

**EXTRÉMNI TEPLoty.** „Využití plazmatu k tvorbě energie není jednoduché. Pokud v případě Slunce hovoříme o patnácti milionech stupňů Celsia, pak v pozemských podmínkách musíme vytvořit plazma o teplotě sto padesát milionů stupňů,“ říká Radomír Pánek.



# ČESKÁ VĚDA ZBLÍZKA



## 6. díl: Fyzika plazmatu

# Lahev vody bude zdrojem energie na celý život

Časopis TÝDEN pokračuje v seriálu, v němž ve spolupráci s Akademií věd ČR představuje nejvýznamnější tuzemské vědce. V šestém dílu hovoří ředitel Ústavu fyziky plazmatu **RADOMÍR PÁNEK**. „Za šedesát let se dosáhlo obrovského pokroku a značně jsme se přiblížili realizaci elektrárny s nevyčerpatelným a bezpečným zdrojem energie.“

### Čím se váš ústav zabývá?

Jak název naší instituce napovídá, hlavním předmětem zkoumání je fyzika plazmatu. Často ale musím zdůrazňovat, že jde o fyzikální, nikoli krevní plazma. Jde o takzvané čtvrté skupenství hmoty, které je nejrozšířenějším skupenstvím ve vesmíru, protože jsou z něj složeny hvězdy včetně našeho Slunce. Vzniká zahřátím plynu na velmi vysokou teplotu a v pozemských podmínkách se vyskytuje například v blesku a dalších elektrických výbojích.

### Proč je nutné fyziku plazmatu zkoumat?

Především kvůli unikátním vlastnostem plazmatu, které tento obor předurčují k aplikacím v mnoha oblastech našich životů. Díky tomu se obor našeho výzkumu v posledních dekadách dramaticky rozvíjí. Plazma se studuje například jako budoucí zdroj bezpečné a čisté energie, dále se rozvíjí aplikace v biomedicíně, například pro dezinfekci ran nebo pro cílenou léčbu rakovinových nádorů. Další aplikace se nabízejí v plazmochemii, třeba pro čištění vody nebo likvidaci nebezpečných odpadů. Plazma také využíváme ke zlepšování vlastností povrchů různých materiálů pro extrémní prostředí, které pak nacházejí uplatnění například v leteckých turbínách.

**Jako první jste zmínil energii. Právě hledání jejích nových zdrojů je přitom jedním z hlavních cílů současné vědy. Jsme na stopě palivu budoucnosti?**

Dlouhodobě je jednou z největších výzev pro lidstvo vývoj zdroje energie na principu řízené termonukleární fúzní reakce neboli řízeného slučování atomových jader za vysoké teploty. energii z jádra atomu přitom můžeme získat dvěma způsoby: v případě jader těžších než železo se energie

uvolní, pokud takové jádro rozštěpíme na dvě lehčí. Tento princip je dnes již dobře zvládnut a je využíván v dnešních jaderných elektrárnách. Druhým a výrazně účinnějším způsobem je proces, při kterém dojde ke sloučení dvou jader lehčích než železo na jedno jádro těžší. Přitom dochází k uvolnění extrémního množství energie a právě tento typ reakce dodává energii hvězdám ve vesmíru včetně našeho Slunce. Provést tuto reakci v řízené podobě v pozemských podmínkách je velice obtížné a vědci se o to snaží již od padesátých let minulého století. Krok za krokem se k vytvoření takového zdroje přibližujeme, což bude mít zajisté zásadní dopad na společnost, protože získáme téměř nevyčerpatelný a bezpečný zdroj energie.

### Jaké jsou výhody tohoto postupu?

První je skutečnost, že množství paliva pro tuto reakci je na Zemi téměř neomezené. Pro první generaci takových elektráren se

### Doc. RNDr. Radomír Pánek, Ph.D. (43)

Vystudoval teoretickou fyziku na Matematicko-fyzikální fakultě UK v Praze. Již od studií působil v oddělení Tokamak v Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd ČR (ÚFP AV ČR), kde se zabýval výzkumem termonukleární fúze jako zdroje energie, především fyzikou vysokoteplotního plazmatu. Absolvoval stáže v zahraničních laboratořích, jeho zásluhou byl v roce 2006 z United Kingdom Atomic Energy Authority ve Velké Británii do Prahy přivezen a instalován tokamak COMPASS. Od roku 2015 je ředitelem v ÚFP AV ČR jako ředitel. Je členem řady mezinárodních vědeckých rad a odborných komisí, přednáší na třech univerzitách a na mezinárodních konferencích. Je ženatý a má dvě děti.

uvazuje o využití deuteria a tritia, tedy izotopů vodíku. Deuterium se vyskytuje ve vodě, z geopolitického hlediska je také důležité, že toto palivo je rovnoměrně rozšířeno po planetě. Tritium se volně na Zemi nenachází, ale bude se vyrábět přímo v samotném reaktoru z lithia, které již dnes využíváme v bateriích v našich mobilních telefonech nebo noteboocích. Česká republika má navíc lithia poměrně značné zásoby. Extrémní účinnost a efektivitu této reakce demonstruje například fakt, že deuterium obsažené v lahvi vody a lithium v baterii průměrného notebooku bude schopno vyprodukovat tolik energie, kolik člověk potřebuje na celý život.

### A další výhody?

Oproti dnešním štěpným jaderným reaktorům budou fúzní reaktory inherentně bezpečné. To znamená, že z fyzikální podstaty u nich nemůže dojít k řetězové reakci, a pokud by se v reaktoru stalo s plazmatem cokoli neočekávaného, fúzní reakce okamžitě sama ustane a plazma vyhasne. V tomto případě se tedy nemohou opakovat události, které se staly ve štěpných reaktorech například ve Fukušimě nebo Černobyli. Třetí klíčovou výhodou je fakt, že tato reakce neprodukuje radioaktivní odpad, který bychom museli posléze stovky let skladovat, jako je tomu u štěpení jader. Výstupem reakce je totiž neškodné helium, které se používá v průmyslu, a dokonce ho máme na Zemi nedostatek, a dále neutron, který se pohltí ve stěnách reaktoru. Vzhledem ke všem uvedeným potenciálním výhodám takového zdroje energie si myslím, že je nutné dotáhnout tento výzkum do úspěšného konce a získat čistý a bezpečný zdroj velkého množství energie, který pracuje čtyřicet hodin denně nezávisle na tom, zda fouká vítr nebo svítí slunce. To je hlavní motivace pro nás i naše kolegy v zahraničí, proč se tomuto výzkumu věnovat.

**Vaši motivaci tedy známe, teď se ale věnujme překážkám v uskutečnění vašich cílů. Proč musíme stále spoléhat pouze na jaderné reakce?**

Protože dosáhnout toho, co jsem vám popsal, není v pozemských podmínkách ▶





**JAK SE RODÍ ŽIVOT.** V hale jodového laserového systému PALS se simulovaly i kosmické podmínky pro vznik DNA.

vůbec jednoduché (*úsměv*). Známe několik způsobů, jak by mělo být možné dané reakce dosáhnout. Jeden z těch, o němž už víme, že funguje, ale nejsme na to zrovna hrdí, je princip atomové bomby. V takovém případě nicméně jde o neřízenou reakci, my ale naopak usilujeme o formu řízenou, při které k reakci dochází kontinuálně. Vývoj elektrárn na principu fúzní reakce probíhá ve dvou hlavních směrech: jeden z nich využívá silných laserů, proto se nazývá laserová neboli inerciální fúze. Její princip spočívá v tom, že malou kuličku paliva rovnoměrně ozáříme lasery po celém povrchu. Při ozáření povrch kuličky exploduje, zatímco její jádro se stlačí do extrémní hustoty, a tím se za vhodných podmínek zažehne termonukleární reakce a my pozorujeme mikrovýbuch. Předpokládá se, že v budoucí elektrárně by takovéto mikrovýbuchy měly probíhat v reaktorové komoře přibližně desetkrát za sekundu a energie z nich uvolněná by poté byla využívána pro generování elektřiny.

#### Tímto směrem vývoje se ale váš ústav nevydal...

Tento přístup se zkoumá nejintenzivněji ve Spojených státech, kde nachází i vojenské

uplatnění. Nicméně z pohledu vývoje budoucí elektrárny je podle mého názoru tento přístup přibližně o generaci pozadu za takzvaným magnetickým udržením plazmatu, které vyvíjí náš ústav ve spolupráci s řadou dalších institucí v Evropě i s dalšími zeměmi, jako jsou Japonsko, Čína, Jižní Korea a další.

#### Jak tedy tento druhý princip funguje?

Plazma je tvořeno nabitými částicemi – kladnými jádry a zápornými elektrony, a proto reaguje na magnetické pole. Pro udržení horkého plazmatu tedy využíváme silné magnetické pole v zařízení s názvem tokamak. Jméno aparátu, jehož princip byl navržen v Sovětském svazu v padesátých letech minulého století, je složenina ruského názvu toroidní komora v magnetických cívkách. Zařízení se skládá z vakuové nádoby ve tvaru prstence, na níž jsou navinuty cívky. Výsledné magnetické pole, jež má speciální konfiguraci, je posléze schopno udržet ve svém středu plazma s extrémní teplotou až sto padesát milionů stupňů Celsia, při které probíhá termonukleární reakce. Na okraji plazmatu přítom ale musí být teplota v řádu stovek stupňů Celsia, aby



**POD DROBNOHLEDEM.** Rentgenový difraktometr slouží zejména pro studium tenkých vrstev od nanokrystalických až po monokrystalické.

nedošlo k roztavení materiálu obklopujícího konstrukci reaktoru.

#### Pokud už umíme dosáhnout reakce, kde je problém? Proč ještě nemáme elektrárny?

Jestliže chceme dosáhnout termonukleární reakce, musíme v pozemských podmínkách vytvořit plazma o teplotě desetkrát vyšší, než je ve středu Slunce. Pokud tedy v případě Slunce hovoříme o patnácti milionech stupňů Celsia, pak musíme v tokamaku vytvořit plazma o teplotě sto padesát milionů stupňů Celsia. Takovéto plazma musí pomoci silného magnetického pole levitovat v prostoru uvnitř reaktoru a být jím dobře odizolováno od jeho stěny. Z toho vyplývá náročnost sestavení takového zařízení. Přibližně za šedesát let výzkumu se nicméně dosáhlo obrovského pokroku a vybudování elektrárny jsme se značně přiblížili.

#### Jaké překážky jste museli překonat?

Na této cestě jsme museli řešit dva základní problémy: Jak horké jádro plazmatu co nejlépe izolovat magnetickým polem od stěn, když příroda pracuje proti nám. Problém spočívá v tom, že čím více plazma zahříváme, tím intenzivnější je v něm turbulence, která se snaží ho opět ochladit. Je to podobné jako v případě naší atmosféry – čím vyšší je teplota, tím intenzivnější jsou jevy jako tornáda, hurikány a tak dále. Tento problém jsme nicméně již zčásti vyřešili například tím, že plazma na jeho okrajích roztáčíme do extrémních rychlostí, čímž dochází k destrukci turbulence.

#### A druhý problém?

Ten souvisí také s teplotou plazmatu, a to s vývojem metod, jak plazma na

požadovanou teplotu sto padesát milionů stupňů zahřát, aby mohla být nastartována termonukleární reakce. I zde se nám už podařilo najít cestu, například využitím mikrovlnných antén podobně jako v případě mikrovlnné trouby. V případě tokamaků má ale takový systém výkon v řádu megawattů. Dnes jsme v situaci, kdy se nám již podařilo na pár sekund zapálit a udržet termonukleární reakci, což se stalo ve velkém evropském tokamaku JET v britském Culhamu poblíž Oxfordu. I přesto, že jsme vygenerovali šestnáct megawattů výkonu, z fyzikálních důvodů byla v tomto případě účinnost nižší než jedna, což znamená, že jsme do zařízení více energie vložili, než kolik jsme jí získali. Abychom účinnost dostali na úroveň potřebnou pro elektrárnu, musíme zkonstruovat tokamak dvakrát větší než ten, který stojí v Culhamu.

#### Pracuje se na něm?

Ano, jmenuje se ITER a jde o jeden z neambicióznějších projektů světové vědy. Podílí se na něm celý rozvinutý svět – Evropská unie, USA, Rusko, Japonsko, Čína, Indie a Jižní Korea. Rozpočet projektu činí kolem osmnácti miliard eur. Tento největší tokamak se začal budovat v roce 2007 v jižní Francii, velikostí můžeme celý rozsáhlý vědecký areál srovnat například s elektrárnou v Temelíně. V tuto chvíli už stojí desítky budov a hal, dokončuje se i reaktorová hala a na místo se dováží první komponenty reaktoru z celého světa.

#### Kdy se elektrárna spustí?

Spuštění předpokládáme v roce 2025, v roce 2035 bychom měli dosáhnout stavu, kdy vyprodukuje minimálně desetkrát tolik energie, než kolik se do ní vloží. Cílem projektu je prokázat realizovatelnost



**ZAJÍMÁ I POLITIKY.** Zařízení tokamak si minulý týden přišel prohlédnout i předseda vlády Andrej Babiš.

zdroje energie na tomto principu a produkovat výkon o velikosti pěti set megawattů. Česká republika je do plánu započtena jako člen Evropské unie, v rámci které jsme se také podíleli na přípravě evropské cestovní mapy pro energii z fúze. Jejím cílem je naplánovat všechny nezbytné kroky k tomu, abychom měli první megawatt z termonukleární fúze v elektrické síti kolem roku 2050.

#### Jakou roli má vzhledem k tomuto projektu český tokamak fungující ve vaší instituci v pražské Libni?

Náš tokamak s názvem COMPASS má tvar plazmatu stejný jako ITER, jen přesně desetkrát menší. Proto je to ideální testovací zařízení pro řadu systémů a provádíme na něm také mnoho experimentů, jejich výsledky následně ITER využívá ve své konstrukci. Intenzivně se také věnujeme přípravě mladých inženýrů a vědeckých pracovníků z celého světa pro práci na těchto zařízeních. Dvakrát ročně organizujeme experimentální kurzy, které jsou vždy zcela obsazeny především zahraničními vědci. V současnosti se navíc intenzivně věnujeme konstrukci nového, většího tokamaku COMPASS-U v našem ústavu, jenž bude mít světově unikátní parametry a jehož cílem je řešit klíčové problémy konstrukce prototypu fúzního reaktoru. Tento nový tokamak bychom měli spustit v roce 2022, spolupracují na něm s námi přední laboratoře z Evropy a USA.

#### Tokamak ale není jediné zařízení, kterým Ústav fyziky plazmatu disponuje. Během prohlídky jsme se zastavili i u velkého laseru. K čemu slouží?

Laserový systém, nazývá se PALS, jsme spustili v roce 2000 a po dlouhou dobu

šlo o jeden z nejvýkonnějších laserů v Evropě. Spektrum experimentů, které na něm provádíme, je velmi široké. Za všechny bych zmínil například astrofyzikální experiment, kdy se určité chemické sloučeniny ozařovaly a ve spolupráci s kolegy z Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR bylo dokázáno, že za určitých podmínek mohou vznikat báze DNA, a tedy i život na Zemi. Simulovaly se totiž například jevy, jako je průlet asteroidu atmosférou a jeho dopad, nebo bylo zkoumáno záření, jež generují mladé hvězdy. Na základě tohoto výzkumu bylo publikováno několik článků v prestižním vědeckém časopise Nature. Lze říci, že úspěchy, kterých jsme díky tomuto laseru za posledních patnáct let dosáhli, přispěly k otevření unikátního laserového centra ELI v Dolních Břežanech.

#### V úvodu našeho rozhovoru jste upozornil i na výzkum v oblasti biomedicíny. Na čem aktuálně pracujete?

Zmínil bych naše oddělení impulsních plazmových systémů. To už v osmdesátých letech jako jediné v tehdejší střední a východní Evropě vyvinulo zařízení nazvané litotryptor, které pomocí rázových vln drtí kameny v ledvinách, močových a žlučových cestách – tyto přístroje fungují v řadě nemocnic do dnes. Aktuálně na podobném principu vyvíjíme zařízení, jež by rovněž pomoci rázových vln mělo pomáhat v onkologii. Cílem je aplikace rázových vln v terapii nádorů a řízenému uvolňování léčiv v chemoterapii. Dosaďované výsledky naznačují, že rázová vlna je schopna zlepšit terapeutický účinek aplikovaných účinných látek – cytostatik, a tím zpomalit nebo zastavit růst nádorů.

Vladimír Barák ■

Foto: Robert Sedmík, Ústav fyziky plazmatu AV ČR

## Ústav fyziky plazmatu AV ČR

Ústav sídlící v pražské Libni byl založen v roce 1959 a dnes zahrnuje šest vědeckých oddělení, jež se zaměřují na výzkum řízeného termojaderného slučování, využití elektrických výbojů, interakci plazmatu s jinými skupenstvími hmoty, likvidaci odpadů v proudu plazmatu, procesy plazmového stříkání, ale také na vývoj pokročilých optických systémů. Lze tady najít jedinečné zařízení tokamak COMPASS, které

slouží k výzkumu termojaderné fúze, unikátní lasery v Badatelském centru PALS, ale i další vybavení, s jehož pomocí se



zkoumají vlastnosti plazmatu a zejména jeho budoucí využití. Roční rozpočet ústavu činí 258 milionů korun, instituce zaměstnává 258 pracovníků.