

Diskuze: ITER = úspěch či neúspěch může být pro budoucnost řízené termojaderné fúze rozhodující

Stánek F1.06 na mezinárodním veletrhu AMPER 2014 měl název „Materiály pro nové tisíciletí“ a zívající návštěvníci byli překvapeni exponáty, které se zabývaly výhradně řízenou termojadernou fúzí. Na druhé straně se na veletrhu konala konference nazvaná „Energie pro budoucnost“ a nyní jsem byl překvapený já, neboť název, který se léta používá pro termojadernou fúzi, naprosto ignoroval nepsanou dohodu a konference se zabývala transportem energie. Jinými slovy nikdy nevěřte a raději se přesvědčte!

Nepřesvědčil se ale redaktor Českého rozhlasu a opsal zprávu ze zahraničí i s fousy: „Jaderná fúze ve školní laboratoři.“ Zařízení třináctiletého školáka Jamie Edwardse má k jadernému reaktoru přinejmenším tak daleko, jako je ze Země na Slunce. Přitom v České republice jsou nejméně tři zavedené vědecké instituce, které se fúzí zabývají dlouhá léta a konzultaci poskytují rády a nezištně! Konečně stánek „Materiály pro nové tisíciletí“ chrlil podobné informace od rána do večera a shodou okolností zpráva o šikovném studentovi se objevila den před zahájením veletrhu 17. března 2014. Tím jsme se nenápadně vrátili na počátek a můžeme jednat odpovědět na otázky kladené stánku F1.06 a popsat zmíněné zdroje fúzních informací v Česku.

Dotaz č. 1 - Kdy to bude hotové?

Odpověď: Zeptejte se zítra kolem půl třetí! Ale nyní vážně... Není to tak dlouho, kdy k „diagnostice“ plazmatu musel stačit zrak a nanejvýše kus drátku vloženého do plazmatu. Teorie plazmatu byla v plenkách, či spíše nebyla žádná. Byla to právě termojaderná fúze, která vybuodovala fyziku plazmatu jako vědeckou disciplínu. Od prvních pokusů Jacobse a Kantrowitze před 2. světovou válkou a okamžikem, kdy se v Cadarache začal stavět tokamakový gigant uplynulo pouhých sedmdesát let a kovové „pneumatiky“, se zubními rtg papíry coby diagnostikou nahradil tokamak komplex s reaktorem výšky a průměru třicet metrů a diagnostikou schovanou v hale s rozměry 40 x 80 metrů.

Tokamak ITER bude první fúzní zařízení s výkonem převyšujícím příkon. Bude první zařízení kladoucí důraz na výzkum materiálů a technologii spíše než na studium fyziky plazmatu. ITER bude zařízení jehož úspěch či neúspěch může být pro budoucnost řízené termojaderné fúze rozhodující.

Pamětníci si možná vybaví heslo: „Všechny síly pro splnění závěrů ??? (pořadové číslo si doplňte podle své věkové kategorie) sjezdu strany“ Všechny síly pro splnění výzvy, kterou pro fúzní komunitu představuje ITER. Všechny tokamaky, co jich na světě funguje, pracují pro ITER. Zejména se snaží ty, které jsou tokamaku ITER podobné. Tvarem vakuové komory a konfigurací magnetického pole. Mezi ně patří český tokamak COMPASS. Ano Česká republika provozuje hned dvě nejúspěšnější magnetické nádoby na termojaderné plazma. Výukový tokamak GOLEM na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze lze řídit po internetu a na prvním ročníku GOTRAIC experimentovalo 50 studentů z celého světa.



Stánek F1.06 na 22. mezinárodním veletrhu AMPER 2014 (Foto: Milan Řípa)



Účastníci I. ročníku GOTRAIC – internetové seance na tokamaku GOLEM (www.golem.fjfi.cz)

Pochopitelně neopustili pohodlí svých laboroř. Moderní, ač vzrůstem ne veliký, tokamak COMPASS v roce 2012 dosáhl režimu vysokého udržení plazmatu tkzv. H-modu, což je po „prvním plazmatu“ druhý milník v životě tokamaku a svědčí a kvalitním „obslužném“ týmu mladých vědců pražského zařízení. V současné době spolu s týmy devíti tokamaků doslova celého světa od Číny, přes Česko, Švýcarsko, Itálii, Francii, Anglii až do Kalifornie, hledá pro tokamak ITER optimální tvar wolframových dlaždíc pokrývajících divertor [1]. Divertor je speciální část vakuové komory, která čistí plazma tokamaku.

Když bude ITER úspěšně fungovat v „termojaderném“ režimu, začnou se stavět demonstrační elektrárny DEMO a pokud i ty nebudou mít principiální nedostatky, můžeme se v polovině tohoto století setkat s termojadernými elektrárnami coby rovnocenným členy energetického mixu.

Malá poznámka. Zatímco experimentální tokamak ITER je společné dílo Evropské unie a dalších šesti států: Ruska, USA, Číny, Japonska, Koreje a Indie, na DEMO se chystají samostatně Jižní Korea, Čína a ...Evropa, aby neztratila tvář vedoucího v termojaderném výzkumu.

Dotaz č. 2 - Jak je na tom ITER?

Hodně jsme o ITER psali v předchozích odstavcích. Staví se od roku 2007 a dnes na ploše 40 hektarů kromě administrativní budovy, současně sídla generálního ředitele ITER organization prof. Osamu Motojimy, je zkolaudována montážní hala pro největší cívky poloidálního pole, které jsou pro svoje rozměry netransportovatelné, staví se tkzv. tokamak komplex, který tvoří tři budovy: budova pro reaktor, tritiové hospodářství a budova pro diagnostiku. Přípravuje se stavba montážní haly pro kryostat, který přikryje celý supravodivý tokamak. Vloni na podzim proběhly zkoušky

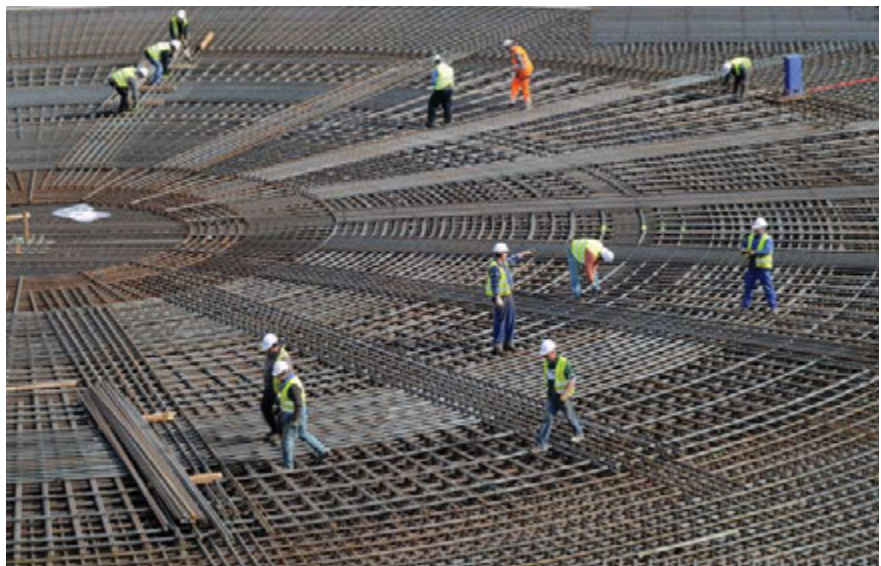


Jedna ze šesti sekcí centrálního solenoidu tokamaku ITER – největšího pulsního elektromagnetu na světě: 1 000 tun hmotnosti, 18 metrů výšky pojme 5,5 gigajoulu energie v magnetickém poli. Vyrobita americká firma General Atomic pod vedením Oak Ridge National Laboratory (S laskavým svolením ITER organization)

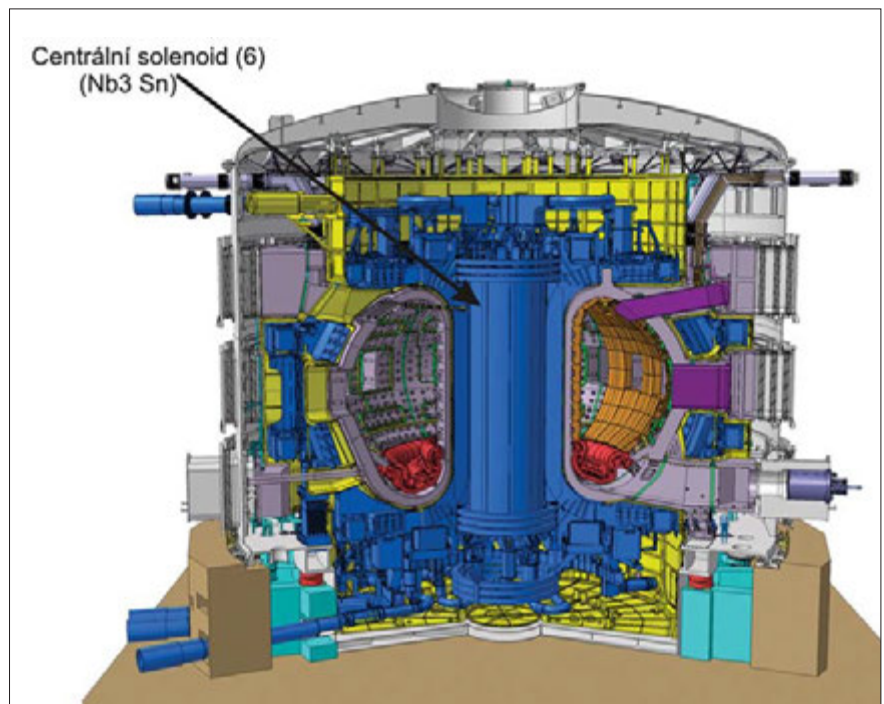
transportního konvoje: Na podvalník se 352 koly a 88 osami, dlouhý 46, široký 9 a vysoký 10 metrů, se naložilo 800 tun betonových bloků (dvě plně naložená letadla Boeing 747) a konvoj absolvoval sto kilometrů z přístavu Étang de Berre do Cadarache. Koncem března se s tímž nákladem testovalo naložení v přístavu Foss sur Mer nedaleko Marseille, plavba přes vnitrozemské moře



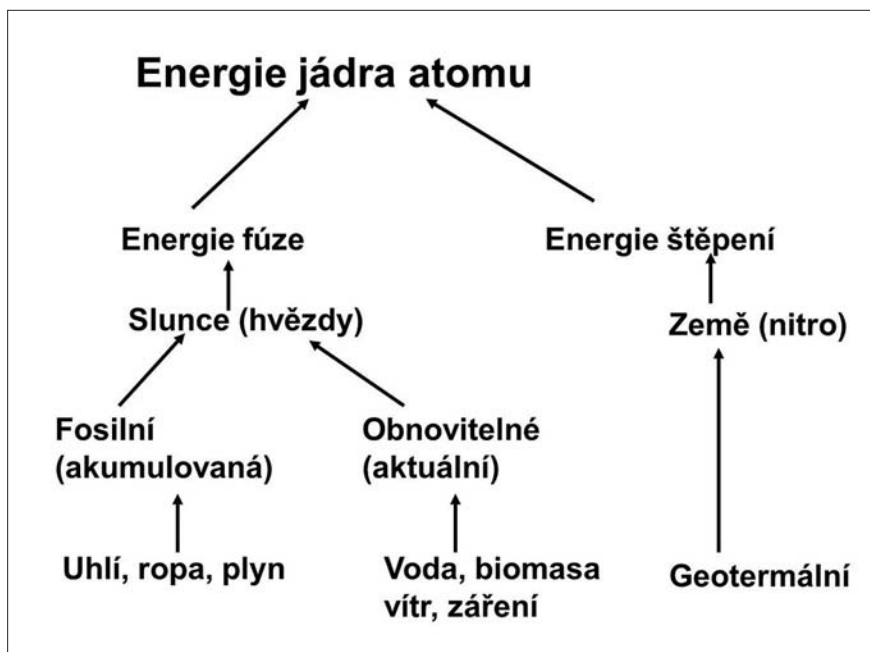
Vlajky sedmi partnerů ITER organization (S laskavým svolením ITER organization)



Už víte, kde bude umístěn tokamak ITER? Cadarache, únor 2014 (S laskavým svolením ITER organization)



Umístění centrálního solenoidu (primárního vinutí transformátoru) na tokamaku ITER (S laskavým svolením ITER organization)



Vše zlé (ale i dobré) pochází z jaderné energie (Kresba Milan Řípa)

Étang de Berre a vyložení v přístavu téhož jména na opačném břehu. Letos na stavenišť dorazí první komponenty, to je, konvoj pojede sto kilometrů na ostro.

Ač stavbě tokamaku ITER předcházela provoz velkých tokamaků – evropského JET, amerického TFTR, ruského T-10 resp. T-15, japonského JT-60U, je krok či spíše skok (do neznáma) k zařízení rozměrů ITER značný. Posuďte sami. Do zahájení stavby ITER celý svět za rok vyrobil 15 tun supra vodiče Nb₃Sn. Dnes je pro 18 cívek toroidálního pole vyrobeno již 480 tun Nb₃Sn.

Pro tak zvaný dodatečný ohřev plazmatu ITER bude zapotřebí gyrotronový zdroj vysílající na frekvenci 170 GHz výkon 20 MW. Dosud byl vyroben pouze zdroj o výkonu 3,6 MW. Tak bychom mohli pokračovat dale. Pouze zkušební vědci a technici plně oddaní myšlence jsou schopni obrovský úkol zvládnout!

Celý fúzní svět, včetně institucí v České republice, pracuje pro úspěch ITER. Tokamak COMPASS v Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd ČR, v.v.i. poskytuje díky své podobnosti s ITER údaje důležité pro budoucí činnost ITER, tokamak Golem na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze vychovává budoucí odborníky pro ITER a projekt SUSEN Centra výzkumu Řež, s.r.o. staví v Plzni experimentální halu pro výzkum interakce tepelného a neutronového toku s první stěnou obalu vakuové komory ITER. Komplex HELZA (High Energy Load Czech Assembly) zajistí ohřev materiálových vzorků a modulů první stěny reaktoru nebo divertorových terčů reaktorů ITER a DEMO tepelným tokem až 40 MW/m². HELCZA může poskytnout pro materiálový výzkum hustoty tepelného toku až 40 GW/m². Pro srovnání tepelná zátěž první stěny vakuové komory tokamaku ITER se očekává v rozmezí 2 až 5 MW/m², divertor počítá s tepelnou zátěží až 20 MW/m². Buduje se laboratoř se zdrojem fúzních neutronů energie 14 MeV. Dálková

manipulace se bude zkoušet na testovacím modulu blanketu (obalu) TBM vyrobeném v měřítku 1:1. Maketa TBM bude jediná svého druhu na světě [2].

Firma ATEKO a.s. Hradec Králové v letech 2009 až 2013 dodala pět souborů turbocirkulátorů pro transport tepla z fúzního zařízení ITER tlakovým heliem. A tím jsme se nenápadně dostali k poslední FQA.

Dotaz č. 3 - Jak se bude odvádět fúzní energie z reaktoru?

V první etapě se využije fúzní reakce s nejnižší zápalnou teplotou, kterou je slučování jader izotopů vodíku – deuteria a tritia. Výsledkem jsou jádra helia a neutrony, které letí značnou rychlostí. Kinetická energie produktů D-T reakce je ona fúzi uvolněná jaderná energie. Zatímco jádra helia – alfa částice – díky svému elektrickému náboji zůstanou v magnetické nádobě a budou plazma ohřívát, neutrony bez problémů proletí stěnou magnetické nádoby a narazí na první stěnu obalu. Díky své značné energii 14 MeV část fúzních neutronů pronikne do materiálu až do hloubky jednoho metru, zhoršuje jeho vlastnosti, ale především všechny neutrony usměrněnou energií mění v teplo a první stěnu zahřívají. Na jednu stranu určitě není žádoucí, aby neutrony měnily vlastnosti konstrukčního materiálu respektive indukovaly v něm druhotnou radioaktivitu, ovšem na straně druhé se tak povrchová disipace jejich kinetické energie mění v objemovou a snižuje tak tepelnou zátěž povrchu první stěny. [3] V ITER bude vnitřní stěna obalu využita k testování šesti variant plození tritia bombardem lithia fúzními neutrony. Chlazení Test Blanket Module (TBM) bude buď vodou nebo heliem. Chladící medium bude odvádět teplo mimo vakuovou nádobu. V tokamaku ITER se teplo rozpětí v ovzduší a v elektrárně se využije standardním způsobem pro výrobu elektřiny.

Dotaz č. 4 - Proč se staví fúzní zařízení tak obrovská a vše se s malými náklady nevyzkouší „na stole“?

Aby došlo k významnému, tedy využitelnému, uvolnění fúzní energie při přístupu přiléhavě zvaném magnetické udržení, musí být plazma, ve kterém probíhají fúzní reakce dobře tepelně izolováno. Toho lze dosáhnout buď kvalitním magnetickým polem dostatečné intenzity nebo dostatečně velkým objemem plazmatu. Vzhledem k tomu, že na další zvětšování intenzity magnetického pole již nemáme technické prostředky, soustředily se tokamaky na druhou možnost a to je zvětšování velikosti udržovaného plazmatu. Doba udržení energie roste dokonce s druhou mocninou velikosti plazmatu [4], takže tokamak ITER bude mít přibližně čtyřikrát větší dobu udržení energie než v současnosti největší tokamak na světě – evropský tokamak JET. 4 sekundy doby udržení energie plazmatu tokamaku ITER sice nebudou stačit k zapálení fúze, to je k okamžiku, kdy fúzní výkon plně hradí výkon ztracený a kdy lze vnější ohřev zcela vypnout, ale bude mít k zapálení (ignition) velmi blízko.

Dotaz č. 5 - Je termojaderná fúze obnovitelný zdroj energie (OZE)?

Když pomíneme nesmyslnost pojmu obnovitelný zdroj energie, neboť energie se neobnovuje, ale pouze přeměňuje, pak je si dobře uvědomit, že OZE, čili myšleno vítr, sluneční záření, voda v přehradách jsou „poháněny“ energií Slunce, tedy energií termojaderné fúze. Logicky tedy musí mezi OZE patřit i ona. Ale podle ortodoxních vykladačů pojmu OZE termojaderná fúze mezi OZE nepatří. Vysvětlení? Termín OZE má regionální platnost a vztahuje se pouze na naši Zemi a pár kilometrů atmosféry. Slunce fúzuje mimo definiční oblast pojmu OZE. Takže demagogie obnovitelných zdrojů energie vyrobila perpetuum mobile, o kterém naivní fyzikové roky prohlašují, že je nesmysl!

Ing. Milan Řípa, CSC.,
Ústav fyziky plazmatu Akademie věd ČR, v.v.i.

O autorovi

Ing. Milan Řípa, CSC., (*1948) vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT. V Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., se zabýval optickou diagnostikou na pulzních plazmatických zařízeních. Spolu s Janem Mlynářem přeložil z angličtiny knihu G. McCrackena a P. Stotta *Fúze – energie vesmíru* (2006), s Janem Mlynářem, Vladimírem Weinzettlem a Františkem Žáčkem napsal knihu *Řízená termojaderná syntéza pro každého* (2004), 4. vydání (2013)

Zdroje informací:

- [1] Jan Horáček, ÚFP AV ČR, v.v.i.: Soukromé sdělení
- [2] Slavomil Entler, Centrum výzkumu Řež, s.r.o.: Soukromé sdělení
- [3] Martin Libra, Jan Mlynář, Vladimír Poulek: *Jaderná energie*, ILSA, 2012, ČZU v Praze, str. 86
- [4] Kolektiv autorů: *Řízená termojaderná fúze pro každého* - 4U, 2013, Praha, str. 71