

Magnetická puška



Ladislav Horký

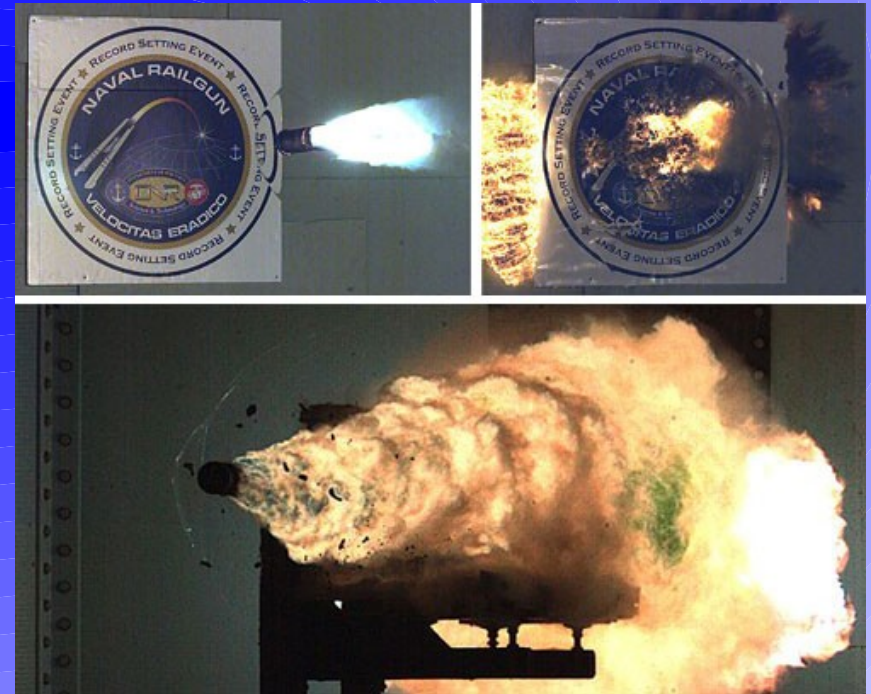
Jakub Kákona

Obsah

- Motivace, cíle
- Typy urychlování
- Důležité pojmy
- Principy, konstrukční problémy, účinnost
- Experimenty
- Civilní využití

Motivace

- Krása problému
- Široká škála využití
- Úspora energie
- Vysoké rychlosti (km/s)

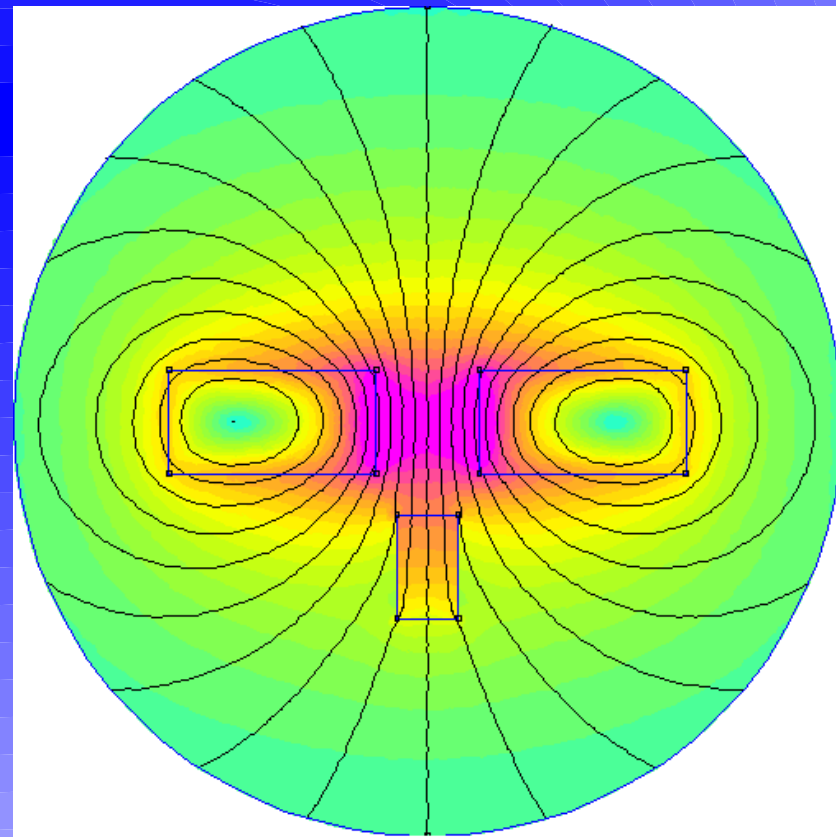
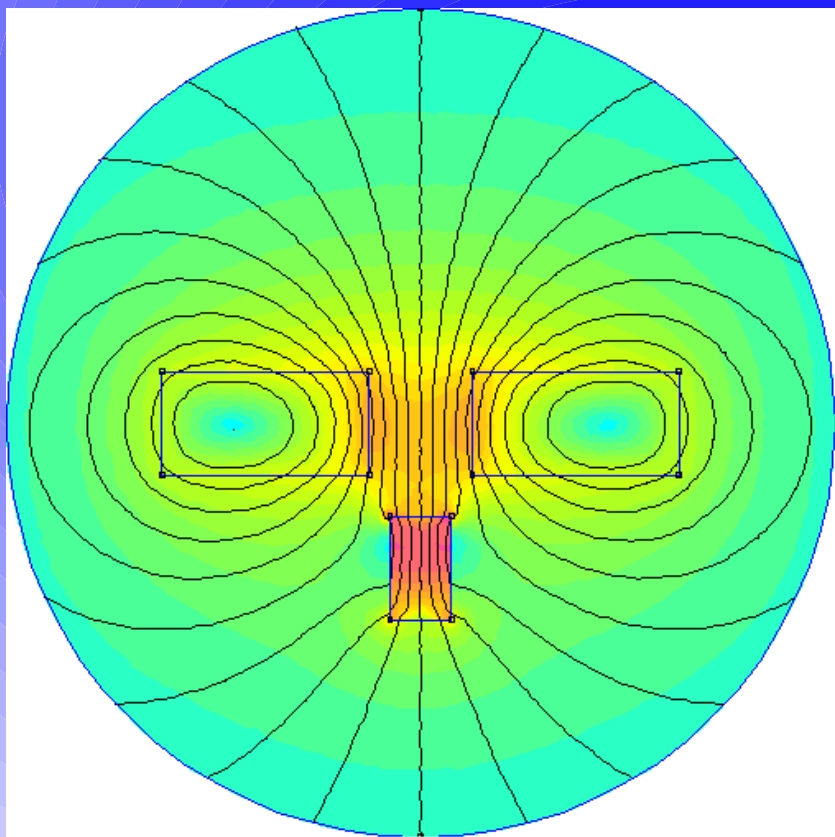


Typy urychlování

- Mechanické (Gaussovo dělo)
- Elektrické kontaktní (Railgun)
- Elektrické bezkontaktní
 - Neindukční
 - Indukční

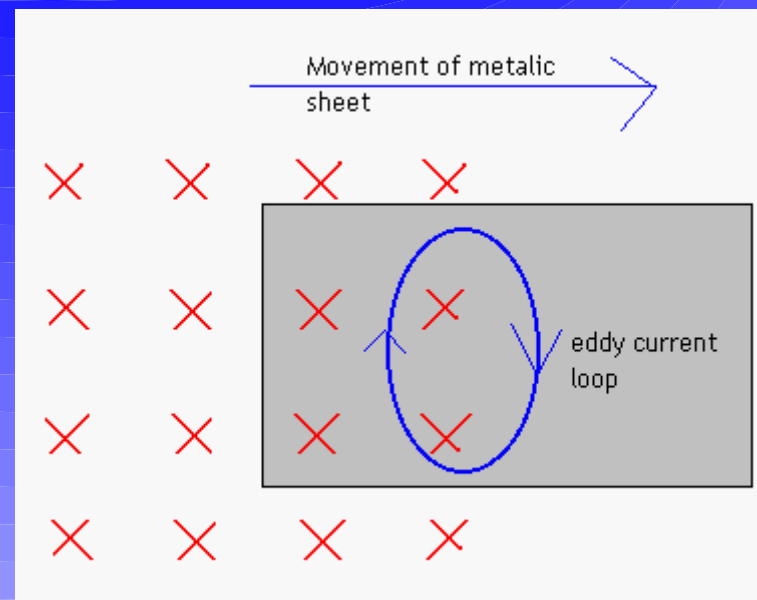
Nasycení

- U feromagnetických materiálů
- S rostoucí intenzitou magnetického pole síla přestává růst
- Pokles relativní permeability
- B-H diagram



Kinetické zbraně, vířivé proudy

- Obecně velká kinetická energie, žádná nálož v projektilu
- Obrovská rychlost (2-10 km/s)
- Velká tvrdost
- Proud se indukuje v čemkoliv, co připomíná uzavřený závit cívky
- Působí proti změně magnetického pole

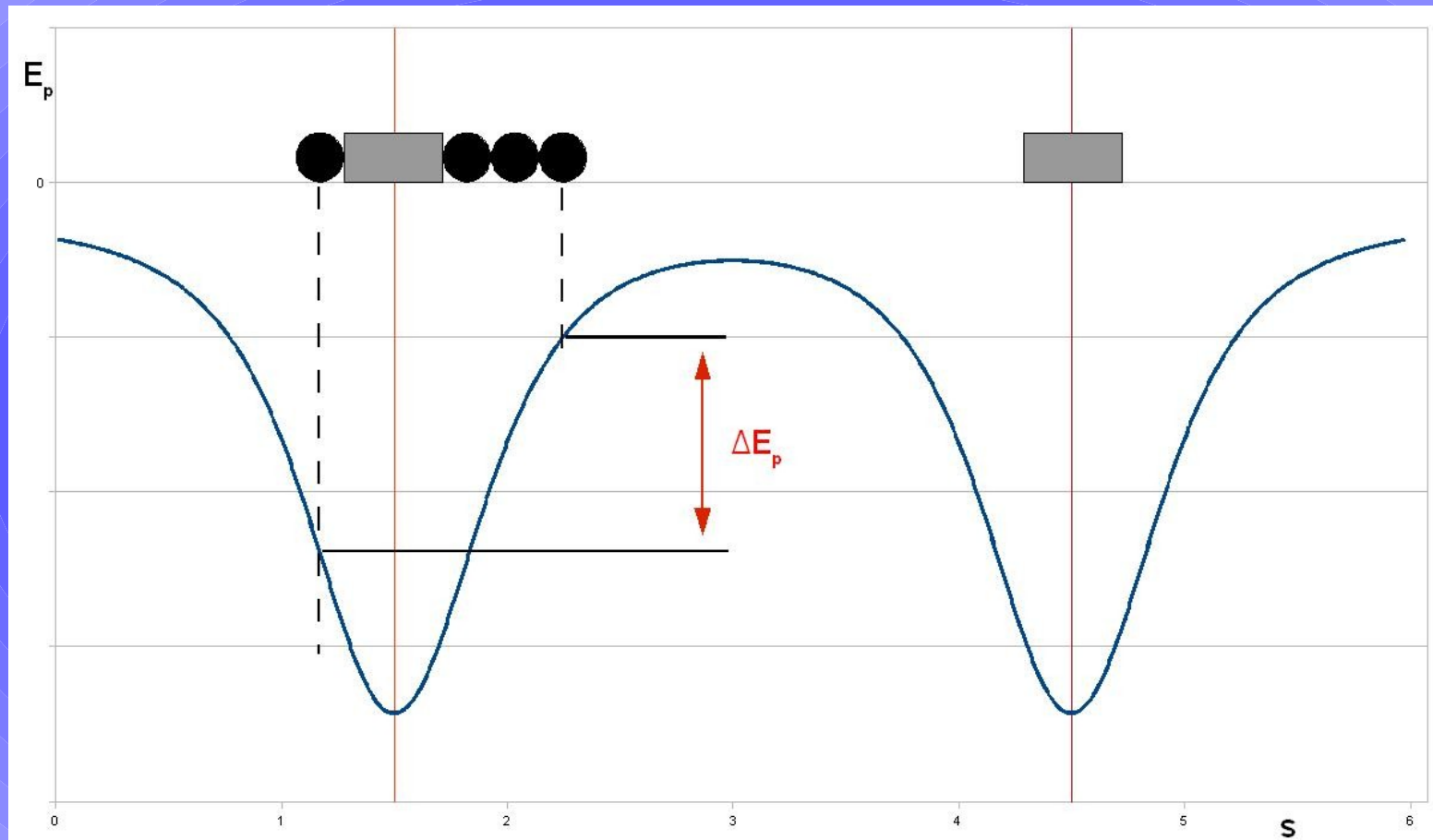


Gaussovo dělo (Gaussgun)

aneb kde vzala kulička tolik energie

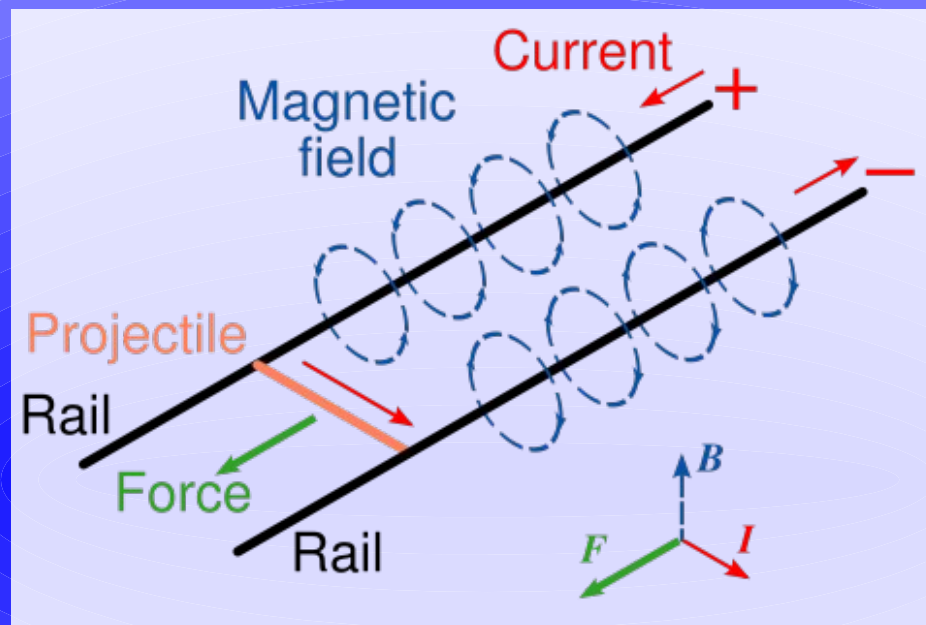
- Princip:
 - Magnet jako potenciálová jáma
 - Gravitační analogie (v 1D)
 - Newtonovo kyvadlo
- Nevýhody:
 - V praxi nepoužitelné
 - Tření, křehkost magnetů

Gaussovo dělo (Gaussgun)



O účinnosti zde nemá moc smysl mluvit.

Railgun



- Jednoduchý lineární urychlovač
- Projektil uzavírá elektrický obvod
- Působí Lorentzova síla $\vec{F} = \vec{B} \times \vec{I} \cdot l$

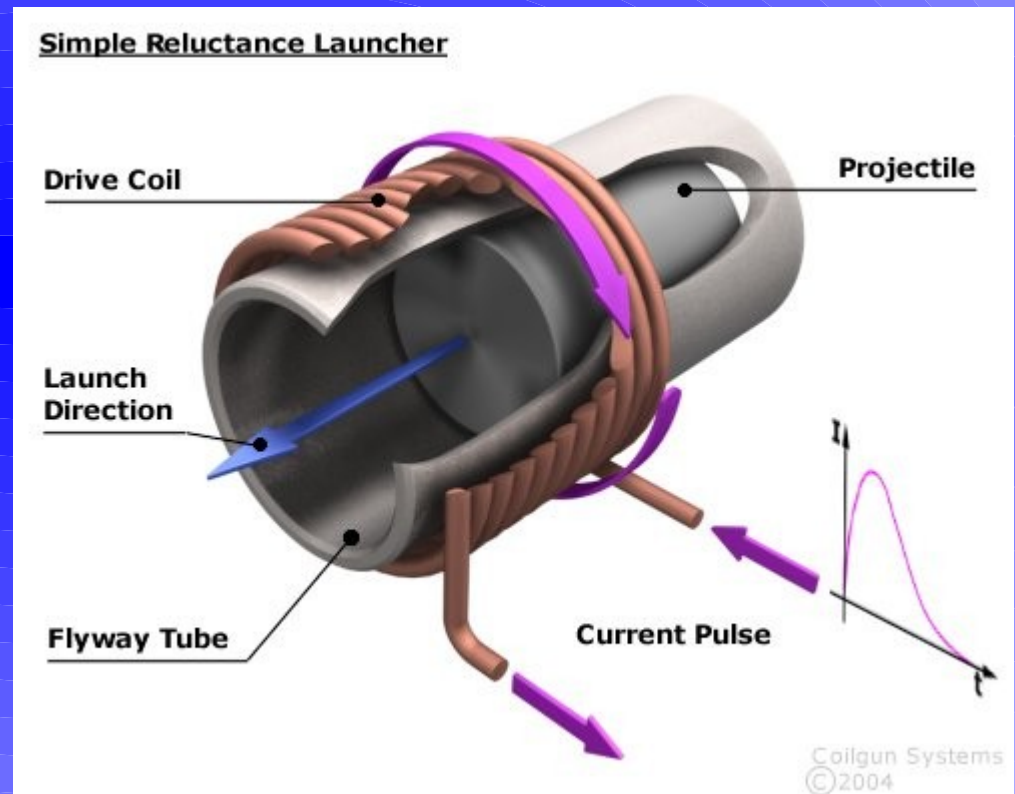
Railgun

- Výhody:
 - Triviální elektronická část
 - Možnost vstřelení projektilu
 - „Čím víc, tím lépe“
- Nevýhody:
 - Kontakt – extrémní oděr
 - Časové opotřebení

- Účinnost:
$$\eta = \left[\frac{\mu}{\pi} \ln \left(\frac{d_{\text{projektil}}}{r_{\text{kolejnice}}} + 1 \right) \right]^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{s}{2m_p}} \frac{U}{R^2}$$

Neindukční urychlovač

- Pulzní urychlovač
- Feromagnetický projektil
- Mag. pole cívky musí zaniknout, když je projektil uprostřed
- Možnost více sekcí (v praxi neúčinné)



Neindukční urychlovač

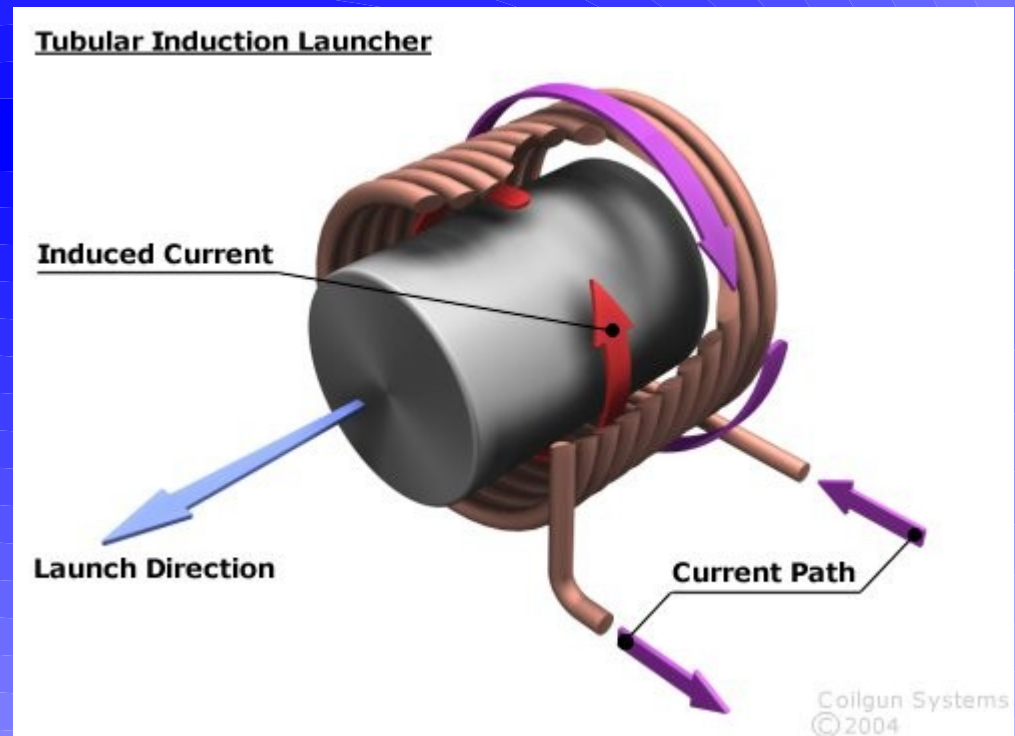
- Výhody:
 - Snadná realizace funkčního prototypu (jeden úsek funguje skvěle – viz odkazy)
- Nevýhody:
 - Těžká teorie, složitá optimalizace (vše je ošklivě nelineární)
 - Citlivé na počáteční podmínky (umístění projektilu)
 - Nutné přesné časování (multi-stage)
 - Nízká maximální teoretická účinnost (tlumení pulzu)

Neindukční urychlovač

- Experimentální údaje:
 - $C = 20 \text{ mF}$ ($\pm 50\%$)
 - $L = 51 \text{ uH}$
 - $m_{\text{projektilu}} = 4,8 \text{ g}$
 - $U_{\text{počáteční}} = 50 \text{ V}$
 - $R_{\text{obvodu}} = ?$ (zlomky Ω)
- R by bylo nutné pro odhad tlumení, bez toho se však lze při experimentu obejít
- Výsledky:
 - $E_{\text{kond}} = 25 \text{ J}$ ($\pm 50\%$)
 - $h = 3,5 \text{ m}$ ($\pm 10\%$)
 - $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 0,165 \text{ J}$ ($\pm 10\%$)
 - **$\eta = 0,37\% - 1,06\%$**
- Jmenovitá kapacita byla 33 mF, skutečnou však lze kvůli stáří kondenzátorů jen odhadovat

Indukční urychlovač

- Projektil – vodivé diamagnetikum nebo zkratovaná cívka
- V projektilu se indukuje proud
- Důležitá je změna magnetického pole (indukce), ne intenzita samotná
- Kratší, ostré pulzy

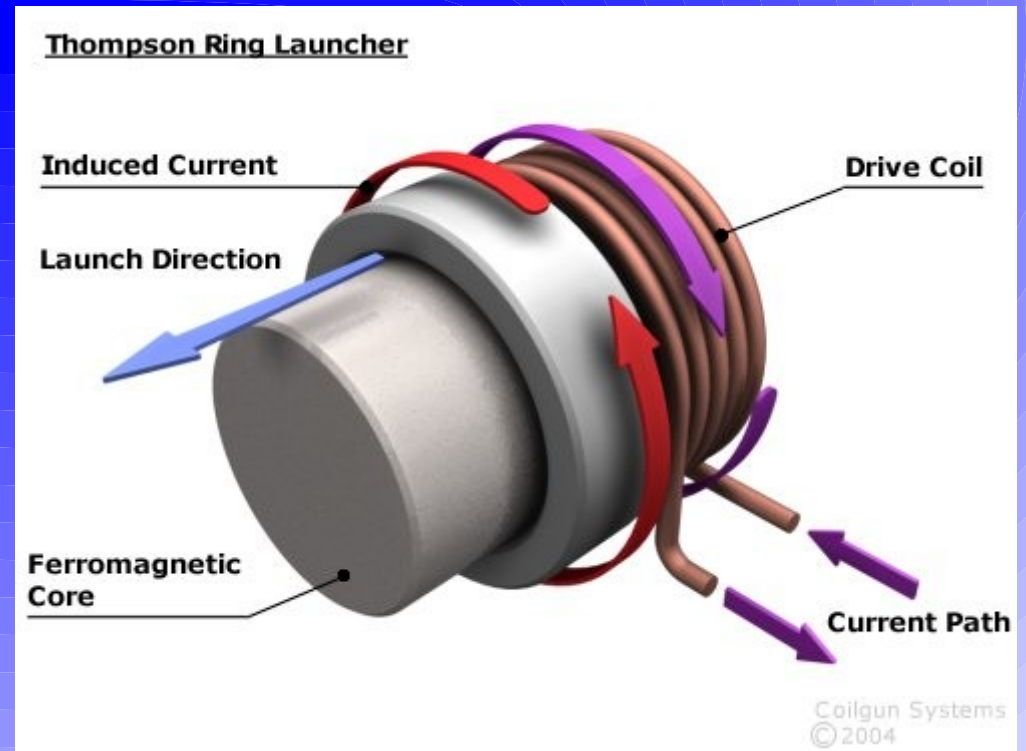
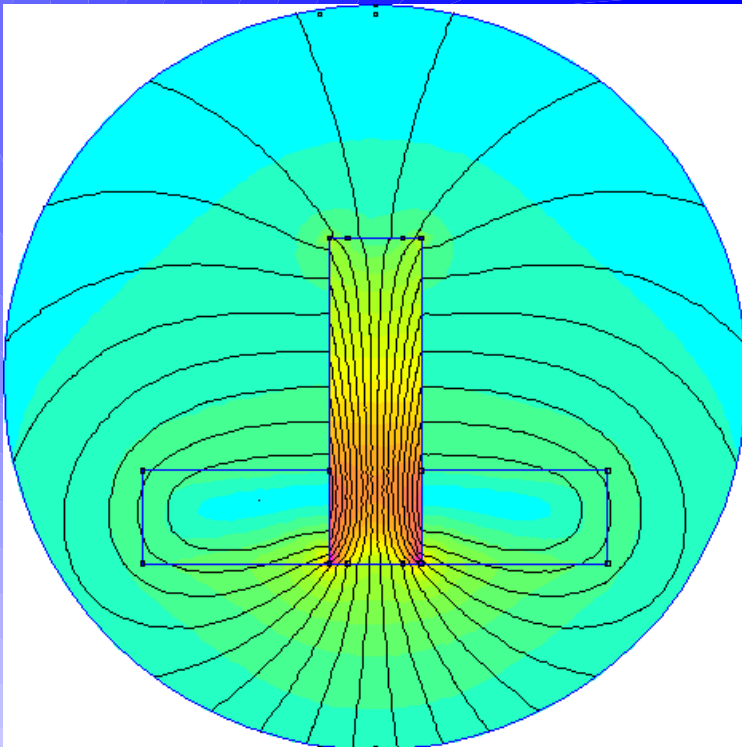


Indukční urychlovač

- Výhody:
 - Relativně jednodušší teorie
 - Ideální pro multi-stage (proud se dá zachovat pro další stupeň)
 - Lépe využitelné v praxi
- Nevýhody:
 - Složitá optimalizace (viz simulace)
 - Nutné velké měřítko

Thompsonův urychlovač

- Zesílení a usměrnění magnetického toku pomocí jádra
- Opět funguje Lorentzova síla
- Jádro musí být málo elektricky vodivé (feritové, páskové)



Thompsonův urychlovač

- Výhody:
 - Střední teoretická náročnost
 - Ideální pro SŠ experimenty
- Nevýhody:
 - Sycení jádra a ztráty v něm (buď velké ztráty, nebo hned nasytí)
 - Při větších proudech se chová jako indukční urychlovač
 - Problémy s více sekcemi (jádro)

Thompsonův urychlovač

- Experimentální údaje:
 - $C = 20 \text{ mF}$ ($\pm 50\%$)
 - L (s jádrem) = 586 uH
 - $m_{\text{projektilu}} = 30,4 \text{ g}$
 - $U_{\text{počáteční}} = 40 \text{ V}$
- Výsledky:
 - $E_{\text{kond}} = 16 \text{ J}$ ($\pm 50\%$)
 - $h = 0,45 \text{ m}$ ($\pm 10\%$)
 - $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 0,134 \text{ J}$ ($\pm 10\%$)
 - **$\eta = 0,48\% - 1,39\%$**

Simulace (Indukční, Thompsnův)

- Použité vzorce (diferenciální tvar pro simulaci):

$$I_L = I_0 + \frac{U_L \Delta t}{L}$$

$$U_C = U_0 - \frac{I_C \Delta t}{C}$$

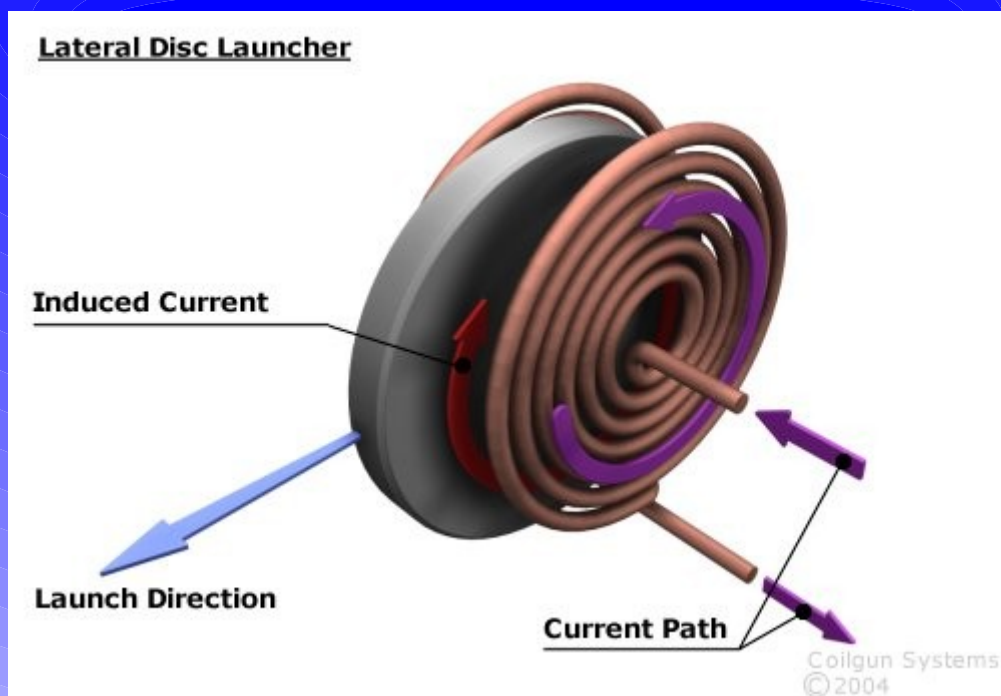
$$U_i = -M \left(\frac{\Delta I_L}{\Delta t} \right)$$

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad U_R = I_R R$$

- Irelevantní výsledky Thompsonova urychlovače díky neznalosti přesného principu a těžké simulaci jádra
- Úbytek k (vazební konstanta) a Φ v závislosti na vzdálenosti v ose odhadnut na čtverec vzdálenosti

Rekonekční urychlovač

- Vířivý proud – působení silou proti změně
- Jednoduchá představa se supravodičem – bude vytlačován z magnetického pole
- Rekonekce - „přestavba“ siločar do nižší energetické hladiny



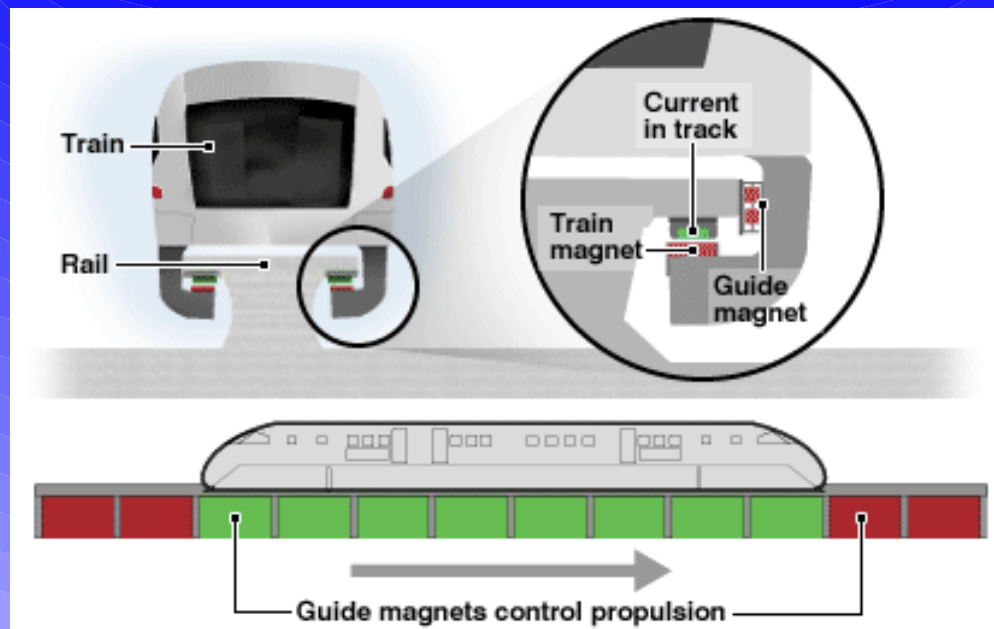
Magneto hydrodynamický motor

- Na principu railgunu
- Slanou vodou protéká proud, na ten v magnetickém poli působí Lorentzova síla
- Nutnost externího magnetického pole („kolejničky“ nestačí)
- Experimentální loď „Yamato 1“



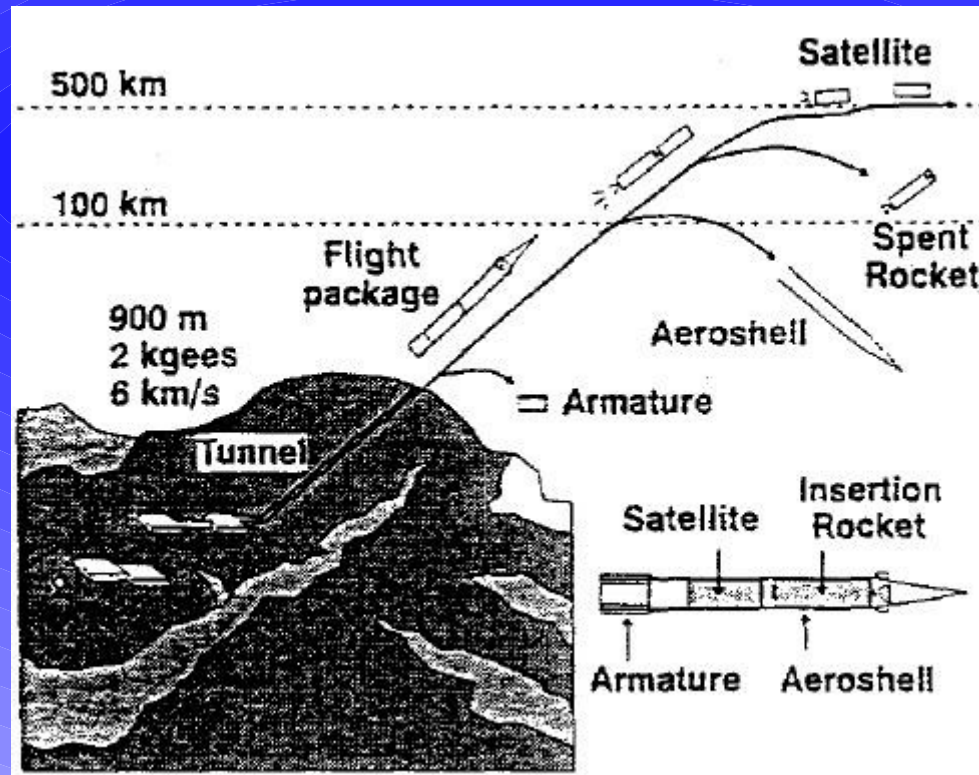
Maglev

- Spousta odrůd
- Oddělené magnety pro levitaci a pohyb
- Provozní rychlost 300-500 km/h
- Hybridy a alternativy: LIM, SERAPHIM



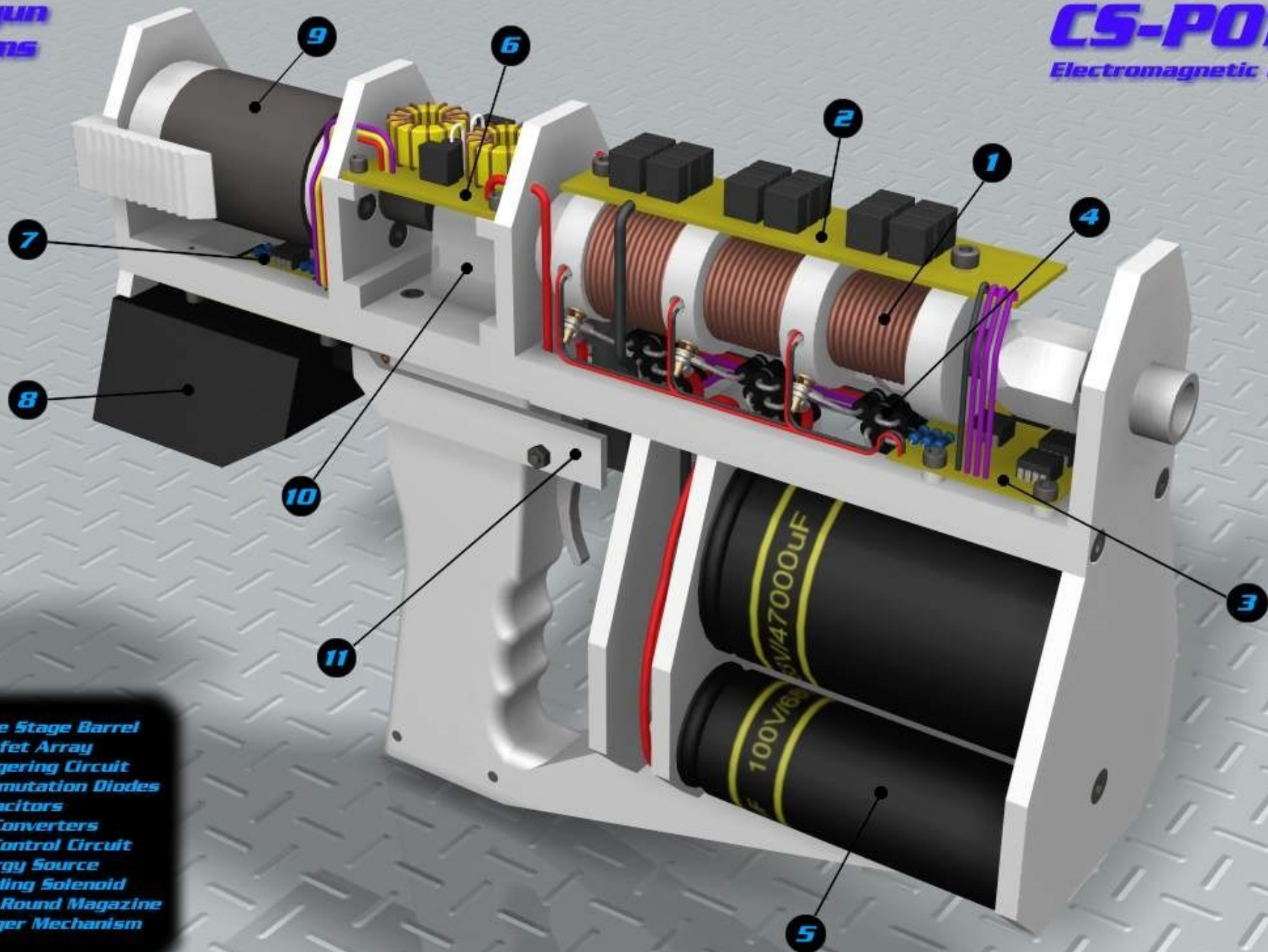
Vesmírná odysea

- Střelba satelitů do vesmíru pomocí indukčního urychlovače



Závěr

- Výzkum ve všech těchto oblastech je v plném proudu a je velmi cenný
- Experimenty (vykonané i pozorované) jasně prokázaly realizovatelnost této myšlenky
- Přesnějším optimalizovaným zapojením by se zřejmě mohlo dosáhnout vyšší účinnosti
- Magnetické pole jako takové se ukázalo být velmi složitým problémem
- Na hobby teorii nepotřebujete :)
- Těšte se na příští semestr



- 1. Three Stage Barrel
- 2. Mosfet Array
- 3. Triggering Circuit
- 4. Commutation Diodes
- 5. Capacitors
- 6. HV Converters
- 7. HV Control Circuit
- 8. Energy Source
- 9. Loading Solenoid
- 10. Ten Round Magazine
- 11. Trigger Mechanism

Užitečné odkazy, klíčová slova

- <http://www.transrapid.de> - Nejznámější maglev, spousta videí (/infoservice/video, /system)
- <http://atg.ga.com/EMS/transportation/> - LIM
- <http://www.coilgun.info/> - široce o tématu
- <http://femm.foster-miller.net/wiki/Download> - FEMM, simulace magneto- a elektrostatiky
- Youtube: railgun, coilgun, gaussgun, EM-15

Zdroje

- http://www.coilgun.eclipse.co.uk/coilgun_basics_1.html - typy urychlování (11.11.2008)
- "Design and Construction of a Pulsed Linear Induction Motor" by Braam Daniels k dostání na: <http://www.coilgun.info/plim/home.htm> (11.11.2008)
- <http://www.coilgun.info/mark2/inductorsim.htm> - výpočet cívky (11.11.2008)
- www.monorails.org/webpix%202/Seraphim101401.pdf - SERAPHIM (11.11.2008)
- www.osti.gov/bridge/servlets/purl/5039-ocQRp2/webviewable/5039.pdf - střelba satelitů (11.11.2008)
- <http://www.novinky.cz/clanek/28826-americky-tank-v-iraku-prostrelila-zahadn> - průstřel tanku (12.11.2008)
- Ivan Štoll, Bedřich Sedlák: Elektřina a magnetismus

Poděkování

- Ing. Vojtěchu Svobodovi za neutuchající hardwarovou podporu
- doc. Ivanu Štollovi a prof. Bedřichu Sedlákovi, že v učebnici nechali pár vzorců, do kterých jsme uměli dosadit
- Davidu Meekerovi Ph.D. za neocenitelnou vizualizační pomůcku v podobě FEMM (Finite Element Method Magnetics)