

## Komety ve výuce fyziky na středních školách

VLADIMÍR ŠTEFL

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Komety jsou zvláštní kosmická tělesa ze sluneční soustavy, vyznačující se rychlým pohybem po hvězdné obloze a znatelnými změnami vzhledu. I při sledování pouhým okem proto vždy vyvolávaly velkou pozornost. Dostaly do vínku unikátní schopnost z relativně malých jader o rozměrech řádově kilometrů a hmotnostech zhruba  $10^{13}$ – $10^{15}$  kg vytvářet atmosféry a následně ohony, dosahující svou velikostí až  $10^7$  km. Příčinou jejich vzniku je Slunce, které zahřívá jádra komet, kolem nichž vznikají řídké atmosféry – *komy* o poloměrech asi  $10^4$  km. Při pohybu směrem ke Slunci se rozvíjí postupně ohony, s úhlovou velikostí až několik desítek stupňů obloukové míry. Atraktivita a určité záhadnosti popsanych jevů je vhodné využít při výkladu problematiky ve výuce fyziky. Právě ona je klíčem a prostředkem k pochopení pohybu komet, jejich fyzikálních a chemických vlastností jakož i vzniku a orientaci ohonů.

Proč jsou poznatky o kometách důležité? Materiál jejich jader je nejméně přeměněným vzorkem „původní pralátky“, z které vznikla sluneční soustava. Poskytuje tak klíčové informace o chemických a fyzikálních vlastnostech z vnější části sluneční soustavy, kde se za velmi nízkých teplot před 4,6 miliardami let komety zformovaly. Chemické složení látky, z kterého jsou kometární jádra složena, získáváme z rozboru jejich spekter. Ta se při přibližování ke Slunci v důsledku nárůstu teploty mění, což v článku podrobně vysvětlíme. Současně odpovíme na žáky nejčastěji kladené otázky:

- Které gravitační a negravitační síly ovlivňují pohyb komet?
- Podle kterých zákonů a po jakých drahách se komety pohybují?

- Proč u komet dochází často ke změnám dráhových elementů, co je důvodem?
- Kde se nachází zdroj komet, jaký mechanismus vyvolává vychýlení z okraje sluneční soustavy na jejich dráhu do vnitřní části?
- Co je příčinou vzniku ohonu, z čeho je složen, mají ho všechny komety?
- Jak se mění jasnost komet při přiblížování ke Slunci?
- Jaká je stavba komet, kde je uložena jejich největší hmotnost?
- Co je zdrojem energie záření komet?

U žáků se setkáváme s nesprávnými představami o kometách a jsou částečně shrnuty například v [1]. Uvedeme vybrané typické miskoncepce:

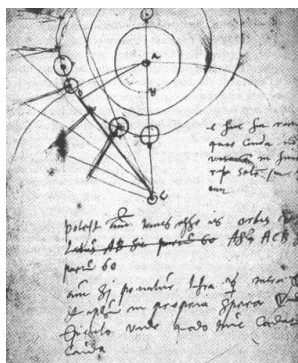
Ohony komet vytvářejí plyny ze startujících raket (novodobý návrat k Aristotelovské interpretaci polohy komet v atmosféře Země).

Při přiblížení komet ke Slunci začnou hořet plyny v ohonech.

Všechny komety musejí mít ohon, který se vždy táhne za nimi.

Komety nepatří do sluneční soustavy.

Přejděme k výkladu, v němž nejprve zmíníme historii. Důležitým mezníkem pro pochopení podstaty komet a prokázání jejich polohy v oblasti nad Měsícem bylo sledování jasné komety z konce roku 1577 s ohonem o délce až  $20^\circ$ . Na obr. 1 je skica komety, kterou vytvořil *Tycho Brahe* (1546–1601). Autor provedl porovnání vlastních pozorování s jinými na různých místech Evropy mezi listopadem 1577 a lednem 1578. Zjistil, že kometa ve shodném čase se vyznačovala stejnou polohou vzhledem ke hvězdám, tedy nenalezl žádnou znatelnou paralaxu. Přesněji konstatoval, že paralaxa komety není větší než  $15'$ . Na základě přesných pozorování a matematických výpočtů Tycho Brahe ve spisu [2] prokázal, že se nacházela za drahou Měsíce.



Obr. 1

Problematiku pohybu komety ve sluneční soustavě začneme dynamickou rovnicí, která vyjadřuje zrychlení komety, odpovídající působení více těles s rozšířením o negravitační vlivy, viz například [3]

$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = -\frac{GM_s}{r^3}\mathbf{r} - \sum_{i=1}^8 \frac{GM_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|}(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) + \mathbf{a}_{\text{ngr}},$$

kde  $\mathbf{r}$  respektive  $\mathbf{r}_i$  označují polohové vektory komety a planet v souřadné soustavě, v jejímž počátku je Slunce,  $M_s$  a  $M_i$  jsou hmotnosti Slunce a planet,  $\mathbf{a}_{\text{ngr}}$  je zrychlení negravitačního původu vyvolané Jarkovského efektem či výtrysky částic. Prvně uvedený jev způsobuje změnu rychlosti pohybu a dráhy komety v důsledku zpožděného infračerveného vyzařování fotonů z povrchu jádra na neozářené straně poté, co byl na ozářené straně zahřát Sluncem. Při prográdní rotaci jádra (ve stejném smyslu jako obíhá kolem Slunce) dochází ke zrychlování pohybu, při retrográdní rotaci ke zpomalování. Druhým efektem je prudké uvolňování částic plynů respektive prachu v blízkosti perihélia drah, vznik výtrysků, které podle svého směru zrychlují či zpomalují pohyb jádra v důsledku platnosti principu akce a reakce. Struktury výtrysků lze na snímcích pozorovat až do vzdáleností tisíce km od jádra.

Fyzikální studium drah komet začal již *Isaac Newton* (1643–1727). Konkrétně zkoumal tvar křivek, po kterých se pohybují tělesa (kometry) kolem nehybného středu (Slunce) při závislosti  $F \sim 1/r^2$ . Řešení problému v třetí knize *Principií* [4] rozšířil o interpretaci pohybu po kuželosečkách kolem centrálního tělesa a doplnil u třetího Keplerova zákona hmotnosti obíhajících těles. Newton potvrdil, že gravitační síla je přímo úměrná hmotnostem a nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti obou těles. Po překonání nesprávných představ o parabolických drahách komet dospěl k závěru, že podobně jako planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách s velkou výstředností.

Jde o nejjednodušší a nejnázornější situaci, obvykle připomínanou ve středoškolských učebnicích. Hovoříme o řešení tzv. problému dvou těles, kdy působící přitažlivá síla jakož i gravitační potenciální energie jsou závislé pouze na vzdálenosti od centrálního tělesa. Skalární veličina energie je pro žáky srozumitelná, a proto, jak je navrhováno např. v [5], při popisu pohybu komety budeme vycházet ze zákona zachování celkové mechanické energie. Je součtem kinetické a potenciální energie  $E_c = E_k + E_p$ . Pro

eliptické dráhy platí

$$\frac{mv^2}{2} - G\frac{mM}{r} = -G\frac{mM}{2a}, \quad (1)$$

kde  $m$  je hmotnost komety,  $M$  hmotnost Slunce ( $M \doteq 1,99 \cdot 10^{30}$  kg),  $r$  je měnící se vzdálenost komety od Slunce a  $v$  její okamžitá rychlost. Platí pro ni vztah

$$v = \sqrt{GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}. \quad (2)$$

Je tedy nenulová a proměnlivá, závislá na velikosti velké poloosy  $a$ . Rychlost dosahuje maximální hodnoty při největším silovém působení Slunce, tedy v perihéliu.

Aplikujme zákon zachování celkové mechanické energie na případ Halleyovy komety ( $m = 3 \cdot 10^{14}$  kg), budeme dosazovat do vztahů pro jednotlivé energie a do rovnice (1) pro případ perihélia  $r = 0,587$  au a rychlosti  $v = 54,6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , a afélia  $r = 35,079$  au a rychlosti  $v = 0,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Připomínáme, že rychlost je počítána podle vztahu (2), kde  $a = 17,834$  au. Z vypočítaných hodnot vytvoříme tabulku

	perihélium	afélium
$E_k$	$4,47 \cdot 10^{23}$ J	$1,22 \cdot 10^{20}$ J
$E_p$	$-4,54 \cdot 10^{23}$ J	$-7,58 \cdot 10^{21}$ J
$E_c$	$-7,00 \cdot 10^{21}$ J	$-7,46 \cdot 10^{21}$ J

Podle očekávání je maximální kinetická energie komety v perihéliu a minimální v aféliu. Gravitační potenciální energie je nulová v nekonečnu, větší zápornou hodnotu dosahuje v perihéliu. Úplný číselný souhlas velikostí energií nelze očekávat, dosud není úplně jistá hodnota hmotnosti Halleyovy komety a také se projevují nepřesnosti vyplývající ze zaokrouhlování.

Komety, tělesa s velmi malými hmotnostmi ve srovnání s planetami, jsou podrobovány velkým poruchovým silám, zejména pokud procházejí oblastí tzv. aktivit u velkých planet, jejichž poloměr činí v případě Jupiteru přibližně 0,322 au, u Saturnu 0,365 au. Výsledkem je změna dráhových elementů (pro žáky na středoškolské úrovni lze zmínit srozumitelnou velikost velké poloosy a oběžnou dobu).

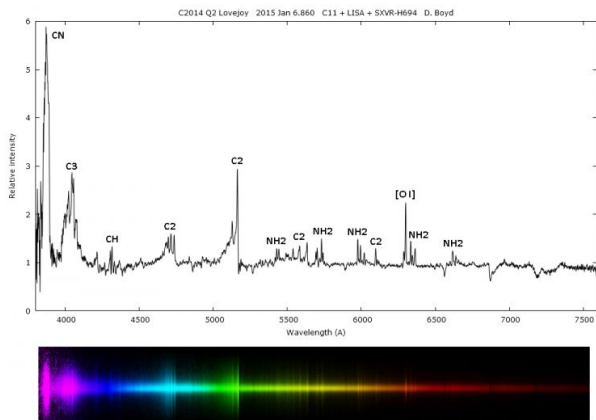
Velmi podrobně byl zkoumán pohyb známé Halleyovy komety, nazvané na počest *Edmonda Halleyho* (1656–1742), který prokázal její periodický charakter a předpověděl návrat v roce 1758. Jeho přesný výpočet *Alexisem Claudem Clairautem* (1713–1765) [6], byl úspěšným potvrzením zákona všeobecné gravitace. Clairaut ještě nepoužil k řešení problému tří těles diferenciální rovnice, viz detailní rozbor v [7]. Přesto přesvědčivě vyložil zpoždování návratu komety, objasnil, že příčinou je poruchové působení Jupiteru a Saturnu. Jak bylo propočítáno, vlivem Jupiteru se kometa zdržela při návratu k Slunci o 518 dnů, Saturnu o 100 dnů. Předpověděl průchod perihéliem na 13. dubna 1759, ve skutečnosti kometa jím prošla 13. března 1759. Poslední návrat ke Slunci rozebereme podrobněji v další části článku.

Zdrojem převážně většiny krátkoperiodických komet obíhajících po eliptických drahách je Kuiperův pás, rozložený ve vzdálenosti 35–50 au od Slunce. Původ parabolických a hyperbolických komet klademe do Oortova mračna nacházejícího se vně sluneční soustavy, zhruba ve vzdálenosti asi 50 000 au až 200 000 au.

Při přibližování komet ke Slunci narůstá teplota jádra, začínají se uvolňovat z povrchových vrstev atomy a molekuly, dochází k jejich excitaci, deexcitaci a dalším fyzikálním procesům, což se promítá do jejich spekter. Jsou rozdílná v závislosti na vzdálenosti od Slunce. V intervalu vzdáleností zhruba 11–3 au jsou spektra spojitá, neboť fotonové a korpuskulární záření je málo intenzivní a nevyvolá vznik emisního spektra. Spojité spektrum podobné Slunci má původ v odrazu slunečního spektra od prachových částic nebo v rozptylu na víceatomových molekulách.

Ve vzdálenosti 3 au od Slunce se ve spektrech kom objevují především emisní pásy kyanu CN na vlnové délce  $\lambda = 388,3$  nm. Podstatu jejich vzniku vyložil *Polidore Ferdinand Swing* (1906–1983) roku 1941 v [8]. Kvanta slunečního záření o původních vlnových délkách z ultrafialového oboru excitují molekuly, které je převyzáří s větší vlnovou délkou, zpravidla ve viditelném oboru. Proces se nazývá rezonanční fluorescence.

Molekuly  $C_3$ ,  $NH_2$  složené ze tří atomů pozorujeme při klesající vzdálenosti od Slunce od 2 au ve spektrech komet. Od vzdálenosti zhruba 1,8 au je ve spektru zjišťován tzv. *Swanův pás*  $C_2$ , nazvaný na počest objevitele *Josepha Wilsona Swana* (1828–1914), tvořený emisními čarami ve viditelné oblasti (obr. 2). Přispívají nejvýrazněji k celkové jasnosti komety, neboť lidské oko je nejvíce citlivé v noci prostřednictvím tyčinek (šedočerné vidění) v modrozelené oblasti spektra v okolí  $\lambda_{\max} = 510$  nm.



Obr. 2

Ve spektrech kom sledujeme emisní radikály OH, NH, CH na vzdálenosti 1,5 au od Slunce. Od této a menší vzdálenosti se projevuje již i záření kometárních ohonů, např. pozorujeme  $\text{CO}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ . Samotná koma v uvedené heliocentrické vzdálenosti má parabolický tvar, její maximální rozměr je přibližně při 0,9–1,6 au.

Se zmenšováním heliocentrické vzdálenosti intenzita molekulárních pásů narůstá. Od vzdálenosti 0,7 au od Slunce pozorujeme v jejich spektrech kovy, sodíkový dublet, při ještě menších vzdálenostech Fe, Ni, Cr, V, Cu.

Zpětně lze z pozorované hvězdné velikosti komety určit počet  $N$  vyzařujících molekul uhlíku v atmosféře komety. Pro vzdálenost od Slunce 1 au platí vztah (výpočet podle [9])

$$N = \frac{10^{-0,4(m_k - m_1)} \Delta^2 r^2}{1,37 \cdot 10^{-38} f(C_2)},$$

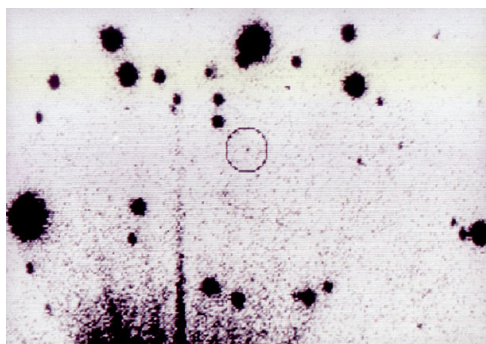
kde  $m_k$  je vizuální pozorovaná hvězdná velikost,  $m_1$  je hvězdná velikost odpovídající osvětlení jednoho luxu  $m_1 = -13,78$  mag, síla oscilátoru Swanova pásu je  $f(C_2) = 0,031$ . Ve vzorovém příkladu  $m_k = 6,22$  mag,  $\Delta = r = 1$  au. Dosazením získáme

$$N = \frac{10^{-0,4 \cdot 20}}{4,25 \cdot 10^{-40}} = 2,35 \cdot 10^{31} \text{ molekul.}$$

Při hmotnosti jedné molekuly  $\text{C}_2 \doteq 5 \cdot 10^{-26}$  kg je pozorovaná okamžitá hmotnost uhlíkové atmosféry  $1,2 \cdot 10^6$  kg.

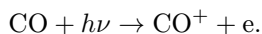
Podle obecně přijatého modelu *Freda Lawrence Whippla* (1906–2004) z roku 1950 [10] tvoří jádra komet „špinavá hmota“ složená z ledu a pórovitého materiálu. Z toho důvodu se vyznačují nízkou hustotou, zpravidla menší než  $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Při každém průchodu perihéliem se z povrchu jádra například u Halleyovy komety uvolňuje přibližně  $3 \cdot 10^{11} \text{ kg}$  hmoty jádra. Po chemické stránce jsou jádra tvořena  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , mají nízká albedo 0,02–0,05. Koma je složena z OH, NH, CH, CN,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{C}_2$ .

Kometry se formují při přibližování ke Slunci. Ve větších radiálních vzdálenostech, nad 10 au od Slunce jsou kometry bez ohonu a komy, viz snímek Halleyovy komety pořízený na observatoři Mount Palomar Haleovým dalekohledem 16. října 1982, kdy se nacházela ve vzdálenosti 11 au (obr. 3).



Obr. 3

U komet rozlišujeme v principu dva základní ohony, iontový a prachový. Vznik prvního vyložil *Hannes Alfvén* (1908–1995) v roce 1957 [11]. Ukázal, že magnetické pole zamrznuté do plazmatu slunečního větru interaguje s kometárními ionty. Přitom se deformují siločáry magnetického pole spojené s látkou slunečního větru. Vytváří se iontový ohon mířící radiálně od Slunce (obr. 4). Je zpravidla modravě zabarven, což je vyvoláno přítomností  $\text{CO}^+$ ,  $\text{CH}^+$ ,  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ . Především  $\text{CO}^+$ , hlavní složka tohoto ohonu, se vyznačuje silnými pásy s vlnovými délkami pod 500 nm. Ionizaci molekul při dostatečné energii záření Slunce od vzdálenosti 2 au, při typických hustotách  $10^8$ – $10^9$  molekul v  $\text{m}^{-3}$ , popisujeme rovnicí



Zjednodušeně shrnuto, iontový ohon vzniká fotoionizací molekul slunečním zářením a interakcí se slunečním větrem, jenž dopadá na kometu rychlostí zhruba  $300$ – $500 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Obr. 4

Druhý ohon – prachový je nažloutlý a zakřivený (obr. 4). Částice o velikosti řádově 1 cm následují při pohybu jádra komety. Menší částice o průměrné velikosti 1  $\mu\text{m}$ , získávají různá zrychlení působením tlaku slunečního záření a pohybují se tak po jiné dráze. Proto se prachový ohon může rozdělit na dva.

Na přivrácené straně jádra komety při přibližování ke Slunci narůstá teplota, dochází k vypařování a sublimaci plynu, vznikají výtrysky, které strhávají i částice prachu. Pohybují se v gravitačním poli jádra komety. Dále na ně působí přitažlivost Slunce, přestože se nachází mnohem dále než jádro. To má velmi malou hmotnost proto ve větších vzdálenostech od něj již můžeme jeho gravitační působení zanedbávat. Rozhodující je přitažlivost Slunce.

Uvažujme zkušební částici poloměru  $R_c$  uvolněnou z povrchu jádra komety. Působí na ni síla způsobená tlakem záření

$$F_z = \frac{L_S}{4\pi r^2} \frac{\pi R_c^2}{c}$$

a gravitační síla Slunce

$$F_g = \frac{GM_S m_c}{r^2} = \frac{4\pi GM_S \rho_c R_c^3}{3r^2}.$$

Poměr velikostí obou sil je

$$\frac{F_g}{F_z} = \frac{16\pi M_S \rho_c R_c c}{3L_S},$$

obě ubývají s druhou mocninou vzdálenosti od Slunce. Budou si rovny při



tzv. kritickém poloměru částic

$$R_{\text{čk}} = \frac{3L_S}{16\pi GM_S \rho_c c},$$

pro hustotu  $\rho_c = 3\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  je  $R_{\text{čk}} \doteq 10^{-7} \text{ m}$ . Gravitační silové působení Slunce bude převládat, jestliže poloměr částic bude větší než  $R_{\text{čk}}$ . Naopak malé prachové částice budou odtlačovány z okolí jádra komety při poloměru menším  $R_{\text{čk}}$ .

Úvaha je zjednodušená, ve skutečnosti kritická velikost poloměru částic je srovnatelná s vlnovou délkou záření Slunce. Menší částice  $R_{\text{čk}} \ll \lambda$  jsou méně efektivní při absorpci záření, mají absorpční účinný průřez mnohem menší než  $\pi R^2$ . Prachové částice tak budou záření více rozptylovat než absorbovat. Odpudivé síly vyvolané tlakem slunečního záření závisejí na koeficientu absorpce. Některé z částic jsou odtlačovány silou, výrazněji převyšující sílu a získávají rychlosti značně převyšující tepelné, řádově  $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Procesy probíhající na povrchu jádra komety popisujeme rovnicí energetické rovnováhy

$$\frac{L_S e^{-\tau} (1 - A)}{4\pi r^2} \pi R_j^2 = 4\pi R_j^2 \varepsilon \sigma T^4 + \frac{L(T)Z}{N_A} + 4\pi R_j^2 K(T) \frac{\Delta T}{\Delta x}.$$

Význam symbolů v ní je následující:  $L_S$  je zářivý výkon Slunce,  $\tau$  optická tloušťka komy,  $A$  albedo jádra,  $r$  heliocentrická vzdálenost komety,  $R_j$  poloměr jádra,  $\varepsilon$  jeho emisní schopnost,  $\sigma$  je Stefanova–Boltzmannova konstanta,  $T$  teplota na povrchu komety,  $L(T)$  latentní teplo sublimace na 1 mol,  $Z$  tempo produkce plynu,  $N_A$  Avogadrova konstanta,  $K(T)$  tepelná vodivost povrchové vrstvy jádra a  $\Delta T$  je rozdílnost teplot mezi povrchovými vrstvami jádra o tloušťce  $\Delta x$ .

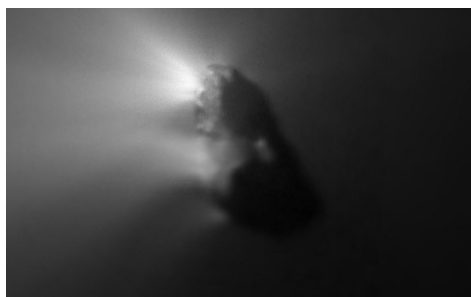
Po obsahové stránce levá strana rovnice vyjadřuje zářivý výkon Slunce absorbovaný povrchem jádra komety. První člen na pravé straně zachycuje vyzařování jádra o teplotě  $T$ , druhý člen interpretujeme jako velikost jeho sublimace ledu, třetí popisuje vedení tepla směrem dovnitř jádra.

Probíhající sublimace ochlazuje jeho povrch, neboť část energie slunečního záření se spotřebovává na skupenskou přeměnu. Výpočet velikosti částic pro tři sublimační ledy  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  a  $\text{CO}$  kometárního jádra je detailně rozveden v článku [3].

Intenzivní sublimací jsou částice ledu a prachu z povrchu jádra přenášeny do atmosféry komety, kde dochází k dalším procesům, jejichž výsledkem je pozorované zvýšení jasnosti. K němu může dojít i druhým výrazněj-

ším mechanismem, čímž je předpokládána destrukce povrchových vrstev jádra.

Přejděme ke konkrétním kometám. Jak jsme již uvedli, poslední návrat Halleyovy komety ke Slunci nastal v roce 1986. K jejímu jádru s tvarem burského oříšku o rozměrech  $8 \times 7 \times 16$  km se přiblížila až na vzdálenost 600 km západoevropská sonda Giotto. Získala řadu snímků, z nichž jeden z 14. března 1986 ze vzdálenosti 6 500 km je na obr. 5, kde na Sluncem ozářené části jádra zřetelně pozorujeme aktivní výtrysky. Na povrchu jádra jsou dále viditelné terénní nerovnosti a krátery. Během každého návratu ke Slunci jádro ztratí přibližně 1 m až 10 m povrchové vrstvy. Denně při průchodu perihéliem unikne z povrchu zhruba  $10^9$  kg prachu a plynu. V aféliu dráhy dosahuje povrchová teplota jádra kolem 60 K, ve vzdálenosti 1 au od Slunce 276 K, v perihéliu se povrch zahřívá až na 400 K. Velký teplotní gradient způsobuje prohřívání povrchových vrstev. Gravitační zrychlení na povrchu jádra dosahuje  $1,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ , úniková rychlost činí  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vyvržené částice s hmotností nad 0,01 g se pohybují kolem jádra po balistických drahách, méně hmotné unikají a vytvářejí „prachovou komu“. Její vnitřní část sahá do vzdálenosti 80 000 km, vnější až do 300 000 km. Ve větších vzdálenostech od Slunce je plynný obal jádra spíše symetrický, při přiblížování k němu se mění na oválný.



Obr. 5

V posledním období vyvolala pozornost kometa Čurjumova–Gerasimenková, objevená *Klímem Ivanovičem Čurjumovem* (1937–2016) a *Světlanou Ivanovnou Gerasimenkovou* (1945). Jde o méně aktivní starší krátkoperiodickou kometu s nejvyšší jasností až po průchodu perihéliem. Proto byla zvolena k měkkému přistání modulu Philae, vypuštěného z kosmické sondy Rosetta, která startovala ze Země v březnu 2004. Po navedení na oběžnou dráhu komety z ní byl v listopadu 2014 vypuštěn modul Philae, jenž 12. 11.

2014 přistál na povrchu jádra (obr. 6). Dopadl na tvrdší povrch, než bylo plánováno, nezůstal tak řádně upevněn. Přesto se většinu z naplánovaných experimentů podařilo splnit. Stanovená hmotnost jádra činí řádově  $5 \cdot 10^{12}$  kg při rozměrech  $4,1 \times 3,2 \times 1,3$  km. Jádro zřejmě vzniklo spojením dvou různých těles v rané etapě vývoje sluneční soustavy. Svrchní vrstva obsahuje uhlík, kyslík a složitější molekuly, aceton, propaldehyd, acetamid atd., celkem na 16 organických sloučenin. Na ozařované části jádra byla zjištěna teplota 90–143 K. V jeho útrobách jsou dutiny, pórovité jádro je slepeno z kousků ledu a prachu, průměrná hustota je nízká, zhruba  $0,47 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Pro učitele a žáky je vhodný učební materiál [12], vyzdvihující vybrané fyzikální jevy spojené s výše zmíněným projektem, například s přistáním modulu Philae na kometárním jádru. Možné využití úloh s problematikou komet, včetně ukázek, je v článku [13].

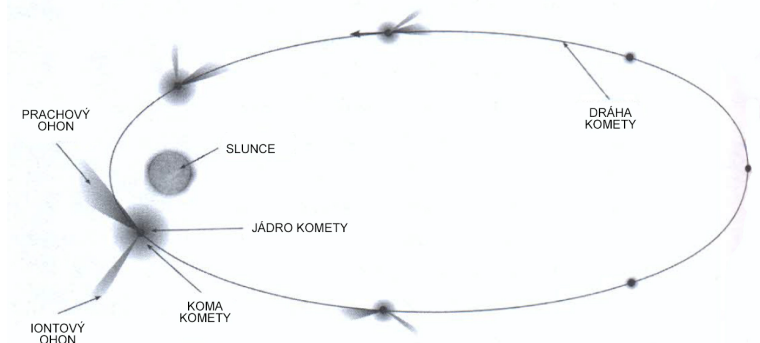


Obr. 6

Vzhledem ke značnému emotivnímu působení pozorování na žáky lze doporučit u komet sledování a zaznamenávání jejich polohy, jasnosti, tvaru komy a ohonu. Podrobnější český návod najdeme například v [14]. Údaje takto získané využijeme při výkladu vzniku a vývoje ohonů komet na jejich dráze při oběhu kolem Slunce. Napomohou k odstranění některých miskoncepcí, k tomu je vhodný jednoduchý názorný obr. 7, který vznikl úpravou podle [3]. Analýza příčin nesprávných představ je prováděna v [15].

Komety zajímají nejenom astronomy, ale i matematiky, fyziky, chemiky, biology, historiky a další. V určitém slova smyslu jde o téma průřezové, můžeme v něm rozvíjet mezipředmětové vztahy. Základem výkladu jeví spojených s kometami je aplikace fyziky a chemie při použití matematiky. Připomeňme Nobelovskou přednášku [16] z roku 1971 německo-kanadského chemika *Gerharda Herzberga* (1904–1999), v níž mimo jiné již popsány mechanismy objasnil přítomnost  $\text{CH}_2$  a  $\text{C}_3$  v pozorovaných spektrech komet.

Ponecháme na učiteli fyziky, aby provedl vhodný výklad fyzikálních jevů spojených s kometami. K tomu může napomoci obsah článku shrnující poznatky o podstatě a původu komet, o jejich fyzikálních a chemických vlastnostech.



Obr. 7

## Literatura

- [1] Comins, N. F.: Sources of Misconceptions in Astronomy. Third International Seminars of Misconceptions and Educational in Sciences and Mathematics. Cornell University, 1993.
- [2] Brahe, Tycho: De munde aetherii recentioribus phaenomenis Liber secundes. Uraniborgi, 1588.
- [3] Gronkowski, P., Wesolowski, M., Wójcik, A., Niemec, A.: Emisja materii z powierzchni jąder kometarnych. Fizyka w Szkole 62 (2016), č. 3, s. 24–29.
- [4] Newton, I.: The Principia – Mathematical Principles of Natural Philosophy. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 1989.
- [5] Follows, M.: Changing speed of comets. Physics Education 38 (2003), č. 5, s. 429–432.
- [6] Clairaut, A. C.: Théorie du mouvement des comètes, dans laquelle on a égard aux altérations que leurs orbites éprouvent par l'action des planètes. Avec l'application de cette théorie à la comète qui a été observée dans les années 1531, 1607, 1682 & 1759. Paris, 1760.
- [7] Wilson, C.: Clairaut's calculation of the eighteenth-century return of Halley's comet. Journal for the History of Astronomy 24 (1993), č. 1-2, s. 1–15.
- [8] Swing, P.: Complex structure of cometary bands tentatively ascribed to the contour of the solar spectrum. Lick observatory bulletin 508 (1941), s. 131–136.
- [9] Beljajev, N. A., Čurjumov, K. I.: Kometa Galleja i jeje nabljudenije. Nauka, Moskva, 1985.

- [10] *Whipple, F.*: A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. *Astrophysical Journal* 111 (1950), s. 375–394.
- [11] *Alfvén, H.*: On the theory of comet tails. *Tellus* 9 (1957), s. 92–96.
- [12] *Eleftheriou, M.*: Teaching with Rosetta and Philae. *Science in School*, č. 36, s. 34–35. [www.scienceinschool.org](http://www.scienceinschool.org)
- [13] *Domanski, J., Štefl, V.*: Obfítošć komet i nauczanie fizyki. *Postepy Astronomii* 44 (1997), č. 3, s. 43–44.
- [14] *Míček, I.*: Komety a meteory – možnosti využití pozorování ve výuce. In: Brána do vesmíru. Hvězdárna Valašské Meziříčí, 2014.
- [15] *LoPresto, M. C.*: Comparing modern methods of active & collaborative learning & learner – centered teaching to traditional lectures. PhD thesis, James Cook University, 2012.
- [16] *Herzberg, G.*: Spectroscopic studies of molecular structure. Nobel lecture, December 1971.

# Ocenění PRÆMIUM BOHEMIÆ 2016

BOHUMIL VYBÍRAL – JAN KŘÍŽ

Univerzita Hradec Králové



Mezinárodní přírodovědné olympiády s celosvětovou účastí, organizované ve fyzice, chemii, biologii, matematice a informatice, přinesly v roce 2016 českým studentům jednu zlatou, deset stříbrných a šest bronzových medailí. Tento úspěch byl korunován udělením prestižních nadačních cen PRÆMIUM BOHEMIÆ 2016. Stalo se tak v neděli 4. prosince 2016 na státním zámku Sychrov. Ceny již od roku 2001 uděluje rodinná *Nadace*

*Bohuslava Jana Horáčka Českému ráji*. V roce 2016 byly tyto ceny uděleny již po šestnácté. Za dobu své existence nadace českým studentům, přírodovědným olympionikům ze světových soutěží, udělila celkem 337 cen PRÆMIUM BOHEMIÆ v celkové výši 5,87 miliónů Kč. Oceněných studentů