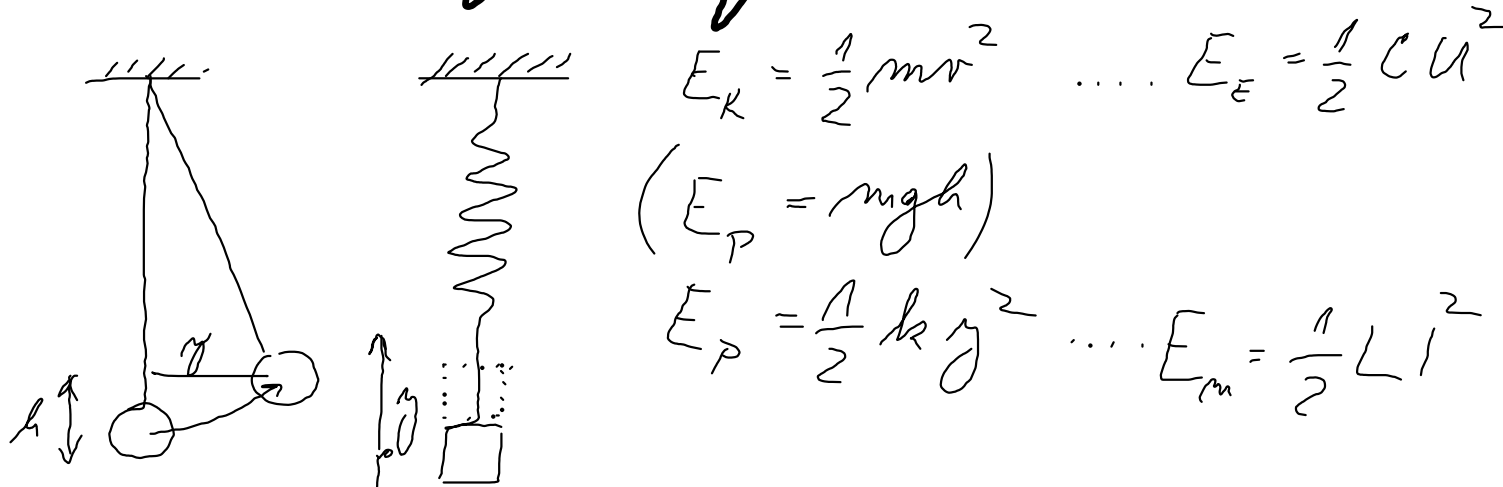


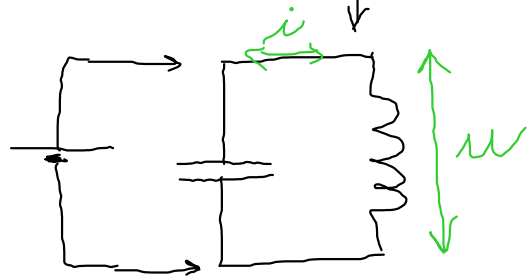
# Elektromagnetický oscilátor



$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 \quad \dots \quad E_E = \frac{1}{2} C U^2$$

$$(E_P = mgh)$$

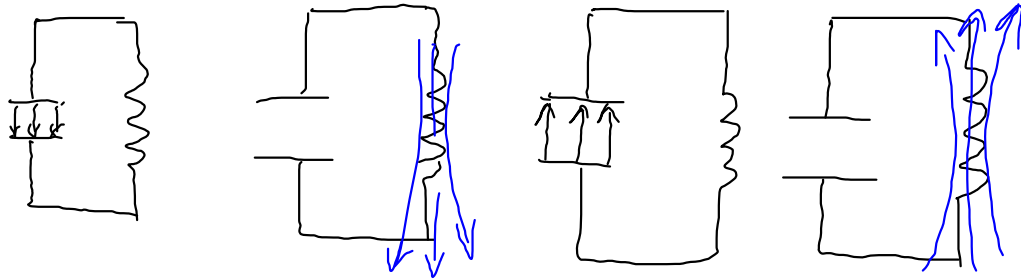
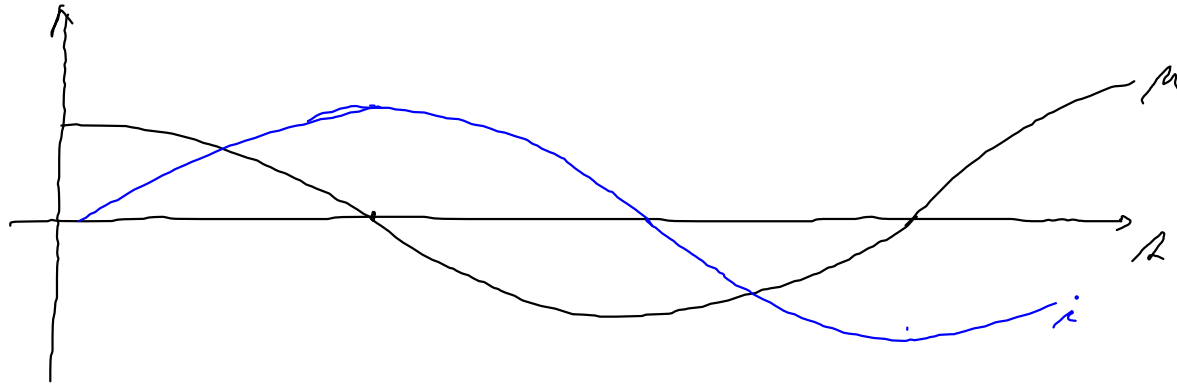
$$E_P = \frac{1}{2} k y^2 \quad \dots \quad E_m = \frac{1}{2} L I^2$$



$$E_E \rightleftharpoons E_m$$

při přetváření energie  
 vzniknou  
 „elektromagnetické“  
 oscilace “

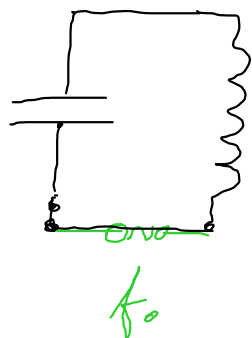
středně napětí  $U$  a střed. proud  $i$  budou kmitat  
 harmonicky



## Frekvence vlastních kmitů

(elmag. oscilátoru)

pozem.



$$Z = 0 \Omega \text{ pro } X = X_L - X_C = 0$$

(sinové zap.)

$$X_L - X_C = 0$$

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

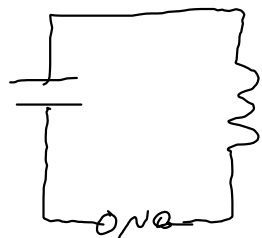
$$\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

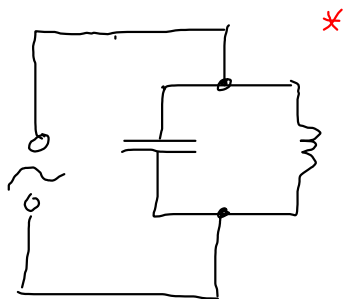
$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Pracovní kmitky



nebo



$$f = f_0 \Rightarrow Z = 0$$

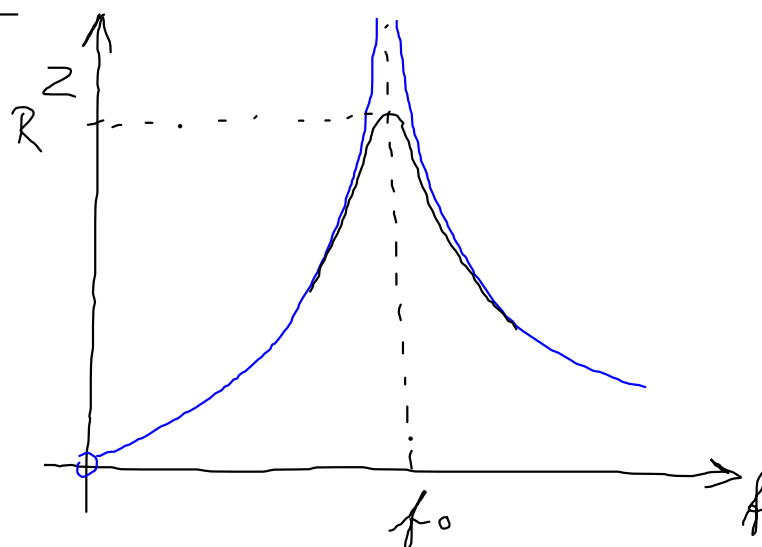
(a series)



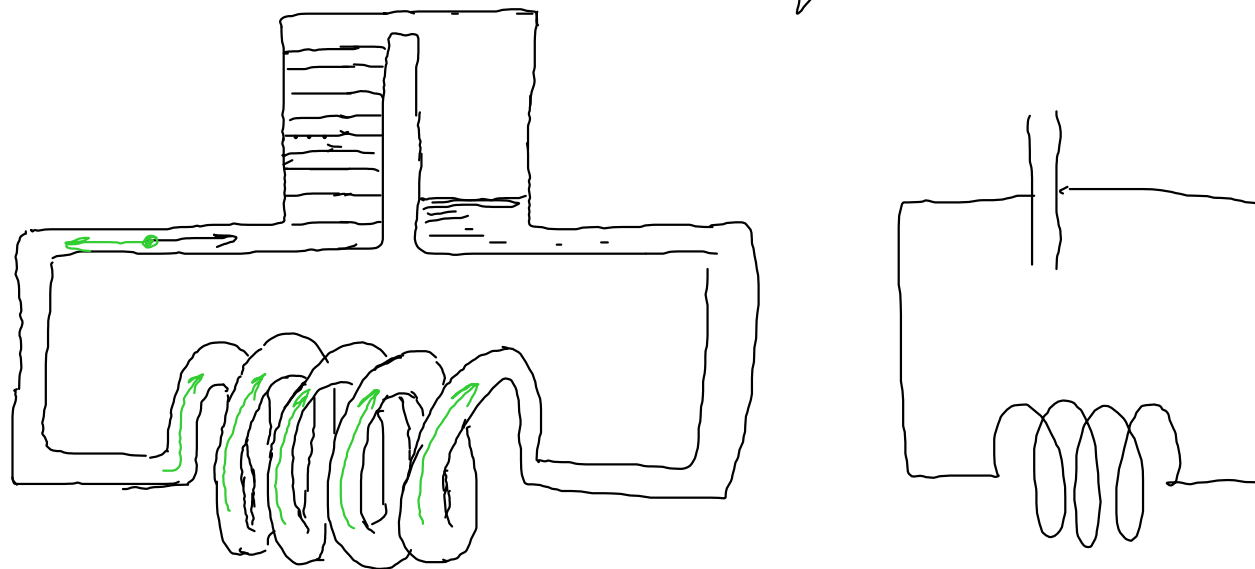
$$f = f_0 \Rightarrow Z \rightarrow \infty$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

rezonanční křivka \*



„Vodni“ model elektromagnetického oscilátoru

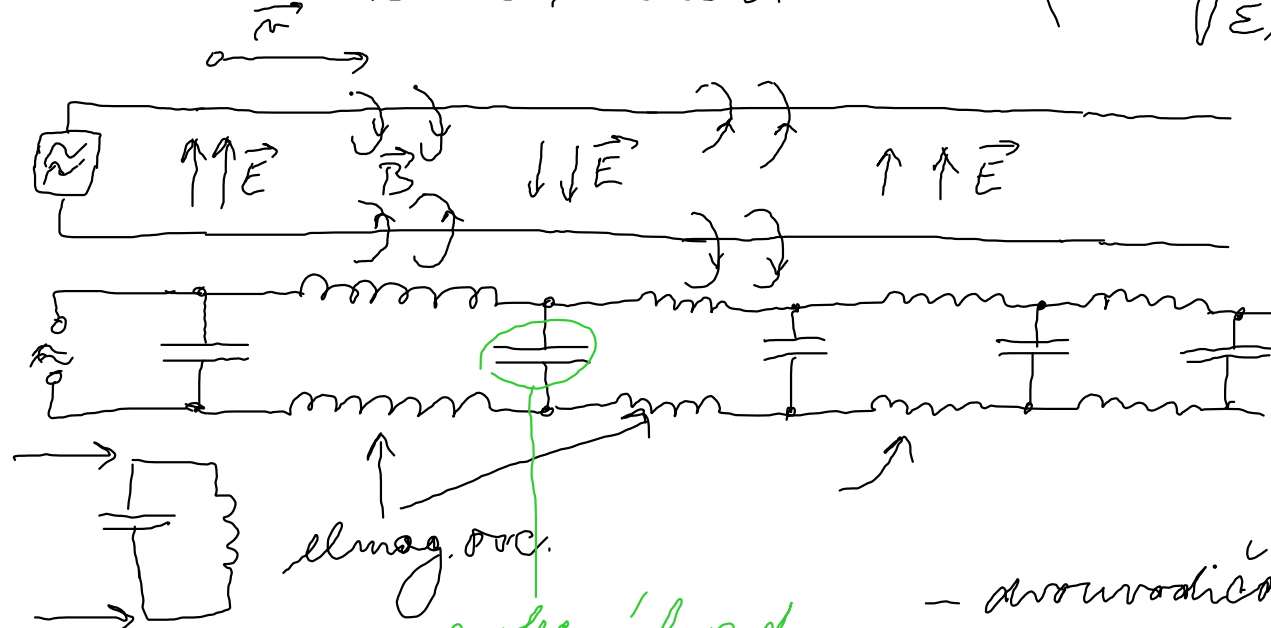


Další analogie mezi oscilátory - viz  
tabulka v učebnici  
(tabulka 12-1)

# Elektromagnetický vlnění

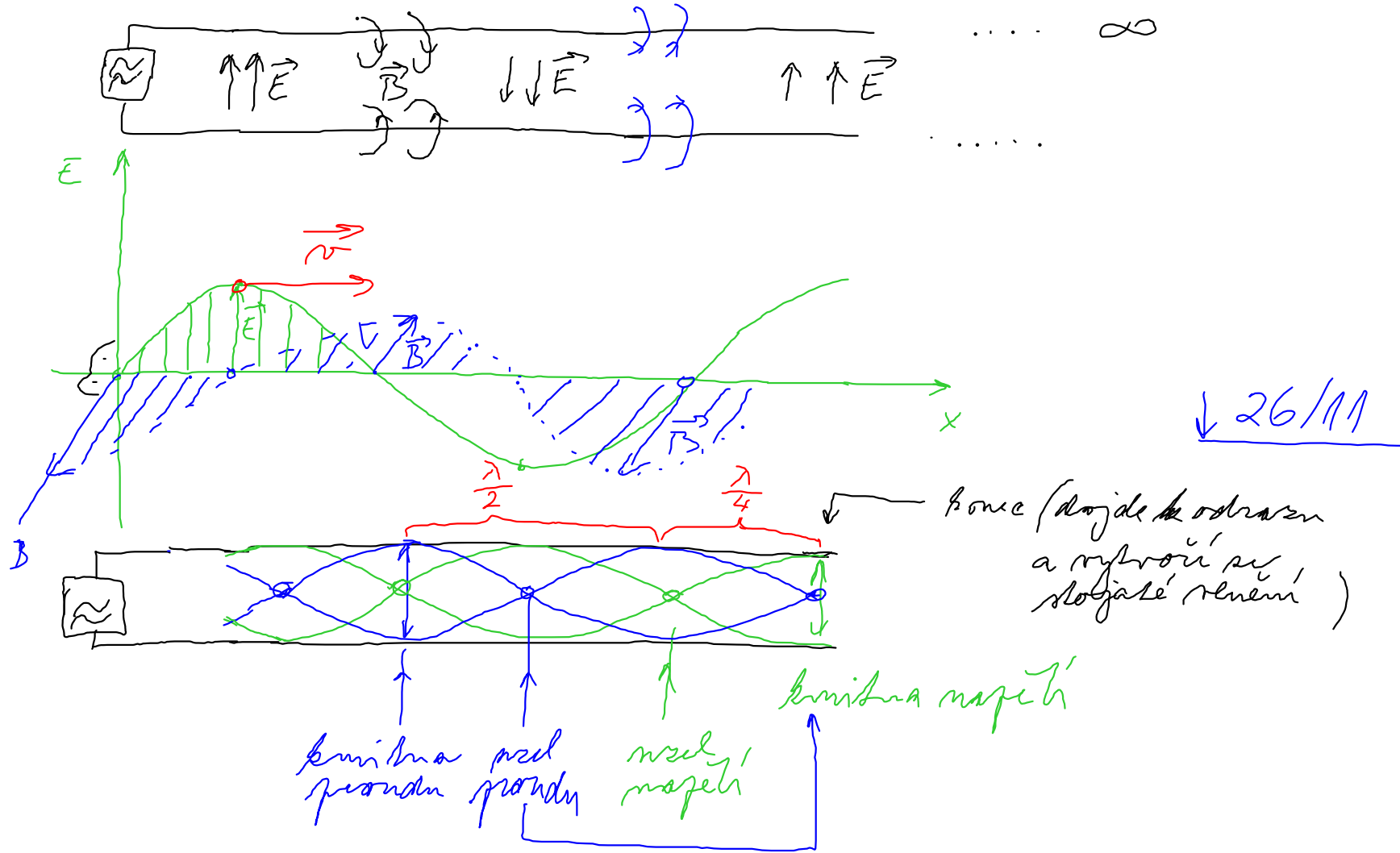
Dvouvodicové vedení

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = c$$

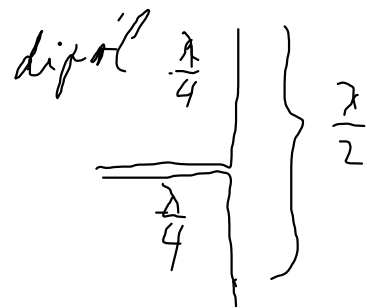
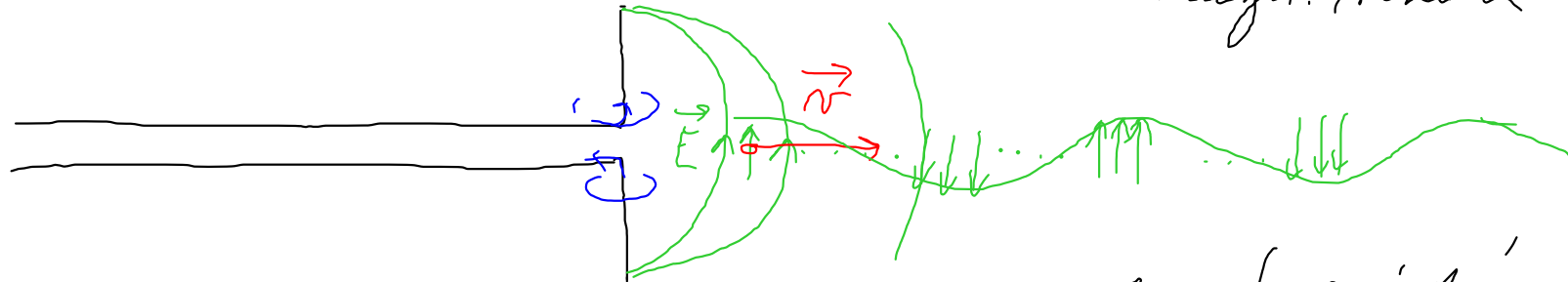
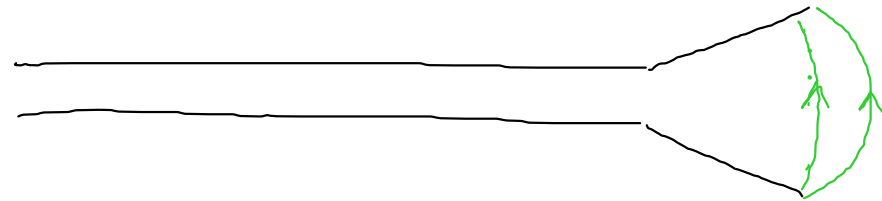
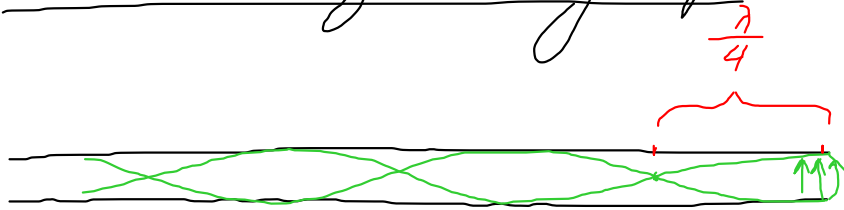


el. mag. osc.  
 společný kond.  
 (spol. el. pole)  
 - proud vzájem

- dvouvodicové vedení tvoří  
 řadu vzájemně elektromagn.  
 oscilátorů  
 → elektromagnetické vlnění



# Elektromagnetický dipól

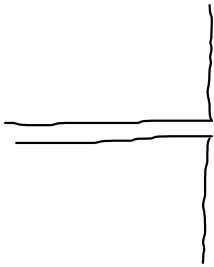


(půllohový dipól) v prostoru (v rovinném prostoru)

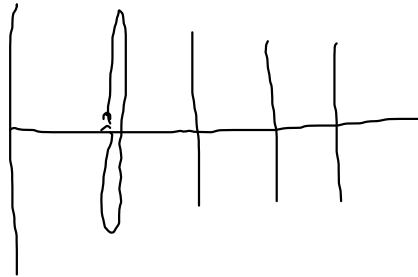
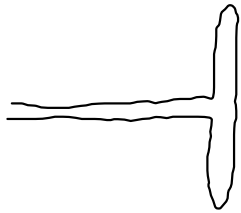
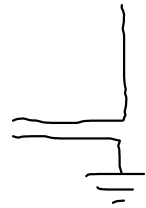
- jako vysílací (prijímací) anténa  
(dipól jeho rezonátor)



dipol



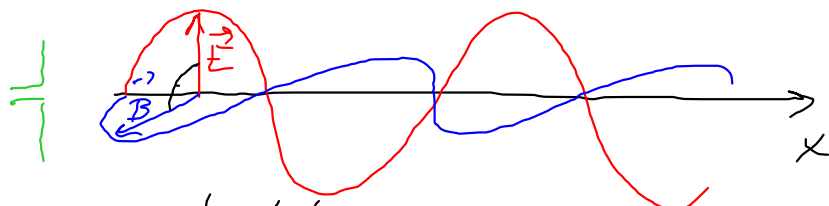
unipol, puzorá anténa



# vlastnosti elmag. vlnění

- postupné vlnění - přímé

$$\vec{E} \perp \vec{B}$$



vlnění (zdrojem je dipól)  
je polarizované

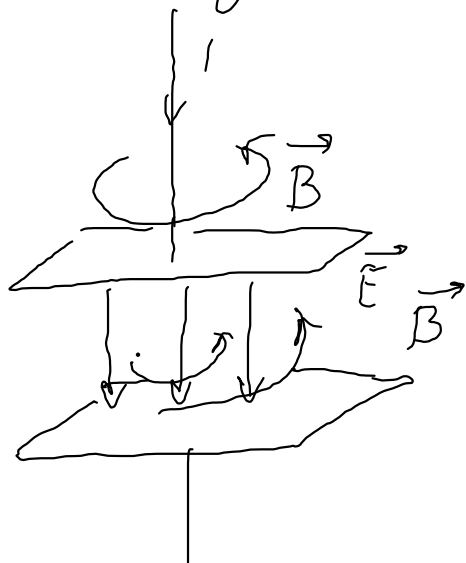
vlnění se šíří podle Huygensova principu  
- musíme pozorovat:

odraz  
lom  
ohyb a šíření  
interference

Teorie elektromagnetického pole (poznámka)  
 (Maxwellova teor. elektromagn. pole)

Elmagn. indukce - je vázána na pohyb el. náboje

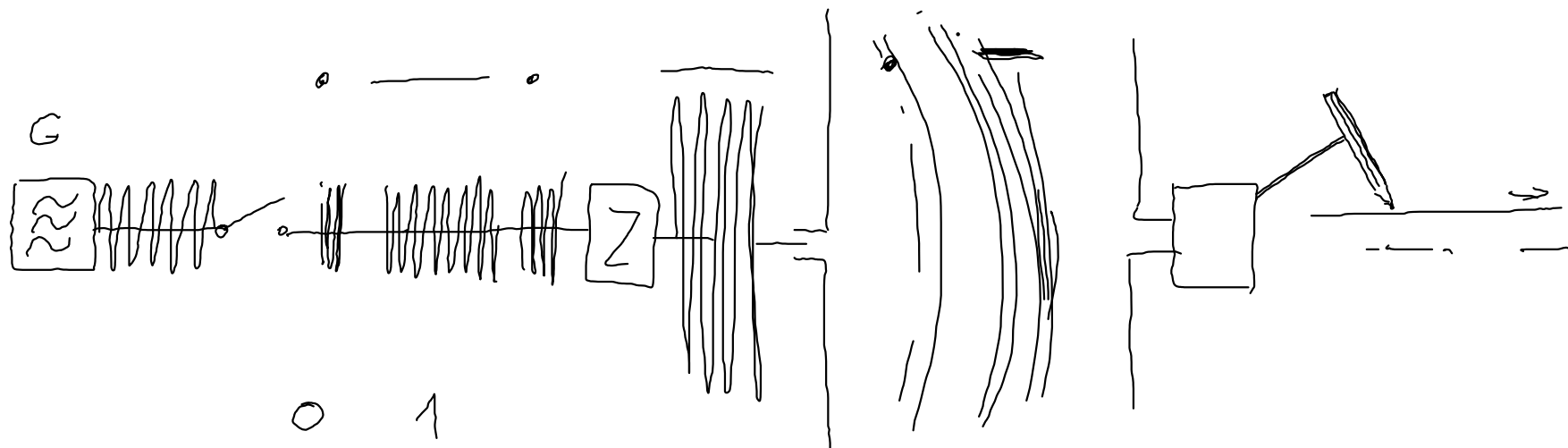
Elmagn. vlnění - není vázána na pohyb el. náboje



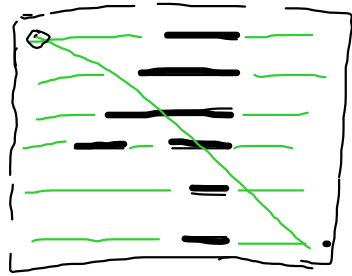
B ... vzniká v okolí vodiče protékajícího el. proudem

B ... vzniká i v měnícím se elektrickém poli

# Prenos informací elektromagnetickým vlněním



amplitudová a frekvencí modulace



RGB

① R + G + B

⊕ G, B

Průsvět - elektromagn. záření (vlnění)

$$\lambda \in (390; 790 \text{ nm})$$

$\lambda < 390 \text{ nm}$  UV (ultrafialové)

$\lambda > 790 \text{ nm}$  infračervené záření

rychlost světla v astronom. pozorování

1958  $c = 299\,792,5 \pm 0,1 \text{ km/s}$

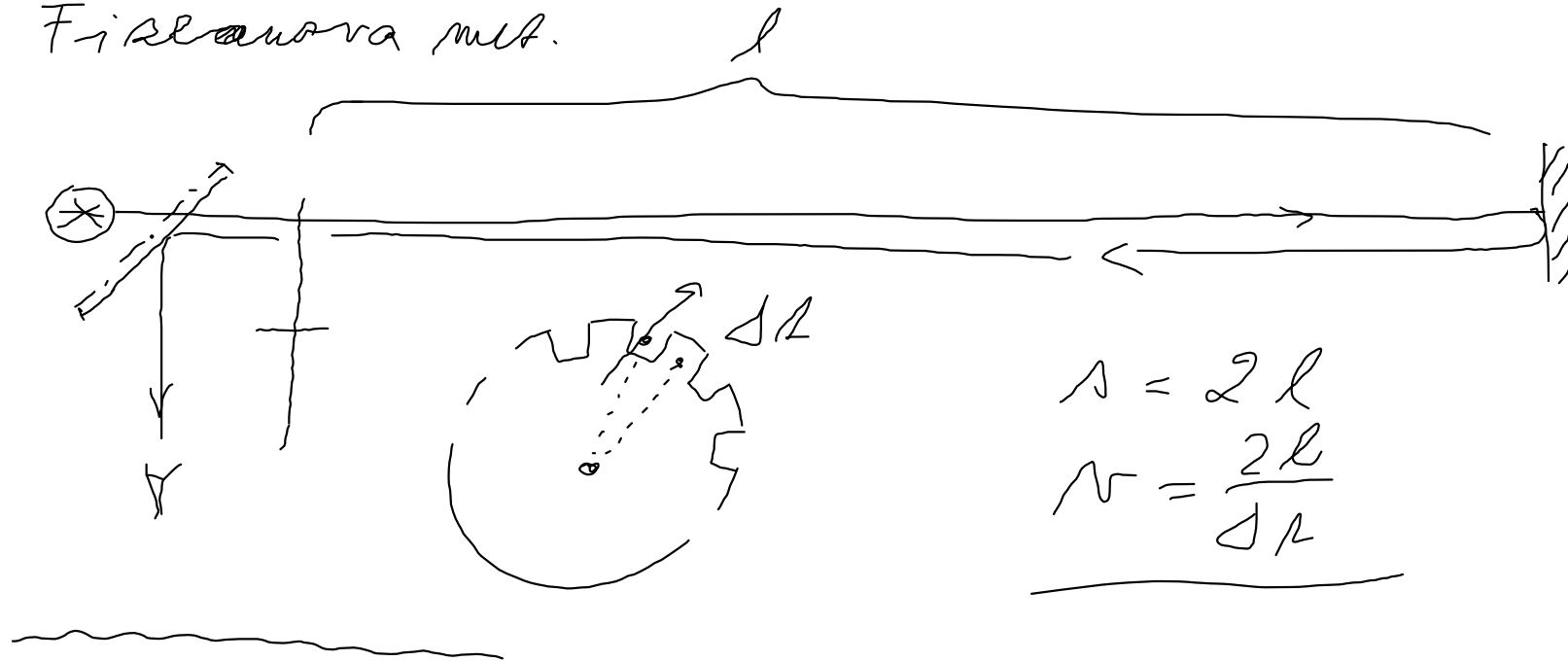
1972  $c = 299\,792\,456,2 \pm 1,1 \text{ m/s}$

$\pm 2,5 \text{ m/s}$  nepřesnost

definice metru

1983  $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$  přesně

Fislerova mit.



$$A = 2l$$

$$N = \frac{2l}{\Delta R}$$

## Průměr světla

- průměrná (ve stejnorodém opt. prostředí)

paprsek - průměrná rychlost a optická

opt. prostředí: průhledné (mnohočásticový rozptyl)

průsvitné (částicový rozptyl)

neprůhledné (prosvětlením světlo  
neprochází - odraz nebo  
pohlcení)

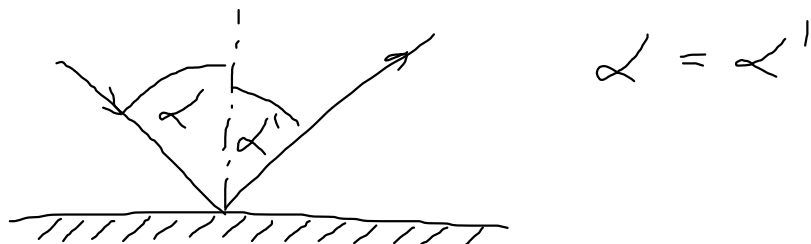
stejnorodé = homogenní

izotropní prostředí - má ve všech směrech stejné vlastnosti



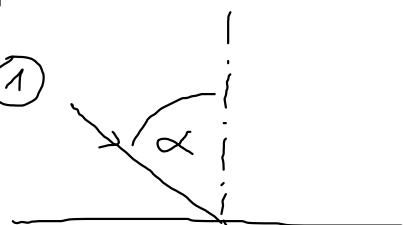
Odraz a lom

odraz odrazu



odraz lomu (Snellius)

①

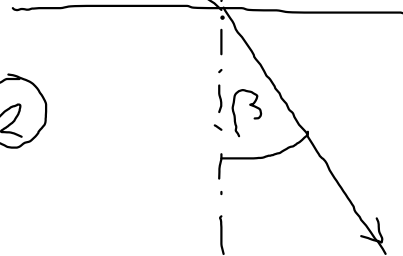


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \dots \text{konstantni pro danu' prostranu'}$$

VII B 20/6 2011

$$\frac{c}{v} = n \dots \text{abs. index lomu}$$

②



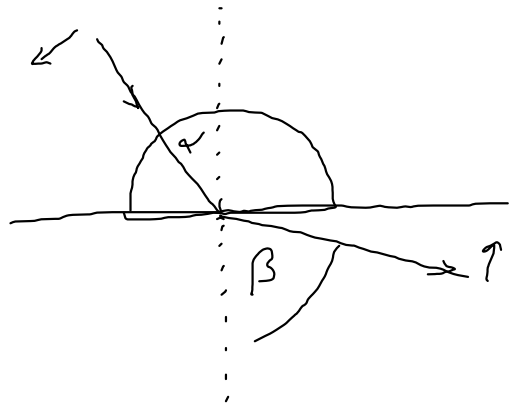
$$\left. \begin{array}{l} \frac{c}{v_1} = n_1 \\ \frac{c}{v_2} = n_2 \end{array} \right\}$$

$$\frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{rebo: } \underline{n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta}$$

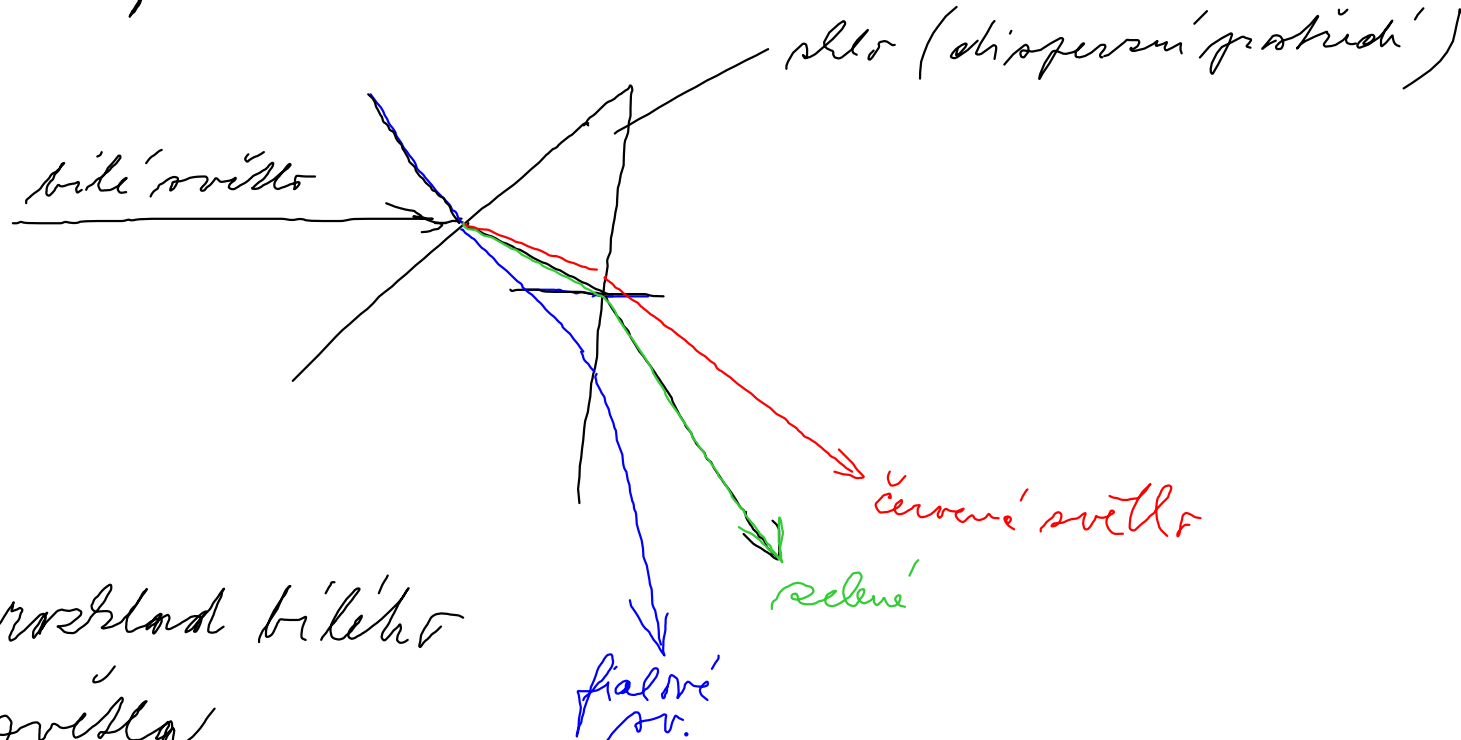
pen. Abstruksi' adras (viz kal. cv.)



pro  $\alpha_M \dots (\beta = 90^\circ \Rightarrow$  sifly' adras

↑  
mang' i' bel

Disperse světla

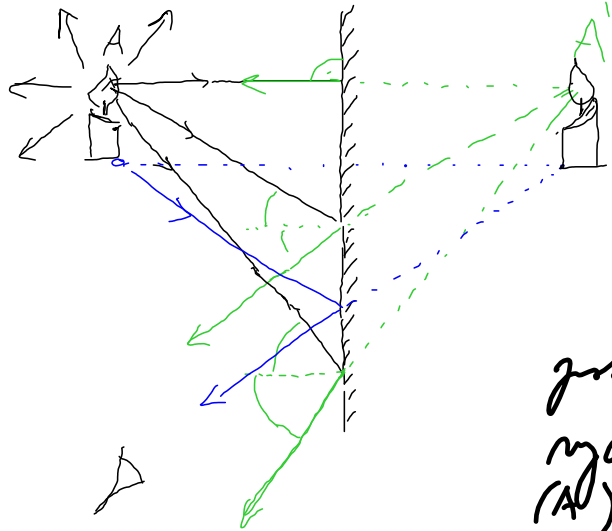


index lomu je závislý na vlnové délce (ne ve vakuu)

VIIA 20/6  
2019

# Optické zobrazování

zobrazování rovinným zrcadlem



obraz bodu A

(jako by paprsky vycházely z bodu A')

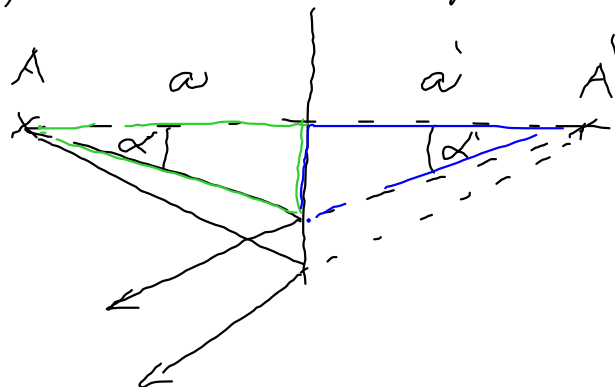
jestliže různé paprsky vycházející z jednoho bodu (A) se sbíhají v jiném bodě, (i v prodloužení), hovoříme o optickém zobrazování. Zařízením, které takto mění paprsky, nazýváme zobrazovací soustavou.

reálný obraz - není se zachytit na stínítku

7/10 19 ↓

## Zobrazení odrazem

o na rovinné ploše



$$\alpha = \alpha' \Rightarrow a = a'$$

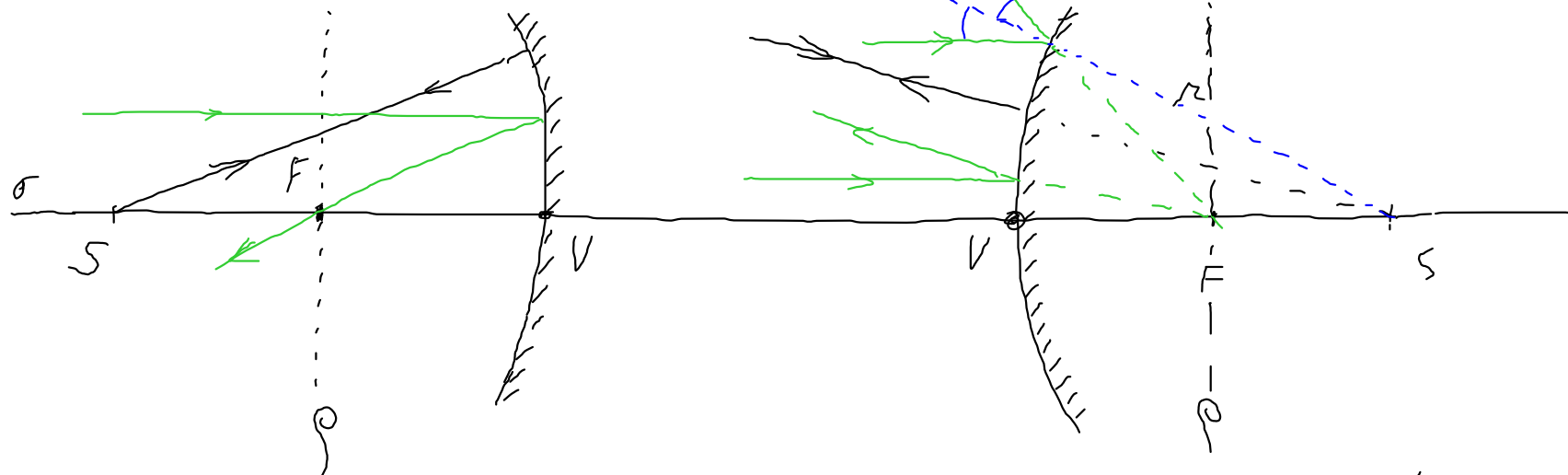
$a$  ... předmětová vzdálenost

$a'$  ... obrazová vzdálenost

$A'$  ... obraz (bodu  $A$ )

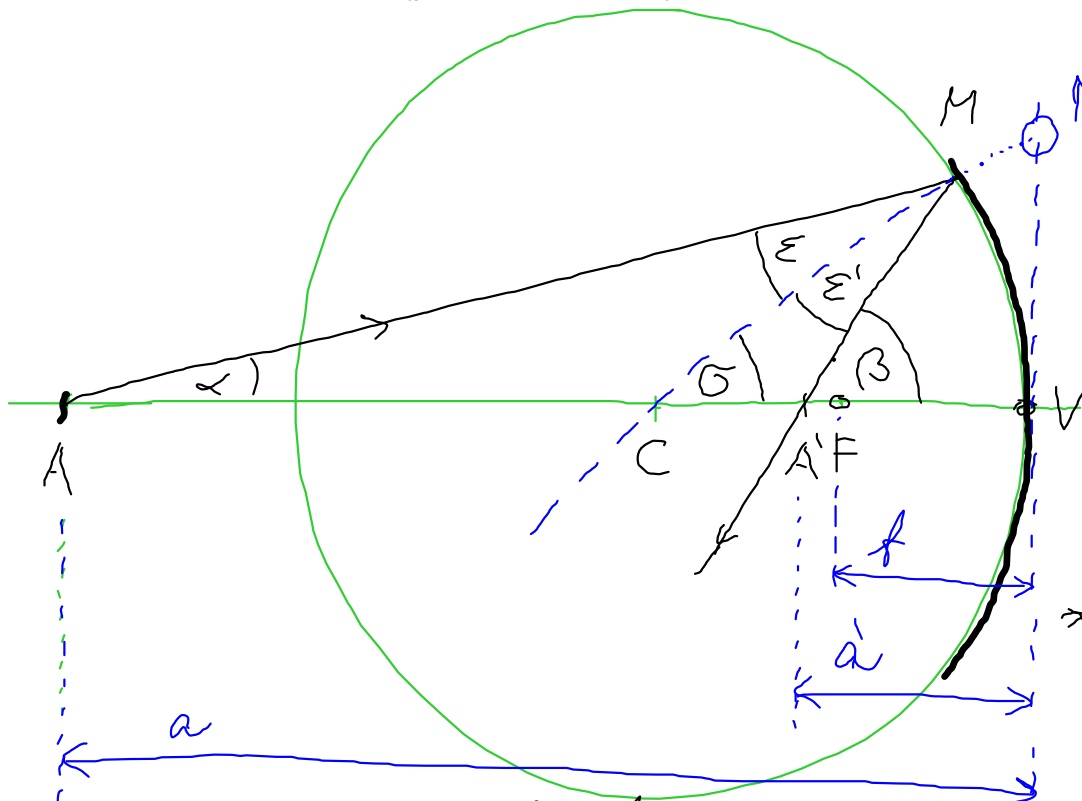
nekulicový, přímý,  
stranově obrácený,  
mzvláštní

• na kulové ploše (kulový zrcadlo)  
pr. dužič



$\sigma$  ... optická osa ... paraxiální prostor  
 $F$  ... ohnisko (skutečné, mrtvé)  
 $\rho$  ... ohnisková rovina

Zobrazovací rovnice (pro duté zrcadlo)



$$r = 2 \cdot f ; f = \frac{r}{2}$$

$$\alpha + \beta = 2\sigma$$

$$\frac{VM}{a} + \frac{VM}{a'} = 2 \cdot \frac{VM}{2f}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

Zobrazovací rovnice (platí obecně)

(vnější úhly  $\triangle ACM$   
 $\triangle CAM$ )

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \alpha + \epsilon \\ (\beta &= \sigma + \epsilon') \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\beta = \sigma + \epsilon$$

$$\alpha = \sigma - \epsilon$$

$$\beta = \sigma + \epsilon$$


---


$$\alpha + \beta = 2\sigma$$

pro malé úhly  $M \approx M'$

$$\text{tg } \alpha = \alpha = \frac{VM}{VA} = \frac{VM}{a}$$

$$\text{tg } \beta = \beta = \frac{VM}{VA'} = \frac{VM}{a'}$$

$$\text{tg } \sigma = \sigma = \frac{VM}{VC} = \frac{VM}{2f}$$

## Znaménková konvence:

( předmětový prostor (před čočkou, před zrcadlem)  
 obrazový prostor - tam, kde vzniká skutečný obraz )

pro předmět v předmětovém prostoru ...  $a > 0$

pro obraz v obrazovém prostoru ...  $a' > 0$

v opačném případě bereme vzhledem k opačným znaménkům ( $a < 0$ ;  $a' < 0$ )

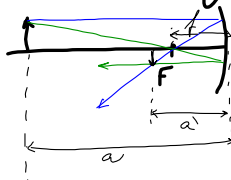
např. pro obraz vytvořený 1 m za zrcadlem je  $a' = -1\text{m}$

dist. zrcadlo  $f > 0$  ( spojka  $f > 0$  )  
 vypuklé - " -  $f < 0$  ( rozptylka  $f < 0$  )

24.6.2019 VIII B



Pr: Předmět vzdálený 3 m od dutého zrcadla je ostře zobrazen ve vzdálenosti 20 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost?



$$a = 3 \text{ m}$$

$$a' = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$f = ?$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{0,2} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{3} + 5 = \frac{1}{f}$$

$$\frac{16}{3} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{3}{16} \text{ m} = 0,1875 \text{ m}$$

$$\underline{f = 19 \text{ cm}}$$

Pr: Tjaki vzdál. se vytvoří obraz předmětu vyjádřeným zrcadlem, q-li předmět 50 cm před zrcadlem a ohnisk. vzdál.  $f = -25 \text{ cm}$

$$f = -0,25 \text{ m}$$

$$a' = ?$$

$$a = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{0,5} + \frac{1}{a'} = -\frac{1}{0,25}$$

$$2 + \frac{1}{a'} = -4$$

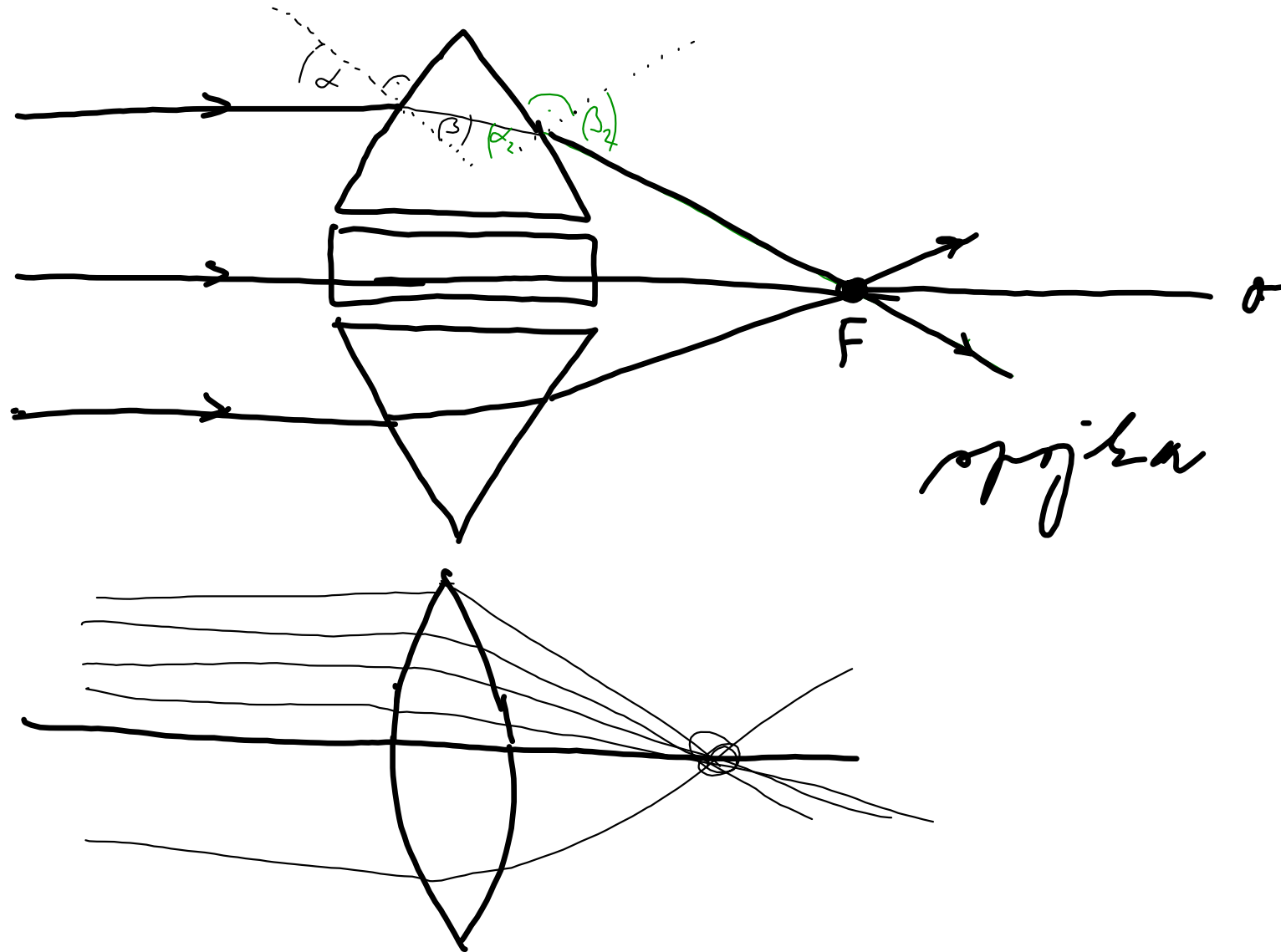
$$\frac{1}{a'} = -6$$

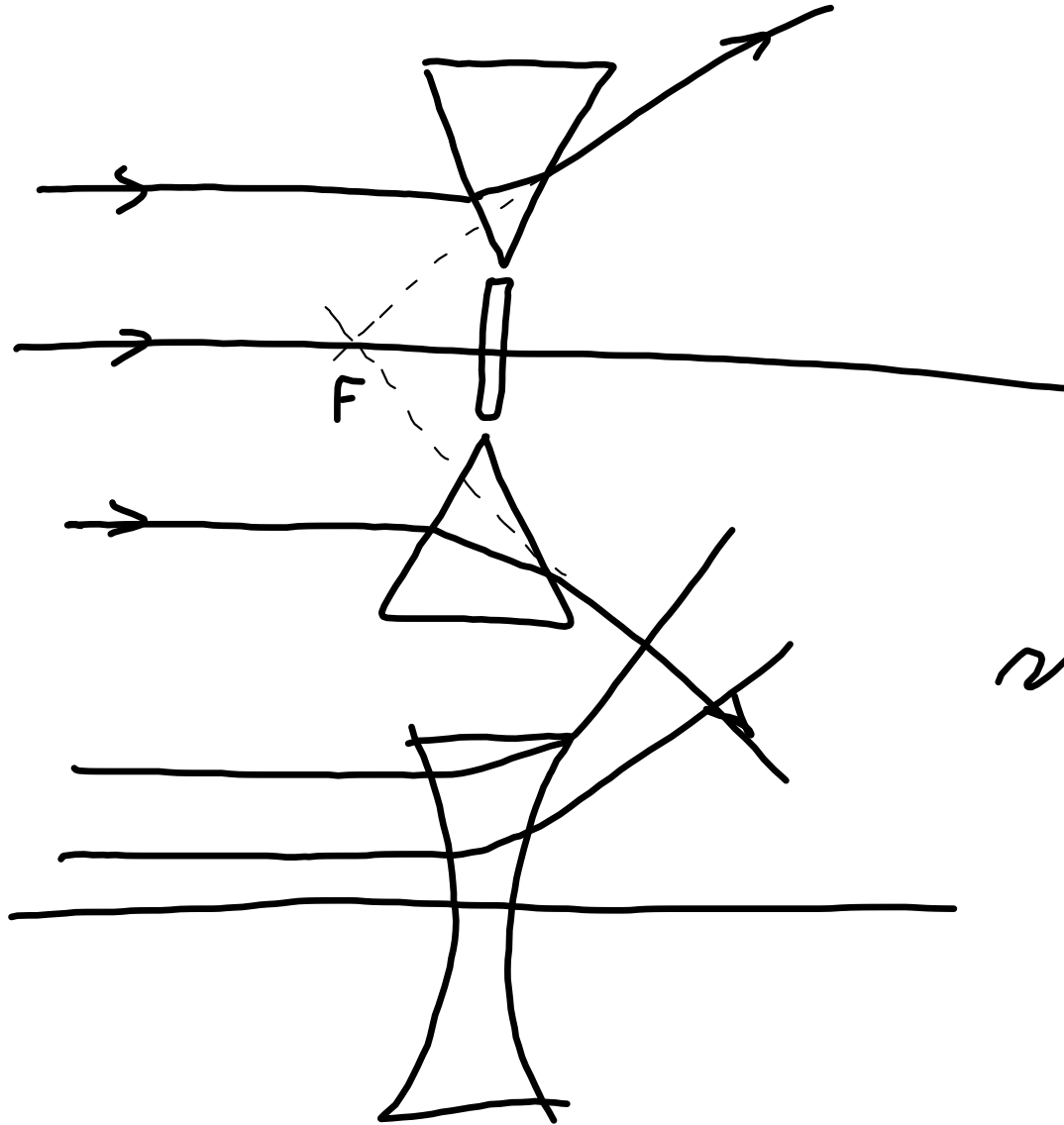
$$a' = -\frac{1}{6} \text{ m} = 0,1\bar{6} \text{ m}$$

$$\underline{a' = -16,7 \text{ cm}}$$

... *Swiss*

# Δορασόριου' λουμει (αοααα)





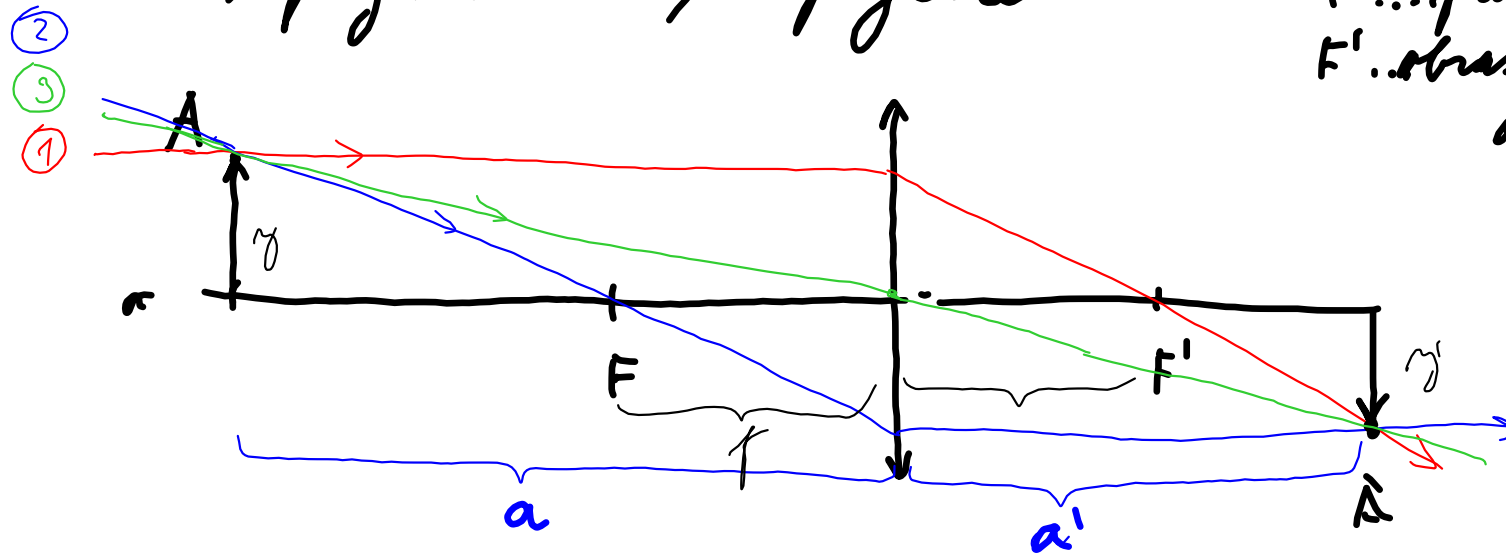
*telescope*

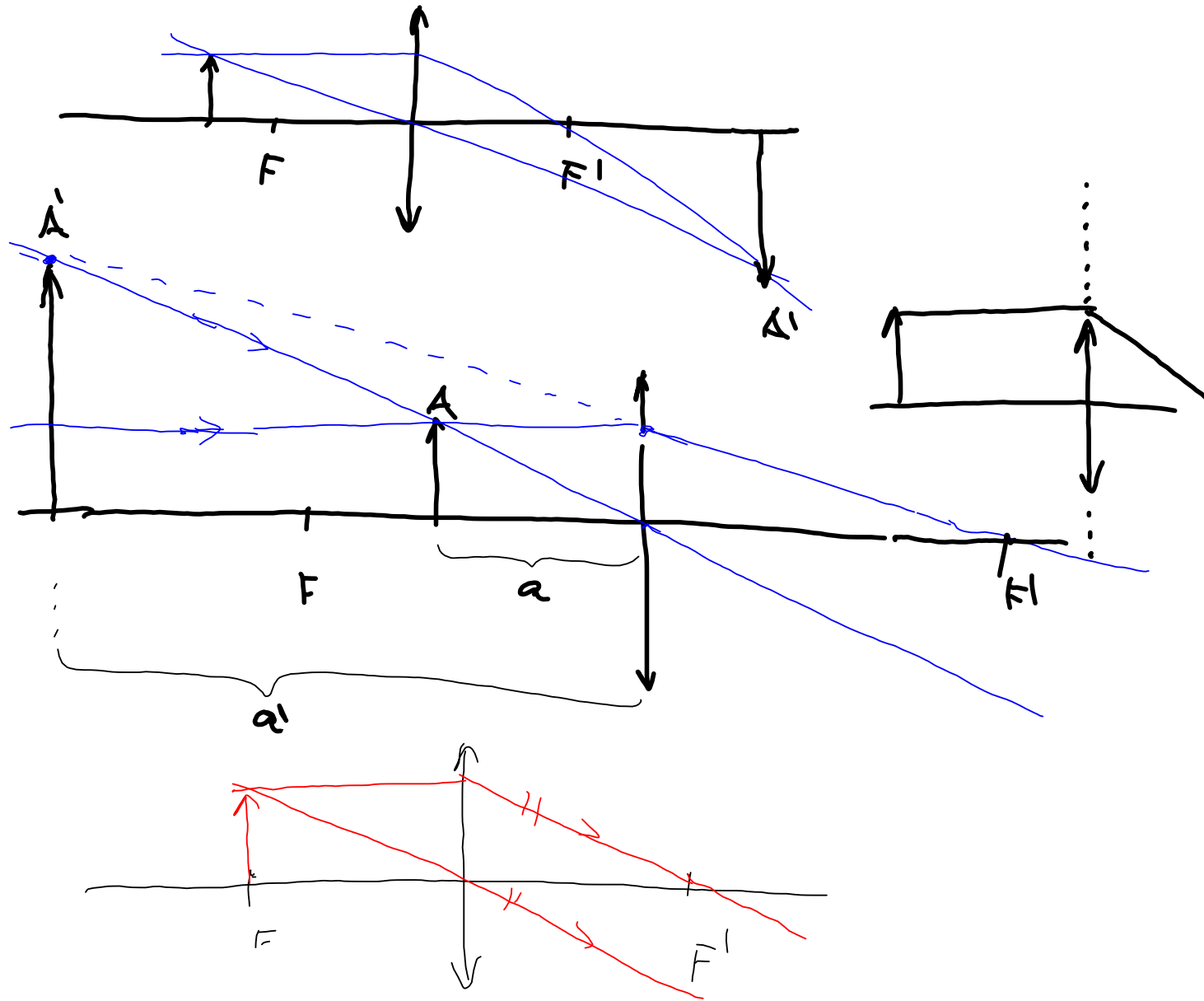
# Chod paprsků čočky (Newtonův)

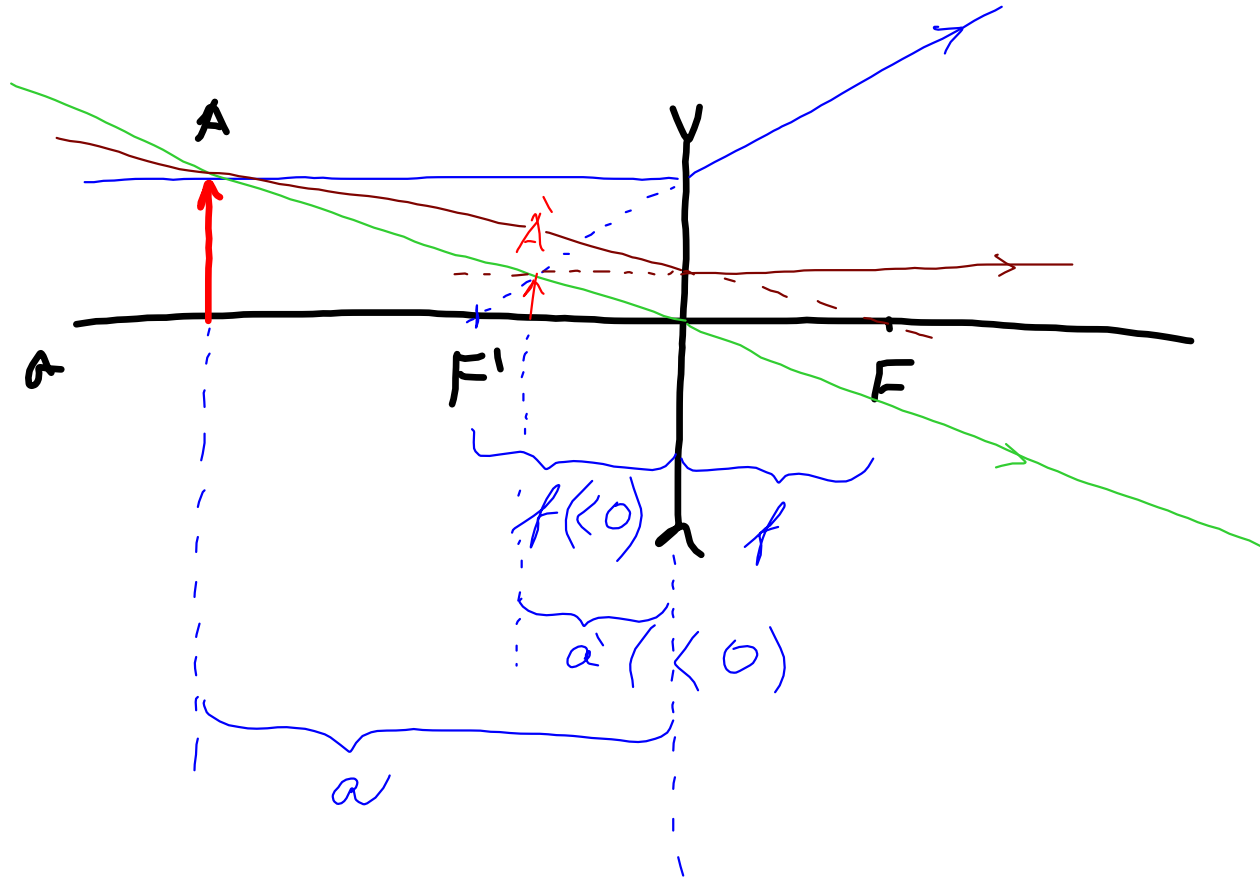


spojka rozptylka

F... předmětové  
F'... obrazové  
ohnisko







pluh' sroasraci rovnice

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

$\frac{1}{f} = \varphi$  ... opticka mohutnost (jednotka D  
dioptrie)

napi. čočka s opt. mohutnosti 2 D

$$\varphi = 2 \text{ D}$$

$$f = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{2} \text{ m}$$

má ohniskovou vzdálenost  
0,5 m.

$f < 0$  (rozptylka)  $\varphi < 0$



Př: jaké musíme povětří šesti bytů pro ořs,  
jichž blízký bod potřebujeme posunout  
ke vzdálenosti 1 m a o vzdálenosti  
25 cm?

$$\left[ \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \varphi \quad a = 1 \text{ m } a' \dots \text{ vzdál.} \right.$$

$$a_2 = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$(\varphi_2 = \varphi + \varphi_B)$$

$\varphi_B \dots$  optická mohutnost  
bytů

$$\left[ \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a'} = \varphi + \varphi_B \right.$$

$$\underline{\underline{2,7/100 \sqrt{19}}}$$

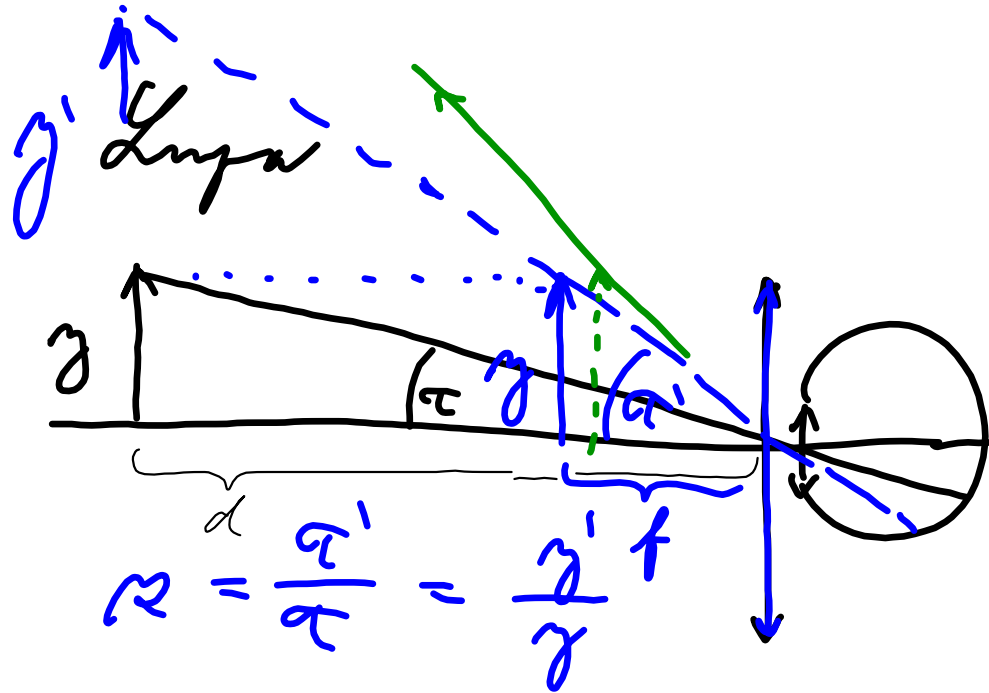
$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} = \varphi \quad \Rightarrow \varphi \text{ dradím do druhé}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_1} = \varphi + \varphi_B$$

$$\frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \varphi_B \quad / - \frac{1}{a} - \frac{1}{a_1}$$

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a} = \varphi_B$$

$$\varphi_B = \frac{1}{\frac{1}{4}} - \frac{1}{1} = 4 - 1 = \underline{\underline{3 D}}$$



$$M = \frac{z'}{z} = \frac{z' f}{z d}$$

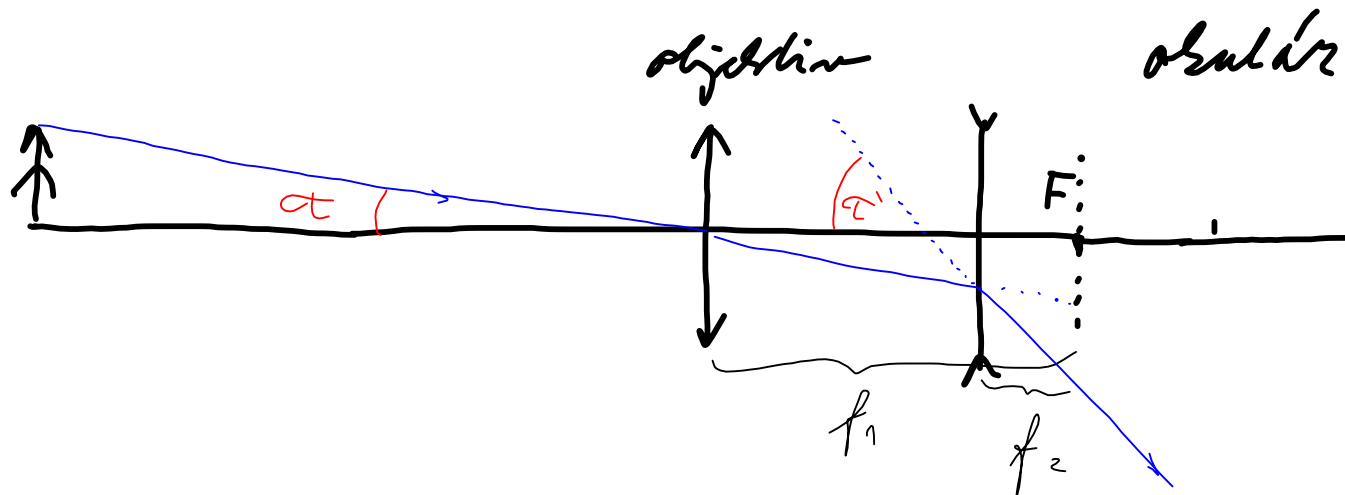
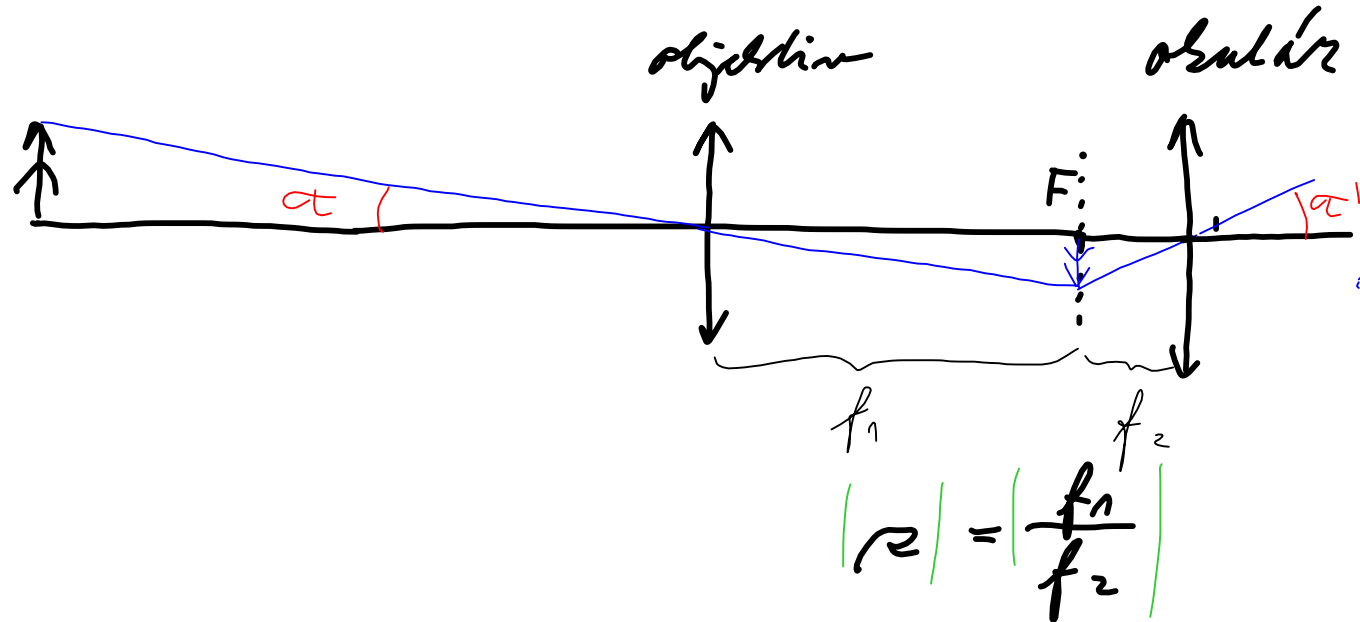
$$\left. \begin{array}{l} z' = \frac{z}{f} \\ z = \frac{z'}{d} \end{array} \right\} \frac{z'}{z} = \frac{\frac{z}{f}}{\frac{z'}{d}} = \frac{d}{f} = M$$

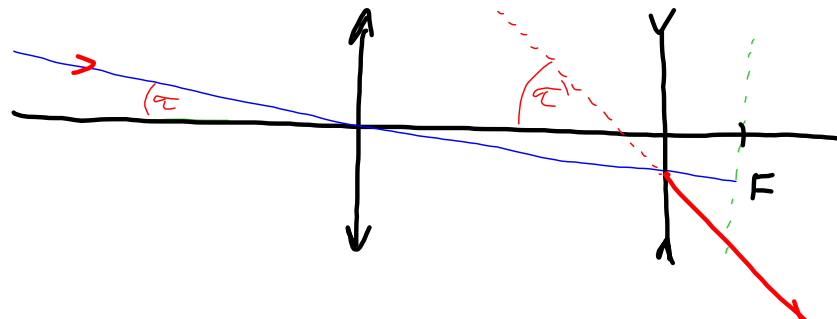
- rozšíření obrazu na  $\infty$   
(předmět je v ohniskové bodě)

- rozšíření obrazu vzdálenosti  $d$

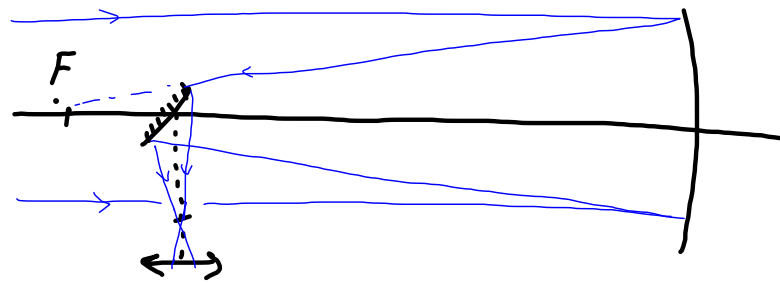
$$M = 1 + \frac{d}{f}$$

# Dalokohled

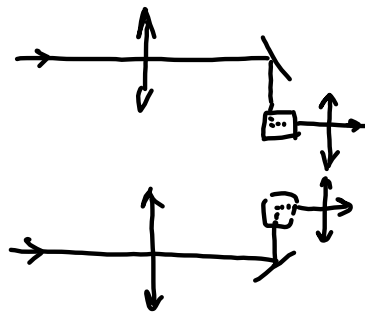


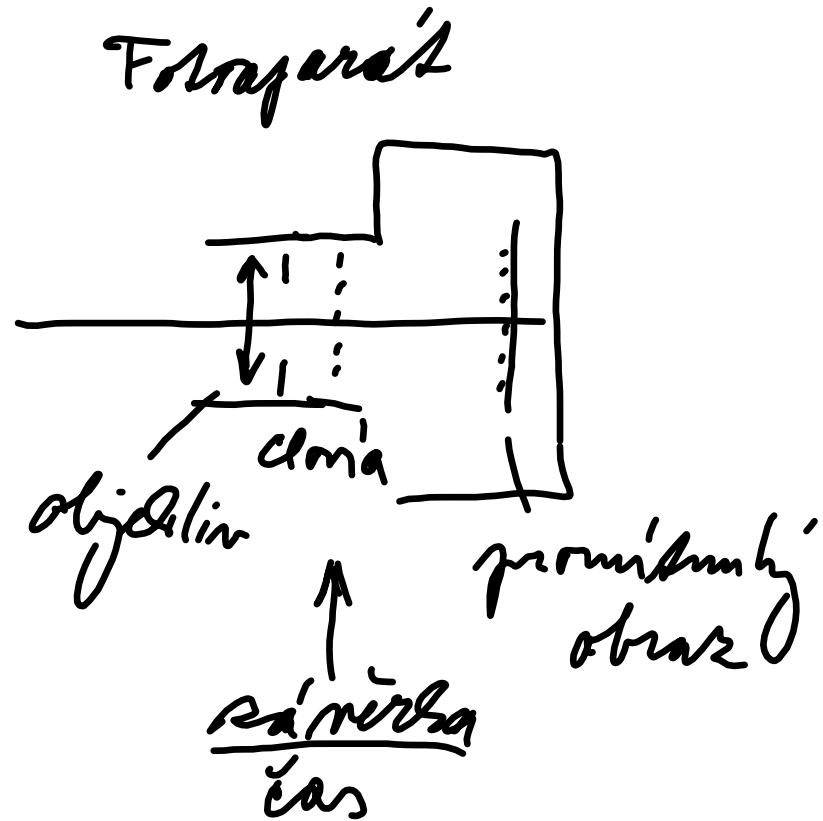


Newton's dalsohled  $|R| = \left| \frac{f_1}{f_2} \right|$



Triedr





d.	2,8; 4; 5,6; 8; 11			
ģas	$\frac{1}{30}$	60	120	250 ..
ISO	100	200	400	800 ...

11/11 ↓ 2019

Projektiin' pü'stoji

## Nová optika

světlo - elektromagn. vlnění - postupné,  
příčné

- nové vlastnosti se projeví při interferenci,  
ohybu, polarizaci.

Koherenční jsou světelná vlnění stejné  
frekvence jejich vzájemný řádkový  
rozdíl v rozširování bodě  
prostoru se časem nemění

- projeví se interference

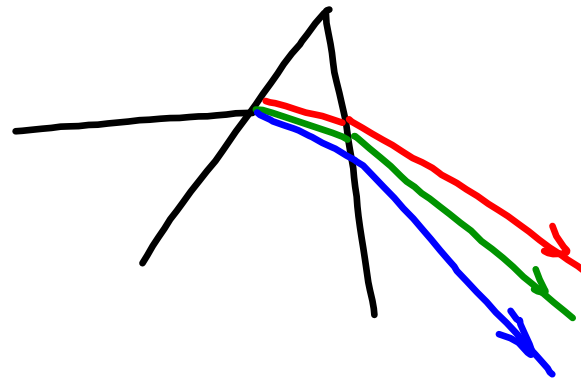


\*1) rozmanitá .

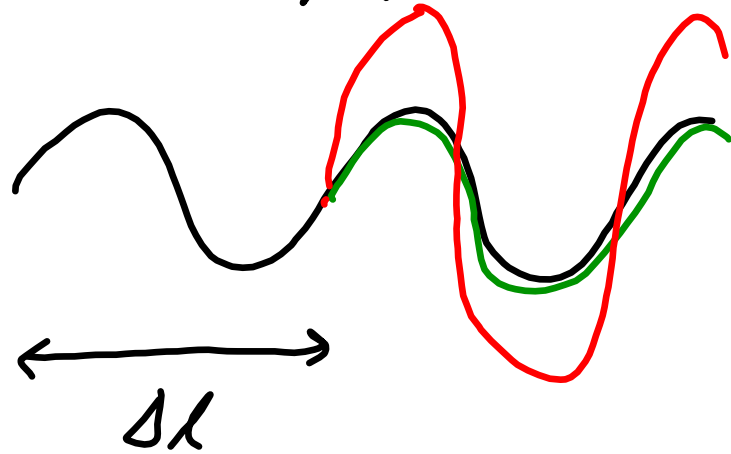
rychlost světla ve vakuu  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Disperze světla - závislost rychlosti světla  
na frekvenci

$v = f(\nu)$  ...  $\nu$  je frekvence  
(viz rozklad bílého světla hranolem)

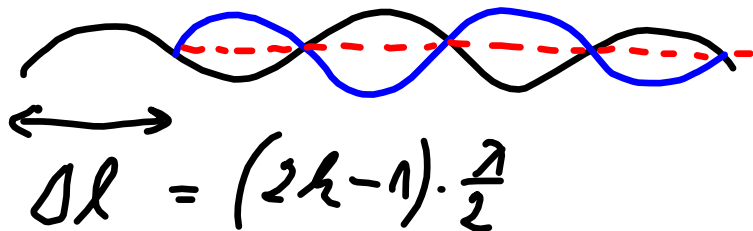


uvilenu' paporbu interference'

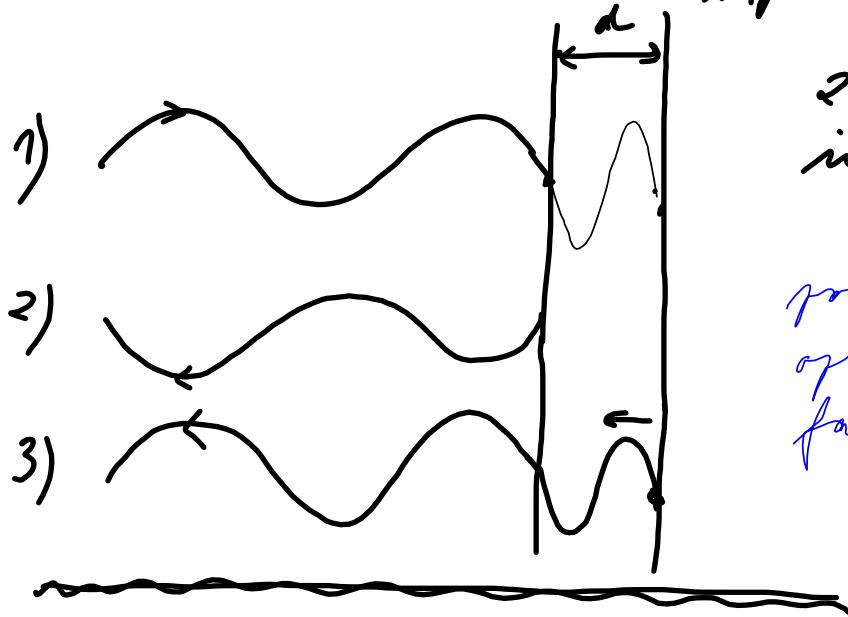


$$\Delta\lambda = k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots)$$

uvilabenu'



Interference na dvou štěrbinách  
\* pozn.

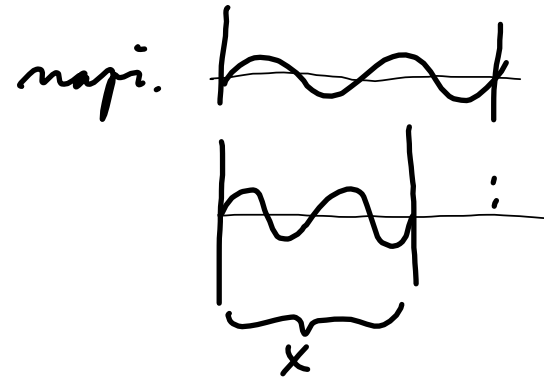


2. a 3. paprsek se  
interferenci ruší

pozn. při odrazu na  
opticky hustším se mění  
fáze  $(+\frac{\pi}{2})$

geom. dráha  $x$

opt. dráha  $n \cdot x$



rezidení odraženého světla (2. + 3. odražený paprsek)

$$\Delta l + \frac{\lambda}{2} = k \cdot \lambda$$

$$\Delta l = 2 \cdot d \cdot n$$

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = k \cdot \lambda$$

$$2nd = k\lambda - \frac{\lambda}{2}$$

$$2nd = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \dots \text{rezidení}$$

zjednoduší:

$$2nd = k \cdot \lambda$$

---

čistě barva lenky  
misk

PF: Máte "barvu" olejové skvrny (na vod. hladině),  
 která má tloušťku  $0,2 \mu\text{m}$ .

---

$$d = 0,2 \mu\text{m} = 2 \cdot 10^{-7} \text{m} = 200 \text{nm}$$

$$n_o = 1,5$$

$$n_v = 1,33 (< n_o)$$

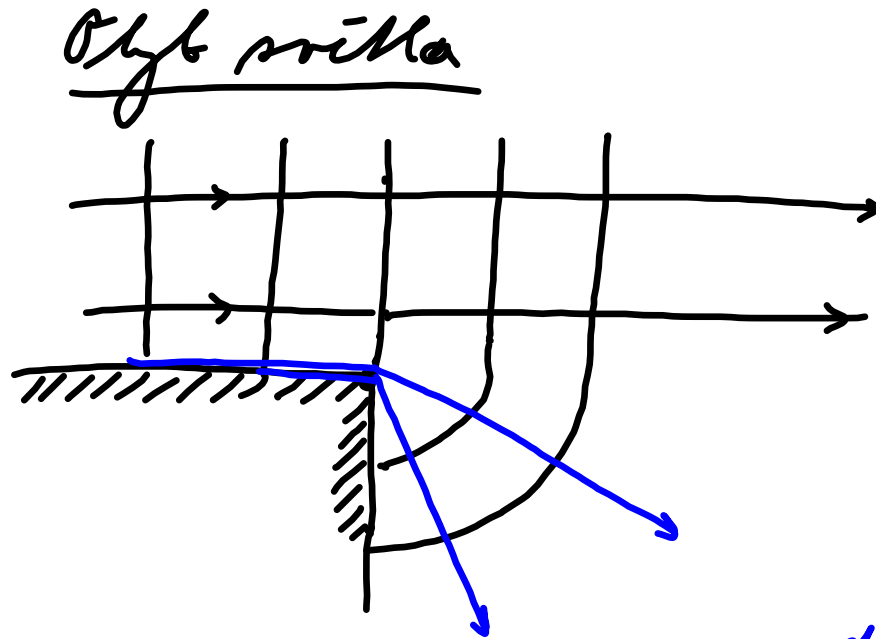
$$2nd = (2k-1) \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{2k-1}$$

$$\lambda = \frac{4nd}{2k-1}$$

$$1. k=1 \quad \lambda = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 200}{1} = 1200 \text{nm} \quad \text{infravičervená zář.}$$

$$k=2 \quad \lambda = \frac{1200}{3} = 400 \text{nm} \quad \text{fialová viditelná}$$

$$k=3 \quad \lambda = \frac{1200}{5} = 240 \text{nm} \quad \text{UV}$$



na hraně se světlo  
ohýbá'

dále viz lab. měření'

18.11. ↓ 17

## Polarisace

světlo je elektromagn. vlnění (viz. vlastnosti elmag. vlnění dříve ... dříve jako zdroj..)

- polarizované světlo je takové, jehož vektor intenzity el. pole ležící v jedné rovině.

běžné denní světlo není polarizované

- můžeme je polarizovat:

- odrazem (na dielektriku - částicová opt.)
- lomem
- dvojlomem (v anizotropním prostředí)
  - k tomu dochází i při totálním dopadu paprsku
- polaroidem (polar. filtrem)

## Elektromagnetické záření

(záření ... světlo, jev sdělování informace - interference, obryb)

(záření ... sdělování informace přenos energie, proměna a vytržení světla)



poznámka STR

Dva základní principy

I. princip relativity

II. princip stálosti rychlosti světla

Důsledky:

relativnost současnosti - děje, které probíhají  
současně v jedné inerc. soustavě nemusí  
být současné v jiné inerciální soustavě

kontrakce délek - délka se zmenšuje ve směru  
pohybu 
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

- dilatace času - v pohybující se soustavě čas plyne pomaleji  
 $\Delta t_0$  ... doba v klidové soustavě

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- přidání rychlosti - rychl. rychlost je menší než při klasickém počítání

$$u = \frac{u_0 + v}{1 + \frac{u_0 \cdot v}{c^2}}$$

- relativistická hmotnost

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

- hmotnost a energie; pro celou energii platí:

$$\underline{E = mc^2}$$

viz nukleární věda



Thaer p'arim' → hybrid foton

Dualismussville (svillo - plim' n'ob' p'ond  
častic)

... hybrid foton ( $\tau$ )

$$E = mc^2 ; \tau = m \cdot c ; E = h \cdot f$$

$$E = \underbrace{m \cdot c}_{\tau} \cdot c = \tau \cdot c$$

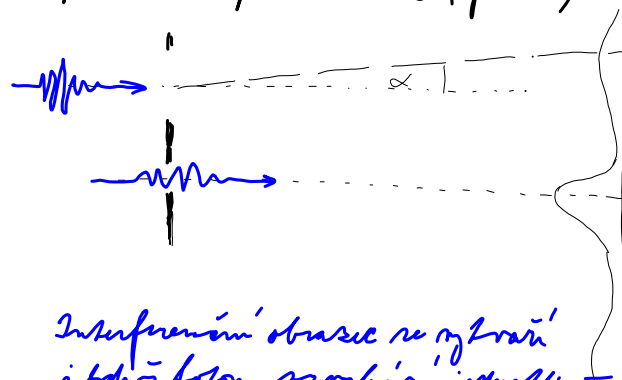
$$\tau = \frac{E}{c}$$

$$\tau = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{c \cdot T} = \frac{h}{\lambda}$$

$$\underline{\underline{\tau = \frac{h}{\lambda}}}$$

frequency  
↓  
energy fotonu  $E = h \cdot f$   
( $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Js ... planckov  
konstanta)

průběh a interferenci světla (fotoni)

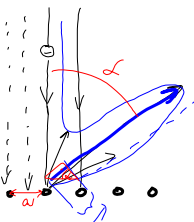


Interferenční obrazec se vytváří i když fotony procházejí jednotlivě

Warri slaskovali částice

(průběh fotoni měradíme proudem elektronů)

<https://kof.zcu.cz/st/dp/horsky/html/2daviss.html> Davissonův-Germerův pokus s rozptylem elektronů na krystalové mřížce niklu



$\alpha$  ... odpovídá interferenčním maxim

... měříme odpovídající vln. délku ... z experimentu

$N_i$



$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \lambda = a \cdot \sin \alpha$$

... výpočtem (z rychlosti)

$$\left. \begin{aligned} p &= m \cdot v \\ p &= \frac{h}{\lambda} \end{aligned} \right\} m \cdot v = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

oba výsledky se shodují!

16.12.19

Vztahy mezi energií, hybností a délkou  
délkou planckovy konstanty

Tělesu o hybnosti  $p = m \cdot v$  můžeme  
přiradit vlnovou délku  $\lambda$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

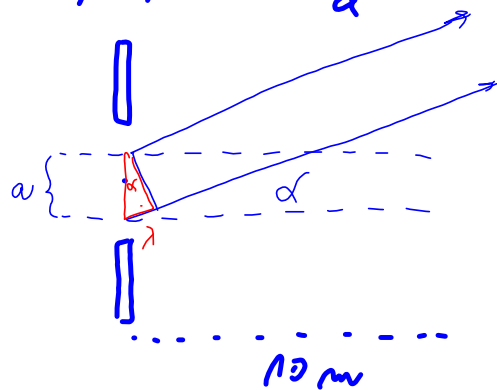
$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

... jako de Broglie vlnám můžeme  
povědit pro popis pravděpodob-  
nosti nálezů částice v daném  
místě v prostoru.

Př. Spočítejte úhel 1. interferenčního maxima pro  
míč, který proletí dveřmi.  
( $m = 0,4 \text{ kg}$ ,  $v = 10 \text{ m/s}$   $a = 0,45 \text{ m}$ )

$$1) \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{0,4 \cdot 10} = 1,65 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

$$2) \sin \alpha = \frac{\lambda}{a} = \frac{1,65 \cdot 10^{-34}}{0,45} = 3,67 \cdot 10^{-34}$$



$$\sin \alpha = \alpha \Rightarrow \alpha = 3,67 \cdot 10^{-34} \text{ radiánů}$$

$$\alpha = 210 \cdot 10^{-34} \text{ °} = \underline{\underline{2 \cdot 10^{-32} \text{ °}}}$$

1. interferenční maximum  
se odchýlí zhruba o  $2 \cdot 10^{-32}$  stupně.  
(což na vzdálenosti 10 m bude číselně  $3,7 \cdot 10^{-33} \text{ m}$   
 $= 3,7 \cdot 10^{-24} \text{ nm}$ .)



(modern physics)

2nd. part. of at.

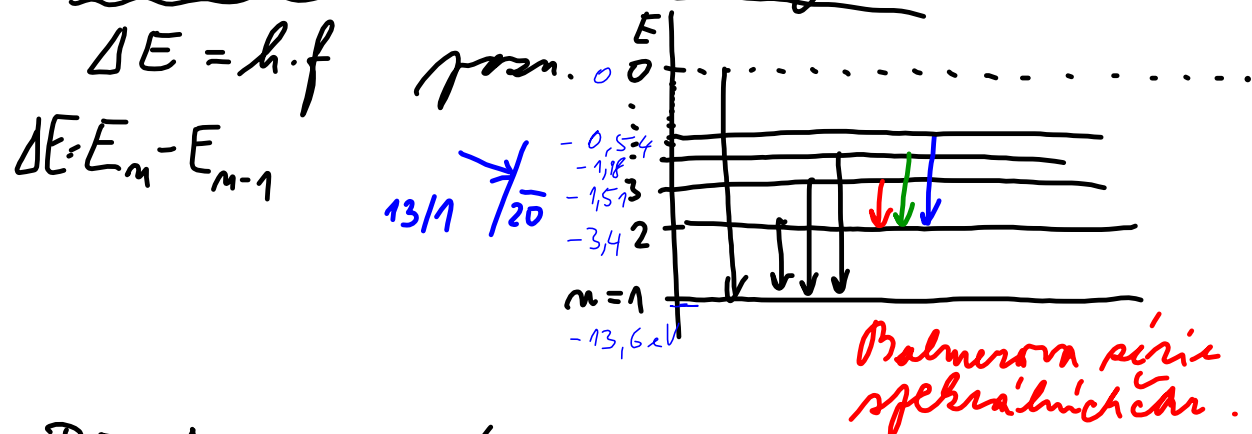
Modely atomov

Thomsonov

Bohrův model atomu - vysvětluje čárový spektr.

- elektrony se pohybují po kruhových drahách  
(při tom nemění energii)

- při přechodu z jedné dráhy do druhé  
vyzařují kvantum energie - foton



PF: A  $\lambda_{\min} = ?$  (max.  $f$ ; max  $\Delta E$ )

$$\Delta E = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{\Delta E}{h} \quad ; \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{c \cdot h}{\Delta E} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34}}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} =$$

$$= 90 \text{ nm}$$

B  $\lambda_{\max}$  (Balmer. s.)

min rozdíl energi. (min  $\Delta E$ )  $\Delta E = \underline{3,4 - 1,51 \text{ eV}}$

Číselní vlnění

$$f = R \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5 \dots$$

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$  ... Rydbergova frekvence  
( $E_3 \rightarrow E_2$ )

$$E_n = \frac{hR}{n^2} \quad ; n = 1, 2, 3 \dots$$

Krausovi mechanicki model atoma  
- vychází z řešení Schrödingerovy rovnice,  
která popisuje krausovi sloupy  
ve kterých se elektron vyskytuje  
s určitou pravděpodobností.

Orbital - je prostor, ve kterém  
se elektron vyskytuje s pravděpodobností  
99%.

25/2 ↓

Prí analýz. rýždium' stojateho vlnen'  
(rúšen' Schröd. rovnice) ... v popise  
figuruji' kv. čísla  $n, l, m$

$n$  - hlavné kv. číslo (1, 2, 3 ... nekonečno)

$l$  - orbitálne číslo (0, 1, 2 ...  $n-1$ )

$m$  - magnetické " (- $l, -l+1, \dots, 0, 1, \dots, l$ )



$$s_{\text{spin}} = \pm \frac{1}{2}$$

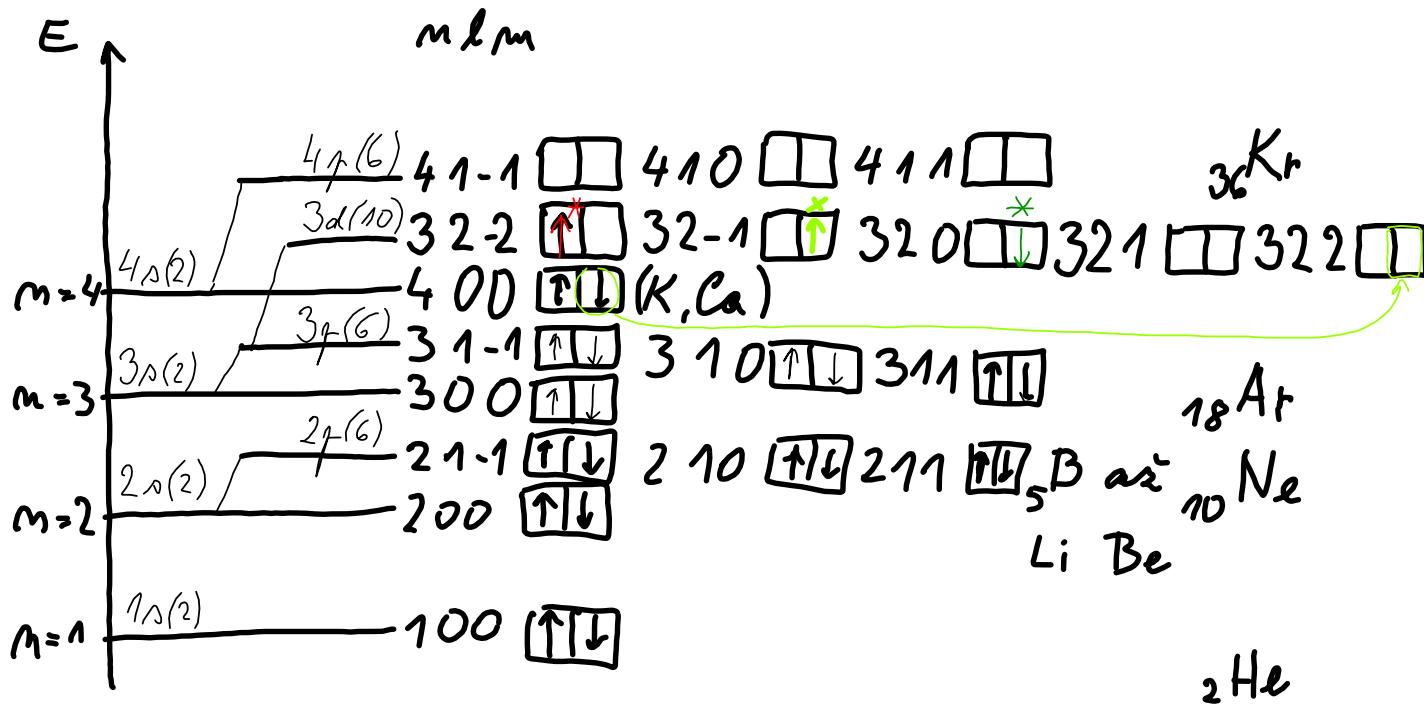
Elektronový obal s více elektrony

- elektrony obíhají d. pole jádra - další elektrony se pohybují v sferickém (rychl.) poli.
- elektrony postupně zaplňují slapy od nejnižší energie

na zaplnění poslední hladiny závisí chem. vlastnosti prvku

# Periodická soustava prvků

$$E = f(n, l, m)$$



\* Sc ... Skandium

\* Fe ... Železo

\* Cr ... 'divný', ve stavu 400 přeskóčí jeden elektron do stavu 322

dokončení -  $D_{11} \downarrow \overline{20}$

# Experimentální metody v jaderné fyzice

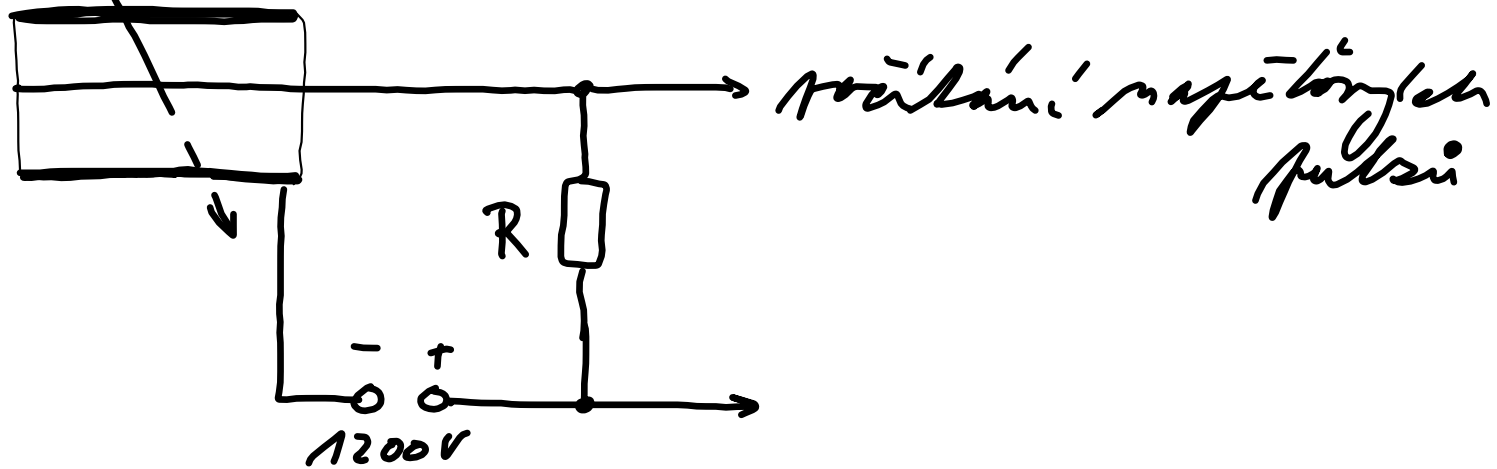
## Detekce částic:

- měření fotoy. desky
- detekce  $\alpha$  částic - ráblesky na scintilačním štítku
- G-M počítač
- mlzná komora
- bublinová komora
- hmotnostní spektrometr

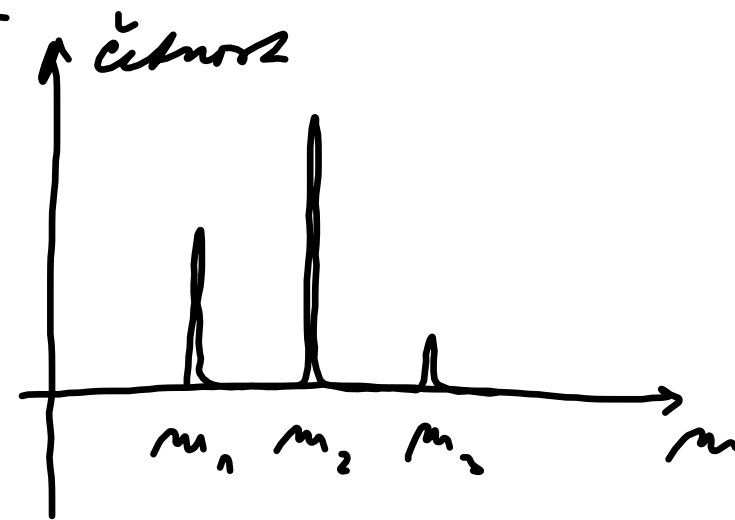
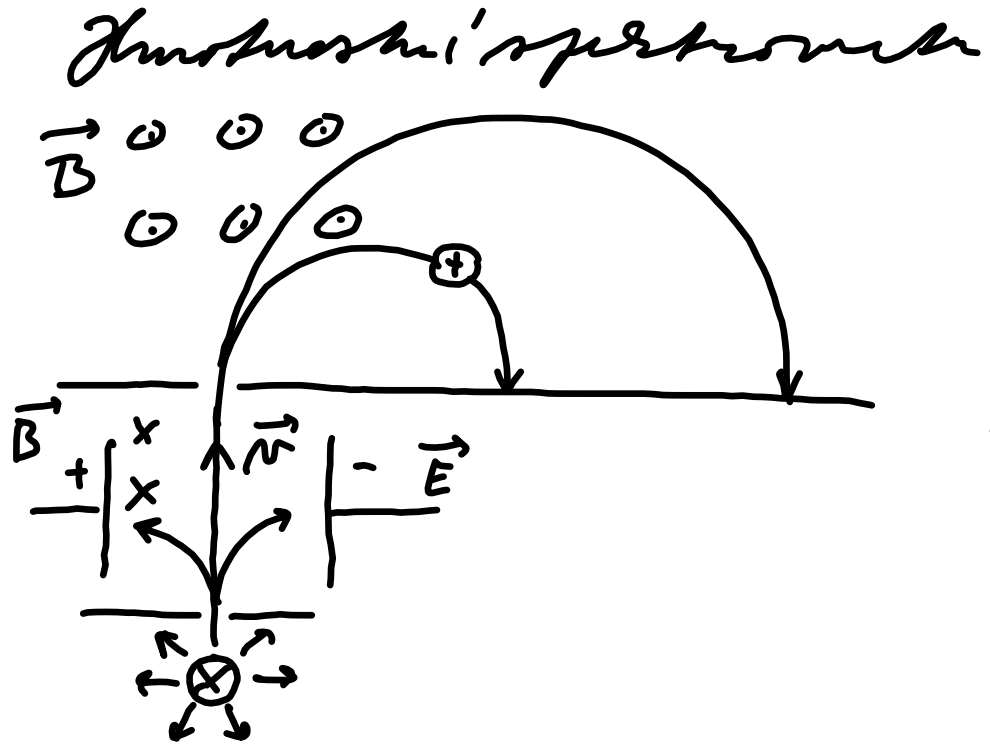


G-M počítač - počítač pulzů částic

• pulzová částice, která prochází ionizováním



měření -  
bublinová - komora



pozn. celk. energ.  $E = mc^2$   
 $\underline{\Delta E = \Delta mc^2}$



Hmotnostní úbytek a vazební energie  
 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \dots$  každá změna energie odpovídá  
 změně klidové hmotnosti

$$E_j = B \cdot c^2$$

$\uparrow$                      $\uparrow$   
 váz. energ.      úbytek hmotnosti  
 jadra

$$B = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_j$$

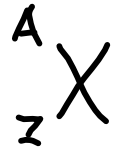
$\uparrow$                      $\uparrow$   
 počet                  neutronů  
 protonů

Pr:  ${}^12_6\text{C}$  :  $B = 0,1 m_n$

271120

Číselné složení jader

jádro - soubor nukleonů - protony  
- neutrony



Z ... protonové číslo

A ... nukleonové číslo

N ... neutronové číslo

$$A = Z + N$$

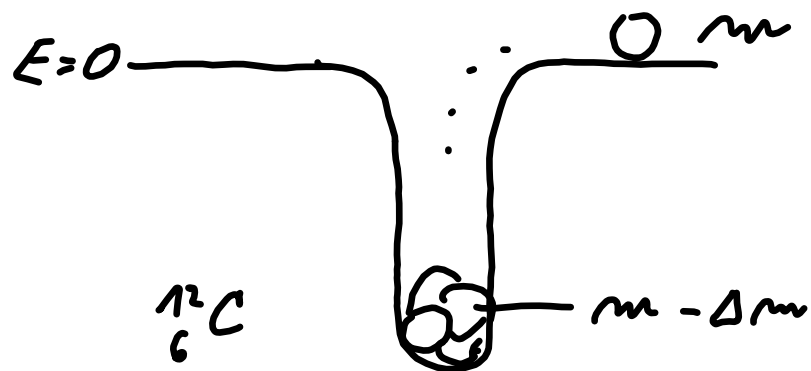
nuklidy - mají stejné složení jader

izotopy - různé nuklidy téhož prvku

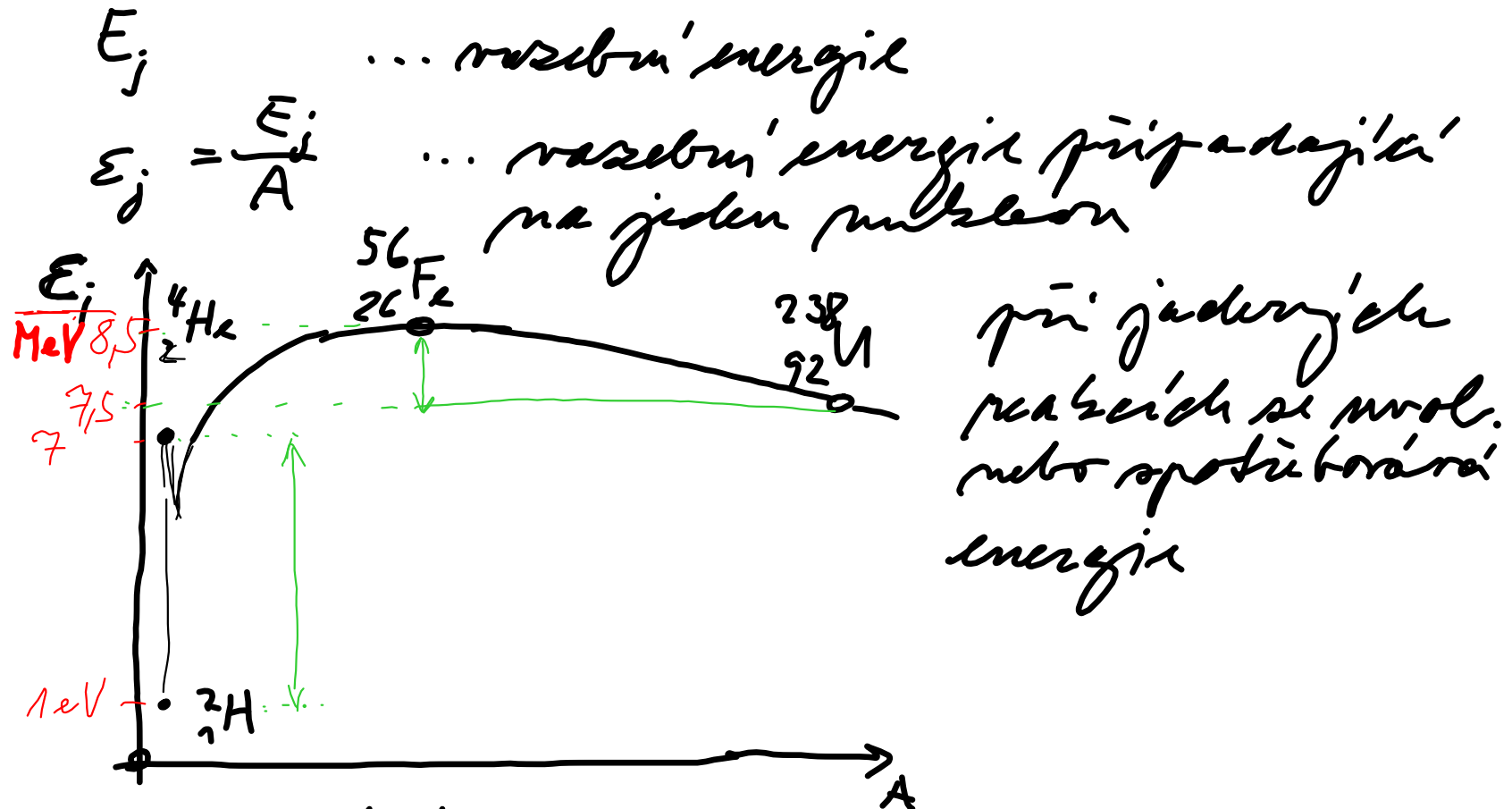
${}_{15}^{31}\text{P}$  stabilní

${}_{15}^{30}\text{P}$  radioaktivní

Pf:  ${}^1_6\text{C}$  :  $B = 0,1 \text{ m}_m$  ... rovnice energie  $E = Bc^2$

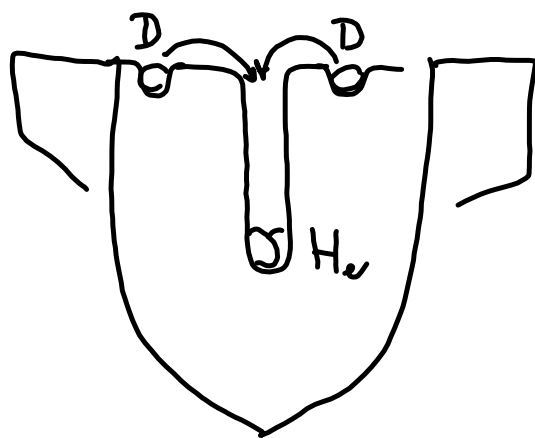
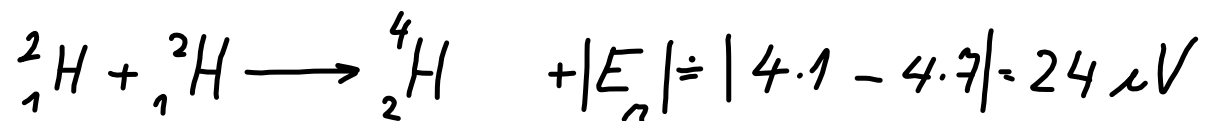
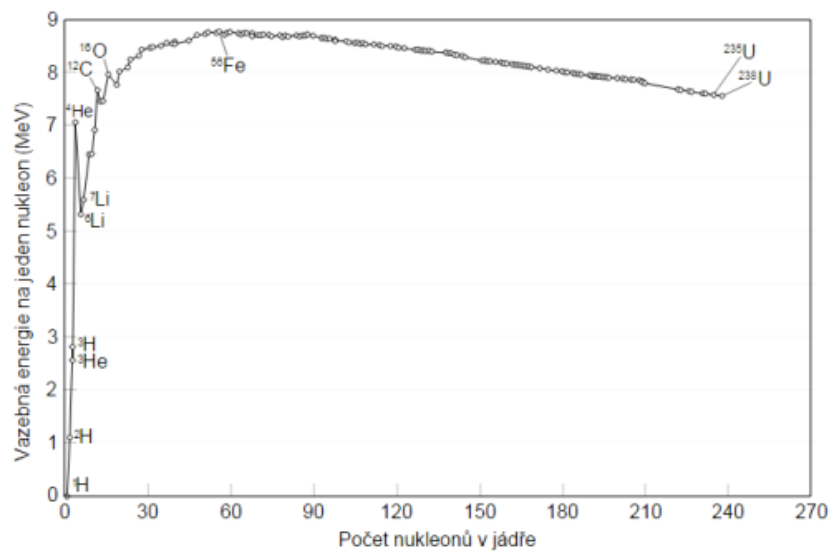


model potenciálu jámy



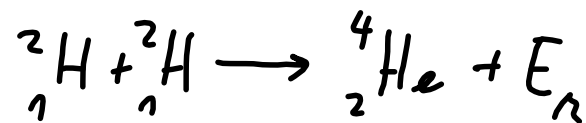
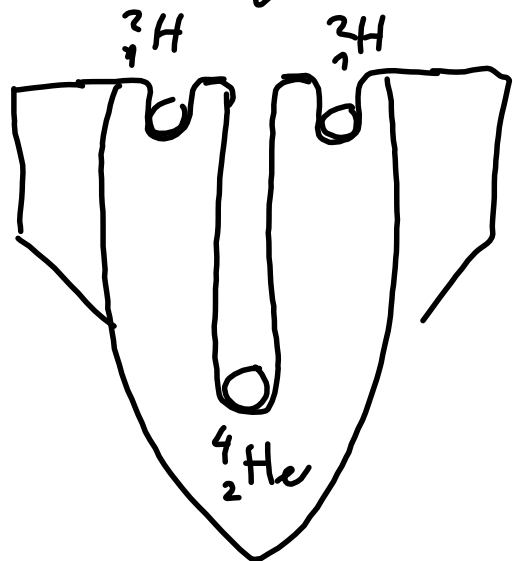
uvolňovaná energie - při slévání lehkých jader (Slunce; atomová)

- při štěpení těžkých jader



(1952 ; 53)

Slučování jader (řízení v TOKAMAKU;  $10^6$  K)



$$E_n = E_{\text{He}} - E_{\text{H}} =$$

$$= 4.7 - 4.1 = 28 - 4 =$$

$$E_n = \underline{\underline{24 \text{ MeV}}}$$

Př 1g těžkého vodíku (asi 4,5 l za normálních podmínek) by uvolnil energii:

$$\text{látkové množství (H}_2) \quad n = 0,25 \text{ mol} \quad \text{Avogadrovo číslo } N_A \cdot n = 6 \cdot 10^{23} \cdot 0,25 = 1,5 \cdot 10^{23} \text{ molekul}$$

$$E = 1,5 \cdot 10^{23} \cdot E_n = 1,5 \cdot 10^{23} \cdot 24 \text{ MeV} = 36 \cdot 10^{29} \text{ eV} = 36 \cdot 10^{29} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} =$$

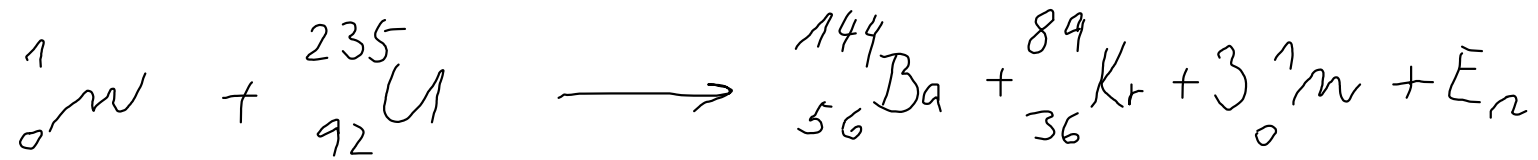
$$= 57,6 \cdot 10^{10} \text{ J} = \underline{\underline{576 \text{ GJ}}}. \text{ Přitom roční spotřeba křepa}$$

jedné domácnosti činí asi 30 GJ (sazba).

Tato energie by stačila na ohřev vody a vytápění pro jednu domácnost asi na **19** let - a ještě by člověk si mohl kiliem nafouknout balóněk.



1) Přepnutí těžkých jader

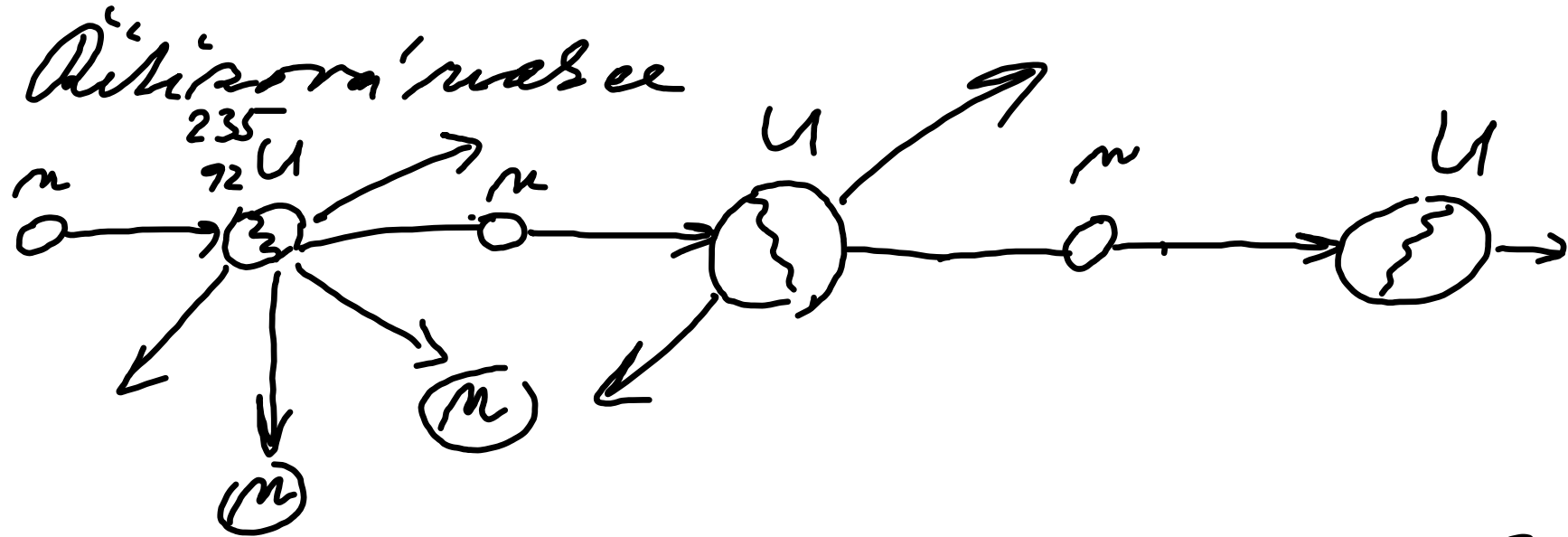


$$E_r = 200 \text{ MeV}$$

... neutrony musí mít určitou rychlost

(kritická množství ... 44,5 kg ...  $d = 16,8 \text{ cm}$   
- nepřetahuje ani moderátor)

moderátor ... zpomalováč rychlých neutronů



$k$  ... střední počet uvolněných neutronů

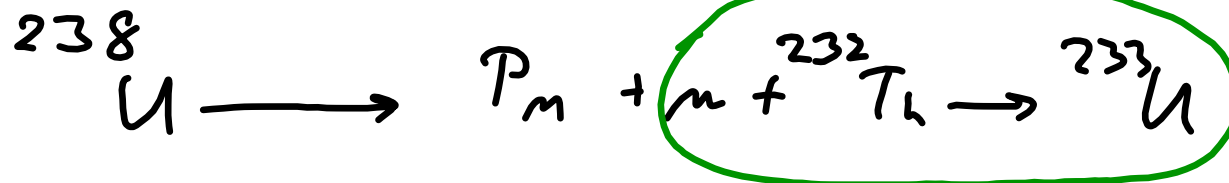
$k > 1$  ... rostoucí reakce

$k < 1$  ... vyhasínání reakce

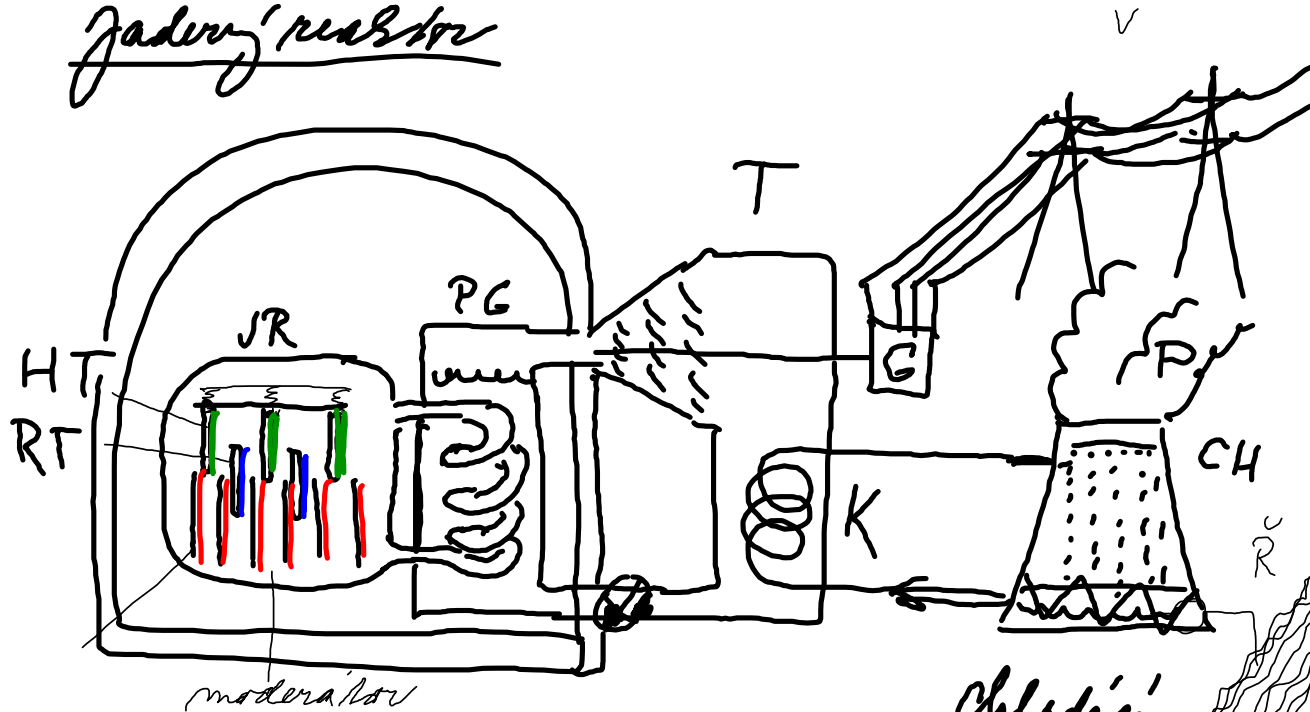
$k = 1$  ... stacionární průběh

Antisov' reake m'is' p'ob'it'at ;  
 $^{235}\text{U}$  (da' se p'is'it)  $^{233}\text{U}$   $^{239}\text{Pu}$   $^{241}\text{Pu}$

dat's' p'ol'no oz'ar'ov'ani'



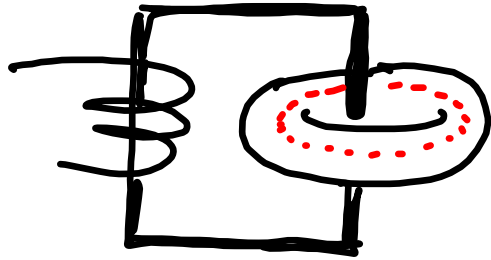
Jaderný reaktor



- P**alivové **R**egulační a **H**avarijní **T**ýče  
**JR** jaderný reaktor  
**PG** parní generátor  
**T** turbína  
**G** generátor stříd. proudu  
**P** pára z chladících věží  
**K** kondenzátor  
**CH** chladící věž  
**V** el. vedení  
**R** řeka (báň, řeka, kterým proudí voda)

( 5g  $UO_2$  nahradí 850 kg čern. uhlí )

Tosama



## Prákovy račování při jad. reakcích

Prákov. račon. - fyzikální

- hmotnosti a energie

- el. náboje

- počet nukleonů

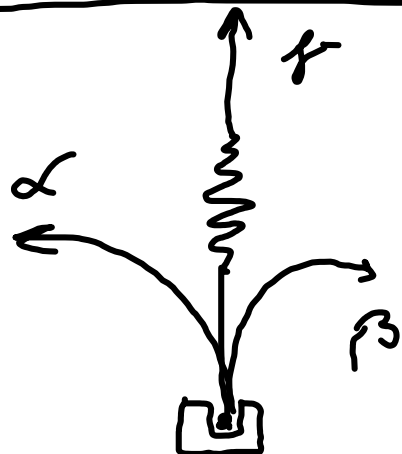


Radioaktivita (přirozená; umělá)

- je schopnost vysílat záření (radioakt. zář.)

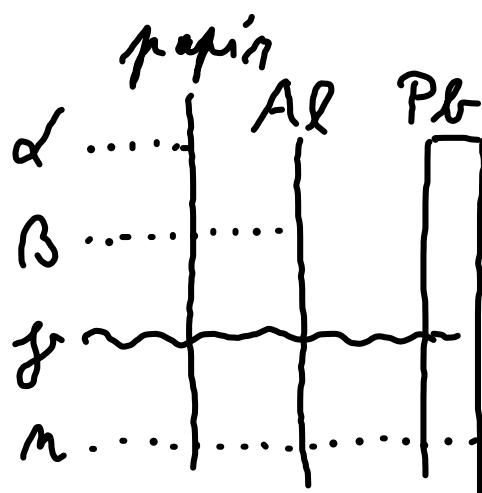
17. 2. ↓ 20

# Radioaktivita (přirození, umělá)



- schopnost vyžít záření  
(obj. r. 1896)

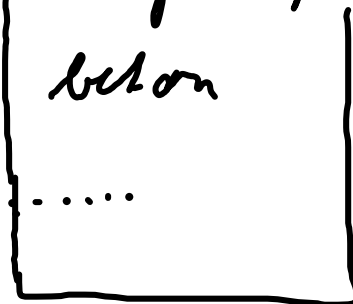
záření je pronikavé a má  
ionizační schopnosti



$\alpha$ : proud helionů:  ${}^4_2\text{He}$  (2-8 MeV)

$\beta$ : proud elektronů ( $\beta^+$ ,  $\beta^-$ )

$\gamma$ : proud fotonů vysoké energ.



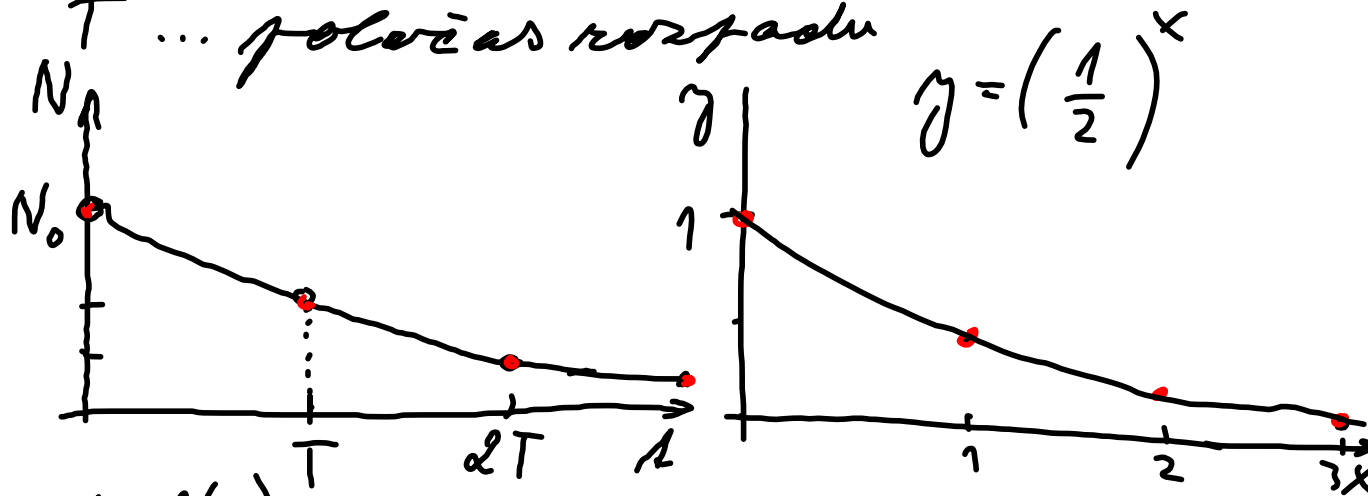


## Časový průběh rad. přeměny

aktivita osu.  $A$ ; jednotka  $[A] = Bq = s^{-1}$

$A$  ... počet rozpadů za 1s

$T$  ... poločas rozpadu



$$N = f(t)$$

$$\gamma = \left(\frac{1}{2}\right)^x$$

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{t}{T} \ln\left(\frac{1}{2}\right)}$$

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{t}{T} \cdot \ln \frac{1}{2}}$$

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{t}{T} \cdot (-\ln 2)}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

---


$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$


---

$$\frac{\ln 2}{T} = \lambda \quad \dots \text{rozpadová} \\ \text{konstanta}$$

Př Za jak dlouho se aktivita radonu  
půjde na 1% pův. hodnoty?  
( $^{222}\text{Rn}$ ;  $T = 3,82$  dne)

včasak ...  $A = \frac{A_0}{100}$

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$\frac{A_0}{100} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

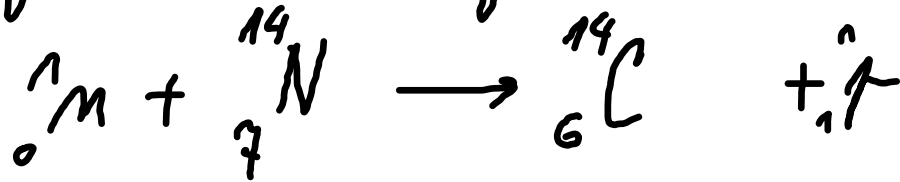
$$0,01 = e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$\ln 0,01 = -\frac{\ln 2}{T} \cdot t$$

$$t = -\frac{\ln 0,01}{\ln 2} \cdot T = -\frac{\ln 0,01}{\ln 2} \cdot 3,82 = 25,38 \text{ dn} =$$

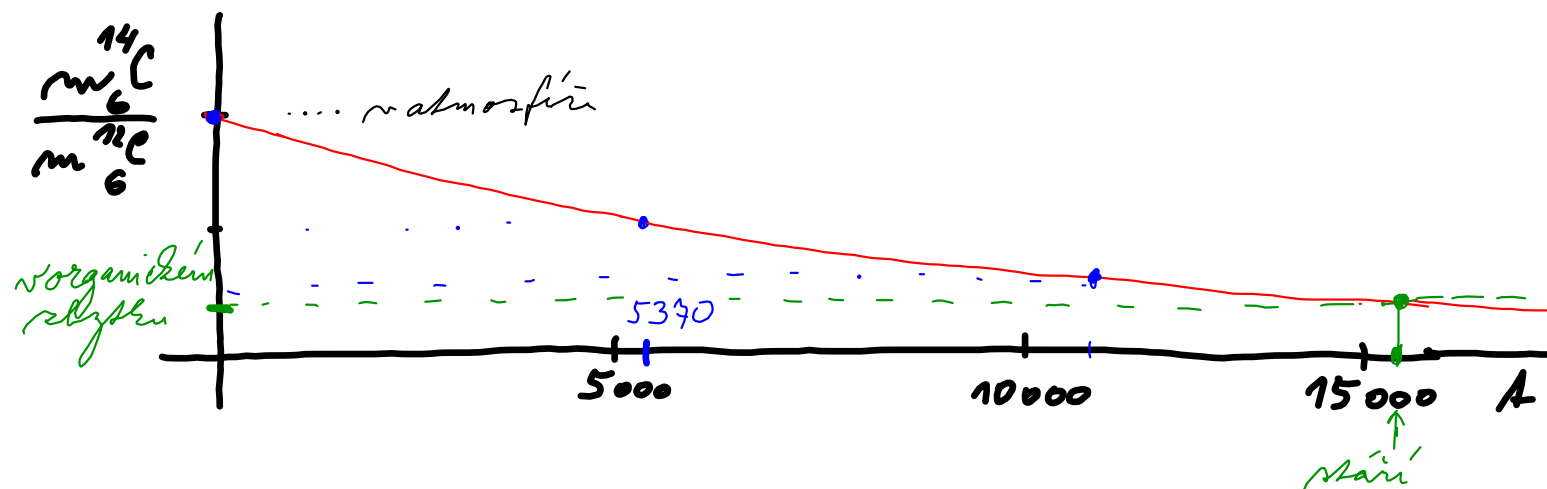
$$= \underline{\underline{25 \text{ dn} \ 9 \text{ h} \ 6 \text{ min} \ 31 \text{ s}}}$$

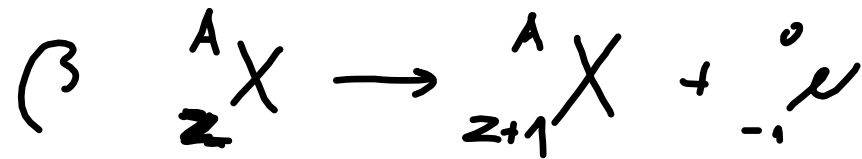
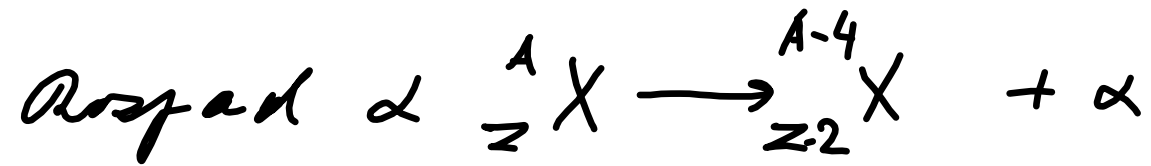
jaderné hodiny



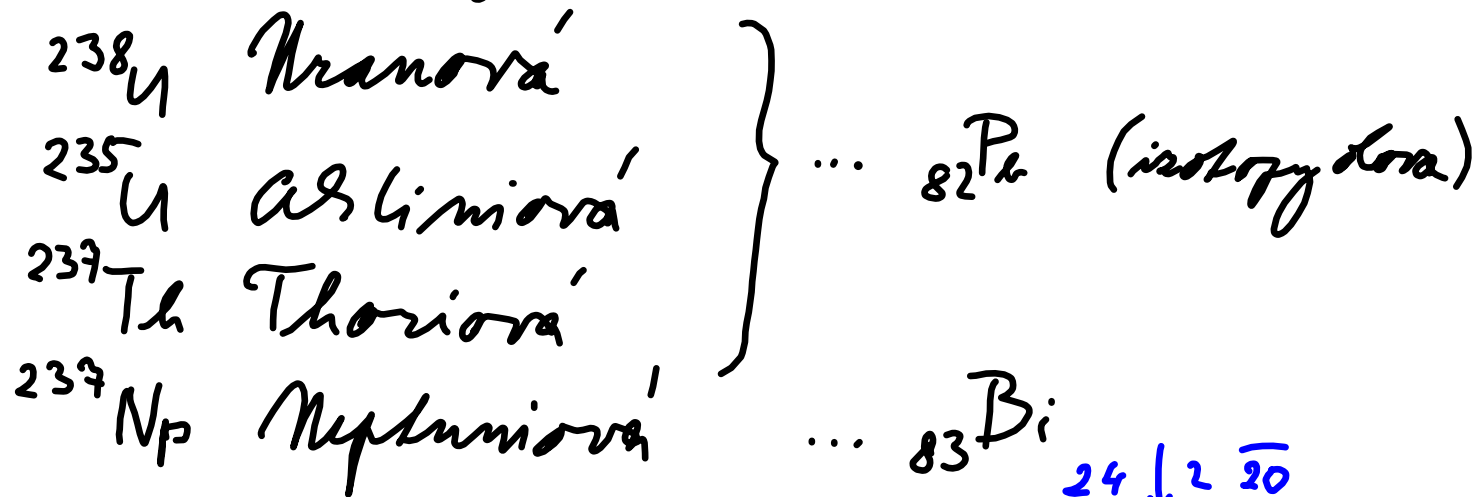
- využívají radioaktivní uhlík, který vzniká v atmosféře a dostává se do živých organismů. Po smrti se jeho množství přestane doplňovat a v důsledku radioaktivního rozpadu klesá.

${}^{14}_6\text{C}$  ... radioakt. uhlík ...  $T = 5370$  roků





rozpadové řady:



$24 \downarrow 2 \overline{20}$

přísti porička  $\gamma$ -jaderou energetiku

## Využití radionuklidů

- pohlcení záření - defektologie, měření tloušťky
- změna po osázení - změna barvy, mechanických vlastností
- v medicíně - osi. nádorů, sterilizace míst.
  - sledování průtoku krve
- značkové atomy
- využití septa jaderných reakcí

Nebezpečí - poškození oka, kožní dřev (namáčení krevními buňkami, namáčení genetické informace)

vii jaderných haváriích - reaktorích  
jsou nebezpečné radioaktivní izotopy

jód ( $^{131}$ )  $T = 8$  dní

cesium ( $^{137}$ ) 30 let (podobné jádro draslík)

stroncium ( $^{90}$ ) 28 let (podobné vápník)

absorbované radioaktivním organismem udává  
relativní dávku

:

## Elementárne častice

jeon

• (5. stol. p. n. l. - ant. Gréci)

atomy

• objev elektrónu (Thomson 1897)

objev atomového jadra (Rutherford 1911)

elektróny a protóny  
(i v jadre)

objev neutrónu (Chadwick 1932)

protóny, neutróny  
elektróny

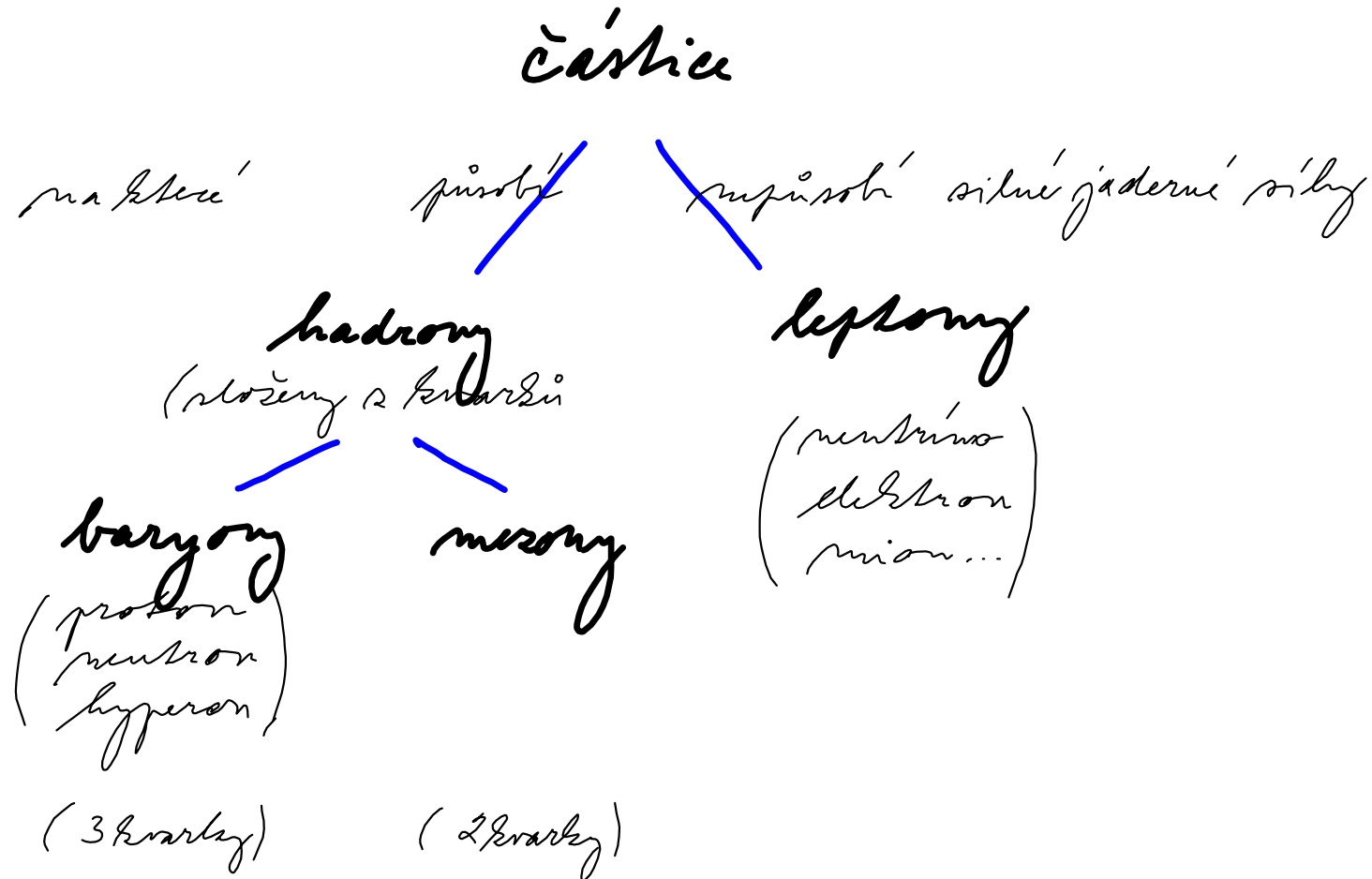
Prostoucími technickými <sup>viz fyzikálne</sup> možnosťami rastie počet „elementárných častíc“

• objev kvarků (Jerome Friedman  
nobelova cena za F 1990)

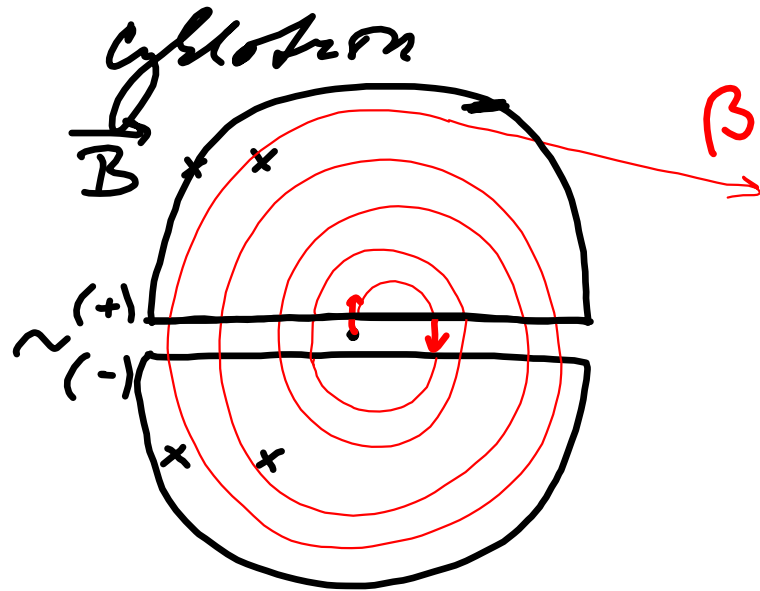
kvarky a leptóny



# Dělení částic



Elementární částice  
Fyzikální interakce  
Struktura mikrosvěta  
(Struktura makrosvěta)  
... o vesmíru, o vytvoření hvězd

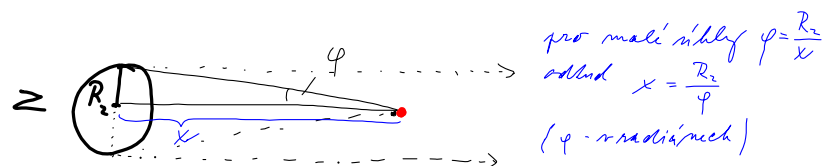


## Astrofyzika (úvod)

Vzdálenosti (ve Sluneční soust.)

1 AU ... astronomická jednotka ( $1 \text{ AU} = 150\,000\,000 \text{ km}$ )  
(střední vzdálenost Země - Slunce)

děrná paralaxa - úhel, pod kterým vidíme poloměr Země ze vzdálenosti  $x$



roční paralaxa



1 pc ... parsek ... ( $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ ly}$ )

1 pc je vzdálenost, ze které je vidět jedna astronomická jednotka pod úhlem  $1''$  (jedna oblouková oblouk)

$1 \text{ pc} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} \approx 2,06 \cdot 10^5 \text{ AU} \approx 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} = 4,2 \text{ ly}$   
paralaxy hvězda jsou obr. do  $1''$  ( $\varphi < 1''$ ) měřící vzd.

njbližší hvězda Proxima Centauri

$\varphi = 0,722''$  vzdál. 1,3 pc

Domácí roční paralaxy jsou měřitelné vzdálenosti asi do 50 pc.

Větší vzdálenosti se měří ze vzdálených hvězd.

## Hmotnosti hvězd (☉ ... Slunce)

$$M_{\odot}: \quad \left. \begin{aligned} F_i &= \alpha \frac{M_{\odot} m}{r^2} \\ F_c &= m \frac{v^2}{r} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{m v^2}{r} = \alpha \frac{M_{\odot} m}{r^2}$$

$$M_{\odot} = \frac{r \cdot v^2}{\alpha}$$

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2}{\alpha} \cdot \frac{r^3}{T^2}$$

$$\underline{M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}}$$

(poloměr dráhy)

AU



$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

→ (doba oběhu)

Podobně můžeme vypočítat hmotnost Země (z oběhu Měsíce).

Hvězdná velikost (magnituda) viz VIII A  
2011/12

$m \dots 1 \text{ až } 6$

$$m_A - m_B = -2,5 \cdot \log \frac{\Phi_A}{\Phi_B}$$

$\Phi \dots$  zářivost  
přes plošnou

absolutní hvězdná velikost (Slunce:  $-26,8^m$ )  
 $\dots$  v případě  
na vzdál. 10 pc  
(Slunce:  $4,7^M$ )

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log r$$

$$\left. \begin{array}{l} \lambda \rightarrow T \rightarrow M \\ \quad \quad m \end{array} \right\} \Rightarrow r$$

## Žáření hvězd a hustota hvězd

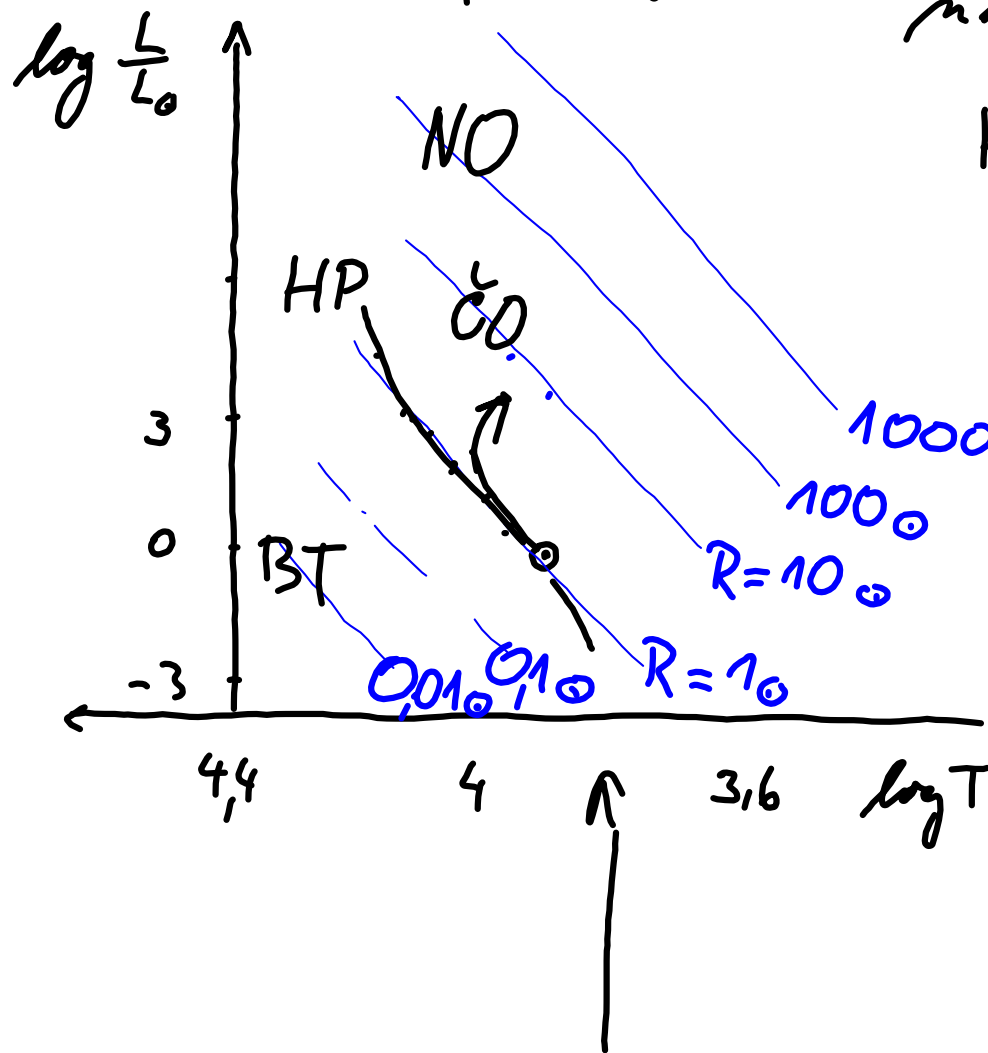
$$L = 4\pi R^2 \cdot \frac{\Phi_e}{S} \quad \begin{array}{l} \Phi_e \dots \text{zář. } \rho_{\text{hv}} \\ L \dots \text{žář. hvězdy} \end{array}$$

$M_e \dots$  intenzita záření

$$M_e = \sigma T^4$$

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

Staroný diagram závislosti rávinného rytkom na rychlosti (log. stupnice)



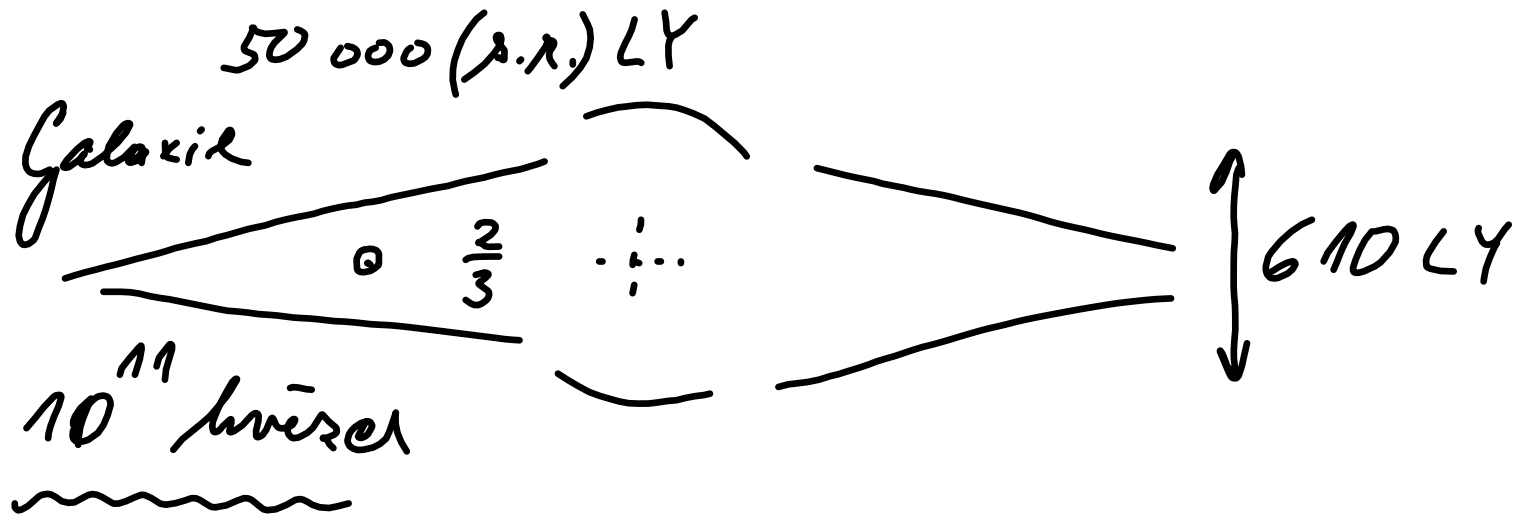
HP... hlavní posloupn.

ČO... červení obří

NO... mladobří

BT... bílí trpaslíci





mlčejší galaxie (jako mlčejší obrazy)

mlčejší skupiny galaxií (asi 30)

krupy galaxie

nadkrupy galaxií (přijomná hvězdná vlákna)

— ... 10 Mpc ... homogenní, izotropní

