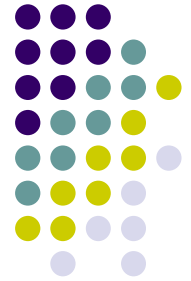




Pinče s obráceným polem a možné aplikace jejich výsledků v oblasti tokamaků

Ondřej Kudláček

Úvod



- Toroidální zařízení- tokamak, stellarator, RFP
- Každé má své nedostatky...
- Mohou být odstraněny „zkřížením“ s jiným druhem
- Tato prezentace: možnost „křížení“ kontrolních systémů tokamaku a RFP

Obsah

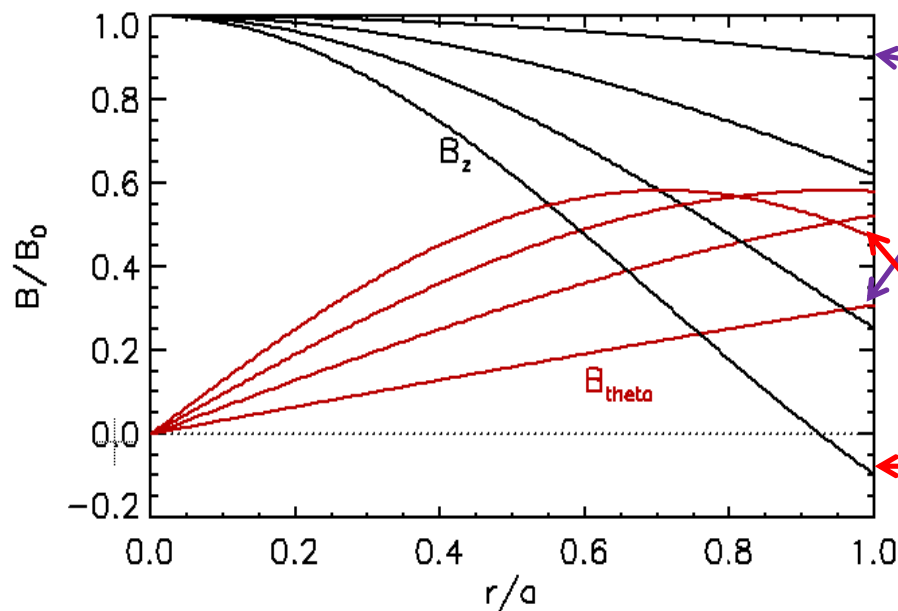


- RFP- úvod
- Nestability a kontrola RFP
- Některé tokamakové nestability
- Komplexnost kontroly

Pinče s obráceným polem- základy



- 2 bezpečné toroidální konfigurace
- Tokamak: B_T dominantní- **cívky**
- RFP: B_p dominantní- **proud plazmatem**



**Tokamak- „bezpečný
přístav“**

*Nárůst proudu
plazmatem-
bouřlivé vody*



RFP- relativní bezpečí

RFP- historie

Objev- ZETA 1958

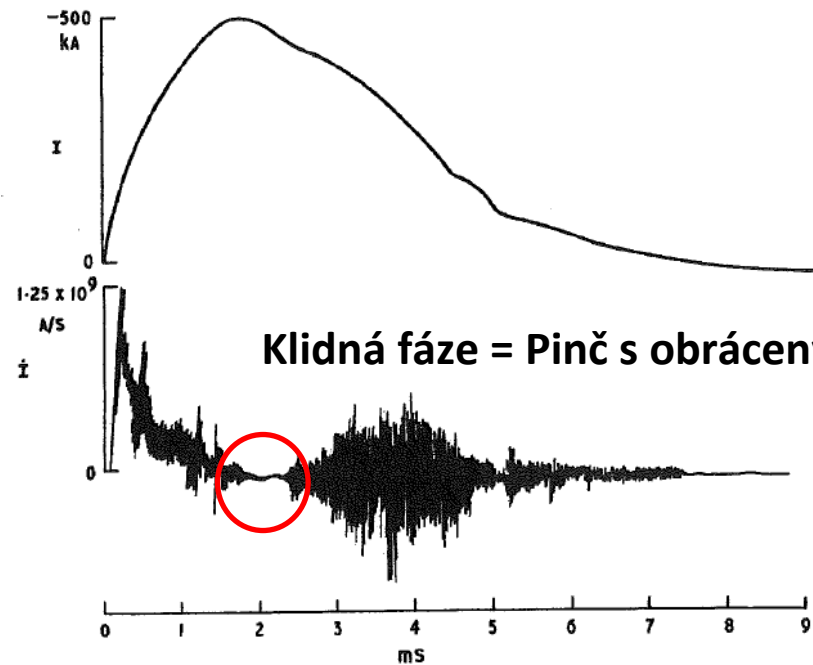
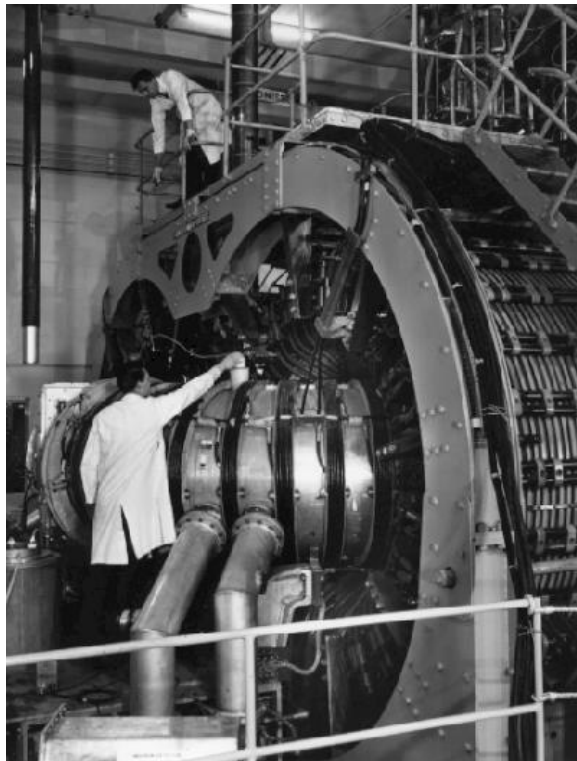


Figure 4.3. The quiescent period in ZETA. The upper trace shows the plasma current which peaks at about 500 kA. Quiescence manifests itself here for a period of about 0.5ms shortly after the peak current in the oscillogram of the toroidal induced voltage (lower trace), which is a measure for di/dt .

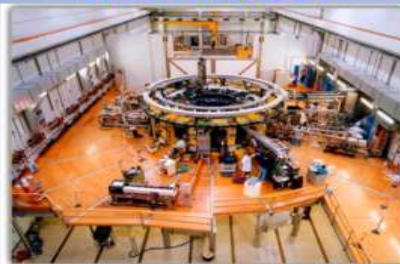
RFP dnes



The RFP experimental community



RFX-mod



EXTRAP T2R



RELAX



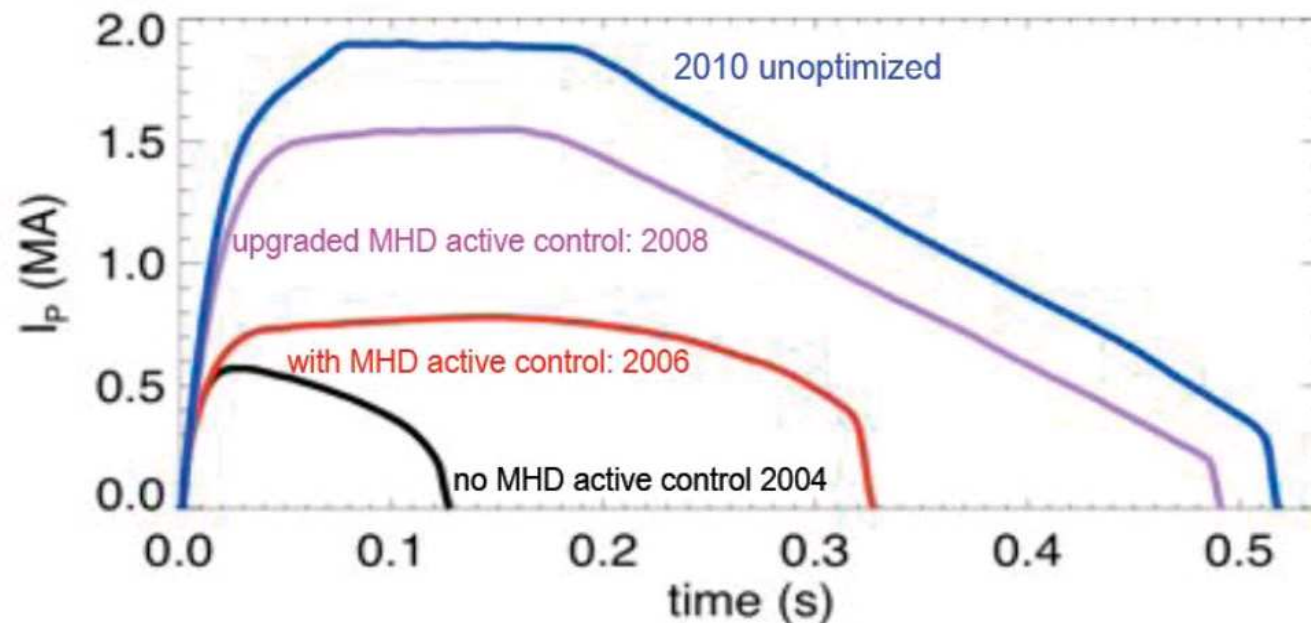
MST



RFP nestability



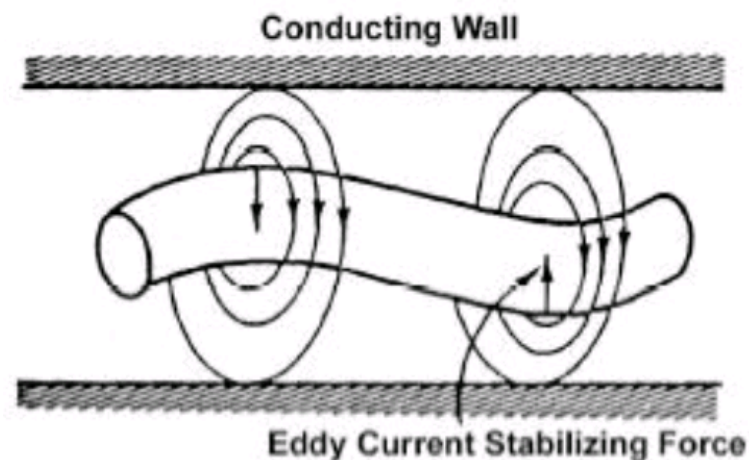
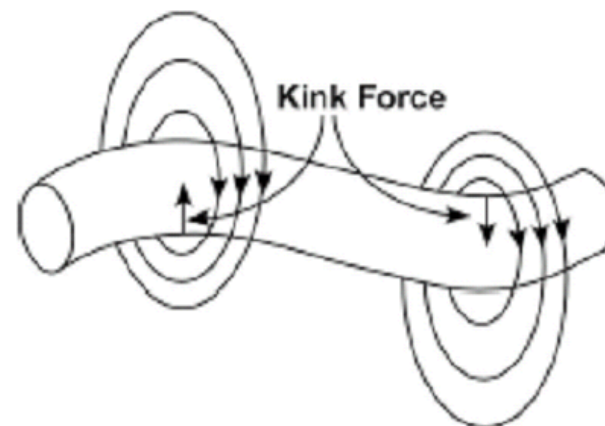
- **Smyčková nestabilita**- příliš vysoký proud
- **Magnetické ostrovy**- racionální q
- Zpětnovazební kontrola



Jak na kontrolu?

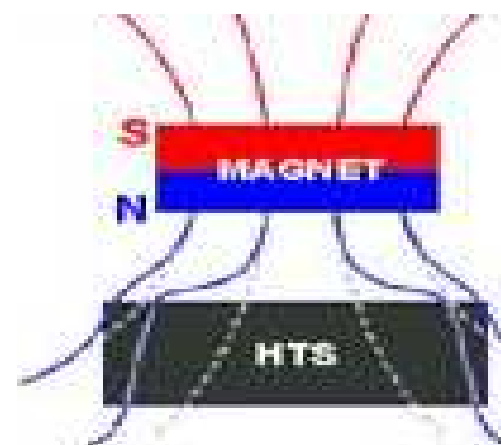
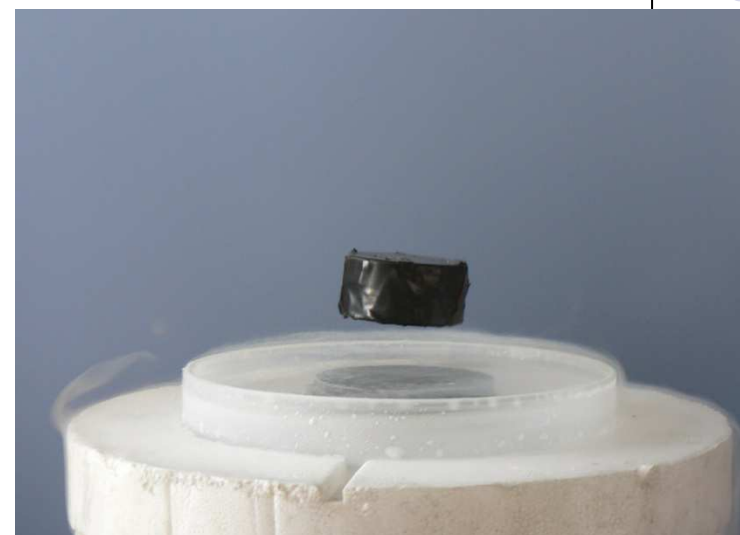


- **Původní přístup:** silně vodivá stěna, zpomalení nárůstu nestability
- **Stabilní situace:** pouze dostatečně blízká ideální stěna



Ideální vodič

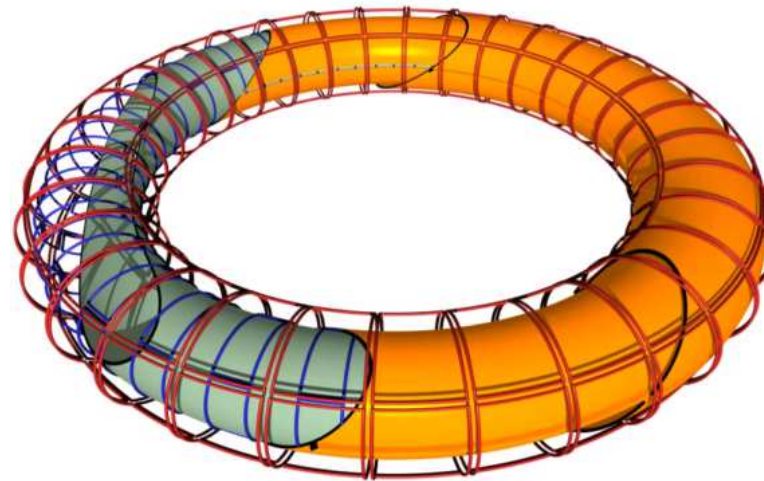
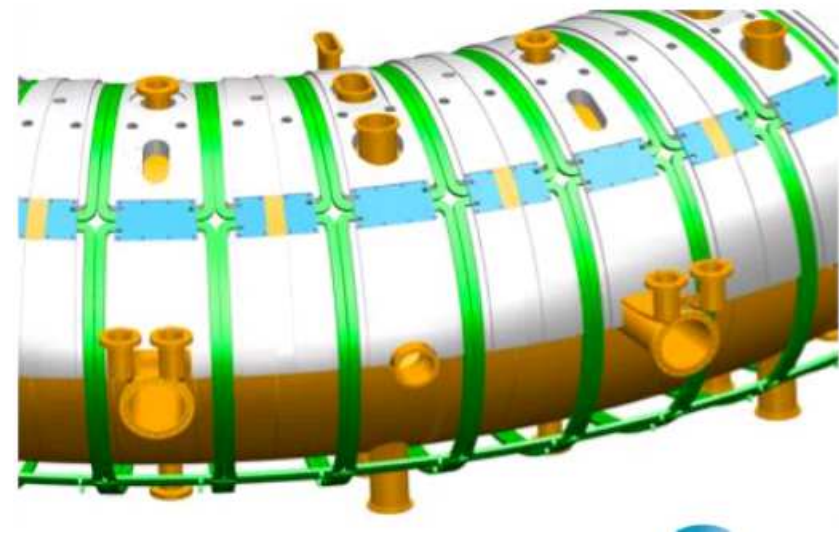
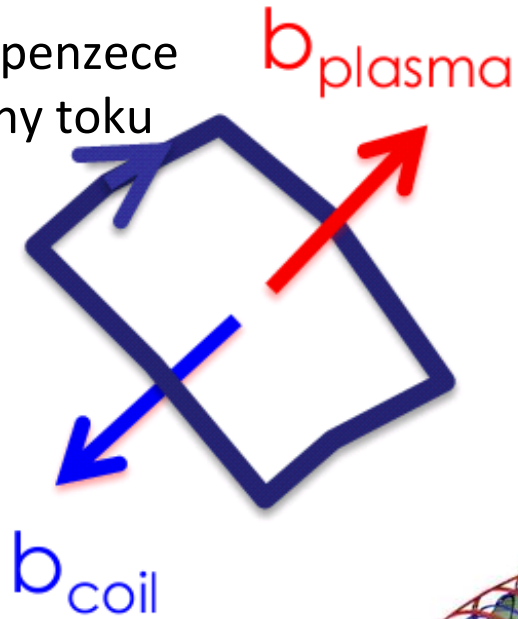
- Brání změně magnetického toku (levitace)
- Způsobeno vířivými proudy v supravodiči
- Proudů konzervující tok v komoře RFP => plazma se nemůže hýbat
- Umělé vytvoření „ideální stěny“



„Ideální stěna“

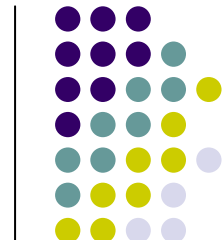


Kompenzace
změny toku

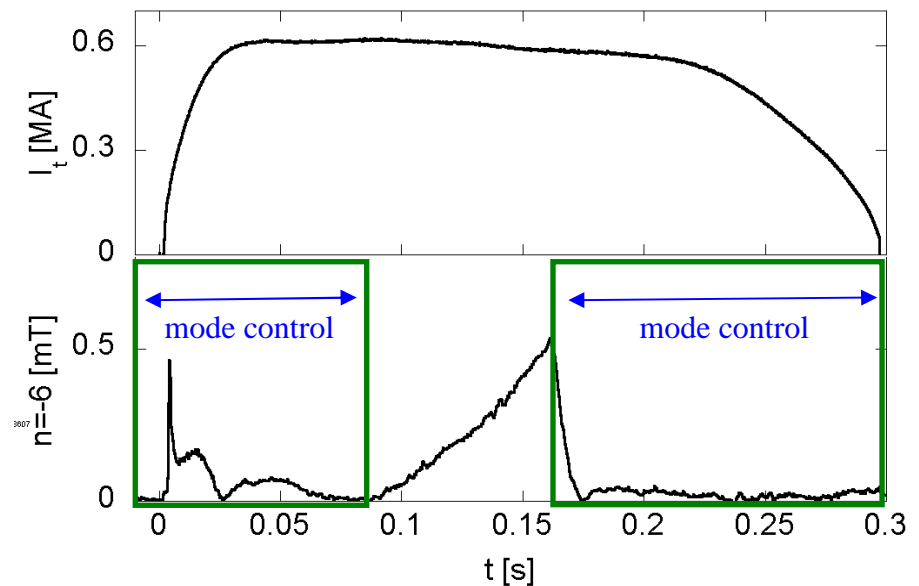
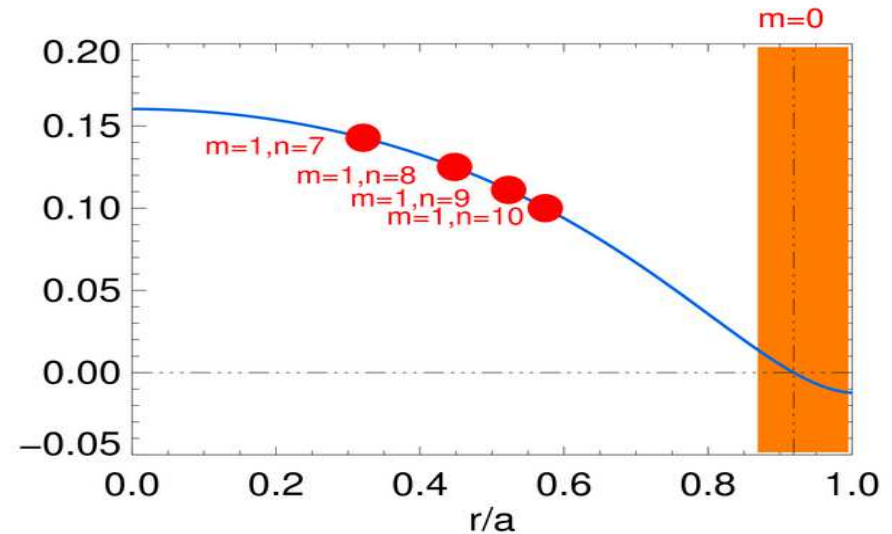


Plné pokrytí
stěny sensory

Stabilizace magnetických ostrovů



- Aplikace vhodného radiálního magnetického pole v oblasti ostrova
- Nutná kontrola několika typů ostrovů současně
- Sofistikovaný kontrolní systém



RFP a Tokamak

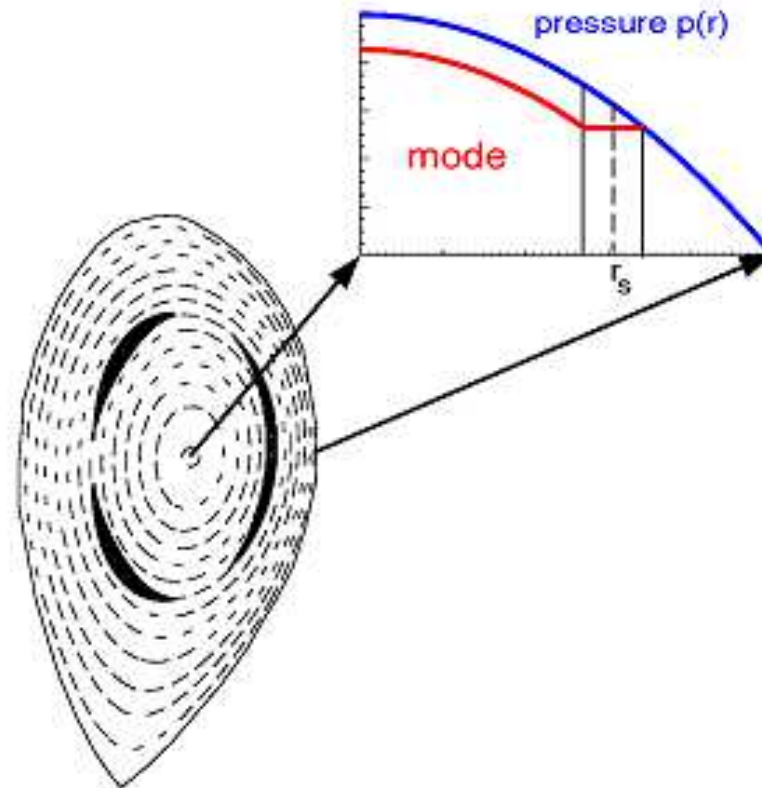


- RFP může být provozován i jako tokamak
- Některé společné problémy- magnetické ostrovy
- Čistě tokamakové nestability (ELM, pilový kmit) ovlivněny polem sedlových cívek
- Tokamaky- málo sedlových cívek: omezené možnosti kontroly (DIII-D 12, AUG 24)
- RFP: cívek je dostatek (RFX 192)

Magnetické ostrovy



- Vznik: přepojení magnetických siločar na površích s racionálním q
- Zploštění tlakového profilu
- Musí být potlačeny

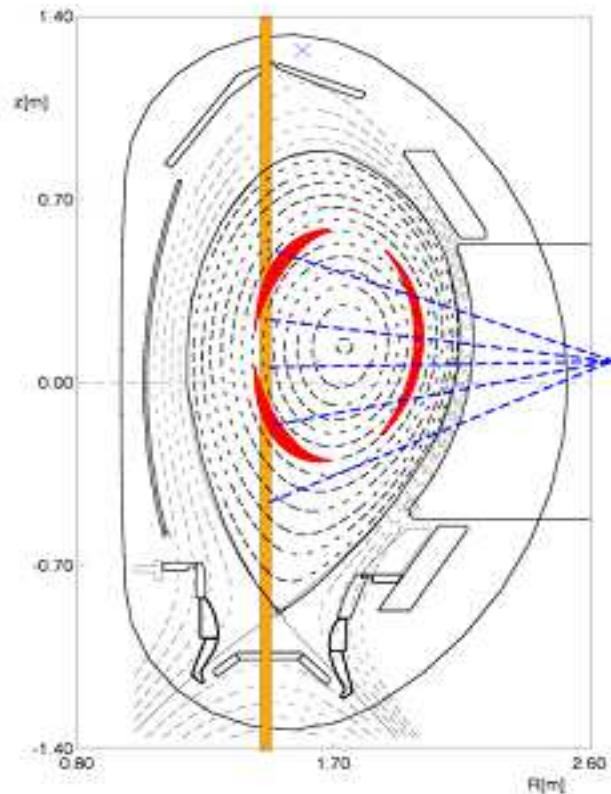


Kontrola magnetických ostrovů



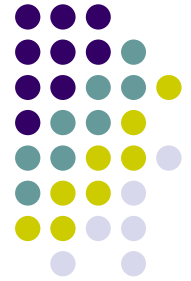
Dnes: ECCD indukce proudu,
nízká účinnost (10 W na 1 A)

Alternativa: Sedlové cívky ??



- Nepříliš prozkoumané
- Stejný princip jako u RFP
- Možnost dosažení vyšší účinnosti kontroly
- Je možná (a pravděpodobná) kombinace obou metod
- Např. „popotažení“ ostrova do míst nejlépe dosažitelných ECCD

Nízké q na okraji plazmatu

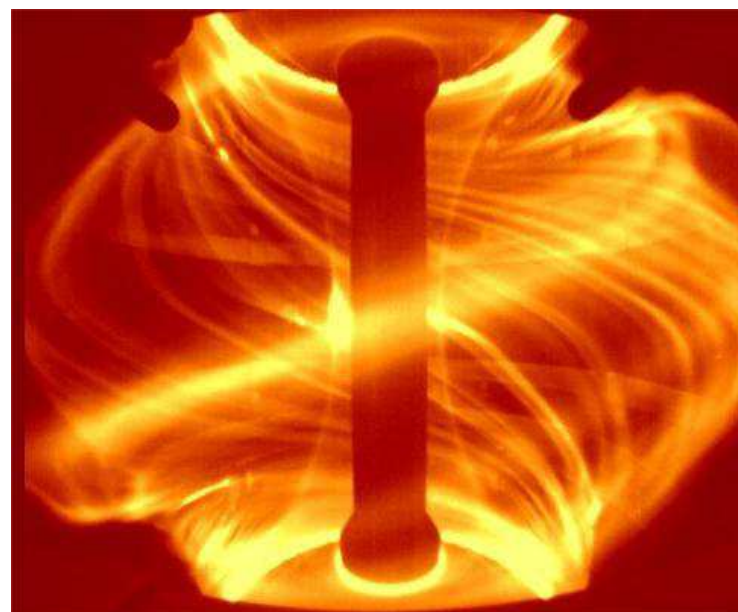
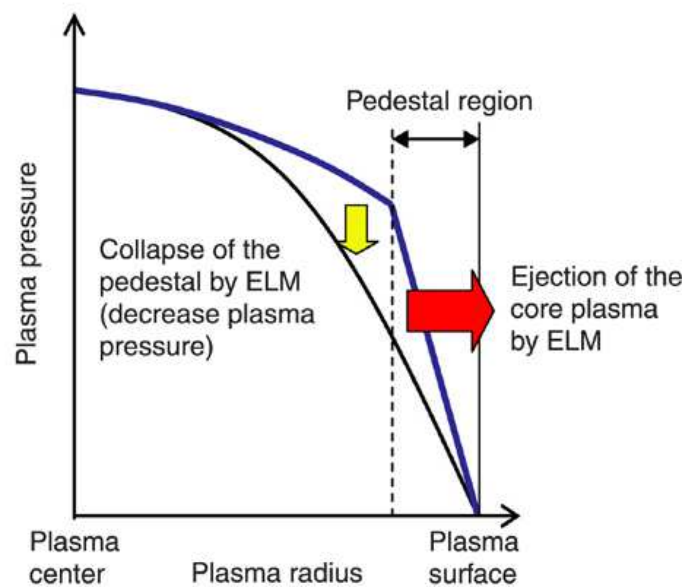


- RFX: výboj s okrajovým $q < 2$
- Zatím pouze kruhové plazma...
- Současnost: pokusy pro divertorové plasma
- Zajímavé do budoucna: Zvýšení dosažitelného proudu plazmatem => zvýšení hustoty plazmatu => zvýšení fúzního výkonu



ELMy

- Okrajová nestabilita v H-módu
- Energie plazmatu „vyvržena“ na stěnu
- Potlačení pomocí sedlových cívek
- RFP: větší flexibilita

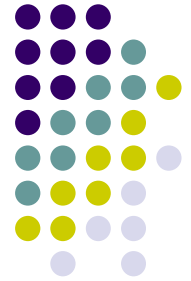


Pilové kmity



- Oscilace v centru plazmatu
- Výskyt: $q_0 < 1$
- Efekty: + brání akumulaci He
- vznik mag. ostrovů
- Cíl: snížení amplitudy, zvýšení frekvence
- Prostředky: ICRH, sedlové cívky

Komplexnost kontroly



- **Kontrola všech nestabilit najednou!**
- Kontrolou jedné z nestabilit může být spuštěna jiná
- Rozdílné požadavky na kontrolu => velké množství SC
- ELM- konstantní pole
- Ostrovy, pilový kmit- proměnné pole

Stav výzkumu a plány



- D tvar plazmatu
- Moderní tokamakový režim: ELMy H-mode na RFX-mod
- Kontrola tokamakových nestabilit

Poděkování



- Giuseppe Marchiori, Piero Martin a RFX tým
- EM DC
- Organizátoři zimní školy

Závěr



- Sedlové cívky- důležitý kontrolní nástroj
- Zatím nepříliš probádáná oblast
- Tokamaky- omezené možnosti bádání
- Tokamakové výboje v RFP- velká flexibilita