



## Výfučtení: Vesmírné putování

Jelikož se nám pomalu ale jistě blíží Vánoce, v tomto Výfučtení se podíváme na jeden ze symbolů Vánoc – komety. A nejen na ně. Prozkoumáme i vzdálenosti ve Vesmíru, podíváme se na to, jak fungují hvězdy a proč díky nim můžeme komety pozorovat, a také si povíme, co to vůbec taková kometa je, jak vypadá, kde se bere a jak se dostane ke Slunci.

### Vesmírné vzdálenosti

Abychom se ve Vesmíru lépe orientovali, úvodem si představíme typické vzdálenosti a jednotky, které astronomové používají. Vzdálenosti ve Vesmíru jsou totiž mnohem větší, než na jaké jsme zvyklí ze Země. Abychom si vůbec uvědomili, jak je velké naše vesmírné okolí, představme si délku 1 km. Teď si představme Zemi, jejíž průměr je zhruba 12 750 km. A co tak Slunce, jehož průměr je zhruba 1 400 000 km a vzdálenost mezi Zemí a Sluncem, která je 149 600 000 km? To už si asi jen tak nepředstavíme. Můžeme se ale pokusit představit si zhruba 11 700 Zemí vedle sebe, s tím, že prvních 55 tvoří vzdálenost od středu Slunce na jeho povrch a až ta úplně poslední Země je naše planeta.

Na tomto příkladu můžeme vidět kromě toho, že vzdálenosti jenom ve Sluneční soustavě<sup>1</sup> jsou téměř nepředstavitelné. Astronomové proto vymysleli novou jednotku vzdálenosti, kterou pojmenovali astronomická jednotka (značí se AU). Jedna astronomická jednotka je střední vzdálenost Země od Slunce, je tedy přibližně rovna 149 600 000 km.

S touto jednotkou se ve Sluneční soustavě měří celkem dobře. Nejvzdálenější planeta Neptun je vzdálená „jenom“ asi 30 AU. Ale i to je jen kousek v porovnání s nejbližší hvězdou od Slunce, kterou je Proxima Centauri vzdálená přibližně 267 000 AU od Slunce. Opět začínáme padat k velmi velkým číslům, a to jsme jen v našem těsném vesmírném sousedství.

Astronomové proto na měření mezihvězdných vzdáleností zavedli ještě dvě další jednotky: světelný rok (značka ly), který je přibližně roven 63 250 AU. Je to vzdálenost, kterou světlo ve vakuu urazí za jeden pozemský rok.<sup>2</sup> Pro představu, světlu trvá cesta ze Slunce k nám na Zemi zhruba 8 minut. Druhou jednotkou vzdálenosti je parsek (značka pc), který je roven přibližně 206 250 AU. To je vzdálenost, z níž se pozorovatelům jeví úsečka o velikosti 1 AU pod úhlem jedné úhlové vteřiny.<sup>3</sup>

Pokud se ve Vesmíru podíváme ještě dál, zjistíme, že hvězdy se seskupují do galaxií, které se shlukují do kup galaxií, které se shlukují do galaktických nadkup. Podíváme-li se z ohromné dálky, tak zjistíme, že náš Vesmír je obrovský (průměr námi známého Vesmíru je 27,6 miliard světelných let) a že v něm není jen „prázdná“, ale že se v něm nachází i spousta velmi zajímavých objektů.

<sup>1</sup>Sluneční soustavou (psáno s velkým S) myslíme soustavu planet a těles okolo našeho Slunce, kdežto sluneční soustavou (psáno s malým s) je myšlena soustava planet a těles okolo jiné hvězdy. Podobné pravidlo platí pro psaní Galaxie vs. galaxie.

<sup>2</sup>Existují samozřejmě i světelné minuty, hodiny, apod.

<sup>3</sup>Jedna úhlová vteřina ( $1''$ ) je  $1/60$  úhlové minuty ( $1'$ ), což je  $1/60$  stupně. Tedy  $1'' = 1^\circ/3600$ .

## Hvězdy

Nyní, když jsme si udělali představu, jak ohromný Vesmír je, pojďme se podívat na fyzikálně velmi zajímavé objekty, hvězdy. Každá hvězda má svůj život. Začíná jako oblak plynu, který je tvořen převážně vodíkem, a který je mnohonásobně větší než hvězda, která následně vznikne. Čas od čas může dojít k tomu, že plyn v tomto oblaku se začne smršťovat. Zažehnutím tohoto kolapsu může být například výbuch blízké supernovy, která plyn stlačí. Najednou hustší centrum pak začne gravitačně působit na okolní plyn, což smršťování postupně urychlí. V centru oblaku se vodík začne velice stlačovat a zahřívat. Během stlačování se z mraku zformuje disk, který začne rotovat. Po čase se většina plynu shromáždí do prostoru, který je jen zlomkem původního objemu. Vznikla protohvězda, která je tvořena převážně vodíkem. V jejím nitru je již obrovský tlak a obrovská teplota. To, co z protohvězdy udělá hvězdu, je *termojaderná fúze*. Tento jev si nebudeme dopodrobna vysvětlovat, ale v principu je to jaderná reakce, při které se sloučí čtyři jádra vodíku a vznikne atom helia. Při tomto procesu se navíc uvolní velké množství energie, která hvězdu opouští v podobě záření (tepelné záření, ale i viditelné světlo, rentgenové záření a tak dále). Termojaderná fúze probíhá pouze za velmi vysoké teploty a tlaku, kupříkladu teplota v jádru našeho Slunce dosahuje neuvěřitelných 15 000 000 K<sup>4</sup>.

Termojaderná fúze způsobuje, že v jádru pomalu ubývá vodíku a naopak přibývá helia.<sup>5</sup> Po spálení většiny vodíku v jádru následuje další fáze hvězdného života. Jaká fáze bude následovat, velmi záleží na hmotnosti hvězdy. Zatímco ty nejlehčí hvězdy po spálení vodíku z jádra pomalu vyhasnou a vychladnou (což jim zabere několik desítek miliard let), ty středně těžké, jako je i naše Slunce, mají před sebou ještě zajímavý život plný změn. Nejdříve se zastaví proces výroby helia. Hvězda se začne hroutit do sebe, přičemž se zvýší tlak a teplota v jejím nitru na tolik, že se ve vrstvách poblíž jádra, kde ještě zbyl dostatek vodíku, opět nastartuje jaderná fúze. Toto znovuzažehnutí má za následek obrovský nárůst velikosti hvězdy (až stonásobně zvětší svůj průměr). Nafouknutý povrch hvězdy již ale není tolik ohříván, tudíž vychladne a hvězda změni svoji barvu na oranžovou až červenou.<sup>6</sup> Hvězdám v tomto stádiu vývoje se říká rudí obři. I v případě Slunce je jisté, že za pět miliard let, až začne spalovat vodík v okolí jádra a zvětší svůj objem, se zvětší na tolik, že pohltí i Zemi.

Poté, co i druhá fáze ustane, se hvězda opět zhroutí do sebe. Teplota v jejím nitru teď může vzrůst až na 100 000 000 K, kdy se jádra helia začnou slučovat na těžší prvky jako uhlík a kyslík. A až i tento děj ustane, hvězda není dostatečně velká na to, aby zažehla další jadernou fúzi a bude se tedy hroutit a hroutit a hroutit, až se stlačí příliš a vybuchne jako *supernova prvního typu*. Své svrchní obálky odhodí do okolního prostoru a vznikne *planetární mlhovina*, v jejímž centru zůstane *bílý trpaslík* – horké jádro hvězdy, které postupně chladne.

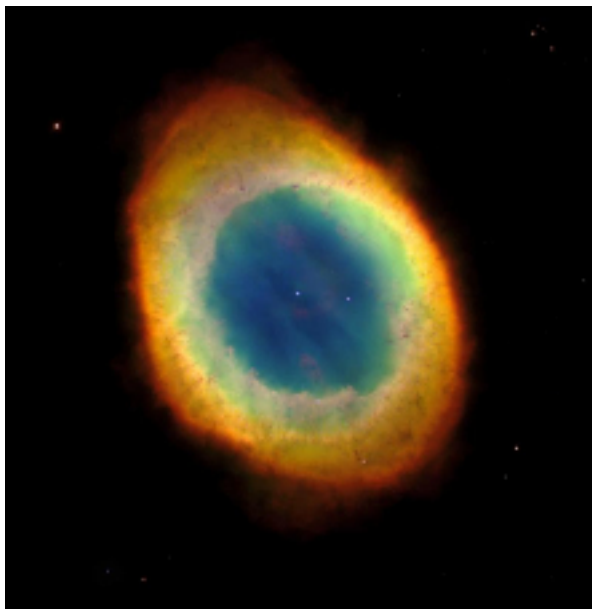
Pokud jsou hvězdy mnohonásobně hmotnější, než je naše Slunce, jejich hmotnost jim dovolí se zhroutit natolik, aby mohly zažehnout i další jaderné fúze. Postupně tedy budou ve hvězdě vznikat další a další prvky, až pokud se nezačne produkovat železo a jaderná fúze ustane.<sup>7</sup> Tlak v jádru těchto hvězd je nepředstavitelný. Stejně jako v případě Slunce dojde k výbuchu, který nazýváme *supernovou druhého typu*. Během výbuchu působí v jádru hvězdy tak obrovské síly, že elektrony, normálně obíhající kolem atomových jader, jsou do jader natlačeny a vznikají tak

<sup>4</sup>Kelvin (značka K) je další jednotkou teploty. Teplotní rozdíl 1 K je stejný jako 1 °C, avšak tyto stupnice jsou vůči sobě posunuté: platí, že 273,15 K = 0 °C.

<sup>5</sup>U větších hvězd mohou vznikat i těžší prvky.

<sup>6</sup>Barva povrchu hvězdy odpovídá jeho teplotě, červené hvězdy jsou „studené“, na povrchu mají teplotu zhruba 3 000 K. Modré hvězdy jsou naopak velmi teplé, jejich povrch má teplotu přes 10 000 K. Teplota povrchu žlutých hvězd je kolem 6 000 K.

<sup>7</sup>Železo je totiž první prvek periodické tabulky, který při jaderné fúzi energii neuvolňuje, ale spotřebovává.



Obr. 1: Planetární mlhovina M57 v souhvězdí Lyra.

jiné částice – neutrony. Tento zbytek jádra, tzv. *neutronová hvězda*, má v průměru jen desítky až stovky kilometrů, ale stále má hmotnost celého jádra hvězdy. Proto je hustota neutronové hvězdy obrovská. Typická hodnota je  $1,8 \cdot 10^{17} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Navíc neutronové hvězdy mají velmi silné elektromagnetické pole a často i rychle rotují, díky čemuž můžeme pozorovat záblesky energie přicházející z Vesmíru v pravidelných intervalech, někdy i několikrát za sekundu. Takovým hvězdám, u nichž tyto záblesky můžeme pozorovat, pak říkáme pulzary.

Nakonec, když je hvězda ještě hmotnější, jejím zhroucením vznikne *černá díra*. To je objekt s tak velkou gravitací, že ani světlo ho nemůže opustit, tudíž ji nemůžeme pozorovat přímo. Můžeme ale pozorovat předměty, které do ní padají a přitom vyzářují, třeba mračna plynu. Vše, co do černé díry spadne, je nenávratně ztraceno.

## Komety

Dalšími velice zajímavými objekty, které můžeme na obloze pozorovat, jsou komety. Ty zároveň patří k jedněm z nejzáhadnějších objektů Sluneční soustavy, protože zkoumat komety se dá velmi špatně, neboť většinou obíhají daleko od Země a dostat se k nějaké kometě a prozkoumat ji je otázka velmi dlouhé a nákladné mise.

Část komet k nám přilétává z Oortova oblaku, což je kulový mrak na okraji Sluneční soustavy, vzdálený zhruba 50 000 AU od Slunce,<sup>8</sup> což je tak daleko, že se zde významně projevuje i gravitace jiných hvězd. Oortův oblak je tvořen zbytkem materiálu, ze kterého se kdysi zrodilo Slunce. Oblak je dostatečně vzdálený, aby v něm mohla existovat voda v pevném skupenství a zároveň se zde nacházejí lehké látky jako pevný oxid uhličitý, methan, malé prachové částice a podobně. Z tohoto materiálu se zde nezformovala žádná planeta, ale zformovaly se zde objekty s poměrně netradičním složením – komety.

Komety jsou relativně malé, v průměru mají jen několik set metrů, ty větší mohou mít až několik kilometrů v průměru. Navíc jejich struktura je podobná školní houbě, díky čemuž komety velmi dobře izolují teplo. Na povrchu komety tedy může být velmi vysoká teplota, avšak již kousek pod jejím povrchem může být velmi chladno. Kometu bychom mohli přirovnat ke „špinavé sněhové kouli“, ale její chemické složení je odlišné.

Komety na sebe v Oortově oblaku působí gravitační silou a občas se i nějaké komety srazí. Při tom se může stát, že některá kometa je „vyhozena“ ze své původní oběžné dráhy na jinou, která ji dovozuje přiblížit se ke Slunci. Takové komety se nazývají dlouhoperiodické a ke Slunci se nedostanou častěji než jednou za 200 let.

Oproti tomu krátkoperiodické komety mají oběžnou dobu kratší než 200 let. Tyto komety k nám přilétají z Kuiperova pásu, nikoliv z Oortova oblaku. Kuiperův pás je pás těles, který se nachází za Neptunem ve vzdálenosti zhruba 30 AU až 50 AU od Slunce. To je relativně blízko ke Slunci, takže se zde neprojevuje gravitační vliv cizích hvězd. Jinak se dá říci, že Kuiperův pás má velmi podobné složení s Oortovým oblakem, neboť i on vznikl z nevyužitého materiálu při tvorbě Sluneční soustavy. Komety jsou z Kuiperova pásu „vyhozeny“ podobně jako z Oortova oblaku – vzájemnými srážkami či gravitačním působením Neptunu.

## Průlet komet kolem Slunce

Pokud se kometa přiblíží ke Slunci, zvýší se teplota na jejím povrchu a látky jako ztuhnutý oxid uhličitý či methan se začnou odpařovat. Uvolňování těchto látek má za následek uvolňování i prachových částic. Částice se neuvolňují z celého povrchu komety, nýbrž vždy pouze z nějakého ložiska – relativně malého místa na povrchu komety. Tyto uvolněné částice následně tvoří ohon komety. Čím blíže je kometa ke Slunci, tím je teplota na jejím povrchu větší. Do Vesmíru se tedy dostává víc částic. Ohon je pak výraznější, neboť každá částice odráží světlo, které na ni dopadne. Nicméně v důsledku působení slunečního větru<sup>9</sup> na uvolněné částice se ohon rozdělí na dva – plynný a prachový. Částice plynu jsou velmi lehké, sluneční vítr má na ně velký vliv a odfoukává je pryč. Plynný ohon tedy vždy směřuje od Slunce. Kdežto částice prachu jsou mnohem těžší a sluneční vítr má na jejich pohyb menší vliv. Prachový ohon tedy směřuje vždy ve směru trajektorie pohybu komety.

Zdroj obrázku: Space Telescope Science Institute (<http://hubblesite.org/newscenter/archive/>)

<sup>8</sup>Oortův oblak nebyl zatím prokázán, ale astronomové ho přijali jako skutečnost na základě nepřímých důkazů.

<sup>9</sup>Sluneční vítr je proud kladně nabitých iontů vodíku, které byly vyvrženy ze Slunce a byly urychleny na vysoké rychlosti, až  $450 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při srážce s lehkými molekulami jako např. vodík, hélium je „odfukují“ dál od Slunce.

---

releases/nebula/planetary/1999/01/image/a/format/large\_web/).

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.