

Tokamak. Rusko stojí na prahu technológií, vďaka ktorým elektrárne budú pracovať tisíce rokov

- CZ24 News | 23. července 2021

ČESKO: V ČR zvažujú, kto dostavia Dukovany. Rusov z politických dôvodov z tendra vylúčili. Ruská veda, ale drží krok so svetom, ba má našliapnuté smerom k fúznym reaktorom, kompaktným či rýchlym. Aký je stav bádania a praxe? Čo v budúcnosti Rusko ponúkne? Rozhovor s Alexejom Kovalyšinom z Kurčatovovho inštitútu

Aký je rozdiel medzi klasickým jadrovým reaktorom a termonukleárnym reaktorom (tokamak)? Prečo sú tokamaky zaujímavé pre budúcnosť?

Alexej Kovalyšin (námestník riaditeľa výskumu, Kurčatovov inštitút): Klasické jadrové reaktory generujú energiu štiepením ťažkých jadier, kým termonukleárne reaktory musia energiu získavať fúziou ľahkých jadier. Medzi klasickým jadrovým reaktorom a termonukleárnym existujú dva významné rozdiely. Prvým je to, že fúzny reaktor produkuje podstatne menej rádioaktívnych produktov ako klasický jadrový reaktor. Po druhé termonukleárna energia má neporovnateľne väčšiu zdrojovú základňu.

Jadrová energia, ktorú človek používa, sa kedysi uložila vo vesmíre ako výsledok životného cyklu prvej generácie hviezd. Energia sa uložila v ťažkých jadrách (urán, tórium) a v ľahkých (je ich celkom dosť). Jadrová energia sa uvoľňuje štiepením ťažkých jadier alebo syntézou tých ľahkých. Naučili sme sa získať jadrovú energiu z ťažkých jadier v prostredí jadrových reaktorov.

Štiepi sa, ak je ťažké jadro náhodne rozdelené na dva fragmenty, vznikajú pritom takmer všetky prvky periodickej tabuľky; tieto sú tvorené ako vedľajší produkt, väčšina z nich je rádioaktívna. Počas syntézy ľahkých jadier sa tvoria jeden alebo dva špecifické produkty, ktoré rádioaktívne nie sú. Preto je termonukleárna energia oveľa „čistejšia“.

Ďalším rozdielom je zdrojová základňa. Zdrojovou základňou jadrovej energie sú zásoby uránu a tória. Sú veľké, ale obmedzené. Energia uložená v týchto prvkoch bude ľudstvu stačiť na mnoho stoviek rokov. Zdrojová základňa termonukleárnej energie je prakticky nekonečná.

Odpoveď na druhú časť otázky: Zvládnutie termonukleárnej energie sa ukázalo ako veľmi ťažký problém. Teraz sa vedci z celého sveta stretávajú s otázkou fúzie jadier deutéria a trícia, ďalej deutéria. Tieto reakcie sú podstatne menej rádioaktívne ako atómové, ale napriek tomu produkujú určité množstvo rádioaktívnych produktov.

Ovládnutie týchto reakcií navždy zachráni ľudstvo pred energetickými problémami. Ďalším krokom je zvládnutie celého spektra termonukleárných reakcií. Myšlienka na to, ako by vyzeral svet, ktorý osedlá termonukleárnu reakciu, napríklad bór-vodík, je veľmi dobre ukázaná v sci-fi Iron Man (franšíze Marvel Studios). Ide o kompaktné energetické zdroje o rovnakej hutnosti ako jadrové, ale bez akejkoľvek rádioaktivity.

Rusko postavilo prvý jadrovú elektráreň (nevojenské využitie), v oblasti jadrových lodoborcov má vedúce postavenie. V súvislosti so vznikom ruských hypersonických zbraní

naznačujú niektoré médiá, že si Ruská federácia poradila s otázkou výstavby kompaktných reaktorov. Ako sa tieto líšia od jadrových zariadení, umiestnených na palubách medziplanetárnych sond? V čom je ruský vedecký prielom? V päťdesiatych rokoch sa USA aj ZSSR pokúsili vytvoriť jadrovej motory pre bombardéry dlhého doletu

Do začiatku šesťdesiatych rokov Sovietsky zväz i USA aktívne pracovali na konštrukcii jadrových lietadiel a jadrových riadených striel na vojenské účely. Zároveň vyriešili hlavné technické problémy. Dokonca vzlietlo upravené bombardovacie lietadlo TU-95 s jadrovým reaktorom na palube.

Túto prácu mal na starosti Kurčatovov inštitút. Potom čo pod vedením S. P. Korolova skonštruovali balistické strely, okamžite bolo jasné, že tieto strely predstavujú riešenie pre všetku škálu definovaných úloh. Od ďalšieho vývoja leteckých jadrových nosičov upustili z nasledujúcich dôvodov: nebolo možné ochrániť posádku ani náklad pred rádioaktívnym (o) žiarením.

Kurčatovov inštitút sa v súčasnosti nezúčastňuje na žiadnom vývoji, ktorý by kráčal práve uvedeným smerom. Táto téma však dala podnet celej rade výskumov v oblasti jadrového vesmíru. Ak hovoríme o vývoji infraštruktúry v slnečnej sústave: bude vyžadovať rozsiahlu nákladnú dopravu (Mesiace, Mars, Jupiterovej satelity, Saturnove satelity, pás asteroidov), taká úloha sa dá vyriešiť iba pomocou jadrovej energie. Všetky predné vesmírne mocnosti uvažujú o vytvorení takéhoto dopravného systému.

Hlavné smery vývoja sú nasledovné. Po prvé ide o jadrové raketové motory (NERVA; ЯРД). Základným princípom fungovania jadrového raketového motora je kompaktný jadrový reaktor, ktorým je čerpaná pracovná tekutina (vodík), vytvárajúci reaktívny ťah. Na konci 80. rokov vytvorili ako Rusko, tak aj USA pozemné prototypy týchto motorov. V ZSSR tento motor testovali na skúšobnom polygóne v Semipalatinsku a mal ťah 4 tony. Pre Maršovskú (martovskou/Marťan) expedíciu vyvinuli motory s ťahom 20 ton.

Druhý smer sa ubera cestou elektro-nukleárneho dopravného systému, ktorý sa skladá z kompaktného jadrového reaktora, zariadenia na výrobu elektriny a plazmového reaktívneho motora (NEP, ЯЭДУ). Takýto systém umožňuje dosiahnuť stáleho ťahu, ako aj schopnosť manévrovania.

Tretím vektorom vývoja sú lunárne zariadenia čiže kompaktné jadrové reaktory, tieto sú navrhnuté na výrobu konvenčného raketového paliva z miestnych surovín. Ďalší výskum ukáže, ktorá z týchto oblastí bude najúčinnnejšia. Nie je potrebné sa ponáhľať, pretože vo fáze strategického plánovania dochádza k chybám s najzávažnejšími dôsledkami.

Tokamak používa ako palivo vodík. Je možné predpokladať, že morská voda, obsahujúca viazaný vodík, môže byť alternatívnym zdrojom paliva?

Fúzny reaktor by mal používať nielen vodík, ale ťažké izotopy vodíka (deutérium). Obsah deutéria vo vode je 0,01%. Táto skutočnosť nám umožňuje tvrdiť, že vývoj termonukleárnej reakcie bude schopný poskytnúť ľudstvu energiu navždy. Odpoveď na vašu otázku je teda áno.

Nedaleko mesta Tomsk sa stavia reaktor s uzavretým cyklom, založeným na princípe rýchlych neutrónov. Ako pomôže nakladať s vyhoretým palivom z iných jadrových elektrární? Čo je to uzavretý cyklus? Je toto ono perpetuum mobile?

Existujúca jadrová energetika využíva izotop uránu 235. Jeho obsah v prírodnom uráne je iba 0,7%. Reaktory na princípe rýchlych neutrónov umožňujú využiť zvyšných 99,3% uránu 238. Najprv, v dôsledku jadrovej reakcie, premieňajú urán 238 na plutónium, potom ho spália. Okrem toho sú tieto

reaktory navrhnuté tak, aby obsah plutónia vo vyhorenom palive bol vyšší ako v pôvodnom. Takáto operácia vyžaduje 1) prepracovanie vyhoretého paliva, tzn. výrobu nového paliva z vyhoreného, 2) opätovné vloženie recyklovaného paliva do reaktora. To znamená, že cyklus reaktor – spracovanie – reaktor je vo svojej podstate uzavretý.

Existujúce reaktory pracujú podľa schémy: reaktor – skladovanie vyhoreného paliva – úplne nové palivo, toto nové palivo je odoberané z prírodného uránu. Teoreticky teda rýchle reaktory umožňujú používať nielen urán 235, ale aj urán 238, ktorého je približne 140 násobne viac. **Podľa moderných odhadov:** zásoby U-235 umožňujú, aby jadrová energetika fungovala nejakých 30-50 rokov ... To rýchle reaktory tento limit zvýšia približne 140 násobne, teda na tisíce rokov. Z pohľadu jednej generácie to naozaj vyzerá ako perpetuum mobile.

Médiá uviedli, že tokamak T-15MD je jedinečný. Ako sa líši od európskeho projektu ITER?

Kým sa hľadá riešenie vo sfére termonukleárnej energie, každý tokamak je svojím spôsobom jedinečný, pretože je navrhnutý pre testovanie určitých konkrétnych teoretických hypotéz. Jedinečnosť T-15MD spočíva v tom, že ide o prototyp zdroja termonukleárnych neutrónov (Термоядерный источник нейтронов, ТИИ). Faktom je, že zatiaľ dokážeme získať z termonukleárnej reakcie menej energie, ako koľko na fúziu spotrebúvame. Cieľom klasického termonukleárneho výskumu je, aby sa dosiahlo udržanie plazmy po „neobmedzenú“ dobu. Ak vynaložíme energiu na získanie plazmy potrebných parametrov, potom energetický zisk bude tým väčší, o čo dlhšie udržíme plazmu stabilnú. Projekt ITER koncipovali, aby zodpovedal tejto koncepcii.

Doteraz sa ľudstvo naučilo stabilizovať plazmu krátkodobo: energetický výstup termonukleárnej reakcie zhruba zodpovedá vynaloženej energii na prevádzku takéhoto reaktora. V priebehu prebiehajúcej termonukleárnej reakcie získavame neutróny, ktoré môžeme použiť nie k získaniu energie, ale na výrobu nového paliva pre konvenčné jadrové reaktory, napríklad cestou ožiarenia tória. V tomto prípade sa ТИИ stáva súčasťou celkového systému jadrovej energetiky a umožňuje spustenie perpetuum mobile z predchádzajúcej otázky, ale bez komplikovaného prepracovania vyhoretého jadrového paliva.

Rusku nepovolili dokončiť stavbu jadrovej elektrárne Dukovany v Českej republike. Potrebuje Rusko tento projekt, pokiaľ sa ďalšia éra posúva do ríše termonukleárnej fúzie?

Jadrová energia sa už dlho komercializuje, rovnako ako rozhodnutie o jej využití a podpore. Táto otázka, konkrétne na Dukovany, by teda mala byť adresovaná skôr českej vláde. Je potrebné poznamenať, že prvú etapu JE Dukovany (ČSSR) realizovali v úzkej spolupráci špecialistov z krajín RVHP, kde hrali dôležitú úlohu špecialisti z Československa.

Má termonukleárna fúzia uplatnenie v obrannom priemysle?

Termonukleárnu fúziu na vojenské účely zvládali už v 50. rokoch. Chrbticu strategických jadrových síl Ruska a Spojených štátov tvoria termonukleárne hlavice. To umožnilo svetu, aby sa 75 rokov vyhýbal veľkým, ničivým vojnám. Ukázalo sa, že riešenie problému mierového využitia termonukleárnej fúzie je oveľa ťažšie.

Je pravda, že sa na mieste, kde pôsobí aktívny tokamak, môže objaviť čierna diera? Aké javy spojené s teóriou relativity sú v nej (singularite/kolapsu) pozorované?

Čierna diera v mieste, kde tokamak pôsobí, nemôže vzniknúť. Príliš odlišné druhy energií ... Je známe, že, aby sa na mieste Zeme objavila čierna diera, musí byť zemeguľa skomprimovaná na veľkosť škatulky od zápaliiek. Tokamak takou energiou nedisponuje.

Tokamak pracuje na princípoch klasickej fyziky. Javy spojené s teóriou relativity, ku ktorým dochádza v tokamaku, sú akýmsi defektom hmoty, resp. transformáciou hmoty na energiu, a to podľa známeho vzorca $E = mc^2$. To však nie je rysom tokamaku, ale jadrových reakcií všeobecne.

Ďakujeme za interview.

Autor: Vladimír Franta