

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Oldřich Lepil

Nestacionární děje v učivu fyziky na střední škole

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 18 (1973), No. 6, 338--344

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139535>

## 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>

kořenů rovnice  $y^2 = x$  a označuje ji  $C(y)$ . Definice zní:

$C(y)$  je podmínka separace v tělese  $(F, +, \cdot)$ , právě když pro každé číslo  $y \in F$  je pravdivý jediný ze tří výroků

$$C(y), \quad y = 0, \quad C(-y).$$

Podmínka  $C^*$  tzv. slabé separace kořenů je definována vztahem

$$C^*(y) \Leftrightarrow C(y) \vee y = 0,$$

kde  $C(y)$  je podmínka separace.

Uvádí se pak několik příkladů, mezi nimi pro těleso  $K$  komplexních čísel

$$C^*(y) \Leftrightarrow (0 \leq \arg y < J) \quad (y \neq 0).$$

Steinerův příspěvek řeší „z vyššího hlediska“ otázku dvojznačnosti druhé odmocniny z komplexního čísla, na kterou se naráží i na naší střední škole.

Z ostatního obsahu stojí za zmínku komentář E. MARTINA (USA) k setkání osmiletých dětí s geometrií, v němž se přimlouvá za uplatnění Vennových diagramů, a J. DRABBEHO příspěvek o tom, jak se *nemá* učit logice, který je trpkou kritikou kursu logiky obsaženého v dopisech školské správy. Zřívavá kritika současného stavu výuky na II. cyklu se ozývá i z pěti tezí Papyových, které náš časopis otiskne jinde.

## Nestacionární děje v učivu fyziky na střední škole

*Oldřich Lepil, Olomouc*

Přestavba obsahu středoškolské fyziky probíhá různými cestami. Jedna z nich spočívá ve vytváření ucelených, racionálně

uspořádaných poznatkových soustav zahrnujících širší okruhy jevů s obdobnými zákonitostmi. V článku je provedena analýza současného pojetí učiva o nestacionárních dějích mechanických a elektromagnetických a na jejím podkladě je navrženo konkrétní uspořádání integrované soustavy učiva o kmitání a vlnění.

## 1. Úvod

Jedním z nejzávažnějších problémů nového pojetí obsahu fyziky na střední škole je přestavba učiva tak, aby byl nejen nalezen prostor pro organické včlenění poznatků moderní fyziky do osnov a učebnic střední školy, ale aby byl také překlenut encyklopedismus, charakteristický pro starší, pozitivistické pojetí vzdělání. Příspěvkem k řešení tohoto problému je analýza vývoje obsahu a pojetí středoškolské fyziky, jež by vyústila v racionální výběr a uspořádání učiva.

Požadavek ekonomie sdělování informací ve vyučovacím procesu si vyžaduje stanovení přísných kritérií pro posouzení učiva ve vztahu k úkolům a cílům školy. Ve vyučování fyzice to znamená především promyšlený výběr učiva, na jehož základě by se žák seznámil s fyzikálním obrazem světa, jak jej vidí současná fyzika. Současně je však úkolem fyziky podat informace o nejvýznamnějších aplikacích fyzikálních poznatků v moderní technické praxi.

Prudký růst objemu fyzikálních poznatků i jejich aplikací v technické praxi vede k nové kvalitě vztahů mezi přírodovědnou a polytechnickou složkou učiva fyziky. Charakteristickými rysy této nové kvality jsou zobecňující tendence v pojetí učiva,

hledání vzájemných souvislostí a vztahů mezi fyzikálními poznatky, abstrakce principů technických zařízení apod. Tím dochází v konkrétním výběru a uspořádání soustavy fyzikálních poznatků k většímu sblížení přírodovědné a polytechnické složky učiva, než tomu bylo kdykoliv v minulosti.

Zvlášť dobře je patrná tato tendence v učivu o dějích, které mají nestacionární ráz. V uvažovaných souvislostech pojmem nestacionární děj budeme označovat především děje s periodickým průběhem veličin, tedy v podstatě učivo o kmitavých a vlnových procesech mechanických a elektromagnetických.

Pro další úvahy je důležité odlišení dějů kvazistacionárních, jimiž budeme rozumět děje v soustavách, jejichž rozměry jsou zanedbatelné ve srovnání s vlnovou délkou, která uvažovanému ději přísluší. V těchto případech jsou veličiny děje jen funkcemi času a kvazistacionární děj má ráz kmitání.

Jestliže však časově proměnný děj vzniká v soustavě s rozměry srovnatelnými s vlnovou délkou příslušející uvažovanému ději, jsou veličiny nestacionárního děje funkcemi času i místa a děj má ráz vlnění.

Tato klasifikace nestacionárních dějů umožňuje rozčlenění látky jednak na učivo o kmitání, kam zahrneme učivo o kmitání hmotného bodu, o kmitání mechanického a elektromagnetického oscilátoru se soustředěnými parametry a výklad dějů v soustavách s nuceným kmitáním (včetně střídavých proudů), jednak na učivo o vlnění, jehož zdrojem je buď část pružné látky konečných rozměrů, v níž vzniká chvění (vlnění mechanické), nebo elektromagnetický oscilátor s rozestřenými parametry, dipól, který je zdrojem elektromagnetického vlnění.

## 2. Vývoj učiva o nestacionárních dějích

Na základě analýzy vývoje osnov středoškolské fyziky ([1]) můžeme konstatovat, že učivo o nestacionárních dějích, v podstatě akustika a optika, tvořilo až do roku 1933 podstatnou část náplně osnov fyziky pro nejvyšší třídu gymnasia. Výklad vychází ze základních poznatků o kmitavém pohybu a obsahuje učivo o druzích vlnění, interferenci, Huygensově principu a jeho využití při výkladu odrazu a lomu rovinné vlny a při odrazu kulové vlny na rozhraní dvou prostředí.

Na obecný úvod navazuje akustika a optika v rozsahu, který se v podstatě shoduje (až na optiku kvantovou a poznatky o rentgenovém záření) s dnešní osnovou tohoto tématu. Charakteristické je, že učivo o elektřině, které v té době poznatky o nestacionárních elektromagnetických dějích prakticky neobsahuje, v osnovách předchází akustice a optice.

Postupné pronikání nových poznatků z elektřiny do učiva fyziky se projevuje nejprve zařazováním nových hesel do osnov, aniž by byla porušena tradiční struktura učiva. Avšak v dalším vývoji osnov se stále více uplatňovala souvislost vlnových jevů v závěru učiva o elektřině s optikou, což se nakonec projevilo podstatnou přestavbou osnov z roku 1933. Poprvé zde dochází na gymnasiu ke vzájemnému odtržení učiva o nestacionárních dějích mechanických a elektromagnetických, i když je mezi oběma okruhy učiva souvislost alespoň časová, neboť se všem těmto jevům vyučuje v jediném studijním ročníku.

Zcela je porušen vztah mezi oběma druhy nestacionárních dějů teprve v osnovách fyziky pro gymnasium z roku 1948, v nichž jsou nauka o vlnění s akustikou zařazeny do 7. třídy gymnasia mezi

hydromechaniku a termiku. Elektromagnetickým nestacionárním dějům se vyučuje v 8. třídě. Toto uspořádání učiva zůstalo v podstatě zachováno až do dnešní doby, kdy učivo o nestacionárních dějích tvoří částečnou náplň 2., 3. a 4. ročníku gymnasia.

### 3. Pojetí učiva o nestacionárních dějích

Je samozřejmé, že ze samotného konstatování vývoje učiva o nestacionárních dějích ještě nevyplývá potřeba změnit pojetí tohoto učiva a provést přestavbu jeho struktury, i když ovšem analýza vývoje osnov přináší řadu významných podnětů pro řešení tohoto problému.

Především je zřejmé, že současné zásadní rozčlenění učiva na nestacionární děje mechanické a elektromagnetické je ve vývoji struktury středoškolské fyziky jen určitou epizodou vyvolanou prudkým přílivem elektrotechnických aplikací do učiva elektřiny. Současné osnovy zdůrazňují souvislosti plynoucí z podstaty dějů a naopak opomíjejí souvislosti plynoucí z analogie dějů, ze shody jejich struktury.

Nutnost obecného přístupu k fyzikálnímu učivu a potřeba jeho racionalizace si vynucuje posouzení učiva z hlediska jeho uplatnění v životě, a to v duchu zásady spojení teorie s praxí. To umožňuje vymezit všeobecně vzdělávací hodnotu učiva a nalézt základnu pro modernizaci jeho pojetí.

Lze to dokumentovat například na učivu o akustice, které tradičně tvoří samostatné téma ve vyučování fyzice, jemuž předchází obecný úvod s výkladem základních poznatků o mechanickém kmitání a vlnění. Tento obecný úvod je v učebnicích pojímán značně abstraktně a zejména v tématech věnovaných nauce o vlnění je výklad

vybudován převážně jen na abstraktních modelových představách.

Takový postup výkladu, charakteristický pro starší, převážně deduktivní metody vyučování, měl svoje zdůvodnění. Obecný úvod nauky o kmitání a vlnění byl totiž v minulosti vždy pojímán jako společný úvod k akustice a optice, jimž se vyučovalo s bezprostřední časovou následností. Jestliže postupným vývojem struktury středoškolské fyziky obecný úvod tuto svoji průpravnou funkci pozbyl, je současné uspořádání učiva zatíženo řadou anachronismů, zejména z hlediska experimentální složky výuky, na kterou klademe v moderním vyučování značný důraz.

Není například logické, abychom vysvětlovali vlastnosti jakéhosi abstraktního mechanického kmitání, aniž bychom výklad spojovali s nejméně významným mechanickým kmitáním v oboru slyšitelných kmitočtů. I když můžeme objasňovat třeba vznik složeného kmitání pomocí složitých mechanických soustav, není pochyb o didaktické ceně současné ilustrace výkladu skládáním akustických signálů, které můžeme snadno demonstrovat moderními učebními pomůckami, jimiž jsou dnes vybaveny všechny školy.

Ještě výraznější je nutnost konkretizace učiva akustickými jevy v nauce o vlnění. Nové učební pomůcky, jejichž základními částmi jsou elektroakustické soustavy, dávají lepší předpoklady pro zobecnění pojmů interference vlnění, stojaté vlnění, oscilátor s rozestřenými parametry apod., než to umožňují starší vyučovací postupy založené na využití mechanických modelů.

Avšak není to jen pokrok ve školní experimentální technice, který nás nutí k zamyšlení nad pojetím akustiky a jejím postavením v celkové struktuře učiva fyziky. Klademe si také otázku: Co

z akustiky a v jakých souvislostech má v současné době význam pro všeobecné vzdělání?

Stěží to budou sirény, jimiž je uveden výklad akustiky v současné učebnici, ale spíše v širším kontextu pojaté učivo o sdělování informací akustickými signály. To znamená, že výklad akustiky nebude nadále možné omezovat jen na nejjednodušší případ přenosu akustického signálu z mechanického zdroje zvuku přímo k uchu, ale že bude třeba do akustiky zahrnout i výklad jevů ve složitějších přenosových soustavách obsahujících elektroakustické prvky – mikrofon, zesilovač, reprodukční zařízení. Jestliže tedy musíme považovat za nedílnou součást moderně pojaté učiva akustiky i základní poznatky z elektroakustiky, je zřejmě nutné nově řešit i otázku zařazení akustiky do celkové struktury učiva fyziky.

Jiným okruhem učiva o nestacionárních dějích, silně poznamenaným historickým vývojem a tradicí, je výklad o střídavém proudu, jehož základy se začínají rýsovat v učebních osnovách gymnasia na sklonku 19. století. Z rozboru vývoje osnov fyziky vyplývá, že se při formování obsahu tohoto tématu silně uplatňovala spojitost se současným stavem techniky. Jednotlivé poznatky o nových technických objevech byly nejprve zařazovány společně na závěr vyučování fyzice bez ohledu na fyzikální souvislosti (např. poznatky o generátorech, telefonu, elektronkách, radiotelegrafii, rentgenovém záření i radioaktivitě).

Tím byla dána určitá základní posloupnost poznatků, kterou další vývoj učebních osnov posílil tím, že učivo o střídavých proudech bylo pojato jako fyzikální základy energetiky a téma elektromagnetické kmity a vlnění se stalo průpravou pro výklad základů sdělovací techniky.

Proto se ve výkladu o střídavém proudu uvažují jen střídavé proudy nízkého kmitočtu, jejichž zdrojem jsou točivé elektrické stroje, a řeší se jen ty případy obvodů střídavého proudu, které se uplatňují hlavně v přenosových soustavách v energetice.

Racionalizační úvahy o středoškolské fyzice nás nutí k zamyšlení, zda není daným historickým pojetím učiva o střídavých proudech omezen obecný význam poznatků zařazených do tohoto tématu a zda je správné vázat učivo o střídavých proudech na speciální případ, kdy je zdrojem střídavého proudu alternátor. Poněvadž střídavé proudy jsou vlastně kvazistacionární elektromagnetické děje, a mají tedy ráz kmitání, bylo by logické takové uspořádání učiva, v němž by poznatky o střídavých proudech tvořily organickou součást učiva o kmitání a vlnění.

Poplatnost současného pojetí učiva o střídavých proudech stavu techniky v době, v níž se toto pojetí ustálilo, je patrná například již z úvodního metodického postupu výkladu vzniku střídavého proudu. Otáčení obdélníkové smyčky v homogenním magnetickém poli je aplikací nejstaršího principu točivého generátoru a dnes nemá analogii v žádném technicky významném zařízení ke generaci střídavého napětí.

V prvních desetiletích 20. století byly točivé generátory jedinými zdroji výkonu střídavých proudů, které měly nízký kmitočet a uplatňovaly se téměř výhradně v energetice. I dnes je sice převážná část výkonu střídavých proudů produkována alternátory, ale v praxi se mnohem častěji jako zdroje střídavých proudů používají elektronkové oscilátory. Důležité technické uplatnění mají střídavé proudy vyšších

kmitočetů, zejména ve sdělovacích soustavách jako nosiče informací neboli signály. I z tohoto hlediska se jeví pojetí střídavých proudů jako elektrických kmitů správnější.

K věcným důvodům pro přestavbu učiva o střídavých proudech přistupují ještě důvody didaktické. Vedle nesporného faktu, že logicky uspořádaná soustava učiva je předpokladem zvětšení účinnosti vyučovacího procesu, hovoří pro nové pojetí učiva o střídavých proudech také důvody praktické. Všechny nejvýznamnější poznatky o střídavých proudech demonstrujeme pomocí elektronkového generátoru napětí zvukového kmitočtu, osciloskopu, elektronkového přepínače a dalších přístrojů.

K požadavku přestavby učiva o nestacionárních dějích dospíváme i v souvislosti se snahami o zařazení témat moderní fyziky do osnov střední školy. Zejména pro výklad základů kvantové fyziky a fyziky pevných látek je nutné hluboké pochopení zákonitostí vlnových dějů. Přitom nepostačuje jen dobrá znalost určitého konkrétního jevu (např. vzniku stojatého vlnění ve vzduchovém sloupci), ale žák musí být již pojetím výkladu soustavně veden ke zobecnění, k transferu určitého poznatku z jedné oblasti jevů do oblasti jiné.

Tradiční pojetí učiva o kmitání a vlnění si takové cíle ani nekladlo, poněvadž ve světě makroskopických měřítek, jehož fyzikální obraz tvořil podstatnou část náplně výuky, je mezi pohybem částice a pohybem vlny výrazný rozdíl. Je-li naším cílem výklad dualismu korpuskulárního a vlnového pohybu mikroobjektů, musíme k němu připravovat žáky již v učivu o nestacionárních dějích. Čím rozsáhlejší a soustavnější budou poznatky o vlast-

nostech vlnění v makrosvětě, čím obecnější budou závěry tohoto učiva, tím více budou žákům usnadněny operace s modelovými představami o mikrosvětě.

#### **4. Návrh soustavy učiva o nestacionárních dějích**

Návrh soustavy učiva o nestacionárních dějích navazuje na základní myšlenky celkového uspořádání učiva fyziky všeobecně vzdělávací střední školy [2]. Návrh byl realizován ve formě pokusného učebního textu [3] a byl ověřován pedagogickým experimentem na gymnasiu v Olomouci - Hejčíně. Na základě získaných zkušeností byl návrh upraven do této podoby:

##### **A. Kmitání**

###### **1. ZÁKLADNÍ VELIČINY KMITAVÉHO DĚJE**

Pojem kmitavého děje; kmitavý pohyb mechanického oscilátoru; souvislost harmonického pohybu s rovnoměrným pohybem po kružnici; vektorový diagram harmonického děje; fáze harmonického děje.

Složené kmitání; příklady složeného kmitání; (modulace).

###### **2. VLASTNÍ KMITÁNÍ OSCILÁTORU**

Mechanický oscilátor; přeměny energie v mechanickém oscilátoru; kyvadlo; tlumené kmitání oscilátoru.

Elektromagnetický oscilátor; analogie mezi oscilátory.

###### **3. NUCENÉ KMITÁNÍ OSCILÁTORU; STŘÍDAVÉ PROUDY**

Vnější působení na oscilátor; rezonance oscilátoru; vliv tlumící síly na průběh rezonančních jevů; vázané oscilátory; přenos energie vazbou. Střídavý proud a jeho základní charakteristiky;

jednoduché obvody střídavého proudu; složené obvody střídavého proudu; usměrňovač (demodulátor); zesilovač (elektronkový, tranzistorový); elektronkový oscilátor.

#### 4. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ENERGETIKY

Výkon střídavého proudu; účinník; třífázový proud; točivé magnetické pole; elektromotor na třífázový proud; transformátor; přenosová soustava v energetice.

### B. Vlnění

#### 5. VLNĚNÍ V SOUSTAVÁCH S JEDNÍM PŘEVLÁDAJÍCÍM ROZMĚREM

Mechanické vlnění v pružném prostředí; postupné mechanické vlnění; rovnice postupné vlny; interference vlnění; odraz vlnění v řadě bodů; stojaté vlnění; chvění mechanických jedno-rozměrných soustav.

Vznik elektromagnetického vlnění; elektromagnetická vlna; stojaté elektromagnetické vlnění.

Rezonátory s rozestřenými parametry; měření rychlosti vlnění.

#### 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

Vznik mechanického vlnění; interference vlnění v izotropním prostředí; Huygensův princip; ohyb vlnění; odraz vlnění.

Elektromagnetický dipól; elektromagnetické pole dipólu; vlastnosti elektromagnetického vlnění.

Maxwellova teorie elektromagnetického pole; pole zřídlové a vírové; Maxwellův proud; Maxwellovy rovnice v elementárním tvaru.

#### 7. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PŘENOSU AKUSTICKÝCH SIGNÁLŮ

Zvuk a jeho vlastnosti; ultrazvuk; fyzikální základy slyšení; Dopplerův jev; ochrana proti hluku.

Elektroakustická přenosová soustava; elektroakustické měniče; bezdrátová sdělovací soustava; vysílač; přijímač; (přenos videosignálu).

## 5. Závěr

Rozsah článku neumožňuje podrobný komentář návrhu integrované soustavy učiva o nestacionárních dějích. Domníváme se však, že uvedený přehled může být dostačujícím podnětem pro zamyšlení nad tímto pojetím učiva a pro diskusi návrhu, jehož hlavní přednost vidíme v jednotném přístupu k rozsáhlému okruhu poznatků. Zobecnění a přenos poznatků z oblasti jevů určité fyzikální podstaty do oblasti jevů jiné podstaty nejen usnadňuje zapamatování a znovuvybavování poznatků, ale umožňuje i hlubší pochopení zákonitostí kmitavých a vlnových dějů.

Nové pojetí učiva o nestacionárních dějích ovšem není bez problémů, které se projevují zejména při detailním zpracování učiva ve formě učebního textu. To konečně můžeme pozorovat i na zahraničních projektech soustav učiva o kmitání a vlnění, jež v převážné většině směřují rovněž k integrovaným poznatkovým strukturám (viz např. [4], [5], [6], [7], [8]). Proto by diskuse návrhu mohla přispět k řešení problémů, které jsou v popředí našich snah při modernizaci vyučování fyzice na středních školách.

### Literatura

- [1] VAŠEK, L., *Příspěvek k hodnocení vývoje učebních osnov fyziky na našich středních školách*, Gottwaldov 1964; habilitační spis, PVF UP Olomouc 1965,
- [2] LEPIL, O., *Návrh nové struktury učiva fyziky na střední škole*. Fyzika ve škole 7 (1968), č. 4, s. 202.
- [3] LEPIL, O., *Kmitání a vlnění*. Výzkumný učební text pro 3. ročník SVVŠ. UP Olomouc 1969.
- [4] *Projekt nových programů střední školy po fyzice i astronomii*. Fyzika v škole 27 (1967), č. 1, s. 40.

- [5] *Lehrplan für Physik, Klasse 9 und 10.* Volk und Wissen, Berlin 1969.
- [6] *Physics (P.S.S.C.).* D.C. Heath and Comp., Boston 1960.
- [7] *Harvard Project Physics. A Progress Report.* The Phys. Teacher, 5 (1967), č. 5, s. 198.
- [8] ŠACHMAJEV, N. N., *Někotoryje voprosy metodiky prepodavanija razděla „Kolebanija i volny“.* Fizika v škole, 31 (1971), č. 3, s. 57.

## Fyzikální metaolympiáda

Uplynul příliš krátký čas od publikování prvních úloh fyzikální metaolympiády v Pokrocích, abychom mohli provádět hodnocení. Přesto však je patrné, že ne všichni účastníci pochopili účel řešení zařazených úloh. Domníváme se, zejména pokud jde o úlohy označené D, že hlavním úkolem řešitele je zaměřit se na didaktickou stránku problematiky, poukázat na uzlové body v procesu řešení, stanovit podmínky řešitelnosti, míru zjednodušení problémové situace a snažit se o systematický zápis procesu řešení. Učitelé by tedy měli být úlohami vyprovokováni k bohatší metodické činnosti. Stručně řečeno: hlavní není úlohu vyřešit, ale řešit ji. Chtěli bychom na stručném zápisu řešení úlohy D 1 ukázat, jak by se dal náš záměr realizovat.

**Úloha:** Stanovte podmínky, za nichž dosáhne koule hranice 20 m. Víme, že koule opustí ruku sportovce ve výšce  $h = 2$  m nad zemí. Problém ze skutečnosti zjednodušte potřebným způsobem.

### Řešení:

Text úlohy popisuje fyzikální stránku jedné ze sportovních činností – vrh koulí. Popis pohybu tělesa zaměníme popisem pohybu hmotného středu koule, neboť její průměr lze zanedbat vzhledem k dalším rozměrům. Budeme uvažovat pohyb v homogenním tíhovém poli bez odporu vzduchu, který má na tvar dráhy a na dostřel nepatrný vliv. Potom lze považovat tento pohyb koule za šikmý vrh vzhůru. Zavedeme označení podle obr. 1. V grafickém popisu situace vyznačíme znakem  $[0; h]$  bod, v němž koule opustí ruku koulaře a místo dopadu koule bude  $[d; 0]$ . Potom platí pro libovolný bod  $[x; y]$  dráhy

$$(1) \quad x = vt \cos \varphi$$

$$(2) \quad y = vt \sin \varphi - \frac{1}{2} gt^2 + h$$

Ze vztahu (1) je  $t = x/v \cos \varphi$ , což dosadíme do (2):

$$(3) \quad y = x \operatorname{tg} \varphi - gx^2/2v^2 \cos^2 \varphi + h.$$

Dráha koule je tedy za uvedených podmínek částí paraboly. K řešení úlohy nelze použít vědomostí známých žákům o vrhu šikmém vzhůru z I. ročníku gymnasia (viz učebnice [1]). Jak je vidět z obr. 2, maximálního dostřelu  $d_{\max}$  dosáhneme pro menší úhel, než je  $\alpha' = 45^\circ$ . Zdánlivý paradox, odporující dosavadním vědomostem žáků, vysvětlíme tím, že místo, v němž koule opouští ruku koulaře, a místo dopadu nejsou ve stejné výškové