

PlasmaLab@CTU

– status a vývoj

*Jana Brotánková, Jan Mlynář, Vojtěch Svoboda, Jan Hečko, Karel Kovařík, Jiří Matějčík,
Miroslav Pfeifer, Martin Himmel, Ondřej Ficker, Kateřina Hromasová*



EVROPSKÁ UNIE

Evropské strukturální a investiční fondy

Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Úvod

Joint degree fúze

- Plný název: Mezinárodní doktorský program vysokoteplotního plazmatu a jaderné fúze
- Cíl projektu: Akreditace ~~joint degree~~ double degree s Univerzitou v Gentu

PlasmaLab@CTU

- Plný název: Laboratoř horkého plazmatu a fúzní techniky
- Cíl projektu: Vybudovat vzdělávací laboratoř v oboru fyziky horkého plazmatu a techniky fúze v kombinaci s rozvojem tokamaku GOLEM
- Oba projekty mají podporu od října 2017 do září 2022

Laboratoř horkého plazmatu PlasmaLab@CTU

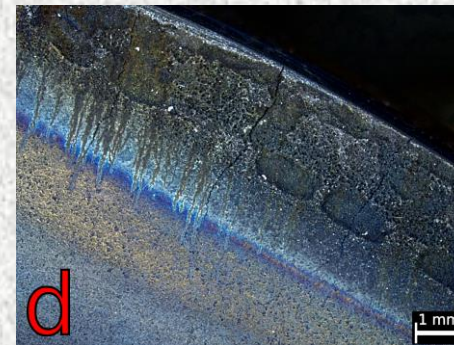
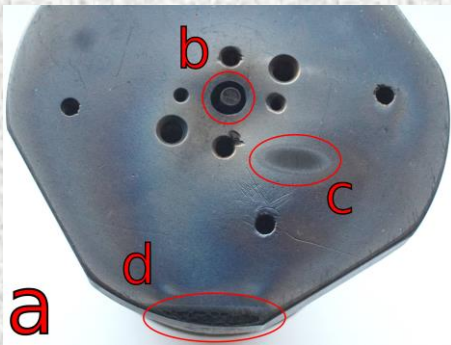
- Zajištění přístrojového a laboratorního vybavení pro výzkumně zaměřené studijní programy
- Zajištění dodatečného podpůrného vybavení nezbytného pro kvalitu výzkumně zaměřených programů včetně informační infrastruktury
- Existující PlasmaLaby: Eindhoven (TU), Madison (Wisconsin University), Lisabon (IST), Gent (Gent University)
- Pracoviště nové laboratoře:
 - PLA – Plazma
 - MEP – Magnetická a elektrická pole
 - OPT – Optika
 - GOL – Golem

Úlohy laboratoře

- **Pracoviště 1 – Plazma**
 - Plazmový stend - lineární magnetická past (plazmové vlny)
 - Měření Paschenovy křivky
 - Vakuová nádoba a set výbojových trubic se zdroji
 - Rezonanční dutina s diagnostikou mikrovlnného výboje
- **Pracoviště 2 – Magnetická a elektrická pole**
 - Stend magnetického pole a magnetického měření
 - Stend Langmuirových sond
 - Mikrovlnný stend
- **Pracoviště 3 – Optika**
 - Spektroskopická lavice
 - Generátor sonoluminiscence
 - Mikroskop 3D
- **Pracoviště 4 – GOLEM**
 - Řízený zdroj pro poloidální pole
 - Modernizace interferometrie
 - Stabilizované zdroje
 - Systémy sběru dat

Publikace

- M. Komm et.al., On the applicability of three and four parameter fits for analysis of swept embedded Langmuir probes in magnetized plasma, Nuclear Fusion, 2022
- J. Čaloud et.al., Calorimetry probe for runaway electron heat load measurements at COMPASS, Review of Scientific Instruments, 2022



Výuka v PlasmaLab@CTU

- PRPL (Praktika fyziky plazmatu)
 - 2019/2020
 - 2020/2021
 - 2021/2022
 - 2022/2023
- Bakalářské práce
 - Bc. Ondřej Bareš – Magnetický stend
 - Bc. Laura Thonová – Plasma MiniJET
 - Bc. Daniel Švorc – Rezonanční dutina
- Global Talent Mentoring – 2021-2022
- SFP (Seminář fyziky plazmatu) – mikroprojekt
- UPP (Úvodní praktikum plazmatu)
 - Nově proběhlo 2021/2022
- SOČ
 - Dvě studentky od 2021/2022, pokračují
 - Nový student od prosince 2022

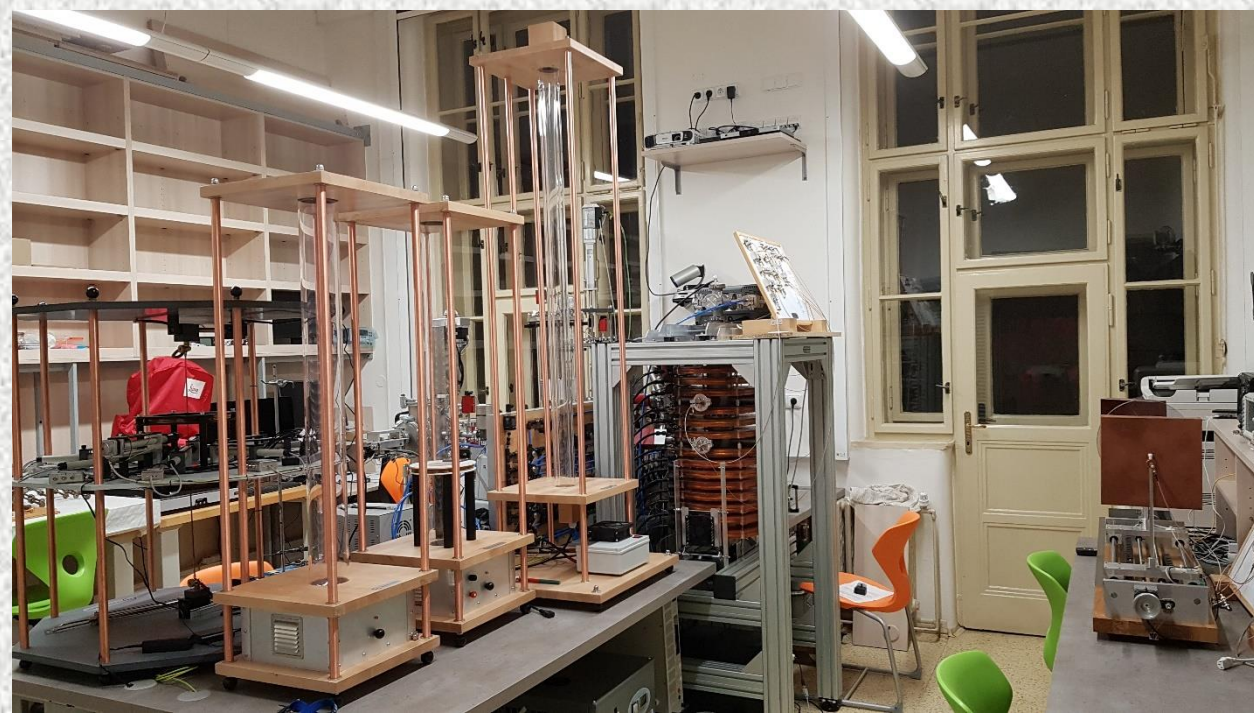
Pokrok

- Webové stránky <http://www.plasmalab.cz>
- Nový člověk: RNDr. Daniel Mazur, Ph.D. – od 2022
- Ing. Miroslav Pfeifer † červen 2022
- Dodělávky, rutinní provoz
 - Rezonanční dutina
 - Lineární magnetická past
- Nové věci
 - Antény – set pro lepší antény, stub (pahýl)
 - Půlvlnná destička pro laserovou spektroskopii
 - Mikroskop - podsvícení
 - Zdroj NLN 35-500 plus rozhraní LAN Probus V
 - Rotační vývěva pro dutinu

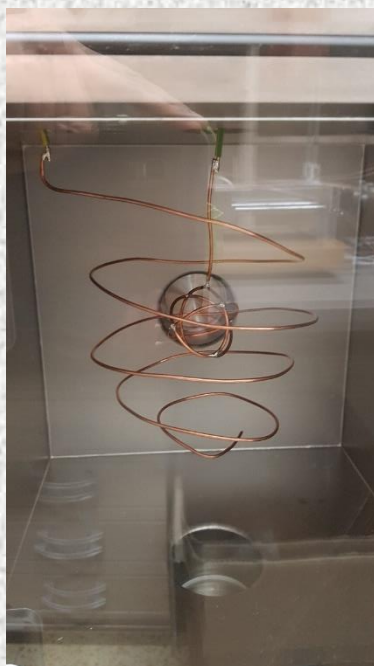
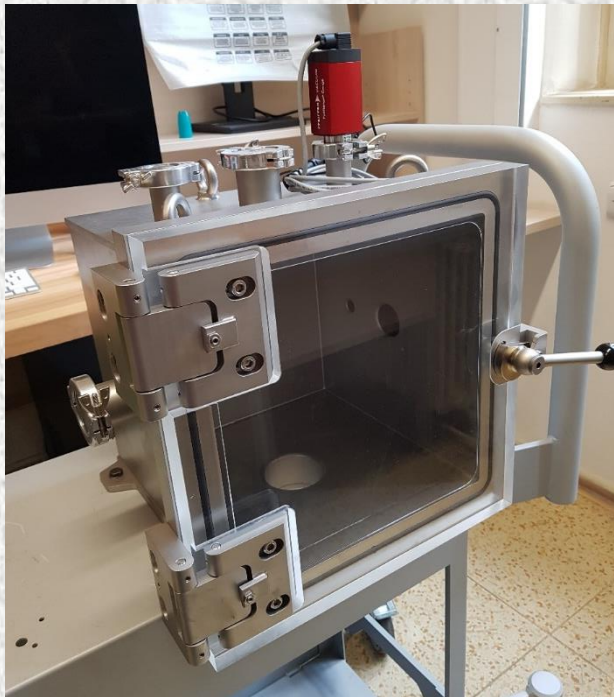
Vzdálené ovládání

- Filozofie PlasmaLabu@CTU: dálkové ovládání v nejvyšší možné míře
- Ovládání přes Internet
- Každá úloha má svoji Raspberry Pi, na ní běží ovládání dané úlohy
- Master Malina: na ní běží celkový software, zapíná ostatní Maliny
- Motoriky přes Arduina -> Raspberry Pi
- Některé přístroje zapojené rovnou do Internetu (osciloskopy, spektrální analyzátor, měrky přes controller...)
- Některé součásti mají manuální ovládání (pouštění bomb, výměna součástí...)

PlasmaLab



Vakuový stend



- Kostka 30x30 cm
- Porty, dveře z akrylového skla
- Měrka
- Membránová + turbomolekulární vývěva
- V provozu

Plazma - Lineární magnetická past



- Propagace vln v plazmatu pro různé módy a polarizace; dielektrický tenzor
- Zařízení: vakuová nádoba s plazmatem, cívky magnetického pole, mikrovlnný vysílač a přijímač
- Experiment: Pozorování propagace vln v plazmatu s různou polarizací, velikostí magnetického pole a hustoty plazmatu
- Fusion relevance: wave heating, wave access and wave diagnostics: ICRH, ECRH, ECE, reflectometry etc.

Plazma - Měření Paschenovy křivky



- Měření zápalného napětí (breakdown) v závislosti na pd , kde p je tlak a d je vzdálenost mezi sondami v různých plynech
- Zařízení: 100 mm vakuová nádoba s pracovním plynem a dvěma pohyblivými elektrodami
- Experiment: měření průrazu s variacemi tlaku (0.1 – 1e4 Pa), vzdálenosti, pracovního plynu (Ar), napětí



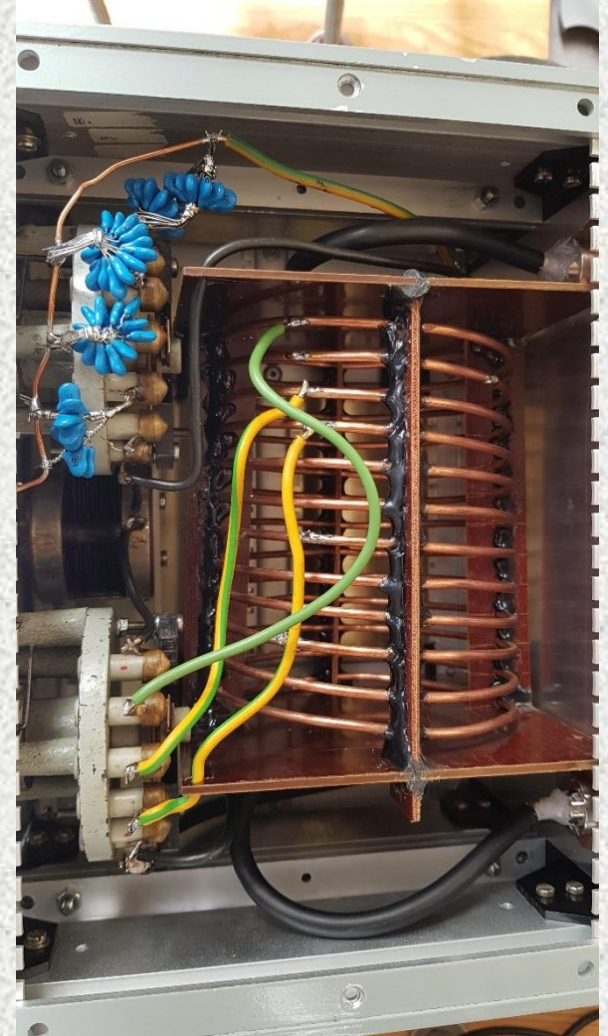
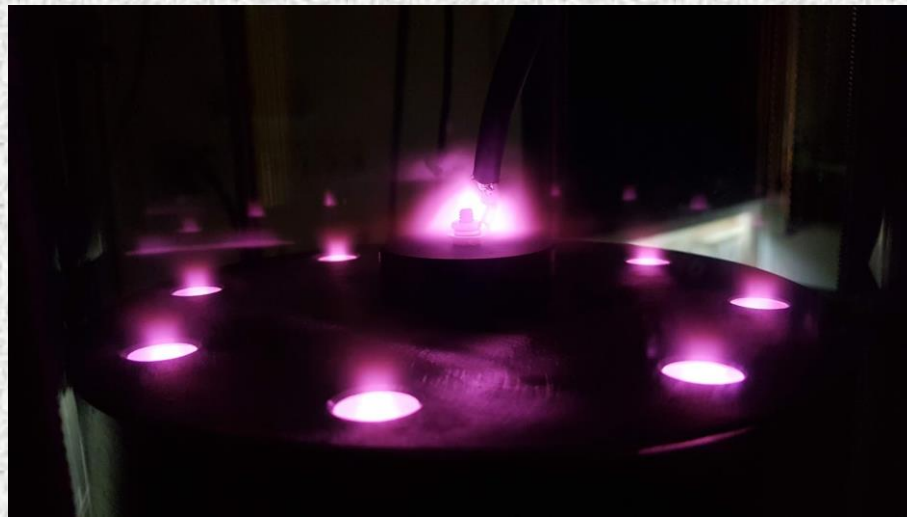
- Fusion relevance: breakdown, plasma start-up

Plazma - Rezonanční dutina s diagnostikou mikrovlnného výboje

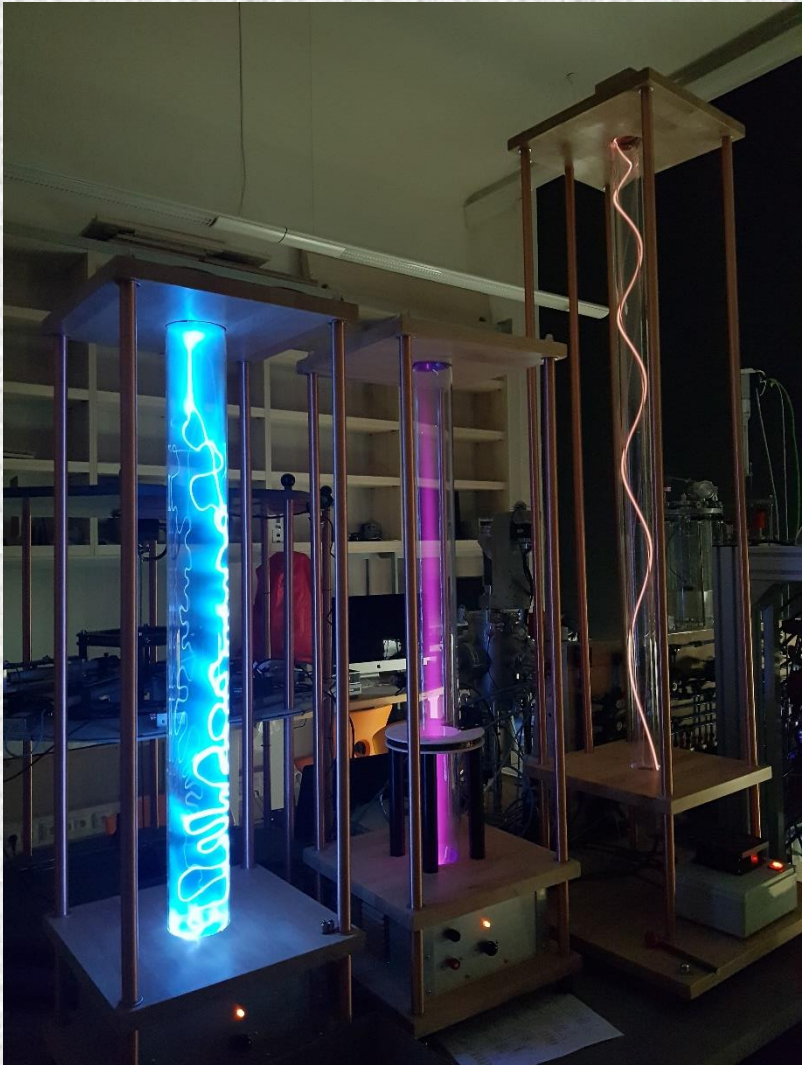


- Studie interakce mikrovln s plazmatem
- Zařízení: vakuová nádoba s rezonanční dutinou, vakuová nádoba
- Experiment: měření rezonance, určení hustoty plazmatu pomocí posunu rezonanční frekvence rezonanční dutiny
- Fusion Relevance: Microwaves (ECRH) are a prime heating tool for fusion plasmas

Plazma - Rezonanční dutina s diagnostikou mikrovlnného výboje



Plazma – Výbojové trubice



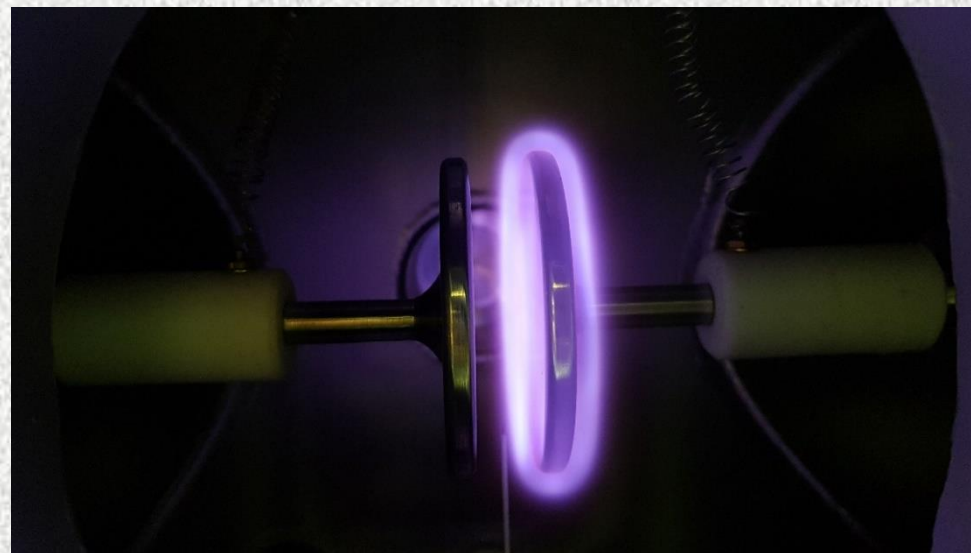
- Plus trubice s proměnným tlakem: studium doutnavého výboje, trubice spirálová a s teplotním gradientem
- Fusion Relevance: Optics measurements, PR



MEP - Stend Langmuirových sond



- Studium měření langmuirovými sondami, fyzika sheathu, určení elektronové teploty a hustoty
- Zařízení: vakuová nádoba s plazmatem, langmuirovy sondy (single, double, triple), případně jiné
- Experiment: měření VA charakteristiky sond a určení příslušných parametrů plazmatu



- Fusion relevance: Basic measurements in edge/SOL of fusion plasma

Společný vakuový systém

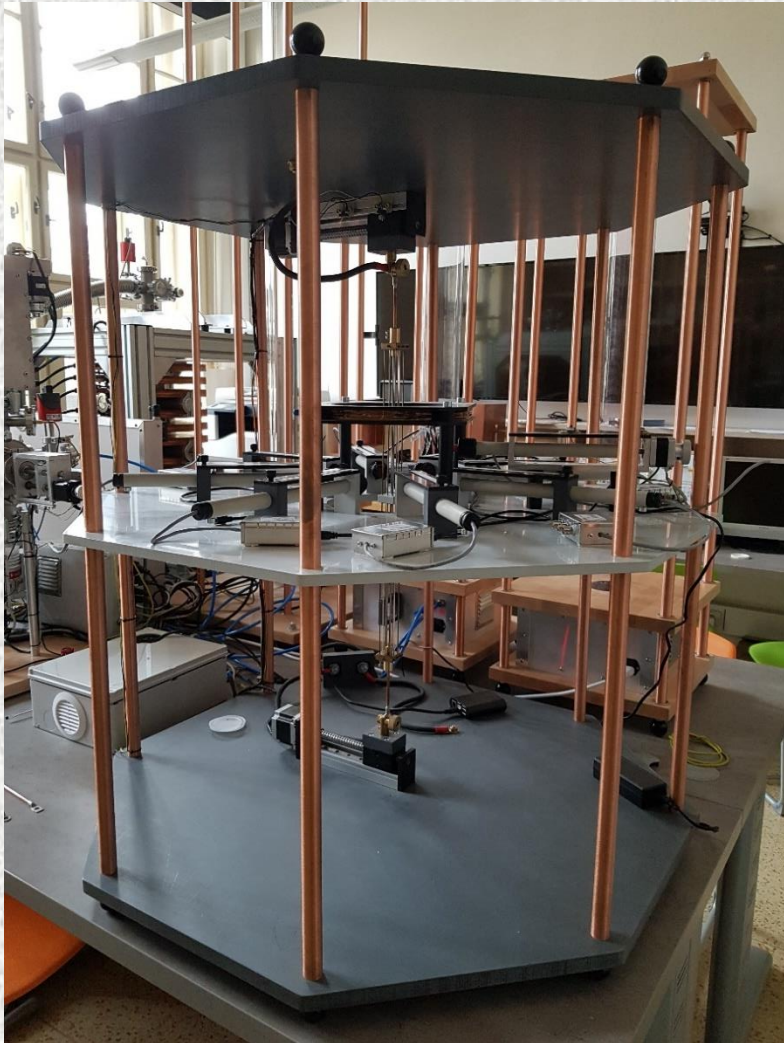
Úlohy:

- Lineární magnetická past
- Paschenova křivka
- Langmuirovy sondy
- Rezonanční dutina
- Výbojová trubice s proměnným tlakem
- Upgrade na cestě – Paschen, dutina a sondy budou mít své vývěvy

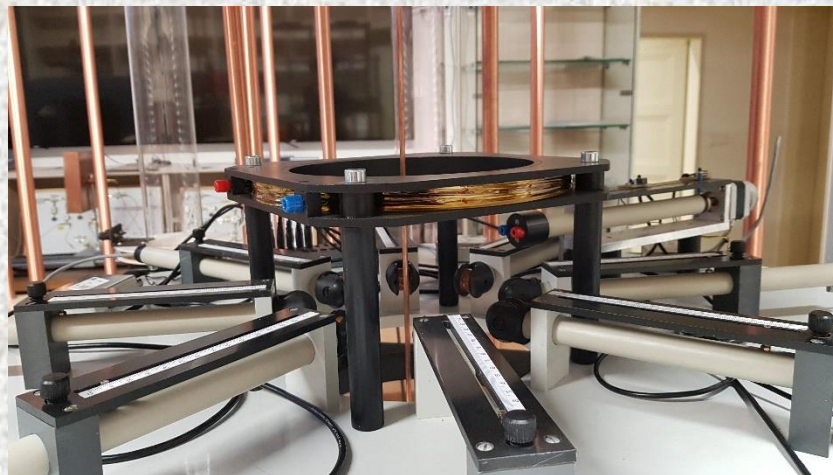
Plyny: Ar, He, Ne, dusík, vzduch



MEP - Stend magnetického pole a magnetického měření

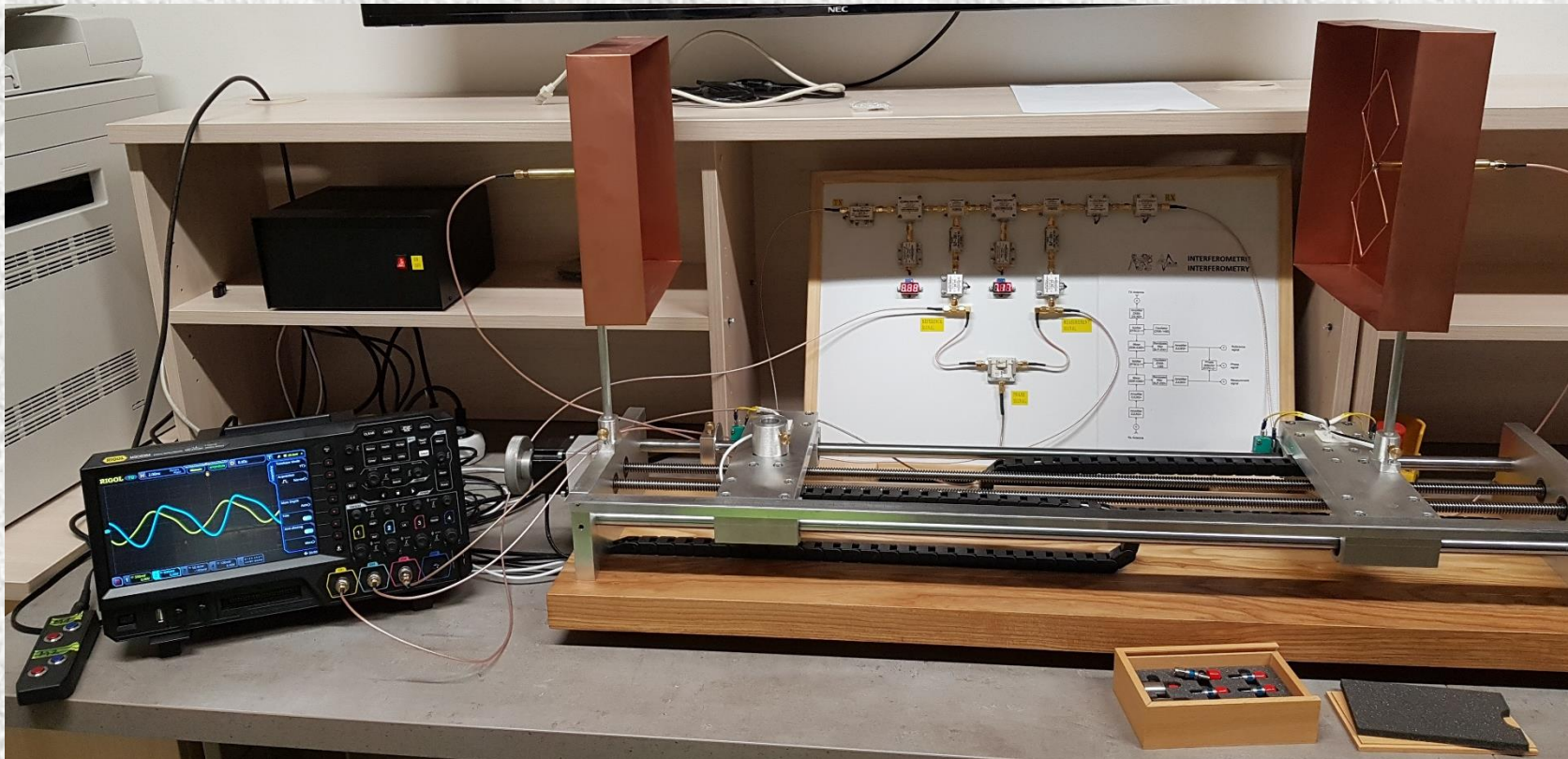


- Studium magnetického pole, výpočet magnetického pole kolem „sloupce plazmatu“
- Zařízení: centrální vodič (posuvný), set 8 cívek, jedna přidaná s výměnnými cívkami s různými charakteristikami, Helmholtzova cívka, klec s několika vodiči
- Experiment: určení proudu v proudovém vodiči; určení posunutí proudového vodiče; určení rozložení proudu v kleci...



- Fusion relevance: Standard diagnostic for measurement of current or magnetic field, feed back

MEP - Mikrovlnný stend



- Princip interferometrie, propagace mikrovln, nastavení mikrovlnné aparatury
- Zařízení: mikrovlnný interferometr s RF konverzí a fázovým detektorem
- Experiment: Popsat šíření vln, určit index lomu vzorku (sklo)
- Fusion relevance: Interferometers are key diagnostics for plasma density measurements

OPT - Spektroskopická lavice



- Demonstrace laserových metod k měření teploty a hustoty plazmatu
- Zařízení: single mode diodový laser, absorpční/fluorescenční komora s parami Rb
- Experiment: měření Dopplerova posunu spektra (termální rozšíření čáry, hlavní laser jedním směrem); měření izotopů Rb (s vedlejším laserem v protisměru); fluorescenční spektrum (kolmo)
- V procesu instalace
- Fusion relevance: Advanced techniques for density and temperature measurements in plasmas, like LIF

OPT - Generátor sonoluminiscence



- Demontrace sonoluminiscence
- Zařízení: skleněná trubice s kapalinou (voda) + Peltiérův článek
- Experiment: ve vodě budí zvuk stojaté vlnění (2 kmitny), které způsobuje kavitaci (vznik vakuových bublinek a jejich implozi), teplota v bublinkách je cca 10^5 K (10 eV)
- Zprovozněné, umíme vygenerovat a udržet bublinky, nevidíme světlo
- Fusion relevance: optická měření vysoké teploty, bubble fusion

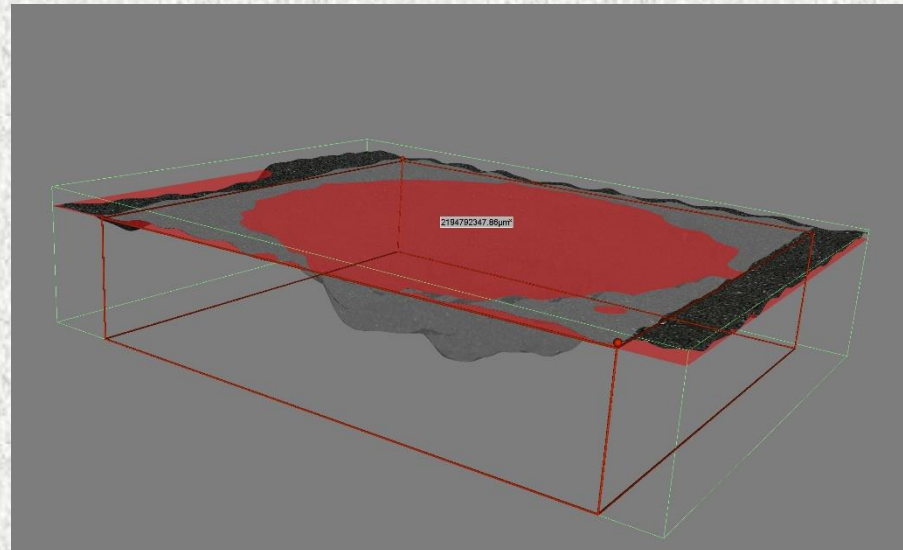
OPT – Mikroskop 3D

- Digitální počítačem řízený optický 3D mikroskop

- Studium důsedků interakce materiálu s plazmatem

- z našich i zahraničních fúzních či laserových experimentů
- včetně využití k samostatné doktorské disertační práci

- V provozu



Plasma Minijet



- Plasma Minijet pro úpravu povrchů
- 10 W, argon, 40 st.C
- Měření ve spolupráci s VŠCHT
 - Anna Machková & Laura Thonová – ošetření bakteriálních kultur
 - Prof. Emilio Martinez – Universita di Milano-Bicocca – návštěva v listopadu 2022

Závěr

- Projekty Joint Degree & PlasmaLab@CTU - realizace v letech 2017 – 2022
- Studenti – PlasmaLab@CTU žije!