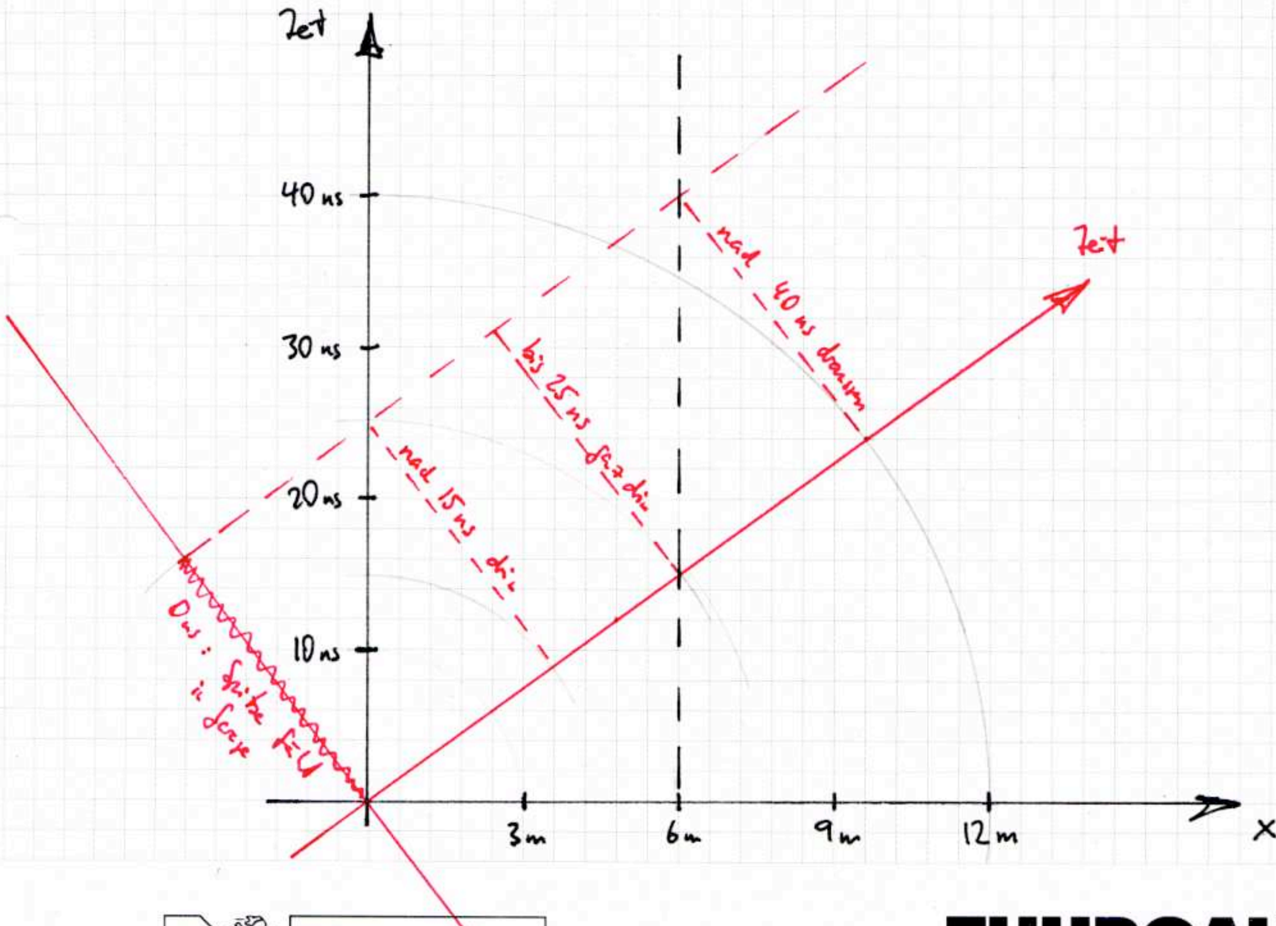
Das Auto kann also noch 2.4 m zurücklegen, erst dann muss das hintere Tor geöffnet werden! Das dauert

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{2.4\,m}{0.8 \cdot 3 \cdot 10^8\,m/s} = 10\,ns$$

So lange ist das schnelle Auto ganz innerhalb der Garage!

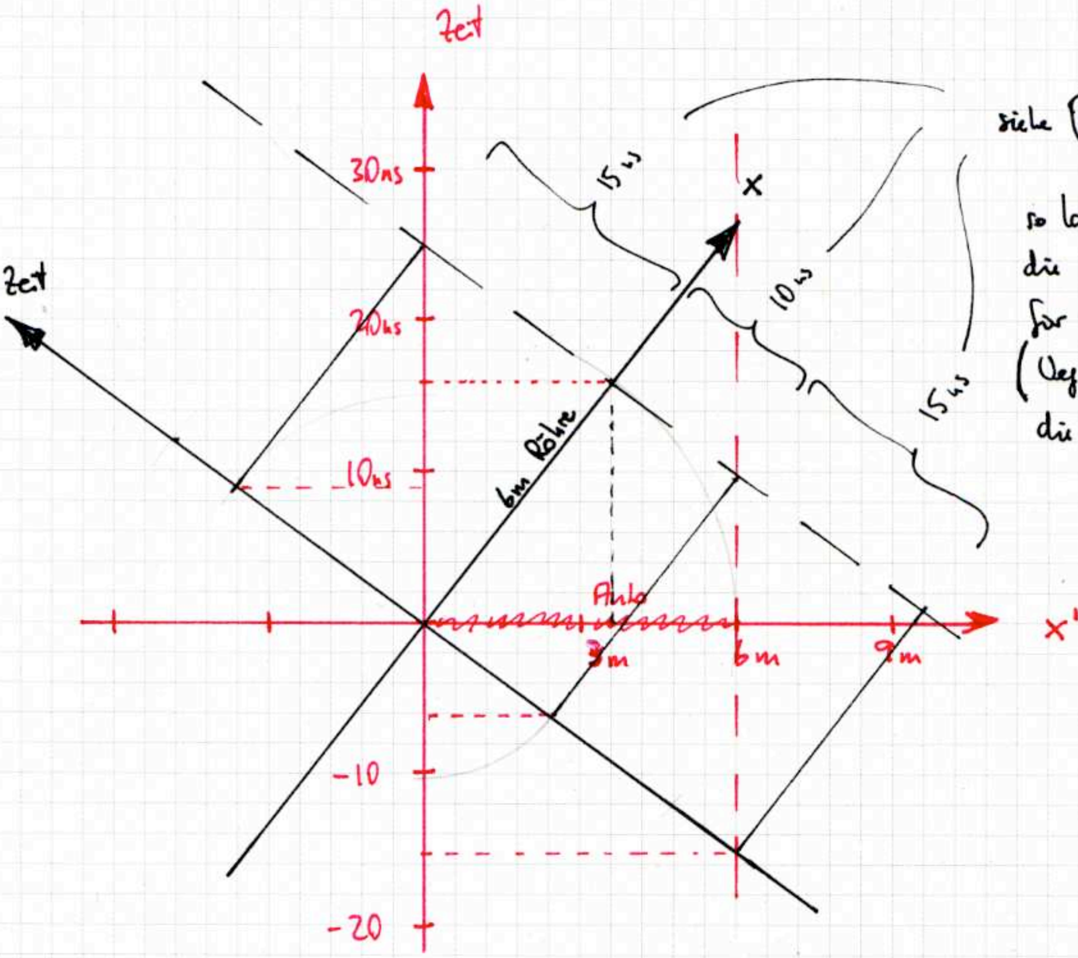
Die ganze Durchfahrt dauert $\frac{9.6\,m}{0.8 \cdot 3 \cdot 10^8\,m/s} = 40\,ns$

b) Im Epstein-Diagramm für die Garage:



(C6)

a) Zeichnung:




siehe (C5) !

so lange dauern die 3 Phasen für Rot ! (Weg durch die Raumzeit)

Rot sagt: Die Röhre hat eine Länge von $6m \cdot \sqrt{\phantom{x}} = \underline{3.6\,m}$

Das Auto wird nie ganz von der Röhre umschlossen.

Für mich dauern die 3 Phasen $15 + 10 + 15 = 40$ ns.

Für die schnelle Röhre dauert das $9 + 6 + 9 = 24$ ns.

Die Uhren an den beiden Röhrenende sind um 16 ns desynchronisiert. Schwarz wird deshalb auch 40 ns messen!

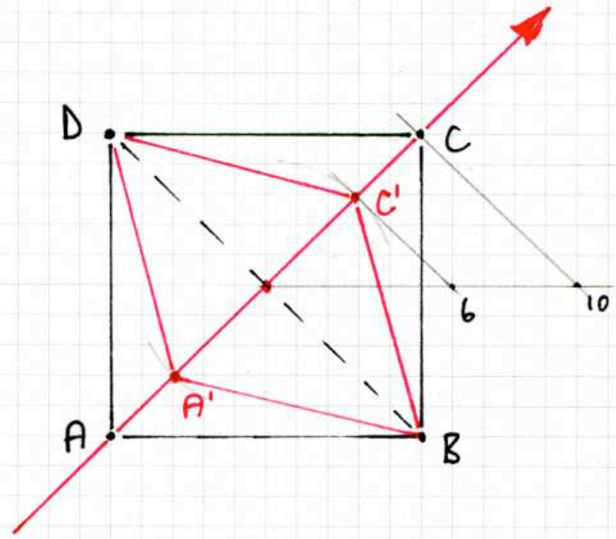
40 = 15 + 25 in der Zeichnung!

Schwarz misst mit seiner vorderen Uhr $t = 0$, wenn das andere Röhrenende das Auto ganz überstülpt hat; und mit seiner hinteren Uhr $t = 10$ ns, wenn das Auto hinten wieder aus der Röhre herauskommt, und meint dann, dass das Auto 10 ns ganz in der Röhre gewesen sei.

Dabei geht die vordere Uhr nur um 18 ns nach !!

Die Röhre war also $|10 - 16| = 6$ ns ganz zwischen dem vorderen + hinteren Ende des Autos (nicht Röhren-Uhr-Zeit), für Rot sind das $6 / 0.6 = 10$ ns ! ✓✓

C7




$v = 0.8 \cdot c$

$\sqrt{\phantom{xx}} = 0.6$

a) Strecken in Richtung von $v \parallel AC$ schrumpfen für Rot mit dem Faktor $0.6 = \sqrt{\phantom{xx}}$ → Konstruktion von A', C'

b) $\Delta t = \Delta s / v = \sqrt{2} / 0.8 \approx 1.767\ s$

c) Zeitdilatation: $\Delta t = \Delta t \cdot \sqrt{\phantom{xx}} = (\sqrt{2}/0.8) \cdot 0.6 =$

$= \sqrt{2} \cdot \frac{3}{4} \approx 1.061\ s$

d) $\Delta t = \Delta s / v = (\sqrt{2} \cdot 0.6) / 0.8 = \sqrt{2} \cdot \frac{3}{4} \approx 1.061\ s$

e) X, also Rot, sagt: Nur die schwarzen Uhren in B und D laufen synchron!

f) Rot sagt: $t_B - t_A = -c \cdot (x_B - x_A) \cdot \frac{v}{c} =$

$= +1 \cdot (x_A - x_B) \cdot 0.8 =$

$= -\sqrt{2}/2 \cdot 0.8 = -\sqrt{2} \cdot 0.4 \approx -0.566\ s$

$t_B$ geht gegenüber $t_A$ dauernd um 0.566 s nach.

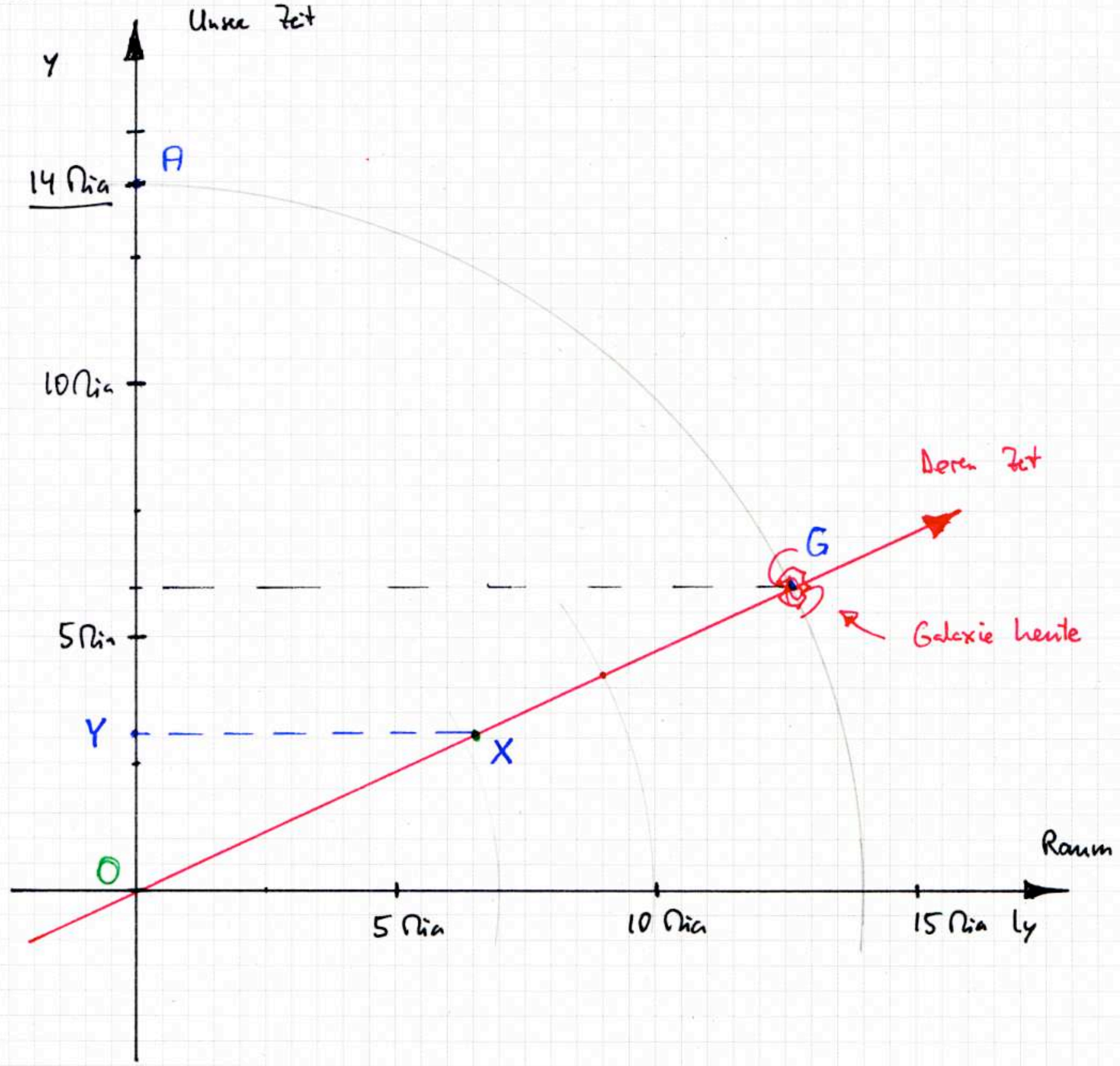
! g) Rot sagt: Für Schwarz dauert der Vorgang eigentlich nur

$\Delta t \cdot \sqrt{\phantom{xx}} = \sqrt{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{5} \approx 0.636\ s$

Wegen der Uhren-Desynchronisation (C gegenüber A) misst Schwarz aber

$0.636 + 2 \cdot 0.566 \approx 1.767\ s$ ! ✓✓

C8



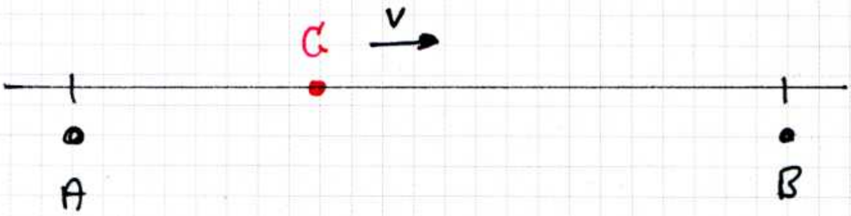

Die Galaxie ist heute aus unserer Sicht erst etwa 6 Mia Jahre alt.

Das Licht, das wir heute von ihr erhalten, wurde aber am Ort X abgestrahlt, zu einem Zeitpunkt, da die Galaxie erst gut 3 Mia Jahre alt war !!

Einstein → $OX + XY = OG = OA$ !!

Je entfernter Objekte wir beobachten, desto jünger sind diese auch, kosmisch gesehen.

C9




$v = 0.8 \cdot c$ ; $\sqrt{\phantom{x}} = 0.6$

a) Für Rot: $\overline{AC} = v \cdot \Delta t = 0.8 \cdot 1\ell \cdot 30\ \text{min} = \underline{\underline{24\ \ell\text{min}}}$

Für Schwarz: $\overline{AC} = \overline{AC} / \sqrt{\phantom{x}} = 24\ \text{Lmin} \cdot \frac{5}{3} = \underline{\underline{40\ \ell\text{min}}}$

b) $\Delta t = \Delta s / v = 40\ \text{Lm} / 0.8\ \ell = \underline{\underline{50\ \text{min}}}$

(Rot sagt: Für Schwarz verstreichen eigentlich nur $30\ \text{min} \cdot \sqrt{\phantom{x}} = 18\ \text{min}$. Die Uhren in A und B sind aber um $40\ \text{Lm} \cdot 0.8 / 1\ell = 32\ \text{min}$ desynchronisiert, deshalb werden sie 50 min. messen.)

c) $\Delta t = 50\ \text{min} + 40\ \text{Lmin} / 1\ell = \underline{\underline{90\ \text{min}}}$

(Rot rechnet sich das so aus: Für mich dauert das 30 min, bis ich den Funkspruch absetze, plus $24\ \text{Lmin} / 0.2\ \ell = 120\ \text{min}$, bis der Spruch das davon eilende A eingeholt hat, also total 150 min. Schwarz wird aber wegen der Zeitdilatation nur $150\ \text{min} \cdot \sqrt{\phantom{x}} = 150\ \text{min} \cdot 0.6 = 90\ \text{min}$ messen mit seiner Uhr in A.)