

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jan Vyšín

Vědeckovýzkumná práce v teorii vyučování matematice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 18 (1973), No. 1, 32--38

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138299>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1973

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

Vědeckovýzkumná práce
v teorii vyučování
matematice*)

Jan Vyšín, Praha

Při slavnostní večeři pořádané na závěr kongresu UNESCO o vyučování matematice v Bukurešti v roce 1968 ohlásil prof. PAPPY zrození nového dítěte v rodině matematických věd – samostatné vědecké disciplíny, zvané u nás teorie vyučování matematice, a celé shromáždění připilo nadšeně na zdraví a úspěchy novorozeněte. Toto dítě mělo nastoupit na místo své staré nahluchlé tety – metodiky vyučování matematice; nahluchlé proto, že – jak se zdá – neslyšela nic z hlasů současnosti, které se dožadují revize obsahu školské matematiky, větší vynalézavosti při volbě vyučovacích metod, vědecktější kontroly výsledků, zkrátka opuštění metodického řemesla a vytvoření jakéhosi komplexu, v němž se budou navzájem respektovat nejrůznější složky: ryze matematický obsah, aspekty metodologické, psychologické, ohled na aplikace a řada dalších.

Jak se daří dnes tomuto dítěti mnoha otců, které ještě nevyrostlo z dětských botiček? Myslím, že je dosti neduživé přes všechnu péči a starostlivé projevy, které nad ním pronášejí jeho otcové. Všichni ovšem víme, že dítě musí zůstat naživu, že se musí vzchopit, musí sílit a mít se k světu; jeho rozvoj si žádá společenská

potřeba i rostoucí složitost otázek ve výuce matematiky.

Snad je vhodné uvědomit si některé základní a zásadní rysy této disciplíny. Je to, resp. bude to věda zčásti společenská; její poměr k staré metodice je asi takový jako poměr vědecké lingvistiky k řemeslným praktikám učení jazyku. Nesmí opustit svou matematickou rodinu, musí se starat o distribuci matematických poznatků lépe než její předchůdkyně, musí sloužit všem, nejen úzkému okruhu příštích matematických labužníků. Nesmí zapomínat na žáčky malé, větší, ani na velké studenty, protože byla stvořena pro všechny; musí se dívat na vyučování matematice nejen z hlediska odborníka a učitele, ale i z hlediska žáků. Proto se musí smířit i s velkou různorodostí závěrů a hypotéz, která je v matematice neobvyklá. Ale na druhé straně musí potlačovat názory, které jsou nanejvýš výsledky subjektivních zkušeností, a musí pracovat metodami co možná precizními. Musí svůj zájem rozdělovat rovnoměrně mezi obsah, metody, musí být kritická, ale i odvážná v pokusech, hodně progresivní, ale i trochu konzervativní, musí navštěvovat hračkářské krámy, továrny, výpočetní střediska a nejrůznější prostředí mnohem víc než její mrzutá prateta metodika. Musí . . . , ale to už toho raději nechme a začneme střídlivěji.

Předně se omezíme na otázky všeobecného vzdělání. Tím je dáno, že nebudeme hovořit o vyučování na vysokých školách, ale také ne na odborných školách středních, i když tam má předmět matematika také částečně cíle všeobecně vzdělávací. A tu stojí teorie vyučování matematice (dále jen TVM) před prvním velmi obtížným úkolem: *stanovit odpovědně matematickou složku současného všeobecného vzdělání*, a to pravděpodobně na věkové úrovni 14 až 15 let pro celou žačkovskou populaci,

*) Podkladem článku je přednáška proslouvená na letní škole JSMF o teorii vyučování matematice (Čaradice, květen 1972).

na věkové úrovni 18–19 let zvláště pro její studijní část a zvláště pro část nestudijní. Tento úkol by se měl řešit rámcově v mezinárodní součinnosti; některé mezinárodní organizace, např. UNESCO, Mezinárodní komise pro vyučování matematice (ICMI), CIEAEM (Commission Internationale pour l'Étude et l'Amélioration de l'Enseignement Mathématique) aj. se o to s jistým úspěchem pokoušejí; škoda, že podobná užší kooperace není mezi státy socialistického tábora. Ale naše republika v současnosti asi není disponována chopit se iniciativy, ač by k tomu měla předpoklady. Mezinárodní kooperace by měla zahrnovat zejména dvě oblasti: dokumentaci a výzkum. Z iniciativy prof. H. G. STEINERA z Karlsruhe se vytvořila pro země západní Evropy dokumentační revue Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, vydávaná nakladatelstvím Klett ve Stuttgartě, která ovšem přináší jen sporadicky informace ze socialistických států; bylo by patrně účelné založit podobnou revue pro země socialistické.

Výzkumná činnost se bude pravděpodobně všude ubírat dvojím směrem: jednak se budou organizovat větší systematické pokusy s většími vzorky žákovské populace, jednak menší sondy, a to zejména když půjde o myšlenky a zásahy značně revoluční. Za dané situace, kdy spolupráce matematiků-producentů (tvůrčích specialistů), matematiků-distributorů (pedagogů a učitelů) a konzumentů matematiky (pracovníků v jiných oborech technických i netechnických) je nepostačující, nezbyvá, než oby si matematici-pedagogové sami vytvořili určité hypotézy a z nich vyšli při pokusech. To znamená, aby vybrali obsah, stanovili metody vyučování i učení a aby se snažili uplatnit účinné metody kontroly. Tato práce předpokládá množství informací (viz dřívější poznámku

o dokumentaci), předpokládá schopnost orientovat se v džungli často protichůdných názorů a znamená i dovednost dávat otázky pedagogické praxi. Jednou složkou, ale ne jedinou, je studium a porovnávání pokusných učebnic různých projektů. Přitom je stále třeba pamatovat na to, že *pokus a výzkumná činnost není reforma vyučování*; každý systematický pokus je však stále v nebezpečí, že se bude nezdravě stabilizovat, že ustrne a přestane být operativně řízen, sledován a že se nakonec stane reformou.

Ale vraťme se opět na skok do naší rodiny matematických disciplín. Malé dítě TVM má mnoho vychovatelů a pěstitelů; někteří progresivisté a duchové revoluční by si přáli, aby se šatilo výstředně a aby se věnovalo činnostem neobvyklým, ba někdy bizarním; jiní konzervativnější by chtěli, aby se nevzdávalo po léta vyzkoušených a tradičně dobře padnoucích oblečků (jako je např. euklidovská geometrie), ale jsou tu i jiní – rozvážní pozorovatelé – kteří se do výchovy příliš nepletou, ale dávají zaníceným reformátorům různé nepřijemné otázky. Mezi ně patří – jak jsem viděl – např. prof. PETER HILTON z washingtonské university, který na kongresu Zwin I suše konstatoval, že tradiční školská matematika měla více zajímavých problémů z reality než některé tzv. modernizační pokusy a trochu imperinentně se dotazoval přednášejících – např. paní FRÉDÉRIQUE PAPYOVÉ, k čemu určité úseky jejího experimentálního učiva jsou, to znamená, že vytrvale tloukl na buben zvaný motivace. Tím se kruh skoro uzavírá a vracíme se k původní otázce: co má tvořit matematické složky všeobecného vzdělání?

Abychom z tohoto bludného kruhu vyvázli, vpadněme in medias res a *vyjmenujme bez přílišných úvah heslovitě*

aspoň některé z těch problémů, kterými by se měla TVM v současnosti a nejbližší budoucnosti obírat. Je jich bezesporu dost.

1. Měla by se studovat otázka: vyučovat extenzivně či intenzivně, lépe: *co* extenzivně a *co* intenzivně. Má být vyučování matematice na středních školách systémem propedeutik?
2. Výzkumníci a reformátoři v poslední době nadměrně užívají slov konkrétní – abstraktní, intuice – dedukce, např. v souvislosti s různými modely teorií. Nejde o otázky *jen* matematické, *ale i* psychologické, které by se měly vyjasnit.
3. TVM se bude musit zabývat extrémními případy vyučování: žáky velmi nadanými i žáky zaostávajícími, ba i debilními*); a to nejen kvůli těmto žákům samým, ale i proto, aby získala některé závěry pro žáky průměrné, podprůměrné i nadprůměrné**).
4. Samostatnost a jistá *tvůrčivost žáků v matematice* je beze sporu jedním z hlavních cílů výuky. TVM musí hledat cesty, jak ji rozvíjet, jak zajišťovat její vzestup; dále jak se vypořádat s dialektickým rozporem: tvůrčivost a samostatnost na jedné straně – programové vyučování na straně druhé.
5. Stálým problémem pedagogické praxe byly *přechody z jednoho stupně školy na druhý*, zejména ze střední na vysokou. V zahraničí se věnuje této otázce dost pozornosti, pořádají se dokonce konference na toto téma (Echternach***). Jde o otázku důležitou

*) Zpráva o kongresu Zwin 1, články prof. DIESCHOURGA v časopise Nico 1971/72.

***) Brožura vydavatelství Moskevské university o matematicko-fyzikálních školách z r. 1971.

****) Le passage du Secondaire á l'Université et les Études mathématiques, Luxembourg 1970.

i ekonomicky; tato otázka nepochybně patří do oblasti TVM.

6. Na nižší i střední školy pronikají propedeutické prvky moderní výpočtové techniky, tj. určitá nová algoritmicizace, mechanizace numerických výpočtů. Na kongresu Zwin 1 poukazoval prof. Papy na zásadní rozpor mezi koncepcí Nuffieldského projektu a didaktickou koncepcí Belgického centra těmito slovy: „*Chceme v matematice vzdělávat svobodně myslící lidi a nikoli otroky technické civilizace*“. Snad je na tom trochu pravdy. To, co dříve – kdy i mnohé mechanismy byly jen jakousi dekorací ve vyučování matematice – nebylo nebezpečné, mohlo by se stát v současnosti nebezpečím. Sem vlastně nepřímou směřovala i připomínka francouzského účastníka, že mnohé projekty modernizační jsou bez „filosofie“.
7. Stále se hlásí o slovo matematická logika. Stále se jasněji poznává a konstatuje, že *prostředkem k precizaci myšlení v matematice není soustavný krátký kurs výrokové nebo predikátové algebry*. Asi se více budou musit zdůrazňovat jisté logické komplexy, struktura důkazů, jak se o to snaží u nás dr. ŠEDIVÝ. Algebraicky orientovaní renovátoři usilují o algebraizaci matematické logiky a její úplné „vtažení“ do předmětu matematika. O tom svědčí i poslední pokus prof. Papyho, který prezentuje výrokovou algebru jako model Booleovy algebry, a to grafickými schémata (příslušný článek bude uveřejněn v časopise Nico).
8. Malý krůček od úvah o matematické logice je k axiomatizaci. Zdá se čím dál více, že *přehnaná axiomatizace ve vyučování je spíše jistou „dětskou*

nemoci“ *TVM než nevyhnutelným stadiem vývoje*. Situace dospěla tak daleko že se dává při některých pokusech dokonce přednost chimérám logické výstavby teorií před snahou naučit žáky něco nového a zajímavého. Klasickým dokladem pro toto tvrzení je geometrie.

9. Moderním, zajímavým při vhodném zpracování přístupným prodloužením eukleidovské geometrie a tradiční geometrie vůbec je kombinatorická geometrie a elementy topologie. Zde přichází opět ke cti *dvourozměrný a trojrozměrný prostor*. *TVM se bude musit zabývat problémem jejich začlenění do výuky. Ukázky výstavby matematických teorií se pravděpodobně hodí až na konec výběrové střední školy.**) Přitom zde i při jiných situacích budeme musit uvážit znovu a znovu každý krok z hlediska už dříve uvedeného: že totiž *nejde o přípravu budoucích matematiků-profesionálů, ale lidí, kteří budou matematiku nějakým způsobem potřebovat.***)
10. „Nechte maličkých přijít ke mně“ hlásají téměř všichni renovátoři vyučování matematice. A snad mají pravdu. *Klíč k zlepšení výsledků výuky je asi ve způsobu práce s těmi nejmenšími, dokonce s dětmi předškolního věku.* Proto si musíme vážít práce prof. DIENESE, MATHEEUSE, VARGY, paní FRÉDÉRIQUE PAPYOVÉ a mnoha jiných, kteří neúnavně a nápaditě vytvářejí

*) V časopise Aplikace matematiky byl nedávno uveřejněn článek P. BARTOŠE, který obsahuje příklad matematického zpracování rodinného práva australských domorodců.

***) Viz MARKUŠEVIČOVU kritiku DIEUDONNÉHO na 1. mezinárodním kongresu o vyučování matematice v Lyonu 1969; uveřejněno v příslušném sborníku.

nové přístupy k dětem, snaží se s nimi hovořit jejich řečí, dávají jim do rukou prostředky jim přiměřené; jejich vyučování je v pravém smyslu Komenského schola ludus. Snažme se pokračovat s nimi!

11. Ale stará pedantská teta – metodika má stále dost argumentů a dost vlivu, aby nepouštěla žáky si hrát, neboť by se rozdivočeli a pošpinili; aby je nepouštěla do světa, neboť je to svět dospělých, jemuž prý nerozumějí. Toto počínání je ovšem v přímém rozporu s tezí, že hra je jedním z prostředků, kterým můžeme vzbudit zájem dětí o matematické situace. Hra vychází obyčejně z reality právě tak jako aplikace do reality směřují.
12. Aplikace, kořeny v realitě, matematizace reálných situací, přiblížení školské matematiky k životu, motivace matematických pojmů a vět v realitě, fyzické (reálné) modely matematických teorií – to vše jsou jen názvy různých prostředků, které mají *zabránit přeteoretizování a samoúčelnosti matematické výuky*. Aby se školská matematika zbavila přílišné abstraktnosti a papírovosti, potřebujeme mnoho příkladového materiálu pro aplikace, motivace, experimentování*), ale i příklady her, dedukcí, problémových přístupů, problémových situací, matematizací reálných situací apod. Shromážďovat takový materiál je jeden z předních úkolů současné *TVM*.
13. Můžeme uvést celou řadu matematických témat, o něž by se současná *TVM* měla zajímat. Slovem „zajímat se“ rozumím asi toto: Je třeba téma prostudovat metodologicky, zvážít jeho

*) Viz serii článků o pravděpodobnosti v časopise Nico, Archimedes aj.

význam pro současné vyučování, stanovit jeho pravděpodobné začlenění do školské matematiky (s přihlédnutím k spirálovému charakteru osnov), jeho vyústění, jeho vztah k tradiční výuce a seznámit se s revolučními nápady a zpracováními ve světové literatuře.

Na základě vytvořených hypotéz lze pak vypracovat podklady pro pedagogický pokus. Musíme rozlišovat, zda jde o sondu nebo o zařazení tématu do nějakého systému učiva. Uvědoměme si, že sonda je vždycky pedagogické torzo a že výsledky sondy budou vždy korigovány, až téma zařadíme do systému výuky.

Témata, která mám na mysli, jsou i tradiční i netradiční; znovu zdůrazňuji, že u většiny z nich bychom se měli zajímat o jejich zpracování doslovně od mateřské školy až po universitu. Potřebovali bychom např. „minicomputer“, který by zmechanizoval tzv. algebraické úpravy výrazů, tj. počítání s termy. Stručný ukázkový *výčet témat*: Elementy strukturní matematiky, od množin po relace, zobrazení, operace, morfismy, struktury. Lineární algebra, maticová algebra, vektorový prostor, princip metody souřadnic a jeho uplatnění. Kombinatorika, kombinatorická geometrie, elementy teorie grafů. Základy teorie míry a teorie pravděpodobnosti. Úvod do matematické analýzy, a to jednak část algoritmická (analýza polynomických funkcí), jednak úvod do pojmů matematické analýzy, postavený na topologickém základě.*) Principy samočinných počítačů a programování.

I z tohoto stručného a neúplného výčtu je patrné, že obsah narůstá nesnesitelně a vnucuje se otázka, jak vyváznout z této

obtížné situace. Jedním řešením by bylo organizování dílčích kursů matematiky, jak tomu je např. na amerických školách. I když se zdá, že toto řešení je v rozporu se striktním vymezením matematické složky všeobecného vzdělání, o níž jsme na začátku hovořili, budeme se asi musit uchýlit k nějaké formě výběru učiva; k obdobnému opatření se budou musit uchýlit i jiné školní předměty, nemáme-li ve školách přetvářet žáky v neurotiky.

Prof. Čech říkával, že nezáleží příliš na tom, *čemu* v matematice učíme, ale spíše *jak* tomu učíme. Něco obdobného tvrdil prof. FREUDENTHAL. *TVM je povinna hledat cesty, jak zabránit přetěžování žáků matematickým balastem*, jak jim pomoci tím, že je správně usměrňujeme od nejuťlejšího věku, jak je vybavit aspoň trochu odbornickými postoji a některými znalostmi, ale také, jak je naučit obstarávat si v matematice informace a těchto informací využívat.

Tím se dostáváme k důležité složce matematického vzdělání: *Jak studovat matematiku, jak se učit studovat matematiku?* To je úkol velmi obtížný. Domníval jsem se dříve dost naivně, že se s ním může začít až v určitém věku, řekněme v 10–15 letech. To je ovšem pravda, představujeme-li si „studování“ tradičně, máme-li na mysli studijní literaturu psanou tak pedagogicky necitlivě jako mnohé učebnice, příručky a třeba i některé brožury pro účastníky matematické olympiády. Beletristé už pronikli k nejmenším pomocí obrázků, lepopel, různými audiovizuálními prostředky; vyučování matematice se o to dosud téměř nepokusilo. Je třeba začít s žáčky co nejmenšími, začít s nimi prostředky psychologicky promyšlenými, i když zcela netradičními; zde jsou další velké úkoly TVM. Pozornost věnovaná

*) Viz sborník Arlon 9 z r. 1967.

studiu nesmí zaniknout, když žáci dorůstají. Bylo by třeba učit psát spisovatele studijních materiálů, donutit je, aby zanechali sestavování vypulěrovaných textů, které v učicích se žácích, ale i v dospělých vzbuzují nanejvýš odpor. Z důvodů, které jsem právě uvedl, si vážím Dienesových her, papygramů, grafů, minicomputerů a jiných metod, i když se tu často objevují výstřelky, i když se často přehání. Uvažme, že revoluci nikdy nedělají opatrníci.*)

Všecko, co až dosud bylo řečeno, mohou vymýšlet teoretikové, ale uskutečňovat to musí učitelé, a to i když jde o samostatné studium žáků. Neboť jsou to zase učitelé, kteří musí žáky učit studovat. Prof. HRUŠA říkával, že učitel může učit jen to, co sám umí. Rozhodně patří k úkolům TVM, aby učila vyučující spojovat odborné znalosti se školskou praxí budovanou na teoretické metodické připravenosti**). Jsou jedinci, kteří se tomu nepotřebují učit, právě tak, jako jsou výjimeční žáci, kteří vlastně nepotřebují žádnou matematickou výuku ve škole, kteří se naučí všemu sami.

Ovšem to jsou výjimky. Příprava učitelů v novém pojetí, stále doplňovaná a modernizovaná (recyclage) je úkolem učitelských fakult; její koncepce i opracovávání je úkolem pracovníků v TVM. Zamysleme se aspoň trochu nad tím, jak důkladně a detailně např. musíme *připravit vyučujícího na experimentování, na motivování pojmů, na matematizování reálných situací*, aby se z těchto činností nestala ve škole leckdy fraška. Myslím, že nejlepším školitelem učitelů by byl méně chápavý nebo rýpavý žák; ten by je donutil, aby šli věcem na

kořen. Takovéhoho žáka nelze ovšem vždy naaranžovat ve škole a ani by to nebylo vhodné. Proto by asi bylo lépe stvořit jej v literární podobě, tj. sepsat pro učitele metodické knihy v takovém pojetí. Vida, nový úkol pro TVM. Nemám v tomto směru zatím ani nejmenší zkušenost; pokusil jsem se zatím jen o napsání komentářů k některým úlohám I. kola MO; zde se „chozením okolo problému“ má žák uvést do postoje potřebného k tomu, aby sám vykročil vpřed.)*

Stále mi leží na srdci, jak se daří naší mladé matematické disciplíně TVM, i když o tom nemluví.

Ptal jsem se v Belgii prof. Papyho, jaké pokroky udělala tato věda za uplynulé čtyři roky v jeho Centru; nedostal jsem však uspokojivou odpověď. Nechci být pesimista; vidím tento mladinký obor zavalený problémy; to jsem se pokusil předvést ve své spíše causerii než přednášce. Možná, že prvním naším úkolem by mělo být poříditi si seznam těchto úkolů a stále jej doplňovat. Nezapomínejme, že vlastně *máme pomáhat stvořit TVM*. Vzájemná informovanost může snad zabránit zbytečné duplicitě v některé práci a může přispět k tomu, aby žádný úkol nezůstal „neobsazený“.

Nejsem přívržencem závěrečných usnesení a doporučení na konferencích, neboť jejich sestavováním a schvalováním se zpravidla ztrácí drahocenný čas; ale v případě naší letní školy se mi zdá užitečné obrátit se na orgány školské správy (obě ministerstva školství), na příslušné katedry vysokých škol, na vědecká pracoviště akademií s memorandem, které by vy-

*) Viz Markuševičovo uznání Papyho v citovaném projevu na kongresu v Lyonu (str. 35).

***) Potřebujeme didaktické nápady, viz např. větu o dimenzi vektorového prostoru vyloženou při hře s kloubkou (Pokroky 1972, č. 2).

*) K hlubšímu zamyšlení nad metodickým přístupem k řešení úloh má vést učitele i soutěž Metaolympiáda, kterou zařadily Pokroky v roč. 1972, č. 1, 2, 3.

jadřovalo náš náhled na rozvíjení TVM. Určitě by měla vzniknout pracoviště buď při fakultách nebo při vědeckých ústavech, kde by se několik kvalifikovaných osob zabývalo z profese koordinováním výzkumné činnosti, dokumentací, rozvíjením styků se zahraničím apod.

Problematika zkoušení a hodnocení vědomostí žáků ve fyzice

Jitka Hnilíčková, Praha

1. Význam zkoušky pro vyučování fyzice

Prověřování vědomostí a hodnocení žáků je významnou součástí vyučovacího procesu a má mimořádný účinek vzdělávací a výchovný i velký společenský dosah. Je jedním z výrazných faktorů, které ovlivňují úroveň vzdělání a vytvářejí autoritu učitele i školy vůbec. Hodnocení žáka učitelem má často značný význam pro jeho životní zaměření a pomáhá současně vytvářet jeho povahové vlastnosti.

Kromě společenských důsledků má prověřování vědomostí prvořadý význam pro vyučování. Školní hodnocení je často hlavním motivem pro žákovu činnost a ovlivňuje velmi výrazně jeho postoje a způsob učení. Žák si sám pro sebe třídí učivo převážně podle toho, zda z něho bude či nebude zkoušen, a dává váhu jeho složkám podle jejich hodnocení při zkoušení. Vhodně volená zkouška však může být použita také jako motivační prostředek k výkladu nového učiva, ke vzrušení zájmu a jako podnět k otázkám žáků. Žák se snaží napodobit odpovědi označené

učitelem za správné, a tím je veden k promyšlení a chápání učiva, jakož i ke správnému a přesnému způsobu vyjadřování. Prověřováním učitel utvrzuje a prohlubuje vědomosti žáků.

Prověřování vědomostí žáků, vhodně zařazené do vyučování je pro učitele kontrolou práce žáků i práce vlastní. Má tvořit co nejtěsnější zpětnou vazbu mezi žákem a učitelem, informovat učitele o stavu vědomostí žáků a o úspěchu a vlivu jeho vlastních činností. Pouze při trvalé průběžné kontrole vědomostí žáků je učitel schopen provádět diagnózu žakovských vědomostí a úspěšně řídit vyučovací proces. Jedním ze závažných úkolů zkoušky je hodnocení a klasifikace jednotlivých žáků. Čím těsněji je proces prověřování vědomostí spojen s vyučováním vůbec, tím lépe může učitel provádět i tuto velmi náročnou a odpovědnou činnost.

Učitel fyziky má při prověřování vědomostí žáků situaci značně komplikovanou. Fyzika jako učební předmět je pro žáky obtížná z několika důvodů. Žák musí od samého začátku studia fyziky provádět řadu abstrakcí, současně však musí řešit řadu konkrétních situací a pracovat se skutečnými předměty. Ve fyzice na rozdíl od jiných předmětů užívá několika zcela odlišných způsobů vyjadřování a formulace poznatků. Vyjadřuje se slovně, matematickými formulacemi, graficky a v materiální činnosti. Ve fyzice provádí žák mnohem více aplikací než v jiných předmětech, a to ve zcela jiných situacích než v jakých vědomosti získal. Neustálý oboustranný přechod mezi konkrétními a abstraktními myšlenkovými operacemi je typický právě pro myšlení ve fyzice. Zkoušení žáků by mělo postihnout právě tuto mnohostrannost fyzikálních vědomostí. Formální vědomosti lze zjistit a ohodnotit poměrně snadno. Tím se však mění vyučování fyzice