

Rozhledy matematicko-fyzikální

Vojtěch Žák; Petra Bílková

S Petrou Bílkovou o tokamaku, plazmatu a spolupráci vědců

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 93 (2018), No. 4, 11–18

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/147570>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2018

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

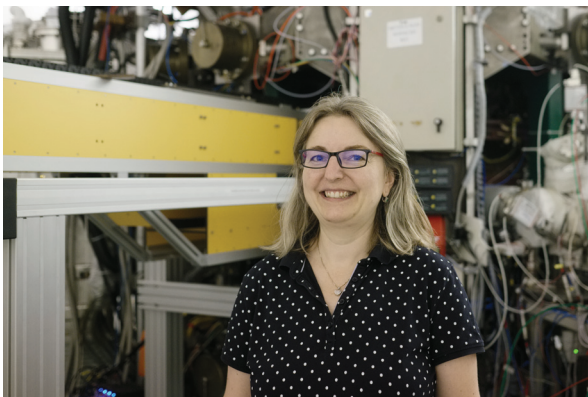
S Petrou Bílkovou o tokamaku, plazmatu a spolupráci vědců

Vojtěch Žák, MFF UK, Praha

Petra Bílková, Ústav fyziky plazmatu, AV ČR, Praha

Abstract. In the interview, a physicist Petra Bílková describes her journey to studying physics and to her current work. Her work is focused on tokamak, plasma and nuclear fusion. The interview is particularly concerned with tokamak COMPASS located in the Czech Republic and tokamak ITER constructed in France. The interviewee emphasizes the advantages of team work and of cooperation of scientists from different countries.

Proč je výhodné ve vědě spolupracovat a čím mohou k výzkumu přispět menší zařízení na rozdíl od větších a dražších příbuzných? Odpovědi na tyto a další otázky můžete hledat v rozhovoru s fyzičkou Petrou Bílkovou (obr. 1).



Obr. 1: Fyzička RNDr. Petra Bílková, Ph.D. před diagnostikou Thomsonova rozptylu na tokamaku COMPASS

První otázka je téměř povinná, Petro. Zajímalo by mě, jak ses dostala k fyzice?

Myslím si, že kvůli rodičům, protože oni oba studovali na Matfyzu¹⁾ obdobně jako další příbuzní, takže jsem ho vnímala jako školu, kam chci

¹⁾Matfyz je zkratka používaná pro Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy.

jít. Ale už jako dítě, když se nás ptali ve škole, co bychom chtěli dělat, tak ve věku nějakých osmi let jsem řekla, že bych chtěla zkoumat, jak věci fungují. Tuto motivaci jsem v sobě měla.

Nejdřív jsem byla na Matfyzu na tehdejší katedře makromolekulární fyziky. Víceméně šlo o zkoumání povrchů a využití nízkoteplotního plazmatu k modifikaci těchto povrchů. Tam jsem si vlastně přičichla také k vakuovým aparaturám a technologiím. Zjistila jsem, že fyzika nejsou jen ty školní „vzorečky“, ale že člověk musí udělat taky něco rukama, nějakým způsobem vést experiment. To mě chytlo asi nejvíc – kombinace praktičnosti a teorie.

Na svoje současné pracoviště jsem přišla před asi jedenácti lety. Věděla jsem o něm zprostředkovaně, ale když jsem si pak hledala místo, tak jsem si na něj vzpomněla. Pokládala jsem ho za perspektivní místo, protože se mi zdálo, že se tu vyvíjí něco nového. Tehdy sem byl z Anglie získán tokamak COMPASS a začali jsme tady pracovat na jeho instalaci a, řekněme, na upgradu. Tenkrát tady bylo také zařízení CASTOR, které dnes funguje na ČVUT pod novým jménem GOLEM. Na toto pracoviště se tedy přivážel tokamak COMPASS a všechny pomocné a diagnostické systémy kolem tohoto tokamaku se vyvíjely nově a já jsem cítila velkou příležitost být u toho, zkusit si něco vyvinout a postavit; nejenom používat to, co někdo jiný už udělal přede mnou.

Ještě bych se trochu vrátil ke studiu na Matfyzu v souvislosti s Tvoji současnou prací. Dokážeš odhadnout, co použiješ z vysokoškolských studií ve své práci? Využíváš znalosti například z magisterského studia?

Na to se dá těžko jednoduše odpovědět. Obecně bych řekla, že Matfyz pro mě byla především vojna, a tím, že to byla vojna, tak to člověka zocelí a připraví ho to. Myslím si ale, a to i na základě toho, kdy jsem měla možnost v zahraničí vidět třeba dvacetileté studenty na stážích, že by vysokoškolské studium mohlo být trochu praktičtější. Mohlo by například více naučit lidi uchopit problém a podobně. Ale snad k tomu dneska vysokoškolské studium už více směřuje. . .

Petro, mluvila jsi o tokamaku COMPASS, který využíváte. Jestli se nepletu, zejména v 90. letech byl využíván ve Velké Británii a pak jste ho kolem roku 2007 převzali a upravili. K čemu vám tento tokamak je, co pomocí něj zkoumáte?

Dostali jsme tehdy tělo tokamaku, ale potom jsme vlastně museli vybudovat většinu systémů, kterými zkoumáme, diagnostikujeme plazma. Ve své podstatě tady provádíme něco na pomezí základního výzkumu

a technologického vývoje v oblasti jaderné fúze. To, v čem je tokamak COMPASS a podobná menší zařízení důležitá, je to, že jsou velmi flexibilní. Těchto fúzních tokamaků je po světě celá řada. Z nich stále ještě největší je tokamak JET v Anglii, kam také pracovně jezdíme. Bude největší, dokud se nedokončí ITER v Cadarachi ve Francii. Tato velká zařízení plánují experimenty dlouho dopředu. Je tam nutný souběh – dá se to přirovnat k velkému orchestru nebo ke složité lékařské operaci. Když se tam cokoliv pokazí nebo nečekaně změní, jde to dost těžko rychle napravit. Když si třeba nějaký fyzik na poslední chvíli rozmyslí, že by chtěl některý parametr experimentu nastavit jinak, tak mu to prostě v naprosté většině případů není povoleno.

U nás, na menším tokamaku, jsme flexibilnější. Také tu samozřejmě máme určitá pravidla, ale jsme schopni takové případné změně i v krátkém čase vyhovět. Proto nás využívají i vědci, kteří vyvíjejí ITER. Dost jsme je překvapili před přibližně třemi lety. Udělali jsme pro ně jednu hodně rychlou studii; něco jsme u nás vyzkoušeli a poslali jsme jim to. Potřebovali zjistit, jak funguje za určitých podmínek jedna část tokamaku. Měli na to nějakou teorii, ale potrebovali ji ověřit a my jsme byli schopni to ověřit velmi rychle. Jinde by mohli čekat třeba rok, nebo i déle. A takovýchto sérií různých experimentálních studií jsme od té doby provedli pro ITER řadu.

Další velkou výhodou přítomnosti tokamaku, byť menšího, je možnost výchovy nové generace odborníků, protože ti budou potřeba, až se ITER spustí. Jsme jediný z východoevropských států (kromě Ruska), který má podobné zařízení, takže jsme i určitá základna pro okolní státy.

Mohla bys tedy, Petro, uvést nějaký konkrétní fyzikální problém, který pomocí COMPASSu řešíš?

Je to studium tzv. okrajových nestabilit. Okrajem se míní prostorový okraj plazmatu. Uprostřed tokamaku dosahujeme při experimentech, byť jen na velice krátkou dobu, velmi vysokých teplot – až 100 milionů °C. Směrem ke stěně tokamaku teplota pochopitelně klesá, a to až na pokojovou teplotu. Takže si asi dokážete představit ty obrovské změny teploty na malém prostoru. Ty divoké děje se odehrávají zejména na okraji plazmatu. Na ně se zaměřujeme a k tomu, abychom je mohli zkoumat, jsou potřebné nejrůznější diagnostické systémy, které jsou obvykle vyvinuté „na míru“. V našem týmu jsme postavili diagnostiku využívající jev Thomsonova rozptylu, se kterou měříme prostorové profily elektronové teploty a elektronové hustoty.

Teď se zaměřujeme na problém, vlastně zajímavost, že pokles elektronové teploty a elektronové hustoty na okrajích plazmatu nejsou úplně synchronizované v místě. Někdy se místa největšího poklesu teploty a hustoty od sebe poměrně dost vzdálí, ale jindy se jedná o přesně stejná místa. Existuje hypotéza, že by to mohlo souviset s klíčovými parametry pro dosažení jaderné fúze, s dobou udržení energie. Ještě se ale přesně neví jak, takže probíhá sběr dat z velkého množství experimentů. Na nedávnou úspěšnou publikaci v časopise *Nuclear Fusion* jsme navázali příspěvkem na letošní konferenci EPS v červnu v Praze. Na tématu dále pracujeme a už se těším na podzim, kdy plánujeme další cílený experiment.

Měření prostorových profilů elektronové teploty a elektronové hustoty se provádí v tokamacích různě po světě pomocí diagnostiky využívající Thomsonova rozptylu. Při něm volné elektrony v plazmatu, urychlené elektromagnetickou vlnou laseru, začnou vyzařovat elektromagnetické záření. Toto rozptýlené záření detekujeme, spektrálně rozložíme a spočítáme elektronovou teplotu a hustotu. Umíme to změřit s krásnou prostorovou přesností. Výhodou je, že máme čtyři různé lasery, které můžeme pustit krátce po sobě, a tím získat alespoň v krátkém časovém úseku velmi vysoké časové rozlišení vhodné pro sledování velmi rychlých jevů v plazmatu.

Tahle práce pro mě byla fascinující, protože je velice obtížné tento experiment postavit. Má to spoustu skrytých zádrhelů. Asi největší je velmi malý účinný průřez, takže se tam doslova bojuje o každý fotoelektron. Vše se musí vymyslet tak, aby se signál ztrácel jen minimálně. Běžná ztráta v těchto typech systémů je 60 % během cesty, takže jde o to, aby z těch zbylých 40 % už ubylo co nejméně. Musejí se k tomu použít výkonné lasery, proto je to velice drahá diagnostika. Myslím si ale, že náš tým se toho zhostil velmi dobře.

Ráda bych v této souvislosti zmínila obrovskou pomoc. Zjišťovala jsem, kde bychom se mohli příučit, protože u nás jsme s tím neměli příliš zkušenosti. Úplnou náhodou jsem se dostala k nejlepšímu odborníkovi v tomto oboru na světě, Michaelu Walshovi, který v té době pracoval na tokamaku MAST v Anglii a v současné době pracuje pro ITER. Nabídl nám naprosto nezištně pomoc. Mohu říct, že mi občas někdo v životě pomůže, ale takovýmto způsobem se mi to stalo, zvlášť v profesi, poprvé. Prováděl náš tým tím vývojovým procesem a hlídal nás, abychom neudělali nějakou zásadní chybu. Protože to ale byl a je velice zaměstnaný člověk, tak přímé konzultace s ním trvaly celkově asi jen deset hodin a

potom jsme s ním komunikovali emaily a telefonem. Hlavní práce byla pochopitelně tady na nás. Velice si cením podpory vedení našeho ústavu, protože ne vždy a ne všude je samozřejmé, že se nechá volné pole působnosti jednotlivým členům týmu, aby si našli svého mentora, podle kterého by se potom práce dělala. Projekt se sice zpočátku trochu zpozdil, ale díky tomu jsme ho celkově zvládli lépe.

Rád bych se Tě, Petro, zeptal na obecnější téma, kterému se věnuješ – jadernou fúzi. Blíží se její zvládnutí v pozemských podmínkách pro účely energetiky, nebo se to vzdaluje, případně se neví... ?

Řekla bych, že se to nevzdaluje, ale blíží se to na můj vkus pomaleji, než bychom si všichni přáli. Když člověk pracuje v oboru, kde pokrok nastává typicky až po mnoha letech, tak člověka občas napadne, jestli by to nešlo rychleji. Pravda je, že nejslibnější projekty týkající se jaderné fúze, jsou obrovské a náročné. Obtížněji se třeba dělají změny v už rozjetém projektu a projekty trvají spoustu let, v případě projektu ITER jsou to v podstatě desítky let. Ukazuje se, že na větších zařízeních by mělo být snadnější dosáhnout jednoho z klíčových parametrů, jakým je dostatečně dlouhá doba udržení energie.

Jednou z brzd vývoje v této oblasti byla rozkolísaná politická, a tím i finanční podpora, což obecně znesnadňuje dlouhodobé plánování, které je u velkých projektů potřeba. Velkou výzvou dnes jsou zejména technologie a materiálové otázky, které jsou kritické, jedná se např. o materiál první stěny tokamaku.

Nicméně to celosvětové úsilí a spolupráce na zvládnutí jaderné fúze je poměrně organizované napříč těmi světovými tokamaky; v Evropě existuje organizace EUROfusion. Jednotlivá témata, která je třeba zvládnout, aby projekt ITER byl úspěšný, se řeší tak, že se definují úkoly, vymezí se pracovní týmy napříč Evropou, příp. napříč světem. Z toho mám v posledních letech velmi dobrý pocit, že jsme se opravdu zorganizovali na globální úrovni. To je záležitost, která mě na mém oboru velmi baví. Myslím, že jsou vědecké obory, které fungují více na principu konkurence. Tím neříkám, že u nás tomu tak vůbec není, ale v našem oboru je poměrně silná i spolupráce, dohoda v globálním měřítku.

Co dalšího Tě, Petro, na Tvoji práci baví? A je něco, co Tě překvapilo, ať už pozitivně nebo negativně, když jsi vstupovala do oboru?

Jak už jsem řekla dříve, baví mě praktická, experimentální část bádaní. Experiment mě bavil už dříve, v oboru nízkých teplot. Experimentování si tu člověk užije. I když kvůli tomu, že se při jaderné fúzi musí

dodržovat přísná bezpečnostní pravidla, tak se experimenty typicky už jenom zobrazují na monitorech.

V mojí práci se mi líbí rozmanitost. Na počátku, když jsem nastoupila, tak mě velmi zaujala možnost postavit si poměrně komplexní výzkumné zařízení. Byl to úžasný pocit, když jsme ho poprvé testovali, hledali jsme signál, který jsme nakonec našli, zjistili jsme, že vše funguje, jak má. . . Zní to asi banálně, čekali jsme v podstatě jen na takové dvě křivky, ale v tu chvíli pak člověk věděl, že tři roky intenzivní práce nebyly zbytečné.

Umět pracovat v týmu, kde se člověk musí zasloužit i o to, aby tým fungoval, to také není úplně k zahoezení. Toto bylo například něco, co jsem si úplně neuvědomovala, když jsem sem nastupovala. Organizovali jsme také dvě výběrová řízení, kde mi bylo opět mým mentorem doporučeno, že člověk se nesmí dostat do situace, abychom šli do právního sporu. To by totiž mohlo znamenat pozdržení projektu, nebo dokonce jeho zrušení. Všechno muselo být perfektně profesionálně připravené, a ačkoliv jsme měli při ruce ekonoma, právníka apod., tak stejně nakonec většinu práce museli udělat sami fyzikové, např. kvalitně připravit zadávací dokumentaci. Člověk si prostě sáhne i do jiných oborů.

Velmi mě také baví mezinárodní spolupráce. Náš tým jezdí hlavně do Velké Británie, v posledních letech také do Francie, byli jsme pracovně v Německu, někteří kolegové jezdí do Švýcarska atd. Minulý rok jsem také např. organizovala konferenci zaměřenou na laserovou diagnostiku. Byla to konference pro přibližně osmdesát lidí a myslím, že měla velký úspěch. Účastníci měli také exkurzi na naše pracoviště. Líbilo se jim u nás, což potom vyústilo v nabídku ze Spojených států amerických, že by rádi implementovali jejich nejmodernější a nejrychlejší laserový systém, který využívá Thomsonův rozptyl a spadá do diagnostiky, kterou se zabývám. Pro běžně komerčně dostupné lasery platí takové pravidlo, že buď mají vysokou energii, nebo vysokou frekvenci, ale nejde mít oboje zároveň. Existují speciálně vyvinuté systémy, které toto omezení dokážou překonat. Např. na univerzitě v Madisonu ve Wisconsinu v USA vyvinuli jeden takový, založený na poměrně sofistikované úpravě jinak běžného vysokoenergetického laseru typu Nd:YAG. Nabídli nám, že by tady mohli jejich zařízení postavit. Realizace bude závislá na dostupnosti finančních prostředků v příštích letech.

Na svojí práci oceňuji také to, že při ní pracujeme hodně s počítači na úrovni základních programovacích jazyků. To se člověku vždycky hodí, takže například pro studenty, kteří by sem přišli třeba jen na krátký čas na stáž, tak to rozhodně nebude ztracená doba. Může jim to být užitečné

i v jiných oborech. A dále se tu člověk má možnost zdokonalit v angličtině, protože my jsme mezinárodní tým, takže tady vedeme meetingy v angličtině, zápisy píšeme v angličtině apod.

A existuje něco, co Tě překvapilo v práci spíš negativně?

Nenazvala bych to překvapením, ale je pravda, že moje práce, obdobně jako práce mnoha vědců, je, co se týče času, v některých obdobích roku poměrně náročná. Záleží samozřejmě na tom, na kolika projektech člověk pracuje, co všechno má na starosti. To, co tady děláme, bych tedy nedoporučovala lidem, kteří chtějí pracovat „od osmi do čtyř“. Některé dny jsme v práci vyloženě kempovali. A pak zase jiné dny jsou volnější. Tohle mě ale nepřekvapilo. Myslím si, že člověk, který dělá doktorát, tak to zažívá už při něm a zvaží to už během doktorátu.

Chtěl bych se Tě, Petro, ještě zeptat, co Tě pracovně v následujících týdnech a měsících čeká?

Počátkem roku jsme zahájili projekt COMPASS Upgrade, což je obrovský projekt upgradu celého našeho tokamaku včetně diagnostických systémů. Já jsem dostala na starost koordinovat vývoj všech optických a částicových diagnostických systémů, což je poměrně velká organizační věc. V tuto chvíli to ještě není časově úplně aktuální, ale nějaké práce jsme už začali, takže to bere část každého mého pracovního týdne, protože se mnou chce mluvit spousta lidí nebo máme společné meetingy a pracujeme zároveň na několika úkolech paralelně.

Potom se stále věnuji už dříve zmíněnému výzkumu okraje plazmatu. Chystám se do Anglie, tam právě taky pracujeme na tomtéž, akorát pracujeme s jejich daty. Pro nás je velmi užitečné porovnat data z většího experimentálního zařízení s našimi. Získáme tak větší objem dat a můžeme ověřovat různé hypotézy. Tam pojedu zřejmě na dva až tři týdny na podzim.

S kolegy jsme pracovali i pro projekt ITER, protože máme zkušenosti s vývojem diagnostiky Thomsonova rozptylu. ITER už je tak velké zařízení, že je s tím spojena značná administrativní zátěž, která ale je nutná. U takto velkého projektu není možné, aby se lidi domlouvali jen tak mezi dveřmi. Pokud jde o administrativní systémy, které jsou přidružené k tomuto projektu, tak v tom máme určité zkušenosti, a proto jsme byli požádáni, abychom pomohli v jedné důležité počáteční fázi, anglicky se tomu říká conceptual design review, CDR, kdy se plénu odborníků dává k posouzení úvodní koncept. V rámci projektu COMPASS Upgrade to bude probíhat na podzim a bude se to týkat vakuové ko-

FYZIKA

mory, takže jenom hardwaru, na který se sice přímo nespécializují, ale pomůžeme alespoň s těmi administrativními záležitostmi.

Milá Petro, děkuji Ti za rozhovor!

Některé použité termíny a zkratky (s využitím [1]):

CASTOR = Czech Academy of Sciences Torus (Torus Akademie věd České republiky). Jedná se o malý tokamak, který v současné době pracuje na ČVUT.

COMPASS = COMPact ASSEmblý. Tokamak byl nejprve činný ve Velké Británii, zejména v 90. letech 20. století. V současné době po úpravách pracuje na Akademii věd ČR v Praze.

EPS = European Physical Society (Evropská fyzikální společnost)

fotoelektron = elektron, který se uvolní na základě toho, že přijme energii od elektromagnetického záření

fúze = děj, při kterém jsou slučována lehká jádra, vznikají jádra těžší a uvolňuje se při něm jaderná energie

ITER = International Thermonuclear Experimental Reactor (Mezinárodní termonukleární experimentální reaktor). Zařízení se staví ve Francii a jeho zprovoznění (první plazma) se očekává okolo roku 2020.

JET = Joint European Torus (Společný evropský torus). V současné době největší tokamak na světě. Je umístěn ve Velké Británii.

tokamak = toroidální komora s magnetickými cívkami (TOroidálnaja KAMERA i MAGnitnyje KATuški). Jedná se o speciální magnetickou nádobu tvaru pneumatiky (toroidu), ve které je plazma udržováno silným magnetickým polem.

účinný průřez = veličina, která vyjadřuje, jak pravděpodobná je interakce částic (např. jaderná reakce)

upgrade = vylepšení, zdokonalená verze

Další informace lze nalézt na stránkách:

Institute of Plasma Physics of the CAS. COMPASS tokamak:

http://www.ipp.cas.cz/vedecka_struktura_ufp/tokamak/tokamak_compass/

EUROfusion devices: <https://www.euro-fusion.org/devices/>

EUROfusion page on fusion: <https://www.euro-fusion.org/fusion/>

ITER Organization: <https://www.iter.org/>

Literatura

- [1] Řípa, M., Mlynář, J., Weinzettl, V., Žáček, F.: *Řízená termojaderná fúze pro každého*. Ústav fyziky plazmatu AV ČR, Praha, 2011.