

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU

VĚDECKO-POPULÁRNÍ ČASOPIS ČESKÝCH A SLOVENSKÝCH FYZIKŮ / recenzovaný dvouměsíčník



Fyzika
zemědělských
produktů
a potravin

Hallovy senzory

Valení: pokusy
a výpočty

Fyzikální okénko
poesie

Akustika stále
živá



ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU

2/2017

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: duben 2017

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 redaktori – 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:**
Ondra M. 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 © 2017
Institute of Physics of the ASCR, v. v. i.



Editorial



Vážení čtenáři,

prvním příspěvkem tohoto čísla je obsáhlý referát profesora Jiřího Blahovce věnovaný elektrickým a optickým vlastnostem zemědělských produktů a potravin. Autor právě oslavil 75. narozeniny. K životnímu jubileu mu samozřejmě blahopřejeme a přejeme mnoho zdraví, štěstí a úspěchů do dalších let. Druhý referát pojednává o Hallovyých senzorech. Především těch, jež jsou využívány k měření magnetických polí ve fyzice a technice magneticky drženého fúzního plazmatu. V rubrice „Dokument“ k tomuto tématu reprodukuje příslušný oddíl učebnice teorie elektřiny a magnetismu profesora Františka Kolářka. Je jistě zajímavé, jak bylo na Hallův jev pohlíženo ještě za života jeho objevitele, jen čtvrtstoletí od objevu učiněného v roce 1879. Nepřekvapí nás, že současný význam Hallova jevu a jeho využití jak pro základní fyzikální výzkum, tak v technické fyzice nepředjímá v té době asi nikdo.

Akustika náleží k fyzikálním oborům, jejichž konstituování započalo již ve starověku. Že je i po těch téměř třech tisícovkách let v dobré kondici, svědčí zpráva profesora Karla Vokurky o historickém vývoji Odborné skupiny 09-Akustika při Fyzikálně vědecké sekci Jednoty československých matematiků a fyziků (OS Akustika při FVS JČSMF) a akustické příklady objevující se pravidelně mezi úlohami fyzikálních soutěží. V rubrice „Mládež a fyzika“ přinášíme úlohu ze slovenské FO nazvanou „Stan ako akustická sošovka“ a příklady z Fyzikálního korespondenčního semináře věnované dechovým hudebním nástrojům.

Abychom oživilí obvyklé žánrové schéma našeho časopisu aktualita-zkratka-referát-zpráva-příklady, rozhodli jsme se uveřejnit překlad básně ruského modernisty Daniila Charnse (1905–1942), jenž se fyzikou zabýval při svých nedokončených polytechnických studiích v Petrohradě. Jeho životní běh i dílo jsou většinou dosti pochmurné. V dnešní nepříliš radostné (i když jistě platí, jak pro koho) době nám připomene, že vždy může být i huře. Báseň doprovází původní ilustrace vytvořená pro náš časopis nadaným umělcem Cyrilem Kozákem, pozoruhodně vystihující atmosféru básně.

Aktivita nastupující generace fyziků osvětluje ještě dva příspěvky. Jeden vychází z gymnaziálního studentského projektu realizovaného na poli mechaniky valivých pohybů. Druhý nás seznámí s průběhem 11. ročníku FYKOSího Fyziklání, kde se potkávají a utkávají čeští a slovenští studenti.

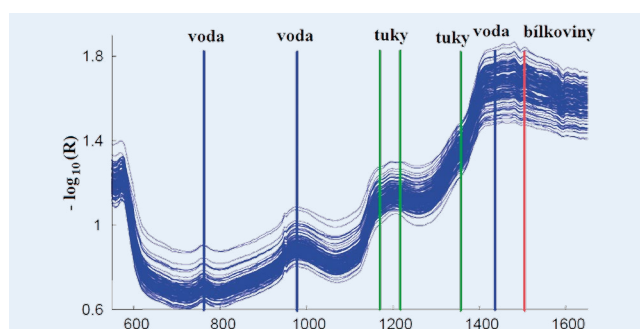
Toto číslo časopisu uzavírá rozhovor pořízený k životnímu jubileu významného numerického matematika profesora Michala Křížka, bývalého dlouholetého vedoucího redaktora Pokroků matematiky, fyziky a astronomie. Rozhovor s ním vedla Jana Žďárská, tajemnice Kosmologické sekce České astronomické společnosti.

*Libor Juha
vedoucí redaktor*

Obsah

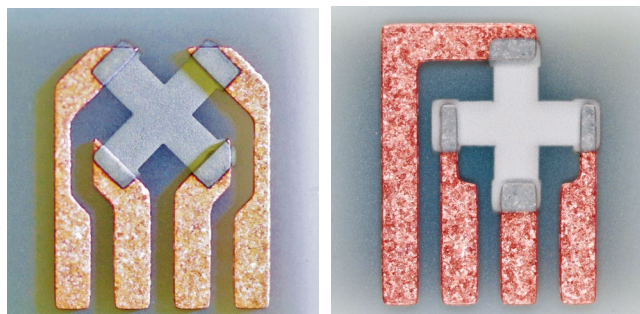
REFERÁTY

Elektrické a optické vlastnosti zemědělských produktů a potravin 60
Jiří Blahovec



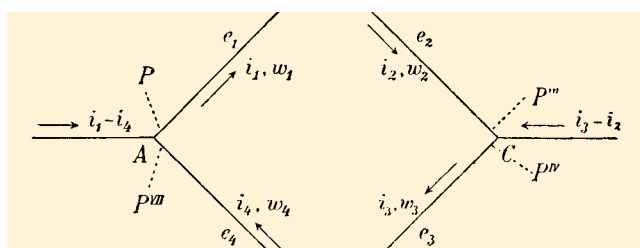
REFERÁTY

Kovové Hallové senzory 91
Slavomír Entler, Ivan Ďuran



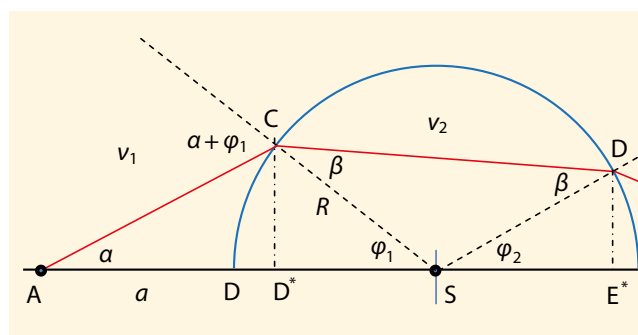
HISTORIE FYZIKY – DOKUMENT

Rozvětvení proudů; zákony Kirchhoffovy; proud v mediích anizotropních; Hallův jev; Rowlandův pokus 101
František Kolářek



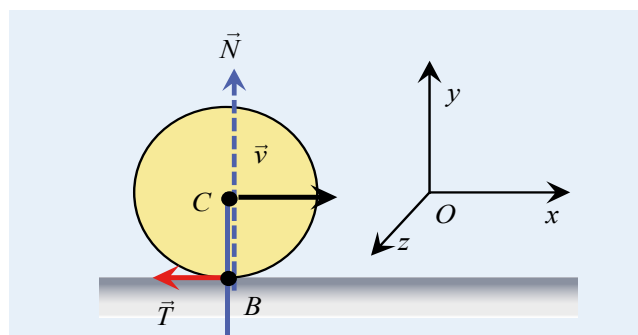
MLÁDEŽ A FYZIKA

Fyzikální soutěže a akustika 106
Lubomír Konrád, Jan Kříž, Filip Studnička,
Jiří Lipovský, Bohumil Vybíral



MLÁDEŽ A FYZIKA

Valení – teorie a experiment gymnaziální studentský projekt 109
Jiří Bartoš, Jana Musilová, Luboš Vozdecký



FYZIKA A SPOLEČNOST

Fyzik si zlomil nohu 118
Daniil Charms



Obrázek na obálce: Ovoce (zdroj: creativehdwall-papers.com). Více na str. 60–90.

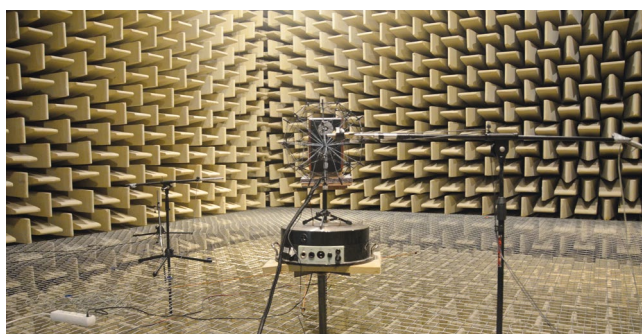
Menší vložený obrázek: Hallův senzor s bismutovou detekční vrstvou. Více na str. 91–100.

ZPRÁVY

Příspěvek k historii Odborné skupiny Akustika

Karel Vokurka

119



ZPRÁVY

Prebehlo 11. FYKOSí Fyziklání

Daniel Dupkala, Patrik Lamoš, Martin Píala

121



ROZHOVOR

Ve víru kosmologických paradoxů

Rozhovor Bc. Jany Žďárské s prof. Michalem Křížkem u příležitosti jeho 65. narozenin

Jana Žďárská, Michal Křížek

123



Abstracts of review articles

Jiří Blahovec: Electrical and optical properties of agricultural products and foods

Abstract: Electrical properties of agricultural products depend on the distribution and transport of electric charges occurring in their structure. Light is electromagnetic radiation with a wavelength corresponding to a photon energy of few electron volts. From a first principal's point of view, electrical properties of agricultural products can be divided into two fundamentally different groups, i.e. active and passive electric properties. Passive electrical properties are very close to the electrical properties of non-living objects, which react with the presence of an electromagnetic field at the lowest, i.e. atomic and particularly molecular, levels. These properties are very important from an engineering point of view. The methods of measurement of these properties and the obtained data represent the main content of this contribution.

Slavomír Entler, Ivan Ďuran: Metallic Hall sensors

Abstract: Metallic Hall sensors represent a radiation and heat-resistant alternative of semiconductor Hall sensors and enable measurement of the magnetic field ionizing radiation and high temperature environments, where semiconductor sensors fail. They are primarily intended for future fusion power plants. The Institute of Plasma Physics of the CAS develops metallic Hall sensors in collaboration with the ITER International Fusion Energy Organization, the Institute of Physics of the CAS, the Research Centre Rez, Petr Sladek and HVM Plasma companies. In December last year, metallic Hall sensors successfully passed the ITER final design review. Sixty outer vessel steady-state magnetic sensors units will be distributed in three vacuum vessel sectors of ITER as a subsystem of the ITER magnetic diagnostics. Each sensor unit features a pair of metallic Hall sensors with a sensing layer made of bismuth. They will contribute to the measurement of the plasma current, plasma-wall clearance, and local perturbations of the magnetic flux surfaces close to the wall. This article reviews the design of these sensors, their manufacturing technology, the signal processing and their extensive testing.

Jiří Bartoš, Jana Musilová, Luboš Vozdecký: Rolling – theory and experiment

Abstract: This paper presents results of a secondary school student project in rolling mechanics. Various aspects of rolling motions are studied, particularly conditions for rolling without slipping, a description of rolling with slipping, and conditions for transitions between the two. Theoretical results and conclusions are verified by simple experiments, the data being treated by an open source software, Tracker (appropriate for secondary school level use), and processed by the least squares method using theoretical models. It is demonstrated that rotational and rolling motions, considered difficult for students, can be treated elementarily even at the secondary school or university bachelor level and solved by students themselves and therefore demonstrate how such a project can develop their thinking.

Elektrické a optické vlastnosti zemědělských produktů a potravin



„Kdo nezná zákony elektrické energie,
nezná ani zákony energie vodní.
Jedny zákony prostupují druhé.“

Victor Hugo: Muž, který se směje

Jiří Blahovec

Katedra fyziky, Česká zemědělská univerzita Praha, 165 21 Praha 6-Suchbát

Většina elektrických vlastností zemědělských materiálů nějakým způsobem souvisí s rozložením a transportem elektrických nábojů, které se v nich nacházejí. Světlo je elektromagnetické záření o vlnové délce odpovídající fotonům s energiemi elektronvoltů. Optické vlastnosti látek tedy úzce souvisí s jejich elektronovou strukturou. Z principiálního hlediska můžeme elektrické vlastnosti zemědělských materiálů rozdělit do dvou výrazně se odlišujících skupin [1], tj. elektrických vlastností *aktivních a pasivních*. Pasivní elektrické vlastnosti jsou velmi blízké elektrickým vlastnostem objektů neživé přírody a odrážejí reakce materiálu na přítomnost elektromagnetického pole obvykle na té nejnižší, tj. atomové, částečně molekulární úrovni. Z inženýrského hlediska jsou tyto vlastnosti velmi důležité a údaje o nich a o způsobech jejich měření představují podstatnou část této kapitoly.

1 Transport elektrického náboje

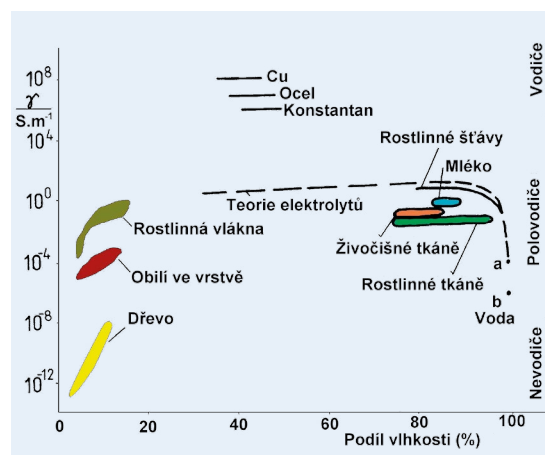
Transport elektrického náboje Q (jednotka coulomb – C) plochou S (jednotka m^2) za jednotku času je vyjádřena proudovou hustotou $i = Q/(St) = I/S$, jejíž jednotkou je $A \cdot m^{-2}$ (nebo též $C \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Veličina I se nazývá intenzita elektrického proudu s jednotkou ampér (A), jednou ze základních jednotek SI. Při ustáleném toku náboje je vztah mezi proudovou hustotou i a intenzitou elektrického pole E (jednotka $V \cdot m^{-1}$) vyjádřen vztahem:

$$i = \gamma E = -\gamma \frac{dU}{dx}, \quad (1)$$

v němž γ je konduktivita elektrického proudu a dU/dx je příslušný gradient napětí. Elektrická konduktivita γ (jednotka $S \cdot m^{-1}$) je charakteristickou veličinou materiálu, která je přímo úměrná hustotě a pohyblivosti nositelů elektrického náboje v materiálech. Její hodnota

se pohybuje ve velmi širokém rozmezí od $\sim 10^{-15} S \cdot m^{-1}$ u izolantů až po $\sim 10^8 S \cdot m^{-1}$ u kovových vodičů. Její další významný růst můžeme zaznamenat u supravodivých materiálů. Elektrický náboj je svým způsobem „kvantován“, to znamená, že existuje elementární náboj $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$ (v absolutní hodnotě náboj základních elektricky nabitých stavebních prvků hmoty: elektronů a protonů) a všechny další elektrické náboje vyskytující se v inženýrské oblasti a také prakticky v téměř celé fyzice jsou celistvými násobky tohoto elementárního náboje.

Zemědělské produkty jsou charakteristické tím, že nositeli elektrického náboje v nich jsou disociované ionty. Hustota disociovaných iontů v těchto materiálech závisí jednak na jejich přítomnosti v materiálu a jednak na stupni jejich disociace. Stupeň disociace iontů, ale i jejich pohyblivost je určena především přítomnou vodou. Výsledkem těchto komplexních vztahů



Obr. 1 Schematické znázornění elektrické vodivosti zemědělských materiálů v závislosti na jejich vlhkosti: a – destilovaná voda, b – opakovaně destilovaná voda.

Kovové Hallovy senzory

Slavomír Entler, Ivan Ďuran

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., Za Slovankou 3, 182 00 Praha 8; entler@ipp.cas.cz

Kovové Hallovy senzory představují radiačně a tepelně odolnou alternativu polovodičových Hallovyých senzorů. Umožňují měřit magnetické pole v prostředí s ionizujícím zářením a za vysokých teplot, kde polovodičové senzory selhávají. Primárně jsou určeny pro budoucí termojaderné elektrárny. Ústav fyziky plazmatu AV ČR vyvíjí kovové Hallovy senzory ve spolupráci s ITER International Fusion Energy Organization, Fyzikálním ústavem AV ČR, Centrem výzkumu Řež a společnostmi Petr Sládek a HVM Plasma. V prosinci minulého roku byly vyvinuté senzory schváleny pro měření magnetického pole v mezinárodním termojaderném reaktoru ITER.

Hallův jev

Hallův jev byl poprvé popsán Edwinem Herbertem Hallem v roce 1879. S cílem studovat vliv magnetického pole na elektrický odpor nechal E. H. Hall protékat elektrický proud přes tenkou zlatou fólii na skleněném podkladu a vystavil ji působení magnetického pole. V průběhu experimentu si však všiml, že po stranách fólie vzniká elektrické napětí. Další experimenty odhalily, že neznámé napětí je přímo úměrné elektrickému proudu protékajícímu fólií a také velikosti působícího magnetického pole. Svá zjištění pak E. H. Hall popsal v článku „On a New Action of the Magnet on Electric Currents“ [1].

Při současném působení elektrického a magnetického pole dochází ve vodičích a polovodičích k oddělení kladného a záporného náboje a ke vzniku nového elektrického pole označovaného na památku E. H. Halla jako Hallovo pole. Příčinou jevů je Lorentzova síla působící na volné nosiče náboje tvořící elektrický proud. Tyto nosiče jsou vychylovány ze svého původního směru k jedné straně vodiče (obr. 1).

Nerovnoměrné rozdělení náboje vytváří elektrické pole, které silově působí proti silovému působení magnetického pole a generuje elektrické napětí orientované kolmo ke směru elektrického proudu. Velikost napětí lze určit podle jednoduchého vztahu:

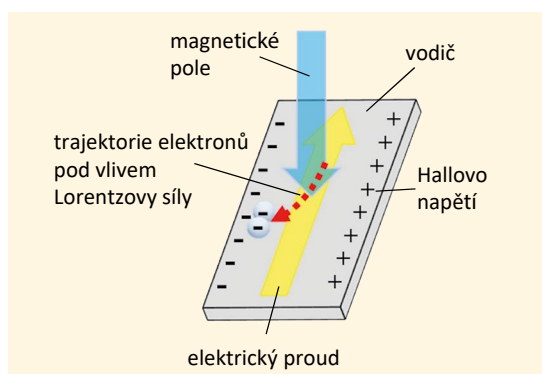
$$U_H = R_H \frac{IB}{t}, \quad (1)$$

kde U_H označuje Hallovo napětí, I elektrický proud, B magnetické pole kolmé k rovině vodiče, t tloušťku vodiče a R_H Hallovu konstantu:

$$R_H \approx \frac{1}{qn}, \quad (2)$$

kde q označuje elektrický náboj volných nosičů náboje a n jejich hustotu. Hallova konstanta je obecně nelineárně závislá na teplotě vodiče a na velikosti magnetického pole [2].

Rovnice (1) popisuje normálový Hallův jev vyvolaný složkou magnetického pole kolmou k rovině vodiče. V roce 1954 byl C. Goldbergem a R. E. Davisem popsán



Obr. 1 Schematický náčrtek Hallova jevu.

jiný podobný jev – planární Hallův jev [3]. Ten vzniká, na rozdíl od normálového Hallova jevu, při působení planárního magnetického pole v rovině vodiče. Působením Lorentzovy síly na volné nosiče náboje v planárním magnetickém poli také vzniká elektrické napětí kolmo k toku elektrického proudu. Toto napětí, označované jako planární Hallovo napětí, je však na rozdíl od normálového Hallova napětí úměrné druhé mocnině velikosti magnetického pole:

$$U_P = P_H \frac{IB^2}{2t}, \quad (3)$$

kde U_P je planární Hallovo napětí, P_H je planární Hallova konstanta a B je magnetické pole působící v rovině vodiče pod úhlem 45° ke směru toku elektrického proudu. Podobně jako v případě normálového Hallova jevu je planární Hallova konstanta obecně nelineárně závislá na teplotě vodiče a na velikosti magnetického pole [2].

Na obr. 2 jsou zobrazeny čtyři konfigurace vektorů magnetického pole (modrá barva) a elektrického proudu (žlutá barva). Pokud magnetické pole působí kolmo k rovině vodiče, pak je normálový Hallův jev nejsilnější a planární Hallův jev nenastává (obr. 2a). Pokud magnetické pole působí v rovině vodiče, normálový Hallův jev nenastává, avšak lze detekovat planární Hallův jev, který je nejsilnější, pokud vektor magnetického pole svírá úhel 45° s vektorem elektrického proudu (obr. 2b).

Rozvětvení proudů; zákony Kirchhoffovy; proud v mediích anizotropních; Hallův jev; Rowlandův pokus

František Koláček

9. 10. 1851 Slavkov – 8. 12. 1913 Praha, matematik, fyzik, profesor na pražské univerzitě a technice v Brně

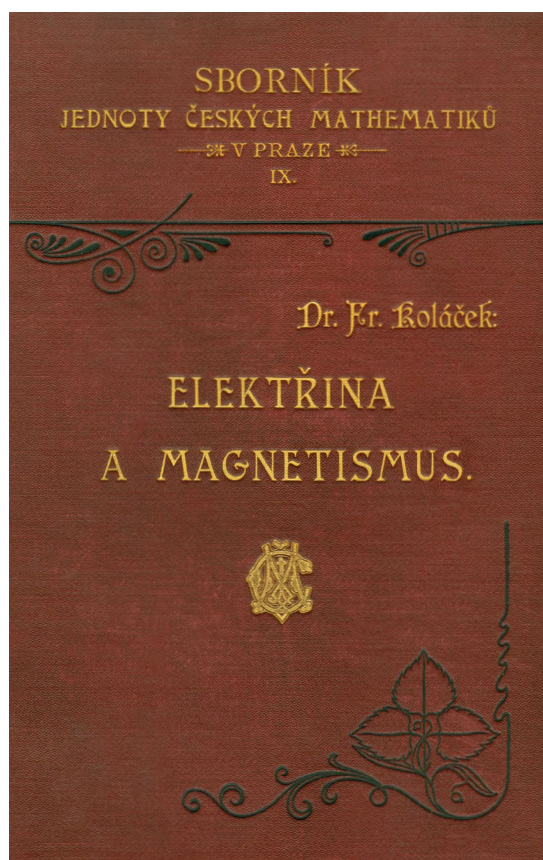
[*Elektřina a magnetismus. Výklady theoretické*. Nákladem Jednoty českých matematiků, Praha 1904, s. 240–246]

Druhý referativní článek uveřejněný v tomto čísle pojednává o senzorech měřících magnetická pole s využitím jevu objeveného v roce 1879 americkým fyzikem Edwinem Hallem (1855–1936). Podstata Hallova jevu je vysvětlena v úvodu zmíněného článku. Nebudeme zde tento výklad opakovat. Rádi bychom však ukázali, jak bylo na Hallův jev nahlíženo v prvních učebnicích fyziky elektrických a magnetických jevů. Přinášíme zde příslušnou kapitolu z dobové učebnice významného českého teoretického fyzika Františka Koláčka (1851–1913). Narodil se ve vlivné měšťanské rodině ve Slavkově. Ve věku devíti let zahájil studium na německém gymnáziu v Brně, kde úspěšně maturoval v roce 1868. Studovat začal na pražské univerzitě, avšak po roce přešel na vídeňskou univerzitu, kde po složení příslušných zkoušek získal aprobaci pro výuku matematiky a fyziky na vyšších gymnáziích v jazyce českém i německém. Doktorát pak obdržel v roce 1877 na pražské univerzitě. Po krátkém působení středoškolského profesora se v roce 1882 habilitoval na brněnské německé tech-

nice. Tamní docentury se však po dvou letech vzdal. Několikrát byl navrhován na místo řádného profesora matematické fyziky na české univerzitě v Praze. Jmenován však byl až po smrti profesora Seydlera v roce 1891. V roce 1900 se vrátil do Brna, kde působil na české technice jako profesor experi-



František Koláček



mentální fyziky. Když byl po dvou letech znovu jmenován na pražskou univerzitu, vystřídal jej v Brně Vladimír Novák. František Koláček zemřel náhle v Praze na Vinohradech 8. prosince 1913 na srdeční mrtvici. Jeho učebnice „Elektřina a magnetismus. Výklady theoretické“ je dodnes vyhledávána nejen historiky fyziky.

Fyzikální soutěže a akustika

Ľubomír Konrád², Jan Kříž¹, Filip Studnička¹, Jiří Lipovský³, Bohumil Vybíral¹

¹ Ústřední komise Fyzikální olympiády, Univerzita Hradec Králové, Rokitského 62, 500 03 Hradec Králové

² Gymnázium, Velká okružná 22, 010 01 Žilina

³ Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové, Rokitského 62, 500 03 Hradec Králové

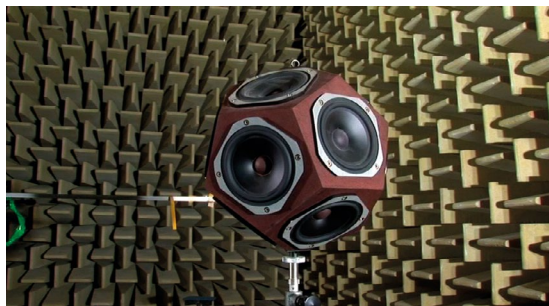
Akustika není překvapivě obvyklým tématem úloh fyzikální olympiády, jak jsme už konstatovali na stránkách Československého časopisu pro fyziku v roce 2015 [1]. Ačkoliv např. v sylabu Mezinárodní fyzikální olympiády (MFO) [2] nalezneme: „... zvukové vlny – rychlost jako funkce tlaku (Youngův modul) a hustoty, Machův kužel...“, v archivu MFO jsme objevili jedinou úlohu s akustickým tématem, kterou jsme však už zveřejnili v příspěvku [1]. Velmi zajímavá úloha se naskytla v celostátním kole slovenské fyzikální olympiády. Tato úloha byla zadána v roce 2015 a zde přinášíme její text převzatý z [3]. Druhou úlohu s akustickou tematikou (úloha se týká dokonce hudební akustiky) jsme našli v archivu korespondenčního semináře FYKOS, viz např. [4]. Úloha byla zadána v 19. ročníku FYKOSu ve školním roce 2005/6. Níže uvedený text úlohy je převzatý z [5].

TEORETICKÁ ÚLOHA CELOSTÁTNEHO KOLA 56. FO SR: Stan ako akustická šošovka

Zvuk sa šíri v plyne rýchlosťou, ktorá závisí od tlaku p a hustoty ρ vzduchu. Meraním bolo zistené, že pri tlaku $p = 101 \text{ kPa}$ a teplote $t = 20 \text{ °C}$ je rýchlosť zvuku vo vzduchu $v = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- a) Predpokladajte závislosť rýchlosti v zvuku v plyne ako funkciu $v^\alpha = k p^\beta \rho^\gamma$, kde k je faktor (bezrozmerný) nezávislý od tlaku p a hustoty ρ plynu. S použitím rozmerovej analýzy ukážte, že uvedený vzťah je rozmerovo možný, určte hodnoty exponentov α , β a γ a napíšte výsledný tvar funkcie. S použitím výsledkov merania rýchlosti zvuku vo vzduchu určte hodnotu faktora k pre vzduch.

Na rovinnej ploche sa nachádza stan z jemnej tenkej látky tvaru polgule s polomerom R . Vonku je teplota vzduchu t_1 a v klimatizovanom vnútornom stane je tep-



Umělý všesměrový zdroj zvuku v akustické bezodrazové komoře sloužící ke studiu akustiky. Zdroj: Quentar, Michal Starosta, Tomáš Solár

lota $t_2 < t_1$. Zistilo sa, že ak sa na jednej strane v mieste A vo vzdialenosti a pred stanom rozprávajú dvaja ľudia, je v určitom mieste B vo vzdialenosti b za stanom celkom dobre počuť ich rozhovor.

- b) Nakreslite obrázok, v ktorom vyznačíte chod lúča z bodu A do bodu B. Predpokladajte, že výška osôb je oveľa menšia ako výška stanu – v modeli uvažujte body A a B na úrovni rovinatej plochy, v ktorej sa nachádza podstava stanu.
- c) Pre danú vzdialenosť a určte vzdialenosť b pre lúč, ktorý sa iba málo odchyľuje od akustickej osi sústavy. Pozn.: Pre malé uhly uvažujte približné vzťahy $\sin \alpha \approx \alpha \approx \tan \alpha$.
- d) Určte minimálnu hodnotu a_m vzdialenosti a , pri ktorej možno uvedený jav pozorovať.

Molárna hmotnosť vzduchu $M = 29,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, molárna plynová konštanta $R_m = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, $t_1 = 40,0 \text{ °C}$, $t_2 = 20,0 \text{ °C}$, $R = 10 \text{ m}$, $a = 267 \text{ m}$.

Vplyv látky stanu na šírenie zvuku neuvažujte.

Riešenie

- a) Rovnicu vyjadríme pomocou jednotiek veličín $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^\alpha = (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2})^\beta \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})^\gamma$

$$\text{m: } \alpha = -\beta - 3\gamma$$

$$\text{kg: } 0 = \beta + \gamma$$

$$\text{s: } -\alpha = -2\beta$$

Vidíme, že trojicu rovníc možno splniť súčasne pre hodnoty $\alpha = 2$, $\beta = 1$, $\gamma = -1$.

Výsledný tvar vzťahu

$$v = \sqrt{\frac{k p}{\rho}}. \quad (1)$$

Ak považujeme plyn za ideálny, je jeho hustota

$$\rho = \frac{p M}{R_m T},$$

kde M je molárna hmotnosť a T termodynamická teplota. Dosadením do (1) máme

$$v = \sqrt{\frac{k}{M} R_m T}. \quad (2)$$

Vyjadríme faktor

$$k = \frac{M v^2}{R_m T}$$

a po dosadení nameraných hodnôt $k \approx 1,40$.

Pozn.: Faktor k je Poissonova konštanta pre adiabatický dej.

Valení – teorie a experiment

gymnaziální studentský projekt

Jiří Bartoš¹, Jana Musilová¹, Luboš Vozdecký²

¹ Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; janam@physics.muni.cz, bartos@physics.muni.cz

² Gymnázium Vyškov, Komenského náměstí 16, 682 01 Vyškov; vozdecky@seznam.cz

Problematika rotačních a valivých pohybů bývá považována studenty a často i učiteli fyziky za značně obtížnou. Plně obecné řešení problémů spojených s takovým typem pohybu (pohyb setrvačníků apod.) ovšem vyžaduje odpovídající matematický aparát, a pak je samozřejmě namístě s takovým názorem souhlasit. Na druhé straně je možné na zcela elementární úrovni, ať již středoškolské, či bakalářské, provést výklad i takových rotačních a valivých pohybů, jimž se nejen učebnice, ale i učitelé při přímé výuce raději vyhýbají. Dokladem jsou výsledky tohoto článku, jenž vychází z gymnaziálního studentského projektu z oblasti mechaniky valivých pohybů. Studuje různé aspekty valení, zejména podmínky pro valení bez prokluzu, popis valení s prokluzem a podmínky přechodu mezi nimi. Teoretické závěry jsou ověřeny pomocí jednoduchých experimentů. Data jsou zpracována pomocí softwaru Tracker, který je mimořádně vhodný pro využití na středoškolské úrovni, a poté porovnána metodou nejmenších čtverců s teoretickým modelem. Ze závěrů studie je zřejmé, že úlohy uvedeného typu mohou dokonce řešit studenti velmi samostatně, samozřejmě s konzultační a materiální podporou. Na rozdíl od často viděných soutěžních prací z moderní fyziky, do jejíž podstaty středoškolský student v principu nemůže proniknout (a práce buď zůstává na povrchu, nebo se student stává pouhým účastníkem týmového výzkumu či pomocníkem vědeckého konzultanta), mají důsledně zpracované projekty z názornějších klasických, i když ne tak „atraktivních“ oblastí fyziky zásadní význam pro prohloubení fyzikálního myšlení studentů.

Úvod

Valení je jedním z nejčastějších pohybů v běžném životě i v technické praxi. Podrobné studium pohybů tohoto typu otvírá široké aplikační možnosti. Pohled do historie fyziky ukazuje, že právě experimentální studium valivých pohybů vedlo k objevení zásadních fyzikálních zákonitostí. Proto je také třeba považovat teoretický výklad a prezentaci experimentů týkajících se valení za důležitou součást fyzikálního vzdělávání na bakalářské a středoškolské úrovni. Problematika rotačních a valivých pohybů je však všeobecně považována pro studenty za obtížnou. Problémem je například přechod mezi valením bez prokluzu a s prokluzem.

Ve většině středoškolských učebnic je fyzika rotačních a valivých pohybů předkládána pouze kvalitativně, někdy bývá výklad doprovázen jednoduchými a neúplnými výpočty (viz například [1–3]). Ke spíše obtížným problémům standardních učebnic mechaniky nejen na středoškolské, ale i na univerzitní bakalářské úrovni patří různé modifikace úloh týkajících se rotace tuhého tělesa kolem pevné osy či valení tělesa bez prokluzu na nakloněné rovině, vždy při zanedbání reálných jevů, k nimž typicky patří možnost prokluzu nebo valivý odpor. I přes tato zjednodušení často nacházíme i v renomovaných moderních učebnicích (například [4–5]) neúplný či interpretačně ne zcela správný výklad. Valením se však často poměrně důkladně

zabývají časopisecké práce dřívější i současné, a to jak výzkumné, tak didakticky zaměřené. Potvrzují tak, že problematika valivých pohybů je stále aktuální a stále skýtá nejen perspektivu nových výsledků, ale i příležitost pro realizaci studentské výzkumné činnosti.

Možností prokluzu při valení se zabývá například text [6], ne však pro účely fyzikálního vzdělávání, nýbrž v souvislosti s Galileiho experimenty. Články [7–9] se věnují hlubšímu výkladu, ale i nesprávným interpretacím valivých pohybů objevujícím se v literatuře. Studie [10–14] diskutují otázky valení s prokluzem pouze teoreticky, zato z různých hledisek: první dvě z nich jsou spíše elementární, zatímco ostatní obsahují podrobnější teoretický přístup. Práce [15, 16] jsou experimentální a přinášejí vysoce ilustrativní fotografie z videozáznamů valivých pohybů. Velice přínosná je teoretická studie valení s prokluzem v článku [17], zajímavá zejména využitím polárních diagramů jako velmi názorného aparátu k ilustraci tohoto typu pohybu.

I přes frekvenci prací o valivých pohybech zůstávají (i v rámci citovaných prací) otevřeny některé otázky, „jako dělané“ pro řešení na elementární úrovni jak při samotné výuce obecné fyziky, tak v rámci přiměřeně formulovaných studentských projektů. V tomto článku ukazujeme pomocí vhodně voleného teoretického přístupu kombinovaného s jednoduchým experimentem, že je možné řešit některé aspekty valení s prokluzem a pře-

ФЫЗИК СИ ЗЛОМИЛ ПОНИ

*V hlavě model Vesmíru
Šlápl fyzik na díru
Kůstka lupla v koleně
Čumilů dav kolem něj*

*Provozu řád obnovit
Strážník honem musí jít
Neustav ve šprtání
Studentík sem uhání*

*Dívčina kabelkou houπά
Stařena holí šoupá
A na fyzika sněží
Nehne se jen leží*

21. ledna 1935 Daniil Charms



Vynikající ruský modernistický spisovatel a básník Daniil Ivanovič Charms (Даниил Иванович Хармс), vlastním jménem Daniil Ivanovič Juvačev, se narodil 30. 12. 1905 v Petrohradě. Byl synem politika, spisovatele a vyhnance Ivana Pavloviče Juvačeva (1860–1940; česky vyšla v roce 1902 jeho vzpomínková kniha *Osm let na Sachalině* u Beauforta v Praze). Středoškolská studia Daniil Juvačev absolvoval na Hlavní německé škole svatého Petra, kde získal vynikající literární a filologické vzdělání, dále navštěvoval Druhou dětskoselskou školu pro pracující, odkud postoupil na První leningradskou vysokou školu elektrotechnickou. V únoru 1926 byl ze studií vyloučen. Není se příliš čemu divit – při přednáškách

hrál na trubku a prováděl i jiné „performance“, pro něž jeho učitelé, ale i spolužáci měli jen málo pochopení. Svou první báseň vydal tiskem v roce 1926. O rok později napsal jedno ze svých nejznámějších děl – absurdní drama *Jelizaveta Bam*. Připomeňme, že Samuel Beckett vytvořil *Čekání na Godota* na přelomu let 1948–49 a Eugène Ionescu viděl svou *Plešatou zpěvačku* na jevišti až v roce 1950. Na podzim 1927 Charms zakládá literární skupinu OBERIU (ОБЭРИУ – Объединение реального искусства). I když svou avantgardní literární práci „kryl“ produkcí literatury pro děti (česky vyšla jeho kniha *Všecko lítá, i co peří nemá* v nakladatelství Albatros roku 1983), bdělému oku stranického aparátu a jeho

převodových pák samozřejmě neunikl. V roce 1931 by uvězněn a rok nato poslán do vyhnanství. Nabízí se srovnání s osudem jeho otce a úvaha o jen málo proměnné podstatě ruského samoděržaví, ať už je jeho aktuální zabarvení jakékoli. Pod tlakem sovětského kulturního a politického establishmentu a jeho represivních složek Charmsova tvorba ještě více potemněla a jeho život a dílo rychle spěly k tragickému závěru. Jak případně poznamenal náš národní klasik, „ruská literatura nezná happyendů“. V srpnu 1941 byl Daniil Charms znovu zatčen a za nevyjasněných okolností umírá 2. února 1942 v Němci obklíčeném Leningradě na psychiatrickém oddělení nechalně známého vězení Kresty.

Příspěvek k historii Odborné skupiny Akustika

Karel Vokurka

Katedra fyziky, Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17 Liberec; karel.vokurka@tul.cz

V příspěvku je stručně zmíněna historie Odborné skupiny 09-Akustika při Fyzikálně vědecké sekci Jednoty československých matematiků a fyziků (OS Akustika při FVS JČSMF). Autor navazuje na článek Jiřího Ransdorfa a Věry Chalupové, který byl otištěn v r. 1990 v 1. čísle bulletinu Československé akustické společnosti (ČsAS) [1], a na přednášku Pavla Urbana, přednesenou na 90. akustickém semináři ČsAS v květnu 2015 v Nových Hamrech [2]. Jak Jiří Ransdorf a Věra Chalupová, tak i Pavel Urban se však ve svých příspěvcích věnovali pouze historii Odborné skupiny pro hluk a vibrace při Komitétu pro životní prostředí v rámci ČSVTS.

OS Akustika při FVS JČSMF byla založena v roce 1974, tj. o 10 roků později než Odborná skupina pro hluk a vibrace. Práce obou skupin se však do určité míry prolínaly, přinejmenším v tom, že celá řada členů JČSMF se rovněž aktivně podílela na práci v ČSVTS, a naopak, celá řada těch, kteří se podíleli na akcích ČSVTS, se rovněž zúčastňovala akcí pořádaných JČSMF.

Vůdčí a zakládající osobnost OS Akustika byl přinejmenším v prvních rocích její existence Jiří Wagner, odborný pracovník v oddělení matematiky ve Výzkumném ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky (VÚZORT) v Praze. Od založení OS Akustika v r. 1974 se podařilo J. Wagnerovi ve spolupráci

s dalšími členy OS Akustika zorganizovat do roku 1982 celkem 67 akustických seminářů [3].

První akustický seminář se konal 3. dubna 1974 na FEL ČVUT v Praze. Na tomto semináři přednesl Zdeněk Kyncl příspěvek *Pásmové spektrum akustických impulsů* [3]. Druhý akustický seminář se konal až za půl roku, a to 6. listopadu 1974, opět na FEL ČVUT v Praze [3]. Další semináře již probíhaly poměrně pravidelně každý měsíc (i když s občasnými několikaměsíčními přestávkami) až do r. 1982. Mezi nejčastější přednášející patřili Jiří Wagner z VÚZORTu Praha (4×), Petr Sladký z MFF UK Praha (4×), Zdeněk Kyncl z FEL ČVUT Praha (3×), Oldřich Kropáč z Výzkumného a zkušebního leteckého ústavu Praha (2×), Jaroslav Podobský z Čs. hudebních nástrojů Hradec Králové (2×) a Josef Kvasnica z MFF UK Praha (2×). Ostatní přednášející měli po jedné přednášce. Z těchto přednášejících lze připomenout alespoň Josefa Nováka a Petra Bažanta (oba z VÚZORTu Praha), Oldřicha Tarabu, Josefa Merhauta, Věru Chalupovou a Rudolfa Bála (všichni z FEL ČVUT Praha), Jaroslava Němce a Jana Stěničku (oba ze Státního výzkumného ústavu pro stavbu strojů Běchovice), Jana Tomana ze Stavební fakulty ČVUT Praha, Pavla Urbana z Ústavu pro výzkum motorových vozidel Praha, Tomáše Hellmutha z OÚNZ Ústí nad Orlicí, Ladislava Loudy z Institutu hygieny a epidemiologie Praha a Jana Obdržálka z MFF UK Praha.

Pro podzim r. 1982 byl plánován cyklus akustických seminářů na téma Fyzikální akustika ve stavebnictví. V rámci tohoto cyklu se měly konat 4 semináře, ale 20. října se uskutečnil zřejmě pouze první, a to 67. akustický seminář, na kterém Jan Toman a František Vodák ze Stavební fakulty ČVUT v Praze přednesli přednášku *Vliv vlhkosti stavebních materiálů na jejich akustické parametry* [3]. Další semináře v tomto podzimním cyklu se však již podle mně dostupných informací nekonal (67. seminář je poslední seminář, o kterém je k dispozici podrobný zápis [3]).

Počet účastníků na seminářích se pohyboval od 5 do 40 [3]. Přednášky na seminářích byly zaměřeny na nejrůznější oblasti akustiky a zahrnovaly lineární i nelineární akustiku, ultrazvuk, fyzikální akustiku, akustiku v pevných látkách, akustiku uzavřených prostorů, stavební akustiku, fyziologickou akustiku, snižování hluku, hudební akustiku, akustická měření a přístroje, zpracování řeči, rozpoznávání řeči počítačem a analýzu akustických signálů [3].

Kromě pořádání akustických seminářů se OS Akustika rovněž aktivně podílela na konferencích českých a slovenských fyziků pořádaných v r. 1975 v Liberci



Josef Bartoloměj Slavík (1900–1964), profesor fyziky na Elektrotechnické fakultě ČVUT, přední český akustik, který vychoval celou řadu akustiků podílejících se na činnosti OS Akustika.

Prebehlo 11. FYKOSí Fyziklání

Daniel Dupkala¹, Patrik Lamoš², Martin Píala²

¹ FYKOS, Ústav teoretické fyziky MFF UK v Praze, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, Česká Republika

² Gymnázium, Veľká okružná 22, 010 01 Žilina, Slovensko

Už jedenásty rok sa 17. februára uskutočnila stredoškolská tímová fyzikálna súťaž FYKOSí Fyziklání. Súťažné tímy z Českej republiky i zo Slovenska súťažili v maximálne 5-členných tímoch. Ich cieľom bolo za tri hodiny spočítať čo najviac úloh. Na začiatku dostali súťažiaci 7 štartovacích príkladov, za každý správne vyriešený dostanú ďalší. Súťaž je organizovaná študentmi MFF UK, zastrešuje ju Oddelení pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporovaná je Ústavom teoretické fyziky MFF UK spolu s Jednotou českých matematiků a fyziků.

Druhý rok po sebe sa súťaž konala okrem priestorov MFF na Karlove aj v budove na Malostranskom námestí. Vďaka zvýšenej kapacite tak tento rok súťažilo až 117 tímov, čo je zatiaľ najvyšší počet. Celkovým víťazom sa stal tím „nnn“ v zložení Matěj Mezera, Jáchym Bártík, Jan Hlaváč a Matěj Coufal z Gymnázia Havlíčkův Brod a Vít Beran z Masarykovho Gymnázia v Plzni. Po niekoľkých rokoch tak český tím prelomil víťaznú šnúru slovenských tímov. O svoje zážitky zo súťaže sa s nami podelili členovia tímu GVOZA, Martin Píala a Patrik Lamoš z Gymnázia Veľká okružná v Žiline. Ich tím skončil na šiestom mieste v kategórii A.

„S naším družstvom sme sa na FYKOSí Fyziklání zúčastnili už tretíkrát, takže sme už mali predstavu, čo



Súťažiaci odovzdáva správne riešenie.

nás čaká. Súťaž tradične pozostávala z množstva dopredu pripravených príkladov. Na začiatku sme dostali sedem najjednoduchších, za každý správne vyriešený príklad boli pripísané body a dostali sme ďalší príklad, ktorý bol o niečo náročnejší. Na ich vyriešenie sme mali tri hodiny čistého času. Príklady neboli iba sťažnými verziami príkladov, s ktorými sa možno stretnúť v škole, ale často vyžadovali nejakú neštandardnú myš-



Otvorenie súťaže, kategória A, Malá Strana.

Ve víru kosmologických paradoxů

Rozhovor Bc. Jany Žďárské s prof. Michalem Křížkem u příležitosti jeho 65. narozenin

Jana Žďárská¹, Michal Křížek²

¹ tajemnice Kosmologické sekce České astronomické společnosti, ² pracovník Matematického ústavu AV ČR

■ JŽ: Pane profesore, v tomto roce slavíte významné životní jubileum. Přesto bych se nejprve ráda přenesla do doby mnohem dřívější. Matematika vám učarovala už jako čtyřletému. Vaše maminka prý tehdy váš první numerický výpočet okomentovala slovy: „Á, narodil se nám matematik...“ Byl to právě ten impuls, který vás navedl na vědeckou dráhu?

MK: Snad ano. Moje maminka si pečlivě zapisovala otázky, kterými jsem ji neustále trápil. Jako čtyřletý chlapec jsem si jednou v tramvaji něco počítal na prstech, a pak jsem se jí zeptal: „Mami, že 3 krát 4 je 12?“ V tu chvíli jsem pochopila, že budu matematikem. Pravdou je, že jsem po maturitě vlastně vůbec neváhal a šel s nadšením studovat numerickou matematiku na Matematicko-fyzikální fakultu. Moji rodiče rovněž absolvovali matematiku a fyziku na Příro-



S duší matematika...

dovědecké fakultě UK v Praze, a tak jsem se měl vždy kam obrátit, když jsem potřeboval rozlousknout nějaký ten matematicko-fyzikální oříšek.

■ JŽ: Říká se, že matematika je královnou přírodních věd. Vy jste se však nespokojil pouze s jednou královnou a brzy jste oslovil i tu druhou – fyziku...

MK: Můj otec se zabýval optickými mřížkami v Ústavu fyziky pevných látek ČSAV. Často mě tam jako malého bral a předváděl mi rozmanité fyzikální pokusy s tekutým dusíkem, skleněnými hranoly či polarizačními sklíčky. Už tehdy jsem cítil, že fyzika je ta nejúžasnější disciplína, na níž vlastně doslova stojí dnešní civilizace. Pro absolvování MFF jsem nastoupil do Matematické-

ho ústavu Akademie věd, kde se zabývám numerickým řešením problémů matematické fyziky. Takže jsem fyzice vlastně neutekl a jsem jí stále věrný.

■ JŽ: Matematika, fyzika,... tak to už je skutečně jen maličký krůček k astronomii. A vy jste jej učinil. Čím vás vlastně vesmír okouzluje?

MK: Asi tím, že jsem se do něj narodil... moje srdce si pak už navždy získal ten neuchopitelný prostor nade mnou. Bylo mi asi tak šest let, když mi tatínek postavil můj první dalekohled. Nikdy nezapomenu, jak jsem v něm se zatajeným dechem sledoval polární čepičky na Marsu či hvězdokupu Kuřátka. Maminka mi zase občas vyprávěla o pražském orloji a kupovala různé astronomické knížky. Toto téma jí bylo blízké, neboť vyučovala matematiku a fyziku na střední škole. Bez tohoto rodinného zázemí bych se asi jen těžko k astronomii dostal. Také s oběma dědečky a později i oběma syny jsem mohl diskutovat mnohé otázky týkající se vesmíru. Zásadně mě též ovlivnil Dr. Jiří Grygar svým televizním pořadem *Okna vesmíru dokořán*.



S druhým dědečkem matematikem Bedřichem Šofrem.



Můj dědeček Jaroslav Křížek, ten, který mě nasměroval.