

Předávání poznatků ve škole jako přenos informace

ZDENĚK PŮLPÁN,
Pedagogická fakulta v Hradci Králové

Teorie informace, která zkoumá obecné zákony přenosu informace, přinesla v krátké době od svého vzniku tolik cenných výsledků aplikovatelných snad ve všech vědních oborech, že např. i v teorii vyučování „někdy už sama formulace v kybernetických pojmech vede k objevu nových souvislostí, které dříve nebyly prostě patrné“ [1].

Předávání poznatků ve třídě mezi učitelem a žákem můžeme chápat jako proces přenosu informace. Informaci rozumíme i v teorii informace množství nových poznatků, které nám zpráva (výklad učitele) přinesla. Informace je však v teorii informace pojem přesně vymezený, můžeme ji měřit pomocí pravděpodobnosti. Uvažujme proto o objektu O (O je např. fyzikální jev, pojem lineární funkce, ...) a určitém souboru základních znaků j ($j = 1, 2, \dots, k$). Ptejme se žáků (např. v testu), zda tyto znaky objekt O má (nebo nemá). Z relativních četností odpovědí žáků stanovíme pravděpodobnosti p_j (znak j objekt O má) a pravděpodobnosti $q_j = 1 - p_j$ (znak j objekt O nemá). Neurčitost H^j vědomostí žáků o znaku j je pak podle Shannona definována jako

$$H^j = -(p_j \log_2 p_j + q_j \log_2 q_j) \text{ (bitů)}. \quad (1)$$

Je-li $p_j = 0$ nebo $q_j = 0$, definujeme $H^j = 0$. Neurčitost vědomostí H , jakou má průměrný žák (z těch, kteří se podrobili testu) o objektu O , je definována jako

$$H = \sum_{j=1}^k H^j \text{ (bitů)} \quad (2)$$

za předpokladu, že znaky j jsou nezávislé.

Sdělením nových poznatků o O se změní všechny pravděpodobnosti p_j na p'_j a neurčitost o objektu O bude potom H' . Cílem výkladu učitele je snížit u žáků neurčitost o daném objektu O . V souhlase s tím se v teorii informace definuje informace I jako rozdíl neurčitostí H a H' :

$$I = H - H' \text{ (bitů)}. \quad (3)$$

Poznámka: a) $Z(1)$ vyplývá, že H^1 je maximální, když $p_1 = q_1 = \frac{1}{2}$ a pak je $H^1 = 1$ bit. Pro daný objekt O při daných k znacích mohou tedy mít žáci maximální neurčitost $H_{\max} = k$ (v případě neznámé látky je $I = k - H'$).

b) $Z(3)$ je vidět, že velikost informace není absolutní pojem, závislý jen na sdělení nových poznatků, je ji nutno posuzovat podle vztahu k „předchozím poznatkům“.

c) Základem pro určení I je zde test se dvěma možnými odpověďmi, tzv. alternativní test.

d) Známé pedagogické zásady (např. zásada přiměřenosti) nejsou z tohoto hlediska nic jiného než vymezení podmínek k tomu, aby I bylo co největší.

Každý vyučovací proces musí obsahovat neustále se cyklicky opakující

1. zjištění neurčitosti o daném jevu O (odhad H),
2. sdělení (nových) poznatků (vlastní přenos informace),
3. zjištění neurčitosti o daném jevu O (odhad H').

Nejde tedy o přenos informace jen směrem od učitele k žákům, ale také od žáků k učitel. Jestliže ve vyučovacím procesu chybí některý z bodů 1., 2. nebo 3., nebo není zachováno jejich pořadí, nebo obsah sdělení není závislý na 1. (popřípadě když sdělení následuje za 3. na 3., pak vyučovací proces není efektivní a může se dokonce stát, že bychom sdělovali poznatky, které jsou buď známé, nebo které žáci nemohou z jakýchkoliv příčin přijmout (pak se H blíží H' a I se potom blíží O).

Uvedené tři body musí být také podkladem pro přípravu učitele na vyučování. Učitel musí být schopen pozměnit obsah sdělení podle odhadu H (protože v současné běžné praxi odhad H závisí na zkušenosti učitele, je z tohoto hlediska cena zkušeného učitele velká). Podstata přípravy na vyučování musí spočívat v promyšlení více možných variant vyučovací hodiny, nikoliv v jediném schématu. Příprava učitele by se tedy měla podobat programovanému textu.

V příkladu určení I použijeme testu 1 z elektrostatiky. Test 1 se skládá z deseti otázek (znaky j). U každé otázky byly navrženy 4 odpovědi, z kterých si měl žák vybrat právě jednu. Protože jde o 4 možné odpovědi, bude neurčitost H_j výběru právě jedné z nich v j -té otázce dána

$$H^j = - \sum_{i=1}^4 p_i^j \log_2 p_i^j \quad (\text{bitů}),$$

kde p_i^j je pravděpodobnost (odhadnutá z relativní četnosti), že i -tá odpověď je žákem označena za správnou. (Čtyři varianty odpovědi byly navrženy, aby se omezil vliv uhodnutí na výsledek.) Celková neurčitost H v deseti (předpokládáme nezávislých) otázkách je

$$H = \sum_{j=1}^{10} H^j \quad (\text{bitů}).$$

V našem testu je $I = H_{\max} - H$, kde I vztahujeme k předpokládané původní největší neurčitosti. Bude tedy $H_{\max} = 10 \cdot 4 \cdot \left(-\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} \right) = 20$ bitů. V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky testu v jednotlivých otázkách.

Informace I je potom rovna $I = 20 - 13 = 7$ bitů. Tato informace I je mírou snížení neurčitosti u odpovědí na dané znaky. Neznamená to tedy ještě, že I je mírou té žaky přijaté informace, která vede ke správnějšímu řešení. Je totiž teoreticky možné, že I je maximální, avšak ani jedna z deseti otázek není u žádného žáka správně vyřešena. Je to výsledek symetrie H^I vzhledem k p_i . Zde pomohou relativní četnosti možných odpovědí. V opakovaném testu v případě kladného vlivu výkladu učitele musí být relativní četnosti u správných odpovědí u více než např. u 75 % otázek větší než v původním a větší než $\frac{1}{4}$. V opačném případě by byl výklad učitele neúspěšný (nebo bychom hledali

závadu v testu). Je také možné, že počet zkoumaných žáků by nebyl dostatečný nebo čas mezi sdělením a aplikací testu je velký (viz [4]). Náš výsledek však uvedeným požadavkům vyhovuje (viz tabulka 1).

Pomocí informace takto určené standardním testem je možné porovnávat účinnost dvou vyučovacích metod aplikovaných na dvou homogenních skupinách žáků nebo úrovně dvou různých skupin žáků při stejném výkladu. U daného testu se při určité úrovni žáků může sestavit škála, podle které by se mohl hodnotit sám učitel.

Jako další příklad uveďme již stručně řešení některých didaktických otázek.

a) Veměme si vztah $v = a \cdot t$ pro rychlost pohybu rovnoměrně zrychleného (se zrychlením a). Tohoto vztahu můžeme užít jen tehdy, začal-li pohyb s rychlostí $v = 0$ od času $t = 0$. Rovněž zrychlení a z něho vypočtené platí za těchto podmínek. Je třeba vědět, že za obecnějších

podmínek lze užít jen vztahu $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Žák si zpočátku nesnadno pamatuje matematický zápis

vztahů a měl-li by si pamatovat pro všechny případy speciální vztah, může být různých matematických tvarů závislosti u rovnoměrně zrychleného pohybu velké množství. Uvedeme-li však žáku různé grafy závislosti rychlosti na čase, máme všechny podmínky použitelnosti v jednom obrázku a z velkého množství nezávislých informací se stane jedna, vztahovaná ke grafu, která předpokládá jen znalost grafu (a té můžeme používat dále i při jiných fyzikálních jevech) viz [2].

b) Předpokládejme, že úlohu, kterou řešili žáci, vyřešili všichni správně, ale podaná řešení se liší co do postupů. Který z těchto postupů je hodnotnější? Tradičně hodnotíme výše to řešení, které je pro nás neznámé (originálnější). Pomocí teorie informace však můžeme takto zhodnotit různé druhy řešení i kvantitativně, a to méně subjektivně (viz [3]).

c) Prof. E. Kašpar v časopise Fyzika ve škole, roč. III., čís. 6 v článku „Didaktický význam fyzikálních paradox“ píše „... paradoxa měla a mají heuristickou funkci tak účinnou jako málokterý jiný činitel ve vědě a jsou důležitým faktorem nejen ve vyučování, nýbrž i pro vytváření správných fyzikálních představ o světě vůbec“. Z hlediska Hartleyovy definice informace je vysvětlení významu fyzikálních paradox jednoduché. Podle této definice je informace I rovna $-\log_2 p$, kde p je pravděpodobnost, že nastane jev A (zde to bude subjektivní pravděpodobnost, s jakou budeme očekávat realizaci jevu A). Čím je jev nečekanější, tím p je menší. Se zmenšujícím se p roste I . Pro jev nečekaný je tedy subjektivní I velké (viz [11]).

d) Každou informaci, kterou žáku podáváme, upravujeme do vhodných signálů. V důsledku zkreslování signálu, ke kterému dochází vždy při přenosu informace, musíme tentýž signál několikrát opakovat. Tím nezvýšíme velikost přenášené informace, prodloužíme však jen dobu přenosu. Stejná situace nastává při přenosu informace od žáka, kde musíme také vyžadovat nadbytečnost signálů, aby nedošlo k nedorozumění nebo k uhadnutí. Proto se nikdy nemůžeme

spokojit s odpovědí typu ano-ne, aniž bychom vyloučili uhadnutí (zvláště v testech). Někdy stačí přiložit k jedné základní otázce jen několik vhodných dílčích a je-li odpověď ve všech těchto otázkách správná, hodnotit „správně“ celou soustavu těchto otázek najednou (viz [9]).

e) Kolik hlav, tolik moudrostí? Předpokládejme, že máme n lidí, kteří podávají zprávu o témž jevu s určitým množstvím informace, vztahované na neznalost objektu A , jednomu objektu A , který vše zpracovává. Je tedy možné, že informace každého z lidí, podaná zprávou, se liší. Celková informace, získaná z n zpráv objektem A od n lidí, není prostým číselným součtem všech n informací. Je zase možné, že k lidí z n lidí podá zprávu o informační hodnotě stejné nebo menší než člověk B z téže množiny lidí. Pak informace od těch k lidí podaná objektu A vzhledem ke zprávě podané člověkem B je nulová. Těchto k lidí je vzhledem k informaci podávané objektu A zcela zbytečných. Stačí člověk B , aby podal stejné množství informace jako $(k + 1)$ lidí. Důsledek: Péče o nadané žáky se vyplatí (lepší jeden kvalitní žák než desítky nekvalitních).

f) Monotónně přednesený výklad obsahuje relativně menší množství informací než výklad na vhodných místech provázený např. gestikulací a změnou intonace. Z nemonotónního výkladu dostane posluchač ještě další informaci o důležitosti určité pasáže učiva, návod k utřídění vědomostí atd.

Tabulka 1.

Otázky	Relativní četnosti možných odpovědí				H' [bitů]	$I_f = 2 - H$ [bitů]
	a)	b)	c)	d)		
1	0	0	0,1	0,9	1,7	0,3
2	0,1	0,1	0,8	0	0,9	1,1
3	0,8	0	0,2	0	0,7	1,3
4	0,6	0,3	0,1	0	1,25	0,75
5	0,3	0,6	0	0,1	1,25	0,75
6	0,2	0,2	0,2	0,4	1,9	0,9
7	0,1	0,1	0,2	0,6	1,55	0,45
8	0,2	0,1	0,6	0,1	1,55	0,45
9	0,9	0	0	0,1	1,7	0,3
10	0	0,8	0	0,2	0,7	1,3
Celkem Σ					13	7

Literatura

- [1] Pedagogika, roč. XIX, 1969, čís. 4, str. 631.
- [2] Půlpán, Zd.: *Ukázka rozvíjení pojmu práce a energie na podkladě matematického aparátu, zvláště pak pracovních diagramů*, ÚPČ 1969.
- [3] Kabele, Jiří: *K otázce hodnocení žáků*, Matematika ve škole, čís. 6, roč. XV.
- [4] Stríženec, M.: *Psychologie a kybernetika*, Bratislava, VSAV 1966.
- [5] Dupač, V. — Hájek, J.: *Pravděpodobnost ve vědě a technice*, Cesta k vědění, Praha 1962.
- [6] Jaglom, A. M. a I. M.: *Pravděpodobnost a informace*, Praha, ČSAV 1964.
- [7] Půlpán, Zd.: *Nestandardisovaný test*, Hradec Králové, KPČ 1968.
- [8] Feinstein, A.: *Foundations of Information Theory*, New York — Toronto — London, McGraw-Hill 1958.
- [9] Meyer, G.: *Kybernetika a vyučovací proces*, Bratislava, SPN 1967.
- [10] Шапиро: *О применении теории информации к изучению способностей человека*, Вопросы психологии 1963 2-75.
- [11] Poletaev, I. A.: *Kybernetika*, Praha, SNTL 1961.

Test 1

část první

Návod: Na tento list nic nepiš! Každou otázku přečti a označ na přiloženém proužku jen jednu odpověď ze 4 možných, která je správná. Užíváme jen smluvených označení, $\sim$ značí „přímě-
úměrné“.

Otázky:

1. Síla mezi dvěma bodovými náboji je závislá

- | | | | |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| a) $\sim Q_1 Q_2$ | b) $\sim Q_1 \cdot Q_2$ | c) $\sim \frac{1}{r^2}$ | d) $\sim Q_1$ |
| $\sim r^2$ | $\sim r$ | $\sim Q_1$ | $\sim Q_2$ |
| | na prostředí | $\sim Q_2$ | $\sim \frac{1}{r^2}$ |
| | | | na prostředí |

2. Siločára je křivka

- | | | | |
|--|---------------------------------|---|--|
| a) spojující místa
o stejné intenzitě | b) kolmá na vektor
intenzity | c) její tečna ukazuje
směr intenzity
v daném bodě | d) žádná z předcho-
zích odpovědí není
správná |
|--|---------------------------------|---|--|

3. Matematický zápis tvaru fyzikální závislosti je $y = kx$, k je konstanta. Které fyzikální veličiny můžeme dosadit za y a x , abychom dostali známou fyzikální závislost mezi x a y ?

- | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------|--|
| a) v homogenním
elektr. poli | b) v homogenním
poli | c) na povrchu vodiče | d) žádná z předcho-
zích odpovědí není
správná |
| $k = d$ | $k = \beta$ | $k = \varepsilon$ | |
| $y = U$ | $y = U$ | $x = \beta$ | |
| $x = E$ | $x = d$ | $y = E$ | |

4. Kapacita vodiče je definována jako

- | | | | |
|------------------|---|------------------|--|
| a) $\frac{Q}{V}$ | b) $\varepsilon \cdot \frac{S}{d}$, | c) $\frac{V}{Q}$ | d) Žádná z předcho-
zích odpovědí není
správná |
| pro každý vodič | kde S je plocha povrchu
vodiče, d vzdálenost
vodiče od místa s nu-
lovým potenciálem | pro každý vodič | |

5. Látky s kovovou krystalovou mřížkou v elektrickém poli

- | | | | |
|-----------------------------------|---|----------------------|--|
| a) jeví polarizaci
iontů mříže | b) elektrostatickou
indukcí se dají
zelektrovat | c) se stávají nabitá | d) žádná z předcho-
zích odpovědí není
správná |
|-----------------------------------|---|----------------------|--|

Test 1

část druhá

Návod: Na tento list nic nepiš! Každou otázku přečti a označ na přiloženém proužku jen jednu odpověď ze 4 možných, která je správná (tj. i úplná). Užíváme jen smluvených označení.

Otázky:

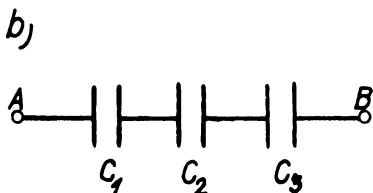
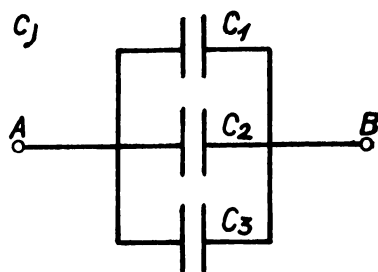
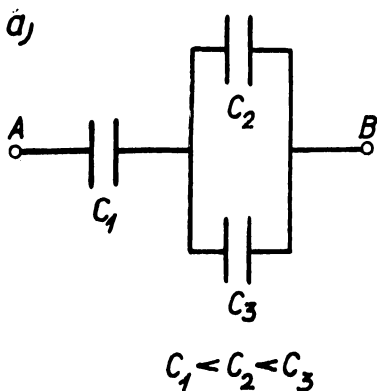
6. Kapacita deskového kondenzátoru závisí současně pouze na

- | | | | |
|---|---|---|---|
| a) plochách desek,
hustotě náboje na
deskách a na pro-
středí mezi deskami | b) náboji na deskách
a prostředí mezi
deskami | c) napětí mezi des-
kami, vzdál. desek
a na dielektriku | d) hustotě náboje na
deskách, ploše
desek, napětí mezi
deskami |
|---|---|---|---|

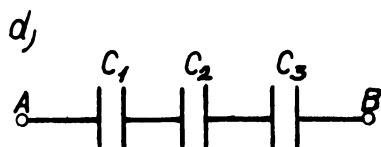
7. Nabíý lampiónek na stéblovém elektroskopu po roztažení pomocí izolované tyčinky způsobí

- | | | | |
|---|---|---|--|
| a) zvětšení výchylky,
což svědčí o zvět-
šení náboje na
elektroskopu | b) zmenšení výchylky,
což svědčí o zmenšení
náboje na elektro-
skopu | c) zvětšení výchylky,
což svědčí o zvět-
šení potenciálu na
elektroskopu | d) žádná z uvede-
ných odpovědí
není zcela správná |
|---|---|---|--|

8. Jak zapojíte 3 kondenzátory s různou kapacitou, aby při určitém napětí mezi A a B byl ze všech možných zapojení největší náboj aspoň na jedné desce kondenzátoru?



V LIBOVOLNÉM POŘADÍ



SROVNAT $C_1 < C_2 < C_3$
NA NEJVĚTŠÍM C
NEJVĚTŠÍ NÁBOJ

9. Znaky E , C , ε , V označujeme postupně fyzikální veličiny

- a) intenzitu elektr. pole, kapacitu, permitivitu, potenciál b) napětí, kapacitu, permitivitu, potenciál c) permitivitu, kapacitu, hustotu náboje, správné potenciál d) nikde není vše správné

10. Jsou to rozměry permitivity vakua?

a) $\frac{C^2}{m^2 \cdot N}$

б) $\frac{F}{m}$

γ) $\frac{V}{m}$

a) a , γ jsou

б) a , β jsou

с) γ , β jsou

d) žádná z odpovědí a), b), c) není zcela správná

ЗДЕНЕК ПУЛПАН

СООБЩЕНИЕ ПОЗНАНИЙ В ШКОЛЕ КАК ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

В своей статье автор показывает, как можно при наличии определенных предпосылок, при помощи формулы Шеннона, исследовать неопределенность в знаниях учеников о данном объекте «О» количественно, исходя из изменений правдоподобности (вероятных множеств) в ответах учеников на вопросы,

содержащиеся в тестах. Затем автор анализирует некоторые последствия того, что на сообщение познаний в классе со стороны учителя учениками мы будем смотреть, как на процесс передачи информации. Оказывается, что такой подход к делу ведет к простому решению ряда дидактических проблем.

Zdeněk Pulpán

Transmission of Knowledge in the Classroom as Information Transfer

The article shows that under certain preconditions and by means of Shannon's formula is possible quantitatively to investigate the vagueness of pupils' knowledge of a given object „O“ from probability changes (relative frequencies) in pupils' answers to questions in a test. The article goes on to analyse some

consequences of the transmission of knowledge between teacher and pupil in the classroom being looked upon as a process of the transfer of information. This conception appears to lead to a simple solution of a number of didactic questions.