

ASTRONOMIE: OD ZNAMÉHO K NEPŘEDSTAVITELNÉMU

Ota Kéhar

Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Abstrakt: *Astronomie zkoumá vesmírná tělesa a zabývá se jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Sleduje vzájemné působení vesmírných těles, jejich vznik, vývoj a zánik. Při různých astronomických akcích, ať se jedná o popularizaci nebo samotnou výuku ve škole, narážíme na situace, kdy je nutné účastníkům přiblížit některé složitě představitelné hodnoty. Volbou správných metod dosáhneme zvolených vzdělávacích cílů, např. při tvorbě základních představ o velikostech kosmických těles různých typů (planeta, hvězda, sluneční soustava, galaxie, vesmír) a prostorových vzdálenostech mezi nimi. V příspěvku se zaměřím na několik příkladů, kde použitím srovnávací metody ilustruji základní představy žáků.*

Klíčové slová: představivost, astronomie, sluneční soustava, planety, Slunce

Úvod

Astronomie se zabývá vesmírnými tělesy a jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi, sleduje jejich vzájemné působení. Zkoumá vznik, vývoj a zánik vesmírných těles. I když lidé pozorují oblohu a vesmírná tělesa od počátku své existence, představy o vesmíru se neustále mění. Při pohledu na hvězdnou oblohu se nám hvězdy, ale i planety jeví jako svítící body, které se od sebe liší barvou a jasností. Když si přečteme astronomický článek, může nás překvapit množství podrobností. Odkud to astronomové vědí? Jsou to pouze dohady, nebo je za tím množství měření a výpočtů?

Volba metod výuky astronomického učiva nám dovoluje dosáhnout vytyčených vzdělávacích cílů se stanoveným obsahem učiva. Tvorba základních představ o velikostech vesmírných těles různých typů (planeta, hvězda, sluneční soustava, galaxie, vesmír) a prostorových vzdálenostech mezi nimi patří bezesporu k nejobtížnějším vzdělávacím cílům výuky astronomických poznatků. Je možné použít srovnávací metodu, kdy různá číselná, obrazová a modelová srovnání ulehčují žákům pochopení rozmanitosti rozměrů a hmotností vesmírných těles (planety kamenné a plynné, trpasličí planety, planetky, komety atd.) ve sluneční soustavě, rozměrů hvězd v jednotlivých stádiích jejich vývoje (hvězdy hlavní posloupnosti, obří, závěrečná stádia – bílý trpaslík, neutronová hvězda, černá díra). K snadnému pochopení prostorových měřítek ve vesmíru jsou vhodná srovnání vzdáleností kosmických těles, např. Země–Měsíc, Země–Slunce, Slunce–nejbližší hvězdy apod. Hojně používané je srovnání poloměru a hmotnosti Země s ostatními planetami, poloměru a hmotnosti Slunce s různými typy hvězd, naší Galaxie s jinými galaxiemi. Mezi další možnosti patří srovnání s něčím, co si žáci dovedou snadno představit – např. asterismus Velký vůz či kotouček Měsíce (je pro představu vhodnější, i když lze samozřejmě použít i Slunce, které má srovnatelný zdánlivý průměr) na obloze.

Představivost a srovnání na obloze

Jestliže během vystoupení hovořím o počátcích hledání planetek, používám příměr s velikostí známého seskupení sedmi jasných hvězd, které známe na obloze pod označením Velký vůz. V druhé polovině září 1799 se sešlo šest známých astronomů, rozdělili si oblast zvětrníku na 24 částí po 15°. Zhruba v oblasti 7° až 8° na sever a na jih od ekliptiky se snažili najít objekt mezi Marsem a Jupiterem. Aktéři této kampaně se pojmenovali „Nebeská policie“ („Himmelspolizei“). Kdybychom vzali v úvahu pouze jednu část, dostaneme oblast o rozměrech 8° krát 15°. Pro lepší představu o velikosti této oblasti lze použít právě srovnání s Velkým vozem. Je možné použít i naše tělo, pokud předpažíme ruku před sebe, 3 prsty představují na obloze 5°, pěst znamená 10° a roztažený palec a malíček jedné ruky dokonce 25°.

Další možností je použít kotouček Měsíce, který si na obloze jistě dokáže představit téměř každý, už jen z toho důvodu, že lze velmi snadno pozorovat i na přesvětlené obloze ve městě. Zdánlivý průměr měsíčního kotoučku je zhruba $0,5^\circ = 30$ úhlových minut, i když úhlový rozměr Měsíce na obloze vlivem eliptické dráhy kolem Země kolísá mezi 29 a 34 úhlovými minutami. Jestliže tedy u nějakého nebeského objektu uvedu jeho úhlové rozměry (např. velká galaxie v Andromedě známá pod označením M31 v Messierově katalogu má rozměry 3,2° krát 1°), je výhodné je srovnat právě s Měsícem. Zrovna známá spirální galaxie v Andromedě zaujímá na obloze plochu 2 krát 6 měsíčních průměrů. Na obloze ji ovšem pouhýma očima vidíme jen jako velmi slabý mlhavý obláček. Podobných příkladů je celá řada – galaxie v Trojúhelníku M33, mlhovina v Orionu

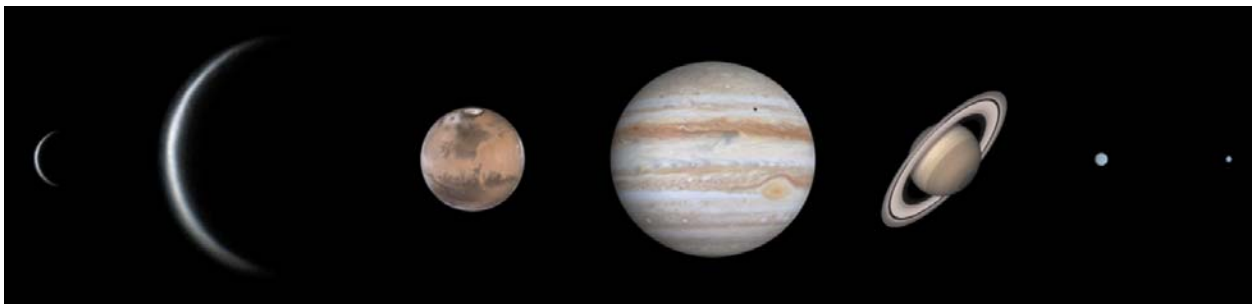
M42, mlhovina Laguna ve Střelci M8, galaxie Větrník ve Velké medvědici M101, zbytek po supernově SN1006, mlhovina Řasy v Labuti, planetární mlhovina Helix ve Vodnáři nebo galaxie Sombrero v Panně M104. Obrázek, na kterém jsou výše uvedené objekty v měřítku, je k dispozici na adrese stargazerslounge.com/topic/208533-comparing-the-size-of-deep-sky-objects/.

Planety, hvězdy a další objekty

V rámcovém vzdělávacím programu pro základní vzdělávání nalezneme v části fyzika ve vzdělávací oblasti vesmír následující očekávaný výstup: „žák odliší hvězdu od planety na základě jejich vlastností“. Rozdíl mezi planetami a hvězdami je mnoho. Zaměřím se pouze na jeden, na chování hvězd a planet na obloze při jejich pozorování. Planety se na obloze prozradí zejména tím, že svítí na rozdíl od hvězd poměrně klidným světlem, protože představují plošný zdroj světla. Zatímco od velmi vzdálených hvězd přichází světlo jen ve velmi úzkém svazku, který snadno podlehne změnám v zemské atmosféře a odchýlí se od svého směru (scintiluje), u planet jednotlivé svazky probíhávají v různých okamžicích nezávisle na sobě. Proto planety svítí většinou klidným světlem. Vliv zemské atmosféry na světlo ze hvězd lze ukázat i ve třídě. Stačí zpětný projektor (nebo jiný podobný zdroj světla), deska s malým otvorem, kádinka s vodou a lžička. Pokud umístíme desku s otvorem na zpětný projektor, uvidíme na zdi obraz hvězdy. I když na desku položíme kádinku s vodou, obraz hvězdy se prakticky nezmění. Ke změně dojde v okamžiku, kdy lžičkou vodu zamícháme. Video s tímto pokusem lze najít na adrese youtu.be/DuSd2N2795c.

Velikosti planet

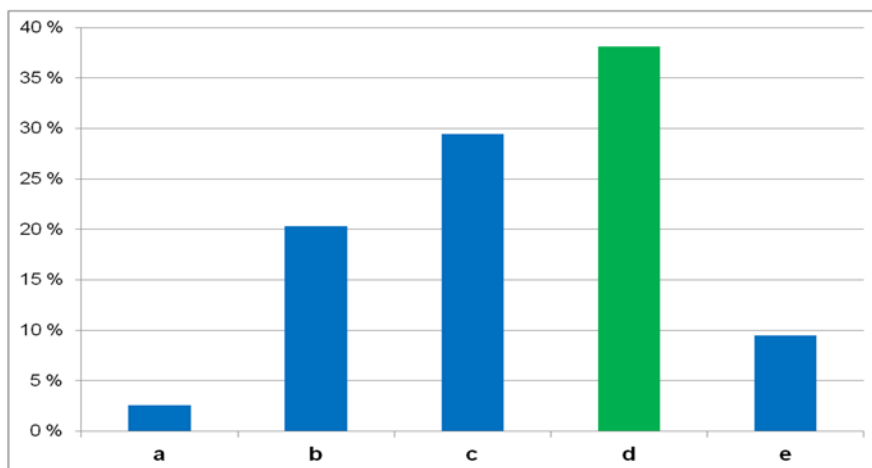
S velikostmi planet sluneční soustavy v měřítku to může být složité, pokud chceme dodržet jedno měřítko pro kamenné a plynné planety. Shodné měřítko pro velikost planet je použito např. na stránce astronomia.zcu.cz/planety/. První pohled na planety na obr. 1 může vzbudit jisté podezření, že něco není v pořádku, protože největší je zde Venuše, následovaná Jupiterem, Saturnem, Marsem, Merkurem, Uranem a Neptunem. Měřítko je ovšem v pořádku a takto se nám budou jevit planety sluneční soustavy na obloze. Největší je skutečně Venuše, která dosahuje až 66 úhlových vteřin, Jupiter dosahuje max. 50 úhlových vteřin a třetí v pořadí Mars jen 25 úhlových vteřin. Toto je také důvod, proč planety na obloze vidíme pouhýma očima jen jako bod. Rozlišovací schopnost lidského oka je totiž jen jedna úhlová minuta.



Obr. 1: Velikost planet sluneční soustavy ve správném měřítku na obloze

Vzdálenost Země–Měsíc

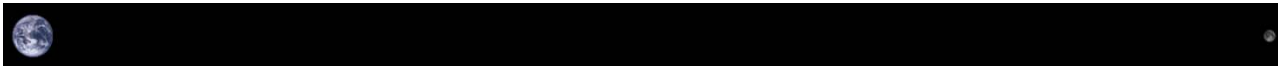
V září a v říjnu 2015, následně v únoru a v dubnu 2016 se uskutečnil průzkum mezi studenty Západočeské univerzity v Plzni. Celkem 274 studentům z různých fakult (Fakulta pedagogická – 34 %, Fakulta ekonomická – 17 %, Fakulta aplikovaných věd – 16 %, Fakulta filozofická – 16 %, Fakulta zdravotnických studií – 8 %, Fakulta strojní – 4 %, Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara – 3 %, Fakulta právnická – 2 % a Fakulta elektrotechnická – 1 %) a různých ročníků (1. ročník – 26 %, 2. ročník – 44 %, 3. ročník – 9 %, 4. ročník – 6 %, 5. ročník – 1 %) byla položena v rámci vědomostního astronomického průzkumu následující otázka: „Představte si, že vytváříte zmenšený model Země a Měsíce. Model Země bude reprezentovat basketbalový míč o průměru 30 cm, model Měsíce bude představovat tenisový míček o průměru 7,5 cm. Jak daleko musíte umístit tenisový míček od povrchu basketbalového míče, abyste zachovali stejné měřítko pro vzdálenost?“ Účastníci měli k dispozici pět možností: a) 10 cm, b) 15 cm, c) 90 cm, d) 9 m a e) 90 m.



Obr. 2: Odpovědi studentů na otázku ohledně zmenšeného modelu Země a Měsíc. Správná odpověď (d) je podbarvena zeleně. Na svislé ose je procentuální zastoupení studentů u jednotlivých odpovědích.

Z výsledku průzkumu (obr. 2) mezi studenty je zřejmé, že je jejich představa o vzdálenostech a rozměrech některých těles ve sluneční soustavě zkreslená. Jak jinak si lze vysvětlit odpovědi a) a b), kdy téměř čtvrtina účastníků by tenisový míček umístila do vzdálenosti 10 cm až 15 cm od basketbalového míče. Účastníci si asi při těchto odpovědích vůbec neuvědomovali, jaký vliv by to mělo na situaci na obloze a hlavně že by se Měsíc nacházel pod Rocheovou mezí. Měsíc má na obloze půl úhlového stupně. Pokud by Měsíc mohl být vzdálen tak, jak tomu odpovídají možnosti a) a b), teoreticky by na obloze zabíral 41° , potažmo 28° . I při nesprávné odpovědi c), kterou uvedla téměř třetina účastníků, tzn. 90 cm, by měl Měsíc na obloze téměř 5° . Tato varianta už je o něco více realistická, protože Měsíc by se již nacházel 4krát dále, než je Rocheova mez pro Zemi. Přitom stačila velmi jednoduchá úvaha: Země má průměr v řádu deset tisíc kilometrů (rovníkový průměr je 12 756 km, zaokrouhleně 13 000 km). Vzdálenost Země–Měsíc je v řádu stovek tisíc kilometrů (střední vzdálenost Měsíce od Země je 384 400 km, zaokrouhleně 400 000 km). Jde tedy o rozdíl jednoho řádu, pokud je model Země v řádu desítek centimetrů, je nutné, aby vzdálenost Měsíce byla u modelu o řád vyšší, tzn. v řádu jednotek metrů. Při přesnějším výpočtu zjistíme, že podíl $400\,000/13\,000 \sim 30$ krát, stejně tak $384\,400/12\,756 \sim 30$ krát. Pokud má model Země 30 cm, třicetinásobek tohoto rozměru je 900 cm.

Mylná představa může být u studentů způsobena nevhodnými obrázky běžně dostupnými na internetu, např. astronomický snímek dne z 15. října 2001 (apod.nasa.gov/apod/ap011015.html), ukázka z programu Celestia (fisica.cab.cnea.gov.ar/estadistica/abramson/celestia/gallery/slides/Earth-Moon.html) nebo ukázka toho, jak by byl Měsíc a Země vidět z Neptunu dne 2. prosince 2003; i když u tohoto popisku je zmínka o tom, že objekty jsou 20krát zvětšené, nicméně text se většinou nečte a obrázek tak zanechá ve čtenáři mylnou představu o vzdálenostech (xplanet.sourceforge.net/Gallery/20031202_earth/).



Obr. 3: Správné měřítko u velikostí a vzdálenosti Země a Měsíce, světlo vzdálenost 384 tisíc km překonává 1,26 sekundy (en.wikipedia.org/wiki/File:Earth-moon-to-scale.svg)

Mezi Zemí a Měsícem je natolik velká mezera, že bychom tam dokázali naskládat všechny planety sluneční soustavy (samozřejmě kromě samotné Země) a ještě by zbyla rezerva v řádu několika tisíc kilometrů (www.universetoday.com/115672/you-could-fit-all-the-planets-between-the-earth-and-the-moon/). Toto je ovšem možné pouze za předpokladu, že bereme v úvahu střední průměry planet (nikoli jejich rovníkové průměry, kterou jsou většinou větší z důvodu zploštění dané rotací planety) a uvažujeme, že vzdálenost 384 tisíc km je mezi povrchem Země a povrchem Měsíce, nikoli jako ve skutečnosti mezi středy obou těles. Kdybychom vzali v úvahu vzdálenost, ve které se Měsíc nachází v odzemí, tj. 405 tisíc km, pak i s přihlédnutím k výše uvedenému (rovníkové průměry planet, započítání poloměru Země a Měsíce) bude mezera činit přes 9 tisíc km, takže bychom mohli mezi každou planetu dát mezuru, kam by se vzdušná vzdálenost mezi Plzní a Košicemi vešla 2krát.

Cestování rychlostí světla

Rychlost světla ve vakuu je necelých 300 tisíc kilometrů za sekundu. Tato rychlost dává přirozený poměr měřítek prostoru a času a je nejvyšší možnou rychlostí šíření signálu či informace. I tak je to rychlost malá v porovnání s tím, jak velký je vesmír. Zkusme si pro začátek představit, že budeme cestovat sluneční soustavou rychlostí světla. Jak bude toto cestování vypadat od Slunce k Jupiteru lze spatřit na videu Riding Light (aswinehart.com/Riding-Light), které začíná pohledem na Slunce a postupným vzdalováním od něj. Postupně navštívíme planety Merkur (v čase 3:14), Venuše (6:01), Země s Měsícem (8:20), Mars (12:40), začátek hlavního pásu planetek (17:30), planety Vesta (19:40), trpasličí planetu Ceres (22:59), planetku Pallas (23:05), planetku Higiea (26:08), konec hlavního pásu planetek (27:03) a nakonec planetu Jupiter a její 4 největší měsíce (43:19). Okolo Saturnu bychom prolétli za dalších 36 minut. U videa je vhodné zmínit tři záležitosti: a) upozornit, že se cestuje rychlostí světla; b) všechny objekty jsou v jedné přímce a c) pokud se vzdalujeme od Slunce, neměly by být objekty osvětleny z jiné strany, ovšem pak by video nebylo tak působivé, protože prolétnutím okolo objektu by přestal být vidět (nacházel by se vůči nám v novu).

Model pásu planetek

Ve sluneční soustavě se mezi Marsem a Jupiterem v hlavním pásu planetek vyskytuje přes 460 tisíc očíslovaných planetek (astronomia.zcu.cz/planety/planetky/2381-analyza-planetek). První kosmickou sondou, která křížovala pásmo planetek, byl Pioneer 10, který do této oblasti vstoupil 16. července 1972 (znali jsme přes 5 tisíc očíslovaných planetek). V té době převládala obava, že úlomky v pásmu mohou představovat velké nebezpečí pro sondu, ale od té doby tudy proletělo devět sond bez nehody. Některé sondy proletěly přes pásmo bez fotografování planetek. Jiné sondy pořídily podle letových možností sond a vzdáleností daných planetek jejich fotografie. Díky malé hustotě materiálu uvnitř pásma je šance, že se sonda s některou planetkou srazí, menší než jedna k miliardě. Představme si, že Slunce je o velikosti pomeranče. Model Země by byla 1 mm modrá tečka ve vzdálenosti 12 metrů od pomeranče. Pás planetek by se nacházel v mezikruží o rozměrech 23 až 46 metrů. Zde by se nacházelo všech 460 tisíc planetek. Vzhledem k tomu, že jejich hmotnost představuje pouhá 4 procenta hmotnosti Měsíce, v našem modelu bychom vzali zrno soli a rozdrtili ho na ploše téměř 5 000 m² (zhruba jako menší fotbalové hřiště).

Záver

Metodu, kdy něco neznámého srovnáme s něčím, co již známe, najdeme již u J. A. Komenského, který vyžadoval přirozenou metodu vzdělávání, odvozenou z poznání a napodobování přírody. Z vlastní zkušenosti mám ověřené, že žákům tato metoda vyhovuje a lépe je to vtáhne do diskuze ohledně možných výsledků. Pokud žák odhadne výsledek, je potom mnohem více zvědavý, jaká je správná odpověď a jak blízky jí on sám byl, případně jak na tom byl v porovnání s dalšími žáky.

Literatúra

DEMING Grace et al. *Astronomy Diagnostic Test (ADT) Version 2.0*. 2000 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z:

<http://solar.physics.montana.edu/aae/adt/>

JERÁBEK, Jaroslav, TUPÝ, Jan (ed.). *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupná z: <http://www.nuv.cz/t/rvp-pro-zakladni-vzdelavani>.

KÉHAR, Ota. *Katalogy astronomických objektů na webových stránkách Astronomie a jejich použití ve školách*. Plzeň, 2014 [cit. 2016-04-30]. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická. Dostupná z:

kof.zcu.cz/st/dis/kehar/disertacni_prace_kehar.pdf.

WILLIAMS, David. *Planetary Fact Sheets* [online]. Greenbelt, 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z:

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>

SWINEHART Alphonse. *Riding Light* [online]. 2015 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://aswinehart.com/Riding-Light>

Adresa autora

PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.

Oddělení fyziky katedry matematiky, fyziky a technické výchovy

Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Klatovská 51, 306 14 Plzeň

kehar@kmt.zcu.cz