

„SVĚTOVÝ ROK FYZIKY“ JAKO UZNÁNÍ A HOLD FYZICE

Josef Jelen, katedra fyziky, Elektrotechnická fakulta ČVUT, Technická 2, 166 27 Praha 6

Příspěvek není referátem ani líčením historie fyziky. Je jen uznáním a vyjádřením díky za pohodlí a moc, které nám fyzika přináší a zdůrazněním jejího podstatného místa v poznávání přírody.

1. Úvod

Světový rok fyziky 2005 byl vyhlášen ke 100. výročí Einsteinova „zázračného roku“ 1905. Tehdy mladý A. Einstein krátce po sobě publikoval několik prací, které měly základní a stimulující význam v následujícím bouřlivém rozvoji fyziky v přicházejícím 20. století.

Vybraný rok věnovaný propagaci fyziky není však jen vzpomínáním. Je především příležitostí připomenout si, co všechno fyzika za oněch sto let dokázala a jak hluboce a pronikavě se zapsala do způsobu života současné lidské společnosti jako celku i do tvárnosti života každého z nás jako jednotlivce. Nejde v něm však jen o posledních sto let. Jde vůbec o zdůraznění a uznání role a postavení fyziky a jejích hodnot ve vědě a v technickém charakteru soudobé lidské civilizace.

V minulých číslech Československého časopisu pro fyziku řada povolanych autorů připomněla jednotlivé Einsteinovy původní práce a cesty, jimiž se další poznání na ně navazující ubíralo [1 - 7]. V předešlých číslech byly také popsány výsledky práce jednotlivých fyzikálních pracovišť v akademii i na katedrách vysokých škol, které se u nás na rozvoji fyzikálního výzkumu podílejí.

V tomto, jakémisi závěrečném oslavném příspěvku, věnovanému Světovému roku fyziky souhrnně, se spíše pokusíme obecněji ukázat na postavení fyziky ve vědě a v její historii a připomenout nesčetné konkrétní aplikace fyziky, jimiž denně vstupuje do všech oblastí našeho života. Více se o kulturních hodnotách fyziky a vědy obecně snažil napsat článek [8].

2. Mechanika

Poté, co se od renesance počalo formovat novověké kritické přírodovědné myšlení a po Galileovi nastoupila řada experimentujících přírodovědců 17. století (Torricelli, Pascal, Huyghens, Boyle, Hook...) byla záhy I. Newtonem zformována první velká a ucelená fyzikální (a možná i vůbec první vědecká) teorie, totiž klasická mechanika. Základní vlastností těles v ní vyjádřenou byla setrvačnost jejich pohybu. Teprve síla daná interakcí s jinými tělesy vede ke změnám jejich pohybového stavu a každé silové působení je vždycky vzájemné. To jsou v kostce Newtonovy zákony, z nichž newtonovská mechanika vycházela. Po vytvoření a rozvinutí potřebné matematiky a po zavedení řady vhodných pojmů a postupů (Laplace, d'Alambert, Lagrange, Hamilton,...) dosáhla analytická mechanika ve variačních principech až téměř estetické dokonalosti.

Mechanika pracovala s představou o malých (bodových) částicích působících na sebe silami podléhajícími známým, matematicky formulovaným zákonům. Bohatost pozorovaného světa byla dána bohatostí vazeb těchto částic mezi sebou navzájem. Mechanický obraz světa byl názorný a natolik přesvědčivý a úspěšný, že vysvětlit nějaký jev znamenalo ve své době vlastně umět vytvořit jeho mechanický model. Tento přístup byl tak plodný, že v něm bylo možné vypracovat nejen mechaniku soustav bodových částic, ale i mechaniku tuhých těles (tj. i základy teorie strojových mechanismů), mechaniku kapalin a plynů (tj. popsat i jevy proudění), teorii pružnosti (tak důležitou dodnes pro studenty technických fakult strojních a stavebních) a teorii mechanických vlnění (včetně akustiky); umožnila pracovat i s pojmy

teploty a tepla (tj. připravila i cesty k technickému rozvoji parních strojů a spalovacích motorů), atd. Vedla k technické revoluci své doby.

Newtonova mechanika s gravitačním zákonem dokázala vlastně „snést nebe na zemi“! Předpověď existence planety Neptuna a výpočet jeho polohy na obloze byly triumfem nebeské mechaniky. Něco takového bylo dříve vůbec nemyslitelné. Dění pozemské a dění na obloze bývaly tradičně různé oblasti zájmu. Fyzika té doby přinesla člověku po prvé vůbec vědomí, že existují jednotné universální přírodní zákony platící v celém tehdy známém vesmíru. (Komety přestaly být nositelkami budoucích neštěstí a katastrof seslaných na lidstvo vyšší mocí, atp.)

Mechanika přinesla a natrvalo nám odkázala tak nosné představy a pojmy, jakými jsou čas, prostor, částice, energie, hybnost, moment hybnosti atp. I dnes se podle zákonů mechaniky vznášejí balony a rogalá, obří letadla létající mezi kontinenty a rakety mířící k Měsíci, voda proudí potrubím podle Bernoulliovy rovnice a podle mechanických zákonů roztáčí kola turbín, aby nám v elektrárnách vyrobila elektrický proud atd. Mechanika je našim smyslem nejbližší a zůstane tak trvale oporou našich každodenních představ a našeho vnímání světa na makroskopické úrovni.

3. Elektromagnetické jevy

Počátkem 19.století začaly být intenzivně studovány též elektrické a magnetické jevy, jejich vztahy a vzájemná silová ovlivňování. Jména: Coulomb, Volta, Oersted, Faraday, Ampère, Joule, Weber, Kirchhoff... lemují cesty postupného objevování vzájemných souvislostí.

Od Faradaye pochází základní představa o poli. Elektrické proudy generují magnetická pole, ale také naopak, změny v magnetickém poli dávají vzniknout indukovanému napětí, elektrickým silám a elektrickým proudům. Na povrchu látek se za jistých okolností objevují elektrické náboje a lze tedy soudit, že elektrické náboje jsou nějak přítomny už ve strukturách látkových prostředích.

Systematickou matematickou teorii elektromagnetických jevů posléze vypracoval J. C. Maxwell, když přidal předpoklad, že také změny elektrického pole vedou ke vzniku pole magnetického. Z takto završené teorie, ze vzájemné podmíněnosti proměn elektrické a magnetické složky pole, bylo možno teoreticky předpovědět případnou existenci elektromagnetického vlnění, šířícího se vakuem velikou rychlostí $c=300000\text{kms}^{-1}$. Tento předpoklad možné existence vln v elektrickém a magnetickém poli, nevynucený předchozím experimentem, byl nedlouho poté Hertzem experimentálně opravdu potvrzen a vypočítaná rychlost c se ukázala být vlastně již dříve známou rychlostí světla. Různé světelné jevy byly již dávno předtím studovány v ohybových a interferenčních pokusech. Optika však dostala nové zařazení, stala se součástí teorie elektromagnetického pole. Světlo bylo identifikováno a pochopeno jako elektromagnetické vlnění s extrémně vysokými frekvencemi a velmi malými vlnovými délkami.

Poznání elektrických a magnetických jevů, jejich silové působení na látková prostředí a jejich vzájemné vztahy vedly postupně k celé rozsáhlé škále aplikací a využití. Připomeňme třeba galvanické zdroje napětí, akumulátory, elektrické generátory, transformátory, rozvody, elektrické motory, atd., ale i telegraf, telefon, záznamy zvuku, gramofony, osvětlovací tělesa, spotřebiče všeho druhu, včetně samozřejmě chladničky, elektrického sporáku a pečící trouby v dnešní domácnosti. Dnes je zeměkoule v okolí velkých měst a průmyslových aglomerací dokonale zadrátována a svými světly musí na případné návštěvníky z Marsu, či alespoň na cestující v mezikontinentálních leteckých spojkách, působit dojmem rozzářeného vánočního stromečku. Zeměkoule je dnes dokonale globálně a totálně elektrifikována. V prvních desetiletích 20. století ještě přibýly bezdrátové technologie založené na elektromagnetickém

vlnění: radia a poté i televizory a spoje nejrozmanitějšího určení. Kolem Země je člověkem upletena hustá pavučina utkaná z elektromagnetických vln.

4. Počátek 20. století. A. Einstein a teorie relativity

Jenže, zcela přirozeně se objevovaly na stole nepříjemné otázky. Co je to pole? Co se vlastně vlní? Co je to éter a jak vypracovat jeho mechanický model? Je éter pohybem Země strháván? Proč Michelsonův experiment nasvědčuje tomu, že rychlost světla nezávisí na pohybu zdroje ani pozorovatele? Jak je to s elektromagnetickými jevy ve struktuře látek? Jak rozumět Lorentzově transformaci, v níž Maxwellovy rovnice zachovávají svůj tvar (a rovnoměrný pohyb je tedy elektrodynamicky nezjistitelný), zatímco Newtonovy rovnice se s touto transformací neslučují?

Jiné otevřené otázky se týkaly vysvětlení optických spekter látek. Jak září zahřátá tělesa? Atd. A před koncem 19. století přišly i problémy další. Bylo objeveno rentgenovské záření X i radioaktivní záření α , β a γ . Do fyziky začal naléhavě vstupovat svět atomů a problémy kvantování energie. Existence atomů, v chemii sice naznačená a potřebná, ve fyzice byla však zatím neprokázaná a ne všemi byla ochotně přijímána (kupř. ještě Mach atomům příliš nedůvěřoval).

K odpovědím na tyto otázky mladý Einstein svým dílem přispěl právě před rovnými sto lety. Položil základy ke speciální teorii relativity, zasloužil se o přijetí „světelných kvant“ a přispěl i uznání atomární struktury látek.

Ve studiu elektrodynamiky se nepokoušel modelovat éter, ale položil důraz na to, co z experimentálně měřených situací opravdu víme a došel k přesvědčení, že představy o prostoru a času je třeba budovat bez předchozích a tradičních svazujících představ. Einsteinův přístup byl opravdu smělý. Ukázal, že prostor a čas, které jsme považovali za důvěrně známé, jsou ve skutečnosti úzce spjaty a neodlučně provázány. Pojem současnosti dvou různých událostí je pouze relativní. Nemůže-li světlo vzdálenost mezi nimi překonat včas, není jejich časové pořadí absolutní a nemohou být kauzálně (tj. nějakou fyzikální akcí) spolu spojeny, jsou „kvazisoučasné“. S těmito skutečnostmi, s jevy typu „kontrakce délek“, „dilatace času“ ap. se dnes seznamují studenti již na středních školách. K dobrému porozumění těmto překvapivým skutečnostem účinně přispívají rozbory zdánlivě „absurdních“ prostoročasových paradoxů. Viz kupř. [9]. Do přehledného, názorného a velmi plodného čtyřdimenzionálního geometrického tvaru, umožňujícího další zobecňování, Einsteinovy výsledky přioděl H. Minkowski.

Einstein našel i vztah mezi setrvačností a energetickým obsahem vyjádřený známým vzorcem $E=mc^2$. Tato formulka se stala téměř symbolem a logem speciální teorie relativity. I když umíme uvolnit energii podle tohoto vztahu štěpením uranu v jaderných reaktorech, ba i topením dřívím na ohni či uhlím v kamnech a Sluníčko nám tuto energii vlastně trvale pomalu dodává a udržuje tím náš život, je řízená termonukleární reakce námi ovládaná a dodávající lidské civilizaci dlouhodobě energii v potřebném množství, stále ještě jen ve stádiu slibovaného a očekávaného zdroje. Není však pochyb, že klíč k této cestě drží a musí nalézt právě fyzika a to především fyzika horkého plazmatu.

Obecná teorie relativity (tj. relativistická teorie gravitace, tzn. gravitačními vlivy zformovaná metrika prostoročasu) dnes představuje asi nejčastěji a neúspěšněji popularizovanou oblast současné fyziky. Kosmologická a astrofyzikální témata jsou patrně nejběžnějšími tématy z fyziky známými v širší veřejnosti. Vznik modelů vesmíru, otázky jeho konečnosti či nekonečnosti, jeho topologie, expanze, „velkého třesku“, reliktového záření, gravitačních vln, „černých děr“, pulzarů, kvasarů ap. a dnes i temné hmoty a „temné energie“ jsou vděčnými tématy pro veřejnost. Navzdory tomu, že na náš každodenní život řešení těchto otázek příliš podstatný vliv nemá. Je to ovšem tak dobře, fyzika tím získává na vážnosti a respektu.

5. Kvantová fyzika

Cesta dalšího proudu poznání, do kterého Einstein r. 1905 vstoupil svým článkem o fotoelektrickém jevu (a byl především za něj r. 1921 odměněn Nobelovou cenou) je ještě napínavější a dramatičtější. Planckovu úspěšnou myšlenku o kvantování energie elektromagnetického pole při tepelném vyzařování zahřátých těles rozvinul Einstein představou o „světelném kvantu“ nesoucím energii, tj. o dnešním fotonu.

Další cesta kvantové teorie byla lemována jmény Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Pauli atd. Kvantové mechanice, která se v jejich pracích zrodila, však Einstein na chuť příliš nepřišel. V r. 1935 spolu s dalšími publikoval známý článek s tzv. „EPR paradoxem“ [10]. Snažili se v něm ukázat, že naše téměř samozřejmé představy o existenci fyzikální reality (či alespoň „elementů fyzikální reality“) a o lokálním charakteru přírodního dění nemohou být v kvantové mechanice současně dobře splněny. Proto ji Einstein považoval za teorii neuspokojivou a naúplnou. I Schrödinger, jehož jméno je pro mnohé studenty (především technických fakult) téměř symbolem kvantové mechaniky, téhož roku na teorii vymyslel proslulou „Schrödingerovu kočku“ jako příklad podivnosti kvantových pojmů aplikovaných v makroskopickém světě.

Ještě r. 1951 píše Einstein příteli Bessovi v dopise: „Ani padesát let usilí mě nepřivedlo blíže k pochopení toho, co je světelné kvantum.“ A R. Feynman r. 1965 píše: „...troufám si říci, že kvantové mechanice nerozumí nikdo“ [11]. I dnes je kvantová mechanika předmětem diskusí o tom, jak jí máme rozumět a jak interpretovat smysl stavového vektoru $|\psi\rangle$ [12-14]. Do hry vstupuje specifický fyzikální pojem kvantové informace. Lze očekávat, že pojem informace bude ve fyzice jedním z pojmů ústředních a nebude hrát roli rozhodně méně závažnou než dnes pojmy čas, energie či elektrický náboj ap. Je trochu ironií, že směr zájmu o studium „kvantové informace“ vytýčili v počátcích právě Einstein (v EPR paradoxu) a Schrödinger (zavedením pojmu „entanglovaného“, tj. provázaného stavu). V diskusi bývá často kladena otázka, o čem kvantová fyzika vůbec pojednává.

Veškeré rozpravy však nic nemění na tom, že kvantovou teorii velmi úspěšně využíváme při popisu dějů ve světě atomů a ve struktuře látek (jak se ještě zmíníme) a že kvantová mechanika byla rozvinuta do (relativistické) teorie kvantových polí. Dnes má podobu tzv. Standardního modelu částic, který zatím vcelku dobře odpovídá známým vlastnostem částic a jejich interakcí. Výhledem pro příští století je jeho rozvinutí obsáhnutím i interakce gravitační a vytvoření tzv. „teorie všeho“, jak se někdy kýžený cíl, ne právě šťastně, nazývá. Na cestě však stojí monumentální úkol spojení obou velkých teorií fyziky naší doby, kvantové teorie polí a obecné teorie relativity. Že by však poté bylo vše hotovo a nebylo čím se zabývat, takové nebezpečí z mnoha důvodů rozhodně nehrozí.

6. Svět atomů a aplikace kvantové fyziky

Zatím se vraťme do všedního dne. Od počátku 20. století se staly středem zájmu fyziky atomy. Fyzika posledního sta let je především fyzikou atomů, jejich struktur (tj. „elementárních“ částic a jejich kvantových polí) a struktur z atomů vytvářených (tj. především fyziky kondenzovaných látek). Ve světě atomových rozměrů je však téměř všechno kvantové povahy. Fyzika 20. století je tedy především fyzikou kvantovou a jejích aplikací. A to navzdory její nenázornosti a navzdory tomu, že otázky jak kvantové fyzice vlastně rozumět zůstávají v lecčems otevřené. Víme ale, jak kvantové jevy v rozměrech atomů fungují a jak je vhodně využívat.

Relativistické rychlosti blízké rychlosti světla jsou v rozměrech atomů dobře možné a dokonce časté. I tak závažný kvantový jev, jakým je vlastní moment hybnosti, tzv. spin, je jev kvantově relativistický. Jeho aplikace využívané a chystané vedly až k postupnému

prosazování se nového slova „spintronika“. (Ostatně už Einstein u počátků studia spinu nechyběl. Vzpomeňme na tzv. Einstein-de Haasův experiment.)

Einstein stál i u kořenů laserů. Jeho práce, týkající se stimulované emise záření předznamenala budoucí fyziku laserů. Kvantová optika obecně je slibnou disciplínou příštích desetiletí (i letošní Nobelovy ceny za r. 2005 ji ocenily). S ní a s aplikacemi spinu je spojena očekávaná perspektivní budoucnost kvantových informačních technologií (kvantového počítání, kryptografie, teleportace).

Největší rozsah a úspěch v aplikacích měly výsledky dosažené ve fyzice pevných látek, zejména v polovodičích při využití tranzistorového jevu ap. Všechny elektronické vymoženosti, radia, televizory atp., vybudované na elektronických obvodech (původně s elektronkami, kondenzátory, cívkami ap.), bylo možné miniaturizovat na integrovaných strukturách v malých rozměrech čipů, procesorů, pamětí atd. To přineslo přímo bouřlivý rozvoj počítačových technologií v posledních desetiletích 20. století. Počítač není dnes už zařízením určeným především k provádění výpočtů, tj. sloužící k nalezení řešení matematických úloh (i když superpočítače také potřebujeme), ale slouží obecně v různých podobách ke zpracování ohromných množství informací všeho druhu a určení. Pokusme se vyjmenovat, kde všude se počítače a jim příbuzné fyzikální aplikace vyskytují kolem nás.

7. Pohodlí všeho druhu

Začněme třeba počítačovými sítěmi. Počítače zprostředkovávají komunikaci mezi úřady, bankami, policií, armádou, uvnitř podniků, firem atp. Internet nám umožňuje číst okamžitě nejnovější zprávy z celého světa, vyhledávat, číst a kopírovat si vědecké články a sdělení kolegů z mnoha zemí, posílat si navzájem elektronické dopisy (maily) či obrázky, nacházet dopravní spojení, místa dovolené, vyhledávat bývalé spolužáky atp. Umožňuje nám psát a tvořit odborná pojednání, kontrolovat správnost cizojazyčného textu atp. Chcete-li, můžete třeba „klábosit“ s neznámými lidmi. Můžete nakupovat na dálku, hledat programy televize, předpověď počasí a vůbec můžete hledat téměř všechno, na co si jen vzpomenete.

Malé počítače a procesory různého určení se vyskytují všude tam, kde je nutné něco řídit, ovládat, kontrolovat, sledovat... Existují vlastně i celé obory, ba i fakulty technických vysokých škol zaměřené na informační technologie určené pro aplikace tohoto druhu. (Trochu krátkozraké však je to, že obvykle nemívají velký zájem o hlubší fyzikální vzdělání, ale spíše jen o to, jak lze dané technologie a daná zařízení výhodně využít a bezprostředně aplikovat. Se vzděláním ve fyzice to jde na technických vysokých školách spíše z kopce.)

Sledovat, ovládat a řídit, to je zapotřebí na mnoha místech. Je třeba řídit práci na výrobní lince v podniku, regulovat optimální vstřikování palivové směsi v motoru automobilu, naprogramovat praní prádla v pračce či ohřívání jídla v mikrovlnné troubě atp. Je žádoucí dálkově ovládat nějaký robot (třeba dětské autíčko nebo i posouvat robotem na planetě Marsu). Ostatně celá kosmonautika je životně podmíněna fyzikou 20. století. Díky aplikaci laserů můžeme skenovat obrázky, zhotovovat xeroxové kopie dokumentů, tisknout na laserové tiskárně, poslouchat hudbu z CD přehrávačů, sledovat digitální video atd., atd. Fyzika nám v systémech GPS umožňuje určovat polohu místa na Zemi včetně relativistických korekcí (třeba sledovat ukradený automobil nebo vybírat mýtné na dálnicích). Díky fyzice máme v pohotovosti v kapse mobil a hodinky na ruce nám ukazují přesný čas. Vše, co je nějak digitální, obsahuje pokročilou fyziku 20. století, ať je to peněžní karta, čip na otvírání dveří u auta či u garáže... A mohli bychom dlouho pokračovat dál a dál. Neuvědomujeme si už ani kde všude fyziku 20. století využíváme a v jakých vymoženostech kolem nás nám pomáhá a slouží. Televizor se nám zapne a sám nahraje zvolený pořad podle našeho přání, na svém rekreačním bicyklu registrujeme kolik jsme najeli kilometrů pro své zdraví a jak rychle... Vše přijímáme prostě jako samozřejmost.

Světový rok fyziky je tedy rozhodně na místě. Jednou jsem žertem pronesl myšlenku, že místo barevných laserových produkcí k připomenutí tohoto roku fyziky, bylo by účinnější na jednu hodinu či alespoň na deset minut vypnout všechny ty nespočetné aplikace, které nám fyzika 20. století poskytuje. Nu, co, nešel by nám na čas televizor, počítač, mobil, nefungoval by čip na otevírání dveří atd. Přechkali bychom to. Velice jsem ocenil, když kolega lékař, který šel se mnou se zamyslet a potom povídá: „Nu, nedělejte to. Mnoho lidí má voperovaný kardiostimulátor...“ Přišlo mi to, jako fyzikovi, velice milé.

Na tomto místě bychom mohli oslavný příspěvek ke Světovému roku fyziky docela dobře a přesvědčivě ukončit.

Přesto však přece jen ještě stručně shrňme, co všechno nám fyzika přináší a dává.

8. Závěr

Můžeme asi konstatovat:

- a) Fyzika je nejhlubším místem v našem přírodovědném poznání struktury světa a v pochopení přírodního dění. Usiluje a to modelovat dokonce i strukturu a evoluci celého námi poznávaného vesmíru. Z fyziky odvozujeme naše porozumění chemii (tj. porozumění struktuře a vlastnostem molekul), ba i molekulární biologii (a genetickému kódu) ap.
- b) Všem přírodním vědám (ale i medicíně aj.) poskytuje fyzika širokou škálu složitého přístrojového vybavení jejích laboratoří a výzkumných center. (Co by věděla kupř. biologie o struktuře buněk bez elektronového mikroskopu? Nejsou špičkové kliniky plné důmyslných přístrojů založených na fyzice?)
- c) Z fyzikálního poznání rostou četné a stále se rozšiřující technické aplikované obory. Věda se stala skoro bezprostředně výrobní silou. Fyzika je i podstatným zdrojem vojenské síly států a technologické a informační převahy v případných konfliktech. Nejedná se jen o atomové zbraně, ale i o lasery, informační sítě atp. Společnost vědu (a fyziku) téměř přímo „ždímá“ a aplikace co nejrychleji vyžaduje. Věda, bohužel, již není především prostě poznáváním, potěšením a intelektuálním dobrodružstvím.
- d) Fyzika svými prostředky postoupila až do oblastí, kam lidské smysly, lidská představitivost ani intuice již téměř nesahají. Přesto její exaktní, logicky založené myšlení a experimentální postupy byly schopny proniknout až za tuto extrémní mez.
- e) Fyzikální (vědecký) způsob myšlení není v rozporu s lidskými a duchovními hodnotami. Vědecké myšlení je však tím nejspolehlivějším a nejjistějším základem, který má člověk ve svém poznávání k dispozici.

Věda (a fyzika) přinesla člověku netušené pohodlí života, ale také dříve nevídanou a nebezpečnou moc nad osudem planety i sebe sama. Vyústění závisí na tom, zda lidstvo tuto svoji zodpovědnost dokáže unést.

Myslím, že Světový rok fyziky je, či alespoň by měl být, uznáním fyzice nejen za nespočetné technické vymoženosti a pohodlí, které nám přinesla, ale také za její poznávací a intelektuální hodnoty, jichž je nositelkou.

Literatura

- [1] J. Dittrich, Z. Klumber, J. Obdržálek, Š. Zajac, Čes. čas. fyz. **55**, 68 (2005)
- [2] J. Bičák, Čes. čas. fyz. **55**, 74 (2005)
- [3] J. Podolský, Čes. čas. fyz. **55**, 86 (2005)

- [4] P. Krtouš, J. Podolský, Čes. čas. fyz. **55**, 94 (2005)
- [5] L. Eckertová, Čes. čas. fyz. **55**, 212 (2005)
- [6] J. Horský, Z. Kopecký, Čes. čas. fyz. **55**, 217 (2005)
- [7] I. Kraus, Čes. čas. fyz. **55**, 271 (2005)
- [8] J. Jelen, PMFA **50**, v tisku (2005)
- [9] J. Jelen, PMFA **46**, 18 (2001)
- [10] A. Einstein, B. Podolski, N. Rosen, Phys. Rev. **47**,777 (1935)
- [11] R. P. Feynman, O povaze fyzikálních zákonů, Praha, s. 137 (1998), (původně Character of Physical Law (1965))
- [12] Ch. A. Fuchs, A. Peres, Phys. Today, March 2000, s. 70
- [13] J. Bub, Found. Physics, **35**, 541 (2005)
- [14] G. Auletta, Found. Physics, **35**, 781 (2005)