

Projekt:		Č.j. Fondu	1581 /2009
Metodické centrum termojaderné fúze			
Tem. okruh:	A	Spec.:	a
Požadované prostředky:			
Kapitálové:	1700	Běžné:	0
		Celkem:	1700 tis. Kč
Řešitel:			
Jméno:	Prof. Ing. Igor Jex, DrSc.	Datum narození:	16. 10. 1962
E-mail:	igor.jex@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358262
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358261
1. spoluřešitel:			
Jméno:	Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.	Datum narození:	11. 3. 1967
E-mail:	svoboda@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358296
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358261
2. spoluřešitel:			
Jméno:	RNDr. David Břeň, Ph.D.	Datum narození:	17. 2. 1969
E-mail:	david.bren@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358260
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	Katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358261
3. spoluřešitel:			
Jméno:	Prof. RNDr. Pavel Kubeš, CSc.	Datum narození:	23. 5. 1943
E-mail:	kubes@fel.cvut.cz	Telefon:	224352311
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta elektrotechnická		
Pracoviště:	katedra fyziky		
Adresa:	Technická 2, 166 27 Praha 6 - Dejvice		
E-mail:	jerabko@fel.cvut.cz	Telefon:	224352331

Projekt:		Č.j. Fondu	1581 /2009
Metodické centrum termojaderné fúze			
4. spoluřešitel:			
Jméno:	Prof. RNDr. Milan Tichý, DrSc.	Datum narození:	28. 7. 1947
E-mail:	milan.tichy@mff.cuni.cz	Telefon:	221 912 305
Škola:	Univerzita Karlova v Praze		
Fakulta:	Matematicko-fyzikální fakulta		
Pracoviště:	Katedra elektroniky a vakuové fyziky		
Adresa:	V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8		
E-mail:	milan.tichy@mff.cuni.cz	Telefon:	221 912 305
5. spoluřešitel:			
Jméno:	Ing. Tomáš Trojek, Ph.D.	Datum narození:	6. 2. 1978
E-mail:	tomas.trojek@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358237
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	KDAIZ		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kdaiz@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358256
6. spoluřešitel:			
Jméno:	ing. Gabriel Vondrášek	Datum narození:	14. 3. 1938
E-mail:	asd4321@centrum.cz	Telefon:	+42024358297
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	Katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	svoboda@fjfi.cvut.cz	Telefon:	+42024358297
7. spoluřešitel:			
Jméno:	RNDr. Jan Mlynář, Ph.D.	Datum narození:	2. 11. 1966
E-mail:	mlynar@ipp.cas.cz	Telefon:	26605 2941
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	Katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224 358 261

Projekt:		Č.j. Fondu	1581 /2009
Metodické centrum termojaderné fúze			
8. spoluřešitel:			
Jméno:	Doc. Ing. Zdeněk Češpíro, CSc.	Datum narození:	20. 8. 1929
E-mail:	zdenek.cespiro@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358289
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Pracoviště:	Katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224 358 261
9. spoluřešitel:			
Jméno:	Edita Dufková	Datum narození:	16. 3. 1981
E-mail:	edita@email.cz	Telefon:	224358296
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Studijní program:	FE	Forma studia:	Bc. student prez.
Studijní obor:	Fyzikální inženýrství	Konec studia:	09/2008
Pracoviště:	Katedra fyziky		
Adresa:	Břehová 7, 115 19 Praha 1 - Staré Město		
E-mail:	kf@fjfi.cvut.cz	Telefon:	224358261

Projekt:		Č.j. Fondu	1581 /2009
Metodické centrum termojaderné fúze			
Tem. okruh:	A	Spec.:	a
Řešitel:	Prof. Ing. Igor Jex, DrSc.		
Škola:	České vysoké učení technické v Praze		
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská		
Anotace			
<p>Cílem projektu je zprovoznit tokamak CASTOR, dříve umístěný v Ústavu fyziky plazmatu, na půdě FJFI ČVUT pro účely výuky studentů v oblasti fyziky plazmatu s akcentem na termojadernou fúzi. Praktická výuka na tomto jedinečném zařízení je určena pro studenty všech VŠ kvalifikačních stupňů, tj. bakalářských, magisterských i postgraduálních. Zájem o činnost na tomto zařízení projevily kromě kateder FJFI (fyziky, fyzikální elektroniky, dozimetrie a aplikace ionizujícího záření), další fakulty ČVUT (Fakulta elektrotechnická) a i další školy v Praze (MFF UK). V blízké budoucnosti se předpokládá zapojení tohoto zařízení do celoevropského vzdělávacího procesu studentů fyziky plazmatu termojaderné fúze (v současné době se koncipuje projekt "Coordination and Support Action on Fusion Education" s rozpočtem 2 mil. Euro na příští 4 roky). Druhým cílem projektu je sestavení základní nabídky experimentů prováděných na tomto zařízení. Experimenty budou směřovány převážně na výuku diagnostiky základních vlastností jevů a chování plazmatu očekávaných na zařízeních světových fúzních center. Projekt doplňuje investice, které realizuje FJFI pro zprovoznění tohoto zařízení (úprava prostor, nutná infrastruktura, stěhování zařízení atp.)</p>			
Konkrétní výstupy			
<ul style="list-style-type: none">*Znovuvedení do provozu a rutinní provoz tokamaku CASTOR na půdě FJFI ČVUT v Praze.*Sestavení a odzkoušení sady nových experimentálních úloh z oblasti fyziky plazmatu včetně metodických materiálů.*Zavedení nového předmětu studijní specializace Fyzika a technika termojaderné fúze: Praktikum fyziky a techniky tokamaků, který bude nabídnut i externím studentům jak ČVUT, tak UK a ostatních univerzit. Dále se předpokládá zapojení do koordinovaného fúzního vzdělávání v EU.*Seminář k dané problematice.*Závěrečná zpráva projektu.			
Přínos k rozvoji fakulty / VŠ			
<ul style="list-style-type: none">*Kvalitativně mnohem vyšší možnosti praktické výuky fyziky v oblasti plazmatu a termojaderné fúze.*Internacionalizace studia na ČVUT, integrace fúzního vzdělávání v ČR do evropských vzdělávacích struktur.*Zapojení frekventantů základního studia do procesu přípravy a zpracování experimentů formou pomocných vědeckých sil.			
Cílová skupina projektu			
<p>Předměty v bakalářském a magisterském studiu na FJFI ČVUT:</p> <ul style="list-style-type: none">*Úvod do termojaderné fúze - 5 studentů.*Fyzika tokamaků - 10 studentů.*Diagnostika plazmatu - 10 studentů.*Technika termojaderných zařízení - 10 studentů.*Praktika fyziky plazmatu - 10 studentů.*Počítačové řízení experimentů - 10 studentů.*Diagnostika horkého plazmatu - 8 studentů. (ve spojení s MFF UK a FEL ČVUT).*Elektrické výboje a jejich aplikace - 5 studentů (ve spojení s FEL ČVUT).*Fyzikální seminář - 5 studentů. <p>Bakalářské práce - 3 studenti. Diplomové práce - 3 studenti....</p>			

FOND ROZVOJE VYSOKÝCH ŠKOL 2009
Agentura Rady vysokých škol, José Martího 31, 162 52 Praha 6 - Veveslavín

LIST C

Projekt:	Metodické centrum termojaderné fúze	Č.j. Fondu	1581 /2009
Škola:	České vysoké učení technické v Praze	TO:	A
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská	Spec.:	a
		příspěvek školy	dotace z FRVŠ
			požadavek přiděleno

KAPITÁLOVÉ VÝDAJE (tis. Kč) - doložte nabídkou			
Přístroje	186	1700	
Kapitálové výdaje celkem	186	1700	
BĚŽNÉ NÁKLADY (tis. Kč) - konkretizujte dle položek			
Odměny za řešení projektu	0	0	
Stipendia	0	0	
Ostatní osobní náklady	0	0	
Služby	0	0	
Cestovné zahraniční	0	0	
Ostatní	0	0	
Běžné náklady celkem	0	0	
Celkem	186	1700	

PROHLÁŠENÍ ŘEŠITELE A SPOLUŘEŠITELŮ
 Prohlašujeme, že jsme uvedli úplné a pravdivé údaje a bereme na vědomí, že v opačném případě nebo při porušení obecně uznávaných zásad vědeckopedagogické etiky nebo pro hrubé závady při řešení projektu a hospodaření s přidělenými prostředky a při kontrole výsledků při závěrečném oponentním řízení můžeme být zbaveni práva ucházet se o grant až po dobu tří let. Souhlasíme s tím, aby ARVŠ používala osobní údaje uvedené v této žádosti při zpracování a evidenci projektu ve výběrovém řízení vypsáném pro rok 2009, během jeho řešení a po skončení pro účely hodnocení projektů. Souhlasíme se zveřejněním jmen řešitelů projektu.
 Spoluřešitelé dále souhlasí, aby uvedený řešitel řídil práce na projektu a disponoval poskytnutou dotací.

**FOND ROZVOJE VYSOKÝCH ŠKOL
2009**

**Přihláška projektu FRVŠ
1581/2009/A/a**

Metodické centrum termojaderné fúze

Prof. Ing. Igor Jex, DrSc.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Číslo projektu	1581/2009
Tem. okruh a specifikace	A / a
Řešitel	Prof. Ing. Igor Jex, DrSc.
Název projektu	Metodické centrum termojaderné fúze
Vysoká škola a fakulta	České vysoké učení technické v Praze Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

Anotace

Cílem projektu je zprovoznit tokamak CASTOR, dříve umístěný v Ústavu fyziky plazmatu, na půdě FJFI ČVUT pro účely výuky studentů v oblasti fyziky plazmatu s akcentem na termojadernou fúzi. Praktická výuka na tomto jedinečném zařízení je určena pro studenty všech VŠ kvalifikačních stupňů, tj. bakalářských, magisterských i postgraduálních. Zájem o činnost na tomto zařízení projevíly kromě kateder FJFI (fyziky, fyzikální elektroniky, dozimetrie a aplikace ionizujícího záření), další fakulty ČVUT (Fakulta elektrotechnická) a i další školy v Praze (MFF UK). V blízké budoucnosti se předpokládá zapojení tohoto zařízení do celoevropského vzdělávacího procesu studentů fyziky plazmatu termojaderné fúze (v současné době se koncipuje projekt "Coordination and Support Action on Fusion Education" s rozpočtem 2 mil. Euro na příští 4 roky). Druhým cílem projektu je sestavení základní nabídky experimentů prováděných na tomto zařízení. Experimenty budou směřovány převážně na výuku diagnostiky základních vlastností jevů a chování plazmatu očekávaných na zařízeních světových fúzních center. Projekt doplňuje investice, které realizuje FJFI pro zprovoznění tohoto zařízení (úprava prostor, nutná infrastruktura, stěhování zařízení atp.)

Konkrétní výstupy

- Znovuvedení do provozu a rutinní provoz tokamaku CASTOR na půdě FJFI ČVUT v Praze.
- Sestavení a odzkoušení sady nových experimentálních úloh z oblasti fyziky plazmatu včetně metodických materiálů.
- Zavedení nového předmětu studijní specializace Fyzika a technika termojaderné fúze: **Praktikum fyziky a techniky tokamaků**, který bude nabídnut i externím studentům jak ČVUT, tak UK a ostatních univerzit. Dále se předpokládá zapojení do koordinovaného fúzního vzdělávání v EU.
- Seminář k dané problematice.
- Závěrečná zpráva projektu.

Přínos k rozvoji fakulty / VŠ

- Kvalitativně mnohem vyšší možnosti praktické výuky fyziky v oblasti plazmatu a termojaderné fúze.
- Internacionalizace studia na ČVUT, integrace fúzního vzdělávání v ČR do evropských vzdělávacích struktur.
- Zapojení frekventantů základního studia do procesu přípravy a zpracování experimentů formou pomocných vědeckých sil.

Cílová skupina projektu

- Předměty v bakalářském a magisterském studiu na FJFI ČVUT:
- Úvod do termojaderné fúze - 5 studentů.
 - Fyzika tokamaků - 10 studentů.
 - Diagnostika plazmatu - 10 studentů.
 - Technika termojaderných zařízení - 10 studentů.
 - Praktika fyziky plazmatu - 10 studentů.
 - Počítačové řízení experimentů - 10 studentů.
 - Diagnostika horkého plazmatu - 8 studentů. (ve spojení s MFF UK a FEL ČVUT).
 - Elektrické výboje a jejich aplikace - 5 studentů (ve spojení s FEL ČVUT).
 - Fyzikální seminář - 5 studentů.
- Bakalářské práce - 3 studenti.

Diplomové práce - 3 studenti.

Dále se předpokládá výuka v dalších předmětech na ostatních VŠ

- Spektroskopie plazmatu (ve spolupráci s MFF UK)
- Fyzika plazmatu (ve spolupráci s MFF UK a ČVUT)
- Elektronika pro fyziky (ve spolupráci s MFF UK)

Zjednodušené verze základních úloh budou nabídnuty i do mimofakultních vzdělávacích aktivit FJFI ČVUT, jako je Fyzikální týden, Otevřené laboratoře pro středoškolské studenty a Univerzita třetího věku pro seniory (viz <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz> , <http://fyzol.fjfi.cvut.cz> a <http://fyzu3v.fjfi.cvut.cz>).

Současný stav řešeného problému

Evropská unie má v současné době ve výzkumu fúze jasnou vedoucí roli jak z hlediska vložených prostředků, tak i výsledků. Na základě toho bylo červnu 2005 rozhodnuto o umístění globálního vědecko-technologického experimentu, tokamaku ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), do střediska Cadarache v jižní Francii. Řada dalších velkých projektů se rozvíjí v Japonsku, USA, Číně, Koreji, Indii, i v sousedním Německu. Například Francie na svých VŠ klade na obory spojené s termojadernou fúzí v posledních letech veliký důraz.

Česká republika má v oboru termojaderné fúze silné postavení. Jako jediná nově přistoupičivší země EU provozuje vlastní tokamak a svou roli stvrdila i rozhodnutím vlády ČR z listopadu 2005 podpořit transfer většího tokamaku Compass D z Culhamu (GB) do Prahy, který je od začátku roku 2008 umístěn a uváděn do provozu v Ústavu fyziky plazmatu AVČR. Širokou účast české strany na mezinárodních projektech zajišťuje Asociace EURATOM-IPP.CR, v rámci které se daří získávat i odpovídající (a stále rostoucí) podíl na řešení technologických úloh výzkumu.

Je zřejmé, že se členské státy Evropské unie (včetně České republiky) potýkají ve fúzi a příbuzných oborech s nedostatkem vysoce kvalifikovaných mladých odborníků. Tato situace se v blízké budoucnosti nezlepší pokud nebudeme realizovat zásadní kroky k jejich napravení.

V současnosti FJFI ČVUT umístilo do svých prostor tokamak CASTOR (převeden z Ústavu fyziky plazmatu AV ČR) a po ukončení stavebních úprav se bude toto zařízení postupně oživovat pro čisté výukové účely. Znovuvedením tohoto zařízení do provozu získají přírodovědné fakulty vyjímečnou možnost posunout praktickou výuku studentů z oblasti fyziky plazmatu na kvalitativně novou úroveň. (Zařízení Compass má mnohem složitější provoz, je méně flexibilní a mnohem dražší (náklady na jeden výboj jsou min. 20x vyšší než na CASTORu) a tudíž je málo vhodný k výuce.)

FJFI ČVUT vytvořila podmínky pro umístění a provoz funkčního tokamaku CASTOR. Využívá při tom dlouholeté pedagogické a vědecké zkušenosti z oblasti fyziky plazmatu a celkovou přírodovědnou orientaci fakulty v rámci ČVUT. Znovuvedení tokamaku do provozu je finančně zajišťováno FJFI ČVUT. Navrhovaný projekt vhodně doplní tuto činnost a rozšíří ji tak, aby se tokamak mohl začít využívat plnohodnotně pro výuku a vzdělávání studentů všech přírodovědných škol v ČR.

FJFI ČVUT vychovává studenty ke tvořivé aplikaci získaných přírodovědných znalostí a dovedností v praxi. Nabízí studium zaměřené na oblasti experimentální a teoretické fyziky v řadě oborů, mezi které patří i relativně nové zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze.

Nejen na FJFI a potažmo na ČVUT, ale ani na žádných jiných vysokoškolských ústavech střední Evropy nejsou k dispozici experimentální zařízení, na kterých by bylo možné provádět výukové experimenty z oblasti vysokoteplotního plazmatu. V současné době je praktická výuka zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze řešena složitým způsobem na 7 různých pracovištích po celé Praze.

Tokamak CASTOR je v současné době již přemístěný na FJFI ČVUT. Je to zařízení s kruhovým průřezem sloupce plazmatu. Jako pracovní plyn se používá vodík, zdrojem energie pro toroidální magnetické pole je kondenzátorová baterie o kapacitě 1 MJ. Zpoždovací linka s energií několika desítek kJ zajišťuje vytváření a ohřev plazmatu. Pro představu, vlastní tokamak je srovnatelný co do velikosti s malou dodávkou. Viz <http://www.ipp.cas.cz/Tokamak/cz>. Celé zařízení včetně infrastruktury bude po dokončení umístěno ve dvou místnostech.

Hlavní parametry tokamaku CASTOR:

- Velký poloměr $R = 0.4$ m.
- Malý poloměr $a = 0.085$ až 0.060 m .
- Toroidální magnetické pole $B_t < 1.5$ T.
- Proud plazmatem $I < 25$ kA. - Délka pulzu $t < 50$ ms.
- Hustota plazmatu $n_e = 0.2-3.0 \cdot 10^{19}$ m⁻³.

- Elektronová teplota $T_e(0) < 200$ eV.
- Iontová teplota $T_i(0) < 100$ eV.

Obr. 1.: Srovnání velikostí CASTORu s velikostmi současných tokamaků s geometrií plazmatu podobných ITERu. (obr1.jpg v příložených dokumentech)

Obr. 2.: Fotografie tokamaku CASTOR v původním umístění na ÚFP AV ČR (obr2.jpg v příložených dokumentech)

Cíle řešení

Primárním cílem projektu je zkvalitnění výchovy nové generace v široce se rozvíjející fyziky a techniky programu horkého plazmatu v ČR a v Evropě (nově budovaný tokamak Compass, laserový systém PALS a projektované laserové laboratoře HYPER a ELI) a fúzním jaderném programu EU. Důraz je při tom kladen na získání praktických dovedností.

FJFI ČVUT se svým specializovaným zaměřením připravuje odborníky pro technické, technologické a vědecké obory spojené s fúzí. Uvedením tokamaku do provozu se fakulta stane jedinečným evropským pedagogickým pracovištěm, kde studenti tohoto oboru budou mít možnost okamžitě ověřit své teoretické poznatky na vhodném výukovém experimentálním zařízení. Tímto krokem se výrazně posílí praktická část výuky a připravenost absolventů pro technologické výzvy spojené s fúzními programy.

Způsob řešení

Řešení projektu představuje druhou a třetí fázi uvedení tokamaku do rutinního provozu. Po definitivním umístění a zajištění základních funkcí tokamaku (vakuová těsnost systému a energetika) je nutno oživit řídicí elektroniku, základní diagnostiku a uvést do provozu zpětnovazební řízení polohy. Třetím krokem je návrh a realizace jednotlivých experimentálních úloh, které umožní studentům seznámit se s velkou řadou praktických otázek a činností spojených s problematikou vysokoteplotního plazmatu. Konkrétně navrhujeme realizaci následujících kroků:

a) Rutinní provoz tokamaku (garanti: ing. Vojtěch Svoboda, CSc., doc. ing. Zdeněk Češpíro, CSc., ing. Gabriel Vondrášek, RNDr. Vladimír Kopecký, DrSc.)

Klíčové postupné cíle:

- Vakuová těsnost komory.
- Doutnavý výboj ("první", nízkoteplotní plazma).
- První základní diagnostiky. Datový sběr.
- Řídicí systém.
- Zprovoznění kondenzátorové baterie pro toroidální pole.
- ECR výboj - magnetrony. První plazma.
- Kondenzátorové baterie pro induktivní ohřev. První plazma s udržení (délka pulsu řádově 10 ms).
- Zpětnovazební systém řízení polohy (délka pulsu řádově 40 ms).

Návrh jednotlivých experimentálních úloh:

b) Základní diagnostika (garanti Mgr. Jan Horáček, Ph.D., ing. Vojtěch Svoboda, CSc.):

K provozu tokamaku je nutná sada standardních diagnostik měřících globální parametry výboje (hustota plazmatu, elektronová a iontová teplota, napětí na závit, proud plazmatem a vyzařování na jednotlivých vybraných energiích Halfa, CIII, atp.). Tyto diagnostiky jsou nezbytné k "nalezení" kvalitního výboje. Zde je adekvátní pomalejší sběr v pásmu 50 kHz. Hlavním úkolem studentů bude seznámit se s praktickou prací na tokamaku, provádění a analýzu výbojů, hledání dobrých parametrů výboje, elektronikou, kontrolou zapojení kabelů a nastavení sběru dat, týmová spolupráce.

Pracovní úkoly:

- Charakteristika základních parametrů výboje tokamaku.

c) Sondová měření (garanti: prof. RNDr. Milan Tichý, CSc., Mgr. Jan Horáček, Ph.D.)

Sondy umožňují získat detailní informace o okrajovém plazmatu v tokamacích. Vyvinuty byly pole Langmuirových sond pro časoprostorové monitorování turbulentních struktur, emisní a Ball-pen sondu pro přímé měření potenciálu plazmatu, orientované sondy pro měření iontových toků a tunelovou sondu pro rychlé měření elektronové a iontové teploty.

Návrh pracovních úkolů:

- Charakteristika radiálních profilů hustoty, potenciálu a poloidální rychlosti turbulentních struktur.

- Nalezení polohy separatrix, porovnání výsledků z měření profilu potenciálu a poloidálních rychlostí.
- Šumová analýza signálů floating potenciálu ze 4 sond.
- Kalibrace polohy separatrix na vertikálním posunu plazmatu.
- Umožní-li stav tokamaku přejít do režimu harmonických relaxací transportní bariéry, charakterizovat závislost její frekvence na změně polohy plazmatu nebo elektrody.

d) Pole bolometrů pro měření radiačních ztrát (garanti: Mgr. Vladimír Weinzettl, Ph.D., Edita Dufková)

Detektory zvané bolometry jsou jednou ze základních diagnostik tokamakového plazmatu. Měří celkovou energii dopadajícího elektromagnetického záření. Kromě údaje o vyzářeném výkonu umožňují získat prostorové rozložení radiace umístěním více detektorů vedle sebe tak, aby snímaly záření plazmatu přes úzkou štěrbinu. Tím je zaručeno detailní prostorové sledování vývoje radiace. Časové rozlišení standardních metalických bolometrů se pohybuje v řádu milisekund a je tedy nedostatečné pro sledování rychlých změn v tokamakovém plazmatu (turbulence, nestability). Použitím rychlého sběru dat v kombinaci s bolometry založenými na polovodičových diodách však lze dosáhnout časového rozlišení kolem jedné mikrosekundy, což dovolí velmi detailní pozorování vývoje plazmatu. Práce s bolometry poskytne studentům základní seznámení s analýzou radiačních ztrát tokamakového plazmatu. Názorná vizualizace dat jim lépe přiblíží podstatu studovaného problému a v několika základních experimentech si objasní vztahy mezi významnými parametry plazmatu.

Návrh pracovních úkolů:

- Sledování časového vývoje celkové radiace během výboje. Sledování radiačního profilu a jeho změn. Debata na téma lokální vs. integrální měření
- Vliv změny magnetické stabilizace na vyzařování plazmatu (jeho tvar a polohu). Přepínáním magnetické stabilizace se posouvá sloupec plazmatu nahoru, dolů, vlevo, vpravo, což se projeví na signálu z bolometrů
- Vliv změn hustoty plazmatu na celkovou radiaci, případně na změny radiačního profilu. Připouštěním vodíku během výboje se mění hustota plazmatu. Sestavení závislosti.
- Vliv změn magnetického pole a proudu tekoucího plazmatem na celkovou radiaci.
- Tomografie aneb 2D rekonstrukce vyzařování.
- Pozorování fluktuací. Při použití rychlých sběrů jsou patrné turbulence v plazmatu. Odečítání pozadí od dat, vizualizace šumové složky, analýza pomocí korelací.

e) Interferometr ve 4mm pásmu (s frekvencí 75GHz) (garant: Ing. František Žáček, CSc.)

Možnost bezkontaktního měření hustoty nabitých částic je jeden z hlavních požadavků na diagnostiku horkého plazmatu ve všech tokamacích. Na tokamaku CASTOR byl za tímto účelem používán homodynní mikrovlnný interferometr pracující na vlnové délce $\lambda=4\text{mm}$ (frekvence $f=75\text{GHz}$), s disperzním vedením o relativní délce cca $L/\lambda=3000$ (v realitě vytvářeným vlnovodem přivádějícím sondující vlnu od generátoru k vysílací anténě a vlnovodu přenášejícího plazmatem již prošlou, a tedy informaci o hustotě plazmatu nesoucí, vlnu zpět ke směšovači). Jako generátor sondující vlny pak byla použita Gunnova dioda s rychlým ($f_{IF} = 500\text{kHz}$) frekvenčním rozmítáním, umožňujícím sledovat časové změny hustoty plazmatu na mezifrekvenci f_{IF} , tedy s dostatečným časovým rozlišením blízkým se 10mikrosekund. Při uvedené délce disperzního vedení je třeba pro formování mezifrekvenčního signálu sinusového tvaru na směšovači (tj. k dosažení fázového rozdílu mezi referenční a měřicí vlnou na směšovači 2π) relativně malého frekvenčního rozmítání generátoru ($\Delta f/f = \lambda/L$, tj. cca $\Delta f = 25\text{MHz}$). Toto elektronické rozmítání se provádělo napětím pilového tvaru, přiváděným na varaktor, který pak dle velikosti napětí frekvenci generované vlny mění. Dle zkušeností s dosavadním provozem interferometru na CASTORU je pro jeho uspokojivou funkci zapotřebí výkonu generátoru minimálně 100mW.

f) Systém pro měření magnetického pole pomocí Hallových senzorů (garanti: Ing. Ivan Ďuran, Ph.D.)

Systém je určen pro magnetická měření uvnitř vakuové nádoby tokamaku CASTOR. Cílem měření je získat informace o prostorovém rozložení magnetického pole uvnitř komory CASTORu během výboje a následně zpřesnění určení polohy plazmatu a zvýšení efektivity a přesnosti její zpětnovazební kontroly. Tato diagnostika umožní studentům seznámení s pokročilými metodami měření magnetických polí, které se v současnosti testují na velkých tokamacích JET a Tore Supra a budou využívány také na budoucím fúzním reaktoru ITER. Systém dále umožní demonstrovat studentům rozložení jednotlivých komponent magnetického pole uvnitř nádoby tokamaku a pochopení principu měření polohy plazmatu pomocí magnetické diagnostiky. Instalace systému umožní srovnávací měření polohy plazmatu pomocí magnetických měření (induktivních a galvanomagnetických), bolometrie a Langmuirovských sond. Tím se vytvoří ideální podmínky pro demonstraci výhod a limitů jednotlivých metodik měření polohy plazmatu.

Návrh pracovních úkolů:

- Měření rozložení magnetických polí uvnitř komory CASTORu při separátním buzení jednotlivých systémů vinutí tokamaku (toroidální, primární, poloidální). Srovnání měřených veličin s modelem vakuového magnetického pole indukovaného proudem v jednotlivých vinutích.
- Měření magnetických polí pomocí cívek a Hallových senzorů během výboje. Seznámení se s principy a technickým provedením obou metod měření magnetického pole a praktické srovnání výstupu obou diagnostik z hlediska citlivosti, frekvenčního rozsahu, přesnosti.
- Vyhodnocení polohy plazmatu pomocí Hallových senzorů v různých režimech provozu tokamaku a srovnání výsledků s výstupem bolometrů a radiálního pole Langmuirovských sond.

g) RTG diagnostika (garanti: Ing. Tomáš Trojek, RNDr. Lenka Thinová)

- 1) Dozimetrie polí ionizujícího záření v blízkosti tokamaku

Dozimetrická měření v okolí tokamaku CASTOR budou zahrnovat dozimetrii polí rentgenového záření a záření gama. V případě rentgenového záření se bude jednat o stanovení ekvivalentní dávky a příkonu ekvivalentní dávky v oblasti nízkých energií. K tomuto účelu bude užíván dozimetr fotonového záření s energetickým rozsahem s rozšířením pro nízké energie rentgenového záření. Porovnání těchto výsledků s výsledky měření provedenými s běžným dozimetrem fotonového záření umožní rozlišit příspěvek nízkoenergetické a vysokoenergetické složky pole fotonového záření v okolí tokamaku. K identifikaci možných zdrojů záření gama poslouží spektrometrický HPGe detektor umožňující měření in-situ.

Pracovní úkoly:

- měření příkonů ekvivalentní dávky od rentgenového záření a záření gama
- spektrometrie záření gama
- 2) RTG diagnostika plazmatu

Úloha spočívá ve stanovení spekter rentgenového záření emitovaného plazmatem pomocí křemíkového spektrometrického detektoru. Řešení úlohy lze rozdělit do 3 částí. Nejprve bude detektor kalibrován pomocí radionuklidových zdrojů emitujících známé toky fotonového záření v oblasti nízkých energií. V druhé části bude tímto polovodičovým detektorem měřeno rentgenové záření a nakonec bude z výsledků měření stanoveno spektrum rentgenového záření na základě vztahu mezi odezvou detektoru na známé spektrum záření z kalibračních měření.

Pracovní úkoly:

- spektrometrie rentgenového záření

h) Diagnostika horkého plazmatu na Z-pinčové aparatuře (garanti: prof. RNDr. Pavel Kubeš, CSc., doc. Ing. Josef Kravárik, CSc., Ing. Daniel Klír, Ph.D.)

Zobrazení signálu proudové derivace, rentgenového záření, energetických elektronů a neutronů s časovým rozlišením 2 ns. Studenti uvedených předmětů tak získají představu o podmínkách a složitosti realizace fúzních procesů probíhajících v budovaných velkých fúzních reaktorech. Tato úloha bude realizována ve spolupráci s FEL ČVUT na stávajícím zařízení tamtéž.

Návrh pracovních úkolů:

- Určit průběhy a stanovit korelace signálu s přesností danou časovým rozlišením detektoru a stanovit parametry plazmatu v okamžiku extrémní hustoty energie trvající několik ns, při nichž dochází k urychlení deuteronu a fúzním srážkám.

Prezentace a využití výsledků

Řešitelé plánují seminář, ve kterém bude na závěr projektu zhodnoceno celé úsilí. Tento seminář bude kromě odborníků přístupný všem pedagogickým pracovníkům libovolných vzdělávacích ústavů, kteří projeví zájem o seznámení se s výsledky navrhovaného projektu. Zároveň bude zprovozněn web kde bude možná nejen virtuální prohlídka navrhovaného zařízení, ale i detailní popis a simulace navrhovaných experimentů.

Výsledky projektu pak budou využity tak, jak je navrhováno v odstavci *Cílová skupina projektu*

Charakteristika řešitelského kolektivu

Prof. Ing. Igor Jex, DrSc.

Profesor FJFI ČVUT, katedra fyziky, vedoucí katedry. Zabývá se problematikou teoretické kvantové optiky, atomové optiky a kvantové teorie informace. Na FJFI vyučuje teoretickou fyziku, termodynamiku a transportní jevy pro FTTF. Vede rovněž přednášky vybraných partií z pokročilé statistické mechaniky pro frekventanty vyšších ročníků magisterského studia a doktorandy.

Prof. RNDr. Milan Tichý, DrSc.

Proděkan pro rozvoj MFF UK. Řada zahraničních studijních pobytů. Zabývá se: elementární procesy probíhající v nízkoteplotním plazmatu, diagnostika nízkoteplotního plazmatu, plazmochemie. Pedagogická práce: fyzika nízkoteplotního plazmatu, mikroelektronika, vf elektronika, základní výuka fyziky, činnost ve zkušebních komisích pro státní a souborné zkoušky, členství v oborových radách PGDS *fyzika plazmatu* na MFF UK, FAV ZČU Plzeň, PřF MU Brno.

Prof. RNDr. Pavel Kubeš, CSc.

Výuková činnost na FEL a FJFI ČVUT, MFF UK - Fyzika, Elektrické výboje, Diagnostika plazmatu. Místopředseda VR International Center on Dense Magnetized Plasma se sídlem ve Varšavě, Head of Prague Division ICDMP, člen výboru Dense Z-pinches za střední Evropu. Výzkum v oblasti magnetických pinčů jako zdrojů silných mag. polí, energetických částic, vysokých proudových hustot a hustot energie tuzemských i velkých zahraničních aparaturách pro výzkum řízené termonukleární fúze a studium částic s vysokou energií.

Doc. Ing. Zdeněk Češpíro, CSc.

Pracovní Katedry fyziky FJFI ČVUT. V současnosti vede Fyzikální praktika, základní i pokročilá. Na projektu bude zodpovědný za vakuový systém tokamaku CASTOR.

RNDr. Vladimír Kopecký, DrSc.

Vystudoval teor. fyz. na Fyzikální fakultě Moskevské státní univerzity. V současnosti je vědeckým pracovníkem ÚFP AV ČR v Praze. Zabýval se nestabilitami ionizovaného plazmatu, šířením, konverzí a absorpcí vf vln v nehomogenním magnetoaktivním plazmatu, vf ohřevem plazmatu a vlečeným proudem v tokamacích. Nyní se zabývá generací termálního plazmatu ve vodou stabilizovaných plazmatronech a aplikací tohoto plazmatu v plazmové chemii.

RNDr. Jan Mlynář, Ph.D.

Vědecko-pedagogický pracovník FJFI ČVUT (Úvod do termojaderné fúze, Fyzika tokamaků, Vybrané partie z fyziky MCF, Seminář FTTF, ITER a doprovodný program), je výzkumným pracovníkem ÚFP AV ČR. Spolukoordinuje zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze.

Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.

Vědecko-pedagogický pracovník FJFI ČVUT (základní kurz fyziky, fyzikální praktikum), vědecká činnost na tokamaku Ústavu fyziky plazmatu AV ČR. Koordinuje zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze. Pracuje na inovaci vybraných úloh fyz. praktik a na zavádění poč. řízení a zprac. dat. Je zodpovědný za spuštění tokamaku CASTOR na FJFI.

Ing. Tomáš Trojek, Ph.D.

Působí na, katedře dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT, ak. pracovník a tajemník katedry. Účast na řadě experimentů, zahr. stud. pobytech a kurzech. Na FJFI vyučuje kurzy Základy dozimetrie a vede studenty k přípravě diplomových a disertačních prací.

Ing. Gabriel Vondrášek

Pracovník Katedry fyziky FJFI ČVUT. Podílel se na dokumentaci a demontáži tokamaku CASTOR v ÚFP AVČR. V současné době spoluodpovídá za sestavení a uvedení do provozu tokamaku na FJFI.

Edita Dufková

studentka FJFI ČVUT, 2004-2007 pracovník ústavu fyziky plazmatu, oddělení Tokamak, specializace na měření radiačních ztrát z plazmatu, vývoj a instalace bolometrické diagnostiky.

RNDr. David Břeň, Ph.D.

Odborný asistent na katedře fyziky FJFI ČVUT. Na katedře vede cvičení ze zákl. kurzu fyziky, kurz atomové a molekulové fyziky, cvičení z fyz. tokamaků a fyz. praktikum.

Spolupracovníci:

doc. Ing. Josef Kravářík, CSc. (KF FEL ČVUT), Ing. Daniel Klír, Ph.D. (KF FEL ČVUT), RNDr. Lenka Thinová (KDAIZ FJFI ČVUT), Doc. Ing. Ladislav Krlín, DrSc. (UFP AV ČR), Mgr. Vladimír Weinzettl, Ph.D. (UFP AV ČR), Ing. Ivan Duran, Ph.D. (UFP AV ČR), Mgr. Jan Horáček, Ph.D. (UFP AV ČR)

Konzultanti:

RNDr. Jan Stockel, CSc. (UFP AV ČR), Ing. František Žáček, CSc. (UFP AV ČR)

Zdůvodnění finančních požadavků

Tokamak CASTOR byl převezen z ÚFP AV ČR prakticky celý. ÚFP AV si ponechal některé klíčové přístroje využitelné pro provoz svého nového zařízení COMPASS. Některé přístroje je tedy nutné pořídit zcela nově, u některých komponent je nutná pouze přestavba či upgrade.

Turbomolekulární vývěva s příslušenstvím a vakuová měrka (cíl a, 345 tis. Kč, nab_05) . Všechny experimenty na tokamaku je nutné provozovat v čistém prostředí ve středně vysokém vakuu, cca 10-4 Pa. K tomu je nutné čerpání prostřednictvím turbomolekulární vývěvy.

Zpětnovazební systém řízení polohy (cíl a, 89 tis., nab_04) Poloha horkého plazmatu uprostřed komory musí být kontrolována stabilizačními poloidálními cívkami nataženými podél prstence. Toto umožňuje podstatně prodloužit dobu udržení plazmatu, a to z cca 8 ms na 50 ms. Nově je nutné zavést digitální zpětnou vazbu přes počítačové rozhraní, která studentům umožní mnohem větší variabilitu v přístupu kontroly polohy plazmatu.

Dozimetr pro RTG diagnostiku (cíl g, 203 tis. Kč., nab_02).

Měřicí přístroj X-Ray/Gamma Survey Meter - RGD27091 (detailní specifikace přístroje v souboru det_ion_chamber.pdf)

Část navrhovaných experimentálních úloh může být naměřena s již pořízeným přístrojovým vybavením katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření. Avšak s ohledem na nutnost měřit fotonového záření nízkých energií, se kterým se na tokamaku setkáváme, bude nutné zakoupit dozimetr vhodný na tuto oblast energií. Požadované vlastnosti splňuje přístroj X-Ray/Gamma Survey Meter - typ RGD27091. Jedná se o dozimetr obsahující vzduch-ekvivalentní ionizační komoru kalibrovanou na stanovování ekvivalentní dávky a příkonů ekvivalentní dávky od fotonů. Tento dozimetr je citlivý na záření v širokém rozsahu energií, a to od několika keV až do několika MeV v závislosti na způsobu měření. Navíc vykazuje poměrně malou energetickou a směrovou závislost. Nejnižší měřitelné hodnoty ekvivalentní dávky a příkonů ekvivalentních dávek činí jednotky mikroSv, respektive mikroSv/h.

Měřicí přístroj se na nově zřizovaném pracovišti uplatní jednak při řešení studentských laboratorních úloh a jednak bude přispívat k zajištění radiační ochrany jakožto dozimetr pro dlouhodobé monitorování radiační zátěže v blízkosti tokamaku.

Data Acquisition System (cíl c, 400 tis. Kč):

- 24 kanálů s šířkou pásma 1Mhz pro sondové diagnostiky, měření turbulencí plovoucího potenciálu.
- 4 kanály s šířkou pásma 10 Mhz pro extrémně rychlé děje na pokročilých Langmuirových sondách.
- 18 kanálů s šířkou pásma 50 kHz pro základní diagnostiky (hustota plazmatu, elektronová a iontová teplota, napětí na závit, proud plazmatem a vyzařování na jednotlivých vybraných energiích Halfa, CIII)

Programovatelný arbitrary funkční generátor AFG3022B (cíl e, h, 79 tis. Kč, nab_01) je možné obdržet od firmy TM Direct. (specifikace v příloženém souboru det_AFG_3022B.pdf). Potřebný generovaný signál zobrazuje se všemi detaily a parametry signálu najednou na velkém čitelném displeji, má dvoukanalový výstup. Dva kanály umožňuje nastavovat a generovat nezávisle i společně (I/Q složky, 2 bitové toky apod). Využití je plánováno k úloze sondových měření. Funkční generátory s výkonovým výstupem pro sondové diagnostiky se bohužel nevyrábějí, musí se tedy použít obyčejný funkční generátor a dodělat na jeho výstup proudový booster. Vhodné typy funkčních generátorů jsou opět od firmy Tektronix. Výhodou zařízení je, že má připojení na LAN, tj. data se dají snadno a rychle transportovat. Budé nutné dopravit galvanickou izolaci signálů.

Řídící panel (cíl e - h, 185 tis. Kč, nab_06): plasma monitor s dotykovým panelem ve spojení s PC na digitální velkoplošné řízení a vyhodnocování celého experimentu. Dotykový panel ve spojení s počítačem a vhodným software umožní sledovat a případně řídit všem zúčastněným studentům všechny fáze přípravy, kontroly, spuštění a vyhodnocování experimentu v interaktivní moderní formě.

Magnetická měření Hallovými senzory (cíl f, 107 tis Kč., nab_03): Tento pokročilý magnetometrický systém poskytne studentům možnost seznámit se s metodikou měření téměř stacionárních magnetických polí která je zásadní pro velká fúzní zařízení typu ITER a DEMO. Dále systém zpřesní informace o rozložení magnetického pole uvnitř komory CASTORu a tím umožní zvýšit přesnost určení polohy plazmatu jakožto veličiny zásadní jak pro provoz samotného tokamaku tak pro interpretaci výstupů dalších diagnostik provozovaných na CASTORu.

Systém je určen pro magnetická měření uvnitř vakuové nádoby tokamaku CASTOR. Cílem měření je získat informace o prostorovém rozložení magnetického pole uvnitř komory CASTORu a následně zpřesnění určení polohy plazmatu a zvýšení efektivity a přesnosti její zpětnovazební kontroly.

Technické specifikace systému:

- 1. 4 sondy, každá měřící horizontální, vertikální a toroidální magnetické pole
- 2. Teplotní čidlo integrováno do každé ze sond
- 3. Ovládací elektronika zabezpečující napájení sond stabilizovaným zdrojem proudu, zesílení výstupních signálů Hallových senzorů a vyhodnocení výstupu teplotního čidla. Analogový výstup měřených signálů pro připojení ke sběrům dat (nejsou součástí dodávky).
- 4. Dobrá frekvenční charakteristika systému v rozsahu 0-100 kHz.

Bolometrické pole diod AXUV20EM. (cíl d, 44 tis., nab_09) Jeho instalace na tokamaku je důležité pro monitorování radiace z tokamaku a vyhodnocování fyzikálních procesů v plazmatu. Předpokládá se pole 20 diod.

4-kanalový osciloskop TDS3054C (cíl h, 231 tis. Kč, nab_01) je možné obdržet od firmy TM Direct (detailní specifikace je v příloženém spoubooru det_TDS3054C.pdf). Osciloskop tohoto typu je již odzkoušený. Má digitální výstup a dostatečně přesně zobrazuje signály s délkou impulsu několika nanosekund. Využití je plánováno především k úloze **Diagnostika**

horkého plazmatu. Nový osciloskop umožní současné měření trvání signálů energetických fotonů, elektronů a neutronů a dalších 4 parametrů s přesnějším časovým vývojem a studenti budou moci přesněji popsat vzájemné korelace velmi rychlých přeměn.

Mikrovlný Generátor (cíl b, 78 tis., nab_08) používaný na CASTORu v Ústavu fyziky plazmatu, stejně jako i veškeré vlnododové díly měřicí trasy a elektronické obvody, umožňující vyhodnocení hustoty plazmatu, nebyly nikdy zhotoveny či pořízeny komerčním způsobem. Zatímco trasa sama o sobě včetně elektroniky je funkční, výkon generátoru (v minulosti již několikrát opravovaného) již klesl pod prahovou hodnotu. Požadovaná finanční dotace v uvedené výši 78 tis. Kč (viz příloženou nabídku firmy QuinStar) by umožnila zakoupení nového generátoru, čímž by se interferometr stal znovu provozu schopným.

Výkonový zesilovač pro experimenty s Langmuirovými sondami v plazmatu tokamaku (cíl c, 82 tis. Kč, nab_10). Proudový sledovač (booster) pro měření na Langmuirových sondách střední hodnoty a fluktuací hustoty okrajové vrstvy plazmatu, vše v radiálních i poloidálních profilech.

• Turbomolekulární vývěva s příslušenstvím a měrkou..Pfeiffer Vacuum.....	348
• Osciloskop TDS3054C.....	TM direct Tektronix...231
• Zpětnovazební řízení polohy.....	Foton s.r.o.....89
• RTG diagnostika.....	Canberra.....203
• Funkční generátor AFG3022B.....	TM direct Tektronix....79
• Řídicí panel.....	JSME s.r.o.....185
• Magnetická měření.....	Foton s.r.o.....107
• AS, AD převodníky.....	Papouch.com.....440
• Mikrovlny.....	QuinStar.....78
• Zesilovač pro Langmuirovy sondy.....	Foton s.r.o.....82
• Bolometre.....	IRD.....44
Celkem.....	1886 tis. Kč.

V žádosti je požadováno 1700 tis. Kč, 186 tis. Kč. bude pokryto FJFI ČVUT v Praze.

Stručné a přehledné údaje jsou v příložené tabulce rozp_tab.pdf. Ceny v USD (nab_08, nab_09) a v EUR (nab_05) jsou přepočítány podle kurzu ČNB ze dne 23. 4. 2008 (příložený soubor kurzy_deviz080423.pdf). Všechny nabídky a celková cena je včetně DPH.