



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

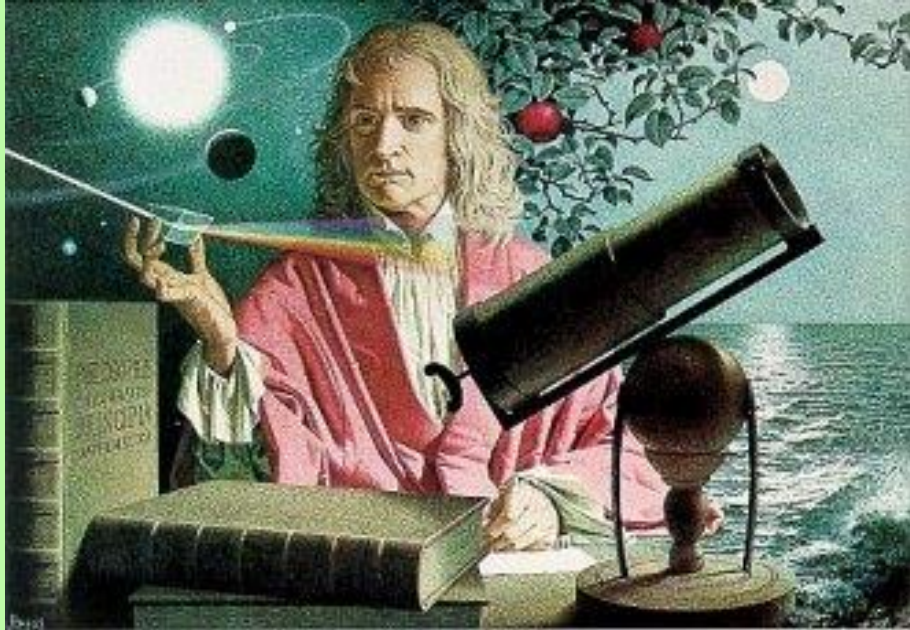
III/2-2-2-01

Zpracováno 2. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY



Obr.: 1

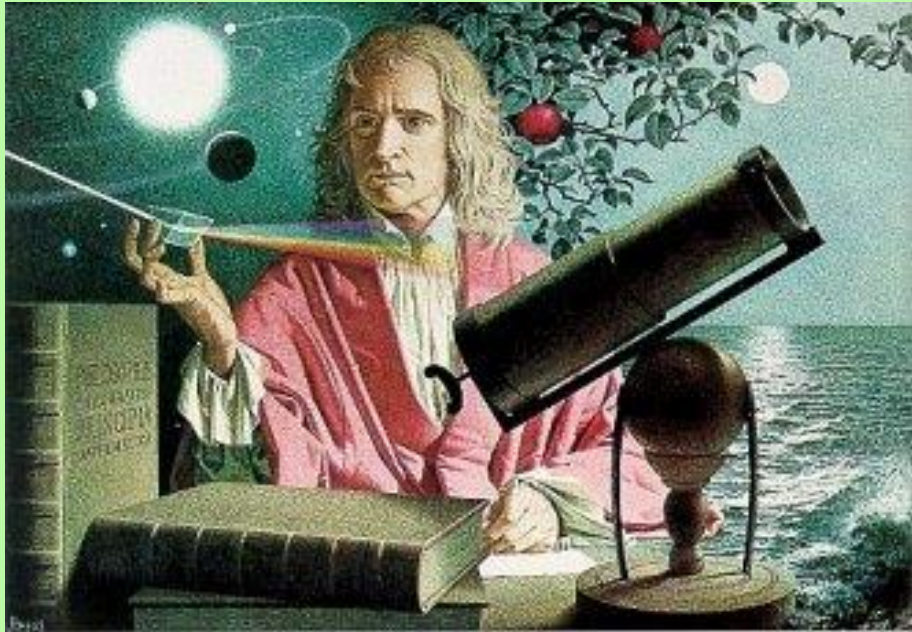
## EPITAPH FOR SIR ISAAC NEWTON

Nature and Nature's Laws  
lay hid in Night.  
God said, Let Newton be!  
and all was light!

Anglický básník Alexander Pope  
(Newtonův současník)

1688 — 1744

# SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY



Obr.: 1

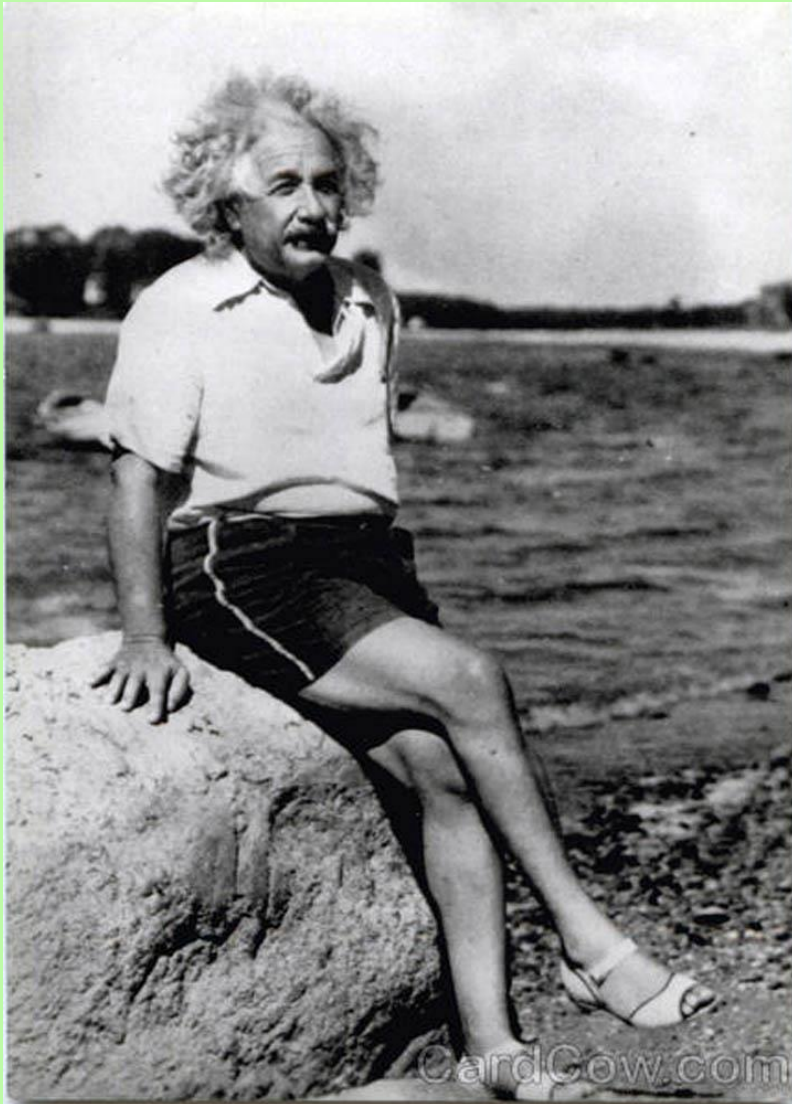
## EPITAF NEWTONOVI

Přírodní řády neřád noci kryl;  
Bůh řek Bud' Newton!  
a svět vyjasnil!

Anglický básník Alexander Pope  
(Newtonův současník)

1688 — 1744

# SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY



Obr.: 2 Albert Einstein at Beach 1945

Po vzniku STR se v anglickém satirickém časopise objevilo:

**Tak nezůstalo.**

**Ďábel zařval:**

**„HO! Budiž Einstein!“**

**a nastolil status quo.**

# SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

1. prostor a čas v klasické mechanice
2. vznik speciální teorie relativity
3. základní principy STR
  
4. relativnost současnosti
5. dilatace času
6. kontrakce délek
  
7. skládání rychlostí ve STR
8. základní pojmy relativistické dynamiky
9. vztah mezi energií a hmotností
10. Albert Einstein

# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## **Vztažná soustava (VS)**

4 souřadnice (xyz) + čas (t)

## **Inerciální soustavy**

jsou vůči sobě v klidu nebo se jedna vůči druhé pohybuje rovnoměrně přímočarým pohybem.

Platí v ní Newtonovy pohybové zákony.

## **Neinerciální soustavy**

jedna se vůči druhé pohybuje se zrychlením.

## **Soumístné události**

děje, které se odehrály ve VS na stejném místě.

## **Současné události**

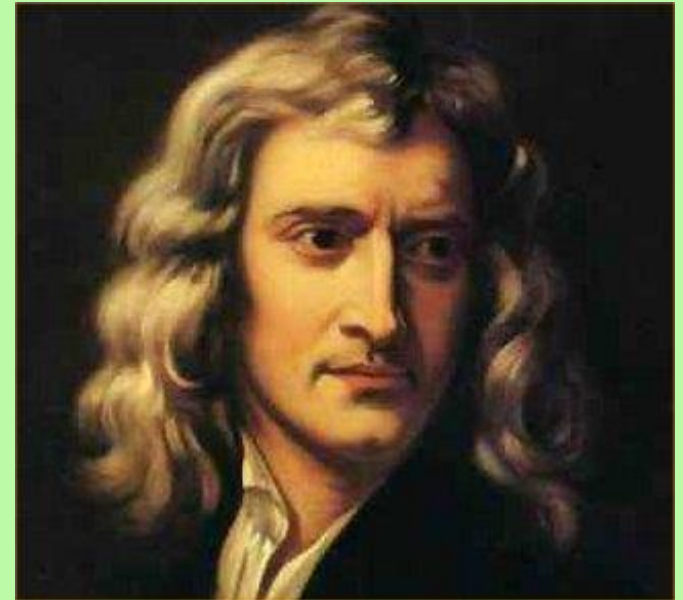
děje, které se odehrály ve VS ve stejném okamžiku.

# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## V klasické mechanice předpokládáme

- absolutní čas – ve všech VS plyne stejně rychle
- absolutní délku předmětů
- stálou hmotnost tělesa
- skládání rychlostí prostým vektorovým součtem

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}' + \mathbf{v}$$



Obr.: 3

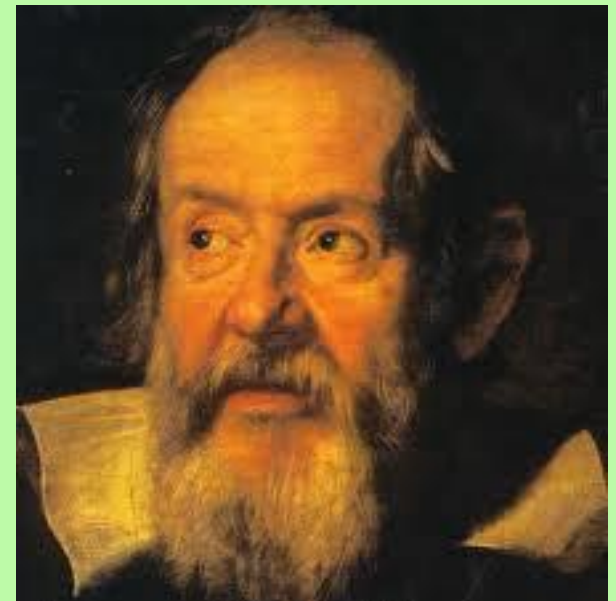
# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## Galileův mechanický princip relativity:

Žádným mechanickým pokusem nelze zjistit, zda se těleso pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem nebo je v klidu.

Ve všech inerciálních vztažných soustavách platí stejné zákony klasické Newtonovy mechaniky.

(platí asi do  $0,3 c$ )



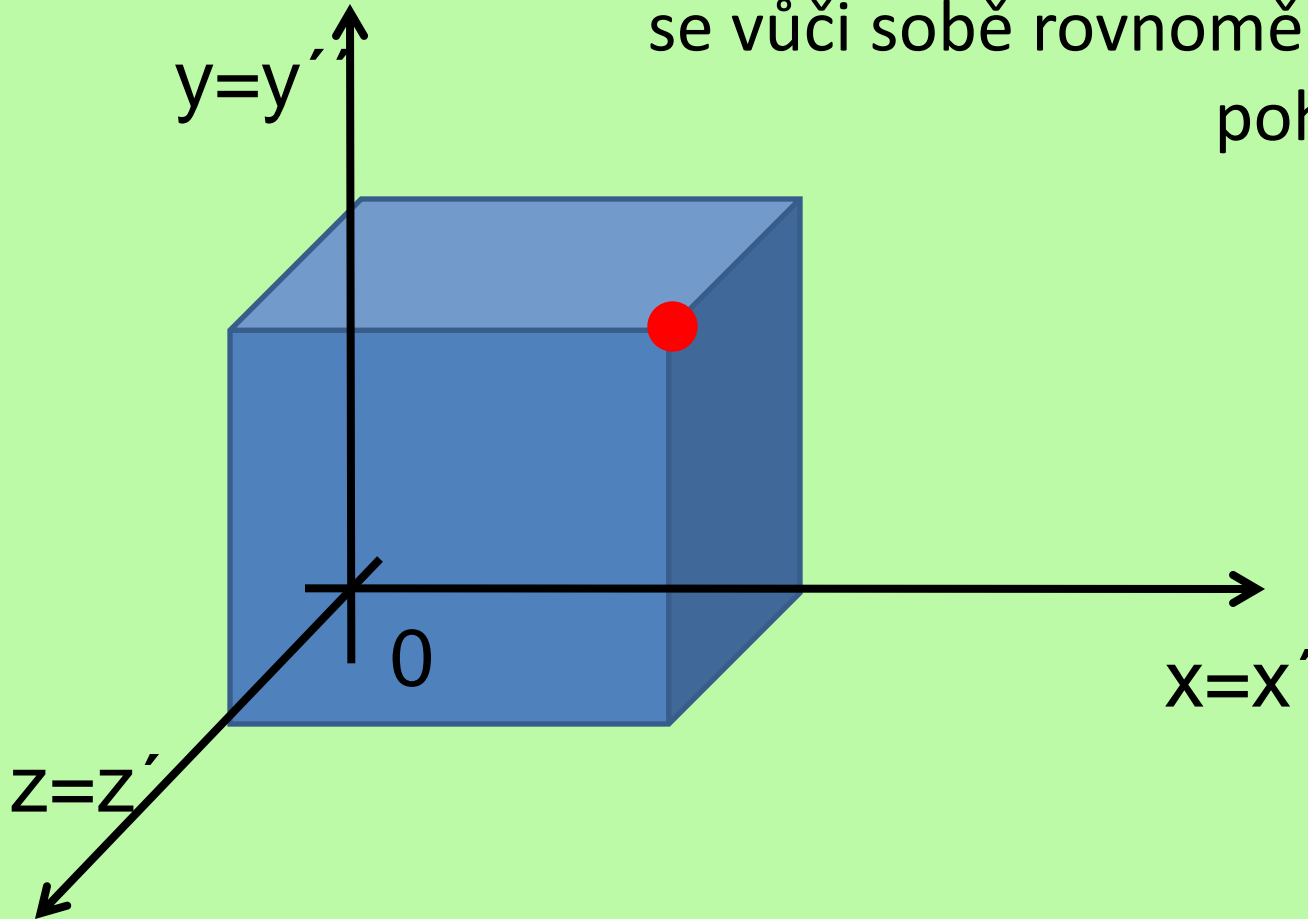
Obr.: 5



# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## Galileova transformace :

$S=S'$  dva souřadnicové systémy  $S$  a  $S'$  pohybující se vůči sobě rovnoměrným přímočarým pohybem rychlostí  $\mathbf{v}$ .

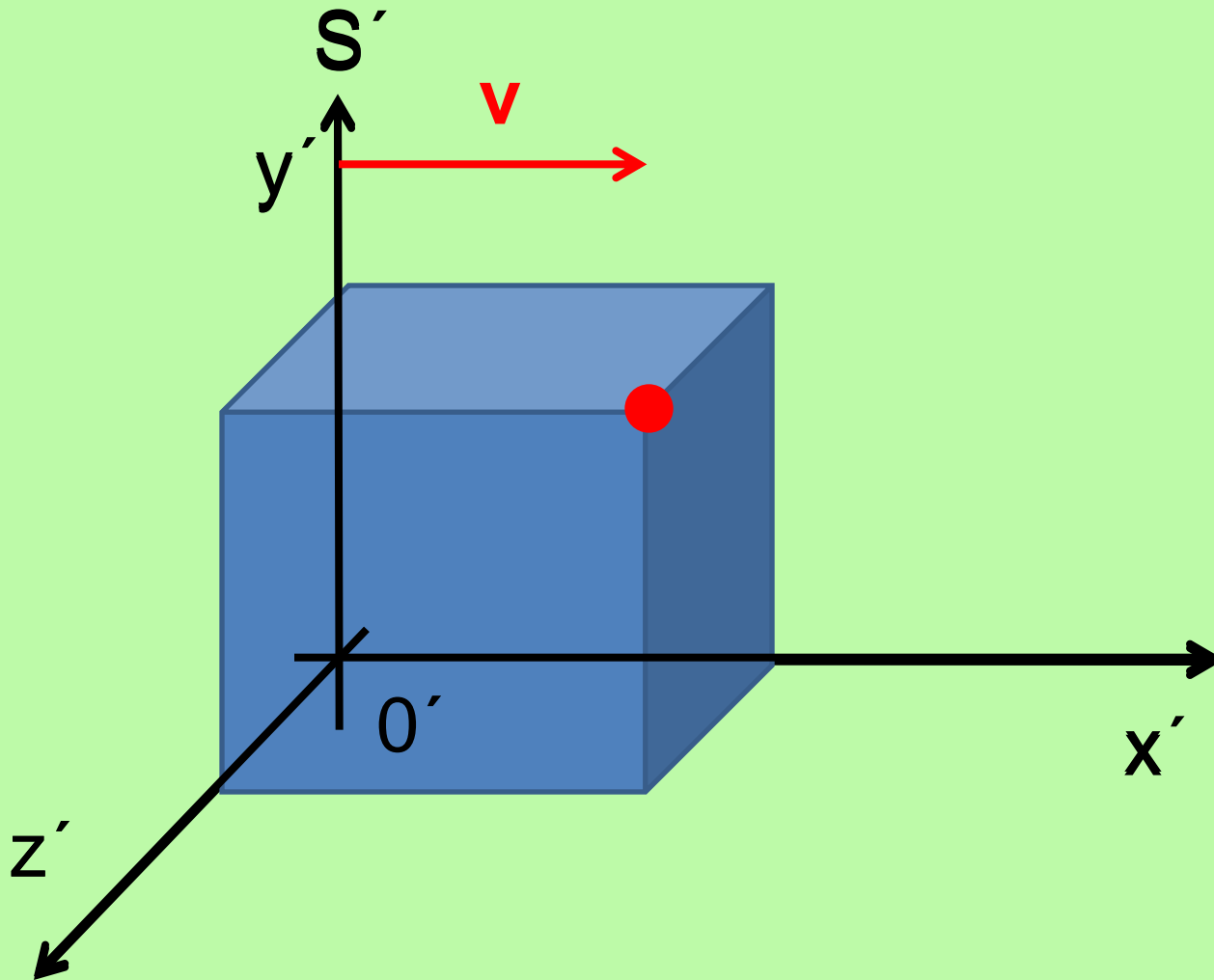


V čase  $t = 0$  s

$$\begin{aligned}x &= x' \\y &= y' \\z &= z' \\t &= t'\end{aligned}$$

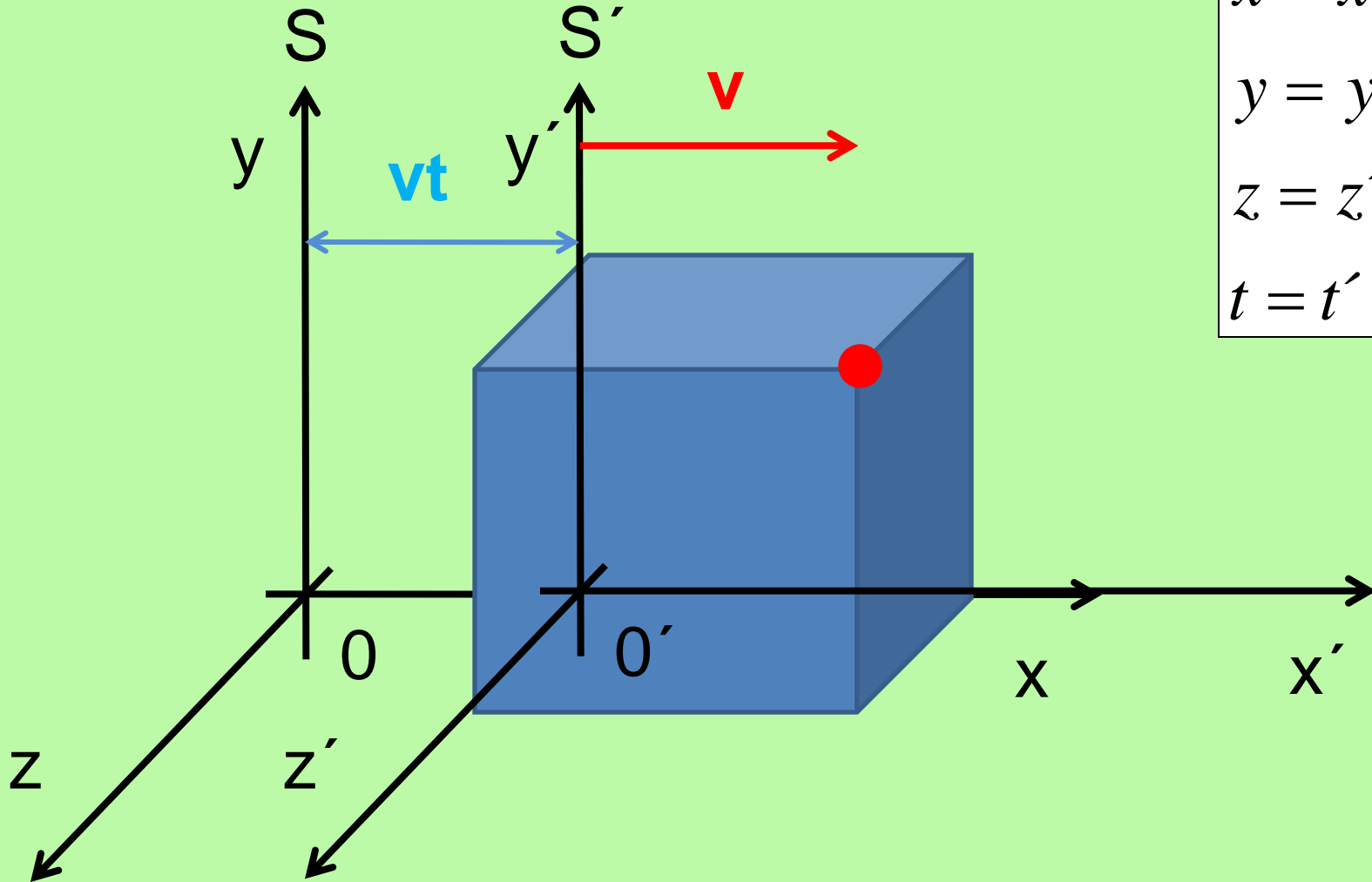
# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

Galileova transformace :



# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

Galileova transformace :



$$x = x' + vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## PŘÍKLADY

- **Inerciální a neinerciální vztažné soustavy:**
  1. Kulička položená na podlaze rozjíždějícího se vagónu.
  2. Kniha položená na stole ve třídě.
  3. Pepa v rozjíždějícím se autě.
  4. Jana na kolotoči.
  5. Karel v letadle.
  
- **Relativnost trajektorií**
  1. Ventilek na kole.
  2. Konec vrtule letadla.
  3. Padající míč ve vlaku.

# 1. PROSTOR A ČAS V KLASICKÉ MECHANICE

## PŘÍKLADY

- **Soumítné události**

1. Poklepání na stůl.
2. Kapající voda.
3. Blikající siréna hasičů.

- **Současné události**

1. Synchronizované plavání.

- **Skládání rychlostí**

1. Lodka na řece.
2. Cestující ve vlaku.
3. Lovec na Safari.

Z výšky  $h = 100 \text{ m}$  jsou v čase

$t = 0 \text{ s}$  vržena současně tři tělesa

A, B, C počátečními rychlostmi

$v_A = 5 \text{ ms}^{-1}$ ,  $v_B = 10 \text{ ms}^{-1}$ ,  $v_C = 5 \text{ ms}^{-1}$

Těleso D v čase  $t = 0 \text{ s}$  padá  
volným pádem.

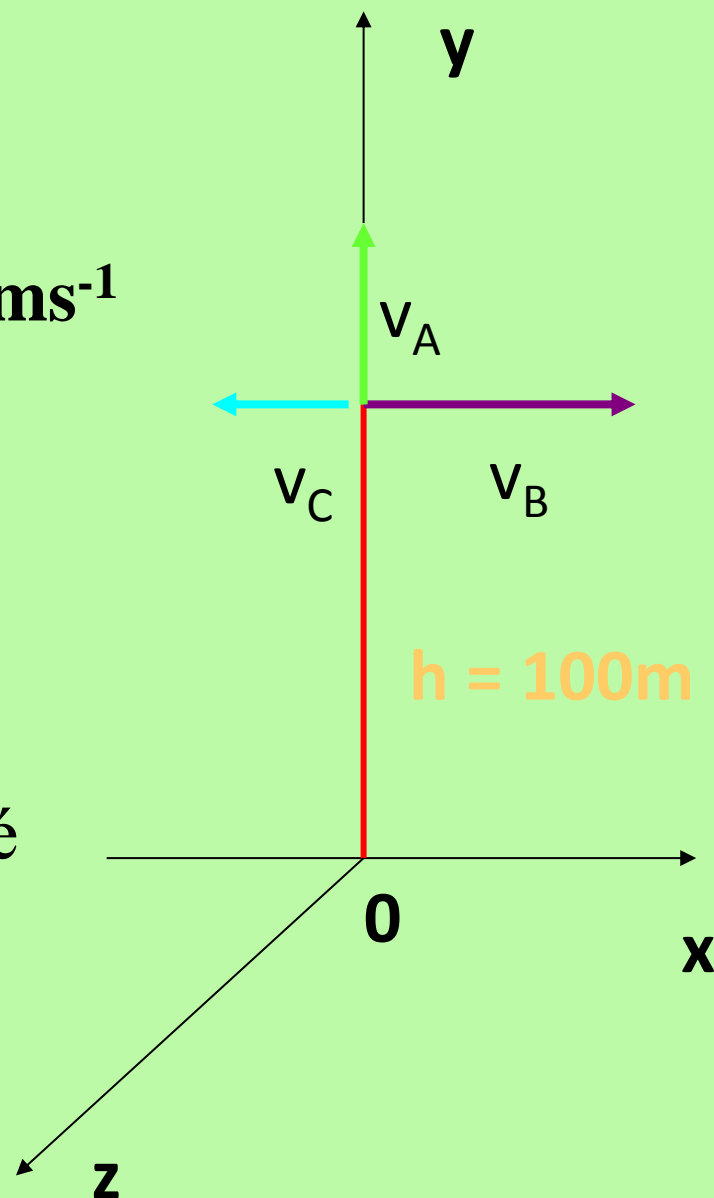
Označte události spočívající  
v dopadu tělesa na zem

$U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $U_D$

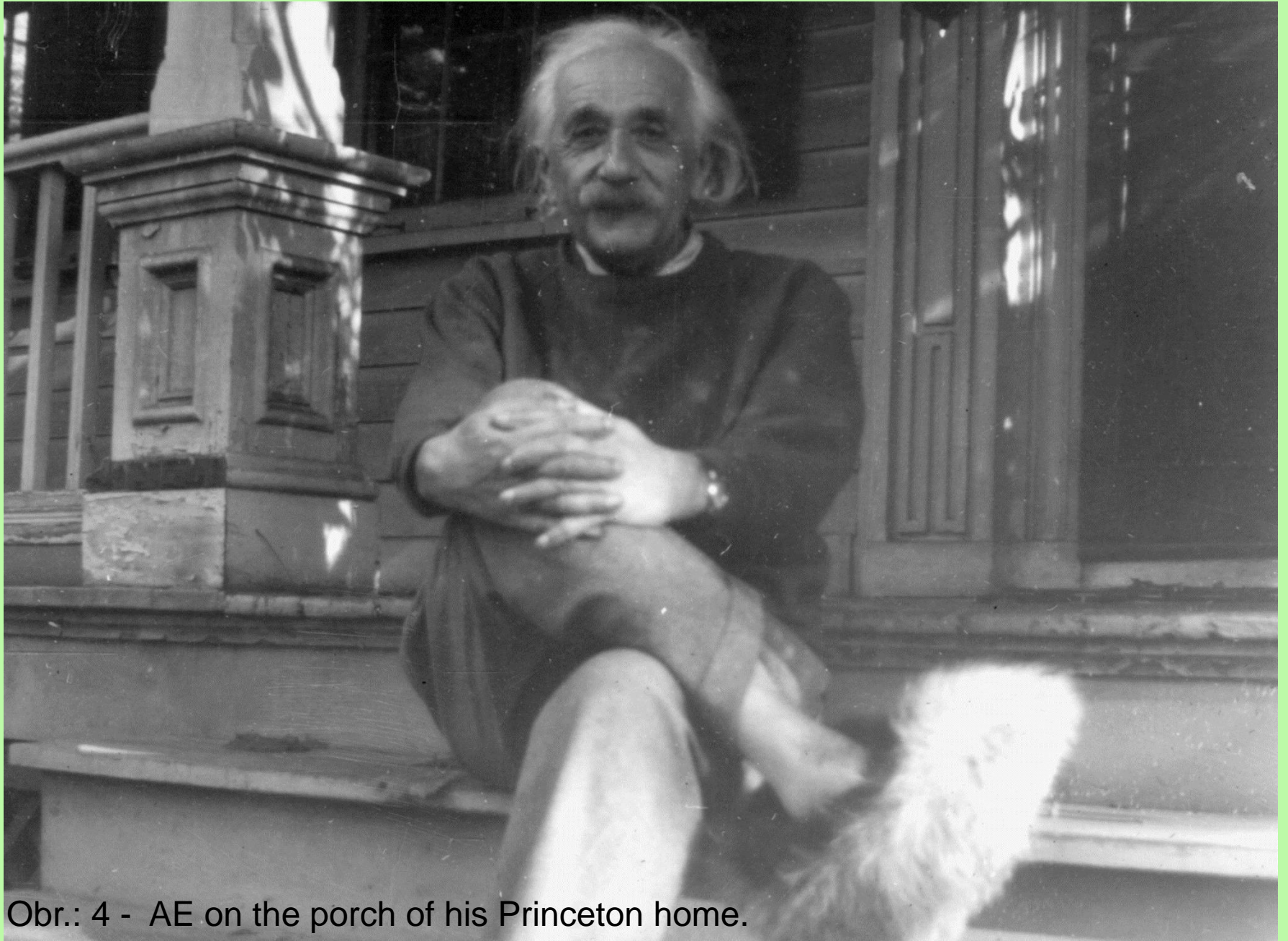
a rozhodněte, které jsou soumítné  
a které současné.

$U_A$  a  $U_D$  – soumítné události

$U_B$ ,  $U_C$  a  $U_D$  – současné události



# SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY



Obr.: 4 - AE on the porch of his Princeton home.

# Použitá literatura

## Literatura

BARTUŠKA, K.: *Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity*. Prometheus, Praha 2001

ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: *Fyzika – sbírka úloh pro střední školy*. Prometheus, Praha 2010

ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: *Odmaturuj z fyziky*. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

PINKAVA, Václav. [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://vzjp.cz/verse.htm#Pope>

## Obrázky:

[1] [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z:

<http://teachertech.rice.edu/Participants/louviere/Newton/newton5.jpg>

[2] [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: [http://media-](http://media-cache0.pinterest.com/upload/168885054746885185_IOxCeXap_c.jpg)

[cache0.pinterest.com/upload/168885054746885185\\_IOxCeXap\\_c.jpg](http://media-cache0.pinterest.com/upload/168885054746885185_IOxCeXap_c.jpg)

[3] [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z:

<http://defendingjehovahswitnesses.blogspot.cz/2011/12/newton-isaac-links-to-information.html>

[4] NUTT, Amy Ellis. [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: [http://www.nj.com/inside-](http://www.nj.com/inside-jersey/index.ssf/people/einsteins_fuzzy_logic.html)

[jersey/index.ssf/people/einsteins\\_fuzzy\\_logic.html](http://www.nj.com/inside-jersey/index.ssf/people/einsteins_fuzzy_logic.html)





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

## 2. VZNIK STR

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-02

Zpracováno 13. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

## 2. VZNIK STR

### Problémy:

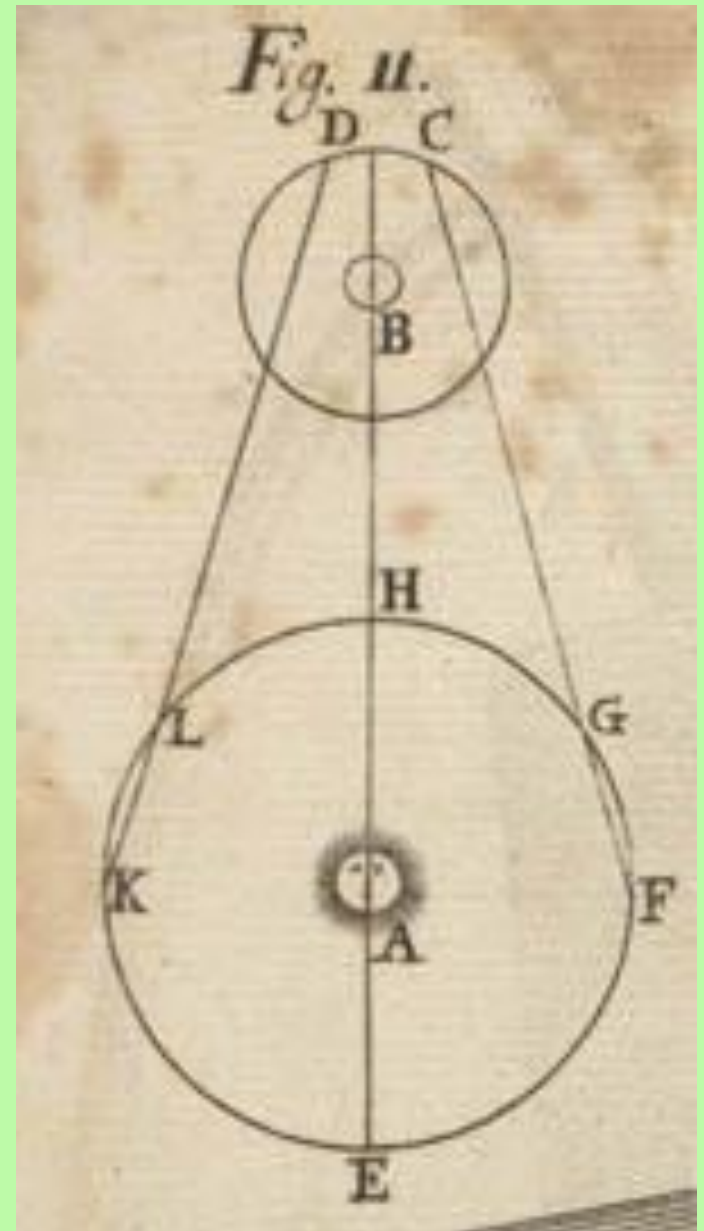
1. Může pozorovatel v inerciální vztažné soustavě zjistit její rovnoměrný přímočarý pohyb pozorováním nemechanických jevů? (optických, elektromagnetických, ...)
2. Určení rychlosti světla.

**Rychlost světla byla považována za nekonečnou.**

**Olaf Romer** (přítel Newtona)  
roku 1675 z pozorování zákrytů  
Jupiterových měsíců zjistil,  
že se světlo šíří konečnou rychlostí  
a vypočítal hodnotu 227 000 km/s.



Obr.: 2



Obr.: 1



# Hippolyte Louis Fizeau

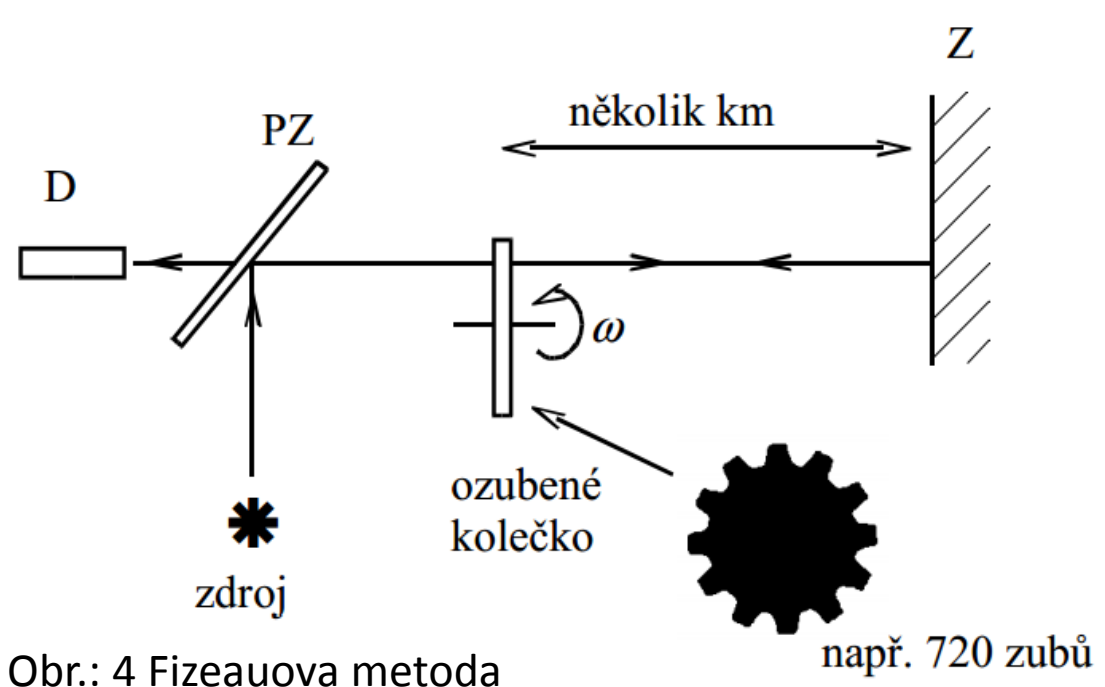
1819 – 1896

Obr.: 3

Použil pozemskou metodu měření rychlosti světla.

Nelze však určit rychlost v různých směrech.

- za polopropustným zrcadlem je ozubené kolečko, které se otáčí
- světlo projde otvorem mezi zuby kolečka a postupuje k zrcadlu Z
- po odrazu se vrací zpět
  - projde-li otvorem vidí pozorovatel v dalekohledu D světelný zdroj
  - dopadne-li na zub, nevidí nic
- při jisté úhlové frekvenci otáčení kolečka pak lze určit velikost rychlosti světla (315 300 km/s)



Obr.: 4 Fizeauova metoda

Akustická vlna se šíří vzduchem.

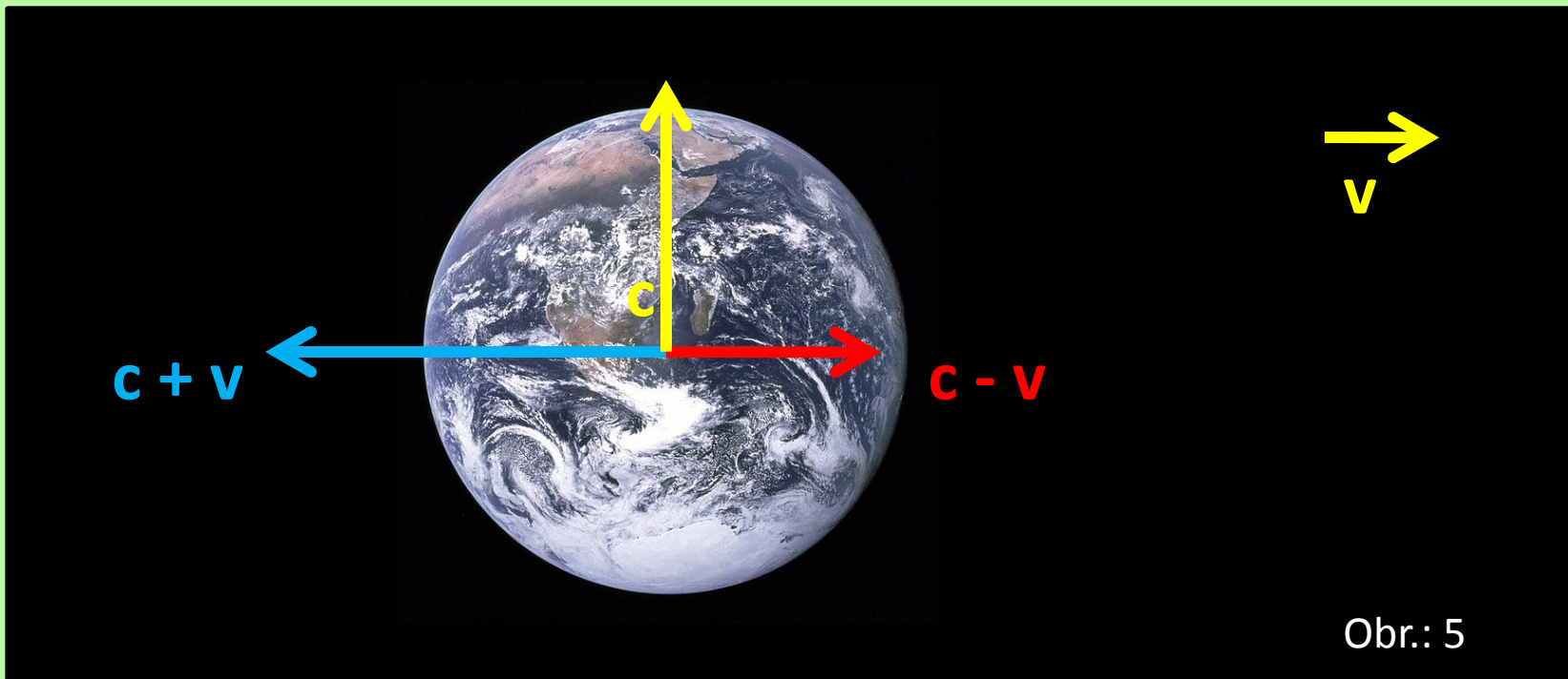
Ve 2. pol. 19. stol. se domnívali, že se světlo šíří také nějakým prostředím – ÉTEREM.

Ten by musel být všude, aby k nám světlo ze Slunce dorazilo.

IVS spojená s éterem by měla zvláštní postavení – absolutní VS?

Světlo by se v ní šířilo stejnou rychlostí ve všech směrech.

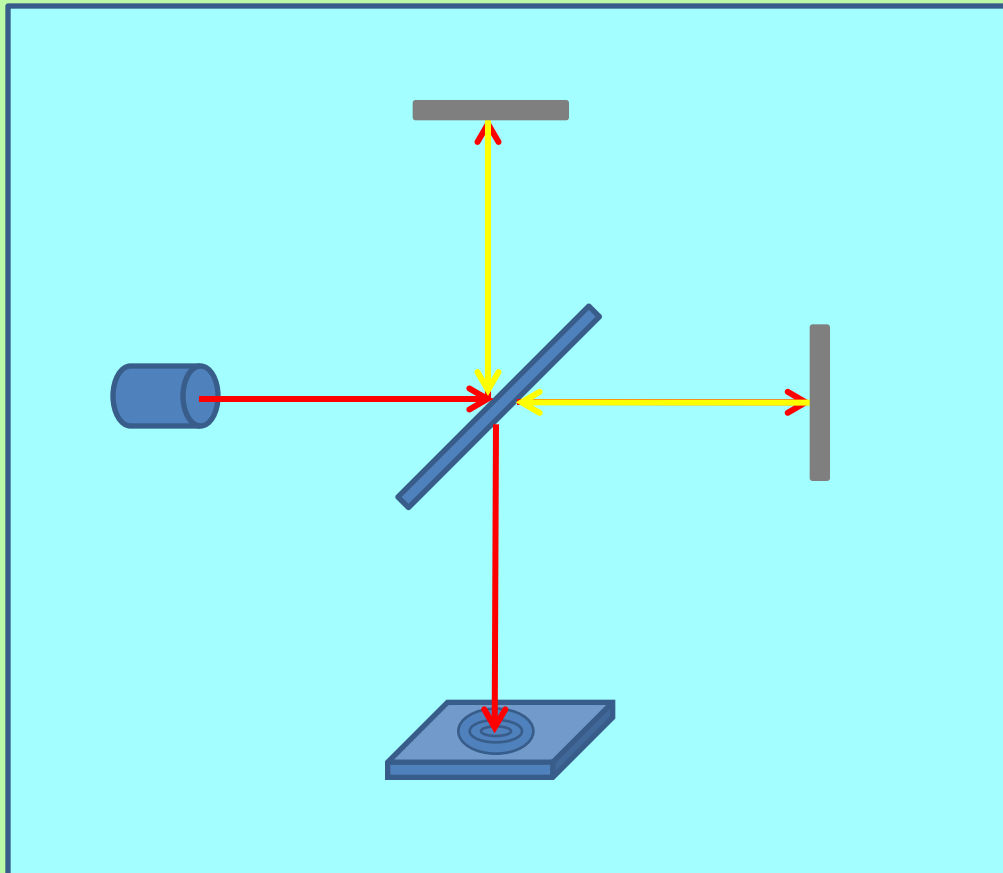
V 19. stol. předpokládali:



Výsledky optických pokusů ukázaly,  
že  $c$  je konstantní.

**Albert Abraham Michelson** 1852 – 1931  
Nobelova cena 1907 – spektroskopie

Obr.: 6

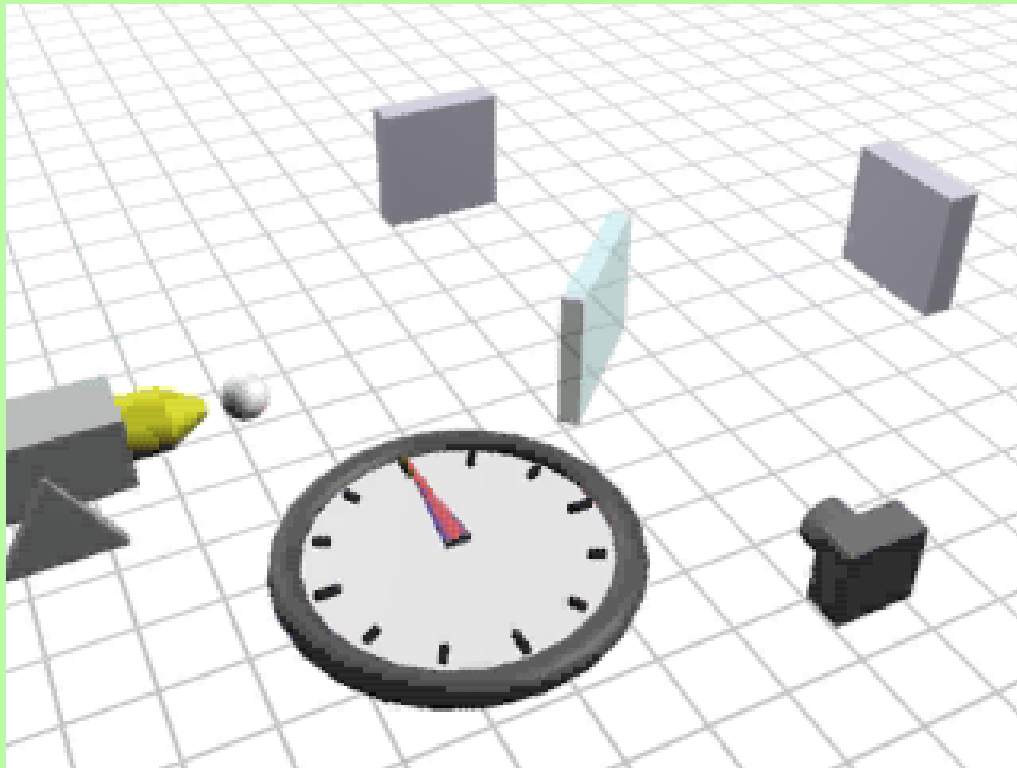


- Pokus měl zjistit absolutní pohyb Země vůči éteru.
- Paprsky dopadající na stínítko jsou koherentní, vytvářejí interferenční obrazec.
- Otočením o  $90^\circ$  by se měly změnit, ale to se nestalo  
→  $c = \text{konst.}$
- nejužitečnější neúspěšný experiment

Výsledky optických pokusů ukázaly,  
že  $c$  je konstantní.

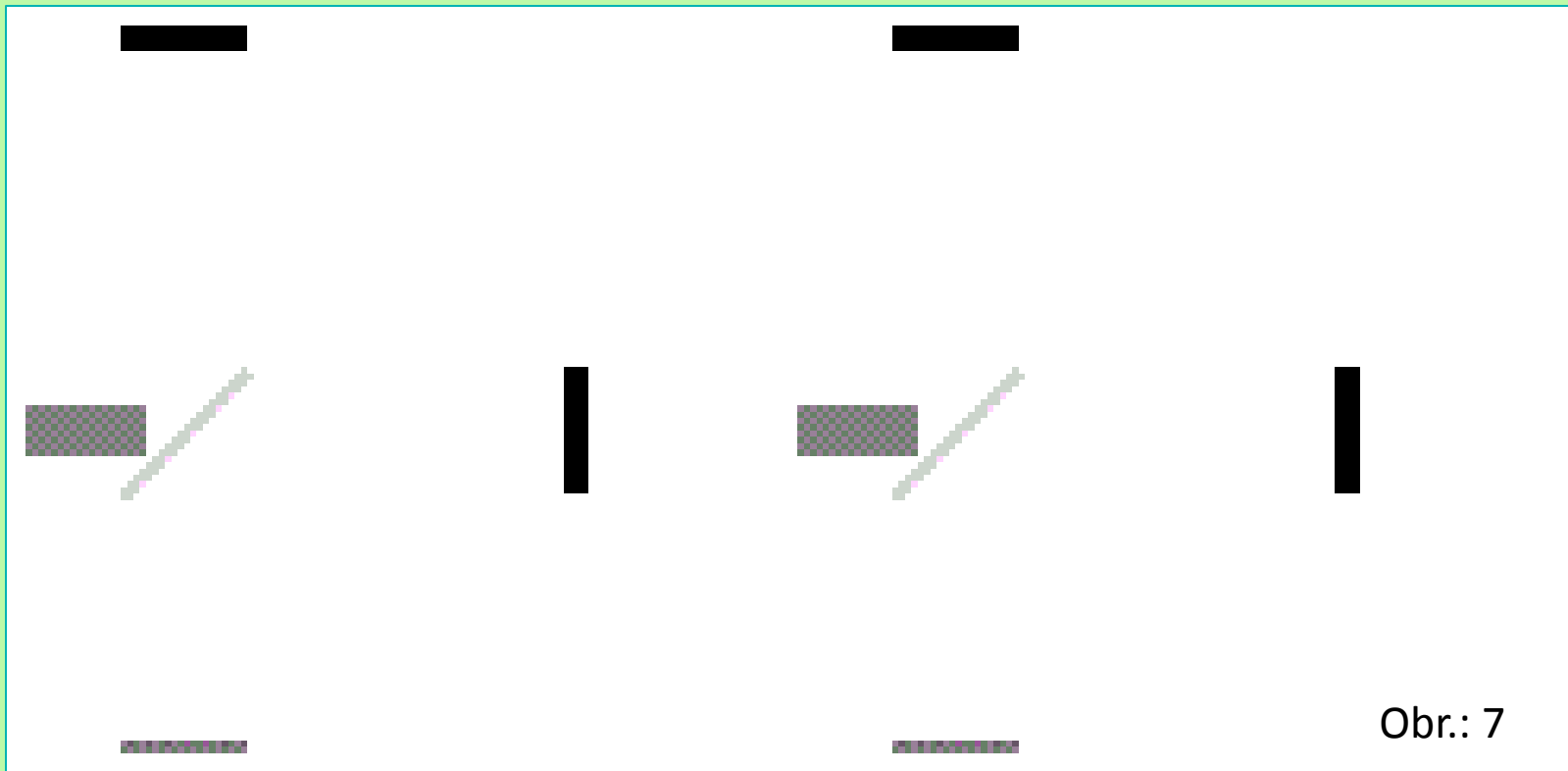
**Albert Abraham Michelson** 1852 – 1931  
Nobelova cena 1907 – spektroskopie

Obr.: 6



Obr.: 7

- Pokus měl zjistit absolutní pohyb Země vůči éteru.
- Paprsky dopadající na stínítko jsou koherentní, vytvářejí interferenční obrazec.
- Otočením o  $90^\circ$  by se měly změnit, ale to se nestalo  
→  $c = \text{konst.}$
- [nejužitečnější neúspěšný experiment](#)



Obr.: 7

Dráhy paprsků v přístroji, vpravo za předpokladu zpomalení světla éterovým větrem.



# Použitá literatura

## Literatura:

BARTUŠKA, K.: *Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity*. Prometheus, Praha 2001 ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: *Fyzika – sbírka úloh pro střední školy*. Prometheus, Praha 2010 ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: *Odmaturuj z fyziky*. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

PINKAVA, Václav. [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://vzjp.cz/verse.htm#Pope>

## Obrázky:

[1] [online]. [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: [http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/espacesm/dir/celerite/romer\\_dessin.jpg](http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/espacesm/dir/celerite/romer_dessin.jpg)

[2] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Ole\\_R%C3%B8mer\\_\(Coning\\_painting\).jpg/220px-Ole\\_R%C3%B8mer\\_\(Coning\\_painting\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Ole_R%C3%B8mer_(Coning_painting).jpg/220px-Ole_R%C3%B8mer_(Coning_painting).jpg)

[3] [online]. [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: <https://thescienceclassroom.wikispaces.com/Armand+Hippolyte+Louis+Fizeau>

[4] [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.e-fyzika.cz/>

[5] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/97/The\\_Earth\\_seen\\_from\\_Apollo\\_17.jpg/599px-The\\_Earth\\_seen\\_from\\_Apollo\\_17.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/97/The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg/599px-The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)

[6] [online]. [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: [http://www.michelsonexperiment.com/wp-content/uploads/2009/06/albert\\_abraham\\_michel.jpg](http://www.michelsonexperiment.com/wp-content/uploads/2009/06/albert_abraham_michel.jpg)

[7] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:MichelsonMorleyAnimationDE.gif>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

### 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY STR

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-03

Zpracováno 7. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY STR

## Speciální teorie relativity (STR)

- je fyzikální teorie publikovaná r. 1905 **Albertem Einsteinem**
- nahrazuje Newtonovy představy o prostoru a čase a zahrnuje teorii elektromagnetického pole reprezentovanou Maxwellovými rovnicemi
- teorie se nazývá speciální, protože popisuje pouze zvláštní případ Einsteinova principu relativity, kdy vliv gravitace lze zanedbat
- o deset let později Einstein publikoval obecnou teorii relativity, která zahrnuje i gravitaci

# 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY STR

## Obecná teorie relativity (OTR)

- teorie považuje za ekvivalentní všechny pozorovatele, nejenom ty, kteří se navzájem pohybují rovnoměrně přímočaře
- pro všechny platí stejné zákony obecné relativity, i když se pohybují se zrychlením.
- v OTR už gravitace není síla (jako v Newtonově gravitačním zákonu), ale je důsledkem zakřivení časoprostoru
- obecná relativita je geometrická teorie, která předpokládá, že přítomnost hmoty či energie „zakřivuje“ časoprostor a že toto zakřivení ovlivňuje dráhu těles (a dokonce i dráhu světla)

# 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY STR

## Einsteinovy postuláty:

„O elektrodynamice pohybujících se těles“

### 1) princip relativity

Ve všech inerciálních vztažných soustavách platí stejné fyzikální zákony.

Žádným pokusem (mechanickým, optickým, elmg.) provedeným uvnitř IVS nelze zjistit, zda je soustava v klidu nebo v pohybu rovnoměrně přímočarém.

### Neexistuje

absolutní pohyb, absolutní klid, světelný éter.

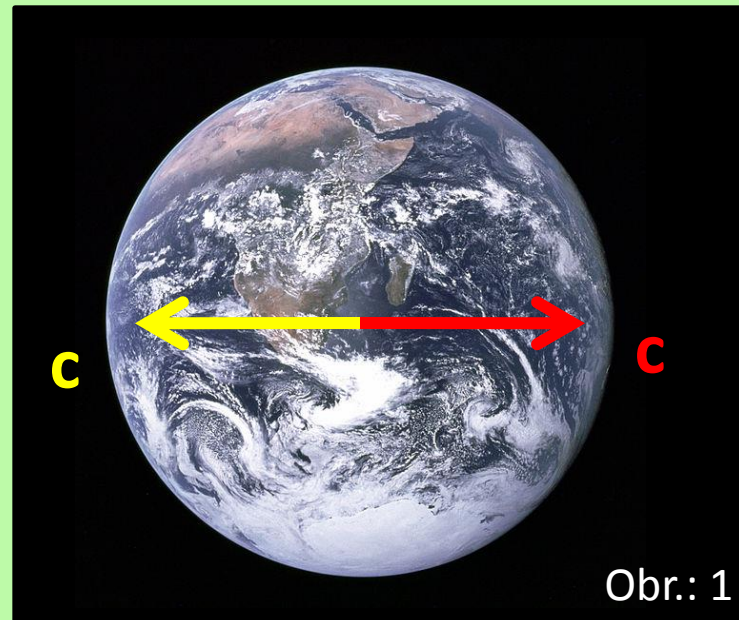
# 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY STR

**Einsteinovy postuláty - publikovány 1905:**

## **2) princip stálé rychlosti světla**

Ve všech IVS má rychlost světla  
ve vakuu stejnou velikost,  
a to nezávisle na pohybu světelného zdroje.

Rychlost světla  
v libovolné IVS  
je ve všech  
směrech stejná.



### 3. ZÁKLADNÍ PRINCIPY OTR

1. Všechny děje dopadnou v libovolném souřadnicovém systému stejně.

Žádný systém není nijak privilegován.

2. Gravitaci a setrvačné děje od sebe nelze odlišit.

V urychlující se raketě dochází ke stejným dějům jako ve skutečném gravitačním poli.

# DŮSLEDKY STR

**1. RELATIVNOST SOUČASNOSTI**

**2. DILATACE ČASU**

**3. KONTRAKCE DÉLEK**



# Použitá literatura

## Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001  
ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010  
ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-19]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie\\_relativity#Obecn.C3.A1\\_relativita](http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_relativity#Obecn.C3.A1_relativita)

## Obrázky:

[1] [online]. [cit. 2013-01-03]. Dostupné z: <http://www.tapety-wallpapers.eu/upload/640x480/zemekoule-29-05-2009-12-58-16.jpg>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 4. RELATIVNOST SOUČASNOSTI

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-04

Zpracováno 9. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# 4. RELATIVNOST SOUČASNOSTI

Podle klasické fyziky je současnost absolutní.

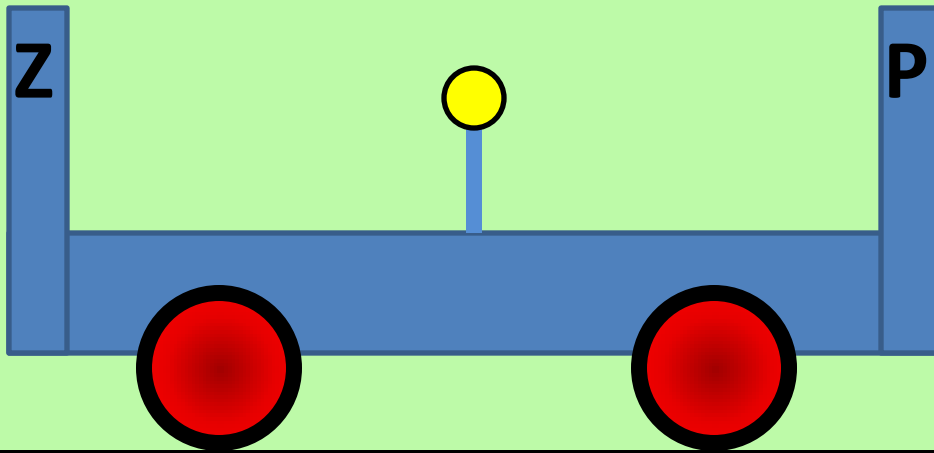
Díky  $c = \text{konst.} \rightarrow$  současnost je relativní...

**„Podivné“ výsledky jsou „podivné“ pouze proto,  
že neodpovídají naší zkušenosti.**

## **Einsteinova definice současnosti**

Dvě nesoumítné události v bodech A a B jsou současné, jestliže světelné paprsky vyslané z těchto bodů v okamžiku vzniku obou událostí, dorazí do bodu P stejně vzdáleného od bodu A i B současně.

<http://kabinet.fyzika.net/aplety/relativita/Simultaniety.htm>



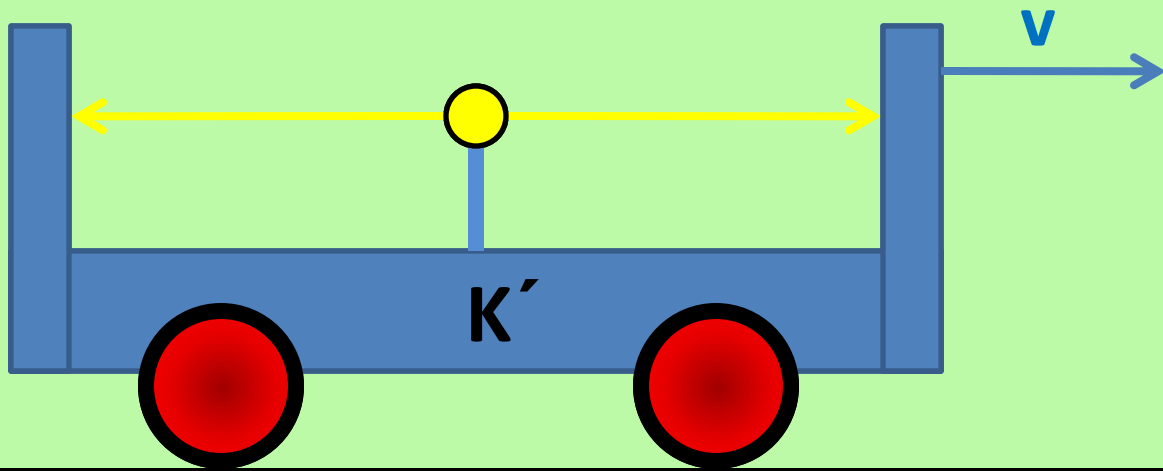
K

K – soustava spojená se Zemí

K' – vlak jedoucí rychlostí blíží se rychlosti světla ( $v \rightarrow c$ ).

Vagón má Přední a Zadní stěnu a přesně uprostřed je lampa.

V určitém okamžiku, lampa zableskne.



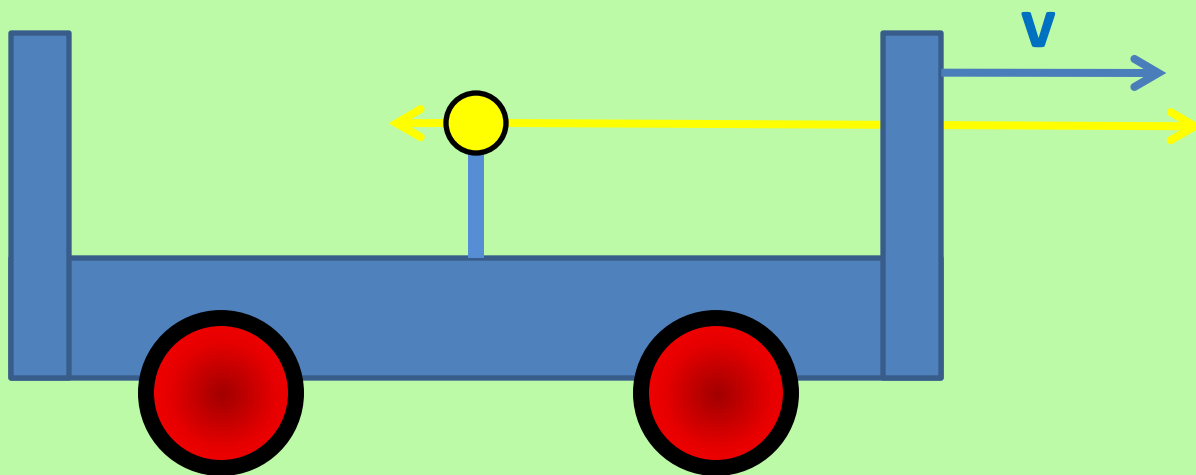
**K**

$K$  – soustava spojená se Zemí

$K'$  – vlak jedoucí rychlostí blíží se rychlosti světla ( $v \rightarrow c$ ).

### Pozorovatel

**ve vlaku** – v soustavě  $K'$  vidí, že světlo dopadne na obě stěny ve stejný okamžik



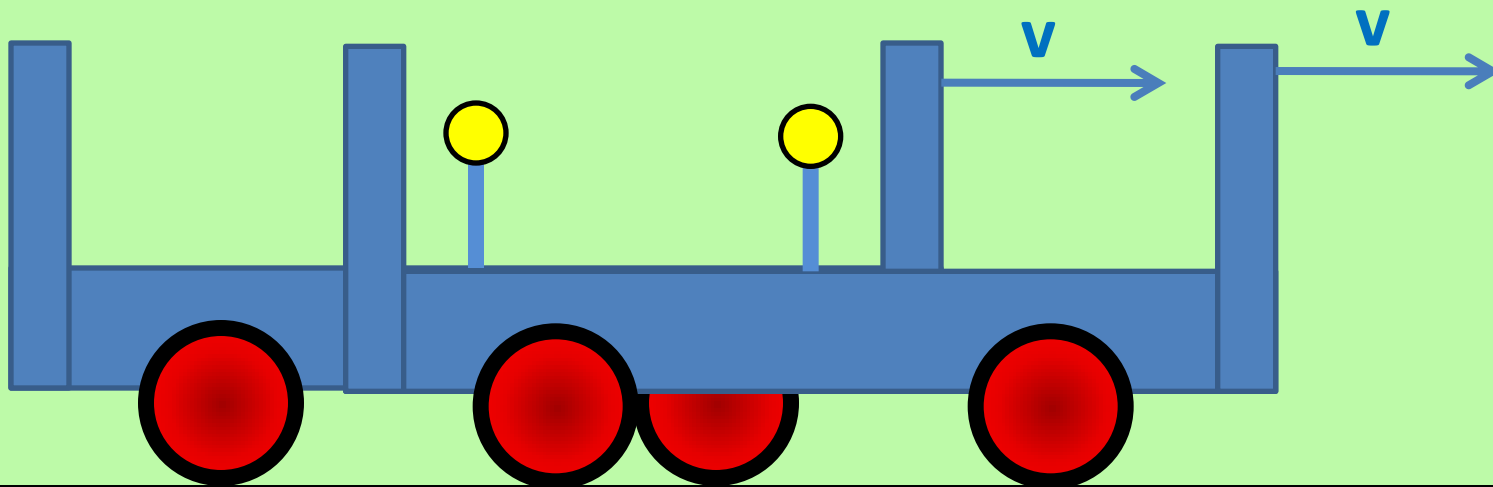
$K$  – soustava spojená se Zemí

$K'$  – vlak jedoucí rychlostí blíží se rychlosti světla ( $v \rightarrow c$ ).

### Pozorovatel

**ve vlaku** – v soustavě  $K'$  vidí, že světlo dopadne na obě stěny ve stejný okamžik

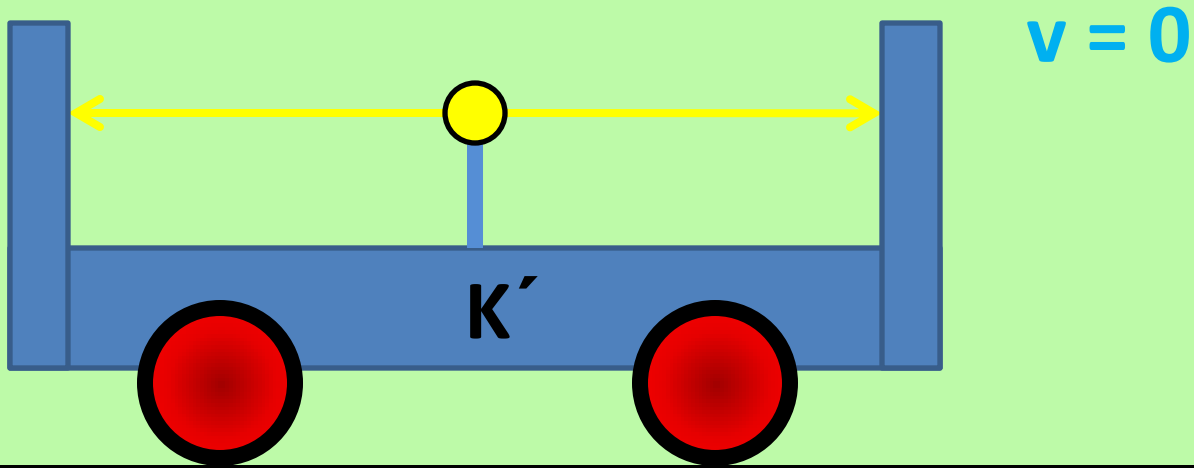
**na Zemi** – v soustavě  $K$  uvidí, že světlo dopadne dříve na Zadní stěnu.



K – soustava spojená se Zemí

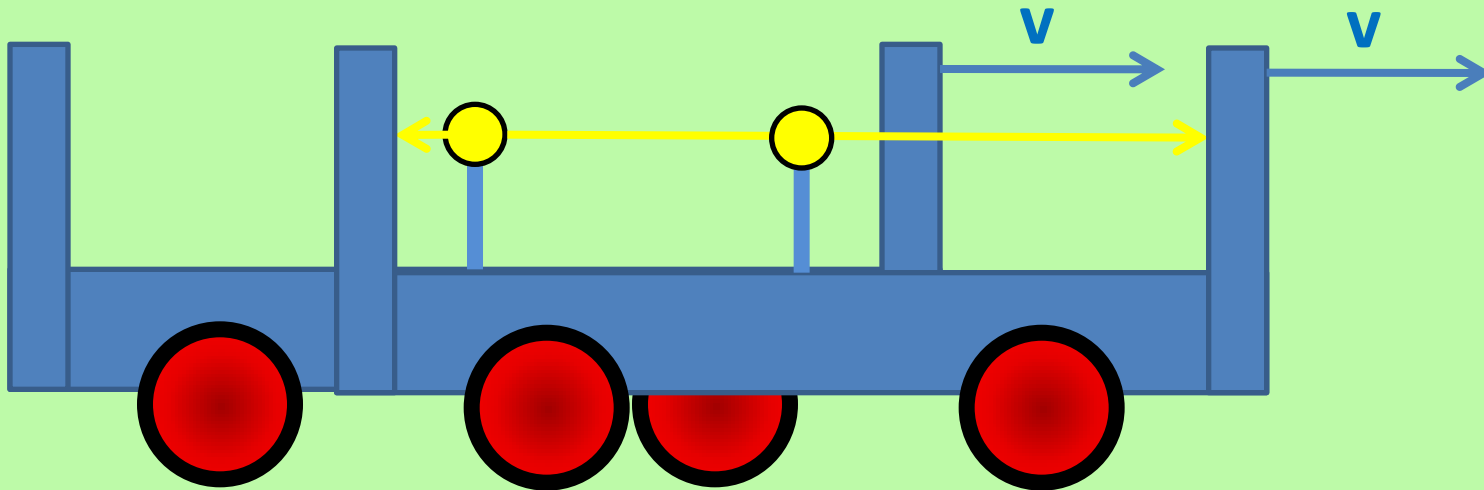
K' – vlak jedoucí rychlostí blíží se rychlosti světla ( $v \rightarrow c$ ).

**To se stane, protože se světlo šíří  
ve všech soustavách všemi směry stejně rychle  
a zároveň protože vlak už popojel.**



$K$  – soustava spojená se Zemí

$K'$  – vlak jedoucí rychlostí blíží se rychlosti světla ( $v \rightarrow c$ ).



$K$



**Současnost  
dvou nesoumísných událostí  
je relativní.**

Dvě nesoumísné události,  
které jsou současné vzhledem k soustavě  $K'$   
nejsou současné vzhledem k soustavě  $K$ .

(Toto platí, pouze pokud neleží obě události  
v rovině kolmé ke směru pohybu.

Pak je současnost těchto událostí absolutní.)

# Použitá literatura

## Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001  
ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010  
ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA):  
Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-07]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie\\_relativity#Obecn.C3.A1\\_relativita](http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_relativity#Obecn.C3.A1_relativita)

## Obrázky:

[1] [online]. [cit. 2013-01-03]. Dostupné z: <http://www.tapety-wallpapers.eu/upload/640x480/zemekoule-29-05-2009-12-58-16.jpg>



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

## 5. DILATACE ČASU

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-05

Zpracováno 11. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# 5. DILATACE ČASU

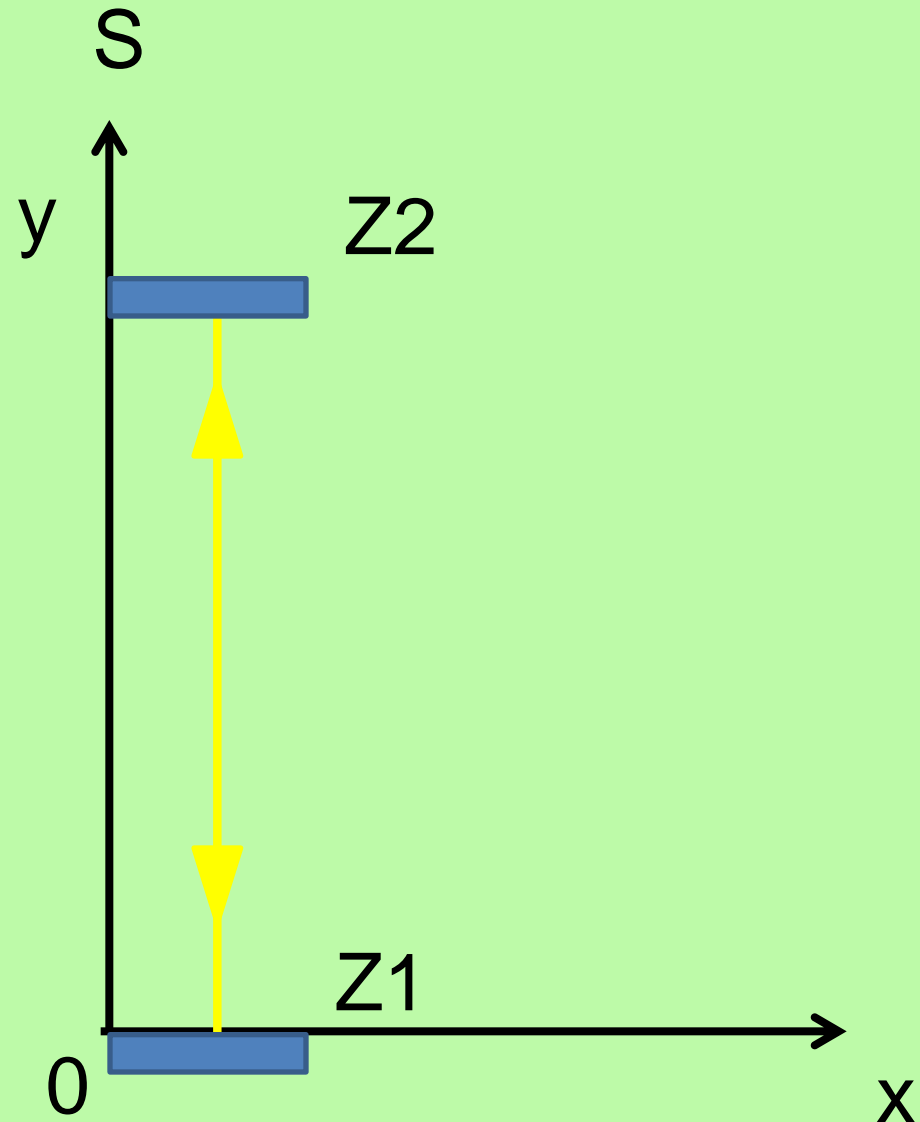
= zpomalení času

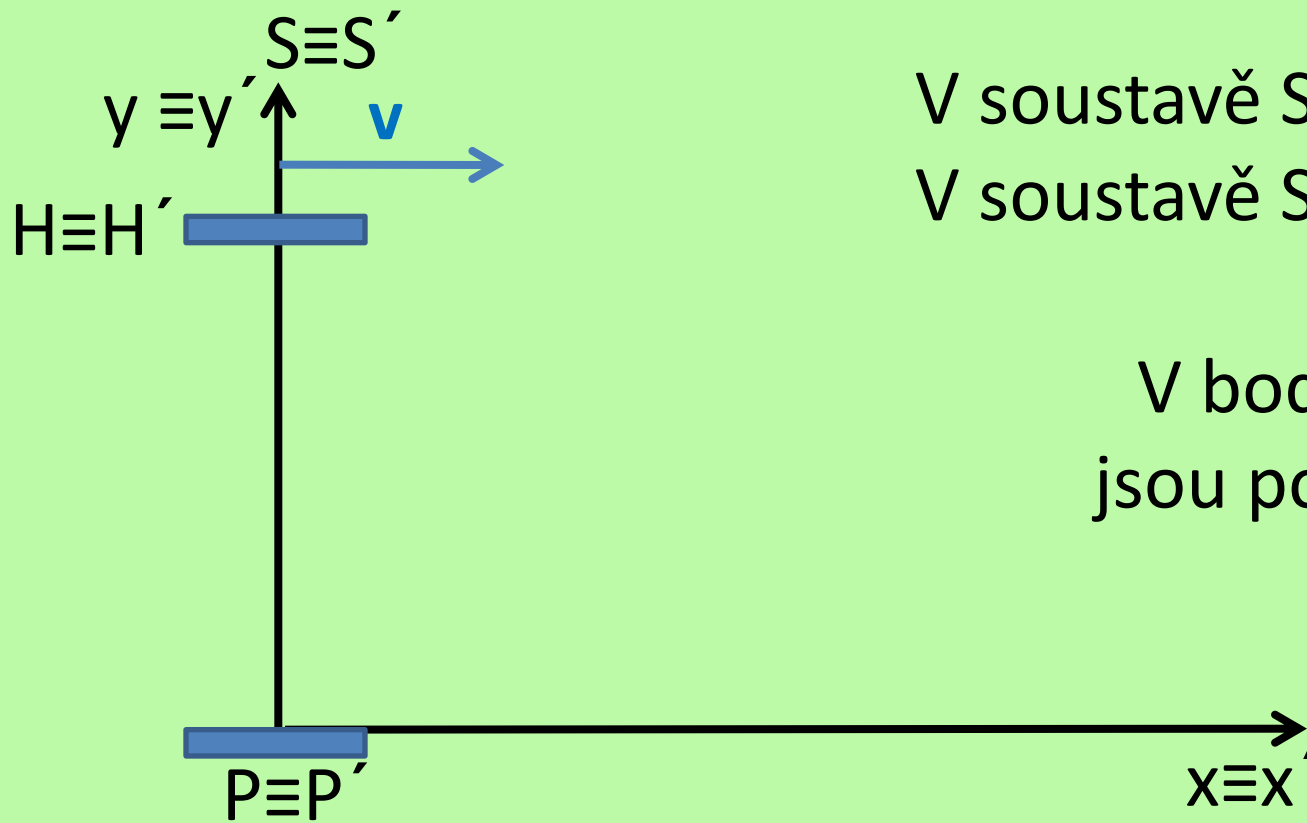
## SVĚTELNÉ HODINY

myšlenkový model,  
(rovnoběžná zrcadla  
ve vzdálenosti  $l = c \cdot \Delta t$  ,  
mezi nimiž se periodicky  
odráží světelný paprsek)

doba mezi dvěma  
odrazy (signály)

$$\Delta t = \frac{2l}{c}$$

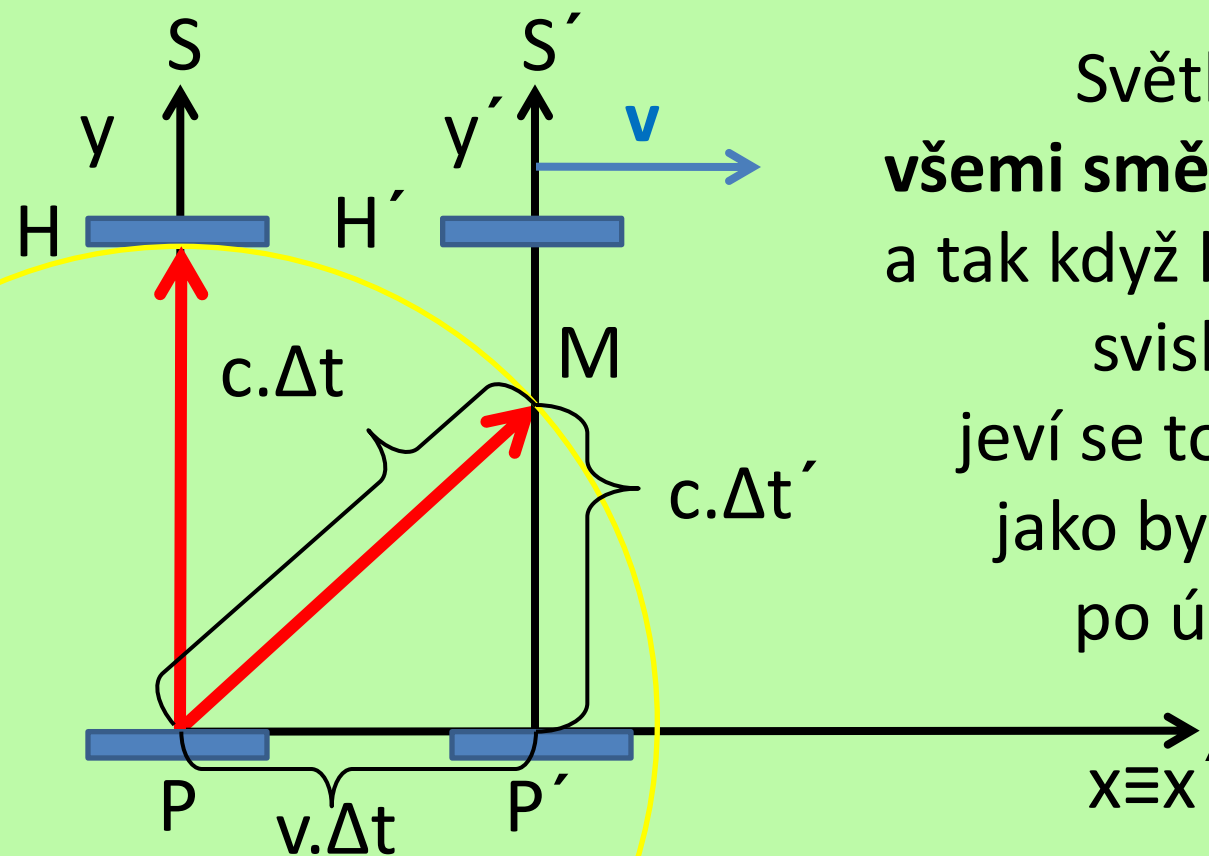




V soustavě  $S$  jsou hodiny  $H$ .  
V soustavě  $S'$  jsou hodiny  $H'$ .

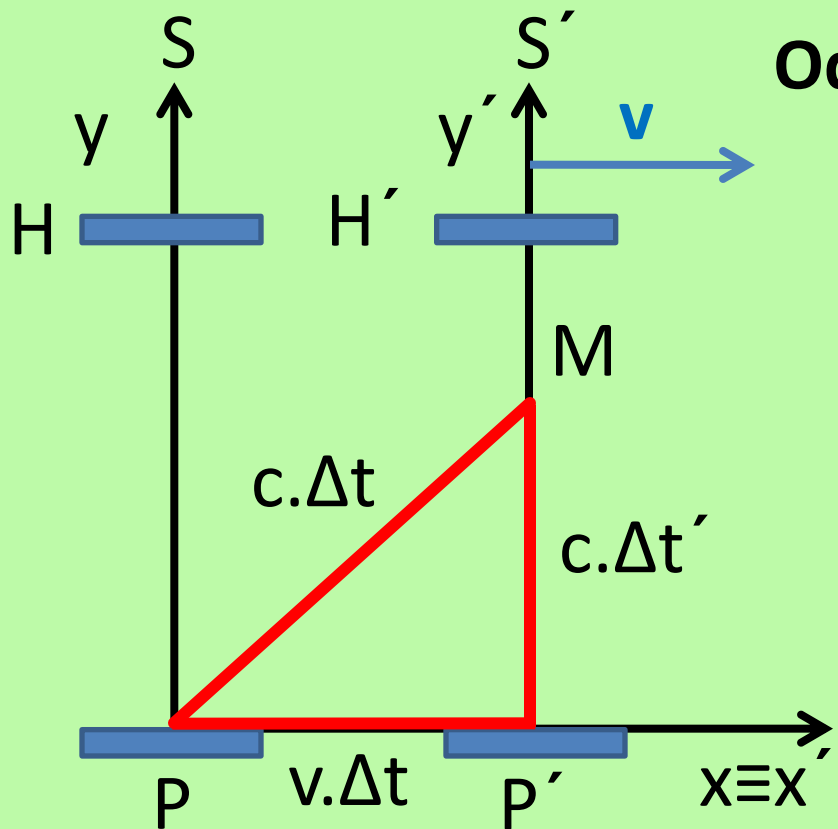
V bodech  $P$  a  $P'$   
jsou pozorovatelé.

- čase  $t = 0$  splývají  $P$  a  $P'$
- Hodiny jsou spuštěny ve stejný okamžik a soustava  $S'$  se začne pohybovat rychlostí  $v$ .



Světlo se šíří  
všemi směry stejně rychle,  
a tak když letí v soustavě  $S'$   
svise vzhůru,  
jeví se to v soustavě  $S$ ,  
jako by letělo šikmo  
po úsečce  $PM$ .

- Za čas  $\Delta t$  urazí soustava  $S'$ , hodiny  $H'$  a pozorovatel  $P'$  vzdálenost  $v \cdot \Delta t$ .
- V soustavě  $S$  za čas  $\Delta t$  doletí světlo nahoru k zrcadlu, které je ve vzdálenosti  $c \cdot \Delta t$ .
- V soustavě  $S'$  za čas  $\Delta t$  doletí do bodu  $M$  - pohyb po trajektorii  $P'M = c \cdot \Delta t'$ .



## Odvození vztahu mezi $\Delta t$ a $\Delta t'$

$$|PM| = c \cdot \Delta t$$

$$|PP'| = v \cdot \Delta t$$

$$|P'M| = c \cdot \Delta t'$$

$$|PM| > |P'M|$$

$$c \cdot \Delta t > c \cdot \Delta t'$$

$$\Delta t > \Delta t'$$

$$|PM|^2 = |PP'|^2 + |P'M|^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t^2 = v^2 \cdot \Delta t^2 + c^2 \cdot \Delta t'^2$$

$$\Delta t^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} \Delta t'^2$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Hodiny  $H'$  pohybující se vzhledem k pozorovateli  $P$  jdou pomaleji než hodiny  $H$ , které jsou vzhledem k tomuto pozorovateli v klidu.

Lorentzův koeficient

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

# Dilataci času prokázala řada experimentů.

- **Delší doba života velmi rychlých mionů** vznikajících ve svrchní vrstvě atmosféry jim umožní dosáhnout zemského povrchu, ačkoli bez dilatace času by se drtivá většina rozpadla na mnohem kratší dráze.
- **Hafeleův-Keatingův experiment (1971)** - měření účinku dilatace času přímo pomocí tří přesných cesiových hodin: jedny zůstaly na zemi, druhé letěly letadlem po směru otáčení Země a třetí proti. Uplatnil se zde vliv pohybu i různého gravitačního pole.
- S dilatací času a její kompenzací musí počítat i **navigační systémy** .
- Za nejpřesnější měření potvrzující tento vztah je považováno **měření doby života mionů** pohybujících se rychlostí  $v = 0,9994c$  v moderních urychlovačích částic.



## Závislost doby života mezonů na jejich rychlosti

**Mezony** jsou kladně nabitě elementární částice

- $m = 273 m_e$  ( $m_e$  je hmotnost elektronu),
- vznikající v urychlovačích částic
- jsou nestabilní, velmi rychle se rozpadají na jiné částice
- střední doba života částice v klidové soustavě  $T_0 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{s}$ .
- podle zákonů klasické fyziky by mezon pohybující se vzhledem k laboratoři rychlostí  $v = 0,99c$  urazil střední dráhu

$$l_k = v \cdot T_0 = 0,99 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \approx 7,4 \text{ m}$$

- Experimenty však ukázaly, že střední dráhy, jsou ve skutečnosti mnohem delší.

$$\Delta T = \frac{\Delta T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{1 - \frac{0,99^2 c^2}{c^2}}} \text{ s} = 17,7 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$l_k = v \cdot T = 0,99 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 17,7 \cdot 10^{-8} \text{ m} \approx 53 \text{ m}$$

# Použitá literatura

Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001  
ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010  
ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

Obrázky:

[1]



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

### 6. KONTRAKCE DÉLEK

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-06

Zpracováno 14. ledna 2013

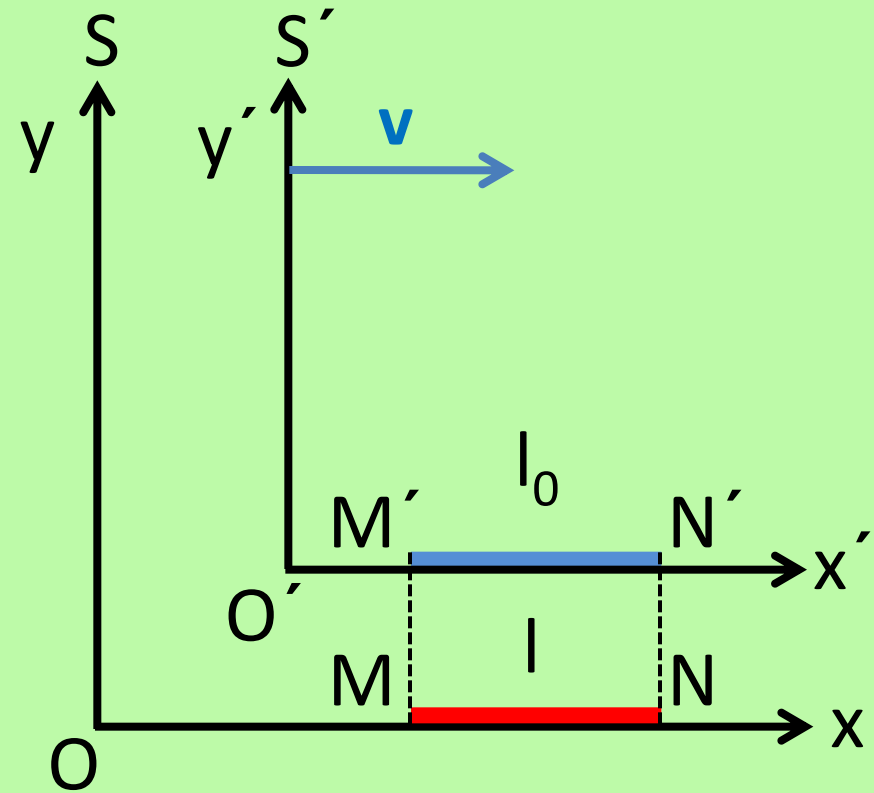
Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# 6. KONTRAKCE DÉLEK

**Tyč leží v pohybující se soustavě  $S'$ .**

- pozorovatel v  $S$  vyznačí na ose  $x$  okamžité polohy koncových bodů tyče  $M$  a  $N$  (současně)
- označení však není současné pro pozorovatele v  $S'$
- délka předmětů je také relativní – vzhledem ke vztažené soustavě



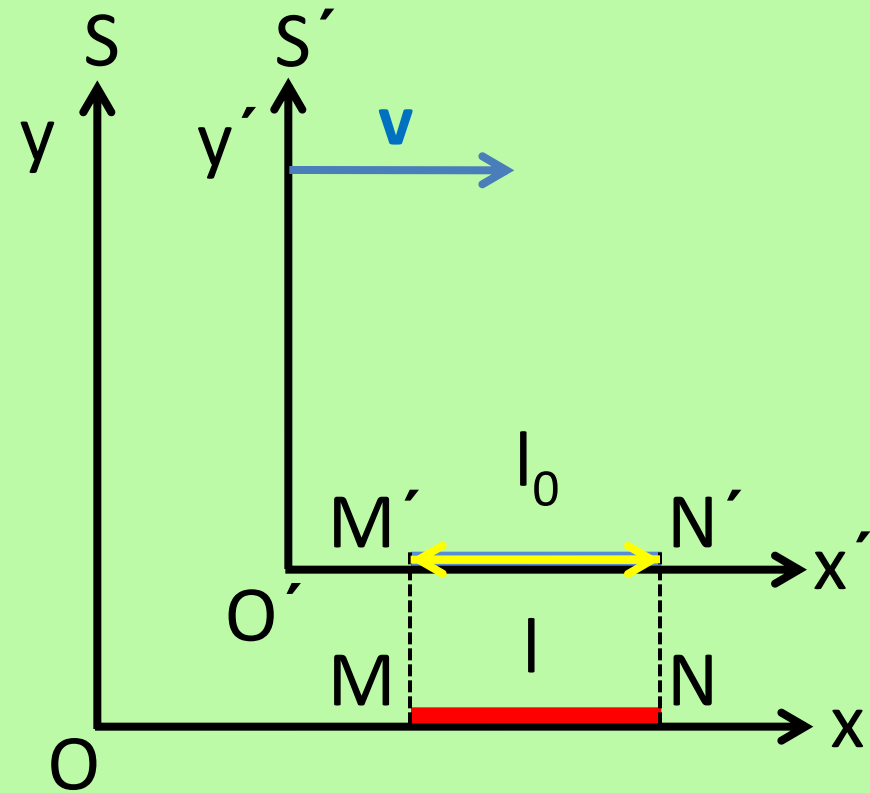
- $l_0$  – délka tyče v klidové soustavě (skutečná)
- $l$  – délka tyče naměřená v soustavě  $S$

# 6. KONTRAKCE DÉLEK

**Měříme-li délku tyče pomocí světla**

(od jednoho konce vyšleme paprsek, na druhém se odrazí od zrcadla a letí zpět),

**měříme čas,**  
za který tuto vzdálenost uletí  
a musíme počítat  
s rychlostí pohybu tyče.



- $l_0$  – délka tyče v klidové soustavě (skutečná)
- $l$  – délka tyče naměřená v soustavě  $S$

# Odvození vztahu pro kontrakci

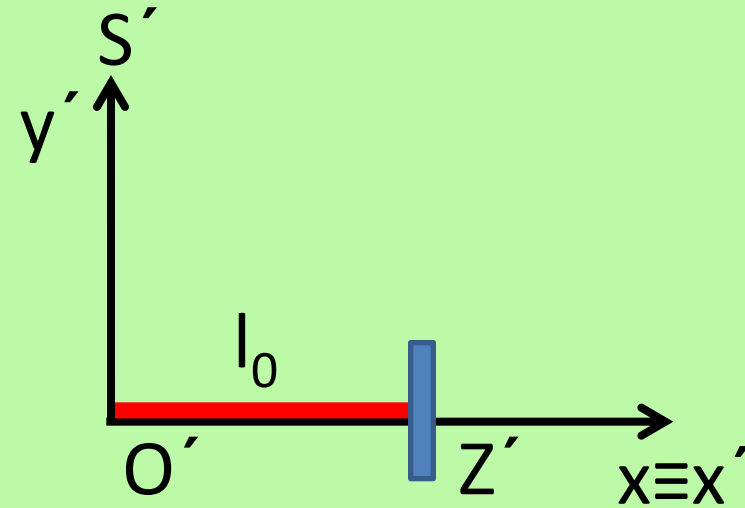
- v  $S'$  je tyč vůči pozorovateli v klidu

- světlo urazí vzdálenost

$O'Z'O'$  za čas:

$$t' = \frac{2 \cdot l_0}{c}$$

- v  $S'$  jsou vyslání paprsku a jeho zpětný návrat dvě souměrné události oddělené intervalem  $t'$



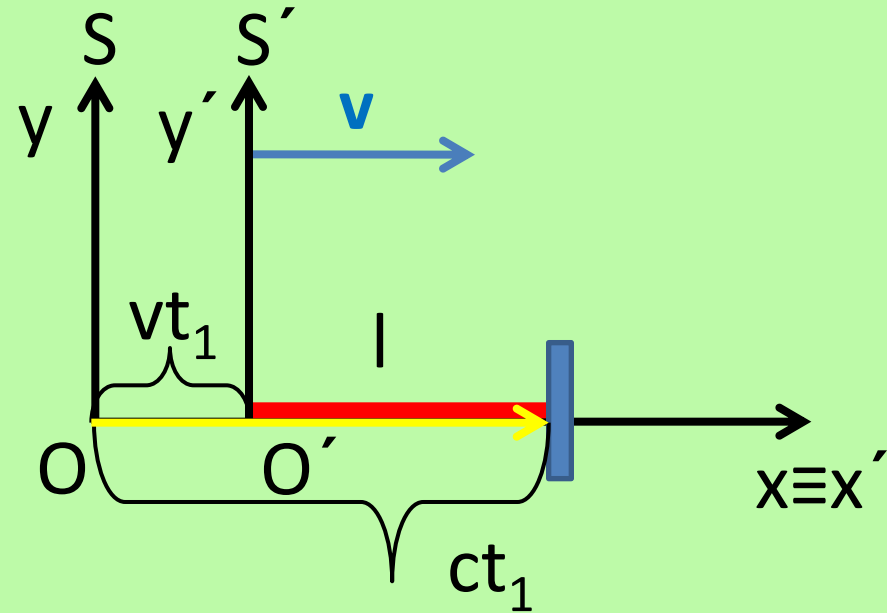
# Odvození vztahu pro kontrakci

- v **S** pozorovatel na Zemi uvidí, že tyč popojíždí a světlo urazí vzdálenosti:

- **k zrcátku**

$$c \cdot t_1 = v \cdot t_1 + l \rightarrow$$

$$t_1 = \frac{l}{c - v}$$



# Odvození vztahu pro kontrakci

- v **S** pozorovatel na Zemi uvidí, že tyč popojíždí a světlo urazí vzdálenosti:

- k zrcátku

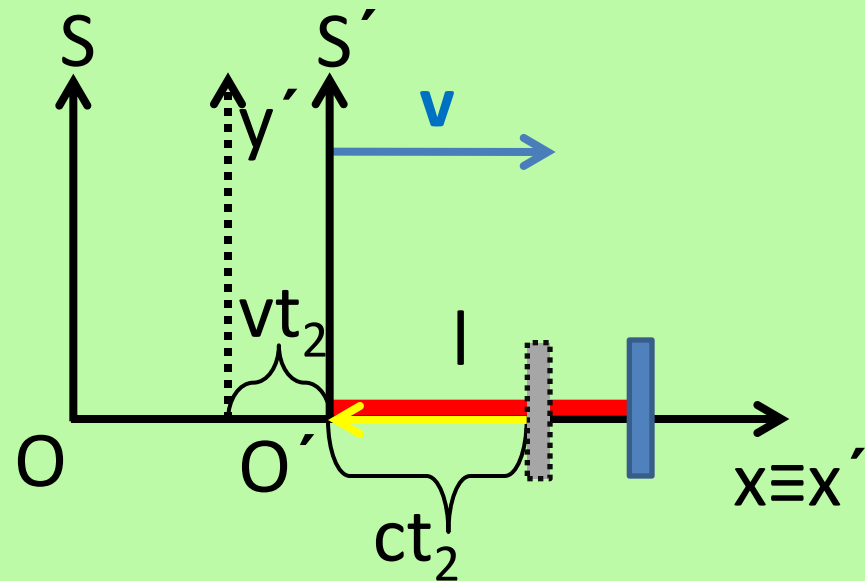
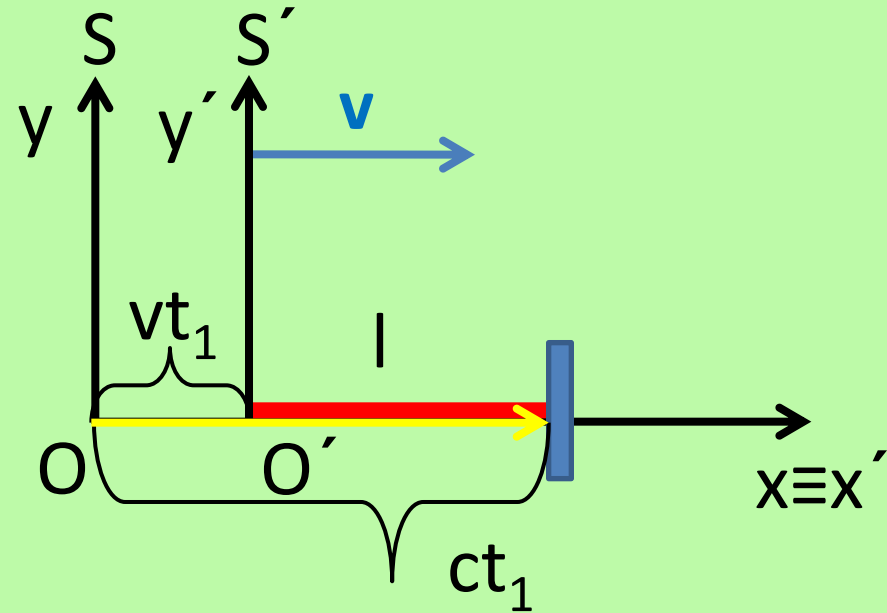
$$c \cdot t_1 = v \cdot t_1 + l \rightarrow$$

$$t_1 = \frac{l}{c - v}$$

- zpět na začátek tyče

$$c \cdot t_2 = l - v \cdot t_2 \rightarrow$$

$$t_2 = \frac{l}{c + v}$$





# Odvození vztahu pro kontrakci

- v **S** pozorovatel na Zemi uvidí, že tyč popojíždí a světlo urazí vzdálenosti:

- **k zrcátku**

$$c \cdot t_1 = v \cdot t_1 + l \rightarrow$$

$$t_1 = \frac{l}{c - v}$$

- **zpět na začátek tyče**

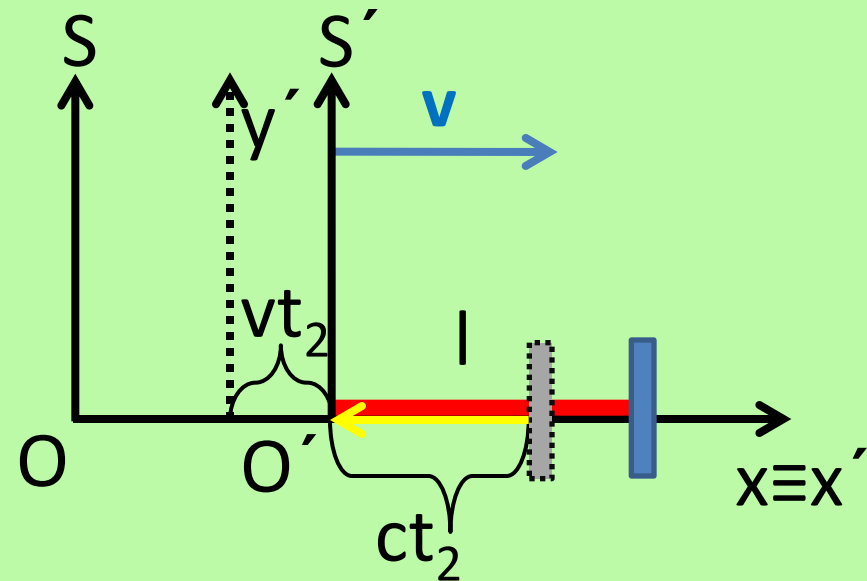
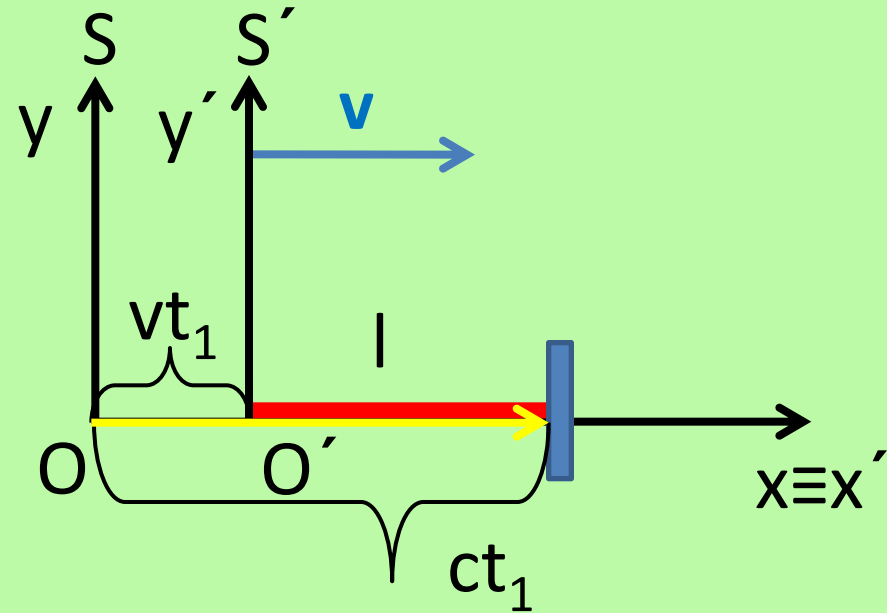
$$c \cdot t_2 = l - v \cdot t_2 \rightarrow$$

$$t_2 = \frac{l}{c + v}$$

- **tam a zpátky**

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l}{c - v} + \frac{l}{c + v}$$

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



Mezi  $t$  a  $t'$  je dilatační vztah:

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

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

$$t' = \frac{2 \cdot l_0}{c}$$

## Kontrakce délek

**Délka tyče  $l$  v soustavě, vzhledem k níž se tyč pohybuje rychlostí  $v$ , je vždy menší, než délka tyče  $l_0$  v soustavě klidové.**

Rozměry tělesa kolmé k vektoru rychlosti se nezkracují.

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

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

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

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

$$0 < \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1$$
$$l < l_0$$

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

# Použitá literatura

Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001  
ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010  
ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

Obrázky: vlastní.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 7. SKLÁDÁNÍ RYCHLOSTÍ VE STR

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

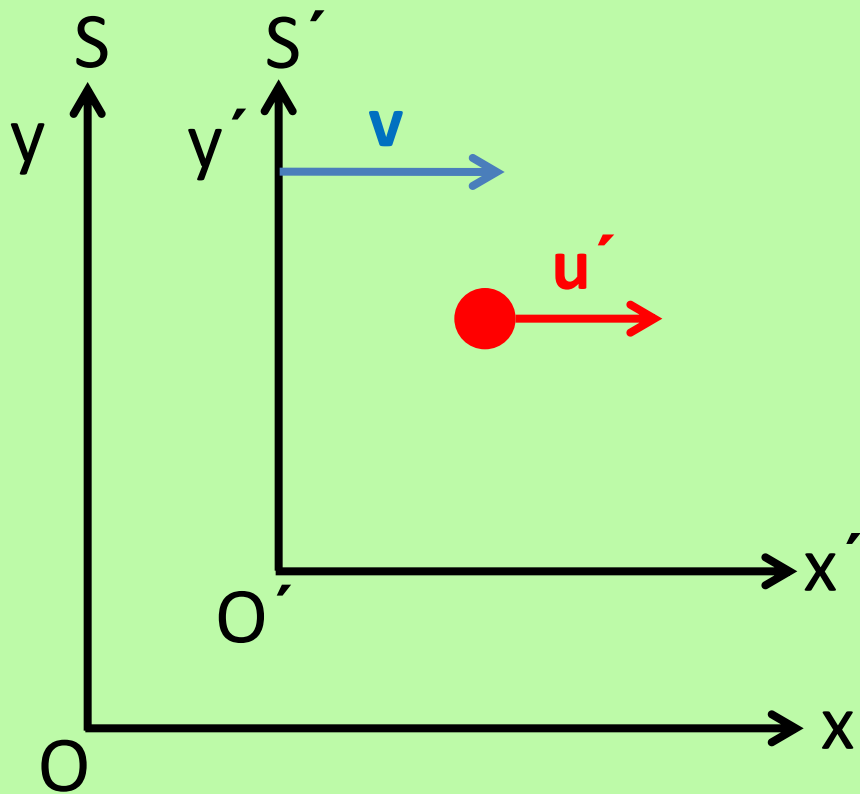
III/2-2-2-07

Zpracováno 16. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

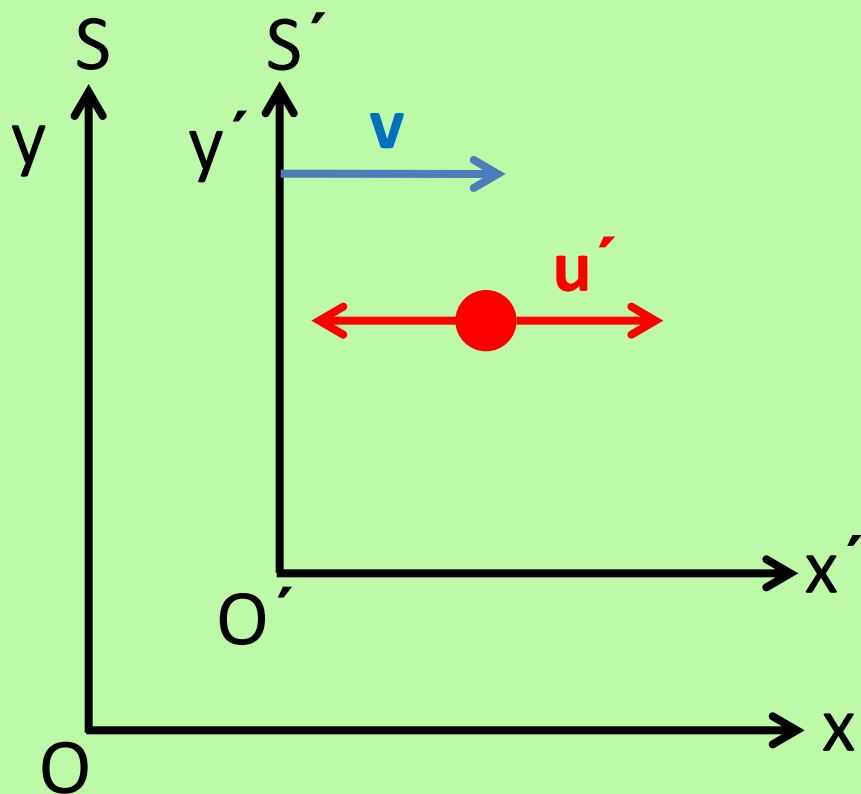
# 7. SKLÁDÁNÍ RYCHLOSTÍ VE STR



Pokud  $u' \rightarrow c$ ,  
pak je výsledek  
v rozporu s principy.

- $S'$  se pohybuje vůči  $S$  rychlostí  $v$
- v  $S'$  se pohybuje částice rychlostí  $u'$
- v  $S$  se pohybuje částice rychlostí  $u = u' + v$  (klasicky)

# 7. SKLÁDÁNÍ RYCHLOSTÍ VE STR



$$u = \frac{v - u'}{1 - \frac{v \cdot u'}{c^2}}$$

$u'$  - proti směru osy x

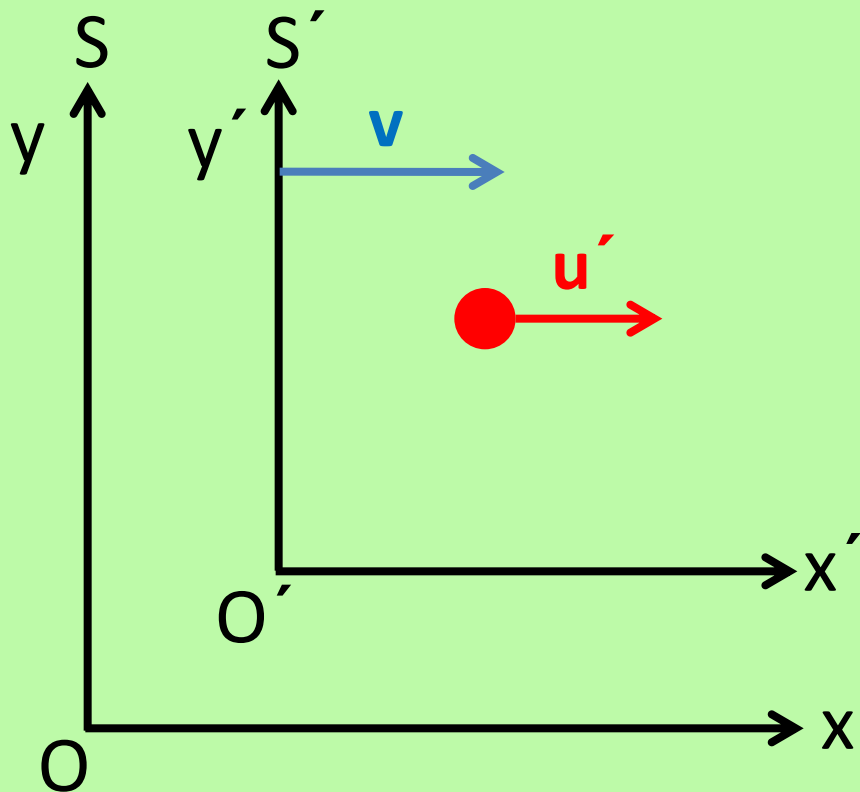
Einstein odvodil vztah pro skládání rychlostí, který už druhému postulátu o stálé rychlosti vyhovuje:

**Relativistický vztah pro skládání rychlostí**

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

$u'$  - ve směru osy x

# 7. SKLÁDÁNÍ RYCHLOSTÍ VE STR



Relativistickým  
skládáním rychlostí  
nelze překročit  
rychlost světla.

Dosadíme-li do

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

za  $u' \rightarrow c$

$$u = \frac{v + c}{1 + \frac{v \cdot c}{c^2}} = \frac{v + c}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{v + c}{\frac{1}{c}(c + v)} = c$$

# Použitá literatura

Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001

ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010

ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

Obrázky: vlastní.

[1] [online]. [cit. 2013-01-19]. Dostupné z:

[http://www.aldebaran.cz/studium/fyzika/termodynamika\\_p.html](http://www.aldebaran.cz/studium/fyzika/termodynamika_p.html)

[2] [online]. [cit. 2013-01-19]. Dostupné z: <http://www.oandd.cz/index.php?page=galerie>





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 8. RELATIVISTICKÁ DYNAMIKA

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-08

Zpracováno 18. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# 8. RELATIVISTICKÁ DYNAMIKA

## RELATIVISTICKÁ HMOTNOST

- **v klasické fyzice**

hmotnost je konstantní nezávisle na rychlosti

- **v relativistické fyzice**

hmotnost tělesa se s jeho rostoucí rychlostí zvětšuje

$m_0$  – klidová hmotnost (v soustavě  $K'$ )

$m$  – relativistická hmotnost

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

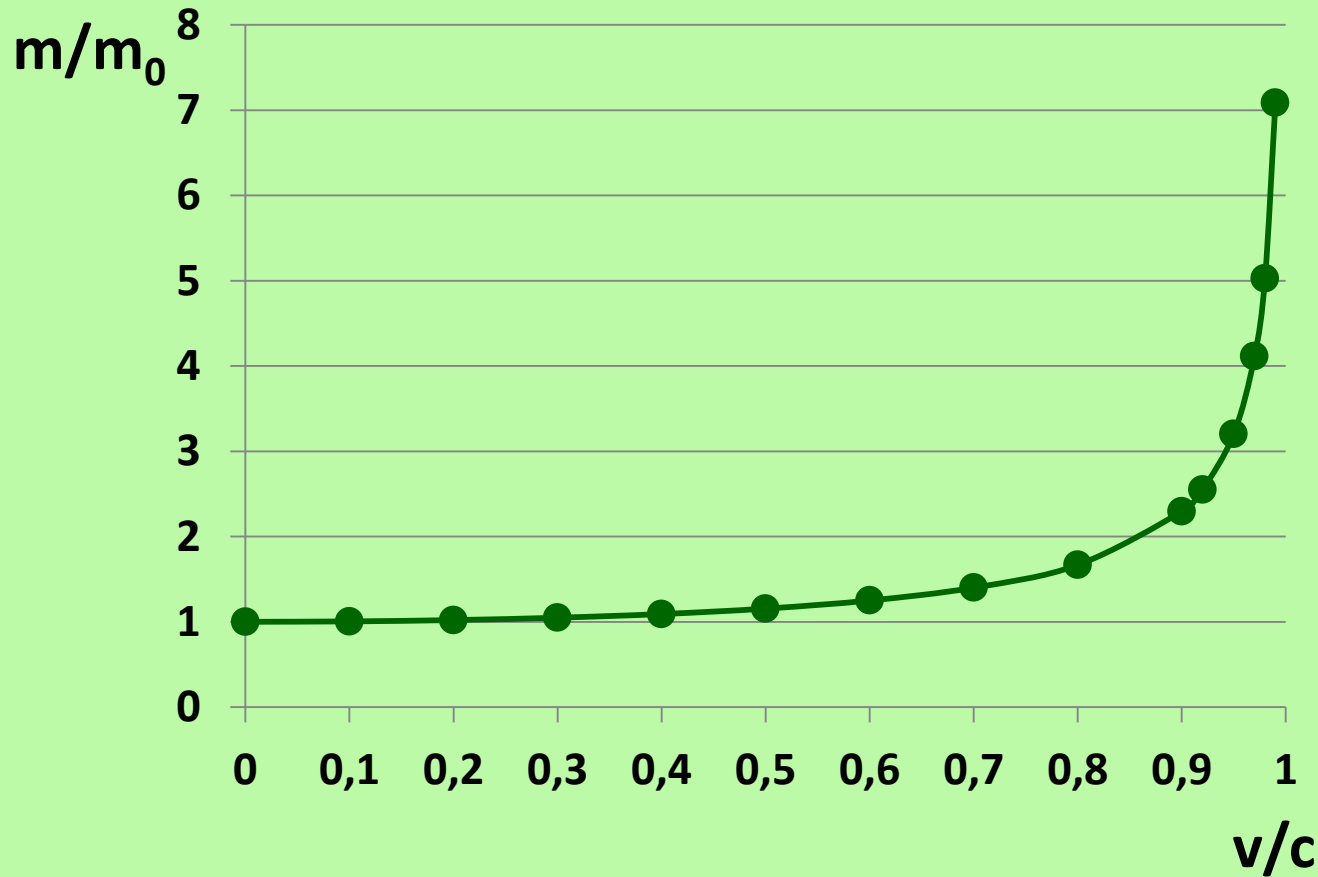
Z tohoto vztahu vyplývá,  
proč těleso nemůže dosáhnout rychlosti světla: působí-li  
na těleso síla, s rostoucí rychlostí roste i jeho hmotnost.

**Pro  $v \rightarrow c$  jde  $m \rightarrow \infty$ ,**

**a proto podle 2. Newtonova zákona ( $F=ma$ )  $a \rightarrow 0$ .**

# Graf závislosti hmotnosti tělesa na rychlosti

$v/c$	$m/m_0$
0	1,00



## **Zákon zachování hmotnosti**

Celková relativistická hmotnost izolované soustavy těles zůstává při všech dějích probíhajících uvnitř soustavy konstantní.

**Při rychlosti blíží se rychlosti světla hmotnost roste nade všechny meze, z toho vyplývá, že žádné hmotné těleso nemůže tuto rychlost překročit.**

# URYCHLOVAČE ČÁSTIC



Obr.: 1 - Letecký záběr Stanfordského lineárního urychlovače SLAC (3 km)



Obr.: 2 - Letecký záběr Fermilabu  
(prstenec urychlovače má průměr 6,3 kilometru)

# RELATIVISTICKÁ HYBNOST

Zákon zachování hybnosti platí i ve STR pro libovolnou rychlost.

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

## Relativistický zákon zachování hybnosti

Celková hybnost izolované soustavy těles zůstává u všech dějů probíhajících uvnitř soustavy konstantní.

ZZ relativistické hmotnosti a ZZ relativistické hybnosti platí ve všech IVS.

Ověřeno srážkami částic.

# Použitá literatura

## Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001

ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010

ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

## Obrázky:

[1] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-23]. Dostupné z:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8a/Stanford-linear-accelerator-usgs-ortho-kaminski-5900.jpg/800px-Stanford-linear-accelerator-usgs-ortho-kaminski-5900.jpg>

[2] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-23]. Dostupné z:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3f/Fermilab.jpg/800px-Fermilab.jpg>



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 9. VZTAH MEZI ENERGIÍ A HMOTNOSTÍ

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-09

Zpracováno 21. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



# 9. VZTAH MEZI ENERGIÍ A HMOTNOSTÍ

Klasická mechanika nemá žádný obecný vztah mezi energií a hmotností.

Těleso může mít  $E_k$ ,  $E_p$ ,  $U$ ;  $m$  je stálá.

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

Albert Einstein dokázal, že při každé změně celkové energie soustavy se mění také její hmotnost.

- Tento vztah je nejvýznamnější výsledek STR.

Vzhledem k velké rychlosti světla odpovídá velké změně energie jen malá změna hmotnosti.

## Využití

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

- při jaderných reakcích v reaktorech elektráren
- při vývoji atomových a termionukleárních bomb (při jejich testech i experimentálně ověřen)
- v astrofyzice (původ sluneční energie, energie hvězd)

## Celková energie $E$ soustavy se rovná součtu

- klidové energie  $E_0 = m_0 \cdot c^2$
- kinetické energie  $E_k$

$$E = E_0 + E_k$$

## Zákon zachování energie:

Celková energie izolované soustavy zůstává při všech dějích probíhajících uvnitř soustavy konstantní.

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

# 10. LORENTZOVA TRANSFORMACE

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

III/2-2-2-10

Zpracováno 23. ledna 2013

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# Galileova transformace

Transformační rovnice umožňují pomocí souřadnic  $x, y, z, t$  nějaké události  $U$  v **IVS**  $K$  vyjádřit souřadnice  $x', y', z', t'$  téže události v jiné **IVS**  $K'$ , která se vzhledem k původní soustavě  $K$  pohybuje rychlostí  $v$ .

V  $t = t' = 0$  souřadnicové osy obou soustav splývají.

## Transformační rovnice

pro přechod od soustavy  $K$  k soustavě  $K'$  (nebo od soustavy  $K'$  ke  $K$ ):

$$x = x' + vt'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

# Galileova transformace

Je založena na dvou **předpokladech**, které tak úplně samozřejmé nejsou.

1) absolutní **nezávislost času** na vztažné soustavě, ve které ho měříme ( $t' = t$ ).

2) absolutní **nezávislost délky úsečky** na vztažné soustavě, ve které je měřena ( $l' = l$ ).

$$x = x' + vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

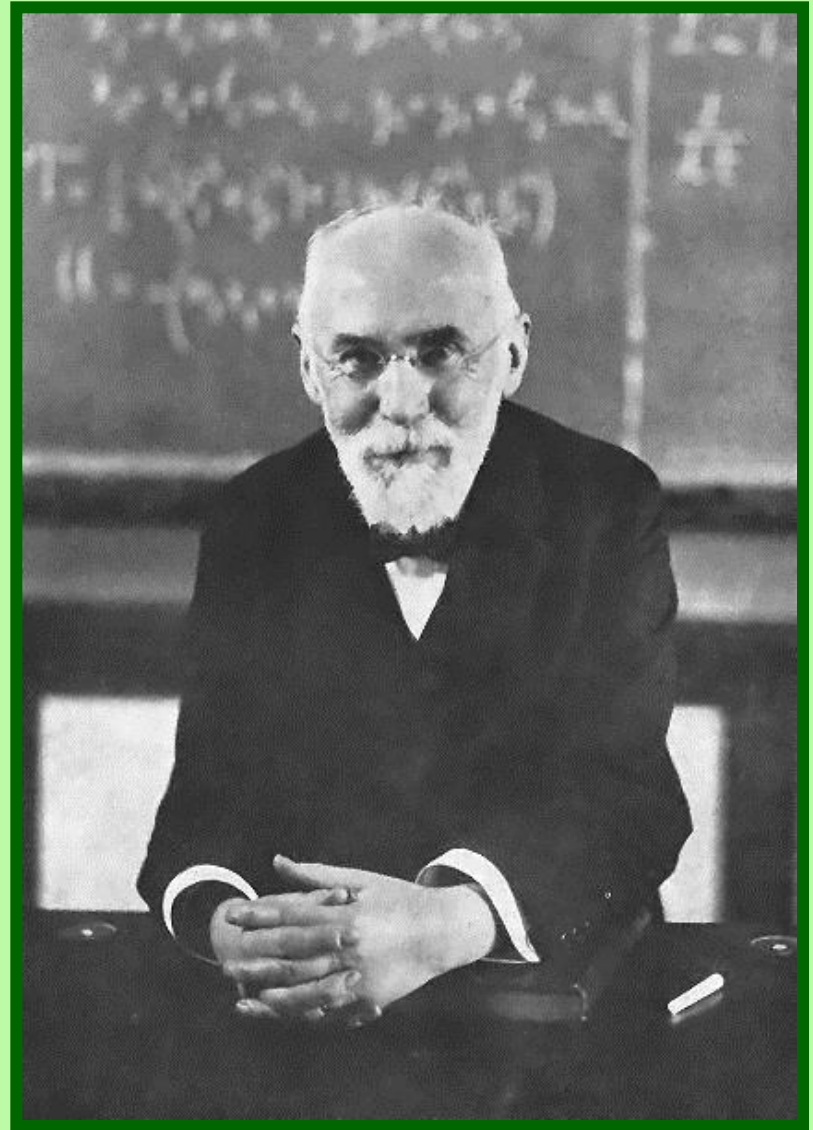
$$t' = t$$

# Lorentzova transformace

nahrazuje Galileovu transformaci obecnějšími rovnicemi.

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

Soustava  $K'$  se vzhledem k původní soustavě  $K$  pohybuje rychlostí  $v$ .



Obr.: 1 - Hendrik Antoon Lorentz

# Lorentzova transformace

nahrazuje Galileovu transformaci obecnějšími rovnicemi.

**Inverzní  
rovnice:**

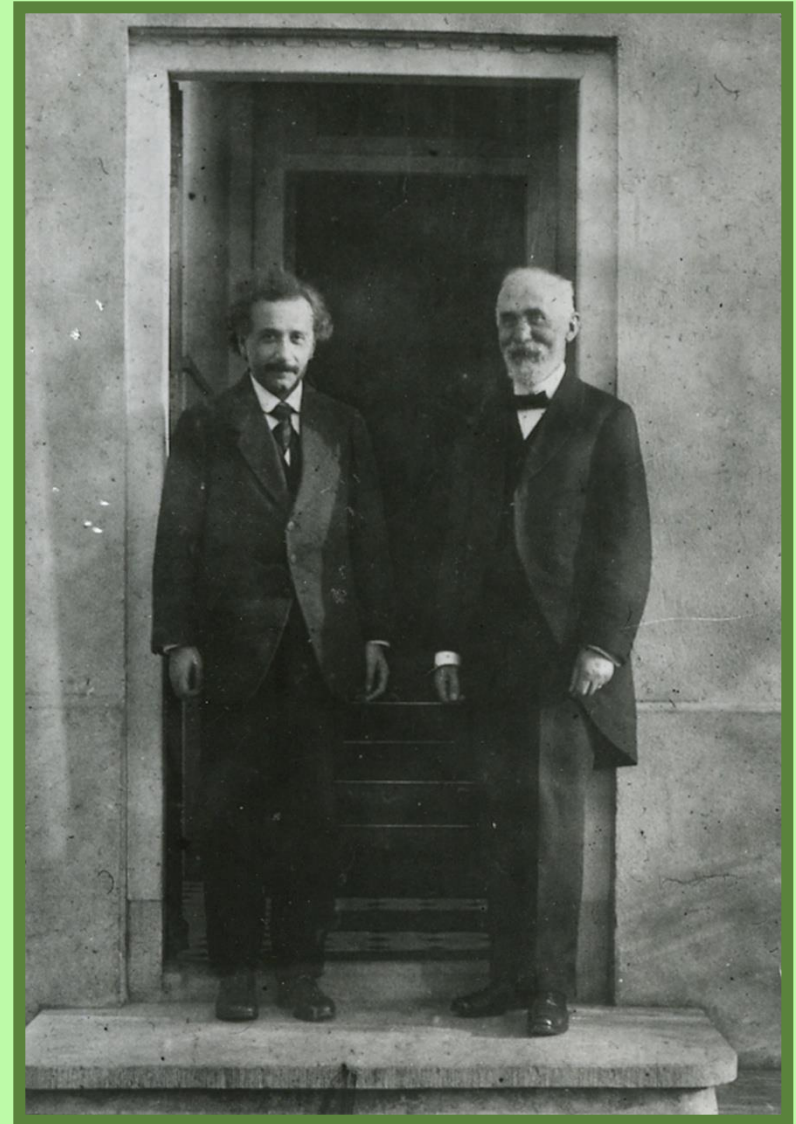
Soustava **K**  
se vzhledem  
k původní  
soustavě **K'**  
pohybuje  
rychlostí **-v**.

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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



Obr.: 2 - Albert Einstein and Hendrik Antoon Lorentz, photographed by Ehrenfest in front of his home in Leiden in 1921..



# Lorentzova transformace

bezrozměrná  
rychlost

$$\beta = \frac{v}{c}$$

Lorentzův  
koeficient

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



Obr.: 3, 4

## Princip kauzality

Kauzalita znamená, že jakýkoli efekt musí mít svou příčinu, a že příčina musí vždy předcházet následku.

V teorii relativity platí kauzalita ve všech oblastech. Pouze kvantová fyzika dovoluje porušení mikrokauzality na kvantové úrovni.

V makroskopickém světě však platí kauzalita absolutně.

To je hlavním důvodem, proč je cestování v čase do minulosti nemožné. Postupovat časem zpět by obrátilo kauzální děj naruby.



Znamenalo by to také porušit ostatní zákony (např. zákon o zachování hmoty a energie).

Obr. : 5

Řešení některých rovnic pro cestování v čase rychlostmi, které převyšují rychlost světla ve vakuu, sice dovolují obrát v toku času, ale vzhledem k postulátu rychlosti světla a dalším jevům teorie relativity je tento děj nemožný.

# Použitá literatura

## Literatura:

BARTUŠKA, K.: Fyzika pro gymnázia – Speciální teorie relativity. Prometheus, Praha 2001

ISBN 978-80-7196-209-0

LEPIL, O. a kol.: Fyzika – sbírka úloh pro střední školy. Prometheus, Praha 2010

ISBN 978-80-7196-266-3

TARÁBEK, P., ČERVINKOVÁ, P.: Odmaturuj z fyziky. Didaktis, Brno 2004 ISBN 80-86285-39-1

## Obrázky: vlastní.

[1] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Hendrik\\_Antoon\\_Lorentz.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Hendrik_Antoon_Lorentz.jpg)

[2] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Einstein\\_en\\_Lorentz.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Einstein_en_Lorentz.jpg)

[3] [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://library.thinkquest.org/28383/grafika/zdjecia/lorentz3.jpg>

[4] [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z:

[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1902/lorentz.jpg](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1902/lorentz.jpg)

[4] [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.ideje.cz/uploads/image/data/438.jpg>