

Martin Macháček  
Fyzika nazpaměť

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 49 (2004), No. 1, 65--76

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141210>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2004

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# vyučování

FYZIKA NAZPAMĚŤ

*Martin Macháček, Ondřejov*

## 1. Stav a jeho příčiny

Před časem jsem se zúčastnil natáčení videa o „nové maturitě“. Natáčelo se mimo jiné i na besedě se studenty na gymnáziu ve Slaném. Zeptal jsem se tam jedné náhodně vybrané dívky, na co působí pod vodou větší vztlaková síla: na míč, nebo na přesně stejně velký kulatý kámen? Jak se dalo čekat, řekla, že větší vztlaková síla působí na míč. Pak jsem se jí zeptal na Archimédův zákon. Jak se opět dalo čekat, odříkala ho naprosto dokonale. Vůbec ji při tom nenapadlo, že podle toho, co tak dobře uměla nazpaměť, musí na míč i na kámen působit stejná vztlaková síla.

Jak ukazuje tento jednoduchý pokus (a s nejméně 90procentní pravděpodobností by dopadl stejně i s jinými studenty), znát nazpaměť definice, poučky a vzorce není k ničemu, neumíme-li je aplikovat na praktické situace. Fyzika totiž není žádná sbírka pouček a definic, fyzika je ve skutečnosti *metoda řešení problémů*. Jak umí žák fyziku, poznáme podle toho, jak řeší přiměřené problémy,

ne podle toho, co umí nazpaměť. Na požádání odříkat například definici napětí nebo definici voltu dokáže i papoušek, na to není ještě potřeba znát fyziku. Ale jestliže někdo vyřeší problém, ať už teoretický, nebo experimentální, ve kterém se vyskytuje napětí, a výsledek vyjádří ve voltech, pak asi pojmu „napětí“ opravdu rozumí. Prostě otázky typu „Jak je definováno napětí?“ nebo „Jak zní ten-a-ten zákon?“ by při zkoušení fyziky vůbec neměly padat, protože dobré porozumění fyzice není pro jejich zodpovězení podmínkou nutnou, a dokonce ani postačující.

V tradici našeho školství přitom je vyžadovat od žáků především tyto reproductivní vědomosti, tedy odříkávání definic, pouček, popisů atd. Jako jeden z dokladů pro toto tvrzení můžeme uvést první návrh katalogu požadavků ke „státní maturitě“ z fyziky [1] z února 2000. Velká většina požadavků tam měla podobu jako „vysvětlit vztah mezi tlakovou silou a tlakem“, „definovat magnetický indukční tok a jeho jednotku“, „charakterizovat infrazvuk a ultrazvuk z hlediska frekvence“ atd. — tedy vesměs to, co se pilný student víceméně snadno naučí nazpaměť i bez toho, že by věci jakkoliv rozuměl. Naproti tomu požadavky, aby student uměl vyřešit nějaký fyzikální problém, tam byly zastoupeny velmi málo.

Uvedu jednu analogii. Ve své knize *Lidská tragédie. Ruská revoluce 1891 až 1924* píše britský historik Orlando Figes o stavu ruské armády před první světovou válkou:

---

RNDr. MARTIN MACHÁČEK, CSc. (1948), e-mail: [martinmachacek@sendme.cz](mailto:martinmachacek@sendme.cz)

Príspevek predneseny na seminári JČMF *Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu*, Vlachovice 2002. Príspevek byl podle připomínek recenzenta a redakce PMFA částečně upraven v říjnu 2003.

*Velmi málo ruských vojáků obdrželo výcvik pro zákopovou válku. Starší generálové stále věřili, že v každé nadcházející válce bude hrát klíčovou úlohu kavalerie tak jako kdysi v osmnáctém století. Brusilovovu snahu cvičit vojáky na simulovaných dělostřeleckých bitvách odmítali jako zbytečné mrhání municí. Výcvik podle jejich představ bylo nekonečné pochodování na přehlídkách. Hezky se na to dívalo a vyvolávalo to dojem vojenské disciplíny a dokonalosti, ale příprava na moderní válku to byla nulová.*

Připadá mi, že zkoušení definic, pouček a vzorců před tabulí je jako to pochodování na přehlídkách: Hezky se na to dívá a vyvolává to dojem disciplíny a dokonalosti, ale příprava na moderní technologickou dobu je to nulová. Dovednosti, které budou studenti potřebovat v praxi, se v hodinách fyziky učí tak málo jako v ruské carské armádě dělostřelecké bitvy.

Samozřejmě se studenti neučí nazpaměť jen definice, dokonce ani převážně ne. Všichni jsme se asi učili, že nitro Země se dělí na kůru, plášť a jádro. Všichni také víme, že zemská atmosféra se dělí na troposféru, stratosféru a tak dále. Kdo ale ví, *čím se liší* třeba kůra od pláště Země? Čím je určena *hranice* mezi nimi? Prostě informace, že Země se dělí na kůru, plášť a jádro, je naprosto k ničemu, není-li doprovázena vysvětlením toho, *co tyto pojmy znamenají a jak to víme, že právě tam a tam je hranice*. Možná to, *proč* se Země dělí na tyto slupky, neví ani učitel, je to třeba příliš speciální informace, než aby bylo třeba o tom učit na gymnáziu. Vůbec by mi nevadilo, kdyby se to studenti *neučili*. Co mi vadí, je, že se učí právě jen odpapouškovat „Země se dělí na. . .“, a přitom vůbec nevědí, co to znamená.

Uvedu k tomu ještě jednu historku ze života. Nedávno vysílala Česká televize vynikající seriál BBC *Lidské tělo*. Závěrečný díl byl „filmem o filmu“: popisoval, jak se ty skutečně mimořádné záběry z předchozích dílů natáčely. Jedním ze záběrů bylo dělení lidského vajíčka po oplodnění. Zatímco jsme na obrazovce viděli aparaturu, komentátor četl: „Mikroskop je uložen v Perspexové boxu. . .“ Perspexův box? Aha, anglické slovo *Perspex* znamená *plexisklo*, píše se s velkým P, protože je to původně obchodní značka. Anglické *Perspex box* je tedy prostě *plexisklová skříňka*, a na obrazovce opravdu bylo vidět, že mikroskop je uložen v plexisklové skřínce.

Tématu tohoto semináře se vymykají úvahy o neprofesionalitě štábu České televize, který neumí ani pořádně přeložit skvělý britský dokument. Ale měli bychom se zamyslet nad tímto: Český překlad komentáře přece četla a slyšela spousta lidí. Proč nikdo z nich neřekl „tak moment, co je to ten Perspexův box? Toto je pořad pro širokou vzdělanou veřejnost, já bych tomu měl taky rozumět.“ Vždyť se tak mohl zeptat i herec, který komentář četl! Místo toho všichni bezmyšlenkovitě papouškují nějaká slova, o jejichž významu nemají ponětí. Právě v tom vidím velmi špatné důsledky dnešního systému vzdělávání, nejen ve fyzice, ale ovšem *také* ve fyzice. Jak procházejí školou, setkávají se studenti s nekonečným přívalem nových slov, která jsou pro ně stejně nesmyslná jako „Perspexův box“. Patří k nim „plášť Země“, „druho-hory“, „troposféra“ a konec konců i „Archimédův zákon“. Nikdo je neučí kriticky uvažovat, ptát se „co to znamená“, „jak to víme“, „jaké to má důsledky“. Zvyknou si bezmyšlenkovitě přijímat a papouškovat informace. Člověk, který se

naučil odříkávat „troposféra, stratosféra, termosféra, exosféra“, ale neví, co tato slova znamenají, není vzdělanec, ale polovzdělanec. Malér může nastat, když do takto polovzdělaných myslí začnou vkládat informace různí populisté i prachobyčejní šejdíři s různými zázračnými vodičkami a televizními anténami, které „chytají vlny přímo ze vzduchu“ (cituji z jedné reklamy). Ostatně hysterie okolo jaderné energetiky je toho přímo ukázkovým příkladem (a mimochodem ukazuje, že nejen naše školy mají problémy s výchovou ke kritickému myšlení).

Nechtěl bych, aby můj kritický pohled na současný stav výuky fyziky vyzněl jako paušální odsudek učitelů. Jsou dobří učitelé a jsou špatní učitelé, to je stejné jako v jiných profesích. Učitel však je, podobně jako herec nebo muzikant, interpretem určitého scénáře. Špatný herec pokazí i dobrý scénář; na dobrého herce může být radost se podívat, i když hraje podle špatného scénáře, ale opravdu jen výjimečný herec, takový Werich, dokáže „vzít scénář do svých rukou“ a udělat ze špatného dobrý.

Scénářem je v této analogii naše celková tradice výuky vůbec a výuky fyziky zvlášť. Jejím vyjádřením jsou učebnice nebo osnovy, ale samozřejmě tradice je něco víc — osnovy můžete změnit ze dne na den, tradici nejdřív z generace na generaci. Jen totalitní režim může lámat tradice rychleji, a právě to se mu povedlo, když v sedmdesátých letech zaváděl svou nešťastnou reformu učiva. Bylo to v prostředí izolace od světových trendů, v době centralizovaného rozhodování, kdy se myšlenky neutkávaly ve volné konkurenci, ale na stranických výborech. Bohužel většina dnešních učitelů vystudovala už takto „reformovanou“ střední školu; a tradice výuky se udržuje přede-

vším tím, že učitel učí tak, jak byl sám učen.

Specifickou součástí naší tradice je přesvědčení, že české školství je lepší než jakékoliv jiné a že na něm není, až na platy, co měnit. Takové přesvědčení je škodlivé hlavně proto, že brání kritické sebereflexi. Zda je oprávněné, nebo ne, záleží na kritériích, podle nichž porovnáváme. Podle počtu faktů a vzorců, které si žáci před tabulí pamatují, jsme asi opravdu dobří. Jsou však i praktičtější kritéria. Podle [2] udělil v roce 2002 Evropský patentový úřad tyto počty patentů podle země přihlašovatele (uvádím jen země se srovnatelným počtem obyvatel): Nizozemí 1401, Švýcarsko 1722, Švédsko 1096, Finsko 528, Belgie 497, Dánsko 385 . . . a Česká republika 14. Připouštím, že v této statistice hraje roli i cena patentového řízení, ale i tak je to poměr katastrofální.

## 2. Cíl

Pravděpodobně se tu všichni shodneme, že fyzikální vzdělání má pro člověka velký význam — a nejen pro toho, kdo se bude fyzikou a jejími aplikacemi živit, např. pro inženýra, lékaře, učitele nebo vědce, ale i pro člověka „humanitně orientovaného“ nebo prostě pro „člověka z lidu“. Musíme si však uvědomit, jaký význam to pro ně má, a až podle toho se rozhodovat, jak učit fyziku.

Je extrémně nepravděpodobné, že by někdy ve svém dalším životě nějaký humanitně orientovaný intelektuál nebo „obyčejný člověk z lidu“ potřeboval vypočítat výtokovou rychlost kapaliny z nádoby nebo oběžnou dobu planety. (Je to ostatně velmi nepravděpodobné i u budoucího profesionálního fyzika.) Jestliže studenti uvidí, že je fyziku učíme,

abychom je naučili právě tyto velmi speciální dovednosti, nemůžeme od nich očekávat žádnou vstřícnost: vědí velmi dobře, že toto jim bude k ničemu, a fyziku se budou učit se stejně malou chutí, s jakou by se učili dialektický materialismus. S odporem se něco nabiflují a co nejdřív to zase zapomenou. Skutečný význam toho, proč učit fyziku, je totiž v něčem jiném.

### Proč učit fyziku: důvod první

I když vzdělaný člověk asi nebude počítat oběžnou dobu planety podle třetího Keplerova zákona, je důležité, aby věděl, že se tato doba dá vypočítat, že to není něco náhodného a nevyzpytatelného. Právě toto vědomí *poznatelnosti a předvídatelnosti* přírody podstatně odlišuje moderního vzdělaného člověka od člověka středověkého nebo od moderního člověka nevzdělaného. Nejvýznamnějším objevem v historii lidstva totiž byl objev, že příroda se řídí *zákony*, že o tom, zda bude přšet nebo zda přiletí kometa, nerozhoduje nějaká „vyšší moc“ případ od případu, podle toho, jak se jí zlíbí nebo jak si ji nakloníme svým chováním, modlitbami nebo obětmi. Že zákony, podle kterých se věci v přírodě dějí, můžeme poznat a že jejich pomocí můžeme přírodní děje *předvídat* a dokonce i *ovlivňovat*. Až když si lidé, někdy v době Galileiho a Newtona, uvědomili tuto (zdaleka ne samozřejmou) skutečnost, začal ten úžasný proud nových objevů a vynálezů, od parního stroje přes žárovku a elektromotor až k mikroprocesoru a satelitnímu navigačnímu systému; proud, který umožnil západní společnosti v krátké době zdvojnásobit délku lidského života, prakticky zbavit lidi hladu a strachu z mnoha smrtelných

nemocí a který tam většině obyčejných lidí umožňuje žít v pohodlí, jaké v minulosti neměly ani privilegované vrstvy.

Samozřejmě vím, že v mnoha zemích světa nepanuje až taková idyla, jakou jsem právě popsal. Ale právě to podporuje mé přesvědčení o významu tohoto největšího objevu lidstva a o tom, že jedním z hlavních cílů fyzikálního vzdělávání je, aby si ho studenti dobře uvědomili. Existuje totiž významná korelace mezi tímto „povědomím přírodních zákonů“ na jedné straně a bohatstvím a svobodou společnosti na straně druhé. Společnosti, které při svém rozhodování dostatečně nepřihlízejí k poznaným přírodním zákonům a které nevzdělávají svou mládež v jejich duchu, kde důležitější roli hrají jiné, např. náboženské a mystické faktory, takové společnosti jsou pravidelně chudší a méně svobodné než společnosti západního typu. To je také jeden z argumentů pro to, abychom na našich školách učili fyziku — ale asi ne přesně tak, jak ji učíme dnes.

### Proč učit fyziku: důvod druhý

Vzdělaný člověk, i když nebude vědcem, by měl znát a běžně používat některé vědecké metody, postupy. Věda (jakákoliv, nejen fyzika) totiž není především sbírka faktů nebo zákonů — je to především po staletí zdokonalovaná *metoda zjišťování a ověřování pravdy*.

Když výzkumníci na klinice zjišťují, zda určitá chemická látka může přispět k léčení určité choroby, nebo ne, postupují podle přísných pravidel: kromě skupiny pacientů, kteří zkoumanou látku dostávají, je i kontrolní skupina, která místo toho dostává placebo, a kdo dostává placebo a kdo zkoumanou látku, to nevědí

dokonce ani lékaři, kteří s pacienty přicházejí do styku a popisují vývoj jejich zdravotního stavu. Výsledky se zpracovávají podle propracované statistické metody, zkoumá se, zda případný rozdíl mezi testovací a kontrolní skupinou pacientů nemohl být jen náhodný — zda je zlepšení stavu po léku skutečně statisticky významné.

Tedy vlastnosti a účinky všech substancí látek využívaných v medicíně jsou specializovaná fakta, jejichž většinu si budoucí lékař nebude a nemůže pamatovat — od toho jsou příručky. Ale velmi důležité je, aby student medicíny pochopil, *jak se zjišťuje*, zda látky mají léčebné účinky. Právě to totiž odlišuje lékaře, který ví, že pravda se musí zjišťovat složitými postupy, od léčitele, který se takovými detaily nezabývá a „pravdu“ prostě „vyčítá“.

Také ve fyzice je podstatné, aby se student učil, *jak se hledá pravda* — že to děláme buď experimenty, podle určitých pravidel, včetně statistického zpracování a určení chyby, nebo určitými matematickými a logickými postupy. Proto například není důležité říkat studentům, že se Země dělí na kůru, plášť a jádro, ale *jak jsme na to přišli, jaký je význam těchto vrstev, proč si myslíme, že tam jsou*. Proto je také na školním výkladu o Keplerových zákonech nejdůležitější to, *jak na ně Kepler přišel*.

S hledáním pravdy úzce souvisí i *kritické myšlení, kritický přístup k informacím*. Na každém kroku nás zaplavují informace od politiků, novinářů, výrobců i třeba od sousedů. Tyto informace musíme hodnotit podle jejich spolehlivosti i významu pro nás; když špatně vyhodnotíme například informaci z reklamy, zbytečně vyhodíme spoustu peněz za hlouposti. Kritické myšlení je

přece v každodenním životě mimořádně důležité. Kde už se mu mají studenti učit, když ne v hodinách fyziky? Místo toho se tam učí nazpaměť Archimédovy zákony, kterým, jak ukazuje můj úvodní příklad ze Slaného, stejně nerozumějí.

### Proč učit fyziku: důvod třetí

Studenti, a teď mám ovšem na mysli hlavně ty, kteří se budou přírodním vědám a jejich aplikacím věnovat i ve své další práci, by se měli naučit určité *obecné „techniky“ fyzikální práce*. Sem patří např. volba modelů, získávání potřebných informací, práce s veličinami a jednotkami, práce s grafy a tabulkami, práce s chybou, deduktivní a induktivní postup, experimentální dovednosti, zvažování stability systémů, využívání symetrie, řádové odhady, využívání závislosti jedné veličiny na druhé (např. lineární, logaritmické), zanedbávání jedné veličiny proti druhé, užívání lineárního přiblížení k obecné funkci, práce s vektory, odhad vývoje systému podle pohybové rovnice a řada dalších — uvádím zde jen náhodný výběr.

Vysoké školy přírodovědného a technického zaměření by tyto dovednosti u svých nastupujících studentů jistě uvítaly daleko víc než to, že umějí mechanicky odříkávat různé zákony a poučky.

Většina z uvedených „technik fyzikální práce“ se používá i v řadě dalších oborů, nejen ve fyzice. Například naučí-li se studenti rozhodovat, kterou veličinu můžeme zanedbat a kterou ne, bude jim to prospěšné v každodenním kvantitativním rozhodování, především v rozhodování ekonomickém.

## Proč učit fyziku: důvod čtvrtý

Studenti by se také měli naučit *řešit fyzikální problémy*. Některé z těchto problémů jsou velmi jednoduché a setká se s nimi každý, například když mu přestane svítit světlo nebo když připravuje postřik dané koncentrace; koneckonců ty tak zvané „zlaté české ruce“, jestli ještě existují, znamenají právě schopnost řešit běžné praktické technické problémy, kde se vyskytnou. Jiné problémy jsou složitější a budou se s nimi v praxi setkávat například lékaři nebo inženýři.

K úspěšnému řešení problémů nestačí jen znát fyzikální vztahy, poučky a definice, stejně jako k úspěšnému hraní fotbalu nestačí znát pravidla. Dokonce ani samo ovládnutí „technik fyzikální práce“, o kterém jsem mluvil před okamžikem, není postačující podmínkou k tomu, aby člověk uměl dobře řešit problémy — je jasné, že tady je třeba ještě něco navíc. Právě tato dovednost je ale pro praxi mimořádně důležitá. Člověk, který v určitém oboru neumí řešit problémy, tam může vykonávat jen rutinní práce. Nechceme-li, aby z nás byla jen „montážní dílna“ Evropy, musíme učit studenty, jak řešit problémy.

Napsal jsem nedávno sbírku maturitních příkladů [3], které mi vůbec nepripadají *skutečně* těžké: k vyřešení průměrného příkladu z ní je třeba využít jednoho až dvou známých a jednoduchých fyzikálních vztahů a vykonat přibližně tři až čtyři aritmetické operace. Přesto si myslím, že si s nimi mnozí studenti na počátku nebudou vědět rady. Nemají totiž v řešení problémů praxi. Učitelé říkají: na řešení příkladů prostě nemáme čas, protože musíme probrat všechno učivo.

## Proč učit fyziku: důvod pátý

Konečně pátým, ale nikoliv nejmenším obecným cílem, který bychom měli mít na paměti, je *vrátit fyzice lidskou tvář*, abych si vypůjčil známý, i když trochu zprofanovaný termín — prostě učinit ji přitažlivou. Z různých výzkumů vyplývá, že fyzika patří k nejméně oblíbeným předmětům, většinou dokonce žebříček neoblíbenosti vede. A nejen to; v jednom výzkumu České školní inspekce vyšlo, že ji studenti považují za předmět, který jim bude *nejméně užitečný*. Upřímně řečeno, naprosto je chápu a v některých případech, záleží na škole a na učiteli, bych s nimi i souhlasil.

Proč nemají studenti fyziku rádi? V úvodu učebnice *Fyzika pro gymnázia — Mechanika* se píše, že studium fyziky vyžaduje „značné myšlenkové úsilí“. Ale například matematika vyžaduje také „myšlenkové úsilí“ a její obliba je podstatně vyšší. Možná to líp vysvětluje další věta z citovaného úvodu: „Fyzika totiž vyžaduje znalost mnoha faktů, které je třeba si zapamatovat.“ Jestliže fyziku učíme jako snůšku faktů k zapamatování, a ne jako krásný systém, v němž všechno logicky souvisí se vším, když od studentů vyžadujeme, aby se vyjadřovali šroubovaným, nepřírozeným jazykem, když klademe větší důraz na rigidní terminologii než na to, abychom ukázali aplikace fyziky všude okolo nás, pak se ani nemůžeme moc divit, že ve studiu fyziky nevidí většina studentů nic příjemného.

Tento stav má ovšem několik velmi nešťastných důsledků. Především když mají studenti nějaký předmět neradi, tak se ho moc dobře nenaučí. Za druhé, málo studentů se hlásí na vysoké školy, v nichž je fyzika důležitá, tedy zejména na techniky; a to neblaze ovlivňuje úroveň na-

šeho národního hospodářství. A za třetí, dnešní studenti jsou zitřejší voliči, daňoví poplatníci, a někteří z nich i zitřejší politici; to, jak je dnes vzděláváme a vychováváme, silně ovlivní priority našeho státu v budoucnosti. To není až tak abstraktní myšlenka, jak by se mohlo zdát. V našem parlamentu je 200 poslanců a patrně všichni prošli aspoň střední školou. Kolik z nich ale ví, k čemu je věda vůbec a fyzika zvlášť? A jak může být lidem užitečná? Ze střední školy si nejspíš odnesli představu fyziky jako nezáživné sbírky nesrozumitelných faktů a terminologického pedantství, která s reálným životem nemá skoro nic společného. Tito lidé schvalují státní rozpočet a v něm také peníze na základní výzkum i na školství. Není už z tohoto důvodu, když ne z jiných, rozumné, abychom studentům ukazovali, k čemu je fyzika užitečná? A jak je zajímavá?

\* \* \*

Vyjmenoval jsem tady pět obecných cílů, k nimž by podle mého názoru měla směřovat výuka fyziky. Je ovšem jasné, že tyto cíle samy fyziku netvoří. Určitě potřebujeme nějaký fyzikální „materiál“, na kterém budeme učit řešit problémy, ukazovat kritické myšlení, práci s chybou nebo třeba lineární přiblížení. Proto se k obecným cílům, které jsem uvedl (a ke kterým se jistě dají najít i další), můžeme přibližovat jen výukou velice konkrétní fyziky. Studenti se musí naučit, jak se dělá skutečná fyzikální práce. Důležité ale je, abychom při výuce „konkrétní fyziky“ tyto hlavní cíle neztráceli z očí: podle nich se pak budeme rozhodovat, co do výuky zařadit a co ne, jak učit a jak ne.

### 3. Prostředky

Jedna věc je vytyčit zářné cíle a jiná věc je, jakými konkrétními prostředky těchto

cílů dosáhnout. Je jasné, že v této přednášce není místo na detaily a koneckonců detaily si stejně musí volit každý učitel fyziky (nebo kdokoliv jiný, kdo se výuce fyziky věnuje) při své konkrétní práci sám. Uvedu tedy jen několik bodů, které považuji za důležité, o které se snažím ve svých knihách a které se pokusím vtělit i do své připravované řady učebnic fyziky pro střední školu.

#### A. Nehodnoťme, co se naši studenti dokážou naučit nazpaměť, hodnoťme, jak umějí řešit problémy

Když fyzik, inženýr, lékař apod. používá fyziku v praxi, může si k tomu vzít jakékoli pomůcky a příručky. Nikdo po něm nechce, aby to či ono znal nazpaměť. Důležité je jen to, aby problém vyřešil a aby ho vyřešil správně, za to je placen. Učme tedy studenty už na škole, jak se pracuje ve skutečném životě. Zadejme jim problém a hodnoťme je podle toho, jak si s ním poradí. Klidně je při tom nechme používat učebnici, poznámky, příručky. To přece používají profesionálové při své práci taky; a navíc mají často přístup i k rozsáhlým informačním databázím.

Možná řeknete: něco přece musí umět nazpaměť. Souhlasím, například jednotku napětí nebo Ohmův zákon by studenti určitě měli znát i bez hledání v učebnici. Ovšem ne proto, že by to byl jakýsi předpis, nýbrž proto, že vyhledávat takové triviality je bude zdržovat, a taky proto, že když nevědí, že vůbec nějaký Ohmův zákon existuje, tak s některými problémy ani nepohnou. To všechno ale poznáme podle toho, jak si poradí s problémem.

Je to podobné jako se znalostí cizího jazyka. I dobří překladatelé používají slovník, ale samozřejmě v něm nehledají každé slovíčko. Co mají umět nazpaměť a co stačí vyhledat ve slovníku,



o tom nerozhoduje žádný jejich „nadřazený“, ale jen a jen potřeby praxe. Je to prostě otázka ekonomie práce: když se s některým slovem setkávám častěji, vyplatí se mi ho naučit nazpaměť (nebo spíš se ho častým používáním naučím automaticky); setkám-li se s ním jednou dvakrát v životě, stačí, když ho vyhledám ve slovníku. Studenti mají přece při „zkoušení problémem“ také omezený čas, a budou-li celou dobu jen listovat učebnicí, nic jiného nestihnou.

### **B. Učme je, že součástí řešení je i rozhodnout, které další informace potřebují, a tyto informace najít**

Typický příklad: Při řešení řady problémů potřebujeme různé materiálové konstanty, např. hustotu. Neuvádějme je v zadání, student přece musí sám vědět, kde je najde. Ale neuvádějme dokonce ani „k vyřešení tohoto problému budete potřebovat hustotu“. Vždyť inženýr na to taky musí přijít sám, kdo by mu to už říkal?

Na takto samostatné uvažování studenti moc zvyklí nejsou. Před lety jsem do testů Kalibro navrhl úlohu „Vypočítejte hmotnost 4 ml etanolu při normálním tlaku a pokojové teplotě.“ Jde jen o to, najít v tabulkách hustotu etanolu a vynásobit ji čtyřmi mililitry, ale tento jednoduchý příklad vyřešila správně pouhá pětina testovaných studentů prvního ročníku střední školy (z podsouboru gymnazistů asi třetina, z učňů a studentů obchodních akademií asi třicetina). To je přece katastrofální nesamostatnost — kdyby je někdo za ručičku dovedl k těm tabulkám a řekl jim „budeš potřebovat hustotu a najdeš ji tady“, asi by to jedno násobení (a jeden převod jednotek) zvládli. Jenže v práci se s nimi taky nikdo mazlit nebude.

### **C. Neučme je nic, čemu nemohou porozumět**

Prohlížíme-li učebnice fyziky pro gymnázia, najdeme tam řadu obrátů typu „Dá se dokázat, že...“ nebo „A. Einstein prokázal, že...“, za nimiž následuje nějaké shůry dané, nevysvětlené, nedokázané tvrzení. Není to ani zdaleka jen v „těžkých“ oborech fyziky, jako je teorie relativity nebo fyzika mikrosvěta, ale i v optice a mechanice. Předpokládá se pravděpodobně, že se studenti toto tvrzení mají naučit a při zkoušení ho odříkat.

K čemu takové vědomosti můžou být? Jestliže k nějakému vztahu student nedošel vlastním rozumem, nepochopil jeho význam, neví, které veličiny do něj dosadit, pak ho ani nebude umět používat a co nejdřív ho zapomene. Zkuste se zeptat studentů posledního ročníku na Newtonův vztah pro aerodynamický odpor, skoro jistě si ho nebudou pamatovat. A proč by taky měli? Připravujeme je snad na situaci, že se ocitnou sami na pustém ostrově a odříznuti od zdrojů informací budou muset vypočítat aerodynamickou odporovou sílu?

Dovedu si představit, že za určitých (výjimečných!) okolností může být rozumné, abychom studentům uvedli nějaký vztah, který je opravdu velmi důležitý pro pochopení jisté oblasti fyziky a který jim přitom nemůžeme dokázat, protože na to nestačí jejich matematické dovednosti. Musíme však aspoň kvalitativně odůvodnit, jak jsme k tomuto vztahu došli, a důkladně vysvětlit, jaký je jeho fyzikální význam. Příkladem takového vztahu je magická formule  $E = mc^2$ : zde například můžeme pomocí zákona zachování hybnosti kvalitativně odůvodnit, proč s kinetickou energií roste hmotnost, pak bez další matematiky řekneme,

že závislost mezi oběma veličinami je  $\Delta E_{\text{kin}} = \Delta m c^2$ , a odtud není obtížné už zase korektními fyzikálními argumenty ukázat, že stejný vztah musí platit i pro všechny ostatní druhy energie.

Takových případů je však v celé středoškolské fyzice jen pár, obecné pravidlo je, že máme učit jen to, čemu studenti mohou porozumět. Pak ovšem některé vztahy ne-probereme. No a co?

#### D. Uberme rozsahu, přidejme hloubky

Už jsem řekl, že učitelé nemají čas na to, aby žáky učili řešit problémy, protože musejí „probrat učivo“. Ze stejného důvodu nemají čas ani na to, aby toto učivo probrali do hloubky. Zůstane jim tak čas na povrchní výklad, sem tam nějaký pokus, rychlé zopakování a přezkoušení a pak rychle dál. Připomíná mi to videoklipy: než stačí člověk přijít na to, co znamená jeden záběr, už je tu další.

Tak se ovšem fyzika nedá naučit pořádně. Jediným řešením je *redukce rozsahu učiva*, která se musí provést v připravovaném rámcovém vzdělávacím programu.

Někteří lidé si myslí, že když omezíme rozsah učiva, snížíme tím „náročnost“ a studenti budou umět méně. Je to tak opravdu? Co je pro studenta náročnější: naučit se odříkat dva zákony tak, jak jsem to popisoval v úvodu svého příspěvku, nebo jen jeden, ale tak, aby mu rozuměl a uměl ho používat v praktických situacích?

#### E. Rozlišujme podle zájmů i schopností studentů

Na středních školách jsou už studenti dost vyprofilovaní; možná ještě nevědí, na kterou školu nebo do kterého zaměstnání půjdou, ale už je jim asi jasné, budou-li se

spíš věnovat technice a fyzikálním oborům, nebo humanitním oborům, anebo něčemu mezi tím, třeba medicíně. Je zbytečné příliš zatěžovat fyzikou budoucího filozofa, ale zase je škoda nevěnovat se dostatečně studentovi, který má o fyziku zájem.

Řešením je samozřejmě diferenciacce učiva. Fyzikální učivo povinné pro všechny by mělo být podstatně méně rozsáhlé než dnes; ale na druhé straně by učebnice i volitelné hodiny měly umožnit těm studentům, kteří chtějí, aby se fyzice věnovali daleko hlouběji. Protože půjde o dobrovolné rozhodnutí studentů, budou muset být učebnice i volitelné hodiny dostatečně atraktivní.

#### F. Ke každému faktu musíme říct „proč je to tak“, „jak to víme“, uvádět různé souvislosti

V učebnici *Fyzika pro gymnázia — Mechanické kmitání a vlnění* se dočteme, že rychlost zvuku ve vzduchu závisí na teplotě; najdeme tam dokonce i vzorec, který tuto závislost popisuje. To je konstatování faktu, který prakticky žádný student ve svém budoucím životě nebude potřebovat. A protože to není ani nijak pozoruhodný fakt, studenti ho velmi rychle zapomenou.

Zkusme to jinak. Zvuk v plynech se šíří tak rychle, jak rychle se v něm pohybují molekuly — to je pochopitelné, jen pohybující se molekuly mohou přenášet nějaký pohyb, „vzruch“, z jednoho místa na druhé. Při vyšší teplotě se molekuly pohybují rychleji, a proto i zvuk se šíří rychleji. To je prostě kvalitativní odůvodnění, bez vzorce, ale snadno pochopitelné i pro ty, kteří fyzice moc nedají.

A teď kvantitativně pro ty, kteří se chtějí fyzice věnovat hlouběji. Jak víme,

střední rychlost pohybu molekul plynu je úměrná odmocnině z termodynamické teploty. Proto je této odmocnině úměrná i rychlost zvuku  $v$ :

$$\begin{aligned} v &\sim \sqrt{T} \sim \sqrt{273,15 + \tau} \sim \\ &\sim \sqrt{1 + \tau/273,15} = \sqrt{1 + 0,00366 \tau} \approx \\ &\approx 1 + 0,00183 \tau; \end{aligned}$$

zde  $\tau$  je číselná hodnota Celsiovy teploty. Je-li tedy rychlost zvuku ve vzduchu naměřená při  $t = 0^\circ\text{C}$  rovna  $331,8\text{ m/s}$ , pak při jiné teplotě  $t = \tau^\circ\text{C}$  je přibližně

$$\begin{aligned} v &\approx 331,8 \cdot (1 + 0,00183 \tau) \text{ m/s} = \\ &= (331,8 + 0,61 \tau) \text{ m/s}. \end{aligned}$$

A to je přesně vztah uvedený v učebnici.

Rozumějte mi, nemyslím si, že by toto odvozování mělo být součástí základního, povinného kurzu fyziky, jenomže v tom nemá co dělat ani z nebe spadlý vztah  $v = (331,8 + 0,61 \tau) \text{ m/s}$ . Pro vážnější zájemce o fyziku však má smysl, když uvedeme předchozí odvození. Ne proto, aby se ten vztah naučili, mohou si ho přece kdykoliv najít v tabulkách, ale proto, aby si uvědomili, jak se přenáší zvuk ve vzduchu, odkud pocházejí některé aproximační vztahy, a vůbec jak postupujeme ve fyzice. To je daleko cennější než nějaký vzoreček.

### G. Na terminologii a další formální stránky fyziky kladme důraz jen tam, kde je to opravdu nutné

Terminologie, názvy veličin a používání jednotek, to je ve fyzice něco jako pořadová cvičení nebo naleštěné boty na vojně. Ty se také leckdy stávají lacinou náhražkou skutečných bojových dovedností. Terminologie se dobře zkouší a kontroluje, vyvolává pocit disciplíny a pořádku, a tak se jí často přikládá větší důležitost, než doopravdy má.

Ve skutečné fyzikální praxi, ať už ve výzkumu, nebo v různých inženýrských aplikacích, panuje ovšem spíš terminologický chaos a pedantickým učitelům by vstaly všechny vlasy na hlavě, kdyby slyšeli, jak mluví renomovaní fyzikové. Například v knize nositele Nobelovy ceny za fyziku Stevena Weinberga *Snění o finální teorii* se mimo jiné píše: „Připomeňme, že 1 volt užitý jako jednotka energie odpovídá energii získané jedním elektronem procházejícím drátem od jednoho pólu jednovoltového článku ke druhému.“ Představte si, že by tuto větu vyslovil žák na střední škole. Přitom ovšem „volt“ jako jednotka energie se dříve běžně používal (a leckdy ještě i používá) v odborných fyzikálních publikacích.

Nemyslím si samozřejmě, že bychom měli studenty učit nějakému terminologickému lajdáctví. Veďme je k tomu, aby užívali správné termíny a jednotky, to je rozumné, protože se tím zjednodušuje komunikace. Ale nedělejme z těchto termínů fetiš; jsou jen prostředkem, ne cílem. Když někdo správně vyřeší problém a použije špatný termín nebo neobvyklou jednotku, je to neskonale víc, než když někdo používá jen správné termíny a „zákonné“ jednotky a přitom problém nevyřeší.

A nejde jen o terminologii. Například používání složených jednotek se zápornými exponenty má svůj význam tam, kde je jednotka opravdu hodně složitá, takže by bylo nepřehledné používat šikmého lomítka, a přitom ji chceme napsat na jediný řádek, takže nemůžeme použít ani vodorovné zlomkové čáry. Jinde je zbytečné. Napsat, že auto jelo po silnici rychlostí  $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , znamená dělat z prosté věci větší učenost, než je třeba. Když se v r. 1997 na ministerstvu školství udělovala schvalovací doložka mé učebnici astrofyziky, řekla mi tam paní referentka,

že jednotky jako km/s v ní musím přepsat pomocí záporných exponentů. Že prý se připravují „státní maturity“ a že když při nich student napíše km/s místo  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , bude mu to hodnoceno jako chyba. Řekl jsem paní referentce, že kdyby mi někdo označil výsledek maturity jako chybný jen proto, že je v něm uvedena jednotka se šikmou zlomkovou čarou, soudil bych se s ním třeba až do Štrasburku.

#### H. Co nejvíc ukazujeme „k čemu je to dobré“

Mechanika má obrovské množství praktických aplikací — ve stavebnictví, ve strojírenství, v dopravě, ve sportu, v živé přírodě, v každodenních jevech i leckde jinde. O kolika z nich se ale student dozví? V učebnici prakticky nejsou a učitel sotva bude mít čas na to, aby je spolu se studenty nacházel. Jestliže však mechaniku zredukujeme na abstraktní pojmy, na „hmotné body“ a „tuhá tělesa“, nemůžeme se divit, že ji studenti budou považovat za nezáživnou a neužitečnou.

#### I. Co nejvíc ukazujeme „jak na to lidé přišli“

Podívejme se, jak Kepler přišel na své tři zákony. Napřed určil, za jak dlouho oběhne Mars okolo Slunce — jak dlouhý je Marsův rok. (Studentům snadno vysvětlíme, jak to určil, je v tom prostě rozdíl dvou úhlových rychlostí, tady ale nebudu zabíhat do podrobností.) Pak porovnal, v kterém směru je Mars vidět ze Země teď a v kterém směru byl vidět o Marsův rok dříve. Mars byl tehdy na stejném místě své dráhy, ale Země byla jinde. Měl tak vlastně „stereosnímek Marsu“ ze dvou bodů zemské dráhy. Směry nakreslil na papír, a kde se přímky protály, tam byla skutečná poloha Marsu.

Když to dělal pro každý den, dostal na papíře elipsu.

To je přece daleko zajímavější, pro studenty i pro učitele, než říct slovy učebnice „Na základě četných pozorování a výpočtů formuloval Jan Kepler tři zákony o pohybu planet.“ A navíc to ukazuje, že k vynikajícímu objevu stačí často jen dobrá myšlenka.

#### 4. Závěr

Na konferenci v Olomouci v r. 1998 byl přijat dokument [4], jehož první dva body se dají shrnout takto: Za prvé, absolventi středních škol toho z fyziky umějí málo a nemají o fyziku zájem. Za druhé, může za to především snížená hodinová dotace fyziky. Proto je třeba dosáhnout toho, aby povinná minimální dotace fyziky na gymnázium byla zvýšena na 8 týdenních hodin.

Naprosto nesouhlasím s druhou částí tohoto tvrzení. Nehledejme příčiny neutešeného stavu u někoho jiného. Má-li mít naše setkání smysl, musíme si říct, co *sami* musíme dělat jinak, aby se situace zlepšila. Neuděláme-li to, pak se každá hodina, o kterou by se dotace fyziky zvýšila, nejspíš zaplní jen dalšími „fakty“ a dalším nepochopeným „učivem“ a úroveň fyzikálního vzdělání i vztah studentů k fyzice se ještě *zhorší*.

Musíme odvyknout způsobu myšlení, podle kterého nějaký referent na ministerstvu ví nejlíp, kolik hodin fyziky potřebují naši žáci. Takové „centrální plánování“ jsme zažili v mnoha oblastech a víme, k čemu vede: není pak třeba se snažit, aby výuka fyziky (nebo třeba výroba aut, princip je stejný) byla lepší, modernější, užitečnější, zajímavější — vždyť

se jí přece studenti musejí podrobit tak jako tak.

A taky by mě uráželo jako fyzika, kdybych si musel myslet, že fyzika je tak nezájímavá a neužitečná, že se musí studentům strkat do krku násilím.

Místo nadekretovaného zvýšení počtu povinných hodin vidím jinou cestu, jak zvýšit zájem o fyziku, fyzikální gramotnost široké populace a počet i fyzikální úroveň uchazečů o vysokoškolské studium. Ta cesta je *učit užitečné věci zajímavým způsobem*. Tak, aby si studenti fyziku sami vybírali jako nepovinný předmět. Tak, abychom nemuseli škemrat na ministerstvu o nějakou hodinu navíc.

## L i t e r a t u r a

- [1] *Fyzika. Katalog cílových požadavků ke společné části maturitní zkoušky. Návrh pro veřejnou diskusi*. MŠMT, Praha 2000.
- [2] MOROZ, A.: *Jak jsme na tom s patenty*. Neviditelný pes (<http://pes.eunet.cz>) 15. 9. 2003.
- [3] MACHÁČEK, M.: *Fyzika. Sbíрка úloh pro společnou část maturitní zkoušky*. Ústav pro informace ve vzdělávání, Praha 2001.
- [4] LEPIL, O. (editor): *Aktuální problémy fyzikálního vzdělávání na střední škole. (Sborník příspěvků z konference, Olomouc, 15. – 17. 9. 1998)*. JČMF, Praha 1998.

## jubilea zprávy



### VÝZNAMNÉ ŽIVOTNÍ JUBILEUM PROFESORA IVANA NETUKY

Muži nestárnou. I když jde o název staré české divadelní hry a snad ještě známějšího filmu, je to přece jen vzdálené pravdě. Jedním z těch, o nichž je to alespoň zdánlivě pravda, je prof. Ivan Netuka. Kdo ho zná, ví, že je kdykoli ochoten si povídat o matematice, vysvětlovat studentům její základy i její velmi náročné partie, nezištně pomáhat kolegům řešit jejich problémy nebo se intenzivně zabývat těmi, které souvisejí s jeho matematickými zájmy. Ty zdaleka nezahnují jen jeho obor — matematickou analýzu. A tak, protože by mu ten elán mohl závidět i leckterý začínající student, se nechce vůbec věřit, že se Ivan Netuka dožívá 7. července 2004 šedesátí let.

Zde je hrst jeho životních dat. Narodil se v Hradci Králové, kde také studoval na gymnáziu. Zúčastňoval se s kamarády (mj. se Svatoplukem Fučíkem) matematických a fyzikálních olympiád, a tak není divu, že se po maturitě ocitl na Matematicko-fyzikální fakultě UK. Jeho rodiče žili ve Smiřicích a poskytovali jemu i jeho staršímu bratrovi Janovi výtečné rodinné zázemí (mimořádně, jejich otec byl učitelem matematiky).

Ivan patřil k nejlepším studentům, ale i k těm, kteří na koleji nezkazili žádnou legraci. Studoval na specializaci aplikovaná matematika; přičkl mu ji los, protože se na jeho oblíbenou analýzu tehdy hlásilo příliš mnoho zájemců. V diplomové práci se zabýval funkcemi komplexní proměnné (týkala se Schwarzových-Christoffelových integrálů). Dostal nabídku zůstat na fakultě na interní aspirantuře, po dvou letech byl však přijat na uvolněné místo asistenta na katedře základů matematické analýzy. Jmenovala se tak katedra, která vznikla přejmenováním katedry aplikované matematiky, ke kterému došlo trochu paradoxně ve chvíli, kdy se na ní začaly aplikace skutečně pěstovat.