

3 / 2020
SVAZEK 70

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS **PRO FYZIKU**

60 YEARS
OF LASER

- FOTONIKA V ŘÍŠI HMYZU • HISTORIE ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE V BRNĚ •
- TANDEMOVÁ VÝUKA FYZIKY • LASER – OD KOLÉBKY AŽ PO ELI •
- PRVNÍ KROKY K ELEKTROMAGNETISMU A H. C. OERSTED •



ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU 3/2020

Založen roku 1872 jako
„Časopis pro pěstování matematiky a fyziky“
Vydává Fyzikální ústav Akademie věd
České republiky, v. v. i.
Vychází 6 čísel ročně,
uzávěrka tohoto čísla: červen 2020.

Founded in 1872 as „Časopis pro pěstování
matematiky a fyziky“ „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:
Jan Valenta

Výkonná redaktorka:
Jana Žďárská

Oboroví redaktori – Associate Editors:
Jaroslav Bielčík, Pavel Cejnar, Juraj Fedor,
Petr Kácvovský, Jiří Limpouch, Jan Mlynář,
Karel Rohlena, Alena Šolcová,
Patrik Španěl, Ivan Zahradník

Redakční rada – Editorial Board:
Ivo Čáp, Stanislav Daniš, Pavel Demo,
Ivan Gregora, Libor Juha, Jan Kříž, Štefan Lányi,
Jana Musilová, Tomáš Polívka, Aleš Trojánek,
Eva Klimešová, Martin Ledinský

Sekretariát redakce:
Ondra M. Šípek
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8
tel.: +420 266 052 152, fax: 286 890 527
e-mail: cscasfyz@fzu.cz

Propagace, inzertní oddělení:
Jana Žďárská
e-mail: zdarskaj@fzu.cz

Jazyková úprava:
Stanislava Burešová, Lýdia Murtinová

Vedoucí výroby a grafik:
© Jiří Kolář

Tisk: Grafotechna plus, s. r. o.

Cena jednoho výtisku je 85 Kč.
Objednávky a prodej jednotlivých čísel
v ČR vyřizuje redakce.

Na Slovensku časopis rozšiřuje
Jednota slovenských matematiků a fyziků,
pobočka v Žilíně, 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 zařazen na Seznam recenzovaných
neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.
Registrace: MK ČR E 3103, ISSN 0009-0700
(Print), ISSN 1804-8536 (Online).
Copyright © 2020 Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.



Úvodník

Objevitelé, vynálezci a právníci

Tentokrát bych chtěl věnovat úvodník *laseru k šedesátinám*.

Na počátku životaběhu laseru byl génus Einsteinův, který usoudil, že by měla existovat zrcadlová paralela k absorpci světelného kvanta – *stimulovaná emise*. Do té doby nikdo takovou věc nepozoroval a dlouho neexistovaly prostředky k ověření této teorie. Další krok souvisel s 2. světovou válkou, kdy mnozí akademičtí fyzikové byli nuceni „ušpinit se“ inženýrskou prací a vyvíjet například radaru či raketové motory. Po válce zbyla spousta nových znalostí a také součástek z válečných přebytků, s nimiž „se dalo hrát“. Špičkoví hráčkové té doby se zřejmě soustředili v Bellových laboratořích a na Columbia University. Mezi nimi i *Charles Townes*, který si na stimulovanou emisi vzpomněl a byl vybuzen až k sestrojení *MASERu (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, 1954)*. Poté stačilo „pouze“ vymyslet, jak by šlo podobnou věc udělat pro světelné záření. Návrh „optického maseru“ publikoval Townes se Shawlowem roku 1958, poté co byl podán patent. A začal neoficiální závod, kdo první uvidí laserový paprsek. Trval rok a půl a vedl krivolakými cestami. Cílovou pásku protrhnul outsider *Theodor Maiman* z kalifornské firmy *Hughes Aircraft* – jeho růžový krystal rubínu se rozzářil 16. května 1960. Ještě ten rok vzniklo v různých laboratořích několik dalších typů laserů.

A jak to bylo se slávou, cenami a patenty? Townes a nezávislí tvůrci maseru Basov a Prochorov ze SSSR dostali společně Nobelovu cenu; později se dostalo i na Shawlowa. Maiman získal trochu pomíjivé slávy a možná mu Howard Hughes pogratuloval. Patent na laser obdržely Bellovy laboratoře – tehdy platil 17 let. Ovšem zpočátku se moc laserů neprodávalo, takže komerční úspěch nepřišel. Že by žertovné označení laseru jako *solution looking for a problem* bylo pravdivé?

Nikoliv! Po patentových soudech se pohyboval osamělý hráč, jemuž do 70. let nikdo nevěnoval valnou pozornost. Kdo? Bývalý doktorand z Columbia University *Gordon Gould*, který pobýval na katedře fyziky v době, kdy tam Townes vymýšlel koncept svého optického maseru. Bystrý student pochopil velikost myšlenky a v návalu inspirace (dle svého tvrzení) sepsal do sešitu řadu principů nutných pro realizaci a použití laseru. Sešit nadepsal „*Some rough calculations on the feasibility of laser – light*

amplification by stimulated emission of radiation“ (tuto zkratku použil jako první) a nechal poznámky notářsky ověřit. Tím získal důkaz priority. Nicméně patent nepodal, neb se domníval, že musí také ukázat fungující laser. Opustil akademické prostředí a u firmy TRG rozpracoval svůj návrh. Firma podala patent a také žádost o grant agentuře DARPA (1959). Projekt dostali, ale v konstrukci laseru úspěšní nebyli, stejně tak s patenty (patentový úřad rozhodl složité podání rozdělit na pět samostatných částí). Takže když TRG pohltila jiná firma, bez obtíží přenechali Gouldovi jeho „beznadějně“ patentové spory.

Gould poté učil na jisté technice, než založil firmu Optelecom (1973). Na patenty ale nezapomněl a udělal důležitý krok – přebral polovinu svých práv patentové firmě. Profesionálové věděli jak na to a roku 1977 obdržel Gould první patent na „optické čerpání“ – 18 let po podání přihlášky. Hned následující rok získal patent na různé laserové aplikace, včetně obrábění. Za pár let přišly ještě patenty na buzení výbojem a na Brewsterova okénka. A začaly se dít věci. Právníci ihned kontaktovali výrobce laserů, že musí platit licence ve výši 3,5 % až 5 % z prodeje. Firmy se bouřily, ale nakonec prohrály. Mnoho z nich zaniklo nebo fúzovalo. Licence vynášely nejméně 7 milionů USD ročně a poslední práva vypršela až po roce 2000.

A poučení? Citujme z Townesových memoárů: „*Jak složitá hra! Proces patentování nemá valný smysl z hlediska vědeckého pokroku; rozhodně to není činnost, které byste se měli věnovat, pokud opravdu milujete vědeckou práci, a nikoliv právnícké spory a hádky.*“ Přidám ještě názory, které jsem vyslechl před léty, kdy jsem se rozhodl podat patent: „*Pokud se na tom nedá vydělat, tak je nesmysl se tím zdržovat. Pokud se na tom dá vydělat, tak vám to někdo ukradne, a jak se budete soudit?*“ Ano, patentování je záležitost specialistů, kteří se i u nás pomalu objevují – osamocení badatel nemá velkou šanci. V případě skutečně zajímavého aplikovatelného výstupu je třeba zvážít, zda jiné postupy komercializace nejsou nadějnější (třeba založení spin-off).

Doufám, že jsem tímto čtenáře neodradil od snahy o aplikaci jejich objevů a vynálezů. Vždyť snad každý touží vidět výsledky své práce, jak přinášejí praktický užitek. Ale cesta k tomu může být trnitá a profit nespravedlivě rozdělen. S tím je třeba počítat.

Jan Valenta

Obsah

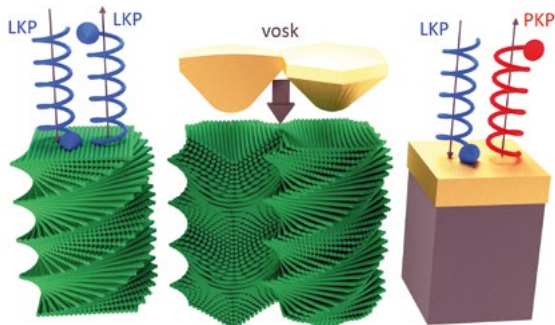
REFERÁTY

Fotonika v říši hmyzu

168

Pozoruhodné tvarování světla v kutikule brouka skarabea

Petr Bouchal, Zdeněk Bouchal

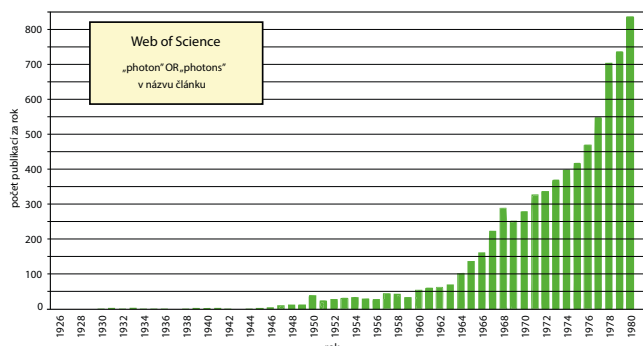


REFERÁTY

Foton – nové vyjasnění starého pojmu

173

Helge S. Kragh



REFERÁTY

Poznámky k historii elektronové mikroskopie v Brně

180

Vladimír Kolařík

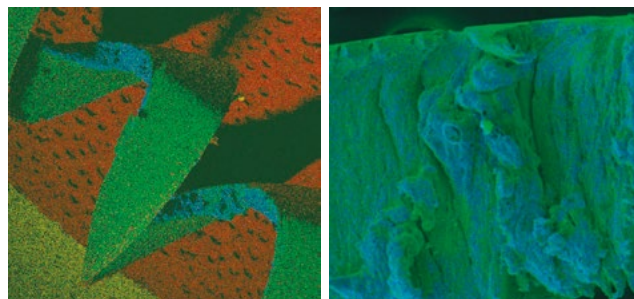


FYZIKÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

Elektronová mikroskopie – zdroj inspirace ve výuce (nejen) středoškolské fyziky 2

185

Petr Vencelides, Jana Jurmanová

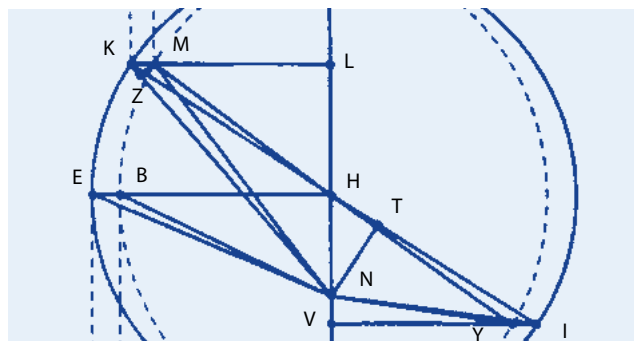


FYZIKÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

Keplerovy zákony v historii a v soudobých učebnicích

190

Vladimír Štefl

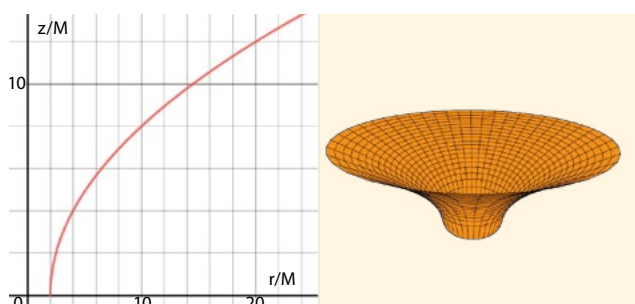


FYZIKÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

Obecná teorie relativity středoškolsky – druhá část: Geometrický pohled na gravitaci

198

Matěj Ryston



Obrázek na obálce:

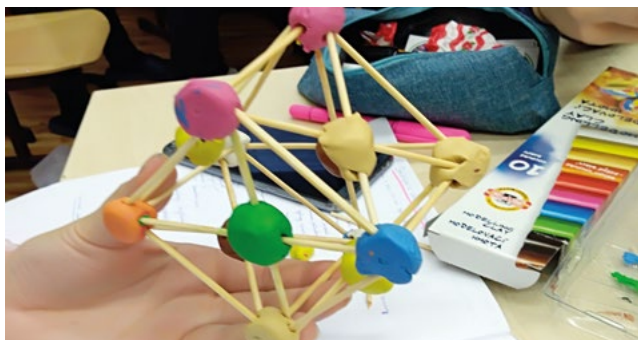
Předzesilovače zvyšují intenzitu laserových paprsků směřujících do reakční komory v National Ignition Facility.
Foto: Damien Jemison / Lawrence Livermore National Laboratory, USA

FYZIKÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

Tandemová výuka fyziky na gymnáziu

204

Jana Škrabánková



REFERÁTY

Einstein opět v Praze (4. část)

210

Ohlédnutí za „českým“ seriálem z produkce National Geographic aneb „fyzik potkává filmaře“

Jiří Podolský, Pavel Cejnar



ZPRÁVY

Česká astrofotografie měsíce patnáctiletá

222

Zdeněk Bardon, Jana Žďárská



HISTORIE FYZIKY

První kroky k elektromagnetismu a Hans Christian Oersted (1777–1851)

225

Alena Šolcová



ROZHOVOR

Laser – od kolébky až po ELI

228

Jan Řídký, Jana Žďárská



LIDÉ A FYZIKA

Storočnica profesora Vladimíra Hajka

234

Štefan Luby



Odešel Ludvík Smrčka

237

Spolupracovníci, FZU AV ČR

Fotonika v říši hmyzu

Pozoruhodné tvarování světla v kutikule brouka skarabea

Petr Bouchal^{1,2}, Zdeněk Bouchal³

¹ Ústav fyzikálního inženýrství, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 69 Brno

² Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 656/123, 612 00 Brno

³ Katedra optiky, Univerzita Palackého v Olomouci, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc

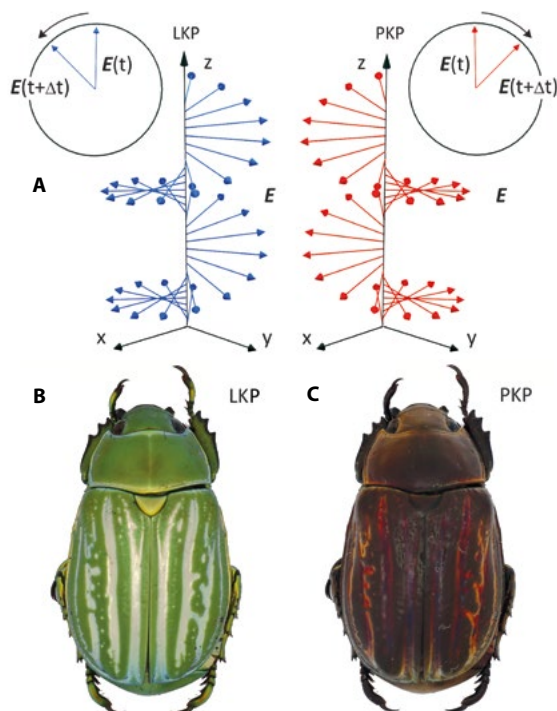
Říše hmyzu poskytuje výjimečnou rozmanitost optických jevů, často pozorovaných jako duhovost barev. Zajímavým objektem pro zkoumání strukturovanosti barev je brouk *Chrysina gloriosa* z čeledi vrubounovitých. Způsob ovládání světla na submikrometrové škále, který byl nedávno objeven v tvarových buňkách kutikuly, je inspirací pro současné fotonické technologie.

Polarizačně selektivní vzhled

Barevná rozmanitost přírody je přitažlivá pro oko pozorovatele, současně však podněcuje zájem o zkoumání mechanismu a biologického významu barevné proměnlivosti. Zbarvení lze jednoduše vysvětlit selektivní absorpcí světla při dopadu na pigmentové molekuly. Opticky zajímavější a z biologického hlediska význam-

nější je však strukturální barevnost. Ta souvisí s interakcí světla, která nastává ve vrstevnatých a periodických strukturách [1, 2]. V případě brouka *Chrysina gloriosa* z čeledi vrubounovitých (*Scarabaeidae*), kterému je věnována naše pozornost, je strukturální barevnost navíc spojena se specifickými polarizačními vlastnostmi. Strukturální zbarvení těchto brouků se nazývá *iridescence* (z latinského slova *iris* znamenajícího *duha*) a dává jim typický smaragdově zelený kovový odlesk, který se mění s úhlem pozorování [3]. Důvodem, proč brouk *Ch. gloriosa* upoutal širokou pozornost, jsou jeho polarizační schopnosti (obr. 1).

Světlo je svou podstatou elektromagnetické záření a jeho polarizaci určujeme podle toho, jak se mění elektrická intenzita E . Je to vektorová veličina, která má v daném bodě prostoru určitou velikost a směr. Při sledování koncového bodu vektoru E v různých časových okamžicích získáme u polarizovaného světla uspořádanou trajektorii (obecně elipsu), která definuje polarizační stav. Pokud na brouka dopadá světlo nepolarizované, je neuspořádaná trajektorie koncového bodu vektoru E při odrazu změněna na kružnici a odražené světlo se stává kruhově polarizovaným (obr. 1A). Mnohem více světla se odráží v levotočivé kruhové polarizaci (LKP), jejíž označení je dáno směrem oběhu E při pohledu proti směru šíření světla. V této polarizaci plně vynikne barevná struktura krovky, jak je vidět ze snímku brouka pořízeného s filtrem propouštějícím pouze LKP (obr. 1B). Odraz v pravotočivé kruhové polarizaci (PKP) je nesrovnatelně slabší a hra barev je pro pozorovatele skrytá (obr. 1C).



Obr. 1 Vzhled brouka *Chrysina gloriosa* v kruhově polarizovaném světle. (A) Časová změna a prostorové rozvinutí vektoru elektrické intenzity E pro světlo s levotočivou kruhovou polarizací (LKP) a pravotočivou kruhovou polarizací (PKP). Snímky brouka při použití filtrů propouštějících pro světlo s (B) LKP a (C) PKP.

Optické efekty ve vrstevnaté struktuře krovky

Polarizační selektivita a barevnost brouka jsou určeny tím, jestli se světlo odráží od povrchu nebo proniká hlouběji do vrstevnaté struktury krovky. Preference LKP je důsledkem postupného odrazu světla od vrs-

Foton – nové vyjasnění starého pojmu¹

Helge S. Kragh

Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Blegdamsvej 17, 2100 Kodaň; helge.kragh@nbi.ku.dk

Kdy se objevil termín „foton“ a v jakém kontextu? O tom pojednává tento článek významného dánského historika fyziky H. S. Kragha. Obecně se soudí, že za „foton“ vděčíme slavnému americkému chemikovi G. N. Lewisovi, který tento termín stvořil roku 1926. Je to pravda, ale Kragh ukazuje jednak, že to bylo v jiném kontextu, než jak chápeme foton dnes, jednak, že několik jiných badatelů navrhlo a použilo termín foton již před Lewisem – na ně se však zapomnělo. Nakonec tedy můžeme konstatovat, že „foton“ se zrodil několikrát v období deseti let zhruba před sto lety. (jv)

Úvod

Od konce 20. let 20. století chápali fyzikové termín „foton“ jako synonymum pro kvantum, které Einstein zavedl roku 1905. Ačkoliv se termín „světelné kvantum“ stále používá, je dnes mnohem běžnější mluvit o „fotonu“. Jméno je odvozeno z řeckého φῶτο [foto] – světlo a koncovky „-on“, která naznačuje, že foton patří do skupiny elementárních částic jako proton, elektron či neutron. Popularita tohoto pojmu je ilustrována vy-

hledáním slov „foton“ nebo „fotony“ v Google Scholar, které vygenerovalo 14,2 milionu záznamů. Nejenže je slovo univerzálně přijato fyziky, chemiky a inženýry, ale také našlo uplatnění v obchodním a kulturním světě.² Existují dokonce i básně věnované této nejběžnější částici ve vesmíru.

Tento článek se nezabývá významem a vlastnostmi fotonu, ale pouze původem jeho jména a počáteční odezvou v období let 1927–1932. Téměř ve všech pramenech najdeme, že termín „foton“ byl prvně navržen americkým chemikem a fyzikem G. N. Lewisem v roce 1926, i když ve významu odlišném od světelného kvanta. Je v tom kus pravdy, ale ne celá. Je těžké přesně určit, kdy byl termín „foton“ poprvé použit ve vědeckém kontextu, ale můžeme doložit, že se objevil již v roce 1916 – deset let před Lewisem. Tato raná historie měla malý či téměř zanedbatelný význam pro pozdější vývoj, takže není divu, že se jí nikdo moc nevěnoval. Přesto stojí historie prvního výskytu termínu „foton“ v kontextu vědy o vidění a fyziologie za pozornost.

Einsteinovo světelné kvantum

Původ a prvotní vývoj ideje fotonu ve významu lokalizovaného kvanta elektromagnetického záření je dobře znám a byl popsán v rozsáhlé literatuře, např. [1, 2, 3]. Pro shrnutí, ve svém klasickém článku publikovaném v *Annalen der Physik* roku 1905 navrhl Einstein, že monochromatické záření o frekvenci ν je tvořeno „kvanty energie“ o energii $E = h\nu$ (což je vyjádření, které Einstein použil až v následujícím roce). Ačkoliv mohl Einstein tímto způsobem snadno vysvětlit fotoelektrický jev a Stokesovo pravidlo pro fotoluminiscenci, setkala se tato „*Lichtquantenhypothese*“ s obecným odporem většiny fyziků.

Odezva na „světelné kvantum“ se příliš nezměnila ani poté, co Einstein roku 1917 „dal“ tomuto kvantu

¹ Některé části tohoto článku byly publikovány jako součást rozsáhlejší práce – H. Kragh: „The names of physics: plasma, fission, photon“, *Eur. Phys. J. H.* **39**, 263–281 (2014). Přeložil J. Valenta s laskavým svolením autora. Děkujeme Dr. Kapsovi za upozornění na tento článek.



Gilbert N. Lewis

² Pozn. překladatele: Existují různé odvozené termíny od *fotonu*, např. velmi používané označení oboru světelných technologií jako „*fotonika*“ navrhl roku 1967 francouzský fyzik Pierre Aigrain.



Poznámky k historii elektronové mikroskopie v Brně

Vladimír Kolařík

Delong Instruments a.s., Palackého tř. 3019/153b, 612 00 Brno-Královo Pole; Vladimír.Kolarik@delong.cz

Za výstižnou odpověď na otázku „Co je to elektronová mikroskopie?“ považuji výrok, že elektronová mikroskopie se *pokouší pomocí něčeho, co není vidět, zobrazit něco, co není vidět vůbec.*

Vzhledem k tomu, že se žádné pozorování neobejde bez pomoci „médií“ vnímatelného lidskými smysly, nám nakonec nezbyvá než převést všechny „obrazy“ na světlo viditelné v rozmezí vlnových délek 390–760 nm. Tato, i když malá spektrální šířka nás v mikroskopii světelné (fotonové) informuje o barevnosti světa na rozdíl od mikroskopie elektronové, která barvy nevnímá vůbec. Zato však rozlišuje objekty i desettisíckrát menší než mikroskopie fotonová, díky tomu, že elektron má tolikrát kratší vlnovou délku než foton. Obě mikroskopie se při poznávání světa sice „vtipně“ doplňují, ale Platónovo podobenství o jeskyni, které říká, že jsme schopni vidět pouze stínové obrazy skutečnosti, má stále něco do sebe.

Dosti velkou komplikací navíc je, že elektrony na rozdíl od fotonů „nežijí“ ve vzduchu (leda ty ne-

zvládnutelné, které tvoří blesky), ale potřebují k organizovanému pohybu vzduchoprázdno, tedy vakuum.

Elektron byl objeven na konci devatenáctého století Angličanem J. J. Thomsonem (1897) při studiu elektrické vodivosti plynů v Cavendish Laboratory v Cambridgi. Za jev, který nazval „katodové paprsky“, dostal v roce 1906 Nobelovu cenu. Dalším velkým, který přispěl k pochopení chování elektronů, byl francouzský fyzik – vévoda Louis de Broglie. Ten roku 1923 zavedl pojem „vlnová délka elektronu“ a ukázal, že velikost elektronu je o několik řádů menší než fotonu. V roce 1929 mu byla udělena Nobelova cena za objev vlnové korpuskulárního dualismu částic.

Roku 1927 se již vědělo, že rotačně symetrická elektrostatická nebo magnetická pole jsou schopna fokusovat elektronové paprsky z bodu předmětu do bodu obrazu. Elektrony tedy splňují základní podmínku nezbytnou k realizaci zobrazení právě tak, jako je tomu u fotonů fokusovaných optikou „skleněnou“. V roce 1928 se v Berlíně začal tímto jevem zabývat Ernst Ruska a již v roce 1931 sestavil první experimentální přístroj, který zobrazoval pomocí elektronů lépe než mikroskopy světelné. Nobelovu cenu však obdržel teprve roku 1986, poněvadž mu bylo dlouho vytýkáno, že za války neopustil Německo.

Slibných výsledků Ernsta Rusky se záhy ujalo několik světových laboratoří a významných firem. Obor se rychle rozvíjel, vznikala spousta vylepšení – jak principiálních, tak technických – a jen do konce války dala firma Siemens na trh 38 přístrojů a americká RCA (*Radio Corporation of America*) také zahájila komerční produkci. Elektronová mikroskopie se začala pěstovat nejen v Německu a USA, ale také v Anglii, Nizozemsku, Francii, Japonsku, Švýcarsku a v roce 1947 k této sedmičce přibýlo i Československo.

Elektronová mikroskopie se rychle usadila v laboratořích významných univerzit, a to ve výzkumu jak biologických, tak materiálových mikrostruktur. Zaklínadlem se stala délková jednotka angström. Jedná se o jednu desetimiliontinu milimetru, což odpovídá zhruba velikosti atomu. Atom chtěli všichni uvidět jako první. Elektronová mikroskopie si tehdy vytyčila ambiciózní cíl – dovést rozlišovací schopnost



Obr. 1 Prozařovací elektronový mikroskop značky RCA.

Elektronová mikroskopie – zdroj inspirace ve výuce (nejen) středoškolské fyziky 2

Petr Vencelides¹, Jana Jurmanová²

Biskupské gymnázium, U Klafárku 1685/3, 591 01 Žďár nad Sázavou; petr.vencelides@bigyzt.cz

Ústav fyzikální elektroniky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno; janar@physics.muni.cz

Pokračování článku o elektronové mikroskopii, jehož první část vyšla v Čs. čas. fyz. 2/2020

Konstrukce a funkce elektronového mikroskopu

Simulátor elektronového mikroskopu

Na internetu lze vyhledat řadu hypertextových zpracování popisu činnosti a funkce elektronového mikroskopu (zpravidla v anglickém jazyce). Velmi zdařilé jsou například http://myscope-explore.org/virtualSEM_explore.html, které obsahují jak teorii, tak i odkaz na počítačovou simulaci měření na elektronovém mikroskopu.

Učitel, který zpravidla nemá přístup k elektronovému mikroskopu, tak může studentům představit přístroj „při práci“. Možnost osahat si ovládání je pro každého velmi atraktivní a podněcuje často i k hlubšímu zájmu o problematiku.

Katoda

S velkou dávkou nadsázky můžeme říct, že je to zároveň pro elektronový mikroskop. A stejně jako po optickém zdroji od ní požadujeme bodovost, jas a monochromaticnost (a vzhledem k ceně i výdrž). Ze srovnání různých typů nejlépe vychází Schottkyho katoda s monochromaticností (monochromaticnost u elektronových mikroskopů znamená stejnou energii – rychlost

Slovníček pojmů

EM – elektronová mikroskopie

TEM – transmisní (prozařovací) elektronová mikroskopie/mikroskop

HRTEM – TEM s vysokým rozlišením

SEM – skenovací (řádčkový) elektronová mikroskopie/mikroskop

ESEM – environmentální skenovací mikroskop; též EREM, eSEM, eREM

BSE – detektor zpětně odražených elektronů /zpětně odražené elektrony

CCD – Coupled Charge Device – čip ve fotoaparátu a kamerách i pro EM

EDX – Energy Dispersive X-ray spectroscopy – rentgenový analyzátor; též EDAX, EDS

EELS – mikroskopie pomalými elektrony

ET – Everhartův-Thornleyův detektor

FEG – Field Emission Gun – autoemisní katoda

FIB – Focused Ion Beam – dvousvazkový mikroskop s ionty

PE – primární elektrony

SE – detektor sekundárních elektronů / sekundární elektrony

SIMS – hmotnostní spektroskopie sekundárních iontů

STEM – a) skenovací mód v TEMu, b) detektor do SEMu

umožňující pozorovat tenké vzorky na prosvět

TOF – Time-of-Flight – hmotnostní spektrometrie

YAG – Yttrium Aluminium Granát – scintilační krystal

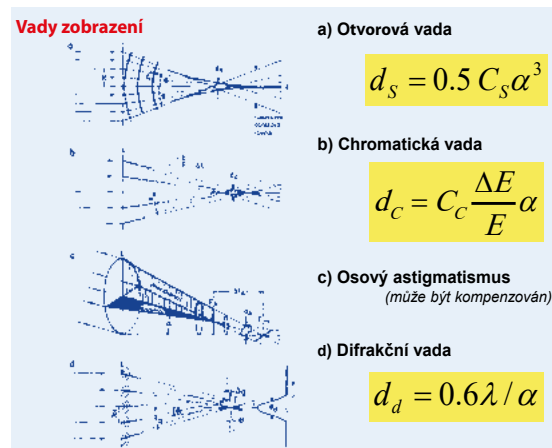
WDX – Wavelength-dispersive X-ray spectroscopy (WDXS or WDS) – rentgenový analyzátor s velkým rozlišením

– primárních elektronů) pouhých 0,6 eV a proudem picoampér do stopy o průměru jeden nanometr.

Vady

Elektromagnetické čočky používané v elektronových mikroskopech k fokusaci svazku vykazují určité vady (stejně jako čočky skleněné), proto se v praxi nikdy nedosáhne teoretické rozlišovací schopnosti. Mezi nejvýznamnější vady patří vada sférická, chromatická, difrakční a osový astigmatismus.

Sférická (otvorová) vada je charakterizována neschopností čočky zaostřit všechny paprsky vycházející z bodového zdroje opět do jednoho bodu. Elektrony



Obr. 13 Vady elektronových svazků. Převzato ze studijních materiálů Podzimní školy elektronové mikroskopie 2019



Fyzikální vzdělávání
Elementarizované postupy

Keplerovy zákony v historii a v soudobých učebnicích

Vladimír Štefl

Masarykova Univerzita Brno, Přírodovědecká fakulta, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno; stefl@physics.muni.cz

Článek komentuje a rozebírá původní podobu Keplerových zákonů podle *Nové astronomie* [1] a *Harmonie světa* [2] a porovnává ji s jejich formulací v soudobé gymnaziální učebnici [3] a vysokoškolských učebnicích úvodních kurzů fyziky [4, 5]. Záměrem článku je posoudit, zda obsahová rozdílnost historického textu a moderních učebnicových je věcně zásadní. V článku je dále shromážděn materiál pro historický přístup k výkladu Keplerových zákonů ve výuce fyziky.

V souvislosti s ní lze položit otázky: Proč je užitečné znát původní historický text? Co lze ze sledovaného srovnání ve výuce fyziky využít? V ní zařazená historie má při formování osobnosti studenta rozsáhlé a různorodé možnosti. Nejsou ve výuce, zejména na gymnáziích, zdaleka využity, neboť výrazná restrikce časové dotace hodin fyziky znemožňuje hlubší pohled na problematiku. V současnosti se poznatky z historie fyziky zpravidla omezují na fakta ze života historických osobností fyziky či na dílčí informace sdělení o jejich dílech. Pouze epizodicky jsou objasňovány historické vývoje idejí či způsob myšlení vědců. Velmi řídké jsou prováděny detailnější rozbor myšlenkových pochodů vědců fyziků při jejich objevech. Nežádoucím důsledkem této situace je vznik představ o bezproblémovém historickém vývoji fyziky. Idealizace hladkého průběhu procesu objevování a s ním spojených tvůrčích postupů je nepravdivá a ve svém dopadu matoucí.

Fyzikální objevy v historii byly ve skutečnosti téměř vždy doprovázeny tápáním a omyly. Všeobecně známou je Newtonova chybná úvaha při určování rychlosti zvuku ve vzduchu v knize druhé, větě čtyřicáté deváté *Principií* [6]. Střídavé tlakové změny při průchodu akustické vlny vzduchem považoval Isaac Newton (1643–1727) za izotermické děje a rychlost zvuku v dnešních jednotkách určil na $290 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ve skutečnosti změny probíhají v plynu rychle – adiabaticky –, takže nedochází k tepelnému vyrovnání. Odpovídající rychlost zvuku při adiabatickém ději a průměrné pokojové teplotě činí zhruba $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Hledání správného řešení lze v astronomii demonstrovat na nalezení prvních dvou zákonů ve spisu *Nová astronomie* německého astronoma Johannese Keplera (1571–1630). Autor byl vzorovým příkladem vědce, který velmi podrobně popisoval vlastní myšlenky. Ve zmiňovaném spisu zachytil věrně slepé uličky na cestě poznávání a jejich následná odhalení, rozpaky nad dalším postupem či posléze nové podněty při řešení. Kepler neskrýval před čtenářem obtížnost objevu a přesvědčivě ukázal, jak dlouze a těžce se rodily jeho zákony.



Johannes Kepler 1571–1630.

I přes velké osobní celoživotní překážky a peripetie (pronásledování z náboženských důvodů, úmrtí manželky a dětí, obvinění matky z čarodějnictví), Kepler vždy dokázal pokračovat po namáhavé cestě hledání zákonitostí pohybu planet. V relativně klidném období v první polovině svého pobytu v Praze po pětiletém intenzivním úsilí v letech 1601–1605 splnil vytyčený cíl. Vložil novou teorii pohybu Marsu, objasnil změny vzdálenosti planety od Slunce a určil dráhu, po které se pohybuje.

Ke zdárnému pátrání po skutečných drahách planet byla nezbytná astronomická pozorování. Kepler v Praze získal spolehlivé dvacetileté pozorovací údaje Tycho na Braheho (1546–1601). Dánský astronom podstatně

OBEČNÁ TEORIE RELATIVITY STŘEDOŠKOLSKY – DRUHÁ ČÁST: Geometrický pohled na gravitaci

Matěj Ryston

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Katedra didaktiky fyziky, V Holešovičkách 2, Praha 8; matej.ryston@mff.cuni.cz

V této části série se pokusíme motivovat souvislost mezi geometrií a gravitací. Ukážeme, že na rozdíl od jiných druhů interakcí má geometrický pohled na gravitaci smysl díky univerzálnosti jejího působení. Zmíníme se o slabém principu ekvivalence a ukážeme si Flammův paraboloid, dvojrozměrnou zakřivenou plochu, která má přímou souvislost s obecnou teorií relativity. Zároveň se budeme zabývat často zmiňovanou analogií připodobňující prostoročas k prohnuté pružné bláně.

Newtonovská gravitace

Na začátek našeho povídání o relativistickém pohledu na gravitaci se sluší si připomenout, jak se na gravitaci díváme typicky na střední škole, tedy tzv. *klasickou* nebo také *Newtonovu teorii gravitace*. Ta je díky výuce na škole silně zakořeněna v našem běžném chápání světa a je zcela přirozené, že pokud budeme chtít pochopit o gravitaci něco nového, budeme muset toto staré chápání alespoň částečně rozbourat. Podle klasického pojetí je gravitace *přitažlivá síla, kterou na sebe působí každá dvě hmotná tělesa*. Tato síla je přímo úměrná hmotnostem obou těles a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti (u rozlehlých těles mluvíme typicky o vzdálenosti jejich těžišť). Čtenář jistě poznává slovní vyjádření Newtonova gravitačního zákona, který na střední škole typicky využíváme pro výpočet velikosti gravitační síly:

$$F_g = \kappa \frac{Mm}{r^2}, \quad (1)$$

kde M a m jsou hmotnosti daných těles, r je zmíněná vzdálenost a κ je Newtonova gravitační konstanta (pro niž se používá také značení G , ale protože tento text je zaměřen na středoškolské studenty, budeme se držet značení převažujícího ve středoškolských učebnicích).

Přestože tento fyzikální zákon od svého publikování slavil velké úspěchy pro vysvětlení pohybu těles pod vlivem gravitace nejen na Zemi, ale i v celé Sluneční soustavě, má některé nedostatky, které nás vedou k závěru, že se nejedná o zcela správný popis gravitace. Hlavním argumentem pro hledání nové, přesnější teorie gravitace je tzv. *okamžité působení na dálku*. Závislost na vzdálenosti těles ve vzorci (1) neobsahuje žádnou informaci o čase, to znamená, že pokud se změní vzdálenost mezi tělesy, podle (1) je působící gravitační síla změněna okamžitě, nezávisle na tom, že tělesa od sebe mohou být značně vzdálena. Zatímco tedy

světlo ze Slunce by k naší nejbližší hvězdné soustavě putovalo několik let, pomocí gravitace je informace o vzdálenosti těles přenášena nekonečně rychle. To je však v přímém rozporu se speciální teorií relativity, podle níž se žádná informace nemůže šířit rychleji než světlo ve vakuu. Ačkoli se nejednalo o primární důvod jeho snažení, můžeme chápat Einsteinovo zformulování obecné teorie relativity také jako snahu o vyřešení tohoto rozporu.

Druhým často zmiňovaným, tentokrát experimentálním poukázáním na „nedokonalost“ klasické teorie gravitace je *stáčení perihelia Merkuru*. Tento jev, kdy planeta Merkur neobíhá kolem Slunce po uzavřené elipse, čímž dochází ke stáčení pomyslné elipsy v rovině oběhu, patří mezi tzv. *klasické testy obecné teorie relativity*. Je ale příliš zajímavý a jeho historie příliš pozoruhodná, takže bychom mu zde nedokázali věnovat dostatek prostoru. Detailní a praktický rozbor můžeme najít v [1], případně ve více teoretické a historické rovině v anglickém jazyce v [2].

Gravitace vs. geometrie

Pojďme se vrátit k našim geometrickým úvahám z prvního článku. V ní jsme se věnovali rychlému pohledu na zakřivení okem středoškoláka. Nejvíce času jsme strávili nad zakřivenými plochami, které byly našemu chápání o mnoho bližší než zakřivený prostor. Vžijme-li se opět do role středoškolského studenta uprostřed výkladu, jistě nám vytane na mysli otázka, co má zakřivení či obecné geometrie společného s gravitací, která je naším hlavním tématem.

Jaký účinek má gravitace na těleso, které by se jinak pohybovalo volně? Předně si vzpomeňme na první Newtonův zákon, podle něhož se těleso, na které nepůsobí žádná síla (případně jsou všechny působící síly v rovnováze), pohybuje rovnoměrně přímočaře, jinými slovy pořád stejně rychle a po přímce. Pokud se však

Tandemová výuka fyziky na gymnáziu

Jana Škrabánková

Katedra fyziky, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita, 30. dubna 22, 701 03 Ostrava; jana.skrabankova@osu.cz

Příspěvek nabízí jak nezbytné základní informace o tandemové výuce, tak osobní zkušenost autorky s realizací tandemové výuky fyziky na Gymnáziu Nový Jičín, která probíhala v prvním pololetí školního roku 2019/2020 u žáků 2. ročníku tohoto gymnázia. Cíle, které byly v rámci tandemové výuky fyziky sledovány, zahrnovaly prohloubení spolupráce učitele fyziky z gymnázia s odborníkem (v našem případě s vysokoškolským pedagogem z Katedry fyziky Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity), ověření, zda může tandemová výuka vést ke zlepšení kvality výuky fyziky, a ověření, zda může mít tandemová výuka pozitivní vliv na postoje žáků k fyzice. Po každé vyučovací hodině proběhla mezi vyučujícími reflexe s důrazem na zhodnocení použitých edukačních forem a metod a jejich vlivu na poznávací procesy žáků. Zjištění směřující k ověření stanovených cílů byla získána analýzou odpovědí z evaluačních dotazníků, jež vyplnili všichni žáci, kteří tandemovou výuku absolvovali. Průběžně byly s žáky vedeny také rozhovory. Součástí příspěvku jsou výsledky evaluace, upozornění na výhody i případná úskalí tandemové výuky fyziky, stejně jako osobní pohled a zkušenost autorky.

Úvod

Na středních školách existuje v současné době řada projektů, které jsou více či méně zajímavé a pro školy a jejich žáky tedy více či méně přínosné. Projekt, kterého jsem se aktivně účastnila, řadím jednoznačně k těm lepším. A to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je tolik propagovaná spolupráce mezi učiteli, která byla v projektu zásadní. Druhým důvodem je často zmiňovaná malá obliba fyziky u žáků základních i středních škol. Chtěla jsem vyzkoušet, zda je za určitých okolností možné pozitivním směrem ovlivnit oblibu či zájem žáků o fyziku, i když výzkum TIMMS, realizovaný v roce 2011, mírné zvýšení obliby matematiky a přírodovědných předmětů u žáků základních a středních škol již zaznamenal [1].

V červnu 2019 jsem obdržela nabídku podílet se na tandemové výuce fyziky na Gymnáziu Nový Jičín. Výuka byla naplánována na období září 2019 až leden 2020, tedy na celé první pololetí školního roku 2019/2020. Byla jsem oslovena zástupcem ředitele tohoto gymnázia RNDr. Patrikem Kočím, MSc., který byl řešitelem výše zmíněného projektu III/2.9 Tandemová výuka na SŠ, IP 1, SC 2 (02.3.68.2). RNDr. Kočí je zároveň tamním učitelem fyziky. Protože jsem se s aktivitami kolegy Kočího již dříve setkala a vždy byly smysluplné a zohledňovaly edukační potřeby žáků, souhlasila jsem. A protože jsem do té doby o tandemové výuce pouze slyšela, navíc obvykle ve vazbě na výuku cizích jazyků [2], připadalo mi správné i vzhledem k mému odbornému akademickému zaměření si tuto výuku osobně vyzkoušet. Pro tandemovou výuku byli vybráni žáci 2. ročníku vyššího gymnázia, kteří jsou vzdělá-

ni ve čtyřletém vzdělávacím programu, v denní formě vzdělávání, podle platného Školního vzdělávacího programu pro gymnaziální vzdělávání [3]. Gymnázium Nový Jičín je gymnázium, jehož zřizovatelem je Moravskoslezský kraj. Na škole se vyučuje studijní obor Gymnázium všeobecné čtyřleté a Gymnázium všeobecné šestileté. Nejvíce žáků školy studuje obor čtyřleté gymnázium. Dále na škole existuje šest tříd šestiletého gymnázia. Studium je ukončeno maturitou.

Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání

Školní vzdělávací program Gymnázia Nový Jičín vymezuje fyziku jako vyučovací předmět, který vychází ze vzdělávací oblasti Člověk a příroda z RVP GV a ze vzdělávací oblasti Člověk a zdraví, z části vzdělávacího oboru Výchova ke zdraví. Uvádí, že fyzika integruje části vzdělávacích oborů chemie, biologie, zeměpisu, matematiky a IVT. Také charakterizuje fyziku jako obor, jehož hlavním cílem je rozvíjet logické myšlení žáků při řešení fyzikálních úloh a příkladů, které co nejvíce vycházejí z praxe. ŠVP popisuje fyziku jako předmět, který se snaží přiblížit žákům podstatu dějů kolem nich, učí je pohlížet na hmotu z mnoha úhlů a tím jim umožňuje rozvíjet řadu kompetencí. Nedílnou součástí výuky fyziky jsou praktická cvičení, při nichž se rozvíjí kreativita, manuální dovednosti, upevňují se znalosti a žáci se seznamují s metodami vyhodnocování výsledků jejich činnosti. Pro tandemovou výuku jsme v kontextu školního vzdělávacího programu využili zejména rozvoj logického myšlení, praktické příklady a laborování dle charakteru a potřeb probíra-

Einstein opět v Praze (4. část)

Ohlédnutí za „českým“ seriálem z produkce National Geographic aneb „fyzik potkává filmaře“

Jiří Podolský, Pavel Cejnar

Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8; jiri.podolsky@mff.cuni.cz; pavel.cejnar@mff.cuni.cz

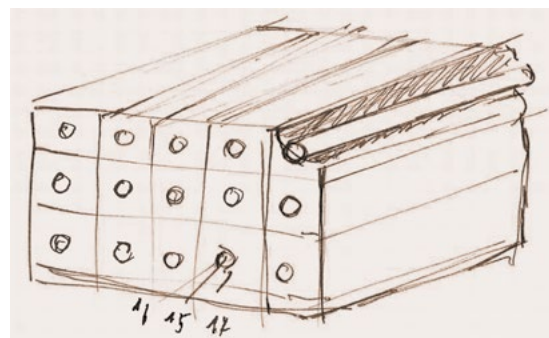
Na podzim roku 2018 odvysílala Česká televize na ČT2 unikátní desetidílný seriál *Génius: Einstein*, věnovaný životu a dílu asi nejslavnějšího fyzika všech dob. Každý pátek od září do listopadu mezi 20. a 21. hodinou tak měl každý možnost chronologicky sledovat celý Einsteinův pozoruhodný osud, často dramatický v osobní, vědecké i celospolečenské rovině. Na jeho pozadí tvořil své objevy, z nichž mnohé byly hodny Nobelových cen a doslova změnily historii (vzpomeňme jeho podíl na vzniku kvantové teorie, formulování speciální i obecné relativity či pozemský i kosmický dosah jeho rovnice $E = mc^2$). To vše bylo nyní bravurně zachyceno v HD kvalitě, precizní dobové výpravě, s hvězdným hereckým obsazením postav. Co více si může přát fyzik, jemuž není lhostejná historie ani obraz, jaký má jeho obor mezi ostatními lidmi! Seriálem *Génius* dostal možnost sdílet „to nejlepší z dějin fyziky“ se svými rodinami, přáteli nefyziky, se všemi ostatními. Nám, autorům tohoto článku, však bylo řízením osudu dopřáno více. Dostali jsme šanci aktivně se podílet na tvorbě takového výjimečného díla.

Otcové jaderné bomby (PC)

Toto označení lze se stejnou váhou přisoudit fyzikovi maďarského původu Leo Szilardovi a Američanovi Robertu Oppenheimerovi [44, 45]. Szilard již v roce 1933, tedy více než pět let před objevem jaderného štěpení, přišel s myšlenkou řetězové jaderné reakce využitelné k výrobě energie. Jeho tehdejší patent (udělený v roce 1936 [46]) sice obsahuje z dnešního hlediska irelevantní jaderné procesy, ale představa reakce udržující se v permanentním chodu díky produkci stejných částic, jaké jsou potřeba k jejímu spuštění, se v pozdějších pracích o štěpení atomových jader indukovaném neutrony plně potvrdila. Není-li průběh reakce regulován, dochází k exponenciálnímu nárůstu jejího výtěžku. Szilard si jako jeden z prvních uvědomil obrovský válečný potenciál jaderného štěpení a byl to především on, kdo v roce 1939 přesvědčil Einsteina k napsání proslulého dopisu upozorňujícího na nebezpečí vývoje německé jaderné zbraně americkému prezidentovi F. D. Rooseveltovi. V dopise Einstein, ač sám přesvědčený pacifista, doporučuje zahájení amerického vojenského jaderného programu. To se později skutečně stalo. Když se v roce 1942 naplno rozeběhl takzvaný *Manhattan Project*, byl jako vedoucí jeho výzkumných laboratoří jmenován Robert Oppenheimer.

Szilard i Oppenheimer v *Géniovi* samozřejmě několikrát vystupují. Scéna ve 27. minutě 9. epizody, v níž se Szilard snaží přesvědčit odporujícího Einsteina o nut-

nosti napsat dopis Rooseveltovi, měla obsahovat prezentaci několika nákrešů, které si s sebou Szilard na návštěvu k Einsteinovi přinesl (návštěva se skutečně odehrála v Einsteinově letní rezidenci na Long Islandu, která v hale barrandovského ateliéru stála jen pár kroků od jeho stálého princetonského domu). Na jeden z archů jsem nechal načrtnout rozrůstající se štěpnou reakci na izotopu uranu 235 – při každém aktu štěpení se uvolňují dva až tři neutrony, které mohou způsobit štěpení dalších uranových jader. Pro druhý arch jsem zvolil variaci na jeden z obrázků, který se o několik let později objevil v patentu [47] jaderného reaktoru podaném Leo Szilardem a Enricem Fermim (jenž v prosinci 1942 jako první na světě



Obr. 52 Náčrt aktivní zóny jaderného reaktoru vytvořený pro účely natáčení na základě Szilardova a Fermiho patentu [47]. Zdroj: osobní archiv P. Cejnara

Česká astrofotografie měsíce patnáctiletá

Zdeněk Bardon, Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

Česká astrofotografie měsíce je český projekt, u jehož zrodu stál právě před 15 lety spolu se svými kolegy její zakladatel – foto ambasador ESO a zároveň předseda astrofotograf Zdeněk Bardon. Soutěž zaštiťuje Česká astronomická společnost. Skupina porotců, složená jak z amatérských astronomů, tak z profesionálů, vybírá v elektronickém hlasování každý měsíc vítězný snímek. Na konci kalendářního roku je volen laureát ceny Jiřího Zemana, tedy nejvyššího ocenění pro nejlepšího astrofotografa.

„Jsem přesvědčen, že pokud na nás z vesmírných dalek pohlíží Jindřich Zeman, Josef Klepešta, Antonín Bečvář či Vladimír Mlejnek, jsou zcela jistě hrdí na naše počínání v pokračování jejich odkazu.“
Zdeněk Bardon

Česká astrofotografie měsíce (ČAM) vešla do povědomí českých a slovenských astronomů a úspěšně se tam usadila. Aby také ne. Americká NASA i nejpřesnější astronomická instituce na světě – Evropská jižní observatoř (ESO) – astrofotografii zhusta využívají jako svoji výkladní skříň určenou veřejnosti. Naproti tomu Česká astrofotografie měsíce je více dílem nadšenců a současně také „výkladní skříň“ České astronomické společnosti (ČAS). Přidanou hodnotou je pak i popularizace české a slovenské fotografické tvorby doma i ve světě.

Její zakladatel Zdeněk Bardon s pýchou i pokorou dodává: „ČAM již není slečnou na prahu rozkvětu krásy, ale obzvláště pro fotografy zachycující nebeské úkazy je přitažlivou a respektovanou dámou, jež tento rok slaví své půvabné patnácté narozeniny. A protože nic na světě se nerodí samo od sebe, i tato soutěž vznikla především z obrovského nadšení pro vesmír a jeho fotografování. Jejím hlavním cílem byla a stále je zejména inspirace. Není to jen slovo nebo fráze, ale především vzor pro mládež. Je přece mnohem lepší, když mladí lidé budou foto-

grafovat hvězdy, než aby se poflakovali po hospodách, případně „něco lovili“ v mobilních telefonech.“

Pojďme si tedy tento unikátní projekt podrobněji připomenout. Co to vlastně Česká astrofotografie měsíce je? „Tak nejprve pojmenování česká znamená pouze označení místa vzniku. Tato fotografická soutěž je opravdu československá a demokraticky otevřená všem fotografům, ať to jsou profesionálové, či amatéři. To dokazuje stále vzrůstající zájem. Vítězné snímky jednotlivých kalendářních měsíců přebírají významná média. Do výčtu partnerů se řadí skutečné legendy, jako například ČTK, tiskový odbor Akademie věd ČR nebo populární časopisy Astropis, FotoVideo, Vesmír, Československý časopis pro fyziku či slovenský Kozmos,“ skromně podotýká Zdeněk Bardon.

Je vynikající, že od začátku roku 2020 soutěž podporují takové významné společnosti, jako je FotoŠkoda a německý optický gigant ZEISS, který postavil největší český Perkův dvoumetrový dalekohled. Je to osobitý počín a jak říká Zdeněk Bardon: „Tím vším se o značný kus rozšiřuje popularita astrofotografie.“

Každoroční vrcholnou událostí soutěže je udílení Ceny Jindřicha Zemana, ne náhodou pojmenované po prvorepublikové astrofotografické legendě. Cenu získá jen ten nejlepší astrofotograf daného roku a laureáty je velmi ceněná. Samozřejmě se nezapomíná ani na mládež. Pro astrofotografa do osmnácti let věku je určena stejná cena, jen s přívlastkem Junior.

Patnáct let je významný kus života a jako každý začátek ani tento nebyl nijak lehký. Zdeněk Bardon podotýká: „Česká astrofotografie měsíce sice spatřila světlo světa na podzim roku 2005, ale předcházelo tomu několik pokusů a samozřejmě i omylů. Ještě teď si pamatuji, jak jsem jako zakladatel a „buldozer“ zároveň tlačil myšlenku až k její realizaci. Nebylo to vůbec snadné, ale nebyl jsem na to sám. Marcel Bělík, Pavel Suchan, Martin Myslivec, Karel Mokřý a Pavel Ambrož byli nejen spoluvůdci počátků, ale hlavně vydrželi pracovat až do dnešních dnů. Obzvláště Marcel Bělík neúnavně sepisuje poutavé články měsíc co měsíc. Kdyby se vydaly knižně, tak dílo bude obsahovat více než 300 stran.“



Oficiální logo projektu Česká astrofotografie měsíce (ČAM).

První kroky k elektromagnetismu a Hans Christian Oersted (1777–1851)

Alena Šolcová

Fakulta informačních technologií ČVUT v Praze, Thákurova 9, 160 00 Praha 6; alena.solcova@fit.cvut.cz

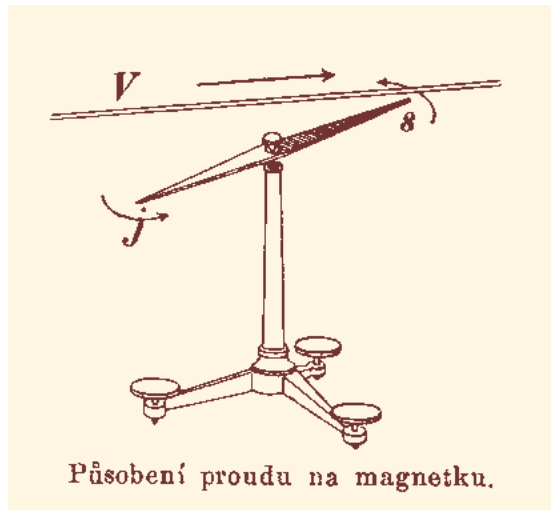
Snad nikdy nebylo vykonáno za dva roky tolik objevů jako v oněch letech 1820–1822.

Před 200 lety, dne 15. 2. 1820, přednášel dánský fyzik Hans Christian Oersted [Ørsted] na kodaňské univerzitě o Voltově sloupu a „galvanismu“, jak se tenkrát nazývala nauka o elektrickém proudu. Bylo známo, že při průchodu proudu se vodič zahřívá, a bylo to vysvětlováno tak, že ve vodiči dochází k jakési dramatické kolizi – srážce, viz [1]. Vazba „elektrický proud“ se tehdy nepoužívala, ale mluvilo se o elektrickém „konfliktu“.

Oersted předváděl pokus na stole před studenty v posluchárně a poblíž jeho vodiče byla odložena i magnetická střílka (obr. 1). Oersted vysvětloval, že elektrické a magnetické působení mají odlišnou povahu a připojil vodič k baterii. Možná chtěl ukázat, že Voltův sloup způsobí zahřátí drátu, je zdrojem elektrického „konfliktu“. Přitom ho překvapil nečekaný pohyb. Magnetka se pohnula. Když potom zkusil zapojit zdroj obráceně, pohnula se na opačnou stranu. Oersted tak zjistil, že protéká-li vodičem elektrický proud, vzniká v jeho okolí magnetické pole. V krátké době prozkoumal působení proudu na magnetickou střílku v různých polohách a také v různých vzdálenostech vodičů od magnetické střílky. Zprvu byl přesvědčen, že při za-



Obr. 2 Oersted při pokusu s Voltovým sloupem, vodičem a magnetkou.



Působení proudu na magnetku.

Obr. 1 Pokus s magnetickou střílkou z učebnice V. Nováka Fysika [2].

pnutí proudu vychází z vodiče neviditelný magnet, který vychýlí střílku z její statické polohy. Věřil, že k tomu může dojít právě tehdy, když se střetnou ve vodiči opačná fluida, a právě tuto skutečnost nazval elektrickým „konfliktem“. Toto pozorování zahájilo období zkoumání elektromagnetismu a Oerstedovi vlastně vděčíme za to, že můžeme používat dynamo a elektromotory, jezdit tramvají či metrem.

Jak už se stává, existuje více verzí této příhody a nemůžeme zaručit, že probíhala přesně tak, jak bylo uvedeno. Např. podle některých historiků přednáška s experimenty probíhala v Oerstedově bytě, podle jiných v posluchárně na univerzitě (obr. 2). Avšak je téměř jisté, že Oerstedovi pomohla spíše náhoda – že takový objev neplánoval. Přesto je ve vývoji vědeckých poznatků důležité, aby se našel někdo, kdo si nenápadné náhodné události všimne. „Náhoda přeje připraveným“ je známé úsloví. V červenci 1820 Oersted publikoval své pozorování v práci *Pokus s působením elektrické-*

Laser – od kolébky až po ELI

Jan Řídký, Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

ELI Beamlines je evropské výzkumné centrum s nejintenzivnějším laserovým systémem na světě. Díky ultrakrátkým laserovým pulzům, trvajícím jen několik femtosekund, a výkonům až 10 PW by mohlo toto badatelské centrum přinést nové techniky a nástroje pro základní výzkum v oblastech lékařského zobrazování, diagnostiky, radioterapie či rentgenové optiky. Při příležitosti 60. výročí objevu laseru jsme se na podrobnosti týkající se vzniku a plánovaného výzkumu v ELI zeptali profesora Jana Řídkého, jenž stál spolu se svými kolegy přímo u jeho zrodu.

Ano! Byl to právě Max Planck – německý génius, filozof, „nobelista“ a excellentní fyzik. Ten, který stál přímo u kolébky vzniku laseru. Když roku 1900 rozvinul tuto prázákladní myšlenku svým předpokladem, že světlo je tvořeno maličkými částicemi energie – tzv. kvanty, jistě ještě netušil, k jak velkému objevu základní kámen právě položil. Byl to ale zatím jen počátek předlouhé cesty, jež lidstvo postupně dovedla až k moderním a výkonným laserovým systémům. Bylo třeba ještě mnoho a mnoho usilovné práce, aby se tyto ideje a vize podařilo uvést do praxe.

Svůj osobitý díl k tomuto výzkumu přidal i další slavný fyzik Albert Einstein, který postuloval samotnou podstatu laseru, a to tzv. *stimulovanou emisi záření* – jako jev „symetrický“ k absorpci světelného kvanta. Za vysvětlení jiného jevu spojeného s existencí světelných kvant – *fotoelektrický jev* – pak Albert Einstein obdržel i Nobelovu cenu za fyziku (1921).

Po pojmenování kvant energie „fotony“ (1926 americký chemik Gilbert Newton Lewis) následovalo další období intenzivní práce a důkladného výzkumu. V šedesátých letech dvacátého století ke vzniku laseru postupně přispělo hned několik vědců. V roce 1964 tak za vynález maseru a laseru obdrželi Nobelovu cenu Charles Hard Townes, Nikolaj Genadievič Basov a Alexandr Michajlovič Prochorov. Je zajímavé, že tehdy opomenutému Arthuru Leonardu Schawlowovi byl přiznán podíl na návrhu laseru udělením Nobelovy ceny za související výzkum (spektroskopii) až o 28 let později.

Tvrdá badatelská práce se vyplatila a 16. května roku 1960 zkonstruoval a spustil první fungující (rubínový) laser americký fyzik a inženýr Theodore H. Maiman. Současně na spuštění laseru pracovala řada laboratorů, nejen v USA, ale první může být jen jeden a to byl Maiman. O pouhý rok a půl později (1961) byla v Columbia-Presbyterian Hospital na Manhattanu provedena první unikát-

ní operace oka, během níž byl pomocí laseru odstraněn nádor ze sítnice.

A jaká byla situace u nás v Československu? Můžeme hrdě říci, že jsme se za světem příliš neopozdili, protože Československo se stalo po USA a Sovětském svazu třetí zemí, která zkonstruovala svůj vlastní funkční laser. Ten první byl spuštěn 9. dubna 1963 ve Fyzikálním ústavu ČSAV. Jeho tvůrcem byl Karel Pátek, jenž použil jako aktivní prostředí neodymové sklo. Další z vědců, Helena Jelínková z ČVUT v Praze a Jan Blabla z Ústavu radioelektronického ČSAV, poté postavili rubínový laser, který představili veřejnosti v prostorách pražského planetária. A rubínový laser spustil také Dr. Pachman ve Výzkumném ústavu Ministerstva národní obrany v Praze. Další skvělý český vědec Tomislav Šimeček uvedl v Ústavu fyziky pevných látek ČSAV do provozu první polovodičový laser a František Petrů se svým týmem zprovozoval první plynový laser v Ústavu přístrojové techniky ČSAV v Brně.

Je velká škoda, že do nestranného vědeckého bádání zasáhla i politika a od poloviny šedesátých let došlo v Československu na základě intervence Sovětského svazu ve vývoji laserů k útlumu. Teprve v 80. letech mohl další výzkum a vývoj československých laserů (konkrétně laserů jódových) opět pokračovat. Fyzikální ústav ČSAV tehdy získal darem výkonový jódový laserový systém vyvinutý v Lebeděvově ústavu v Moskvě. Přestavěl ho, pozměnil jeho koncepci a uvedl v roce 1985 do provozu pod názvem PERUN. Jeho výkonnější verze – laserový systém PERUN II – byla následně spuštěna v roce 1992. V roce 1997 získal Fyzikální ústav AV ČR ještě výkonnější terawattový laser ASTERIX IV z Ústavu fyziky plazmatu Maxe Plancka v Garchingu u Mnichova a v roce 1998 v Praze vznikla společná laserová laboratoř Fyzikálního



ELI Beamlines je evropské výzkumné centrum s nejintenzivnějším laserovým systémem na světě.

Foto: Archiv ELI Beamlines.

Storočnica profesora Vladimíra Hajka

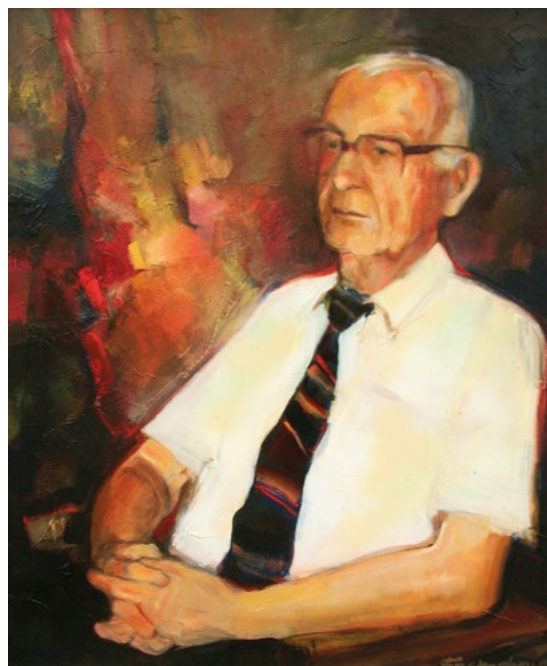
Štefan Luby

Fyzikálny ústav SAV, Dúbravská 9, 84511 Bratislava

V tomto roku by sa 3. októbra dožil sto rokov profesor RNDr. Vladimír Hajko, fyzik-magnetik a pedagóg, budovateľ vedeckovýskumnej základne na východnom Slovensku a predseda Slovenskej akadémie vied SAV, ktorý Akadémiu všestranne pozdvihol. Vo svojom konaní bol precízny a humánny, cieľavedome rozvíjal kontakty s českou fyzikou.

Tento rok 3. októbra uplynie storočie od narodenia profesora RNDr. Vladimíra Hajka, rodáka z Krompách na východnom Slovensku. Detstvo prežil v Tisovci, kde absolvoval aj gymnaziálne štúdiá. Svoj ďalší život strávil vo fyzike. Po skončení štúdia na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v roku 1944 pôsobil jedno decénium v Ústave technickej fyziky SVŠT v Bratislave. Ťahalo ho to však na rodné východné Slovensko, kde rozvoj vedy a vzdelávania vyžadoval aktívnych ľudí a ponúkal veľké šance. Ďalších desať rokov preto pôsobil na Katedre fyziky Strojníckej fakulty Vysokiej školy technickej v Košiciach. Už tu sa mu ušla funkcia prorektora. Z tejto pozície sa zaslúžil o založenie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach (1963), stal sa jej prvým dekanom a v rokoch 1969 – 1974 rektorom univerzity. Založením Prírodovedeckej fakulty profesor Hajko vytvoril bázu pre matematiku, fyziku, chémiu a biológiu a zaslúžil sa o zvýšenie vzdelanostnej úrovne východnej časti našej republiky. Svoje takmer 20-ročné pôsobenie na fakulte, a neskôr aj na Ústave experimentálnej fyziky SAV, považoval za najplodnejšie obdobie svojho života a naplnil ním svoju túžbu vytvoriť v Košiciach serióznú vedeckú a pedagogickú bázu v odbore fyzika, ktorá je uznávaná doma aj v zahraničí. Košice sa stali vzorom symbiotického nažívania ústavov SAV a vysokoškolských inštitúcií.

Zatiaľ čo v Bratislave sa pod vplyvom prof. Dionýza Ilkoviča V. Hajko venoval sprvu meracej technike pre polarografiu, v Košiciach bol jednou z kľúčových postáv formovania výskumu magnetizmu a magnetických materiálov, ktorý získal medzinárodnú úroveň. Sám študoval mechanizmy premagnetovania feromagnetických tyčí, interpretoval charakter hysterézie demagnetizačného faktora, skúmal javy *reptation* a *bascule negative*. Pomocou aparatury s vysokou citlivosťou prispel k potvrdeniu negatívnych Barkhausenových skokov i k vypracovaniu fenomenologickej teórie ich vzniku. Pomohlo to vyriešiť spor vedený v literatúre o ich existencii. Košice sa stali miestom tradičných celoštátnych konferencií o magnetizme. Profesorom sa stal ako štyridsaťročný.



Portrét Vladimíra Hajka v galérii predsedov SAV (autor Š. Roškovanýi).

Publikácie Vladimíra Hajka a kolektívu v slovenčine, nemčine a angličtine získali ohlas primeraný vtedajšej publikačnej praxi a slovenským možnostiam. Počty registrovaných citácií sa u niektorých prác blížili číslu 20; dôležitá je však ich životnosť. Napr. k článkom z r. 1961 a 1965 vo Phys. Stat. Solidi autori [1] v r. 1997 napísali, že to bol Néel, kto podal prvý fenomenologický opis efektu *bascule*, avšak precízne experimenty J. Daniela-Szabóa, V. Hajka a H. Gengnagela jednoznačne potvrdili jeho predpoveď. Podobne v roku 2006, s odstupom 38 rokov, sa autori práce o negatívnych Barkhausenových skokoch [2] odvolávajú na Hajkovu prácu s Antonom Zentkom v Czech. J. Phys. B v r. 1968.

V. Hajko bol príkladom symbiózy výučby a výskumu v časoch, keď to ešte nebol štandardný slogan. Za získanú pedagogickú erudíciu ďakoval D. Ilkovičo-

Odešel Ludvík Smrčka

Krátce před uzavěrkou tohoto čísla náhle zemřel Ing. Ludvík Smrčka, DrSc. Jeho vědecký život byl spojen s Fyzikálním ústavem Akademie věd ČR a na webových stránkách této instituce lze také najít osobnější vzpomínky Ludvíkových kolegů. Na stránkách Československého časopisu pro fyziku bychom rádi krátce připomněli jeho přínos k fyzice pevných látek.

Ačkoliv byl většinou z nás považován za teoretika, vracel se během svého života – s vědomím, že fyzika je experimentální věda – často do laboratoří a některé z nich mu i vděčí za svůj vznik. Experimentální byly také úplné začátky jeho vědecké kariéry, nicméně již v kandidátské práci (obhájené v roce 1970) předložil výpočty elektronové struktury hliníku pomocí metody APW (*Augmented Plane Wave*, metoda řešení Schrödingerovy rovnice v bázi funkcí konstruovaných částečně z atomových orbitalů a částečně z rovinných vln). Část této práce byla publikována také



vzorky polovodičových heterostruktur. Dvojměrný elektronový plyn v těchto vzorcích je „biotopem“ zmíněného kvantového Hallova jevu a v oddělení se tak mohl rozběhnout experimentální výzkum v tomto oboru [4].

Byly navázány spolupráce i s nositeli Nobelových cen [5] a plodnému tématu nakonec nalezen i vhodný nástupce – zředěné magnetické polovodiče [6]. Poté co předal vedení oddělení Tomáši Jungwirthovi (viz fotografie obou kolegů z roku 1999), jenž byl v devadesátých letech jeho doktorandem, se Ludvík Smrčka zaměřil na grafit a grafen [7] a i v důchodu se aktivně věnoval magnetotransportu: například začátkem tohoto roku jsme coby teoretici začali spolupracovat s kolegy z Univerzity Pardubice na analýze Šubnikovových–de Haasových oscilací v dopovaném Bi_2Se_3 . I v tomto projektu nám budou Ludvíkovy zkušenosti a nadhled chybět.

Spolupracovníci, FZU AV ČR



Ludvík Smrčka a Tomáš Jungwirth při prezentaci výsledků týkajících se struktur s dvojměrným elektronovým plynem (konference EP2DS-13 v roce 1999).

v našem „modrém“ časopisu [1] a i v současnosti je stále citována.

V dalších letech se jeho zájem rozšířil i o vliv magnetického pole na transport elektronů v pevných látkách (především elektrickou vodivost), což se ukázalo být šťastnou volbou vzhledem k objevu kvantového Hallova jevu na začátku osmdesátých let. Velký ohlas vzbudila práce s Pavlem Sředou [2] z období krátce před objevem tohoto jevu, ale i několik dalších článků v našem časopise v pozdějších letech. Mimo Fyzikální ústav vznikla díky tomuto tématu spolupráce s Akirou Isiharou ze SUNY Buffalo ve Spojených státech [3].

Uvedené práce jsou čistě teoretické, nicméně v říjnu 1990 Ludvík opustil tehdejší Oddělení polovodičů Fyzikálního ústavu, založil nové Oddělení povrchů a rozhraní a stal se jeho vedoucím. Brzy tak mohla být uvedena do provozu nová aparatura MBE (*Molecular Beam Epitaxy* – metoda růstu tenkých vrstev z molekulárních svazků), na níž vznikaly vysoce kvalitní

Literatura

- [1] L. Smrčka: Czech J. Phys. **20**, 291 (1970).
- [2] L. Smrčka, P. Sředa: J. Phys. C: Solid State Physics **10**, 2153 (1977).
- [3] A. Isihara, L. Smrčka: J. Phys. C: Solid State Physics **19**, 6777 (1986).
- [4] L. Smrčka a kol.: Phys. Rev. B **51**, 18011 (1995); T. Jungwirth a kol.: Phys. Rev. Lett. **81**, 2328 (1998).
- [5] W. Pan a kol.: Phys. Rev. Lett. **85**, 3257 (2000).
- [6] V. Novák a kol.: J. App. Phys. **102**, 083536 (2007).
- [7] L. Nádvořník a kol.: New J. Phys. **14**, 053002 (2012).



Abstracts of review articles

Petr Bouchal, Zdeněk Bouchal: Photonics in the realm of insects. Remarkable light shaping in the cuticle of a scarab beetle

The insect kingdom provides us with an exceptional variety of optical phenomena, commonly observed as iridescence. An interesting example for studying structural coloration is the beetle *Chrysina gloriosa* (family Scarabaeidae). The recent discovery of its control of light at the sub-micrometre scale, in axicon-shaped cuticle cells, is the inspiration for current photonic technologies.

Helge Kragh: Photon: New light on an old name

After G. N. Lewis (1875-1946) proposed the term "photon" in 1926, many physicists adopted it as a more apt name for Einstein's light quantum. However, Lewis' photon was a concept of a very different kind, something few physicists knew or cared about. In fact, it turns out that the term "photon" was not novel, as the same term was proposed or used earlier, apparently independently, by at least four other scientists. Three of the four early proposals were related to physiology or visual perception, and only one to quantum physics. Priority belongs to the American physicist and psychologist L. T. Troland (1889-1932), who coined the word in 1916, and five years later it was independently introduced by the Irish physicist J. Joly (1857-1933). Then in 1925 a French physiologist, René Wurmser (1890-1993), wrote about the photon, and in July 1926 his compatriot, the physicist F. Wolfers (ca. 1890-1971), did the same in the context of optical physics. None of the four pre-Lewis versions of "photon" were well known and they were soon forgotten.

Petr Vencelides, Jana Jurmanová: Electron microscopy as an inspiration for teaching (not only) high school physics

The article presents electron microscopy as a suitable source of inspiration for teaching physics at secondary school. Some specific examples explain the basic physical principles of these (sophisticated) devices. Today, electron microscopy is developing rapidly, and its inclusion in physics textbooks is highly desirable.

Vladimír Štefl: Kepler's laws in history and contemporary textbooks

This article analysis the original historical text of *Astronomia nova* and *Harmonies of the World*. Kepler derives, by geometrical considerations of observational data of Mars and physical magnetic hypothesis, the elliptical law and the areas law. The harmonic law, which Kepler recognized, allows the relative sizes of two orbits to be gauged from comparison of their periods. Kepler's laws acted as a bridge for crossing from geometry to astronomy and from kinematics to dynamics. In this contribution, we present the content of textbooks at high schools and introductory courses of physics at university level in the topic of Kepler's laws.

Matěj Ryston: General theory of relativity at high school – part 1: Non-Euclidean geometry

General Relativity (GR) is traditionally viewed as too abstract and mathematically complex to be taught at upper secondary school. It is for students, however, a very interesting and, thanks to its astrophysical predictions, quite appealing part of physics. In this four-part series we will describe a way to introduce the basics of GR using only the language of upper secondary mathematics and physics; especially why physicists "tell us" that "gravitation is curvature of spacetime". Individual articles: Non-euclidean geometry, Geometrical view of gravitation, Time dilation and GPS and Gravitation as curvature of spacetime correspond with a series of ideas, which will hopefully lead to a better understanding of GR and ideally, also deepen interest in this beautiful theory as well as physics itself.

Jana Škrabánková: Tandem teaching physics at grammar school

The paper deals with tandem education and the author's personal experience with tandem physics teaching at Nový Jičín Grammar School (first term of the 2019/2020, second class). The aims of tandem physics teaching include improving cooperation of a teacher with an expert (in this case it was a university lecturer, from the Department of Physics, the Faculty of Science, University of Ostrava). Verification of whether tandem education leads to improvement in physics education and has a positive impact on students' attitude to physics was also carried out. After each lesson, there was reflection among the teachers with an emphasis on the utilised educational forms and method and their influence on the cognitive processes of students. Verification of the goals were obtained by analysing answers in evaluation questionnaires, which were completed by all students who had finished the tandem education. Interviews were also conducted with students on an ongoing basis. This part of the paper includes the results of the evaluation, advantages and potential difficulties of tandem physics teaching, as well as the author's personal view and experience.

Jiří Podolský, Pavel Cejnar: On the "Czech" TV series produced by the National Geographic, or "physicist meets filmmakers"

Between summer 2016 and spring 2017, a unique project Genius: Einstein, devoted to the fascinating and dramatic life of the most famous physicist, was filmed in Prague and other Czech locations. The authors of this article actively contributed to this film saga by becoming its "on stage" science advisors. They designed the content of almost 100 blackboards and papers with physical and mathematical formulas, texts and schemes, which appeared throughout all ten episodes of the series. The article describes how these materials were created and explains the relevant historical background of the 20th-century physics. Some stories "behind the scenes" are also described from the author's personal perspective.

HLEDÁME ENERGETICKÉ SUPERSTARS

Pomozte studentům k zářivé kariéře.

Jste hrdí na své studenty? Mají díky vám rádi fyziku, matematiku a řešení problémů?

Pomozte jim vytvořit tým, který v Energetické olympiádě vyhraje odměnu **50 000 Kč** a dostane se **na vejšku bez přijímaček**.

Školní kolo: **16.10.2020** Finále: **12.-13.11.2020**



Generální partner:



Odborný garant:



Mediální partner:



eli



60 YEARS OF LASER

1 9 6 0 - 2 0 2 0

www.ilovelaser.eu
www.eli-beams.eu

#60laser

