

Plazma jako fyzikální či technologická výzva s akcentem na "české vody"

Vojtěch Svoboda, et al.
pro přípravný kurs

September 26, 2017

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

Vojtěch Svoboda & GOLEM



kredit: golem.fjfi.cvut.cz

+ Fyzika a technika termojaderné fúze

http://fttf.fjfi.cvut.cz

Fyzika a technika termojaderné fúze

Co je fúze

Termojaderná fúze je nejvýznamnější zdroj energie budoucí civilizace. Fúze je proces, při kterém se dva lehké jádra atomů spojují a vzniká těžší jádro. Tento proces uvolňuje obrovské množství energie, která může být použita k výrobě elektrické energie.

Co je plazma

Plazma je čtvrtá skupina látky, která vzniká při ohřevu látky na vysokou teplotu. V plazmě jsou částice ionizované a pohybují se velmi rychle. Plazma je klíčová pro termojadernou fúzi, protože je to jediná forma látky, která umožňuje fúzi jader.

Plazma je krásná!

Plazma je krásná, protože je to jediná forma látky, která může být viděna vlnami světla. Plazma je také krásná, protože je to jediná forma látky, která může být použita k výrobě elektrické energie.

Studium

Studium fyziky a techniky termojaderné fúze je zaměřeno na výzkum a vývoj nových technologií. Studenti se učí o fyzice plazmy, o termojaderné fúzi a o technice, která je potřebná pro její realizaci.

Pro koho se obor hodí?

1. Pro lidi, kteří chtějí studovat fyziku a techniku.
2. Pro lidi, kteří chtějí pracovat v oblasti výzkumu a vývoje.
3. Pro lidi, kteří chtějí pracovat v oblasti inženýrství.
4. Pro lidi, kteří chtějí pracovat v oblasti výroby.

Co Vás čeká?

1. Základní znalosti fyziky a techniky.
2. Praktické zkušenosti z výzkumu a vývoje.
3. Možnost spolupráce s průmyslovými partnery.
4. Možnost získání diplomu o studiu.

Působí u nás

Naše fakulta má mnoho partnerů, kteří se zabývají výzkumem a vývojem v oblasti termojaderné fúze. Mezi ně patří například:

- ERASMUS MUNDUS European MSc.
- FUSENET - Fusion education network
- Euroatom

Jsmo součástí evropských struktur

Naše fakulta je součástí několika evropských struktur, které se zabývají výzkumem a vývojem v oblasti termojaderné fúze. Mezi ně patří například:

- ERASMUS MUNDUS European MSc.
- FUSENET - Fusion education network
- Euroatom

KONTAKT Ing. Ingela TOSKOVÁ, Ph.D., e-mail: tos@fttf.fjfi.cvut.cz
Mgr. Jan MČNARE, Ph.D., e-mail: mcnare@fttf.fjfi.cvut.cz

http://fttf.fjfi.cvut.cz

Fyzika a technika termojaderné fúze

Uplatnění našich studentů

Struktura plazmatu v Tokamaku

Nové materiály

Integrovaná řešení s ekologickou aplikací

Komplexní COMPLEX

Energetika

ITER

AI1

EU

Plazma naft naft

Fúze elektrická

CEMO

Výběr a kontrola materiálu

Průmyslové Laser systémy

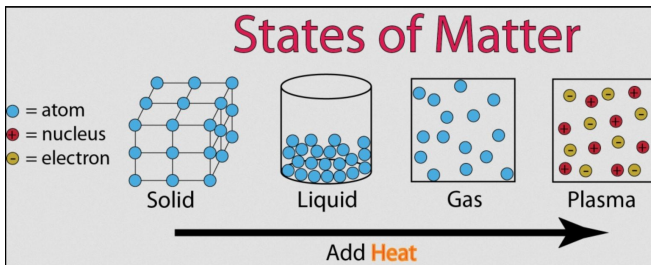
Hvězdná konstelace

KONTAKT Ing. Ingela TOSKOVÁ, Ph.D., e-mail: tos@fttf.fjfi.cvut.cz
Mgr. Jan MČNARE, Ph.D., e-mail: mcnare@fttf.fjfi.cvut.cz

kredit: fttf.fjfi.cvut.cz

Ne úplně šťastný název

Stavy hmoty

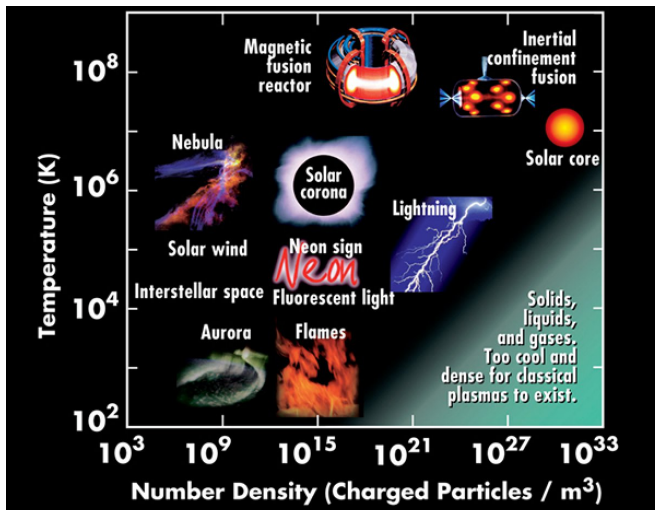


kredit: Intechopen.com

Příběh však nekončí .. nukleonové plazma, kvark-gluonové plazma

..

Plazma kolem nás

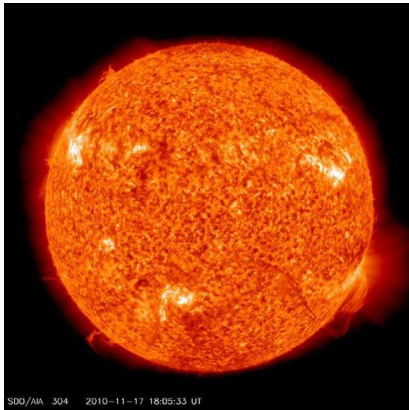


kredit: cpepphysics.org

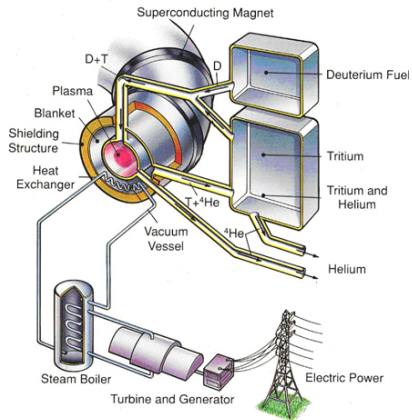
Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

μ hvězda v pozemských podmínkách



kredit: ITER.org

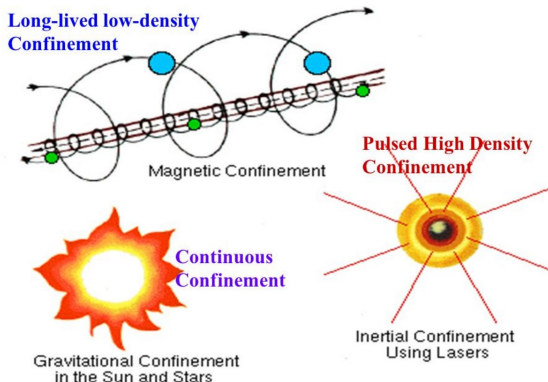


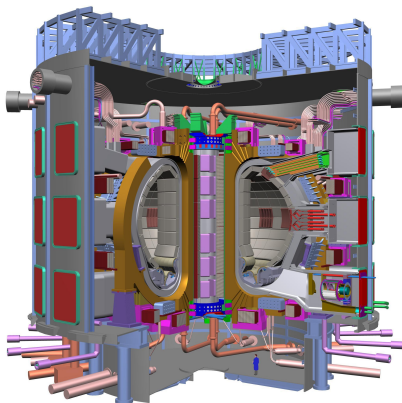
700 tis. km ($15 \cdot 10^6$ K to 6000K) versus 7m ($100 \cdot 10^6$ K to 4K)

Tři možné cesty jak udržet plazma pro fúzi

Lawsonovo kritérium:

$$n\tau_E \geq 1.5 \cdot 10^{20} \frac{\text{s}}{\text{m}^3} \quad (2 \times 6 > 11 \quad || \quad 6 \times 2 > 11)$$





kredit: ITER.org

- 500 MW po dobu 400 s
@ $Q > 10$.
- Demonstrace technologií
budoucí fúzní elektrárny.
- Deuterium-Tritium plasma
samostatně “hořící”.
- Produkce tricia.
- Demonstrace bezpečnosti
fúzní energie.

DEMO



Tore Supra

25 m³

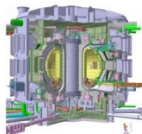
~ 0 MW_{th}



JET

80 m³

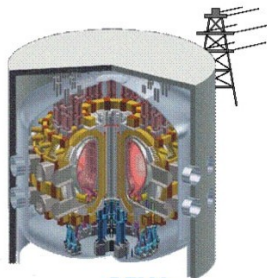
~16 MW_{th}



ITER

800 m³

~ 500 MW_{th}



DEMO

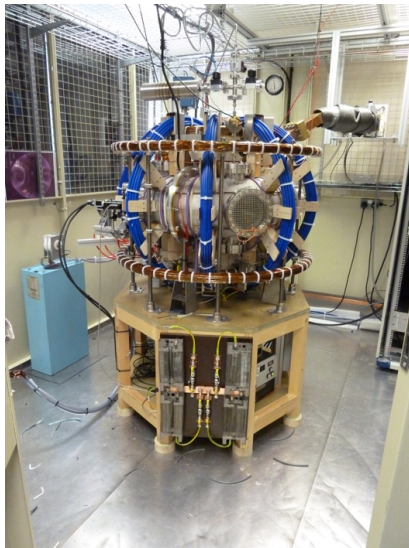
~ 1000 - 3500 m³

~ 2000 - 4000 MW_{th}

kredit: ITER.org

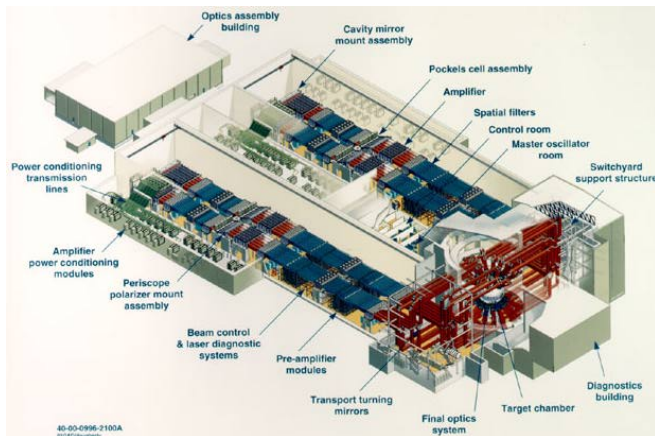
Rozumně akceptovatelná cena produkované elektřiny.

Opravdová výzva: něco malého



kredit: tokamakenergy.co.uk

Anebo .. inerciální fúze



kredit: National Ignition Facility

192 laserových svazků zaměřených na DT palivo (hohloraum)

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

Plazmatické technologie

- Některé reakce, pomalé, či vůbec nerealizovatelné v pevném/kapalném/plynném skupenství mohou být realizovatelné v plazmatickém skupenství.
- Interakce plazmatu s látkou v pevném skupenství prakticky vždy přináší určité významné změny ve výsledném produktu - na povrchu, změny chemických a fyzikálních vlastností svázaných s jejich strukturálními fázovými transformacemi,

Dvě možné role plazmatu

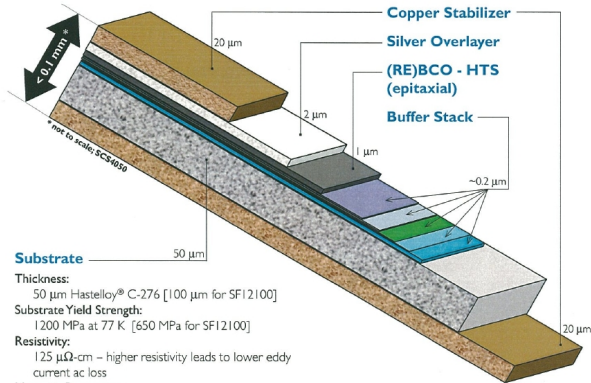
Plazma jako problém: tokamaky a další zařízení. Plasma facing components.

Plazma jako nástroj: i) plazmové naprašování a nanášení tenkých vrstev, ii) čištění povrchů, iii) plazmová chemie, iv) plazmová metalurgie, tavení, řezání,

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

Unikátní "objekty" - nanášení tenkých vrstev



Substrate

Thickness:

50 μm Hastelloy® C-276 [100 μm for SF12100]

Substrate Yield Strength:

1200 MPa at 77 K [650 MPa for SF12100]

Resistivity:

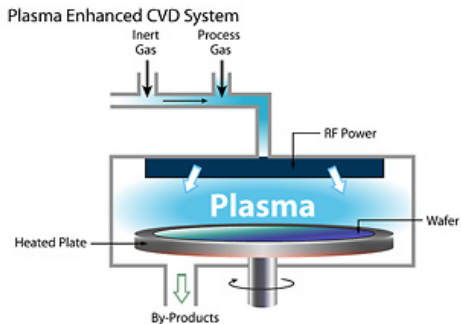
125 $\mu\Omega\text{-cm}$ – higher resistivity leads to lower eddy current ac loss

Magnetic Properties:

non-magnetic, leads to lower ferromagnetic ac loss

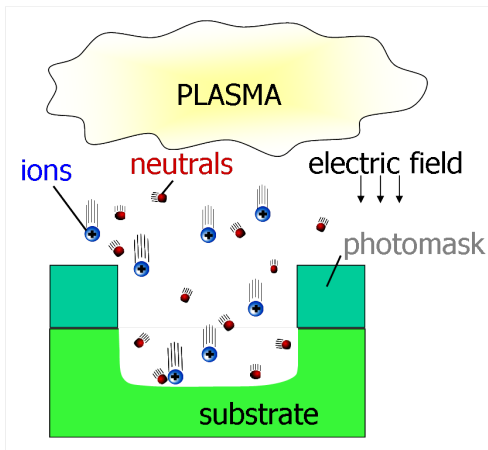
kredit: SuperPower.com

Výroba křemíkových wafelí



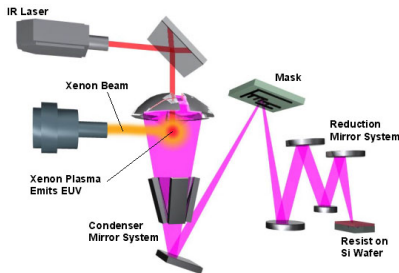
kredit: scorec.rpi.edu

Technologie leptání křemíkových substrátů



kredit: scorec.rpi.edu

EUV litografie

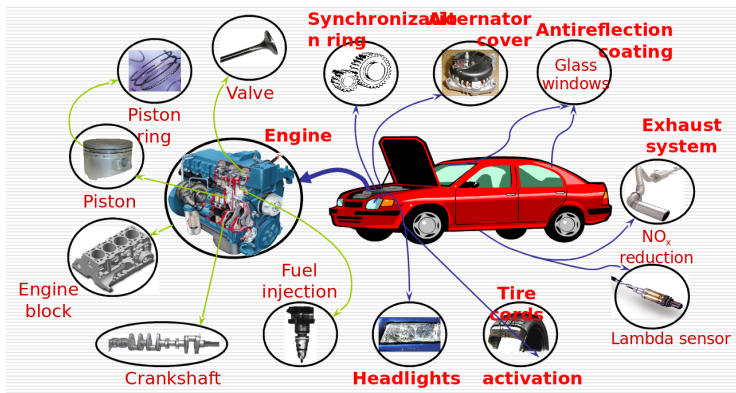


kredit: altervista.org

- Čipy s rozlišením pod 10nm.
- EUV plasmové zdroje schopné vyrobit $> 100W$ na vlnové délce 13.5nm (92eV).
- vlnová délka pod absorpční hranou křemíku, kvůli zrcadlům
- $\sim 10kHz$ vystřelují kuličky cínu a do těch se pak střílí infračerveným laserem ($\sim 3-10\mu m$) - co nejvyšší svítivost na 13nm.

Obrovský zájem průmyslu (Intel, Nvidia, Samsung, Apple, ...)

Plazmatické technologie v autě

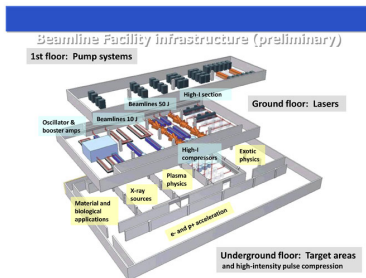


kredit: Pavel Chráska

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

ELI - Extreme Light Infrastructure



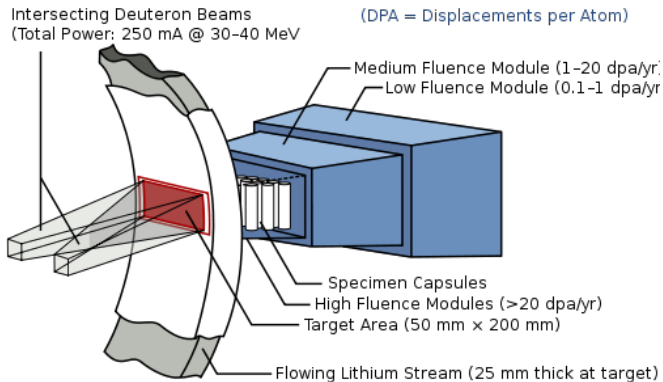
kredit: eli-beams.eu

- Rentgenové zdroje čerpané ultrakrátkými laserovými pulsy.
- Urychlování částic pomocí laserů.
- Aplikace v molekulárních, biomedicínských a materiálových vědách.
- Fyzika plazmatu a vysokých hustot energie.
- Exotická fyzika a teorie.

Outline

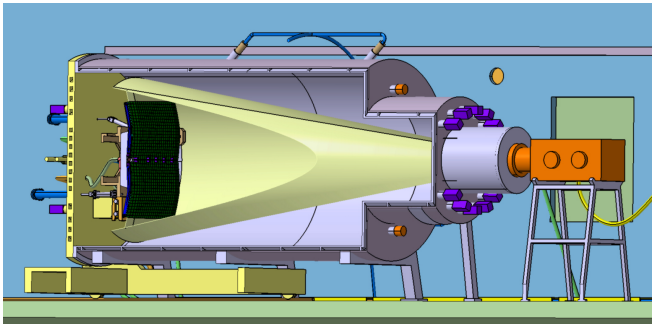
- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy**
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

IFMIF - International Fusion Materials Irradiation Facility



kredit: [wiki/International_Fusion_Materials_Irradiation_Facility](https://www.wikipedia.org/wiki/International_Fusion_Materials_Irradiation_Facility)

HELCZA - High Energy Load Czech Assembly



kredit: cvrez.cz

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví**
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

Plasma medicine



kredit: film.postriziny

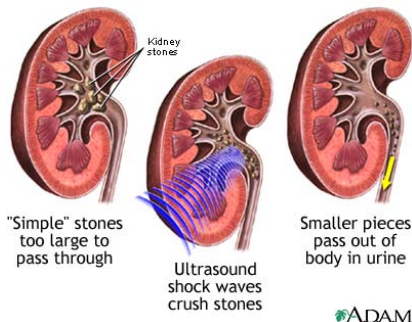
- Hojení ran,
- Dermatologie,
- Stomatologie

Plazmatem na plazmu



kredit: aldebaran.cz

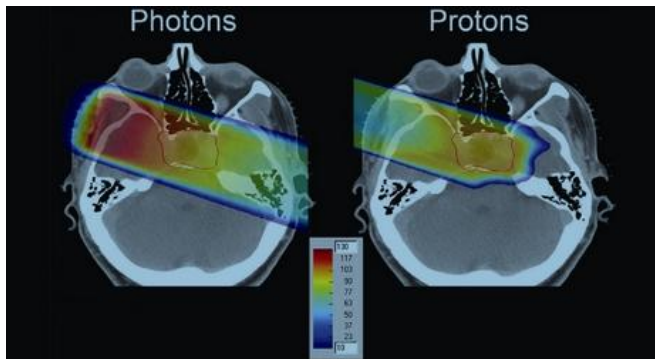
Léčba ledvinových kamenů



kredit: ipp.cas.cz

Silnoproudá elektrická jiskra ve vodě generující fokusovanou rázovou vlnu. Naděje i pro léčbu nádorových onemocnění.

Hadronová terapie

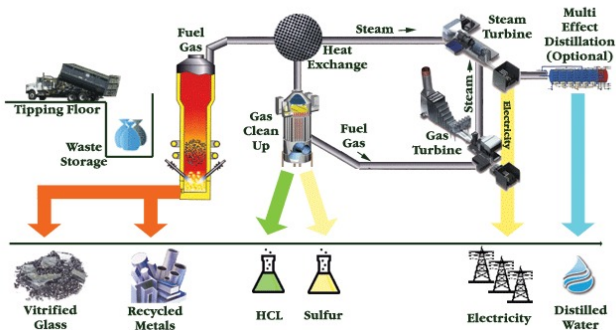


kredit: aldebaran.cz

Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie**
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

Likvidace odpadů



kredit: bullcitymutterings.com

Outline

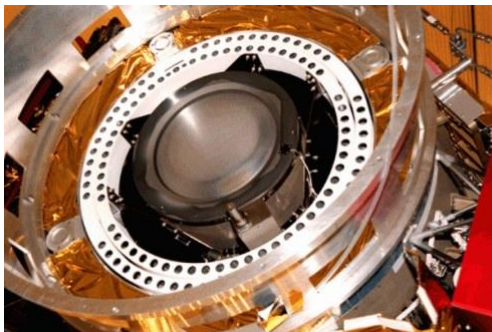
- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika**
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr



kredit: plasma-universe.com

Většina pozorovatelné hmoty v téměř celé jeho historii je/byla/bude v plazmatickém stavu.

Magnetohydrodynamický motor



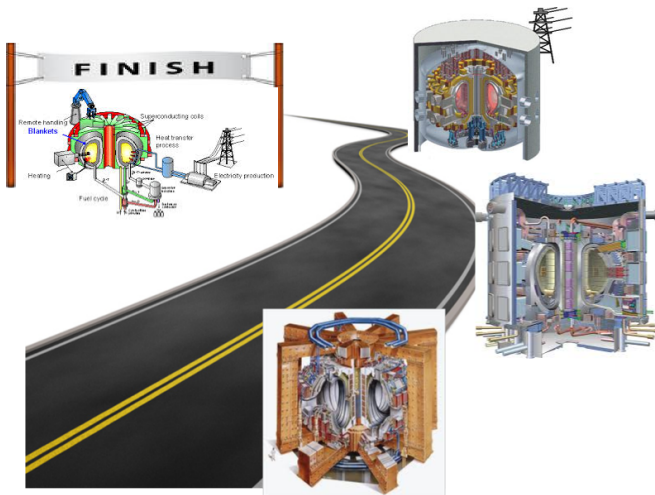
kredit: aldebaran.cz

1999: Deep Space 1, 2003: Smart 1

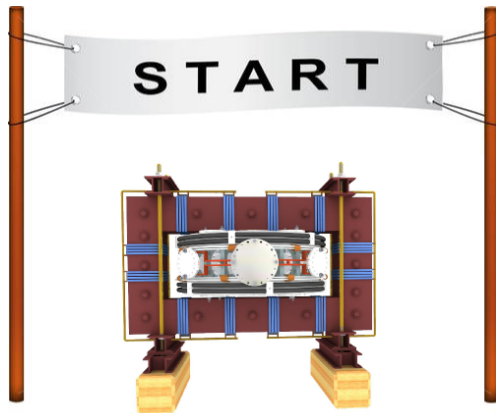
Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 **Vzdělávání**
- 5 Závěr

Cesta k fúzní elektrárně



kredit: golem.fjfi.cvut.cz

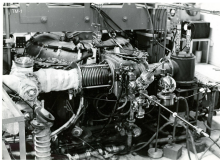


kredit: golem.fjfi.cvut.cz

Čtvrtky.

The smallest & oldest tokamak...

Tokamak TM1
@Kurchatov Institute near Moscow
~1960-1977



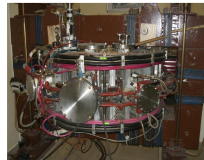
SCIENCE

Tokamak CASTOR
@Institute of Plasma Physics, Prague
1977-2007



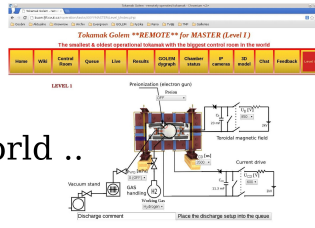
**SCIENCE
& education**

Tokamak GOLEM
@Czech Technical University, Prague
2007-



**EDUCATION
& science**

... with the biggest
control room
in the world ..



Outline

- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

- Zajistit, aby se ČR udržela na špici.
- Vaše PhD v 2025 - první plazma v ITERu.
- COMPASS-Upgrade
- ELI
- PALS
- Czech Fusion Society:
 - CV Řež
 - UJF Řež
 - MFF UK
 - UFP AV ČR.
- JT-60SA: EU 50%

+ Fyzika a technika termojaderné fúze



kredit: ftf.fjfi.cvut.cz

Těšíme se na vás (prof. Jex, prof. Limpouch, prof. Kulhánek, doc. Mlynář, prof. Kubeš, doc. Kálal, prof. Král, RNDr. Wagner, RNDr. Břeň ... a já)

3x tokamak v ČR

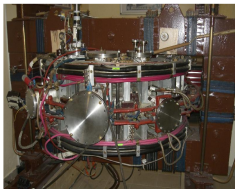
Tokamak COMPASS
@Institute of Plasma Physics, Prague



SCIENCE
& education

kredit: golem.fjfi.cvut.cz

Tokamak GOLEM
@Czech Technical University, Prague



EDUCATION
& science

Music group Tokamak
Brno



ENTERTAINMENT

Ať už si vyberete cokoli, užijte si Jaderku