

# Termojaderná fúze letos slaví dvě výročí

V roce 2011 si fyzikové a inženýři „umazaní“ od plazmatu připomínají dvě významná výročí vzdálená od sebe čtyřicet let a dalších dvacet od dnešního data. Obě se týkají výzkumů řízené termojaderné fúze a svírají půl století, na jejímž počátku byl podpis a na konci termojaderná energie uvolněná řízeným způsobem. V článku jsou popsány zásadní milníky vývoje termojaderné fúze.

5. května 1951 podepsal J. V. Stalin usnesení vlády No1463-732ss/op „O organizaci vědecko-výzkumných a experimentálních prací pro posouzení možnosti stavby magnetického termojaderného reaktoru“. V sobotu 9. listopadu 1991 byla do vakuové komory tokamaku JET napuštěna směs deuteria a tritia v poměru 9:1 a poprvé v historii lidské společnosti byla na zemi uskutečněna fúze jejich jader doprovázená uvolněním významného množství termojaderné energie. Po dobu dvou sekund plazma produkovalo téměř dva megawatty. Rekord z roku 1997 na téměř zařízením má hodnotu 16,5 MW.

Velké věci mají malé příčiny. Neuvěřitelně proto zní příběh seržanta Rudé armády, který z poloostrova Sachalin navrhl Moskvě v roce 1950 projekt termojaderného reaktoru. Ten voják se jmenoval Oleg Alexandorovič Lavrentěv a v Moskvě si jeho dopis přečetl Alexandr Dmitrijevič Sacharov. Sacharov byl myšlenkou mladého vojáka doslova nadšen a po konzultaci se svým učitelem Igorem Jevgenějevičem Tammem ji upravil do stavu, který nazvali Magnetický termojaderný reaktor. Jeho parametry podezřele připomínaly parametry současného mezinárodního tokamaku ITER a návrh předložili Kuřčatovovi. Ten postupně s touto ideou seznamoval další kolegy – mezi nimi například mezinárodní hvězdu teoretické fyziky Lva Davidoviče Landaua. Landau sice usoudil, že myšlenka je to zajímavá, ale odmítl se práce zúčastnit.

## Vznik tokamaku

Sacharov i Tamm v té době pracovali na konstrukci vodíkové bomby v KB-11 v Arzamacu u Moskvy. Rozhovory o magnetickém termojaderném

reaktoru se účastnili doslova ve svém volném čase. Přesto tehdy přišel Sacharov při jedné z návštěv Moskvy s geniálním nápadem, který určil směr experimentálních výzkumů a dal vzniknout zařízení, kterému dnes říkáme tokamak. Sacharovovi a Tammovi bylo od počátku jasné, že termojaderné plazma je nutné od stěn vakuové komory izolovat magnetickým polem. Věděli, že jiný než toroidální tvar komory nepřipadá v úvahu. Toroidální komora se sice vyhne ztrátám částic unikajících otevřenými konci lineárního zařízení, ale daní za to je takzvaný toroidální drift způsobený odstředivou silou. Ten má za následek únik plazmatu na stěnu vakuové nádoby.

Vyhnut se této nepříjemnosti umožňuje spirálový tvar siločáry, který dosáhneme superpozicí toroidálního a poloidálního magnetického pole. Toroidální pole je vytvářeno vnějšími cívkami a poloidální pole navrhl Sacharov vytvořit elektrickým proudem v plazmatu vybuzeným transformátorovým efektem.

Pro potlačení dlouhověkých nestabilit plazmatu doporučil Sacharov obklopit vakuovou nádobu relativně tlustým měděným pláštěm – „kožuchem“ se štěrbínami: ekvatoriální kvůli průniku toroidálního pole a několik příčných kvůli vybuzení indukovaného proudu v plazmatu. Teoreticky úlohu štěrbín vysvětlil Michail Alexandrovič Leontovič.

Koncem ledna 1951 svolal Kuřčatov seminář do KB-11. V únoru putoval projekt Lavrentiji Pavloviči Berijovi, co by šéfovi Zvláštního oddělení velícímu vojenskému využitím energie atomového jádra. Teprve dubnová zpráva o tom, že v Argentině vyřešil otázku fúze sudetský Němec (původem ze západočeského Sokolova Ronald

Richtr), pohnula ledy. Jak se nakonec zjistilo, tato informační „kachna“ jako mávnutím křídel probudila Beriju a 5. května 1951 Stalin podepsal stranický a vládní dokument, kterým byl poprvé na světě zahájen státem podporovaný výzkum řízené termojaderné fúze. Američané probuzení stejným impulsem podepsali v červenci smlouvu s Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL), zvanou Matterhorn, se stejným cílem. Zvládnout termojadernou fúzi řízeným způsobem. Díky slovu tvrdému astrofyzikovi Lymanu Spitzerovi, jinak vášnivému horolezci, si vybrali zařízení zvané stellarátor. Ale to už je jiná kapitola.

## Izolovat plazmu? = To je jako přenést pudink v síťové tašce

Pouť k druhému výročí byla strastiplná, jak si jen málokdo dokáže představit. Izolovat plazmu, což otec americké vodíkové bomby Edward Teller přirovnal k pokusu přenést pudink v síťové tašce, trvalo právě čtyřicet let. Sloučit dvě stejnohlasně nabitá jádra vyžaduje teplotu paliva – směsi deuteria a tritia – stovky miliónů stupňů. Pak je látka ve stavu plazmatu, které je všechno, jen ne stabilní. Kolovala anekdota, podle které první zprávu na mezinárodní plazmatické konferenci byla radost nad potlačením naposledy diskutované nestability a vzápětí za touto zprávou následovala druhá o nestabilitě nově objevené, či spíše o několika nových nestabilitách.

## Válka vědců

Krůček po krůčku se vědci celého světa snažili plazma zkrotit. Boj byl veden na několika frontách: stellarátory, tokamaky, samostačitelné výboje – pinče, zrcadlové nádoby a pochopitelně laserové plazma. Až přišel rok 1968, kdy Lev Arcimovič nabídl šokovanému auditoriu 3. Mezinárodní konference plazma tokamaku T-3 s teplotou 10 miliónů stupňů, když do té doby zněl rekordní zápis spíše stokrát méně. Arcimovič se elegantně vypořádal s nařčením Američanů ze špatné metodiky měření, když si nechal svá čísla následující rok potvrdit Angličany, kteří z Culhamu přivezli měřící aparaturu o hmotnosti pěti tun. Arcimovičova čísla byla opravdu chybná – Britové naměřili teplotu ještě vyšší! Od té doby fúzní svět skloňuje pouze ruské slovo tokamak = **T**oroidálnaja **K**amera i **M**agnitnyje **K**atuški.

Mimochodem, než se stal potomek litevských knížat Lev Andrejevič Arcimovič suverénním lídrem světové fúze, měl od Igora Vasilijeviče Kuřčatova – vedoucího fúzního výzkumu v Sovětském svazu – zákaz vyjíždět do ciziny. Důvodem nebyly jeho politické postoje, jak by se dalo očekávat v poválečném Sovětském svazu, ale jeho nesmiřitelná stanoviska k chybným vědeckým názorům, ať už je prezentoval kdokoliv a kdekoli. Když přidáme pověstný sarkasmus, kterým svého protivníka



Lev Alexandrovič Arcimovič na návštěvě v Ústavu fyziky plazmatu Československé akademie věd v roce 1964 (archiv ÚFP AV ČR, v.v.i.)



# Armatury pro klasickou a jadernou energetiku

Ventily, šoupátka, klapky, kulové kohouty, speciální armatury

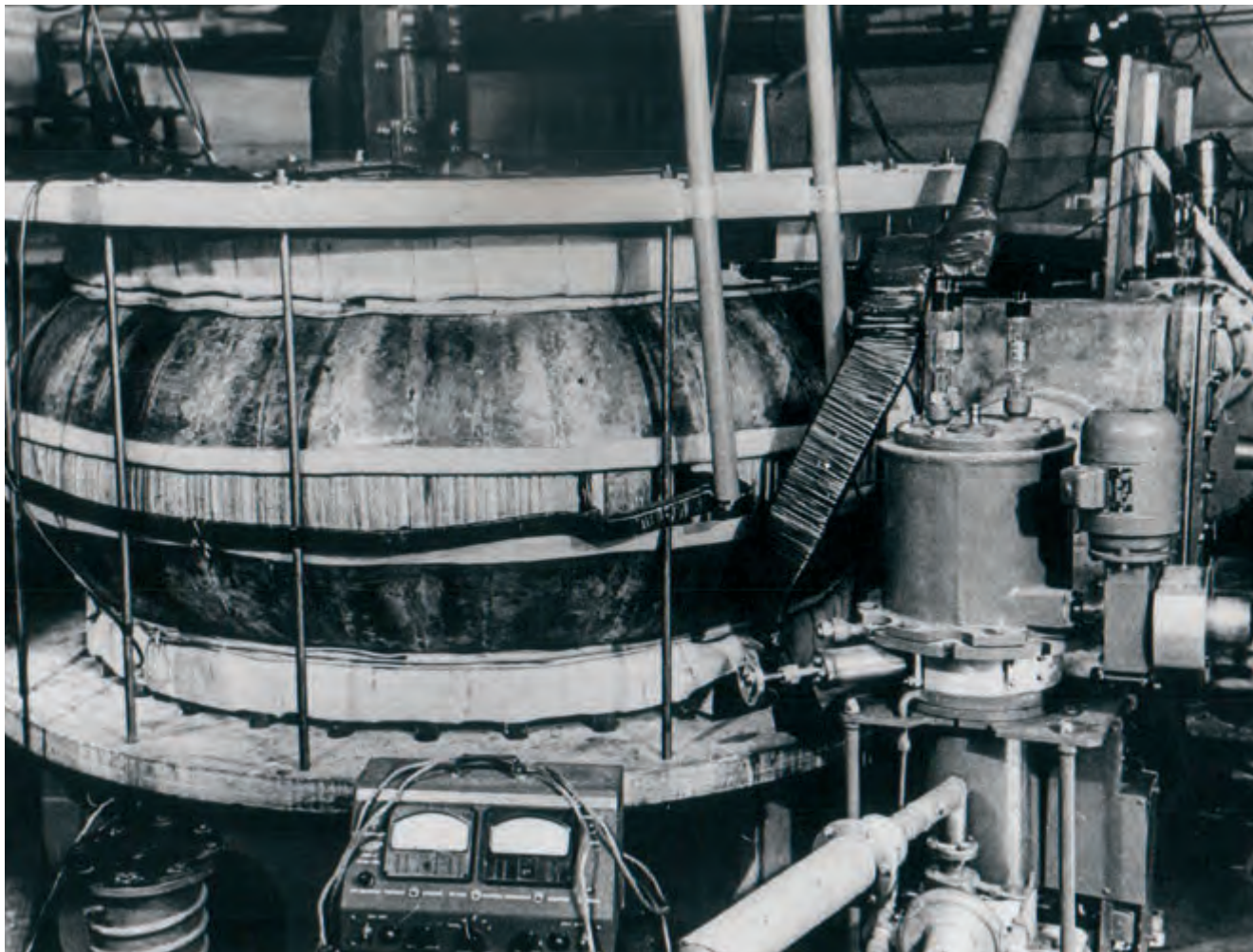
Skupina **MPOWER** integruje firmy z oblasti vývoje, technologie, engineeringu, výroby a servisu armatur pro klasickou a jadernou energetiku. **MPOWER** navazuje na dlouholetou tradici vývoje a výroby průmyslových armatur koncernu SIGMA Modřany a disponuje unikátním technickým know-how. Vlastní vývojové, technologické, konstrukční a výrobní zázemí spolu s rozvinutou sítí výrobních kooperací umožňuje pružně reagovat na individuální potřeby zákazníků.

together we are strong  
[www.mpowergroup.eu](http://www.mpowergroup.eu)

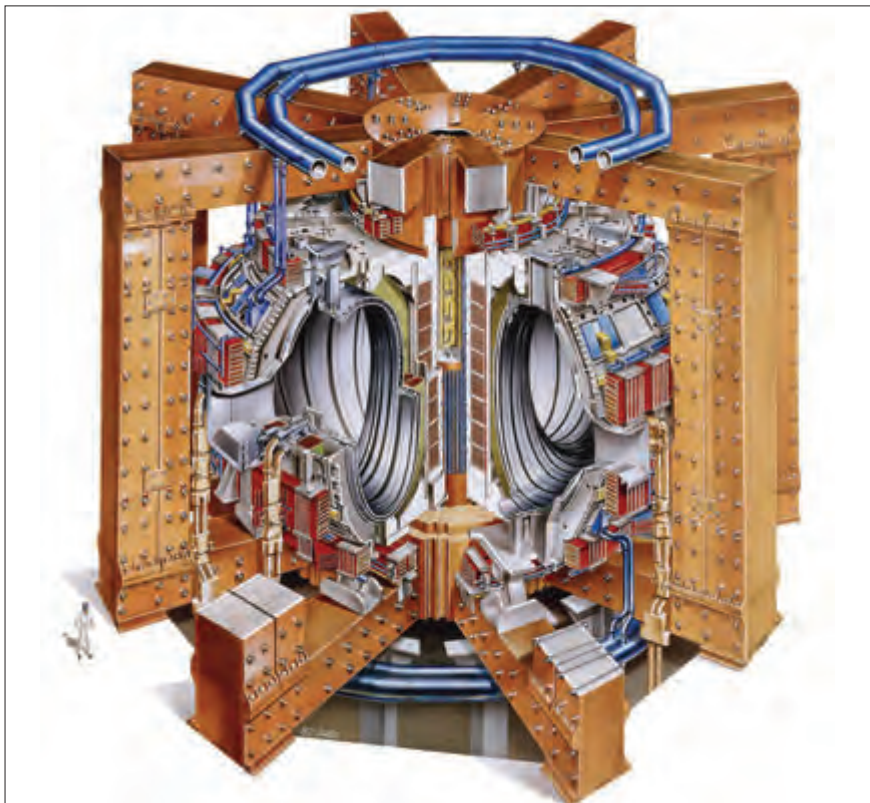


**MPOWER**

MPOWER Engineering, a.s.  
Pod Vinicí 2028/20, 143 01 Praha 4 - Modřany  
tel. +420 225 371 300, fax +420 225 371 325  
e-mail: [info@mpowergroup.eu](mailto:info@mpowergroup.eu)



Na snímku tokamak T-1 v Laboratoři měřící techniky Akademie věd (LIPAN) - dnes Kurčatovův ústav atomové energie (archiv CCFE)



Největší tokamak světa – evropský tokamak JET [archiv CCFE]

znemožnil, obávali se jeho vedoucí, že by vystoupení Lva Andrejeviče na mezinárodním fóru mohlo vyvolat třetí světovou válku.

Kurčatov zemřel. Arcimovič vyjel a bylo skutečně rušno! V roce 1961 v Salzburgu na první konferenci o řízené termojaderné syntéze Lev Andrejevič téměř zesměšnil vystoupení Freda Coensgena a Richarda Posta z Livermoru. Američané Arcimovičovy námítky považovali za urážku a žádali omluvu. Arcimovič odpověděl, že vědecká konference není odpolední dýchánek cudných panen [doslova blagorodnych děvic], kde si budou účastnice vyměňovat zdvořilé komplimenty. Nastal rozruch na sále a trval téměř hodinu. Američané byli nuceni přiznat, že Arcimovič má pravdu a Lev Andrejevič vykročil na cestu za titulem světového lídra fyziky fúze.

#### **Jak udržet energii plazmatu?**

Chcete-li ušetřit náklady na vytápění domu, budete hledat cesty jak nejlépe dům izolovat. Jak snížit tepelné ztráty na minimum. Nic jiného se v tokamaku nedělá. Hledají se cesty, jak udržet energii plazmatu co nejdéle. Cesty jsou v podstatě dvě: buď vyrobit kvalitní magnetickou nádobu, nebo zvětšit objem plazmatu, nebo existuje kombinace obojího. Čím větší objem plazmatu, tím se technicky hůře zaplňuje magnetickým polem, nehledě na rostoucí náklady

na nejdražší komponentu tokamaku – cívky, nejlépe supravodivé.

Od T-3 k největším světovým tokamakům současnosti zafungovala generace středně velikých tokamaků. Na americkém PLT tokamaku byla díky ohřevu svazky neutrálních atomů dosažena teplota 80 milionů stupňů. Na německém tokamaku ASDEX byl objeven režim zvýšeného udržení energie plazmatu nazvaný H-mód (H jako High). Na sovětském tokamaku T-8 byl poprvé použit protáhlý tvar vakuové komory, který lépe vzdoruje vibracím a zlepšuje udržení plazmatu. Opět sovětský Tokamak T-7 poprvé použil supravodivé vinutí cívek toroidálního pole. Nastala doba pro další krok – pro generaci ještě větších tokamaků.

V osmdesátých letech se postavily velké tokamaky americký TFTR (objem plazmatu 40 m<sup>3</sup>), japonský JT-60 (60 m<sup>3</sup>), sovětský T-15 (25 m<sup>3</sup>) a především evropský tokamak JET (160 m<sup>3</sup>). Pouze tokamaky TFTR a JET byly schopny pracovat s tritiem, to je zapálit termojadernou reakci ve významném měřítku. Dnes to je pouze tokamak JET. TFTR Američané rozmontovali.

Taková byla ve stručnosti cesta k 9. listopadu před dvaceti lety.

#### Stane se fúze protiváhou štěpné jaderné reakce?

Dnes obvyklá námitka oponentů fúze zní: „Co to je dvě sekundy!“ Ovšem, před dvaceti roky to byly milisekundy, za které byli fužní fyzikové vděční. O dvou megawatech fužního výkonu si mohli skutečně nechat jen zdát. Když uvážíte výhody, které na lidskou společnost čekají, bude-li fungovat fužní elektrárna, pak je jasné, že námaha, čas a náklady vynaložené na zdolání fužního Everestu mají opodstatnění. A které že to jsou výhody?

- fúze je surovinově zabezpečená jak kvantitativně, tak topologicky,
- v každém okamžiku je v reaktoru palivo o hmotnosti kolem gramu, reakce není řetězová a uhasne okamžitě,
- jakákoli nestandardní situace vede k okamžitému vyhasnutí reakce,
- primární palivo a odpad nejsou radioaktivní,
- vybušená radioaktivita konstrukčních

materiálů vyhasíná během sta let – žádné dědictví pro příští generace,

- jakákoli myslitelná havárie nevyžaduje evakuaci obyvatel žijících „za plotem“ reaktoru.

#### Závěr

Povzdechl si jednou Igor Nikolajevič Golovin, dlouholetý zástupce Igora Vasilijeviče Kurčatova, ředitele LIPAN – Laboratorii izmeritel'nych priborov Akademii nauk, dnešního Kurčatova ústavu atomové energie v Moskvě a autor názvu TOKAMAK: „Škoda, že se Andrej Dmitrijev (Sacharov) nemohl věnovat fuži více. Strávil s námi pouze několik měsíců v letech 1950 až 1952. Možná, že by se výzkumy vedly jinak a rychleji.“ Možná, že bychom druhé výročí slavili výrazně dříve. Možná, že by již fungovala fužní elektrárna ...

**Pozn.** Za upozornění na materiály potulující se po internetu děkuji svému kolegovi RNDr. Janu Mlynářovi, Ph.D.

**Ing. Milan Řípa, Ph.D.,**  
Akademie věd ČR, Ústav fyziky plazmatu,  
ripa@ipp.cas.cz

#### Thermonuclear fusion celebrates two anniversaries in 2011

*In 2011, the physicists and engineers, "dirty" from plasma, remember two important anniversaries: one 60-year and one 20-year anniversary. Both anniversaries apply to the research of controlled thermonuclear fusion. A half century passed between the signature and actual controlled thermonuclear fusion. The article speaks about the main milestones in the development of thermonuclear fusion.*

#### Термоядерная физика отмечает в этом году два юбилея

*В 2011 году физики и инженеры «запачканные плазмой» отмечают две значительные даты. Оба события связаны с исследованиями управляемой термоядерной физики, длящейся уже полстолетия: в её начале было описание, а в конце – термоядерная энергия, освобождённая и управляемая. В статье описаны основные вехи развития термоядерной физики.*

**zelenka**  
překlady | tlumočení | jazykové kurzy



## Odborné překlady a tlumočení

### Specializace:

energetika | elektrotechnika | strojírenství | stavebnictví |  
plynárství | teplárství

[www.zelenka.cz](http://www.zelenka.cz)

## Expert translations and interpreting

### Specialization:

Energetics | Electrotechnics | Mechanical engineering |  
Building industry | Gas engineering | Heat production

[www.zelenka-translations.com](http://www.zelenka-translations.com)