OBSAH

Obsah 1

Společná část

Halaš: Světový rok fyziky 2005 byl zahájen 3

Novotný: Brána relativity otevřená 6

Lacina, Martinásková: Fotoelektrický jev 15

Jak vidím svět – pocta Albertu Einsteinovi 28

Bochníček: Snímače magnetického pole 29

Dolejší, Hronková: O výstředníkových vklíněncích 37

Benediktová, Písařová: Řekové a Arabové pod hvězdnou oblohou 41

Mazanec: Písemná maturitní zkouška z fyziky v Bavorsku 47

Železný: Větrné elektrárny – mnoho otazníků 59

Jírů: Sprinter 66

Balhar, Kahoun, Kessler, Mareček: Ověření Newtonova vztahu pro odpor vzduchu – aneb k čemu lze použít obyčejný fén 69

Volf: Úkoly didaktiky fyziky v České republice na začátku 21. století 73

Rauner: Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2 (Rámcové vzdělávací programy) 81

Lacina: Moderní trendy v českém fyzikálním vzdělávání 83

Volf, Vybíral: 36. mezinárodní fyzikální olympiáda ve Španělsku 92

Nabídka společnosti ČEZ, a.s. pro školy 94

Kohout: Česká učebnice fyziky získala ocenění na Frankfurtském knižním veletrhu 2005 98

číslo

3

VIII.

ročník

2005

ŠKOLSKÁ FYZIKA

Ročník VIII. 2005

Praktický časopis pro výuku fyziky a práci s talentovanými žáky na základních a středních školách

Vydává: Katedra obecné fyziky Pedagogické fakulty Západočeské univerzity v Plzni ve spolupráci s ústředním výborem FO, katedrou obecné fyziky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, katedrou didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze, katedrou fyziky Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, dalšími fakultami připravujícími učitele fyziky a Českou nukleární společností pod patronací Jednoty českých matematiků a fyziků

Šéfredaktor: Václav Havel (email: havelv@kof.zcu.cz)

Výkonný redaktor: Miroslav Randa (email: randam@kof.zcu.cz)

Sekretářka redakce: Jitka Štychová (email: stychova@kof.zcu.cz)

Redakční rada: Václav Havel, Josef Kepka, Soňa Křítková, Aleš Lacina, Miroslav Randa, Karel Rauner, Milan Rojko, Ivo Volf.

Rozšířená redakční rada: Jan Bečvář, Václav Bláha, Josef Blažek, Zdeněk Bochníček, Ivo Čáp, Jiří Erhart, Gerhard Höfer, Jan Hrdý, František Kamenčák, Zdeněk Kluiber, Daniel Kluvanec, Václav Kohout, Jana Krsková, Václav Křivohlavý, Vítězslav Kubín, Vladislav Kvapil, Dušan Novotný, Jan Novotný, Jitka Prokšová, Jan Slavík, Václav Soukup, František Špulák, Rudolf Šup, Josef Trneček, Václav Turek, Josef Veselý.

Adresa redakce: Školská fyzika, KOF PeF ZČU, Klatovská 51, 313 00 Plzeň,
☎ 377 636 303 nebo 377 636 441; fax 377 636 333

Vychází: čtyřikrát ročně ve verzi pro ZŠ, verzi pro SŠ a společné verzi pro ZŠ+SŠ

Předplatné:

verze ZŠ	250 Kč ročně (4 čísla po 62,50 Kč)
verze SŠ	250 Kč ročně (4 čísla po 62,50 Kč)
verze ZŠ+SŠ	300 Kč ročně (4 čísla po 75,00 Kč)
studentská sleva verze ZŠ+SŠ	150 Kč ročně (4 čísla po 37,50 Kč)

Objednávky přijímá: Jitka Štychová, katedra obecné fyziky FPE ZČU, Klatovská 51, 313 00 Plzeň

URL (Internet): http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/sk_fy/

ISSN 1211-1511

Toto číslo bylo odesláno k tisku 10. 11. 2005.

Světový rok fyziky 2005 byl zahájen

Rostislav Halaš[*]*, Reálné gymnázium Prostějov*

Ve dnech 13.–15. ledna 2005 se v pařížském sídle UNESCO uskutečnila konference, kterou byl zahájen Světový rok fyziky 2005. V tomto roce uplynulo 100 let od publikace tří fundamentálních prací Alberta Einsteina – formulace speciální teorie relativity, statistického vysvětlení Brownova pohybu molekul a kvantově mechanického zdůvodnění fotoelektrického jevu. Konference se zúčastnilo přes 1 300 fyziků, učitelů a studentů z 58 zemí světa.

Referáty o historickém vývoji fyzikálního výzkumu, jeho současném stavu a výhledech v kratším časovém horizontu, jakož i některé futuristické vize ve svém oboru, přednesly významné vědecké osobnosti.

K. R. Sreenivasan z Indie se zabýval rozvojem fyziky a **Claus Weyrich**, člen představenstva Siemens AG**,** inovacemi, které jsou hybným motorem vědy a průmyslu. Z porovnání prostředků reinvestovaných v jednotlivých odvětvích průmyslu plyne, že jednotlivé vlády věnují nedostatečnou pozornost řešení energetických problémů svých zemí. Zatímco v odvětví výroby mobilních telefonů se reinvestuje až 30 % získaných prostředků, v odvětví výroby elektrické energie je to pouhých 0,8 %, což je stejně jako reinvestic v tabákovém průmyslu. Extrapolace současného vývoje spotřeby elektrické energie vede k závěrům, že se v roce 2010 začne silně projevovat její nedostatek. Přitom současná věda zná řešení některých technických, socioekonomických i globálních problémů lidstva, mnohdy ale chybí politická rozhodnutí.

Claus Weyrich

Zhores Alferov, nositel Nobelovy ceny z roku 2000, objevitel polovodičových heterostruktur, se mimo jiné zabýval perspektivou použití těchto materiálů pro výrobu levných solárních panelů. Tyto panely by mohly v nedaleké budoucnosti řešit nedostatečnou elektrifikaci rozvojových zemí. V této souvislosti bych poznamenal, že většina řečníků se shodla na tom, že pozvednutí úrovně rozvojových zemí by mělo být prioritou světové komunity a je v zájmu všech zemí. Jejich vzestup je jedním z aspektů řešení sociálních problémů.

Claus Cohen-Tannoudji, nositel Nobelovy ceny z roku 1997 za objev chlazení atomů a jejich zachycování, se zabýval dopadem objevů kvantové fyziky na každodenní život. Za téměř století se kvantová fyzika dostala do čela základního výzkumu a její aplikace nezůstaly pozadu. Moderní mikroelektronické součástky, počítače, přehrávače CD, mobilní telefony, ale i výroba radionuklidů pro lékařské účely, tomografy, přístroje pro trojrozměrné skenování lidských útrob založené na nukleární magnetické rezonanci, to vše jsou jen příklady aplikací základního výzkumu v tomto oboru. Přitom ty posledně jmenované již dosáhly takových para-

[*] r.halas@post.cz

metrů, že dávají lékařům do rukou možnosti vybrat si kterýkoliv lidský orgán a s rozlišovací schopností až jednoho milimetru si jej prohlížet ze všech stran. Tato metoda je přitom dle současných poznatků zcela neškodná na rozdíl například od běžného rentgenu.

Současně vyvinuté technologie lineárních urychlovačů ukazují na možnost likvidace radioaktivních odpadů jejich přeměnou na stabilní izotopy.

George Charpak, nositel Nobelovy ceny za fyziku z roku 1992, vynálezce drátové komory používané při detekci nejmenších částic hmoty, se zabýval výukou a vzděláváním v oblasti fyziky. Nejprve zdůraznil význam vědy pro rozvoj civilizace, aby se dále věnoval lidským zdrojům v této oblasti. V posledních několika dekádách se projevuje celosvětový pokles zájmu mladých lidí o přírodní vědy, takže tempo výzkumu je pro další léta ohroženo. Jako příčiny tohoto jevu vidí nejen nezdravé ovzduší ve společnosti s pokřivenými hodnotovými vazbami, ale neváhal také zaměřit kritiku do vlastních řad. Vědci sami se musí čas od času oprostit od zaujetí svým výzkumem a předstoupit před žáky, studenty a širokou veřejnost a vhodným a pochopitelným způsobem informovat o výsledcích výzkumu ve svém oboru.

Že to jde, ukázal Charpak, když popisoval svoje a Ledermanovy aktivity na základních školách. I vědci toho formátu jsou schopni se snížit na úroveň dětí, aby je názornou formou a formou her seznámili se základními přírodními principy našeho vesmíru. Vždyť právě tato generace by měla v blízké budoucnosti nahradit současné mladé vědce, právě ty, kteří v současnosti „táhnou“ vědecký výzkum.

Charpak rovněž zdůraznil nutnost reformy vzdělání v celoevropském měřítku. Ta by měla směřovat k hledání souvislostí mezi přírodními jevy, řešení problémů a konkrétně ve fyzice k posílení školních experimentů, kterými si studenti vštěpují způsoby vědeckých metod bádání. Charpak doporučuje vyčlenit ve výuce celé dny, které by byly věnovány školním experimentům nebo návštěvám vědeckých pracovišť.

Americká fyzička **Myriam Sarachic**, stejně jako **Harold Kroto**, nositel Nobelovy ceny za chemii z roku 1996 za objev fulerenů, se zabývali nanotechnologiemi, keré by se měly stát technologiemi nedaleké budoucnosti. Již dnes je možno využít tzv. kvantové tečky pro zkvalitnění zobrazovacích metod v angiografii nebo k cílené destrukci zhoubných buněk s využitím lokálního ohřevu nanočástic.

Gerard t'Hooft

Gerard t'Hooft, nositel Nobelovy ceny z roku 1999 za vybudování teorie elektroslabé interakce, podal přehled stavu současné teorie od prvních úspěšných pokusů o sjednocení teorií elektřiny a magnetismu až k teorii elektroslabé interakce. Nastínil úspěch Standardního modelu, ale i jeho slabiny, které naznačují, že nemůže být finální fyzikální teoriií. Jako možné směry v teoriích překonávajících Standardní model vidí nejnadějnější teorii supersymetrie. Připravované experimenty na budovaném urychlovači LHC v CERNu by měly ukázat, kterým směrem se bude teoretická fyzika dále ubírat. Zmínil rovněž teorii superstrun.

Masatoshi Koshiba, nositel Nobelovy ceny z roku 2002 za průkopnický přínos astrofyzice, zvláště za objev kosmických neutrin, se namísto původně plánované přednášky o kosmologii a astrofyzice 21. století věnoval detekci neutrin. Zajímavé bylo vyprávění o historii, současnosti

a budoucnosti experimentálního zařízení Kamiokande a SuperKamiokande. Od prvních zařízení došlo k podstatnému zvýšení efektivity zachytávání neutrin v detektorech s těžkou vodou. Současně se zmínil o nedávném objevu totálního odrazu neutrin na supravodivých stěnách. Oboje by se dle něj dalo využít k jakémusi prostorovému skenování vnitřních částí Země pomocí paprsku směrovaných neutrin, která proletí zeměkoulí a některá přece jen interagují s atomy. Detekovaná neutrina by tak podávala informaci o složení vnitřních vrstev. Snad by se dala používat k pozorování morfologie zemských desek a lepšímu předpovídání zemětřesení (poznámka autora).

Debaty u kulatého stolu na téma *„Co může fyzika přinést řešení socioekonomických problémů 21. století?“* se hned od počátku stočily na nedávné zemětřesení následované vlnami tsunami v jihovýchodní Asii. **Carlo Rubbia**, nositel Nobelovy ceny za fyziku z roku 1984 za objev intermediálních bozonů, vyjádřil svoje rozpaky nad tím, že v době rozvinutých vesmírných technologií není možno rozpoznat blížící se tsunami. **Sylvie Joussaume**, ředitelka INSU/CNRS, Francie, oponovala, že tsunami lze z družicových snímků rozpoznat, ale snímky nejsou vyhodnocovány on-line. Technologicky to není problém. Stejně tak není problém vybudovat v této oblasti systém včasného varování. Chybí tu jen politické rozhodnutí. Jiným problémem zřejmě je, že rozvojové země v této oblasti nemají dostatek finančních prostředků. V souvislosti s neštěstím v jihovýchodní Asii uvedla přítomná novinářka na příkladu osudu jedné anglické dívky, jak je užitečné, někdy dokonce životně užitečné, mít znalosti z oblasti přírodních věd. Když nastal před příchodem čelní vlny tsunami velký odliv vody z pobřeží, přítomní turisté v tom spatřili příležitost nasbírat si mušle. Dívka se v tu chvíli rozpomněla na slova svého učitele o průběhu vln tsunami. Zatímco tedy ostatní lidé nedbali jejího varování, dala se společně se svými rodiči na útěk z pobřeží. Tím sobě i rodičům zachránila život.

Rozvojovým zemím se také částečně věnovaly debaty u druhého kulatého stolu s názvem *„Pohled široké veřejnosti na fyziku a vědu“*. Účastníci se shodli na nutnosti vybudovat vědecká centra v rozvojových zemích, aby mladí vědci nemuseli odjíždět do zahraničí. Tyto vize jsou teprve v začátcích, koordinační roli by zde mělo sehrát UNESCO. Debatující se ale neshodli na efektu tohoto řešení, neboť dle jejich názoru odliv mozků do zemí, které i nadále budou mít lepší podmínky pro vědu, bude nadále pokračovat.

Ayse Erzan z Istanbulské technické univerzity přišla s velice zajímavým pohledem na užitečnost fyziky, kterou zdůrazňujeme široké veřejnosti – že fyzika může řešit společenské problémy nebo vést k vynálezům, které zlepší životní podmínky. To ale obvykle nebyl ten hlavní důvod, který svedl fyziky k výběru jejich studijního oboru. Tím byla zvídavost, jak věci fungují, jak fungují přírodní zákony. A tento smysl zvídavosti široká veřejnost ztratila. Děti jsou přirozeně zvídavé, ale zdá se, že když dospějí v teenagery, tento smysl ztratí. Z tohoto pohledu vlastně fyzikové nikdy nedospěli. Dle jejího názoru bychom tedy měli méně zdůrazňovat užitečnost fyziky a více mluvit o údivu a zvídavosti.

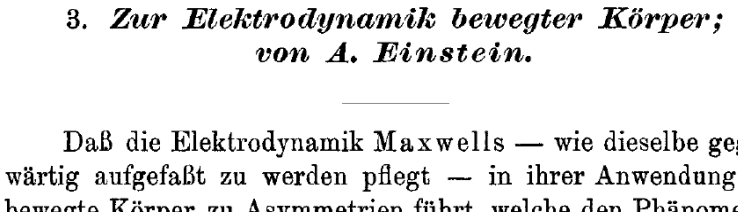
Jeden z diskutujících naříkal nad tím, že „normální lidé cítí, že fyzika není pro ně“. Někteří lidé z toho vyvozují, že fyzici tedy nejsou normální lidé. Proto by nás ani nemělo překvapit, že někteří lidé si myslí, že fyzici nejsou normální lidé, zvláště, když šíříme image Einsteina, jako šíleně vypadajícího muže s rozcuchanými vlasy, jakožto maskota fyziky. Přitom Harold Kroto správně poznamenal, že ten Einstein, který v roce 1905 publikoval své tři významné práce, je normálně vypadající mladý muž z patentového úřadu. Takovouto image bychom měli podporovat mnohem více!

Konference se organizátorům skutečně vydařila. Takováto koncentrace nejlepších mozků světa se musela odrazit i na její úrovni. Potěšitelné je, že přes 50 % účastníků tvořili studenti ze všech koutů světa. Pro ně se musela stát mocným impulsem pro další studium přírodních věd. Tato generace je právě ta, která bude zanedlouho určovat a rozvíjet další směry vědeckého rozvoje.

Brána relativity otevřená

Jan Novotný, Přírodovědecká fakulta MU, Brno*

Rok 2005 je na einsteinovská výročí bohatý, ale není pochyby, že za Světový rok fyziky byl vybrán především pro třicetistránkovou práci s nenápadným názvem *K elektrodynamice pohybujících se těles* [1]. Jako datum jejího zrodu se udává 30. červen 1905, kdy ji přijal do tisku jeden z nejvýznamnějších fyzikálních časopisů té doby, *Annalen der Physik* (vyšla však až koncem září). Práce i dnes (a možná více než v době svého vzniku) působí jako zjevení: zatím málo známý autor tu naráz vcelku jednoduchými prostředky vyřešil klíčový problém tehdejší fyziky a zbudoval její nové základy. Tak úspěšný první krok do nového světa nemá ve fyzice obdobu. Pro kvantovou teorii bychom obdobnou jedinou reprezentativní práci jediného autora určitě nenašli a shrnutí obecné teorie relativity z roku 1916 předcházelo dlouhé Einsteinovo hledání se slepými uličkami a oklikami.


3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;*
von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf

Obr. 1 Úvod Einsteinovy práce v Annalen der Physik

Pokusíme se v dalším slavnou prací se stoletým odstupem projít a (abychom užili výrazu módního ve filozofických kruzích) poněkud ji dekonstruovat. Zamyslíme se pak také nad tím, zda opravdu spadla s čistého nebe.

ÚVOD

Einsteinova práce začíná pozoruhodnou větou: „Je dobře známo, že Maxwellova elektrodynamika – jak je jí dnes obvykle rozuměno – vede při aplikaci na pohybující se tělesa k asymetriím, jež samotné jevy patrně nevykazují.“ V jediné větě je naznačen celý program článku: založení teorie na symetrii, kterou diktují samotné jevy, ale kterou nám zakrývají vžité předsudky.

Einstein pak uvádí příklad: zasouváme-li magnet do vodivého okruhu nebo nasouváme-li vodivý okruh na magnet se stejnou relativní rychlostí obou předmětů, je výsledek – vznik proudu vyvolaného elektromotorickým napětím – vždy stejný. V prvním případě jej však připisujeme elektrickému poli vzbuzenému změnou magnetického toku plochou ohraničenou vodičem, v druhém případě Lorentzově síle působící na náboje pohybující se s vodičem. Přitom jde vlastně o jedinou situaci popisovanou z hlediska dvou různých vztažných soustav.

Zatímco při dřívějším vztahování Maxwellových rovnic k absolutnímu prostoru by se musel výpočet provádět zvlášť pro případy měnícího se pole a pohybujícího se okruhu (a stejný výsledek by nebyl zaručen), při novém pohledu se odpovědnost za vznik proudu v různých vztažných soustavách různě rozděluje mezi elektrické a magnetické pole – v Einsteinově příkladu může být plně připsána jedné příčině v soustavě, v níž je v klidu okruh, a druhé příčině v soustavě, v níž je v klidu magnet. Podstatné je, že stejnost výsledku je předem zaručena nově pochopenou symetrií přírody.

Einstein pak konstatuje, že podobné příklady spolu s neúspěšnými pokusy určit pohyb Země vůči „světlonosnému prostředí“ vedou k předpokladu, který bude v dalším změněn v postulát. Tímto postulátem je princip relativity – naprosté fyzikální rovnoprávnosti vztažných soustav, které jsou rovnoprávné z hlediska mechaniky. Tento princip bude doplněn dalším,

* novotny@physics.muni.cz

jen zdánlivě s prvním neslučitelným, totiž postulátem o konstantní rychlosti světla ve vakuu. Tím jsou „kostky vrženy“ a opravdu zbytek Einsteinovy práce se v podstatě nezabývá ničím jiným než vyvozením důsledků z obou principů.

KINEMATICKÁ ČÁST

Einstein rozdělil svou práci na dvě části. První se zabývá obecnými závěry plynoucími z jeho principů, druhá specifickým případem zákonů elektromagnetického pole a jeho působení na náboje.

V první části se Einstein nejprve věnuje pojmu současnosti. Říká, že všechny naše úsudky, v nichž hraje roli čas, jsou úsudky o současných událostech. Místo abychom říkali: „Vlak přijel v sedm hodin“, mohli bychom říci: „Malá ručička mých hodinek ukázala sedm hodin současně s příjezdem vlaku“. Takové určení času ovšem nestačí, jedná-li se o událost, která je od mých hodinek vzdálena a kterou tedy nevidím „okamžitě“. Je proto třeba, abych i na vzdálených místech měl hodiny, které jsou s mými synchronizovány. Na základě svých postulátů Einstein přijímá následující pravidlo synchronizace:

Mějme stejné hodiny v místě A a v místě B. Vyšleme z A v čase t_A světelný signál, který je odražen v B zpět v čase t_B a přijat v A v čase t'_A. Pak hodiny v A a B jdou synchronně, platí-li

(1) $$t_B - t_A = t'_A - t_B .$$

V současných učebnicích teorie relativity je obvykle vztah (1) přeměněn v návod k synchronizaci: v místě B je třeba nastavit hodiny tak, aby okamžiku odrazu signálu odpovídal čas t_B, který je průměrem časů odeslání a návratu signálu v místě A.

Na první pohled nijak neprovokující pasáž o synchronizaci je pro Einsteinovu práci klíčová – svým pravidlem synchronizace Einstein překonává dříve zmíněný zdánlivý rozpor mezi svými principy. Fyzik věřící v „světlonosný éter“ by uznal Einsteinovo pravidlo pouze ve vztažné soustavě spojené s éterem, protože v jiných soustavách podle něho není rychlost světla ve všech směrech stejná a pravidlo o synchronizaci nedává „skutečný“ čas. Podle Einsteina takovýto čas nadřazený všem vztažným soustavám vůbec neexistuje, každá soustava, v níž platí zákon setrvačnosti, má svou vlastní současnost.

Poznamenejme, že procedura synchronizace vzdálených hodin byla na počátku století diskutována zvláště v souvislosti se zaváděním jednotného času v železniční dopravě [2]. Bylo jasné, že při využití signálů je třeba počítat s jejich konečnou rychlostí. Einsteinovo pravidlo synchronizace má však tu mimořádnou vlastnost, že nevyžaduje měření vzdálenosti mezi hodinami ani znalost hodnoty rychlosti světla. Napadlo někdy Einsteina, jak je to činí perspektivním pro věk kosmických letů?

Po definování synchronizace se Einstein vrací ke svým principům a podává jejich přesnou formulaci. Zopakujme ji:

1. Zákony, podle nichž se mění stavy fyzikálních systémů, nezávisí na tom, ke které ze dvou souřadnicových soustav, jež se vzájemně rovnoměrně a přímočaře pohybují, se tyto změny vztahují.
2. Každý světelný paprsek se v nehybné souřadnicové soustavě pohybuje určitou rychlostí c nezávisle na tom, zda byl vyslán nehybným či pohybujícím se tělesem.

(Za „nehybnou“ je podle předchozího možno považovat každou soustavu, v níž platí zákon setrvačnosti – podle běžné terminologie, které však Einstein v dané práci neužívá, inerciální soustavu.)

Zbytek kinematické části práce je věnován „standardní látce“ – z Einsteinových principů se vyvozuje transformace souřadnic a času mezi inerciálními soustavami, které dnes říkáme Lorentzova, kontrakce délek pohybujících se těles, dilatace času na pohybujících se hodinách a

relativistický zákon skládání rychlostí. Čtenář této části práce bude vědět o relativistické kinematice vše, co by měl (buďme optimisty) vědět dnešní středoškolský učitel.

Dodejme jen několik poznámek. Odvození Lorentzovy transformace je v práci poměrně složité a používá kromě Einsteinových principů předpokladu o linearitě transformace, která by mohla vyplynout z principů. Sám Einstein později podal jednodušší odvození bez tohoto předpokladu [3]. Vztah pro kontrakci délky ve směru pohybu (Einsteinovu symboliku někdy upravujeme podle dnešních zvyklostí)

(2) $$l = \frac{L}{\gamma}\,,\ \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

nevyvozuje Einstein pro tyč, ale pro poloosu l elipsoidu, který je ve své klidové soustavě koulí o poloměru L a pohybuje se vůči „naší“ soustavě rychlostí v. V souvislosti s tímto vztahem Einstein poprvé připomíná, že v jeho teorii úlohu nekonečně velké rychlosti přebírá absolutní rychlost světla. I dnes obvyklým způsobem je odvozen dilatační vztah mezi časem na pohybujících se hodinách t a jejich vlastním časem T

(3) $$t = \gamma \cdot T\,.$$

Einstein se pak na několika řádcích zabývá problémem, kterému byly později věnovány celé knihy. Podniknou-li hodiny cestu po uzavřené křivce s konstantní rychlostí v, budou po návratu ukazovat menší čas ve shodě s dilatačním vztahem. Obdobně hodiny umístěné na rovníku půjdou o něco pomaleji než hodiny na pólu otáčející se Země. Mohlo by se zdát, že Einstein se tak „vyhnul“ potížím se zrychlenou fází letu, nezapomínejme však, že i let s konstantní velikostí rychlosti musel být zrychlený, měly-li se hodiny vrátit. Bylo mu tedy zřejmé, že časový údaj hodin je ovlivňován pouze rychlostí, a nikoliv zrychlením.

Vztahy pro skládání rychlostí neodvozuje Einstein, jak je dnes obvyklé, pro složku rychlosti ve směru pohybu soustavy a pro složky k ní kolmé, ale pro složku ve směru pohybu a pro velikost rychlosti. To mu umožňuje okamžitě zjistit, že rychlost světla ve vakuu se Lorentzovou transformací nemění. V závěru kinematické části Einstein upozorňuje na to, že Lorentzovy transformace se společným směrem pohybu soustav (dnes bychom řekli speciální Lorentzovy transformace) tvoří grupu. Pro ocenění tohoto postřehu je třeba si uvědomit, že důležitost pojmu grupy nebyla tehdy ještě ani špičkovým fyzikům zřejmá.

Je užitečné dodat, že „kinematika“ je u Einsteina chápána poněkud odlišně, než jak jsme zvyklí z výkladů Newtonovy mechaniky. Tam kinematika podává prostředky k popisu pohybu částic, těles či kontinuí zcela bez ohledu na to, jakými fyzikálními zákony se pohyb řídí. V teorii relativity se kinematika zabývá takovými závěry o pohybu, které lze vyvodit čistě z relativistické invariance – neměnnosti tvaru fyzikálních zákonů Lorentzovou transformací – bez ohledu na jejich konkrétní tvar. Není proto správné říkat (jak se někdy děje), že relativistická kontrakce či dilatace nemá nic společného se silovým působením. Představme si „zvláštní bytosti“, které natolik trvají na jediné použitelné vztažné soustavě, že si otázku přepisu svých rovnic do jiné soustavy vůbec nekladou, které však dovedou mnohem lépe než my formulovat fyzikální zákony a propočítávat jejich důsledky. Tyto bytosti by i bez znalosti teorie relativity a Lorentzovy transformace dospěly k závěru, že pohybující se tělesa se zkracují a hodiny zpomalují, a to na základě znalosti zákonů interakce mezi jejich elementy (atomy či částicemi). O něco podobného se snažili Einsteinovi současníci, když např. vyvozovali kontrakci délky, potřebnou pro vysvětlení výsledků experimentů, z vlastností elektromagnetických sil. Einsteinova teorie umožňuje učinit tento závěr bez znalosti detailů, čistě na základě dvou principů.

ELEKTRODYNAMICKÁ ČÁST

Einstein nejprve ukazuje invarianci Maxwellových rovnic ve vakuu vůči Lorentzovým transformacím a vyvozuje transformační zákony pro komponenty elektrické intenzity a magnetické indukce. Poměrně jednoduchý důkaz je zajímavé si pročíst a promyslet už proto, že dnes se v učebnicích obvykle uvádí jen ve čtyřrozměrné formulaci, která samozřejmě úkol podstatně usnadňuje. Einstein ji ovšem ještě k dispozici neměl.

Dále Einstein odvozuje relativistické vzorce pro chování rovinné elektromagnetické vlny (kterou se stává každá vlna vysílaná zdrojem v dostatečné vzdálenosti od něho) v soustavě pozorovatele, který se pohybuje vůči zdroji rychlostí v pod úhlem φ ke své spojnici se zdrojem. Pak se pro něho změní frekvence υ vysílaná zdrojem v jeho vlastní soustavě na

$$\upsilon' = \upsilon \cdot \cos\varphi \cdot \frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \tag{4}$$

což pro $\varphi = 0$ (podélný jev) dává

$$\upsilon' = \upsilon \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}. \tag{5}$$

Pro pozorovatele dopadá světlo pod úhlem určeným vztahem

$$\cos\varphi' = \frac{\cos\varphi - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos\varphi}. \tag{6}$$

Dostáváme tak relativistické vzorce (4), (5) pro Dopplerův jev a (6) pro aberaci světla, které se později ukázaly být velmi důležité z hlediska experimentálního ověření teorie relativity, protože pro velké rychlosti v se podstatně liší od vzorců nerelativistických (necháváme na čtenáři, aby si je připomněl). Zatímco vzorce pro kontrakci délek a dilataci času byly pro účely vysvětlení experimentů uvažovány již před Einsteinem, relativistické vztahy pro Dopplerův jev a aberaci světla zapsal Einstein nepochybně jako první.

Obr. 2 Albert Einstein počátkem roku 1906

Znalost transformačních vztahů pro komponenty elektromagnetického pole umožňuje Einsteinovi vyvodit také vztah mezi energiemi elektromagnetického záření soustředěného v určitém objemu – „světelného komplexu“ – z hlediska různých vztažných soustav. Považuje za pozoruhodné, že tento vztah je shodný se vztahem pro frekvence (5). (Tato okolnost se ukázala důležitá pro budování kvantové fyziky.) Dále propočítává odraz světelné vlny od ideální zrcadlové roviny v závislosti na jejím pohybu vzhledem k pevně zvolené vztažné soustavě. Určuje tlak, kterým vlna na zrcadlo působí.

Poté se Einstein věnuje tomu, čemu dnes říkáme relativistická dynamika. Vyvozuje pohybové rovnice elektronu v elektromagnetickém poli o intenzitě $\vec{E}$ a indukci $\vec{B}$. Vychází z předpokladu, že v soustavě S', v níž je elektron o hmotnosti m a náboji e v daném okamži-

ku v klidu, jsou tyto rovnice $m \cdot \vec{a}' = e \cdot \vec{E}'$ (Einstein ovšem neužívá vektorové symboliky a rozepisuje rovnice do složek). Přepisem do soustavy S, v níž se elektron pohybuje, Einstein dostává

$$m \cdot \gamma^3 \cdot \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} = e \cdot E_x = e \cdot E'_x,$$

(7a, b, c)
$$m \cdot \gamma^2 \cdot \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2} = e \cdot \gamma \cdot \left(E_y - v \cdot B_z\right) = e \cdot E'_y,$$

$$m \cdot \gamma^2 \cdot \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2} = e \cdot \gamma \cdot \left(E_z + v \cdot B_y\right) = e \cdot E'_z.$$

Einstein považuje za komponenty síly výrazy na pravé straně rovnic, i když připouští, že by sílu bylo možno definovat i jinak a že proto při srovnávání různých teorií pohybu elektronu je třeba opatrnosti. Chce-li zachovat newtonovskou podobu rovnic „hmotnost krát zrychlení je síla“, dospívá k závěru, že elektron má podélnou hmotnost $m \cdot \gamma^3$ a příčnou hmotnost $m \cdot \gamma^2$. K tomuto postupu byl patrně sveden newtonovskou mechanikou, kde se síla přechodem k jiné inerciální soustavě nemění, protože se nemění ani hmotnost a zrychlení. To však v teorii relativity neplatí. Dnešnímu čtenáři připadne patrně rozumnější považovat za sílu $e \cdot \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$ a příčná hmotnost pak vyjde $m \cdot \gamma$. Tento výraz pro příčnou hmotnost našel již před Einsteinem Lorentz. Jak ukázal později Max Planck, je v teorii relativity vhodné nespojovat sílu působící na pohybující se částici s výrazem $m \cdot \vec{a}$, ale s původní newtonovskou definicí síly jako časové změny hybnosti. Jedině potom budou zachovány základní vztahy spojující sílu, hybnost a energii. Definice energie a hybnosti musí být ovšem pozměněna tak, aby se zaručila platnost a relativistická invariance zákonů zachování. Fyzikálně správné relativistické pohybové rovnice částice (včetně elektronu) v silovém poli jsou proto

(8)
$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\left(m \cdot \gamma \cdot \vec{v}\right)}{\mathrm{d}t} = \vec{F}$$

a po provedení derivace a úpravě je lze zapsat jako

(9)
$$\gamma \cdot m \cdot \vec{a} = \vec{F} - \left(\vec{F} \cdot \vec{v}\right) \cdot \frac{\vec{v}}{c^2}.$$

Pro komponentu rovnice ve směru síly ($\vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v$) tak dostáváme první z Einsteinových rovnic (7a) po vynásobení γ^2, zatímco pro komponenty ve směru kolmém ($\vec{F} \cdot \vec{v} = 0$) dostaneme Einsteinovy rovnice (7b, c) po vynásobení γ. Einstein tedy sice sestavil formálně platné pohybové rovnice, ale ve fyzikálně málo průhledném tvaru (a navíc použitelné jen v soustavě, kde je okamžitá rychlost částice rovnoběžná s osou *x*, což nedovoluje studovat obecné pohyby).

To mu nezabránilo vyvodit správné dynamické závěry o pohybu. Především správně určil kinetickou energii elektronu jako dráhový integrál síly, protože při pohybu ve směru síly se Einsteinův výraz pro sílu neliší od Planckova (srv. 7a). Protože výsledek nezávisí na elektrickém náboji elektronu, jde o kinetickou energii libovolné částice

(10)
$$W = \int e \cdot E \cdot \mathrm{d}x = \int m \cdot a \cdot \gamma^3 \cdot \mathrm{d}x = \int_0^v m \cdot \gamma^3 \cdot v \cdot \mathrm{d}v = m \cdot c^2 \cdot \left(\gamma - 1\right).$$

Poučený čtenář zde již může vidět náznak slavného vztahu mezi hmotností a energií – vždyť odečítaný člen je klidová energie částice! V této chvíli to však ještě mnoho neznamená, protože není patrno, že by se klidová hmotnost mohla měnit. Důležitý doplněk k teorii relativity přináší až další Einsteinova práce *Závisí setrvačnost tělesa na energii v něm obsažené?* [4], která byla

přijata do tisku v *Annalen* 27. září 1905. Na pouhých dvou stránkách a s jednoduchou matematikou tu Einstein uvažuje o tělese, které vypouští v opačných směrech dvě stejné porce elektromagnetické energie, takže zůstává ve své původní klidové soustavě i po emisi. Ze vztahů pro transformaci energie záření a zákona zachování energie plyne, že v jiné vztažné soustavě těleso mění svou kinetickou energii, a protože jeho rychlost zůstává nezměněna, musí se měnit jeho hmotnost. Byla-li tedy celková emitovaná energie v klidové soustavě tělesa L, činí rozdíl kinetických energií v pohybující se soustavě před emisí a po emisi

(11) $$\Delta W = L \cdot (\gamma - 1)$$

a z porovnání s (10) plyne závěr, který Einstein vyjadřuje takto: „vydává-li těleso energii L v podobě záření, mění se jeho hmotnost o $\frac{L}{c^2}$ […] hmotnost tělesa je mírou jeho energetického obsahu“.

Čtenář si již jistě povšiml, že Einstein označuje jako m klidovou hmotnost částice či tělesa, kterou nemá zapotřebí odlišovat indexem či přívlastkem „klidová“, protože pro „podélnou“ a „příčnou“ hmotnost nezavádí zvláštní symboly ani jich šířeji nevyužívá. (Tyto pojmy byly brzy zcela opuštěny, protože označují pouze koeficienty mezi sílou a zrychlením ve směru pohybu a ve směru na pohyb kolmém, které používání rovnic (8) a (9) zbavuje významu.) Později se hlavně pod vlivem knihy Wolfganga Pauliho [5] z roku 1921 stalo běžným označovat klidovou hmotnost jako m_0 a zavádět kromě ní ještě „relativistickou“ hmotnost $\gamma \cdot m_0$ (rovnou někdejší hmotnosti příčné), která se pak nazývá prostě hmotností a označuje se jako m bez indexu. V posledních desetiletích však zejména částicoví fyzici mají tendenci vracet se k původní Einsteinově terminologii a označení, takže „nejslavnější vzorec fyziky“ $\mathcal{E} = m \cdot c^2$ se u nich zapíše jako $\mathcal{E} = \gamma \cdot m \cdot c^2$ a navíc ztrácí svou slávu, protože ekvivalenci (klidové) energie a hmotnosti vyjadřuje vzorec $\mathcal{E}_0 = m \cdot c^2$. Jakou hmotnost měl na mysli Einstein, který svůj poznatek vyjádřil jen slovy?

Za nejlepší odpověď (kterou nechci čtenářům vnucovat) bych považoval toto: Einstein ukázal, že změna klidové energie tělesa je doprovázena změnou jeho klidové hmotnosti. V klidové energii tělesa jsou ovšem zahrnuty i kinetické energie kmitavých a otáčivých pohybů jeho součástí, což znamená, že přispívají i ke klidové hmotnosti tělesa. Mezi klidovou a kinetickou energií tedy není žádná absolutní hranice a nelze proto mít zásadní námitky proti rozšíření ekvivalence klidové energie a (klidové) hmotnosti na ekvivalenci energie a hmotnosti vůbec. Pak je ovšem třeba chápat hmotnost jako relativistickou hmotnost $\frac{\mathcal{E}}{c^2}$.

Fyzikové mikrosvěta mají právo relativistické hmotnosti neužívat, což znamená, že mírou setrvačnosti a zdrojem gravitace pro ně není hmotnost, ale energie. „Hmotnost“ je pro ně zkrácený a tradicí posvěcený termín pro klidovou energii mikročástic.

Einstein končí svou základní práci třemi závěry o relativistickém pohybu elektronů, které mohou být podle jeho názoru experimentálně prověřeny. Poslední z nich je, že v homogenním magnetickém poli o indukci B se elektrony o rychlosti v pohybují po kružnicích o poloměrech $R = \frac{\gamma \cdot m \cdot v}{e \cdot B}$. I když se Einstein při odvození svých závěrů odvolává na rovnice (7), neužívá své definice síly a její nevhodnost proto neohrožuje správnost výsledku.

Na konci Einsteinovy práce nás ještě zaujme poděkování příteli a kolegovi M. Besso, který byl „věrným pomocníkem při rozpracování zde vyložených problémů“, a naprostá nepřítomnost odkazů na literaturu. Nedostatek citací nemůžeme posuzovat z dnešní až extrémní „korektnosti“ v tomto směru, kdy lze často právem pochybovat, zda autor stačil všechny citované práce vůbec přečíst, natož prostudovat. Ovšem i ve srovnání se současníky Einstein citacemi

neplýtval. Ve svých čistě odborných pracích si kladl za cíl rozřešit problém a nezabýval se obvykle podrobněji jeho historií a dřívějšími neuspokojivými pokusy o řešení. Svědomitě však citoval jiné autory tam, kde od nich skutečně převzal výsledek, který nebyl obecně známý. V případě zde rozebírané práce patrně necítil potřebu odvolávat se na jiné – důvěra v princip relativity u něho nevyplývala z neúspěchu pokusů o zjištění absolutního pohybu, ale z elementárního citu pro symetrii, a jeho cílem bylo ukázat, že dva principy postačí k odstranění všech potíží, na něž jeho současníci naráželi.

V letošním roce jsme mohli vícekrát číst úvahy o tom, zda na vzniku speciální relativity či dokonce všech článků z roku 1905 měla významný, ne-li dokonce hlavní podíl Einsteinova manželka Mileva [6]. Nemyslím však, že pro takový názor existují závažné důvody. Je pravda, že v dopisech Milevě (ovšem z období o několik let předcházejícího vzniku teorie relativity) Einstein někdy psal o jejich společné práci. Na zrání jeho myšlenek se Mileva nepochybně podílela diskusemi, kritickým čtením a kontrolou výpočtů. Z její korespondence však není patrno, že by přicházela se samostatnými tvůrčími myšlenkami. Einstein publikoval řadu prací se spoluautory – poslední byla mladá žena Bruria Kaufmannová – a vícekrát vyjádřil svou vděčnost lidem, z jejichž práce či znalostí těžil. Těžko pochopit, proč by v tomto směru zanedbal svou ženu. Nemám proto důvod nevěřit, že jediným, kdo opravdu významně pomohl zrodu teorie relativity v Einsteinově hlavě, byl Michele Besso.

RELATIVITA A RELATIVISTÉ

Mediální obraz Alberta Einsteina jako hvězdy spadlé s nebe ovšem realitě zcela neodpovídá. Jeho problémem se s nezanedbatelnými výsledky zabývali i další fyzikové. Problém privilegovanosti či rovnoprávnosti vztažných soustav se táhne celými dějinami fyziky. V druhé půli 19. století dochází k zvláštnímu obratu – Maxwellova teorie elektromagnetického pole zdánlivě rozhodně svědčí o existenci privilegované soustavy spojené se „světovým éterem“, vzhledem k níž by mělo být možné určit pohyb. Tyto pokusy, o něž se zvláště zasloužil Michelson a Morley, však nedávají očekávané výsledky. První kroky k relativitě prošlapávají lidé, kteří se spíše snaží vysvětlit, proč se éter nedaří najít, než aby přijali za své východisko jeho neexistenci. Z Einsteinových „souputníků“ a „navazovatelů“ je třeba jmenovat alespoň pět osobností [7].

Obr. 3 Joseph Larmor

Britský fyzik Joseph Larmor (1857–1942) v knize *Éter a látka* [8] nalezl transformaci, která podle jeho názoru přirozeněji spojovala klidovou a pohybující se (vůči éteru) vztažnou soustavu. Byla to táž transformace, které dnes říkáme Lorentzova. Larmor také dospěl k řadě poznatků, které později dobře zapadly do rámce teorie relativity.

Holanďan Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) se zabýval problémem éteru po desítky let. Transformaci nazývanou jeho jménem odvodil 1904 [9] a užíval ji ke zdůvodnění neúspěchu pokusů o objevení pohybu vůči éteru. Zhruba zároveň s irským fyzikem FitzGeraldem zavedl předpoklad o kontrakci délek a uvažoval i o dilataci času. Nedospěl však k názoru, že éter je třeba zcela zavrhnout a i po vzniku speciální teorie relativity trval na tom, že jeho teorie není identická s Einsteinovou.

Obr. 4 Hendrik Antoon Lorentz

Francouz Jules Henri Poincaré (1854–1912) připouštěl již před Einsteinem relativitu času a předvídal vznik nové fyziky s limitní rychlostí světla. V červnu 1905 publikoval krátce před odesláním

Obr. 5 Jules Henri Poincaré

Einsteinovy práce do Análů článek *O dynamice elektronu* [10], jehož podstatně rozšířená verze vyšla v následujícím roce. Vycházel v něm z předpokladu, že všechny fyzikální zákony jsou invariantní vůči Lorentzově transformaci (pro niž zavedl tento název), a ukázal, že správně pochopené Maxwellovy rovnice tuto vlastnost mají. Objevil, že Lorentzovy transformace spojují soustavy souřadnic v čtyřrozměrném prostoru.

Obr. 6 Max Karl Ernst Ludwig Planck

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858–1947) prosazoval pro Einsteinovu teorii termíny „princip relativity“ a „teorie relativity“, kterých začal později užívat i Einstein. Roku 1906 Planck zdokonalil relativistickou formulaci dynamiky [11]. (Je kuriózní, že v úvodu své publikace se za to téměř omlouvá, protože se domnívá, že Kaufmannovy experimenty s chováním elektronů v elektromagnetickém poli princip relativity zpochybnily. Kaufmann se těmito experimenty snažil rozhodnout mezi Einsteinovou teorií a alternativními teoriemi Lorentze, Abrahama a Bucherera. Samotný Bucherer podobnými experimenty roku 1908 posílil pozici teorie relativity [12], určitá nejistota však trvala ještě po řadu let. Einstein se tím nenechal vyvést z míry a byl přesvědčen, že alternativní teorie jsou příliš umělé, než aby mohly platit v přírodě.

Obr. 7 Hermann Minkowski

Německý matematik Hermann Minkowski (1854–1912), který kdysi učil Einsteina na curyšské polytechnice, výstižně popsal geometrii čtyřrozměrného prostoročasu a ukázal, že teorie relativity je teorií fyzikálních jevů v tomto prostoročase [13]. Zapsal ve čtyřrozměrném tvaru všechny základní vztahy teorie relativity včetně Maxwellových rovnic. Einstein využil objevu Minkowského k dalšímu zobecnění, kterým byla obecná teorie relativity jako teorie zakřiveného prostoročasu.

Není příliš jasné, co Einstein znal z prací svých předchůdců. V době, kdy se o to historikové vědy začali zajímat, si to již patrně ani přesně nepamatoval. Jeho přístup k problému byl originální a svou fyzikální hloubkou a průhledností zapůsobil tak, že byl téměř jednohlasně uznán za hlavního, ne-li jediného tvůrce teorie relativity. Přispěla k tomu i jeho mimořádná snaha zpřístupnit teorii relativity svým kolegům fyzikům a širší veřejnosti. Poněkud přehlédnuty zůstaly zásluhy Poincarého, na něž po jeho smrti upozornil Lorentz [14]. Zajímavý a dosti záhadný je vztah Einsteina a Poincarého: ačkoliv se o sobě vzájemně vyslovovali s úctou, ani jeden z nich se nevyjádřil k práci druhého na poli teorie relativity (resp. Einstein jmenoval Poincarého jako průkopníka relativistických idejí až na sklonku života v dopise Maxu Bornovi).

I když tradičně mluvíme o „teorii relativity“, jde o něco víc než o jednu z teorií nějakého konkrétního okruhu fyzikálních jevů. Spíše bychom mohli mluvit o „paradigmatu“ v duchu filozofa Thomase Kuhna [15]: teorie relativity podala obecné schéma, do něhož by měly být uloženy teorie všech fyzikálních jevů, a vytýčila program naplňování tohoto úkolu. Brzy se mělo ukázat, že gravitační jevy do tohoto schématu nezapadnou a že je třeba formulovat nadřazené paradigma obecné teorie relativity. Speciální teorie relativity – fyzika v plochém prostoročase bez gravitačních jevů – tím neztratila svůj smysl limitního případu, do jehož rámce bylo třeba vložit celou negravitační fyziku – např. hydrodynamiku, elektrodynamiku látkového prostředí, termodynamiku a statistickou fyziku. Tímto problémem se již Einstein příliš ne-

zabýval a přenechal jej svým následovníkům, kteří se s ním úspěšně vyrovnali, i když některé otázky jsou dosud otevřeny. Ještě náročnějším úkolem bylo spojení speciálně relativistického a kvantového paradigmatu, jež vyústilo ve vznik kvantové elektrodynamiky, teorie elektroslabých interakcí a standardního modelu elementárních částic. Přes velké úspěchy experimentálního rázu naráží toto sjednocování fyziky na vážné obtíže principiální povahy (velké množství nevysvětlených a vzájemně nesouvisejících parametrů ve standardním modelu, nekonečné hodnoty některých fyzikálních veličin, kterých se lze zbavit jen za cenu ne zcela korektních matematických operací aj.). Přinese řešení těchto problémů zahrnutí gravitace [16]?

LITERATURA

[1] Einstein A.: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik **17** (1905) 891. Německou verzi článku lze najít na <http://www.physics.utoledo.edu/~ljc/speciaal.html>, anglickou na <http://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/specrel.pdf>. Všechny zde citované články klasiků jsou obsaženy v ruštině ve sborníku Tjapkin A. A.(ed.): *Princip otnositeľnosti*. Moskva, Atomizdat 1973.

[2] Galison P.: *Einsteinovy hodiny a Poincarého mapy*. Mladá Fronta, Praha 2005.

[3] Einstein A.: *Teorie relativity*. VUT v Brně/VUTIUM, Brno 2005.

[4] Einstein A.: *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*, Annalen der Physik 18 (1905) 639.

[5] Pauli W.: *Relativitätstheorie*. Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften V2, **IV** (1921).

[6] Viz např. Kraus I.: *Mileva Maričová-Einsteinová*. Československý časopis pro fyziku **55** (2005) 271 nebo Martínez A.: *Arguing about Einstein's wife*. <http://physicsweb.org/articles/world/17/4/2/1>.

[7] <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Larmor.html>. Po záměně jména se dostaneme k medailonkům dalších osobností uvedených v našem článku.

[8] Larmor J.: *Aether and Matter*. Cambridge University Press 1900.

[9] Lorentz H. A.: *Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller that of light*. Proceedings of the Academy of Sciences of Amsterdam **6** (1904) 809.

[10] Poincaré H.: *Sur la dynamique de l'électron*. Comptes Rendues Académie des Sciences **140** (1905) 1504. Delší stejnojmenný článek je v Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo **XXI** (1906) 129.

[11] Planck M.: *Das Relativitätsprinzip und Grundgleichungen der Mechanik*. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (1906) 136.

[12] Fölsing A.: *Albert Einstein*. Volvox Globator, Praha 2001.

[13] Minkowski H.: *Raum und Zeit*. Physikalische Zeitschrift **10** (1909) 104.

[14] Lorentz H. A.: *Deux mémoires de Henri Poincaré sur la physique mathematique*. Acta Mathematica **38** (1914) 293.

[15] Kuhn T.: *Struktura vědeckých revolucí*. Oikoymenh, Praha 1997.

[16] Viz např. Kaku M.: *Einsteinův vesmír*. Dokořán, Argo, Praha 2005.

Děkuji Mgr. Janě Jurmanové, Ph.D. z katedry obecné fyziky PřF MU v Brně za diskuse a připomínky, které vedly ke zlepšení článku.

Fotoelektrický jev

Aleš Lacina[*] a Hana Martinásková[**], Přírodovědecká fakulta MU, Brno

9. června tohoto roku uplynulo sto let ode dne, kdy vyšel v německém časopisu *Annalen der Physik* článek Alberta Einsteina (1879–1955) *O jednom heuristickém aspektu týkajícím se vzniku a přeměny světla* [1]. Bez nadsázky lze říci, že šlo o jednu z prací, které otřásly tehdejším fyzikálním světem. Šestadvacetiletý technický expert III. třídy Švýcarského úřadu pro ochranu duševního vlastnictví v Bernu v ní zavedl do fyziky ideu *světelného kvanta*, z níž se postupně vyvinul jeden ze základních pojmů moderní fyziky – *foton* (1926).

Těžištěm Einsteinova textu byly obecné úvahy o struktuře elektromagnetického záření vrcholící alternativním odvozením tehdy pět let starého, či spíše nového, Planckova vyzařovacího zákona popisujícího rozdělení celkové energie rovnovážného tepelného záření (elektromagnetického pole) mezi jeho jednotlivé spektrální složky (frekvence). Einstein při tom vyslovil přesvědčení, že na tento systém lze pohlížet jako na soubor lokalizovaných objektů – světelných kvant – o energii

$$E = h \cdot f$$

($h = 6,62 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$ je konstanta zavedená Maxem Planckem (1858–1947) roku 1900 a f je frekvence záření) pohybujících se rychlostí světla. Taková představa ovšem vzbudila značný – převážně negativní – ohlas Einsteinových současníků argumentujících především její neslučitelností s existencí interferenčních jevů. Sám Einstein si byl tohoto problému samozřejmě také vědom, nepovažoval jej však za nepřekonatelný [2].

Užitečnost své kacířské myšlenky pak demonstroval ve zbytku zmíněného sdělení na fyzikálním objasnění několika do té doby nevysvětlených jevů. Nejznámějším z nich je tzv. *fotoelektrický jev*, jehož komentáři je věnována zhruba sedmina celkového rozsahu jeho textu. (Relativně časté učebnicové odkazy na tento článek jako na „Einsteinovu práci o fotoelektrickém jevu“ jsou tedy, mírně řečeno, málo výstižné.)

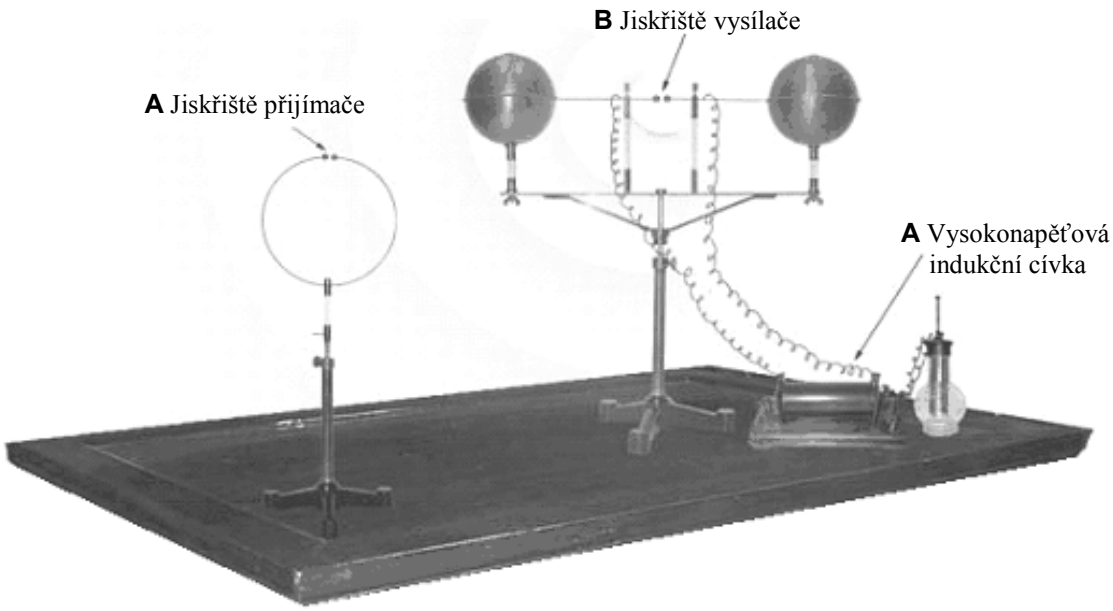
Plné pochopení Einsteinovy fundamentální práce, která zásadním způsobem ovlivnila další vývoj fyziky, vyžaduje jistou fyzikální i matematickou erudici. Její základní ideu – *kvantový charakter interakce mezi elektromagnetickým zářením a látkou* – lze však přesvědčivě prezentovat i na neprofesionální úrovni: právě elementárním výkladem fotoelektrického jevu.

OBJEV FOTOELEKTRICKÉHO JEVU A VYŠETŘENÍ JEHO ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ

Heinrich Hertz

Za objevitele fotoelektrického jevu je považován německý fyzik Heinrich Hertz (1857–1894), jenž si roku 1887 při svých pokusech prokázat existenci Maxwellem předpovězených elektromagnetických vln všiml toho, že osvětlení jiskřiště rezonátoru (**C**) světlem primární jiskry (**B**) usnadňuje vznik jiskry sekundární (**C**) [viz obr. 1]. Postupným odfiltrováváním různých spektrálních složek světla primární jiskry pak dospěl k závěru, že sekundární jiskru posiluje ultrafialové záření dopadající na jiskřiště rezonátoru. Dále už však tento jev nezkoumal [3].

[*] lacina@physics.muni.cz
[**] 78026@mail.muni.cz



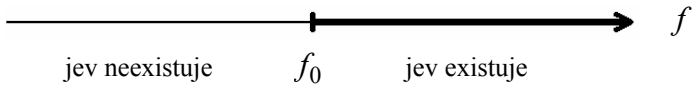
Obr. 1 Hertzův experiment, který vedl k objevu fotoelektrického jevu.

To, co bylo pro Hertze jen málo důležitým vedlejším efektem, na nějž narazil při experimentálním vyšetřování vlastností elektromagnetických vln, se stalo hlavním předmětem odborného zájmu Hertzova krajana Wilhelma Hallwachse (1859 až 1922) a ruského fyzika Alexandra Stoletova (1839–1896). Systematickými pokusy s ozařováním různých materiálů (Zn; Na, K, Rb, …), jejichž uspořádání schematicky vystihuje obr. 2, postupně zjistili, že

Alexandr Stoletov

Wilhelm Hallwachs

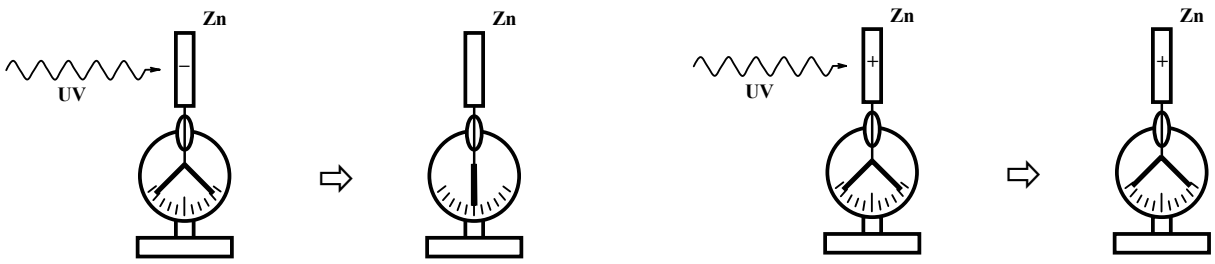
- ozařování vodiče z něj může uvolňovat záporný náboj,
- pro každý ozařovaný materiál existuje určitá – pro něj charakteristická – minimální frekvence f_0 (tzv. červený práh fotoelektrického jevu), od níž počínaje dochází k uvolňování záporného náboje,



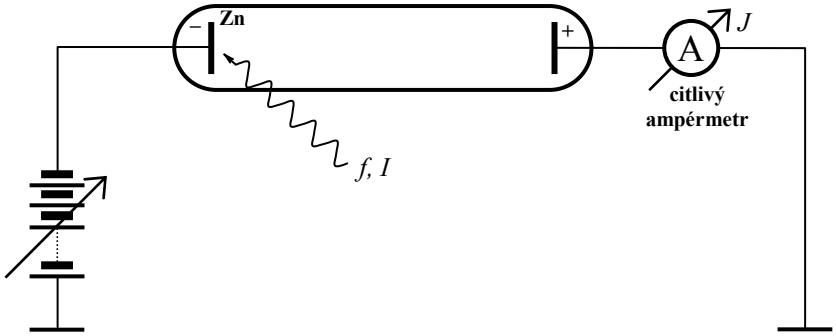
- k uvolňování náboje z ozařovaného vodiče dochází okamžitě po dopadu světla (o frekvenci $f > f_0$).

Následujícími experimenty s vyčerpanými trubicemi [viz obr. 3] tyto předběžné výsledky opakovaně potvrdili, zpřesnili a ukázali, že

- pokud v důsledku ozařování vznikne fotoelektrický proud, pak jeho velikost J roste s intenzitou ozáření katody I.



Obr. 2 Pokusy Hallwachsova–Stoletovova typu.



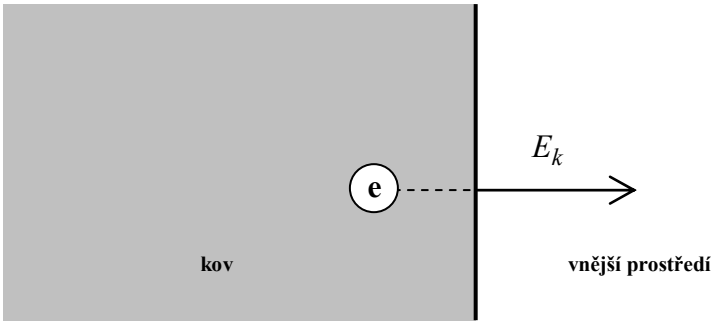
Obr. 3 Pokusy s vyčerpanými trubicemi.

FYZIKÁLNÍ INTERPRETACE FOTOELEKTRICKÉHO JEVU A PRVNÍ EXPERIMENTÁLNÍ VYŠETŘENÍ KINETICKÉ ENERGIE FOTOELEKTRONŮ

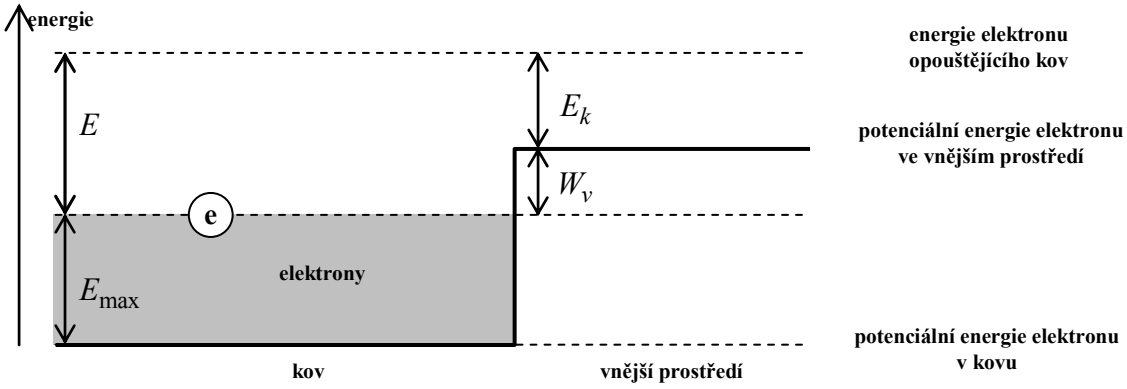
Joseph John Thomson

Přestože Hallwachs a Stoletov – nezávisle na sobě – detailně prozkoumali základní vlastnosti fotoelektrického jevu, nikdo z nich se jej nepokusil fyzikálně vyložit. Rozhodující krok k nalezení jeho podstaty učinil roku 1899 Joseph John Thomson (1856–1940), který experimentálně identifikoval v nositelích záporného náboje unikajících z ozařovaného kovového vzorku elektrony, které sám – o dva roky dříve – objevil [4].

Základní komentář fyzikální interpretace fotoelektrického jevu se opírá o jednoduchou představu skokové změny potenciální energie elektronu na rozhraní mezi kovem a vnějším prostředím [viz obr. 4].



Obr. 4a Rozhraní mezi kovem a vnějším prostředím.



Obr. 4b Energiová bilance na rozhraní mezi kovem a vnějším prostředím.

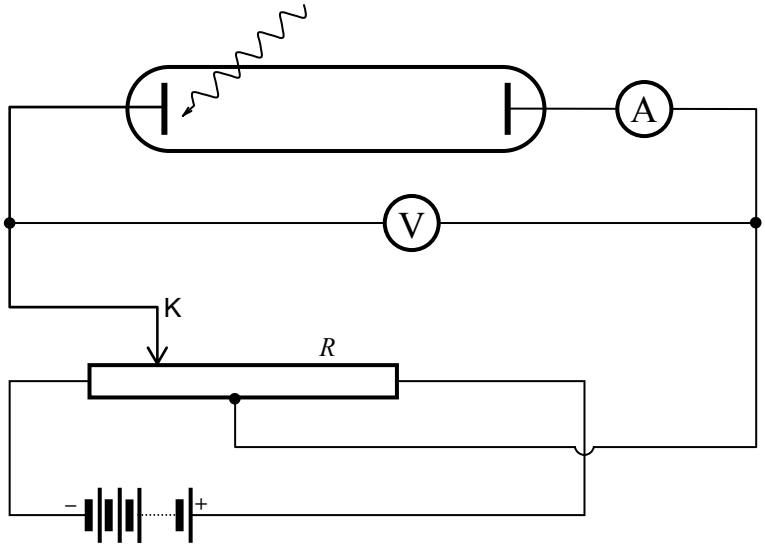
Z obrázku 4b je možno také přímo odečíst kinetickou energii uvolněného elektronu:

	kinetická energie emitovaného elektronu	=	energie pohlcená elektronem	–	výstupní práce	
resp.	E_k	=	E	–	W_V	(1)

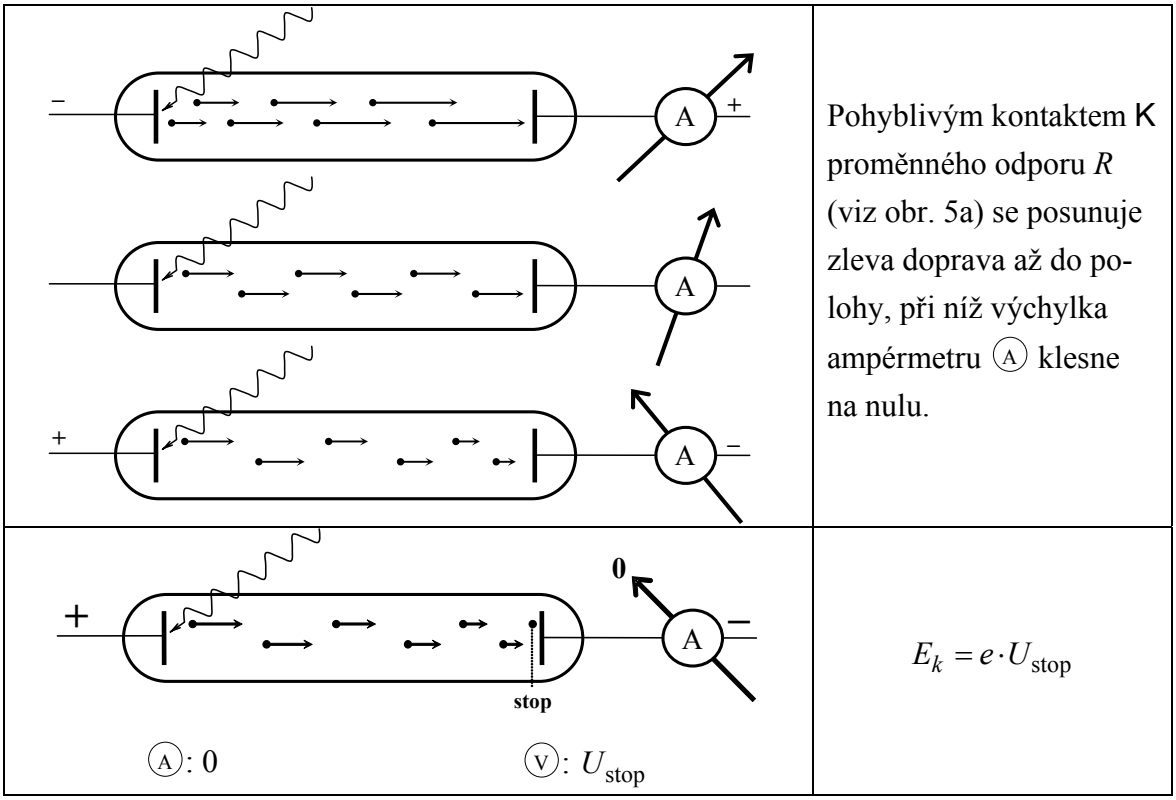
První etapu experimentálního studia fotoelektrického jevu završil Hertzův někdejší žák a asistent Philipp Lenard (1862–1947). V řadě prací provedených v letech 1902–1903 jednak nezávislými metodami ověřil některé poznatky svých předchůdců (existence červeného prahu – A. Stoletov, elektronová podstata jevu – J. J. Thomson), zejména však – jako první – provedl měření kinetické energie E_k uvolňovaných elektronů.

Philipp Lenard

Princip jeho měřicí metody je jednoduchý: Je-li ozařovaná elektroda kladná vůči elektrodě sběrné, jsou emitované elektrony polem mezi nimi brzděny. Posunováním pohyblivého kontaktu K proměnného odporu *R* od jeho středu směrem doprava [viz obr. 5] dochází k plynulému zvyšování brzdícího napětí mezi oběma elektrodami a v důsledku toho také k postupnému poklesu fotoproudu procházejícího ampérmetrem.



Obr. 5a Schéma Lenardova experimentálního uspořádání.



Obr. 5b Princip Lenardovy měřicí metody.

V okamžiku poklesu proudu na nulu nabývá zřejmě brzdící napětí takové hodnoty U_{stop}, při níž pole mezi ozařovanou a sběrnou elektrodou zastaví elektrony právě před jejich vstupem do kolektoru (a následně je vrátí na elektrodu s kladným potenciálem). Tehdy platí

$$e \cdot U_{stop} = E_k ,$$

což umožňuje určit kinetickou energii elektronů vystupujících z ozařované elektrody odečtením hodnoty U_{stop} ze stupnice voltmetru [viz obr. 5a]. Tato měření vedla k závěru, že

- E_k roste s frekvencí f dopadajícího záření,

zatímco

- na jeho intenzitě I (při neměnné frekvenci f) nezávisí.

Během patnácti let (1888–1903) tak byly vyšetřeny základní vlastnosti fotoelektrického jevu. Experimentální zjištění, pro větší přehlednost shrnutá do tabulky 1, však byla natolik nečekaná, že se ani Philipp Lenard, jenž byl nepochybně jedním z nejzasvěcenějších badatelů na tomto poli, nepokusil o jeho teoretické vysvětlení [3, 5].

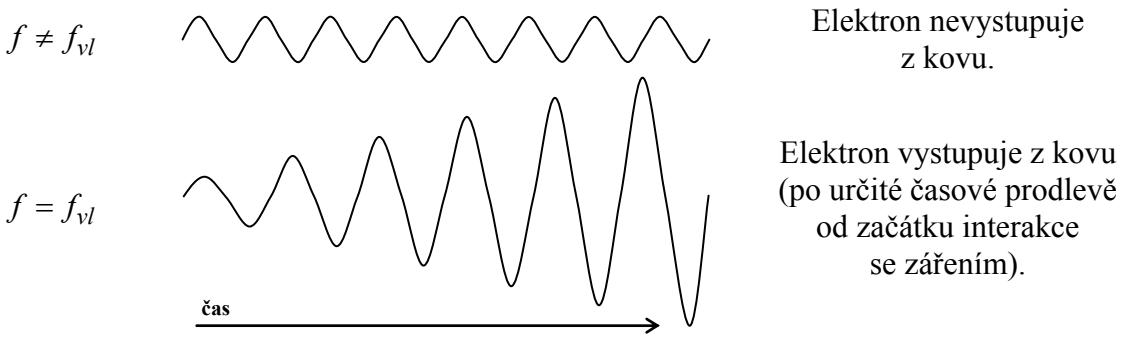
Experimentální fakta

1. ozařování vodiče z něj může uvolňovat záporný náboj
2. existuje mezní frekvence f_0 (tzv. červený práh) vzniku fotoelektrického jevu
3. neexistuje časová prodleva mezi začátkem ozařování a začátkem uvolňování náboje
4. $I \nearrow \quad \rightarrow \quad J \nearrow$
5. E_k nezávisí na I
6. $f \nearrow \quad \rightarrow \quad E_k \nearrow$

Tab. 1

NEÚSPĚCH PRVNÍCH POKUSŮ O TEORETICKÝ POPIS FOTOELEKTRICKÉHO JEVU

Přirozeným východiskem teoretického rozboru mechanismu a vlastností fotoelektrického jevu byla obecná představa, že elektrony jsou z ozařovaného vzorku emitovány v důsledku jejich urychlování elektrickou složkou dopadající elektromagnetické vlny [6]. Intenzita I této vlny je úměrná kvadrátu amplitudy $\mathcal{E}^2$ elektrického pole. S rostoucí intenzitou proto roste velikost síly $F = -e \cdot \mathcal{E}$ působící na elektron, jenž v důsledku toho získá větší rychlost v, resp. kinetickou energii E_k. To však nesouhlasí s experimentálně zjištěným faktem uvedeným na řádku 5 tabulky 1. Pokud má dopadající elektromagnetická vlna velkou amplitudu, pak by se měl elektron z kovu uvolnit prakticky okamžitě po začátku interakce s ní bez ohledu na její frekvenci. Tento závěr je ovšem v rozporu s existencí prahové frekvence f_0 fotoefektu (viz tabulka 1, řádek 2). Dopadá-li na kov elektromagnetická vlna malé amplitudy, koná elektron vynucené kmity. Je-li při tom frekvence f dostatečně odlišná od frekvence f_{vl} vlastních kmitů elektronu, pak elektron sice bude kmitat, ale ne natolik, aby mohl vystoupit z povrchu kovu. Má-li však dopadající světlo frekvenci rovnou vlastní frekvenci kmitů elektronu, pak amplituda jeho kmitů s časem narůstá [viz obr. 6], až dosáhne takové hodnoty, kdy je elektron schopen kov opustit.



Obr. 6 Kmity elektronu při obecné a vlastní frekvenci.

Z pohledu klasické fyziky by tedy v tomto případě k emisi elektronů z kovu mělo docházet jen pro určité diskrétní frekvence světla (tzv. rezonanční frekvence), resp. frekvence ve velmi úzkých pásmech, nikoliv však v celém spojitém pásmu frekvencí $f > f_0$, pro něž byl efekt pozorován. Navíc by k této emisi nemělo docházet okamžitě po ozáření kovu, ale mezi začátkem jeho ozařování a uvolněním elektronu by měla existovat určitá časová prodleva (např. pro fialové světlo s intenzitou $10^{-6}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ dopadající na povrch sodíku by trvalo více než $10^7\ \mathrm{s}$, tedy téměř jeden rok, než by k uvolnění elektronu došlo [8]). Tyto teoretické závěry se však diametrálně liší od experimentálních zjištění uvedených v tabulce 1 na řádcích 2 a 3. Navíc popsaný rezonanční mechanismus uvolňování elektronů z kovu nijak nevysvětluje pozorovanou závislost kinetické energie elektronů na frekvenci dopadajícího světla (tabulka 1, řádek 6).

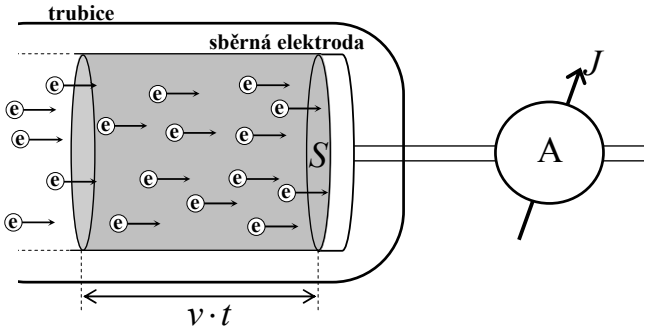
Teoretická předpověď se tedy sice shoduje s experimentálním faktem uvedeným na řádku 1 tabulky 1, s poznatky uvedenými na jejích řádcích 2, 3, 5, 6 se však rozchází. Už to by jistě stačilo k odmítnutí naznačeného teoretického postupu. Podívejme se však pro úplnost, poučení a inspiraci ještě i na řádek 4, tj. přezkoumejme z mikroskopického hlediska také závislost fotoelektrického proudu J na intenzitě světla I.

Ustálený fotoproud J je určen elektrickým nábojem, který projde ampérmetrem za jednotku času:

$$J = \frac{Q}{t}.$$

Náboj Q, který projde měřicím přístrojem za dobu t je týž, jako náboj, který za čas téže délky dopadne na sběrnou elektrodu. Lze jej snadno vyjádřit pomocí obsahu S povrchu této elektrody, velikosti náboje elektronu e, koncentrace n elektronů v trubici a jejich rychlosti v v trubici [viz obr. 7]:

$$Q = n \cdot e \cdot (S \cdot v \cdot t)\,.$$



Obr. 7 Určení velikosti fotoproudu J.

Fotoproud je pak dán vztahem

$$J = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot e \cdot (S \cdot v \cdot t)}{t} = e \cdot S \cdot n \cdot v\,,$$

tj. $$J = konst. \cdot (n \cdot v)$$ [9].

Na základě představy o interakci elektromagnetického vlnění s elektrony, která byla formulována v tomto oddílu, by s rostoucí intenzitou záření I měla růst kinetická energie E_k (a tedy i rychlost v) uvolňovaných fotoelektronů, což vede ke shodě s experimentálním zjištěním uvedeným na řádku 4 tabulky 1. Tento dodatečný dílčí úspěch je však pouze zdánlivý, neboť se opírá o nesprávnou – experimentem vyvrácenou (viz řádek 5 tab. 1) – představu o růstu E_k (resp. v) s intenzitou záření I.

Pokus o teoretické vysvětlení vlastností fotoelektrického jevu vycházející z představy o mechanismu absorpce energie elektromagnetického záření elektrony, o niž se opíraly úvahy rozvíjené v tomto oddílu, tedy zcela ztroskotal.

Experimentální fakta	Teoretická očekávání / předpovědi
1. ozařování vodiče z něj může uvolňovat záporný náboj	SHODA
2. existuje mezní frekvence f_0 (tzv. červený práh) fotoelektrického jevu	ROZPOR
3. neexistuje časová prodleva mezi začátkem ozařování a začátkem uvolňování náboje	ROZPOR
4. $I \nearrow \quad \rightarrow \quad J \nearrow$	ZDÁNLIVÁ SHODA
5. E_k nezávisí na I	ROZPOR
6. $f \nearrow \quad \rightarrow \quad E_k \nearrow$	ROZPOR

Tab. 2

Totéž konstatuje v roce 1905 Albert Einstein jen krátkým odkazem: *„Tradiční názor, že energie světla je rozložena spojitě v oblasti tímto světlem ozářené, působí při snaze o objasnění fotoelektrických jevů popsaných v Lenardově průkopnickém článku velké potíže“* [1] a stručně dokládá, že použití jeho ideje světelných kvant o energii $E = h \cdot f$, zmiňované v úvodu tohoto textu, při výkladu fotoelektrického jevu k žádným problémům nevede.

Elementarizovaný výklad, jenž je obsahem tohoto sdělení, je však koncipován jinak než [1], a proto pokračuje méně přímočaře.

MODERNÍ VÝKLAD FOTOELEKTRICKÉHO JEVU A JEHO EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

Podrobnější úvaha o makroskopických veličinách J (měřeno ampérmetrem) a U_{stop} (měřeno voltmetrem) opírající se o jejich mikroskopické vyjádření

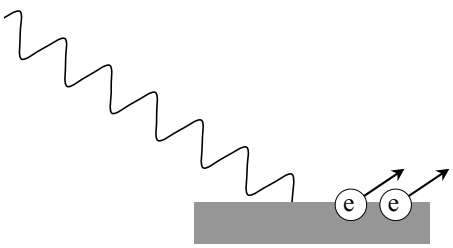
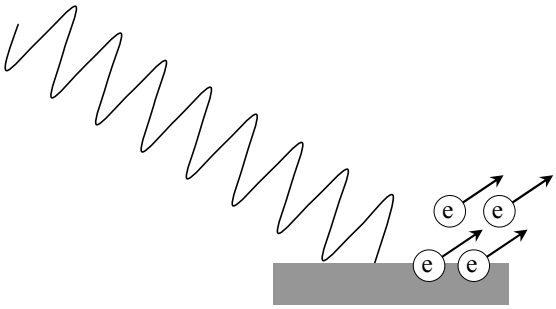
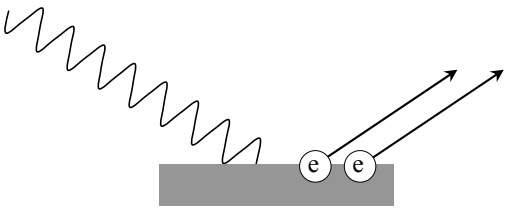
$$J = e \cdot S \cdot n \cdot v\,, \qquad U_{\text{stop}} = \frac{1}{e} \cdot E_k = \frac{1}{2 \cdot e} \cdot m \cdot v^2\,,$$

vede k závislostem

$I \nearrow \;\rightarrow\; v = konst.,\; n \nearrow$ (řádky 5 a 4 tabulky 1),

$f \nearrow \;\rightarrow\; v \nearrow$ (řádky 6 a 4 tabulky 1).

Z toho pak přímo vyplývají mikroskopické závěry o fotoelektrickém jevu, zachycené v následujících piktogramech:

Způsobí-li absorpce záření o intenzitě I a frekvenci f emisi určitého počtu elektronů s určitou rychlostí (kinetickou energií), 	absorpce záření větší intenzity stejné frekvence způsobí emisi většího počtu elektronů se stejnou rychlostí (kinetickou energií). 
absorpce záření téže intenzity vyšší frekvence způsobí emisi elektronů s větší rychlostí (kinetickou energií). 	

Tab. 3

Tato zjištění lze pak přehledně shrnout do stručných závěrečných konstatování:

- záření s větší intenzitou vyvolá emisi většího počtu elektronů,
- záření s větší frekvencí vyvolá emisi elektronů s větší rychlostí (kinetickou energií).

Fyzikální vysvětlení těchto závěrů podal – jak již bylo uvedeno – roku 1905 Albert Einstein: **elektrony neabsorbují energii tak, jak se dosud myslelo** (tj. v důsledku svého urychlování elektrickou složkou dopadající elektromagnetické vlny), **ale po kvantech, jejichž velikost je úměrná frekvenci záření** $\left(\boldsymbol{E = konst. \cdot f}\right)$.

Albert Einstein

Einsteinova představa:

SVĚTLO (ELMAG. ZÁŘENÍ) = SOUBOR SVĚTELNÝCH KVANT

jejich počet $n \sim I$

jejich energie $E \sim f$ *)

PO DOPADU SVĚTLA (ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ) NA VZOREK KAŽDÉ TAKOVÉ KVANTUM INTERAGUJE S JEDNÍM ELEKTRONEM

*) Einstein stanovuje i hodnotu konstanty v této úměrnosti, když píše $E = h \cdot f$. Teoretická argumentace vyložená v tomto článku to neumožňuje.

Tab. 4

Po dosazení tohoto vyjádření energie pohlcené elektronem do vztahu (1) se pak dostane tzv. *Einsteinova rovnice fotoelektrického jevu*:

$$E_k = konst. \cdot f - W_V \,, \tag{2a}$$

resp.

$$E_k = h \cdot f - W_V \,. \tag{2b}$$

(Že takový teoretický výklad fotoelektrického jevu vede ke shodě se všemi experimentálními poznatky shrnutými v tabulce 1, resp. 2, se čtenář snadno přesvědčí sám).

Robert Millikan

Idea světelných kvant byla natolik provokativní, že již v roce 1906 započal americký fyzik Robert Millikan (1868–1953) s experimenty, které ji měly vyvrátit. Experimentální zjištění, o něž se opírala naše dosavadní argumentace, totiž nebyla tak jednoznačná a spolehlivá, jak by se mohlo z předcházejících formulací zdát. Přesné experimentální studium jevu a jeho rigorózní popis totiž velmi ztěžuje celá řada problémů, které nebyly v tomto textu vůbec zmíněny (elektrony vyletují z ozařovaného materiálu různými směry a mají různé energie; na ozařovaných vzorcích – většinou alkalických kovech – narůstají rychle oxidové vrstvy, což nepříznivě ovlivňuje reprodukovatelnost měření; měřené hodnoty proudů a napětí jsou velmi malé, takže se na nich výrazně projevují efekty spojené s existencí případných přechodových odporů a kontaktních napětí v obvodu; …). A právě tyto komplikace způsobily, že zejména Lenardovy závěry týkající se kinetické energie E_k vyletujících elektronů měly jen víceméně orientační charakter [3]. Millikanovou ctižádostí bylo provést měření E_k tak spolehlivě a přesně, aby to umožnilo ověřit – podle Millikanova přesvědčení vyvrátit – platnost Einsteinovy rovnice fotoelektrického jevu (a tím i koncepci světelných kvant, na základě níž byla tato rovnice vyvozena). Mnohaletou (1906–1916) pečlivou prací založenou na vlastní experimentální metodice umožňující odstranit, vykompenzovat nebo započítat všechny rušivé vlivy [10, 11] dospěl Mil-

likan k naprosto spolehlivému závěru – **potvrzení Einsteinovy rovnice fotoelektrického jevu**. Jeho tehdejší pocity klasického fyzika dokumentuje citát z jeho pozdější vzpomínkové přednášky [12]:

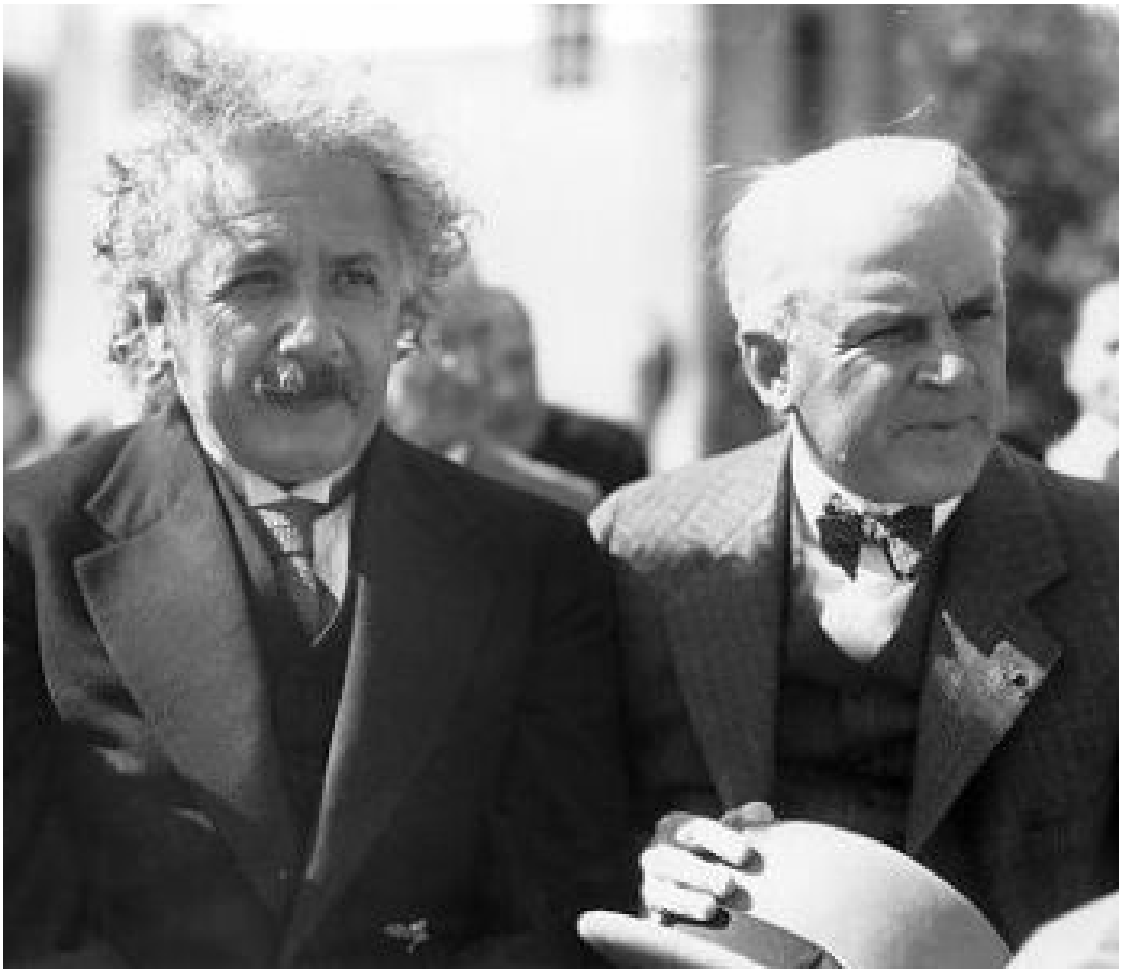
> *„… [Einsteinovo vysvětlení fotoelektrického jevu z roku 1905] ignorovalo a dokonce se zdálo protiřečit všem četným projevům interference a tak se zdálo být přímým návratem ke korpuskulární teorii světla, která byla už od dob Youngových a Fresnelových zcela opuštěna.*
> *… Strávil jsem deset let svého života testováním Einsteinovy rovnice a – navzdory všem svým očekáváním – jsem byl v roce 1915 přinucen konstatovat její nepochybné experimentální potvrzení, nehledě na veškerou její nerozumnost, která se zdála být v rozporu se vším, co jsme věděli o interferenci světla.“*

FOTOELEKTRICKÝ JEV JAKO TÉMA STŘEDOŠKOLSKÉ FYZIKY

Fotoelektrický jev je tradičním tématem všech úvodních kurzů fyziky obsahujících tzv. „moderní partie“. Účelem jeho zařazení je vysvětlení omezené platnosti klasických představ o interakci mezi elektromagnetickým zářením a látkou a seznámení s adekvátní koncepcí kvantovou. Podobnou možnost poskytují sice i témata jiná, např. rovnovážné tepelné záření (≡ záření absolutně černého tělesa) či Comptonův jev, avšak fotoelektrický jev je pro začátečnickou úroveň zvlášť vhodný, a to jak pro svoji relativní jednoduchost fyzikální (zejména ve srovnání s rovnovážným tepelným zářením), tak matematickou (jak ve srovnání s rovnovážným tepelným zářením, tak Comptonovým jevem). Nadto lze řadu důležitých vlastností fotoelektrického jevu při výuce rovněž poměrně snadno demonstrovat experimentálně [3], zatímco obě další zmíněné alternativy tuto možnost postrádají. Také z těchto důvodů zřejmě kladou důraz na fotoelektrický jev i všechny novodobé gymnaziální učebnice fyziky [13–18].

I když jsou detaily výkladu v těchto pramenech pochopitelně odlišné, přece jen lze obecně říci, že jeho styl je ve všech případech více informativní, než by snad být musel, a zdaleka nevyužívá možností, které pro rozvoj fyzikálního myšlení studentů toto téma poskytuje. Autoři jsou přesvědčeni, že fyzikálně i pedagogicky by bylo podstatně cennější dospět k zavedení pojmu světelných kvant (fotonů) jako k východisku z neřešitelných potíží, do nichž vede klasický popis jevu, než jen existenci těchto potíží oznámit a poté přímo vyhlásit správné řešení. (Příslušnou argumentační linii by přitom s minimálním návodem mohli – a měli! – studenti formulovat sami.) V tomto směru se autoři zcela ztotožňují s Arnoldem Aronsem [19] zastávajícím názor, že intelektuálně poctivé vzdělávání má prezentovat vyvážené, pečlivě vyargumentované celky, které v každém svém místě obstojí před otázkami typu *„Odkud víte, že…“* (podstatou fotoelektrického jevu je emise elektronů?), *„Proč si myslíte, že…“* (větší intenzita světla by měla způsobit emisi elektronů s vyšší energií?) atd.

Tento přístup je nadto nepochybně inspirativní i z obecného hlediska. Na aktuální zajímavosti pak nabývá rovněž v souvislosti s blížící se potřebou vytvářet nezávislé školní vzdělávací programy. To by však byl už jiný příběh.



Albert Einstein

Nobelova cena za fyziku
1921

za zásluhy o teoretickou fyziku
se zvláštním přihlédnutím k objevu zákona
fotoelektrického jevu

Robert Millikan

Nobelova cena za fyziku
1923

za práce týkající se
elementárního elektrického náboje
a fotoelektrického jevu

Stručný přehled historie fotoelektrického jevu

1887	HERTZ	objev jevu
1887 →	HALLWACHS STOLETOV	systematické studium jevu; ozařují: Zn; Na, K, Rb, … zjišťují vybíjení/nabíjení izolovaných vodičů, detekují fotoproud
1899	THOMSON	objev podstaty jevu: uvolňování elektronů z ozařovaného vodiče
1902	LENARD	experimentální studium kinetické energie fotoelektronů

ZTROSKOTÁNÍ POKUSŮ O TEORETICKÝ POPIS JEVU

1905	EINSTEIN	výklad jevu na základě předpokladu o existenci *světelných kvant*
1906 →	MILLIKAN	experimentální studium kinetické energie fotoelektronů s cílem vyvrátit Einsteinův výklad
1914	MILLIKAN	experimentální potvrzení Einsteinova předpokladu $E_k \sim f$, resp. $E_k = konst. \cdot f$
1916	MILLIKAN	experimentální potvrzení Einsteinovy rovnice $E_k = konst. \cdot f - W_V$ a stanovení $konst. = 6{,}57 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s} = h$

EXPERIMENTÁLNÍ POTVRZENÍ KVANTOVÉHO CHARAKTERU INTERAKCE MEZI SVĚTLEM/ELEKTROMAGNETICKÝM ZÁŘENÍM A LÁTKOU

LITERATURA A POZNÁMKY:

[1] Einstein A.: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtpunkt*. Annalen der Physik **17** (1905) 132.
Podstatně dostupnější než německý originál jsou jeho komentované anglické překlady, např. American Journal of Physics **33** (1965) 367 nebo Boorse H. A., Motz L. (Eds.): *The World of the Atom, vol. I*. Basic Books, Inc., Publisher, New York 1966, příp. Stachel J. (Ed.): *Einstein´s Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics*. Princeton University Press 1998.

[2] Omezený rozsah tohoto textu nedovoluje Einsteinovu argumentaci vyložit podrobněji. Hlubší zájemce může najít podrobnější informaci např. v Zajac R., Pišút J., Šebesta J.: *Historické pramene súčasnej fyziky 2*. Univerzita Komenského, Bratislava 1997, str. 200.

[3] Martinásková H.: *Fotoelektrický jev*. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta MU, Brno 2005. http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/cz/st/dp/martinaskova.shtml

[4] Lacina A.: *Několik kroků do mikrosvěta 1*. V: Semináře z fyziky 2003/2004 – 4. blok. http://www.physics.muni.cz/kof/seminare/p14.pdf.

[5] Arons A. B.: *Teaching Introductory Physics*. John Wiley & Sons, New York 1997.

[6] Důvodem pro pominutí běžně mlčky ignorovaného silového účinku magnetické složky je skutečnost, že její amplituda $\mathcal{B}_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{c}$ (kde $\mathcal{E}_0$ je amplituda složky elektrické, c je rychlost světla) – viz např. [7]. V důsledku toho je síla $\vec{F}_{mag} = q \cdot \left(\vec{v} \times \vec{\mathcal{B}}\right)$, jíž působí magnetická složka na libovolný náboj q pohybující se nerelativistickou rychlostí v, zanedbatelná ve srovnání se silou $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{\mathcal{E}}$, jíž na něj působí složka elektrická.

[7] Alonso M., Finn E. J.: *Fundamental University Physics, vol. II.* Addison–Wesley, Reading, Massachusetts 1970.

[8] Beiser A.: *Úvod do moderní fyziky*. Academia, Praha 1977.

[9] I když lze předchozí úvahu formulovat – se stejným výsledkem – zcela obecně, je vhodné pro zjednodušení další argumentace předpokládat, že se elektrony v trubici pohybují rovnoměrně. (Prakticky by toho bylo možné dosáhnout vynulováním napětí mezi oběma elektrodami: $U = 0$ V .) Rychlost v vystupující v závěrečném vztahu pro fotoproud je v takovém případě totožná s rychlostí, s níž fotoelektrony opouštějí ozařovanou elektrodu.

[10] Millikan R. A.: *A Direct Photoelectric Determination of Planck´s Constant h.* The Physical Review **7** (1916) 355.

[11] Trigg G. L.: *Crucial Experiments in Modern Physics.* Van Nostrand Reinhold Company, New York 1971. Existuje i ruský překlad: *Rešajuščije eksperimenty v sovremennoj fizike.* Mir, Moskva 1974.

[12] Millikan R. A.: *Albert Einstein on his Seventieth Birthday.* The Review of Modern Physics **21** (1949) 343.

[13] Rudolf V., Fuka J., Hlavička A.: *Fysika pro jedenáctý postupný ročník*. SPN, Praha 1957.

[14] Fuka J. a kol.: *Fyzika pro III. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (pro III. a IV. ročník gymnázia)*. SPN, Praha 1965.

[15] Pišút J. a kol.: *Fyzika pro IV. ročník gymnázií*. SPN, Praha 1987.

[16] Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta*. Galaxie, Praha 1993.

[17] Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta. (3., přepracované vydání)*. Prometheus, Praha 2002.

[18] Pišút J. a kol.: *Fyzika pre IV. ročník gymnázií*. SPN, Bratislava 2003.

[19] Arons A. B.: *Cesta k přírodovědné gramotnosti*. Školská fyzika **VII**, č. 3 (2001) 61.

Jak vidím svět – pocta Albertu Einsteinovi

Technické muzeum v Brně s odbornou garancí kateder fyziky Přírodovědecké a Pedagogické fakulty MU v Brně pořádá výstavu Jak vidím svět – pocta Albertu Einsteinovi, která proběhne od 11. 10. 2005 nejméně do 31. 12. 2005.

Před sto lety, v roce 1905 byly publikovány čtyři články, z nichž tři stály u zrodu speciální teorie relativity a kvantové fyziky. Tyto disciplíny změnily názor na svět nejen vědcům, ale i lidem, kteří nikdy s fyzikou neměli nic společného. Autor textů, Albert Einstein, od jehož úmrtí si připomínáme letos právě padesát let, vstoupil do všeobecného povědomí nejen jako geniální fyzik, ale i jako pacifista, výstřední podivín a houslista.

Výstava přináší pohled na osobnost tohoto člověka. Při přípravě výstavy si autorský kolektiv uvědomil, že by se výstava mohla stát i prostředkem k popularizaci fyziky. A tak se výstava se pokouší ukázat fyziku v atraktivním kabátě nejen odborníkům. Obsahuje řadu interaktivních exponátů, s nimiž může návštěvník manipulovat dle návodu. Snahou je návštěvníka vést cestou poznávání, která v přírodních vědách je dána vědeckou metodou – pozorování, hypotéza, předpověď, experiment.

Na výstavě se lze dozvědět i mnoho méně známých faktů o osobnosti Alberta Einsteina a jeho vědeckém díle. Také jsou vystaveny aplikace, které vycházejí z Einsteinova vědeckého odkazu a staly se natolik součástí každodenního života, že už je ani nevnímáme jako něco sofistikovaného a výlučného.

Málokdo si uvědomuje, že například v pozadí každého automatického otevření dveří stojí poznatky publikované v jednom z famózních článků „zázračného roku“ 1905.

Zveme Vás tedy co nejsrdečněji. Za kolektiv autorů

Prof. Jan Novotný, CSc.
Mgr. Jana Jurmanová, Ph.D.
RNDr. Jindra Svobodová, Ph.D.

Akce se koná v Technickém muzeu, Purkyňova 105, Brno
http://www.technicalmuseum.cz/ws/ws05.htm
http://www.technicalmuseum.cz/

Snímače magnetického pole

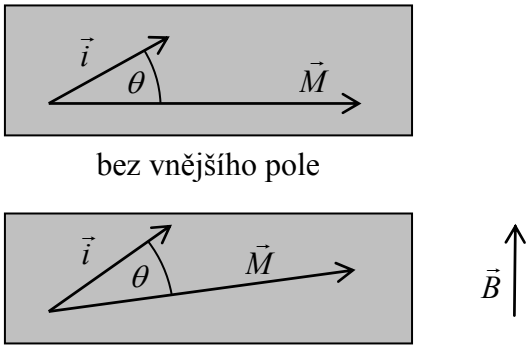
Zdeněk Bochníček, katedra obecné fyziky, Přírodovědecká fakulta MU*

Jednoduché snímače magnetického pole člověk používá již více než 2 000 let. První aplikace – orientace a navigace pomocí detekce zemského magnetického pole – však zůstala po tisíciletí jedinou. Nebývalý rozvoj rozličných detektorů magnetického pole nastal až v posledních desetiletích. Nyní jsou k dispozici čidla pracující na více než deseti různých fyzikálních principech, které umožňují měřit magnetické pole v rozsahu 10^{-15}–10^{4} T. (Pro srovnání: zemské magnetické pole při povrchu Země je asi $6\cdot10^{-5}$ T). Možná se zdá, že možnosti aplikačního využití magnetických senzorů jsou jen velmi omezené. Opak je pravdou. Ve většině aplikací je magnetické pole pouze prostředníkem pro detekci jiné fyzikální veličiny: polohy, rychlosti, teploty, tlaku, elektrického proudu apod.

V následujícím textu si popíšeme fyzikální principy některých snímačů magnetického pole a uvedeme několik příkladů praktických aplikací.

ANIZOTROPNÍ MAGNETOREZISTIVITA (ANISOTROPIC MAGNETORESISTIVITY, AMR)

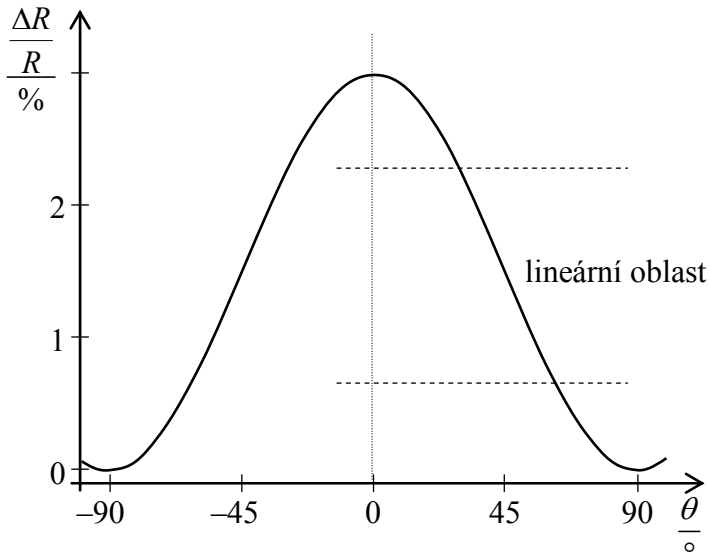
Magnetoresistivitu – změnu odporu s magnetickým polem – poprvé pozoroval William Thomson (lord Kelvin) již v roce 1856. Trvalo však více než sto let, než mohl být tento efekt prakticky využit. V případě tzv. anizotropní magnetorezistivity souvisí změna odporu se změnou úhlu θ mezi vektorem magnetizace $\vec{M}$ a směrem proudové hustoty $\vec{i}$, protékající materiálem (viz obr. 1). Měrný odpor je největší, pokud elektrický proud teče ve směru magnetizace $\vec{M}$; příčinou je vyšší pravděpodobnost rozptylu elektronů pohybujících se tímto směrem. Ve směru kolmém k $\vec{M}$ je naopak odpor nejmenší.



Obr. 1: *Jev anizotropní magnetorezistivity. Elektrický odpor materiálu závisí na úhlu mezi vektorem magnetizace a směrem proudu. Při nulovém vnějším poli je směr vektoru magnetizace dán remanentní magnetizací (horní obrázek), při vložení do vnějšího magnetického pole se směr vektoru magnetizace změní (dolní obrázek).*

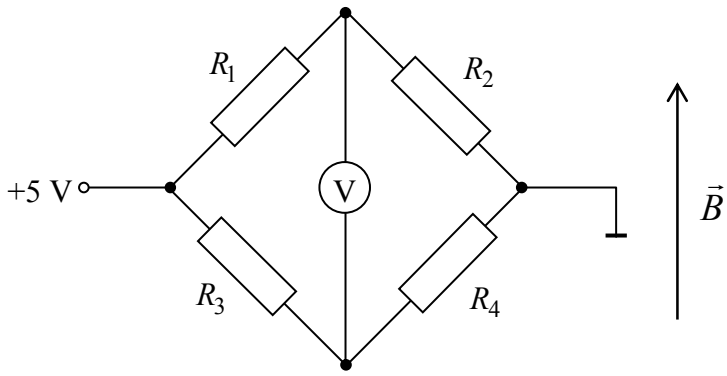
Typická závislost relativní změny odporu $\frac{\Delta R}{R}$ je na obr. 2. Maximální hodnoty $\frac{\Delta R}{R}$ dosahují 2–3 %. Je výhodné využívat oblasti kolem $\theta = 45°$, kde je magnetorezistivní odezva přibližně lineární. AMR snímače pracují s rozsahu 10^{-10}–10^{-3} T.

zboch@physics.muni.cz



Obr. 2: *Závislost změny elektrického odporu na úhlu mezi vektorem magnetizace a směrem proudu.*

Vlastní čidlo je tvořeno tenkou vrstvou slitiny permalloy, deponované na křemíkovém substrátu. Permalloy (78,5 % Ni, 18 % Fe, 3% Mo a 0,5 % Mn) má vysokou permeabilitu a malou hysterezi. Kovová magnetická vrstva ve tvaru úzkého dlouhého pásku je již při výrobě trvale zmagnetována tak, že vektor magnetizace je rovnoběžný s delší stranou pásku (tedy vodorovně na obr. 1 a 4). Toho je možné dosáhnout přítomností silného magnetického pole při depozici tenké vrstvy. Jelikož změna odporu $\frac{\Delta R}{R}$ je relativně malá, zvyšuje se citlivost snímače tím, že se použijí čtyři identické pásky zapojené do Wheatstoneova můstku (obr. 3). Odpory R_1, R_3 a R_2, R_4 tvoří dvě dvojice s úhly $\theta_1 = \theta_4 = 45°$ a $\theta_2 = \theta_3 = -45°$. V této konfiguraci je současně kompenzována teplotní závislost měrného odporu permalloye, která je poměrně značná: $0{,}5\,\frac{\%}{°\mathrm{C}}$.

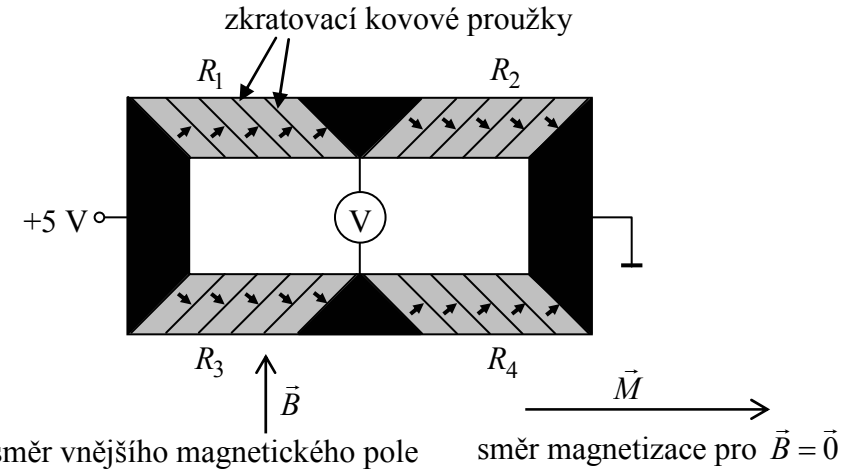


Obr. 3: *Uspořádání snímačů do Wheatstoneova můstku.*

Geometrické uspořádání čtveřice čidel ve snímači je na obr. 4. Ve stavu bez vnějšího magnetického pole je permalloy zmagnetován podél delší strany pásků. Při zapnutí vnějšího pole (s intenzitou například svisle směrem vzhůru) se vektor magnetizace vychýlí dle obr. 1. Tím se úhel mezi směrem proudu a magnetizací pro odpory R_1 a R_4 zmenší a pro odpory R_3 a R_2 zvětší. Rovnováha můstku se poruší a voltmetr ukáže výchylku.

Zajímavě je vyřešeno nastavení sklonu směru protékaného proudu a vnějšího, měřeného magnetického pole. Na povrchu permalloyové vrstvy jsou vytvořeny tenké kovové proužky

z dobře vodivého kovu (např. hliníku nebo zlata), které jsou orientované pod úhlem $45°$ od směru vnějšího magnetického pole. Tyto proužky tvoří ekvipotenciální plochy, mezi kterými je přibližně homogenní elektrické pole, jehož intenzita je kolmá na delší stranu proužků (podobně jako intenzita pole v deskovém kondenzátoru). Elektrický proud pak kopíruje směr intenzity elektrického pole a svírá tedy s měřeným magnetickým polem požadovaný úhel $45°$.



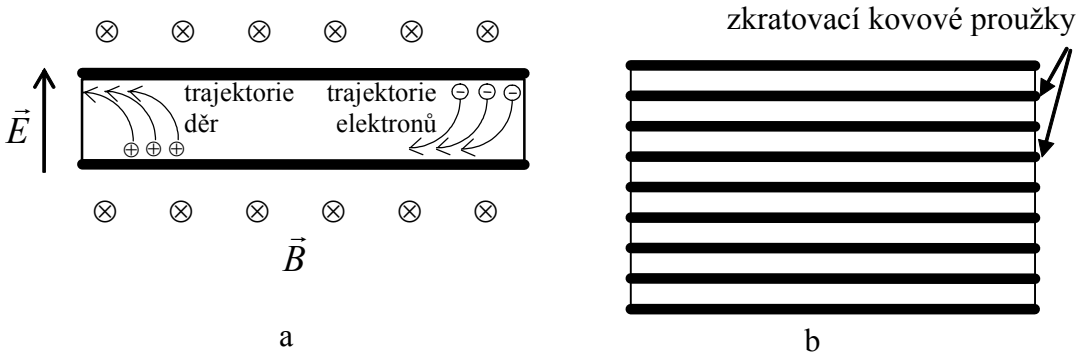
Obr. 4: *Uspořádání permalloyových pásků ve snímači (šedé plochy) se zapojením do Wheatstoneova můstku. Požadovaný směr průtoku elektrického proudu vzhledem k měřenému magnetickému poli (malé šipky) zajišťují kovové zkratovací proužky (černé pásky).*

Pro správnou funkci snímače je nutné, aby permalloy byl trvale zmagnetován podél delší strany pásků. Rušivé vnější magnetické pole může ovšem magnetizaci slitiny pozměnit. Stane-li se tak, je třeba původní magnetizaci obnovit s použitím silného vnějšího magnetického pole. Pokud senzor není vystaven rušivému poli, magnetizace zůstane nezměněna velmi dlouho (řadu let).

Velkou výhodou těchto snímačů je skutečnost, že mohou být vytvořeny na křemíkovém substrátu. Lze je tedy přímo začlenit do integrovaných obvodů, které slouží pro zpracování a vyhodnocení signálů, což velmi snižuje cenu těchto snímačů. Malé rozměry, vysoká citlivost, odolnost proti rušivým vlivům a spolehlivost, to vše předurčuje AMR snímače k řadě aplikací a v daném rozsahu magnetických polí jen stěží nachází konkurenty.

MAGNETOREZISTORY

Podobně jako předchozí snímače i magnetorezistory jsou součástky, které ve vnějším magnetickém poli mění elektrický odpor. Fyzikální princip děje je však zcela odlišný. Magnetické pole působením Lorentzovy síly zakřivuje dráhu nositelů náboje v látkách, to prodlužuje jejich dráhu, a tak zvyšuje elektrický odpor. Změna elektrického odporu je tím větší, čím je větší pohyblivost nositelů proudu. Proto se nejčastěji používají polovodivé materiály s vysokou pohyblivostí jako InSb a GaAs. Principiální schéma je na obr. 5a. Je podstatné, aby šířka polovodivé oblasti byla mnohem větší než její délka. Pak nedochází k významnému hromadění nositelů proudu u okrajů oblasti. Tento jev (vznik Hallova napětí, viz dále) by nežádoucím způsobem kompenzoval magnetickou sílu.



Obr. 5: *Magnetorezistor. Magnetické pole zakřivuje, a tak prodlužuje dráhu nositelů proudu* (a). *Vlastní snímač je tvořen řadou sériově zapojených elementů* (b). *Kovové zkratovací pásky na povrchu polovodiče zajišťují potřebný poměr šířky a délky elementů, a tím potlačují nežádoucí vznik Hallova napětí.*

Požadujeme-li odpor čidla řádu stovek a tisíců ohmů, musí být čidlo tvořeno úzkým dlouhým páskem s šířkou několika mikrometrů. Tento tvar však nevyhoví dříve zmíněnému požadavku poměru šířky k délce. Proto jsou navíc na jeho povrch deponovány úzké kovové proužky ve směru kolmém ke směru elektrického pole. Proužky tvoří ekvipotenciální plochy a rozdělí tak dlouhý prvek na řadu sériově zapojených elementů, jejichž šířka je větší než délka, tak jak je požadováno (viz obr. 5b).

Magnetorezistory jsou vhodné pro magnetická pole o indukci desetin až jednotek tesla. Jsou tedy o mnoho řádů méně citlivé než AMR snímače. Na druhé straně v silných magnetických polích může změna odporu dosáhnout až stovek procent.

SNÍMAČE ZALOŽENÉ NA HALLOVĚ JEVU

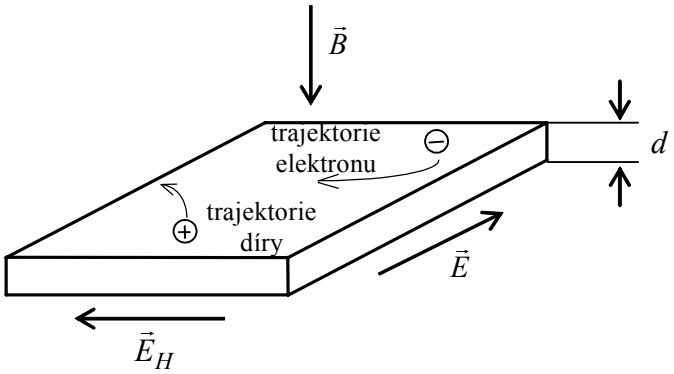
Hallův jev objevil E. Hall v roce 1879, avšak jeho první praktická aplikace spadá až do 50. let 20. století. Masové rozšíření je spojeno s vývojem klávesnice využívající Hallův jev (1968). Hallovy sondy jsou použitelné pro měření magnetických polí s indukcí 10^{-3}–10^{2} T a jejich výhody jsou vysoká spolehlivost a dlouhá provozní doba ($3\cdot10^{10}$ operačních cyklů klávesnice), vysoká operační rychlost (více než 100 kHz), široký rozsah pracovních teplot (-40–$150\ °C$) a v neposlední řadě také snadná implementace do součástek vyrobených technologií integrovaných obvodů.

Podobně jako u magnetorezistorů je pro vznik Hallova jevu podstatná Lorentzova síla působící na pohybující se náboje (viz obr. 6). Nositelé náboje jsou vychylovány kolmo na směr elektrického proudu, a tím se jejich koncentrace na jedné straně destičky zvyšuje. Je zřejmé, že oba typy nositelů – elektrony a díry – jsou vychylovány na stejnou stranu destičky. V nevlastním polovodiči nebo kovu, kde převládá jeden typ nositelů náboje, tak dochází ke spádu koncentrace náboje ve směru kolmém na intenzitu vnějšího elektrického pole $\vec{E}$. Tím vzniká příčné elektrické pole $\vec{E}_H$ a s ním související tzv. Hallovo napětí U_H. V rovnovážném stavu silové působení Hallova napětí právě kompenzuje magnetickou sílu a přerozdělování náboje již neprobíhá. Relativně jednoduše lze pro Hallovo napětí odvodit vztah

$$U_H = R\cdot\frac{I\cdot B}{d},$$

kde I je elektrický proud protékající vodičem, B velikost indukce vnějšího magnetického pole a d tloušťka destičky (měřeno ve směru vektoru magnetické indukce). R je materiálová konstanta – tzv. *Hallova konstanta*.

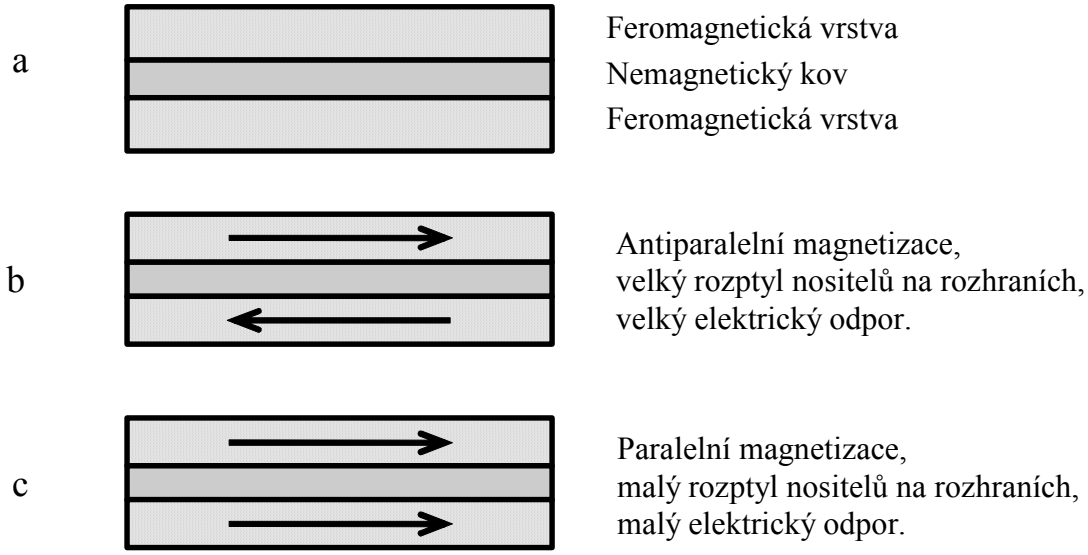
Vidíme tedy, že Hallovy snímače a magnetorezistory jsou založeny na stejném fyzikálním principu. V případě magnetorezitorů je však vznik Hallova napětí nežádoucí a je potlačen vhodnou geometrií vodiče (za pomoci zkratovacích proužků).



Obr. 6: *Hallův jev. Magnetické pole zakřivuje trajektorie nositelů proudu. V kovech a nevlastních polovodičích tak vzniká příčné elektrické pole – Hallovo napětí. Směr příčného elektrického pole* $\vec{E}_H$ *odpovídá polovodiči typu N nebo kovu.*

GIGANTICKÁ MAGNETOREZISTIVITA (GIANT MAGNETORESISTIVITY, GMR)

Tento jev byl objeven teprve nedávno (1988) a nastává ve speciálně připravených velmi tenkých vrstevnatých strukturách. Příklad takové struktury je na obr. 7a. Je tvořena dvěma feromagnetickými vrstvami, které jsou oddělené tenkou vrstvou nemagnetického vodiče. Krajní feromagnetické vrstvy mohou být zmagnetovány dvěma způsoby: antiparalelně (obr 7b) nebo paralelně (obr 7c). Elektrony, protékající střední vodivou vrstvou, mají spinový magnetický moment, díky kterému se rozptylují na rozhraní s feromagnetickými vrstvami. Tento rozptyl obecně zvyšuje elektrický odpor a je větší v případě, kdy jsou magnetické vrstvy zmagnetovány antiparalelně (uspořádání b na obr. 7). Pro to, aby rozptyl na rozhraních významně ovlivnil vodivost střední vrstvy, je nutné, aby tato vrstva byla velmi tenká – méně než 10 nm.

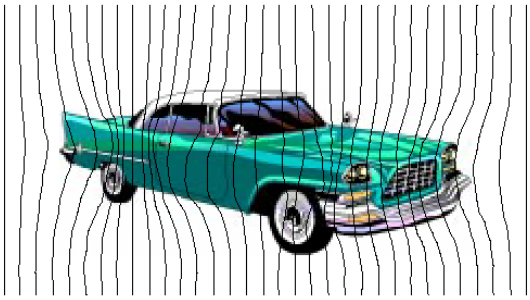


Obr. 7: *Gigantická magnetorezistivita, GMR. Rozptyl nositelů proudu na rozhraních feromagnetických a nemagnetických vrstev je ovlivněn magnetizací krajních feromagnetických vrstev.*

Jeden z možných způsobů činnosti je následující. Střední vrstvou protéká proud ve směru kolmém na nákresnu na obr. 7. Ukazuje se, že hustota proudu několika $\frac{\mathrm{mA}}{\mu\mathrm{m}^2}$ je nutná k tomu, aby se v magnetickém poli vodiče protékaného proudem zmagnetovaly krajní feromagnetické vrstvy antiparalelně (srovnejte s magnetickým polem kruhového vodiče). Vložíme-li tuto strukturu do vnějšího magnetického pole dostatečné velikosti (indukce nejméně $10^{-5}\ \mathrm{T}$) s vektorem indukce ve směru elektrického proudu (kolmo k nákresně na obr. 7), dojde ke změně magnetizace feromagnetických vrstev na paralelní podél směru proudu, a tedy ke snížení elektrického odporu střední vrstvy. V tomto uspořádání dosahuje relativní změna elektrického odporu hodnot 5–10 %.

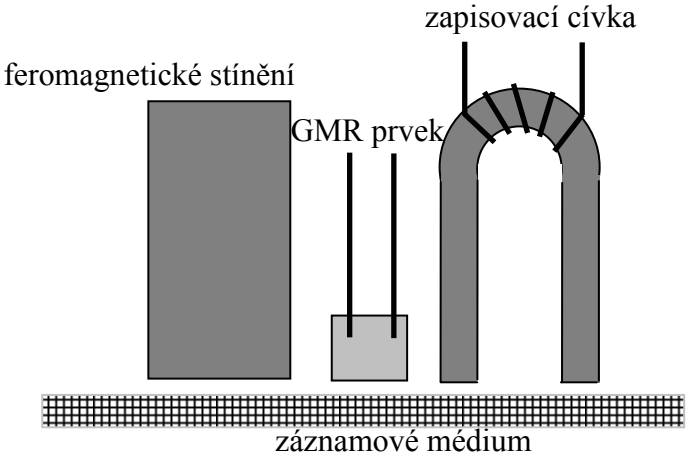
Technologií fotolitografie je možné vyrobit jeden GMR senzor o velikosti $100\ \mu\mathrm{m} \times 100\ \mu\mathrm{m}$.

PŘÍKLADY POUŽITÍ MAGNETICKÝCH SENZORŮ



Obr. 8: *Deformace zemského magnetického pole v blízkosti automobilu.*

Snímače magnetického pole je samozřejmě možné použít všude tam, kde potřebujeme měřit magnetické pole. Typickým příkladem jsou elektronické kompasy, ve kterých AMR senzory měří magnetické pole Země. Tyto snímače jsou tak citlivé, že mohou měřit nejen velikost a směr místního magnetického pole, ale také deformace tohoto pole způsobené blízkostí větších feromagnetických objektů. Je například možné zjistit přítomnost automobilu až do vzdálenosti 15 m (viz obr. 8). Toho lze využít například pro automatický systém nalezení volných míst ve velkokapacitních parkovacích garážích. Použijeme-li dvě čidla umístěné v jisté vzdálenosti od sebe, můžeme měřit průjezd vozidel s určením směru jízdy a rychlosti.



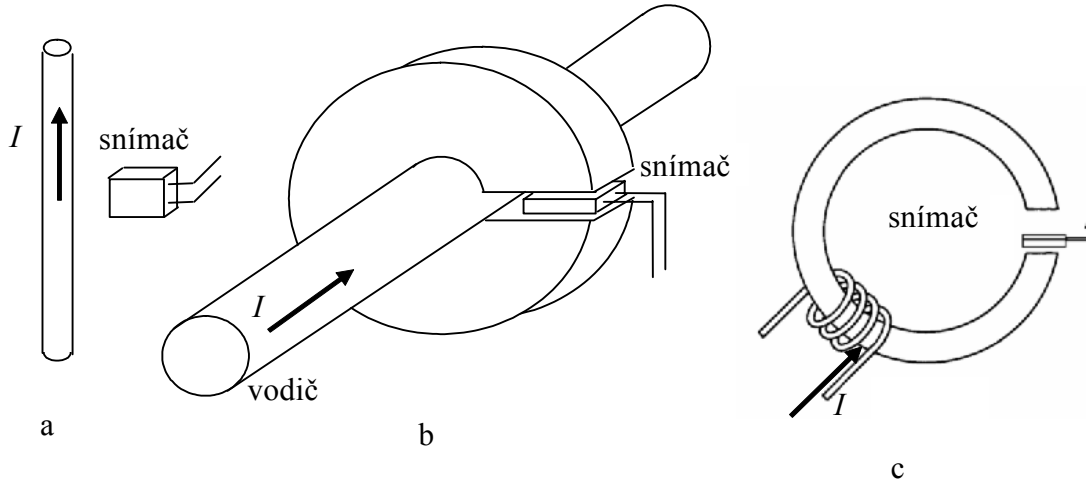
Obr. 9: *Integrovaný magnetorezistivní zapisovací/čtecí element pevného disku. Pro zápis slouží klasická cívka, čtení zajišťuje magnetorezistivní (GMR) prvek.*

Velké rozšíření v poslední době zaznamenaly také magnetorezistivní čtecí hlavičky pro pevné disky v počítačích. Starší konstrukce využívaly pro čtení magnetického záznamu jev elektromagnetické indukce. V moderních hlavičkách je čtení zajištěno pomocí GMR prvku (viz obr. 9).

Možnosti použití snímačů magnetického pole jsou však mnohem širší. Ukážeme si je na několika příkladech.

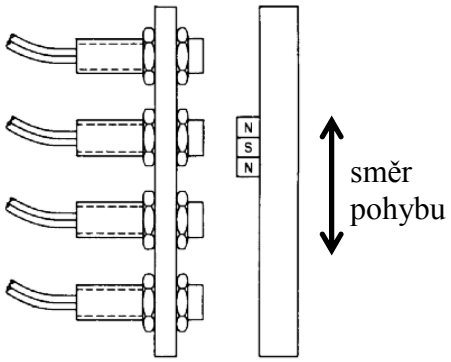
MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU

Každý vodič, kterým protéká elektrický proud, budí ve svém okolí magnetické pole, jehož intenzita je přímo úměrná velikosti proudu. Umístíme-li tedy do definované vzdálenosti od vodiče lineární snímač magnetického pole, pak výstup ze snímače je přímo úměrný velikosti proudu (obr. 10a). Feromagnetickým prstencem je možné zesílit magnetické pole a tedy zvýšit citlivost čidla (obr. 10b a 10c). Měřící rozsah takových čidel se pohybuje od stovek miliampér do tisíců ampér, uživatelé je znají pod jménem klešťové ampérmetry.



Obr. 10: *Měření proudu magnetickým snímačem.* a: *Snímač je pouze přiložen k vodiči.* b *a* c: *Magnetické pole je zesíleno prstencem z feromagnetického materiálu.*

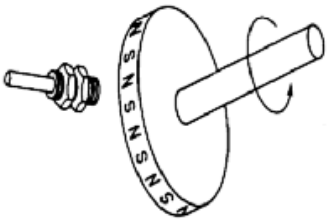
MĚŘENÍ POLOHY, RYCHLOSTI A NÁKLONU



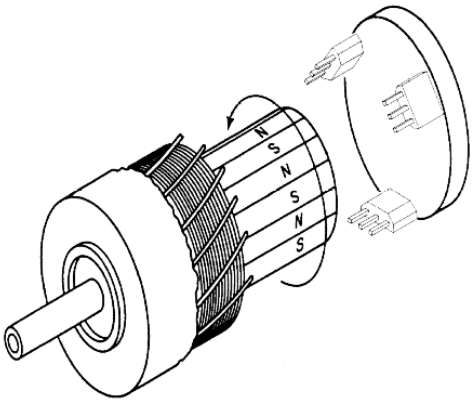
Obr. 11: *Snímač polohy. Magnetické pole dvojice magnetů je měřeno čtyřmi Hallovými sondami.*

Pokud vytvoříme v měřeném prostoru definované magnetické pole, můžeme měřením jeho intenzity získat informace o poloze čidla v prostoru. Příklad takového uspořádání je na obr. 11. Takto lze měřit vzájemný posuv s přesností až 0,05 mm. Podobně je možné realizovat i měření náklonu, zde dokonce s využitím magnetického pole Země. Na obr. 12 je schéma čidla na mě-

ření úhlové rychlosti otáčení. Na podobném principu pracuje i elektronický komutátor pro stejnosměrné elektrické motory (viz obr. 13).



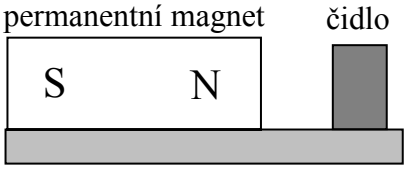
Obr. 12*: Měření úhlové rychlosti otáčení.*



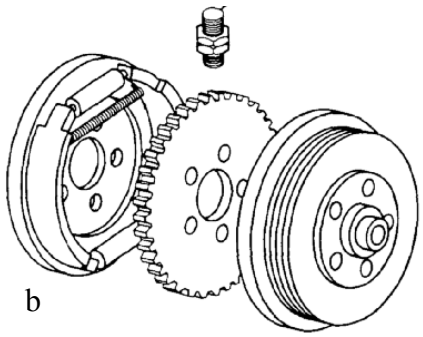
Obr. 13: *Elektronický komutátor pro stejnosměrné elektromotory.*

MĚŘENÍ PŘÍTOMNOSTI FEROMAGNETICKÉHO MATERIÁLU

Pevnou součástí snímače je kromě čidla i permanentní magnet, který vytváří magnetické pole měřené vlastním snímačem (obr. 14a). Je-li v blízkosti snímače feromagnetický materiál, změní se průběh magnetických indukčních čar a tedy i magnetické pole v místě magnetického čidla. Takto lze velmi jednoduše měřit frekvence otáček ozubených kol (snímač registruje průchod jednotlivých zubů), řemenic (snímač upevníme do těsné blízkosti vhodného výstupku, například šroubu), hřídelí apod. Na obr. 14b je použit magnetický snímač na detekci zablokování kol automobilu (systém ABS).



a



b

Obr. 14a: *Zdroj magnetického pole a čidlo tvoří kompaktní jednotku, která detekuje blízkost feromagnetického materiálu.* b: *Použití snímače pro detekci zablokování kol automobilu systému ABS.*

LITERATURA

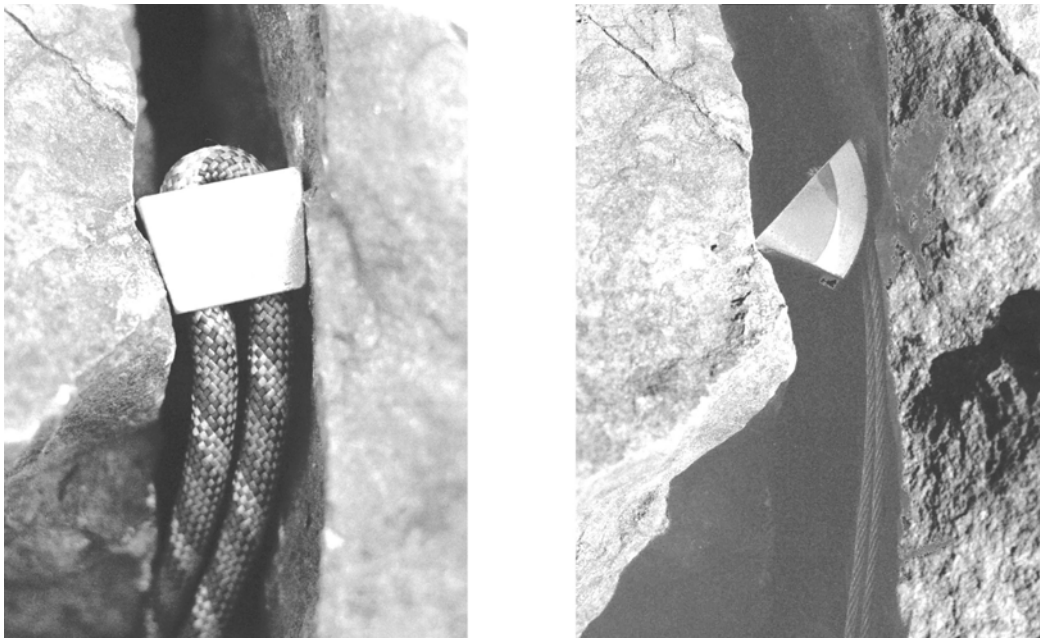
[1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Fyzika, Část 3, Elektřina a magnetismus*. Vutium, Brno 2000.
[2] <http://bookmarkphysics.iop.org/fullbooks/0750307021/tumanskich01.pdf>
[3] <http://www.volny.cz/vopalem/MagSen04.pdf> *Magnetorezistivní senzory* (česky).
[4] <http://www.autex.spb.ru/download/wavelet/books/sensor/CH48.PDF>

Obrazové materiály byly připraveny částečně s použitím www-stránek firmy Honeywell (http://www.honeywell.com/).

O výstředníkových vklíněncích

Jiří Dolejší, MFF UK, Praha*
*Jana Hronková**, Gymnázium J. Barranda Beroun*

Při zdolávání strmých stěn používají horolezci nejrůznější vybavení. Když se totiž chtějí jistit, potřebují k tomu něco pevného, do čeho se dá zapnout karabina s probíhajícím lanem. To „něco pevného“ může být skoba zatlučená do spáry, smyčka s uzlem vklíněným ve spáře nebo kruh upevněný do vyvrtané díry v pískovci. Posledních asi třicet let se používají vklíněnce − kousky kovu nebo plastu se smyčkou, které se, jak název napovídá, vklíní do spár a dírek ve skále. Vynalézavost lidu lezoucího po skalách a výrobců horolezeckého materiálu se soustředila na vymýšlení tvarů vklíněnců tak, aby byly co nejuniverzálnější a dobře držely v různých situacích.



obr. 1

Vklíněnce tvaru komolého jehlanu (zvané stopery, obr. 1 vlevo) jsou jen zřídka použitelné ve spárách s prakticky rovnoběžnými stěnami. Na takové spáry byly ale vymyšleny speciálně křivé vklíněnce, jako ten, který je na obrázku 1 vpravo. Říká se jim výstředníkové a my se budeme v tomto článku podrobně zabývat diskusí jeho tvaru.

Všimněte si opřeného „nosu“ druhého vklíněnce na levé straně spáry a lanka od vklíněnce na pravé strany temné spáry. Tyto dva postřehy naznačují princip funkce vklíněnce – pracuje jako tyčka jedním koncem opřená o nerovnost skály a opírající se druhým zatíženým koncem o protější stěnu spáry (viz obr. 2).

Taková tyčka by mohla fungovat docela dobře, ale bylo by potřeba najít prakticky vhodný úhel α jejího sklonu. Pro síly totiž platí jednoduché vztahy

$$\frac{F_z}{F_1} = \mathrm{tg}\alpha, \quad \frac{F_z}{F_2} = \sin\alpha ,$$

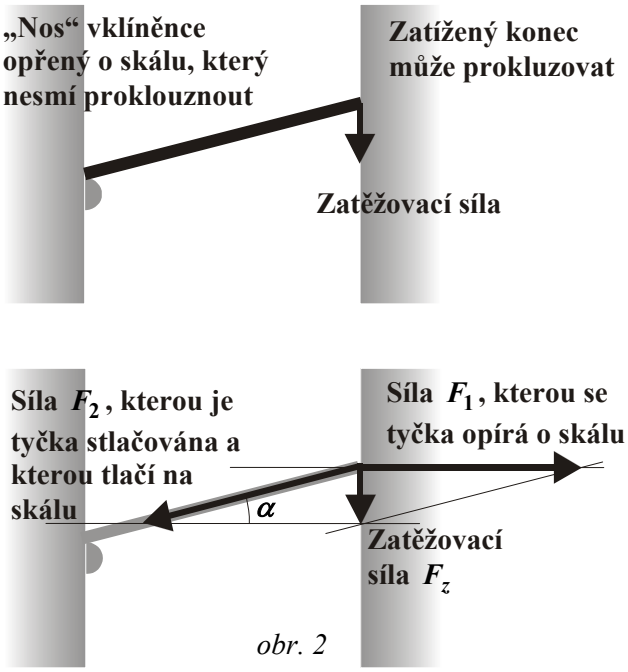
* jiri.dolejsi@mff.cuni.cz
** jana.hronkova@centrum.cz

kde F_1 – síla, kterou se tyčka opírá o skálu,

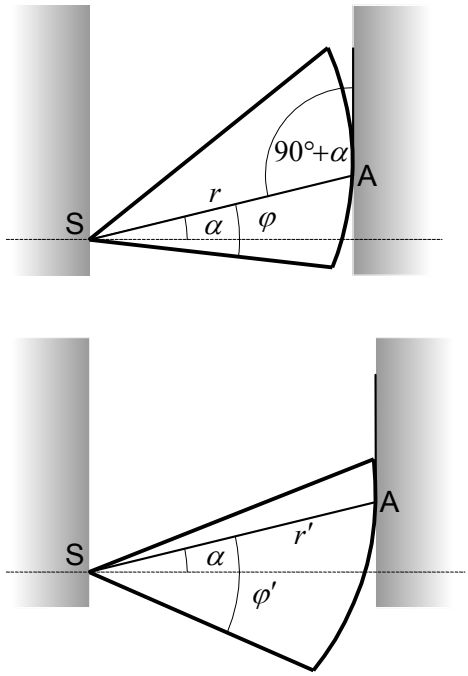
F_2 – síla, kterou je tyčka stlačována a kterou tlačí na skálu,

F_z – zatěžovací síla.

Pro velký úhel α by byly sice síly srovnatelné se zatěžovací silou F_z, ale hrozilo by sklouznutí tyčky z opěry nalevo. Při malém úhlu α se tyčka lépe zapře, ale síly, kterými je namáhána a kterými působí na stěny spáry, mohou být velmi velké. Chceme-li zachovávat nějaký optimální úhel α, pak narazíme na nutnost mít pro každou šířku spáry speciální tyčku.



obr. 2



obr. 3

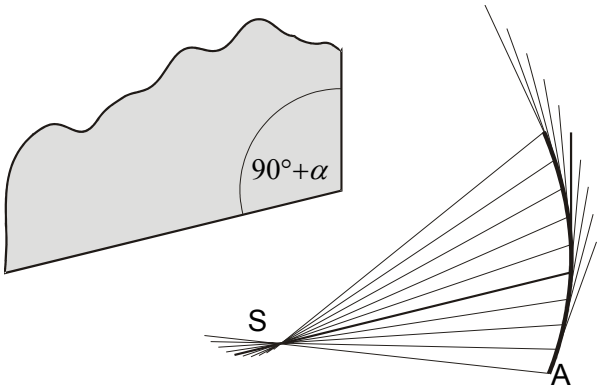
Zobrazený vklíněnec (viz obr. 1) funguje sice jako zmíněná tyčka (spojnice mezi „nosem“ a bodem dotyku na druhé straně), ale **přizpůsobuje se šířce spáry!** Pojďme prostudovat, jaký je jeho přesný tvar.

Zvolme počáteční polohu rotačního vklíněnce s body dotyku S, A. Pak vzdálenost bodů dotyku vklíněnce a skály je $r = \mathrm{SA}$. Širší štěrbině se vklíněnec přizpůsobí tak, že se pootočí, takže nové body dotyku jsou nyní vzdáleny r'. Přitom se však úhel α mezi spojnicí dotykových bodů a kolmicí na stěny štěrbiny nemění a vklíněnec drží stejně dobře jako dřív.

Užívaná hodnota α, která je dána zkušeností horolezců, je $13{,}75°$. Při pootočení vklíněnce kolem bodu S se ale mění úhel φ, který svírá spojnice bodů dotyku a hrana vklíněnce. Tvar vklíněnce je charakterizován závislostí r na úhlu φ. To se často popisuje slovy, že máme tvar zadaný křivkou v polárních souřadnicích r, φ s počátkem v bodě otáčení S (viz obr. 3).

Pro lepší představu hledaného tvaru se nebojte vzít do ruky dvě čtvrtky, nůžky, pravítko a úhloměr a vytvořit si papírový model funkčního výstředníkového vklíněnce.

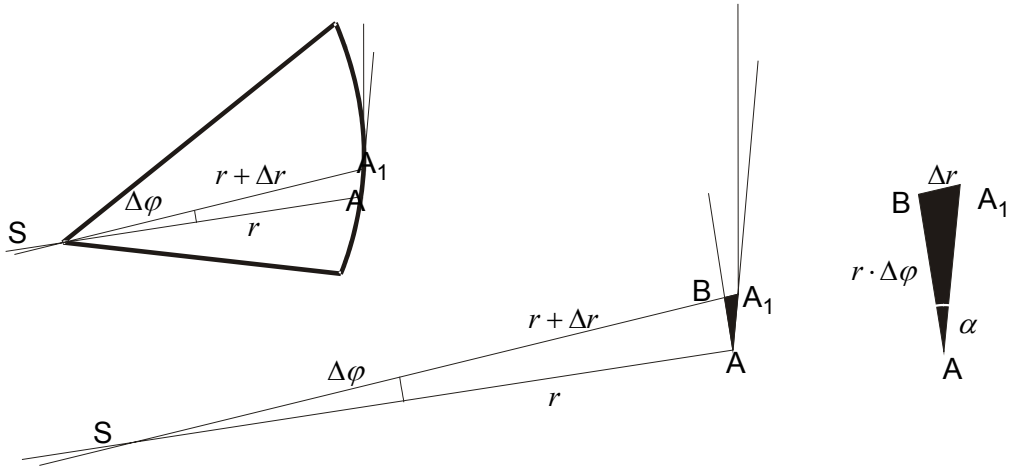
Z jedné čtvrtky vyrobte tupý úhel $90° + \alpha$ (viz obr. 4). Na druhé čtvrtce zvolme bod otáčení S a počáteční dotykový bod A. Postupně přikládáme přes čtvrtku tupý úhel tak, aby



obr. 4

jedna jeho hrana stále procházela bodem S a přitom podél druhé hrany úhlu budeme dokreslovat na čtvrtku krátké úsečky. Měníme tak délku *r* a vytvořená lomená čára nahrazuje plynulou křivku okraje vklíněnce.

Jsou-li body dotyku rotačního vklíněnce pro určitou šířku štěrbiny označeny S, A, pak při malém zvětšení štěrbiny se vklíněnec pootočí o úhel $\Delta\varphi$ (viz obr. 5). Nové body dotyku označme S, A_1.



obr. 5

Při malém pootočení $\Delta\varphi$ je $\triangle ABA_1$ téměř pravoúhlý s přeponou AA_1, úhlem α u vrcholu A a platí

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta r}{r\cdot\Delta\varphi}. \tag{1}$$

K určení tvaru vklíněnce hledáme závislost *r* na φ vyhovující této rovnici. Tuto rovnici lze řešit například numericky (např. pomocí programu Famulus nebo vámi sestaveného vlastního programu v libovolném programovacím jazyce), jak je naznačeno v následujících řádcích.

```
pocatecni hodnoty: delka=1;delta_fi=0.1;tangens_alfa=0.24
krok cyklu:     nova_delka=delka + delka*delta_fi*tangens_alfa
```

$$\text{neboli } \Delta r = \operatorname{tg}\alpha\cdot r\cdot\Delta\varphi = K\cdot r\,.$$

Tak jsme naprogramovali zvětšení délky *r* v jednom kroku cyklu vypočtené z předcházející rovnice, kde *K* je konstanta.

Označme r_0 počáteční hodnotu vzdálenosti dotykových bodů a r_1, r_2, r_3, …, r_n vzdálenosti po 1, 2, 3, …, *n* krocích. Je-li $\Delta r = r_n - r_{n-1}$, pak platí $r_n = r_{n-1} + r_{n-1}\cdot K = r_{n-1}\cdot(1+K)$ a tedy

$$r_n = r_0\cdot(1+K)^n = r_0\cdot(1+\operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi)^n, \tag{2}$$

kde *n* je dáno zvolenou délkou kroku $\Delta\varphi$ a úhlem φ, který nás zajímá.
Platí tedy

$$n = \frac{\varphi}{\Delta\varphi}.$$

Vztah (2) vám jistě připomene známé úlohy z finanční matematiky o úročení vkladů (snadno zjistíte, že námi zvolené hodnoty odpovídají zúročení 2,5 %).

S pomocí numerických výpočtů nebo příslušných tabulek můžete vypočítat tvar vklíněnce, který jste sestrojili graficky. Ale pokračujme v matematických úpravách dále. Jednoduché problémy musí mít elegantní řešení!

S využitím definice logaritmické a exponenciální funkce můžeme vztah (2) dále upravit

$$r_n = r_0 \cdot e^{\ln(1+\operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi)^n} = r_0 \cdot e^{n\cdot\ln(1+\operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi)}$$

Protože však hodnota $\operatorname{tg}\alpha \cdot \Delta\varphi$ je při našich úvahách velmi malá, můžeme použít přibližný vztah $\ln(1+x) \approx x$, tak

$$\ln(1+\operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi) \approx \operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi .$$

Pak

$$r(\varphi) = r_n \approx r_0 \cdot e^{n\cdot\operatorname{tg}\alpha\cdot\Delta\varphi} = r_0 \cdot e^{\varphi\cdot\operatorname{tg}\alpha} .$$

Tento vztah již sice neobsahuje $\Delta\varphi$, ale aby platil dostatečně přesně, musí být $\Delta\varphi$ dostatečně malé.

Matematicky zručný čtenář již v rovnici (1) poznal diferenciální rovnici

$$r\cdot\operatorname{tg}\alpha = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}\varphi}$$

a umí najít její řešení ve tvaru

$$r = r_0 \cdot e^{\varphi\cdot\operatorname{tg}\alpha} .$$

Všechny metody vedou ke stejnému řešení úlohy. Všechny nám dovolují pochopit, jak původně tajemně zakřivený vklíněnec funguje, a také umožňují ho vyrobit. Stejný princip funkce mají i složitější „zařízení“ jako na obrázku 6.

Výše zmíněná hodnota úhlu α – 13,75° – je výsledkem praktické optimalizace. Jde totiž o to, aby se vklíněnce při použití standardních lehkých materiálů (duralu) příliš nezdeformovaly a neproklouzly spárou (to hrozí při malém α), ale aby se správně „zakously“. Jde tu o velké síly – karabiny a smyčky jsou dimenzovány typicky na 22 kN. Zatížíte-li vklíněnec s úhlem 13,75° takovou silou, pak tlačí do stěn spáry silami zhruba 90 kN. I když to vydrží vklíněnec, nemusí to vydržet skála. Proto je lezení stále nebezpečnou činností, kdy jištění může mít stěží stoprocentní účinnost. Ale ani sezení u stolu není bez rizika …

obr. 6

Další zajímavé informace najdete například na webové stránce jednoho z výrobců: www.wildcountry.co.uk, najdete je také v horolezecké literatuře a časopisech a konečně v obchodech s horolezeckým vybavením a na skalách.

Řekové a Arabové pod hvězdnou oblohou

Marie Benediktová[*] a Petra Písařová[**], Filozofická fakulta UK Praha

Cílem tohoto článku je ukázat, že hvězdářství (astronomie, ale i astrologie) hrálo nepostradatelnou úlohu v běžném životě antického, i středověkého arabského člověka. V době, kterou popisujeme, neměli lidé na ruce hodinky, ani při sobě nenosili elektronický diář. Přitom vystihnout dobu, kdy mají zasít, sklidit a využít pravidelné úrodné naplaveniny řek, či kdy vyplout s pravidelným severním větrem v plachtách do Egypta, bylo životně důležité. Vzpomeňme, že díky pozorování denní i noční oblohy vzniklo dělení času a kalendář.

Astronomie (v řečtině doslovně pozorování hvězd – hvězdářství) stála v antickém poznání na nejpřednějším místě. Uvádí se, že astronomie je první ustavenou vědou v dodnes platných požadavcích na to, co je věda. Astronomie se v Řecku z praktické vědy (sledování noční oblohy a následné zjištění polohy na moři při noční plavbě) přerodí ve vědu čistě teoretickou, vrcholnou součást matematiky a filozofie. Po celou dobu antické vědy měla nebeská tělesa božskou podstatu, nebo přinejmenším božský či mytologický původ. Společně s astronomií přichází z Babylónie i astrologie. Zpočátku není mezi nimi rozdíl. Později se ale astronom zabýval hvězdářstvím s odborným využitím, astrolog věštil osud z konstelace hvězd při důležitých událostech. V Řecku sice astrologie své kořeny nezapustila příliš hluboko a byla převážně stranou, v Římě se ale v době císařství její vliv velmi rozrostl.

Obr. 1. Kykladský znak (reliéf) se Sluncem, rybami a spirálami (patrně Naxos, 2700—2500 př. n. l.).

Řekové archaické doby nerozlišili ještě planety od hvězd. Z planet znali jedině Venuši, ale jen jako jitřenku a večernici, teprve později poznali, že jde o jedno nebeské těleso. Z Babylónie Řekové přebírají zvěrokruh, ovšem brzy si sami oblohu rozdělují na jednotlivá souhvězdí, kterým dávají jména bohů.

Právě praxí vysledované poznatky o drahách Slunce a oběžnic a měření času vedly až k předpovězení zatmění Slunce a Měsíce, které již na den 28. května 585 př. n. l. matematicky vypočítal **Thalés z Mílétu**. Nebránila mu v tom ani představa, že Země je nehybná deska, kterou obepíná Ókeanos, v němž se každodenně rodí a opět v něm umírají Slunce i hvězdy.

O něco mladší **Anaximandoros** pokládal Zemi za válec. Nad Zemí (ale i pod ní) se prostírá nebeská klenba. Obě sféry se spojují v jedinou kouli, v jejímž středu se nachází Země. Slunce, Měsíc a hvězdy se pohybují kolem ní v pravidelných kruhových drahách s pevnými rozestupy. Takovéto přesvědčení vedlo pak Anaximandra i k nakreslení mapy hvězdné oblohy a převzetí babylonského gnómónu, tyče, pomocí níž bylo možné z délky stínu vrhaného Sluncem určit denní dobu.

Zlatý věk antické astronomie náleží do období **Pýthagorovy školy**. Její členové pokládali Zemi za kouli, která se otáčí kolem vlastní osy a obíhá tzv. „střední oheň“ stejně jako Slunce či jiná nebeská tělesa. Při pohybu v kruhových drahách pak mají vydávat tóny. Zde nacházíme původ harmonie sfér. Pythagorejci astronomií doplňovali celistvost své nauky, zahrnující

[*] marie.benediktova@ff.cuni.cz
[**] petrapisarova@seznam.cz

i teorii duší a rozsáhle vypracovanou problematiku věštění.[1] Co se týče víry, že je možné poznat budoucnost pozorováním oblohy, na jednom místě v Homérově Íliadě se hovoří o Síriovi jako o hvězdě, která je špatným znamením, hrozícím horečkou a zkázou smrtelníkům. Avšak dále není po astrologii ani nejmenší stopy, ačkoliv jiné druhy věštění byly v Řecku velmi oblíbené a měly často celospolečenský a politický význam.

Platón ve svém pozdním spise *Timaios* vůbec poprvé nazývá planety způsobem pro nás dodnes běžným, totiž jménem boha antického bájesloví. Konkrétně pro Merkur použije označení hvězda Hermova.[2] To souvisí s Platónovým přístupem k tradičním bohům, které ze společenských, ale i politických důvodů nesmí opominout, ale zároveň jim nepřisuzuje až tak vysoké postavení, které podle něj náleží božštějším idejím. Právě v tomto dialogu Platón připisuje pythagorejci Timaiovi, že je stejný počet duší jako hvězd, na nichž se duše posmrtně vozí. O takové hvězdné projížďce se můžeme dočíst i v jeho vrcholném dialogu *Faidón*, v němž poprvé u Platóna vystupuje fakt, že Země má kulový tvar. Tuto myšlenku, v soudobém řeckém prostředí ojedinělou, dále hojně rozpracovává. Uveďme ještě jeden astronomický dějinný akt, který je spojen s Platónem. Pro Platóna je astronomie označení speciální vědecké nauky, která se zabývá zákony pohybu hvězd a planet. Astronomie, na rozdíl od astrologie, tedy nepojednává o hvězdách, ale o zákonech, kterými se hvězdy řídí.

V době Platónově vyniká spisem *O zjevech nebeských, pohybech hvězd a znameních povětrnosti* **Eudoxos z Knidu**, známý matematik a astronom. Z něho pak vycházel básník Arátos při psaní své astronomické didaktické básně (která byla dlouhou dobu i školní učebnicí) *Jevy nebeské* (Fainomena). Měli bychom také zmínit dialog *Epinomis* (dříve mylně připisován Platónovi). Zde se dočteme, že kromě Venuše jsou ostatní názvy planet importovaným převodem jmen babylonských bohů, kteří byli ztotožněni s řeckými podle oboru své působnosti.[3] Kromě Venuše tak nalézáme dodnes užívané názvy planet.

Aristotelés ve svých dílech *Fysika* a *O nebi* dokazoval, že svět je koule obestřená sférou stálic, jež se pohybuje, kdežto Země leží nehybně v jejím středu. Přesto v jeho době přichází **Aristarchos ze Samu** s myšlenkou, že je to právě Země, která se otáčí kolem své osy a zároveň obíhá kolem Slunce, které je skutečným středem vesmíru. Jeho názor však zůstal nevyslyšen.

Největší z řeckých astronomů **Hipparchos**, i když nakreslil nejpřesnější a nejpodrobnější hvězdnou mapu starověku, zastával hledisko geocentrické. Na něj a na Aristotela pak navazuje pro středověk velmi vlivný **Klaudios Ptolemaios**. Ve svém rozsáhlém díle *Velká soustava astronomie* rozebral a zdůvodnil geocentrický systém, který se díky arabským učencům dostal do povědomí středověké Evropy, a suverénně se tak udržel až do doby Mikuláše Koperníka. Zastavme se u osudu tohoto vlivného díla poněkud déle. Ptolemaios psal řecky a svou práci nazval Mathématiké syntaxis (Matematická sbírka).[4] Aby ho pak bylo možno odlišit od menších spisů, začal být nazýván Megalé syntaxis (Veliká sbírka). Později se ujalo označení Me-

[1] Antickému člověku byla vnější přírodní znamení celkem samozřejmá, ať už se jednalo o hrom, blesk, zemětřesení či zatmění Slunce či Měsíce. Ovšem odhadnout výsledek bitvy či vůli bohů nutně znamená zajít za věštcem. Za jeho asistence pak bylo možné obdržet zprávu o věcech budoucích na posvátných místech a prostřednictvím posvátných předmětů. Věštilo se z čar na dlani, ze snů, taháním a výkladem destiček (losu, „planety“) s napsanými věštbami z osudí. Oblíbené bylo také ptakopravectví či hepatoskopie (věštění z jater obětních zvířat, zvláště před svatbou či bitvou). V těžších situacích mohl člověk ještě zajít do věštírny, jakési pobočky chrámu boha, jemuž byla připisována věštní moc. Zde se obracel se svou žádostí přímo na boha prostřednictvím jeho kněží.

[2] Připomeňme, že římské náboženství plně přebírá řeckou polytheistickou soustavu, ovšem bohy přejmenuje, jejich atributy ale zachová.

[3] Merkur čili Hermés odpovídá mezopotámskému Nabúovi, písaři bohů, Mars a Arés krutému bohu války Nergalovi, Jupiter a Zeus vládci bohů Mardukovi, Saturn a Kronos bohu Ninurtovi. Venuše neboli Afrodíta také podlehla tomuto trendu a dodatečně byla ztotožněna s hvězdou babylónské bohyně lásky Ištar.

[4] Připomeňme, že vrcholem řecké matematiky, který stál na planimetrii, nauce o číslech a jejich poměrech a stereometrii, byla astronomie.

gisté syntaxis (Největší sbírka). Díky arabskému překladu, přidáním arabského určitého členu „al“ a převedením do latiny, pak dostal název spisu konečnou podobu, Almagestum. Pod tímto názvem ho přebírá i středověká křesťanská Evropa, v českém prostředí jako *Almagest*. Pro úplnost dodejme, že spis se dochoval celý a obsahuje popis 1022 hvězd ve 48 souhvězdích.

Mezi Ptolemaiova vlivná díla však patřily i astrologické spisy Mathématiké syntaxis tetrabiblos (Čtyřdílná matematická sbírka), známý spíše jako *Tetrabiblos*, coby astrologický dodatek Almagestu, a *Stálice*. Přesto Ptolemaios uznával jako vědecké jen některé druhy astrologických předpovědí. Pro úplnost ještě dodejme, že Ptolemaios se zabýval též kartografií, hudbou či optikou (*Optika o pěti knihách*, dochována jen zčásti v latinských, hebrejských a arabských překladech, obsahuje první náznaky teorie lomu světla a sférické trigonometrie).

Obr. 2. Do doby Mikuláše Koperníka obraz světa představuje Ptolemaiova geocentrická soustava

Římané astronomii nepřinesli vlastně nic nového. Materiál k dějinám astronomie najdeme u **Cicera**, **Vitruvia**, **Plinia Staršího**, **Macrobia**, **Calcidia** a **Martiana Capelly**. Pro Římany byla mnohem důležitější „praktická“ stránka astronomie, astrologie. Zprvu žila na okraji společnosti stejně jako římské věštění. Astrologie do republiky přichází společně s orientálními otroky a šíří se natolik bezbřeze, že roku 139 př. n. l. byli astrologové ediktem vyhnáni z Itálie. V té době proti astrologii vystupuje převážná většina filozofů. Nakonec jí ale Poseidónios zajistil zájem ve všech společenských vrstvách. Například císař Tiberius měl po celý život u sebe astrologa Thrasylla, autora *Úvodu do astrologie* (v částech dosud zachované dílo). Astrologie kvetla i přes odpor některých vědců (Favorinus z Arelate, Sextus Empiricus v díle *Adversus astrologos* – Proti astrologům) zvláště proto, že všichni císaři až na Trajána v ní věřili. Z pozdního císařství se dochovala *Mathésis* Firmika Materna a *Úvod do astrologie* Pavla Alexandrijského.

> *„Neříkají nic logického, uváženého a promyšleného, nýbrž na základě své nejisté a scestné metody tápají tmou mezi pravdou a falší a někdy buď po mnoho pokusech náhodou skutečnost vystihnou, nebo ji bystře rozpoznají díky přílišné důvěřivosti těch, kteří se na ně obracejí o radu, a předstírají pak, že stejně, jako dovedou číst v minulosti, dovedou odhalit i budoucnost.“* (Favorinus z Arelate: O astrolozích)

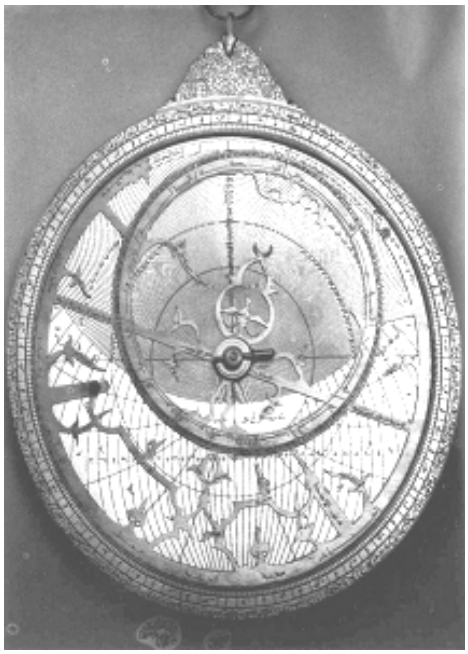
Na sklonku antiky se v běžném antickém životě setkáváme se vztahy Slunce, Merkura, Venuše, Země, Měsíce, Marsu, Jupitera a Saturna, které mají očividné kořeny v polytheistickém řeckém a později římském náboženství. Běžný člověk přitom „vidí“ na obloze své bohy a jejich osudy. Takže „nevyzpytatelně po nebi bloudící“ planety jim nejsou až tak cizí a záhadné. Ostatní tělesa sluneční soustavy buď ještě nejsou známa, nebo jim není připisován božský charakter. Souhvězdí jsou přitom pevně ukotvena.

Kromě Síria, o němž je doloženo, že ho používal Egypt i Babylónie, dostaly některé hvězdy jména od arabských hvězdářů. Počátky astronomie sahají až do doby beduínské organizace

arabské společnosti. Na rozdíl od starořeckého, kdy je pozornost věnována velkým konstelacím tvořeným mnoha hvězdami, máme v arabském hvězdosloví většinou doloženy názvy v singuláru, zastupující jedno nebeské těleso. V několika případech pak v duálu dvě a v plurálu celou skupinu. Arabská pojmenování zachycující útvary o větším počtu hvězd ale nejsou příliš častým jevem.

	označení a jméno hvězdy / katalogová čísla	arabský význam	český překlad
singulár	β Cas Caph / BS 15, GC 127	kaff	dlaň, ruka
duál	α Cen Toliman[5] / BS 5459, GC 19728	zalímán	dva pštrosi
plurál	ζ CMa Phurud[6] / BS 2282, GC 8170	furúd al-nudžúm	sem-tam se třpytící hvězdy

V případě počátků arabské astronomie se často hovoří o specifickém chápání hvězdného nebe, takzvané arabské astrognozii. Některé názvy hvězdných těles odráží původní představy arabských nomádů. Ti se podle hvězd orientovali za nočních cest pouští, určovali podle nich příchod jednotlivých ročních období nebo klimatických změn. Nalézáme také termíny, pro které těžko hledáme vhodný, jednoslovný český ekvivalent a které dokládají důležitost daného fenoménu v životě arabské společnosti (bílá skvrnka na čele koně, velbloudice s velkým hrbem, růžice na hrudi koně, vypálený znak na šíji velblouda)[7]. Právě koně a velbloudi jsou s arabskou kulturou nerozlučně spjati. Již v beduínské době se koňům dostávalo mimořádné pozornosti. Narození klisny bylo považováno za stejně významné jako příchod syna na svět. Podle legendického zpracování náboženské tradice o cestě proroka Muhammada z Arabského poloostrova do Jeruzaléma a o jeho vystoupení do nebe to byl právě mytický okřídlený kůň, který mu posloužil k dopravě na tak odlehlé místo.[8] Podobně velbloud hrál v beduínském prostředí nezastupitelnou roli. K jízdě sloužily výhradně velbloudice, pro vytrvalost a snadnější ovladatelnost. Velbloudi byli drženi jen pro chov. Tato zvířata byla pro život na poušti skutečně nepostradatelná, lidé se totiž také živili jejich



Obr. 3. Astroláb z frankfurtské expozice věnované dějinám arabských a islámských přírodních věd.

[5] Pro tento hvězdný útvar se v arabském prostředí používal také název Ridžl Qintaurus. V současné době víme, že existuje ještě třetí složka, Proxima Kentaura.

[6] Phurud je proměnná hvězda s extrémně velkými změnami jasnosti.

[7] Výklad navíc komplikuje skutečnost, že původní arabské názvy hvězd jsou dnes často „zkomoleny“ procesem transkripce do latiny.

[8] Jezdecké umění bylo samozřejmě zhodnoceno i v období vojenských výbojů. Umění chovat a cvičit koně se postupem času ještě zdokonalovalo při setkávání s jinými kulturami, například tradicemi starého Íránu, berberských jezdců nebo specialistů tureckého a mongolského původu.

mlékem, zpracovávali jejich srst a kůži, trusu používali jako paliva a maso jim sloužilo za potravu.

S expanzí islámu vně Arabského poloostrova končí rozvoj izolované arabské astronomie a rodí se nový, „vědecký“ přístup k hvězdnému nebi ovlivněný řeckou a helénistickou kulturou. Překládají se řecké, někdy také perské a indické rukopisy. Je přijat základní kosmologický rozvrh, v jehož rámci jsou hvězdy neodmyslitelně spojeny s osmou nebeskou sférou ležící za planetami. Hvězdy se tedy nemění ani po stránce látkové, ani svou velikostí a barvou. Také mapa hvězdné oblohy je přejata od Řeků. Arabové se seznamují s glóby a astroláby.[9] Pořizují katalogy hvězdných těles. Astronomie středověké islámské kulturní oblasti tedy byla pěstována především pod vlivem děl antických hvězdářů. Vznikaly komentáře nebo revize Hipparchových či Ptolemaiových spisů. Dílo Ptolemaiovo bylo v nejširších středověkých vzdělaneckých kruzích přepisováno a uchováváno pro novověk a pro dosažení hvězdářské vzdělanosti univerzitního typu bylo nezbytné seznámit se například s jeho *Almagestem*.

Ve středověku byla pečlivě zaznamenávána například zatmění Slunce a Měsíce. Výsledky těchto pozorování jsou dnes považována za nejpřesnější a nejspolehlivější astronomická data doby, kdy ještě hvězdáři nevyužívali služeb teleskopu. V tomto směru jsou zvláště ceněny postřehy káhirského astronoma **Ibn Júna** (? až 1009) nebo **al-Báttániho** (850 až 929) a **al-Bírúního** (973 až 1048). Al-Báttání působil na území dnešní Sýrie a Turecka, al-Bírúní zaznamenal zatmění v oblasti současného Íránu, Turkmenistánu a Afghánistánu. Astronomií se zabývali také slavní islámští filozofové, například **Ibn Síná**, v Evropě známý jako Avicenna, nebo legendární básník **Omar Chajjám**.

Stejně jako Ptolemaiův Almagest přinesl zlom v oblasti arabské astronomie, za rozvojem astrologie zřejmě také stálo dílo tohoto řeckého autora, známý *Tetrabiblos*. Ačkoliv hrály v astrologických zkoumáních hlavní roli zejména planety, nebyla podceňována ani úloha stálic. Známe například seznam hvězd, které neblaze působí na lidské oči. Kniha přičítaná dvornímu astrologovi legendárního arabského vládce **Hárúna al-Rašída** pro změnu zaznamenává 144 „soudců“ nesoucích jména známých hvězd. Zodpovídají otázky a přivádějí čtenáře-tazatele k dalším. Tomuto zvláštnímu typu literatury holdovali v arabském prostředí i jiní autoři.

Umění známé pod termínem „výnosy hvězd“ se dělilo do dvou základních směrů: přírodní astrologie, která se věnovala pozorování vlivů hvězd na přírodní jevy, a „soudní“ astrologie, předmětem jejíhož zkoumání byly vztahy mezi hvězdami a lidským osudem. Přírodní astrologie aplikovala řadu postupů, jak a za jakým účelem zkoumat hvězdné nebe. Dva z nich byly velmi oblíbené. Znalost jednotlivých časových úseků na základě heliakického vycházení a zapadání[10] určitých hvězd umožňovala (stejně jako v Egyptě v případě Síria) zejména rozpoznání příchodu doby dešťů. Byla také využívána při pokusech o ustanovení základního časového rozvrhu průběhu roku. Vlastní systém později Arabové zřejmě korigovali pod indickým vlivem. Tomuto umění se věnovali už předislámští Arabové, s nástupem islámu začalo být odsuzováno, zejména z důvodů jeho spojování s astrálním náboženstvím, nezávislým na vůli jediného Boha.

[9] Astroláb, kotouč s kruhovou stupnicí a otáčivou ručičkou se záměrným zařízením, sloužil k určování výšky hvězdných těles a ke stanovení místního času. Používali jej například astronomové zabývající se pozorováním zatmění. Pomocí astrolábu odhadovali nepřímo dobu trvání jednotlivých fází tohoto úkazu, kvalita klasických časoměřičů té doby totiž byla značně průměrná. Na astroláb byly vyrývány také různé kalendářní a astrologické položky. Nejpoužívanějším byl planisférický, plošný astroláb.

[10] Heliakický východ (západ) nastává v ten den, kdy lze poprvé během roku spatřit danou hvězdu před východem (po západu) Slunce na ranní (večerní) obloze.

„On je ten, kdo slunce jasnou září učinil a měsíc světlem a postavení jeho určil, abyste počet roků i počítání jejich znali. A Bůh to stvořil jako skutečnost vážnou a On činí znamení srozumitelnými pro lid vědoucí. “ (Korán 10, 5)

„Soudní“ astrologie se zaměřovala na určování neblahých znamení z událostí na obloze pozorovaných při narození. Vlivu nebeských těles na lidský osud byl připisován význam v oblasti starověkého Předního východu již v době asyrsko-babylónské. V arabském světě byla tato astrologická disciplína rozvíjena pod perským vlivem. To se projevovalo zejména zavedenou praxí sestavování horoskopů pro novorozené. Další metodou „soudní“ astrologie bylo utváření kalendářů příznivých a nepříznivých znamení, a to nejen s ohledem na roky, měsíce a dny v týdnu, ale také na hodiny jednotlivých dnů.

Astrologie požívala uznání v nejvyšších kruzích, i na dvoře samotného chalífy. Popularizována byla zřejmě v duchu snahy napodobit praxi vládnoucích perských sásánovských kruhů.

Astronomická a astrologická literatura arabské provenience začala být postupem času překládána do řečtiny staré Byzance a do latiny. Do středověké Evropy se tím navrací nejen „neznámé“ antické spisy, ale z části i indické poznání. Výsledky práce arabských hvězdářů tak ovlivnily středověkou a renesanční evropskou vědu a v astronomických atlasech a příručkách dodnes nalézáme více než 200 hvězd s arabskými názvy.

REFERENCE

[1] Kalivoda J. (red.): *Hvězdy, hvězdáři, hvězdopravci.* Nakladatelství Svoboda, Praha 1986.

[2] Bahník V. a kol.: *Slovník antické kultury*. Nakladatelství Svoboda, Praha 1974.

[3] Platón: *Timaios, Kritias*. Oikoymenh, Praha 1996.

[4] Platón: *Faidón*. Oikoymenh, Praha 1994.

[5] Kočí A. (red.): *Nové universum*. Euromedia Group, k.s., Praha 2003.

[6] Denk Z., Hlad O.: *Hvězdy s arabskými názvy*. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Praha 1996.

[7] Müller Z.: *Furúsíja – arabští koně, arabské jezdectví*. Nový Orient **59**, č. 1 (2004) 29.

[8] al-Machzandží M.: *Al-Asláf al- ᶜizám ja ᶜúdúna haqqan*. AL-ARABI, č. 495 (2000), 132.

[9] Said S. S., Stephenson F. R.: *Solar and Lunar Eclipse Measurements by Medieval Muslim Astronomers, I: Background.* Journal for the history of astronomy **xxvii** (1996) 259.

[10] Kunitzsch P.: *Al-Nudjúm*. In The Encyclopaedia of Islam, vol. **VIII.** Leiden, Brill 1995, 97.

[11] Fahd T.: *Nudjúm* (*Ahkám al-)*. In The Encyclopaedia of Islam, vol. **VIII**. Leiden, Brill 1995, 105.

[12] *Korán.* Academia, Praha 2000, 7. vyd.

Písemná maturitní zkouška z fyziky v Bavorsku

Petr Mazanec[*], *Gymnázium Sušice*

V poslední době k učitelské veřejnosti začínají přicházet zprávy o chystaných změnách v organizaci maturitních zkoušek na středních školách v blízké budoucnosti. Jednou z možností je zavedení písemné maturitní zkoušky kromě mateřského jazyka i v jiných předmětech.

Na druhé straně Šumavy se závěrečné písemné zkoušky dělají na reálkách i gymnáziích. Díky našim kolegům z Realschule v Kötztingu se mi dostalo do ruky zadání písemné maturitní zkoušky z fyziky pro gymnázia v Bavorsku z roku 1996. Ze šesti zadaných sérií úloh si studenti musí vybrat dvě série a na jejich vypracování mají celkem tři hodiny čistého času. Za každou sérii mohou získat maximálně 60 bodů. Body za každou podotázku mají v zadání vyznačeny.

Pro posouzení náročnosti této zkoušky a obsahu zadaných úloh jsem je všechny přeložil do češtiny a každý čtenář si sám může udělat úsudek o jejich úrovni. Na závěr je navíc uvedena tabulka pro hodnocení této písemné práce.

Počet dosažených bodů	Známka	Body	Intervaly
120–115	+1	15	
114–109	1	14	15 %
108–103	1–	13	
102–97	+2	12	
96–91	2	11	15 %
90–85	2–	10	
84–79	+3	9	
78–73	3	8	15 %
72–67	3–	7	
66–61	+4	6	
60–55	4	5	15 %
54–49	4–	4	
48–41	+5	3	
40–33	5	2	20 %
32–25	5–	1	
24–0	6	0	20 %

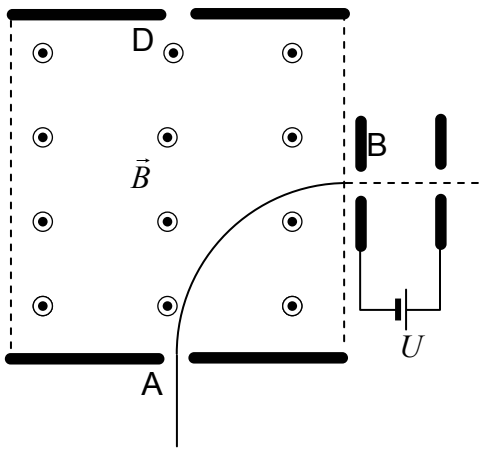
LITERATURA:

[1] *Abiturprüfung*. Physik als Grundkursfach, 1996.

SÉRIE 1

1. Paprsek kationtů lithia ($^{6}Li^{+}$, $^{7}Li^{+}$) vstupuje v otvoru A do homogenního magnetického pole o indukci $15\,\mathrm{mT}$ kolmo k indukčním čarám (viz obr.). Druhý otvor B je umístěn tak, že část iontů, které se pohybují po čtvrtkružnici o poloměru $0{,}1\,\mathrm{m}$, vstupuje otvorem do elektrického pole kondenzátoru, na kterém je napětí $16{,}7\,\mathrm{V}$. Celé zařízení je umístěno ve vakuu.

[*] MPetr@seznam.cz



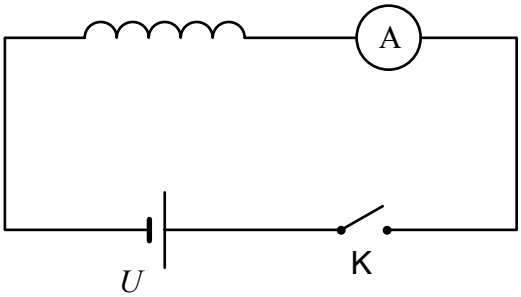
a) Dokažte, že ionty musí mít kinetickou energii minimálně $2,7 \cdot 10^{-18}$ J, aby prošly kondenzátorem do bodu C. (4 body)

b) Vypočtěte, že ionty na čtvrtkružnici mají hybnost $p = 2,4 \cdot 10^{-22}$ N·s. (6 bodů)

c) Určete kinetickou energii iontů $^{6}\mathrm{Li}^{+}$ a $^{7}\mathrm{Li}^{+}$ na čtvrtkružnici a dokažte, že kondenzátorem projdou pouze ionty $^{6}\mathrm{Li}^{+}$. (9 bodů)

d) Otvor D je symetrický s otvorem A podle přímky BC. Popište pohyb iontů $^{7}\mathrm{Li}^{+}$ po vlétnutí do otvoru B. (8 bodů)

2. Dlouhou válcovou cívku ($N = 250$ závitů, délka $l = 0,24$ m, průřez $S = 20\ \mathrm{cm}^2$) můžeme připojit pomocí spínače K ke zdroji napětí $U = 4$ V. Odpor vodičů a cívky je $8\ \Omega$ (viz obr.).

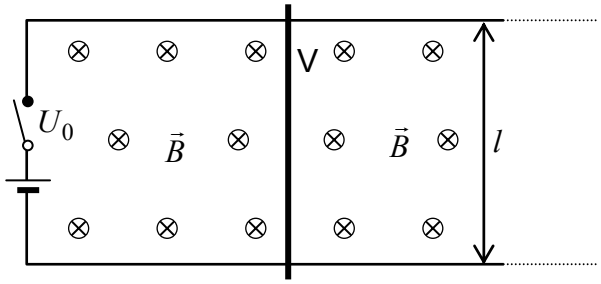


a) Vypočtěte indukčnost L_0 cívky bez jádra. (2 body)

b) Cívka s železným jádrem má indukčnost $L = 0,65$ H. Po zapnutí spínače proud v cívce asymptoticky vzroste na maximální hodnotu I_m. Vypočtěte I_m a velikost magnetické energie v tomto okamžiku. (6 bodů)

c) Paralelně k cívce připojíme doutnavku se zápalným napětím $U_z = 80$ V. Je možné, aby se doutnavka při vypnutí spínače nakrátko rozsvítila? Fyzikálně zdůvodněte. (6 bodů)

3. Pohyblivý tenký vodič V je položen na dvou dlouhých paralelních vodičích, jejichž vzdálenost je l a leží v horizontální rovině. Celé zařízení je ve vertikálním homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ a je připojeno ke zdroji napětí U_0 (viz obr.). Vodič je v klidu a v čase $t = 0\,\text{s}$ zapneme spínač.



a) Jaká síla $\vec{F}$ začne působit na vodič a jak se bude vodič pohybovat? (4 body)
b) Určete, jaké napětí bude mezi konci vodiče při jeho pohybu v závislosti na rychlosti v důsledku elektromagnetické indukce. (8 bodů)
c) Určete, jakou maximální rychlostí v_m se může vodič pohybovat. (7 bodů)

ŘEŠENÍ 1. SÉRIE

1.

a) $E_k \geq 16{,}7\ \text{eV} \doteq 2{,}7 \cdot 10^{-18}\ \text{J}$

b) $F_m = F_d$, $p = m \cdot v \Rightarrow p = B \cdot e \cdot r \doteq 2{,}4 \cdot 10^{-22}\ \text{N} \cdot \text{s}$

c) $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2 \cdot m} \Rightarrow E_k\left({}^6\text{Li}^+\right) = 2{,}9 \cdot 10^{-18}\ \text{J} > 2{,}7 \cdot 10^{-18}\ \text{J}$,

$E_k\left({}^7\text{Li}^+\right) = 2{,}5 \cdot 10^{-18}\ \text{J} < 2{,}7 \cdot 10^{-18}\ \text{J}$

d) Ionty ${}^7\text{Li}^+$ se v kondenzátoru zabrzdí, vrátí se zpět do bodu B a budou se pohybovat po čtvrtkružnici do otvoru D (Flemingovo pravidlo).

2.

a) $L_0 = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot S}{l} = 6{,}5 \cdot 10^{-4}\ \text{H}$

b) $I_m = \frac{U}{R} = 0{,}5\ \text{A}$, $E_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_m^2 \doteq 81\ \text{mJ}$

c) $U_D = U + L \cdot \left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right| \gg U$. Pokud je $U_D \geq U_z$, může doutnavka svítit.

3.

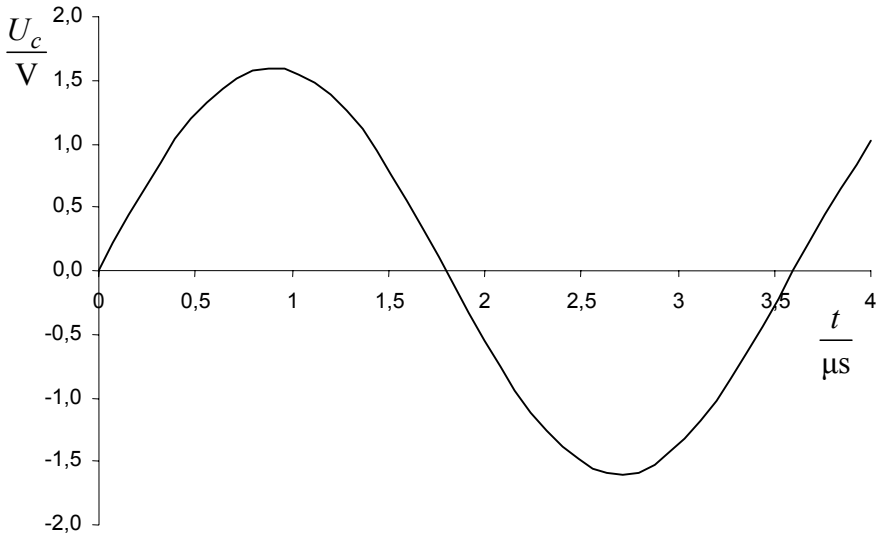
a) Podle Flemingova pravidla začne na vodič působit magnetická síla $F_m = B \cdot I \cdot l$ směrem doprava. Vodič se bude pohybovat zrychleně tímto směrem.

b) Ve vodiči se při pohybu doprava zároveň indukuje napětí a proud, které mají opačný směr než napětí a proud od zdroje (Lenzův zákon) $\Rightarrow U = U_0 - U_i = U_0 - B \cdot l \cdot v$

c) $I = \frac{U_0 - U_i}{R} \Rightarrow I = 0 \Leftrightarrow U_0 = U_i \Rightarrow F_m = 0 \Rightarrow$ vodič se bude dále pohybovat rovnoměrně: $U_0 = B \cdot l \cdot v_m \Rightarrow v_m = \frac{U_0}{B \cdot l}$.

SÉRIE 2

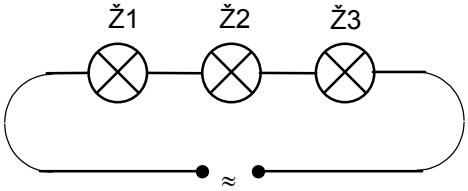
1. U oscilačního obvodu s kapacitou $C = 10\,\text{nF}$ je ke kondenzátoru připojen osciloskop a na jeho obrazovce můžeme pozorovat závislost napětí U_c na čase t (viz obr.).



a) Určete z osciloskopu periodu T_0 a frekvenci f_0 vlastních kmitů oscilačního obvodu a vypočtěte indukčnost L oscilačního obvodu. (7 bodů)

b) Určete z osciloskopu amplitudu napětí U_m na kondenzátoru, celkovou energii obvodu a vypočtěte amplitudu proudu I_m, který prochází obvodem. (8 bodů)

c) Oscilační obvod s vlastní frekvencí $f = 280\,\text{MHz}$ je připojen k půlvlnnému dipólu. Vypočtěte jeho délku. (4 body)

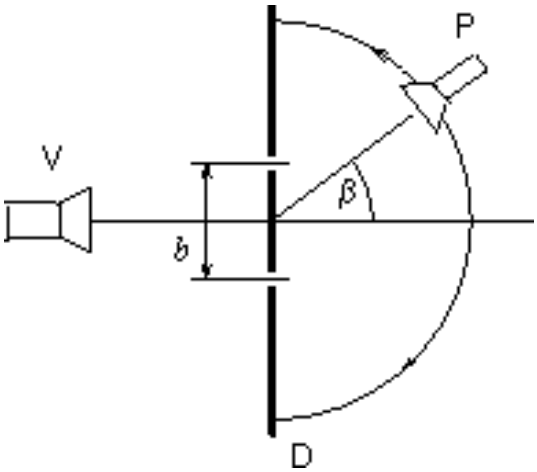


d) Ve čtvrtině, polovině a ve třech čtvrtinách délky dipólu jsou zapojeny stejné žárovky Ž1, Ž2, Ž3. Žárovka Ž1 svítí slabě; jak silně svítí Ž2 a Ž3 vzhledem k Ž1? Vysvětlete. (5 bodů)

2. Mikrovlnné záření z vysílače V dopadá kolmo na kovovou desku D s dvěma svislými štěrbinami (vzdálenost středů štěrbin je $b = 20\,\text{cm}$). Přijímač P za deskou se může pohybovat po půlkružnici (viz obr.). Pro úhel $\beta_0 = 0°$ a $\beta_1 = 12°$ zaznamená přijímač maximální příjem mikrovlnného záření.

a) Určete frekvenci f vysílače. (4 body)

b) Určete, kolik maxim při pohybu přijímače po půlkružnici můžeme zjistit. (6 bodů)



c) Vysílač nyní vysílá spojité frekvenční spektrum mikrovln v intervalu od 6,5 GHz do 15 GHz. Zjistěte, jestli se překrývá spektrum 1. řádu se spektrem 2. řádu. (8 bodů)

3. Fotoefekt pozorujeme pomocí vakuové fotonky.

a) Popište sestavení a průběh experimentu k určení maximální kinetické energie E_k fotoelektronů, které vylétávají z katody. (10 bodů)

b) Použijeme-li fotonku s cesiovou katodou, naměříme při následujících frekvencích dopadajícího záření kinetické energie fotoelektronů uvedené v tabulce. Jaké kinetické energie fotoelektronů naměříme, zapojíme-li fotonku s draslíkovou katodou? (8 bodů)

$\frac{f}{10^{14}\ \text{Hz}}$	$\frac{E_k}{\text{eV}}$
5,19	0,20
5,49	0,33
6,10	0,58
6,88	0,90

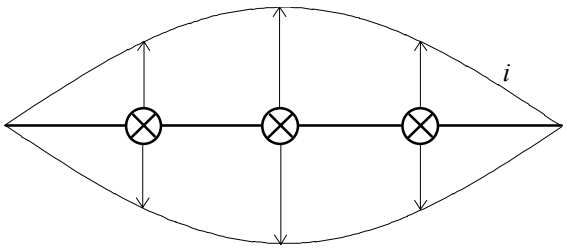
ŘEŠENÍ 2. SÉRIE

1.

a) $T_0 = 3{,}6\ \mu\text{s}$, $f_0 = \frac{1}{T_0} = 2{,}8 \cdot 10^5\ \text{Hz}$, $T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C} \Rightarrow L = \frac{T_0^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C} = 3{,}3 \cdot 10^{-5}\ \text{H}$

b) $U_m = 1{,}6\ \text{V}$, $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_m^2 = 1{,}3 \cdot 10^{-8}\ \text{J} \Rightarrow I_m = U_m \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = 28\ \text{mA}$

c) $l = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2 \cdot f} \doteq 54\ \text{cm}$



d) Ž3 svítí stejně jako Ž1; Ž2 svítí nejsilněji (kmitna proudu) – viz obr.

2.

a) maximum 1. řádu: $b \cdot \sin\beta_1 = \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{b \cdot \sin\beta_1} = 7{,}2 \cdot 10^9\ \text{Hz}$

b) $k \cdot \lambda = b \cdot \sin\alpha \le b \Rightarrow k \le \frac{b \cdot f}{c} = 4{,}8 \Rightarrow k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4\} \Rightarrow$ maxim je celkem devět

c) maximum 1. řádu pro 6,5 GHz: $\beta = 13°$, maximum 2. řádu pro 15 GHz: $\beta = 12° < 13° \Rightarrow$ spektra se překrývají.

3.

b) výstupní práce: $W_{\mathrm{Cs}} = 1{,}94\ \mathrm{eV}$, $W_{\mathrm{K}} = 2{,}25\ \mathrm{eV} \Rightarrow \Delta W = W_{\mathrm{K}} - W_{\mathrm{Cs}} = 0{,}31\ \mathrm{eV} \Rightarrow$ kinetické energie pro draslík budou menší o $0{,}31\ \mathrm{eV}$, pro první frekvenci bude $E_k = 0\ \mathrm{J}$, protože energie fotonů je menší než W_{K}.

SÉRIE 3

1. Jasný důkaz nedostatečnosti Rutherfordova modelu atomu dává pozorování emisních spekter zářících plynů.

a) Popište, jak vypadá atomární spektrum vodíku a jak ho můžeme pozorovat. (5 bodů)

b) Jaký je rozdíl mezi tímto spektrem a spektrem, které vyplývá z Rutherfordova modelu? (3 body)

2. V kvantověmechanickém modelu atomu vodíku je pohyb elektronu popsán pomocí vlnové funkce ψ.

a) Jaká je Bornova interpretace vlnové funkce ψ? (4 body)

Potenciálová jáma popisuje přibližně situaci v atomu vodíku. Elektron se nachází v potenciálové jámě délky $l = 1{,}4 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m}$. Potenciální energie elektronu je nulová. De Broglieho vlnová délka elektronu splňuje podmínku $l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $n \in \mathrm{N}$.

b) Zdůvodněte vztah mezi l a n. (6 bodů)

c) Dokažte, že celková energie elektronu v potenciálové jámě je kvantována a v nerelativistickém případě splňuje vztah $E_n = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot l^2} \cdot n^2$. (8 bodů)

d) Vypočtěte energetické hladiny elektronu E_1 až E_6 a nakreslete schéma těchto hladin ($1\ \mathrm{eV} \triangleq 1\ \mathrm{cm}$). (6 bodů)

Tento vodík je v základním stavu ($n = 1$) a osvítíme ho bílým světlem ($\lambda \in (400; 750)\ \mathrm{nm}$).

e) Dokažte, že v absorpčním spektru budeme pozorovat pouze jednu tmavou spektrální čáru. Jakou má vlnovou délku a jaká barva světla této délce odpovídá? (7 bodů)

3. Poznatky o stavbě atomů s vyšším protonovým číslem dostaneme zkoumáním jejich rentgenových spekter.

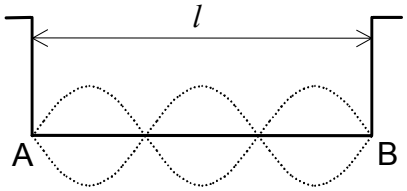
a) Načrtněte a popište základní stavbu rentgenky. (6 bodů)

b) Nakreslete typický průběh intenzity spektra rentgenky. Přitom vyznačte, že se skládá ze dvou různých částí. (5 bodů)

c) Vysvětlete příčiny tzv. charakteristických spektrálních čar a výskyt krátkovlnné hranice rentgenového spektra. (10 bodů)

ŘEŠENÍ 3. SÉRIE

2.



b) Na krajích potenciálové jámy je pravděpodobnost nulová, tzn. de Broglieho vlna musí mít v krajních bodech uzly $\Rightarrow l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $n \in \mathrm{N}$

c) $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$ (de Broglieho vlnová délka), $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2 \cdot m} = \frac{h^2}{2 \cdot m \cdot \lambda^2}$ a $E_p = 0 \Rightarrow$

$$E_n = E_k + E_p = \frac{h^2}{2 \cdot m \cdot \left(\frac{2 \cdot l}{n}\right)^2} = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot l^2} \cdot n^2$$

d) $E_1 = 0{,}19\ \mathrm{eV}$, $E_2 = 0{,}77\ \mathrm{eV}$, $E_3 = 1{,}73\ \mathrm{eV}$, $E_4 = 3{,}08\ \mathrm{eV}$, $E_5 = 4{,}81\ \mathrm{eV}$ a $E_6 = 6{,}92\ \mathrm{eV}$

e) $400\ \mathrm{nm} \le \lambda \le 750\ \mathrm{nm} \Rightarrow 1{,}66\ \mathrm{eV} \le \Delta E \le 3{,}11\ \mathrm{eV} \Rightarrow$ pouze $\lambda = 431\ \mathrm{nm}$ (fialová, tj. $\Delta E = E_4 - E_1 = 2{,}88\ \mathrm{eV}$) leží v daném intervalu.

SÉRIE 4

1. Přirozené radioaktivní záření obsahuje tři složky: α, β a γ-záření.

a) Charakterizujte tyto tři druhy záření podle energie a ionizačních schopností. (6 bodů)

Zařízení pro detekci radioaktivního záření je Geigerův–Müllerův počítač.

b) Popište strukturu počítače, načrtněte ho a vysvětlete jeho funkci. (8 bodů)

2. β-rozpad nuklidu $^{137}\mathrm{Cs}$ je doprovázen vznikem γ-záření. Z vhodně upraveného preparátu vychází ven pouze γ-záření. Kvantitativní zkoumání pohlcování γ-záření v olovu se provádí pomocí olověných desek s tloušťkou d a s Geigerovým–Müllerovým počítačem těsně za deskou (viz tabulka naměřených hodnot): Z je počet prošlých částic za 1 s, $[Z] = \mathrm{s}^{-1}$. U této veličiny je již vykompenzována aktivita pozadí.

$\frac{d}{\mathrm{mm}}$	0	1	2	3	4	5	7	9	15	20
$\frac{Z}{\mathrm{s}^{-1}}$	50	46	41	38	34	31	26	22	12	8

a) Narýsujte graf závislosti Z na d. (3 body)

Analogicky jako poločas rozpadu se definuje polotloušťka D při absorbci γ-záření látkou.

b) Definujte polotloušťku a určete z grafu její velikost pro olovo. (4 body)

c) Vypočtěte Z bez pozadí pro tloušťku 30 mm. (7 bodů)

Použitý preparát emituje za sekundu $3{,}7 \cdot 10^6$ γ-kvant s energií $E_\gamma = 0{,}622\ \mathrm{MeV}$ ve všech směrech.

d) Vypočtěte energii γ-záření v J, kterou zářič vyzáří za jeden rok. (3 body)

Když se zářič nepoužívá, je uložen v olověném válci s poloměrem 3 cm a výškou 10 cm, ve kterém se 96 % γ-záření pohltí.

e) Vypočtěte roční energetickou dávku v Gy, kterou pohltí válec. Dutinu ve válci zanedbejte. (7 bodů)

Osoba, která se opakovaně pohybuje v blízkosti zářiče, musí dbát na to, aby její ozáření bylo co nejmenší.

f) Pojmenujte základní pravidla ochrany před zářením a krátce je fyzikálně zdůvodněte. (6 bodů)

g) Vysvětlete, proč rozlišujeme energetickou dávku a ekvivalentní dávku. (5 bodů)

3. Rutherford provedl roku 1919 první umělou jadernou přeměnu prvků. Dusík $^{14}\mathrm{N}$ bombardoval rychlými α-částicemi a jako produkt reakce vznikaly rychlé protony, které vylétaly z terčíku.

a) Napište rovnici jaderné reakce a určete, v jaký chemický prvek se dusík změnil. (3 body)

b) Popište energetickou bilanci reakce, vypočtěte energii reakce Q a vysvětlete, o jakou reakci se jedná. (8 bodů)

ŘEŠENÍ 4. SÉRIE

2.

b) Z grafu určíme $D = 7{,}5\ \mathrm{mm}$.

c) Exponenciální pokles: $30\ \mathrm{mm} = 4 \cdot D \Rightarrow Z(30\ \mathrm{mm}) = Z_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 \doteq 3{,}1\ \mathrm{s}^{-1}$

d) $E = 3{,}7 \cdot 10^6 \cdot E_\gamma \cdot t \doteq 12\ \mathrm{J}$

e) $D = \frac{E'}{m} = \frac{E \cdot 0{,}96}{V \cdot \rho} = \frac{E \cdot 0{,}96}{\pi \cdot r^2 \cdot v \cdot \rho} \doteq 3{,}5\ \mathrm{Gy}$.

3.

a) $^{14}_{7}\mathrm{N} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{17}_{8}\mathrm{O} + ^{1}_{1}\mathrm{H}\left(^{1}_{1}\mathrm{p}\right)$

b) $Q = -1{,}2\ \mathrm{MeV} \Rightarrow$ endoenergetická reakce

SÉRIE 5

1. Planeta Saturn s prstencem poskytuje pozorovateli s dalekohledem nezapomenutelný zážitek. Zvlášť dobře pozorovatelný je Saturn v opozici se Sluncem.

a) Uveďte dva důvody pro dobré pozorování. (3 body)

Dvě po sobě následující Saturnovy opozice byly 1. 9. 1994 a 14. 9. 1995.

b) Vypočtěte dobu oběhu Saturnu kolem Slunce v rocích a délku jeho hlavní poloosy v AU. (8 bodů)

c) Načrtněte trajektorie Saturnu a Země kolem Slunce a vysvětlete, proč byl Saturnův prstenec v letech 1973 a 1988 ze Země jasný a široký a v letech 1966, 1981 a 1995 velmi úzký. Saturn v roce 1995 nakreslete v opozici. (9 bodů)

Prstencový systém Saturnu se skládá ze samostatných těles rozměrů řádu metru. Vnitřní a vnější poloměry prstenců jsou $r_i = 7{,}26 \cdot 10^4\ \mathrm{km}$, $r_a = 1{,}36 \cdot 10^5\ \mathrm{km}$.

d) Dokažte, že poměr rychlostí $\frac{v_i}{v_a} = 1{,}37$, a ukažte, že prstencový systém se neotáčí jako kompaktní tuhé těleso. (7 bodů)

e) Rychlost částic ve vnitřním prstenci je $22{,}9\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. Určete hmotnost planety Saturn. (5 bodů)

2. Slunce ztrácí svoji hmotu. Tento jev má dvě příčiny. Při jaderné syntéze v nitru se uvolňuje energie a je vyzařována do prostoru a zároveň Slunce emituje proud nabitých částic (sluneční vítr).

a) Vypočtěte úbytek hmotnosti Slunce za 1 s způsobený zářením. (5 bodů)

Zkoumání původu slunečního větru vede k domněnce, že se jedná o plynné částice emitované ze slunečního povrchu. Nejrychlejší z nich mají rychlost $10\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$.

b) Vypočtěte únikovou rychlost pro částice slunečního větru a dokažte, že tato domněnka není správná. (7 bodů)

Slunce také vyzařuje rentgenové záření s maximem intenzity pro vlnovou délku 3 nm.

c) Určete teplotu místa, z kterého rentgenové záření vychází. (3 body)

Toto místo s velmi vysokou teplotou je nejvyšší část sluneční atmosféry (koróna). Zde vznikají částice s rychlostmi, které jim umožní uniknout z gravitačního pole Slunce a vytvořit sluneční vítr. Ten obsahuje prakticky rovnoměrné množství protonů a elektronů. Ve vzdálenosti 1 AU od Slunce prochází kolmo plochou $1\ \mathrm{m}^2$ za 1 s $2{,}7 \cdot 10^{12}$ částic.

d) Jakou hmotu ztrácí Slunce za 1 s slunečním větrem? Kolik % z celkové ztráty hmoty to je? (9 bodů)

e) Jmenujte a popište účinky slunečního větru na Zemi. (4 body)

ŘEŠENÍ 5. SÉRIE

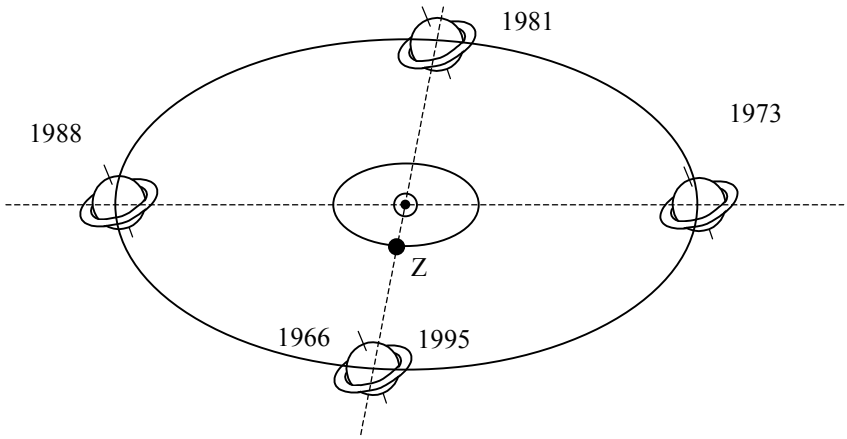
1.

a) Saturn je blíže Zemi a svítí jasněji, je pozorovatelný po celou noc.

b) $T_{syn} \doteq 365\mathrm{d} + 13\mathrm{d} = 378\mathrm{d}$, $\quad T_Z \doteq 365\mathrm{d}$, $\quad \dfrac{1}{T_S} = \dfrac{1}{T_Z} - \dfrac{1}{T_{syn}} \Rightarrow T_S \doteq 29\ \mathrm{r}$,

$$\left(\frac{a_S}{a_Z}\right)^3 = \left(\frac{T_S}{T_Z}\right)^2 \Rightarrow a_S \doteq 9{,}5\,\mathrm{AU}$$

c)



d) $\dfrac{m \cdot v^2}{r} = \varkappa \cdot \dfrac{m \cdot m_S}{r^2} \Rightarrow v = \dfrac{k}{\sqrt{r}}$, kde $k = \sqrt{\varkappa \cdot m_S}$ je konstanta $\Rightarrow v \sim \dfrac{1}{\sqrt{r}}$, pro tuhé těleso $v = r \cdot \omega \Rightarrow v \sim r$; $v_i : v_a = \sqrt{r_a : r_i} \doteq 1{,}37$

e) $m_S = \dfrac{v_i^2 \cdot r_i}{\varkappa} \doteq 5{,}7 \cdot 10^{26}\ \mathrm{kg}$.

2.

a) $L_\odot \cdot \Delta t = \Delta m \cdot c^2 \Rightarrow \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{L_\odot}{c^2} = 4{,}3 \cdot 10^9\ \mathrm{kg \cdot s^{-1}}$

b) $v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \varkappa \cdot M}{r}} \doteq 620\ \mathrm{km \cdot s^{-1}} \gg 10\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$

c) $\lambda \cdot T = b \Rightarrow T = \frac{b}{\lambda} \doteq 10^6\ \mathrm{K}$

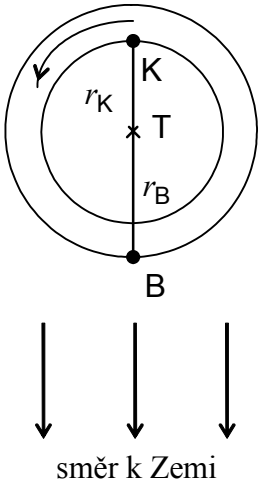
d) $\Delta m = \frac{N}{2} \cdot \left(m_p + m_e\right) \cdot 4 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot \Delta t \doteq \frac{N}{2} \cdot m_p \cdot 4 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot \Delta t$,

$\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2 \cdot N \cdot m_p \cdot \pi \cdot a^2 \doteq 6{,}3 \cdot 10^8\ \mathrm{kg \cdot s^{-1}}$, $p = \frac{\Delta m_2}{\Delta m_1 + \Delta m_2} \doteq 13\ \%$

e) magnetické bouře, polární záře, …

SÉRIE 6

1. Dvojhvězda ζ Aurigae se skládá z hvězd B a K, které se pohybují po kružnicích kolem společného těžiště T. Země je velmi vzdálená a leží v oběžné rovině obou hvězd (viz obr.).



a) Nakreslete pozice hvězd po uplynutí čtvrtperiody oběžné doby hvězdy K.

b) Změna pozice hvězdy při oběhu způsobuje změnu jejich spektra. Kvalitativně popište změnu spekter obou hvězd během čtvrtperiody. Určete poměr rychlostí $\frac{v_B}{v_K}$ a poměr maximálních Dopplerových posuvů $\frac{\Delta\alpha_B}{\Delta\alpha_K}$ spektrálních čar v této čtvrtperiodě.

c) Hvězdy mají hmotnosti M_B a M_K a působí na sebe navzájem dostředivými silami. Určete vztah mezi hmotnostmi hvězd a jejich poloměry R_B, R_K; $M_K = 8 \cdot M_\odot$. Vyjádřete M_B jako násobek $M_\odot$.

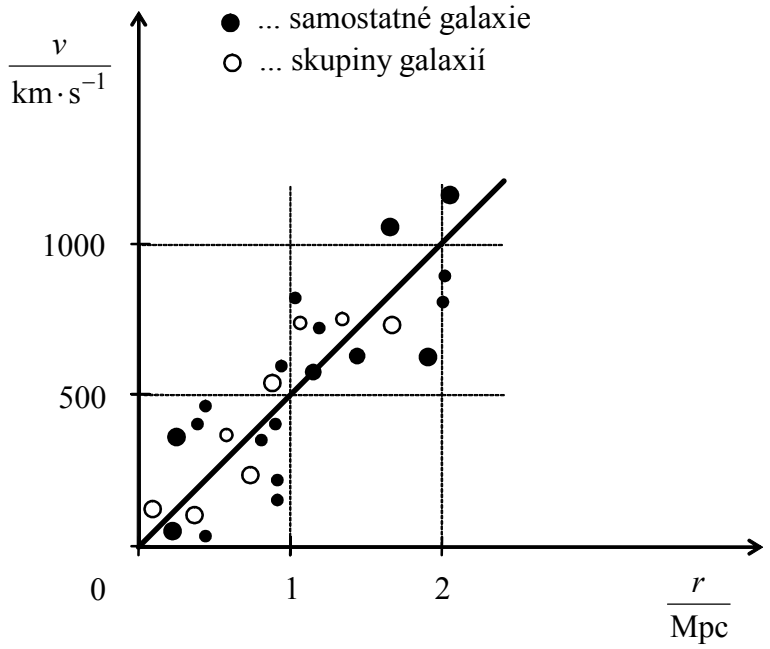
Označení hvězd B a K určuje jejich spektrální třídu.

d) Vysvětlete, proč se hvězda K musí stát červeným obrem.

Hvězdné velikosti dvojhvězdy leží mezi hodnotami $m_1 = 3{,}75$ (hvězdy jsou obě pozorovatelné) a $m_2 = 3{,}89$ (hvězda K zakrývá hvězdu B). Zářivý výkon K je 7,3krát větší než zářivý výkon B.

e) Povrchové teploty hvězd jsou $T_K = 3{,}5 \cdot 10^3$ K a $T_B = 15 \cdot 10^3$ K; $R_B = 4{,}1 \cdot R_\odot$. Určete poloměr R_K jako násobek $R_\odot$.

f) Vysvětlete, proč největší hvězdnou velikost má dvojhvězda i v okamžiku, kdy B částečně zakrývá K.



2. Roku 1929 uveřejnil Hubble známý diagram (viz obr.). Popisuje lineární závislost, ačkoli je to málo patrné.

a) Určete z grafu průměrnou hodnotu Hubblovy konstanty a vypočtěte také přibližné stáří vesmíru v rocích. Z jakého předpokladu přitom musíme vycházet?

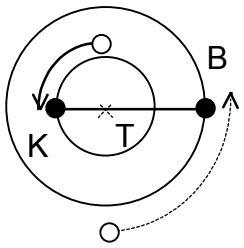
b) Na základě dalších poznatků docházíme k tomu, že rychlost rozpínání vesmíru se během času zpomaluje. Určete, jaký vliv má tato domněnka na číselnou hodnotu stáří vesmíru vypočtenou v úloze a).

c) Jiné metody, které vycházejí z Hubblova vztahu, dokazují, že stáří vesmíru je ve skutečnosti větší než hodnota určená v úloze a). Jmenujte některé takové metody a vysvětlete, na čem jsou založeny.

ŘEŠENÍ 6. SÉRIE

1.

a) Hvězdy jsou pořád v jedné přímce: $\omega_K = \omega_B$



b) V počáteční poloze žádný Dopplerův posuv ($v_r = 0$), největší Dopplerův posuv v konečných polohách ($v_t = 0$ a $v_r = \max$ $\Rightarrow$ K se přibližuje k Zemi $\Rightarrow$ modrý posuv a B se vzdaluje od Země $\Rightarrow$ rudý posuv);

z obrázku plyne: $\frac{r_\mathrm{B}}{r_\mathrm{K}} = \frac{1,6}{1,2} \doteq 1,3 \Rightarrow \frac{r_\mathrm{B} \cdot \omega_\mathrm{B}}{r_\mathrm{K} \cdot \omega_\mathrm{K}} = 1,3 \Rightarrow \frac{v_\mathrm{B}}{v_\mathrm{K}} = 1,3$;

$\frac{\Delta\lambda_\mathrm{B}}{\lambda_0} = \frac{v_\mathrm{B}}{c}$ a $\frac{\Delta\lambda_\mathrm{K}}{\lambda_0} = \frac{v_\mathrm{K}}{c}$ $\Rightarrow$ $\frac{\Delta\lambda_\mathrm{B}}{\Delta\lambda_\mathrm{K}} = \frac{v_\mathrm{B}}{v_\mathrm{K}} = 1,3$

c) $F_\mathrm{B} = F_\mathrm{K} \Rightarrow M_\mathrm{B} \cdot r_\mathrm{B} \cdot \omega_\mathrm{B}^2 = M_\mathrm{K} \cdot r_\mathrm{K} \cdot \omega_\mathrm{K}^2 \Rightarrow M_\mathrm{B} = M_\mathrm{K} \cdot \frac{r_\mathrm{K}}{r_\mathrm{B}} \doteq 6 \cdot M_\odot$

e) $L_\mathrm{K} = 4 \cdot \pi \cdot R_\mathrm{K}^2 \cdot \sigma \cdot T_\mathrm{K}^4$. $L_\mathrm{B} = 4 \cdot \pi \cdot R_\mathrm{B}^2 \cdot \sigma \cdot T_\mathrm{B}^4$ (Stefanův–Boltzmannův zákon) $\Rightarrow$

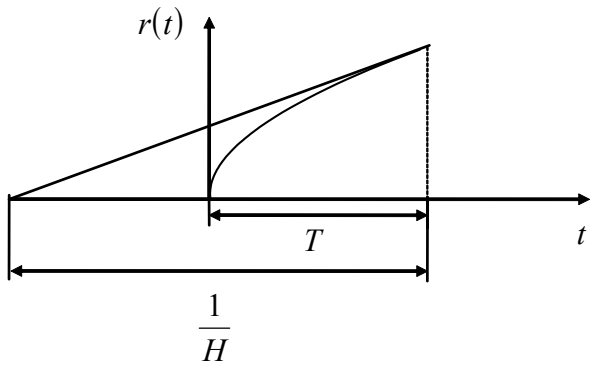
$$\left(\frac{R_\mathrm{K}}{R_\mathrm{B}}\right)^2 = \frac{L_\mathrm{K}}{L_\mathrm{B}} \cdot \left(\frac{T_\mathrm{B}}{T_\mathrm{K}}\right)^4 \Rightarrow \frac{R_\mathrm{K}}{R_\mathrm{B}} \doteq 50 \Rightarrow R_\mathrm{K} \doteq 200 \cdot R_\odot$$

f) $R_\mathrm{B} = 4,1 \cdot R_\odot$, $R_\mathrm{K} = 200 \cdot R_\odot \Rightarrow \frac{\pi \cdot R_\mathrm{B}^2}{\pi \cdot R_\mathrm{K}^2} \doteq 0,04\,\%$, podíl hvězdy K na zářivém výkonu dvojhvězdy je zanedbatelný.

2.

a) $H = \frac{v}{r} \doteq 500\,\frac{\mathrm{km \cdot s^{-1}}}{\mathrm{Mpc}}$, $T = \frac{1}{H} \doteq 2 \cdot 10^9$ r (expanze vesmíru konstantní rychlostí)

b) $T < \frac{1}{H}$



c) radioaktivní rozpad hornin (U $\rightarrow$ Pb) na Zemi dokazuje, že stáří Země je asi $4,5 \cdot 10^9$ r $\Rightarrow$ stáří vesmíru musí být větší než $2 \cdot 10^9$ r.

Větrné elektrárny – mnoho otazníků

Václav Železný[*], *Fakulta strojní ČVUT v Praze*

Větrné elektrárny. Společně s vodní energií patří energie větru mezi ty člověkem nejdéle využívané. Po stovky a tisíce let to byly dokonce jediné dva zdroje energie, jejíž sílu měl člověk k dispozici vedle síly své a hospodářských zvířat. Teprve devatenácté a zejména dvacáté století přineslo radikální změnu a připravilo tyto energie o jejich do té doby dominantní postavení. Vodní energie si díky určitým charakteristickým znakům, mezi něž patří zejména vysoká pohotovost, zachovala určité postavení v oblasti výroby elektrické energie, avšak využívání větrné energie na dlouhá desetiletí prakticky zaniklo. Teprve v posledních letech jsme svědky poměrně výrazné renesance ve využívání větrné energie, a to právě v oblasti výroby elektrické energie. Zejména v některých státech západní Evropy se masivně budují větrné elektrárny. Zároveň jsme však také svědky značných rozporů a vášnivých debat, které tento trend vyvolává. Nemalou část viny na tomto stavu bohužel mají mnohdy až fanatičtí zastánci větrné energie, rekrutující se často z řad různých takzvaně „ekologických“ hnutí. Jejich naprosto nekritické prosazování větrné energie totiž opomíjí nejen ekologické, ale i určité technické a ekonomické obtíže, které jsou s jejím využíváním spojené, a to se musí zákonitě setkávat s negativními reakcemi z řad energetických odborníků. Jak je to tedy s větrnou energií? Je to čistá a laciná energie pro budoucnost, anebo nespolehlivá drahá hračka? Dosavadní zkušenosti jsou zatím spíše rozporuplné a i v Česku větrné elektrárny většinou dosud výrazně zaostaly za projektovými předpoklady.

TROCHU TEORIE

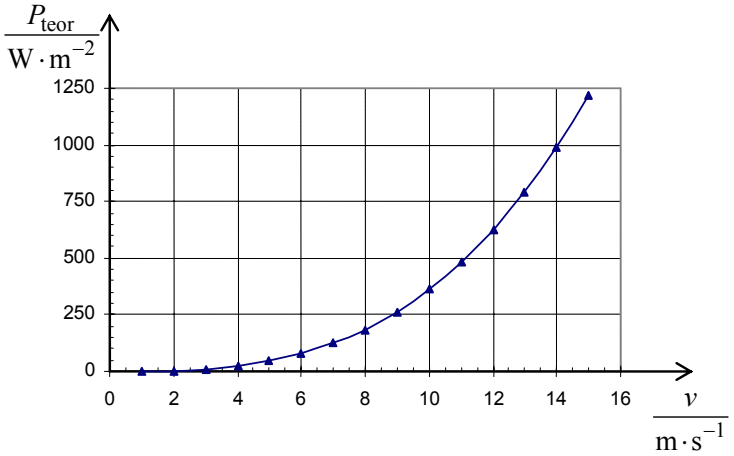
Získávání energie z větru je teoreticky velmi jednoduché. Proudící vzduch se opírá o lopatky větrné turbíny a předává jim část své pohybové energie. Ta se mění na mechanickou energii v podobě otáčivého pohybu rotoru a následně pak v generátoru na energii elektrickou. Z toho je možné jednoduše stanovit výkon, který lze z větru teoreticky získat, neboť je závislý na pohybové energii proudícího vzduchu. V případě jednotkové plochy tedy platí následující vztah:

$$P_{\text{teor}} = 0,59 \cdot v \cdot \rho_{\text{vz}} \cdot \frac{v^2}{2} = 0,59 \cdot \rho_{\text{vz}} \cdot \frac{v^3}{2},$$

kde v je rychlost větru a ρ_{vz} je hustota vzduchu.

Hodnota 0,59 je koeficient vyplývající z Betzova zákona. Německý fyzik Albert Betz v roce 1919 odvodil, že na rotoru větrného zařízení nelze z proudícího vzduchu získat veškerou pohybovou energii, ale že lze přeměnit maximálně asi 59 % této energie. Závislost využitelného výkonu na rychlosti větru je znázorněna na grafu 1.

[*] zelezny@fsid.cvut.cz

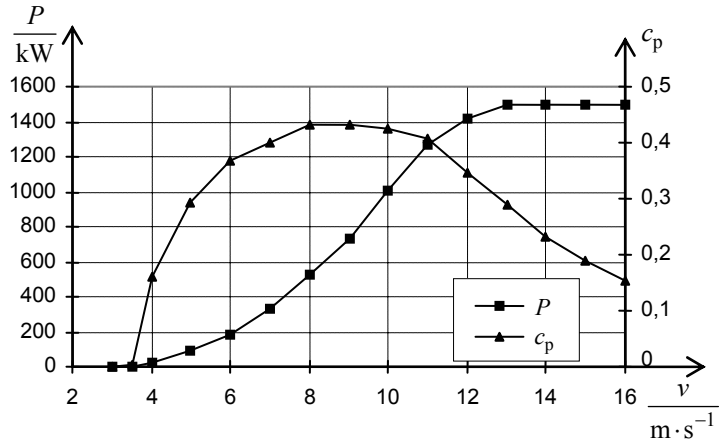


Graf 1 Závislost teoreticky využitelného výkonu (P_{teor}) na rychlosti větru

Pro výkon větrné turbíny s rotorem o průměru D se však nejčastěji používá následujícího vztahu:

$$P = \rho_{vz} \cdot \frac{v^3}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot c_p = 0{,}125 \cdot \rho_{vz} \cdot \pi \cdot v^3 \cdot D^2 \cdot c_p ,$$

kde D je průměr rotoru a c_p představuje součinitel výkonnosti. Ten udává, jaký podíl z energie z proudícího vzduchu se využívá na turbíně. Maximální hodnota součinitele výkonnosti může teoreticky dosáhnout 0,59. Vyšší hodnota není možná, neboť by to odporovalo Betzovu zákonu. Reálné maximální hodnoty součinitele výkonnosti jsou o něco nižší (menší než 0,5). Tento součinitel navíc není konstantní, jak ukazuje křivka v grafu 2, kde je znázorněn jednak průběh tohoto součinitele a také výkonová křivka turbíny REpower MD 70, která pracuje v Nové Vsi v Horách. Je patrné, že se vzrůstající rychlostí větru se součinitel snižuje, neboť listy rotoru se natáčejí tak, aby výkon plynule dosáhl nominální hodnoty a pak se již nezvyšoval. Nižší hodnoty jsou bohužel také u nižších rychlostí, což ještě více snižuje už tak dost malé výkony turbíny při nízkých rychlostech větru.



Graf 2 Výkonová křivka a součinitel výkonnosti větrné turbíny

PROBLÉMY PŘI VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGIE

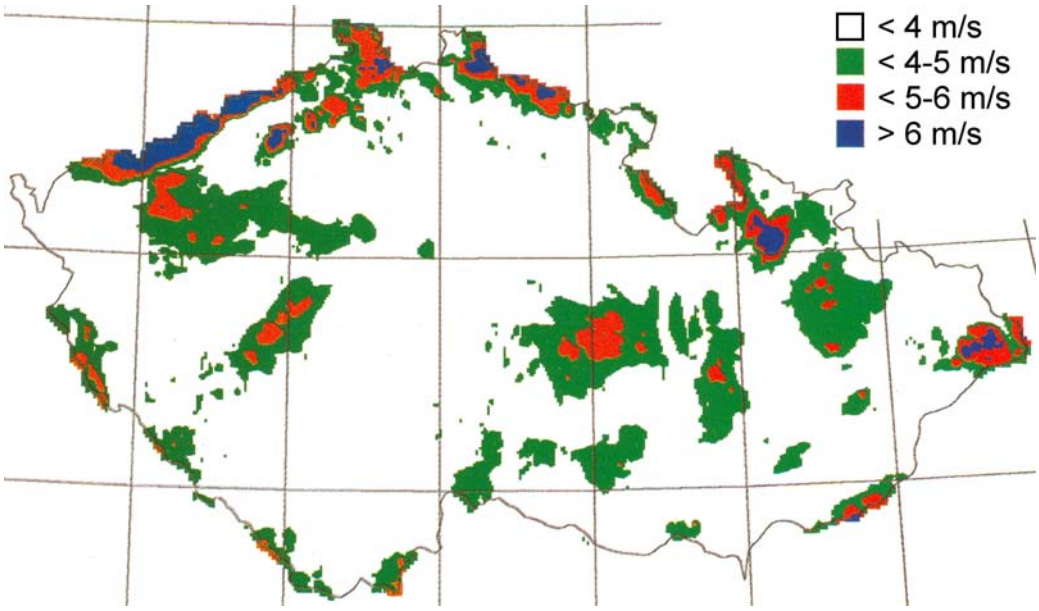
Již v úvodu byl připomenut fakt, že využívání větrné energie s sebou nese určité problémy a obtíže. Protentokrát ponechme stranou otázky týkající se vlivu na životní prostředí, jako je ohrožování ptactva, možné rušivé zvuky a stroboskopické světelné efekty, narušování rázu kra-

jiny atd. Tyto vlivy jsou pouze lokální. Zásadnější problémy se jeví v oblasti technicko-provozní a ekonomické.

Technicko-provozní problémy

Prvním obecně známým problémem je skutečnost, že vítr patří mezi zdroje, které jako celek sice mají poměrně velký potenciál, ale jeho využitelnost je značně omezena nízkou hustotou výkonu. To znamená, že z jednotky plochy můžeme získat jen malý výkon. Tento nedostatek je dobře patrný z grafu 1, na kterém je v závislosti na rychlosti větru vynesen průběh výkonu, který lze teoreticky získat z $1\,\mathrm{m}^2$ plochy. Křivka je silně deformována kubickou závislostí na rychlosti větru. Pro nižší rychlosti je tento výkon dokonce menší nežli $100\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$. Pro vyšší rychlosti blížící se nominální hodnotě sice tento výkon stoupá k $1000\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$, avšak i tato hodnota je stále relativně nízká. Pro získání větších výkonů je proto třeba budovat velká a poměrně drahá zařízení.

Je hezké, že moderní větrná turbína je natolik kvalitní, že pro její spuštění a přifázování do sítě stačí obvykle rychlost větru $3\text{–}4\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, avšak její výkon je v takovém případě velmi malý a se zesilujícím větrem narůstá zpočátku jen pozvolna, jak je vidět na grafu 2. Je patrné, že solidního využití instalovaného výkonu se dosahuje až při rychlosti větru okolo $10\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ ($36\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$) a výše. Pokud se ovšem podíváme na Beaufortovu stupnici síly větru, tak zjistíme, že od $39\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$ je vítr klasifikován stupněm 6, což znamená silný vítr, a to je už dost nepříjemně větrné počasí. V české kotlině je však situace víceméně opačná a pro větrnou energetiku tudíž krajně nepříznivá. Při pohledu na obrázek 1 zobrazující větrnou mapu naší republiky je zřejmé, že většina našeho území má průměrnou rychlost větru menší nežli $4\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, přičemž tato hodnota se obvykle uvádí jako limitní pro stavbu větrných elektráren a tudíž zde prakticky nemá význam uvažovat o jejich výstavbě. Pouze výrazně menší část našeho území tuto podmínku splňuje, i když ani zde to není s rychlostí větru povětšinou žádná sláva. Vhodné oblasti se tak omezují zejména na výše položené a hřebenové partie hor a vrchovin v nadmořských výškách zpravidla nad 650 metrů nad mořem. Vhodné lokality se nacházejí především v oblastech severních pohraničních hor.



Obrázek 1 Větrná mapa českého území
aut: RNDr. Josef Štekl, RNDr. Zbyněk Sokol, UFA-AVČR

Dalším problémem, který spadá do technicko-provozní oblasti, je nestabilita výkonu. Výkon větrných elektráren nejenže je poměrně malý, ale v určitých provozních režimech je díky silné závislosti na rychlosti větru navíc ještě dost nestálý, protože vítr coby přírodní živel je značně proměnlivý. Tento problém se na rozdíl od nedostatečného výkonu může citelněji projevovat zejména při takových rychlostech větru, kdy je křivka závislosti výkonu na rychlosti větru nejstrmější. Jako příklad lze použít opět turbínu REpower MD 70. Podle údajů výrobce dává tato turbína při rychlosti $10\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ výkon 1006 kW. Pokud však rychlost větru poklesne, resp. vzroste o pouhý $1\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, výkon klesne na 728 kW, resp. stoupne na 1271 kW. Změna činí 543 kW, což představuje 36 % nominálního výkonu. Je zřejmé, že za určitých okolností může i relativně malá změna síly větru způsobit velké změny ve výkonu elektrárny. Při počtu několika málo strojů to vcelku nevadí, ale zcela jiná situace může nastat s případným masivnějším rozvojem větrné energetiky a nárůstem celkového instalovaného výkonu do stovek MW či výše. Výkonové fluktuace jednotlivých strojů či celých farem se sice mohou navzájem kompenzovat, ale rozhodně na to nelze plně spoléhat, protože tomu za nepříznivých okolností může být i naopak. A v takovém případě by už vzniklé výchylky mohly být dost vysoké na to, aby to minimálně v dané lokalitě způsobovalo potíže při regulaci elektrizační soustavy. Elektřinu nelze skladovat, a tak musí být výkon elektráren a spotřeba elektřiny stále přibližně v rovnováze. Stabilní výkon lze však u větrné elektrárny očekávat až při rychlosti větru $15–20\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. To ovšem odpovídá 7. až 8. stupni Beauforta, což znamená prudký až bouřlivý vítr, který již může působit hmotné škody.

Příkladem může být sousední Německo, kde došlo v uplynulých letech k masivnímu rozvoji větrné energetiky. Instalovaný výkon německých větrných elektráren na konci roku 2004 činil přes 16 500 MW a další stroje jsou ve výstavbě. Právě Německo uvádějí různí aktivisté jako vzor, ale už taktně mlčí o vznikajících problémech. Němečtí energetici se totiž dalšího nárůstu výkonu větrných elektráren počínají obávat, protože jejich nestabilita začíná už při takto velkém instalovaném výkonu ohrožovat stabilitu tamní elektrizační soustavy. Fluktuace výkonu se již mohou pohybovat až v řádu tisíců MW. Ukazuje se, že regulace sítě s dnes již více než 16 tisíci větrnými elektrárnami, jejichž výkon se může nahodile měnit minutu od minuty, je problémem i pro tak technicky vyspělý stát.

Na našem území ještě stojí za zmínku i další dva rizikové faktory, a to je poměrně častý výskyt námraz a blesků. V zahraničí se tyto problémy v takové míře nevyskytují, neboť jsou dány specifickými podmínkami našeho území. Zkušenosti z provozu demonstrační elektrárny Dlouhá Louka v Krušných horách vypovídají o velkém riziku námrazy v období od října do dubna, o čemž svědčí i fakt, že elektrárna byla v období 1994–1997 skoro 11 % času neschopná provozu právě z důvodu námrazy. Toto vysoké riziko je bohužel typické pro většinu vhodných výše položených lokalit obecně. O nebezpečí atmosférické elektřiny pak vypovídá skutečnost, že tato demonstrační elektrárna byla dvakrát přímo zasažena bleskem. Všechny výše uvedené technicko provozní problémy patrně nejsou či nebudou neřešitelné, ale pokud bude jejich zvládnutí náročnější, tak to bude také znamenat větší náklady na elektřinu vyrobenou ve větrných elektrárnách.

Ekonomické problémy

Zásadní nevýhodou větrných elektráren je relativně vysoká cena jimi vyráběné elektrické energie. Při laickém pohledu se přitom může získávání elektrické energie z větru jevit jako velmi výhodné. Postavíme elektrárnu, vítr je zadarmo a údržba kvalitního dobře fungujícího zařízení by také neměla vyžadovat příliš velké finanční prostředky. Skutečnost je však poněkud odlišná a je třeba se podívat na to, z čeho se skládají celkové náklady na výrobu elektřiny z daného zdroje. Tyto náklady se dělí na fixní a variabilní.

U fixních nákladů tvoří dominantní část prostředky, které bylo nutné vynaložit na vybudování zdroje – investiční náklady. V Evropě se podle dostupných údajů tyto náklady v posledních letech pohybují v průměru lehce nad 1 000 € na 1 kW instalovaného výkonu. U nás mohou jako příklad posloužit dvě elektrárny, které byly spuštěny v předloňském roce. Jejich investiční náklady se však dost liší. Již zmíněná elektrárna REpower v Nové Vsi vychází asi na 33 000 Kč/kW, což vcelku odpovídá evropským cenám. Naproti tomu mediálně asi nejvíce známá elektrárna v Jindřichovicích pod Smrkem, se dvěma větrnými turbínami Enercon E40 o výkonu 600 kW, vychází na více než 51 000 Kč/kW. Není však úkolem tohoto článku pátrat po příčině tohoto rozdílu.

Fixní složka ročních nákladů, která – jak již bylo naznačeno – je tvořena převážně odpisem investic, zůstává víceméně konstantní, nezávisle na produkci elektřiny. Její vliv na výrobní cenu elektřiny tedy silně závisí na ročním objemu výroby, jinak řečeno na ročním využití zdroje. A zde je u větrných elektráren problém. Uvedená výše investičních nákladů je nižší nežli u jaderných bloků a zhruba srovnatelná s moderními fosilními bloky, ale využití větrných elektráren je ve srovnání s nimi výrazně menší. Zatímco dobře fungující jaderná elektrárna běžně pracuje více jak 7 000 hodin ročně a uhelné bloky okolo 5 000 hodin, jsou na tom větrné elektrárny výrazně hůře, neboť jsou závislé na větru. A tak se i ve vybraných lokalitách stává, že elektrárna nepracuje kvůli příliš slabému větru, nebo naopak musí být zastavena kvůli příliš silnému či nárazovitému větru. I při provozu není vítr často dost silný, a tak i když elektrárna pracuje, dává pouze část výkonu. Výsledkem pak pochopitelně je nízké využití instalovaného výkonu a s tím související růst ceny elektřiny, neboť čím méně energie se vyrobí, tím větší díl fixních nákladů připadá na jednu vyrobenou kilowatthodinu.

Nízké využití větrných elektráren je problém obecný, což potvrzují i údaje ze zahraničí. Průměrné využití ve světě se podle dostupných údajů pohybuje okolo 2 300 h/rok, přičemž jednotlivé elektrárny se od sebe mohou výrazně lišit v závislosti na větrnosti lokality. Například v Německu se udává rozmezí 1700–2500 h/rok (*pozn. některé zdroje ovšem uvádějí pouze 1600–2200 h/rok*). Mohou se navíc vyskytnout i extrémní propady. V Severním Porýní-Vestfálsku došlo k situaci, že bylo kvůli nedostatku větru z instalovaných 4 600 MW odebíráno v průměru pouze 200 MW výkonu. To by odpovídalo koeficientu využití necelých 5 %, což je méně než 400 h/rok. V následující tabulce je přibližné srovnání různých větrných elektráren a jaderné elektrárny Temelín, která je v současnosti nejnovějším a investičně nejnáročnějším energetickým zařízením v Česku.

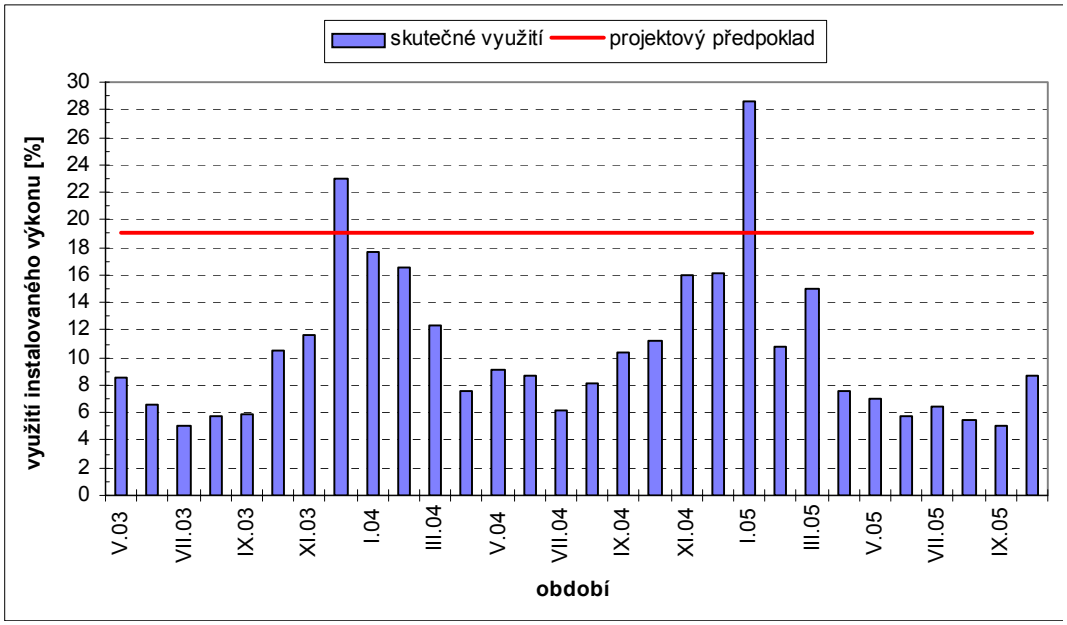
Tabulka 1 Srovnání některých parametrů VE s JE Temelín

elektrárna	**investiční náklady [Kč/kW]**	**využití instalovaného výkonu [h/rok]**	**investiční náklady [Kč/kWh]** [1)]
VE Jindřichovice (Enercon E40)	51 000	1 700 [2)]	1,50
VE Nová Ves (REpower MD70)	33 000	2 850 [2)]	0,58
průměrná VE (země EU)	32 000	2 300	0,70
JE Temelín	50 000	5 800 [3)]	0,29

1) Orientační přepočet investičních nákladů na 1kWh elektřiny vyrobené za projektovanou dobu životnosti
2) U obou českých projektů jde o předpoklad podle větrnosti lokality
3) Projektový předpoklad. JE běžně dosahují více (např. Dukovany cca 7 500 h/rok)

Tabulka 1 ukazuje, že jak výše investičních nákladů na 1 kW instalovaného výkonu, tak využití elektrárny mají značný vliv na celkovou cenu elektřiny. Oba české projekty jsou zatím

v provozu něco přes dva roky, přičemž je třeba alespoň tří sezón, aby se ukázalo, zda byly předpoklady produkce správné, a také jak se na provozu projeví riziko námraz. Nicméně, na základě údajů o dosavadním provozu elektrárny Jindřichovice znázorněných v grafu 3, lze konstatovat, že tato elektrárna prozatím poněkud zaostává za projektovými předpoklady, kde se počítalo s výrobou okolo 2 000 MWh za rok. To odpovídá zhruba 1 700 hodinám provozu při jmenovitém výkonu ročně (viz tabulka 1), což představuje cca 19 % využití instalovaného výkonu. Na špatných výsledcích za rok 2003 se zcela určitě podepsalo abnormální počasí onoho roku. Provozní výsledky za rok 2004 byly již o něco lepší, avšak ani zde se nepodařilo dosáhnout předpokládaného 19% využití, a to dokonce ani v jediném měsíci. Za celé dosavadní období provozu se tohoto výsledku podařilo dosáhnout pouze ve dvou měsících, a to v prosinci 2003 a v lednu 2005. V lednu 2005 byla výroba rekordní, ale celkově jsou dosavadní výsledky tohoto roku horší nežli v roce 2004. Vzhledem k tomu, že se jedná již o třetí sezónu provozu této elektrárny, je tento trend znepokojivý. Pokud tedy nedojde k výraznému a trvalému zlepšení provozních výsledků, tak byly v projektu uváděné předpoklady zřejmě chybné. Spolehlivé údaje o provozu elektrárny v Nové Vsi se prozatím nepodařilo získat a není tedy možné zhodnotit, jak se daří tomuto projektu.



Graf 3 Dosavadní provozní výsledky VE Jindřichovice pod Smrkem

U variabilních nákladů tvoří dominantní část náklady na údržbu, palivo a další pro provoz nezbytné suroviny. Náklady na palivo či další suroviny u větrných elektráren pochopitelně odpadají a roční náklady na údržbu se u nových strojů obvykle udávají jako 1,5-2 % ceny technologie. To v průměru odpovídá částce kolem 0,25 Kč/kWh. I zde ovšem platí, že čím více energie se vyrobí, tím je částka připadající na 1 kWh menší a naopak. U dobře pracující větrné elektrárny může klesnout i pod 0,20 Kč/kWh, ale u málo využívané naopak výrazně překročit 0,30 Kč/kWh. Větrná energie tedy není ani z provozního hlediska tak úplně zadarmo, jak můžeme někdy slyšet od jejích zastánců. Pro srovnání uveďme, že variabilní náklady u jaderných elektráren se pohybují něco nad 0,20 Kč/kWh, neboť jaderné palivo je dlouhodobě velice laciné, zatímco u uhelných elektráren je tato částka vzhledem k dražšímu palivu asi dvojnásobná.

V celkovém srovnání však zatím vychází cena energie z větru relativně vysoká a prakticky nemůže konkurovat ceně z normálních, ať již uhelných či jaderných elektráren. Pokud bychom vzali v úvahu nízké využití, relativně vysokou investiční náročnost a náklady na údržbu, tak při současných cenách, za které se prodává elektřina do sítě, by se investice do větrné

elektrárny vůbec neměla šanci vyplácet. Jak je tedy možné, že se za této situace větrné elektrárny stavějí a provozují?

Odpověď na výše uvedenou otázku je bohužel prostá. Platíme to jako spotřebitelé elektřiny a někdy i jako daňoví poplatníci. Jako příklad obojího lze použít Jindřichovice. Celková investice činila 62 milionů korun. Z toho ovšem byla 28 milionů nevratná dotace a dalších 25 milionů nízko úročená půjčka od SFŽP. Pouze zbývajících 9 milionů zajišťovala obec. Toto je však jenom jedna z absurdit. Tou další je skutečnost, že rozvodné společnosti musí elektřinu z těchto zdrojů povinně vykupovat za státem nařízenou cenu 3 Kč/kWh, přičemž výkupní cena od normálních výrobců se v průměru pohybuje lehce nad 1 Kč/kWh. Tato absurdita má hned několik rovin. Rozvodná společnost musí platit nesmyslně vysokou cenu za elektřinu, jejíž dodávky jsou přitom přerušované a výkonově nestálé. V současné době se přitom běžně požaduje, aby výrobce byl schopen do určité míry garantovat spolehlivost dodávek, což u větrných elektráren prakticky není možné. Rozvodné společnosti navíc musí tuto z hlediska elektrizační soustavy „nekvalitní“ elektřinu odebírat bez ohledu na to, zda ji zrovna potřebují či nikoliv. To se samozřejmě může projevit na koncové ceně elektřiny pro spotřebitele.

Dotace a povinnost pro rozvodné společnosti vykupovat za garantovanou cenu však nejsou jediná negativa, která mohou ovlivňovat ekonomiku energetiky. Ta další totiž souvisí s již diskutovanou nespolehlivostí větru coby zdroje energie. Elektřinu nelze skladovat, a tak musí v každé elektrizační soustavě být k dispozici určitá rezerva instalovaného výkonu tak, aby bylo možné vždy zajistit dodávky energie v patřičné výši, a to i v případě, že některé zdroje budou v daném okamžiku mimo provoz z technických či jakýchkoliv jiných důvodů. Větrné elektrárny však v tomto případě představují problém, protože se nelze spolehnout, že elektřina z nich bude k dispozici ve chvíli, kdy jí bude skutečně potřeba. Výkon instalovaný ve větrných elektrárnách tedy musí být z velké části jištěn dalšími záložními zdroji, které jej nahradí v případě, že bude v kritické chvíli kvůli nepříznivým povětrnostním podmínkám nedostatečný. Tyto záložní zdroje pak dále ekonomicky zatěžují výrobu elektřiny, neboť je nutné investovat nejen do jejich výstavby, ale také je udržovat v provozuschopném stavu, přičemž jejich využití může být poměrně malé. Je to ovšem nezbytné, neboť jinak mohou nastat problémy se zásobováním elektrickou energií. Jak to může dopadnout, když skutečně nefouká a záložní zdroje nestačí pokrýt poptávku, se předloni v lednu ukázalo v Německu. Nedošlo sice k vážnějším výpadkům v zásobování, ale nedostatek elektřiny vyhnal v některých chvílích její cenu na burze až do vpravdě astronomických výšek. Podobných výkyvů je ovšem lépe se vyvarovat.

ZÁVĚR

Jak je to tedy s větrnými elektrárnami? Na tuto počáteční otázku nelze použít ani jednu z extrémních variant odpovědi. Na straně jedné je třeba uznat, že vývoj větrných elektráren jde stále kupředu. Rostou jejich výkony, účinnost a technická spolehlivost a dochází k určitému poklesu nákladů na jimi produkovanou elektřinu. Na straně druhé ovšem je nutné připomenout, že navzdory tomu vycházejí větrné elektrárny stále ještě výrazně dražší nežli normální zdroje. Povinnost výkupu elektřiny za garantované ceny se neslučuje s pravidly volného trhu a ve větším měřítku by se patrně projevila zdražováním elektřiny. Zřejmě těžko bude kdy možné odstranit nějakým snadným způsobem závislost produkovaného výkonu na vrtošivosti větru a s tím spojené obtíže atd. Podle mínění odborníků lze usuzovat, že větrné elektrárny, zejména pokud bude nadále klesat jejich cena, naleznou v budoucnosti své uplatnění jako doplňkové lokální zdroje elektrické energie. Bylo by ovšem zatím více než nerealistické počítat s nimi jako s náhradou velké uhelné či jaderné energetiky. Takováto ekologie za každou cenu by mohla být hodně drahá.

Sprinter

Josef Jírů, Gymnázium Pelhřimov

Při běhu na 100 m se sprinter rozbíhá tak, že od startu určitým způsobem zrychluje a po dosažení konečné rychlosti se pohybuje rovnoměrně až do cíle. Za předpokladu, že konečné rychlosti nabude do vzdálenosti 60 m od startu, bude stejný průběh pohybu i na sprinterské trati 60 m. Tato skutečnost přivádí k myšlence, že ze známých dosažených časů sprintera na uvedených tratích bude možné vypočítat některé další veličiny jeho pohybu. Tímto problémem se zabývaly též 2 úlohy fyzikální olympiády. V úloze FO-40-D-II-1 (ve školním roce 1998/99) byl zrychlený úsek modelován rovnoměrně zrychleným pohybem, ve školním roce 2002/03 v úloze FO-44-A-II-1 pohybem se stálým urychlujícím výkonem sprintera. V obou úlohách byly použity osobní rekordy sprintera Frenkie Fredericka z Namibie dosažené v roce 1991 (60 m za 6,47 s, 100 m za 9,95 s).

Nejprve určíme maximální rychlost. Běžně se jako příklad uvádí, že špičkový sprinter dosahuje rychlosti kolem $10\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, neboť 100 m uběhne za 10 s. Tato uváděná rychlost je však rychlost průměrná, neboť součástí běhu je i rozbíhání. Maximální rychlost musí proto být větší než $10\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Označme $s_1 = 60\ \mathrm{m}$, $s_2 = 100\ \mathrm{m}$, s_0 úsek pro rozbíhání a t_1, t_2, t_0 po řadě odpovídající časy. Pak pro maximální rychlost v_m platí rovnice

$$s_1 - s_0 = v_\mathrm{m}\cdot(t_1 - t_0), \tag{1}$$

$$s_2 - s_0 = v_\mathrm{m}\cdot(t_2 - t_0). \tag{2}$$

Jejich odečtením dostaneme

$$v_\mathrm{m} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}. \tag{3}$$

Dosazením číselných hodnot dostáváme $v_\mathrm{m} = 11{,}49\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Nyní si všimneme parametrů při rozbíhání sprintera. Při rovnoměrně zrychleném pohybu platí

$$s_1 = \frac{1}{2}\cdot v_\mathrm{m}\cdot t_0 + v_\mathrm{m}\cdot(t_1 - t_0) = v_\mathrm{m}\cdot\left(t_1 - \frac{t_0}{2}\right),$$

$$s_2 = \frac{1}{2}\cdot v_\mathrm{m}\cdot t_0 + v_\mathrm{m}\cdot(t_2 - t_0) = v_\mathrm{m}\cdot\left(t_2 - \frac{t_0}{2}\right).$$

Z rovnic lze získat dobu rozbíhání

$$t_0 = \frac{2\cdot(s_2\cdot t_1 - s_1\cdot t_2)}{s_2 - s_1} = 2{,}50\ \mathrm{s},$$

zrychlení

$$a = \frac{v_\mathrm{m}}{t_0} = \frac{(s_2 - s_1)^2}{2\cdot(s_2\cdot t_1 - s_1\cdot t_2)\cdot(t_2 - t_1)} = 4{,}60\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

a dráhu

$$s_0 = \frac{v_\mathrm{m}\cdot t_0}{2} = \frac{s_2\cdot t_1 - s_1\cdot t_2}{t_2 - t_1} = 14{,}37\ \mathrm{m}.$$

Při rozbíhání se stálým výkonem P má sprinter o uváděné hmotnosti $m = 75\ \mathrm{kg}$ v každém okamžiku t okamžitou rychlost v podle rovnice

$$P \cdot t = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 , \tag{4}$$

z níž plyne závislost okamžité rychlosti na čase

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot P \cdot t}{m}} .$$

Integrací získáme dráhu

$$s_0 = \int_0^{t_0} v \cdot \mathrm{d}t = \int_0^{t_0} \sqrt{\frac{2 \cdot P \cdot t}{m}} \cdot \mathrm{d}t = \sqrt{\frac{8 \cdot P}{9 \cdot m} \cdot t_0^3} . \tag{5}$$

Dále v souladu s rovnicí (4) platí

$$P \cdot t_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_\mathrm{m}^2 . \tag{6}$$

Vyloučením P a m z rovnic (5) a (6) dostaneme maximální rychlost

$$v_\mathrm{m} = \frac{3 \cdot s_0}{2 \cdot t_0} .$$

Z této rovnice použitím původních rovnic (1) nebo (2) nakonec dostaneme dobu rozbíhání

$$t_0 = 3 \cdot \frac{s_2 \cdot t_1 - s_1 \cdot t_2}{s_2 - s_1} = 3{,}75\ \mathrm{s} \tag{7}$$

a dráhu

$$s_0 = \frac{2 \cdot v_\mathrm{m} \cdot t_0}{3} = 2 \cdot \frac{s_2 \cdot t_1 - s_1 \cdot t_2}{t_2 - t_1} = 28{,}7\ \mathrm{m} .$$

Z rovnic (6), (3) a (7) pak plyne výkon

$$P = \frac{m \cdot v_\mathrm{m}^2}{2 \cdot t_0} = \frac{m \cdot (s_2 - s_1)^3}{6 \cdot (t_2 - t_1)^2 \cdot (s_2 \cdot t_1 - s_1 \cdot t_2)} = 1320\ \mathrm{W} .$$

Pro vzájemné porovnání obou modelů a pro porovnání se skutečným sprintem použijeme závislost okamžité rychlosti na uražené dráze. Z kinematických rovnic pro rovnoměrně zrychlený pohyb plyne

$$v = \sqrt{2 \cdot a} \cdot \sqrt{s} .$$

Pro pohyb se stálým výkonem využijeme rovnici (4) a primitivní funkci získanou integrací rychlosti

$$s = \sqrt{\frac{8 \cdot P}{9 \cdot m} \cdot t^3} .$$

Vyloučením času t získáme hledanou závislost

$$v = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P}{m}} \cdot \sqrt[3]{s} .$$

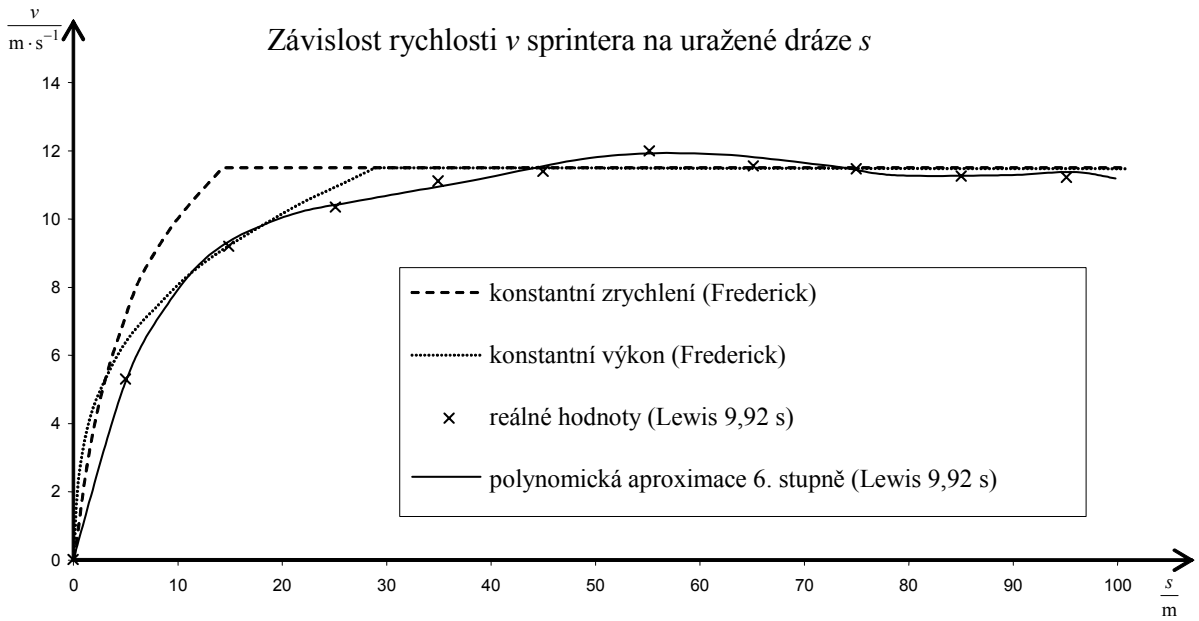
Tedy rychlost při rovnoměrně zrychleném rozbíhání roste s druhou odmocninou dráhy, rychlost při rozbíhání se stálým výkonem roste s třetí odmocninou dráhy.

Jaký je skutečný pohyb sprintera? Lze asi očekávat, že reálnější předpoklad je stálý výkon sprintera, avšak ve skutečnosti se výkon spotřebuje nejen na urychlování, ale též na překonávání odporové síly, která s rychlostí roste. Znamená to, že rychlost bude růst pomaleji než v uvedeném modelu se stálým výkonem.

Jsou i další aspekty, které sehrávají jistou roli. Bezprostředně po startu vzroste výška těžiště sprintera. Dosáhne-li sprinter o hmotnosti 75 kg zvýšení svého těžiště o 80 cm během první

sekundy po startu, je tento děj spojen s průměrným výkonem 600 W. Dále lze očekávat, že výkon sprintera bude souviset s frekvencí pohybu nohou, stejně jako u automobilu, kdy výkon je maximální při jisté frekvenci otáček motoru. Do výkonu je nutno dále zahrnout výkon nutný k pohybu nohou a paží, který poroste s frekvencí.

Zprostředkovaně jsem kdysi z jedněch skript získal kopie grafů analýzy běhu na 100 m z roku 1988 tří světových sprinterů. Jsou to Carl Lewis, Ben Johnson a Florence Jonyerová. (Omlouvám se autorovi skript, že z důvodu mé neznalosti nemohu zdroj citovat.) Dovolil jsem si vybrat graf Lewise, jehož čas 9,92 s v běhu na 100 m je nejbližší času Fredericka. Citovaný graf kromě rychlosti zobrazuje též délku kroku a frekvenci kroků. V analýze je uváděna maximální rychlost běhu $12,04\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, které Lewis dosáhl mezi 50. a 60. m dráhy.



V obrázku je vynesena závislost rychlosti na dráze obou popisovaných modelů běhu a skutečného Lewisova běhu. Ten je znázorněn získanými bodovými hodnotami proloženými křivkou polynomické funkce 6. stupně. Z porovnání je patrné, že věrnějším modelem je pohyb se stálým urychlujícím výkonem, přestože toto porovnání vykazuje nemalé rozdíly. Ty lze vysvětlit již zmíněným zanedbáním složek výkonu sprintera. Je však zřejmá ještě jedna vlastnost. Naše vypočtená maximální rychlost v_m není závislá na způsobu, jakým se sprinter do této rychlosti uvede, přesto skutečná maximální rychlost $12,04\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ se od vypočtené maximální rychlosti $11,49\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ liší. Svědčí to o tom, že ani špičkový sprinter není schopen svoji maximální rychlost udržet až do cíle (možná jsou výjimky) a že předpoklad rovnoměrného pohybu vyjádřený v úvodu tohoto článku vypočtené údaje zkresluje.

Ověření Newtonova vztahu pro odpor vzduchu – aneb k čemu lze použít obyčejný fén

Jakub Balhar, Martin Kahoun, Jiří Kessler, Benjamín Mareček, Gymnázium Jana Nerudy, Praha

Náš kroužek experimentální fyziky 4.A se rozhodl experimentálně ověřit vztah:

$$F = \frac{1}{2} \cdot S \cdot C \cdot \rho \cdot v^2 . \qquad (1)$$

V tomto vztahu je

F odporová aerodynamická síla působící na těleso obtékané tekutinou,
S plošný obsah průřezu kolmý na směr rychlosti,
ρ hustota tekutiny,
v rychlost obtékání a
C tvarový faktor, tzv. *součinitel odporu.*

Tato rovnice, běžně uváděná v učebnicích jako Newtonův vztah pro aerodynamickou odporovou sílu, se dá odvodit jednoduchým způsobem [1]:

Uvažujme rovinnou desku o ploše S, pohybující se vůči tekutině o hustotě ρ ustálenou rychlostí $\vec{v}$ ve směru normály k ploše. Deska přitom uvádí do pohybu tekutinu před sebou stejnou rychlostí $\vec{v}$. Za časový interval Δt deska opíše dráhu $v \cdot \Delta t$, a tak (v idealizované zjednodušené úvaze) uvede z klidu do pohybu tekutinu o hmotnosti $\Delta m = \rho \cdot S \cdot v \cdot \Delta t$ a udělí jí hybnost $\vec{p}$,

$$\vec{p} = \vec{v} \cdot \Delta m = \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \overrightarrow{v^0} \cdot \Delta t ,$$

kde $\overrightarrow{v^0}$ je jednotkový vektor ve směru rychlosti.

Podle principu akce a reakce stejně velkou silou, jakou působí deska na tekutinu, působí opačným směrem tekutina na desku.

$$\vec{F} = -\frac{\vec{p}}{\Delta t} .$$

$\vec{F}$ je zde odpor tekutiny při pohybu desky, resp. tlaková síla proudící tekutiny na nehybnou desku (spojíme-li vztažnou soustavu s pohybující se deskou).

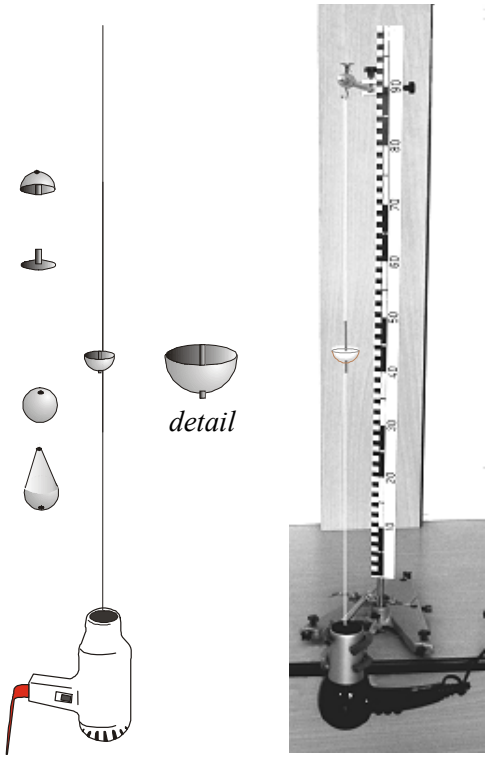
$$\vec{F} = -\rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \overrightarrow{v^0} .$$

Protože úvaha, na základě které jsme provedli výpočet, byla zidealizovaná (objem tekutiny uváděné obtékaným tělesem do pohybu je ve skutečnosti větší a odpor tekutiny závisí i na tvaru tělesa), vstupuje do výrazu pro odpor tekutiny ještě číselný tvarový faktor C, tzv. *součinitel odporu*.

Výraz pro velikost aerodynamické tlakové síly se pak obvykle píše ve tvaru (1).

$$F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 .$$

Tento vztah jsme se pokusili jednoduchými prostředky ověřit pro obtékání kruhové destičky vzduchem. K získání proudu vzduchu jsme použili běžný



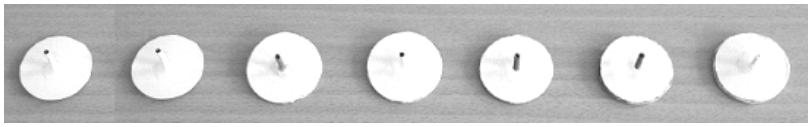
Obr. 1

fén. Z klasických laboratorních stojanů jsme vytvořili asi 2 m vysoký stativ (pro ilustrační foto zkrácený), v jehož spodní části byl upevněn fén. Od jeho ústí jsme svisle napnuli tenké vlákno, které sloužilo jako vedení pro kruhové destičky vystavené tlakové síle proudícího vzduchu (viz obr. 1).

Při prvních pokusech jsme používali jako vodící vlákno tenký pozinkovaný drátek. Fluktuace v proudění vzduchu ale způsobovaly, že i při konstantních podmínkách byla poloha tělesa na drátě silně nestabilní (neustále se pohybovalo s vertikální odchylkou až 10 cm). Tyto fluktuace se podařilo snížit použitím textilního vlákna na polovinu.

K pokusům jsme použili kruhové kotoučky s průměrem 38 mm. (Chceme toto zařízení použít i pro měření součinitele odporu jiných těles, která budou zhotovena z pingpongových míčků o průměru 38 mm).

Slepováním a zatěžováním koleček k sobě jsme získali 7 vzorků o různých hmotnostech. Středem každého kolečka prochází vodící trubička – kousek náplně do propisky, kterou jsme pečlivě vyčistili lihem (viz obr. 2).



Obr. 2

Tab. 1: hmotnosti kotoučků

číslo kotoučku	hmotnost / g	tíhová síla / mN
1	0,62	6,08
2	1,07	10,5
3	2,19	21,5
4	3,20	31,4
5	3,55	34,8
6	7,80	76,5
7	12,02	118,1

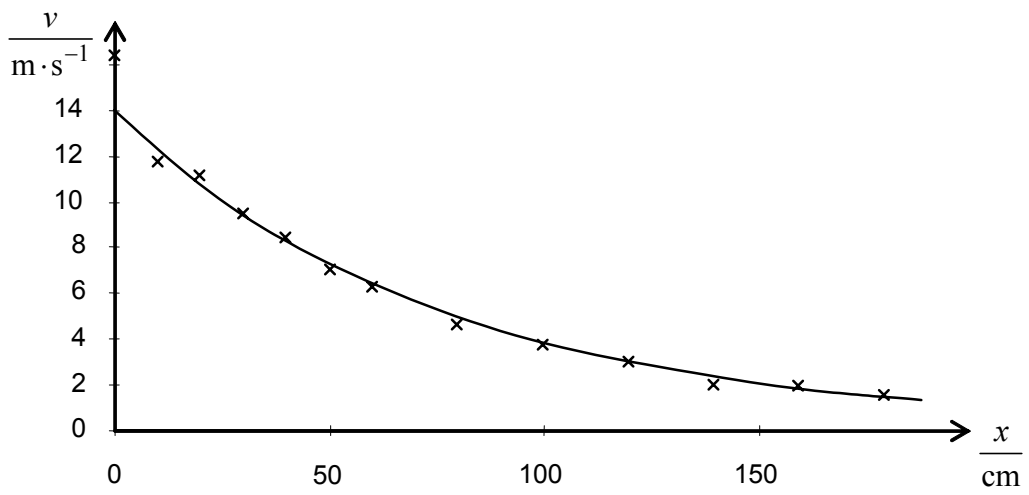
Princip námi zvolené metody je jednoduchý.

Anemometrem změříme velikost rychlosti proudu vzduchu v různé vzdálenosti od ústí fénu. Vystavíme-li pak kotouček dané hmotnosti proudu vzduchu, „ustálí“ se s přijatelnými fluktuacemi v takové poloze, při níž je tlaková síla proudícího vzduchu v rovnováze s tíhovou silou působící na kotouček.

Výsledky měření rychlosti proudu vzduchu v v závislosti na vzdálenosti od ústí fénu uvádí tabulka 2 a graf na obr. 3.

Tab. 2: výsledky měření

vzdálenost od ústí / cm	0	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180
rychlost vzduchu / $m \cdot s^{-1}$	16,4	11,7	11,1	9,4	8,4	7,0	6,3	4,6	3,8	3,0	2,0	1,9	1,6



Obr. 3

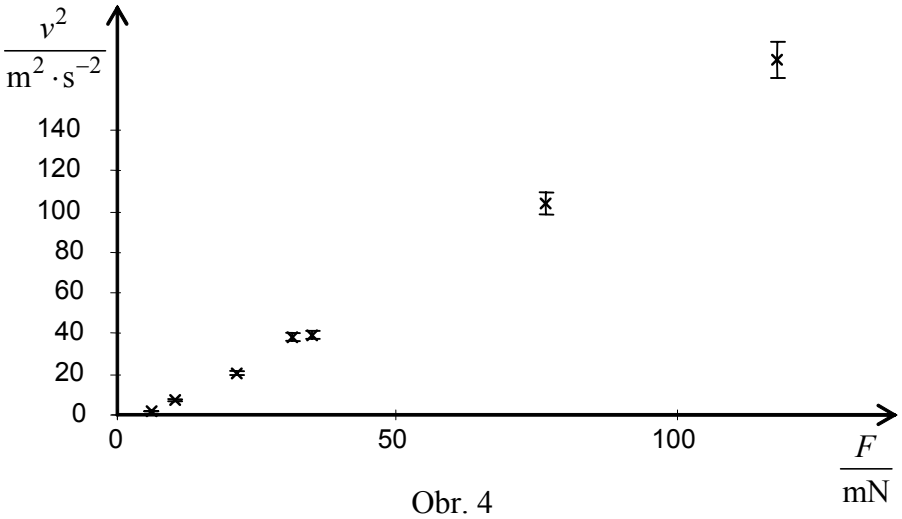
Získaný průběh je, s výjimkou nejbližší vzdálenosti od fénu, blízký exponenciální křivce, pro kterou nám Excel poskytl rovnici $v = 14\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \cdot e^{-0{,}0128\,\mathrm{cm^{-1}}\cdot x}$. Podle tohoto vztahu pro vzdálenost x od ústí fénu v centimetrech vychází rychlost vzduchu v v metrech za sekundu.

Výsledky měření výšek, ve kterých se „ustálil“ kotouček dané hmotnosti, a odpovídající rychlost, přiřazenou uvedenou exponenciální funkcí, popisuje tabulka 3.

Tab. 3

číslo kotoučku	1	2	3	4	5	6	7
vzdálenost od ústí / cm	175	129	90	64	62	25	4
rychlost vzduchu / m·s⁻¹	1,5	2,7	4,5	6,2	6,3	10,2	13,2

Graf na obr. 4 ukazuje závislost čtverce rychlosti na odporové síle $v^2(F)$.



Obr. 4

Linearita grafu na obr. 4 dostatečně průkazně ukazuje, že v námi proměřovaném intervalu rychlostí je Newtonův vzorec použitelný pro popis závislosti odporové síly na rychlosti.

Ze směrnice tohoto grafu $k = \frac{v^2}{F} = 1560\ \mathrm{m \cdot kg^{-1}}$ můžeme ještě odhadnout součinitele odporu C kruhové destičky $C = \frac{2}{\rho \cdot S} \cdot \frac{1}{k} \approx 0{,}9$, což je hodnota, která leží v oblasti hodnot, které jsou pro kruhovou desku uváděny v literatuře.

Chyba měření je ve zcela rozhodující míře dána nepřesnostmi v určení „rovnovážné“ polohy kotoučku. Chyba ve stanovení této vzdálenosti od fénu klesala od pěti centimetrů pro největší vzdálenost až k půlcentimetrové hodnotě pro nejtěžší kotouček. Chybové úsečky v grafu ukazují, že tyto nepřesnosti kvalitativně výsledek neovlivňují.

Nakonec drobná poznámka pro ty, kteří by podobné měření chtěli provádět. Problematické je nastavení svislého vodícího vlákna do osy vzduchového proudu z fénu. Nám se to podařilo nejlépe tak, že jsme vlákno s nejlehčím kotoučkem upevnili do směru, ve kterém kotouček vystoupal do největší výšky.

Literatura:

[1] Vybíral B., Zdeborová L.: *Odporové síly.* MAFY, Hradec Králové 2001.

Úkoly didaktiky fyziky v České republice na začátku 21. století[1]

Ivo Volf, katedra fyziky a informatiky PdF Univerzity Hradec Králové*

Jak by se z názvu naší konference zdálo, je vytváření Rámcových vzdělávacích programů jedním z velmi zásadních problémů soudobého českého školství, a tento problém nutně v nedaleké budoucnosti zasáhne i didaktiku fyziky. To je bezesporu základní informace, z níž bude vycházet řada referujících ve svých příspěvcích, a tedy i leitmotiv našich diskusí. Je to však opravdu jediný a zásadní problém české didaktiky fyziky na prahu 21. století? Pohlédněme poněkud ze širšího hlediska na současný stav výuky fyziky na našich základních a středních školách, a z toho plynoucích některých kroků, jež budeme muset zvládnout jak ve vzdělávání budoucích učitelů fyziky, tak i při zajišťování pomůcek pro uskutečňování základních záměrů ve výuce.

1. Světový rok fyziky

Rok 2005 byl vyhlášen Světovým rokem fyziky. Shodli se na tom nejen pracovníci mezinárodní společnosti UNESCO, ale i zástupci lidí celého světa v Organizaci spojených národů. Důvodem je nejen skutečnost, že právě před sto lety probíhal Einsteinův zázračný rok, v němž se zrodily veliké myšlenky k vysvětlení speciální teorie relativity, k objasnění fotoelektrického jevu a k matematické podpoře teorie Brownova chaotického pohybu. Druhým důvodem je to, že v současné době pronikly výsledky a aplikace fyzikálního poznání do našeho celého života, a to jak do každodenní praxe, tak na bázi využívání fyzikálních a matematických modelů pronikají výsledky fyziky do dalších přírodovědných disciplín a stávají se tak odrazovým můstkem pro další rozvoj tohoto poznání. Pochopení této nové situace, která se neustále rozvíjela během dvacátého století a umožnila velký pokrok ve všech přírodovědných oblastech a v technice, umožňuje pochopit nesmírný význam fyzikálního poznání pro pokrok lidstva a současně důležitost fyzikálního vzdělávání pro osobnostní vývoj člověka moderní doby. Pochopení významu fyziky pak činí z vyučovacího předmětu fyzika na střední nebo na základní škole disciplínu s nesmírným významem pro výchovu člověka, zdůrazňuje humanitní charakteristiky, jež se při pohledu z technokratického hlediska nedají vysledovat. Dosažení tohoto náhledu na fyzikální vědu a na výuku fyziky by mělo dalekosáhlé důsledky i pro nové postavení předmětu fyzika.

2. Ústup zájmu žáků o fyziku

V posledních dvou desetiletích, v České republice pak v devadesátých létech, nastal v Evropě všeobecně značný ústup zájmu žáků o fyziku. Na vině je řada činitelů, snižování celkového počtu vyučovacích hodin věnovaných fyzice a z toho plynoucí uspěchanosti ve výuce fyziky na straně jedné a posilování tzv. humanitních vyučovacích předmětů, mezi něž údajně fyzika nepatří, na straně druhé. Při řešení evropského projektu SEE (Science Education in Europe), jehož řešení se účastnila i skupina pracovníků z České republiky, jsme dospěli k závěru, že v podstatě všechny evropské státy se musí s tímto ústupem zájmu dětí od fyziky vyrovnávat. Na jedné straně se to projevuje nižšími úspěchy evropských dětí v celosvětových fyzikálních soutěžích, na druhé straně úpornou snahou všech evropských vzdělávacích systémů hledat cesty, jak tento trend zastavit a nacházet pozitivní, efektivní řešení. Je logické, že toto řešení musí vycházet ze strany učitele fyziky a z didaktického zpracování fyzikální problematiky tak, aby postoj žáků k fyzice byl posilován a vytvářen tak základ k rozvoji zájmu žáků o fyziku. Česká didaktika fyziky, ale i školská administrativa proto připravily několik možností

[1] článek je zkrácenou verzí příspěvku, který byl přednesen na konferenci Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2, Srní 2005.

* ivo.volf@uhk.cz

k tomu, aby se fyzikální problematika stala vítanějším soustem při výuce i při mimoškolních činnostech. Zaměřujeme se na přípravu učitelů, aby byli schopni se touto problematikou aktivně zabývat a tak dostávají k dispozici již během vysokoškolského studia řadu námětů pro tuto činnosti. Mnoho se udělalo i pro to, aby se výuka stala zajímavější. Byly vytvořeny nové série učebnic fyziky, zejména pro základní školu, které kritériu zajímavosti výuky napomáhají. A především – bohatá je mimoškolní činnost nejen v oblasti fyziky, ale i v oblasti dalších přírodovědných předmětů, které staví na kladném postoji žáků a přitom dostatečně rozvíjejí zájem žáků o přírodovědnou problematiku.

3. BOJ ŠKOLSKÉ FYZIKY O PŘEŽITÍ

Sledujeme-li vývoj učebních plánů za posledních patnáct let, zjišťujeme, že se podstatně změnila struktura vyučovacích předmětů a jejich místo v celkovém pohledu na vzdělání na základní škole nebo na škole střední. Nejnápadnějším rysem, který můžeme pozorovat, je stále větší zdůrazňování humanitního vzdělávání a ústup vzdělávání přírodovědného a technicky i prakticky zaměřených vědomostí a dovedností. Porovnáme-li učební plány např. z roku 1925, uvedené v zákoně o střední škole, a plány nynější, potom zjišťujeme, že na normální chlapecké střední škole bylo na nižším stupni zařazeno 2h + 3h fyziky, 3h chemie a 2h + 2h + 2h biologie, na škole dívčí byl počet zařazených vyučovacích hodin pro přírodovědné předměty o něco nižší; důvodem byl poněkud jiný počet hodin tzv. ručních prací, zařazených pro chlapce v prvních dvou ročnících po 2h, ale na dívčí škole po dobu čtyř let po dvou hodinách. Dnešní stav je skoro stejný – počet vyučovacích hodin v jednotlivých schválených programech dosahuje v oblasti základního vzdělání minimálně 6h týdně pro fyziku a biologii, pro chemii 4h týdně. V osmiletém gymnáziu je situace na nižším stupni veselejší – fyzika a biologie jsou zařazeny po dobu čtyř let v rozsahu 8h týdně celkově, chemie pak po dobu tří let v rozsahu 6h týdně celkově. Situace na vyšším stupni gymnázia je obdobná: na chlapeckém gymnáziu byla fyzika zařazena v rozsahu 2h + 4h pro větev duchovědnou, 2h + 4h + 4h pro větev přírodovědnou a větev matematickou, jež mohly být zařazeny v posledním ročníku gymnázia (v oktávě).

Dnešní stav na vyšším stupni gymnázia je znám – povinně se vyučuje fyzika v 1. až 3. ročníku v rozsahu 2h + 2h + 2h týdně. Co znamená hodinový rozsah výuky 6h týdně? Při 33 týdnech ve školním roce je celkový počet vyučovacích hodin, věnovaných fyzice na nižším i na vyšším stupni povinných 200 hodin. V těchto vyučovacích hodinách by se mělo fyzikální učivo vhodně motivovat, vyložit základní problematika, vhodně procvičit, učitel by měl konat pokusy ilustrující výklad, nemělo by se zapomenout na řešení fyzikálních úloh, na provedení laboratorních prací. A kde potom vzít čas na nutné hodnocení a zkoušení, historické motivace, zajímavosti, experimenty, jež dělají z fyziky disciplinu praktickou a zajímavou, …? Pomineme přitom „zlatý věk školské fyziky“, kdy na gymnáziu byla fyzika zařazena v rozsahu 8h týdně v humanitní třídě a 13h až 16h ve třídě přírodovědné či matematicko-fyzikální, kde bylo možné třetinu vyučovacích hodin věnovat na laboratorní práce. V programu Obecná škola je dokonce věnováno fyzice či biologii jenom 5h týdenních (a chemii 3h týdně) s poznámkou, že ředitel školy může jednu vyučovací hodinu přidat buď fyzice jako samostatnému předmětu, nebo zajistit výuku tzv. předmětu integrovanému, umožňujícímu syntézu přírodovědných poznatků, což je sice čin chvályhodný, ale neměl by se uskutečňovat na úkor výuky jednotlivým předmětům.

Učební plán související se zákonem o střední škole, jenž schválilo Národní shromáždění Československé republiky v roce 1925, obsahoval velmi širokou škálu předmětů a poskytoval svým absolventům velmi dobré vzdělání. Uvědomme si však, že od té doby uběhlo 80 let. Před nedávnou dobou se tvrdilo, že fyzika patří mezi ty disciplíny dvacátého století, u nichž se počet poznatků zdvojnásobuje každých deset let; to tedy znamená, že poznatková základna fyziky a jejích aplikací se mezitím zvětšila $2^8 = 256$krát, ale počet vyučovacích hodin věnovaných výuce fyzice se takřka nezměnil. To představuje obrovskou výzvu pro didaktiku fyziky: jak změnit

výuku fyziky, aby plnila požadavky společnosti a současně maximálně využila minimálnímu času, přidělenému pro její výuku. Když se to podaří, můžeme si být jisti, že výuka fyziky na základních a středních školách se stane integrální součástí všeobecného vzdělání, a to nejen slovy, ale ve své reálné podobě: bude poskytovat vhodné modely pro jejich aplikaci při vysvětlování jevů a dějů v přírodě a v technice.

Součástí boje o přežití školské fyziky bude tedy stanovení zcela nového základního cíle výuky fyziky a současně i nové strategie jeho dosažení. Když jsem začínal vyučovat před 45 lety, tvrdilo se, že úkolem (středo)školské fyziky je připravit žáky dobře pro jejich následné studium na vysoké škole, tedy dát jim dobré předpoklady pro pochopení fyzikální vědy. Později se změnil tento základní cíl na požadavek připravit žáky na pochopení fyzikálního obrazu světa; řečeno dnešním jazykem umožnit jim pochopení jednoduchých fyzikálních modelů obklopující reality. Dnes si klademe za úkol naučit žáky tvořivým způsobem získávat fyzikální poznatky z reality, vhodně je strukturovat a následně je tvořivě využívat při řešení fyzikálních problémových situací. To však je poněkud jiný cíl, než si před sebe staví fyzikální vědy. Musíme tedy zdůraznit pravdivý přístup dvojího pohledu na svět, jak nám ho prezentuje vědecký systém fyziky a didaktický systém fyziky, o němž se zmiňuje Fenclová a Kotásek ve své jedinečné publikaci, která otevřela cestu vědeckému poznání v oblasti didaktiky fyziky.

4. VÝUKA FYZIKY VE SVĚTLE RÁMCOVÝCH VZDĚLÁVACÍCH PLÁNŮ

Bílá kniha českého školství naznačila směr dalšího vzdělávání v České republice. Navazuje na analýzy, které byly uskutečněny v poslední dekádě dvacátého století a jež připravily půdu pro vytvoření perspektivy české vzdělávací soustavy. Jednou z vůdčích myšlenek je větší individualizace vzdělávání, vedoucí ke skutečnosti, že jednotlivým školám je otevřena cesta pro tvořivé vytváření učebních plánů, pro vlastní uspořádání učiva i pro realizaci vzdělávání. Rigidnost ministerstvem vydávaných učebních materiálů vedla učitele zejména základních škol v poslední době k tomu, že se uskutečňovaly na školách experimenty, jež však narážely právě na tyto institucionálně dané předpisy. Na druhé straně úplná libovůle při uskutečňování záměru našeho školství možná není. Osobně v tom vidím určitý spor mezi záměry jednotlivých schopných učitelů, kteří byli omezováni ve své tvořivosti školskou administrativou, a dlouhodobou neschopností ministerstva vytvořit odborné skupiny z didaktiků a zkušených učitelů, které by připravily sice rámcové, avšak dostatečně precizně vyjádřené požadavky na výuku jednotlivým předmětům a na nacházení jejich vzájemných souvislostí s jednotným cílem: komplexní výchovy absolventa jednotlivých výchovně vzdělávacích stupňů naší školské soustavy. Co se tedy nepodařilo za patnáct let naší školské administrativě, bylo teďka hozeno na krk jednotlivým školám, jež si budou vcelku amatérsky vytvářet své vzdělávací programy, do nichž vtisknou jednak vágně vyjadřované integrální požadavky, jednak své individuální nápady, jimiž se budou od sebe jednotlivé školy odlišovat. Málokdo si však uvědomuje, jaké důsledky budou tyto skutečnosti mít. Uvedu příklad ze současnosti: jako dlouholetý pracovník ve fyzikální olympiádě se v posledních deseti letech zabývám vytvářením soustav úloh pro tuto soutěž v oblasti soutěžících ze základních škol. Volnost ve vytváření učebních plánů podle programů k uskutečňování základního vzdělávání (základní škola, obecná škola, národní škola), libovůle při stanovení počtu vyučovacích hodin fyziky v jednotlivých ročnících (s cílem splnit požadavek minimálního celkového počtu 6 týdenních hodin uspořádání výuky fyziky silně variuje, a tím se také jednotlivé kapitoly fyziky na základní škole probírají v různém pořadí, že jsme byli nuceni ustoupit od zadávání úloh pro kategorie soutěže na základní škole a připravujeme jen soubor úloh pro tyto soutěžící s tím, že konečný výběr problémů provádí učitel na konkrétní škole podle toho, jaké uspořádání učiva zvolil právě on. To však jde o předmětovou soutěž dobrovolných řešitelů, kteří si v nejhorším danou kapitolu sami dostudují. Jak však budou na volné uspořádání fyziky v rámcových plánech reagovat rodiče migrujících žá-

ků, jak zajistíme, že všichni žáci projdou základní problémy fyziky, potřebné pro další návaznost na školách středních?

Vzdělávací programy – to je obrovská výzva pro speciální didaktiky jednotlivých školních vyučovacích předmětů i pro hledání vzájemných souvislostí a vytváření integrálního pohledu žáků na svět. Podle mého názoru není možné, abychom se tvářili, jak obrovské tvůrčí pole jsme poskytli jednotlivým školám při jejich bezbřehé kreativní činnosti. I když každé přirovnání pokulhává – nelze před každý závod předložit úkol vytvořit elektromotor a nezadat zásadní parametry, s nimiž je nutno pracovat. Dávám k diskusi následující postup, který by měl předcházet a zamezit tak rozsáhlému hazardování s tvořivostí učitelů a nižší školní administrativy (jež představuje vedení jednotlivých škol). Vyšší školní administrativa – odbory školství na krajských úřadech, eventuálně ministerstvo školství bude bezpochybně udělovat schvalovací doložky jednotlivým školním vzdělávacím programům, bude vracet nevyhovující programy k přepracování, a teprve po získání schvalovací doložky bude škole umožněno podle svého vzdělávacího programu pracovat. Druhou cestou bude skutečnost, že se najdou (privátní) společnosti, jež na zakázku budou vytvářet poněkud od sebe odlišené, leč přesto na sebe podobné vzdělávací programy, čímž se zcela popře základní smysl těchto programů – podpora tvořivosti učitelů, z nichž zajisté tyto záměry vyšly. A konečně se ukáže, že bude nejvýhodnější pro mnoho škol převzít určitý základní model, jež vytvoří profesionálové – zařízení pedagogické informační soustavy. Protože již řadu let pracuji také na soukromé střední škole, která si takové programy postupně tvoří, vím, jak obtížné to je a kolik úsilí vytvoření programu stojí. Aby školní vzdělávací programy byly na určité úrovni, jež naše – v Evropě kdysi velmi uznávaná – vzdělávací soustava požaduje, bude nutno, obdobně jako je to v oblasti vysokoškolského vzdělávání, vytvořit jakési malé „akreditační komise“ na úrovni jednotlivých krajů, jež budou tyto programy schvalovat a následně ověřovat, zda se podle nich na školách skutečně pracuje. Zaměstnáme tak řadu zkušených učitelů, pro něž kvůli snižující se populaci nebudeme mít umístění. Doufám jen, že slyším trávu růst… Cesta, která se mi zdá reálná a která umožní určitou individualizaci pro školy, jak podle svých možností přistupovat ke vzdělávání svých žáků, však podle mého názoru skutečně existuje, ale před její konkrétní aplikací je nutno splnit dva velmi zásadní úkoly:

- vytvořit skutečné standardy výuky jednotlivých předmětů tak, aby bylo jasné, co konkrétně se musí žák v určitých etapách vzdělávání naučit, které poznatky musí vědět a které dovednosti musí zvládnout, a následně najít zcela konkrétní postupy, jak ověřovat, že tyto poznatky se staly majetkem žáků, a to jednotným zadáváním státem kontrolovaných testů, jejichž absolvování bude povinné pro postup do další etapy (jde např. o trivium během 1. až 3. ročníku základní školy, po 5. ročníku, po 7. ročníku, po 9. ročníku = závěrečná zkouška),
- z toho plynoucí upřesnění obsahových požadavků na žáky v jednotlivých ročnících, popř. ve dvouletých cyklech podle výše uvedených etapách kontroly standardů; tak by se přece jen udržela určitá kontinuita poznání žáků, jež požadujeme ve společnosti, jejíž členové daleko více než dříve budou muset migrovat za prací, a to i s celou rodinou.

Na základě rigidněji postavených požadavků už může vedení školy stanovit svůj školní vzdělávací program, do něhož zahrne i své speciální možnosti při poskytování školního vzdělání. Pro nás – didaktiky – to bude znamenat jednak vodítko při vytváření didaktických materiálů, jednak uskutečnění možností vzájemného porovnávání výsledků školní práce žáků, jak se to od dob V. Příhody sice neustále požaduje, ale přece jen ještě po celých osmdesát let neuskutečnilo. Pro pracovníky speciálních didaktik jednotlivých předmětů by to představovalo jeden rok pilné práce, doplněné ne všenárodní diskusí, ale řadou konzultací uspořádaných při setkáních se zkušenými učiteli, ale i využití mnoha prací, jež už v tomto směru byly vyhotoveny. Dokonce si myslím, že kdyby Ministerstvo zaměstnalo na částečný úvazek zkušené pedagogy nyní již v důchodu, a k nim připojilo speciální didaktiky pracující na vysokých školách nebo v pedagogic-

kých informačních centrech, potom při použití elektronických metod vzájemné spolupráce by to netrvalo ani tak dlouho a bylo by to značně levnější než systém neustálého vracení neschválených školních vzdělávacích programů k přepracování.

5. JAK OBTÍŽNÉ JE SESTAVENÍ STANDARDŮ?

Před pěti lety byly ustaveny Ministerstvem pracovní skupiny, v nichž pracovali jednak didaktikové fyziky, jednak odborníci z pedagogické praxe. Výsledkem několikaměsíční činnosti byly Katalogy požadavků ke státní maturitní zkoušce, jež prošly dvojnásobnou širokou diskusí a jež zatím čekají na využití. Když jsem přemítal o jejich obsahu, dospěl jsem k závěru, že se vlastně podařilo vytvořit to, co se po Ministerstvu požadovalo již od roku 1990 – stanovit výstupní požadavky = standardy. Některé z nich, například právě fyzika, mají jen jednu znalostní úroveň A (= advanced), protože se jednalo o volitelný maturitní předmět. K nim by bylo třeba vytvořit ještě onu základní úroveň B (= base) vhodným snížením požadavků. Stejný postup potom lze užít i u těch předmětů, jež se staly povinnými a pro něž bylo třeba tyto dvě úrovně stanovit ihned. Pochopitelně je třeba doprovodit tyto požadavky příklady zkoušek, jimiž se dosažení úrovně bude ověřovat (v gymnaziální fyzice vznikly materiály od Lepila, Macháčka).

Obdobná situace je i v oblasti přírodovědného vzdělávání na základní škole, kde pracovala po několik let skupina R. Kolářové, uskutečnilo se několik celorepublikových setkání s učiteli přírodovědných předmětů na základních školách a na nižším gymnáziu – a opět je zde velmi cenný didaktický materiál, který čeká na širší využití. Také zde je třeba zapracovat a vytvořit soustavu úkolů pro hodnocení dosažení těchto cílů.

Je zde ještě jeden problém – jak vytvořit vhodný nadstandard, kterým by byly saturovány požadavky žáků, talentovaných pro daný předmět. Zde lze využít desetiletých zkušeností, jež mají organizátoři předmětových soutěží, vyhlašovaných Ministerstvem pro základní i pro střední školy (v tomto případě by nebylo nutné tyto standardy atomizovat na malé etapy, ale formulovat je globálněji); organizátoři mají k dispozici například ve fyzice mnoho studijních materiálů, jež rozšiřují výuku zejména na střední škole podle zájmu soutěžících.

6. A CO NA TO UČEBNICE FYZIKY?

Domnívám se, že pro současnou výuku fyziky na základních školách i na gymnáziu máme dostatek učebnic. Pro základní školu se používají učebnice standardní − Kolářová aj., Macháček, Lustigová, Rojko, Tesař, Rauner aj. – takže učitelé mají dostatečný výběr. Některé z nich jsou vhodnější spíše pro žáky, jiné poskytují řadu námětů pro vyučující. Některé z nich jsou doplněny o další metodické materiály, jako metodické příručky pro učitele, pracovní sešity pro žáky, ale také o náměty pro hodnocení výsledků práce žáků. Poněkud horší je to s náměty pro laboratorní činnost žáků, vybaveností pro počítačovou obslužnost (materiály zejména pro učitele, i když takové pomůcky také existují), na školách není dostatek učebních pomůcek pro frontální práci žáků a někdy i pro kvalitní demonstrační experimenty, o něž by se výklad v učebnicích, popř. náměty pro konkrétní činnost žáků mohly opírat. Učebnicová vybavenost pro výuku fyziky na základní škole je tedy dostatečná, chybí spíše ve větší míře materiály pro žáky – pracovní sešity, materiály pro sebehodnocení, materiály pro rozšiřování a prohlubování učiva, a to podle úrovně a zájmu samotných žáků. Zde by bylo vhodné připravit databázi materiálů z konkrétní výuky fyziky na základní škole na některé internetové stránce, umožňující učiteli fyziky vhodnou volbu podle konkrétní situace v jeho třídách. Ale i to je v dnešní době vcelku možné a účelné. Problémem zůstává skutečnost, jak bude možno tyto materiály využívat poté, co se rozplyne jednotný systém výuky fyziky, jak ho známe nyní. Bude možno více využívat E-learningu a „šít učebnice na míru“ pro každého žáka a podle přání každého učitele? Nebylo by opravdu vhodnější přece jen určitým způsobem etapizovat fyzikální vzdělávání a využívat účelně již zhotovených učebnic a dalších materiálů?

Zatímco specialitou výuky fyziky na základní škole je určitá možná variabilnost v pořadí jednotlivých témat školské fyziky, na gymnáziu více panuje systém vzdělávání a princip možné a nutné návaznosti, jejichž porušení vedlo vždy v minulosti k určitým problémům (jde o určité ustálené pořadí témat školské fyziky, jež zaručuje vzájemnou návaznost). Proto vystačíme zatím s jednotnou soustavou učebnic (uvážíme-li vhodnou Svobodovu příručku Přehled středoškolské fyziky, kterou jsem používal v humanitních třídách gymnázia, potom máme dva systémy učebnic), je zpracován i soubor řešených úloh z fyziky pro střední školy, sbírka úloh, testy, maturitní zkušební materiál. Vzhledem k tomu, že učebnice fyziky pro gymnázium byly vydány nakladatelstvím Prometheus jako oddělené svazky podle velkých témat školské fyziky (existuje osm učebnic), bude se zde jednat spíše o vytvoření soustavy cvičebnic k uvedeným učebnicím, v nichž by žáci gymnázia dostali dostatek námětu pro samostatnou činnost jak organizovanou přímo ve škole, tak také pro práci domů; v tomto směru máme ještě řadu nedostatků, včetně pracovních listů nutných k organizaci této samostatné činnosti jak na bázi řešení teoretických problémů, tak také pro řešení školních i domácích experimentů.

7. NĚKTERÉ DALŠÍ DIDAKTICKÉ PROBLÉMY

Výuka fyziky nezačíná na zelené louce, ale staví jednak na základě osobních zkušeností žáků z jejich soukromého života (fyzikální poznatky obklopují žáky v domácnosti, při sportu, ve volném čase, ale také ve výuce dalším předmětům, například fyzikálního zeměpisu). Již třicet let jsou fyzikální poznatky zařazovány také do výuky předmětu Přírodověda na nižším stupni základní školy. Tyto poznatky – jež bychom mohli nazvat stručně jako prefyzika – jednak shrnují individuální zkušenosti žáků, jednak jsou upřesněním jejich intuitivního poznání, ale ve škole nabývají charakter náplně učebního předmětu, který je založen právě na výkladu záměrných experimentů učitele a zkušeností žáků. Prefyzika má nesmírný význam pro rozvoj dalšího fyzikálního poznání a učitel fyziky by měl všemožně podporovat její rozvoj, neboť právě z ní může učitel fyziky nejlépe vycházet.

Na druhé straně stojí integrovaná výuka na závěr fyzikálního poznání, a to jak v 9.ročníku základní školy, tak na závěr středoškolského studia na gymnáziu v některém ze seminářů, poskytujícím integrované poznání (např. seminář z astrofyziky, seminář z ekologie nebo enviromentalistiky, seminář z geofyziky, seminář z mineralogie či geologie). Osobně se domnívám, že integrovaná výuka poskytuje na základní úrovni nedobře propracovaný systém poznatků, ale dává žákovi globální pohledy; proto se integrované přírodovědy na základní škole více méně obávám, protože neumožňuje získat systematické poznatky v jednotlivých vyučovacích předmětech. Na druhé straně preferuji tento integrující pohled zejména na závěr studia, a to jak v rámci samotné fyziky (např. zmíněná astrofyzika), ale i v oblasti několika přírodních věd (v mineralogii se spojují poznatky z fyziky se znalostmi z chemie, neživé biologie, ale i fyzického zeměpisu, techniky aj.).

V závěrečné etapě vzdělávání na základní škole nebo i na gymnáziu zdůrazňuji velký význam tzv. komplexních úloh, k jejichž řešení je třeba vědomostí a dovedností z několika oblastí fyziky nebo i mezipředmětových vztahů, k volbě nebo vytváření modelů, k volbě hypotéz. Takové příležitosti poskytují úlohy zařazované do fyzikálních soutěží, jako je Fyzikální olympiáda, Turnaj mladých fyziků aj. Bylo by vhodné vytvořit sbírku komplexních úloh pro zájemce o fyziku, a to na úrovni absolventů základní školy, dále na úrovni absolventů části gymnázia (po 2. nebo po 3.ročníku). V neposlední řadě chci jmenovat integrované projekty (například projekty maturitní, projekty řešené v rámci středoškolské odborné činnosti, projekty představované v rámci mezinárodní soutěže First Step aj.). Žák zejména střední školy tam zúročí své vědomosti a dovednosti získané v několika vyučovacích předmětech a v různých oblastech lidské činnosti. Neměli bychom se však bát svěřovat řešení integrovaných projektů ani žákům základní školy – z výuky na gymnáziu máme dobré zkušenosti se závěrečnými

pracemi na konci kvarty (= devátý ročník studia), a to včetně velmi důmyslného využívání prostředků informatiky.

8. Co na to učitel fyziky a co pro něj jsme schopni udělat?

Na jedné straně musíme vyjít z myšlenky, že fyzika je velmi kreativní věda, takže umožníme-li učiteli, aby ji předával žákům tvořivým způsobem, měl by volbu školního vzdělávacího programu přivítat – může si navrhnout vlastní postup při organizaci výuky, a to včetně časového i obsahového rozložení učiva. Na straně druhé nastanou problémy v tom, že učitel fyziky musí navázat na výsledky práce ostatních vyučovacích předmětů, zajistit koordinaci vědomostí a dovednosti žáků v různých, zejména přírodovědných předmětech, musí se podřídit té volbě uspořádání výuky, která bude na škole preferována. V rámci motivace a aplikace fyzikálních vědomostí bude muset znát i obsahovou náplň dalších předmětů, bude se muset ponořit do celkové struktury školního vzdělávacího programu. Tvořivost při tvorbě, kterou vzdělávací programy měly především podporovat, bude omezována možnostmi jejího uskutečňování. Navíc ne každý učitel bude schopen tyto programy vytvářet. Bude tedy učitel fyziky nadšen možnostmi vytvářet školní vzdělávací program a současně respektovat obecnější pohledy rámcových programů? Nebo je povinností nás, didaktiků fyziky, mu poskytnout všemožnou pomoc, aby ho tato činnost (doprovázená několikerým vracením návrhů programu) neotrávila ještě více než dosavadní systém přesných učebních plánů, osnov a sledu učiva v učebnicích? Odpověď na tyto otázky budeme moci dát až poté, co se učitelé do takovéto činnosti dají.

Můžeme však učitelům účinně napomoci. Pod naším vedením mohou na několika fakultách v republice konat učitelé z praxe rigorózní zkoušky z teorie vzdělávání ve fyzice, vloni byla Akreditační komisí schválena další tři pracoviště, kde se dá studovat doktorský studijní program Teorie vzdělávání ve fyzice. Především zde by mohli zkušení učitelé z praxe, po konzultacích s didaktiky fyziky, připravit materiály, jež by se staly skládankou pro vytváření školních rámcových programů. Bylo by vhodné, abyste se vyjádřili k této myšlence. Samozřejmě, mnoho by pro vytváření těchto programů mohly udělat publikované osobní zkušenosti učitelů fyziky, kteří by se nebáli své názory publikovat na stránkách didaktických časopisů. Diskuse v kabinetech fyziky nebo ve sborovnách poskytují jen malou platformu na výměnu zkušeností. Velkou pomůckou by mohla být také veřejná diskuse na internetové stránce některé z kateder fyziky a didaktiky fyziky.

9. Nadstandardní činnost žáků a její postavení v současné škole

Když jsme zpracovávali závěrečnou zprávu k úkolu Science Education in Europe koncem roku 2004, provedli jsme kompletní mapování nadstandardní činnosti, kterou poskytuje naše školství pro žáky, talentované pro oblast přírodovědného poznání. Zaměřme se nyní jen na výuku fyziky a činnosti s ní související. V Bílé knize se hovoří o tom, že pro péči o žáky, talentované pro fyziku, existuje v České republice řada příležitostí. Smutné však je, že většina z nich je spojena s mimoškolní aktivitou žáků, i když s ohledem na působení školy nebo vyučujících fyziky (včetně působení vysokoškolských učitelů a studentů na středoškoláky).

V letošním školním roce probíhá 46. ročník Fyzikální olympiády. Jde o soutěž, která dává možnosti soutěžit v řešení náročnějších fyzikálních problémů, než jsou běžné školní fyzikální úlohy, žákům 7. až 9. ročníků základních školy a všem žákům středních školy (i když se jí účastní ze středních škol hlavně žáci gymnázií). Na národní soutěž navazuje Mezinárodní fyzikální olympiáda, jejíž již 36. ročník proběhne letos ve Španělsku za účasti pětičlenných družstev nejméně 72 států z celého světa. Druhou významnou soutěží je Turnaj mladých fyziků, který probíhá letos již po osmnácté. Je určen pětičlenným družstvům, v nichž se soustřeďují žáci s velmi vysokým zájmem o odbornou práci ve fyzikální problematice. Jde o týmovou práci, která je obvyklá při vě-

decké činnosti, a také o obhajování výsledků výzkumné činnosti. Na národní soutěž navazuje Mezinárodní Turnaj mladých fyziků, který letos proběhne ve Švýcarsku. Každoročně již po 27 let probíhá Středoškolská odborná činnost, které se účastní žáci různých středních škol v 17 odborných kategoriích, včetně fyziky. Také tato soutěž má v oblasti fyziky mezinárodní pokračování – First Step to Nobel Prize in Physics, jež organizuje každoročně Institut fyziky Polské Akademie věd. Astronomická olympiáda probíhá letos druhým rokem a je určena žákům základních škol; i tato soutěž má mezinárodní pokračování, jehož se zatím naše republika neúčastní, neboť mezinárodní kolo je určeno pouze středoškolákům. Již po dva roky je pořádána Evropská soutěž v Sciences (= přírodovědě) pro žáky základních škol, v tomto školním roce byla uspořádána světová soutěž pro středoškoláky v Indonézii.

Nadstandardní činnost se tedy odehrává převážně v rámci mimoškolních aktivit, vyžaduje značné úsilí jak po soutěžících, tak i po organizátorech. Jednotlivé soutěže jsou zpravidla vyhlašovány z pozice Ministerstva jako vyhlašovatele, organizátora a také s jeho finančním zajištěním, ale po odborné stránce se na těchto soutěžích podílejí odborné organizace, jako např. Jednota českých matematiků a fyziků.

10. A ZÁVĚREM – CO NA TO DIDAKTIKA FYZIKY?

Řešení problémů, jež jsou spojeny se zaváděním rámcových a školních vzdělávacích plánů, jsou v podstatě základními úkoly didaktiky fyziky začátku 21. století: jde o to, abychom se vyrovnali s úkolem, který před nás předložila společnost. Před jeho přijetím je nutno zvážit, zda daný úkol je nejen reálný, ale také zda má své opodstatnění. Nelze přijímat úkoly bez dostatečného vnitřního přesvědčení o jejich správnosti. Každý takový úkol, který vede k praktickému řešení, nemůže být prezentován jen na hypotetické úrovni – musí být splněn konkrétně, a to na všech jeho úrovních. Konkrétní rozpracování potom vede i k rozvoji teoretického základu didaktiky. Ve své práci Didaktiky – vědy či nevědy − jsem se snažil ukázat postavení jednotlivých speciálních didaktik přírodovědných disciplín v soustavě našeho poznání, včetně názorů, jež na didaktiky mají odborní pracovníci ve vědách. Zatímco např. experimentální či teoretická fyzika je bezesporu vědeckou disciplínou, zatímco aplikace fyzikálního poznání do praxe, do různých oblastí přírodovědy či techniky se za vědu běžně považuje, je tzv. pedagogická fyzika, jak ji rád nazývá Martin Černohorský, brána spíše jakožto umění, dovednost vyložit fyzikální problematiku jiným (ať dospělým či mládeži) se za vědu nepovažuje i přesto, že každý vědecký poznatek, který není společnosti sdělen, nemůže být za vědecký považován, každá vědecká práce musí být vyložena a obhájena před vědeckým kolektivem…, jenom výklad před „nevědci“ není za vědeckou činnost považován.

Víme však, že kritériem vědy není jen publikování práce v odborném časopise, který je světovou vědeckou komunitou uznáván, nejen prezentován referátem, sdělením nebo posterem na konferenci vědeckých pracovníků, nejlépe na světové úrovni. Kritériem vědecké práce je především čistota myšlení, analýza problému, proces volby, odmítání nebo přijetí hypotéz a současně následná kontrola výsledků s realitou…Vědeckou cestou musí pracovník dospět k relativně novým poznatkům, objevit nové přístroje, nové metody, … Věda se musí dělat, nejen čekat, až někdo příslušnou činnost za vědu označí.

Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2
(Rámcové vzdělávací programy)

Karel Rauner, Fakulta pedagogická ZČU v Plzni*

Ve dnech 28. až 30. dubna 2005 se 80 účastníků zamýšlelo nad aktuálním problémem současného školství – zaváděním „Rámcových vzdělávacích programů“ do základních a středních škol. Akce se konala v rámci Mezinárodního roku fyziky 2005.

Konference, kterou zorganizovala katedra obecné fyziky Fakulty pedagogické ZČU v Plzni ve spolupráci s plzeňskou pobočkou Jednoty českých matematiků a fyziků, se uskutečnila pod záštitou rektora ZČU doc. Josefa Průši, který také konferenci zahájil. Význam souvislostí „Mezinárodního roku fyziky“ se zaváděním „Rámcových vzdělávacích programů“ (RVP) do škol zdůraznil v úvodním vystoupení předseda Jednoty českých matematiků a fyziků doc. Štefan Zajac. Důvody vzniku RVP, formy a způsob zavádění do škol zdůvodnil RNDr. Jan Maršák z Výzkumného ústavu pedagogického v Praze. Psychologické aspekty ve vzdělávání fyzice shrnula ve svém vystoupení děkanka Fakulty pedagogické ZČU doc. Jana Miňhová.

V dalších příspěvcích (ať už při společném jednání či v sekcích pro základní, střední a vysoké školy) i při diskuzi si postupně účastníci vytvářeli představu o tom, co vyučování fyziky v příštím období čeká. Jsme přesvědčeni, že především vystoupení zástupců pilotních škol, na kterých se RVP zavádí a rozpracovává do „Školních vzdělávacích programů“ (ŠVP) – Mgr. Michala Zoubka z 28. základní školy v Plzni a Ing. Drahomíry Rancové z gymnázia v Rokycanech – přesvědčilo většinu účastníků o významu RVP a schůdnosti zavádění ŠVP na našich základních a středních školách.

část předsednictva konference při úvodním vystoupení předsedy JČMF doc. Zajace (zleva předseda pobočky Plzeň JČMF RNDr. Miroslav Lávička, Ph.D., proděkanka Fakulty pedagogické ZČU v Plzni doc. PaedDr. Jana Coufalová, CSc., předseda Jednoty českých matematiků a fyziků doc. Ing. Štefan Zajac, CSc., děkanka Fakulty pedagogické ZČU v Plzni doc. PhDr. Jana Miňhová, CSc., rektor Západočeské univerzity v Plzni doc. Ing. Josef Průša, CSc.)

* rauner@kof.zcu.cz

Při závěrečném společném jednání se účastníci shodli na těchto závěrech konference Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2 – Rámcové vzdělávací programy:

ZÁVĚRY Z KONFERENCE MODERNÍ TRENDY V PŘÍPRAVĚ UČITELŮ FYZIKY 2 – RÁMCOVÉ VZDĚLÁVACÍ PROGRAMY

Účastníci konference **podporují myšlenku RVP a ŠVP**, jež dovoluje více využít možností a duševní kapacity učitelských kolektivů. Upozorňujeme však na to, že **volnost nesmí vést k chaosu nebo k voluntarismu a amatérismu**. Proto je nutno využít k vytváření ŠVP mnoha v minulosti vytvořených a v praxi ověřených prací.

Při zavádění RVP doporučujeme, aby MŠMT, VÚP, NÚOV a další zainteresované a zodpovědné instituce:

- vytvořily **funkční systém evaluace** s důrazem na hodnocení úrovně dosažených žákovských kompetencí
- připravily a realizovaly vzdělávání učitelů fyziky (např. obdoba projektu Heuréka) v **inovovaných výukových technologiích** (projekty, experimenty, prekoncepce, ICT, webové stránky atd.)
- upravily **systém práce ČŠI**, aby tento orgán podporoval pozitivní prvky RVP pro základní a středoškolské vzdělávání
- věnovaly pozornost problémům spjatým s **koordinací a integrací** (zvláště u přírodovědných předmětů) **při přípravě ŠVP**
- projektově i finančně podpořily vytvoření **série vzorových ŠVP** a publikovaly je
- doplnily vydané RVP o seznam (nebo přímo autentický text) všech potřebných materiálů
- poskytly školám **minimální standard vědomostí a dovedností**, jež musejí žáci zvládnout a který mohou školy podle svých možností rozšiřovat (upozorňujeme, že vytvořené maturitní „Katalogy“ jsou vlastně optimálními standardy pro fyziku)
- **vytvořily a udržovaly portál**, umožňující nejen jednosměrnou prezentaci RVP, ale zaznamenávající i svobodnou diskuzi **s argumenty a protiargumenty**, příklady konkrétních zpracování (a to třeba i jen dílčích) apod.

Srní, 30. dubna 2005

Další informace o průběhu jednání v Srní lze nalézt na webové stránce konference (http://www.pef.zcu.cz/pef/kof/cz/ak/index.shtml).

Moderní trendy v českém fyzikálním vzdělávání*

*Aleš Lacina**, Přírodovědecká fakulta MU, Brno*

1. Český učitel včera a dnes

Český učitel byl vždy nemajetný. A přesto, že ve šťastnějších dobách bývali mnozí jednotlivci ve svých působištích i vysoce respektováni, na jejich finančním ocenění se to zpravidla nijak neprojevilo. Tito šiřitelé vzdělanosti, tolik důležití pro budoucí kulturní úroveň a materiální prosperitu národa, z ní tak sami měli vždy jen nepatrný profit. Snad s výjimkou soukromých vychovatelů šlechtických dětí, kteří ovšem byli svému panstvu rovněž zcela vydáni na milost a nemilost, šlo většinou o zapálené nadšence (nebo naopak ztracené existence), pro něž nebyla rozhodující ani výše příjmu, ani společenské uznání. Rostoucí spotřebitelský standard a dokonce i často zdůrazňovanou potřebu vyšší vzdělanosti přitom paradoxně provází relativní zhoršování materiálního – a při současné adoraci peněz a ekonomické úspěšnosti – i společenského postavení pedagogů. Ačkoli každá generace, každý člověk vděčí za tak mnohé svým učitelům, jen málokdo jim to přizná a společnost jako celek z toho nevyvozuje vůbec žádné praktické závěry. Učitelský stav u nás zůstává trvale nedoceněn. Palčivě aktuálním důsledkem tohoto dlouhodobého trendu je mizivý zájem o učitelské povolání, projevující se mimo jiné drastickým poklesem počtu a kvality uchazečů o studium učitelství. Není jistě třeba podrobně rozvádět, jaká perspektiva do budoucna se tím zakládá.

2. Reformy – motor školského pokroku

Dalším typickým znakem (českého) školství je řada reforem (např. [1]), z nichž jen nepatrný zlomek mu byl opravdu ku prospěchu. Není pochyb o tom, že převratné proměny čehokoliv jsou vždy riskantní. Ve stabilních rozumně řízených společenstvích jsou proto před radikálními řezy preferovány změny evoluční. Kdybychom nebyli svědky (a někteří z nás často, bohužel, také méně či více aktivními účastníky) postupné destrukce tolik potřebného řádu ve školství, bylo by až snižováním důstojnosti tohoto shromáždění nabádat v této souvislosti ke zvláštní uvážlivosti a opatrnosti a připomínat, že zde nejde o nic menšího než vzdělanost a kulturní úroveň národa.

Náš vzdělávací systém se v posledních letech znovu stal lákavým pokusným polem pro silné reformní ambice pedagogických experimentátorů všeho druhu. Spektrum protagonistů těchto aktivit sahá od etablovaných reformátorů, kteří se trvalým zasahováním do chodu výchovně-vzdělávací soustavy snaží oprávnit existenci svých pracovních míst, či celých institucí, přes vždy a všudypřítomné konformisty, až po iniciativní nezávislé reformátory, zřejmě upřímně přesvědčené o spasitelnosti svých metod, o nichž se asi domnívají, že je dosud u nás ještě nikdy nikdo nezkoušel. Toto široké nesourodé reformní hnutí má svoje analogie i v jiných oblastech života současné české společnosti, v níž – přes všechny škody, které tento automatismus již napáchal – pořád ještě patří k dobrému tónu negovat všechno dřívější jako neblahý pozůstatek totality a brzdu kýženého pokroku.

Dnešní školské reformy mají, jak je u nás téměř pravidlem, svůj inspirační zdroj v zahraničí – tentokrát pochopitelně západním. Jejich propagátoři ovšem zcela opomíjejí opakující se varovnou kritiku anglosaského vzdělávacího systému, a to i renomovanými osobnostmi, které v něm navíc samy působily (např. [2–6] a další). Někteří z těchto kritiků dokonce svého času označovali východoevropské přírodovědné vzdělávání za vzor, který by mělo

---

* příspěvek byl přednesen na konferenci Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky, Srní 2003.

** lacina@physics.muni.cz

anglické a zejména americké školství následovat. Nezdá se pravděpodobné, že by stoupenci současné modernizace české školy o těchto apelech nevěděli, zřejmě však jejich pozornosti unikl propastný rozdíl mezi vzdělanostní a kulturní úrovní obdivovaných špiček západního světa, které mylně považují za typický produkt tamního školství, a řadových občanů těchto zemí [6].

Pro situaci v českém školství na přelomu dvacátého a jednadvacátého století je charakteristické, že oč jsou prováděné změny slaběji zdůvodněny a hůře připraveny, s o to větší vehemencí jsou prosazovány. V této hektické atmosféře se vágní odkazy na evropské či světové trendy běžně považují za dostatečné, aniž by se nějak zvlášť trvalo také na potřebě věcné argumentace. Ta, pokud s ní někdo vůbec přijde, bývá zpravidla bagatelizována a eventuální upozornění na hlubší souvislosti nebo dokonce potřebu zachovat alespoň některé z osvědčených postupů je většinou považováno za zpozdilost, ne-li přímo za kverulantství. Takovou praxi bezvýhradného přebírání módních vzorů přitom – kromě ignorování jejich kritiků – značně zpochybňuje také skutečnost, že i průměrní frekventanti či absolventi našich škol patří, nebo alespoň donedávna patřili, při studiu v zemích, jejichž školstvím se chceme inspirovat, k nejlepším studentům. A to navzdory značnému handicapu, kterým je pro ně cizojazyčné prostředí. Podle těchto vzorů si téměř jistě naděláme řadu dalších problémů, které jsme dříve neměli. Na západě, k němuž momentálně přičinlivě vzhlížíme, má totiž školství do ideálního stavu daleko a my, místo abychom tuto skutečnost nějak konstruktivně reflektovali, děláme – puzeni napodobovacím reflexem a touhou po světovosti – všechno pro to, abychom nezůstali pozadu ani ve věcech, které se tam neosvědčily. Není jistě žádným zvláštním objevem, že nejsnáze se kopírují věci povrchní, nejméně pracné, ale také nejméně hodnotné, a že při takovém přístupu, pro nějž jsou charakteristické neustálé reformy všeho, co ve školství vůbec existuje, lze snadno více pokazit než zlepšit. Je přitom poučné, že ani v západních zemích nepodléhají všichni učitelé, didaktici a metodici fyziky většinové dobové dynamice a rozvojovým trendům. Někteří naopak zdůrazňují potřebu intelektuální poctivosti a rozvíjení kritického uvažování, nezbytnost řádu v práci i myšlení, nutnost pěstování schopnosti orientace v danostech světa, včetně detailní diskuse vhodných způsobů prezentace bohatého výběru konkrétních fyzikálních témat, jimiž se lze k těmto vysokým cílům přiblížit [7]. O nich se však, jako o možném vzoru, u nás zřejmě příliš neuvažuje.

3. Modernizace vzdělávacího procesu

V poslední době se v pedagogicko-teoretických kruzích, rozhlasových i televizních publicistických pořadech zaměřených na školství, novinových článcích a bohužel – což je nanejvýš alarmující – už také na řadě progresivních škol prosazuje pozoruhodná idea, že vzdělávací činnost má směřovat především k zvládnutí konkrétních praktických činností, pěstování adaptability a nácviku schopnosti vyhledávat informace, pracovat v týmu, obhájit svůj vlastní názor (např. [8]). Není pochyb o tom, že jde o rozumné dílčí požadavky. Pohlížíme-li však na tento soubor jako na výčet hlavních cílů všeobecného vzdělávání, jak bývá zpravidla prezentován, nezbývá než konstatovat, že není ani zdaleka úplný: nejenže neobsahuje další body srovnatelné závažnosti, ale ani požadavky, které jsou, podle mého přesvědčení, podstatně důležitější. Že nejde o opomenutí nebo nedorozumění, ale vědomé uspořádání hodnot, plyne z častých explicitních prohlášení, že učení/vzdělávání nemá rozhodně spočívat v předávání či osvojení vědomostí a jejich případná reprodukce pak už vůbec nemá být jeho součástí. Dobře to ilustruje následující krátký citát:

> *„Kdo umí fyziku lépe: ten kdo zná nazpaměť definice a vzorečky, i když nedokáže vyřešit žádný složitější problém, nebo ten, kdo umí spolehlivě řešit problémy – i když ze sebe definici nevykoktá a vzorečky hledá po tahácích? Odpověď je jasná. Po lidech, kteří fyziku v praxi používají, nikdo nechce, aby odříkávali definice a vzorečky zpaměti. Můžou si ke své práci vzít libovolné knihy a pomůcky…“* [9]

Autentickou formulaci tak vyhraněného názoru, s nímž hluboce nesouhlasím, a s jehož alternativním vyjádřením se lze setkat i na mnoha jiných místech, považuji za velmi instruktivní. Autor především dává zcela zbytečně a pro mne málo pochopitelně do protikladu věci, jež by se měly doplňovat. Dále zcela opomíjí nanejvýš důležitý fakt, že lidé, kteří fyziku v praxi používají, se ji napřed museli velmi dobře naučit. A konečně svým demagogickým stylem velice komplikuje jakoukoli seriózní diskusi.

Odborníci v teorii poznání rozlišují dvě základní kategorie znalostí: vědomosti deklarativní a vědomosti operační [10].

> *„Deklarativní vědění spočívá ve znalosti „faktů“ – například, že Země obíhá kolem Slunce, že hmota se skládá z diskrétních atomů a molekul, že živočichové vdechují kyslík a vylučují oxid uhličitý. Operační vědění zahrnuje jednak pochopení příčin podmiňujících takové deklarativní poznatky (Jak víme, že Země obíhá kolem Slunce a proč tento názor přijímáme, když se zdá, že je tomu právě naopak?, Co dokazuje, že struktura hmoty není spojitá, ale diskrétní?, Co rozumíme „kyslíkem“ a „oxidem uhličitým“?, Jak poznáme, že jsou to různé látky?), jednak pochopení závažnosti deklarativního vědění v nových či neobvyklých situacích a schopnost je na ně aplikovat nebo modifikovat.“* [5]

V poznávacím procesu tedy deklarativní a operační znalosti tvoří dvě strany téže mince a proto je nejen nemá smysl, ale bez škodlivých následků ani nelze od sebe oddělovat, natož pak stavět proti sobě.

Druhou – v jistém smyslu příbuznou – oblíbenou aktuální modernizační tendencí je posilování heuristických metod výuky a jejích aktivizujících forem. Tyto snahy jsou velice záslužné, neboť – používány v přiměřené míře – oživují vyučování, podněcují zájem, motivují, demonstrují praktickou užitečnost učiva. Budoucí (i stávající) učitelé by proto jistě měli být i v těchto přístupech trénováni a měli by je co nejlépe ovládnout. Zároveň by si však měli být plně vědomi nebezpečí, jež přináší případná absolutizace tohoto způsobu vyučování. Namísto dobře organizovaného celku s vnitřními i vnějšími souvislostmi, k jehož vytvoření by měla směřovat každá systematická výuka, totiž v tomto případě vzniká jen soubor oddělených, byť třeba posluchačsky či divácky atraktivních, fragmentů. Takový soubor je však fyzikou asi stejně, jako hromada cihel domem. K možné námitce, že žákům, resp. studentům, jejichž zájem byl tímto způsobem již získán, lze žádoucí systém vytvořit dodatečně, jsem skeptický. Pozdější vytváření řádu tam, kde nebyl uplatňován od počátku, je totiž nesmírně náročné. (Pokud má ovšem něco takového vůbec naději na úspěch.) Vyžaduje to totiž zásadní změnu celkového přístupu, způsobu práce i větší kázeň v myšlení a navíc mnoho času, jehož je ve středoškolské výuce fyziky už tak jako tak zoufalý nedostatek [11].

Abych předešel případnému nedorozumění, výslovně prohlašuji, že nezpochybňuji užitečnost aktivizujících forem práce a heuristického přístupu ve výuce fyziky na školách všech stupňů. Jsem však na rozdíl od jeho jednostranných propagátorů (např. [12], [13], [P1], [P2]) přesvědčen, že by měl být užíván pouze jako motivační a demonstrační doplněk. Lidé, kteří fyziku, nebo třeba jen některou její partii, na určité úrovni už zvládli, mohou mít značný prospěch (i potěšení) z heuristického způsobu práce. Začátečníkům by však fyzika měla být prezentována systematicky. Tak, aby před nimi postupně rostla jako úctyhodná, logicky konzistentní, vnitřně provázaná konstrukce, dávající světu spolehlivý základ a přesný řád. Vědomí tohoto řádu a úcta před ním by generaci dospívající v roztěkaném postmoderním světě navíc velmi prospěly i z obecně lidského hlediska.

4. Cíle všeobecného vzdělávání

Obecným cílem veškerého vzdělávání, ať už jde o školu základní, střední či vysokou, je postavení vzdělávaného subjektu na vlastní intelektuální nohy. Kromě jeho nezbytného vybavení dostatečně širokým souborem konkrétních vědomostí to prakticky znamená vypěstovat u něj – ve stupni a míře odpovídajících té které úrovni vzdělávání – následující schopnosti:

- porozumět obsahu čteného (slyšeného, pozorovaného),
- vystihnout (a zformulovat) jeho podstatu, tj. rozlišit podstatné od nepodstatného,
- najít v textu či jiném projevu na jedné straně souvislosti, na druhé pak případné nekonzistence, rozpory nebo chyby,
- rozlišit mezi informací, argumentem, hypotézou, zdůvodněním, odvozením,
- chápat, že jádro užívaných pojmů spočívá v myšlence, zatímco název je druhotný, a že porozumění nelze osvědčit jen samotným používáním odborných termínů,
- hierarchizovat a systemizovat určitý soubor poznatků,
- vyvodit ze souboru fakt jejich důsledky,
- získané poznatky vědomě prakticky využívat,
- orientovat se v danostech světa,
- samostatně se dále vzdělávat.

(Ve fyzikálním vzdělávání jsme si v této souvislosti zvykli stručně hovořit o vybudování fyzikálního obrazu světa a osvojení fyzikálního způsobu myšlení.) Této erudice nelze na žádné úrovni dosáhnout bez určitého, dosti rozsáhlého, objemu informací – deklarativních znalostí. Skutečné znalosti operační jsou pak nemyslitelné bez dostatečně přesného, výstižného a srozumitelného vyjadřování.

Dosažení těchto kompetencí je základním imperativem každého systematického vzdělávání. Požadavkem, na jehož splnění nelze rezignovat bez katastrofálních důsledků pro intelektuální úroveň národa. Nebezpečí je přitom tím větší, že případný neúspěch se projeví v plné míře až se značným časovým zpožděním, kdy většinu vzniklých škod již bude stěží možné napravit. Mělo by tedy jít o skutečnou prioritu – nejvyšší povinnost všech, kteří za realizaci vzdělávání nesou jakoukoli zodpovědnost. Ne právě vzácným přístupem autorit je však bohužel postoj, který býval dříve často označován slovy politická vyspělost: přičinlivé, víceméně automatické chápání apelu doby, nadřízených či jinak mocných. Jeho důsledkem je současná neutěšená situace, kdy místo podpory a slušného ohodnocení neokázalé každodenní učitelské práce – která rozhodně nepotřebuje trvalé reformy všeho, co ještě zreformováno nebylo – je největší pozornost věnována společenské objednávce, ekonomickým tlakům, koncepčním změnám, novým vyučovacím cílům pro nové tisíciletí, problematice transformace nejnovějších poznatků moderní vědy do výuky, standardizaci učiva, novým didaktickým strategiím a technologiím, atd., atp.

Je naprostou iluzí se domnívat, že změnami koncepcí, strategií či technologií lze více naučit. Spíše než skutečným rozvojem didaktiky jsou tyto tendence její degradací na služku pochybné, nicméně však dnes žádané, dynamizace vyučovacího procesu. A jejich skutečný význam spočívá více ve získávání grantových podpor, ceněných scientometrických bodů, či v uspokojení jiných osobních ambicí než v konkrétní pomoci výuce vlastního předmětu.

Od pradávna se ví, že pro učení zaujatý, chytrý a vzdělaný učitel dovede svým svěřencům předat přesně takové množství informací, jaké jsou schopni zvládnout, a rovněž výsledky jejich (a tím i své) práce zkontrolovat. Dovede je motivovat k dalšímu zvídání svým zaujetím pro věc, svým porozuměním a zařazením předmětu do souvislostí života, a tak je získat pro aktivní spolupráci. Výchova právě takových pedagogů by měla být ctižádostí a jedním z nejvyšších cílů všech institucí, které budoucí učitele připravují. Že jde o netriviální záležitost by si měly uvědomit zejména fakulty, které mají sklon – ať už v duchu některých nedobrých

vlastních tradic, pod vlivem módních trendů nebo jiných tlaků – chápat studium učitelství fyziky pouze jako jakýsi přílepek k odbornému či jinému typu studia [P3].

Na druhé straně je lichá víra, že laborování s proporcemi deklarativního a operačního vědění nebo prosazování heuristických či jiných metod, i když bude provozováno zodpovědněji než ode zdi ke zdi, vyřeší nějaký vzdělávací problém. Vypěstování kvalitnějších operačních znalostí nelze nadto dosáhnout jen činností samotného učitele. Každý pedagog ví, že dobře vedený, chytrý, bystrý a věcí zaujatý žák si i blíže nekomentované deklarativní informace osahá a myšlenkově zpracuje i bez operačních návodů (poněvadž chce vědět, proč jsou věci právě tak a nejinak, jak fungují a kam dále vedou). Navíc tyto informace nezbytně potřebuje jako materiál k dalšímu přemýšlení i smysluplné praktické činnosti. Slabý a lhostejný žák si naopak zpravidla přivlastní jen konkrétní operační šablonu bez hlubšího porozumění a vědomí souvislostí.

V podstatě politické zadání poskytnout středoškolské vzdělání téměř celé populaci a vysokoškolské vzdělání vyššímu procentu obyvatel vzdělanostní nivó národa nezvýší, ani když bude snaživě podporováno nejnovějšími pedagogickými a didaktickými triky. Spolehlivě však sníží úroveň průměrných absolventů středních a vysokých škol a v důsledku toho i kvalitu těchto škol samých. Nadaných lidí je totiž v každé generaci zhruba stejný podíl, přičemž s menšími mentálními schopnostmi, za kratší dobu a vynaložením menšího úsilí se přes všechny úspěchy pedagogické vědy a veškerou aktivitu reformních týmů nikdo vzdělanějším nestane.

5. Moderní pojetí vztahu vzdělávaného a vzdělávajícího

Vyučovací proces je interakcí tří prvků – předmětu, učitele a vzdělávaného subjektu (žáka) –, které jsou individuálně specifické a mění se v času, kvalitě i kvantitě. Ze samé podstaty vyučovacího procesu plyne, že základem této aktivity je předmět a jako takový musí být respektován jak učitelem, tak žákem. Případný pokus tuto hierarchii změnit a přesunout na první místo učitele či žáka nese značné riziko deformace nebo přinejmenším problematické redukce předmětu; spíše však k ní nezbytně vede. (Aby snad nedošlo k nedorozumění, zdůrazněme explicitně, že toto konstatování není žádnou obsahově-maximalizační výzvou, ale právě naopak, vyjadřuje přirozený požadavek vybrat kvalifikovaně – způsobem a rozsahem odpovídajícím stupni vzdělávání a typu školy – z předmětu to nejpodstatnější a ideově nejvyšší; pochopitelně i s ohledem na přiměřené praktické aplikace.)

PŘEDMĚT

|

UČITEL

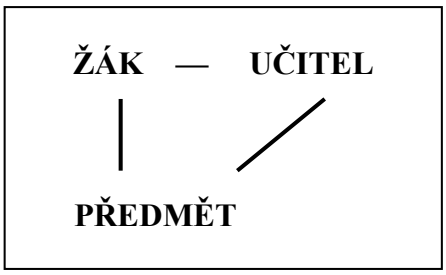
|

ŽÁK

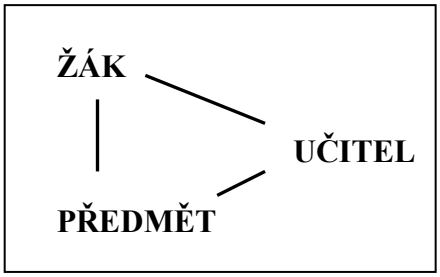
Učitel by pak měl být ve vyučovacím procesu nepochybně nadřízen žákovi. Erudovaný učitel totiž musí mít jasnou představu, čím se má žák zabývat a prosadit ji; a ne nechat na něm, čím se zabývat chce.

Znalost předmětu a odpovědnost k němu i žákovi by učiteli neměly dovolit zacházet s předmětem čistě utilitaristicky podle momentální společenské objednávky nebo ekonomického či jiného tlaku. Rovněž tak by neměly dovolit řediteli školy a případně dalším autoritám, aby takové zacházení připustili nebo dokonce prosazovali.

Novodobé – podle mého názoru nepřijatelné – pedagogické tendence tuto hierarchii převrací na uspořádání



nebo dokonce



V tomto modelu je žák na prvním místě a předmět v podřízeném postavení. Prakticky to znamená, že se z něj vybírají především – a v horším případě pouze – věci zajímavé, zábavné, případně okamžitě použitelné. Učitel pak má být v první variantě žákovým rovnoprávným partnerem, který mu jen radí a inspiruje jej, ve druhé je dokonce jeho osobnosti určitým způsobem podřízen. Při tom se od něj očekává, aby žáka, jenž si toho ovšem je dobře vědom, zaujal. Pokud se to za takových podmínek vůbec může podařit, pak mají jistě největší naději různé audiovizuální efekty – počítačové hrátky a videoklipy, jinými slovy moderní didaktické technologie. Toto směřování je velmi přehledně zformulováno v jedné z importovaných norem: Science is fun.

Takový přístup znamená smrtelné nebezpečí pro každou disciplinu. Slibuje totiž, že se člověk může stát vzdělaným i bez námahy. Opravdové studium čehokoliv přitom však je, bylo a také vždy bude nanejvýš vážnou, poctivou a tvrdou prací, která ovšem může přinést i mnoho radosti. (Tento druh uspokojení však angličtina vyjadřuje slovem joy a nikoliv fun.) Radosti o to větší, že je zasloužená. Určitě nejde o veselou zábavu, žertování, legraci, švandu (fun). Slibovat něco takového adeptům vzdělanosti je nekalá reklama, „vyučovat“ tímto způsobem je pedagogický zločin – obyčejný podvod záměny skutečné práce povrchním hauzírováním se všemi dalekosáhlými důsledky, které z toho vyplývají. Dobrý učitel by měl, samozřejmě, prezentovat svůj předmět tak zajímavě a přitažlivě, jak je to jenom možné, v žádném případě jej však nemůže nechat zplanět do „veselé zábavy“. Za jeden z hlavních úkolů školy se vždy považovalo vypěstovat ve svých svěřencích také zodpovědnost a pracovní návyky. V souvislosti s novodobými vzdělávacími tendencemi je tedy namístě rovněž otázka: Kdy a jak by žák měl, po devatenáctiletém až pětadvacetiletém hraní, začít pracovat?

Psychologové upozorňují, že současná škola, která stále více přebírá funkci, jež má plnit rodina, vykazuje znaky přeměny od tzv. školy otcovského typu ke škole mateřského typu [15].

ŠKOLA OTCOVSKÉHO TYPU	ŠKOLA MATEŘSKÉHO TYPU
AUTORITÁŘSKÁ	**OCHRAŇUJÍCÍ, PEČUJÍCÍ**
Vyžaduje: • **volní úsilí** • **řád** • **kázeň** • **odklad uspokojení potřeb, čímž zvyšuje frustrační toleranci** • **volbu spolu se zodpovědností, která z ní vyplývá** • **vlastní iniciativu**	**Umožňuje:** • **maximalizování libosti** • **volnost** • **nezávaznost** • **okamžité uspokojení potřeb, čímž snižuje frustrační toleranci** • **volbu bez nutnosti nést její důsledky** • **pasivitu, nesamostatnost**
Je charakterizována: • **podmíněnou láskou** (kladná odezva je projevem uznání výkonu)	**Je charakterizována:** • **nepodmíněnou láskou** (kladná odezva je samozřejmostí)
ŽÁK VNÍMÁ UČITELE JAKO IDENTIFIKAČNÍ AUTORITU	**ŽÁK OČEKÁVÁ OD UČITELE POROZUMĚNÍ, POMOC, OCHRANU**
VYCHOVÁVÁ ZRALÁ (DOSPĚLÁ) INDIVIDUA	**UDRŽUJE V ZÁVISLOSTI NA OBSLUZE (NEDOSPĚLOSTI)**

Škola mateřského typu nepěstuje smysl pro povinnost, vede k nezakotvenosti, nechuti podřídit se čemukoli nepohodlnému, k odkládání či negaci nepříznivých důsledků případné vlastní volby, k fragmentaci života, k infantilizaci. [P4]

6. Současné postavení výuky fyziky

Postavení výuky fyziky na jakémkoli typu školy je do značné míry ovlivněno postojem společnosti k fyzice samé. Není žádným tajemstvím, že už tak dost malá popularita fyziky – poprvé na ni výrazněji upozornil již v polovině minulého století ve své proslulé přednášce *Dvě kultury* Charles Percy Snow [2] – v současné postmoderní době v západním světě ještě více klesá. Poněvadž je tato skutečnost všeobecně dobře známa a na mnoha místech bohatě diskutována (nedávno například ve velmi pěkném snadno dostupném článku [16]), omezím se již jen na několik heslovitých poznámek týkajících se těch důvodů malého zájmu o fyziku i její výuku, které souvisejí s předcházejícími částmi tohoto sdělení.

- Pro současnou západní konzumní civilizaci je charakteristický odklon od *otázek po bytí* k *otázkám po zužitkování.* Zejména nastupující generace se méně – pokud vůbec – ptá *Proč to funguje?, Jak to funguje?, …* , ale více/pouze ji zajímá *Jaký z toho mohu mít prospěch?*. Tato skutečnost nepochybně souvisí se změnou způsobu výchovy od *autoritářského* k *ochraňujícímu* nebo, jinými slovy, změnou postoje od zralého k méně zralému.
- Fyzika studuje základní přírodní zákonitosti. Ty byly vždy většinou lidí – díky jejich běžné zkušenosti (zvyku) – chápány jako samozřejmé danosti. Například na sdělení *Prší!* zareaguje řadový občan *No a?*. Skutečně málokoho napadne v této souvislosti otázka *Proč?, Čím je to způsobeno?, Co se při tom vlastně detailně děje?*, a to tím spíše, že vyčerpávající odpověď není nijak triviální.

- Fyzika je obtížná disciplina. Má-li být provozována poctivě, a ne jako kratochvilné hrátky, vyžaduje systematickou, důslednou, vytrvalou práci, které jsou lidé vychovávaní podbízivým způsobem nejen čím dál méně schopni, ale nejsou ani ochotni potřebnou námahu vynaložit. (Stačí znovu připomenout světové *Science is fun, Less is more, ...*, ale už i odvozené domácí *Nevaž se, odvaž se, Nech se vést chutí, ...*) Vysokému zájmu se naopak těší vzrušující vyprávěnky o vyspělých tématech, lákající neerudované publikum úchvatnou nepochopitelností, nebo ještě populárnější paranormální jevy, o nichž lze rozprávět zcela nezávazně. [P5]
- Společenská prestiž exaktních věd, a fyziky zvlášť, je nízká. Konkrétním projevem této skutečnosti – určitě však ne cestou k nápravě – je již zmíněné snižování hodinové dotace její výuky (např. [11], [17]), její integrace do jednoho předmětového celku s ostatními přírodovědnými disciplínami (např. [18]), … [P6]. Při dalším pokračování v tomto směru bude fyzika brzy skutečně jen pro legraci.
- Společenská prestiž učitelského povolání – navzdory některým žebříčkům v novinových přílohách, které se zdají ukazovat opak – je nízká. O jeho finančním ocenění si už nedělají iluze ani noviny.

Poděkování: Děkuji PhDr. Blance Bouchalové† za cenné konzultace psychologických aspektů.

Literatura a poznámky:

[1] Nečesal L.: *Standardizace gymnaziálního učiva fyziky – Molekulová fyzika a termika*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta MU, Brno 1999.
[2] Snow C. P.: *The Two Cultures.* In: *New Statesman*, 6th October 1956. (Knižní vydání: *The Two Cultures: And a Second Look.* Camb.Univ.Press, Cambridge 1963).
[3] Weisskopf V.: *Of Knowledge, Wonder and World Peace.* Tech. Rev. **85**, n. 4 (1982), přetištěno v Weisskopf V.: *The Privilege of Being a Physicist.* Freeman, New York 1988.
[4] Alonso M.: *Can Education Be Rescued?* Am. J. Phys. **59**, n. 7 (1991) 584.
[5] Arons A. B.: *Cesta k přírodovědné gramotnosti.* Školská fyzika **VII**, č. 3 (2001) 61, přeloženo z anglického originálu: Arons A. B.: *Achieving Scientific Literacy.* Deadalus, Spring 1983.
[6] Mayerová C.: *Komu školskou reformu?* Lidové noviny, 28. května 1994.
[7] Arons A. B.: *Teaching Introductory Physics.* J. Wiley & Sons, New York 1997 (a prameny tam citované).
[8] Kundra O.: *Svobodu učitelům*. Respekt, 30. září 2002 (č. 40).
[9] Macháček M.: *Fyzika. Sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky*. Tauris, Praha 2001.
[10] Lawson A. E.: *The Reality of General Cognitive Operation.* Sci. Education **66**, No. 2 (1982) 229.
[11] Veverka J.: *K hodinové dotaci gymnaziálního kurzu fyziky.* Ve: Svoboda E. (red.): *Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu (sborník ze semináře Vlachovice 4.–6. dubna 2002).* MAFY, Hradec Králové 2002 (ISBN 80-86148-59-9), str. 8; upravená verze je publikována ve Školská fyzika **VIII,** č. 1 (2004) 95.
[12] Drozd Z.: *Fyzika se musí učit jinak.* Lidové noviny, 10. ledna 2003.
[13] Koudelková I.: *Fyzika může bavit děti i učitele.* Moderní vyučování č. 5 (2002); článek je dostupný i na adrese: http://kdf.mff.cuni.cz/Heureka/Clanky/ClanekModerVyuc.htm
[14] Karpenko V.: *Jak učinit jablka rovná pomerančům? (Vědci a pedagogové na vysokých školách.)* Lidové noviny, 26. února 1994.

[15] Weatherill R.: *Cultural Collapse.* Free Associations, London 1994.
[16] Abragam A.: *Proč se zabývat fyzikou?* Pokroky matematiky fyziky a astronomie **46**, č. 4 (2001) 280.
[17] Krejčí J.: *Podmínky pro realizaci cílů ve výuce fyziky, pomůcky při maturitní zkoušce z fyziky.* Ve: Svoboda E. (red.): *Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu (sborník ze semináře Vlachovice 4.–6. dubna 2002).* MAFY, Hradec Králové 2002 (ISBN 80-86148-59-9), str. 70.
[18] *Rámcový vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání, pilotní verze.* Výzkumný ústav pedagogický v Praze, TAURIS, Praha 2004.
[19] Šámal M.: *Učení nikdy nebude hrou.* Respekt, 7. října 2002 (č. 41).

[P1] *„Tradiční představa ukázkové hodiny, v níž učitel všechno vysvětlí, zapíše přehledně na tabuli, třeba provede i pokus a pak žákům nadiktuje závěry do sešitu, je scestná.“* [12]

[P2] *„Projekt Heuréka využívá heuristickou metodu výuky. A to ne jako jednu z mnoha metod, ale jako systém, ve kterém děti pracují.“* [13]

[P3] Rozdělení studia učitelství na bakalářský a magisterský stupeň, mechanické stanovení vysokého procenta volitelných předmětů, požadavek prostupnosti s jinými – neučitelskými – studijními obory, stanovení ekvivalencí – mnohdy však fyzické spojení výuky – některých předmětů těchto oborů, tendence omezovat počet hodin kontaktní výuky, to vše přineslo řadu ne-li škod, tedy aspoň značných komplikací. Nadto důraz kladený na vědecko-výzkumný charakter akademických pracovišť, jemuž jsou přizpůsobena i veškerá evaluační kritéria, a neschopnost či nevůle uznat, že příprava budoucích učitelů je stejně důležitým, záslužným a kvalifikovaným úkolem vysoké školy [14], vede k tendenci prezentovat tuto aktivitu jako těsně spojenou s vědecko-výzkumnou činností, přestože tomu tak není a být by nemělo.

[P4] Dnešní trend zvyšování zábavnosti výuky, slevování nároků, nekonečného motivování zpovykaného lhostejného žactva má ve skutečnosti kontraproduktivní účinek. Neboť jenom to, co člověk získává s vynaložením námahy, se může stát jeho spolehlivou intelektuální výbavou, která mu umožňuje se orientovat v okolním světě a formulovat svoje životní postoje. Nabízí se ovšem kacířská otázka, zda v povrchní dynamické současnosti není něco takového spíše na obtíž. V mnoha směrech je totiž naopak pohodlnější nebýt příliš hluboce zakotven. V případě potřeby, např. při změně převažujícího názoru či společenské nálady, je pak člověk pružnější, takže mu nečiní potíže zaujmout vždycky místo „na správné straně barikády“.

[P5] *„Nic na světě není zadarmo, ani nabytí jakékoli skutečné vědomosti či dovednosti. Kdo tvrdí opak, vědomě nebo z hlouposti lže. Bez úsilí se neobejdou ani talentovaní jedinci a čím méně máme kdo vrozeného nadání, tím více musíme investovat tvrdé práce. Námaze při učení se nelze vyhnout – dobrý učitel ji však dokáže motivovat a zajistit její efektivní využití, čímž proces učení velmi usnadňuje. O tom je podle mého názoru „škola hrou“, nikoli o samovolném, bezbolestném a radostném nabývání poznatků při rozpustilých hrátkách.“* [19]

[P6] *„Schopnost komunikace a nověji také orientace v informační společnosti patří k prioritám vzdělávání na všech stupních. Nejsou to však klasické „předměty“ a nemohou je nahradit. Dosud osvojený rozsah vědomostí limituje účinnost samostatného vyhledávání informací: pracovat mohu pouze s pojmy, které znám. Nové lze samostatně získat teprve po dosažení určité úrovně znalostí a jen do určité míry. Po jejím překročení se z žáka či studenta stává samouk. Také „shrnovat látku“ více předmětů v „širších souvislostech“ je možné teprve po důkladném pochopení látky jednotlivých předmětů. Obráceně to nejde.“* [19]

36. mezinárodní fyzikální olympiáda ve Španělsku

Ivo Volf, Bohumil Vybíral**, ÚV FO, Univerzita Hradec Králové*

Ve dnech 3. až 12. července 2005 proběhl na Univerzitě v Salamance (Španělsko) v pořadí již 36. ročník Mezinárodní fyzikální olympiády. Pořadatelem bylo Ministerstvo vzdělávání a vědy Španělského království, dále jedna u nejstarších evropských univerzit v Salamance (založená roku 1218) a španělská Královská fyzikální společnost. Tato prestižní světová soutěž pro mladé fyziky z řad středoškoláků proběhla za velké pozornosti vedoucích orgánů provincie Castilla y León i světové fyzikální komunity. Soutěže se letos zúčastnilo 346 soutěžících ze 77 států (tři státy však zatím vyslaly jen své pozorovatele).

Družstvo České republiky se zúčastnilo ve složení: prof. RNDr. Ivo Volf, CSc. a prof. Ing. Bohumil Vybíral, CSc., oba z Univerzity Hradec Králové jako vedoucí delegace, dále soutěžící: Petr Morávek a Pavel Kučera z gymnázia v Pardubicích, Petr Houštěk z gymnázia v Pelhřimově, Petr Čermák z gymnázia J. Heyrovského v Praze a Pavel Motloch z gymnázia ve Frýdku-Místku.

Soutěž začala příletem delegací v neděli dne 3. července 2005; ve večerních hodinách proběhlo přijetí na půdě rektorátu Univerzity. V pondělí 4. července dopoledne byla 36. MFO zahájena společným setkáním pořadatelů, vedoucích, pozorovatelů, hostů a soutěžících, společně s veřejností ve velkém sále Kongresového paláce provincie Castilla y León v Salamance. Zatímco se soutěžící seznamovali s pamětihodnostmi velmi starého města, vedení delegací se odpoledne setkalo na prvním zasedání Mezinárodní komise, které bylo věnováno posouzení tří teoretických úloh pro soutěž. Posuzování se protáhlo do pozdních hodin a po půlnoci přistoupili členové delegací k překladu upravených úloh do mateřského jazyka soutěžících a následnému přepisu do počítače a přípravě materiálu pro tisk, což jsme ukončili v půl šesté ráno.

V úterý 5. července soutěžící řešili po dobu pěti hodin tři teoretické úlohy a vedoucí delegací absolvovali kulturně-historický zájezd do města Segovia, centra stejnojmenné provincie a královský palác v Granje. Ve středu 6. července se po celý den věnovali vedoucí delegací posouzení a překladu experimentální úlohy. Soutěžící tento den navštívili starobylé město Segovia a královský palác v Granje.

Čtvrtek 7. července byl pro studenty dnem, kdy po dobu pěti hodin řešili experimentální úlohu. Organizátoři museli připravit celkem 350 experimentálních souprav (cena jedné se pohybovala kolem 150 euro). Ve stejné době absolvovali vedoucí delegací pěší procházku městem Salamanca, v odpoledních hodinách opravovali řešení teoretických úloh a připravovali se na moderování oprav úloh. Večer byla pro všechny účastníky připravena přednáška ke 400. výročí vydání Cervantesovy knihy Don Quijote de la Mancha a Nobelovská přednáška prof. A. J. Leggeta z Illinoiské univerzity v USA, nositele Nobelovy ceny za fyziku v roce 2003. V pátek 8. července navštívili studenti Valladolid a technologické centrum, v sobotu 9. července absolvovali exkurzi do Candelario a Bejar. Vedoucí se věnovali opravě experimentální úlohy a procesu moderování, tj. dohadování počtu bodů za jednotlivé úlohy s místními korektory. V neděli absolvovali všichni soutěžící i vedoucí poznávací zájezd do starobylého města Ciudad Rodrigo; den skončil společnou slavnostní večeří všech účastníků 36. mezinárodní fyzikální olympiády a ohňostrojem.

V pondělí 11. července byla ve velké aule Kongresového paláce v Salamance soutěž zakončena a vyhlášeny výsledky. Studentům bylo předáno 95 čestných uznání, 63 bronzových, 27 stříbrných a 45 zlatých medailí, celkem 116 soutěžících nebylo v soutěži úspěšných. Dále byla předána řada speciálních ocenění.

* ivo.volf@uhk.cz
** bohumil.vybiral@uhk.cz

Úlohy pro soutěž byly vybrány přirozeně obtížné. Úloha 1. se nazývala *Družice s nešťastným osudem* a zabývala se kinematikou a dynamikou pohybu tělesa v radiálním gravitačním poli; 36 soutěžících získalo plný počet 10 bodů. Úloha 2. dostala název *Absolutní měření elektrických veličin* a shrnovala historické přístupy k vymezení jednotek v elektrodynamice, 18 soutěžících dostalo plný počet bodů. Úloha 3. o názvu *Neutrony v gravitačním poli* modelovala klasické a kvantové chování částic v gravitačním poli, 39 účastníků získalo plný počet bodů.

Experimentální úloha se zabývala problémem určení *Planckovy konstanty měřením světla žárovky*. Úloha měla několik kritických kroků, plný počet bodů získal pouze jeden soutěžící, 19 a více bodů získalo celkem 22 soutěžících.

Našim soutěžícím se v soutěži na 36. MFO příliš nedařilo. Začalo to již nižším počtem úspěšných řešitelů v krajských kolech fyzikální olympiády v lednu 2005, nižším počtem účastníků celostátního kola, a tím i méně vítězů v celostátním kole, jichž jsme vyhlásili jen osm a jež jsou základem pro výběr na MFO. Jeden účastník oznámil, že se věnuje přípravě na MChO, další dva prošli pozitivně výběrem na MMO do Mexika. I když řada států dokázala přesunout své soutěžící z MFO na MMO (obě soutěže se překrývaly o 3 dny), naše příprava se pak zaměřila jen na pět soutěžících. Výsledky, jichž soutěžící dosáhli:

Pořadí	Soutěžící	Hodnocení úloh						Výsledek
64.	Pavel Motloch	10,0	6,5	9,2	25,7	15,9	41,6	stříbrná
136.	Petr Houštěk	7,1	2,5	6,1	15,7	17,1	32,8	HM*
148.	Petr Morávek	8,4	4,5	2,3	15,2	15,8	31,0	HM*
191.	Pavel Kučera	2,8	0,0	4,3	7,1	17,1	24,2	HM*
204.	Petr Čermák	1,0	2,5	5,6	9,1	13,8	22,9	HM*

* HM (Honorary Mention) – čestné uznání

Jak lze vidět, všichni soutěžící dosáhli pozitivního hodnocení, což může být družstvu ke cti. Na druhé straně naši soutěžící získali jen jednu medaili (student 2. ročníku gymnázia P. Motloch), P. Houšťkovi medaile unikla jen o 0,2 bodu, dalšímu o 2 body. Při hodnocení výsledků jsme konstatovali, že bylo v silách těchto dvou soutěžících získat více bodů, zejména pak v experimentální úloze. Výsledků bylo nehledě na výše uvedený výchozí stav v přípravě, dosaženo radikální změnou závěrečné přípravy účastníků, kterou jsme provedli po analýze našich zkušeností z posledních let a kritického posouzení výsledků ankety bývalým reprezentanty. Celkově se naše družstvo v hodnocení zúčastněných států umístilo ke konci první poloviny soutěžících družstev.

Z celkového pohledu se stal nejlepším řešitelem 36. MFO Gábor Halász z Maďarska a Ying-Hsuan Lin z Tchaj-wanu s identickým výsledkem 30 bodů za řešení teoretických úloh a 19,5 bodu za řešení experimentální úlohy, tedy celkově získali každý 49,5 bodu z 50 možných. Také třetí soutěžící v pořadí byl z Tchaj-wanu. V celkovém pořadí se na 1.–2. místě umístila družstva Tchaj-wanu a Číny (po pěti zlatých medailích). Další pořadí: Ruská federace (4 G, 1 S), Rumunsko (3 G, 2 S), Maďarsko (3 G, 2 B), Singapur (3 G, 2 S), Indie (2 G, 2 S, 1 B), Írán (1 G, 2 S, 2 B), Thajsko (2 G, 2 S, 1 B), Austrálie (1 G, 1 S, 2 B, 1 HM).

Družstvo Slovenské republiky se umístilo na 19.–21. místě (1 G, 1 S, 3 HM) společně s Ázerbajdžánem (1 G, 2 B, 2 HM) a Francií (5 B). Družstvo České republiky zaujalo letos 27.–34. místo, společně s Argentinou, Polskem, Velkou Británií, Litvou, Moldávii, Itálií a Chorvatskem. Pozice na hranici první poloviny pořadí zúčastněných družstev není příliš lichotivá; vede nás k tomu, abychom zintenzívnili přístup k fyzikálním talentům, našli cesty pro další a lepší propagaci účasti mládeže na Fyzikální olympiádě. Současně se musíme snažit zajistit, aby nejlepší účastníci různých soutěží, jichž nemáme zase příliš velký počet, dostali všestrannou možnost se zúčastnit i více soutěží než jedné.

Nabídka společnosti ČEZ, a.s. pro školy

zpracováno podle webových stránek www.cez.cz

TŘETÍ PÓL – ČASOPIS PRO STUDENTY GYMNÁZIÍ A TECHNICKÝCH STŘEDNÍCH ŠKOL A DALŠÍ ZÁJEMCE

Časopis Třetí pól popularizuje vědu a techniku. Vychází jako dvouměsíčník, kromě prázdnin, v rozsahu 16–20 stran. Připravuje ho studentská redakční rada. Obsahuje články z oblasti fyziky, energetiky a astronomie, technické zajímavosti, upozornění na nové vzdělávací materiály, soutěže a výstavy, rady studentům, kvizy, články o sci-fi, hudbě, filmu atd. Podrobné informace najdete na webové adrese časopisu http://www.tretipol.cz/.

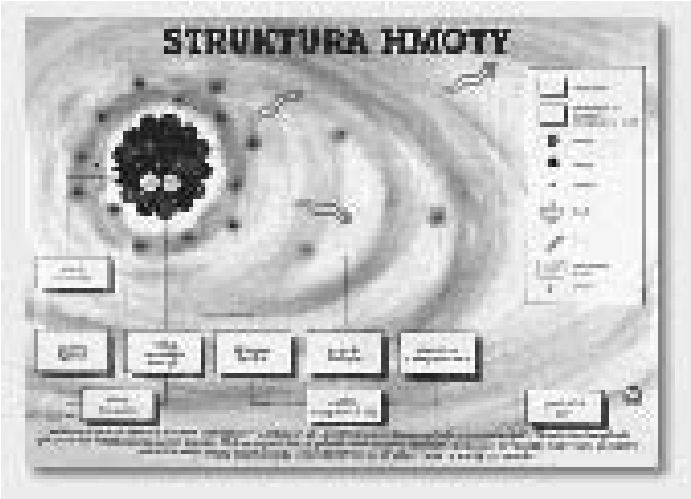
Můžete jej odebírat pro školu bezplatně, zásilka jednoho čísla obsahuje 20 výtisků a je na uvážení pedagoga, jak je studentům rozdělí nebo použije. Na požádání zašleme ukázky.

Objednávejte na adrese ČEZ, a. s., oddělení komunikace, Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, mail: info@mail.cez.cz. Pro jednotlivce za úhradu poštovného a manipulačních poplatků objednávejte mailem na: tretipol@volny.cz.

PLAKÁTY

Plakáty jsou barevné, formátu A1 a složené na A4, oboustranné. Jsou zaměřeny na následující témata:

- Struktura hmoty (stavba atomu a typy základních interakcí, které působí ve hmotě)
- Typy radioaktivních rozpadů (alfa, beta, gama a spontánní štěpení včetně vysvětlení a rovnic)
- Skleníkový efekt
- Palivový cyklus elektrárny s tlakovodním reaktorem
- Člověk a záření (přírodní a umělé zdroje záření)



FÓLIE NA ZPĚTNÝ PROJEKTOR

ČEZ nabízí soubory fólií pro zpětný projektor, které jsou na školách velmi oblíbené. Soubory fólií pro školy jsou doporučeny také Jednotou českých matematiků a fyziků. Jedná se o následující soubory fólií:

Atomy a jaderná energie

Soubor obsahuje 15 fólií s těmito náměty:

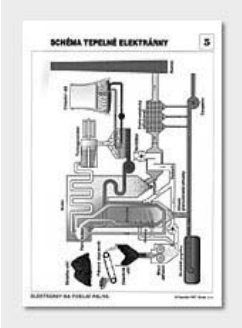
1. Stavba atomu
2. Izotopy
3. Typy radioaktivních přeměn
4. Vazebná energie
5. Štěpení jádra a fúze
6. Poločas přeměny
7. Uranový palivový cyklus
8. Jaderný reaktor
9. Jaderná elektrárna
10. Jaderná elektrárna
11. Jaderná elektrárna
12. Hospodaření s vyhořelým palivem
13. Hospodaření s vyhořelým palivem
14. Hospodaření s vyhořelým palivem
15. Zdroje přírodního a umělého záření

Na fóliích jsou obrazová a textová část odděleny, aby bylo možno text zakrýt a použít fólie jak pro výklad, tak pro testování znalostí. Doplňkové popisy k jednotlivým fóliím jsou podrobněji rozvedeny v doprovodné brožuře, která je součástí nabídky.

Elektrárny na fosilní paliva

Soubor obsahuje 15 fólií s těmito náměty:

1. Vznik střídavého proudu
2. Carnotův cyklus
3. Cesta elektřiny
4. Schéma tepelné elektrárny
5. Schéma tepelné elektrárny
6. Elektrárna Chvaletice
7. Schéma elektrárny s parplynovým cyklem
8. Kogenerace



9. Schéma parní turbíny
10. Atmosférický fluidní kotel s cirkulující vrstvou
11. Mokrá vápencová vypírka
12. Odlučovače popílku
13. Složení uhlí
14. Elektrárny na fosilní paliva
15. Přenosová soustava ČR

Doprovodná brožura obsahuje vysvětlivky a podrobnější texty k jednotlivým tématům.

Obnovitelné zdroje energie

Soubor obsahuje 15 fólií s těmito náměty:

1. Zdroje obnovitelné energie
2. Slunce – světelné záření
3. Slunce – tepelné záření
4. Slunce – sluneční tepelné elektrárny
5. Vítr – princip větrné elektrárny
6. Vítr – příklady
7. Voda – akumulační vodní elektrárna
8. Voda – přečerpávací vodní elektrárna
9. Voda – využití energie moře
10. Biomasa
11. Biomasa – bioplyn
12. Tepelné čerpadlo
13. Geotermální energie
14. Palivový článek – princip
15. Palivový článek – příklady aplikací

Doplňkové popisy k jednotlivým fóliím s vysvětlením principu, funkce a příkladů jednotlivých zdrojů jsou podrobněji rozvedeny v doprovodné brožuře, která je součástí nabídky.

VIDEOFILMY

DVD-videotéka ČEZ

Na jediném disku si nyní můžete objednat 16 filmů ze vzdělávacího programu. Stopáž jednotlivých filmů je 10–20 min, celkový obsah DVD je 3,5 hodiny kvalitních didaktických, popularizačních a dokumentárních snímků.

- **Žijeme se zářením** (Vysvětlení pojmů radioaktivita a ionizující záření, 25 minut).
- **Mocný atom** (Kreslený film pro děti o jaderné energii, 10 minut).
- **Jaderná elektrárna** (Vysvětlení principu fungování na základě názorné animace, 10 minut).
- **Objevování energie** (Pětiminutový kreslený film je vlastně malým dobrodružným příběhem zvířátek, která cestují vesmírem. Objevují náš svět plný energie, v němž je vše neodmyslitelně spojeno s přeměňováním jedné formy energie ve druhou. Objevují také různé druhy energie: potenciální, kinetickou, světelnou, tepelnou, zvukovou, elektrickou. Objevitelské nadšení filmových postaviček pomůže vtáhnout dětského diváka do světa fyziky a experimentování. Ukázka je k dispozici na webové adrese http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/15%20Objevovani%20energie.wmv, resp. http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/15%20Objevovani%20energie.mp4).
- **Bezpečnost v každém případě** (Bezpečnost kontejnerů na převoz a skladování použitého jaderného paliva je prvořadým cílem konstruktérů. Kontejnery si musí zachovat celistvost, stabilitu a těsnost i za extrémních podmínek při velmi náročném testování bezpečnosti. Ve filmu uvidíte autentické dokumentární záběry z testů: pád kontejneru z výšky 800 m na betonovou desku, zkoušku těsnosti pod vodou i v plamenech při 800 °C, simulaci zemětřesení, srážku s vlakem a simulaci nárazu nadzvukového letadla. Délka 11 minut.).
- **Budoucnost bez jaderných odpadů** (Nová převratná metoda likvidace jaderných odpadů tzv. transmutací).
- **Získávání sluneční energie** (Slunce je jedním z nejdůležitějších zdrojů energie. Film vás seznámí s příklady využití sluneční energie u nás i ve světě, s principem solárních kolektorů a funkcí zařízení, která je využívají, s různými typy slunečních pecí, vysvětlí princip fotoelektrického jevu a představí moderní fotovoltaická zařízení. Seznámí vás s první českou fotovoltaickou elektrárnou, kterou postavil ČEZ v Jeseníkách a se „slunečním domem“, který za přispění ČEZ slouží v Brně k cenným experimentům s využitím solární energie. Film vznikl ve spolupráci s Jednotou českých matematiků a fyziků a je zařazen také do nabídkové řady JČMF *Cesty k vědění*. Film získal cenu Českého ekologického manažerského centra na festlivalu Ekofilm ’97. 10 minut).
- **Stopy budoucnosti** (Málokdo ví, že existuje řada příkladů, tzv. analogií, na nichž nás sama příroda učí, jak bezpečně zacházet s radioaktivními odpady. Film vás seznámí s dvě miliardy let starým přírodním jaderným reaktorem OKLO v Africe, po kterém zůstalo přírodní úložiště jaderného odpadu, s Moro do Fero – jedním z nejradioaktivnějších míst na světě a dalšími zajímavostmi. Získané poznatky věda využívá při projektování úložišť radioaktivních odpadů. Na mezinárodním festivalu TECHFILM 96 film získal 1. cenu. Ukázka z videosnímku je k dispozici na webové adrese http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/20%20Stopy%20budoucnosti.wmv, resp. http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/20%20Stopy%20budoucnosti.mp4).
- **Uhelná elektrárna** (Krátký didaktický film, který stručně a jasně vysvětluje přeměny energie, k nimž dochází při získávání elektřiny v uhelné elektrárně. Princip elektrárny je vysvětlen animací i zajímavými záběry z areálu elektrárny, zevnitř kotle či z velína. Film se svou stručností a názorností hodí jako přímý doplněk vyučovací hodiny. Délka 7 minut).
- **Zdroje elektrické energie** (Obsahově velmi bohatý výukový film vysvětluje statickou elektřinu, elektrický náboj, vznik elektrického proudu, jeho vlastnosti, získávání elektrické energie, popisuje princip galvanického článku, akumulátoru, elektrochemických palivových článků, pojednává o využití elektromagnetické indukce a představuje jednotlivé typy elektráren. Součástí je i podrobná metodická příručka s vysvětlujícími texty, vzorci a kontrolními otázkami. Film je součástí edice JČMF *Cesty k vědění*, 19 minut).
- **Práce s Gamabetou** (Popis a předvedení pokusů s ionizujícím zářením pomocí didaktické soupravy, kterou dříve ČEZ nabízel. Nyní se můžete s pokusy seznámit alespoň pomocí filmu).

- **Jaderný palivový cyklus** (Naučný film vysvětlí pomocí animací a dokumentárních záběrů zpracování uranu na jaderné palivo, jeho použití v elektrárně a osudy použitého paliva, které může být buď přepracováno na nové palivo, nebo po prohlášení za odpad bezpečně skladováno a uloženo. 10 minut).
- **Temelín – bezpečnostní systémy** (Film o přípravě specialistů obsluhujících bezpečnostní systémy a srovnání úrovně přípravy naší a světové. Detailně se seznámíme i s každým komponentem dokonalého zařízení bezpečnostního systému JETE).
- **Temelín – manipulace s palivem** (Pro manipulaci s jaderným palivem platí striktní bezpečnostní předpisy. O jejich aplikaci na provoz jaderné elektrárny Temelín i o chodu paliva elektrárnou až po uložení paliva vyhořelého vypráví tento film).
- **Temelín – testování spolehlivosti** (Je Temelín spolehlivý? Na tuto základní otázku dává odpověď film, v němž se dále kromě jiného dozvíte o různých stupních testování, o zkouškách, které jinde neuvidíte, a míře bezpečnostního naddimenzování různých zařízení. Tyto tři filmy představují unikátní záběry ze spouštění naší nejnovější jaderné elektrárny).
- **Povodně 2002** (Dokument o vodních elektrárnách ČEZ při povodni).

Obnovitelné zdroje energie

Ve spolupráci s televizním pořadem Popularis vznikly v rámci vzdělávacího programu ČEZ 4 krátké filmy popularizující obnovitelné zdroje energie.

- **Malé vodní elektrárny** přibližuje divákům vedoucí hudební skupiny „Divoké srdce“ Michal Ambrož, který před několika lety na Vysočině zrekonstruoval malou vodní elektrárnu. Vrátil tak do života to, co zde postavil jeho děd. Spojení populární osobnosti s konkrétní malou vodní elektrárnou zavede diváka do světa malých energetických zdrojů především se snahou jasně definovat smysl a postavení těchto technologií.
- Druhý film představuje **fotovoltaiku** jako možnost převádět bohatství slunečního záření přímo na elektrickou energii. Postavení tohoto zdroje v celém energetickém systému a výhledy do budoucnosti pomáhá vysvětlit sluneční elektrárna ČEZ v areálu Dukovan.
- K další možnosti, jak zužitkovat energii ze Slunce, patří i **využití biomasy**. Divákům se představí problematika cíleně pěstovaných energetických plodin a příklady použití jak v malých spalovnách, tak ve fluidních kotlích energetické společnosti ČEZ, kde se tak ušetří stovky vlaků uhlí.
- Čtvrtý film nás zavede do Štěchovic, kde názorně vysvětlí princip **přečerpávací vodní elektrárny** a její nezastupitelné místo v energetickém systému.

Na společném DVD je i film o energetické rozvodné soustavě. Ukázku z videosnímku najdete na adrese http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/popularis-wmv-320x240.wmv, resp. na http://193.86.119.25/cez/Files/Generace/video/popularis-divx-320x240.avi.

Temelín

Málokdo se dostane dovnitř do jaderné elektrárny. Ještě méně je těch, kdo někdy byli uvnitř reaktorové haly. Ale asi vůbec nikdo (kromě zaměstnanců, samozřejmě) neviděl na vlastní oči, jak se vyměňuje palivo v otevřeném reaktoru.

Připravili jsme pro vás čtveřici zajímavých filmů, které zavedou diváka do vnitřních prostor primárního i sekundárního okruhu jaderné elektrárny. Budete sledovat pracovníky, jak vyjímají ze skladu čerstvé palivové kazety, jak kontrolují otevřený reaktor, uvidíte, co všechno se při tom na reaktorovém sále děje. Překvapí vás velikost hlavního cirkulačního čerpadla a zjistíte, jak vlastně vypadá souběh vysokotlakého potrubí, který kritizují Rakušané. Přesvědčíte se, že bezpečnost je zajištěna i pro případ té nejnepravděpodobnější havárie – robustní omezovače švihu potrubí poutají jako kovové obruče pohádkového Golema. Rakouští evropští spoluobčané je mohou vidět také – film je přeložen i do němčiny.

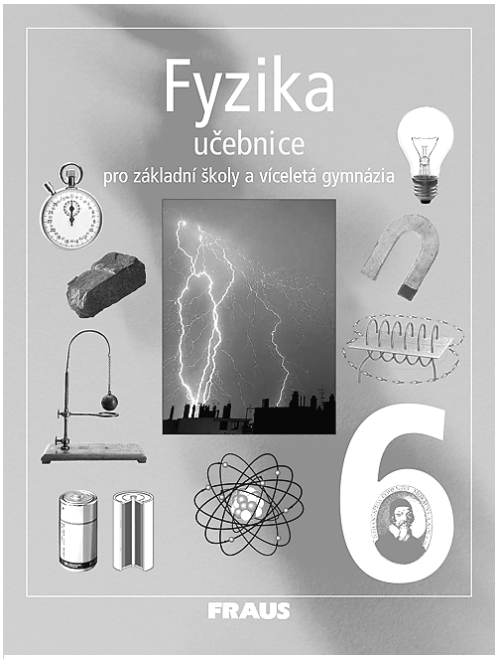
Při pravidelné odstávce se nejen mění palivo, ale probíhají různé revize a kontroly. Z reaktorové nádoby se vyjímají tzv. svědečné vzorky, což jsou kousky slitin, z nichž je vyroben reaktor. Při provozu reaktoru byly vystaveny stejným podmínkám jako vlastní konstrukce, jsou proto němými svědky toho, co se v materiálu odehrává při intenzivním neutronovém toku, vysokých teplotách a tlacích. Kontrola vzorků ověřuje, zda konstrukční materiály nejsou porušené. Filmy K**ontrola primárního okruhu**, **Kontrola sekundárního okruhu** a **Ekologický monitoring okolí elektrárny** pak divákům představí podrobněji konstrukci elektrárny a metody používané k ověřování kvality životního prostředí.

Filmy jsou k dispozici na kazetě VHS nebo na DVD.

Česká učebnice fyziky získala ocenění na Frankfurtském knižním veletrhu 2005

Václav Kohout, Nakladatelství Fraus*

Významné ocenění Evropské asociace nakladatelství učebnic (EEPG, European Educational Publishers Group) získala učebnice fyziky Nakladatelství Fraus na Frankfurtském knižním veletrhu 2005. Veletrh se konal ve dnech 19.–23. října 2005 a zúčastnilo se jej celkem 7 200 nakladatelství ze 101 zemí. V kategorii učebnic pro základní školy se na třetím místě umístil soubor učebnic určený pro druhý stupeň ZŠ, který reprezentovala Fyzika pro šestou třídu autorského kolektivu katedry obecné fyziky Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni pod vedením Karla Raunera.



Titulní stránka oceněné učebnice

Evropská asociace nakladatelství učebnic je sdružení nakladatelství z 22 evropských zemí. Z každého státu může být členem pouze jedno nakladatelství reprezentující celou zemi. Cílem EEPG je vyvíjet výukové materiály na panevropském základu, vyhledávat a sdílet informace o výukových projektech v rámci celé Evropy, vytyčovat prostory pro možnou spolupráci při tvorbě nových výukových produktů a budovat síť vztahů mezi hlavním evropskými učebnicovými nakladatelstvími. Podrobnější informace o EEPG je možno nalézt na webu http://www.eepg.org/.

Soutěž o nejkvalitnější evropské učebnice pořádá každoročně Evropská asociace nakladatelství učebnic ve dvou kategoriích – základní škola a střední škola. Každý ze členů asociace může nominovat po jedné učebnici do každé kategorie.

Knihy hodnotí jednak komise „European Quality Team“, složená z odborníků, kteří posuzují učebnice pro Evropskou komisi, jednak všichni členové sdružení v EEPG, což jsou jednotlivá nakladatelství. Kritéria komise „European Quality Team“ pro hodnocení jednotlivých titulů jsou sestavena co nejkomplexněji, posuzují se zejména následující parametry díla:

- adekvátnost učebnice pro daný stupeň školy, jak kniha zohledňuje potřeby žáků i pedagogů, přiměřenost vysvětlovaných faktů,
- transparentnost a logičnost výkladu, jasné vymezení cílů výuky,
- hodnověrnost předkládaného výukového materiálu, vnitřní soulad materiálů, metodologická, textová i faktická integrita, možnosti reálného využití knihy,
- atraktivita učebnice, její snadné používání, interaktivita, rozmanitost – využití různých typů aktivit, pracovních režimů ve výuce, citlivost podání veškerých výukových materiálů,
- možnost flexibilního využití učebnice pro individuální režimy práce se žáky, adaptabilita učebního textu,

* kohout@fraus.cz

- použití učebnice v širším komplexu učebních textů, přenositelnost do jiných režimů výuky, zohlednění integračních kritérií, podpora vytváření poznávacích návyků – řešení problémů, trénování strategií,
- co nejintenzivnější vtažení žáka do procesu výuky, jeho spoluzodpovědnost, osobní zájem žáka, partnerská účast,
- zohlednění multikulturních vztahů, podpora sociálního cítění žáků.

Jednotliví členové asociace EEPG hodnotí zejména:

- obsah a strukturu učebnice,
- grafické provedení, atraktivnost vzhledu knihy, technické provedení,
- cenu učebnice a související marketingové aktivity.

Ředitel nakladatelství Ing. Jiří Fraus s cenou EEPG

EEPG

BEST EUROPEAN SCHOOLBOOKS 2005

BRONZE AWARD

BOOKS FOR PRIMARY SCHOOL

AWARDED TO:

TITLE FYZIKA 6 (PHYSICS 6)

SUBJECT PHYSICS

AUTHORS KAREL RAUNER AND TEAM OF AUTHORS

PUBLISHER FRAUS PUBLISHING HOUSE, PLZEŇ

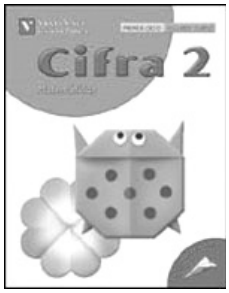
COUNTRY CZECH REPUBLIC

EUROPEAN EDUCATIONAL PUBLISHERS GROUP

Každý ze členů má možnost nominovat na vítěze knihy v každé kategorii a nesmí přitom přirozeně hlasovat pro svou vlastní učebnici. Z hlasů jednotlivých členů i z hodnocení komise „European Quality Team“ sestavuje ústředí EEPG výsledné pořadí a vyhlašuje zlatou, stříbrnou a bronzovou cenu.

CELKOVÉ VÝSLEDKY SOUTĚŽE O NEJKVALITNĚJŠÍ EVROPSKÉ UČEBNICE:

Kategorie učebnic pro základní školy



Zlatá cena: J. Fraile Martin: *„CIFRA 2“* (matematika pro druhou třídu). Editorial Vicens Vives, Spain

Stříbrná cena: Carlos Xaver, Pedro Valada*: „Música a Chamar“ – „Music is Calling“ (hudební výchova pro 6. třídu).* Texto Editores, Portugal

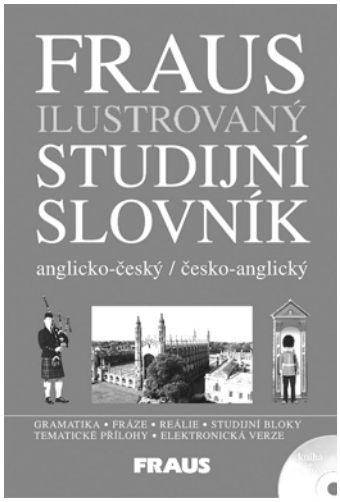
Bronzová cena: Karel Rauner a kol.: *„Fyzika 6“ – „Physics 6“* (*fyzika pro 6. třídu základních škol).* Nakladatelství Fraus, Czech Republic

Kategorie učebnic pro střední školy

Zlatá cena: Urška Lunder: *„Biologija 9“ – „Biology 9“ (biologie pro 9. třídu).* Rokus Publishing House, Slovenia

Stříbrná cena: Claus Hartmann, Hans Bruckmüller: *„Putzger Historischer Weltatlas“ – „Putzger Historical World Atlas“ (historie pro druhý a třetí stupeň).* Cornelsen Verlag, Germany

Bronzová cena: Jutta Dirnberger, Michael Lemberger, Bettina Paireder: *„Netzwerk Geschichte 2“ – „Network History 2“ (historie a sociální studia pro střední školy).* Veritas Verlag, Austria



Kromě zlaté, stříbrné a bronzové ceny mohou být navíc uděleny ještě zvláštní ceny pro mimořádně zajímavé tituly. V letošním roce získalo Nakladatelství Fraus zvláštní cenu v kategorii učebnic pro střední školy za svůj FRAUS ilustrovaný studijní slovník anglicko-český a česko-anglický.

Využijte možnosti bezplatného zapůjčení učebnic na dobu 30 dní!

Vyplňte žádost o zapůjčení a knihy pak očekávejte poštou na adresu školy. Můžete si tak knihy prostudovat a posoudit vhodnost využití na Vaší škole. Po uplynutí této lhůty knihy zašlete zpět na adresu nakladatelství:

Nakladatelství Fraus
Goethova 8
301 31 Plzeň

Podmínkou zapůjčení učebnice je její krátké zhodnocení vyplněním formuláře, který obdržíte poštou spolu s učebnicí. Z možnosti zapůjčení jsou vyňaty audionahrávky, videonahrávky a samostatné doplňkové materiály. Nebude-li zapůjčená učebnice vrácena do 30 dnů, bude Vám vyfakturována. Stejně budeme postupovat při poškození vzorku. Při navrácení učebnic, knihy dostatečně zabalte, předejdete tak možnému poškození při přepravě.

Žádost o zapůjčení musí obsahovat následující náležitosti: název školy, IČO, jméno a příjmení učitele, vyučující předmětů, adresa školy, místo, PSČ, telefon, fax, e-mail, datum, podpis. Můžete využít formulář http:/www.fraus.cz/info_pro_skoly/zadost_zapujceni_ucebnice.doc a poslat jej na adresu marketing@fraus.cz.

Nakladatelství Vám dále nabízí odborné semináře, výměnu zkušeností, on-line podporu, kontakt s autory, pilotní školy, podporu nadací a neziskových organizací. Podrobnější informace najdete na http://www.fraus.cz/hlavni_menu.php?kam=skoly.