

Didaktika fyziky: trendy, výzvy a perspektivy

DANUŠE NEZVALOVÁ

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Proměny didaktiky fyziky v průběhu času

Úvodem je vhodné připomenout, že se pro tuto vědeckou disciplínu používá různých označení, např. teorie vyučování fyzice, didaktika fyziky, metodika fyziky či metodika vyučování fyzice. I když poslední dva termíny se již takřka nevyskytují, neboť odpovídají období, kdy šlo převážně o vytváření návodů pro učitele a kratší název metodika fyziky více odpovídá souhrnu metod fyzikální vědy. Termín teorie vyučování fyzice je nepřesný, poněvadž pojem vyučování zahrnuje pouze činnost učitele a nikoliv činnost žáka. Může navozovat představy odtržení teorie a praxe. Proto budeme používat (a také doporučujeme) termín didaktika fyziky. Didaktika fyziky byla oficiálně uznána jako samostatná vědecká disciplína v roce 1965 (Fenclová, Vachek 1978).

Ačkoliv, „v nomenklatuře vědních oborů, publikovaných ve Věstníku ministerstva školství a kultury, roč. 1965, č. 8, s. 75 je mezi pedagogickými vědami uvedena pod číslem 1702 vědní disciplína s označením teorie vyučování předmětům všeobecně vzdělávací a odborné povahy a z poznámky a vysvětlivky tam uvedené pak pro fyziku vyplývá označení teorie vyučování fyzice“ (Fuka, 1978). Termín didaktika fyziky je výstižnější, stručný a odpovídá evropským zvyklostem. Tento pojem se vyskytuje ve výzkumných pracích např. francouzských (Caillot, 2007), německých (Duit, 2007; Vollmer, 2003), holandských (Lijnse, 2003), švédských (Hudson, 2007), norských (Klette, 2007) autorů. Je vhodné podotknout, že v pracích autorů anglosaských se takřka pojem didaktika fyziky nevyskytuje.

Didaktika fyziky má poměrně krátkou historii. Jako vědecká disciplína se začala u nás rozvíjet v šedesátých letech minulého století, kdy docházelo k reformám ve vzdělávacím systému, a objevily se výtky, že fyzikální vzdělávání neodpovídá stavu poznání a úrovni fyzikální vědy a techniky. Didaktika fyziky v tomto období navázala na tradiční metodiku vyučování fyzice. Snahou bylo zejména hledat metody a prostředky, které by usnadňovaly učitelům sdělovat žákům fyzikální učivo. Toto pojetí didaktiky fyziky je označováno jako aplikační pojetí (Fenclová a kol., 1984). Teoreticky se odvozovala od obecné didaktiky a byla tak speciální pedagogickou disciplínou, vztahující se k učebnímu předmětu fyzika. Primární tedy byla obecná didaktika, fyzika se uplatňovala až sekundárně.

Požadavek výuky moderní fyziky na středních školách přinesl řadu problémů, vyžadujících vědecké zpracování. Bylo nezbytné provést transfer poznatků moderní fyziky do podoby srozumitelné žákům. Ukázalo se, že výuka fyziky je složitý proces, který lze postihnout s využitím poznatků dalších věd, a to nejen fyziky a didaktiky, ale i psychologie, filozofie, sociologie, historie, kybernetiky, statistiky, matematiky a dalších věd. Didaktika fyziky využívala výsledků i metod ostatních věd. Toto pojetí je označováno jako integrační pojetí. I v tomto pojetí předmět didaktiky fyziky zůstává omezen převážně na problematiku výukového procesu. I toto pojetí nepřekračuje hranice školy a obecně vzdělávání.

Aplikační a integrační pojetí didaktiky fyziky se vyznačovala výrazným zaměřením na práci učitele v podmínkách školy. V aplikačním pojetí vycházela didaktika fyziky z obecné didaktiky a vymezovala svůj předmět jako zvláštní případ obecného, tj. školní výuky chápané výlučně či převážně pomocí obecných didaktických kategorií. Teoretickým těžištěm takto chápané didaktiky fyziky bylo stanovení optimálních vyučovacích postupů, zejména se zřetelem na činnost učitele. V dalším období docházelo v didaktice fyziky k řešení problémů modernizace obsahu. Docházelo k transformaci obsahu fyziky jako vědy do didaktického systému, což by bylo možné nazvat ze současného pohledu ontodidaktickou transformací (Janík a kol., 2009). Ukázalo se, že výuka fyziky je složitý proces, který lze postihnout jen za přispění dalších věd. Metodologie didaktiky fyziky se začala odvozovat z dalších výše uvedených věd, někdy dokonce i proto, že v pedagogice nebyly vytvořeny dostačující poznatky a metody výzkumu. Proto bylo přijato toto integrační pojetí didaktiky fyziky. I když si integrační pojetí didaktiky fyziky uvědomuje podmíněnost fyzikou jako vědou, neopomíná její interdisciplinární charakter. Nicméně i toto pojetí, stejně

jako aplikační pojetí, zůstává stále omezeno hranicemi základní a střední školy.

Od aplikačního a integračního pojetí došla didaktika fyziky ke komunikačnímu pojetí (Fenclová a kol., 1984). Toto pojetí bylo odvozeno srovnáním fyziky a výchovné sféry. Východiskem je fyzikální poznání, jehož společenská komunikace je chápána komplexně. V tomto pojetí je souvislý proces předávání a zprostředkování výsledků a metod fyzikálního poznání do vědomí jednotlivců, kteří se na vzniku poznání nepodíleli. Proces komunikace začíná již uvnitř fyzikální vědy formulací fyzikálních poznatků, hledáním cest jejich sdělitelnosti a dorozuměním s fyziky téže i jiných specializací při výzkumu a tvorbě teorie. Komunikace fyzikálního poznání přestupuje hranice fyziky k ostatním vědám a postupuje do celé společnosti a zvláště do oblasti vzdělávání a to nejen primárního a sekundárního, ale i terciárního. Proces komunikace fyzikálního poznání se projevuje ve vědomostech a postojích občanů, v jejich intelektuálních a pracovních dovednostech, schopnostech a celkové adaptabilitě, v jejich přístupu k technickému pokroku, v jejich racionálním jednání a tvořivé práci (Fenclová a kol. 1984). Nakonec se dle tohoto pojetí proces předávání fyzikálního poznávání vrací opět do fyziky a na jeho výsledku závisí reprodukce a rozvoj vědního oboru. Nevěnuje-li se dostatečná pozornost celému procesu komunikace fyzikálního poznání, může být ohrožen vědecký obor. Proces poznávání a jeho předávání ve fyzice se stal tak obtížným, že v ní ubývá zájemců o studium a vědeckou práci (Fenclová a kol. 1984).

V současnosti jak fyzikální vzdělávání, tak i fyzikální poznávání je podstatně ovlivněno informačně komunikačními technologiemi. Ale i opačně, fyzikální věda a její komunikační vědní obor – didaktika fyziky mají podstatný vliv na rozvoj těchto nových technologií. Proto současné pojetí didaktiky fyziky by bylo možné označit jako informačně komunikační pojetí. Fyzikální experimenty podporované počítačem usnadňují fyzikální poznávání a pochopení fyzikálních poznatků. Stejně tak významnou roli hrají simulace fyzikálních jevů prostřednictvím nejrůznějších počítačových programů, elektronické učebnice fyziky, e-learning a celá řada dalších technologií. Podporují nejen porozumění fyzikálním poznatkům, ale také rozvoj fyzikálního myšlení a celkově komunikaci fyzikálního poznání do vědomí každého jednotlivce.

Toto další pojetí didaktika fyziky dostatečně neakceptovala. Obsah fyzikálního vzdělávání ve srovnání s obsahem před nástupem informačních technologií se nezměnil, zůstává více méně tradiční (mechanika, termika

a molekulová fyziky, atd.), odpovídající rozvoji fyziky v 19. století. Proces poznávání a jeho předávání ve fyzice se stal pro jednotlivce nezajímavým, zastaralým, obtížně komunikativním a nedostatečně umožňujícím uplatněním na trhu práce. Toto informačně komunikativní pojetí didaktiky by mělo akceptovat nové trendy a dospět k podstatné inovaci obsahu fyzikálního vzdělávání a jeho komunikaci ve společnosti. Neefektivní komunikace fyzikálních poznatků může být jednou z příčin nezájmu žáků o fyzikální vzdělávání a následně o vědeckou práci ve fyzice. Nejde jen o komunikaci fyzikálního vzdělávání v tradičních vzdělávacích institucích, zvaných škola (základní, střední, vysoká), ale i netradičně prostřednictvím informačně komunikačních technologií a umožňující získání přírodovědné (a tudíž i fyzikální) gramotnosti každého jedince ve společnosti.

Vymezení pojmu didaktika fyziky a porovnání se zahraničními přístupy

J. Fuka (Fenclová, 1982) vymezil didaktiku fyziky takto: „Didaktiku fyziky lze stručně definovat jako vědu o vyučování fyzice nebo jako teorii vyučování fyzice“ (s. 19). *J. Fenclová* (1984) vymezuje předmět didaktiky fyziky jako souvislý proces předávání a zprostředkování výsledků a metod fyzikálního poznání do vědomí jednotlivců, kteří se na vzniku poznání nepodíleli. Tento proces didaktické komunikace fyziky lze ovlivňovat, přičemž nejde jen o přenos informace (funkce informativní), nýbrž i o vyučování a učení (funkce kognitivně formativní a výchovná). *J. Trna* (2007) definuje didaktiku fyziky jako oborovou didaktiku, chápanou v širokém komunikačním pojetí, která je hraniční pedagogickou vědou, zkoumající zprostředkování (komunikaci) oborových (fyzikálních) poznatků celé společnosti. Polský autor *M. Sawicki* (1973) definuje didaktiku fyziky jako hraniční interdisciplinární vědu, která studuje proces učení a vyučování fyzice se všemi jeho vztahy psychologickými, společenskými a civilizačními.

V současnosti v evropských zemích je didaktika fyziky chápána jako vědní disciplína, která je základním předpokladem ke zkvalitnění výuky fyziky na školách a k dalšímu rozvoji fyzikální gramotnosti. Je považována za interdisciplinární disciplínu. V německém přístupu (Duit, 2007) je vědní disciplínou, zabývající se učením a vyučováním fyzice ve škole a mimo školu. Zahrnuje výběr a vzdělávací rekonstrukci témat, která budou studována, výběr obecných cílů a výukových postupů, zahrnujících kognitivní, afektivní a sociální předpoklady učících se. Holandský autor

P. Lijnse (2010) chápe didaktiku jako disciplínu, zabývající se otázkami proč, co, koho a jak učit ve fyzice ve vztahu ke všem ostatním aspektům. Francouzská didaktika fyziky se rozvíjí po dobu čtyřiceti let a v současnosti je uznávanou akademickou disciplínou, která je plně integrována do výzkumu a vzdělávání učitelů. Tato didaktika je silně orientována na obsah předmětu fyzika a neměla by být zaměňována s pedagogikou či obecnou didaktikou (Caillot, 2007). *Jenkins* (2001) rozlišuje dvě odlišné tradice v didaktice fyziky v posledních třiceti letech: nazývá je pedagogickou a empirickou. Pedagogická tradice je primárně zaměřena na zkvalitňování vyučování fyzice. Empirická tradice, která je více patrná v USA než v Evropě, hledá objektivní data, která jsou nezbytná k pochopení a ovlivňování vzdělávací reality.

Z tohoto nepatrného přehledu lze shrnout, že didaktika fyziky se rozvíjí v posledních čtyřiceti letech ve všech evropských zemích. Její uznání jako vědní disciplíny nebylo snadné. Lze říci, že v současnosti v evropských zemích je uznávanou vědní disciplínou. Nicméně, studie *M. Vollmera* (2003) uvádí, že didaktika fyziky není považována za rovnocennou na katedrách fyziky. Mnoho profesorů fyziky se domnívá, že výzkum v didaktice fyziky není užitečný. Výzkum v didaktice fyziky má špatnou reputaci mezi fyziky (např. v Belgii, Holandsku, Francii, Itálii, Německu). Poněkud lepší postavení výzkumu v didaktice fyziky je v Anglii, což je způsobeno oddělením didaktiky fyziky od oboru a v důsledku toho nedostatečnou komunikací. Je rovněž obtížnější získat granty pro výzkum v didaktice fyziky (Vollmer, 2003). Příčinou je omezená možnost publikovat práce v didaktice fyziky v prestižních a mezinárodně uznávaných časopisech, neboť jsou převážně určeny učitelům fyziky, kteří většinou nečtou vědecké časopisy. Navíc tyto publikace jsou v národních jazycích. Výzkum v didaktice fyziky nebývá často považován za skutečný výzkum. Hlavními oblastmi výzkumu v didaktice fyziky v evropských zemích je empirický výzkum, vývoj kurikula a výzkum, který je blízký fyzice (Vollmer, 2003).

Didaktika fyziky je zahrnuta jako předmět do vzdělávání učitelů fyziky, je možnost dosáhnout vědecké hodnosti Ph.D. v tomto oboru. Ovšem počet ukončených disertačních prací v didaktice fyziky je podstatně menší než počet těchto prací ve fyzice. Např. ve Švédsku a Anglii bylo ukončeno 5–20 disertačních prací v didaktice fyziky v posledních pěti letech, ve Francii, Německu a Španělsku pak mezi 21–40 (Vollmer, 2003). Jsou prezentovány vědecké práce, probíhá vědecký výzkum. Ve většině definicí je zahrnut její vztah k fyzice, ale není opomenuta školní praxe a vliv didaktiky fyziky

na zkvalitňování výuky fyziky. Není jednotný termín pro označení této vědní disciplíny: v evropských zemích je tradiční označení didaktika fyziky, zatímco v anglosaské literatuře se většinou vyskytuje pojem výzkum ve vzdělávání ve fyzice (*research in physics education*). Domnívám se, že česká didaktika fyziky má svou tradici a během svého více než padesátiletého rozvoje dosáhla výsledků, které jsou naprosto srovnatelné s ostatními evropskými zeměmi.

Didaktiku fyziky lze chápat jako interdisciplinární vědu, zprostředkávající výsledky a metody fyzikálního poznání do vědomí jednotlivců, umožňující porozumění podstatě vědy a přispívající k přírodovědné gramotnosti jedince i společnosti.

Výzkum v didaktice fyziky

Pro výzkum v didaktice fyziky lze identifikovat 3 hlavní oblasti:

1. *Analýza vzdělávacího obsahu a jeho struktury*

Do této oblasti lze zařadit výzkumy týkající se analýzy a objasnění obsahu předmětu fyzika a analýzy vzdělávacího významu. Jde nejen o analýzu fyzikálních pojmů, zákonů, teorií, fyzikálních dějů, ale názorů na podstatu vědy a důležitosti fyziky pro společnost. Analýza vzdělávacího obsahu je zaměřena na analýzu vzdělávacích cílů, metod, strategií a hodnocení výsledků.

V této oblasti převládají analytické metody výzkumu, i když zejména v analýze vzdělávacího významu lze využít i metod empirického výzkumu.

2. *Výzkum výuky (vyučování a učení)*

Je to obvykle nejrozsáhlejší oblast výzkumu v didaktice fyziky. Základními tématy výzkumu jsou:

(a) *učení žáka* (žákovy prekoncepty, vytváření a rekonstrukce pojmů, řešení problémů, motivace, žakovy postoje k fyzice, zájem žáků o fyziku, efektivní metody učení, genderové rozdíly, odborný jazyk, práce s talentovanými žáky a žáky se speciálními vzdělávacími potřebami, studium kognitivních procesů žáka);

(b) *vyučování* (metody a strategie vyučování fyzice, komunikace se žáky, sociální interakce, mezipředmětové vztahy, objevování ve vyučování fyzice, vyučování jako vytváření příležitostí k učení);

(c) *učitelovo fyzikální myšlení a jednání* (učitelova individuální koncepce výuky fyziky, učitelovo porozumění obsahu fyzikálních pojmů, učitelovo porozumění podstatě vědy, učitelovy názory na vyučování a učení se

fyzice, učitelovy didaktické znalosti obsahu, počáteční vzdělávání učitelů fyziky, další vzdělávání učitelů fyziky, spokojenost učitelů fyziky s prací);

(d) *materiální prostředky ve výuce fyziky a metody výuky fyziky* (laboratorní práce, využití informačně komunikačních technologií ve výuce fyziky, multimedia ve výuce fyziky, pomůcky ve výuce fyziky);

(e) *hodnocení žáků* (metody hodnocení výsledků žáků, monitorování pokroku žáků, zjišťování proměnných ovlivňujících výsledky a pokroky žáků).

V této oblasti je využíváno především empirických výzkumných metod, provádí se kvalitativní i kvantitativní výzkum. Vyžívá se metod výzkumu běžných zejména v psychologii a sociologii.

3. *Výzkum v kurikulární tvorbě a didaktické transformace fyzikálního poznání*

Výzkum v této oblasti se zaměřuje na komunikační proces v didaktice fyziky, na epistemologické a ontologické otázky didaktiky fyziky ve vztahu k problémům didaktické transformace. Celou řadu témat k výzkumu dává modernizace a inovace didaktického systému fyziky, stejně jako integrační přístupy v tvorbě kurikula. Tento výzkum zahrnuje celé poznání ve fyzice, jeho systém, metody i současné a prognostické pojetí. Toto poznání zkoumá didaktika fyziky z hlediska jeho sdělitelnosti a možnosti přenosu. Patří sem např. problémy různého matematického vyjadřování fyzikálních poznatků, vytváření různých modelů přírodních dějů i myšlenkových struktur fyzikálního poznatku, systémy veličin a jednotek a další. Sem patří také výzkum smyslu a pojetí fyziky jako předmětu výuky a vzdělání vůbec, výzkum struktury obecných a specifických cílů výuky, problematika obsahu výuky fyziky (Lepil, Rakovská, 2007). Dále sem náleží výzkum problémů spjatých s postavením přírodovědného vzdělání v soudobé společnosti a problémů vztahu fyzikálního vzdělávání k současné školské soustavě (Lepil, 2010).

Výzkum se zaměřuje na problematiku vytváření, realizace, osvojování, hodnocení a revize kurikula ve vztahu k rozvoji vědeckého poznání a metodologie didaktiky fyziky. Výzkum se také soustředí na rozhodnutí, týkající se kurikula, na cíle fyzikálního vzdělávání, na implementaci a evaluaci kurikula a diseminaci inovací, zaváděných v školském systému. Náleží sem rovněž výzkum přírodovědné gramotnosti, standardů pro výuku fyziky, výzkum kvality ve fyzikálním vzdělávání, ale také výzkum mezinárodních monitorovacích studií.

Tato výzkumná oblast je nejrozsáhlejší. Je využíváno zejména metod analytických, metody kritické analýzy a empirického zkoumání.

Perspektivy dalšího rozvoje didaktiky fyziky jako vědecké disciplíny a možnost spolupráce s ostatními oborovými didaktikami

Didaktika fyziky jako vědní disciplína v posledním období dostává šanci se rozvíjet. Akreditační komise podporuje rozvoj doktorského studia didaktiky fyziky na jednotlivých fakultách. Ve své Zprávě (2010) naznačuje cesty, kterými by se měl ubírat výzkum v oborových didaktikách přírodovědných předmětů a příležitosti, které v současnosti mají tyto oborové didaktiky. Problematické přírodovědného vzdělávání se v současnosti ne pouze v teorii (oborové didaktiky), ale i ve vzdělávací politice nejen u nás, ale i v EU (*European Commission*, 2004) věnuje velká pozornost. Zájem mladých lidí o výuku fyziky klesá. V některých analýzách této situace se ukazuje, že příčinou je obsah i způsob výuky. Obsah a struktura didaktického systému fyziky se po mnoho let zásadním způsobem nemění. Výklad některých tradičních témat fyziky se stává spíše výkladem historie fyziky (Lepil, 2010).

Důraz kladený v RVP a při tvorbě ŠVP na vytváření kompetencí žáka pohled na fyzikální vzdělávání žáka dále mění. Vyžaduje se, aby žák získal takové vědomosti, dovednosti a postoje, které potřebuje pro svůj osobní rozvoj, zapojení do společnosti a úspěšnou zaměstnatelnost. To tedy znamená jistý odklon od vytváření vědou vybudovaného fyzikálního obrazu světa i od koncepce „fyziky okolo nás“ k výběru obsahu a metod výuky podřízených potřebám žáka a jeho budoucímu postavení ve společnosti. Je třeba uvážit, že se ve fyzice utvářejí nové ucelené okruhy poznatků, které jsou významné nejen z hlediska fyziky jako vědecké disciplíny, ale perspektivní jsou i pro didaktiku fyziky. Jednu z možných cest vývoje didaktického systému lze zkoumat v integraci přírodovědného vzdělávání. To naznačuje již samotný název vzdělávací oblasti v RVP – Člověk a příroda (Lepil, 2010). V tomto případě je nezbytná spolupráce oborových didaktik přírodovědných předmětů. Stejně tak vliv informačně komunikačních technologií na fyzikální vzdělávání (ve škole i mimo školu) vyžaduje výzkumné aktivity v didaktice fyziky.

Závěr

V předchozích minimálně patnácti letech docházelo k útlumu v didaktice fyziky, nedostatečně se rozvíjela vědecká práce v didaktice fyziky, ne-

byla možnost doktorského studia v didaktice fyziky, habilitačního a profesorského řízení. V současné době se vytvářejí podmínky pro rozvoj didaktiky fyziky, kterých by měla vědecká komunita co nejvíce využít

Didaktika fyziky má celou řadu oblastí a problémů, vyžadujících seriózní výzkumnou práci, která by ji dále posunula a umožnila získat patřičný respekt vědecké komunity. Nevracejme vědeckou činnost do období aplikačního či integračního pojetí didaktiky fyziky tím, že doktorské práce budou zaměřeny na pouhé metodické postupy ve výuce fyziky na základní či střední škole, podpořené slabým empirickým výzkumem s pouhým „zdáním vědeckosti“. Na všech současných pracovištích, která mají akreditované doktorské studium v didaktice fyziky, je dostačující zájem studentů o tento obor a kvalitní personální a materiální zajištění výuky tohoto oboru. Využijme tohoto potenciálu a vzájemnou spolupráci se pokusme o vědecké řešení současných problémů fyzikálního vzdělávání, získání respektu vědecké komunity a možnosti habilitačního a profesorského řízení v oboru Didaktika fyziky.

L i t e r a t u r a

- [1] *Caillot, M.*: The Building of a New Academic Field: the case of French didactiques. *European Educational Research Journal*, Volume 6, Numer 2, 2007. p. 125–130.
- [2] *Caillot, M.*: The Building of a New Academic Field: the case of French didactiques. In: *European Educational Research Journal*, Vol. 6, N 2, 2007. s. 124–130. Dostupné na: http://www.worlds.co.uk/pdf/freetoview.asp?j=eerj&vol=6&issue=2&year=2007&article=3_Caillot_EERJ_6_2_web
- [3] *Duit, R.*: Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Euroasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2007, 3(1), p. 3–15.
- [4] *Duit, R.*: Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2007, 3 (1). S. 3–15. Dostupné na: www.ejmste.com/v3n1/abstv3n1artcl_duit.html
- [5] European Commission. Europe needs More Scientists: Report by the High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology. Brussels: European Commission, 2004.
- [6] *Fenclová, J., Vachek, J.*: Výzkum v didaktice fyziky. In: Dvacet let fyzikální pedagogické sekce JŠMF. Praha: JČSMF, 1978. s. 44–65.
- [7] *Fenclová, J.*: Úvod do teorie a metodologie didaktiky fyziky. Praha: SPN, 1982.
- [8] *Fenclová, J. a kol.*: K perspektivám fyzikálního vzdělávání v didaktickém systému přírodních věd. Praha: Academia, 1984.

- [9] *Fuka, J.: Výchova vědeckých kádru v didaktice fyziky.* In: Dvacet let fyzikální pedagogické sekce JŠMF. Praha. JČSMF, 1978. s. 66.
- [10] *Hudson, B.: Comparing Different Traditions of Teaching and Learning: what can we learn about teaching and learning? European Educational Research Journal*, Vol. 6, N 2, 2007. s. 135–146.
- [11] *Hudson, B.: Comparing Different Traditions of Teaching and Learning: what can we learn about teaching and learning? European Educational Research Journal*, Vol. 6, N 2, 2007. s. 135–146. Dostupné na: www.worldwords.co.uk/eeerj/content/pdfs/6/issue6_2.asp
- [12] *Jenkins, E.: Research in Science Education in Europe: Retrospect and prospect.* In: Behrendt, H. Eds. *Research in Science Education – Past, present and future.* Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. Pp. 17–25.
- [13] *Klette, K.: Trends in Research on Teaching and Learning in Schools: didactics meets classroom studies. European Educational Research Journal*, 6(2), 2007, p. 147–160.
- [14] *Klette, K.: Trends in Research on Teaching and Learning in Schools: didactics meets classroom studies. European Educational Research Journal*, 6(2), 2007, p. 147–160. Dostupné na: www.worldwords.co.uk/rss/abstract.asp?j=eeerj&aid=3009
- [15] *Lijnse, P.: Didactics of Science: the forgotten dimension in science education research? Dostupné na: <http://www1.phys.uu.nl/research/assessment/keypublications/Lijnse.pdf>*
- [16] *Lepil, O.: Potřebuje výuka fyziky nové modernizační hnutí? In: Sborník příspěvků zahajovací konference projektu Rozvoj profesních kompetencí učitelů základních a středních škol v Olomouckém kraji, ed. O. Lepil, Olomouc 2010, s. 9–23. Dostupné na: <http://ufyz.sgo.cz/Ke-stazeni/>*
- [17] *Lepil, O. – Rakovská, M.: K vývoji didaktiky fyziky ako vedeckej disciplíny. Acta Didactica*, 1 (1), 2007, s. 16–36.
- [18] *Návrh zprávy Akreditační komise o hodnocení doktorských studijních programů z oblasti oborových didaktik přírodních věd. (Nepublikováno).*
- [19] *Sawicki, M. a kol.: Zasady i metody nauczania fizyki. Kurs podstawowy.* Warszawa: PZWS, 1973.
- [20] *Trna, J.: PCK a didaktika fyziky. Acta Didactica*, 2 (1), 2007, s. 53–60.
- [21] *Vollmer, M.: Physics teacher training and research in physics education: results of an inquiry by the European Physical Society. European Journal of Physics*, 24 (2003), p. 131–147.
- [22] *Vollmer, M.: Physics teacher training and research in physics education: results of an inquiry by the European Physical Society. European Journal of Physics* 24 (2003). S. 131–147. Dostupné na: iopscience.iop.org/0143-0807/24/2/354

Experiment ve fyzice

BOHUMIL VYBÍRAL

Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové

1. Fyzika a experiment

Fyzika, jako přírodní věda, vychází jednak z přímého pozorování (observace) přírodních dějů, jednak z experimentu. Při experimentu objektivně kvalitativně nebo kvantitativně sledujeme (měřením pomocí přístrojů) vzájemnou závislost fyzikálních veličin vyšetřovaného děje za působení co nejmenšího počtu rušivých jevů. Výhodou experimentu je, že badatel navodí děj s předem stanovenými podmínkami tak, aby jej bylo možné za stejných podmínek opakovat. U reálně probíhajícího experimentu, který je východiskem k vytvoření dobrých kvantitativních (matematických) modelů fyzikálních jevů, má zásadní význam přesné měření fyzikálních veličin. Měření veličin opakujeme a statisticky vyhodnocujeme chybu měření. Poté nastupuje člověk – fyzik s cílem formulovat fyzikální zákon. K tomu je nutná patřičná dávka fyzikálního myšlení a invence (logika, induktivní zobecňování, zvažování, které jevy jsou v dané situaci nepodstatné a tím zanedbatelné). Tak se měřením získané výsledky zobecňují do formy fyzikálního zákona (zpravidla popsáno matematickým vztahem, rovnicí – matematickým modelem). Tvůrcem fyzikálního zákona je tedy člověk, neboť zákon jím formulovaný více či méně přesně popisuje fyzikální stav látky anebo průběh děje v přírodě. Je tedy nesprávné, když se uvádí, že „příroda se řídí přírodními zákony“ (a toto někdy tvrdí i renomovaní fyzici). Příroda se řídí sama podle sebe, člověk ji pozoruje a snaží se průběh těchto dějů, případně stavů látek, matematicky popsat fyzikálními zákony. Správnost každého takto formulovaného zákona ověřujeme (verifikujeme) dalšími experimenty.

Experimenty, které slouží k budování fyzikálního obrazu světa (neboli vědecké experimenty), lze členit [8] na heuristické (objevné, badatelské), jejichž cílem je nalezení dosud neznámé zákonitosti a verifikační (ověřovací), kterými se ověřuje platnost zákona, získaného deduktivním teoretickým postupem anebo se jimi ověřují meze platnosti zákona, původně formulovaného pro jiné podmínky.

Na uvedené členění se můžeme dívat jednak z hlediska historického vývoje poznání, jednak z hlediska současného budování fyzikálního obrazu světa. V důsledku nalezených souvislostí mezi jednotlivými jevy nebo jejich skupinami, podnícených rozvojem fyzikální teorie i jejích aplikací, tak některé experimenty původně heuristické přecházejí do skupiny experimentů verifikačních. Fyzikální experimenty, které mají stěžejní význam pro budování fyzikálního obrazu světa, označujeme jako *experimenty fundamentální* (resp. základní) [8]. Těmito fundamentálními experimenty mohou být jak významné experimenty heuristické, tak i experimenty verifikační, pokud ověřují např. hypotézu, která má zásadní význam pro budování určité fyzikální teorie anebo pro oprávněnost teoretických dedukcí.

Experimenty ve fyzice lze z jiného hlediska také členit na [8]:

- *reálné* – kdy sledujeme reálně probíhající fyzikální děje a měříme je reálnými přístroji v reálném čase – jde o experimenty zásadního významu,
- *myšlenkové* – kdy se myšlenkově navodí podmínky a postup možného experimentu, přičemž výsledky se neměří, avšak deduktivně se odvozují ze známých zákonů za idealizovaných podmínek. Tento „experiment“ probíhá jen v podobě logických soudů a přináší nové poznatky bez ohledu na to, zda je experiment skutečně realizovatelný,
- *počítačové* – kdy jde o matematickou simulaci možných jevů na počítači, naprogramovanou užitím již známých zákonů (tj. matematických modelů jevů a stavů).

Myšlenkové a počítačové experimenty ve skutečnosti fyzikálními experimenty v pravém slova smyslu nejsou – reálné experimenty jimi nelze zcela nahradit. Jde o vědecké metody vytváření fyzikálního obrazu světa, kdy se experimenty jen simulují podle dosavadních poznatků a zákonů, avšak za často extrémních podmínek (tak lze snadno simulovat zpomalení děje, nebo jeho urychlení). Lze jen očekávat, že skutečné děje by podle nich pravděpodobně probíhaly.

2. Experiment ve výuce a vzdělávání

2.1 Význam a typy výukového experimentu

Výuku lze považovat za proces, při kterém žák/student *individuálně poznává (pro sebe objevuje) svět*, jeho současný stav, historii i jeho možnou budoucnost. Proto by výuka fyziky měla splňovat kroky popsané v prvním odstavci. Na základě předvedených fyzikálních experimentů by tedy žák měl pro sebe objevovat (poznávat) přírodní procesy a stavy hmoty,

učit se fyzikálnímu myšlení, které směřuje k chápání různých aplikací fyziky, mj. k usnadnění života člověka (a vedle toho by jej škola také měla vybavit schopností komunikovat, jednat a chovat se). Fyzikální experiment musí z důvodu motivace poznávání sehrávat svou roli i ve výuce fyziky. Ve výuce a v dalším vzdělávání se lze setkat s těmito typy experimentů a experimentování:

- *reálné demonstrační experimenty,*
- *experimenty s jednoduchými prostředky,*
- *fyzikální měření ve školní laboratoři,*
- *vzdálené experimenty,*
- *počítačové animace reálných experimentů (resp. fyzikálních dějů a stavů),*
- *veřejné motivační prezentace fyziky.*

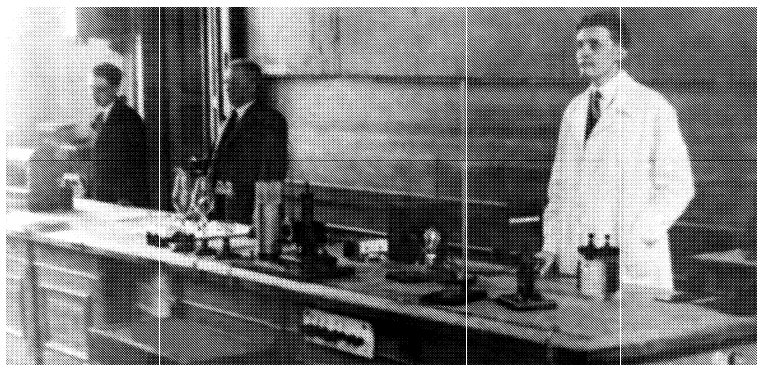
2.2 Reálné demonstrační experimenty

Jde o experiment, provedený s reálnými pomůckami a přístroji, kterým celé skupině posluchačů demonstrujeme určitý fyzikální jev. Demonstrace probíhá zpravidla kvalitativně pro celou třídu anebo si jej žáci provádějí ve skupinách či dokonce individuálně. Experiment může být i kvantitativní, chceme-li na jeho konci formulovat matematický model děje. Podobně jako ve fyzice – vědecké disciplíně – dělíme reálné demonstrační experimenty na:

- *heuristické* (objevné), kdy demonstrujeme nový jev, na němž budujeme výklad teorie,
- *verifikační* (ověřovací), kdy ověřujeme zákonitost, ke které jsme dospěli z teorie.

Heuristický experiment má předcházet výkladu zákona, k jehož formulaci se ve výstavbě fyziky dospívá experimentálně. Verifikačním experimentem naopak ověřujeme poznatek, ke kterému dospíváme teoreticky užitím jiných zákonitostí a matematiky. Vývojem fyziky (jako vědy) heuristických experimentů, potřebných k vytvoření fyzikální teorie, v průběhu jejího rozvoje ubývá. Např. teorii elektromagnetického pole lze nyní vybudovat v podstatě již jen z Coulombova zákona, který je formulován pro sílu mezi dvěma náboji (z nichž jeden je v pozorovací soustavě v klidu a druhý se vůči němu pohybuje rovnoměrně přímočaře) a užitím relativistického vztahu pro transformaci síly (tj. vztahu pro výpočet elektromagnetické síly po přechodu pozorovatele do vztažné soustavy, v níž se oba náboje pohybují) – viz [8].

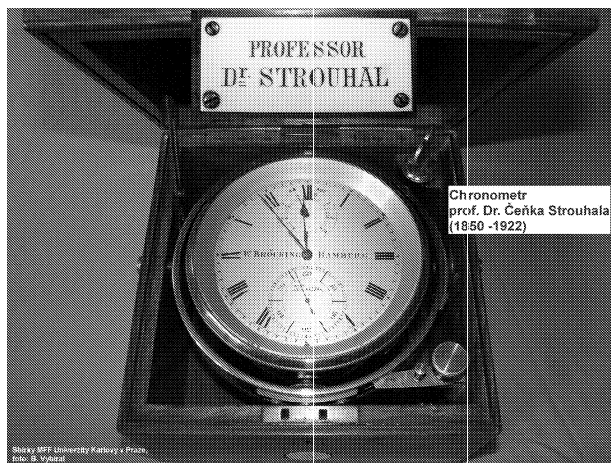
S uplatňováním experimentální stránky výuky fyziky však bývají problémy. Demonstrační experimentování je velmi náročné na přípravu (náročnost časová i dovednostní pro učitele) a je náročné rovněž na vybavení fyzikálního kabinetu. Zejména omezující je současná časová tíseň ve výuce (stále se zmenšující časová dotace hodin pro výuku fyziky). Experiment pak bývá první složkou výuky, která se vypustí. Tak ovšem ztrácíme to nejcenější podstatné – snadnější chápání jevů a motivaci pro studium fyziky a technických oborů. Potlačováním experimentální stránky výuky se tak dopouštíme nenapravitelných chyb, které poznamenávají žáky tím, že se fyziku „učí“ často jen formálně, berou ji jako soubor „vzorců“ a unikají jim velmi důležité aplikace, se kterými se mohou setkat nejen v budoucí profesi ale i v běžném životě.



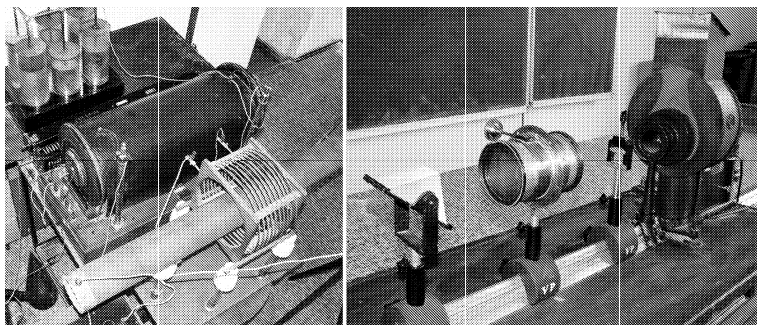
Obr. 1 Přednáška z fyziky na ČVUT v Praze, Karlovo nám. 13. z počátku 30tých let 20. století. Přednáší *prof. PhDr. František Nachtikal* (uprostřed), vpravo asistuje („soukromý“) docent *RNDr. Zdeněk Horák* (pozdější významný český profesor), vlevo je laborant (foto – archiv autora)

Pravidelné experimentování ve výuce fyzice patřilo v minulosti (zejména v době před 2. světovou válkou) k samozřejmé složce výuky a to na školách všech stupňů, zejména na gymnáziích a vysokých školách technického a přírodovědného zaměření. Školy měly krásně zařízené, udržované a systematicky doplňované fyzikální kabinety (dnes často již zredukované po různých reorganizacích anebo bohužel i krádežích). Provádění reálných pokusů při přednáškách z fyziky na vysokých školách patřilo, dalo by se říct, k nezbytnému a poutavému koloritu, kdy k jejich přípravě a provádění měl profesor k dispozici asistenta a zřízence-laboranta (obr. 1).

Rozsáhlé sbírky přístrojů a pomůcek k experimentování má a stále udržuje Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze v historické budově Ke Karlovu 5. Sbírký intenzivně před desítkami let budovala celá plejáda významných profesorů, zejména *prof. Dr. Čeněk Strouhal* (1850–1922). O jeho zaujetí pro experimentování svědčí i to, že si pořídil (soukromý) velmi přesný chronometr (obr. 2), který se zde také nachází. Sbírký jsou na MFF pečlivě udržovány a při přednáškách z obecné fyziky s oblibou stále využívány (obr. 3).



Obr. 2 Přesný chronometr ze sbírek MFF UK v Praze (foto B. Vybíral)



Obr. 3 Demonstrační experimenty v posluchárně MFF Univerzity Karlovy v Praze, Ke Karlovu 5. a) Teslův transformátor. b) Optická lavice (foto B. Vybíral)

2.3 Experimenty s jednoduchými prostředky

Mnohé nesnáze s uplatňováním experimentu ve výuce fyziky lze vyřešit *experimentováním s jednoduchými prostředky*. Je nenáročné na potřebné vybavení a může se tak uplatňovat jak ve třídě, tak v domácích podmínkách žáků či studentů. I když jde o zdánlivě primitivní experimentování, je jednou z jeho výrazných výhod, že průběh dějů je hned zřetelný. Přispívá k rozvoji fyzikálního tvůrčího myšlení a je motivační (už tím, že si žák/student pomůcku sám připraví). Na naší univerzitě dlouhodobě a úspěšně prosazuje experimentování s jednoduchými prostředky *Miroslav Ouhrabka, CSc.* [5], viz též [1], [7]. Do skupiny experimentování s jednoduchými prostředky patří i některé fyzikálně motivované hračky a stavebnice, které se objevují na trhu a lze je vhodně používat a diskutovat i ve výuce. Jde o velmi pozitivní aktivitu trhu, kterou lze využívat také k výchově vztahu dětí k fyzice a technice již od útlého věku.

2.4 Fyzikální měření ve školní laboratoři

Při laboratorním cvičení nám prvoplánově jde o měření určité veličiny – a to zpravidla užitím různých metod (a s využitím různých pomůcek a měřidel, umožňujících dosažením různé požadované přesnosti výsledku). Tato forma výuky také významně přispívá k rozvoji jemné motoriky žáka. Současná časová tíseň ve výuce a obavy z možných škod, zaviněných malou experimentální dovedností žáků/studentů, často ovšem vede k velkému omezení této složky výuky fyziky. Někdy se to řeší dosti formálním přístupem k měření ve školní laboratoři: úlohy jsou již připraveny na panelech, student musí jen málo přemýšlet, provede měření zpravidla jen formálně a počítač mu je hned vyhodnotí. Navenek vše může vyhlížet efektně, avšak podstata fyzikálního jevu značně uniká. Didakticky je totiž velmi přínosné, když si student úlohu sám podle schématu (anebo podle své úvahy) sestaví, propojí přístroje, provede experiment a zapíše výsledky měření, pomocí kalkulačky je numericky zpracuje a ručně nakreslí grafy. Na druhé straně je vhodné některou z úloh takto komplexně postavit, propojit s počítačem a využít jej ke zpracování měření, včetně určení chyb a nakreslení grafů. Tak můžeme studentovi ukázat trendy v profesionální praxi. Velkým přínosem může také být zavedení *tvůrčích laboratorních úloh* do výuky [6]. Jako tvůrčí laboratorní úlohu, která vybízí k přemýšlení, je forma úlohy typu „*černá skříňka*“. Dalším vhodným a nenákladným typem tvůrčí úlohy je *problémová úloha*, kdy úkolem řešitele je provedení měření nějaké veličiny

omezenými prostředky. Musí navrhnout metodu a mnohdy i originální postup; tento typ se uplatňuje zejména ve Fyzikální olympiádě, která však již předpokládá tvůrčí myšlení a blízký vztah k fyzice.

2.5 Vzdálené experimenty

Internet nám poskytuje zajímavé možnosti i při provádění experimentů. Skupina *doc. RNDr. Františka Lustiga, CSc.*, na Matematicko-fyzikální fakultě UK v Praze vyvinula zajímavé experimentování na dálku, nazvané „ISES WEB CONTROL“. Zájemce se může pomocí internetu připojit na vzdálenou laboratoř a na dálku v ní spustit, ovládat (po omezenou dobu 5 minut) již připravený reálný experiment. Průběh sledovaných veličin se snímá a zobrazuje na PC. V laboratoři na MFF připravili mj. tyto experimenty: vlastní a vynucené kmity (<http://kdt-17.karlov.mff.cuni.cz>), *elektromagnetická indukce* (<http://kdt-20.karlov.mff.cuni.cz>), dále *ohyb na mikroobjektech*, *Heisenbergův princip neurčitosti* (<http://kdt-13.karlov.mff.cuni.cz>), nebo *přeměna solární energie* (<http://kdt-4.karlov.mff.cuni.cz>). Zájemce si může také postavit (po zakoupení příslušného hardware a software) vzdálenou laboratoř také sám [3], [4]. Vcelku jde o velmi zajímavou iniciativu, využívající nejmodernější prostředky: internet, snímače veličin – i bezdrátově spojené s PC – a to samozřejmě může vyvolat velký zájem u části dnešní mládeže, u níž jsou aplikace internetu velmi oblíbeny. Problém experimentování ve fyzice se touto metodou ovšem řeší jen částečně. Přispívá k výuce zejména motivačně. Na druhé straně je třeba znovu podtrhnout, že není nad reálný experiment (byť někdy provedený „jen“ s jednoduchými prostředky), bezprostředně uskutečněný učitelem v posluchárně anebo studentem v laboratoři.

2.6 Počítačové animace reálných experimentů, applety

Počítače umožňují velmi dobře modelovat různé fyzikální děje a stavy (naprogramované na základě známých fyzikálních zákonů – matematických modelů těchto dějů). Jde zde o vytváření fyzikálních vizualizací, tzv. appletů v jazyce java, které znázorňují více či méně schematicky průběh dějů anebo fyzikálních stavů látek. Vynikající úplný soubor fyzikálních appletů v angličtině je dostupný z [www: http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/applets.htm](http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/applets.htm); applety z moderní fyziky jsou na: <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/applets.htm> (jsou zde zpracovány oddíly: *Bose-Einstein Condensation*, *Microwave Ovens*, *The Two-Slit Experiment*, *X-*

rays and CAT Scans, Electromagnetic Waves and Particles, Doppler Effect, Lasers). Jednoduché aplety pro středoškoláky také vytvořil např. *Mgr. Vítězslav Kubín* z Gymnázia v Chebu a jsou dostupné z <http://v.kubin.web.cz/>.

Velký soubor apletů z elektřiny a magnetismu je na <http://fyzweb.cuni.cz/dilna/index.htm#aplelmagcizi>. Všeobecný velký přehled fyzikálních apletů, které jsou umístěny na internetu, je dostupný z [www: http://webfyzika.fsv.cvut.cz/6aplety.htm](http://webfyzika.fsv.cvut.cz/6aplety.htm). Význam těchto fyzikálních apletů je v tom, že umožňuje studentovi (i talentovanému žákovi ze ZŠ) snadno a přesně prezentovat různé fyzikální jevy, stavy a situace, včetně libovolně nastavitelné (avšak fyzikálně přípustné) změny počátečních podmínek dějů. Těmito animacemi sice reálný pokus nahradit nelze, avšak na druhé straně umožňují znázornit i děje, které by se reálně uskutečňovaly velmi obtížně. To přispívá k dokonalejšímu (a pro mládež především k hravému) chápání a osvojování fyziky.

Můžeme se setkat i s jinými animacemi fyzikálních sestav a zapojených přístrojů pro demonstrační experiment nebo měření. Bývá to sestava sice statická, avšak ve formátu 3D. Na rozdíl od fotografie si uživatel může sestavu otáčet a podrobně ji prohlížet z různých úhlů. Žák/student si tak může i v domácích podmínkách promyslet a zopakovat látku. Takové animace např. vytváří *Mgr. Cyril Havel*, doktorand Univerzity Hradec Králové, pro nakladatelství Fraus.

Existuje i jiné velmi pěkné využitím internetu pro fyzikální měření, které realizovala skupina *doc. RNDr. Leoše Dvořáka, CSC.*, na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Na internet (http://fyzweb.cuni.cz/dilna/osciloskop_hratky/index.htm) umístili volně přístupný funkční model měřicího osciloskopu s příslušným software, který pomocí počítače a internetu umožňuje provádět různá elektronická měření včetně analýzy zvuku, který je zachycen mikrofonom, připojeným k PC uživatele.

2.7 Veřejné motivační prezentace fyziky

Fyzikální experimentální prezentace se prováděly již v dávné minulosti. Experimentování se statickou elektřinou např. převáděl náš *Prokop Diviš* (1698–1765) císařskému dvoru ve Vídni. Uvádí se také, že holandský fyzik *Hans Christian Oersted* (1777–1851) při jednom veřejném experimentování z elektřiny a magnetismu v r. 1820 zcela náhodou objevil magnetické účinky elektrického proudu (prý také díky pracovnímu nepořádku na experimentálním stole). Ke zvýšení zájmu o fyziku jsou veřejné fyzikální

produkce aktuální stále. Mohou být konány např. rámci univerzit anebo i pro širší veřejnost. Jednoho takového velmi pěkného experimentálního show v roce 1995 jsem byl s *prof. Ivo Volfem* svědkem u příležitosti 26. Mezinárodní fyzikální olympiády na „University of Canberra“ v Austrálii. Zde *prof. Malcolm Longair* z „University of Cambridge“ z Velké Británie připravil pro účastníky této světové soutěže 90 minutovou produkci, na níž názorně vysvětlil a pomocí dostatečně rozměrných reálných přístrojů předvedl měření základních fyzikálních konstant: e , e/m_e , h , G , c (s přesností na 2–3 číslice). Poté uspořádal turné se stejným programem po všech australských univerzitách.

Ke zvyšování tvůrčí aktivity, motivace a povzbuzení nyní velmi žádoucího zájmu dětí a mládeže o fyziku a techniku přispívají různé i rozsáhlejší aktivity pro širší veřejnost, kdy „fyzika jde do ulic“ a zahrnuje také atraktivní fyzikální experimentování. Na naší Univerzitě Hradec Králové tuto aktivitu, nazvanou „Hrajme si i hlavou“, již po tři roky organizují *PhDr. Jana Česálková*, *Ph.D.* a *RNDr. Michaela Křížová*, *Ph.D.* O úspěchu této mimořádně prospěšné aktivity svědčí i masová účast veřejnosti. Např. v roce 2010 byl počet účastníků (zejména žáků a učitelů ze základních a středních škol, avšak i rodičů s malými dětmi) přibližně 1600. Stejná akce se konala i v červnu 2011 a počet účastníků byl již asi 2000.

Chvályhodná je i aktivita některých technických muzeí (např. v Plzni, Brně nebo zejména v německém Mnichově) a Informačního centra ČEZ v Hradci Králové, které zřídily funkční fyzikální expozice, umožňující návštěvníkům vyzkoušet si některé zajímavé reálné fyzikální experimenty.

3. Závěr

Fyzikální experiment má rozhodující význam nejen pro fyziku, jako vědu, nýbrž také pro fyziku jako vyučovací předmět na školách všech stupňů. Dobře připravený a provedený reálný experiment nejen usnadňuje učiteli výklad, zvyšuje pozornost ve výuce, ale motivuje žáka či studenta a podněcuje tak jeho zájem o studium fyziky a jeho technických, případně jiných přírodovědných aplikací. Není přitom nad experiment reálný, avšak i simulace na počítači s využitím appletů dovede přispět k pochopení fyzikálních dějů, zejména jejich matematických modelů. Na druhé straně dobře připravený reálný experiment vyžaduje nejen vybavený kabinet, zkušenost i určitý čas ve výuce na jeho provedení – to není v dnešní době, kdy se ve výuce potýkáme s časovou tísní, právě jednoduché. Nicméně zájem žáka či

studenta, kterého reálně provedený experiment motivoval ke studiu fyziky a k soutěži ve Fyzikální olympiádě, je tou nejlepší odměnou. Experiment přispívá k rozvoji tvůrčího myšlení a jemné motoriky žáka/studenta. Význam reálného (avšak i simulovaného) experimentu pro fyziku jako vědu i pro vyučovací předmět je značný – umožňuje nejen dokonalé poznávání přírody (a chápání přírodních jevů), ale také významně přispívá k rozvoji osobnosti civilizovaného člověka.

L i t e r a t u r a

- [1] *Drozd, Z.*: Pokusy z volné ruky. In: DIDFYZ 2000, s. 97–101. Nitra: Fakulta přírodních vied Univerzity Konštantína Filozofa, 2001, ISBN 80-8050-581-0.
- [2] *Eckertová, L.*: Cesty poznávání ve fyzice. Praha: Prometheus, 2004, 196s, ISBN 80-7196-293-7.
- [3] *Lusitg, F.*: Softwarová stavebnice „ISES WEB CONTROL“ pro jednoduchou tvorbu vzdálených experimentů. Dostupný z [www](http://www.ises.info/old-site/Lustig_ICTE_c.html): <http://www.ises.info/old-site/Lustig_ICTE_c.html>.
- [4] *Lusitg, F.*: Jak si jednoduše postavit vzdálenou laboratoř na internetu. Dostupný z [www](http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_09/09_19_Lusitg.html): <http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_09/09_19_Lusitg.html>.
- [5] *Ouhřabka, M. – Vybíral, B.*: Fyzikální experimenty s jednoduchými prostředky 1. Učební pomůcka, videonahrávka (60 min.) 118 experimentů s komentářem. Hradec Králové: UHK, První soukromé jazykové gymnázium, 2006.
- [6] *Vybíral, B.*: Za tvůrčí experimentální úlohy ve výuce fyziky. In: DIDFYZ 2000, s. 97–101. Nitra: Fakulta přírodních vied Univerzity Konštantína Filozofa, 2001. ISBN 80-8050-387-7.
- [7] *Vybíral, B.*: Experimenty s plastovou lahví. Matematika, fyzika, informatika. 14 (5/2005), s.276-284, ISSN 1210-1761.
- [8] *Vybíral, B.*: Fundamentální experimenty ve fyzice. Matematika, fyzika, informatika. 15 (5/2006), s.274-287, ISSN 1210-1761.
- [9] *Vybíral, B.*: Obecné principy fyziky. Obzory matematiky, fyziky a informatiky. 37 (1/2008), s. 48–66, ISSN 1335-4981.