

K problematice vztahu gnoseologie a fyziky

BOHUMIL VYBÍRAL

Pedagogická fakulta UHK, Hradec Králové

1 Gnoseologie a fyzika

Gnoseologie (noetika, epistemologie, teorie poznání) je samostatná filosofická disciplína, která se vymezila jako nauka o poznání, jeho zdrojích, podmínkách, možnostech a svých mezích. V průběhu vývoje (počínaje R. Descartem a I. Kantem) řešila problematiku vztahu smyslového a rozumového poznání, zabývala se tvorbou obecných pojmů a vedla spor o univerzália ([5]). Gnoseologie tvoří společně s *ontologií* (zabývající se základními otázkami bytí a jsoucna – [4]) dvě fundamentální součásti filosofie.

Poznání je proces, při němž *subjekt* (člověk jako pozorovatel nebo experimentátor) získává informace o *objektu* (předmětu poznávání), přičemž dochází k *reflexi*, k vytváření pokud možno věrného (pravdivého) *obrazu* o objektu. Při procesu poznání subjekt získané informace zpracovává, hodnotí, hledá vztahy mezi objekty, objevuje jejich základní *vlastnosti a zákonitosti* jejich vývoje neboli uskutečňuje myšlenkovou reflexi poznávaného vztahu. Proces poznání je tedy jednotou tří jeho složek: subjektu, objektu a poznáných zákonitostí. Filosofie k procesu vědeckého poznání poznamenává ([5], s.19): lidé poznávali dříve, než poznali, že poznávají. Stejně tak mysleli dříve, než pochopili že myslí. Přitom poznání a myšlení nejsou zcela totožné procesy – poznávat můžeme jen to, co vskutku je, kdežto myslet můžeme i na to, co není.

V souvislosti s procesem poznání se ve filosofii také řeší otázka o *poznatelnosti objektu*. Jde rovněž o to, aby při poznání nedocházelo k ovlivňování objektu subjektem, a tím ke zkreslení získávaných poznatků o něm.

Pokud přejdeme pro příklad do oblasti fyziky, tak závisí na tom, jaké objekty poznáváme. Půjde-li o objekty *megafyzikální* (tj. galaxie a jejich soubory, kvazary, metagalaxie, tj. půjde-li o objekty ležící za naší Galaxií), nemůže v principu docházet k jejich ovlivňování subjektem, protože objekty jsou značně rozlehlé, vzdálené a pozorovatel získává informace o nich rovněž se značným zpožděním. U objektů *makrofyzikálních* (atomy, molekuly až hvězdy Galaxie) by v některých případech k ovlivňování objektu subjektem mohlo docházet – musíme proto volit vhodné pozorovací metody anebo jejich vliv korigovat (budeme-li např. měřit vlastní frekvenci pružného tělesa nevhodným, značně hmotným snímačem, dojde ke snížení vlastní frekvence soustavy těleso – snímač). Složitější je ovšem situace při poznávání zákonitostí u objektů *mikrofyzikálních* (jednotlivý atom, jádro a jeho složky, elementární částice). Zde v důsledku platnosti Heisenbergovy relace neurčitosti pro polohu a hybnost ($\Delta x \Delta p \geq \hbar$), resp. pro energii a časový interval ($\Delta E \Delta t \geq \hbar$) vznikají pochybnosti o možnosti úplného poznání mikrosvěta (viz kodaňskou školu z 20. let 20. stol.).

V průběhu historického vývoje se od vlastní filosofie postupně oddělily disciplíny, které původně byly chápány jako filosofické. Patří mezi ně např. psychologie, logika, filosofie jazyka, filosofie vědy a do jisté míry i *fyzika* (fyzika se např. ještě ve 20. letech 20. stol. studovala na Karlově univerzitě v Praze na filosofické fakultě). Toto odtržení fyziky od filosofie fyzikálnímu oboru do jisté míry pomohlo, protože v průběhu 20. stol. došlo k prudkému rozvoji fyziky s četnými technickými a jinými přírodovědnými aplikacemi. Na druhé straně citelně chybí těsnější interakce mezi obecnými fyzikálními obory a filosofií. Trpí tím jak filosofie (navíc filosofové často nejsou sto do hloubky chápat nejnovější fyzikální poznatky o světě), tak i fyzika (filosofie pro ni vytváří potřebnou *obecnou metodologii*, a to právě v rámci gnoseologie). Proto je žádoucí, aby filosofové pěstovali fyziku a fyzikové filosofii. Na to má upozornit právě předložená stať. Dá se říci, že fyzika je pro filosofii tou největší laboratoří, v níž může ověřovat své obecné poznatky a závěry pěstovaných myšlenkových procesů. Na druhé straně fyzika v rámci výuky (viz čl. 4) může posilovat filosofické myšlení již u studentů.

2 Stupně fyzikálního poznávání

Fyzikální poznávání^{*)} je členitý, složitý proces, který poskytuje modely chování objektů a modely jejich struktury a který směřuje k vytváření

^{*)} Ve fyzice budeme užívat nedokonavý tvar tohoto slova, abychom podtrhli skutečnost,

(a zdokonalování) co nejúplnějšího obrazu světa. Tento proces, v němž hraje rozhodující roli člověk – fyzik, lze rozložit na několik etap, resp. stupňů: *experiment*, *hypotéza* (pořadí zde bývá často obrácené), *fyzikální zákon*, (fyzikální) *princip*, *fyzikální teorie*. Z hlediska budování fyziky mají zásadní význam především obecné principy ([11], [13]). Ohlédneme-li se zpět do historie fyziky, zjistíme, že obecné principy byly formulovány a rozvíjeny největšími postavami dějinného vývoje fyziky. Zde stručně uvedeme jen přehled jednotlivých stupňů fyzikálního poznávání.

2.1 Experiment

Fyzika jako přírodní věda vychází zpravidla z *experimentu*. Při něm objektivně sledujeme (měřením pomocí přístrojů) vzájemnou závislost fyzikálních veličin vyšetřovaného děje za působení co nejmenšího počtu rušivých jevů. Charakteristikou experimentu je, že badatel navodí děj s předem stanovenými podmínkami tak, aby jej bylo možné za stejných podmínek opakovat. Vedle poznatků získaných pomocí cíleně připravených sestav experimentů je další metodou přímé objektivní pozorování probíhajících přírodních jevů. Jde tedy o poznatky empirické (observační). Výsledky získané měřením se zobecňují do formy fyzikálního zákona (zpravidla popsaného matematickým vztahem, rovnicí – matematickým modelem), přičemž jeho správnost ověřujeme (verifikujeme) dalšími experimenty. U reálně probíhajícího experimentu, který má být východiskem k vytvoření kvantitativních modelů fyzikálních jevů, má zásadní význam přesné měření fyzikálních veličin. Měření veličin opakujeme a statisticky vyhodnocujeme, abychom mohli určit přesnost měření. Pro formulování fyzikálního obrazu světa mají vedle obecných fyzikálních teorií (kvantové teorie, teorie relativity a gravitace) zásadní význam fundamentální experimenty ([10]).

2.2 Hypotéza

Na základě výsledků experimentů nebo přímého pozorování přírodních jevů můžeme formulovat *hypotézu* (domněnku) o podstatě probíhajících jevů. Její ověření vyžaduje další experimenty, tzv. verifikační (viz např. [10]). Hypotéza se zpravidla vyslovuje před formulací příslušného zákona anebo slouží k utřídění poznatků. Hypotéza formulovaná před vlastním experimentem (tzv. *pracovní hypotéza*) usnadňuje badateli jeho přípravu a provedení – pokud je správná. Prognózuje průběh zkoumaného děje – jak

že poznávání světa je proces, který je ve své podstatě *neomezený*, *neukončitelný*, protože dosavadní zkušenosti ukazují, že jakékoli tvrzení o dosažení vrcholu v poznání světa bylo liché ([8], [9]).

asi bude probíhat a na jakých veličinách bude záviset. Pokud je hypotéza v rozporu s experimentem, je nutno ji zamítnout, vyslovit jinou hypotézu a ověřit ji novým experimentem (viz rovněž závěr odst. 2.5).

2.3 Fyzikální zákon

Pro kvalitativní a kvantitativní popis fyzikálních jevů, stavů a vlastností objektů, které jsme poznali při pozorování a experimentování, musíme mít definovány příslušné fyzikální veličiny a jejich jednotky. *Fyzikální zákon* vyjadřuje určitou zobecněnou závislost mezi skupinou sledovaných fyzikálních veličin. Jeho formulace může být slovní, matematická nebo i grafická. Významná je matematická formulace zákona (jde o matematický model jevu nebo stavu), která na základě dalšího matematického zpracování se zákony souvisejících jevů, stavů a vlastností umožňuje teoreticky předpovědět nové jevy, přičemž jejich reálnou existenci je nutné ověřit verificačními experimenty.

Ve fyzice se setkáváme jednak s *deterministickými zákony*, které na základě definovaných počátečních (resp. okrajových) podmínek umožňují jednoznačně předpovědět konečné stavy jevů a objektů. Druhou skupinu tvoří *statistické zákony*, které umožňují stanovit jen pravděpodobnost stavů v libovolném okamžiku na základě znalostí počátečních stavů. Jsou deterministické jen ve smyslu kauzality. V této souvislosti je třeba upozornit na to, že přírodní děje neprobíhají zpravidla podle zjednodušených modelových lineárních pohybových rovnic. Při jejich popisu se zpravidla uplatňují zákonitosti *deterministického chaosu* (resp. zákonitosti chaotického chování fyzikálních objektů v deterministických systémech), které jsou popsány nelineárními rovnicemi (viz např. [2]).

2.4 Princip

Fyzikální zákon, který má velmi univerzální platnost (popisující zpravidla jevy a stavy i z různých oblastí fyziky) se označuje jako (fyzikální) *princip*. Princip se neodvozuje a ani v obecné formě nedokazuje, nýbrž se jen vhodně formuluje – zpravidla na základě intuitivního shrnutí dosavadních teoretických a experimentálních poznatků. Můžeme tedy jen ověřovat jeho důsledky, a to srovnáváním s pozorováním, s experimenty a tím, že z něj vyplývají již dříve poznané fyzikální zákony. Dlužno však poznamenat, že rozlišování mezi zákony a principy není ve fyzikální literatuře zcela jednoznačné. Je to podmíněno především historickým vývojem poznání.

Významné jsou např. variační principy, které sehrály významnou roli při formulování klasické analytické mechaniky (zejména *d'Alembertův* –

Lagrangeův princip anebo *Hamiltonův princip*, který navíc nachází uplatnění i v teorii elektromagnetického pole a v kvantové fyzice). Nebo principy speciální teorie relativity (*speciální princip relativity* a *princip konstantní rychlosti světla*), na jejichž základě Einstein přehodnotil klasické pojetí prostoru a času. Souhrnně o obecných fyzikálních principech pojednává stať [11] a [13].

Nad fyzikální principy je možné nadřadit jen filosofický *princip kauzality (příčinnosti)*, podle něhož probíhají především všechny přírodní děje: *nejprve vzniká příčina a po ní se dostavuje účinek, následek*. Na základě tohoto principu např. A. Einstein dospěl v důsledcích speciální teorie relativity k poznatku, že maximální rychlost přenosu libovolné interakce je rovna univerzální fyzikální konstantě – rychlosti světla ve vakuu.

2.5 Fyzikální teorie a její vztah k experimentu

Soustava fyzikálních zákonů, které spolu kauzálně nějak souvisí, se sjednocuje do jediné *fyzikální teorie*. Ta pak podává systematický, zobecněný obraz o popisované fyzikální skutečnosti, umožňuje kauzální pohled na soustavu jevů a stavů a předvídaní jevů nových (ověřujeme je verifikačními experimenty; přičemž označit určitý experiment za verifikační nebo heuristický je podmíněno historickým hlediskem – viz [10], [11]). K úspěšným fyzikálními teoriím patří např. analytická mechanika, kinetická teorie plynů, Maxwellova teorie elektromagnetického pole, Einsteinova teorie relativity, kvantová mechanika aj. Při axiomatické výstavbě fyzikální teorie mají charakter axiomů správně formulované (fyzikální) principy.

Vztahem *hypotéza – experiment – teorie – experiment* se v obecné rovině zabývá i současná filosofie a metodologie vědy (viz např. [3]). Aplikací jednoho ze základních pravidel logiky *modus ponens*: $((A \rightarrow B) \ \& \ A) \rightarrow B$ v přírodní vědě dostaneme tento postup: z teorie *A* plyne pozorovatelný jev *B* a platí-li teorie *A*, jev *B* nastane. Tento postup je však „metodologicky sterilní“ [3], neboť cílem je právě pravdivost *A* zjistit. *Proces verifikace* by měl proto vypadat takto: z teorie *A* plyne pozorovatelný jev *B*, nastane-li jev *B*, platí teorie *A*. To ovšem neplatí, neprovedeme-li všechny možné pokusy *B*. Postup lze modifikovat zavedením hodnověrnosti, která bude vyjadřovat míru naší důvěry v teorii *A*. S každým úspěšným pozorováním *B* pak hodnověrnost teorie stoupá.

Jiný přístup prosazoval K. R. Popper (1902–1994), který navrhl použití pravidla logiky *modus tollens*: $((A \rightarrow B) \ \& \ \neg B) \rightarrow \neg A$. Jde o model založený na tzv. *falzifikaci*. Pozorujeme-li jev $\neg B$ nesouhlasný s teorií *A*,

je teorie falzifikována a musí být nahrazena jinou – jde o *proces falzifikace*. Z procesu verifikace i falzifikace je zřejmý zásadní význam experimentu pro budování teorie. Experiment slouží ke zjištění shody či neshody s navrženou hypotézou. Na druhou stranu však nelze význam experimentu přeceňovat, neboť důležitou a konečnou součástí procesu poznání je vytvoření teorie. Tento proces nemusí být proto založen pouze na empirickém pozorování (např. vznik obecné teorie relativity), avšak ve svých důsledcích musí být v souladu s pozorováním anebo verifikačním experimentem. Podle Poppera probíhá proces budování vědy tak, že badatel formuluje hypotézy, které jsou nakonec falzifikovány, na jejich místo přichází revidované hypotézy, které ovšem budou také falzifikovány. Každá teorie tedy nakonec podlehně falzifikaci. Falzifikovatelnost je tedy hlavní charakteristikou vědecké hypotézy, neboli nefalzifikovatelná hypotéza nemá ve vědě místo. Falzifikující experiment má proto dvojí zásadní význam: jednak ukončuje platnost jedné teorie, zároveň však musí stát u zrodu teorie nové, adekvátnější, teorie s vyšším stupněm obecnosti. Tím může být proces falzifikace ukončen. Nová teorie musí přitom poskytovat nové deduktivní důsledky, které jsou experimentálně ověřitelné.

3 Příklad – setrvačná a gravitační hmotnost od Galilea k Einsteinovi

Na budování pojmu *hmotnost (setrvačná a gravitační)* ukážeme dlouhodobou snahu člověka vybudovat nejzákladnější fyzikální veličinu pro vyjádření míry setrvačných a gravitačních vlastností hmoty (tj. látky a pole). Toto úsilí o poznání vztahu mezi hmotností setrvačnou a gravitační trvá již více než čtyři staletí – od dob G. Galilea (r. 1590) a I. Newtona (r. 1687) do současnosti – s významným intermezem A. Einsteina (r. 1911), který pozoruhodných výsledků dosažených R. Eötvösem na přelomu 19. a 20. stol. využil k vybudování obecné teorie relativity. Současně tímto poznáváním dostáváme vhodný příklad aplikované gnoseologie ve fyzice: *objekt* – setrvačné a gravitační vlastnosti hmoty popsané hmotností, *subjekt* – experimentátor, *reflexe* – poznané zákonitosti o setrvačných a gravitačních jevech. V daném příkladě hraje dominující dlouhodobou roli subjekt – člověk, jak je zřejmé z následující chronologie.

Vykonané experimenty lze rozdělit na dynamické a statické; jejich přehled a rozbor je souhrnně uveden např. v [7] a [12]. Nejstarším *dynamickým* experimentem, který (kvalitativně) potvrdil rovnost setrvačné a gravitační

hmotnosti, byl experiment G. Galilei s volným pádem, který prováděl kolem r. 1590 v Pise na šikmé věži. Zjišťoval, že železné a dřevěné koule dopadají na zem ve stejný okamžik, tedy se stejným zrychlením. Experiment vylepšil I. Newton, když použil vakuovou trubici a za tělíska olověný brok a ptačí pírko. Newton prováděl rovněž přesná měření ($\sim 0,1\%$) s kyvadly, přičemž do dřevěného pouzdra na kyvadle vkládal různá tělíska a zjišťoval, že doba kmitu za jinak stejných podmínek nezávisí na složení materiálu vloženého tělíska. Přesnost měření s kyvadly podstatně v letech 1827 – 1832 zlepšil F. W. Bessel, když dosáhl přesnosti $2 \cdot 10^{-5}$ a r. 1923 H. H. Potter s přesností $3 \cdot 10^{-6}$.

Z hlediska přesnosti měření je výhodnější *statická* metoda, kterou používal od r. 1890 R. Eötvös. Využil toho, že tíhové zrychlení má složku gravitační a setrvačnou. Na vahadle Eötvösových torzních vah byly dvě koule z různých materiálů, avšak o stejné gravitační hmotnosti. Gravitační složky tíhové síly jsou tedy stejné. Pokud by setrvačné hmotnosti těchto koulí nebyly stejné, vznikl by působením vodorovné složky odstředivého zrychlení nenulový moment síly, který by poněkud zkroutil zavěšené vlákno. Tento moment síly by byl největší, kdyby vahadlo bylo kolmé k poledníku a váhy byly na 45° zeměpisné šířky. Pak setrvačná složka má velikost $1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Měření se prováděla na Blatenském jezeře (47° s.z.š.). Aby se vyloučila případná nerovnovážnost vah, opakovala se měření s vahadly otočenými o 180° . Eötvösovy váhy jsou založeny na *nulové metodě měření*, neboť efekt by se projevil, jen kdyby se setrvačné hmotnosti koulí na vahadlech nerovnaly. U nulové metody jde jen o zjištění, že výchylka vahadla z nulové rovnovážné polohy nepřesahuje meze pozorovacích chyb, což je dáno dostatečnou citlivostí vah. Poslední Eötvösova měření z r. 1922, která prováděl s D. Pekarem a E. Feketem, ukázala rovnost gravitační a setrvačné hmotnosti s přesností $3 \cdot 10^{-9}$.

Statickou Eötvösovu metodu r. 1963 značně zpřesnila skupina P. G. Roll, R. Krotkov a R. H. Dicke, která však nevyužívá odstředivého zrychlení zemské rotace kolem vlastní osy, nýbrž odstředivého zrychlení oběhu Země kolem Slunce, které má velikost $6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Základ přístroje tvoří tři závaží o stejných gravitačních hmotnostech – jedno zlaté a dvě hliníková – zavěšená ve vrcholech vahadla tvaru rovnostranného trojúhelníka. Vahadlo je zavěšeno na křemenném vlákně. Kdyby se setrvačné hmotnosti závaží sobě nerovnaly, konalo by vahadlo v důsledku denní rotace Země vynucené torzní kmity s dvacetičtyřhodinovou periodou. Tyto kmity nebyly zjištěny, i když se měření prováděla značně pečlivě a dlouhodobě;

aparatura byla vakuová, dálkově ovládaná a vybavená řídicí elektronikou. Relativní přesnost měření byla $1 \cdot 10^{-11}$. Tento experiment r. 1971 ještě dále zpřesnila skupina B. V. Braginského a V. J. Panova. Vahadlo jejich přístroje mělo tvar osmiramenné růžice, v jejichž vrcholech byla zavěšena 4 + 4 platinová a hliníková závaží. Torzní vlákno mělo délku 2,9 m, bylo výrazně zmenšeno tlumení systému (relativní pokles amplitudy byl jen $3 \cdot 10^{-3}$) a k registraci kmitů byl již využíván laserový paprsek. Pokus potvrdil rovnost gravitační a setrvačné hmotnosti těles z hliníku a platiny s obdivuhodnou přesností $9 \cdot 10^{-13}$.

Na rovnost gravitační a setrvačné hmotnosti lze usuzovat i z *astro-nomických jevů* – ze samotné existence planet a jiných vesmírných těles. Z. Horák již r. 1936 úvahou na mezinárodní konferenci v Oslo upozornil, že i nepatrný rozdíl mezi gravitační a setrvačnou hmotností by se projevil v dobách, kdy planety obíhaly kolem Slunce v netuhém stavu, neboť molekuly s různým poměrem setrvačné a gravitační hmotnosti by byly nuceny obíhat kolem Slunce po různých trajektoriích a s různými periodami, což by vedlo k oddělení látek s různým poměrem obou hmotností. Projevilo by se to i při vlastní rotaci planet. Skutečnost, že Země si zachovala tvar přibližně rotačního elipsoidu po miliardy let, svědčí o velmi přesné rovnosti obou hmotností stejně tak jako dlouhodobá existence jiných vesmírných těles. Autor této statě r. 1974 navrhl ([7]) na základě rozboru Keplerových zákonů využít k důkazu rovnosti gravitační a setrvačné hmotnosti měření trajektorií dvou nebo několika umělých družic Země odlišného látkového složení vypuštěných ve stejný okamžik za přesně stejných počátečních podmínek.

Výsledky přesných Eötvösových pokusů vedly A. Einsteina již kolem r. 1911 (za svého působení v Praze) k úvaze, že rovnost setrvačné a gravitační hmotnosti nemůže být náhodná, avšak že musí mít hlubokou fyzikální souvislost. K důkazu navrhl myšlenkový pokus, který je dnes známý jako *Einsteinova zdviž* (resp. Einsteinova bedna) – viz např. [12].

Z tohoto myšlenkového pokusu bylo Einsteinovi zřejmé, že nelze rozlišit gravitační hmotnost od hmotnosti setrvačné. Hovoří proto o *identitě gravitační a setrvačné hmotnosti*. Z úvah je také zřejmé, že v kabině zdviže nelze rozlišit, je-li rovnoměrně zrychlený pohyb těles uvnitř kabiny způsoben homogenním gravitačním polem o intenzitě K nebo rovnoměrně zrychleným pohybem kabiny se zrychlením $a = -K$. Kabinu lze v tomto případě definovat za neinerciální vztažnou soustavu. Výsledky úvah A. Einstein r. 1911 zobecnil a vyslovil *princip ekvivalence: Gravitační a setrvačné síly*

mají stejnou fyzikální podstatu a platí pro ně stejné základní zákony. Tento princip mu umožnil přepracovat jednoduchou Newtonovu teorii gravitace tak, aby v sobě zahrnovala i setrvačné síly a respektovala vliv gravitace na metriku prostoročasu.

4 Jak uplatnit filosofická hlediska při fyzikálním vzdělávání

Filosofické myšlení je třeba ve výuce fyziky pěstovat přirozeně, nenásilně, aby dokázalo studenty zaujmout. Je třeba se zde držet zásady, že méně je někdy více – ostatně ve vlastní výuce není nikdy času nazbyt. Stačí jen naznačit problém a vhodně využít všech tří neoddělitelných složek, které gnoseologický proces zahrnuje. Poznávaný *objekt* ve výuce je dán její osnovou, je vlastním předmětem výuky. Proces poznání však uskutečňuje *subjekt* – člověk (pozorovatel, experimentátor). Tento humánní prvek ve fyzice může být pro studenta zajímavý, motivující. Cesty, kterými se proces poznání uskutečňuje bývají často složité, někdy slepé. Motivující bývají příhody, které nějaký vědecký objev provázejí. Rovněž třetí složka – *reflexe*, poznané vlastnosti a zákonitosti – jsou formulovány člověkem. Jsou proto často nedokonalé, zjednodušené a v průběhu dalšího vývoje vědy je třeba je korigovat (např. klasická mechanika versus teorie relativity anebo vznik kvantové fyziky ve 20. stol.). Ve vlastní výuce se často nedostává času, stačí zde proto jen zmínka o filosofickém problému, naznačení jeho myšlenkového řešení a studentovi dát problém zpracovat např. formou referátu.

Podstatné myšlenky, uvedené v této stati, byly předneseny na konferenci v Brně [14] v květnu 2008.

Literatura

- [1] *Blecha, I. at al. Filosofický slovník.* Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 1998. 464 s. ISBN 80-7182-0643-4.
- [2] *Eckertová, L.: Cesty poznávání ve fyzice.* Praha: Prometheus, 2004. 196 s. ISBN 80-7196-293-7.
- [3] *Fajkus, B.: Filosofie a metodologie vědy.* Praha: Academia, 2005. 340 s. ISBN 80-200-1304-0.
- [4] *Seidel, H.: Bytí a vědomí. Gnoseologie a metafyzika v klasické a moderní tradici.* Praha: Vyšehrad, 2005. 296 s. ISBN: 80-7021-699-9.
- [5] *Špůr, J.: Úvod do systematické filosofie.* Gnoseologie. Dobrá Voda: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2002. 160 s. ISBN 80-86473-17-1.
- [6] *Úlehla I.: Fyzika a teorie poznání.* Praha: Horizont, 1982. 440 s.

- [7] *Vybíral, B.*: K problematice setrvačné a gravitační hmotnosti. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 19 (1974), s. 270-280.
- [8] *Vybíral, B.*: Fyzikální poznávání světa a vzdělávání ve fyzice. In: *XXII. mezinárodní vědecké kolokvium o řízení osvojovacího procesu* – elektronické verze příspěvků na CD-ROMu, Vyškov 20.5.2004. Vyškov: Vysoká vojenská škola pozemního vojska ve Vyškově, 2004. ISBN 80-7231-116-6. Otištěno: *Obzory matematiky, fyziky a informatiky*, 35 (1/2006), s. 37-50. ISSN 1335-4981.
- [9] *Vybíral, B.*: Physical Cognition of World and Physics Education. In: *New Trends in Physics (NTF 2004). Proceedings of the conference*. Brno 11. – 12. 11. 2004. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004, s. 357–360. ISBN 80-7355-024-5.
- [10] *Vybíral, B.*: Fundamentální experimenty ve fyzice. In: *Sborník XXIII. mezinárodního kolokvia o řízení osvojovacího procesu* – elektronické verze příspěvků na CD-ROMu., Brno, 19.5.2005. Brno: Univerzita obrany, Fakulta ekonomiky a managementu, 2005. ISBN 80-85960-92-3. Otištěno: *Matematika, fyzika, informatika*, 15 (5/2006), s. 274-287. ISSN 1210-1761.
- [11] *Vybíral, B.*: Obecné principy – jeden z cílů fyzikálního poznávání světa. In: *Sborník XXIV International Colloquium on the Acquisition Process Management* – elektronické verze příspěvků na CD-ROM, Brno, May 18, 2006. Brno: University of Defence, Faculty of Economics and Management, 2006. ISBN 80-7231-139-5.
- [12] *Vybíral, B.*: *Základy teorie relativity*. Hradec Králové: Gaudeamus, 1995. 182 s. ISBN 80-7041-673-4. 2. doplněné vydání: *Teorie relativity a gravitace*. Hradec Králové: Gaudeamus, 2008. 195 s. ISBN 978-80-7041-166-7.
- [13] *Vybíral, B.*: Obecné principy fyziky. *Obzory matematiky, fyziky a informatiky*, 37 (1/2008), s. 48-66. ISSN 1335-4981.
- [14] *Vybíral, B.*: K problematice vztahu gnoseologie a fyziky. In: *Sborník XXVI International Colloquium* – elektronická verze příspěvků na CD-ROM, Brno, May 22, 2008. Brno: University of Detence, Faculty of Economics and Management, 2008. ISBN 978-80-7131-511-6.

(Pokračování ze s. 192)

Prazdroje, návštěvou Pivovarského muzea a večerním posezením v jedné ze stylových restaurací města za účasti děkanky pedagogické fakulty *doc. dr. J. Coufalové, CSc.* a mluvčího fakulty *dr. Josefa Kepky, CSc.*

Všichni účastníci semináře hodnotili jeho průběh jak po stránce odborné, tak i společenské velmi kladně. Za přípravu a zdárný průběh semináře náleží srdečné poděkování Odborné skupině dejín a metodologie fyziky pod odborným vedením *RNDr. Miroslava T. Morovicse, CSc.* a *RNDr. Miroslavu Randovi, Ph.D.* z Pedagogické fakulty ZČU v Plzni.

Podle předběžné dohody se příští seminář bude konat opět v první polovině září roku 2009, tentokrát však na Slovensku. Bližší informace o termínu a místě konání podá po dohodě v odborné skupině RNDr. Ingrid Hympanová, FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava 4, SR (e-mail: hympanova@fmph.uniba.sk) nebo RNDr. Miroslav T. Morovics, CSc., Historický ústav SAV, Oddelenie dejín vied a techniky Klemensova 19, 813 64 Bratislava 1, SR (e-mail: histmoro@savba.sk).

Všichni zájemci o tuto problematiku jsou na příští seminář srdečně zváni.

Rudolf Kolomý

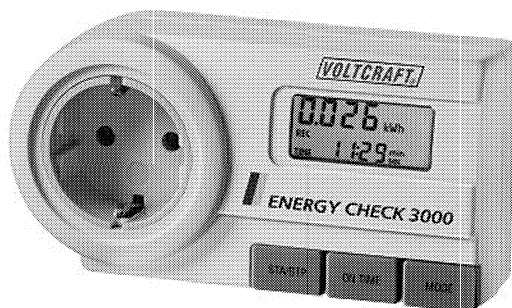
Spotreba elektrickej energie v domácnosti

JÁN DEGRO – ERICH MÜLLER

Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Košice, Slovensko

Úvod

Šetrenie elektrickej energie šetrí naše životné prostredie a tiež naše finančné prostriedky. Šetrenie však predpokladá meranie, lebo ak neviem, koľko som čoho spotreboval, tak neviem, kde začať šetriť. Ak chceme teda šetriť v domácnosti elektrickú energiu, potrebujeme ju merať, resp. poznať príkon každého spotrebiča. K tomuto účelu nám veľmi dobre poslúži prístroj ENERGY CHECK 3000 (obr. 1), ktorý vie oboje, odmeria spotrebu energie a príkon. Ak mu zadáme tarifu za energiu (v ľubovoľnej mene), tak nám zobrazí aj cenu za spotrebovanú energiu.



Obr. 1

Cieľom tohto príspevku je predstaviť dve experimentálne úlohy a jednu anketu. Realizovaním experimentálnych úloh žiak získa predstavu o spotrebe elektrickej energie doma. Zistí, ktoré prístroje sú úsporné a ktoré nie. Získa tiež predstavu o energetickej účinnosti aktuálnych prístrojov na trhu. Na základe uvedených poznatkov žiak získa schopnosť navrhnuť harmonogram výmeny starých spotrebičov za nové. Anketou žiak zistí, ako je to so šetrením resp. plytvaním elektrickej energie u nich doma. Zistí, kto

šetrí a kto nie. Úlohy sú vhodné pre žiakov tak základnej ako aj strednej školy. Realizácia týchto úloh vo vyučovacom procese nám umožní motivovať žiakov pomocou úloh, ktoré sa týkajú praktického života.

Aktivita: Šetríme alebo plýtvame?

Motivačné otázky: Upozorňujú vás doma rodičia, aby ste šetrili elektrinu (elektrickú energiu)? Zamysleli ste sa niekedy nad tým, prečo by ste mali šetriť elektrinu? Čo si myslíte, šetria vaši rodičia elektrinu? Je domácnosť, v ktorej žijete energeticky náročná?

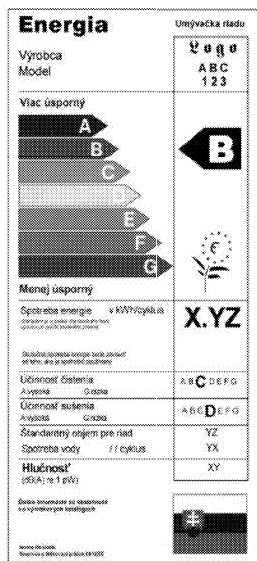
Teória: Šetrenie energie pomáha životnému prostrediu redukováním emisií oxidu uhličitého – CO_2 a oxidu siričitého SO_2 , taktiež šetrí naše peniaze (tepelné elektrárne majú v súčasnosti významný podiel na výrobe elektriny). Ak nebudeme redukovať emisie CO_2 , globálne otepľovanie môže viesť k zmene klímy a emisie SO_2 , spôsobujúce kyslé dažde, môžu zničiť stromy, život vo vode, poškodiť domy.

Jednou z ciest, ako ušetriť elektrickú energiu, je kúpiť si domáci spotrebič, ktorý je energeticky úsporný. O energetickej úspornosti výrobku sa dozvieme z energetickeho štítku (obr. 2). Z tohto štítku sa môžete dozvedieť aj o hlučnosti prístroja. Spotrebiče možno podľa účinnosti premeny elektrickej energie zaradiť do energetických tried A (najúspornejšia) až G (najmenej úsporná).

Iste nemôžeme doma vymeniť hneď a naraz všetky staršie spotrebiče za nové. Je to finančne náročné. Môžeme to však robiť postupne. Pri rozhodovaní, ktorým prístrojom začať, nám môžu pomôcť nasledovné aktivity s prístrojom Energy Check 3000 (EC 3000).

Aktivita:

- Do prvého stĺpca tabuľky napíšte názvy elektrických spotrebičov, ktoré používate doma (počet riadkov prispôbte situácii).



Obr. 2

- Do druhého stĺpca zapíšte príkon spotrebiča. Príkon určte, buď experimentálne prístrojom na meranie príkonu EC 3000, buď zo štítku výrobku, alebo z návodu k prístroju. Údaj zapíšte v kW.

- V treťom stĺpci odhadnite dobu prevádzky (chodu), v hodinách, každého spotrebiča v priebehu jedného týždňa (resp. mesiaca) a zapíšte ju do tabuľky.
- Vypočítajte spotrebu elektriny v kWh za rok pre každý prístroj (stĺpec 4).
- U spotrebičov s režimom stand by určte experimentálne ich príkon v tomto režime. Potom vypočítajte spotrebu energie za rok (stĺpce 5 a 6).
- U prístrojov s režimom stand by porovnajte spotrebu energie počas režimu stand by so spotrebou počas prevádzky pre obdobie jedného roka. Porovnanie vyjadrite v percentách (stĺpec 7).
- V poslednom riadku tabuľky, v stĺpcoch 4 a 6, vypočítajte celkovú spotrebu energie pre príslušný režim. V stĺpci 7 porovnajte tieto dve hodnoty. Porovnanie vyjadrite v %.

1	2	3	4	5	6	7
Elektrický prístroj	Príkon počas prevádzky	Doba používania počas týždňa	Spotreba elektriny za rok	Príkon v režime stand by	Spotreba elektriny za rok stand by	$\frac{E_{sb}}{E_{pp}} \cdot 100$
	P_{pp} (kW)	t (h)	E_{pp} (kWh)	P_{sb} (W)	E_{sb} (kWh)	(%)
			$\sum_{i=1}^n E_{pp} =$		$\sum_{i=1}^n E_{sb} =$	

- U jednotlivých prístrojov vypočítajte, koľko zaplatíte za elektrinu za rok, za režim stand by a za používanie spotrebiča. Cenu energie za jednu kilowathodinu zistíte z faktúry za elektrinu.
- Vypočítajte celkovú sumu, ktorú zaplatíte za elektrinu za obdobie jedného roka pre režim stand by a za používanie všetkých spotrebičov.

- Analyzujte namerané a vypočítané hodnoty z hľadiska spotreby energie a ceny. Na základe analýzy vyslovte svoj názor na energetickú náročnosť vašej domácnosti.
- Na základe aktuálnych katalógov domácich spotrebičov (vypýtajte si ich v obchodoch) a vašich meraní, zhodnoťte vaše domáce spotrebiče z hľadiska úspornosti. Navrhnite harmonogram výmeny starých spotrebičov za nové úsporné.
- Výsledky analýzy meraní a harmonogram výmeny spotrebičov diskutujte v skupinách, s učiteľom a rodičmi.

Aktivita: Šetríte alebo plýtvate?

- Nájsť odpoveď na otázku, či šetríte, alebo plýtvate energiou, vám odhalí vyplnenie nasledovnej tabuľky:

Otázka	ÁNO	NIE
Nechávate svetlá zasvietené, keď odídete z izby?		
Nechávate TV v stave stand-by?		
Napĺňate kanvicu po vrch, keď varíte čaj resp. kávu?		
Častejšie sa kúpete ako sprchujete?		
Robíte krátke výlety autom častejšie ako peši alebo na bicykli		

- Ak označíte niekde áno, potom plýtvate energiou!

Poznámka:

- O vyplnenie tabuľky požiadajte členov rodiny. O výsledku ankety ich informujete.
- Tabuľky vytvorte v tabuľkovom kalkulátore napr. MS Excell.

Aktivita: Určenie účinnosti spotrebiča pri varení čaju

Pomôcky: Elektrická kanvica, plynový šporák, niekoľko hrncov rôzneho tvaru, voda, teplomer (najlepšie digitálny s presnosťou 0,1 °C, napr. DET1R), EC 3000, stopky.

Teória: Domáce elektrické spotrebiče premieňajú elektrickú energiu, ktorá do nich vstupuje na iné formy energie, ktoré z neho vystupujú, resp. prístroj koná prácu. Charakteristickým znakom domácich spotrebičov je,

že pracujú s určitou účinnosťou η . Účinnosť udáva, aká časť energie vchádzajúcej do spotrebiča (Q_{in}) sa premení na požadovanú formu energie (Q_{out}), resp. prácu, ktorú chceme. Ostatná energia sa premení na inú, v danom momente nežiadúce formy energie. Táto energia sa stráca bez využitia.

Účinnosť η sa definuje vzťahom

$$\eta = \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}, \text{ alebo } \eta = \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \cdot 100 \%. \quad (1), (2)$$

Účinnosť η vypočítaná podľa vzťahu (1) je vždy menšia ako číslo jedna, keďže $Q_{\text{in}} > Q_{\text{out}}$. Účinnosť vypočítaná podľa (2) sa udáva v percentách a je menšia ako 100 %.

Jedným zo spotrebičov s relatívne vysokou účinnosťou je varná kanvica. Účinnosť kanvice vypočítame podľa vzťahu (1) alebo (2), pričom:

- Za Q_{in} dosadíme veľkosť energie, ktorú prístroj spotreboval počas privedenia vody do varu. Túto energiu určíme pomocou vzťahu

$$Q_{\text{in}} = P\tau, \quad (3)$$

kde P je príkon kanvice a τ je doba zohrievania. Prístroj EC 3000 priamo odmeria Q_{in} .

- Za Q_{out} dosadíme veľkosť energie, ktorú potrebujeme dodať vode na jej privedenie do varu. Túto energiu vypočítame podľa vzťahu známeho z termodynamiky

$$Q_{\text{out}} = mc\Delta t = mc(t_2 - t_1), \quad (4)$$

kde m je hmotnosť vody v kanvici, c je merné teplo vody (hmotnostná tepelná kapacita), t_1 je začiatková teplota a t_2 – teplota varu vody.

Účinnosť kanvice η pri uvedení vody do varu vypočítame zo vzťahu, ktorý dostaneme dosadením vzťahov (3) a (4) do (1), resp. (2):

$$\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{P\tau}, \text{ resp. } \frac{mc(t_2 - t_1)}{Q_{\text{in}}} \quad (5), (6)$$

(Vzťah (6) použijeme, ak máme k dispozícii prístroj EC3000).

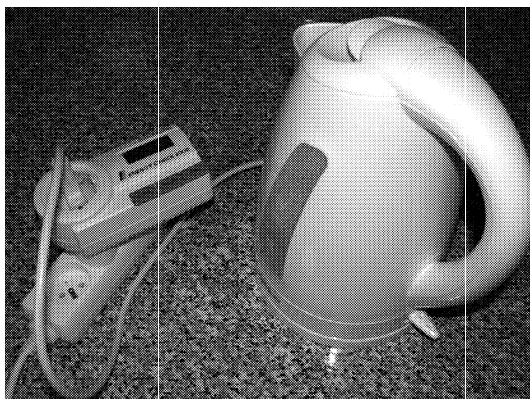
Pri varení čaju na plynovom sporáku vypočítame Q_{in} podľa vzťahu

$$Q_{\text{in}} = VP(V_2 - V_1), \quad (7)$$

kde VP je výhrevnosť zemného plynu, V_1 a V_2 sú údaje z merača spotreby plynu v m^3 pred meraním a po experimente. Výhrevnosť zemného plynu suchého je $31\,000 - 38\,000 \text{ kJ/m}^3$. Počítajte so strednou hodnotou $34\,500 \text{ kJ/m}^3$.

Realizácia experimentu: Účinnosť varenia čaju realizujeme v dvoch krokoch:

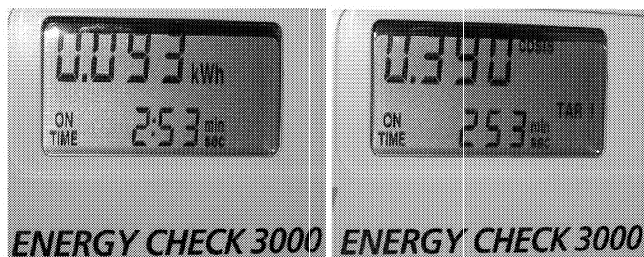
- pomocou elektrickej kanvice (obr. 3),
- pomocou plynového sporáku.



Obr. 3

Krok 1: Varenie čaju pomocou kanvice

Príprava prístroja EC 3000 pre meranie: (**Upozornenie:** Pri týchto experimentoch dodržiajte pravidlá bezpečnosti pri práci s elektrickými zariadeniami). Zapojte prístroj do zásuvky na napätie 230 V. Po jeho zapojení sa rozsvieti display a tlačidlá sa stanú aktívnymi. Pomocou tlačidiel zadajte do registra prístroja aktuálnu cenu elektrickej energie za 1 kWh. Takto pripravený prístroj vám po zapnutí spotrebiča pripojeného na sieťové napätie, cez EC 3000, ukáže priamo veľkosť spotreby elektrickej energie v kWh a náklady za spotrebovanú elektrinu v SKK (obr. 4 – vľavo spotreba energie, vpravo náklady). Pred každým meraním vynulujte obsah pamäte, postup v návode k prístroju.



Obr. 4

Meranie účinnosti: Do kanvice nalejte také množstvo vody, aby ste mohli do nej ponoriť teplomer a pohodlne odčítat teplotu vody. Kanvicu pripojte na sieťové napätie 230 V pomocou prístroja Energy Check 3000. Pred zapnutím kanvice zmerajte teplotu vody t_1 . Potom zapnite kanvicu. Keď voda v kanvici začne vriť, zmerajte teplotu varu vody t_2 . Z prístroja EC 3000 odčítajte spotrebovanú energiu a cenu. Údaje zapíšte na prázdne miesto:

Merná tepelná kapacita vody:	$c = \dots\dots\dots$
Hmotnosť vody (1 l = 1 kg):	$m = \dots\dots\dots$
Začiatočná teplota vody:	$t_1 = \dots\dots\dots$
Teplota varu vody:	$t_2 = \dots\dots\dots$
Spotrebovaná energia:	$Q_{\text{in}} = \dots\dots\dots$
Náklady za elektrinu:	Cena = $\dots\dots\dots$

Účinnosť varenia čaju vypočítajte podľa vzťahu:

$$\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{Q_{\text{in}}} =$$

Krok 2: Varenie čaju pomocou plynového sporáku

Môžete použiť to isté množstvo vody. Vodu nalejte do hrnca. Zmerajte teplotu vody t_1 . Odčítajte údaj z plynomera V_1 . Zapáľte plyn. Hrnec postavte na sporák. Keď voda začne vriť, zmerajte teplotu varu vody t_2

a potom vypnite plyn. Odčítajte údaj z plynomera V_2 . Cenu za m^3 plynu určte z faktúry za plyn. Údaje zapíšte na prázdne miesto:

Merná tepelná kapacita vody:	$c = \dots\dots\dots$
Hmotnosť vody:	$m = \dots\dots\dots$
Výhrevnosť plynu:	$VP = \dots\dots\dots$
Počiatková teplota vody:	$t_1 = \dots\dots\dots$
Počiatkový stav plynomeru:	$V_1 = \dots\dots\dots$
Teplota varu vody:	$t_2 = \dots\dots\dots$
Konečný stav plynomeru:	$V_2 = \dots\dots\dots$

Spotrebovaná energia: $Q_{\text{in}} = VP(V_2 - V_1) = \dots\dots\dots$

Cena za plyn: $\text{Cena} = \dots\dots\dots$

Účinnosť varenia čaju vypočítajte podľa vzťahu: $\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{Q_{\text{in}}}$

Záver

Práca na úlohách prispeje k rozvoju experimentálnych zručností a myslenia žiaka. Práca s dotazníkom prispeje k rozvoju komunikačných schopností.

Poznámka:

Informácie o prístroji a samotný prístroj EC 3000 možno získať na adrese www.conrad.sk. Podobný prístroj vám zapožičajú VSE (Východoslovenské elektrárne) na určitú dobu.

Literatúra

- [1] Návod k prístroju Energy Check 3000, Voltcraft, Conrad Bratislava 2006.
- [2] Degro, J.: Environmentálne vzdelávanie vo vyučovaní fyziky, PF UPJŠ, Košice 2006.
- [3] Kolektív: Matematické, fyzikálne, chemické tabuľky, SPN, Bratislava 1974.
- [4] Stavíme a bývame s Filipom. Energetické centrum, Bratislava 2004.
- [5] David Glover, Jean Martin: Physics, Cambridge 2006.
- [6] <http://www.e-filip.sk>