

Proč vyučovat astrofyziku na gymnáziích?

VLADIMÍR ŠTEGL

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Tuto otázku si kladou profesori fyziky na gymnáziích při přípravě nových ŠVP. Nacházejí se v rozporuplné situaci, neboť restrinkce dotace počtu vyučovacích hodin fyziky podle RVPG [1] je nutí k úvahám o minimalizaci učiva fyziky respektive astrofyziky. Na druhé straně studenti projevují zájem o astrofyzikální problematiku, neboť s novými informacemi z této zajímavé vědy se setkávají velmi často v hromadných sdělovacích prostředcích, v denním tisku, v časopisech a popularizačních knihách, na internetu. V hlavách studentů vznikají dotazy: *Co jsou to černé díry a jak se přesvědčujeme o jejich existenci? Lze pozorovat vznik hvězd? Jaké jsou metody zjišťování přítomnosti planet kolem hvězd?* U přemýšlivějších studentů se následně vynořují otázky: *Můžeme určovat vzdálenosti kosmických těles? Používáme při jejich výzkumu stejné zákony jako na Zemi?*

Shrnuto, studenti cítí vnitřní potřebu si získané informace ověřit, ujasnit, utřídit a diskutovat o nich. Ne vždy jsou uváděné informace, jakož i jejich interpretace v sdělovacích prostředcích správné. Je proto na profesoru fyziky, aby ve výuce prováděl jejich korekci a případně odstraňoval nevěrohodné a nesprávné představy (misconceptions).

To je plně v souladu s [1], kde v charakteristice vzdělávací oblasti **Člověk a příroda** se uvádí: „*Gymnaziální přírodovědné vzdělávání musí vytvářet prostředí pro svobodnou diskusi o problémech i pro ověřování objektivitu a pravdivosti získaných nebo předložených přírodovědných informací.*“

Studenti oprávněně očekávají, že jim bude podán výklad nové informace v širších souvislostech. Při jejím objasňování je vede profesor k fyzikálně správnému popisu diskutovaného poznatku, což je již v posledních ročnících gymnázia nutné. Tento proces je spojen se zaváděním respektive upřesňováním významu nových astrofyzikálních pojmů. *Přesné vyjadřování je podmínkou k dalšímu kroku – myšlení.* Obojí budou studenti u maturity i v životě potřebovat. Souběžně s tím je třeba nové poznatky uspořádávat do systému, tedy vytvářet *ucelené astrofyzikální vědomostní*

struktury. Jejich vybudování je zásadní, neboť převážná většina studentů nepůjde dále studovat fyziku či astrofyziku. Celý další občanský život tak budou vycházet z astrofyzikálních znalostí, které získali v gymnaziální výuce. Pojetí vzdělávání v [1] oprávněně předpokládá vybavení studentů „*klíčovými kompetencemi a všeobecným rozhledem na úrovni středoškolsky vzdělaného člověka.*“

K výše naznačeným cílům sloužil astrofyzikální tematický celek, zařazený tradičně do závěru středoškolské fyzikální výuky u nás i v dalších evropských státech. V nich je zpravidla v středoškolské výuce **astrofyzika chápána jako věda, která popisuje a objasňuje především současné poznatky o fyzikálních a chemických vlastnostech kosmických těles a jejich stavbě**. To vyplývá z porovnání učebnic, v kterých tempo zařazování nových poznatků do obsahu se neustále zrychluje, v současné době činí zhruba 5 roků. Důvodem jsou především výše zmínované souvislosti.

Modernímu zaměření odpovídá obsahová struktura astrofyzikálních učebnic, ve kterých je největší prostor vymezován na nejrychleji se vyvíjející oblasti astrofyziky, zabývající se především hvězdami a galaxiemi. V gymnaziální astrofyzikální učebnici [2] tento moderní trend zachycen není. Při detailnějším pohledu zjistíme, že v učebnici chybí profilující astrofyzikální témata, např. metody určování charakteristik hvězd, fyzikální podmínky v nitru hvězd, zdroje energie hvězd, vývoj hvězd a galaxií.

Proč mají být hvězdy ústředním tématem? Ve hvězdách probíhá základních chemická evoluce hmoty ve vesmíru, v nich vznikly prvky, ze kterých je složena Země, vzduch i lidské tělo. Hvězda Slunce je důležitým zdrojem energie lidstva. Přestože obecné principy stavby a vývoje hvězd jsou již známy, hvězdy stále poskytují mnoho námětů pro výzkum, jde např. o problematiku jejich vzniku a závěrečných stadií vývoje, explozivní procesy – novy, supernovy, konvekce v nitrech, hvězdný vítr.

V učebnici [2] je naopak velmi detailně probírána pouze tematický celek **Sluneční soustava**. Učivo o Zemi a sluneční soustavě je však jen v podstatě opakujícím a místy prohlubujícím shrnutím znalostí, které jsou již studentům známy z předcházející výuky zeměpisu a fyziky. Drahocenný čas v posledních ročnících gymnázia je účelnější věnovat vlastní astrofyzice v tematickém celku **Hvězdy a Galaxie**, který však vyžaduje prohloubení astrofyzikálního výkladového textu učebnice.

Při omezených časových možnostech pochopitelně nemůže být cílem výuky informovat studenty o všech nových astrofyzikálních poznatcích, ale

pouze na *vybraných příkladech demonstrovat fyzikální podstatu kosmických těles a jevů s nimi spojených. Tedy přesvědčit studenty, že fyzikální zákony platí jak ve třídě, tak i na nejvzdálenějších hvězdách, galaxiích a v celém vesmíru.*

Nejde o triviální kvalitativní přesvědčování studentů o platnosti zákonů na základě jejich pocitů, což můžeme realizovat pouze na Zemi, ale o abstraktnější přesvědčování podložené matematickým dosazováním do fyzikálních zákonů. O existenci černých děr v jádrech galaxií astrofyzika dnes nepochybuje, přestože důkazy jsou nepřímé. Observačně získané údaje o pohybech hvězd kolem jader galaxií umožňují stanovit hmotnost centrálního objektu, jehož značná velikost dotvrzuje, že jde o černou díru. Obdobně jsme dosud přímo nepozorovali některé elementární částice, výpočty jaderných reakcí vycházející ze zákonů zachování v nich platících, však dokazují jejich existenci. V posledních ročnících gymnázia jsou již studenti připraveni psychicky, vyzbrojeni matematicky a fyzikálně k pochopení takových důkazů.

Koncepce výkladu astrofyziky se musí opírat o matematicko-fyzikální postupy, neboť jde exaktní vědu, nikoliv disciplínou jevy pouze popisující. Trvalejší kompetence si studenti osvojují právě překonáváním obtíží, např. spojených s matematickými postupy. Jen tak se u nich dostavuje oprávněný psychologický pocit uspokojení. Vyžadovaná znalost např. řešení rovnic o jedné neznámé není pro průměrné studenty přemrštěným požadavkem. Tím lze významně přispívat k naplnění cílového zaměření vzdělávací oblasti **Člověk a příroda**, kde se mimo jiných uvádí požadavek vést studenty „*k používání adekvátních matematických a grafických prostředků.*“

Astrofyzika je v učivu součástí fyziky. Velmi důležité proto bude pojetí vzdělávacího oboru fyzika, jehož obecnou charakteristiku podal *Maršák* v [3], kde uvádí ... „vzdělávací obor se soustředil na klíčové fyzikální pojmy (látk a těleso a jejich částicová stavba, pohyb, čas, hmotnost, fyzikální pole, síla, energie ...).“ Právě při chápání a rozvíjení těchto klíčových pojmů má nezastupitelné místo astrofyzika, neboť jako vědní obor se zabývá studiem hmoty ve vesmíru v extrémních podmínkách, nenapodobitelných v pozemských laboratořích. Při výuce astrofyziky tak dochází u studentů k prohlubování fyzikálních představ, neboť se setkávají s intervalem velikostí v rozsahu 10^{-15} m (atomová jádra) až 10^{23} m (průměr Místní soustavy galaxií), s hmotností 10^{-35} kg (horní mez klidové hmotnosti neutrin) až 10^{43} kg (hmotnost Místní soustavy galaxií), hustot

$10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (mezigalaktické prostředí) až $10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (centrální hustota neutronových hvězd), teplot 2,7 K (současná teplota reliktního záření) až 10^{10} K (centrální teplota v nitru hvězd v závěrečných stádiích vývoje), energií 10^{-24} J (energie fotonu o $\lambda = 0,21 \text{ m}$) až 10^{43} J (energie vyzářená supernovou v průběhu exploze), zářivých výkonů 10^{-3} W (prachové zrno v mezihvězdném prostoru při teplotě 20 K) až 10^{40} W (průměrné zářivé výkony kvasarů).

V předcházejícím textu jsem se snažil prokázat užitečnost astrofyziky a zdůvodnit, proč má mít pevné místo v gymnaziální fyzice jak v RVPG, tak i v ŠVP. Navrhuji zařazení vzdělávací astrofyzikální oblasti do ŠVP s očekávanými výstupy a vymezeným učivem, podle označení v [4].

Výstup

popisuje spektrální analýzu, metodu stanovení fyzikálních a chemických vlastností těles, vševlnový charakter pozorování, objasňuje rozdílnost snímků získaných na různých vlnových délkách

charakterizuje projevy aktivity Slunce, vysvětluje příčinu vzniku slunečních skvrn

popíše základní charakteristiky hvězd

stanoví vzdálenosti hvězd z roční paralaxy

určí hmotnosti hvězd

aplikuje Wienův posunovací zákon, stanoví teplotu hvězd

interpretuje obsah stavového diagramu hvězd

objasní termonukleární reakce a uvolňování energie při nich

správně popisuje rozpínání vesmíru

Učivo

vzařované energie jsou různých hodnot, proto se liší růzností kmitočtů, vlnových délek

sluneční skvrny, erupce, protuberance

rozsahové intervaly hmotností, poloměrů, zářivých výkonů

roční paralaktický posuv, paralaxa, vzdálenosti hvězd

fyzické dvojhvězdy, III. Keplerův zákon v přesném tvaru

záření hvězd, teplota hvězd

souvislost zářivého výkonu, teploty a poloměru, H – R diagram

fyzikální podmínky v nitru hvězd, termojaderné reakce, úbytek hmotnosti $\Delta E = \Delta mc^2$

expanze prostoru, Hubbleův zákon

Takto formované výstupy i učivo odpovídají v podstatě materiálům uvedeným v [5], [6].

Oporou ve výuce a naplňování ŠVP by měla být učebnice, neboť ta v současnosti určuje hloubku a úroveň zpracování výkladu. Měla by také poskytovat možnost pro aktivní činnost studentů v duchu hesla „špatná učebnice studentům pravdu sděluje, dobrá ji učí nalézat“.

Není příliš pedagogicky účinné a pro studenty přitažlivé o dosažených astrofyzikálních výsledcích pouze informovat. Příkladně klíčové astrofyzikální téma, stavový diagram hvězd (**H – R diagram**), nelze interpretovat jako sdělení hotového faktu, nezáživný výsledek statistického výzkumu závislosti vnějších charakteristik hvězd, kterému je třeba se naučit zpaměti. K zabránění takovému nežádoucímu paměťovému biflování je vhodné stavovou interpretaci diagramu procvičovat v různých souvislostech a v zjednodušené modelové formě ukázat, jak se sestavuje.

Lze využít ověřených zahraničních zkušeností. Například tak, že studenti ze zadaných vnějších charakteristik sami sestaví diagram pro vybrané skupiny hvězd, pro nejjasnější na obloze respektive pro hvězdy do vzdálenosti 5 pc od nás. Nezbytné údaje najdou v tabulkách [7]. Takto získané diagramy porovnají a učiní závěr o výběrových efektech promítajících se do sestavování H – R diagramu. Další možností je konstruování H – R diagramu pro pozorovatelné jasné hvězdy v určité roční době, např. v zimě můžeme využít hvězdy zimního šestiúhelníku (Capella, Aldebaran, Rigel, Sirius, Procyon, Pollux), obsahující různé spektrální třídy. Právě takové samostatné práce jsou pro studenty přitažlivé a motivující, přičemž nejsou nijak časově náročné.

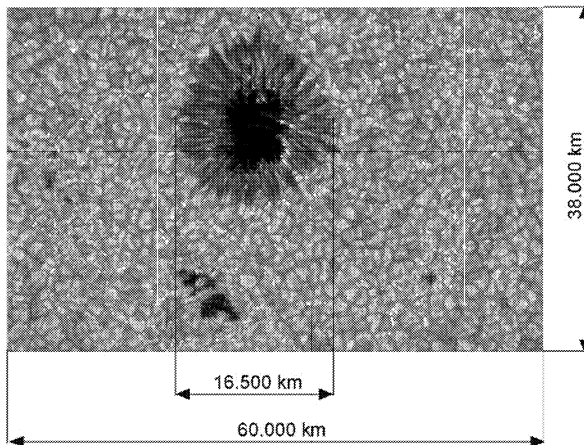
Výklad spojitého spektra hvězd v učebnici je možné doplnit přímým uvedením Wienova posunovacího zákona $\lambda_{\max} T = b$. Zabarvení hvězd je určeno vlnovou délkou světla s největší intenzitou. Na obr. B1 (viz barevnou přílohu na zadní straně obálky) jakož i na obloze lze pozorovat odlišnost zbarvení načervenalého veleobra Betelgeuze a modrobílého Rigela.

Podle RVPG [1] je třeba vést studenty „k využívání prostředků moderních technologií v průběhu přírodovědné poznávací činnosti.“ Takovou možností je v astrofyzice využívání snímků kosmických objektů a jevů v různých spektrálních oborech. Příkladně v tématu **Slunce a jeho aktivita** máme dispozici snímky v různých spektrálních oborech v stejném časovém okamžiku (obr. B2 na zadní straně obálky). Zachycují odlišné atmosférické vrstvy Slunce a jevy v nich.

Na rentgenovém snímku B2a pozorujeme mohutné **chromosférické erupce**, jasné aktivní oblasti se zvýšenou teplotou, zpravidla nad velkými skupinami skvrn. Jde o tzv. koronální kondenzace, formované magnetickými poli nad aktivními oblastmi, magnetické silotrubic jsou naplněny horkou plazmou. Vznikají hlavně v koróně při změně rychlosti pohybu volných elektronů průletem kolem nabitých jader.

Rentgenové záření Slunce bylo pro astrofyziky neočekávané, neboť objekty vyzařující v tomto oboru se vyznačují teplotami mnohem vyššími $\approx 3 \cdot (10^5 - 10^8)$ K než je teplota povrchu Slunce 5 800 K. V rentgenovém oboru září vnější vrstva atmosféry Slunce – koróna o teplotě zhruba $2 \cdot 10^6$ K. Při klidném Slunci jeho rentgenový výkon dosahuje asi 10^{20} W, zvýšením aktivity výkon naroste až o tři řády.

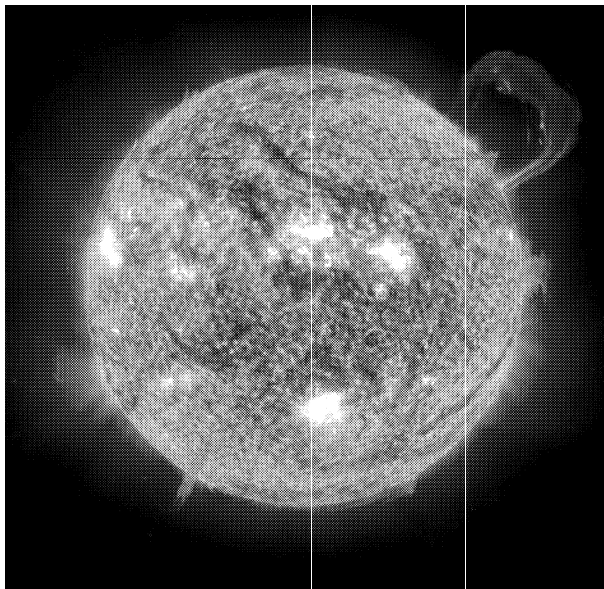
Snímek v ultrafialové oblasti (obr. B2b) ukazuje hlubší vrstvy sluneční atmosféry. Ve viditelném oboru (obr. B2c), lze sledovat sluneční skvrny (obr. 1), oblasti se sníženou teplotou až o 1 500 K.



Obr. 1

Silná magnetická pole v místech slunečních skvrn omezují přenos tepla z nitra konvektivními proudy. Rovněž je pozorovatelná granulace (zrnění) povrchu, jednotlivé světlé oblasti mají velikost zhruba (500 – 1 000) km. Reprezentují vrcholy výstupných konvektivní proudů z nitra Slunce. Jejich teplota, oproti tmavému prostoru mezi nimi, je vyšší o několik set stupňů.

Snímky B2d v blízkém a B2e ve vzdáleném infračerveném oboru ukazují velké tmavé oblasti chladného a hustého plazmatu, kde je infračervené záření absorbováno. V rádiovém oboru (obr. B2f) pozorujeme střední vrstvy sluneční atmosféry, v nich např. chromosférické **erupce** (obr. 2).



Obr. 2

Studenti rovněž mohou porovnat shodné a rozdílné detaily snímků Slunce ve stejném čase v různých spektrálních oborech.

Snímek v ultrafialovém oboru na $\lambda = 30,4$ nm zachycuje na pravém horním okraji protuberanci. Vystupuje ze spodní koróny, která se vyznačuje hustotou zhruba 10^{14} částic v m^3 a teplotou 10^6 K. Protuberance jsou relativně chladná a hustá mračna plazmy o teplotě přibližně 10^4 K s hustotou ($10^{16} - 10^{18}$) částic v m^3 . Nad slunečním diskem vystupuje plazma protuberancí podél siločar magnetického pole až do výšek řádově ($10^4 - 10^5$) km. Horké oblasti jsou na snímku více světlejší.

Pro pochopení rozložení vyzářené energie v různých spektrálních oborech v případě klidného Slunce slouží tabulka, poslední sloupec udává procenta energie :

rádiové záření	$\lambda > 2\mu\text{m}$	6 %
infračervené záření	$\lambda (0,78 - -2)\mu\text{m}$	38 %
viditelné záření	$\lambda (0,78 - -0,38)\mu\text{m}$	49 %
ultrafialové záření	$\lambda (0,38 - -0,10)\mu\text{m}$	7 %
rentgenové záření	$\lambda < 0,10\mu\text{m}$	0,01 %.

Podrobněji jsou obecné postupy výkladu při využití snímků objektů (planet, hvězd, galaxií) z různých spektrálních oborů shrnovány v [8].

Věřím, že výuka jedné z profilujících věd 21. století – astrofyziky zůstane na gymnáziích zachována, patří k nejvíce oblíbeným tématům gymnaziální fyziky. Studenti se jí učí s chutí, proto je třeba jejich zájem podporovat a usměrňovat. Vedle naplňování vzdělávacích cílů může být výuka zdrojem estetických prožitků při sledování snímků různých kosmických objektů. Výrazné motivační podněty obsahuje výklad aktuálních astronomických jevů či astrofyzikálních problémových úloh [9], [10]. To vše nepochybně pomůže při podpoře rozvoje základních kompetencí k učení a k řešení problémů. Vyspělá Evropa, kam naše republika směřuje, si velmi jasně uvědomuje, že astrofyzikální poznatky patří do trvalé pokladnice lidské vzdělanosti a kultury.

Články, které by podrobněji ozřejmily navrhované výstupy a učivo z gymnaziální astrofyziky, bude jistě možné v časopise MFI publikovat.

L i t e r a t u r a

- [1] Rámcový vzdělávací plán pro gymnázia. VÚP, Praha 2006.
http://www.vuppraha.cz/download.php?F=RVPG_9_10_2006.pdf
- [2] *Macháček, M.*: Astrofyzika. Prometheus, Praha 2004.
- [3] *Maršák, J.*: Ke koncepci vzdělávacího oboru Fyzika v RVP ZV.
<http://www.rvp.cz/clanek/232/39>
- [4] <http://www.jaroska.cz/category.php?ID=40>
- [5] *Volf, I.*: Cíle výuky fyziky na gymnáziu. Školská fyzika, roč. 4, (1996/1997), č. 3, s. 23 – 27.
- [6] *Mechlová, E., Široká, M.*: Vzdělávací standardy z fyziky pro střední školy s maturitou. Matematika – fyzika – informatika, roč. 3, (1993 – 1994). Příloha časopisu.
- [7] *Mikulčák, J. a.j.*: Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce. Prometheus, Praha 2003.
- [8] *Domanski, J., Štefl, V.*: Wszechswiat na różnych dlugosciach fal. Urania – POSTEPY ASTRONOMII, vol. 76, (2005), no. 6, p. 226 – 230.
- [9] *Štefl, V., Domanski, J.*: Bogini pro przejsciach. Fyzyka w Szkole, vol. 50, (2004), no. 4, s. 213 – 234.

- [10] *Štefl, V., Domanski, J.:* Wykorzystanie zadań problemowych w nauczaniu astrofizyki v školach srednich. *Fizyka w Szkole*, vol. 37, (1991), no. 4, s. 247 – 249.