

abc 5

mladých techniků a přírodovědců

To je Tokamak!



ROČNÍK 31

CENA 3 Kčs

Foto ing. Jan Tůma

PODÍL NAŠICH VĚDCŮ NA PROJEKTU STOLETÍ

Tokamak T-15

Úkol: výzkum a vybudování prototypu termojaderného reaktoru

Účastnické státy: SSSR—ČSSR—BLR—MLR—NDR

Očekávaný výsledek: revoluční energetický zdroj pro příští století

NAVZDORY „ZLOMYSLNÉ“ PŘÍRODĚ

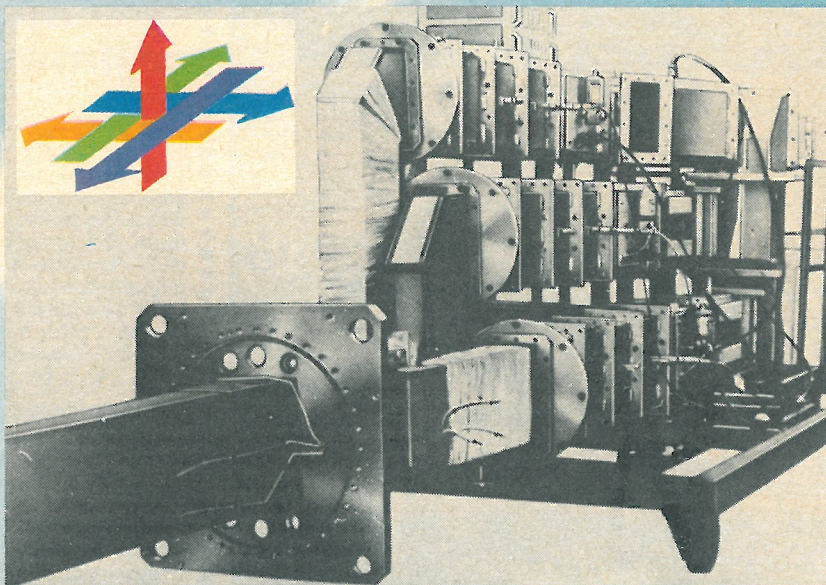
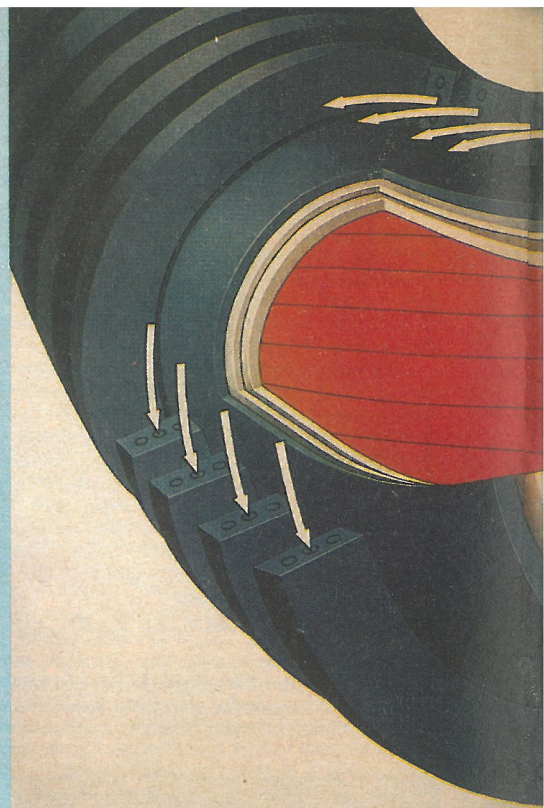
Princip termojaderného spojování neboli fúze je zdánlivě jednoduchý. Stačilo by zahřát směs jader deuteria a tritia (jsou to izotopy vodíku) o určité hustotě na teplotu kolem 100 milionů kelvinů a udržet ji po dobu jedné sekundy. Část jader by se přitom spojila v jádra hélia. Jen z deuteria obsaženého ve skleně obyčejné vody by se při tom uvolnilo tolik energie, kolik získáváme z tuny uhlí!

Ale jak už to v přírodě bývá: čím je princip jednodušší, tím těžší je převést jej do technické skutečnosti. Bezmála čtyřicet let usilují přední vědci o nalezení cest,

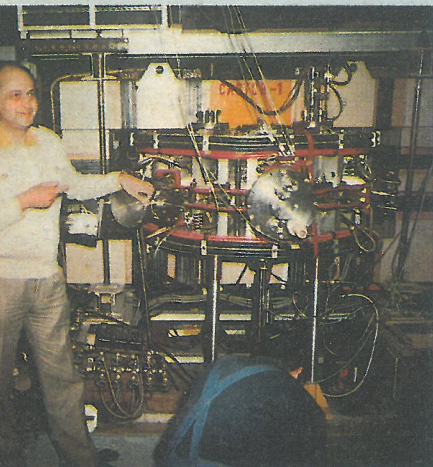
hamu, jehož komorou o objemu 200 m³ by mohl projet i menší nákladní automobil. Princip mají ovšem společný. A s ním i řadu problémů.

PROMĚNY ČESKOSLOVENSKÉHO TOKAMAKU

Náš první tokamak, dodaný roku 1977 ze SSSR pod typovým označením TM-1 MH, je možné najít v nenápadné budově v rozrůstajícím se areálu ČSAV v Praze-Ďáblicích. Jeho komora je vložena mezi póly tritunového magnetu. K udržení vodíkového plazmatu v komoře podobné vzdušnici nákladního automobilu je zapotřebí magnetické pole, jehož intenzita pa-



Vlnovodný „pozoun“ k mikrovlnnému ohřevu plazmatu v tokamaku T-7 dodalo Československo



RNDr. VI. Kopecký, DrSc., vysvětluje princip inovovaného tokamaku Castor-1

kteří by se staly klíčem k tomuto době střeženému tajemství přírody a pomohly nám otevřít pokladnice nezměrné energie.

Nejdále se zatím dostali vědci pokoušející se zahřát zředěné termojaderné palivo v prstencových komorách — tzv. tokamacích. Takové zařízení se podařilo vyvinout začátkem padesátých let kolektivu akademika Igora Kurčatova v SSSR. Nepředstavitelně rozžhavené palivo udržuje v bezpečné vzdálenosti od stěn komory magnetické pole cívek. Ty obklopují prstencovou spalovací komoru (obr. 1). Z ruského pojmenování toroidní kamera (prstencová komora) a magnitnyje katuški (magnetické cívky) vznikl název tokamak. Stal se nakonec stejně mezinárodním jako třeba označení sputnik pro družice.

V současné době pracuje v různých světových laboratořích na sedmdesát tokamaků nejrůznějších velikostí — od nejmenších s komorou velkou jako kolo automobilu až po největší „JET“, vybudovaný západoevropskými vědci v britském Cul-

desátisickrát překonává magnetické pole Země. K jeho vytvoření spotřebují cívky obklopující komoru mocný proud, který se celé hodiny střádá ze sítě do kondenzátorů v přilehlé hale.

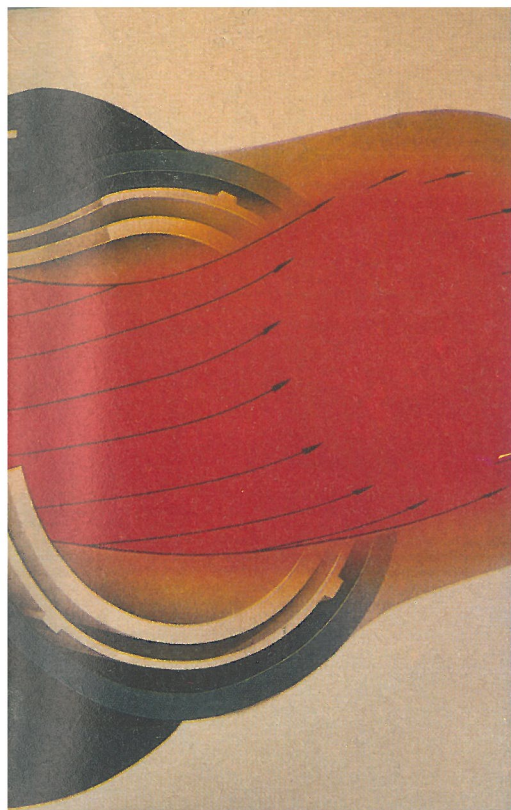
Při výboji elektrického proudu na primární straně transformátoru prošlehe v ose prstence indukovaný proud, který začne palivo zahřívát a proměňovat je v plazma. Jeho magnetické pole spolu s polem cívek okolo prstence se sčítá a sevře rozžhavené plazma do spirálovitě zakřivené „klece“ silového pole (obr. 1). Elektronová teplota plazmatu se při výboji trvajícím sotva setinu sekundy vyvíhne až na 3 milióny K.

Jakmile výboj skončí, nebo vlivem nejrůznějších nestabilit, které se vědci pokoušejí „krotit“ přidávkami cívkami, i dříve, je s dalším zahříváním plazmatu konec. I když se Američanům nedávno na

tokamaku PLT podařilo dosáhnout teploty 80 milionů K, ke kžzenému spojování jader tak, aby se vzniklá energie dala využít, je ještě nedozírně daleko.

CESTOU MIKROVLNNÉHO OHŘEVU?

Nad deset milionů stupňů klesá elektrický odpor plazmatu natolik, že další zvyšování teploty touto cestou nemá smysl. Pokud se podaří plazma ještě chvíli udržet v prstenci (což závisí např. na kapacitě kondenzátorů), dalo by se zahřívát dál ozařováním velmi krátkými vlnami nebo bombardováním urychlenými částicemi do osy prstence. Náš tokamak byl od počátku určen pro první řešení. Ze speciálních generátorů VKV — tzv. gyrotronů — se vedou centimetrové nebo jen milimetrové vlny speciálními vlnovody do prstence. Připomíná to činnost mikro-



o objemu 24 m³ se má plazma kombinovaným ohřevem ohřát až na rekordních 70 milionů K. Zdrojem přídavné mikrovlnné energie bude čtyřřadvacet gyrotronů s výkony, které tisícnásobně převyšují výkony nejsilnějších rozhlasových vysílačů.

Systém musí být stejně jako prstencové cívky chlazen kapalným héliem a používá supravodivé vinutí. Na vývoji této aparatury se podílí Elektrotechnický ústav SAV v Bratislavě. Supravodivé vinutí ze speciální niob-titanové slitiny montují Bratislavské elektrotechnické závody a kryostaty pro dochlazování hélia vyrobil Ferox v Děčíně.

ABY TOKAMAKY PRACOVALY NEPŘERZITĚ

Díky účinné spolupráci zemí RVHP se tedy skupiny československých vědců i naše závody mohou podílet na vývoji zdrojů energie pro příští tisíciletí. Zásadním nedostatkem dosavadních tokamaků

◀ **Řez prstencem tokamaku znázorňuje vznik spirálovitého magnetického pole, které svírá provazec plazmatu a udržuje ho v izolaci od stěny komory**

▼ **S postavou vědce, stojícího v podsklepení u nádrží s kapalným héliem, porovnejte velikost budovaného tokamaku-reaktoru T-15, na jehož vývoji se podílejí i čs. odborníci. NA TITULNÍ STRANĚ tohoto výtisku je záběr z montáže prstence sovětského supravodivého tokamaku T-7**

vlnného sporáku. Místo pečinky je však uvnitř svíjející se provazec vodíkového plazmatu.

Ohřev je neúčinnější, když délka vln rezonuje (je v souladu) s kmitočtem částic plazmatu. Pod vedením RNDr. V. Kopeckého, DrSc., pracovníci Ústavu fyziky plazmatu ČSAV v Dáblicích československý tokamak rekonstruovali a přizpůsobili jej pro nové způsoby mikrovlnného ohřevu. Jak je zvykem, dostal pak i nový štítek „Castor-1“ (z anglického označení pro prstavec ČSAV) (obr. 2).

„POZOUN“ PRO SUPRAVODIVÝ SOVĚTSKÝ TOKAMAK T-7

Jeden z principů mikrovlnného ohřevu, vyvinutý našimi odborníky v ČSAV, byl tak úspěšný, že byl na žádost sovětských vědců uplatněn na supravodivém tokamaku T-7 (obr. 3) v moskevské laboratoři Kurčatovova ústavu. Decimetrové vlny jsou vedeny do prstence třemi hranatými trubkami (obr. 4) a protahováním či zkracováním se dá jejich délka naladit asi tak, jako to dělá hráč na pozounu ze zvukovými vlnami. Když se vlny z těchto tří větví spojí, vniknou do prstence a prohánějí tam elektrony plazmatu jako na kolotoči. Důsledkem tohoto prudkého elektronového víření je právě neobyčejné zvýšení teploty.

Zmíněný tokamak má supravodivé cívky chlazené kapalným héliem. Tím se značně sníží obrovský elektrický proud potřebný k jejich buzení (neboť s teplotou klesá i odpor vodiče). Konstrukce je ovšem neskonalé složitější, než jak z tohoto výkladu vyplývá. K problému, jak udržet alespoň po zlomek sekundy vysokou teplotu plazmatu, přibyla otázka, jak naopak uchovat nízkou teplotu cívek. Akademik Lev Arcimovič to vyjádřil stručně: „Pokoušíme se o něco podobného, jako bychom chtěli uvést do varu vodu umístěnou v nádobě z ledu!“

JAKÝ BUDE DEMONSTRAČNÍ REAKTOR-TOKAMAK T-15?

V hale Kurčatovova ústavu v Moskvě vyrůstá vedle supravodivé „té-sedmičky“ zatím největší sovětský tokamak T-15 (obr. 5). V jeho dvacetitunovém prstenci

je jejich přerušovaný cyklus výbojů, který nebude možné protáhnout déle než na půl minuty. Opakované výboje by zničily konstrukci i materiál zařízení, které je beztak namáháno až na hranici své životnosti žářem plazmatu a nízkou teplotou chladičích cívek.

Proto se s mimořádným odborným ohlasem setkala teorie RNDr. V. Kopeckého a ing. J. Preinhaltera, vyznamenaná cenou ČSAV, která prosazuje metodu ohřevu plazmatu šikmo dopadajícími vlnami. Za určitých podmínek by se tímto způsobem podařilo „nahnat“ do provazce plazmatu tolik energie, že by odpadla potřeba odporového ohřevu oněmi nepříjemnými přerušovanými výboji.

Budoucí termojaderný reaktor by tak mohl pracovat nepřerušovaným postupem. Škoda jen, že tuto převratnou změnu nelze ještě vyzkoušet, protože potřebnou hustotu plazmatu zatím žádný z tokamaků neudrží, a pracují proto se zředěným palivem.

První fungující termojaderné reaktory začnou podle současných odhadů dodávat energii kolem roku 2030. Možná že to budou i „kříženci“, ve kterých dojde k „zásnubám“ štěpení a termojaderného spojování. I na vývoji takového tokamaku OTR (opytný termojaderný reaktor) se naši vědci začínají podílet. Kdoví zda právě jim se nepodaří učinit objev, který by celou cestu za novým způsobem získávání energie urychlil. Držme jim palce!

Ing. Jan Tůma

Foto autor a archiv

