

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

Vojtěch Svoboda, et al.
pro přípravný kurs

September 7, 2022

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 jaderný proces, při kterém se dva lehké jádra atomů sloučí a vytvoří těžší jádro. Tento proces uvolňuje obrovské množství energie, která je základem pro fungování termojaderných reaktorů. Fúze je také zdrojem energie ve hvězdách, včetně našeho slunce.

Co je plazma

Plazma je čtvrtá skupina látky, která vzniká při ohřevu látky nad její bod varu. V tomto stavu jsou částice ionizovány a tvoří nabitou tekutinu. Plazma je klíčová pro termojadernou fúzi, protože pouze v tomto stavu mohou jádra překonat vzájemní odpuzování a sloučit se.

Plazma je krásná!

Plazma má mnoho zajímavých vlastností, které ji činí krásnou. Například může být viditelná jako zářivá koule, nebo jako dlouhé, tenké vlákna. Plazma je také schopná tvořit složité struktury, jako jsou plazmatrony a plazmatrony.

Studium

Naše fakulta nabízí studium fyziky a techniky termojaderné fúze. Studium je zaměřeno na získání teoretických a praktických znalostí v této oblasti. Studenti se učí o fyzice plazmy, termojaderné fúzi a o technických aspektech jejího využití. Studium je zakončeno závěrečnou zkouškou.

Pro koho se obor hodí?

1. Pro lidi, kteří chtějí studovat fyziku a techniku termojaderné fúze.
2. Pro lidi, kteří chtějí získat praktické zkušenosti v této oblasti.
3. Pro lidi, kteří chtějí se zapojit do výzkumu a vývoje v této oblasti.
4. Pro lidi, kteří chtějí se zapojit do vývoje nových technologií v této oblasti.

Co Vás čeká?

1. Základní fyziku a matematiku, která je základem pro studium fyziky a techniky termojaderné fúze.
2. Fyziku plazmy, která je klíčovou pro termojadernou fúzi.
3. Termojadernou fúzi, která je cílem našeho studijního programu.
4. Praktické zkušenosti v laboratorních podmínkách.

Působí u nás

Naše fakulta má mnoho zajímavých projektů a aktivit. Mezi ně patří například výzkum v oblasti fyziky plazmy, termojaderné fúze a o technických aspektech jejího využití. Studenti se mohou zapojit do těchto projektů a získat tak cenné zkušenosti.

Jsme součástí evropských struktur

Naše fakulta je součástí několika evropských struktur, které se zabývají výzkumem a vývojem v oblasti fyziky a techniky termojaderné fúze. Mezi tyto struktury patří například ERASMUS MUNDUS, FUSENET a Euratom.

[Přihlaste se na první pracovní setkání projektu](http://fttf.fjfi.cvut.cz)

KONTAKT: Ing. Miroslav ŠTODOLA, Ph.D., e-mail: miroslav.stodola@fttf.fjfi.cvut.cz
MSc. Lenka MATEJKA, Ph.D., e-mail: lenka.matejka@fttf.fjfi.cvut.cz

kredit: fttf.fjfi.cvut.cz

Fyzika a technika termojaderné fúze

<http://fttf.fjfi.cvut.cz>

Uplatnění našich studentů

Naše fakulta nabízí široké uplatnění pro své studenty. Studenti mohou pokračovat ve studiu na vysoké škole, nebo mohou najít práci v průmyslu, vědeckém výzkumu nebo v oblasti vývoje nových technologií. Naše fakulta má mnoho partnerů, kteří jsou ochotni přijmout naše studenty.

Střední škola v Brně

Naše fakulta má spolupráci se Střední školou v Brně. Studenti mohou získat praktické zkušenosti v naší laboratorní skupině.

Nové materiály

Naše fakulta se zabývá výzkumem nových materiálů, které jsou vhodné pro termojadernou fúzi. Studenti se učí o vlastnostech těchto materiálů a o jejich využití.

Sofistikované měřicí a diagnostické systémy

Naše fakulta má k dispozici sofistikované měřicí a diagnostické systémy, které jsou potřebné pro výzkum termojaderné fúze. Studenti se učí o principu těchto systémů a o jejich využití.

Skupina COMPASS

Naše fakulta má skupinu COMPASS, která se zabývá výzkumem v oblasti fyziky plazmy. Studenti se mohou zapojit do této skupiny a získat tak cenné zkušenosti.

Energika

Naše fakulta se zabývá výzkumem v oblasti energetiky. Studenti se učí o různých zdrojích energie a o jejich využití.

ITER

Naše fakulta má spolupráci s mezinárodním projektem ITER. Studenti se učí o principu tohoto projektu a o jeho významu.

RT

Naše fakulta má skupinu RT, která se zabývá výzkumem v oblasti reaktorové techniky. Studenti se učí o principu reaktorů a o jejich využití.

EU

Naše fakulta má spolupráci s Evropskou unií. Studenti se učí o různých evropských projektech a o jejich významu.

Fusion road map

Naše fakulta má spolupráci s Fusion road map, která je plánem pro vývoj termojaderné fúze. Studenti se učí o principu tohoto plánu a o jeho významu.

Fusion elektronika

Naše fakulta se zabývá výzkumem v oblasti fúze elektroniky. Studenti se učí o principu fúze elektroniky a o jejího využití.

SWO

Naše fakulta má skupinu SWO, která se zabývá výzkumem v oblasti systémové inženýrství. Studenti se učí o principu systémové inženýrství a o jejího využití.

Výhledy a stabilizace reaktoru

Naše fakulta se zabývá výzkumem v oblasti výhledů a stabilizace reaktoru. Studenti se učí o principu výhledů a stabilizace reaktoru a o jejího využití.

Prague Asterix Laser system

Naše fakulta má spolupráci s Prague Asterix Laser system, který je jedním z největších laserů na světě. Studenti se učí o principu tohoto systému a o jeho významu.

Hvězdná konstelace

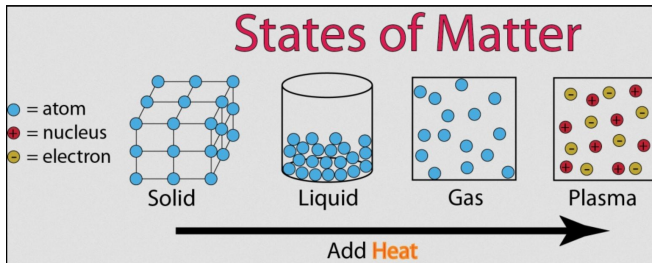
Naše fakulta má spolupráci s Hvězdnou konstelací, která je mezinárodním projektem. Studenti se učí o principu tohoto projektu a o jeho významu.

[Přihlaste se na první pracovní setkání projektu](http://fttf.fjfi.cvut.cz)

KONTAKT: Ing. Miroslav ŠTODOLA, Ph.D., e-mail: miroslav.stodola@fttf.fjfi.cvut.cz
MSc. Lenka MATEJKA, Ph.D., e-mail: lenka.matejka@fttf.fjfi.cvut.cz

Ne úplně šťastný název

Stavy hmoty

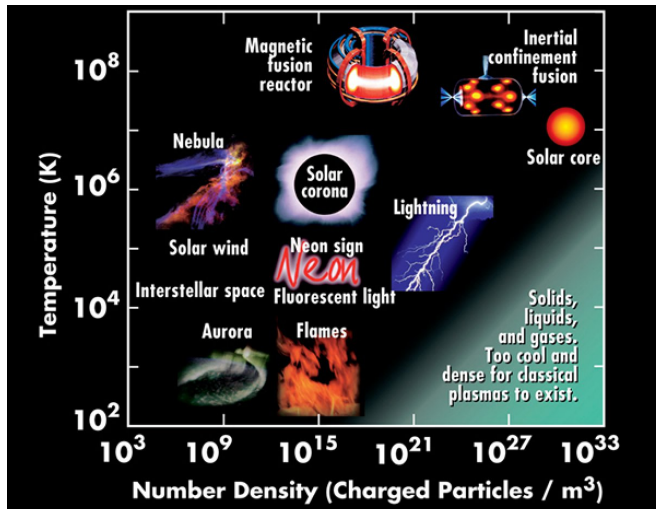


kredit: Intechopen.com

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

..

Plazma kolem nás

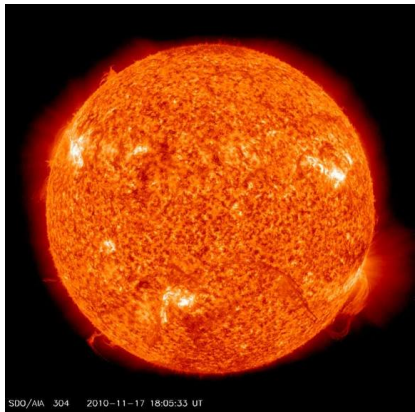


kredit: cpepphysics.org

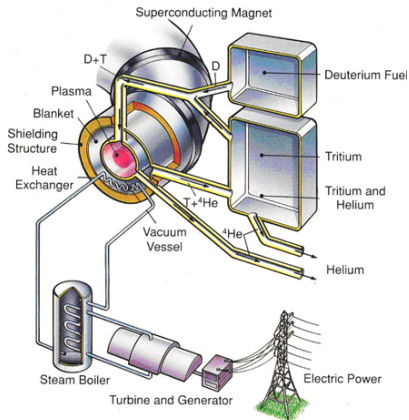
Outline

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

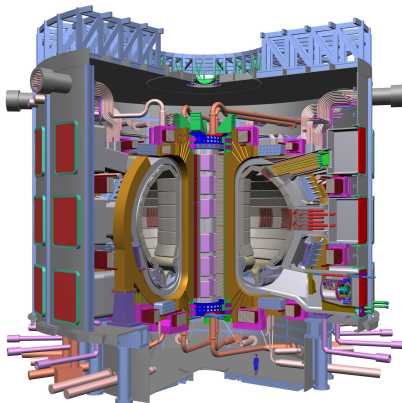
μ hvězda v pozemských podmínkách



kredit: ITER.org



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



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

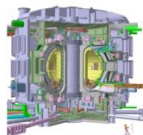
~ 0 MW_{th}



JET

80 m³

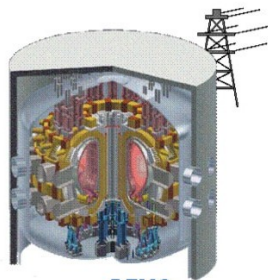
~16 MW_{th}



ITER

800 m³

~ 500 MW_{th}



DEMO

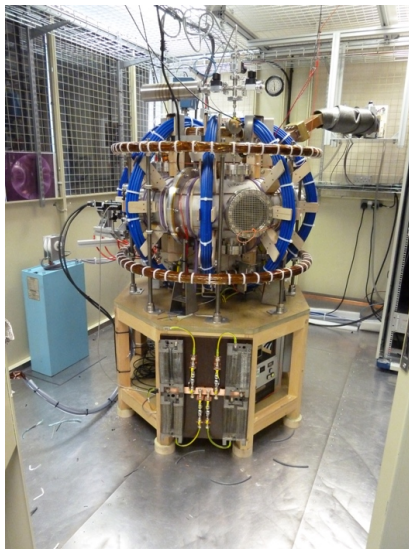
~ 1000 - 3500 m³

~ 2000 - 4000 MW_{th}

kredit: ITER.org

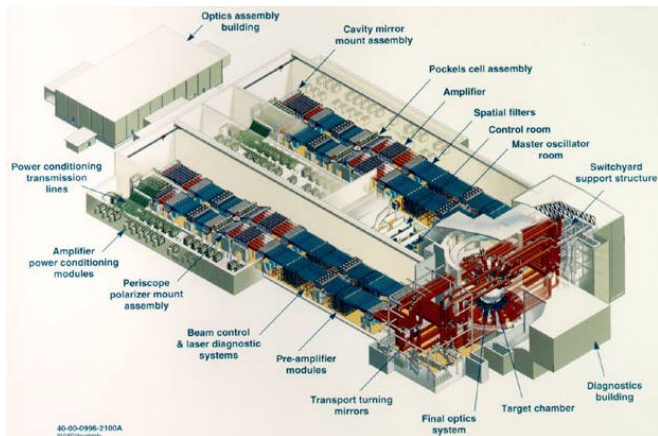
Rozumně akceptovatelná cena produkované elektřiny.

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

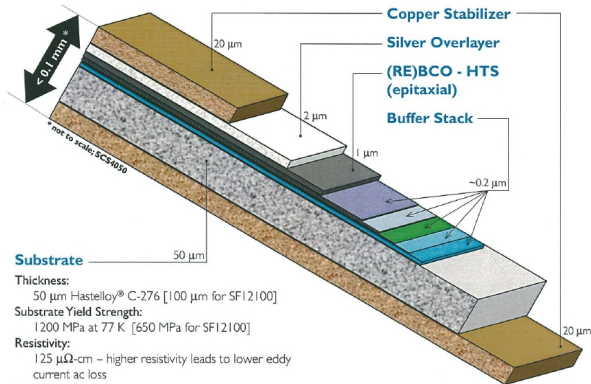
Plazma jako problém: tokamaky a další zařízení. Plasma facing components.

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:

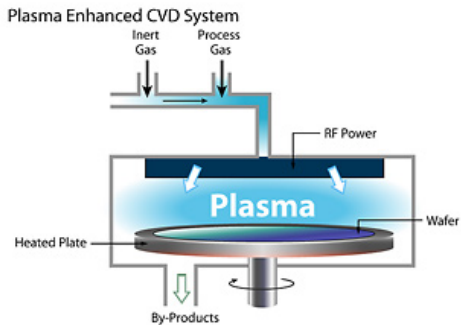
125 $\mu\Omega\text{-cm}$ – higher resistivity leads to lower eddy current ac loss

Magnetic Properties:

non-magnetic, leads to lower ferromagnetic ac loss

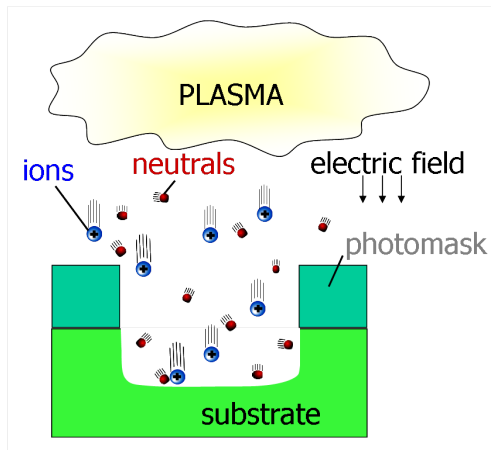
kredit: SuperPower.com

Výroba křemíkových wafelí



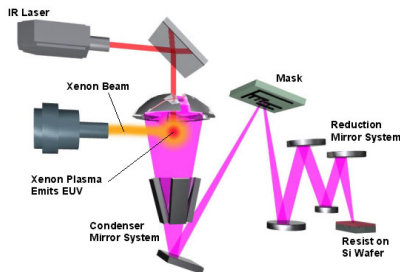
kredit: scorec.rpi.edu

Technologie leptání křemíkových substrátů



kredit: scorec.rpi.edu

EUV litografie

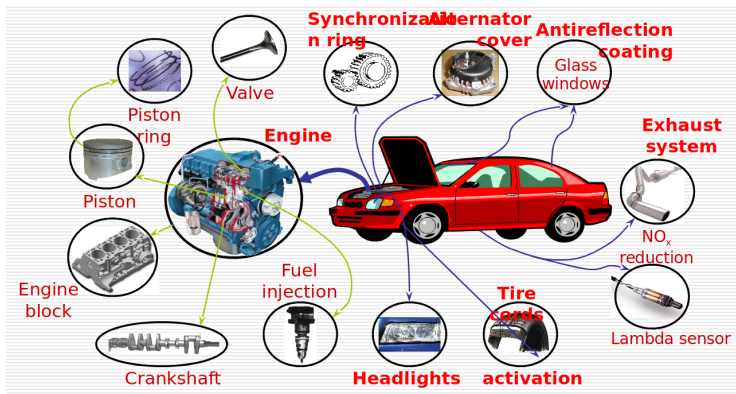


kredit: altervista.org

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

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

Plazmatické technologie v autě

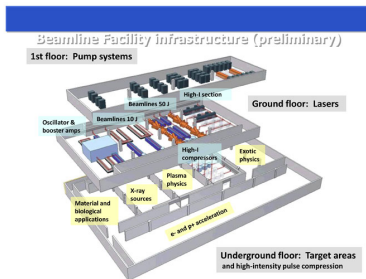


kredit: Pavel Chráska

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



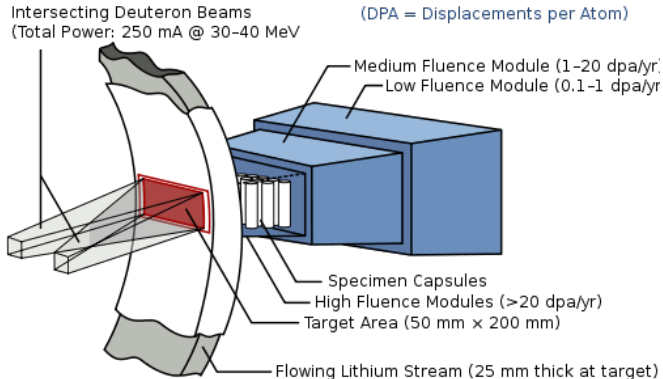
kredit: eli-beams.eu

- 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

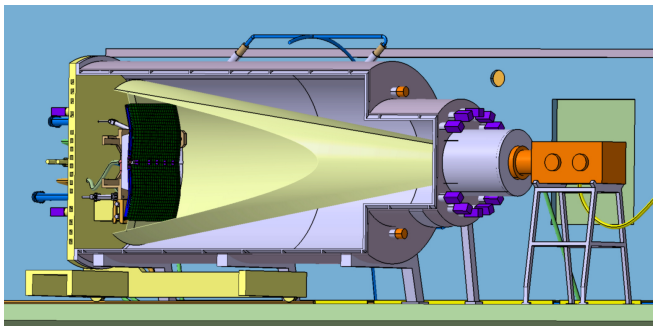
- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy**
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr

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

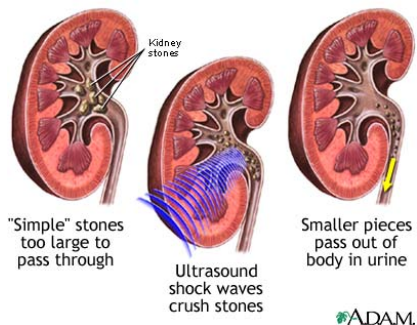
- Hojení ran,
- Dermatologie,
- Stomatologie

Plazmatem na plazmu



kredit: aldebaran.cz

Léčba ledvinových kamenů

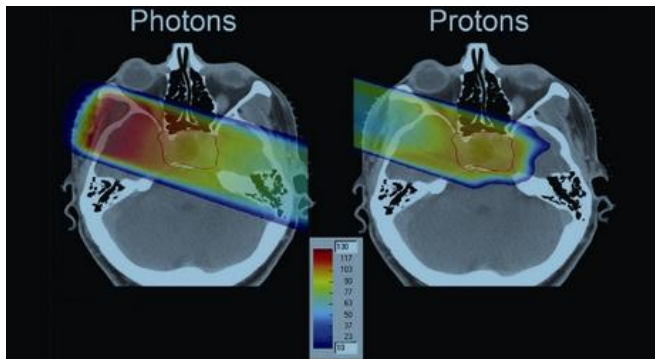


kredit: ipp.cas.cz



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

Hadronová terapie

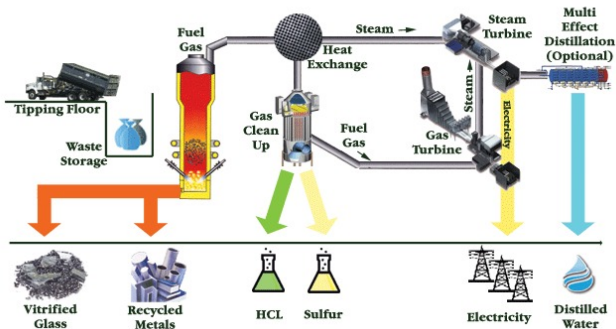


kredit: aldebaran.cz

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

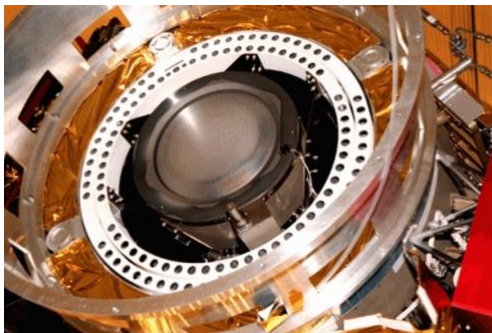
- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie**
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika**
- 4 Vzdělávání
- 5 Závěr



kredit: plasma-universe.com

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

Magnetohydrodynamický motor



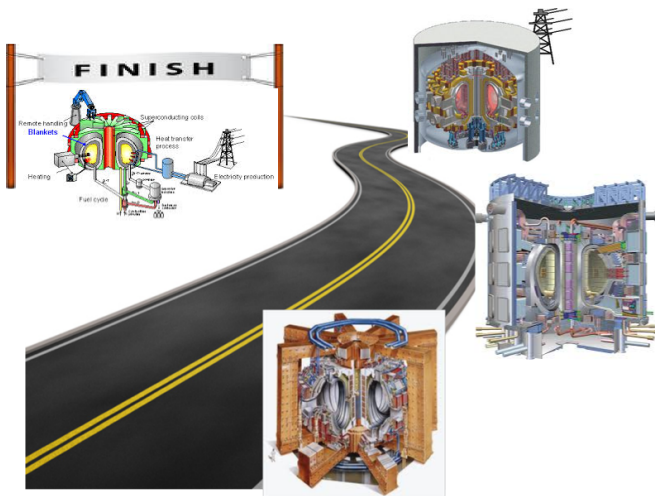
kredit: aldebaran.cz

1999: Deep Space 1, 2003: Smart 1

Outline

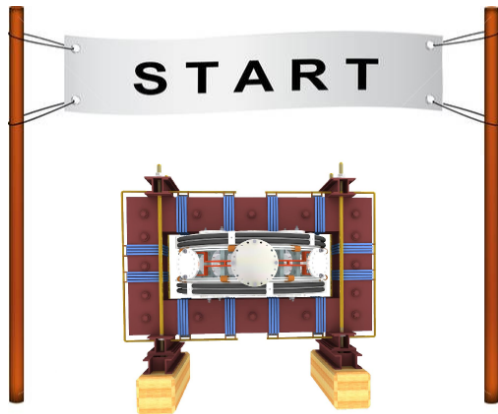
- 1 Úvod
- 2 Budoucí termojaderný reaktor
- 3 Plazmatické technologie
 - Průmysl
 - Výzkum
 - Materiálové testy
 - Zdravotnictví
 - Ekologie
 - Astronomie, astrofyzika, kosmonautika
- 4 **Vzdělávání**
- 5 Závěr

Cesta k fúzní elektrárně



kredit: golem.fjfi.cvut.cz

Golem

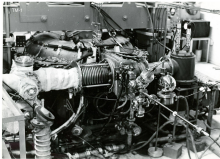


kredit: golem.fjfi.cvut.cz

Čtvrtky.

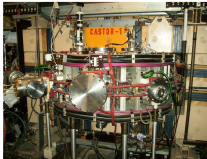
The smallest & oldest tokamak...

Tokamak TM1
@Kurchatov Institute near Moscow
~1960-1977



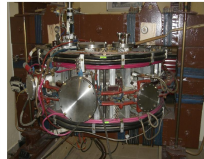
SCIENCE

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



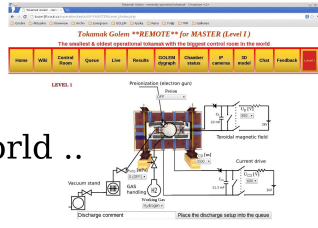
**SCIENCE
& education**

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

Fyzika a technika termojaderné fúze

Co je fúze

Co je plazma

Plazma je krásné!

Studium

Pro koho se chceš rozhodnout?

Pozadí a lidé

Jsme součástí evropských struktur

Fyzika a technika termojaderné fúze

Uplatnění našich studentů

Hvězdná konstelace

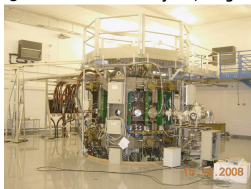
Jsme součástí evropských struktur

kredit: fttf.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

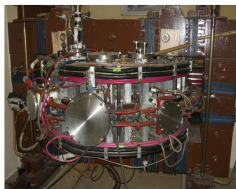
Tokamak COMPASS
@Institute of Plasma Physics, Prague



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