

# Vzdělávání v oblasti termojaderné fúze v ČR

Vojtěch Svoboda<sup>1</sup>, Jan Mlynář<sup>1,2</sup>, Jan Stöckel<sup>2</sup>, Igor Jex<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha, Břehová 7, 115 19 Praha 1

<sup>2</sup> Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., Za Slovankou 3, 182 00 Praha 8

*Článek shrnuje současný stav přípravy odborníků v oblasti termojaderné fúze v České republice. Věnuje se hlavně nově vzniklému studijnímu zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze na FJFI ČVUT a následovně rekonstrukci tokamaku CASTOR/GOLEM, který má ambici sloužit jako vzdělávací experiment pro studenty z celé Evropy, mimo jiné v rámci projektu FUSENET.*

**E**vropská unie hraje v současné době vedoucí roli ve výzkumu termojaderné fúze jak z hlediska vložených prostředků, tak i výsledků. Na základě toho bylo červnu 2005 rozhodnuto o umístění 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.

Česká republika má v oboru termojaderné fúze relativně silné postavení, neboť od roku 1977 provozovala malý tokamak CASTOR a v roce 2005 bylo s podporou vlády ČR rozhodnuto přemístit středně velký tokamak Compass D z Culham Laboratory (GB) do Prahy. Tento je od začátku roku 2008 umístěn a úspěšně uváděn do provozu v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i. 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 fyzikálních a technologických úloh spojených s výzkumem fúze.

Je zřejmé, že v nejbližší době nejen v ČR, ale i v Evropě vzroste podstatně poptávka po odbornících z této oblasti výzkumu, a proto bylo na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské (FJFI) ČVUT v Praze rozhodnuto připravit specializované magisterské studijní zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze – FTTF.

FJFI ČVUT v Praze se rozhodla dále realizovat na podporu výuky v novém zaměření FTTF projekt, jehož cílem je zprovoznit tokamak CASTOR. 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) i další fakulty ČVUT (Fakulta elektrotechnická) a také další školy v Praze (MFF UK). V blízké budoucnosti se předpokládá zapojení tohoto zařízení do celoevropského vzdělávacího procesu studentů fyziky plazmatu termojaderné fúze.

Česká republika se rovněž zapojila do evropského projektu FUSENET (*European Fusion Education Net-*

*work*), což představuje konsorcium 36 evropských škol a laboratoří z 18 zemí EU, které se ustavilo v roce 2008 jako subjekt čerpající podporu EURATOM Coordination and Support Activity (CSA) pro fúzní vzdělávání v Evropě. Z České republiky jsou v konsorciu tři subjekty: ČVUT prostřednictvím FJFI, ÚFP AV ČR, v. v. i., a Univerzita Karlova prostřednictvím MFF.

Kromě jiného bude jedním z největších příspěvků ČR k řešení projektu FUSENET dnes již tradiční pořádání experimentální letní školy fyziky plazmatu, tzv. SUMTRAIC (*Summer Training Course*), která je založena – na rozdíl od jiných letních škol – na praktickém tréninku studentů, od letošního roku přímo na tokamaku COMPASS.

## NOVÉ STUDIJNÍ ZAMĚŘENÍ „FYZIKA A TECHNIKA TERMOJADERNÉ FÚZE“ NA FJFI ČVUT

Jednou z důležitých rolí každého badatelského pracoviště je spolupráce s vysokými školami a výchova mladé generace vědců. V případě termojaderné fúze, která se v ČR studovala prakticky výhradně na tokamaku CASTOR v Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd ČR, v. v. i. (ÚFP AV ČR) se studenti tradičně rekrutovali z mnoha rozličných směrů. Převážně to byly tyto VŠ instituce:

- Matematicko-fyzikální fakulta UK, např. katedra fyziky povrchů a plazmatu nebo Ústav částicové a jaderné fyziky;
- Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, např. katedra fyzikální elektroniky, případně katedra jaderných reaktorů;
- Fakulta elektrotechnická ČVUT, především katedra fyziky.

Neexistoval však cílený studijní směr na fyziku vysokoteplotního plazmatu. Výzkum v oblasti termojaderné fúze nebyl v té době tak vyprofilovaný. Vše se ovšem změnilo v červnu 2005, kdy bylo po dlouhodobých peripetiích rozhodnuto o výstavbě globálního vědecko-technologického experimentu ITER v jižní

» Experiment je až dosud největším tahounem výzkumu termojaderné fúze, má proto i nejšířší zázemí. «

Francii. Pro výzkum a potažmo vzdělání v oblasti termojaderné fúze začal, obrazně řečeno, vát velmi příznivý vítr a bylo potřeba „napnout plachty“. Akcent v oblasti výzkumu termojaderné fúze již delší dobu leží spíše na technologické stránce věci než na teorii, a jelikož FJFI se profiluje ve výchově inženýrů v oblasti aplikovaných přírodních věd, bylo přirozené, že na této fakultě začalo intenzivně přemýšlet o otevření nového studijního zaměření. Toto zaměření si v hlavní rovině klade za cíl pokrýt jak teoretické, tak technologické otázky řízené termojaderné fúze v obou současných typech udržení plazmatu: magnetickém a inerciálním. Nejvýstižnějším pro tyto účely byl shledán název „Fyzika a technika termojaderné fúze“ (FTTF). Zaměření vzniklo v těchto okrajových podmínkách:

- Hlavní odbornou autoritou je Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i. (ÚFP AV ČR)
- Studium je nutné postavit maximálně kompatibilně se stávajícími podobnými kurzy na ostatních evropských univerzitách tak, aby byla zajištěna co největší možná mobilita studentů a učitelů.

Během prvního a druhého ročníku bakalářského studia studenti absolvují společnou matematickou a fyzikální přípravu nutnou pro vstup do fyzikálních zaměření. Student ve třetím ročníku se zaměří na hlubší studium fyziky plazmatu, principů termojaderných zařízení a technologií jejich komponent. Nedílnou součástí dalšího studia jsou metody měření, metody numerického modelování, základy materiálové fyziky, fyzika ionizujícího záření, základy energetiky. Ke studiu patří i řada výběrových přednášek podle zaměření bakalářské práce. Významný podíl mají praktické práce jak tradiční (měření a zpracování dat) tak speciální – týmová příprava experimentu, účast při řízení experimentu, materiálové zkoušky atp.

Magisterské studium v oboru Fyzika a technika termojaderné fúze má tři stěžejní součásti: teorii, experimentální fyziku a techniku fúze. Studenti jsou vedeni k zvládnutí jakéhosi minima ze všech tří součástí, nicméně jim je dána relativně velká volnost ke specializaci v jedné z těchto kategorií, a to jednak prostřednictvím výběru volitelných přednášek, a jednak tématem diplomové práce. Vzhledem k povaze oboru je nedílnou součástí kurzu i studium angličtiny spojené s výukou v angličtině nebo alespoň s průběžným užíváním anglické terminologie.

**Teorie** je rozhodně prestižní, ale už z názvu nepřilíží praktická (třeba z hlediska uplatnění). Jako většině oborů, i fyzice plazmatu se momentálně nedostávají nové velké ideje, a proto se 99% teoretiků věnuje počítačovému modelování. V Čechách je až dosud teoretická skupina úzce vyhraněná především na interakci elektromagnetických vln s plazmatem, ale není těžké kontaktovat odborníky odjinud – nejlepší absolventi tedy mohou buď navázat na tradici, nebo zvolit „pole neorané“.

Hlavní obsah: matematická fyzika, elektrodynamika, statistická fyzika, magnetohydrodynamika, difuze a transport, turbulence, numerické modelování. Ve výuce teorie spolu s pedagogy FJFI (prof. Limpouch, prof. Jex) působí i profesori FEL ČVUT (prof. Kulhánek, teorie plazmatu) a MFF UK (prof. Hrach, počítačové modelování plazmatu).

**Experiment** je až dosud největším tahounem výzkumu termojaderné fúze, má proto i nejšířší zázemí. Každý student zde má na co navazovat a z čeho vybírat téma

ta k diplomové práci. V mnoha případech přitom jde o úlohy, kterým zatím chybí přímá návaznost na teorii, takže zajímavé téma najdou nejspíš i jedinci, kteří jsou slabší v matematice – hlavně když budou pracovití a pokud možno tvůrčí.

Hlavní obsah: jaderná fyzika, atomová a molekulová fyzika, experimentální fyzika plazmatu (zejména tokamaků nebo inerciální fúze), diagnostika plazmatu, inerciální fúze, lasery, praktika z fyziky plazmatu, projekt ITER.

Tyto kurzy jsou především zajištěny FJFI ČVUT (Dr. Wagner, Dr. Mlynář, Dr. Klimo, Dr. Břeň), pouze kurz diagnostiky vede FEL ČVUT (prof. Kubeš) ve spolupráci s ÚFP AV ČR a praktické úlohy zajišťuje ÚFP AV ČR (Ing. Ďuran) ve spolupráci s několika akademickými i univerzitními pracovišti. Právě z hlediska praktik i odborné práce budoucích doktorandů je největším příslibem do budoucna tokamak GOLEM (viz další kapitola, vedoucí projektu Ing. Svoboda)

**Technika** v současné době přebírá roli tahouna výzkumu, má proto slabší zázemí, ale zřejmě nejlepší vyhlídky na uplatnění jak přímo v oboru, tak i v organizacích, které budou výzkum fúze podporovat. Nároky na fyzikální znalosti jsou možná o trochu nižší, ale o to vyšší jsou nároky na zodpovědnost a na kvalitu práce, na praktická, přesně definovaná řešení, na osobní iniciativu a schopnost spolupracovat.

Hlavní obsah: materiály, mechanika kontinua, vakuová technika, elektronika, vysokofrekvenční technika, supravodivost, interakce záření s látkou, radiální bezpečnost, energetika.

Vzhledem k tomu, že jde o velmi mladý inženýrský obor, představuje provázání odborných technických přednášek s tématem fúze největší výzvu z hlediska pedagogického. Vedle tradičních kurzů se pro nové zaměření na FJFI zásadně upravil kurz o materiálech (Dr. Ing. Haušild), zatímco kurz Technika termojaderných zařízení je v současné době veden jako řada specializovaných přednášek vědeckých pracovníků, který organizuje ÚFP AV ČR (Ing. Žáček). Výhledově se ovšem spolu s ÚFP domníváme, že na magisterské úrovni by bylo velmi perspektivní a užitečné vychovat pro výuku techniky specializované pedagogy – perspektivní z hlediska zájmu o spolupráci ze strany zahraničních univerzit i průmyslu a užitečné z hlediska kontinuity přednášek a návaznosti kurzů.

Do studia v novém zaměření se zatím v každém akademickém roce hlásí zpravidla šest až osm studentů, což je poměrně dobrý počet vzhledem k počtu bakalářských a diplomových prací, které jsme spolu s našimi partnery schopni nabídnout. V současné době se již připravujeme na čtvrtý běh tohoto zaměření, přičemž 11. června 2009 proběhly historicky první státní zkoušky magisterského studia. Prvními inženýry zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze se tak stali studenti Pavel Háček a Martin Kubič. Těší nás, že se oba rozhodli zůstat v oboru a pokračovat doktorandským studiem s disertačními pracemi vedenými na tokamaku COMPASS, resp. na francouzském tokamaku Tore Supra. První bakalář našeho zaměření, Bc. Michal Kazda, mezitím absolvoval první ze dvou roků Evropského fúzního magisterského studia, které probíhá v rámci Erasmus Mundus. I studenti nižších ročníků poměrně často využívají příležitosti k rozšíření obzorů v zahraničí a v tomto smyslu je studium fúze díky celoevropské

koordinaci výzkumu bezpochyby dobrou volbou. Podmínky pro mobilitu studentů se navíc mají dále podstatně zlepšit díky konsorciu FUSENET, viz níže.

Z těchto faktů zároveň jasně vyplývá, že pokud se má FJFI ČVUT stát plnohodnotným partnerem ostatních evropských univerzit při výuce fúze, musí v blízké budoucnosti počítat s poměrně četnými návštěvami studentů ze zahraničí. Již dnes je většina našich pedagogů na možnou výuku v angličtině „psychicky“ připravena, ostatně i při výuce v češtině je již dnes zdůrazňována anglická terminologie. Určité obtíže administrativní a personální mohou nastat s ohledem na skutečnost, že naši studenti mají zákonný nárok na výuku v češtině. Věříme, že podobně jako jiným zaměřením se i nám podaří do budoucna nalézt rozumný kompromis a nezklamat očekávání nejen našich, ale ani hostujících zahraničních studentů.

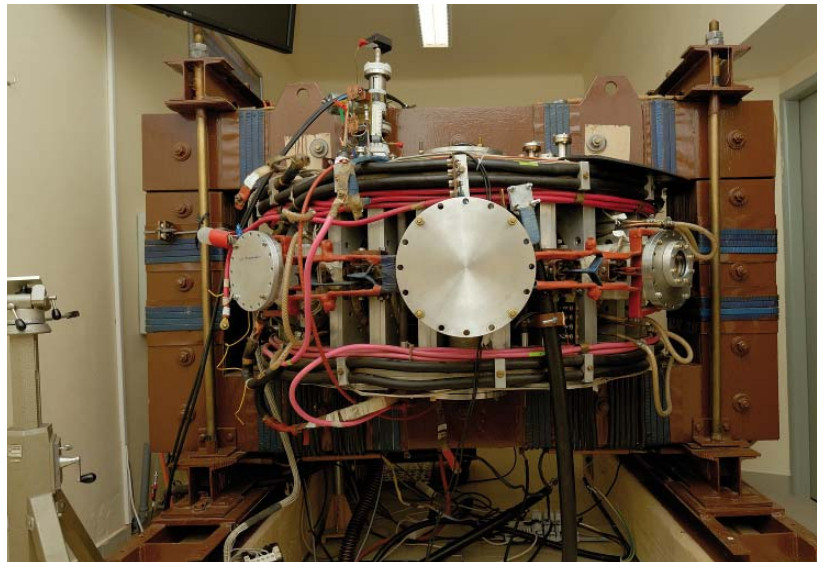
Ke kvalitní výuce rozhodně patří i kvalitní učebnice, a těch je bohužel v novém oboru fúze zatím nedostatek. Naštěstí se situace rapidně zlepšuje, zřejmě opět v reakci na rozhodnutí stavět ITER. Do češtiny byla přeložena poměrně kvalitní populárně-vědecká kniha Fúze, energie vesmíru [1], FJFI se dále podařilo velmi výhodně získat deset kopií anglicky psaných skript Fusion Physics [2]. Studentům jsou také k dispozici volně ke stažení i některé výborné sborníky letních škol, např. [3]. Vedle toho v posledních letech vychází v tomto oboru řada knih, které jsou psány formou výkladu a kterým se tak více či méně úspěšně daří vyplňovat mezeru mezi vědeckými publikacemi na jedné straně a vysloveně populárními knihami na straně druhé. Přehled o nových učebnicích je na webových stránkách zaměření [4], a přestože jde často o nákladné knihy, snažíme se pro knihovnu FJFI získat všechny kvalitnější publikace. Nadějně je, že se v této knihovně začíná objevovat i forma elektronických knih, například u učebnic [5, 6]. Podobně jako u přednějších i u učebnic platí, že doposud není k dispozici jednotlivý text, který by poskytl přehledný výklad objasňující technickou problematiku termojaderných reaktorů. Konsorcium FUSENET má mimo jiné za cíl vytvořit pro takovou učebnici vhodný autorský kolektiv.

## TOKAMAK GOLEM

*Golem ... fluidum, sloužící lidstvu za kontrolovaných podmínek a naopak krajně nepřátelské, pokud se té kontrole vymkne [7].*

Nové studijní zaměření FTTF na FJFI ČVUT má ve svém studijním programu několik pilířů, mezi něž bezpochyby patří i praktika z oblasti fyziky plazmatu. Experimenty jsou v oblasti termojaderné fúze krajně složité a nákladné a je velmi problematické je pořizovat a provozovat. Od začátku úvah o studijním zaměření FTTF se autoři potýkali s tím, že na ČVUT je takových možností kritický nedostatek a praktika je nutné realizovat „dodavatelským“ způsobem na různých badatelských pracovištích v pražském regionu, jako je ÚFP AV ČR, ÚJV Řež a. s., FEL ČVUT, KJR a KFE FJFI ČVUT.

Jediné relevantní fúzní zařízení v ČR, které sloužilo jednak jako badatelské zařízení a částečně jako vzdělávací zařízení, byl do roku 2007 malý tokamak CASTOR. Tento tokamak byl původně zkonstruován v Kurčatovově ústavu v bývalém Sovětském svazu a v roce 1974 byl převezen do Prahy. Za tři roky byl spuštěn a za 30 let své existence vyprodukoval celou řadu hodnotných badatelských výsledků, především v oblasti fyziky okrajového plazmatu.



Obr. 1 Tokamak GOLEM v novém působišti na FJFI ČVUT.

Poté co se rozhodlo o přemístění středně velkého tokamaku COMPASS z Velké Británie do Prahy, vyvstala otázka dalšího osudu tokamaku CASTOR. Vážil se převoz do zahraničí, deponování do muzea a předání VŠ instituci ke vzdělávacím účelům.

Nakonec se FJFI ČVUT rozhodla převzít tento tokamak pod svoji správu a vytvořit z něj centrum experimentální výuky v oblasti fyziky plazmatu a termojaderné fúze v evropském měřítku. Pokud bude projekt dotažen do úspěšného konce, získá tím ČVUT zcela ojedinělé postavení školy, která má pod svou střechou experimentální zařízení ke studiu procesů obou známých typů – štěpného (štěpný reaktor VRABEC) a fúzního (tokamak GOLEM) –, které buď slouží, nebo v budoucnu bude sloužit k výrobě energie.

Od prvních úvah v prosinci 2006 o nové budoucí roli tokamaku CASTOR v oblasti vzdělávání uběhl jeden rok k poslednímu plazmatickému výboji na tokamaku CASTOR na starém působišti. V prosinci 2007 pak byl tokamak rozmontován a převezen cca 5 km na FJFI ČVUT na Staré Město, kde byl instalován do nového působiště, viz obr. 1. Po definitivním umístění a zajištění základních funkcí tokamaku (vakuová těsnost systému a energetika) bylo nutno znovuoživit řídicí elektroniku, základní diagnostiku a uvést do provozu zpětnovazební řízení polohy. Dalším krokem je pak navržení a realizace jednotlivých experimentálních úloh, které umožní studentům seznámit se s velkou řadou praktických otázek a činností spojených s problematikou vysokoteplotního plazmatu. Konkrétně jsou navrženy k realizaci následující úlohy:

- rutinní provoz tokamaku;
- doutnavý výboj a jeho diagnostika;
- základní diagnostika tokamakového plazmatu;
- měření parametrů plazmatu elektrickými a magnetickými sondami;
- měření vyzařování plazmatu pomocí pole bolometrů;
- měření hustoty plazmatu pomocí mikrovlnného interferometru na vlnové délce 4 mm;
- diagnostika rtg. záření.

Proč změna názvu na tokamak GOLEM? Původně v Sovětském svazu se tokamak jmenoval TM1 (*Tokamak Mályj*), v působišti na ÚFP AV ČR se jmenoval CASTOR, což je zkratka z *Czech Academy of Science*



» Česká republika se zapojila do evropského projektu FUSENET, což je konsorcium 36 evropských škol a laboratoří z 18 zemí EU. «

*TORus*. Na půdě ČVUT tento název pozbyl smyslu a přistoupilo se k přejmenování na GOLEM. Okolnosti tohoto přejmenování jsou tyto:

- Nové umístění tokamaku je na Starém Městě v Praze v ústřední budově FJFI ČVUT, velmi blízko židovského hřbitova.
- V ČR je v širokém povědomí film *Císařův pekař a pekařův císař*, kde je tajemná skrytá síla golema nejdříve zneužívána k mocenským cílům, ale proti tomu se hledá způsob, jak (obrazně řečeno) s pomocí této tajemné síly péci chleba. S termojadernou fúzí je to, s nadsázkou řečeno, trochu podobně: zatím byl nalezen způsob, jak tuto enormní skrytou sílu využít k vojenským účelům (vodíková bomba), ale energii – třeba na pečení chleba – vyrábět ještě neumíme.
- Studenti fúze tedy hledají bájný šém k mírovému užití této skryté energie hmoty.

## FUSENET

Jak již bylo zmíněno v úvodu, Česká republika se zapojila do evropského projektu FUSENET (*European Fusion Education Network*), což je konsorcium 36 evropských škol a laboratoří z 18 zemí EU (viz obr. 2). Z České republiky jsou v konsorciu tři subjekty: ČVUT, ÚFP AV ČR, v. v. i., a Univerzita Karlova. Tyto instituce se přímo podílejí na práci v 6 pracovních balíčcích z celkových 10:

- Měl by vzniknout přehled existujících kurzů a letních škol a v neposlední řadě i přehled materiálového výzkumu, výchovy v oboru jaderného štěpení atp.
- Měl by vzniknout přehled existujících krátkodobých výcvikových a letních stipendií, který bude zveřejněn na webu, dále bude organizován letní program pro technické a magisterské studium, během něhož mají malé skupinky studentů ve vybraných laboratořích řešit praktické projekty.
- Cílem je jednak založení tradice každoročního setkání evropských doktorandských studentů fúze, jednak vytvoření pracovního výboru ke koordinaci všech existujících letních škol.
- Dalším cílem je stanovení určitého evropského standardu toho, co by měli umět absolventi oborů fyziky a techniky termojaderné fúze.
- Měl by se iniciovat vznik přehledu existujících školních experimentů a zkušeností z oblasti fyziky plazmatu. Připravují se značné investice do praktik pro magisterské studium a jejich zpřístupnění.
- Měl by vzniknout přehled učebních textů vhodných pro studium fúze na magisterské úrovni. Příprava podmínek pro vytvoření učebnice o technice fúze.

## SUMTRAIC

Provoz budoucího fúzního zařízení, jakým se stane plánovaný mezinárodní tokamak ITER, bude nepochybně potřebovat novou generaci fyziků obeznámených se všemi aspekty experimentální práce na tokamacích. Jejich praktické vzdělávání lze výrazně urychlit, pokud se dostanou do přímého styku s realitou experimentu. Pro tento účel jsou optimálním řešením malá experimentální zařízení. Jedním z dostupných v rámci Evro-



Obr. 2 FUSENET – koordinovaný projekt v oblasti fúzního vzdělávání v Evropě.

py byl samozřejmě malý, ale flexibilní tokamak CASTOR, který provozoval Ústav fyziky plazmatu AV ČR v Praze. Tokamak byl vybaven základní diagnostikou, systémem sběru dat a vhodným softwarem pro jejich zpracování. Denně se provádělo cca 50–60 reprodukovatelných výbojů s opakovací frekvencí okolo 10 minut. Vědečtí pracovníci z ÚFP mají bohaté zkušenosti se vzděláváním a školením jak českých, tak zahraničních studentů. Proto se čeští a maďarští partneři v programu EURATOM rozhodli využít všech těchto předností a společně zorganizovali Experimentální letní školu na tokamaku CASTOR (*Summer Training Course, SUMTRAIC*). První ročník se konal 2.–6. června 2003 za účasti deseti maďarských studentů (VŠ i postgraduálních) a tří maďarských lektorů. Letní školy se mohl zúčastnit pouze ten, kdo složil zkoušku z jednosemestrálního přípravného kurzu, kde se seznámil s principy jaderné fúze a s prací fúzních zařízení.

Od uskutečnění první školy v roce 2003 již proběhlo dalších 5 ročníků a jasně se ukazuje, že tato akce plní svůj hlavní cíl ukázat v praxi základní aktivity spojené s reálným fúzním experimentem – měření, zpracování dat, diskuse o výsledcích a jejich prezentace. Letos budou mít studenti poprvé k dispozici nové působiště – tokamak COMPASS na ÚFP AV ČR, v. v. i., a v případě včasného zprovoznění tokamaku GOLEM se může uvažovat o přenesení části aktivit také na toto zařízení.

## ZÁVĚR

V průběhu posledních čtyř let bylo v ČR věnováno veliké úsilí rozvoji vzdělávání odborníků v oblasti termojaderné fúze. Aktivity ÚFP AV ČR, v. v. i., a FJFI ČVUT se soustředily zvláště do těchto oblastí:

- V roce 2006 vzniklo ve spolupráci s ÚFP AV ČR, v. v. i., studijní zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze na FJFI ČVUT.
- Tokamak CASTOR našel své nové poslání v podobě vzdělávacího zařízení na FJFI ČVUT. V současné době probíhají dokončovací práce před prvními znovuoživovacími testy.
- ČR se aktivně zapojila do evropského projektu koordinovaného fúzního vzdělávání FUSENET.

- Letos bude probíhat 7. ročník letní školy fyziky plazmatu SUMTRAIC, v jejímž pořádání hraje ČR klíčovou roli.

### Poděkování

Autoři by na tomto místě rádi zmínili několik jmen, jejichž přínos pro rozvoj vzdělání v oblasti termojaderné fúze zmiňovaný v tomto článku byl klíčový: poděkování za podporu a vytvoření rámcových podmínek pro rozvoj vzdělávání patří prof. Ing. Dr. Pavlu Chráskovi, DrSc., řediteli ÚFP AV ČR, v. v. i., a doc. Ing. Miroslavu Čechovi., CSc., děkanovi FJFI ČVUT. Transfer tokamaku CASTOR a jeho oživení na FJFI by byly nemyšlitelné bez pomoci tajemníka FJFI Ing. Vrány a všestranné technické pomoci Ing. Vondráška a Ing. Františka Žáčka, CSc. Realizaci projektu vzdělávání pomohl Ing. Ivan Ďuran, Ph.D.

### Projekt byl doposud podpořen těmito granty:

- Rozvojový program pro veřejné vysoké školy ministerstva školství 2006 (číslo projektu 569): Příprava nového studijního zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze.
- Rozvojový program pro veřejné vysoké školy ministerstva školství 2007 (číslo projektu 12): Rozvoj a inovace studijních programů a oborů na ČVUT.
- Fond rozvoje vysokých škol 2009 (číslo projektu A-1581): Metodické centrum termojaderné fúze.
- FUSENET – European Fusion Education Network, Seventh Framework Programme (Project Reference: 224982).

### Doporučené internetové zdroje:

- Ke studijnímu zaměření FTTF vznikly informační stránky <http://fttf.fjfi.cvut.cz>, kde je možné nalézt informace o všech aspektech tohoto zaměření.
- Jednou z prvních velkých akcí skupiny FTTF ve spolupráci s Ústavem fyziky plazmatu byla spoluorganizace putovní evropské výstavy FusionExpo, která má dodnes velmi zajímavé webové stránky <http://fusionexpo.fjfi.cvut.cz>.
- Novému působišti tokamaku GOLEM jsou věnovány stránky <http://golem.fjfi.cvut.cz>.

### LITERATURA

- [1] G. McCracken, P. Stott: *Fúze – energie vesmíru*. Mladá Fronta, edice Kolumbus, Praha 2006.
- [2] J. Scheffel, P. Brunsell: *Fusion Physics – Introduction to the Physics behind Fusion Energy*. Alfvén Laboratory, KTH Stockholm March 2007.
- [3] *Proceedings of Carolus Magnus Summer School on Plasma and Fusion Energy Physics*. Trans. Fusion Sci. Technol. 49 2T (2006), <http://www.carolusmagnus.net/papers/papers.html> (online; accessed 6-May-2009).
- [4] WWW stránky zaměření Fyzika a technika termojaderné fúze na FJFI ČVUT, <http://fttf.fjfi.cvut.cz/?p=literatura> (online; accessed June 22, 2009).
- [5] B. M. Smirnov: *Plasma Processes and Plasma Kinetics – 580 Worked out Problems*. Wiley-VCH, Weinheim 2007.
- [6] W. M. Stacey: *Fusion Plasma Physics*. Wiley-VCH, Weinheim 2005.
- [7] Wikipedia contributors, „Golem“, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Golem> (online; accessed June 22, 2009).

» Od uskutečnění první školy v roce 2003 již proběhlo dalších 5 ročníků a jasně se ukazuje, že tato akce plní svůj hlavní cíl ukázat v praxi základní aktivity spojené s reálným fúzním experimentem.



## Nejvýznamnější setkání matematických fyziků z celého světa v Praze

Předseda Akademie věd ČR Jiří Drahoš zahájil v pondělí 3. srpna v pražském kongresovém centru Clarion 16. mezinárodní konferenci o matematické fyzice. Celosvětově nejvýznamnější setkání matematických fyziků, pořádané ve tříletých intervalech, se konalo v Praze do 8. srpna a zúčastnilo se ho téměř sedm stovek odborníků.

Matematická fyzika je vědní disciplína zabývající se rozhraním mezi matematikou a fyzikou. Čeští vědci jsou v tomto oboru aktivní, například skupina matematické fyziky v Ústavu jaderné fyziky Akademie věd ČR se zabývá teoretickým rozбором miniaturních polovodičových a jiných struktur, jaké dnes vyrábějí a studují čtené laboratoře pro jejich rozmanité současné a budoucí aplikace. Vedle tohoto praktického významu vědci zjistili, že takové systémy skýtají také jinou důležitou informaci; jsou totiž praktickou „dílnou“, v níž lze podrobně analyzovat důsledky principů kvantové mechaniky, jež řídí chování mikroskopických částic. Ukazuje se, že v mnoha případech je toto chování v příkrém rozporu s tím, co nám napovídá naše intuice vedená každodenní zkušeností.

Mezi významné matematické fyziky v dávnější historii patřili např.: James Clerk Maxwell, William Rowan Hamilton, J. Willard Gibbs, David Hilbert, Albert Einstein, Jules-Henri Poincaré nebo Satyendra Nath Bose. Nový rozmach matematické fyziky začal v sedmdesátých letech minulého století a je spojen se jmény jako Rudolf Haag, Walter Thirring, Elliott Lieb a dalšími. V té době byla také ustavena Mezinárodní asociace matematické fyziky sdružující dnes asi půldruhého tisíce pracovníků v oboru; jejím současným prezidentem je český vědec Pavel Exner z Ústavu jaderné fyziky Akademie věd ČR.

Významným hostem konference byl 76letý americký fyzik Steven Weinberg. V roce 1979 získal Nobelovu cenu za fyziku (s kolegy Abdusem Salamem a Sheldonem Glashowem) za svou práci o sjednocení slabé a elektromagnetické interakce, jež zásadně ovlivnila fyziku částic v nadcházejících desetiletích. Na pražském kongresu vystoupil profesor Weinberger s plenární přednáškou Mění se pohledy na kvantovou teorii pole.

V plenárním zasedání kongresu vystoupil i český fyzik prof. RNDr. Petr Šeba z Fyzikálního ústavu AV ČR a z Pedagogické fakulty Univerzity Hradec Králové, který je znám např. objevem vztahů mezi dynamikou dopravních systémů a kvantovým chaosem.

Program kongresu zahrnoval 16 plenárních přednášek a 11 tematických sekcí, v nichž vystoupilo dalších 70 pozvaných řečníků a bylo předneseno dalších 60 přednášek, mimo to bylo kolem 190 výsledků prezentováno prostřednictvím posterů. Kongresu předcházelo dvou denní Symposium pro mladé vědce s šesti plenárními přednáškami a 26 semináři. V úvodu kongresu byly uděleny ceny za mimořádné výsledky v matematické fyzice; nejvýznamnější z nich je Cena Henriho Poincarého podporovaná nadací Daniela Iagolnitzera.

Tradiční součástí konferencí matematických fyziků bývá již po řadu let i speciální sekce věnovaná lidským právům. Jejím iniciátorem a organizátorem je významný americký fyzik Joel Leibowitz, rodák z předválečného Československa a muž, který přežil Osvětim. Na jeho návrh byl letos hostem této sekce i Šimon Pánek, který připomenul, že svoboda a demokracie, jimž se těšíme 20 let, nemají být brány jako samozřejmost.

