

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS **PRO FYZIKU**



Zhroucení věží WTC
z hlediska stavební
mechaniky

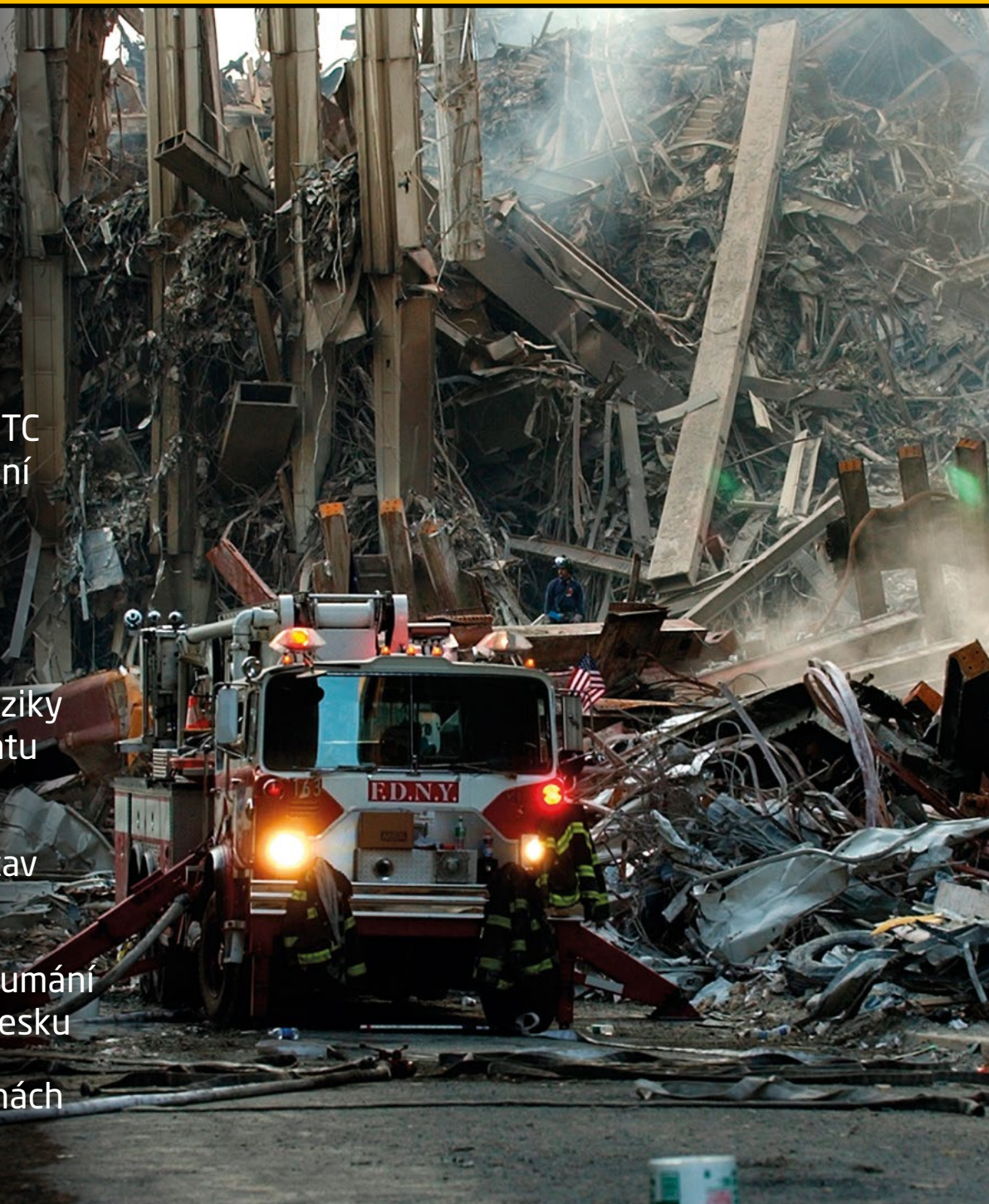
Fyzika plazmatu
ve zkratce

60 let Katedry fyziky
povrchů a plazmatu
MFF UK

Existuje čtvrtý stav
hmoty?

Fotometrické zkoumání
fotografického blesku

Fotometrie v úlohách
MFO





Dny otevřených dveří

3.–5. 11. 2016

Adresy pracovišť:

Na Slovance 2, 182 21 Praha 8-Libeň
Cukrovarnická 10, 162 53 Praha 6-Štřešovice
Za Radnicí 828, 252 41 Dolní Břežany

Datum a doba otevření:

Pro školy: 3. 11. (9 až 16 hod.) a 4. 11. (9 až 15 hod.)
Pro veřejnost: 5. 11. (14 až 18 hod.)
blíže viz: www.fzu.cz/dny-otevrenych-dveri

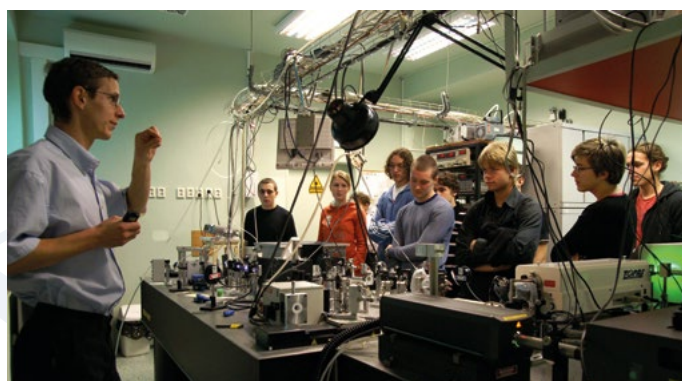
Budou připraveny ukázky a výklad k následujícím tématům:

■ na pracovišti Slovanka

(vchod: Pod vodárenskou věží 1, Praha 8-Libeň)

kontakt: Hana Waňková, Anna Körblerová, tel.: 266 052 121,
e-mail: secretary@fzu.cz

- Materiály s tvarovou pamětí
- Diamantové vrstvy zrozené z plazmatu
- Elektronový mikroskop aneb drobnohledem do mikrosvěta
- Kapalně krystaly – materiály pro ploché obrazovky
- Krystaly mění barvu světla
- Laserem připravované tenké vrstvy pro biomedicínu a optoelektroniku
- Materiály a nanotechnologie 21. století
- Supravodiče a supravodivost
- Laboratoř pro vývoj přesných souřadnicových detektorů částic
- Jak se pozorují nejenergetičtější částice ve vesmíru?
- Experimenty na obřím urychlovači LHC v CERN
- Centrum funkčních nanomateriálů. Projekty SAFMAT a FUNBIO
- Co na nás dopadá z vesmíru a ani to necítíme



■ na pracovišti Cukrovarnická

kontakt: Jiřina Pilná, tel.: 220 318 499, e-mail: pilna@fzu.cz

- Laboratoř AFM-STM
- Technologie MBE
- Termoelektrická konverze tepla v elektřinu
- Rentgenová strukturní analýza
- Technologie, kterou nobelisté připravovali modré diody
- Hravá fyzika
- Dopravní program: Detektivem nanosvěta s elektronovým mikroskopem
- Workshop pro učitele: Elektronová mikroskopie – okno do nanosvěta



■ na pracovišti Dolní Břežany

4. 11. 2016, 10:00–12:00, 14:00–16:00 (akce pro školy),
5. 11. 2016, 10:00–12:00 (akce pro veřejnost)

kontakt:

HiLASE: Mgr. Radka Kozáková, tel.: 601 560 164,
e-mail: kozakova@fzu.cz,

ELI Beamlines: Mgr. Hana Strnadová, tel.: 601 560 333,
e-mail: hana.strnadova@eli-beam.eu

- Laserové unikáty v ČR – ELI Beamlines a HiLASE

Srdečně vás zveme do vestibulu všech pracovišť, kde pro vás bude připravena malá prezentace Československého časopisu pro fyziku a budete mít možnost odnést si s sebou starší výtisky dle vlastního výběru. Těšíme se na vás!

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU

5/2016

Založen roku 1872 jako
„Časopis pro pěstování matematiky a fysiky“
Vydává Fyzikální ústav Akademie věd
České republiky, v. v. i.
Vychází 6 čísel ročně,
uzávěrka tohoto čísla: říjen 2016

Founded in 1872 as „Časopis pro pěstování
matematiky a fysiky“ "The Journal for
Cultivation of Mathematics and Physics"
Published bimonthly in Czech and Slovak by
Institute of Physics, v. v. i.
Academy of Sciences of the Czech Republic

Vedoucí redaktor – Editor-in-Chief:
Libor Juha

Oboroví redaktoři – Associate Editors:
Pavel Cejnar, Michal Fárník, Jiří Limpouch,
Peter Lukáč, Jan Mlynář, Karel Rohlena,
Patrik Španěl, Jan Valenta, Vladimír Wagner

Redakční rada – Editorial Board:
Ivo Čáp, Pavel Demo, Antonín Fejfar, Ivan Gregora,
Eva Klimešová, Jan Kříž, Petr Kulhánek,
Štefan Lányi, Jana Musilová, Martin Orendáč,
Fedor Šimkovic, Aleš Trojáněk

**Sekretariát redakce –
Editorial Office Administration:**
Marek Šípek, Jana Tahalová
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8
tel.: 266 052 152, fax: 286 890 527
e-mail: cscasfyz@fzu.cz, http://ccf.fzu.cz

Jazyková úprava:
Stanislava Burešová, Lýdia Murtinová

Technický redaktor, grafik a výroba:
© Jiří Kolář

WWW stránky: Matěj Bulvas

Tisk: Grafotechna Print, s. r. o.

Cena jednoho výtisku je 85 Kč
při odběru v prodejnách nebo v redakci.
Objednávky a prodej jednotlivých čísel
v ČR vyřizuje redakce.

Na Slovensku časopis rozšiřuje
Jednota slovenských matematikov a fyzikov,
pobočka v Žiline, Ul. 1. mája 32, 010 01 Žilina,
e-mail: ivo.cap@fel.uniza.sk

Distribution rights in foreign countries:
Kubon & Sagner, PO Box 240108,
D-8000 München 34

Časopis je od 31. 1. 2014 zařazen na
Seznam recenzovaných neimpaktovaných
periodik vydávaných v ČR.
Registrace: MK ČR E 3103,
ISSN 0009-0700 (Print),
ISSN 1804-8536 (Online).
Copyright © 2016
Institute of Physics of the ASCR, v. v. i.



Editorial



Vážení čtenáři,

v rubrice aktualit se snažíme přinášet a v širším kontextu reflektovat novinky jak ze základních fyzikálních disciplín, tak z hraničních oblastí fyziky. Až dosud jsme v ní však nereagovali na žádný text, jehož předmětem není vysvětlení nějakého nového fyzikálního objevu, ale politická provokace. Je pro mě velmi obtížné pochopit, jak mohl v bulletinu Evropské fyzikální společnosti vyjít text podporující primitivní, manipulativní a politicky jasně motivované konspirační teorie o útoku na věže Světového obchodního centra (WTC) v Novém Yorku 11. září 2001. Vysvětlení příčin, jež vedly k otištění zmíněného článku v *Europhysics News*, je úkolem věd o člověku a společnosti. Není v oborovém výměru našeho časopisu mapovat vznik, vývoj a působení pseudolevicového extremismu v jisté části akademických, žurnalistických, kulturních a politických kruhů. Co ovšem učinit můžeme (a jsem přesvědčen, že vlastně musíme), je referovat o vědeckém, politicky nemotivovaném vysvětlení mechanismu zřícení budov WTC. V rubrice aktualita proto přinášíme příspěvek špičkových odborníků – Zdeňka P. Bažanta, profesora stavebního inženýrství a materiálových věd na *Northwestern University* v Evanstonu, a Milana Jiráska, profesora stavební mechaniky na FSv ČVUT v Praze, jenž celou záležitost osvětluje.

Ke zmíněnému článku S. Jonese a kol. v *Europhysics News* [47(4), 21–26 (2016)] bychom rádi učinili dvě poznámky. Řízené demolice patří mezi nejnáročnější technické výkony. Vyžadují dlouhou a obtížnou přípravu, již z principu nelze realizovat v úplném utajení ani v opuštěném továrním objektu někde na předměstí, natož v plně obsazených a intenzivně využívaných budovách v centru velkoměsta, a bezchybné provedení, při němž musejí být všechny okolnosti plně pod kontrolou demoličních techniků. I tak se dílo poměrně často nezdaří a jeho průběh neodpovídá plánu. Představa, že by se bezchybně provedená řízená demolice mohla odehrát za podmínek, jež nastaly na Manhattanu 11. září 2001, se nachází úplně mimo realitu. Ideologové a jimi indoktrinovaní jedinci si ovšem s realitou nikdy hlavu příliš nelámali. V tomto směru získaly naše národy v minulém století velmi drazé zaplacenou zkušenost, jež je snad vybavila jistou imunitou a zdravým skepticismem k ideologicky motivovaným konstrukcím. Druhý postřeh se týká osoby prvního autora Stevena E. Jonese. V biografické poznámce u článku se uvádí, že se věnoval fúzi. Toto stručné sdělení bychom zde chtěli poněkud rozvést. Patřil totiž mezi „spoluobjevitele“ tzv. studené fúze [S. E. Jones a kol.: *Nature* **338**, 737 (1989)]. Postaral se dokonce o vůbec první kontroverzi, která provázela oznámení výsledků. Fleischmann a Pons jej původně obvinili, že se jim snaží jejich myšlenku zcizit [více informací v P. Ball: *Nature* **489**, 34 (2012)]. Pak o prezentaci výsledků dosáhli dohody, jež byla vzápětí porušena. Fleischmann a Pons byli chemiky, v oboru jaderné fúze tedy laiky, kdežto Jones školeným částicovým a fúzním fyzikem znalým radiometrických a dozimetrických technik. Z toho plyne, že v případě „objevu“ studené fúze šlo u prvních dvou spíše o omyl, u Jonese by však již bylo možno uvažovat o podvodu. Je úkolem historiků přírodních věd, aby popsali a vysvětlili cestu vedoucí od mladého nadějněho fyzika k hochštaplerovi.

Základní blok čísla vyplňují referáty z různých směrů fyziky povrchů a plazmatu sepsané pracovníky stejnojmenné katedry MFF UK v Praze založené před 60 lety na oborovém výměru fyzikální elektroniky a vakuové fyziky. Fyzice plazmatu jsou věnovány i příspěvky v rubrikách *Ve zkratce* a *Dokument*.

MLádeži jsou určeny návody, jak konat zajímavé fotometrické pokusy s fotografickým bleskem. Přinášíme také fotometricky zaměřené úlohy mezinárodních fyzikálních olympiád.

Zprávu o dlouholetém úspěšném působení Richarda Lednického ve fyzice elementárních částic – především v SÚJV v Dubně, kde zastává funkci zástupce ředitele – podává Jan Hladký.

Libor Juha
vedoucí redaktor

Obsah

AKTUALITY

- Zhroucení budov Světového obchodního centra (WTC) z hlediska stavební mechaniky** 280
Zdeněk P. Bažant, Milan Jirásek



VE ZKRATCE

- Plazma** 284
Petr Kulháněk



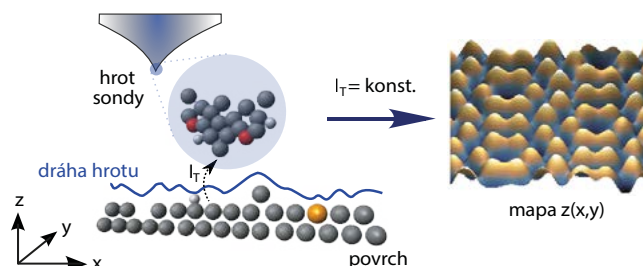
60 LET KFPP MFF UK

- Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK se představuje** 289
Jana Šafránková, Jan Wild



60 LET KFPP MFF UK

- Růst atomárních struktur s nízkou dimenzí** 291
Využití Monte Carlo simulací a řádkovací tunelové mikroskopie
Pavel Kocán, Pavel Sobotík, Ivan Ošťádal



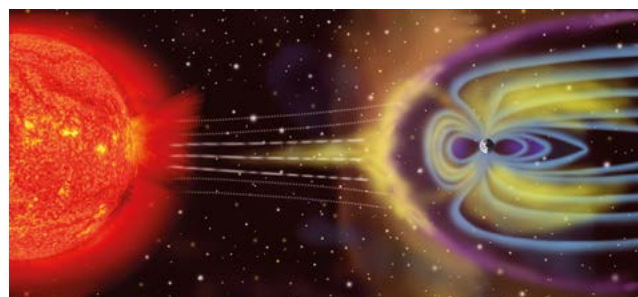
60 LET KFPP MFF UK

- H_3^+ v mezihvězdném prostoru a v laboratoři** 297
Radek Plašil, Petr Dohnal, Štěpán Roučka, Juraj Glosík



60 LET KFPP MFF UK

- Spektrální vlastnosti slunečního větru** 300
Jana Šafránková, Zdeněk Němeček, František Němec, Lubomír Přech



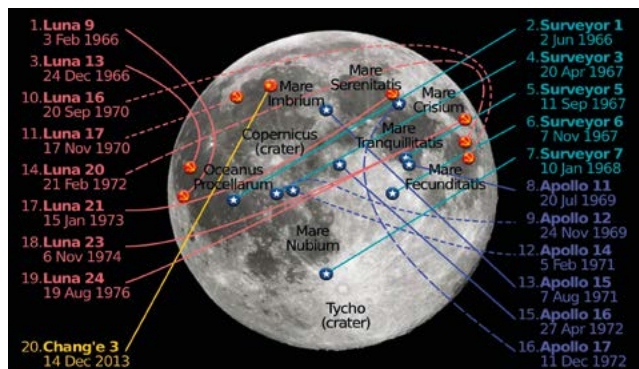
Obrázek na obálce: Ground Zero, New York City, 16. září 2001.
Zdroj: Wikipedia, foto Eric J. Tilford, US Navy. Více na str. 280–283.
Menší vložený obrázek: Plazmová koule ve tmě. Expoziční doba je 1,3 sekundy. Zdroj: Wikipedia. Více na str. 284–288.

60 LET KFPP MFF UK

Měsíc: stále exotická destinace

307

Jiří Pavlů, Zdeněk Němeček, Jana Šafránková

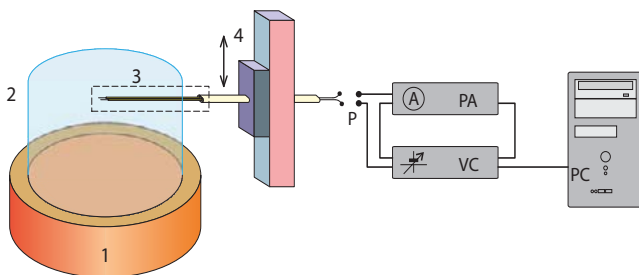


60 LET KFPP MFF UK

Použití dvousondové diagnostiky při měření vlastností plazmatu v nestandardních systémech

312

Jan Wild, Pavel Kudrna, Milan Tichý

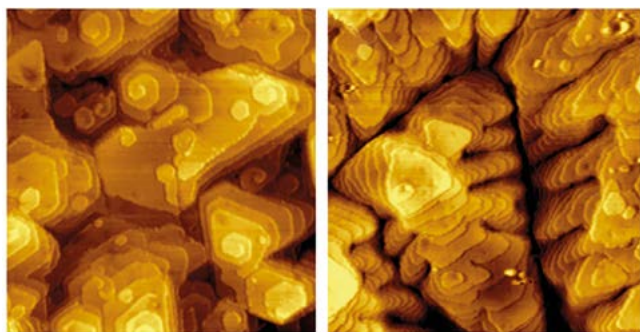


60 LET KFPP MFF UK

Moderní fyzika povrchů: sbližování reálného a modelového světa

317

Viktor Johánek, Vladimír Matolín, Josef Mysliveček



HISTORIE FYZIKY – DOKUMENT

O čtvrtém stavu agregačním čili o hmotě zářící

323

František F. Čecháč



Poznámky k předcházejícímu článku

323

August Seydler

MLÁDEŽ A FYZIKA

Měření průběhu osvětlení a jeho hodnot při použití fotoblesku

329

Vít Bednář, Jiří Tesař, Vladimír Vochozka

Fotometrie v úlohách fyzikálních olympiád

332

Jan Kříž, Ľubomír Konrád, Filip Studnička, Bohumil Vybíral



ZPRÁVY

Richard Lednický a jeho cesta částicovou fyzikou

338

Jan Hladký



Zhroucení budov Světového obchodního centra (WTC) z hlediska stavební mechaniky

Zdeněk P. Bažant¹ a Milan Jirásek²

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, McCormick School of Engineering and Applied Science, Northwestern University, 2145 Sheridan Road, Evanston, Illinois 60208, USA; z-bazant@northwestern.edu

² Katedra mechaniky Stavební fakulty ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6; Milan.Jirasek@fsv.cvut.cz

Vzpomínka na 11. září 2001

Nedávno jsme si připomněli smutné výročí barbarského útoku na západní civilizaci a její hodnoty. 11. září 2001 narazila do dvou budov Světového obchodního centra (WTC) v New Yorku těžká dopravní letadla řízená sebevraždami únosci. Došlo k vážnému poškození několika pater výškových budov a k požáru obrovských rozměrů. Následně se pak obě budovy zřítily a pohřbily ve svých troskách téměř tři tisíce nevinných lidí.

Samotnému nárazu nosná konstrukce odolala – byla na podobné zatížení navržena. Vodotěsná výchylka po nárazu nepřesáhla 40 cm, což je jen polovina hodnoty očekávané při hurikánu. Vlastní příčinou zhroucení byl rozsáhlý požár ve třech podlažích, který vedl k viskoplastickému vzpěru ocelových sloupů, jejichž tepelná izolace byla při nárazu odtržena.

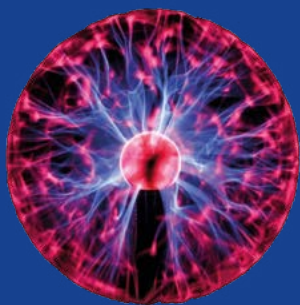
Uvedený popis podává přirozené a jednoduché vysvětlení. Vědci jsou však zvyklí analyzovat jevy okolního světa kvantitativně, s cílem lépe pochopit veškeré souvislosti a poučit se z nich. První autor tohoto vyzvaného příspěvku přišel s předběžným rozбором mechanismu zřícení z hlediska stavební mechaniky a vysvětlením, proč zřícení bylo nevyhnutelné, již dva dny po tragické události [1, 2]. Toto rychlé vysvětlení, založené na hrubém porovnání kinetické a disipované ener-

gie, bylo poměrně jednoduché. Naproti tomu důkaz, že předpoklad spontánního gravitačního zřícení je v souladu s řadou dat postupně získaných v průběhu vyšetřování, vyžadoval mnohem náročnější analýzu a přišel až o několik let později, viz [3, 4, 5] a další odkazy uvedené v závěru článku. Vypracovaný model prokázal, že zřícení obou budov muselo proběhnout zcela spontánně, na základě dominového efektu, a nebylo k němu třeba žádného dalšího oslabení nosné konstrukce. Ukázalo se, že výsledky numerické simulace jsou v souladu se všemi dostupnými pozorováními a údaji z nich odvozenými. Tyto závěry byly opakovaně publikovány v odborné literatuře a prošly standardním recenzním řízením v uznávaných časopisech. Jsou obecně přijímány odborníky na mechaniku sdruženými v American Society of Civil Engineers, American Society of Mechanical Engineers, Society of Engineering Science, Royal Society of London, IUTAM a dalších společnostech zabývajících se stavební mechanikou, stejně jako specialisty na všech špičkových univerzitách.

V průběhu let se ovšem vynořily laické spekulace o domnělém spiknutí, které popsání vysvětlení zpochybňují. Jejich propagátoři tvrdí, že totální zhroucení muselo být způsobeno řízeným odpálením předem nainstalovaných výbušnin. Přestože takové argumenty byly mnohokrát vyvráceny, konspirační teorie nadále žijí vlastním životem a jejich stoupenci se je snaží prezentovat v postupně se měnící podobě a vydávat za nová, překvapivá odhalení.

Na popularizaci neopodstatněných tvrzení se bohužel často podílejí i hromadná média se silným vlivem na širokou laickou veřejnost. Typickým příkladem je přístup českých sdělovacích prostředků během nedávného výročí. 7. září 2016 vydala agentura ČTK zprávu pod názvem „Vědci zpochybňují vyšetřování pádu dvojčat [sic] v New Yorku“ [6]. V důsledku pravopisné chyby by se mohlo zdát, že se vědci zabývali nehodou na dětských prolézačkách. Nicméně zpráva se ve skutečnosti týká Dvojčat a hned v jejím úvodu se píše: „Vědci, kteří se věnovali pouze technickému rozboru zhroucení dvou mrakodrapů, a ne otázce terorismu, poukazují na to, že





Plazma

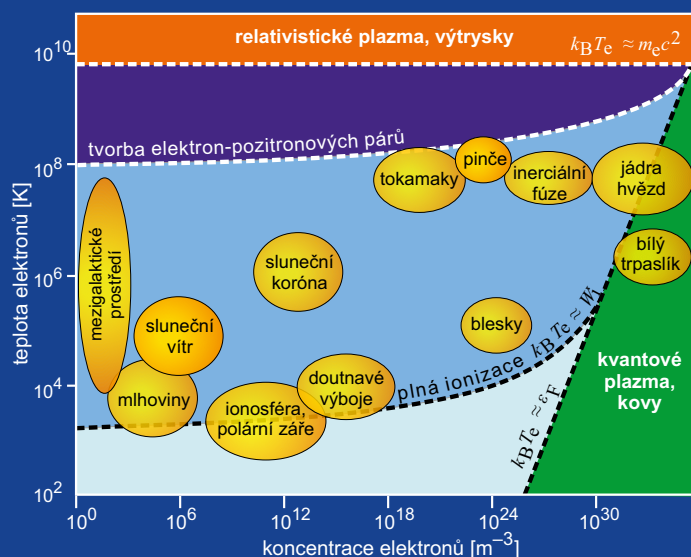
Petr Kulháněk

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6

Náš domov – Země – má ve vesmíru poněkud výjimečné postavení. Je jedním z mála neplazmatických ostrůvků v bezbřehém oceánu vesmírného plazmatu. K nejvýraznějším plazmovým útvarům patří hvězdy, ale slabě ionizovaným plazmatem je tvořeno i mezihvězdné a mezgalaktické prostředí včetně mlhovin. O chování plazmatu rozhodují především tři základní parametry: teplota, koncentrace nabitých částic a magnetické pole. Teplota může být dokonce dvojnásobná. Lehké elektrony si jen obtížně vyměňují energii s těžkými ionty – vzpomeňte si na míček odražený od jedoucího automobilu. Výměna energie mezi míčkem a automobilem je minimální a nejinak tomu je při srážce elektronu s iontem. Proto je teplota elektronů často odlišná od teploty iontů. Existují samozřejmě i další parametry, které jsou důležité u specifických aplikací. Například v plazmových technologiích založených na exotických chemických reakcích v plazmatu bude nepochybně důležité chemické složení, stejně tak jako při fúzních experimentech – fúzi s železnými atomy v plazmatu neuskutečníte, i kdybyste byli největší kouzelníci. V dnešní rubrice „Ve zkratce“ se zaměříme na obecné vlastnosti plazmatu a přehled některých jeho základních charakteristik.

Definice plazmatu

Nejčastěji je za plazma považován soubor částic, v nichž jsou volné nosiče elektrického náboje, které vykazují kolektivní chování. V každém makroskopickém objemu je celkový náboj nulový (tzv. podmínka kvazineutality). Tato definice pochází od amerického chemika a fyzika Irvinga Langmuira (1881–1957), který jako první použil ve svém článku z roku 1928 slovo plazma pro ionizované prostředí. Nejdůležitější vlastností plazmatu je existence volných nábojů – pokud jde o plyn, muselo dojít k jeho ionizaci, ať už díky vysoké teplotě, elektrickému poli nebo jinému mechanismu. Takové prostředí je schopno vést elektrický proud, kolektivně reagovat na elektrická a magnetická pole a samo je vytvářet. Podmínka kvazineutality vyčleňuje z definice plazmatu svazky nabitých částic a další formy látky, v nichž není kladný a záporný náboj vzájemně kompenzován.



Různé druhy vodíkového plazmatu liší se teplotou a koncentrací nabitých částic.

Typické teploty (energie)

- **Hranice plné ionizace** ($k_B T_e \approx W_i$). Pokud bude střední tepelná energie elektronů vyšší než ionizační energie, bude podstatná část atomů v plazmatu ionizována. Tato hranice umožňuje dělení plazmatu na slabě či částečně ionizované a plně ionizované.
- **Hranice ideálního plazmatu**. Pokud je střední tepelná energie, a tím i kinetická energie částic vyšší než energie interakce mezi částicemi, hovoříme o ideálním plazmatu. Takové plazma je možné popsat stavovou rovnicí ideálního plynu.
- **Hranice vysokoteplotního plazmatu**. Tradiční dělení plazmatu na nízkoteplotní a vysokoteplotní se liší obor od oboru a nemá ustálenou definici. Pro některé aplikace se za nízkoteplotní považuje slabě ionizované plazma a za vysokoteplotní plně ionizované plazma. V jiných oborech je za vysokoteplotní plazma považováno fúzní plazma s teplotou nad 10^7 K. Je třeba ale uvážit, že podmínky pro fúzi silně závisí i na koncentraci plazmatu. Další možností je za horké plazma považovat plazma v lokální termodynamické rovnováze.
- **Hranice pro kreaci párů**. Jde o takovou teplotu, při které alespoň určitá část elektronů a fotonů má dostatečnou energii na to, aby při srážkách docházelo ke vzniku elektronových-pozitronových párů. Z důvodu zachování hybnosti musejí srážky probíhat v blízkosti iontů.
- **Hranice relativistického plazmatu** ($k_B T_e \approx m_e c^2$). Pokud převyší tepelná (a tím přibližně i kinetická) energie elektronů hodnotu klidové energie, hovoříme o relativistickém plazmatu. Typickým příkladem jsou výtrysky plazmatu v okolí černých děr. Kreace elektronových-pozitronových párů je zde dominantním jevem.
- **Hranice vzniku kvarkového-gluonového plazmatu** (10^{12} K). Při extrémních energiích iontů, kterým odpovídá teplota přes 10^{12} K, může dojít za vysokých hustot (řádově desetinásobek hustoty atomového jádra) k dezintegraci protonů a neutronů na volné kvarky a gluony. Takové podmínky panovaly ve vesmíru v čase přibližně do jedné mikrosekundy. Uměle bylo kvarkové-gluonové plazma (QGP) poprvé připraveno na urychlovači SPS ve středisku CERN v roce 2000 při srážce urychleného jádra olova se statickým jádrem.

Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK se představuje



Katedra se za celý můj život stala částí mého těla i duše a jsem rád, že mi osud dal možnost na ní pracovat a dal i tím důvod pro uspokojivý pohled na můj život.

Z vystoupení profesora Libora Pátého na slavnostním večeru

Katedra fyziky povrchů a plazmatu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy oslavila v roce 2014 šedesát let od svého založení. K tomuto výročí proběhl slavnostní podvečer, kde se v příjemné atmosféře refektáře na Malé Straně konaly přednášky, vzpomínání absolventů i předání zlatých pamětních medailí fakulty. Pro úvodní část podvečera byla dokonce připravena hudební kompozice s názvem Jubilejní tóny, kterou autor docent Jan Wild věnoval svému pracovišti k tomuto výročí. Sonátu na motivy oblíbených písní minulých i současných členů katedry přednesly na housle a klavír Lucia a Victoria Priester z HAMU. Během setkání kromě odborných přednášek profesora Zdeňka Němečka a profesora Vladimíra Matolína, které obsahovaly vědecké retrospekce a informace o současném dění na katedře, zazněly i stále živé vzpomínky tří absolventů: doktorky Hany Turčicové (nyní Fyzikální ústav AV ČR) a doktorů Josefa Myslivečka (KFPP) a Pavla Hedbávného (majitel firmy Vakuum Praha). Jejich vyprávění připomnělo skvělou atmosféru na katedře a dobrou náladu, která tam vždy panovala. Z rukou děkana fakulty profesora Jana Kratochvíla převzala docentka Eva Tomková, jedna z prvních absolventek katedry, která se zasloužila o vybudování oboru fyzikální elektronika, zlatou pamětní medaili. Druhým oceněným se stal profesor Libor Pátý, jeden z pěti spoluzakladatelů katedry, kde vybudoval obor vakuové fyziky. Jeho řeč orámovala večer, za ní následoval přípitek s přáními hodně dobrého do dalších let katedře fyziky povrchů a plazmatu od mnoha gratulantů.

Ohlédneme-li se zpět, můžeme s radostí konstatovat, že šedesátiletí zastihlo katedru v dobré „kondici“. Od nelehkých začátků, kdy – podle svědectví profesora Libora Pátého – prostředky pro stavbu aparatur byly získávány i výprodejem zásob z vojenských skladů, se postupně vybudoval široký vědecký tým, jehož výsledky významnou měrou přispívají k výkonnosti fakulty, a tím i celé univerzity. Zaměření katedry je v současné době soustředěno do pěti odborných skupin a pro ilustraci uvedme, že pracovníci katedry se podílejí v průměru na vzniku 80 impaktovaných vědeckých publikací ročně, přičemž jejich počet zvol-



Z oslav 60. výročí katedry. Prof. L. Pátý při projevu před zástavou univerzity a historickou katedrální vlajkou.

na roste (v roce 2015 vzešlo z katedry 94 odborných publikací).

Nesmíme však zde zapomenout ani na nemalý podíl katedry při výchově následovníků. Pracoviště za 60 let přispělo k završení studia 573 studentů magisterského stupně a 83 absolventů nově zavedeného bakalářského studia. Absolventi obou stupňů studia našli uplatnění v akademické oblasti, v průmyslu, v bankách, ale i v politice a působí v Česku i v zahraničí. V postgraduálním studiu, zavedeném až v roce 1991, se ve dvou oborových radách přímo koordinovaných katedrou připravilo na vědeckou dráhu skoro 160 mladých lidí. Díky tomu také katedra podstatně „nestárne“, noví mladí kolegové přicházejí.

Zde vám představujeme soubor šesti článků, které uvádějí čtenáře do široké problematiky řešení v odborných skupinách katedry. Asi se ptáte, proč příspěvky vycházejí až letos, poměrně dlouho po oslavách. Současný trend přípravy projektů nejrozličnějších typů i stále se zvyšující byrokratická zátěž, která dopadá i na katedrální aktivity, způsobily, že jsme představení práce katedry odkládali a odkládali, až zasáhla redakce Československého časopisu pro fyziku. Díky ní můžeme odborné veřejnosti předložit průřez tématy, jimiž se na katedře zabýváme, i když si uvědomujeme, že pohled není zdaleka úplný.

60 let

Katedry fyziky povrchů a plazmatu MFF UK



Růst atomárních struktur s nízkou dimenzí

Využití Monte Carlo simulací a řádkovací tunelové mikroskopie

Pavel Kocán, Pavel Sobotík, Ivan Ošťádal

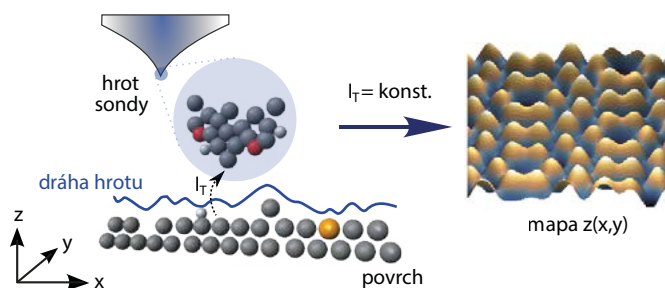
Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK v Praze, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, ČR; pavel.kocan@mff.cuni.cz

V referátu přinášíme shrnutí některých našich výsledků z oblasti studia růstu atomárních struktur kombinací experimentálního a teoretického přístupu. Řádkovací tunelová mikroskopie (STM) nám poskytuje atomárně rozlišenou informaci v reálném prostoru, která umožňuje navržení modelu růstu, jenž je dále rozvíjen pomocí kinetických Monte Carlo (KMC) simulací.

Úvod

V posledním desetiletí dosáhly technologie používané především v elektronickém průmyslu takového stupně miniaturizace, že se stalo nutností rozumět chování systému na atomární úrovni. Nejvýraznějším příkladem je miniaturizace tranzistorů, kdy při současných rozměrech (14nm technologie) rozhodují pozice jednotlivých atomů-dopantů o parametrech konkrétního výrobku [1, 2]. Z tohoto důvodu je zřejmé, že další miniaturizace nebude možná bez využití nových fyzikálních principů.

Často zmiňovanou alternativou současných elektronických prvků je využití spontánně narostlých nanostruktur složených z deponovaných atomů nebo molekul coby základních prvků elektronických součástek. Je známo, že snižování dimenze přináší kvalitativně nové fyzikální vlastnosti oproti objemovému materiálu [3]. Např. chování elektronů náležejících jednodimenzionálnímu objektu (nanodrátu) nelze popsat modelem Fermiho kapaliny neinteragujících kvazičástic, protože interakce blízkých elektronů je nevyhnutelná. Je nutné použít model Luttingerovy kapaliny, jehož charakteristickou vlastností je oddělení spinu a náboje. Víze využití spontánně vzniklých nanostruktur v elektronice spočívá v řízeném samouspořádání funkčních prvků nesoucích zajímavé fyzikální vlastnosti a jejich vhodném, rovněž samoorganizovaném propojení. K těmto účelům lze využít struktury substrátu a vlastností deponovaných materiálů, často kovových atomů nebo na míru syntetizovaných organických molekul. Samovolný růst nanostruktur představuje souhrn mnoha dílčích kinetických procesů [4]. Má-li být růst kontrolovaný a dobře definovaný, je potřeba tyto procesy identifikovat a určit jejich parametry – jinými slovy, je třeba najít kinetický model systému.



Obr. 1 Princip řádkovací tunelové mikroskopie (STM). Obraz vzniká díky proudu elektronů tunelujících mezi povrchem a atomárně ostrým hrotem, který řádkuje podél povrchu.

Potřeby nových technologií stimulují základní výzkum v oblasti nanostruktur. Dnes je běžné studium na skutečně atomární úrovni, a to díky prudkému vývoji experimentálních technik. V reálném prostoru je možné zobrazit nejen atomy a molekuly, ale např. i slabé vodíkové vazby mezi jednotlivými molekulami [5]. Nicméně omezení jsou značná – základní výzkum je obvykle zaměřen na modelové, silně zjednodušené situace, např. na interakce jednotlivých atomů nebo molekul s čistým a velmi dobře definovaným povrchem pevné látky.

Technika STM

Princip řádkovací tunelové mikroskopie (*scanning tunneling microscopy, STM*) je schematicky znázorněn na obr. 1. Sonda – ideálně poslední atom ostrého kovového hrotu – je natolik přiblížena ke studovanému povrchu, že při aplikaci napětí (řádově mV až V) mezi hrotem a vzorkem protéká bariérou měřitelný proud tunelujících elektronů I_T (v rozsahu desítek pA až jednotek nA). Tento proud je typicky použit jako zpětnovazební signál – I_T je regulován jemnou změ-

60 let

Katedry fyziky povrchů
a plazmatu MFF UK



H_3^+ v mezihvězdném prostoru a v laboratoři

Radek Plašil, Petr Dohnal, Štěpán Roučka, Juraj Glosík

Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK, V Holešovičkách 2, Praha 180 00; radek.plasil@mff.cuni.cz

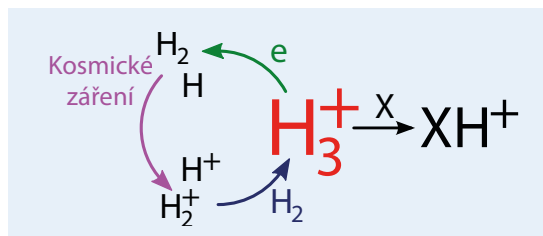
H_3^+ , nejjednodušší mnohoatomový iont, je klíčovým prekurzorem řady chemických reakcí vedoucích ke vzniku komplexních sloučenin v mezihvězdných oblacích plynu. Experimentální studium reakcí provádějících jeho tvorbu a zánik za astrofyzikálně relevantních podmínek poskytuje důležité vstupy pro astrochemické modely a pro pochopení chemických procesů probíhajících v mezihvězdném prostoru.

Jak ukazují astronomická pozorování, v mezihvězdném prostoru můžeme nalézt mnoho druhů komplikovaných molekul. Podmínky v oblacích chladného plynu, kde panují nízké teploty 10 až 100 K, však na první pohled nic takového nenaznačují. Stále vylepšované rádiové dalekohledy na Zemi i umělých družicích ovšem odhalily více než 190 různých druhů molekul a molekulárních iontů. Příklady úspěšných měření spekter molekul v mezihvězdném prostoru přináší projekty ALMA, Herschel nebo SOFIA.

V mezihvězdném prostoru byly pozorovány jak jednoduché molekuly a kladné ionty, například H_2 , CH, H_3^+ , tak i složitější, jako HCO, NH_2 , kyselina mravenčí HCOOH a etylalkohol C_2H_5OH . Nejnovější měření odhalila i velké molekuly, které sestávají z dvanácti i více atomů [1]. Ale to není vše, mnoho teorií předpokládá přítomnost ještě složitějších komplexů ve formě vícečlenných aromatických uhlovodíků, známých pod zkratkou PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) a v posledních letech se hodně diskutuje přítomnost C_{60}^+ [2]. U větších molekul však zatím není snadné identifikovat jejich spektrum. Nedávno byly detekovány i dlouho hledané záporné ionty, prvním z nich byl aniont C_6H^- v roce 2006 [3].

Většina reakcí neutrálních molekul je v chladném prostředí mezihvězdného prostoru velmi pomalá (teploty mezihvězdných oblaků plynu se pohybují v řádu desítek kelvinů). To je zapříčiněno existencí energetických bariér, které při nízkých teplotách zabraňují většině chemických procesů. Reakce iontů s molekulami však bariéru převážně nemají (exotermní procesy), navíc indukovaný elektrický dipól zvětšuje účinný průřez srážek, a tak mohou reakce iontů s molekulami účinně probíhat i v podmínkách chladného mezihvězdného prostoru. Výzkum takových interakcí je proto důležitý a probíhá v mnoha laboratořích po celém světě.

Zájem o vodíkové ionty H^+ , H^- , H_3^+ a jejich vlastnosti je dán tím, že 92,1 % atomů ve vesmíru je vodíkových, 7,8 % heliových a jenom 0,1 % jsou ostatní atomy (jako je C, N, O, S, Si a další). Zvláště zajímavý je iont H_3^+ . Tento nejjednodušší mnohoatomový iont je nejvíce produkováným molekulárním iontem ve vesmíru a jako dárce



Obř. 1 Reakční schéma tvorby a zániku iontů H_3^+ .

protonu hraje klíčovou roli v mezihvězdných chemických procesech. Jeho vlastnosti včetně rychlosti rekombinace s elektrony zásadně ovlivňují plazma v mezihvězdném prostoru a tvorbu složitějších molekul.

Sám iont H_3^+ byl objeven J. J. Thomsonem již v roce 1911 při hmotnostní spektroskopii iontů ve výboji [4]. Ve vodíkovém plazmatu rychle vzniká v reakci $H_2^+ + H_2 \rightarrow H_3^+ + H$. Vzhledem ke slabé vazbě protonu je iont H_3^+ velice reaktivní a při srážce předává proton téměř jakémukoli atomu a molekule. Výjimkou jsou například He, Ar a O_2 , kde je přenos protonu endotermní. Právě vysoká reaktivita a častý výskyt atomárního a molekulárního vodíku určují klíčovou roli tohoto iontu v mezihvězdném nízkoteplotním plazmatu. Důležitost H_3^+ v procesech formování molekul v mezihvězdném prostoru byla předpovězena již začátkem sedmdesátých let minulého století, kdy na ni upozornili E. Herbst [5] a W. D. Watson [6]. Jejich přítomnost v hustých mezihvězdných mračnách byla nepřímo prokázána na základě kinetických modelů na začátku sedmdesátých let minulého století.

Výše uvedené skutečnosti vedly k rozsáhlým laboratorním spektroskopickým výzkumům, avšak absorpční čáry H_3^+ byly identifikovány až mnohem později. Poprvé tento iont pozoroval profesor Takeshi Oka v infračerveném spektru výbojového plazmatu v laboratoři na univerzitě v Chicagu až v roce 1980 [7]. Po tomto objevu následovala intenzivní astronomická pozorování, která po několikaletém pátrání přinesla výsledky. Spektrální čáry příslušející H_3^+ byly nalezeny v roce 1987 v atmosféře Jupiteru a poté i v atmosférách Saturnu a Uranu. Ještě roky trvalo, než T. R. Geballe

Spektrální vlastnosti slunečního větru

Jana Šafránková, Zdeněk Němeček, František Němec, Lubomír Přech

Katedra fyziky povrchů a plazmatu, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

Tématem článku je experimentální výzkum spektrálních vlastností turbulence ve slunečním větru v oblasti přechodu mezi magnetohydrodynamickým (MHD) a kinetickým režimem magnetizovaného plazmatu. Výzkum je založen na měření parametrů plazmatu s vysokým časovým rozlišením, kterého bylo dosaženo přístrojem BMSW (Bright Monitor of Solar Wind), navrženým a vyvinutým na Katedře fyziky povrchů a plazmatu MFF UK v posledních letech. Získané výsledky jsou aplikovatelné nejen na variace meziplanetárního nebo mezihvězdného plazmatu, ale i na plazma ve fúzních systémech.

Úvod

Slunce nejenže řídí pohyb naší planety prostřednictvím své gravitace, ale zaplavuje meziplanetární prostor neustálým proudem nabitých částic (hlavně protonů a elektronů), který se šíří od Slunce k hranicím sluneční soustavy a nazývá se *sluneční vítr*. Co však spojuje toto velmi řídké, plně ionizované prostředí s horkým, ale naopak poměrně hustým plazmatem tokamaků směřujících k výzkumu fúze? Je to turbulence, jež je hlavní překážkou při konstrukci efektivního fúzního reaktoru, a tak turbulence v magnetizovaném nízkosrážkovém plazmatu zůstává jedním z nevyřešených problémů fyziky plazmatu a sluneční vítr je unikátní laboratoří umožňující studium turbulence *in situ*.

S turbulencí se obvykle setkáváme, když nějaká tekutina (kapalina, plyn nebo plazma) obtéká překážku. Termín *turbulence* použil poprvé Leonardo da Vinci při popisu pozorování její základní charakteristiky – pomalého rozpadu vodních vírů za pilířem mostu. Větší víry spolu interagovaly a postupně vytvářely menší a menší struktury, až zcela zanikly. Pilíř v tomto případě působí jako generátor turbulence a proudění tekutiny nám umožňuje snadno pozorovat časový vývoj turbulentních struktur, neboť konvertuje časovou škálu do prostorové. Tento princip využívá například technika *flowing afterglow* při výzkumu rozpadajícího se plazmatu.

Teoretický popis proudění vazké stlačitelné tekutiny přinesly práce Navierovy a Stokesovy. Rovnice, které nesou jejich jméno, jsou předmětem zájmu nejen fyziků, ale i matematiků, protože není známo jejich řešení, ale dokonce není jasné, zda takové řešení ve třech dimenzích vůbec existuje. Důkaz existence či neexistence takového řešení je označován za jeden ze sedmi nejdůležitějších problémů současné matematiky a jeho vyřešení je dotováno částkou 1 milion USD.

To, že neumíme řešit rovnice popisující turbulentní proudění, neznamená, že není možné za zjedno-



Obr. 1 Foto přístroje BMSW se šesti Faradayovými válci vyvinutého na KFPP MFF UK pro projekt Spektr-R.

dujících předpokladů odvodit některé statistické charakteristiky. Jedním z prvních, kteří se o to pokusili, byl patrně Kolgomorov v roce 1941 [1]. Ten za předpokladu, že turbulence je izotropní, nezávislá na translaci a rotaci souřadné soustavy a její charakteristiky nezávisí na velikosti škály, na které je pozorována, ukázal, že mezi výkonovou hustotou (*Power spectral density* – PSD) a převrácenou hodnotou velikosti škály k bude platit vztah $PSD \sim k^{-5/3}$. Ačkoliv se v našem případě jedná o neregulární fluktuační, vžil se pro škálu k název vlnové číslo. Platnost tohoto vztahu pro různé veličiny byla mnohokrát ověřena v nejrůznějších režimech proudění, nevyjímaje sluneční vítr [2].

Kolgomorův vztah platí pro vazké kontinuum, které může být popsáno makroskopickými parametry, a lze tedy očekávat, že na malých škálách přestane tento vztah platit, neboť se projeví diskrétní charakter tekutiny. Tento efekt není obvykle významný pro kapaliny a plyny za normálních podmínek, protože charakteristickým rozměrem je střední volná dráha molekul, ale na důležitosti nabude v prostředích zředěných. Ve vysoce ionizovaném magnetizovaném plazmatu se na-

Měsíc: stále exotická destinace

Jiří Pavlů, Zdeněk Němeček, Jana Šafránková

Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK v Praze, V Holešovičkách 747/2, 180 00 Praha 8

„Během roku 186... byl celý intelektuální svět v neobyčejném napětí díky odvážnému pokusu, kterému nebyl ve vědeckých letopisech žádný jiný rovný. Členy Gun-Clubu napadla myšlenka spojit se s Měsícem – opravdu s Měsícem, a to vystřelením dělové koule.“
Jules Verne: *Do Měsíce*, 1870

Zkoumáním, pozorováním a přemýšlením o Měsíci trávili lidé čas od pradávna. Přestože první člověk se po našem souputníkovi prošel již téměř před padesáti lety, naše chápání tohoto prostého prostředí je stále v počátcích a nedostatek experimentálních dat často doháníme počítačovými modely. Článek pojednává o našich představách o nabíjení měsíčního povrchu a také prachových zrněk na něm a nad ním.

Úvod

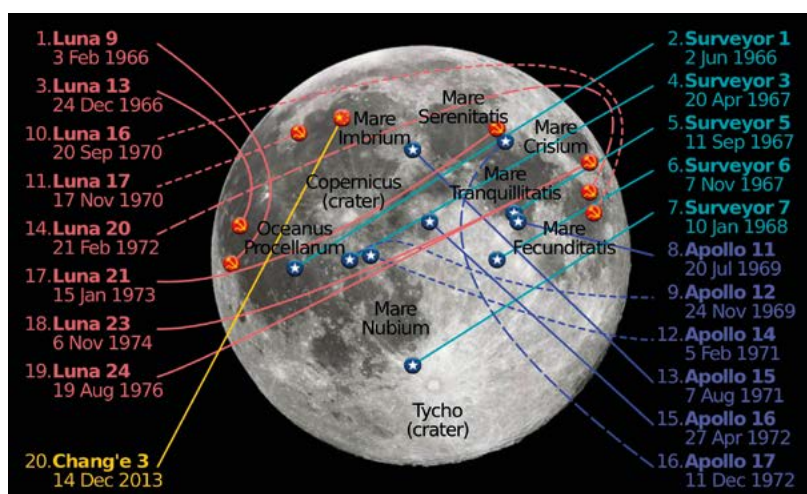
Je to již 50 let, co NASA úspěšně vynesla do vesmíru družici raketou Saturn IB a odstartovala tím éru družic Apollo. Jedenáctá z nich potom přistála na Měsíci jako první i s posádkou a přinesla nám řadu nových poznatků o tomto prazvláštním prostředí. Byly to právě sondy amerického projektu Apollo (ale také ruského projektu Luna), které přinesly zpět na Zemi řadu vzorků měsíční horniny k zevrubné analýze. Doplňily tak *in situ* měření předchozích sond.

Přestože sondy přistály v různých místech (viz obr. 1) a astronauti se snažili vybírat co „nejzvláštnější“ vzorky horniny, zdá se, že složení měsíční horniny je všude víceméně stejné (viz tab. 1) – rozdíly pozorujeme pouze mezi tzv. moři (*maria*, anglicky označovány jako *seas* či *lowlands*) a pevninou (*terrae*, anglicky označovány jako *highlands*).

	moře	pevnina		moře	pevnina
	[hm. %]			[at. %]	
SiO ₂	45,4	45,5	O	60,3	61,1
TiO ₂	3,9	0,6	Si	16,9	16,3
Al ₂ O ₃	14,9	24,0	Ti	1,1	0,2
FeO	14,1	5,9	Al	6,5	10,1
MgO	9,2	7,5	Fe	4,4	1,8
CaO	11,8	15,9	Mg	5,1	4,0
Na ₂ O	0,6	0,6	Ca	4,7	6,1
			Na	0,4	0,4

Tab. 1 Chemické složení prachu z povrchu Měsíce (podle Turkeviche [1]).

Měsíc nemá atmosféru a materiál na jeho povrchu je tudíž „čistý“ (bez vrstvy adsorbovaného plynu) a tedy i chemicky velice aktivní (viz také svědectví kapitána Apolla 17 v rámečku), obdobně jako čerstvý prach vznikající při broušení. Měsíční povrch je též vystaven neustálému bombardu fotonů a částic ze slunečního vě-



Obr. 1 Místa měkkých přistání na Měsíci. Převzato od Peter Freiman & Gregory H. Revera & C. M. G. Lee / Wikimedia Commons / CC-BY-SA-3.0.

tru, které ho částečně modifikují (tzv. *space weathering*, viz např. [1, 2]) a částečně vedou k jeho nabíjení [3, 4].

Energetické ionty jsou tak implantovány do všech odkrytých povrchů – např. *Bradley a kol.* [5] pozorovali v elektronovém mikroskopu zrníčka meziplanetárního prachu (silikáty), která měla cca 100 nm tlustou povrchovou vrstvu změněnou dopadem protonů. V této vrstvě dokonce našli stopové množství vody vzniklé reakcí implantovaného vodíku se silikátem.

... o aktivitě měsíčního prachu...

„... one of the most aggravating, restricting facets of lunar surface exploration is the dust and its adherence to everything no matter what kind of material, whether it be skin, suit material, metal, no matter what it be and it's restrictive friction-like action to everything it gets on.“

Eugene Cernan, kapitán Apolla 17

60 let

Katedry fyziky povrchů
a plazmatu MFF UK



POUŽITÍ DVOUSONDOVÉ DIAGNOSTIKY PŘI MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ PLAZMATU V NESTANDARDNÍCH SYSTÉMECH

Jan Wild, Pavel Kudrna, Milan Tichý

Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK v Praze, V Holešovičkách 747/2, 180 00 Praha 8

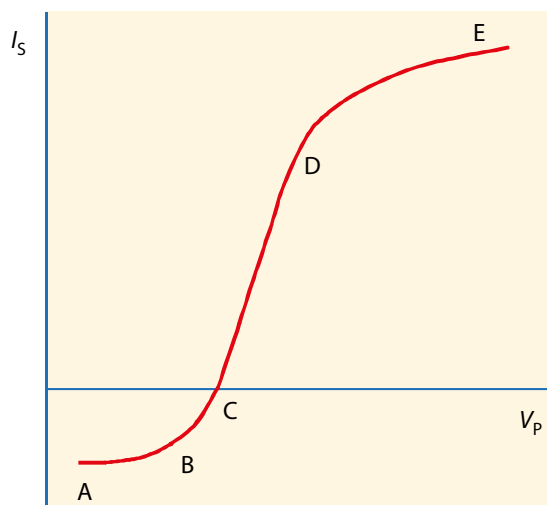
Vysvětlíme, jak funguje dvojice Langmuirových sond pro diagnostiku ne zcela běžného plazmatu. Její možnosti demonstrujeme při experimentech s modelovým plamenem a plazmatem vznikajícím interakcí fokusovaného extrémního ultrafialového (XUV) laserového svazku s pevnou látkou. Ukážeme, jak bylo s pomocí soudobé techniky sběru a zpracování dat možné z obou studovaných systémů získat základní informace o plazmatu, tj. o teplotě a hustotě nabitých částic v něm.

Úvod

Když Irvin Langmuir ve dvacátých letech minulého století vložil do laboratorního výboje testovací kolektor, změřil první voltampérovou charakteristiku a vyvinul teorii pro interpretaci získaných výsledků [1], získala vědecká komunita důležitý nástroj k měření základních parametrů plazmatu, který v nejrůznějších modifikacích slouží až do současnosti. Pokud bychom se omezili pouze na experimenty prováděné na katedře fyziky povrchů a plazmatu, Langmuirova sonda se používá při měření vlastností speciálního obloukového výboje určeného k přípravě vrstev Mg/Si [2], mapuje rozložení elektronových teplot v magnetronu [3] nebo získává základní parametry experimentu simulujícího reakce H_3O^+ v mezihvězdném prostoru, o němž se můžeme dozvědět více v příspěvku R. Plašila a spoluautorů v tomto čísle časopisu. Použití metody je však natolik univerzální, že se s ní můžeme setkat např. i při výzkumu řízené termonukleární reakce – na tokamaku COMPASS slouží sondy ve větším počtu uspořádané do celých měřicích polí [4] v kombinacích s modifikacemi vhodnými pro horké a husté plazma (např. tzv. Katsumatovy sondy, Ball-pen sondy apod. [5]).

Měření s Langmuirovou sondou v základním uspořádání vyžaduje referenční elektrodu, jíž v nejobvyklejším případě doutnavého výboje bývá anoda. V mnoha situacích však nelze referenční elektrodu použít, např. kvůli vysokým potenciálům v obvodu napájení výboje, parazitním kapacitám nebo z jiných důvodů. V takových případech může přijít ke slovu dvojice sond (někdy pojednávána jako *dvojsonda*), která sice oproti jednoduché sondě působí určité komplikace při interpretaci výsledků, zato ale v nestandardních experimentech může přinést jedinečné informace o zkoumaném plazmatu.

V tomto článku nejprve připomeneme princip experimentu s jednoduchou Langmuirovou sondou, což



Obr. 1 Charakteristika válcové sondy (kvalitativní náčrt). A–B: oblast urychlování iontů (saturovaný iontový proud); B–C–D: přechodová oblast; D: bod odpovídající potenciálu plazmatu; D–E: oblast urychlování elektronů (saturovaný elektronový proud); V_p – napětí na sondě vůči referenční elektrodě, I_s – proud sondou [6].

bude základ pro stručný popis činnosti dvojice sond. Těžištěm našeho příspěvku pak bude informace o tom, jak užitím dvojice Langmuirových sond posílených soudobou technikou sběru a vyhodnocování dat lze získat základní parametry plazmatu z velmi odlehklých oblastí výzkumu: v prvním případě půjde o modelový jednodimenzionální plamen, v případě druhém o plazma vybuzevané interakcí XUV laseru (vlnová délka 46,9 nm) s testovacím vzorkem vizmutu.

Princip sondových měření

Jednoduchá Langmuirova sonda bývá často realizována ve válcové modifikaci (i když jsou možné a využívají

Moderní fyzika povrchů: sbližování reálného a modelového světa

Viktor Johánek, Vladimír Matolín, Josef Mysliveček

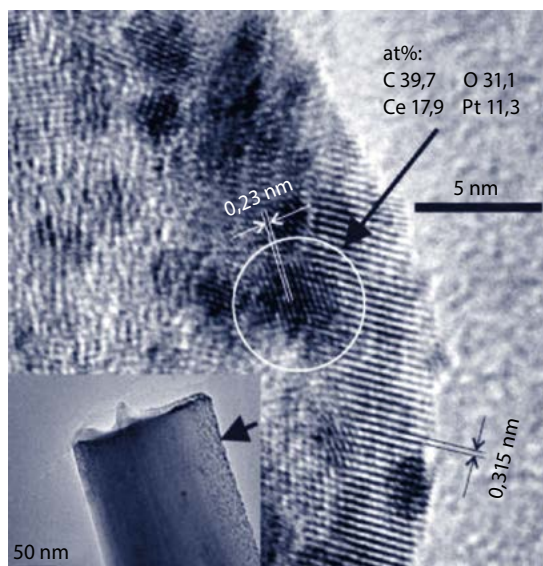
Skupina fyziky povrchů, Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8; <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/povrchy/>

Úvod

Fyzikální a chemické procesy na povrchu pevných látek rozhodujícím způsobem ovlivňují moderní nanotechnologické aplikace v chemii, energetice, ochraně životního prostředí, senzorce, biochemii, farmacii a dalších oborech. V průběhu posledních desetiletí bylo již na bezpočtu příkladů ukázáno, jak důležitá je struktura materiálu a interakce mezi jeho jednotlivými složkami z hlediska povrchových procesů a že např. pouhou změnou morfologie nebo atomárního uspořádání povrchu lze dosáhnout zcela odlišných vlastností [1]. Detailní porozumění jevům, které probíhají na površích za provozních podmínek, je značně komplikované a v mnoha případech se současnými prostředky i nemožné, především z důvodů vysoké složitosti (a naopak nízké míry definovanosti) studované látky a omezených možností využití dostupných analytických metod v podmínkách reálných teplot a tlaků.

Pokud nechceme být odkázáni ve vývoji a studiu nových funkčních materiálů pouze na empirický přístup (metodou pokus-omyl), je nutná velmi přesná charakterizace vytvořených nanostruktur [2] a analýza na nich probíhající povrchových fyzikálně-chemických jevů až na atomární úrovni [3] s případným napojením na teoretické modely vycházející ze základních fyzikálních principů. Během posledního zhruba půlstoletí byla vyvinuta celá řada precizních analytických nástrojů fyziky povrchů umožňujících studium složení, struktury a elektronických i chemických jevů na a v pevných látkách (např. fotoelektronová spektroskopie a difrakce, rastrovací mikroskopie, elektronové difrakce, vibrační spektroskopie aj.), nicméně většina z nich vyžaduje relativně omezenou oblast pracovních tlaků (často ultravysoké vakuum, UHV) a teplot.

Z důvodu dosažení lepší definovanosti se ve výzkumu s úspěchem využívá tzv. modelových systémů. Při jejich přípravě se uplatňují dva základní přístupy: 1) přístup shora dolů (*top-down*), typicky aplikující chemické metody podobné standardním průmyslově užívaným postupům, a 2) zdola nahoru (*bottom-up*), vycházející ze základních fyzikálních procesů a vyznačující se vysokou mírou kontroly při budování požadovaných struktur od nejjednodušších ke složi-



Obr. 1 TEM (transmisní elektronová mikroskopie) obrázek MWCNT pokrytého tenkou vrstvou magnetronově naprášeného Pt-CeO₂ (levý dolní roh) a detail této tenké vrstvy s vyznačením oblasti, ve které byla provedena prvková analýza pomocí EDS (bílý kruh). (Převzato z [9])

tějším. Od vysoce definovaných a na atomární úrovni charakterizovaných povrchů pevných látek, typicky orientovaných monokrystalů, se přechází na ultratenké vrstvy připravené heteroepitaxním růstem kovů nebo jejich oxidů. V dalším kroku lze vrstvu dopovat dalším prvkem anebo na ni deponovat klastry s rozměry v řádu nanometrů, vytvářet nanoslutiny nebo směsné oxidy kódepozicí dvou nebo více prvků apod. Z hlediska fundamentálního výzkumu se tedy zdá být přístup zdola nahoru vhodnější, nicméně často pak vyvstává otázka, do jaké míry je chování takových modelových systémů relevantní ve vztahu k praktickým aplikacím.

Z výše uvedeného plyne, že základní výzkum v oblasti katalytických procesů na površích obecně naráží na tzv. materiálovou propast (*materials gap*) a vakuovou propast (*pressure gap*), které se rozprostírají mezi současnou fyzikou povrchů a praktickou (aplikovanou) katalýzou. Rostoucí potřeba překlenout tyto propasti je

O čtvrtém stavu aggregačním čili o hmotě zářící

František F. Čecháč

str. 324 [Čas. pěst. math. fys. 9, 180 (1880)]

Poznámky k předcházejícímu článku

August Seydler

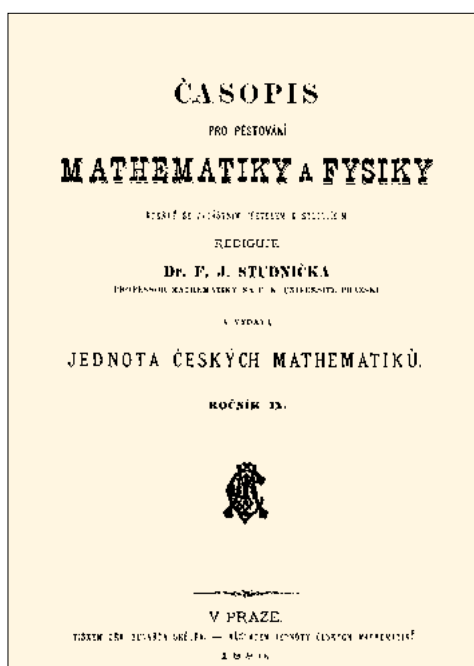
str. 327 [Čas. pěst. math. fys. 9, 191 (1880)]

Tradice prací ve fyzice plazmatu sahá v našich zemích hluboko do 19. století, kdy se tento obor ještě nejmenoval tak, jak jej nazýváme dnes. V těchto raných dobách se zkoumání plazmatu odehrávalo především ve třech oblastech. První a zřejmě nejstarší oblastí, v níž plazma hraje klíčovou roli, je výzkum atmosférické elektřiny a jejích mezních projevů, tj. především blesků. Pozorování těchto spektakulárních přírodních jevů vedlo k otázce o jejich povaze a pokusům o jejich nápodobu v laboratoři. Druhá oblast rané fyziky plazmatu byla soustředěna na umělé výboje v plynech. Třetí směr byl iniciován rozvojem vakuové fyziky a techniky a vyústil v inten-



PhDr. August J. B. Seydler (1849–1891)

zivní výzkum a využití katodových a kanálových paprsků. Na pomezí druhého a třetího oboru se v sedmdesátých letech předminulého století objevil koncept čtvrtého stavu hmoty. Ve druhém letošním čísle našeho časopisu [Čs. čas. fyz. 66, 114 (2016)] vyšla stať Pavla Pecháčka a Petra Průši o autorovi tohoto přístupu Williamu Crookesovi (1832–1919). V ní jsou citovány dobové reflexe čtvrtého stavu hmoty českými fyziky Františkem F. Čecháčkem (je znám především jako spolupracovník profesora K. V. Zengera) a Augustem Seydlerem [o něm viz Čs. čas. fyz. 61, 101 (2011)]. V rubrice dokument zde reprodukuji texty obou těchto úvah.



O čtvrtém stavu aggregačním čili o hmotě zářící.

Napsal Fr. Fr. Čecháň, asistent fysiky na vysokém učení technickém.

Dne 22. srpna l. r. ve shromáždění „British Association“ přednášel *William Crookes* o thematu svrchu uvedeném a živý interes, který přednáška ta vzbudila všeobecně, byl mi dostatečnou pohnutkou, abych v krátkých rysech podal i našim přátelům přírodních věd obsah přednášky té, použiv materiálu mi Crookesem co nejochotněji na laskavou přímluvu p. prof. Zengra zasláno.

Faraday r. 1816, tehdyž mladík 24letý, pořádaje řadu přednášek, dal jedné z nich název: „O hmotě zářící.“

V přednášce té praví: „Jest-li si myslíme přechod rovněž tak daleko za vypaření, jak tato vzdálenost jest od kapalného stavu, a pakli uvažujeme stupňovanou změnu dle postupných přechodů, tu octneme se blízko, pokud představu si o tom učiniti lze, čtvrtého stavu aggregačního, u hmoty zářící. A jako při přechodu z aggregačního stavu kapalného k plynnému mnohé vlastnosti se ztrácí, tak i zde zajisté tím více mizeti budou.“

Faraday již tenkrát ukazoval, že hmota ve čtyřech tvarech aggregačních se jeví co pevná, kapalná, plynná a zářící a každá jednotlivá modifikace se pak zvláštními vlastnostmi vyznačuje. Připouští, že existence hmoty zářící přímo dokázána není, avšak velmi důmyslnými analogiemi existenci hmoty zářící dokázati se snaží:

„Postupujeme-li od aggregačního stavu pevného ku kapalnému a plynnému, tu ubývá vlastností fysikálních co do množství i rozmanitosti, an každý stav některé ze svých vlastností ztrácí, které náležely ku předešlému. Mění-li se pevná tělesa v tekutá, mizí tvrdost, tvar krystalinický a p., za to nastupuje všeobecná pohyblivost částic.

„Jdeme-li dále ku stavu plynnému, tu ubývá ještě více charakteristických vlastností. Rozdíly váhy mizí zcela, podobně zbarvení. Všeobecnou vlastností stává se průhlednost a pružnost. Tvoří pak pouze řadu látek a veškeré ty rozdíly tvrdosti hustoty, neprůhlednosti, barvy, pružnosti a tvaru, které podmiňují tu nekonečnou řadu těles pevných a kapalných, nahrazeny jsou nepatrným počtem nepatrných rozdílů ve váze a barvě.

„Těm, kteří nestaví se na odpor existenci hmoty zářící, nebude jednoduchost vlastností žádnou obtíž činiti, ti spíše uvidí v ní argument ve prospěch její. Tito zajisté by to podivuhodným našli, kdyby ono ubývání vlastností naznačených u plynného stavu přestati mělo. Poukazují pak na vždy větší namáhání přírody při každém kroku změny tvaru, a jsou toho názoru, že největší namáhání zapotřebí jest při přechodu ze stavu plynného ku tvaru zářícímu.“ (Life and letters of Faraday Vol. I. p. 308.)

Novější bádání o konstituci plynů podává nám je co téměř nekonečné množství malých částic čili molekulů, které se stále v každém jen možném směru s nejrůznějšími rychlostmi pohybují. Poněvadž těchto molekul nekonečné množství jest, naráží jedna na druhou při pohybu. Čím více se ale plyn zředuje, tím méně jest částic a tím také delší dráha, kterou částice proběhnouti může, aniž by na druhou narazila. Střední pak délka této volné dráhy jest obráceně úměrna počtu zbylých molekul po zředění. Čím více tedy zředujeme, tím delší jest průměrná dráha volná, a čím tato stává se větší, tím více mění se fysikální vlastnosti plynu. Tak jsou možny výjevy radiometru jen za určitého zředění, zředuje-li se ještě dále, čili zvětšíme-li ještě více střední volnou dráhu, tu docíliti lze experimentálních vý-

měrou od oněch při obyčejném tlaku a napnutí, že hypothesis o čtvrtém aggregačním stavu, od plynného tak vzdáleného, jako tento od kapalného, sama o sobě se podává.

Střední volná dráha. Hmoty zářící.

Již dávno vyslovil Crookes domněnku, že známý výjev v rourách napluných zředěným plynem za výboje elektrického strojem indukčním v úzké souvislosti jest se zmíněnou již střední volnou dráhou molekulů. Při výboji obklopen jest negativný pol temným místem, jehož rozměry podmiňuje větší neb menší zředění vzduchu v rourě, čili větší neb menší střední volná dráha. Je-li pak zředění nedostatečné, jest zmíněné temné místo též velmi malé. I soudí z toho Crookes, že tato temná prostora střední volnou dráhou zbylých molekul jest — hypothesis, již pokus potvrzuje.

Roura skleněná má ve středu negat. pol (*N*), po stranách pozitivný (*P*). (Fig. 1.) Temná prostora při výboji jest pak ve středu. Je-li zředění malé, jest i temná prostora pramalinká, rozšiřuje se ale po obou stranách valně postupným zředěním, až i na délku jednoho palce po každé straně.

Viděti, kterak indukční jiskra skutečně čáry molekulárního tlaku osvětluje, jež se tvoří vzbuzením negativního polu. Tloušťka této temné prostory jest mírou střední volné dráhy. Nadbytek rychlosti, kterou negativně zelektrované molekuly od polu odletují, zdržuje volnější pohybující se molekuly, které se k polu pohybují. Sražení stane se na hranici temné prostory, kdež svítící okraj dokladem jest intensity výboje.

Rozměr střední volné dráhy jest tedy tak velký, že se i s rozměry roury skleněné porovnatí dá, jak pokusem dokázat lze, a nemáme tu více co činiti s nepřetržitým dilem hmoty, jak by se vše měla při menším zředění, zde se musí molekula každá o sobě uvažovati. V těchto velmi zředěných nádobách lze molekulám *residua plynu* mnohem větší dráhu volně proběhnouti, a pakli probíhají od polu s velikou rychlostí, tu nabývají tolik nových a charakteristických vlastností, že nové označení „zářící hmoty“ dle Faradaye zcela oprávněno jest.

Hmota zářící vzbuzuje tam, kam dopadá, prudký fosforogenický účinek.

Naznačeno bylo, že na pokraji temné prostory nárazy molekul na sebe účinek světelný se vzbudil. Naráží-li částice ty na stěny skla, objevuje se nová zajímavá vlastnost hmoty zářící, jež se od negativního polu vybijí: že vzbuzuje fosforescenci. Tak fosforuje uranové sklo tmavozeleně, anglické sklo modře, měkké německé sklo nazelenavě, jak se přesvědčiti lze, podobíme-li sklo účinku zářícího výboje.

(Uspořádání pokusu fig. 2. a) uran. sklo, b) angl., c) něm. sklo.)

Jiné látky, jako sírník vápenatý, stávají se za molekulárního výboje silněji fosforescentními, nežli za jiného osvětlení. Podobně phenakit, smaragd, rubin, dýmánek.

Aby výjev v celé své dokonalosti se objevil, zapotřebí zvláštního stupně zředění. Při zředění na jednu milliontinu atmosféry objevuje se výjev v celé své kráse, při dalším zředění fosforescence ubývá, až konečně jiskra nepřechází. *)

Odvislost fosforescence skla od stupně zředění dá snadno znázorniti se přístrojem. (Fig. 3.) Roura skleněná, do níž zasahují poly (*p*) a (*n*), je ve spojení s menší rourou, naplněnou kaustickým draslem. Plyn v rourě jest silně zředěn, zahřátím pak drasla vyvinují se páry, čímž nastane zhuštění, po vyčerpání par těchto, opětím zahřátí a opětím vyčerpání dostoupí zředění takového stupně, že jiskra nepřechází. Jakmile se poněkud ohřeje, vystupují z drasla páry vodní a také v tom okamžiku lze viděti rouru, ana fosforuje v zeleném světle. Silnějším

*) Veškeré uvedené experimenty provedl William Crookes v přednášce při shromáždění „British Association“ s neobyčejně skvělým výsledkem.

*) Philos. Trans. 1785. Vol. LXXV. pag. 272. Jakým způsobem Crookes zředění toho docílil, naznačeno jest na konci tohoto článku.

MĚŘENÍ PRŮBĚHU OSVĚTLENÍ A JEHO HODNOT PŘI POUŽITÍ FOTOBLESKU

Vít Bednář¹, Jiří Tesař², Vladimír Vochozka¹

¹ Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Pedagogická fakulta, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 306 14 Plzeň; vbednar@pf.jcu.cz

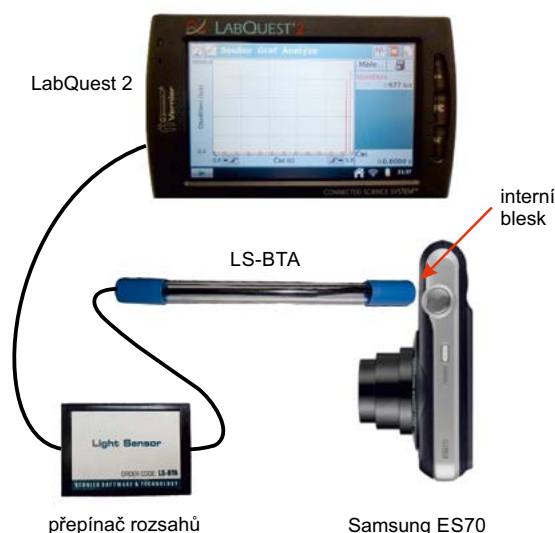
² Katedra aplikované fyziky a techniky, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice

V tomto příspěvku ukážeme, jak lze proměřování fotometrických charakteristik fotoblesku pomocí světelného čidla systému Vernier využít při výuce fyziky na středních školách.

Většinu učebnic fyziky pro základní, resp. střední školy nalezneme kapitolu zabývající se fotometrií (viz např. učebnici [1], sbírku příkladů [2] a návody k pokusům [3]). V této oblasti výuky fyziky se žáci zabývají především světelným tokem (Φ), svítivostí (I) a intenzitou osvětlení (E). Charakterizují bodový světelný zdroj, přičemž mohou zkoumat jeho účinky, vlastnosti a ty lze matematicky vyjádřit vztahem –

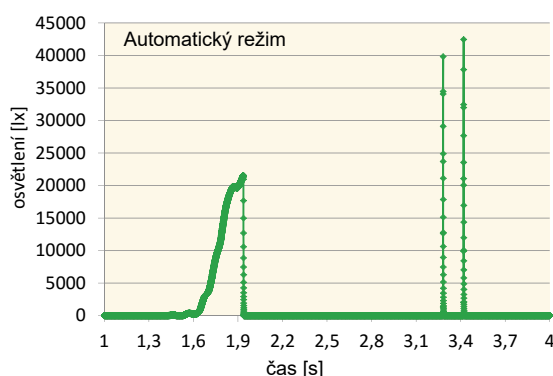
$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha.$$

Velikost osvětlení bodového zdroje je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti od světelného zdroje, pokud zaznamenávající čidlo a světelný zdroj jsou ve stejné rovině. Toto lze v praxi jednoduše ověřit pomocí



Obr. 1 Schéma zapojení pro záznam fotoblesku.

luxmetru. Na KAFT v Českých Budějovicích bylo využito světelné čidlo od systému Vernier k měření velikosti a průběhu osvětlení v závislosti na čase při použití fotografického blesku, viz obr. 1 [4]. Téměř každý fotoaparát je vybaven interním fotobleskem, tzv. *built-in* bleskem. Tyto fotoaparáty umožňují nastavit různé možnosti pro fotografování, mezi ty nejzákladnější patří např. automatické fotografování pro různé scény,

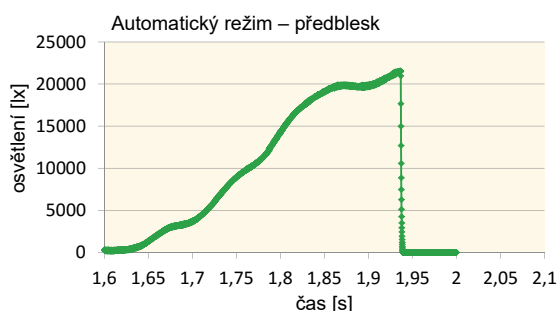


Obr. 2 Průběh osvětlení a jeho hodnoty při použití fotoblesku – automatický režim. (Grafy byly pro potřeby dostatečného rozlišení zpracovány na základě naměřených dat v programu Microsoft Excel.)

korrekce a kompenzace červených očí, popř. vlastní nastavení fotoaparátu.

Systém Vernier disponuje měřicím zařízením LabQuest 2, které má v sobě integrováno světelné čidlo [5]. Toto čidlo má maximální vzorkovací frekvenci 20 Hz a lze ho tak použít pro experimenty, kde není zapotřebí velkých frekvencí. Vhodnější alternativou je využití zařízení LabQuest 2 spolu s externím světelným čidlem LS-BTA, pomocí nichž lze nastavit velmi vysoké vzorkovací frekvence [6].

Pro měření je vhodné nastavit frekvenci 10 kHz. Pokud by byla využita malá frekvence, nemuselo by dojít k detekci hlavního fotoblesku. Čidlo LS-BTA bylo umístěno přímo před fotoaparátem, jeho maxi-



Obr. 3 Průběh předblesku – automatický režim.

Fotometrie v úlohách fyzikálních olympiád

Jan Kříž^a, Ľubomír Konrád^b, Filip Studnička^a, Bohumil Vybíral^a

^a Ústřední komise Fyzikální olympiády, Univerzita Hradec Králové, Rokitského 62, 500 03 Hradec Králové

^b Gymnázium, Veľká okružná 22, 010 01 Žilina

Poměrně překvapivě fotometrie nepatří k oblíbeným tématům fyzikálních olympiád. Do syllabu Mezinárodní fyzikální olympiády [1] byla explicitně přidána až v roce 2015 při zasedání mezinárodní rady v Bombaji v Indii. V archivech se nám podařilo dohledat dvě úlohy, které fotometrii obsahují. První z nich je experimentální úloha *Fotometr a zkoumání odraženého světla* z jedné z běloruských fyzikálních olympiád. Druhá úloha je teoretická a byla zadána na 37. mezinárodní fyzikální olympiádě v roce 2007 v Íránu. První ze tří částí této úlohy se nazývá „Fotometrie dvojhvězd“. Originální text zadání a řešení této úlohy je k nalezení na webu [2].

V paměti autorů tohoto příspěvku je i „fotometrická“ experimentální úloha z celostátního kola 34. ročníku fyzikální olympiády, jejíž text se ale bohužel nepodařilo dohledat. Zajímavostí tohoto ročníku bylo, že v jeho průběhu došlo k rozdělení Československa. Celá soutěž proběhla ještě ve federálním duchu, včetně společného celostátního kola v Žilině. Nicméně již na tomto celostátním kole byli vyhlášeni dva vítězové a vydány dvě výsledkové listiny. Společně poté probíhal i výběr a příprava na Mezinárodní fyzikální olympiádu do USA, kam však odjely dvě samostatné delegace.

Předložené úlohy jsou volným překladem autorů tohoto příspěvku.

Úloha bieloruskej fyzikálnej olympiády „Fotometer a skúmanie odrazeného svetla“

Nie vždy máme po ruke prístroj umožňujúci meranie intenzity svetla. V tejto úlohe použijeme fotočlánok z obyčajnej (čínskej) kalkulačky. Treba overiť jeho

funkčnosť a potom pomocou neho preskúmať závislosť intenzity odrazeného svetla od uhla dopadu.

Pomôcky: zdroj svetla – lampa (so žiarovkou a baterkou) na podstavci, fotočlánok kalkulačky s multimetrom, rezistor 150 kΩ, spojná šošovka, tienidlo so stupnicou, rovné pravítko 40 cm, sklenená doštička, nastriekané zrkadlo (hrubé, sklenené), kovové zrkadlo (malé na sklíčku), súprava neutrálnych svetelných filtrov, plastelína, lepiaca páska, magnetická disketa.

Pozor! Aby ste úspešne vyriešili úlohu, držte sa nasledujúcich pravidiel:

1. Váš pracovný stôl je upravený tak, že je pokrytý bielym papierom – môžete na papier kresliť, písať, čmárať.
2. Optické prístroje (najmä odrazové povrchy) by mali zostať čisté. Snažte sa ich nedotýkať prstami, občas ich pretrite servítkou.
3. Plastelínu a lepiacu pásku používajte na uchytenie pomôcok.
4. Kalkulačku zakryte čiernou disketou tak, aby jej otvor bol nad fotočlánkom.
5. V optických meraniach je potrebná zručnosť, preskúšanie aparatury a jej konečná úprava. Neľutujte čas venovaný starostlivému nastaveniu meracej zostavy.
6. Pri meraní intenzity pripojte k fotočlánku rezistor a pomocou multimetra odmerajte na ňom napätie, ktoré bude ukazovateľom intenzity.
7. Neustále monitorujte (merajte) signál pozadia (napätie na rezistore pri vypnutej lampe). Dbajte, aby pozadie bolo slabé (zatemnite alebo zhasnite vedľajšie zdroje svetla), určte signál pozadia z výsledkov základných meraní.
8. Baterka lampy sa môže dosť rýchlo vybiť, preto lampu zapínajte iba počas merania.
9. Vo všetkých meraniach sa snažte, aby bol osvetlený celý fotočlánok.
10. Vo všetkých meraniach sa snažte využiť celý rozsah multimetra.
11. V každej časti sú samozrejmosťou schémy zariadení (optickej časti) – poloha všetkých optických prvkov, vzdialenosti medzi nimi, uhly, predpokladaný chod svetelných lúčov.



Minsk, Bělorusko



Richard Lednický

a jeho cesta částicovou fyzikou

Jan Hladký

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; hladky@fzu.cz

V letošním roce jsme si připomínali šedesátileté výročí založení Spojeného ústavu jaderných výzkumů v Dubně u Moskvy, u kterého byla od začátku rovněž jedna z jeho členských zemí – Československá republika [1]. Ve strukturách Spojeného ústavu sehráli během jeho existence českoslovenští vědci význačnou roli již od jeho založení.

Prestižní vědeckou funkci, zástupce ředitele Spojeného ústavu jaderných výzkumů (SÚJV v Dubně), zastávalo několik československých vědců. Jako první toto místo zastával prof. Václav Votruba, DrSc., od založení ústavu v roce 1956 do roku 1960. V dalších obdobích tuto funkci zastávali prof. Ivan Ůlehla, DrSc., 1964–1967, prof. Čestmír Šimáně, DrSc., 1973–1977, prof. Marian Gmitro, DrSc., 1986–1989, a nakonec prom. fyz. Richard Lednický, DrSc., dr. h. c., od roku 2006 dosud. Ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů Dubna působí Richard Lednický celou řadu let. Připomeňme si proto jeho celoživotní dráhu podrobněji.

Narodil se těsně po skončení druhé světové války, 14. října 1945 v Ostravě-Vítkovicích v kulturně orientované rodině úspěšného obchodníka Jana Lednického, který však zemřel již krátce po jeho narození, v roce 1946. Investoval rovněž do nákupu knih a jejich krásných vazeb, což Richarda Lednického již od mládí silně ovlivnilo.

Rodina se po smrti otce – živitele – často stěhovala po severní Moravě. Richard Lednický navštěvoval gymnázium v Novém Bohumíně. Jeho učitelem matematiky a fyziky se stal profesor František Živný, který byl velmi aktivním organizátorem fyzikálních a matematických olympiád na severní Moravě. Rozpoznal jeho talent, oblíbil si ho proto a doporučil mu pokračovat ve studiu na Fakultě technické a jaderné fyziky Českého vysokého učení technického v Praze. Studium na novobo-



Obr. 1 R. Lednický na gymnáziu – střední řada, druhý zprava.



Obr. 2 R. Lednický při získání diplomu promovaného fyzika na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze v Karolinu.

humánském gymnáziu (obr. 1), které ukončil maturitní zkouškou, tamější účast v matematických, fyzikálních a chemických olympiádách a další pokračování ve studiu na Fakultě technické a jaderné fyziky zcela ovlivnily zvědavost R. Lednického a předurčily jeho budoucnost jako pracovníka v oblasti vědeckého výzkumu.

Po čtyřech letech studia na Fakultě technické a jaderné fyziky ČVUT v Praze přijal nabídku děkana fakulty profesora RNDr. Václava Petržílky, DrSc., dokončit vysokoškolské vzdělání na pobočce Moskevské státní univerzity v Dubně. Odjel tam v září 1967 společně s dalšími čtyřmi studenty fakulty – Josefem Liptákem, Pavlem Rehákem, Štefanem Valkárem a Drahoslavem Venosem (o rok dříve přijeli do Dubny i studenti Jiří Michalčák, Pavel Obložinský a Ivan Rybanský). Tam většinou přednášeli i světoznámí vědci – teoretici a experimentátoři – pracovníci Spojeného ústavu jaderných výzkumů, který v té době představoval jedno z vedoucích světových pracovišť v oboru jaderné a částicové fyziky.

Jako většina studentů matematicko-fyzikálních oborů i v Československu si rovněž mladý Richard Lednický oblíbil zejména teoretické přednášky. Velmi si vážil možnosti poslouchat je a dále také diskutovat s osobnostmi, jako byl tehdejší ředitel Spojeného ústavu jaderných výzkumů Dimitrij Ivanovič Blochincev – autor známé učebnice kvantové mechaniky a vedoucí projektů první atomové elektrárny a také prvního reaktoru pracujícího s rychlými neutrony – nebo Bru-