

Cesta k přírodovědné gramotnosti

Arnold B. Arons, Department of Physics, University of Washington, USA

Přeloženo z časopisu *Deadalus*, Spring, 1983: Scientific Literacy, s laskavým souhlasem autora i vydavatele.

© The American Academy of Arts and Sciences, 1983.

Úvod

Žalostná úroveň chápání vědy laickou veřejností je starým problémem. Už v devatenáctém století na ni upozorňovaly časopisecké články a prohlášení různých vědeckých sdružení. Dvacáté století přineslo rostoucí úsilí o zlepšení tohoto neutěšeného stavu. Zvláště vědci vracející se po druhé světové válce k akademické práci z armády nebo vojenského výzkumu se velice snažili vštípit studentům lepší představu o povaze, možnostech a omezeních vědeckého myšlení. Usilovali zejména o to, aby jejich svěřenci lépe porozuměli vzájemným vazbám mezi vědou a společností. Vliv vědy a techniky na morální, etické, politické i společenské problémy se však od té doby dále stupňoval a tím rostly také nároky na všeobecné vzdělávání.

Schůze vědeckých společností i stránky pedagogických časopisů byly po léta věnovány popisům nových kursů, zaměřených na zvýšení přírodovědné gramotnosti absolventů nepřírodovědných oborů. Součástí téměř každé přednesené či publikované zprávy bylo i "vyhodnocení" odpovědí studentů na tendenční dotazníky - odpovědi, které nezvratně dokazovaly, že se jim kurs velice líbil, že si cení získaných vědomostí a váží si práce učitelů. Až na několik výjimek však tyto kursy neměly dlouhého trvání. Byly rychle vystřídány "modernějšími" - avšak v podstatě stejnými a stejně mizejícími - verzemi, jež byly rovněž provázeny nadšenými dobrozdániami studentů.¹

Tyto pedagogické pokusy měly na přírodovědnou gramotnost zpravidla velmi malý vliv. Jejich absolventi, kteří tak příznivě odpovídali na dotazníky, mají o vědě jen malé nebo vůbec žádné ponětí a vzájemné působení mezi ní a společností nechápou. Většina z nich si sice vzpomíná, že se jim vyučování moc líbilo, ale nemohou se upamatovat na nic z toho, co se během něj měli naučit. (Poněvadž je to výsledek téměř univerzální, můžeme s trpkostí konstatovat, že jsme zřejmě svoje úsilí vyplývali na vymyšlení sice stále zábavnějších, ale také stále méně účinných kursů.) O malém úspěchu dosavadních snah svědčí i neslábnoucí volání po tom, aby se přírodověda stala podstatnější složkou všeobecného vzdělání. Za hlavní příčinu tohoto neúspěchu považuji domněnku, že osvojení vědy lze dosáhnout čistě verbálním vštěpováním. Zkušenost ukazuje stále jasněji, že verbální podání - přednášení velkým skupinám duševně pasivních posluchačů či pouhá četba tištěných materiálů - nezanechává ve studentově mysli nic skutečně trvalého nebo významného. Takový způsob výuky mu velmi málo pomáhá získat schopnosti, které, podle mého názoru, charakterizují vědecky gramotnou osobu.

Poněvadž právě tyto atributy jsou předmětem všech dalších tvrzení a doporučení, bude snad vhodné začít jejich výčtem. Člověk vědecky gramotný by měl:

1. Pochopit, že vědecké pojmy (např. rychlost, zrychlení, síla, energie, elektrický náboj, gravitační a setrvačná hmota) nejsou náhodně objevenými předměty jako zkameněliny, nové rostliny nebo zvláštní nerosty, ale byly vytvořeny činností lidského rozumu a obrazotvornosti.
2. Uvědomit si, že pochopení a správné užívání takových pojmů vyžaduje pečlivou operacionální definici vycházející z praktické zkušenosti a z předchozího zjednodušeného vymezení pojmu; jinými slovy, chápat, že vědecký pojem obsahuje především myšlenku a pak teprve název a že porozumění nespočívá v odborných termínech samotných.
3. Chápat rozdíl mezi pozorováním a myšlenkovou dedukcí a rozlišovat tyto dvě metody vědecké činnosti.
4. Odlišovat roli náhodných objevů ve vědeckém výzkumu od cílevědomé strategie vytváření a testování hypotéz.
5. Chápat význam slova "teorie" ve vědecké terminologii. Mít určitou představu (získanou na konkrétních příkladech) o tom, jak se teorie vytvářejí, testují, potvrzují a dočasně přijímají. Na

jejím základě pochopit, že toto označení nepřísluší každému osobnímu mínění nebo nepodloženému názoru a s tímto vědomím pohlížet například na tvrzení kreacionistů, kteří označují vývoj za "pouhou teorii".

6. Poznat, kdy se vychází z hotových neověřovaných výsledků, modelů či závěrů a také umět vyvodit jejich základ a původ; tj. rozeznat, kdy se kladou a s porozuměním odpovídají otázky typu "Jak víme ...?", "Proč věříme . . . ?", "Co svědčí pro . . . ?" a kdy se bere něco jako fakt.
7. Pochopit (opět na konkrétních příkladech), že vědecké pojmy a teorie nejsou neměnné. Uvědomovat si, jak se postupnými aproximacemi trvale mění, zdokonalují a zpřesňují.
8. Vědět o mezích vědeckého bádání; znát typy otázek, který nemá smysl ani klást, ani na ně hledat odpověď.
9. Mít v určité oblasti (nebo oblastech) zájmu dostatečné základní znalosti, jež by umožňovaly další studium bez metodického vedení.
10. Znat alespoň několik konkrétních příkladů ukazujících, jak vědecké znalosti bezprostředně ovlivnily intelektuální vývoj lidstva, jak přímo formovaly názor člověka na svět a na jeho postavení v něm.
11. Znat alespoň několik konkrétních příkladů vazeb mezi vědou a společností v morální, etické a sociologické rovině.
12. Uvědomovat si velmi těsnou analogii mezi některými myšlenkovými postupy v přírodovědě a v jiných disciplínách - historii, ekonomice, sociologii, politických vědách (např. vytváření pojmů, testování hypotéz, rozlišování mezi pozorováním a myšlenkovou dedukcí, konstrukce modelů a provádění hypoteticko-deduktivních úvah).

Tento výčet si nedělá nárok na úplnost a není míněn jako soubor nařízení. Shrnuje pouze některé vlastnosti, které považuji za atributy vědecké gramotnosti. Jsem přesvědčen, že si je může osvojit většina vysokoškoláků, bude-li mít dostatek času, příležitostí a, samozřejmě, také chuti vynaložit určité duševní úsilí. Čtenář ovšem asi má na tyto otázky svůj vlastní názor. Podle něj může předcházející požadavky modifikovat a provedené změny pak sám prověřit v rámci následující diskuse, věnované snahám škol všech stupňů o zvýšení vědecké vzdělanosti.

Ke skutečnému pochopení vědeckých pojmů a teorií může vysokoškolák, stejně jako žák základní školy² dospět jedině usilovnou deduktivní a induktivní duševní činností podloženou interpretací vlastního pozorování a zkušeností. Studenti vyučovaní jen pasivním poslechem projevují takovou aktivitu jen velice zřídka. Experimentální motivací a přiměřeným tempem výuky ji však lze pěstovat, podporovat a rozvíjet u naprosté většiny [3-6]. Odborníci v teorii poznání rozlišují dvě základní kategorie znalostí: vědomosti figurativní neboli deklarativní a vědomosti operační neboli procedurální [7]. Deklarativní vědění spočívá ve znalosti "faktů" - například, že Země obíhá kolem Slunce, že hmota se skládá z diskretních atomů a molekul, že živočichové vdechují kyslík a vylučují kysličník uhličitý. Operační vědění zahrnuje jednak pochopení příčin podmiňujících takové deklarativní poznatky (Jak víme, že Země obíhá kolem Slunce a proč tento názor přijímáme, když se zdá, že je tomu právě naopak?, Co dokazuje, že struktura hmoty není spojitá, ale diskretní?, Co rozumíme "kyslíkem" a "kysličníkem uhličitým"?, Jak poznáme, že jsou to různé látky?), jednak pochopení závažnosti deklarativního vědění v nových či neobvyklých situacích a schopnost je na ně aplikovat nebo modifikovat.

Stále zřetelněji se ukazuje, že naše střední a vysoké školy v *žádném* z vyučovaných předmětů operační vědění příliš nerozvíjejí. Nejde tedy jen o bolest přírodovědy, i když právě v ní je neúspěch nejlépe patrný [3, 8]. Uvedu několik konkrétních příkladů z vlastní zkušenosti. Prakticky každý člověk vám řekne, že Země a ostatní planety naší sluneční soustavy obíhají kolem Slunce. Mnohým se to nezdá být nijak paradoxní, protože na rozdíl od starověkých národů má nyní málo lidí příležitost systematicky pozorovat oblohu a tak si přímo uvědomit pohyby nebeských těles. Otázka, proč zastávají heliocentrický názor, v nich však většinou vyvolá zděšení nebo rozpaky; někteří nanejvýš mumlají cosi namemorovaného a nesrozumitelného o paralaxe hvězd. Tito lidé nemají nic než deklarativní znalosti; přijali pouze to, co Whitehead nazval "definitivním závěrem daným Autoritou" a nemají tušení o velkolepé syntéze, kterou provedla moderní věda. Věci zřejmě rozumějí ještě méně než středověcí vzdělanci, kteří by sice hájili geocentrickou představu, ale asi by o ní hovořili spíše jako o modelu "vyhovujícím pozorování" než jako o konečné Pravdě. Takové novodobé reakce jsou charakteristické i pro mnoho jiných oblastí a rozhodně nejsou tím, co si

představujeme pod "porozuměním vědě".

Druhý příklad shrnuje zkušenosti získané jednak v letních školách pořádaných pro učitele z praxe, jednak na fakultách, kde se studenti na učitelskou dráhu teprve připravují. (Ukazuje se, že pokud jde o úroveň pochopení vědecké tematiky, není mezi těmito dvěma skupinami žádný rozdíl.) Každý z nich slyšel během studií nebo za jiných okolností něco o "elektrických obvodech". Všichni viděli na tabulích nebo v knihách nákresy různých zapojení a slyšeli řadu tvrzení o vedení elektrického proudu.

Dáme-li však oběma skupinám baterii, žárovku a kus drátu a požádáme je, aby žárovku rozsvítily, téměř všichni bez výjimky začnou drátem spojovat patici žárovky s jedním pólem baterie nebo jím propojují oba póly a spodní kontakt žárovky přiloží k jednomu z nich. Neuvědomují si, že jak baterie, tak žárovka má dva konce. Jen nemnozí si všimnou, že se drát spojující oba vývody baterie zahřívá, a téměř nikdo nevyvozuje z tohoto zjištění nějaké závěry. Trvá dvacet až třicet minut než objeví - zkouškami a omyly - uspořádání, v němž žárovka svítí. Úplně stejně, a o nic pomaleji, postupují v této situaci sedmileté děti. Bez praktické zkušenosti nerozumějí vysokoškoláci - bez ohledu na slova, která "umějí", a tvrzení a popisy, které slyšeli - "elektrickým obvodům" ani o trochu lépe než sedmileté děti, které se s nimi setkávají *poprvé*. Čistě verbální výuka v nich nezanechala ani stopu skutečných znalostí nebo pochopení. Takový je výsledek většiny našich současných výukových metod.

Vysokoškolské kursy, které si kladou za cíl rozvíjet přírodovědnou gramotnost studentů nepřírodovědných oborů, lze rozdělit do dvou základních skupin. První je tvořena kursy, které se snaží během jednoho školního období, školního roku nebo dokonce semestru seznámit posluchače s hlavními úspěchy přírodních věd (ve fyzice například se vším od Galilea a Newtona až po zákony termodynamiky, teorii relativity a kvantovou mechaniku). Do druhé patří kursy, které se soustřeďují na určitou užší aktuální oblast, například problematiku energetické krize, devastace životního prostředí, použití vědy pro vojenské účely, etické a morální otázky spojené s novodobým pokrokem molekulární biologie, filozofické otázky kladené teorií relativity a kvantovou mechanikou atd.

Kursů první kategorie už bylo realizováno bezpočet. Přes veškerou snahu autorů a navzdory vysoce kladným studentským hodnocením však mají velmi krátký život. Jejich skutečný účinek na posluchače je totiž tak malý, že jsou neustále nahrazovány novými - v podstatě však stejnými - kursy, sepisovanými ve víře, že zaplní vzniklé vakuum. Mladí vědci, kteří si zřejmě myslí, že toto vakuum existuje jen proto, že tento přístup ještě nikdo nezkoušel, vidí řešení ve způsobu výkladu látky. Jsou přesvědčeni, že *jejich* podání - originální, nadšené a dokonale jasné - povede k úspěchu. Ve skutečnosti je zde však vakuum proto, že je pochybený už samotný přístup. Jeho zastánci jej ale donekonečna obhajují tvrzením, že studentům dává "představu" o obsahu vědy a podstatě moderního vědeckého myšlení.

Takové snahy - jak se znovu a znovu ukazuje - vždy ztroskotají: za prvé proto, že studenty trvale vystavují nesrozumitelnému přívalu odborné hantýrky, která není podložena žádnou jim dostupnou zkušeností; za druhé proto, že přílišný rozsah látky a příliš rychlé tempo jejího probírání nedovolí studentům myšlenky, pojmy či teorie vůbec pochopit. Rychlost výkladu ztěžuje nebo vůbec znemožňuje vytvoření jakékoliv představy o tom, jak pojmy a teorie vznikají, jak jsou ověřovány a akceptovány, jak souvisí se skutečností a jak odhalují souvislosti mezi zdánlivě nezávislými jevy. Množství látky i tempo výkladu vylučuje získání jakékoliv rozumné představy o možnostech a mezích vědeckého poznání, o vlivu vědy na naše intelektuální dědictví a na názor na postavení člověka ve světě. Kursy tohoto typu nevyřešily a nevyřeší náš vzdělávací problém, ač jsou učebnice sebekrásněji ilustrovány a sebehodněji kořeněny zmínkami o devastaci, etice, energetické krizi, stelární nukleosyntéze, černých dírách nebo Kafkovi.

Kursy druhé kategorie trpí podobnými nedostatky, i když je jejich rozsah zdánlivě menší. Mám zato, že intelektuální poctivost by vyžadovala, aby posluchači skutečně chápali vědecké pojmy a teorie, které jsou základem diskutovaných aktuálních otázek, a aby nebyli vychováváni k planému mluvení o věcech, jejichž podstatě nerozumějí. Pokud již potřebné základy mají, je samozřejmě možné se s nimi do těchto diskusí přímo pustit. Avšak se studenty, kteří je postrádají - kteří netuší, co znamená slovo "energie" a nevědí nic o mnohosti interakcí vedoucí k omezením vyjádřeným zákony termodynamiky, se studenty, jejichž víra v diskrétní strukturu hmoty není ničím podložena

(znají pouze řadu názvů jako "atom", "molekula", "jádro", "elektron", které jim byly předloženy bez jakékoli informace o empirickém materiálu a úvahách, jež k vytvoření těchto pojmů vedly), se studenty, kteří nemají ponětí o tom, co je to elektrický náboj a nevědí, z čeho pramení naše přesvědčení, že Země obíhá kolem Slunce, se studenty, jejichž teleologický styl řeči a neznalost zákona setrvačnosti svědčí o tom, že jsou v podstatě ještě aristotelovci - s takovými studenty je sice snad na první pohled efektní, ale rozhodně nečestné zahajovat diskusi, aniž bychom jim napřed pomohli vytvořit a důkladně pochopit nezbytné základní pojmy. Pokud si však jednu uvědomí, v čem spočívá intelektuální poctivost, čemu musí porozumět, aby mohli hovořit rozumně a smysluplně o původních problémech, jen málokterí se o to nebudou snažit.

Takový návrat k potřebnému pochopení ovšem drasticky omezí množství látky, které může být probráno. A poněvadž se učitelé a autoři učebnic většinou k této redukci neodhodlají, jejich žáci nerozumějí vědeckým pojmům ani povaze a omezením vědeckého myšlení o nic lépe než oběti kursů z první kategorie.

Jak tedy postupovat? Domnívám se, že je nutno přibrzdit. Zpomalit a probrat méně. Dát studentům možnost sledovat a zažít vývoj jen několika nejdůležitějších vědeckých idejí, zato však v takovém rozsahu a takovým tempem, aby jejich znalosti nebyly pouze deklarativní, ale spíše operační. Podle času, který máme k dispozici, bychom s nimi mohli projít jeden nebo několik z následujících námětů:

1. Proč věříme, že Země obíhá kolem Slunce? V jakém smyslu je toto tvrzení "pravdivé"?
2. Proč jsme přesvědčeni, že hmota má diskrétní strukturu; tj. jaké máme důkazy pro atomárně-molekulární teorii?
3. Co rozumíme "elektrickým nábojem"? Jak jsme k tomuto pojmu dospěli? Je "náboj" materiální substancí? Z čeho vychází naše přesvědčení, že existují pouze dva druhy elektrického náboje? Na základě jaké (hypotetické) zkušenosti bychom mohli tvrdit, že jsme objevili třetí?
4. Na čem se zakládá naše víra, že i atomy mají diskrétní strukturu? Jakými jednoduchými srozumitelnými argumenty ji můžeme podpořit? (Pouhé tvrzení o existenci entity zvané "elektron" nedokazuje vůbec nic. Přesto je vyučování často vedeno právě tímto stylem.)
5. Jaké zkušenosti vedly k vytvoření pojmu "elektron"? Z čeho plyne, že je taková entita základní složkou hmoty? Co svědčí o tom, že je lehčí než atom?

Naproti tomu si myslím, že je neúčelné a může být dokonce i škodlivé:

1. Vypravovat studentům odbornou hantýrkou o "úchvatném světě" fyziky vysokých energií (hovořit o interakcích, momentu impulsu, ekvivalenci hmoty a energie, kvantových přechodech a principu neurčitosti), když nemají tušení o tom, co je rychlost, zrychlení, síla, hmota, energie či elektrický náboj, a vůbec nevědí, jak lze ověřovat představy o struktuře hmoty v dimenzích přesahujících možnosti našich smyslových orgánů.
2. Vést studenty, kteří jsou ještě vlastně aristotelovci, bez sebemenšího pochopení zákona setrvačnosti k žonglování s frázemi o Coriolisově efektu v meteorologii a oceánografii.
3. Přednášet v astronomii studentům o stelární nukleosyntéze, kvazarech, pulzarech a černých dírách, nemají-li ponětí o tom, jak se definuje lokální poledne, půlnoc či severojižní směr, nevědí nic o původu ročních období nebo fází Měsíce (považující jeho neosvětlenou část za zemský stín) a netuší, že hvězdy mají svůj denní pohyb.
4. Podporovat studenty v četbě a mluvení o DNK, molekulové struktuře genů a nervové a svalové činnosti, když nemají potuchy o tom, proč vůbec věříme v atomy a molekuly, jak se dozvídáme cokoliv o složení, velikosti a struktuře molekul, co se operačně rozumí "kyslíkem", "dusíkem" a "uhlíkem", co je to "elektrický náboj", co "potenciální rozdíl" a odkud vlastně víme, že tyto pojmy nějak souvisí s nervovou činností.

¹ Chtěl bych zdůraznit, že nezpochybňuji názory studentů paušálně. Nepřikládám jim však velkou váhu, jsou-li citovány fakultou, která není schopna vybavit své absolventy dostatečnými vědomostmi.

² Viz např. popisy záměrů a cílů i samotné učební texty výukových programů [1] a [2].

Ilustrace vědeckého způsobu myšlení

O mezích a charakteru vědeckého myšlení si sotva někdo může udělat dobrou představu jen na základě hotových tvrzení. Budeme-li však přiměřeným tempem, tj. tempem dovolujícím pochopení pojmů a rozmyšlení otázek typu "Jak víme . . . ?", "Proč věříme . . . ?", probírat témata navržená v předcházející části, objasní se tyto věci zcela přirozeně. Uvažme následující příklady.

Když ve *Dvou nových vědách* Galileo řeší problém, jak popsat změnu rychlosti pohybujícího se tělesa (dnes hovoříme v této souvislosti o "zrychlení"), upozorňuje, že existují dvě alternativy:

1. Pozorujeme, že na vzdálenosti tolika a tolika loktů se rychlost tělesa mění z jisté počáteční hodnoty na určitou hodnotu koncovou. Na základě tohoto zjištění by bylo možné popisovat pohyb objektu pomocí čísel udávajících, nakolik se jeho rychlost změnila při proběhnutí jednotlivých loktů dráhy.
2. Tutéž změnu rychlosti lze však vztáhnout i k příslušnému časovému intervalu. Sledovaný děj je tedy možné charakterizovat také čísly udávajícími změnu rychlosti v každé sekundě.

Který způsob popisu máme přijmout? Výběr není triviální.

Galileo volí druhou možnost: změnu rychlosti za jednotku času. Chce totiž popsat "přirozeně zrychlený" pohyb (volný pád) a je intuitivně hluboce přesvědčen, že volný pád je *rovnoměrně* zrychlený právě v tomto smyslu a nikoliv ve smyslu změny rychlosti připadající na délkovou jednotku dráhy. Na základě hypotézy (induktivní domněnky) vybírá alternativu, jež vede k nejjednoduššímu a nejelegantnějšímu popisu volného pádu, a vzápětí tuto hypotézu testuje vyvozováním důsledků, které lze ověřit experimentem.

Zde se jasně ukazuje několik základních rysů vědecké práce: úloha induktivního a deduktivního usuzování; skutečnost, že vědecké pojmy jsou výsledkem činnosti lidského rozumu a ne materiálními objekty nalezenými a popsány svými objeviteli jako nové kontinenty či nová zvířata; fakt, že v postupu existuje možnost volby, vytvářející prostor i pro estetická kritéria, jako je elegance a jednoduchost.

Rovněž se zde objevuje nová, revoluční idea vytváření apriorních hypotéz a experimentálního testování jejich matematických důsledků. Pozorování i experimentu užívali, alespoň v některých případech, už Řekové (například uváděli odpor nafouknutého zvířecího měchýře proti stlačení jako experimentální důkaz materiálnosti vzduchu), avšak modely, které vymýšleli pro vysvětlení přírodních jevů, netestovali.

Neopakují tento známý příběh proto, že bych se snad chtěl domáhat nějakého nového nebo hlubokého pojetí filozofie a historie vědy. Snažím se jen co nejsrozumitelněji upozornit na důležité ideje, které mohou vysokoškoláci pochopit a ocenit. Přestože leží přímo pod povrchem každého úvodního kursu fyziky, dostávají studenti jen zřídka možnost, aby je objevili, formulovali a vychutnali. K jejich odhalení jim musíme dát příležitost poodstoupit a promyslet, oč vlastně jde, znovu prožít některé z intelektuálních zkušeností, rozebrat a zhodnotit myšlenkový postup a uvědomit si přitom prvky jeho logiky, jeho možnosti i jeho omezení.

Tuto příležitost však studentům poskytuje jen velmi málo kursů a učebnic. Standardní definice rychlosti a zrychlení jsou vyhlašovány tak, jako by byly skálopevnými útvary, které existují odjakživa. "Historie" se odbývá zmínkou o Galileovi a několika okázalými, ale nepodloženými a otřelými frázemi se oznamuje, že objevil "experimentální metodu" a je otcem "moderní přírodovědy".

Jsem přesvědčen, že si studenti mohou vytvořit zralou, zasvěcenou představu jak o metodách a postupech, tak o úspěších i mezích vědy. Nedospějí k ní však automaticky procvičováním výpočtů, jak vysoko vystoupí kámen vymrštěný do vzduchu nebo jak dané elektrické pole vychýlí svazek elektronů. Takový intelektuální nadhled se dá vypěstovat jenom skloubením znalosti samotného vědeckého problému s pochopením postupu jeho řešení - s pochopením, kterého se dosahuje úvahami typu "Jak víme ...?", "Proč věříme ...?".

Příležitosti ozřejmit tyto aspekty kulturního fenoménu, jímž věda je, se objevují téměř na každém kroku. Přejděme k dalším příkladům.

Díky didaktickému stylu, jakým se jim věda servíruje, studenti zpravidla považují vědecké pojmy za strnulé, neměnné entity mající pouze jeden absolutní význam. Ten, jak se domnívají, musí každý

zasvěcenec automaticky "znát" a zadýchanému nováčkovi nezbyvá než jej přijmout během "jedné otáčky mozku". Mnohým se pak značně uleví, když shledají, že tomu tak není; když zjistí, že se tyto pojmy s narůstajícím vědeckým poznáním vyvíjejí, až jsou - postupným předefinováním, zpřesňováním a tříbením - dovedeny od surového počátečního intuitivního tvaru k pozdější rafinovanosti.

Například pojem "síla" byl původně zaveden v souvislosti se svalovým tahem nebo tlakem. Zákonem setrvačnosti se však předefinová tak, aby byl použitelný na jakékoliv působení, které uděluje zrychlení materiálnímu objektu (např. působení elektricky nabitě tyče na kousky papíru). I neživým předmětům se tím připisuje schopnost působit silou na jiná tělesa (nabitá tyč působí silou na kousky papíru, stůl působí silou orientovanou vzhůru na knihu, která na něm leží, Země působí silou orientovanou dolů - naší tíhou - na nás a silou orientovanou vzhůru na naše chodidla). Newton pak rozšiřuje tento pojem ještě dále tvrzením že pokud stůl působí vzhůru orientovanou silou na knihu, působí kniha současně silou opačného směru na stůl. Od původního použití slova "síla" pro živý svalový tah nebo tlak na jiný předmět jsme se dostali hodně daleko.

Z hrubé počáteční představy vycházíme i při definici "rychlosti". Původně ji zavádíme jako míru toho, jak rychle (v průměru přes konečný časový interval) se objekt pohybuje podél přímky. Potom tuto jednoduchou ideu zdokonalujeme až k pojmu okamžité rychlosti, kterému připisujeme další vlastnosti: směr v prostoru a měřítko změny jak velikosti, tak směru.

Význam původního slova se v jednotlivých krocích podstatně mění. V pozdějších stádiích postupu již tedy zvolené slovo neoznačuje výchozí intuitivní představu, ale nový, rafinovanější pojem. Pochopení tohoto významového posunu výrazně zvyšuje důvěru studentů ve vlastní znalost nového způsobu myšlení. Otevírá jim oči k analogickým postupům a zobecněním nejen v další generaci pojmů (jako jsou "energie" a "elektrický náboj"), ale je užitečné i pro jiné obory studia: jen zřídka se připomíná, že podobné sémantické změny se objevují i ve společenských nebo humanitních vědách.

V kursech, které vedu, vyhlásím hned první den, že budeme pracovat podle hesla "nejdříve myšlenka - název později", a dám na srozuměnou, že odborné termíny nabývají významu až prostřednictvím popisu empirických poznatků slovy dříve přijaté definice. Pokouší-li se někdo projevat svoji erudici (nebo se vyhnout otázkám) používáním slov nebo odborných výrazů, které ještě nebyly zavedeny, tváříme se - já a moji asistenti - zcela netečně a předstíráme, že nevíme, o čem se mluví. Studentům to rychle dojde. Nechají hry se slovy a většinou si začnou uvědomovat, že jejich významu nerozumějí. Brzy mi sdělují, že narážejí na potíže v psychologii, sociologii, ekonomii či politických vědách, když se učitele ptají na význam odborných termínů, jimiž je velmi nenuceně častuje.

Tato opakující se zpětná vazba ukazuje na jeden aspekt rozumového vývoje, který mnozí studenti poměrně snadno a rychle zvládnou.³ Pro kursy, které jim to neumožňují, je takové zjištění samozřejmě špatným vysvědčením.

Ve třicátých a čtyřicátých letech minulého století konal Michael Faraday velmi krásné elegantní výzkumy elektřiny a magnetismu. Studenty lze vést k tomu, aby sami formulovali alespoň některé z hlubokých otázek, jež si tehdy kladl: Existuje nějaký mechanismus, jímž se realizuje silové působení jedné částice na druhou?, Bude-li jedna částice náhle přemístěna, změní se síla působící na druhou ihned nebo až po konečné době?, Uplyne také konečný časový interval mezi okamžikem, v němž je do drátu vpuštěn elektrický proud, a okamžikem, v němž se střelka blízkého kompasu začne díky magnetickému účinku tohoto proudu natáčet?, Uplyne-li v obou případech konečný časový interval, co se během něj děje v prostoru mezi interagujícími objekty? Ve snaze odpovědět na tyto otázky vymyslel Faraday model, který úplně přesahuje veškerou přímou smyslovou zkušenost. Zavedl slavné "siločáry", které se natahovaly a smršťovaly, rozestupovaly a kumulovaly, čímž docházelo k šíření elektrických a magnetických účinků prázdňným prostorem. Tyto představy později rozpracoval James Clerk Maxwell do rafinovaného novodobého pojmu "pole". Sám Faraday psal o tomto vysoce spekulativním modelu téměř omluvně:

"Na bádání tohoto druhu by se v přírodní filozofii nemělo pohlížet jako na nutně škodlivá nebo zbytečná. Měla by být sice vždy považována za poněkud pochybná, zodpovědná za chyby a náchylná ke změnám, avšak v rukou experimentátorů a matematiků jsou podivuhodnými pomůckami. Jsou užitečná nejen tím, že osvětlují

nesrozumitelnou ideu, dávající jí cosi jako určitou podobu, která může být přizpůsobena experimentu a výpočtu, ale vedou - dedukcemi a korekcemi - dál k odhalení nových jevů a tak podmiňují růst a postup skutečné přírodní pravdy, jež se, na rozdíl od hypotézy, která k ní přivedla, stává věděním nepodléhajícím změně." [9]

Tento překrásný popis cíle a funkce heuristického modelu současně ukazuje charakteristický rys myšlení mnoha vědců devatenáctého století. Byli opravdu přesvědčeni, že hromadí "skutečnou přírodní pravdu" a "věděním nepodléhající změně".

Když se studenti dozvědí něco o pojmové revoluci spojené se základy teorie relativity nebo když se seznámí s některými neúspěchy newtonovské a maxwellovské fyziky v mikrosvětě, je zajímavé nechat je porovnat toto Faradayovo prohlášení s pozdějším pesimističtější výrokem J. R. Oppenheimera:

"Ke svým novým problémům přistupujeme plni starých představ a starých slov. Nejen nepostradatelných slov každodenního života, ale i takových, která nám byla užitečná v mnohaleté vědecké zkušenosti... Máme rádi stará slova, starý jazyk a staré analogie a používáme je ve stále neobvyklejších a neznámějších situacích." [10]

V tomto stadiu se už studenti sami domýšlejí, proč většina vědců nepovažuje vědecké znalosti za neměnné a definitivní, ale spíše je pokládá za proměnlivé a dočasné. Začínají si uvědomovat omezenou platnost i úspěšných teorií a za každou zodpovězenou otázkou jsou schopni nalézt celou řadu nevyřešených problémů.

Jiným vhodným námětem, v němž se rovněž vyskytují modely přesahující přímou smyslovou zkušenost, je vývoj představ o atomárně-molekulární struktuře hmoty a stavbě atomů samotných. Studenti jej mohou celý projít a rozebrat jeho jednotlivé kroky. Musíme jim však přitom dovolit, aby - stejně jako někdejší průkopníci - pochybovali a vyslovovali svoje rozpaky nad interpretací některých "evidentních" závěrů. Není možné pouze jim vnutit několik navzájem nesouvisících argumentů, jež jsou samy o sobě nepřesvědčivé, a hned nato téma ukončit vyhlášením závěrečných výsledků. Prvotní skeptici nebyli koneckonců ani zdaleka nějakým spolkem hlupáků. Cestu, kterou vývoj v této oblasti prošel, vroubí mnoho ilustrativních klenotů. Dalton například ve svých původních pokusech vybudovat kvantitativní atomárně-molekulární teorii porovnával procentové složení různých sloučenin s jejich hmotnostmi. Jedinou pravidelností, která byla do té doby v těchto údajích pozorována, byl takzvaný zákon stálých poměrů hmotnostních - tj. pevné procentové složení každé určité chemické sloučeniny - a i ten byl předmětem jistých sporů a pochybností. Veden představami o korpuskulární stavbě hmoty, zaměřil Dalton svoji pozornost především na případy, kdy určitá dvojice prvků (třeba kyslík a uhlík) tvoří více různých sloučenin. Přitom ho napadlo, že pokud se jeden gram uhlíku slučuje s 1,3 gramy kyslíku v jednu sloučeninu, pak by na tentýž gram uhlíku mělo v jiné sloučenině připadnout 2,6 nebo 0,65 nebo 3,9 gramů kyslíku, případně jiné množství, které by bylo celistvým násobkem nebo dělitelem 1,3. Právě takové jednoduché číselné poměry by totiž měly vyjít, kdyby se sloučeniny opravdu skládaly z molekul vytvořených z malého počtu atomů reagujících prvků. Chemické údaje se však tímto způsobem nikdy dříve nezkoumaly a tato přísná pravidelnost zůstávala skryta za neprůhledným procentuálním složením. Přišel Dalton a pravidlo bylo na světě; *předpověděl* dnes běžně známý "zákon násobných poměrů hmotnostních". (Pokud se tento zákon uvádí v novodobých kursech, bývá většinou prezentován jako odnepaměti známý apriorní důkaz atomové teorie.) Je podstatné, že fakta velmi často *nehovoří* sama. V tomto případě byla známa dlouhou dobu, ale nikdo si jich příliš nevšímal, dokud nebyla ohledána očima teorie. Teprve potom byla pochopena a stala se dramatickým potvrzením teoretické koncepce, která je objasnila.

Opačným příkladem je historie "pildownského člověka" - podvrhu, který byl odhalen v padesátých letech našeho století. Mnozí paleontologové akceptovali zkamenělinu s lidskou lebku a opičí čelistí, poněvadž na základě apriorních teoretických představ očekávali existenci evoluční posloupnosti, v níž by vývoj mozku předcházel změnám v jiných částech těla. Přijali padělek na téměř padesát let, přestože se dobře vědělo, že jej nelze zařadit na žádné místo v evoluční linii hominidů. Ani zde nevyprávěla sama fakta; pohlíželo se na ně očima teorie a teorie vedla na scestí.

Pro vskutku všeobecně vzdělávací proces je příznačné objasnění základních charakteristik veškeré intelektuální činnosti. Toho samozřejmě nelze dosáhnout vágním generalizováním nesvázaným

s niterným úsilím o zvládnutí tématu. Vybudování přírodovědné gramotnosti je proto nemyslitelné bez ovládnutí alespoň *určitého* rozumného množství látky umožňujícího provádění generalizace pochopit.

- 3 O jiných aspektech intelektuálního vývoje, například schopnosti abstraktního logického usuzování, se to bohužel říci *nedá*. Ale to je jiný příběh a, jak říkával Mortimer Snerd, dlouhý a mlhavý. Viz [3,8].

Ilustrace souvislosti vědy s intelektuální historií lidstva

V dobře vedených úvodních kursech je mnoho možností jak dosáhnout toho, aby si studenti uvědomili význam vědy ve vlastním rozumovém vývoji. Při svém zájmu o přírodovědné vyučování na základních školách jsem se například nejednou setkal s následující situací: Na otázku, čím to je, že předmět padá, dostává dítě od učitele (nebo rodiče) odpověď: "Gravitací". V dítěti vzniká dojem, že byl dán důvod vysvětlující *příčinu i účinek*. Ani dítě, ani učitel si však přitom neuvědomují, že technický termín nevyjadřuje ani znalost, ani informaci, ale pouze skrývá nevědomost. Zdrcující většina řadových občanů, ale i studentů a učitelů nemá sebemenší povědomí o historii tohoto pojmu. Neví, že se slovo "gravitace" původně objevilo jako označení teleologického faktu - "snahy" či "touhy" živlů (a jejich směsí) najít střed Země. Málokdo si uvědomuje, že Newton explicitně odmítl hovořit o mechanismu či procesu interakce, když vyslovil svoji velkolepou domněnku, že totéž - ať už to funguje jakkoliv - co nutí jablko padat, váže i Měsíc k Zemi a planety ke Slunci; a konečně, že navzdory kráse a eleganci obecné teorie relativity nemáme dodnes ponětí o tom, jak vůbec gravitace "funguje".

Velmi málo studentů chápe význam převratných výsledků vědy sedmnáctého století - odvržení názoru, že nebesa a nebeská tělesa jsou vytvořena z jiné látky a podřízena, jiným zákonům než objekty pozemské; podrobení všehomíra jednotné soustavě člověkem pochopených zákonů; jeho rozšíření do nekonečna a s tím spojené překonání představy o nebeské klenbě nad našimi hlavami. Na tomto místě došlo v naší intelektuální historii k zásadnímu obratu. Názor každého jedince na sebe sama a jeho místo ve světě je hluboce podmíněn tímto dědictvím po Galileovi, Newtonovi a ostatních přírodních filozofech sedmnáctého století. Vzdělaný člověk by si měl být vědom historického a intelektuálního významu tohoto dědictví a nejen memorovat závěrečné výsledky. Přestože lze tyto věci na vysokoškolské úrovni velmi pěkně vyložit [11, 12], dělá se to dokonce i ve všeobecně vzdělávacích kursech jen zřídka; ve studijních plánech pro budoucí vědce a inženýry se toto téma neobjevuje vůbec.

Náležité zdůraznění těchto hledisek již v úvodních přírodovědných kursech by přitom nesmírně obohatilo a posílilo intelektuální obsah jakéhokoliv studia a stimulovalo by žádoucí pronikání idejí bariérami oddělujícími navzájem jednotlivé disciplíny. Studenti například žasnou, když zjistí, kolik slohových obrátů užívaných *otci-zakladateli*^{*} v našich historických dokumentech lze zpětně vysledovat přes deisty až u Lockeho a Newtona [13].

Za příklad souvislosti s literaturou mohou sloužit tyto řádky ze *Senlinovy ranní písně* od Conrada Aikena [14]:

*"Země se se mnou točí a přece se nepohybuje,
hvězdy tiše blednou v korálovém blankytu.
Stojím před zrcadlem ve hvízdající prázdnotě,
je mi to jedno a vážu si kravatu."*

Aiken se současně dovolává zákona setrvačnosti, galileovské relativity i newtonovské kosmologie a všechno kořením nádechem ironie a protismyslu. Je to pohled zcela novodobý; nic takového by asi nemohlo být napsáno v šestnáctém století. Velmi působivé je i srovnání těchto veršů s Miltonovou obojetností (pokud jde o ptolemaiovský a koperníkovský systém) ve *Ztraceném ráji*.

Jiným nesmírně podnětným námětem, jenž se zrodil z potřeb techniky, překlenul a nakonec sjednotil všechny přírodní vědy a silně ovlivnil intelektuální vývoj lidstva, je problematika "principů nerealizovatelnosti". Tento příběh začíná už za dávných časů postupně narůstajícím poznáním, že příroda vždycky vzdoruje našemu přání "získat něco z ničeho", naší snaze nahromadit

nevyčerpatelné zásoby hmoty, pohybu, změny nebo tepla bez vynaložení odpovídajícího úsilí a nákladů. Na základě tohoto původně kvalitativního zjištění se v osmnáctém století začaly některé důležité pojmy kvantifikovat. Lucretiovo "nic nemůže být vytvořeno božskou vůlí z ničeho" se překrásnými Lavoisierovými experimenty přeměnilo v zákon zachování hmoty. Tehdy se také začaly objevovat první představy o mechanické energii; o jejich souvislosti s teplem se však ještě nevědělo.

Devatenácté století přineslo velkolepou syntézu prvního a druhého zákona termodynamiky zahrnující sjednocení mechanické energie a tepla a zachování energie celkové, stanovení možného a nemožného směru spontánních změn a odhalení tendence systémů k rovnováze, možnost úplné přeměny práce v teplo kontrastující s nemožností úplné transformace tepla v práci a konečně podřízení všech stavových změn - mechanických, chemických, tepelných, elektrických, magnetických - právě těmito dvěma zákonům. Kvantifikované podoby principů nerealizovatelnosti, jež vzešly z techniky průmyslové revoluce, vnesly srozumitelný a působivý řád do zmatku jinak navzájem nesouvisějících změn. Tím hluboce ovlivnily a usměrnily i myšlení ve společenských vědách. Jako příklad jmenujme třeba francouzského filozofa Georgese Sorela [15] nebo historika Henryho Adamse [16].

Devatenácté století ještě pohlíželo na hmotu a energii jako na dvě rozdílné entity, z nichž každá se sama zachovává. Ve dvacátém století přinesla Einsteinem podníčená myšlenková revoluce nový pohled: hmota a energie tvoří jednotu a nikoli dichotomii; jsou vzájemně přeměnitelné podobně jako práce a teplo. Pomocí tohoto poznatku se dalo vysvětlit, jak si může radioaktivní látka sama, zdánlivě po neomezenou dobu, udržet vyšší teplotu než jakou má její okolí, jak může Slunce trvale zářit během nesmírného trvání geologického času a konečně, jak může být uvolněna úžasná energie skrytá v atomovém jádře.

Dále už cesta vede přímo ke všem morálním, etickým a společenským problémům, které přináší jak mírové, tak válečné využití existující techniky. Tento příběh i jeho vliv na lidskou společnost však začal daleko dříve než Fermi a jeho spolupracovníci spustili v Chicagu první jaderný reaktor. Věřím, že je možné dosáhnout toho, aby si studenti alespoň něco z těchto věcí uvědomili v široké perspektivě intelektuální historie lidstva a neviděli jen konečné vědecké či společenské důsledky.

* Pozn. překl.: Otcové zakladatelé (*founding-fathers*), tzn. státníci z období americké revoluce.

Výběr témat

Mám zato, že předcházející ilustrace epistemologických, filozofických a historických aspektů vědy mohou vtisknout obecné humanistické perspektivy jakémukoli studijnímu plánu. Uvědomuji si však, že jejich konkrétní výběr je do značné míry závislý na osobním vkusu, a proto uvedené návrhy nijak neprosazují proti jiným alternativám. Každý učitel si musí vybrat taková témata, která se mu líbí a která je schopen podat nejpřesvědčivějším a nejvíce stimulujícím způsobem. Může to být například celá řada aspektů, na něž James Conant upozorňoval jako na "taktiku a strategii vědy". Lze se věnovat úchvatnému, částečně vědeckému, částečně psychologickému problému ověřování a přijímání vědeckých teorií. Nabízejí se i filozofické problémy pozitivizmu a otázky týkající se "reálnosti" entit (atomů, molekul, elektronů), jejichž detekce přesahuje možnosti našeho smyslového vnímání.

Jsou zde samozřejmě také jiné náměty: naléhavé společenské problémy, jež přineslo uvolnění jaderné energie, vojenské využití vědy, možnost syntetizování živé hmoty a zasahování do genetického vývoje lidských bytostí, otázky devastace a tvorby životního prostředí. Nechci snižovat význam těchto životně důležitých problémů. Mám však výhrady k zahajování diskusí a rozborů dříve, než studenti porozumějí věci z odborného hlediska. Jsou-li takové základy poctivě vybudovány, mohou být další diskuse pedagogicky plodné a užitečné. Pokud však k těmto otázkám přistupujeme, jak se to, bohužel, často dělá, bez potřebného zázemí, může snad celý podnik vypadat efektně (studenti podléhají klamu, že se účastní pravého bádání), ale ve skutečnosti není ničím jiným než žonglováním s bezobsažnými generalizacemi - hrou se slovy zbavenou podstaty a opravdového myšlení. Toto není cesta ke vzdělanosti.

Je zřejmé, že způsobem, který doporučuji, nelze probrat vše, co by člověk chtěl. Takto není možné

rozebírat každý důležitý problém a zmiňovat se o každé významné perspektivě. Jsou dávno pryč časy, kdy jsme ještě mohli učit své studenty všechno, co by měli znát. Neřeknu jistě nic nového, připomenuli-li, že jediným důležitým a realistickým úkolem vyššího školství je postavit studenty na vlastní intelektuální nohy: dát jim soubor základních pojmů, z něhož by mohli vycházet, a vybudovat v nich vědomí toho, co znamená se něco naučit a pochopit; naučit je používat vlastní rozum tak, aby byli v případě potřeby schopni číst, studovat a rozvíjet svoje vědomosti samostatně, bez metodického vedení.

Základním požadavkem je, aby si studenti nenavykli chrlit naučená tvrzení o přírodě a postupech vědecké práce bez toho, že by se sami, na základě své vlastní zkušenosti pokusili formulovat podobné závěry. Bez vlastní (byť nevelké) účasti na pochopení a výkladu vědeckých pojmů a teorií nezískají o vědě o nic lepší představu, než jakou by si udělali o poezii pouhým čtením jejích rozborů (ale nikoliv básní samotných) nebo o dějinách jen z diskuse o jejich filozofii, aniž by přitom historii čehokoliv znali.

Jsem přesvědčen, že kdybychom studentům namísto servírování pojmů a vztahů, na něž zatím jejich rozumové schopnosti nestačí, dopřáli možnost pohlédnout na vědu prizmatem méně vznešených problémů a konfrontovat ji s vlastní zkušeností, získali by nadhled, jenž odpovídá daleko lépe tak často vyhlášeným cílům všeobecného vzdělávání. Takový nadhled by přispěl k vývoji vzdělanějších jedinců a rozumověji založených občanů stejně jako vědomí historie nebo vnímavost k literatuře.

Problémy realizace

Přestože bych, zvláště na vyšších stupních, dával přednost spíše občasným speciálním kursům věnovaným konkrétním důležitým problémům (a v těchto kurzech bych - bez ohledu na vyšší náklady - prosazoval týmové vyučování vytvářející interdisciplinární nadhled), jsem přesvědčen, že mnoho práce se dá udělat už na nižších stupních a ve stávajících učebních strukturách.

Především je nutné snížit přehradu, které oddělují jednotlivé disciplíny přírodních, humanitních i společenských věd. Na uváděných příkladech jsem se snažil ukázat, jak by se to mělo udělat. Získá-li učitel - vlastní snahou a pílí - o historických, filozofických, epistemologických či společenských aspektech svého předmětu lepší přehled, než jaký mu poskytla příprava na univerzitě, velice to posílí obecný obsah jeho výuky. Potřebné materiály jsou snadno přístupné jak učitelům, tak studentům. Trochu důvtipu vyžaduje jen vymyšlení otázek, problémů zadávaných za domácí cvičení a písemných úkolů, na nichž by se studenti obeznámili s idejemi přesahujícími svým významem sterilní závěrečné výsledky konkrétních výpočetních postupů.

Kdybychom chtěli tyto materiály použít ve stávajících přírodovědných kurzech, rozhodně bychom museli upustit od nesmyslného rozsahu látky i tempa, jemuž v současné době vystavujeme naše poddajné a nesoudné studenty. Už dlouho tvrdím, že je degradujeme na automaty rozemílající rovnice a nutíme je k bezduchému memorování metod řešení úloh. Dokonce jim ani nedáváme příležitost, aby si uvědomili, co to pochopení ve skutečnosti je. Pokud bychom požadovali, aby rozuměli pojmům a postupům rozumového uvažování, stanovili bychom jim tím daleko vyšší intelektuální měřítko a žádali bychom od nich mnohem vyšší mentální výkony, než jakých jsou schopni nyní - při vši tak na odiv stavěné "šíři záběru" našich kursů. Toto konstatování neznamena ústup, právě naopak. Víím dobře, že studenti takové nároky splnit mohou a splňují. Není však možné je přesvědčovat o důležitosti všeobecného vzdělání a přitom je krmit jen nic neříkajícími frázemi. Sama znalost věci zde nestačí, je třeba usilovat také o to, aby studenti získali i vlastní nutkavé intelektuální, morální a estetické zkušenosti. Učitel přírodovědných a technických disciplín musí projevovat svoji vlastní způsobilost v těchto otázkách, jinak bude jeho pedagogické působení pokrytectvím. Jak můžeme po studentech chtít, aby dělali něco, co neděláme sami?

Tyto požadavky se ovšem netýkají jen učitelů technických oborů. Bariéry by měly být prostupné i v opačném směru. Učitelé humanitních disciplín se musí přestat schovávat před "tvrdou vědou", jak to většinou během studií asi dělali. Musí se přinutit ke zvládnutí alespoň *několika* otázek typu "Jak víme...?", "Proč věříme...?", o nichž jsem se zmiňoval dříve. O přírodovědných tématech musí ve svých předmětech hovořit zasněženě; například v každém historickém výkladu o osmnáctém století

by měl být *seriózně* (ne letmo a povrchně) diskutován Newtonův vliv. Naprosto stejně, jak jsem to požadoval po svých kolezích-technikách a přírodovědcích, se musí stát i učitelé humanitních a společenskovědních předmětů pro své studenty příkladem. Nemůžeme přece očekávat, že studenti přestanou utíkat od všeho, co v nich vyvolává pocit intelektuální nejistoty, budeme-li to dělat sami.

Nedělám si nejmenší iluze, že by se nám mohlo toto všechno lehce podařit. Skutečně však nevidím žádnou jinou možnost, jak dosáhnout alespoň zlomku našich velkolepých cílů. Sám jsem, bohužel, jako student inženýrství tímto způsobem vychováván *nebyl*. Abych svoje vzdělávání intelektuálně vůbec přežil, musel jsem se z oné propasti dostat v následujících letech vlastními silami; musel jsem přitom překonat snad všechny překážky a nesnáze, na něž člověk může za takových okolností narazit. Vynaložené úsilí se mi však bohatě vyplatilo.

Otázka rozvoje poznání

Rozvíjí-li naše všeobecné vzdělávání skutečně, jak se domníváme, schopnost myslet, usuzovat a chápat, měly by tomu odpovídat i výsledky obvyklých průzkumů poznávacího vývoje studentů. Jeho stupeň se běžně zjišťuje [3, 8] zadáním dvou nebo více dnes už klasických piagetovských úkolů. Znovu a znovu se při tom ukazuje, že asi jen necelých 25 % vysokoškoláků má vyvinutou schopnost abstraktního logického myšlení na úrovni těchto základních úloh. Až 50 % studentů užívá ještě převážně konkrétního způsobu myšlení a zbývajících 25 % (jež tvoří studenti částečně úspěšní v řešení metodických úsudkových úloh) je v přechodném stadiu.

Mentální schopnosti studentů se *mohou* rozvíjet dále [4-6, 17]. Jejich vývoj je však podmíněn praxí a zkušenostmi s důležitými způsoby myšlení. Vyžaduje *trénink*, vedoucí (v Piagetově terminologii) k přizpůsobení a rovnováze. Většina vysokoškoláků potřebuje takové praxe velice mnoho a musí během ní dostávat příležitost k odhalení chyb a jejich opravě. Při tom by se studenti měli naučit:

1. Formulovat a chápat jednoduché premisy a jednostupňové a dvoustupňové sylogismy.
2. Poznat, že neporozuměli tomu, co četli, a identifikovat v textu kritické místo.
3. Dělat elementární hypoteticko-deduktivní úvahy (tj. umět si teoreticky představit možné důsledky různých změn systému).
4. Rozpoznat okolnosti, za nichž mohou nebo nemohou být ustanoveny příčinné vztahy.
5. Provádět základní korelační úvahy.
6. Provádět aritmetické úvahy obsahující poměr a dělení; v jejich rámci zvládnout jednoduché odhady plochy, objemu nebo jiných běžných veličin.
7. Překládat symboly do slov a slova do symbolů (tj. grafy a jiná symbolická vyjádření vysvětlovat pomocí slov a naopak verbální prohlášení převádět na grafy a aritmetické operace).

Už jsem zdůrazňoval, že množství látky, které cpeme do studentů ve většině všeobecných kursů přírodovědy, a tempo, jímž to děláme, naprosto znemožňuje procvičování časově náročných operací myšlení, usuzování a chápání. Studenti jsou tím nuceni k bezduchému memorování a nakonec nutně dospívají k přesvědčení, že veškeré "pochopení" a "vědění" je totožné s naučenými slovy a frázemi. Nejsou vedeni k používání rozumu, nejsou zkoušeni z myšlení; požaduje se po nich pouze odhrkávání závěrečných výsledků. Za takových okolností není vůbec žádná naděje, že získají nadhled a porozumění charakterizující pravou přírodovědnou gramotnost či gramotnost v jakémkoli jiném oboru vyžadujícím abstraktní logické myšlení.

Chceme-li skutečně, aby naše všeobecné vzdělávání bylo úspěšné, musíme vycházet z předpokladu, že studenti *mají* intelekt schopný vývoje a použití. Musíme jim ale dát příležitost přemýšlet, užívat rozumu a duševně se vyvíjet. K tomu je třeba podávat látku takovým tempem a na takové úrovni, aby ji mohli strávit. Opravdové pochopení několika základních témat svědčí o daleko vyšších intelektuálních měřítcích a nárocích než působivá prohlášení o pokročilých či aktuálních problémech chrlená naučenou hantýrkou.

Výchova učitelů

Zdaleka nejlepší předpoklady i největší možnosti ke zlepšení veřejného povědomí o problémech, metodách, mezích i společenském dopadu vědy mají základní a střední školy. Pokud by se už na nich dosáhlo opravdového pochopení základních pojmů, nesmírně by to ulehčilo jakoukoliv pozdější výuku. Na vysoké školy by studenti dokonce mohli přicházet s tak rozvinutými mentálními schopnostmi a s takovými odbornými znalostmi, že by snadno zvládli i ty aspekty moderní vědy, které jsou dnes pro ně beznadějně nepochopitelné. S tímto zázemím by snad byl i náš velkovýrobní způsob výuky početných skupin značně účinnější než teď.

Takovému zlepšení nebrání v současné době nedostatky vhodných studijních textů, ale nevyhovující příprava učitelů. Ani sebelepší studijní materiály nebudou nikdy samospasitelné. Učitel může jejich záměr zcela pokazit svým přístupem, nesouhlasnými komentáři a nejvíc snad tím, co vybere ke zkoušení. Skutečná intelektuální hodnota výuky závisí mnohem více na testech než na textech. K úspěšné realizaci dokonalejších studijních materiálů je nezbytné, aby je učitelé používali s naprostou jistotou - aby bezpečně znali nejen jejich obsah, ale aby také dokonale chápali jejich pedagogický záměr.

Není například vinou učebnic, že výtečné učební plány přírodovědy pro základní školy mají tak malý úspěch. Spíše za to může přírodovědná příprava na fakultách, která nevybavuje učitele základních škol potřebnými znalostmi a porozuměním. Zkušenosti, které jsme získali na washingtonské univerzitě, ukazují, že studenti učitelství i učitelé z praxe jsou na tom po této stránce stejně: většinou u nich převládá konkrétní způsob myšlení nad metodickým, nejsou schopni aritmetických úsudků, v nichž se vyskytuje dělení (jen málokterí zvládnou aritmetické slovní úlohy pro pátou a šestou třídu), neumějí pracovat s proměnnými, nejsou schopni odhadnout, k jakým změnám dojde v soustavě, změní-li se vnější podmínky. Jejich "znalost" přírodovědy je souhrnem nazpaměť naučených názvů a odborných termínů. A poněvadž jim chybí náležité operační pochopení těchto výrazů, nedokáží je v žádném konkrétním případě smysluplně použít.

Jinými slovy, pokud učitelé našich základních škol měli vůbec nějakou fyziku, pak prošli kursy kritizovanými v předcházejících částech tohoto článku. Takový způsob výuky neumožňuje budoucímu učiteli osvojení látky, ani jej nevede k používání rozumu. Vypravuje jej do života s jen napolo zapamatovanou zásobou efektních slov jako jádra, lasery, podivné částice, moment hybnosti a černé díry, zato bez jakékoli vědomosti o hustotě, plavání a potápění, bez znalosti zákona setrvačnosti, bez pochopení rozdílu mezi teplem a teplotou, bez porozumění původu fází Měsíce nebo ročního pohybu Slunce, bez představy o elektrickém proudu v jednoduchém ohmickém obvodu a bez sebemenší orientace v nejběžnějších vlnových úkazech. Dobrý učební plán přírodovědy pro základní školu, který by v rozumné míře preferoval jevy každodenního života před tajemným slovníkem moderní fyziky, by ihned odhalil, že počáteční znalosti učitelů i jejich žáků jsou naprosto stejné. Přesně tato slova jsem slyšel od poctivých vnímavých učitelů jako charakteristiku jejich situace.

K osvojení abstraktního způsobu myšlení a k pochopení pojmů obsažených v přírodovědném učivu základní školy nedochází u dospělých (učitelů a studentů učitelství) ani snáze, ani rychleji než u dětí. V našich výzkumech se znovu a znovu ukazuje, že se při tom potýkají, často dokonce pomalejším tempem, s týmiž překážkami a obtížemi. Mnoho úsilí vloženého do krátkodobých instruktáží, které měly připravit učitele základních škol na výuku podle nových učebních plánů, přišlo zcela nazmar tím, že doba jejich trvání byla naprosto nedostatečná. Drtivá většina učitelů na tom totiž není ani po absolvování vysoké školy o nic lépe než jejich žáci. Je iluzorní doufat, že stručné poučení o "duchu plánu" a následující proběhnutí příslušných materiálů jim postačí k pochopení obsahu. Zjistili jsme, že potřebnou jistotu mohou získat jen pomalým, trpělivým probíráním látky a nacvičováním abstraktního způsobu myšlení [4, 5, 17, 18]. Dokud nezměníme studijní plány a způsob výuky na vysokých školách, budeme pořád produkovat učitele, kteří potřebují takové nápravné kurzy už v okamžiku promoce. Přitom by tomu tak být nemuselo. Naše výzkumy ukazují, že velká většina učitelů (stávajících i budoucích) potřebné způsobilosti dosáhne, má-li k tomu příležitost.

Velmi běžným projevem nedostatečného zvládnutí látky je u učitelů základních škol jejich reakce na lepší učební materiály. Často je prostě nechávají zavřené v kabinetech, a když už musí přírodovědu učit, recitují ji ze starých osvědčených textů. Jindy, když si sami nejsou v nových

materiálech příliš jisti, shledávají je "příliš obtížnými" pro děti. A poněvadž si neuvědomují, že zdrojem potíží je jejich vlastní nevědomost, sdružují se a v dobré vůli vynakládají spoustu energie na psaní textů vlastních. Výsledkem této činnosti je vždy zmetek - plný neporozumění, chyb a nesprávných tvrzení - jehož vzdělávací hodnota je nejspíš záporná. (Zdůrazňuji znovu, že autory stávajících materiálů pro základní školu, o nichž jsem se prve zmiňoval [1, 2], jsou zkušení, nanejvýš kompetentní vědci, kteří mají nezbytný nadhled i znalosti.)

Ani ty nejlepší učebnice, jaké nám může pedagogický výzkum poskytnout, výuku na školách nijak podstatně neovlivní, dokud nevychováme učitele, kteří budou schopni podle nich učit. To je v současnosti náš hlavní problém a musí být vyřešen na vysokých školách. Vyčítání a obviňování učitelů nižších typů škol je z větší části nepodložené a nespravedlivé: "Vinny, milý Brute, nejsou naše hvězdy..."

Kromě látky a schopnosti metodicky myslet si učitel musí během své přípravy osvojit i chování ve třídě. Dobré, nové učební plány přírodovědných disciplín nespočívají na monologu učitele, ale předpokládají, že studenti budou sami bádát, zkoušet i chybovat, hovořit i naslouchat, diskutovat i vysvětlovat. (Ukazuje se, že kvalifikované vyučování přírodovědy zvyšuje schopnost dětí samostatně číst, chápat a dělat aritmetické úsudky [19, 20].) Koná-li se výuka podle špatných učebnic, je důležité, aby učitel zaměřoval pozornost žáků na nesrovnalosti a rozpory, které se v nich vyskytují, aby je vedl ke kritickému pohledu a k opravám textu a nevyžadoval jen "správné odpovědi". Takový postup od něho ovšem vyžaduje jistotu, dokonalou znalost látky a pohotovost v myšlení; pouhé vyhlašování správných odpovědí je mnohem snazší a zpravidla bývá zástěrkou nejistoty. Bylo by příliš velkým optimismem očekávat tak vyspělé chování od mladého člověka, byť odborně dobře připraveného, který se právě ocitl v nové třídě. Budoucí učitel potřebuje nejen návod, ale i předchozí příklad. Mnoho odborníků u nás i v jiných zemích je zajedno v tom, že učitelé obvykle učí tak, jak byli učeni sami. Pokud tedy pro adepty učitelství neděláme nic jiného než přednášky, budou i oni ve svých vlastních třídách jen přednášet. A to bez ohledu na poučení, kterého se jim dostalo (také ovšem formou přednášky) na katedrách pedagogiky v různých "metodikách".

Nakonec se zmiňme o výuce budoucích učitelů prováděné v malých skupinách - přesně tak, jak bychom chtěli mít realizovány učební plány přírodovědy na základních školách. Takto vyučovaná přírodovědná disciplína se stává i kursem metodiky. Budeme-li studenty učitelství vzdělávat tímto způsobem, můžeme doufat i ve změnu na školách, jež se později velmi výrazně projeví také na úrovni posluchačů vysokých škol.

Úloha počítače

Jedním ze závěrů, k nimž dospěla naše skupina dlouhodobým sledováním a studiem mnoha různých kursů, je poznatek, že mnozí studenti nejsou s to zvládnout některé pojmy či kroky myšlenkového postupu jinak než na základě diskuse ve dvojici [4, 21]. Zejména učitelé - jak budoucí, tak stávající - potřebují tuto pomoc. Velmi často by bylo třeba takto probrat například: aritmetické úsudky obsahující dělení, rozdíl mezi rychlostí a zrychlením, vysvětlení závislosti polohy na čase nebo rychlosti na čase jen slovy a pohyby rukou, rozdíl mezi teplem a teplotou, vytvoření a využití modelu vysvětlujícího původ fází Měsíce (tj. zacházení s otázkami typu "Očekávali byste východ úplňku o půlnoci?", "Proč?" nebo "Proč ne?"), vytvoření modelu elektrického proudu a odporu a jeho aplikace na jednoduché obvody sestavené z baterií a žárovek (odpovědi na otázky typu "Jak se změní světlo žárovek v důsledku různých zásahů do obvodu (zkraty, odstranění některých žárovek, zařazení dalších atd.)?").

Poněvadž takový dialog s jedním studentem může trvat dvacet až třicet minut i více, lze takto postupovat v malých skupinách jen velmi těžko a ve velkých vůbec ne. Jistě by bylo možné zaujmout stanovisko, že ten, kdo není schopen zvládnout tak jednoduché základní pojmy či způsoby myšlení, do vysokoškolských přírodovědných kursů nepatří a učitelský sbor by se mu neměl nijak zvlášť věnovat. I kdybychom však neusilovali o nic víc než o probuzení vlastního zasvěceného zájmu studentů o vědu, měli bychom postupovat shovívavěji. Mezi studenty, kteří v našich kursech propadají nebo z nich prostě mizí (a nebo se do nich ze strachu či nejistoty nikdy nezapíší), je mnoho nadějných adeptů jiných oborů, jejichž vztah k přírodním vědám by mohl být zachráněn zmíněnými

dialogy v klíčových místech. Naprosto stejně je tomu i u většiny budoucích učitelů základních škol a mnoha jiných lidí.

Zde může pomoci moderní technika. Nástup osobních mikropočítačů s grafickým vstupem a výstupem přináší možnost provádět výukové dialogy při jakémkoli počtu studentů [22]. Problém se redukuje na sestavení účinných dialogových programů, které by studentům pomohly překonat nejhorší počáteční překážky a přivedly by je na cestu k dalším vědomostem, na níž by už byli stále méně závislí na cizí pomoci.

Nezbytným předpokladem při psaní takových dialogů je samozřejmě dokonalá znalost výsledků výzkumu rozvoje poznání a bezpečné zvládnutí logického způsobu myšlení. Dobrý autor se kromě toho musí dopodrobna obeznámit i s myšlenkovými pochody studentů v konkrétních situacích. Sami totiž velmi zřídka správně odhadneme, z jakých apriorních představ studenti vycházejí, co nejobtížněji chápou a jaké mají vyjadřovací potíže. Nejdůležitější a nejobtížnější věcí při psaní dobrého počítačového dialogu je však včlenění takových postupů, které vedou studenta ke korigování *nesprávných* názorů; pouhé třídění odpovědí na správné a chybné je velice snadné a málo užitečné. Cvičné sestavování počítačových dialogů je velmi prospěšné i pro autory samotné. Znovu a znovu vídám při školeních zkušené učitele po takovém cvičení zdrceně sedět a říkat: "*Tuto* látku už tak nikdy učit nebudu. Nechápu, kde jsem k tomuhle pojetí vůbec přišel. Je plné nedostatků a muselo studenty jen mást."

Poučení ze zkušeností

V souvislosti s oživením zájmu o výchovu vědců a inženýrů dochází v současné době znovu k diskusím o postoji veřejnosti k vědě a technice. Někteří jednotlivci připomínají při té příležitosti "neúspěch" snah o vytvoření studijních plánů v padesátých a šedesátých letech a vyzývají k zahájení nového kola jejich přípravy. Doufají přitom, že *tentokrát* to budou materiály "lepší" a "účinnější". Zdá se mi, že si dělají bláhové naděje. Pedagogickou úroveň existujících učebnic by jistě bylo možné zlepšit, obávám se však, že by to hlavní problémy a překážky neodstranilo. Ani sebelepší studijní materiály totiž nemohou "učit samy".

Nemyslím si, že naše přírodovědné učební texty padesátých a šedesátých let byly neúspěchem. V době, kdy (především z podnětu *National Science Foundation*) vznikaly, bylo naléhavě třeba nových učebnic; zvláště takových, které by vycházely z pozorovací zkušenosti a laboratorní praxe. Tehdejší texty byly intelektuálně naprosto sterilní, navíc zastaralé, plné chyb a nesprávných tvrzení. Po několik generací byly kopírovány a znovu napodobovány autory, kteří látce náležitě nerozuměli a z moderního hlediska ji nepochopili.

V opojné atmosféře té doby přinesly vůdčí osobnosti různých vědeckých a technických oborů tvůrčí nadhled a nové perspektivy do svých disciplín a vytvořily korektní logické základy pro nové materiály. Vzdělávací hodnota vznikajících textů byla ovšem rozdílná. V jedněch bylo tempo na věkovou skupinu, pro niž byly určeny, příliš rychlé. Druhé, stavějící na závěrečných výsledcích rafinovaných postupů jiných vědních oborů, zase neumožňovaly studentům řádně pochopit výchozí tvrzení (úvahami typu "Jak víme...?", "Proč věříme...?") a zahlcovaly je jejich nesrozumitelnými důsledky. Další autoři měli zkreslenou představu o skutečných rozumových schopnostech různých věkových skupin [8] a často koncipovali výklad tak abstraktně, že byl nepochopitelný nejen žákům, ale i mnoha učitelům. Tímto nedostatkem trpěla zvláště matematika.

Přesto všechno však vzniklo mnoho znamenitých učebních plánů a textů. Nejlepšími z nich jsou, podle mého názoru, materiály pro první stupeň základní školy [1, 2]. Nepředpokládají u dětí žádnou dřívější "znalost" odborných termínů. Napřed je seznamují s myšlenkami a potom teprve s názvy. Pojmy nepodávají poučovatelem způsobem, ale syntetizují je z pozorovací zkušenosti. S usuzováním se začíná na konkrétní úrovni a postupně, pod vedením způsobilého učitele, se přechází k abstrakci. Opakované intelektuální zkušenosti tohoto druhu vedou k formování abstraktního myšlení a podporují jeho další rozvoj. Několik zdařilých a potenciálně účinných učebnic bylo napsáno i pro vyšší třídy základních škol a školy střední. Tyto materiály sice většinou nejsou přiměřené věku žáků, pro něž byly určeny, velice dobře se však hodí pro studenty o jeden, dva či tři roky starší.

Jsem přesvědčen, že přes veškeré chyby se *podařilo* vytvořit celou řadu zdařilých, zajímavých a pedagogicky zdravých materiálů. Tyto texty nejsou ani zastaralé, ani nemoderní. Jejich zavedení bylo sice opravdu zklamáním, ale "neúspěch", o němž se v této souvislosti hovoří, není podle mého názoru způsoben nedostatky materiálů samotných. Zavinily jej vnější příčiny. Ani ty nejlepší ze současných studijních plánů jistě ještě nejsou posledním slovem učitelské rafinovanosti a rezervy máme určitě i v lepším využití znalosti rozvoje poznání. Jsem však přesvědčen, že nová generace učebních materiálů by - z těchže příčin - selhala naprosto stejně.

Prvním závažným důvodem neúspěchu (zejména na základních školách) byla nedostatečná materiální podpora učitelů, kteří měli dostatek odvahy pustit se do zkoušení nových učebních plánů. Laboratorně orientovaný způsob výuky se neobejde bez doplňování a údržby pomůcek. Přetížení, neustále zaneprázdnění učitelé při něm potřebují trvalou pomoc. Nelze po nich požadovat, aby se ke všem ostatním povinnostem, které musí plnit, ještě starali o provozní záležitosti školy. I když snad někteří vyvíjejí v počáteční vlně nadšení mimořádné úsilí, nemohou to vydržet dlouho. Tak potřebná podpora v těchto záležitostech nebyla nijak velká ani v počátečních stadiích zavádění nových programů a s rostoucím finančním tlakem na školy v sedmdesátých letech zmizela úplně.

Obrovskou překážkou, kterou je nutno odstranit na školách všech stupňů, je tedy starost o materiální a pomůckové zabezpečení výuky. Je naprosto iluzorní doufat, že k rozvíjení vědecké vzdělanosti budou někdy stačit jen tištěné materiály. Nezbytné pochopení, logické myšlení i ovládnutí pojmů a idejí se u velké většiny běžných jedinců může rozvíjet *jenom* na základě konkrétní pozorovací zkušenosti. Někteří nadaní jedinci si sice mohou osvojit jak vědecké znalosti, tak abstraktní způsob myšlení i bez ní, avšak tomuto malému zlomku populace se to podaří za jakýchkoli podmínek. A máme opravdu štěstí, že tomu tak je, protože jinak by byla vědecká vzdělanost ještě nižší. K jejímu všeobecnému zvýšení, které je naším hlavním cílem, je nezbytné umožnit mladým studentům experimentální zkušenost a trvale je vést od konkrétního myšlení k abstraktnímu.

Druhým a hlavním důvodem neúspěchu nových studijních materiálů je způsob, jímž se provádělo přeškolení učitelů. Přestože na ně bylo podle pokynů profesorských sborů univerzit vynaloženo velké množství peněz i úsilí, mnoho užítka nepřineslo. Nějaký smysl mělo jenom tenkrát, když školitelé poznali a respektovali, že frekventanti mají velmi chabou představu o vědě a že jsou na téměř stejné úrovni pojmového vývoje jako jejich vlastní žáci; jenom tehdy bylo účinné, pokud se v něm pomalu a pečlivě probírala látka, kterou měli učitelé později vykládat ve svých třídách. Zpravidla však zůstal tento stav nepovšimnut nebo nedoceněn. Většina kursů vycházela z mylného předpokladu, že učitelé základních i středních škol té nejzákladnější přírodovědě, kterou mají učit, opravdu rozumějí (nebo že ji současně se studenty snadno pochopí ze zázračně jasných nových materiálů). Na letních školách a jiných instruktážích se jim tedy přednášelo o "vzdělávacím duchu" materiálů, jejichž obsahu nerozuměli. Nebo byli informováni o pokročilejších tématech (která byla ovšem také zcela mimo jejich možnosti), aby si rozšířili znalosti svého oboru o nejnovější poznatky. Nebo - a to vůbec nejčastěji - prostě jen poslouchali další stejně rychle probírané, nezázivné a nesrozumitelné vysokoškolské přednášky, které už v minulosti neměly žádný patrný vliv na jejich intelekt. Po absolvování takového kursu ovšem nebyli s to pracovat s novými učebními materiály o nic lépe než před jeho zahájením. Není možné jim zazlívát, že si tyto nedostatky neuvědomili a že po následujících zklamáních při výuce připsali nesnáze spíše obtížnosti nových textů než vlastní neschopnosti. (Chtěl bych hned říci, že nestrkám *všechny* učitele do jednoho pytle. Neustále slyším o svrchovaně způsobilých pedagozích na všech stupních škol. Některé znám i osobně. Ale na to, aby vyřešili náš problém, je jich příliš málo.)

Má-li se veřejné chápání vědy výrazně zlepšit, budeme muset podniknout účinné kroky k odstranění hlavních příčin současného neutěšeného stavu. Úkol je to sice velmi obtížný (i nákladný), ne však neřešitelný. Především to musí pochopit profesorské sbory našich univerzit. Budou-li totiž pokračovat ve výchově učitelů stejným způsobem jako dosud, není na nějaký pokrok vůbec žádná naděje. Ani ty nejdokonalejší studijní materiály nemohou splnit naše cíle samy o sobě. Jejich zlepšování by snad mohlo pomoci mimořádně nadaným studentům, pro drtivou většinu ostatních však řešením není. Dokud nevybudujeme nezbytné základy, o nichž jsem hovořil v tomto článku, bude vydávání dalších textů jen záplatováním, které si vyžádá obrovské spousty peněz i úsilí a z místa nám nepomůže. Vyvolá pouze novou vlnu nářků a stížností na nepřiměřenost, zase přinese

řeči o neúspěchu a jeho konečným výsledkem bude jen další volání po lepších učebních plánech. Řešení problému všeobecné přírodovědné gramotnosti se bude vzdalovat do nekonečna.

Přeložil Aleš Lacina

Literatura

- [1] *Elementary Science Study, Webster Division*. McGraw-Hill, New York 1968.
- [2] *Science Curriculum Improvement Study*. Delta Education. Nashua, New Hampshire 1968.
- [3] Arons A. B. ve sborníku *Cognitive process instruction*. (Red. Lockhead J., Clement J.) Franklin Institute Press, Philadelphia 1979.
- [4] Arons A. B.: *American J. of Physics* **44**, No. 9 (1976) p. 834.
- [5] Arons A. B.: *J. of College Sci. Teaching* **1**, No. 4 (1972) p. 30.
- [6] Lawson A. E.: *Sci. Education* **64**, No. 1 (1980) p. 95.
- [7] Lawson A. E.: *Sci. Education* **66**, No. 2 (1982) p. 229.
- [8] Chiappetta E. L.: *Sci. Education* **60**, No. 2 (1976) p. 253.
- [9] Faraday M.: *Experimental Researches in Electricity*, vol. 3. Dover publication, New York 1965 p. 408.
- [10] Oppenheimer J. R.: *Science* **142**, No. 3596, November 29 (1963) p. 1144.
- [11] Holton G.: *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science* 2nd ed. Addison-Wesley, Reading-Massachusetts 1973.
- [12] Rutherford F. J., Holton G. I., Watson F. G.: *The Project Physics Course*, 3rd ed. Holt, Rinehart and Winston, New York 1981.
- [13] Arons A. B.: *American J. of Physics* **43**, No. 3 (1975) p. 209.
- [14] Aiken C.: *Collected Poems*. Oxford University Press, New York 1953.
- [15] Humphrey R. D.: *Georges Sorel, Prophet without Honor*. Harvard University Press, Cambridge 1951.
- [16] Adams H.: *The Education of Henry Adams*. Houghton Mifflin, Boston 1918.
- [17] McDermott L. C.: *American J. of Physics* **42**, No. 8 (1974) p. 668, 737; **44**, No. 9 (1976) p. 434; *The Physics Teacher* **13**, No. 9 (1975) p. 523.
- [18] Arons A. B.: *The Various Language - An Inquiry Approach to the Physical Sciences. Teacher's handbook*. Oxford University Press, New York 1977.
- [19] Renner J. W. et al.: *School Science and Mathematics* **73**, No. 4 (1973) p. 291.
- [20] Weber M. C., Renner J. W.: *School Science and Mathematics* **72**, No. 8 (1972) p. 729.
- [21] Arons A. B.: *The Physics Teacher* **19** (1981) p. 166.
- [22] Bork A. M.: *American J. of Physics* **47**, No. 1 (1979) p. 5.