1

Fyzika

slunce - země |
$1\,AU = 1{,}496 \cdot 10^{?}$ km

10^{-12}	10^{-9} nm	10^{-6} μm	10^{-3} 1mm	1m	10^{3} 1km	10^{6}	10^{9}	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}
		struktury na čipu	blech písek	pes	město pulsar	10^7 země	slunce ($d = 1{,}4 \cdot 10^9$)	soustava	vzdálenost hvězd		30 kpc
		mikroskop		metr							

400 - 700 nm = λ světla

$1\,\text{Å} = 10^{-10}$ m angstrem - atom

10^{-15}

1 fm (= 1 fermi) jádro atomu
el. mikroskop, STM (10^{-10})

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
rok $= 3 \cdot 10^7$ s
1 ly $= 9{,}46 \cdot 10^{15}$
(light year)

1 pc (par sek) = 3,26 ly
úhlová vteřina

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} = E = \frac{hc}{\lambda}$$
$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Js
$c = 299792458$ km/s

$$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}\,\text{Jm}}{\lambda} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-6}\,\text{eV}}{\lambda}$$

(el. Volt)

$$= 1{,}2\ \text{GeV} \cdot \frac{1\,\text{fm}}{\lambda}$$

dnes max energie 14 TeV $\sim 10^{-18}$ m
odhad dolní meze:

STR : $c = 3 \cdot 10^8\ \text{ms}^{-1}$
QT = $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Js $= 6{,}6 \cdot 10^{-34}\ \text{kg}\,\text{m}^2\text{s}^{-1}$
OTR : $\varkappa = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{Nkg}^{-2}\text{m}^2 = \text{kg}^{-1}\text{m}^3\text{s}^{-2}$

$$\sqrt{\left[\frac{h \cdot \varkappa}{c^3}\right]} = [m] = l_{PL}$$ Planckova délka $\approx 10^{-34}$ m

„základní kosmologický experiment – v noci je tma“

„kdy ste byli procesor“

10^{21} 30 kps – galaxie (hvězdy dle spekter → magnituda – svítivost)

10^{24} 30 Mps

1 Mps – M31 – nejbližší galaxie

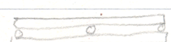
10^{26} 10 miliard ly velký třesk → dál nevidíme

podle periody pulsujících hvězd v galaxiích

2. přednáška

průměr vlasu

- mikrometrem
- interferencí
- namotat na tužku
- „pážou“
- mikroskopem
- difrakcí (použít laserem)
- zvážit (z hustoty)
- el. odpor ???
- průměr copu
- kondenzátory
- z pružnosti
- z objemu (copu)
- zvětšovat na kopírce
- naskenovat a zvětšit (50 mikro mm)



dpi = depth per inch

(2)

Časová škála

1 s - 1 tep (nekvalitní) ping :-)

0,1 s - okamžik

10^{-3} s - 1 ms - perioda 1 kHz (časové znamení), (kvalitní) ping, odezva LCD

10^{-6} s - 1 μs - střední vlny 1 MHz

10^{-9} s - 1 ns - takt procesoru (30 cm světlo)

10^{-15} s - 1 fs - $\lambda = ct = 3 \cdot 10^{8} \cdot 10^{-15} = 30$ nm (UV) $E \sim eV$

10^{-18} s - keV (RTG záření)

10^{-21} s - MeV (γ záření)

10^{-24} s - $c \cdot T = 3 \cdot 10^{-16}$ čas kdy světlo projde jádro

10^{-43} s - t_{pl} Planckův čas - mez kvantování času

10^{3} s ~ 15 minut přestávka :-)

10^{5} s ~ den

10^{6} s — 1 rok

10^{9} s - 1 generace (kousek za tvůj život)

— civilizace (1000 let)

10^{12} s

- milion let (homo sapiens + předchůdci)

10^{15} s - dinosauři

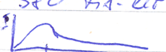
- miliarda let (vesmír 13,7 ± 0,2 mld)

10^{18} s

Nobelova cena 2006 J.C. Mather, G.F. Smoot

velký třesk (pak vesmír: [illegible] ~ záření (přepočteno na hmotu)

- 380 tis. let $T \sim 3000$ K (začal být průzračný)



λ_{max} λ

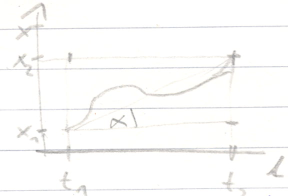
$\lambda_{max} \cdot T = k = 2{,}7$ K

záření nemůže být izotropní -> nezáří stejně (vesmír není homogenní) ... rozdíly na 10^{-5}

potvrdila sonda WMAP

Pohyb (kinematika)

„jeďte za zákazníkem ... ekvijeme se koukli windows ...
aby ste tam zmačkli CTRL ALT DELETE“



$\vec{v}_x = \frac{x_1 - x_2}{t_2 - t_1}$ průměrná

$= tg\,\alpha$

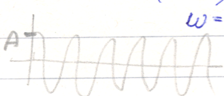
v_x = směrnice tečny $= \frac{dx}{dt}$

př. $x = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}a\frac{d(t^2)}{dt} = at$

př. $x = A\cdot\cos(\omega t)$ $\qquad v_x = \frac{dx}{dt}\left[A\cos(\omega t)\right] = A(-\sin(\omega t)\cdot\omega)$

$= -A\omega\sin(\omega t)$

$\omega = 2\pi f \Rightarrow A\cdot\cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$



$v_x = \frac{dx}{dt} = -r\omega\sin(\omega t)$

$v_y = \frac{dy}{dt} = r\omega\cos(\omega t)$

rychlost ~~...~~ zvuku

$l = 6{,}2\,m$ $\qquad v = l/t$

$t = 18{,}6\cdot10^{-3}\,s$ $\qquad v = 333{,}3\,m/s$

morální naučení: bacha na přesnost

$v \doteq \frac{\partial v}{\partial l}\Delta l + \frac{\partial v}{\partial t}\Delta t = \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{l}{t}\right)\Delta l + \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{l}{t}\right)\Delta t = \frac{1}{t}\Delta l + l\left(-\frac{1}{t^2}\right)\Delta t$

$\boxed{\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta t}{t}}$ $\qquad v = \frac{1}{t}\Delta l - l\,\frac{\Delta t}{\Delta t}$

③

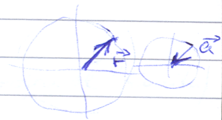
zrychlení – jak rychle se mění rychlost

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -r\omega \frac{d}{dt}[\sin \omega t] = -r\omega^2 \cancel{\sin} \cos(\omega t)$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = r\omega \frac{d}{dt}[\cos \omega t] = -r\omega^2 \sin(\omega t)$$

$x = r\cos(\omega t)$ => $a_x = -\omega^2 x$, $a_y = -\omega^2 y$ } $\vec{a} = -\omega^2 \vec{r}$, $a = \omega r^2$

$\vec{r} = (x, y)$ $\vec{a} = (a_x, a_y)$



$\omega r = v$ => $a = \frac{v^2}{r}$ $F = ma$ => $F = mr\omega^2 = \frac{mv^2}{r}$

5

Kmity

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \qquad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= A_1 \sin(\omega t) \\ x_2 &= A_2 \cos(\omega t) \end{aligned}\right\} \text{2 nezávislé řešení}$$

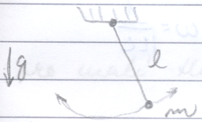
x_1 – na začátku nulová výchylka, rychlost nenulová

x_2 – je pružina natažená, rychlost nulová

obecné řešení: $x(t) = A_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(\omega t)$

– když se zderivuje – vyjde to (rovnice (kmitu) je lineární

Kyvadlo (matematické)



$T = ?$

T závisí na ...

t 0,85 s ($\ell/4$) ~~počáteční výchylce~~ – φ_0 (ale slabě)

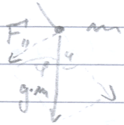
t = 1,71 s (matička) délka závěsu ℓ [m]

t = 1,71 s (+40kč) => ~~hmotnost m~~

1,7 s extrémní výchylka grav. zrychlení g [m/s^2]

$\frac{\ell}{g}$ ... [s^2] $\rightarrow$ $T \sim \sqrt{\frac{\ell}{g}}$

pořádně (skoro):



$F_\parallel = mg \cdot \sin\varphi \qquad ma = F$

s časem se mění $\varphi(t)$

$s = \ell \cdot \varphi$ (φ v rad) ... délka oblouku

$v_\parallel = \frac{ds}{dt} = \ell \frac{d\varphi}{dt}$

$a_\parallel = \frac{dv_\parallel}{dt} = \ell \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

$$F = ma = \cancel{m}\ell \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mg\sin\varphi = F_\parallel$$

$$\boxed{\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{\ell}\sin\varphi = 0}$$

pro malé výchylky: $\sin\varphi = \varphi$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{\ell}\varphi = 0$$

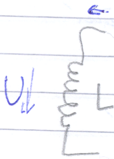
$$2\pi f = \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\ell$

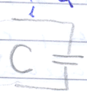
$\left.\begin{aligned}\ell &= 0{,}765\ m \\ T &= 1{,}71\end{aligned}\right\} \Rightarrow$

$g = 10{,}4\ ms^{-2}$:-)

Elektrický oscilační obvod
(cívka a kondík) L  C



$$U_L = -L\frac{di}{dt}$$



$$Q = C\,U_c$$

$$i = -\frac{dQ}{dt} = -C\frac{dU_c}{dt}$$

$$U_L + U_c = 0 = U$$

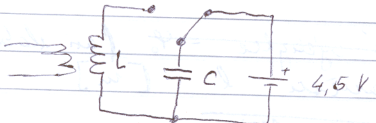
$$-L\frac{di}{dt} + U_c = 0$$

$$-L\frac{d}{dt}\left(-C\frac{dU_c}{dt}\right) + U_c = 0 \Rightarrow LC\frac{d^2U_c}{dt^2} + U_c = 0$$

$$\boxed{\frac{d^2U_c}{dt^2} + \frac{U_c}{LC} = 0}$$

$$U = U_0 \sin\omega t \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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



$$L = 5{,}3\cdot 10^{-2}\,H$$

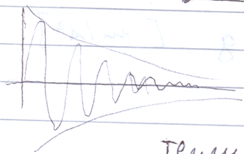
$$C = 4{,}7\cdot 10^{-8}\,F$$

$$LC \doteq 25\cdot 10^{-10}$$

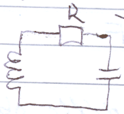
$$\sqrt{LC} \doteq 5\cdot 10^{-5}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \doteq 2\cdot 10^{4}\,s^{-1}$$

$$f \doteq 3\,kHz$$



Tlumené kmity



odpor drátu

$$u_L + u_C + u_R = 0$$

$$u_L = -L\frac{dI}{dt}$$

$$u_C = \frac{Q}{C} = -\frac{1}{C}\int I\,dt \Rightarrow \boxed{I = -C\frac{du_c}{dt}}$$

$$u_R = -RI$$

$$-L\frac{dI}{dt} - RI + u_C = 0$$

$$LC\frac{d^2u_c}{dt^2} + RC\frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

kvadratickou rovnici umí řešit každej .... .. každej.

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{du_c}{dt} + \overset{\omega_0^2}{\frac{1}{LC}}u_c = 0$$

→ tam není když $R = 0$ ⇒ bez ztrát

⇒ netlumené kmity

obecně rovnice:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

$$x = x(t) = ?$$

$x = Ae^{\alpha t}$

$dx = Ae^{\alpha t}\cdot\alpha$

$d^2x = Ae^{\alpha t}\alpha^2$

→ $\alpha^2 A e^{\alpha t} + 2\delta\alpha A e^{\alpha t} + \omega_0^2 A e^{\alpha t} = 0$

$$\boxed{\alpha^2 + 2\delta\alpha + \omega_0^2 = 0}$$

charakteristická rovnice

$$\alpha_{1,2} = \frac{-2\delta \pm 2\sqrt{\delta^2-\omega_0^2}}{2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2-\omega_0^2}$$

pro malé tlumení: (δ malé)

... $\sqrt{-\omega_0^2}$

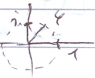
$$\alpha_{1,2} = -\delta \pm i\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}$$

$x_1 = A_1 e^{(-\delta + i\sqrt{\omega_0^2-\delta^2})t}$ $x_2 = A_2 e^{(-\delta - i\sqrt{\omega_0^2-\delta^2})t}$

$\omega = \sqrt{\omega_0^2-\delta^2}$ označení, ale skut. platí

$$x(t) = A_1 e^{-\delta t}e^{-i\omega t} + A_2 e^{-\delta t}e^{-i\omega t}$$

$i^2 = -1$ $e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$



$$x(t) = e^{-\delta t}\left(A_1 e^{i\omega t} + A_2 e^{-i\omega t}\right) =$$

$$= e^{-\delta t}\left[A_1\cos(\omega t) + iA_1\sin(\omega t) + A_2\cos(\omega t) - iA_2\sin(\omega t)\right]$$

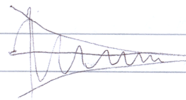
$$= e^{-\delta t}\left[\underbrace{(A_1+A_2)}_{B}\cos(\omega t) + \underbrace{i(A_1-A_2)}_{C}\sin(\omega t)\right]$$

musím chtít $B, C \in R$

$A_1 + A_2 \in R$ $A_1 - A_2 = iD$, $D \in R$

$$= e^{-\delta t}(B\cos(\omega t) + C\sin(\omega t))$$

$$x(t) = De^{-\delta t}\cdot\cos(\omega t + \varphi)$$



disipace energie = něco jí žere

$x = Ae^{-\delta t}\cos(\omega t)$ / Reálná část ...

Q = faktor jakosti = $\dfrac{E \text{ ~~úbytek~~ ztráta}}{E \text{ celkem úbytek}}$

$\boxed{\text{Rezonance}}$

budící frekvence Ω

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = S e^{i\Omega t}$$

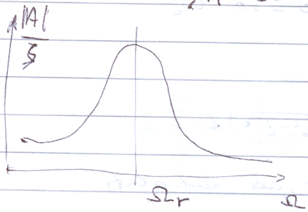
$$x = A e^{i\Omega t}$$

$$\frac{dx}{dt} = i\Omega A e^{i\Omega t}$$

$$\frac{d^2x}{dt} = -\Omega^2 A e^{i\Omega t}$$

$$-\Omega^2 A e^{i\Omega t} + 2\delta i\Omega A e^{i\Omega t} + \omega_0^2 A e^{i\Omega t} = S e^{i\Omega t}$$

$$A(-\Omega^2 + 2\delta i\Omega + \omega_0^2) = S$$



$$A = \frac{S}{\omega_0^2 - \Omega^2 + 2\delta i\Omega}$$

$$|A| = \frac{S}{\sqrt{(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}$$

$$0 = \frac{d}{d\Omega}\left[(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2\right] = 4(\Omega^2 - \omega_0^2)\Omega + 8\delta^2\Omega = 4\Omega(\Omega^2 - \omega^2 + 2\delta^2)$$

$$\Rightarrow \quad \Omega_r^2 = \omega_0^2 - 2\delta^2$$

Gravitace

„poznalo se dál, že přišel a na prostředek katedry položil jablko"

? Proč padá jablko ? (Autentické zápisky)

1, podle Aristotela

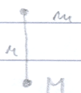
oheň

vzduch — jablko padá, protože je v něm

voda — víc země

země

2, podle Newtona



$$F_g = \varkappa \frac{Mm}{r^2}$$

Newton jablka sledoval, když byl malý →

pak ho napadla analogie s měsícem (něco co ho přitahuje)

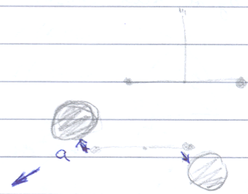
$$g = \frac{\varkappa M}{R^2} \qquad \frac{a_m}{g} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \frac{1}{3600}$$

$$a_m = \frac{1}{3600} \cdot 10 \ ms^{-2}$$

3, měření $\varkappa$

– Cavendishův pokus

$$\varkappa = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \ N\,m^2/kg^2$$

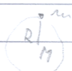


$$ma = F = \varkappa \frac{mM}{r^2}$$

$$a = 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{10}{(0{,}1)^2} = 10^{-7} \ ms^{-2}$$

John Mitchel — zkonstruoval a umřel :-) Cavendish to dodělal

a umřel ... měřil něco s hustotou země



$$g = \frac{\varkappa M}{R^2}$$

$$M = \frac{gR^2}{\varkappa} = \frac{10 \cdot (6{,}4 \cdot 10^6)^2}{6{,}7 \cdot 10^{-11}} = 6{,}4 \cdot 10^{24} \ kg$$

4, Jak silná je gravitace

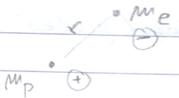
$r = 1{,}5 \cdot 10^{11}$

$M_Z = 6 \cdot 10^{24}$ kg

$M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg

$$F = 6{,}7 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{\cancel{(1{,}5)^2} \cdot 10^{22}} = 4 \cdot 10^{22} \ N$$

jaké silné ocelové lano? asi 10^8 km



$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{e^2}{r^2} \doteq 10^{10}\,\frac{1{,}6^2\cdot(10^{-19})^2}{r^2} \doteq \underbrace{2\cdot 10^{-28}}\left(\frac{1\,\text{m}}{r}\right)^2 N$ (metr)

$F_g = \varkappa\,\frac{m_p m_e}{r^2} \doteq \cancel{6{,}7}\; 0{,}67\cdot 10^{-10}\,\frac{10^{-30}\,2\cdot 10^{-26}}{r^2} = \underbrace{1{,}4\cdot 10^{-66}}\, N \left(\frac{1\,\text{m}}{r}\right)^2$

$\frac{F_g}{F_e} \doteq 10^{-38}$

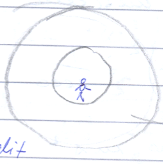
4 interakce

krátký dosah (v jádře) { - silná (drsení jádra pohromadě)
- slabá (β-rozpad)

dlouhý dosah { - elektromagnetická
- gravitační

antičástice mají taky gravitaci → stejnou

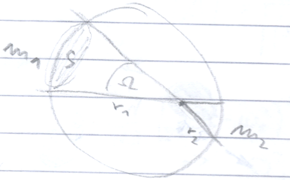
5) důsledky $\frac{1}{r^2}$



koule s dutinou (sférický symetrická)

mezikoulí

- nedalo by se tam chodit



$F_1 = \varkappa\cdot m\,\frac{m_1}{r_1^2} = \varkappa\, m\cdot k\,\frac{r_1^2\,\Omega}{r_1^2}$

(1) $S = r^2\,\Omega$

m_1 úměrné S_1

$F_2 = \varkappa\, m\, \Omega$

- tohle by vyšlo taky

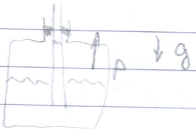
- ⊙ ← • koule přitahuje jako hmotný bod •←•

6) Lze gravitaci zrušit?

Beztížný stav

padající výtah (kabiny sou jen 2, by sme se tam nevyšli

→ takle to je v raketě (volný pád)



Prostor a čas (STR)

Speciální teorie relativity

- měřit ⊢ tyč na měření ~~délky~~ } všechno ideální
  hodiny
- soustava souřadnic (nejlépe kartézská)

? vůči čemu měřit pohyb? (IS)

soustavy: nerotují a nezrychlují — inerciální soustavy (systém)

(platí 1. Newtonův zákon $F = 0 \Rightarrow \vec{v} = konst$)

? který IS vybrat

Newton: absolutní prostor — nehybný

absolutní čas — stále stejně rychlý

Galilei: mechan. pokusy nerozlišíme IS

? rozlišíme nějak?

optické: (?) proužky světla · difrakce

světlo — vlnění ... ale čeho

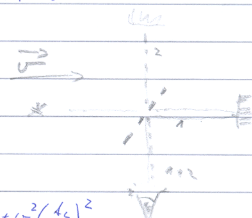
vlnění ~~éther~~ éteru

dala by se měřit $v^{Země}$ vůči éteru

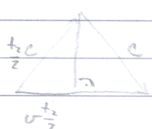
Michelson 1887

Michelson + Morley 1889

Michelsonův interferometr



$$t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = l\frac{2c}{c^2-v^2} = \frac{2l}{c}\,\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$



$$c^2\left(\frac{t_2}{2}\right)^2 = l^2 + v^2\left(\frac{t_2}{2}\right)^2$$

$$t_2 = \frac{2l}{c}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_1 - t_2 = \frac{2l}{c}\,\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)$$

$$\sqrt{1+\varepsilon} \doteq 1 + \frac{\varepsilon}{2}$$

$$\frac{1}{1-\varepsilon} \doteq 1+\varepsilon$$

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

$l = 30\,m$ .... $10^{-15}\,s$

sledoval interference, srovnával se světlem – periody

nic nenaměřil :-) nefunguje, špatná teorie :-)

Lorentz: hypotéza: zkracování l_1 ... snažili se éter zachránit

ale pořád nešlo změřit $v_{Země}$ vůči éteru

Occamova břitva

- kde to není nutné ~~ne~~ přidávat další předpoklady
- éter se nedá najít → je zbytečný ... adios...

Einstein: (1905)

postuláty: • IS jsou rovnoprávné vůči všem experimentům
• konstantní c

vlak na kolejích ... rozšířit ... čas není jeden

transformace

Galilei

$x' = x - vt$

$y' = y$

$z' = z$

$t' = t$

Lorentz

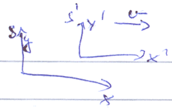
$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$y' = y$

$z' = z$

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

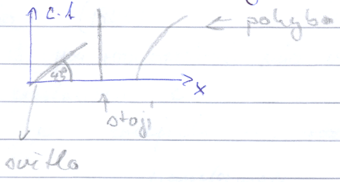
Prostor a čas



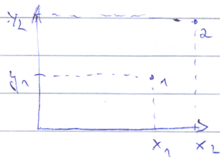
- prostoročas

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

prostoročasové diagramy



„světočáry" = worldline

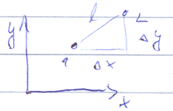


$$(\Delta s)^2 = -c^2(\Delta t)^2 + (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$

(čtyřinterval)

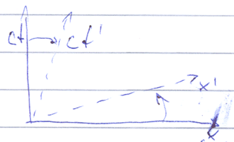
$$(\Delta s')^2 = -c^2(\Delta t')^2 + (\Delta x')^2 + (\Delta y')^2 + (\Delta z')^2 = (\Delta s)^2$$

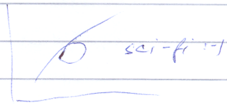
po dosazení:
(vytknu si c^2 ....)



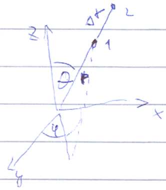
$l^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$ ... tatáž v každé soustavě

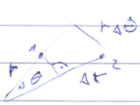
Δs – absolutní, analogie vzdálenosti v prostoročase





$$(\Delta l)^2 = x^2 + y^2 + z^2$$
$$(\Delta l)^2 = (\Delta r^2) + (r\Delta\theta)^2$$





$\Delta s^2 = -c^2(\Delta t)^2 + (\Delta r)^2 + r^2(\Delta\theta)^2$ – STR (bez gravitace)

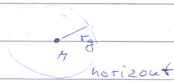
$$(\Delta s)^2 = -c^2\left(1-\frac{r_g}{r}\right)(\Delta t)^2 + \left(\frac{1}{1-\frac{r_g}{r}}\right)(\Delta r)^2 + r^2(\Delta\theta)^2$$ o gravitaci

$r_g = \frac{2\varkappa M}{c^2}$ Schwarzschild) v okolí tělesa … (země, slunce, černé díry)

hodiny: $\Delta\tau = \sqrt{1-\frac{r_g}{r}}\,\Delta t$ když sme daleko $= \Delta t$

když $r_g \to r$ chod hodin se zpomaluje

→ v černé díře se zastaví čas :-)



pryč z horizontu se nedá dostat — foton na horizontu stojí (pohybuje se rychlostí světla ven)

únikova rychlost (2. kosmická) (11,2)

$M \overset{r}{—} m$ $E_p = \frac{-\varkappa M m}{r}$ $E = \frac{1}{2} m v^2$

$$-\frac{\varkappa M m}{r} + \frac{1}{2} m v^2 = E \text{ konst} = 0$$

$$v^2 = 2\frac{\varkappa M}{r} = 1{,}3\cdot 10^8$$

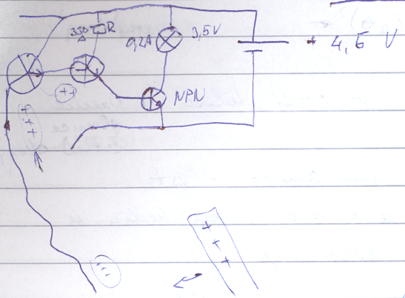
$$v = 1{,}12\cdot 10^4 \text{ m s}$$

hvězda tak těžká, že není vidět (

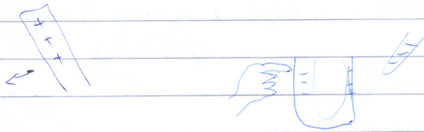
vše s konečnou hustotí dopadající do černé díry dopadne jako nekonečně tenká a nekonečně dlouhá nit

-chce to zkusit nějakou velkou masivní černou díru

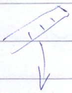
Elektřina



Elektrostatická indukce



nabijeme opačným směrem



Coulombův zákon

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

$Q \cdot \; r \; \cdot q$

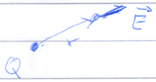
$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^{9} \; N\frac{m^2}{C^2}$$

$$\frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} = c^2$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ $c = 299\,792\,458$ m/s

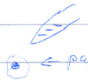
$\frac{1}{r^2}$ – proč?

z pokusů :-)



$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

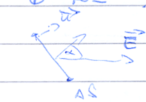
$$\vec{F} = q\vec{E}$$



← papírek

– molekuly se zorientují

Φ tok intenzity plochou (chová se jak voda)



$$\Delta\Phi = E \Delta S \cos\alpha$$
$$= \vec{E} \cdot \vec{n} \cdot \Delta S$$
$$|\vec{n}| = 1$$

$$\left(\frac{\Delta V}{\Delta t} = \Delta S \cdot v \cdot \cos\alpha \right)$$

$$\Phi = \int_S \vec{E}\vec{n}\, dS \qquad \Phi = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0}$$

$$\Phi = \oint_S \vec{E}\vec{n}\, dS = \frac{1}{\varepsilon_0} Q_{uvnitř}$$ – Gaussova věta elektrostatiky

z čeho: 1) $\sim 1/r^2$ přesně

2) princip superpozice

rovnoměrně nabitá koule ... $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2}$ jako hm. bod

uvnitř duté koule $E = 0$ (jako gravitace uvnitř duté planety)