SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

ÚVOD

Prezentace

- historický úvod – Galileo, Newton, Faraday
  Maxwell, Hertz
- problém éteru
- Michelsonův experiment
- neplatí „c ± v" pro světlo

Prostor a čas

K popisu fyzikálního děje, stavu, události je třeba $\underline{4}$ čísel (prostoročasové souřadnice)

Př. „Sejdeme se v pátek v $\underbrace{19:30}_{t}$ na $\underbrace{\text{Štěpánské}}_{x,\,y,\,z}$."

$$(x, y, z, t)$$

2 zvláštní typy události:

- SOUMÍSTNÉ UDÁLOSTI – nastaly na stejném místě VŮČI DANÉ VZTAŽNÉ SOUSTAVĚ
- SOUČASNÉ UDÁLOSTI – nastaly ve stejném čase VŮČI DANÉ VZTAŽNÉ SOUSTAVĚ

„SPECIÁLNÍ" teorie relativity

→ práce pouze v INERCIÁLNÍCH SOUSTAVÁCH – tj. soustavy se vůči sobě pohybují ROVNOMĚRNĚ PŘÍMOČAŘE

v dané soustavě lze ale řešit i zrychlené pohyby

Klasická fyzika: Galileiho princip relativity

VE VŠECH IS PLATÍ STEJNÉ ZÁKONY KLASICKÉ MECHANIKY.

(Tj. 2 IS **NELZE ROZLIŠIT LIBOVOLNÝM MECHANICKÝM EXPERIMENTEM** a nelze ted odlišit ROVNOMĚRNÝ PŘÍMOČARÝ POHYB od klidu)

Základní principy STR

1. princip relativity:

VE VŠECH IS PLATÍ STEJNÉ FYZIKÁLNÍ ZÁKONY.

(Tj. 2 IS nerozlišíme **LIBOVOLNÝM EXPERIMENTEM** – házení míčku, vedení el. proudu LED, měření účinnosti Carnotova cyklu, zapalování ohně lupou, sledování pohybu tělesa na pružině, ...)

2, princip konstantní rychlosti světla

VE VŠECH IS MÁ RYCHLOST SVĚTLA VE VAKUU STEJNOU VELIKOST NEZÁVISLE NA VZÁJEMNÉM POHYBU ZDROJE SVĚTLA A POZOROVA-TELE A JE VE VŠECH SMĚRECH STEJNÁ!

Relativnost současnosti

„současné události"

matematický popis bude **BEZ DILATACE ČASU A KONTRAKCE DÉLEK**

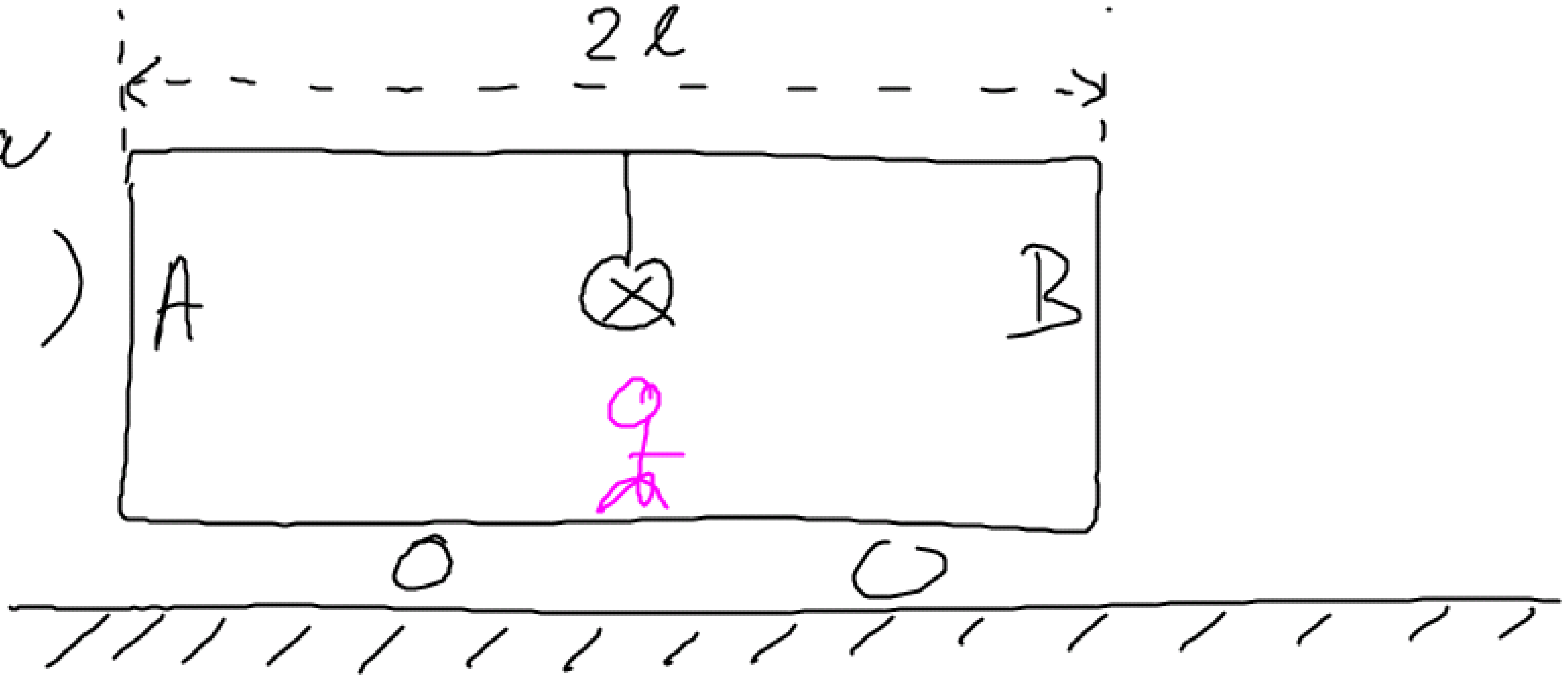
situace: vagón jedoucí vůči pozorovateli stálou rychlostí

$\vec{v}$; $v < c \wedge \cancel{v \approx c}$

uprostřed vagónu se rozsvítí světlo

Kdy dorazí světlo na přední a zadní stěnu vagónu?

1) z hlediska vagónu ( )

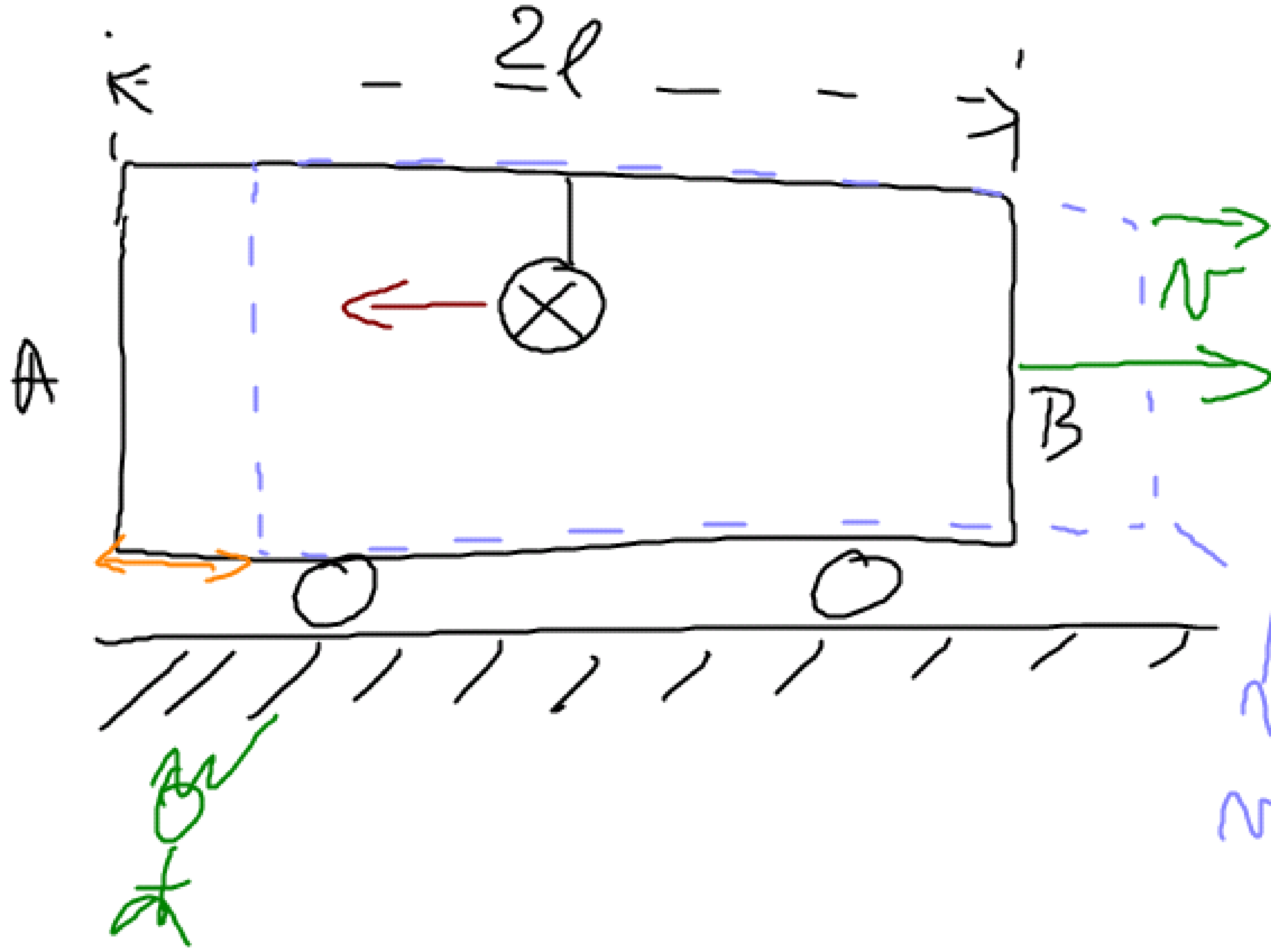


dopad na $\underline{A}$: $t_A = \dfrac{l}{c}$

dopad na $\underline{B}$: $t_B = \dfrac{l}{c}$

$$\left.\begin{array}{l} t_A = \dfrac{l}{c} \\ t_B = \dfrac{l}{c} \end{array}\right\} \Rightarrow t_A = t_B \quad (1)$$

2) z hlediska pozorovatele mimo vagón



poloha vagónu v okamžiku dopadu světla na A

dopad na A: $ct_A' = l - vt_A'$

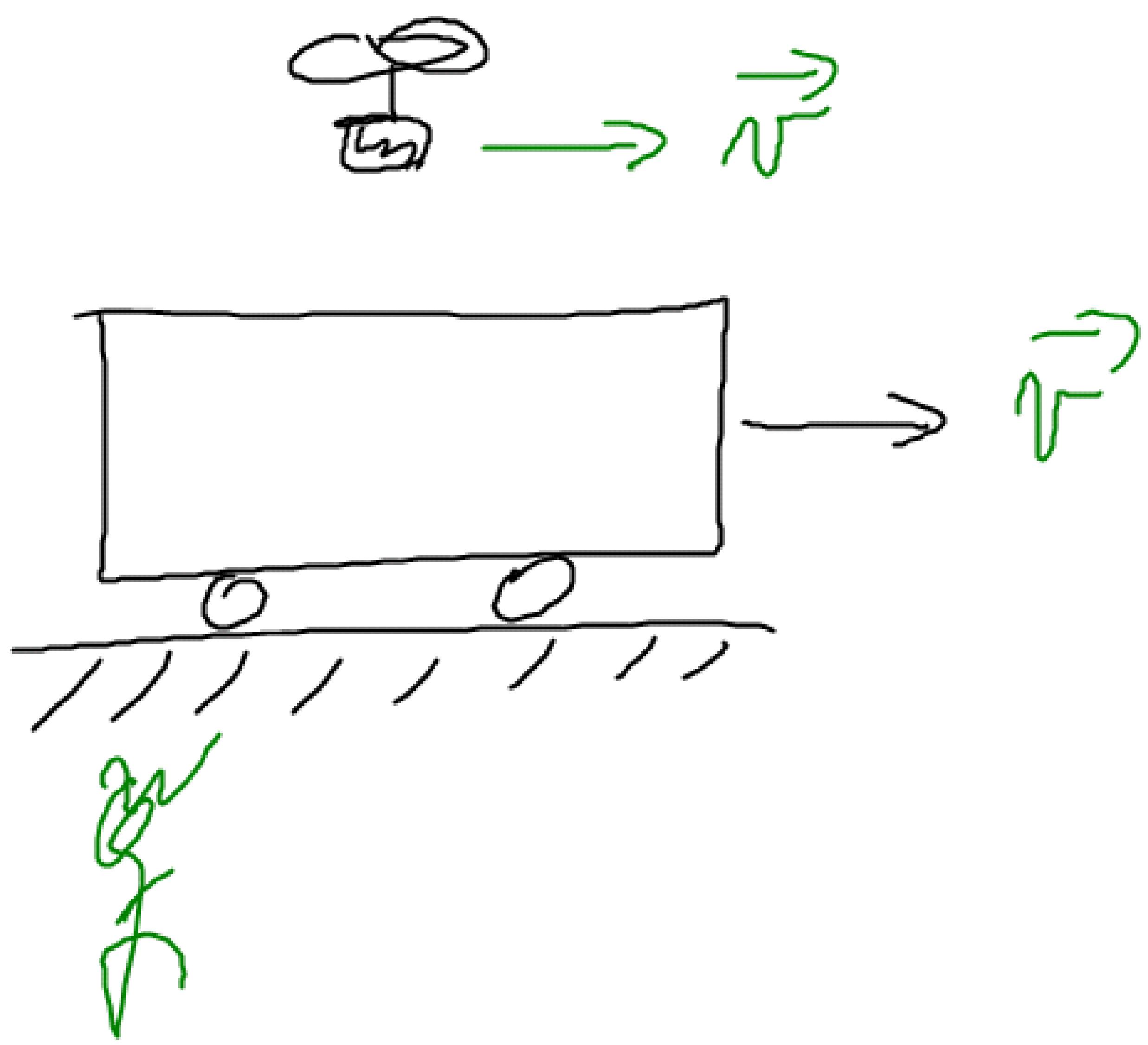
$$t_A' = \frac{l}{c+v}$$

dopad na B: $ct_B' = l + vt_B'$

$$t_B' = \frac{l}{c-v}$$

$$\Rightarrow t_A' < t_B' \quad (2)$$

(1) ∧ (2) ⇒ Udalosti súčasné z hľadiska jedného IS NEMUSIA BYŤ súčasné z hľadiska iného IS.



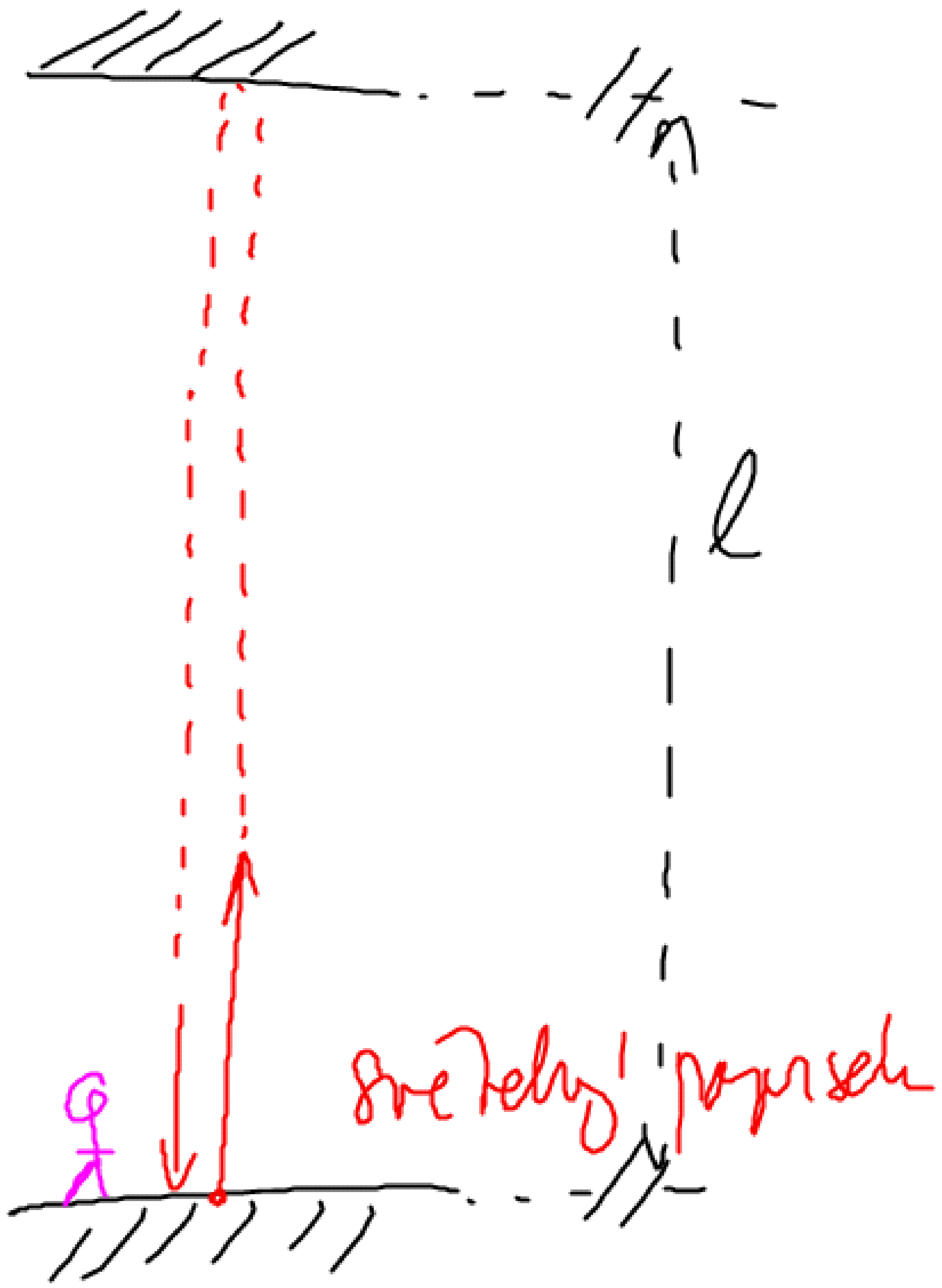
vagón a dron – – voči sebe v kľude

Dilatace času

1) Světelné hodiny

pro měření času je nutné mít OSCILÁTOR (tj. periodický děj)

Einstein hledal CO NEJJEDNODUŠŠÍ DĚJ ⇒ myšlenková konstrukce SVĚTELNÝCH HODIN



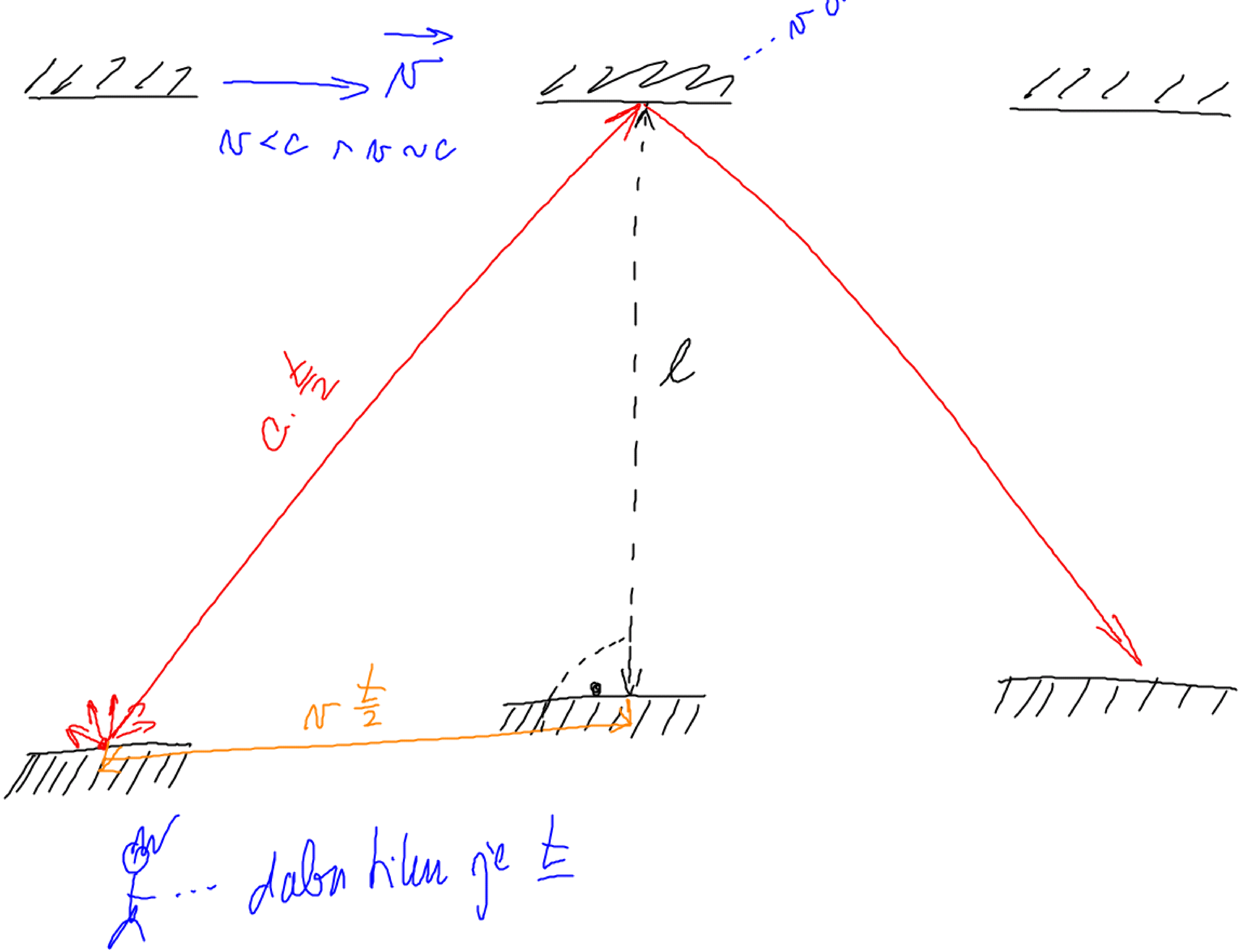
2 zrcadla

doba 1 tiku hodin

$$\boxed{\tau = \frac{2l}{c}}$$

VLASTNÍ ČAS

2) Odvození vztahu



Pythagorova veta: $\left(c\frac{t}{2}\right)^2 = \left(v\frac{t}{2}\right)^2 + l^2$

$$c^2\frac{t^2}{4} = v^2\frac{t^2}{4} + l^2$$

$$\frac{t^2}{4}\left(c^2 - v^2\right) = l^2$$

$$t^2 = \frac{4l^2}{c^2 - v^2}$$

$$t^2 = \frac{4l^2}{c^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$t = \frac{2l}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{2l}{c} = \tau$$

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

$$v < c \Rightarrow \frac{v}{c} < 1 \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} < 1 \Rightarrow 0 < 1-\frac{v^2}{c^2} < 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0 < \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1$$

$\Rightarrow$ lze v $\mathbb{R}$ odmocnit

$\Rightarrow t > \tau \Rightarrow$ „pro  jdou hodiny pomaleji"

~~Pohybující se hodiny jdou pomaleji.~~

chybí VŮČI KOMU

Hodiny, které se vůči pozorovateli pohybují, jdou pomaleji, než tytéž hodiny, které jsou vůči pozorovateli v klidu.

3, Komentář

- ve VŠ literatuře: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

Lorentzův koeficient

$$t = \tau\gamma$$

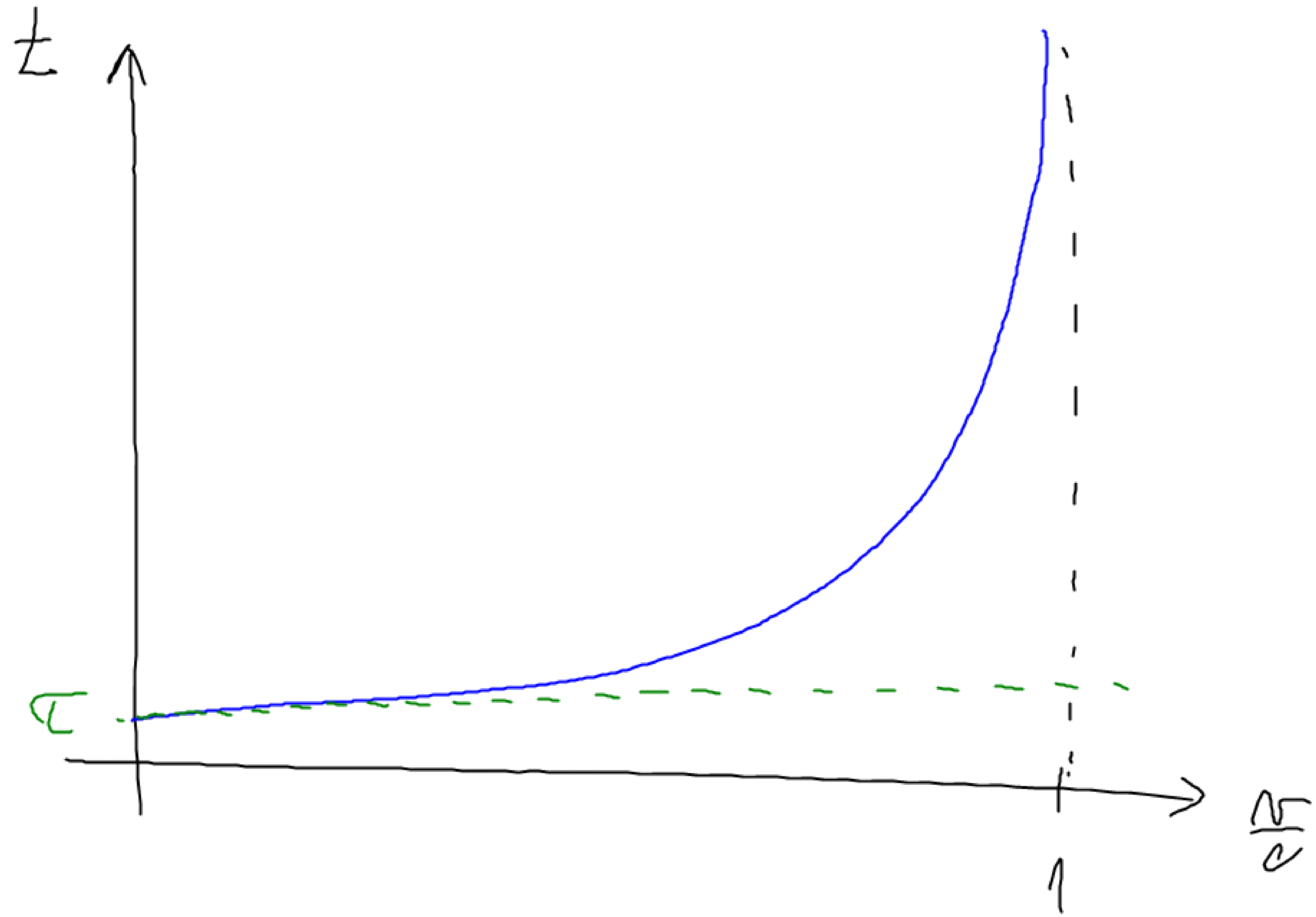
- běžný život: $v \sim 10^3\ m\cdot s^{-1}$

$$\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{10^3}{3\cdot 10^8}\right)^2 = \frac{1}{9}\cdot 10^{-10} \sim 10^{-11} \ll 1$$

$$\downarrow$$

STR $\longrightarrow$ Newtonovská mechanika

•



t
τ
1
v/c

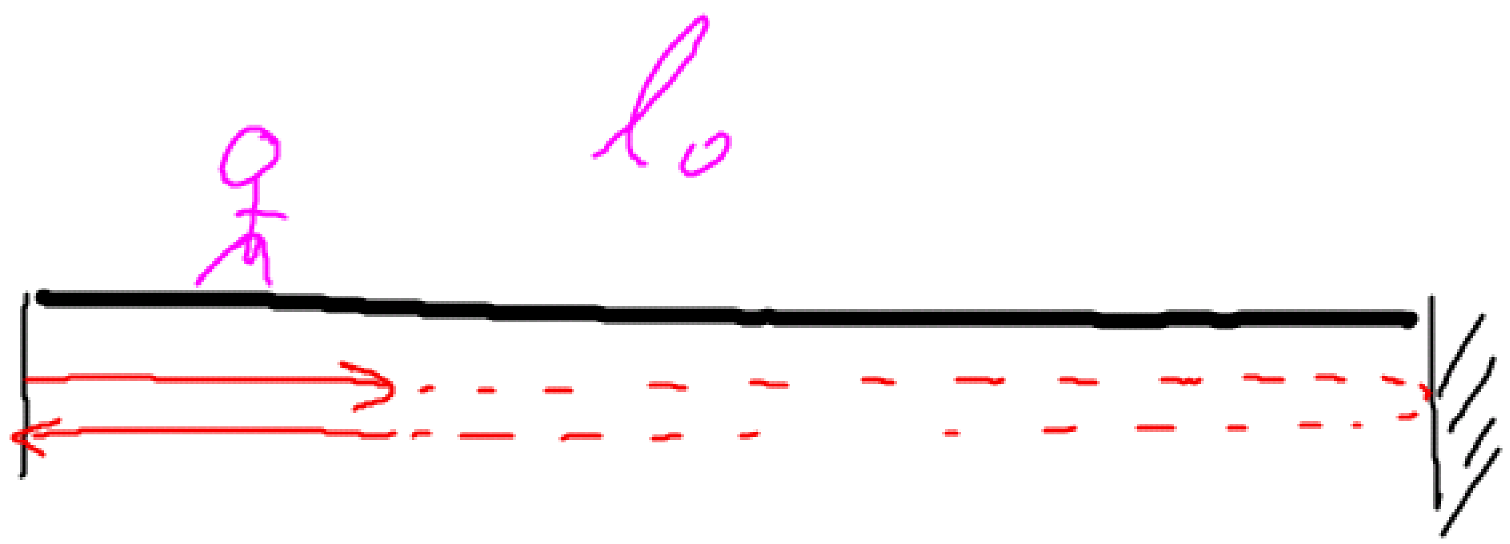
Kontrakce délek

metody měření tyče, která se vůči pozorovateli pohybuje:

- vyfotit proti stěně s měřítkem
- odměřit čas průjezdu tyče kolem dané značky
- na stěně označit konec a začátek tyče ve stejném čase

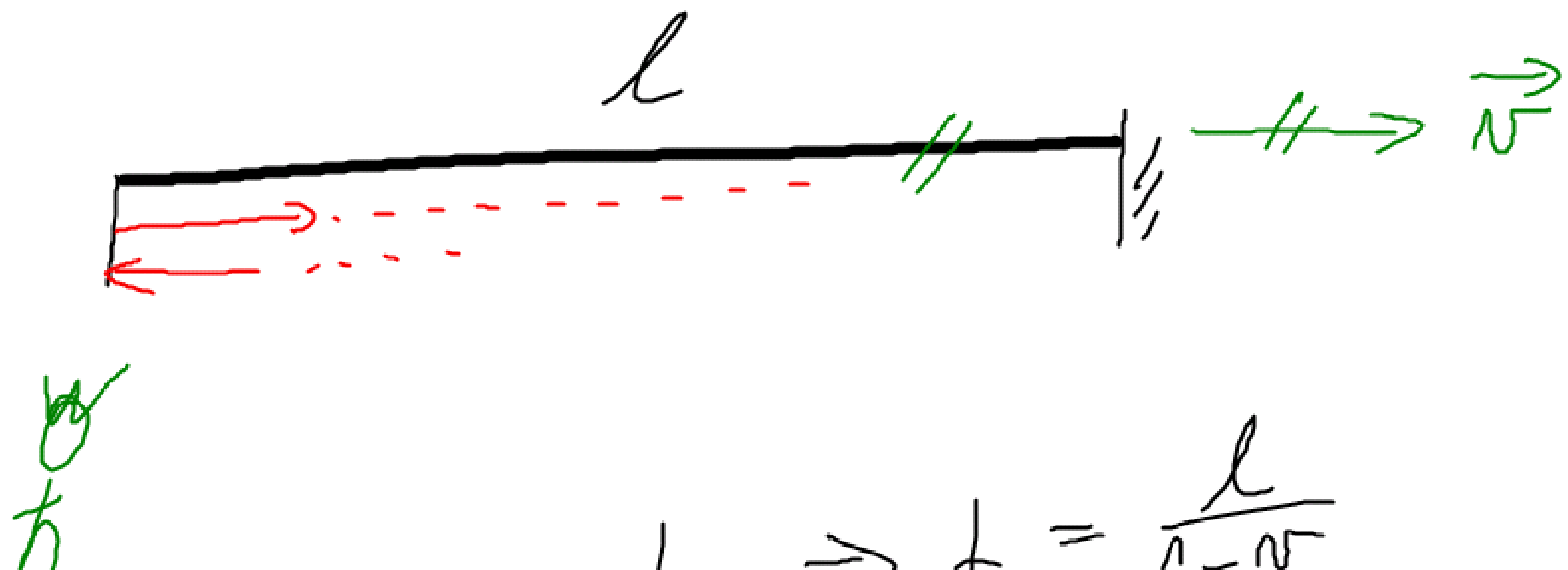
⇒ měření délky tyče, která se vůči pozorovateli pohybuje, vyžaduje měření času týká se <u>MĚŘENÍ</u> délky tyče, ne toho, jak tyč VIDÍME

nejjednodušší princip měření (používaný i v oboru IS): pomocí světla a doby cestování světla podél tyče a)



$\rightleftarrows$: $\tau = \dfrac{2 l_0}{c}$

b)



$\rightarrow$: $c t_1 = l + v t_1 \Rightarrow t_1 = \dfrac{l}{c-v}$

$\leftarrow$: $c t_2 = l - v t_2 \Rightarrow t_2 = \dfrac{l}{c+v}$

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{c+\cancel{v}+c-\cancel{v}}{c^2-v^2}\,l$$

$$t = \frac{2cl}{c^2-v^2}$$

$$t = \frac{2cl}{c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$t = \frac{2l}{c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}$$

t, τ – svázány dilatací času

$$\tau = \frac{2l_0}{c}$$

$$\frac{\tau}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2l}{c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\frac{\frac{\cancel{2}l_0}{\cancel{c}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\cancel{2}l}{\cancel{c}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$l = l_0 \frac{1-\frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

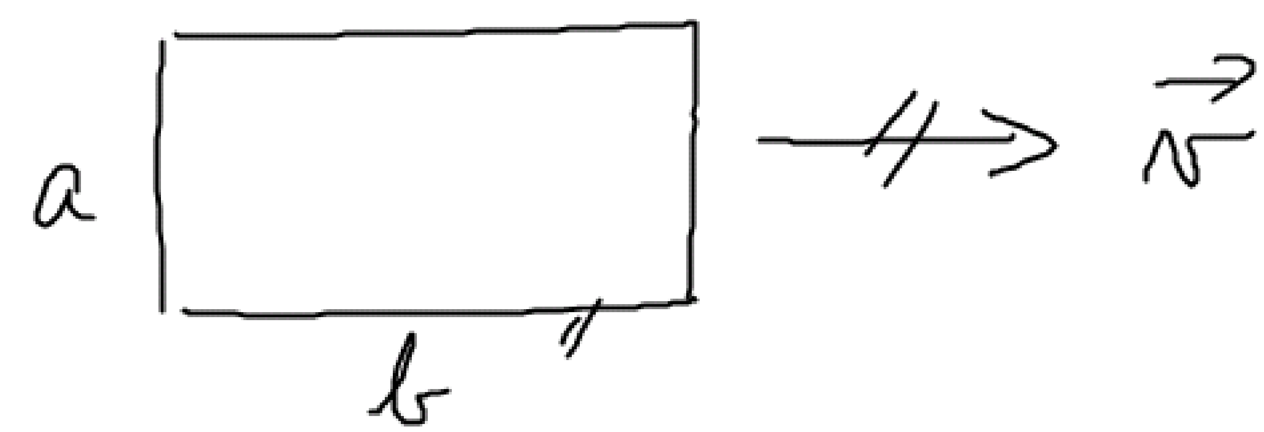
$$\boxed{l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$ KONTRAKCE DÉLEK

$$v < c \Rightarrow \cdots \Rightarrow \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \in (0;1) \Rightarrow l < l_0$$

l – relativistická délka

Délka tyče v IS, vůči níž se tyč pohybuje ve směru své délky, je kratší než délka téže tyče v IS, vůči níž je tyč v klidu

Př. Jak rychle a jakým směrem se musí pohybovat papír formátu A4, aby pozorovatel naměřil čtverec?



$$a = 210\ \mathrm{mm}$$
$$b = 297\ \mathrm{mm} = a\sqrt{2}$$

$$v = ?$$

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$a = b\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^2 = 1-\frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1-\left(\frac{a}{b}\right)^2$$

$$v = c\sqrt{1-\left(\frac{a}{b}\right)^2}$$

$$v = c\sqrt{1-\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}c \doteq \underline{\underline{0{,}7c}}$$

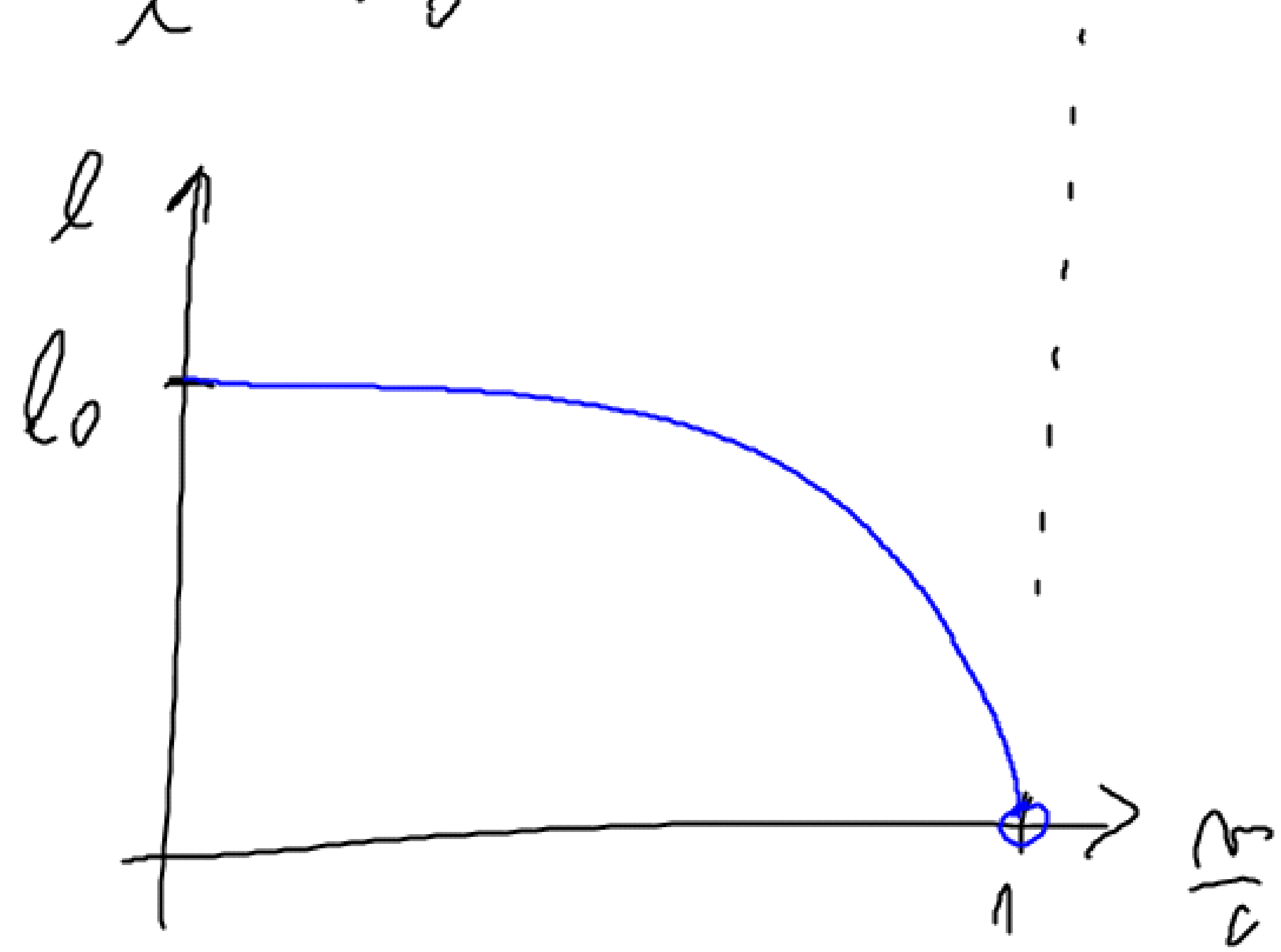
Komentáře ke kontrakci délek

- $l_0 = l\gamma$ 

- $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \sim 10^{-11}$ při běžném pohybu

  $\Downarrow$

  $l \doteq l_0$

- 

Experimentální důkazy

1) Mezony

částice: $m_0 = 273\, m_{elektronu}$

střední doba života: $\tau_0 = 2{,}5 \cdot 10^{-8}\, s$ (měřená v soustavě mezonu)

$v = 0{,}99c$ (vůči okolí)

za život urazí dráhu: $l_0 = v \cdot \tau_0 \sim 7{,}5\, m$ (měří mezon) v laboratoři se měří dráha <u>DELŠÍ</u>

ℓ <u>MĚŘENO</u>

$$\ell = v \cdot t = v \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \doteq 53\,m \quad \ldots \quad \underline{\text{SPOČÍTÁNO}}$$

čas v laboratoři

— STR je OK

2, Miony

částice vznikající v horních vrstvách atmosféry při interakci kosmického záření s atmosférou

$\tau_0 = 2{,}2\,\mu s$ (v jejich IS)

$l_0 = v\tau_0 \doteq 3 \cdot 10^8 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6}\,m = \underline{600\,m}$ $\Rightarrow$ na Zemi NE,

ale JE!!!

pro vědce na Zemi: $l = v\dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} > l_0$

3, CERN

a urychlovače obecně

dva: částice se pohybují s velkou rychlostí =>

=> významné srážky => při návrhu nutno užít vztahů STR (i OTR)

urychlovač se postaví, umístí se dle návrhu detektory, urychlovací dutiny, magnety, ... a celé to funguje, jak fyzikové chtěli

=> STR je OK

4) GPS

GPS: družice kolem Země (6 × 4) a na nich atomové hodiny s korekcemi na:

- STR – $v_{\text{oběhu družice}} \sim 10^3\ m \cdot s^{-1}$
- OTR – pozor pohyb (v ...) – slabší gr. pole než na Zemi

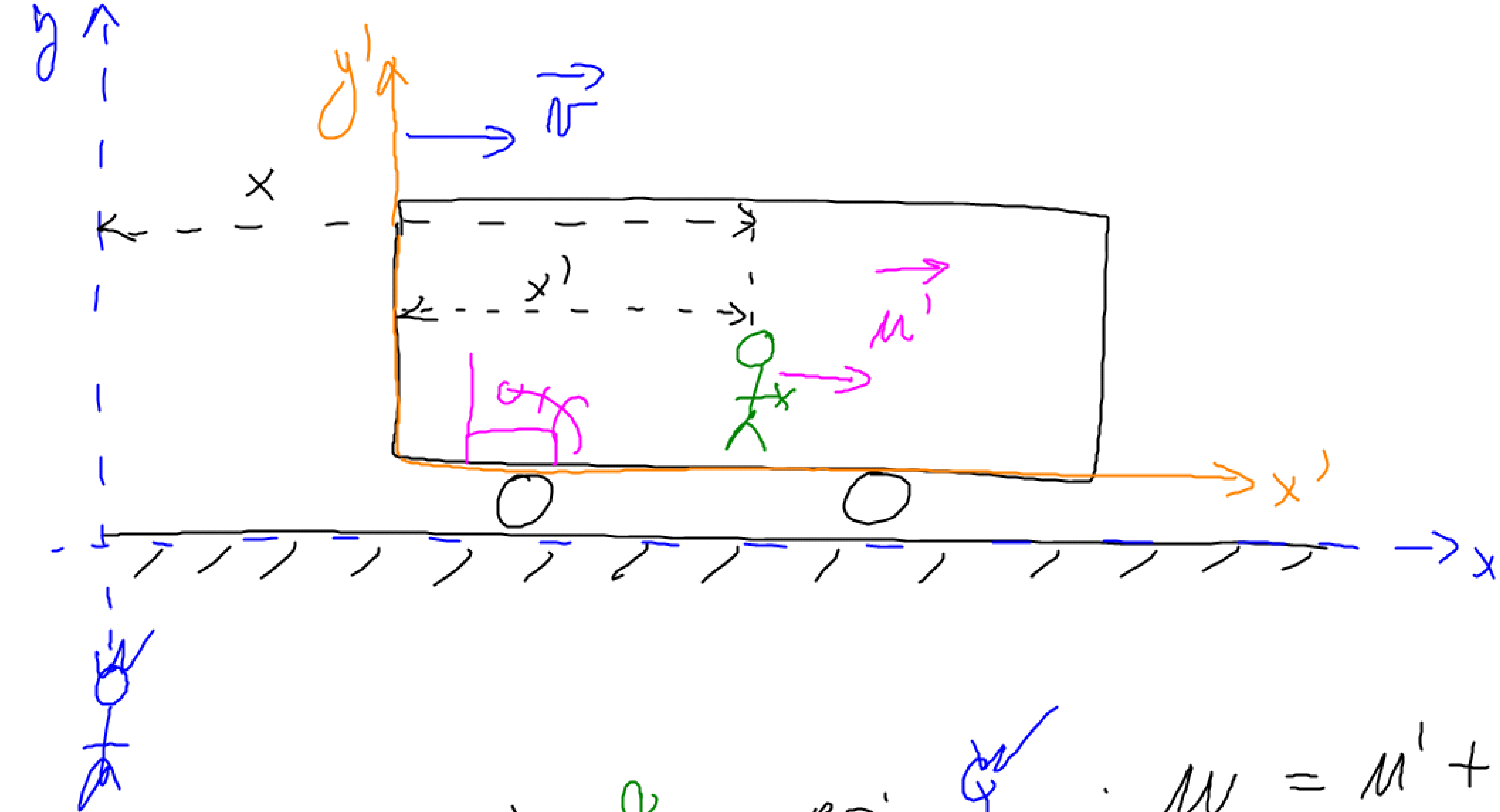
pokud dle GPS dojedeme do cíle plánovanou cestou, MUSÍ BÝT STR i OTR OK

Lorentzova transformace

1) Galileiho transformace

- platí v Newtonově mechanice
- umožňuje přecházet mezi 2 soustavami (průvodčí jde v jedoucím vlaku)
- umí transformovat souřadnice $(x, y, z, t) \longleftrightarrow (x', y', z', t')$ a velikosti rychlosti
- OMEZENÍ: SPECIÁLNÍ PŘÍPAD – v $t = 0$: $x' = x$, $y' = y$, $z' = z$

$\vec{v} \perp z$



velikost rychlosti vůči : $u = u' + v$

$t = t'$

souřadnice: $x = x' + vt$;

inverzní transformace: $x' = x - vt$, $t' = t$, $u' = u - v$

2, Lorentzova transformace

kromě 1. odrážky pod nápisem 1), platí vše

v STR: $v < c \wedge v \sim c$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \iff x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y = y' \qquad y' = y$$

$$z = z' \qquad z' = z$$

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Odvození vztahu pro $\underline{t}$:

- světelný zápis šíří se podél osy $\underline{x}$ (resp. $\underline{x'}$)
- 2. princip: $c = \text{konst.} \; \forall \; IS$

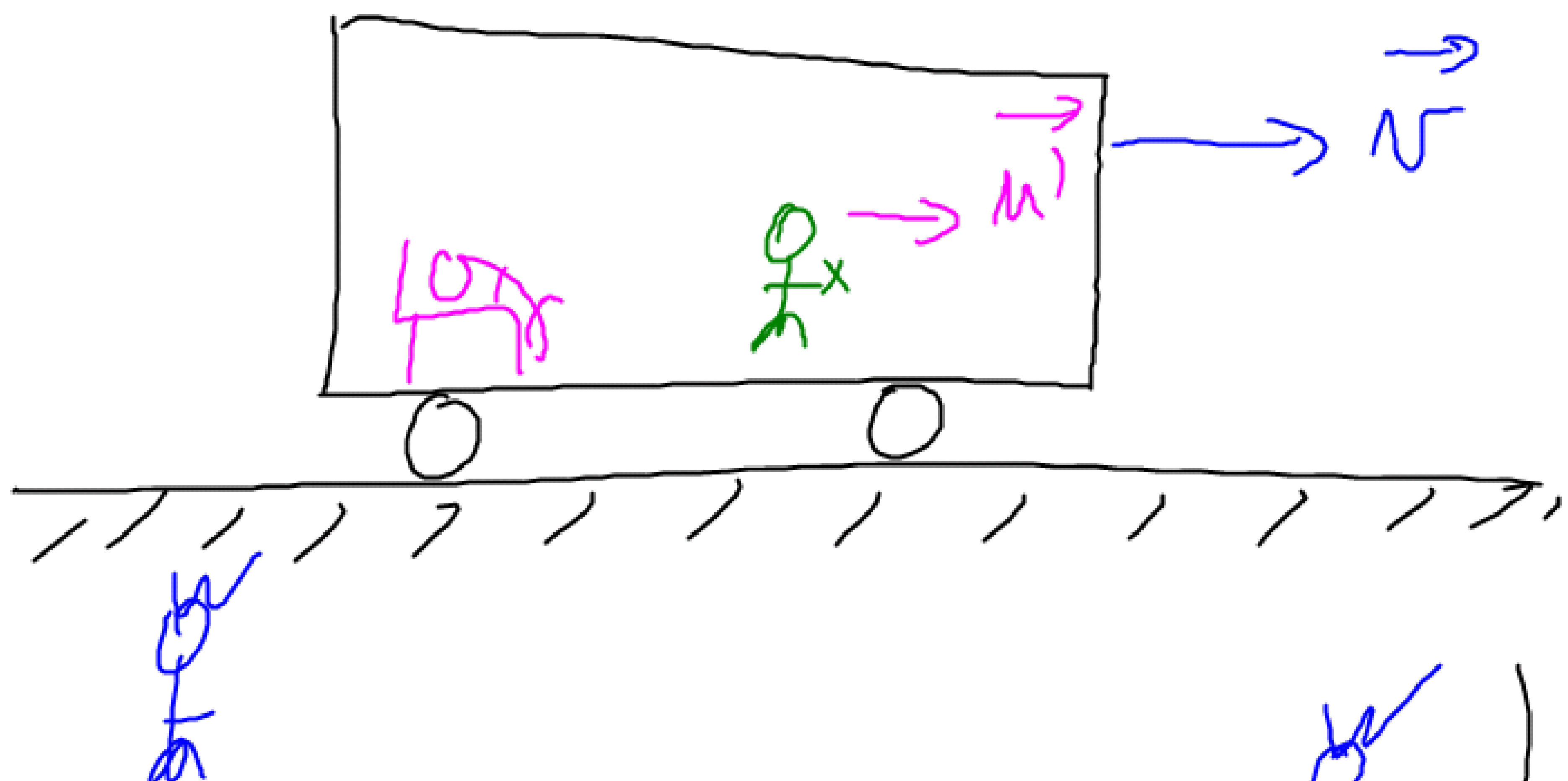
$$t = \frac{x}{c}$$ čas, za který urazí světlo dráhu $\underline{x}$

$$t = \frac{x' + vt'}{c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\frac{x'}{c} + \frac{vt'}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t' + \frac{v\,\overbrace{t'c}^{=x'}}{c\,c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} =$$

$$= \frac{t' + \frac{v\,x'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

3, Skládání rychlostí

v rámci STR – pomocí Lorentzovy transformace



$u = ?$ (tj. rychlost x vůči)

$u', u = \text{konst.}$

$$u = \frac{x}{t} = \frac{\dfrac{x' + vt'}{\cancel{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}}{\dfrac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\cancel{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}} = \frac{\cancel{t'}\left(\overbrace{\frac{x'}{t'}}^{=u'} + v\right)}{\cancel{t'}\left(1 + \frac{v}{c^2}\underbrace{\frac{x'}{t'}}_{=u'}\right)}$$

$$\boxed{u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}}}$$

z pohledu vagónu: $\boxed{u' = \frac{u - v}{1 - \frac{vu}{c^2}}}$

4, Souvislost s klasickou mechanikou

$$\text{STR} \xrightarrow{\boxed{c \to \infty}} \text{Newtonovská mechanika}$$

c je vůči BĚŽNÝM RYCHLOSTEM EXTRÉMNĚ VELKÁ

(viz komenty u dilatace času: $v \sim 10^3 \, m \cdot s^{-1}$)

$\Leftrightarrow \frac{v}{c} \to 0$

$$x = \lim_{c \to \infty} \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - 0^2}} = x' + vt'$$

Galileiho transf.

$$u = \lim_{c \to \infty} \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}} = \frac{u' + v}{1 + 0} = u' + v$$

Princip kauzality

princip, který spolu se STR zakazuje nadsvětelné rychlosti

princip kauzality: nejdříve je příčina, pak následek

Př. výstřel → zabití
sex → dítě
narození → smrt
⋮

X „Zítra vstanu a opařím se čajem"

„Back to the future" I., II., III.

kdy se soustava mohla vůči jiné pohybovat nadsvětelnou rychlostí, nastane (dle Lorentzovy transformace) prohození časového sledu

DYNAMIKA STR

Relativistická hmotnost

- lze odvodit ze ZZE, ZZH pro srážející se relativistické částice
- ověřeno a aplikováno v urychlovačích částic

$$\boxed{m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$$

m_0 – klidová hmotnost

m – relativistická —"—

$$v < c \Rightarrow \dots \Rightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1 \Rightarrow m > m_0$$

Relativistická hybnost

$$\boxed{p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}$$

platí pro ni analogie ZZH jako pro klasickou hybnost

CELKOVÁ RELATIVISTICKÁ HYBNOST SOUSTAVY TĚLES SE V IZOLOVANÉ SOUSTAVĚ ZACHOVÁVÁ.

aplikace: srážky částic v urychlovačích

Vztah mezi energií a hmotností

klasická mechanika: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$

$E_k = mgh$

$\vdots$

„vzorce" (návod na výpočet energie)

STR: hlubší souvislost mezi energií a hmotností;

KAŽDÉ ZMĚNĚ HMOTNOSTI ODPOVÍDÁ ZMĚNA ENERGIE A NAOPAK KAŽDÉ ZMĚNĚ ENERGIE ODPOVÍDÁ ZMĚNA HMOTNOSTI

Př. ohřev 1 l vody o 80°C : ~ 300 kJ

a přitom se změní hmotnost ohřívané vody!!! (neměřitelně, ale změní)

ZÁSADNÍ VÝZNAM V MIKROSVĚTĚ – např. Hirošima a Nagasaki, JE Temelín, ...

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_k = E - E_0$$

ΔE – změna energie, jíž přísluší změna hmotnosti Δm

E_0 – klidová energie

E – relativistická energie

E_k – kinetická energie

Jaká energie je ukryta ve 100 g čokoládě?

$m_0 = 100\,g = 0{,}1\,kg$

$E_0 = ?$

$E_0 = m_0 c^2 = 0{,}1 \cdot (3 \cdot 10^8)^2\,J = 0{,}1 \cdot 9 \cdot 10^{16}\,J$

$E_0 \doteq 10^{16}\,J$

1 Čech spotřebuje za rok ... $10\,GJ = 10^{10}\,J$

$\Rightarrow$ v čokoládě je energie pro všechny Pražany na 1 rok ale na čokoládě je energie

$\sim 2000\,kJ = 2 \cdot 10^6\,J$

$\Rightarrow$ dokážeme z hmoty využít velmi malou část energie

$1\,eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,J$

odhad:

CHEMIE ... $\sim 10\,keV = 1{,}6 \cdot 10^{-15}\,J$ na částici

1 mol částic ... $1{,}6 \cdot 10^{-15} \cdot 6 \cdot 10^{23}\,J = 10^9\,J$

JADERNÁ FYZIKA ... $\sim 100\,MeV = 10^5\,keV$

1 mol částic ... $10^{14}\,J$

Přechod od STR ke klasické mechanice

pro E_k

a) Matematické vztahy

Pro $|\varepsilon| << 1$ platí:

1) $$\sqrt{1-\varepsilon^2} = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2}$$

Důkaz: $$\left(1-\frac{\varepsilon^2}{2}\right)^2 = 1 - 2\cdot 1\cdot \frac{\varepsilon^2}{2} + \frac{\varepsilon^4}{4} \doteq 1 - \varepsilon^2$$

2) $$\frac{1}{1\pm\varepsilon}\cdot\frac{1\mp\varepsilon}{1\mp\varepsilon} = \frac{1\mp\varepsilon}{1-\varepsilon^2} \doteq 1\mp\varepsilon$$

b) <u>Vztah pro E_k</u>

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 =$$

$$= \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \doteq$$

$$\overset{1.}{\doteq} m_0c^2\left(\frac{1}{1-\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}} - 1\right) \overset{2.}{\doteq} m_0c^2\left(\cancel{1} + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} - \cancel{1}\right) =$$

$$= m_0\cancel{c^2} \cdot \frac{1}{2}\frac{v^2}{\cancel{c^2}} = \frac{1}{2}m_0v^2$$

i zde STR koresponduje s klasickou mechanikou

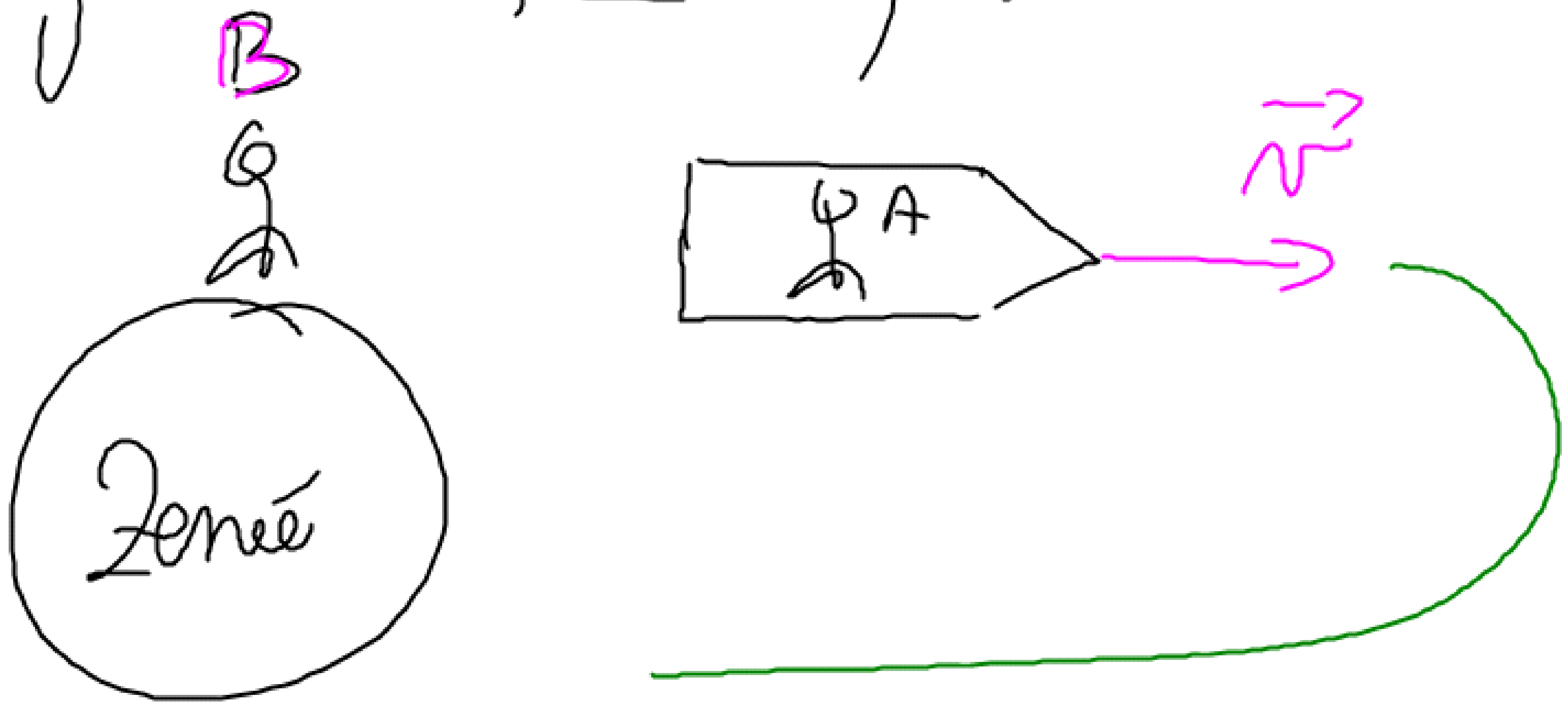
DODATKY

1, Paradoxy STR

není na nich nic paradoxního, zvláštního, divného, jen je zmatené, ze které soustavy je vysvětlovat

a) Paradox dvojčat

dvojčata $\underline{A}$, $\underline{B}$; A – do rakety, B – na Zemi



není IS ⇒ nelze pomocí STR

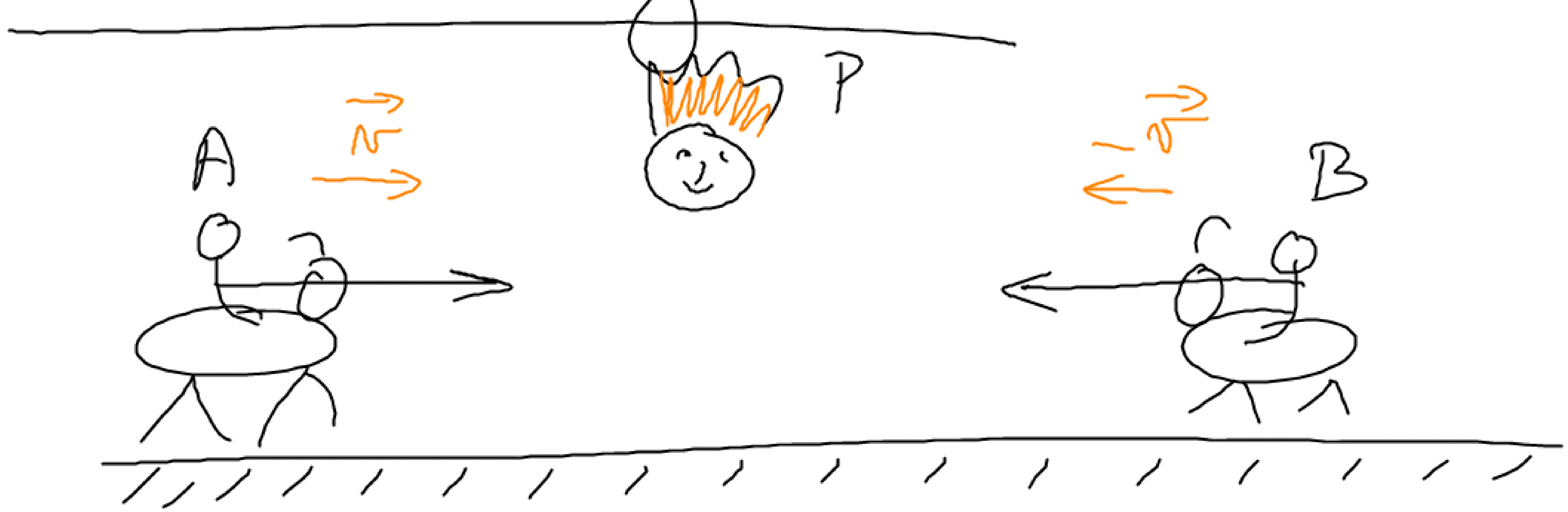
B: „$\underline{A}$ se vůči mně pohybuje, takže mu čas plyne pomaleji"

A: „$\underline{B}$ —,,— "

Jak budou vůči sobě staří po návratu $\underline{A}$ na Zem?

mladší bude $\underline{A}$

§ Relativističtí rytíři



Jak dopadne souboj?

A: „B se vůči mně hýbe ⇒ kopí B je kratší ⇒ moje kopí na B dosáhne a než mně B píchne, já uhnu."

B: totéž pro A

P: „Oba se vůči mně pohybují stejně rychle ⇒ obě kopí mně jsou stejná ⇒ píchnou se navzájem."

pravdu má <u>P</u>

mezi dotykem kopí brnění druhého rytíře
a „zacítěním toho" prvním rytířem uplyne
jistý čas ⇒ píchající nestihne zareagovat na
útok druhého

c) Šíleý závorář

Závorář se snaží chytit auto, jehož hlídaná délka je větší než mezera mezi závorami, mezi závory

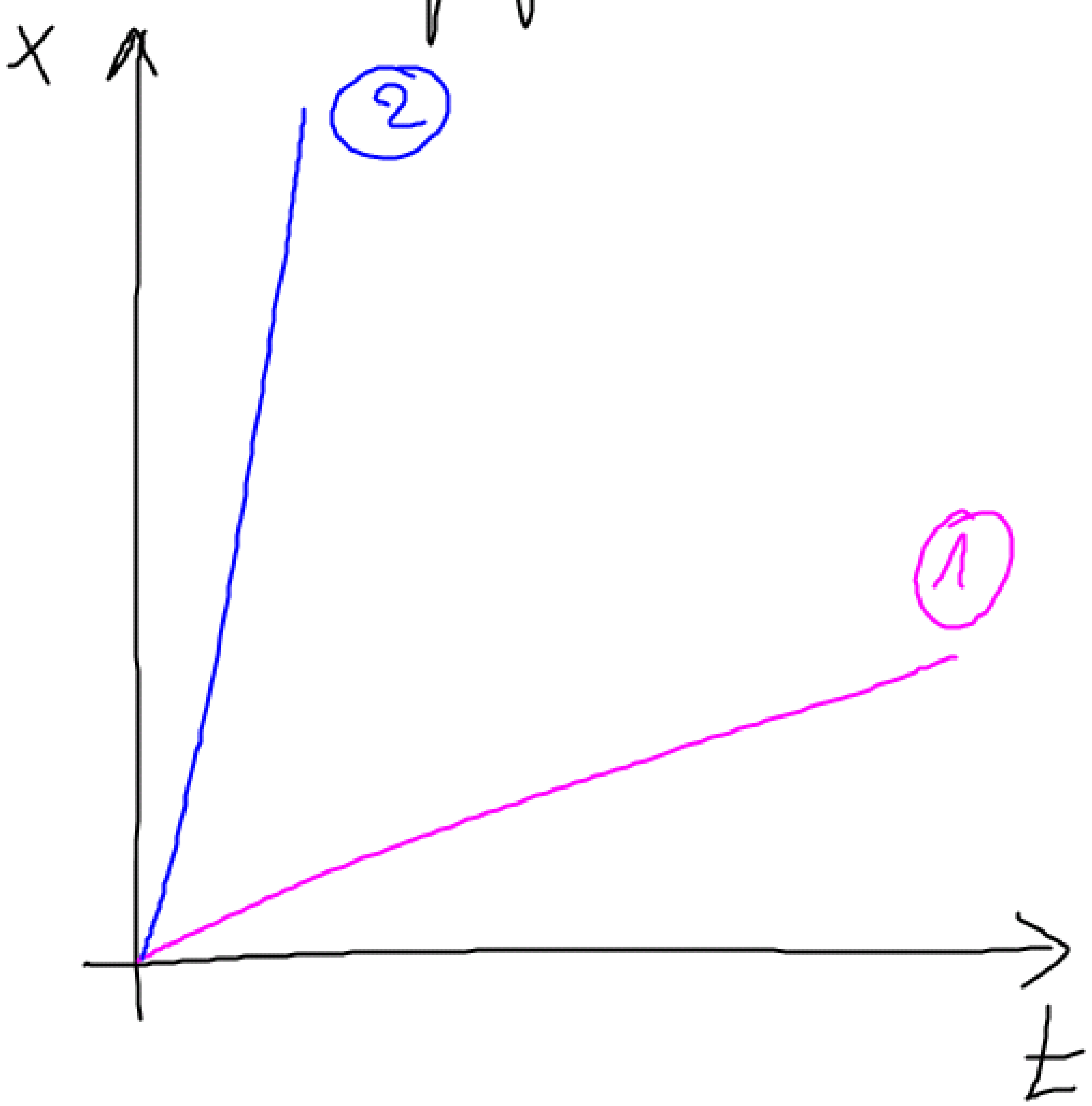
Z: Auto se pohybuje ⇒ naměřím ho kratší ⇒ do mezery se vejde

A: Mezera se pohybuje ⇒ je užší ⇒ nevejdou se.

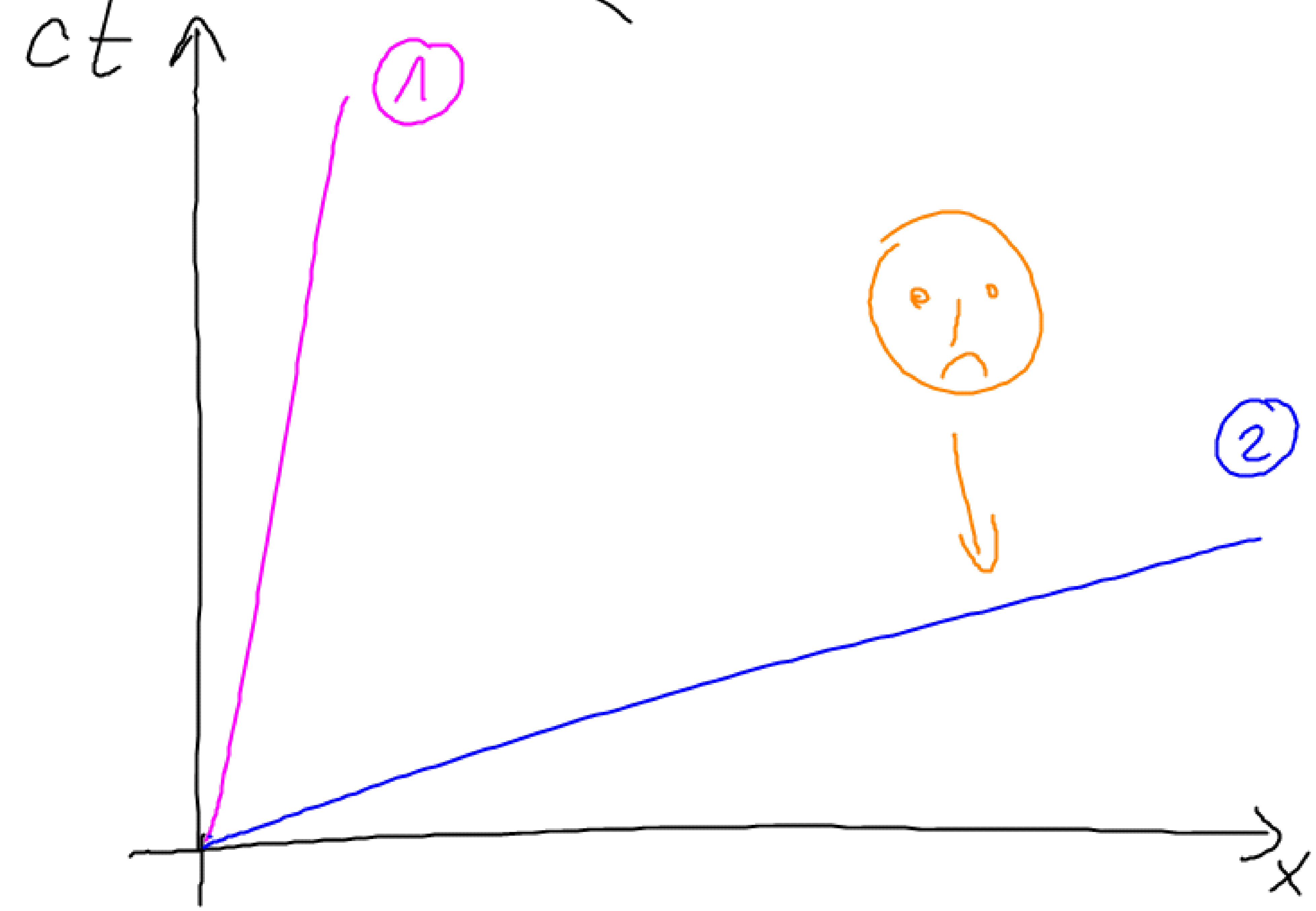
A se nevejde, ani při deformaci, která bude nejakou dobu probíhat

2, Prostoročasové diagramy

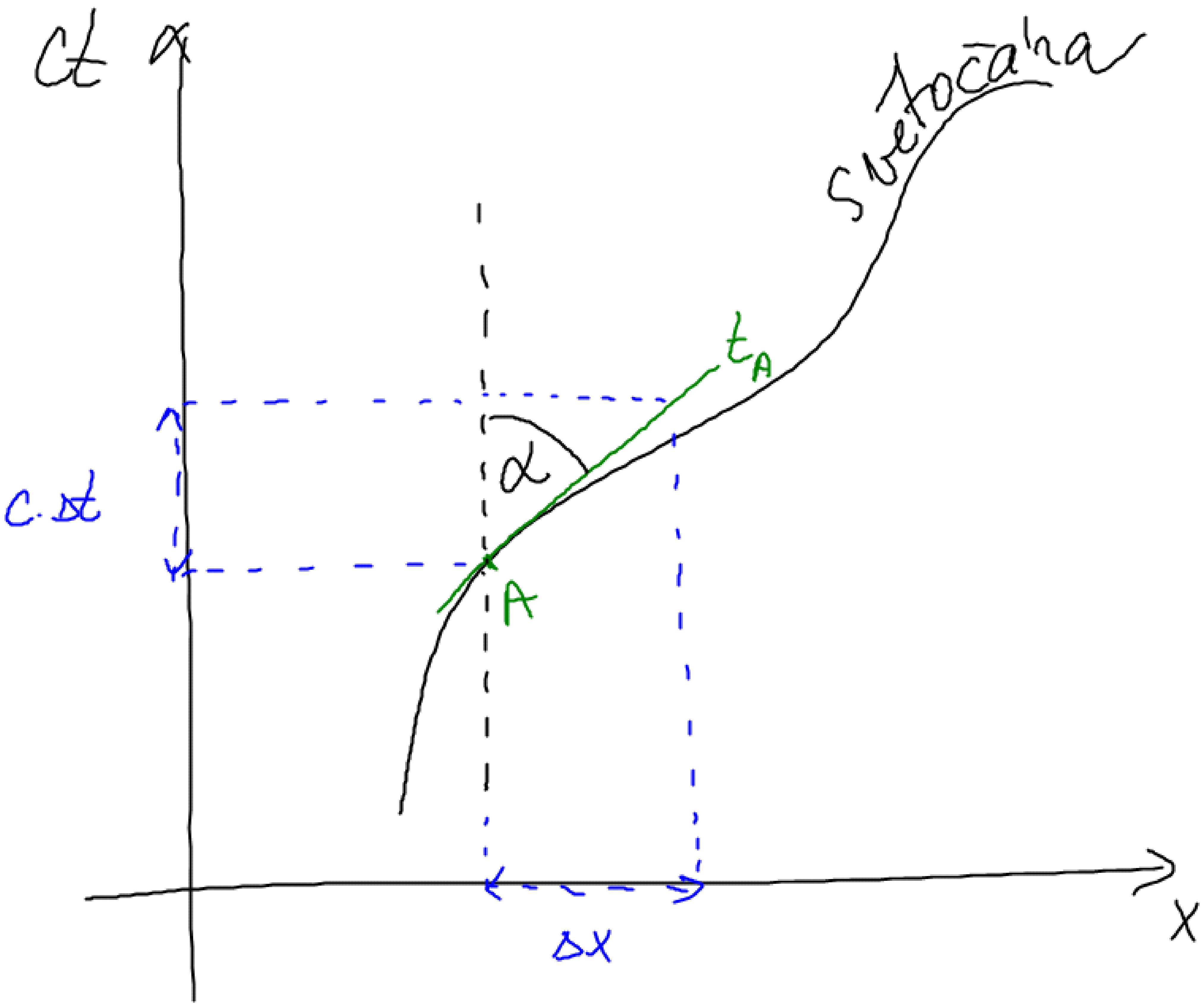
klasická fyzika



STR



- $[ct] = [x]$
- omezení: $\boxed{v < c}$

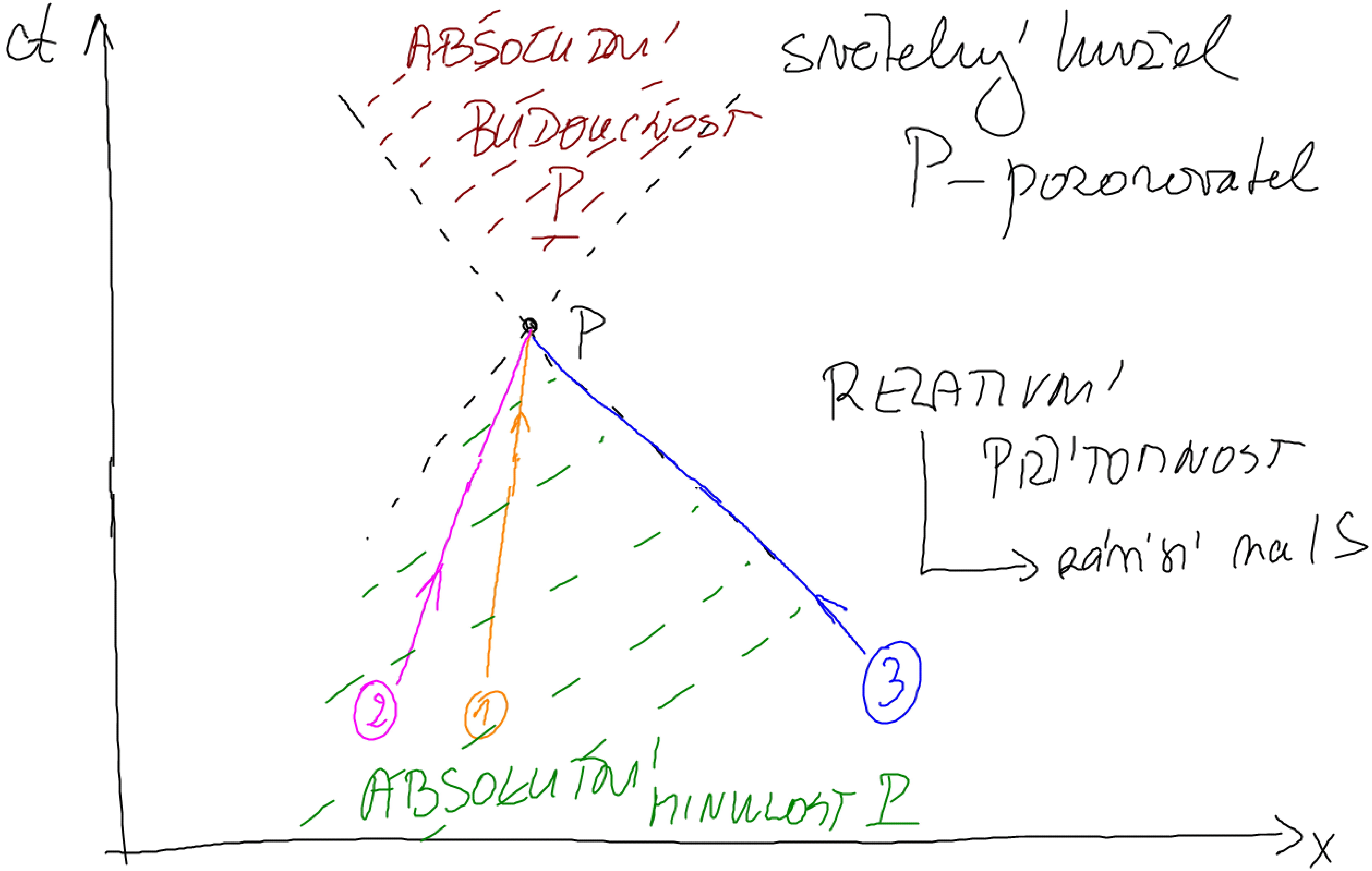


t_A – tečna v bodě $\underline{A}$

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\Delta x}{c\cdot\Delta t} = \frac{v}{c}$$

omezení: $\boxed{v < c} \Rightarrow \frac{v}{c} < 1$

$\Rightarrow \mathrm{tg}\,\alpha < 1 \wedge \mathrm{tg}\,\alpha$ je rostoucí $\Rightarrow \boxed{\alpha < 45^\circ}$


ct
ABSOLUTNÍ
BUDOUCNOST
P
světelný kužel
P – pozorovatel
P
RELATIVNÍ
PŘÍTOMNOST
závisí na S
2
1
3
ABSOLUTNÍ
MINULOST P
x

① šnek lezoucí k P

② raketa blížící se k P

③ světlo letící k P z druhé strany než šnek a raketa

ZÁVĚR:

se STR nemáme osobní zkušenost,
proto může někomu připadat divná,
ač byla od roku 1905 potvrzena řadou
experimentů!!!

FYZIKA MIKROSVĚTA

ÚVOD

Mikrosvět

- NENÍ ZMENŠENINA MAKROSVĚTA
- PLATÍ ZDE FYZIKÁLNÍ ZÁKONY, KTERÉ NEMAJÍ V MAKROSVĚTĚ ANALOGII (opět bez zkušenosti)
- FUNGUJÍ „LIMITNÍ PŘECHODY" DO MAKROSVĚTA
- DŮLEŽITÁ KONSTANTA (jako <u>c</u> v STR) JE <u>h</u> (Planckova konstanta)

Vývoj poznatků na strukturu mikrosvěta

řecká škola ATOMISTÉ

- Démokritos z Abdery
- Leukippos z Mílétu

„atom" – nejmenší částice hmoty

John DALTON (1766 – 1844) – chemický atomismus,
látky se slučují v předem daných poměrech

1859 – Julius Plücker – objev katodových paprsků (při sníženém tlaku); lze je ovlivnit el. i mg. polem

1895 – W. C. RENTGEN – „paprsky X", rentgenové záření

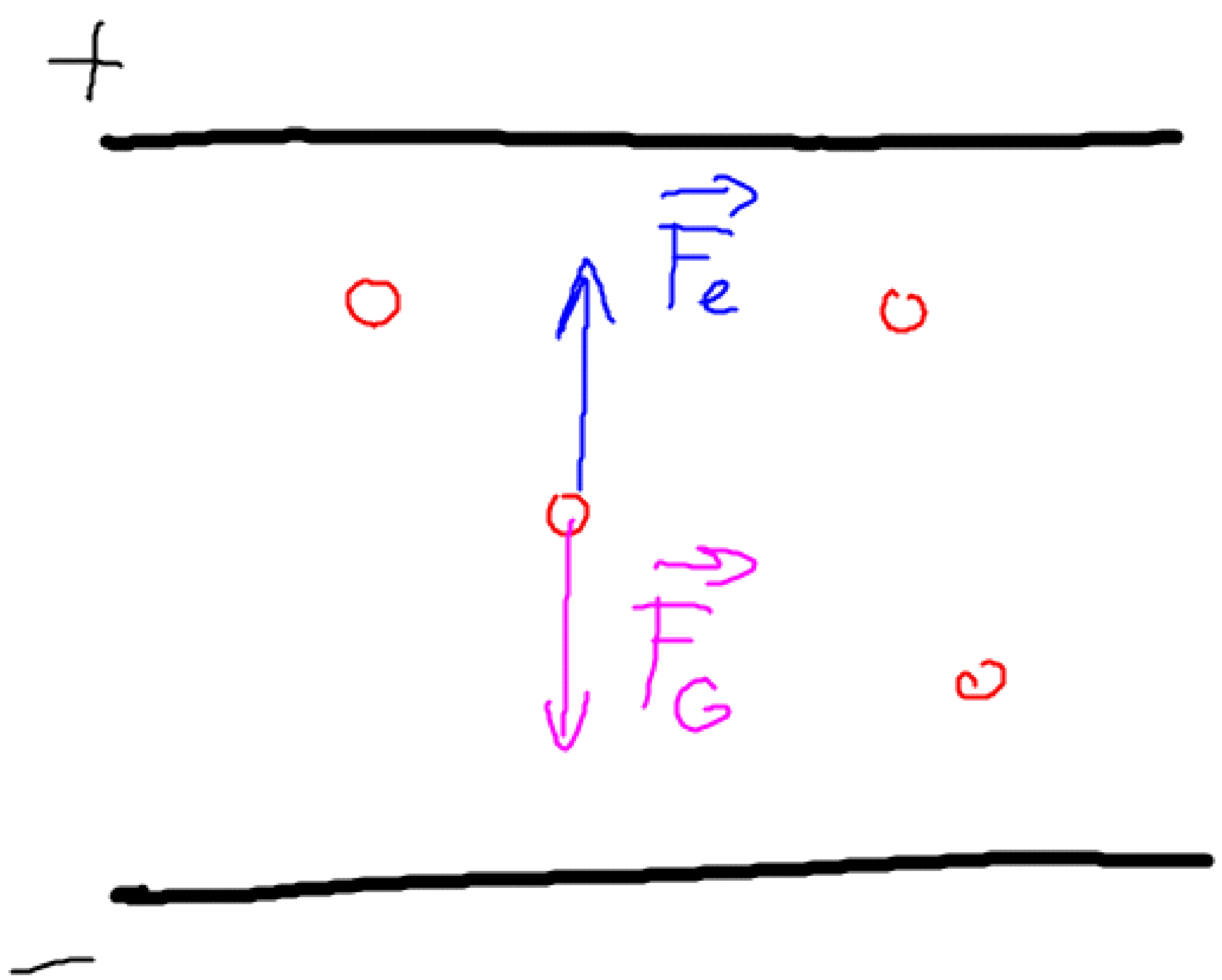
1897 – J. J. Thomson (1856–1940) – hypotéza o existenci elektronu („nosič el. náboje")

1910 – R. A. MILLIKAN (1868 – 1953)

- důkaz existence e^-
- proměření $\frac{Q_e}{m_e}$
- náboj je KVANTOVÁN
  - náboj je vždy celočíselným násobkem elementárního náboje
  - $\forall Q : Q = ke ; k \in \mathbb{Z}$

$$\boxed{e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C}$$

  - čistá měna je kvantovaná 1,- Kč



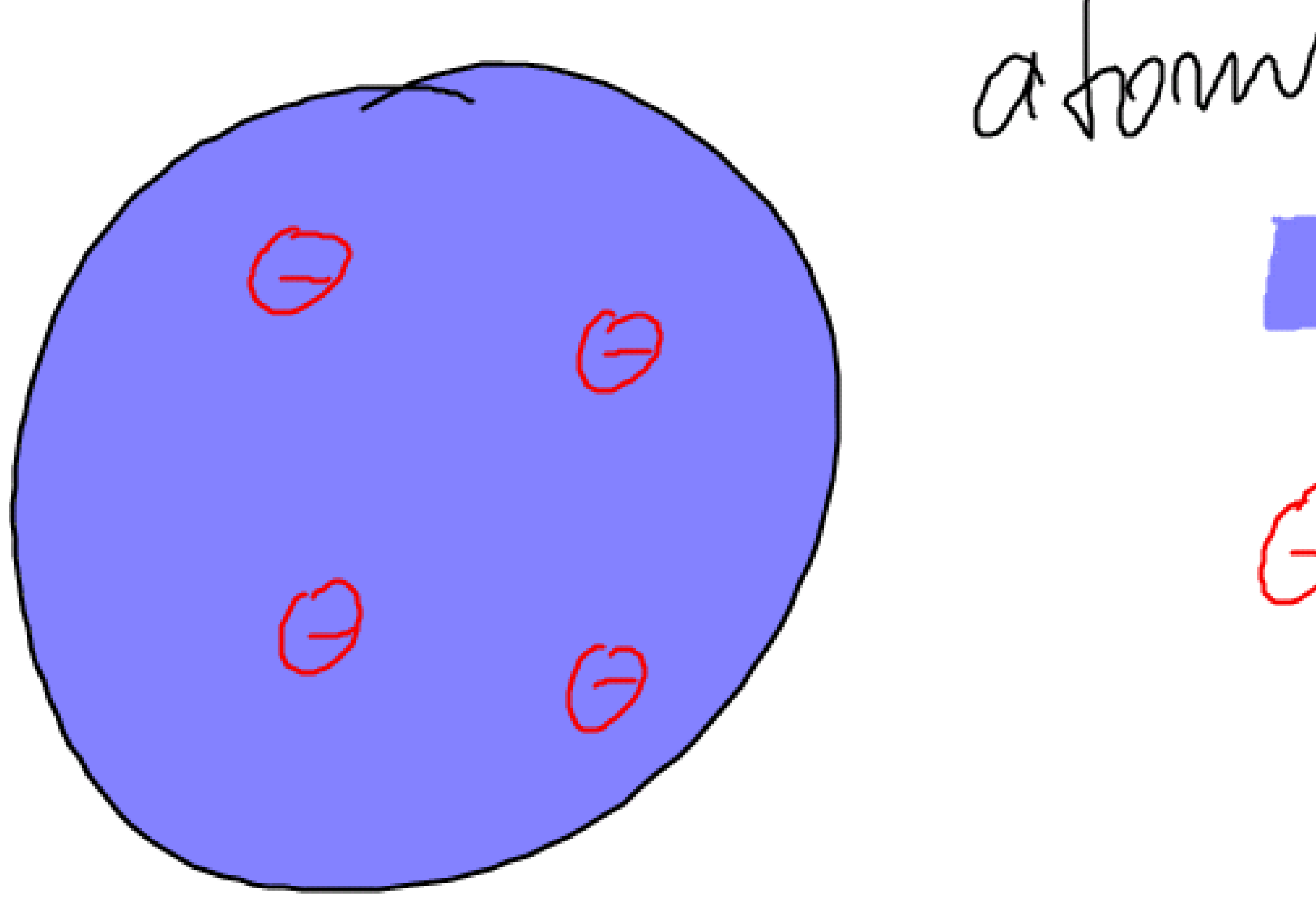
∘ kapičky oleje nabité ZÁPORNĚ

rovnováha sil (tj. ∘ je v klidu) $\Rightarrow$ určení $\frac{q_e}{m_e}$

Modely atomů

vhodné (tak jako jiné modely – hmotný bod, tuhé těleso, ...) pro představu, simulaci, popis dějů, ...

Thomsonův (pudinkový) model



kladně nabitá hmota

e^-; tak, aby atom byl

- el. neutrální
- stabilní

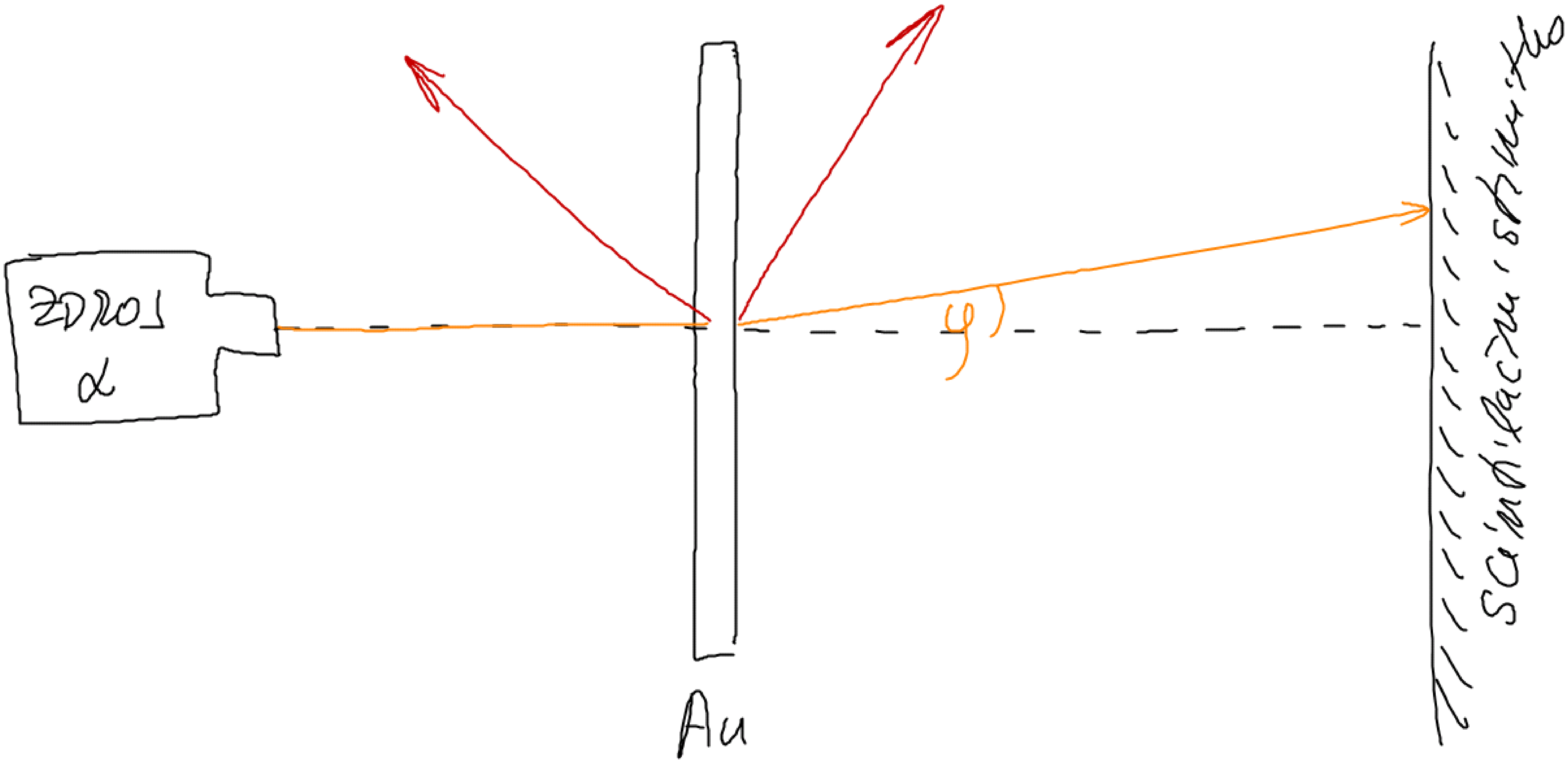
Objev atomového jádra

1911 – 1913 – E. RUTHERFORD
H. GEIGER
E. MARSDEN

přínos experimentu:

- objev atomového jádra
- metoda zkoumání objektů mikrosvěta (nelze rozšroubovat, je nutné je nechat srazit a ze šrotu, který naměříme, **určit** vlastnosti; viz dopravní nehoda)

☐ – výpočty spojené se ZZE, ZZH, ZZ el. náboje, ...



Au destička tenměř monoatomární tloušťky; dle Thomsona obsahuje $\underline{e^-}$ … m_e

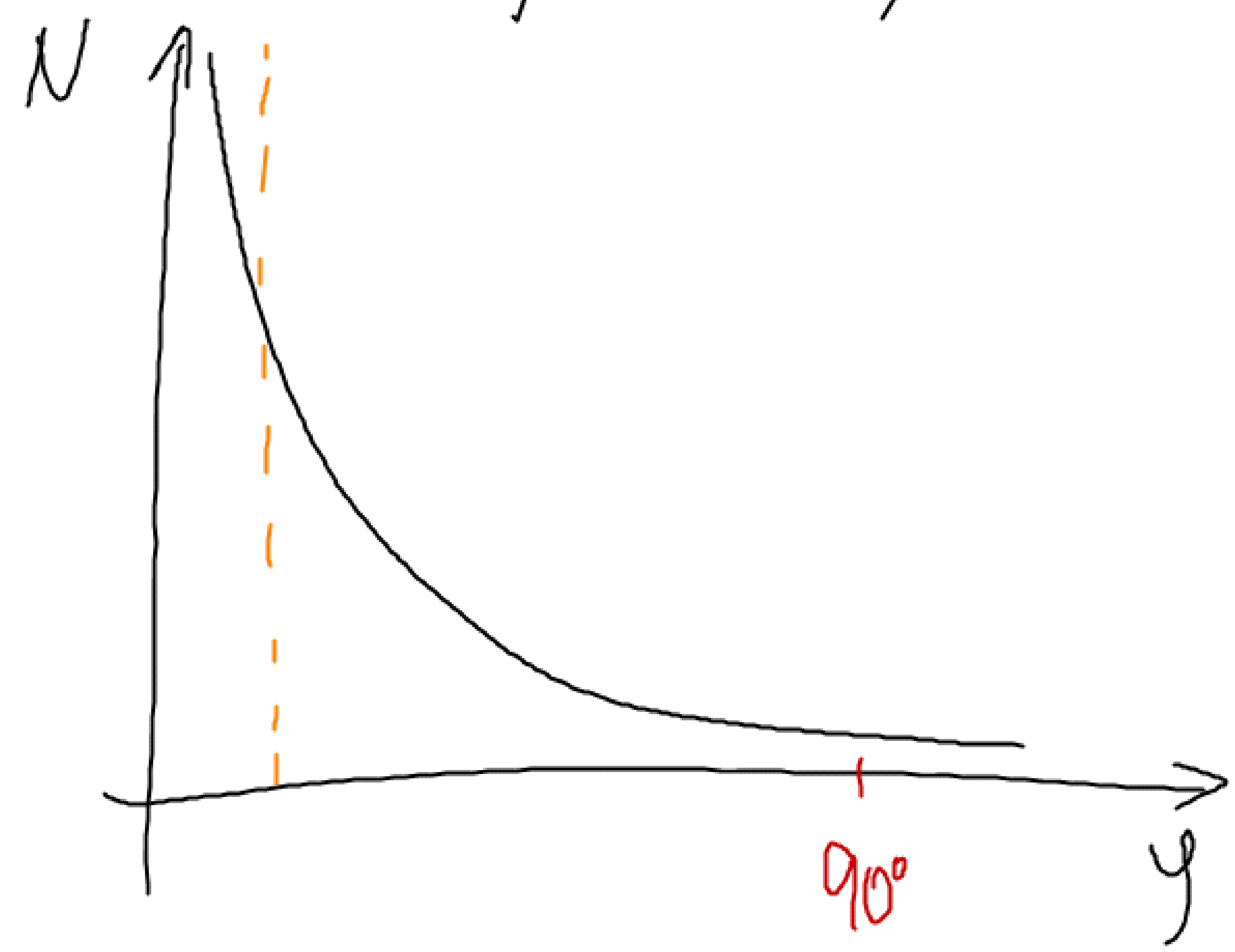
$\alpha = {}^{4}_{2}He$, 2 protony a 2 neutrony

informace, kterou Rutherford neměl, ale znal $\underline{m_\alpha}$ a $\underline{Q_\alpha}$

$m_p \doteq m_n \wedge m_p \sim 2000\, m_e \Rightarrow \boxed{m_\alpha \sim 8000\, m_e}$

předpoklad: $\underline{\alpha}$ se po průletu <u>Au</u> deskou odchýlí minimálně od původního směru; měření ale ukázala něco jiného statistika ⇒ exp. $\underline{\alpha}$, které se odrážejí pod úhlem větším než 90°, ale je jich málo

⇒ v atomu je „něco", co je:
- těžké (⇐ odráží to těžké $\underline{\alpha}$ částice)
- malé (⇐ odražených částic je málo)



parametry jádra:

- KLADNĚ NABITÉ
- $m_{JÁDRO} \sim 0{,}95\, m_{ATOM}$
- $r_{JÁDRA} \sim 10^{\boxed{-15}}\, m$ (pro těžká $10^{-14}\, m$)

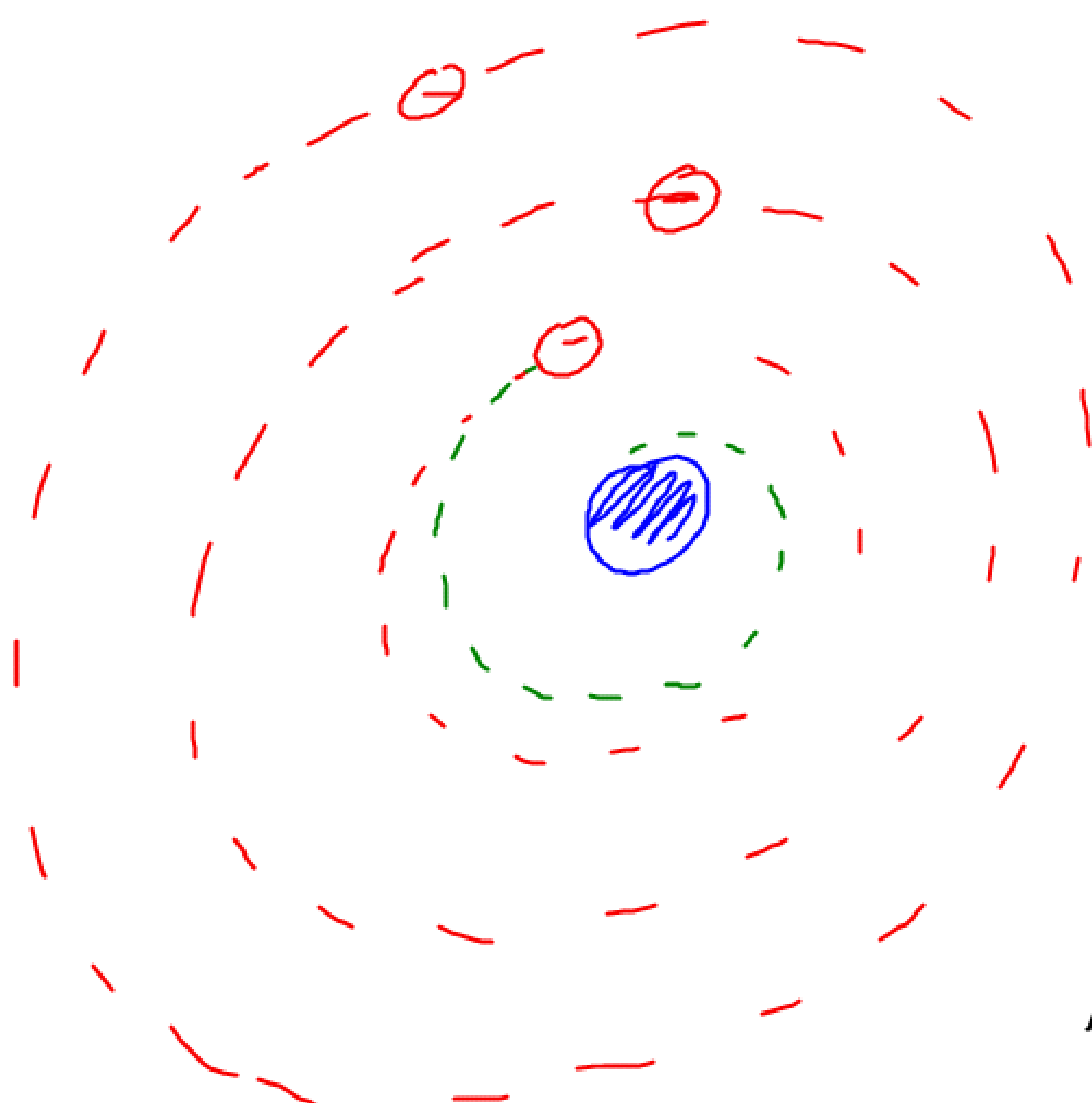
($r_{ATOMU} \sim 10^{\boxed{-10}}\, m$)

$\boxed{}$ 5 řádů

model: jádro ~ koumovní mušeí ~ 1 cm
atom ~ 10^5 cm = 1 km

nový model atomu (1. JADERNÝ)

Rutherfordův (planetární) model



● jádro (~ Slunce)

⊖ e^- (~ planety)

tento model je NESTABILNÍ

nabitá částice při pohybu po kruhu ZÁŘÍ ⇒ ⊖ padá na jádro

Složení jádra

- protony ... protonové číslo $\underline{Z}$
- neutrony ... neutronové číslo $\underline{N}$

$\Big\}$ NUKLEONY

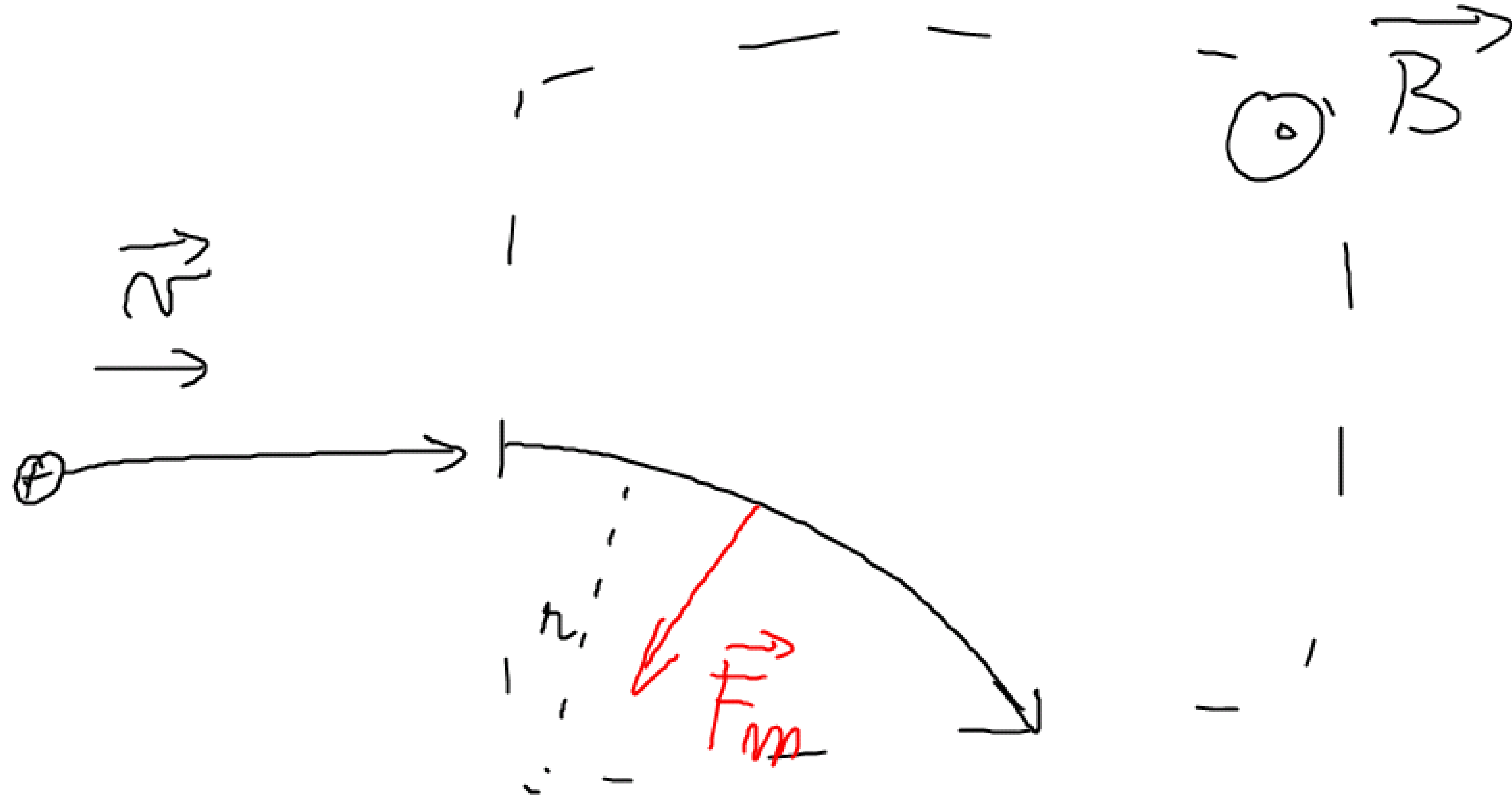
X ... chem. prvek; chem. vlastnosti – ELEKTRONOVÝ OBAL

$${}^{Z+N}_{Z}X = {}^{A}_{Z}X$$

A – hmotnostní číslo

↳ jádro daných vlastností: náboj, hmotnost (NUKLID) chemie ... Z

fyzika ..... A ; v mg. poli



$m = A \cdot m_u$

$m_u = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg

(hmotnostní konstanta)

$$F_m = F_d$$

$$BQv = m\frac{v^2}{r} \Rightarrow m = \dots$$

IZOTOPY – nuklidy tej samej protonu

(stejné místo PSP)

Z – stejné

A – různá

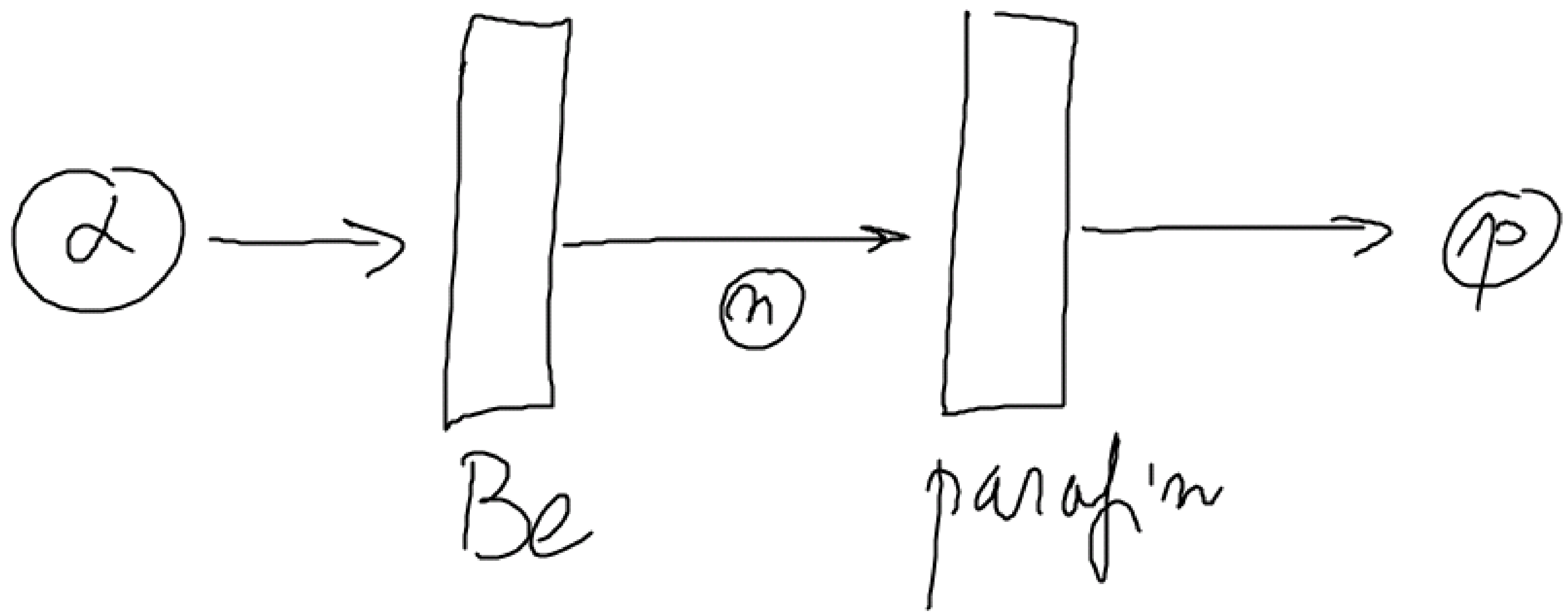
IZOBARY – nuklidy stejné hmotnosti různých chem. prvků

Z – různá

A – stejná

1932 – James Chadwick

objev neutronu

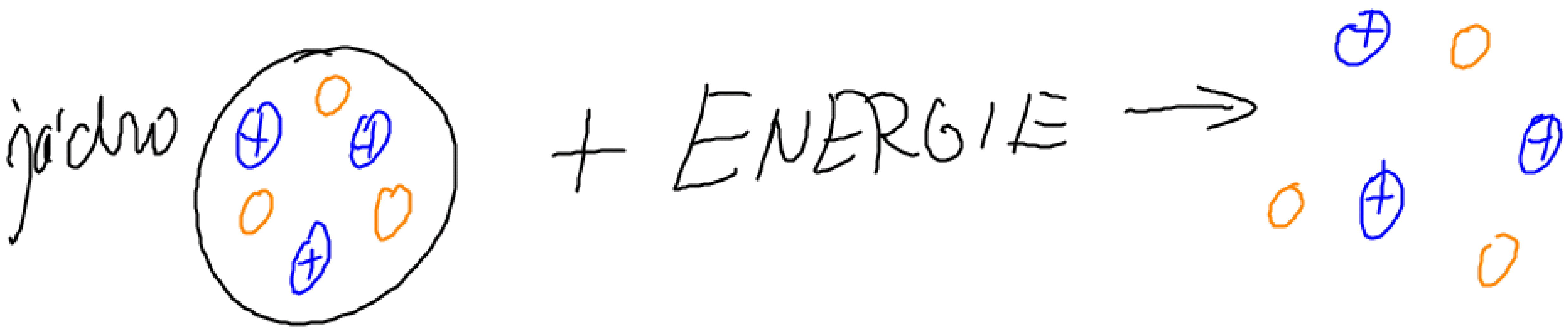


$$^{4}_{2}He + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

Vazebná energie

příměr: k „rozebrání zdi" je nutno dodat energie (vykonat práci)

obecně: pro rozložení daného systému na podsystémy je nutné dodat energii



$$m_{jádro} < Z m_p + N m_n$$

vysvětlení: změnou (dodáním) energie se změnila hmotnost

$$m_{jádra} + \Delta m = Z m_p + N m_n$$

$$\Delta m = Z m_p + N m_n - m_{jádra} = \frac{\Delta E}{c^2}$$

dodáním energie se systém rozpadl $\Rightarrow$ dodaná energie stačila na porušení vazeb $\Rightarrow \Delta E = E_{vazebná}$

TOTO PLATÍ PRO STABILNÍ SYSTÉM

NESTABILNÍ SYSTÉM (radioaktivní jádro) –

– $E_{\text{VAZEBNÁ}} < 0$: energii musíme dodat k udržení systému pohromadě

běžné jednotky energie: eV a násobky

př. $E_{0\,\text{elektronu}} \sim 0{,}5\ \text{MeV}$

„hmotnost elektronu je 0,5 MeV"

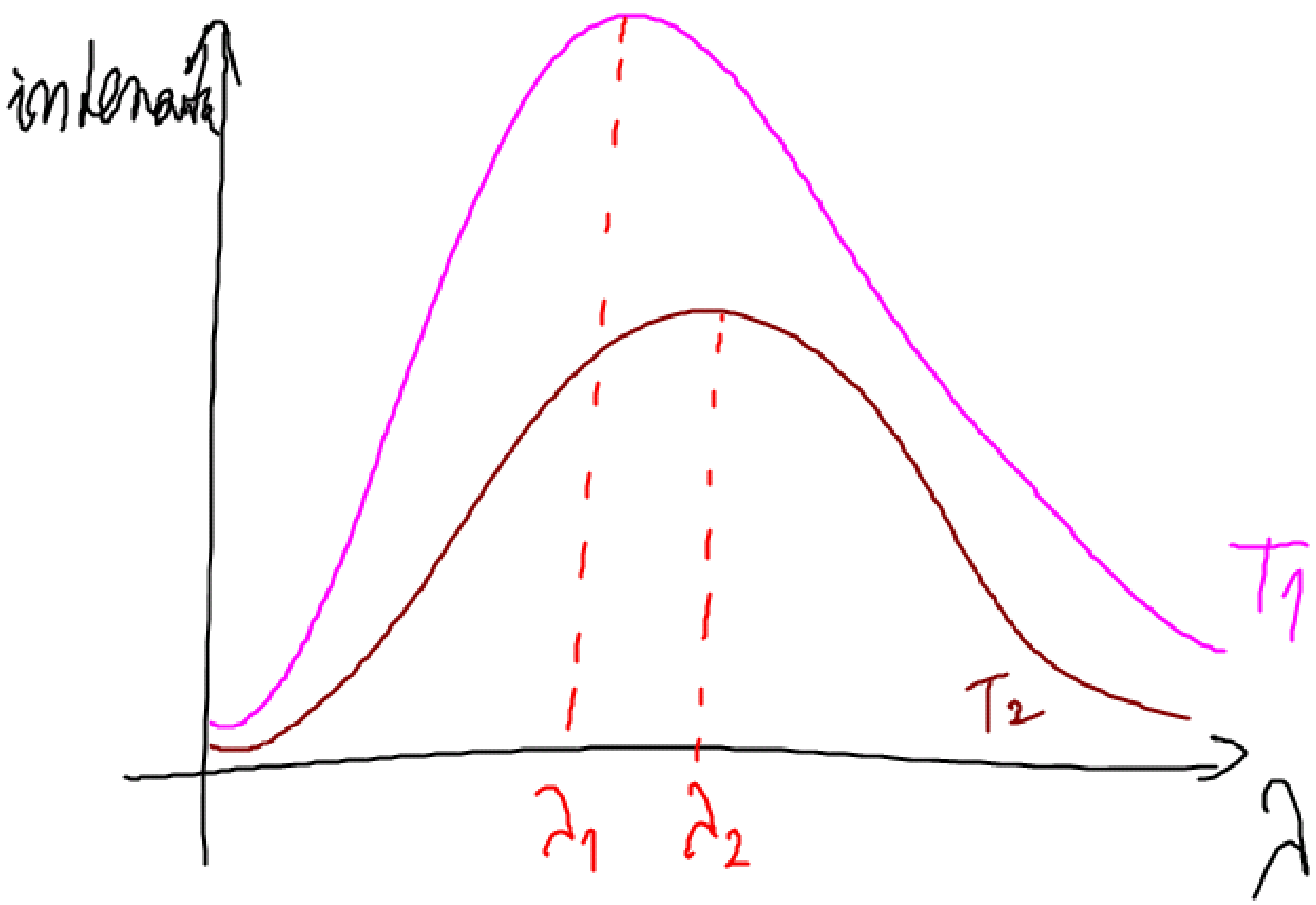
Δm – hmotnostní úbytek, deficit

pro praxi: zajímá nás reakce, které UVOLŇUJÍ ENERGII (EXOENERGETICKÉ REAKCE)

KVANTOVÁ FYZIKA

Záření absolutně černého tělesa

toto záření bylo proměřeno, ale nedařilo se jej popsat matematicky



$T_1 > T_2$

Wien: $T \cdot \lambda_m = konst$

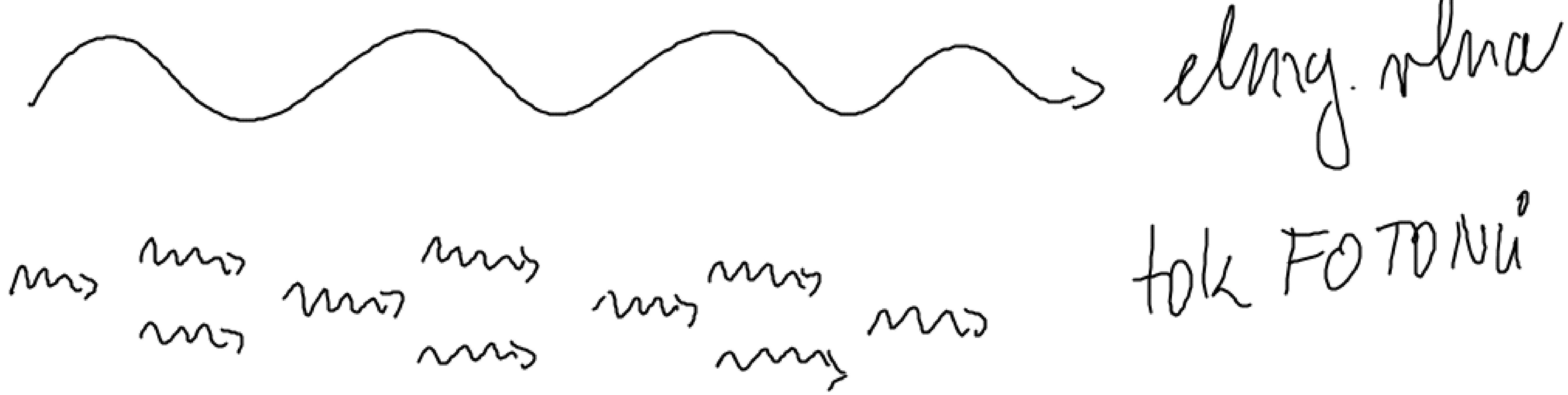
průběh křivek nešlo možné udělat V CELÉM INTERVALU VLN. DÉLEK

Planckova kvantová hypotéza

historický název, od 1900 prokázáno, že je OK

předpoklad: elmg. záření se nešíří spojitě, ale v tzv. KVANTECH (FOTONY)

~~ tedy i světlo



1 KVANTUM: frekvence ... f

energie ... E

$$\boxed{E = hf} \quad (E = h\nu)$$

h – Planckova konstanta, $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$

některé učebnice: $\hbar = \frac{h}{2\pi} \doteq 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$

Jaká je energie fotonů viditelného světla?

$$\lambda = 600\,\mathrm{nm} = 6\cdot 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

$$E = ?$$

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} = \cancel{6},63\cdot 10^{-34}\cdot\frac{3\cdot 10^{8}}{\cancel{6}\cdot 10^{-7}}\,\mathrm{J} \doteq 3\cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$$

$$\underline{\underline{\doteq 2\,\mathrm{eV}}}$$

$$1\,\mathrm{eV} = 1,6\cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$$

v praxi: excitační energie Si, Ge v polovodičích

(ŠÍŘKA ZAKÁZANÉHO PÁSU)