

fyzika | P07

esa

poznáváme vesmírem

BARYCENTRICKÉ MÍČKY

Oběžné dráhy a těžiště

školní pokus a pracovní listy

Evropská kosmická agentura

Základní informace	strana 3
Pokus – Barycentrické míčky	strana 4
Diskuze	strana 7
Závěr	strana 8
Pracovní listy	strana 9
Příloha	strana 11
Jak připravit sady tenisových míčků	strana 11
Řízená diskuze	strana 13
Slovníček pojmů	strana 18
Odkazy	strana 19

BARYCENTRICKÉ MÍČKY

Oběžné dráhy a těžiště

<p>ZÁKLADNÍ INFORMACE</p> <p>Věk žáků: 14–18 let</p> <p>Typ aktivity: pokus předváděný učitelem + samostatná práce žáků</p> <p>Náročnost: jednoduché</p> <p>Doba přípravy pro učitele: 1 h na přípravu materiálu</p> <p>Doba potřebná pro provedení pokusu: 10 až 30 minut</p> <p>Cena materiálu: nízká (do 150 Kč)</p> <p>Místo provedení: venku nebo v prostorné místnosti (školní aula, tělocvična)</p> <p>Pomůcky: tenisové míčky, ložiskové kuličky</p> <p>Propojení s učivem</p> <p>Fyzika</p> <p>moment síly těžiště oběžné dráhy planet a družic Dopplerův jev rotační mechanika</p> <p>Matematika</p> <p>moment síly těžiště rotační mechanika</p> <p>Astronomie</p> <p>oběžné dráhy planet a družic Dopplerův jev dvojhvězdy hledání exoplanet</p>	<p>Popis programu</p> <p>V pokusu si ukážeme, jak se v rotující soustavě projevuje silový moment. Seznámíme se s pojmem barycentrum (těžiště soustavy těles) a se způsoby pohybu těles, která kolem sebe obíhají. Žáci si posléze látku procvičí výpočtem umístění těžiště na několika příkladech z astronomie.</p> <p>Žáci by už měli znát</p> <ol style="list-style-type: none">1. momentová věta2. princip Dopplerova jevu uplatněný v elektromagnetickém spektru <p>Vzdělávací cíle</p> <ol style="list-style-type: none">1. Žáci rozumí pojmu těžiště a vědí, že v rámci jednoho gravitačního systému dvou a více těles obíhají všechny objekty kolem společného těžiště.2. Žáci umí používat momentovou větu při výpočtu těžiště soustavy o dvou tělesech.3. Žáci umí aplikovat daná fyzikální pravidla na konkrétní případy z astronomie.4. Žáci mají představu o dvojhvězdách, systémech planet a jejich měsíců, a exoplanetách. <p>Budete také potřebovat</p> <p>Videonahrávka Barycentric balls (VP07a). Videonahrávka Barycentric balls in space (VP07b). Viz oddíl Odkazy.</p>
---	--

Barycentrické koule

Když uvažujeme o planetách obíhajících kolem slunce, o měsících obíhajících kolem planet nebo o kosmických lodích putujících kolem Země či jiného vesmírného tělesa, máme tendenci předpokládat, že jeden z objektů se pohybuje (ten méně hmotný), zatímco druhý zůstává na místě. Nicméně ze Třetího Newtonova zákona, tj.

Pokud těleso A působí na těleso B určitou silou, bude těleso B působit na těleso A stejnou silou opačného směru.

často parafrázovaného jako „každá akce vyvolává stejně velkou opačnou reakci“, je zřejmé, že obě tělesa na sebe budou vzájemně působit stejnou přitažlivou silou a dráhy obou z nich budou touto silou ovlivňovány.

To znamená, že vezmeme-li soustavu dvou těles, např. Země a Měsíce, není pravda, že by Měsíc obíhal kolem Země. Jak Země, tak Měsíc obíhají kolem společného bodu v prostoru. Tento bod, kolem kterého obíhají, společné **těžiště*** celé soustavy, se nazývá **barycentrum***.

Je-li jedno těleso mnohem hmotnější než druhé, jako je tomu v případě Země a Měsíce (nebo umělé družice obíhající kolem Země), nemusí být oběžný pohyb onoho hmotnějšího objektu (Země) příliš patrný. To proto, že barycentrum soustavy Země a Měsíce je v tomto případě mnohem blíže středu Země než středu Měsíce nebo družice. Obrázek A1 znázorňuje soustavu Země a Měsíce.

To samé platí o celé sluneční soustavě. Slunce představuje zhruba 99,85 % veškeré hmoty ve sluneční soustavě. Barycentrum sluneční soustavy se tedy nachází blízko středu Slunce, což má za následek, že oběh Slunce kolem tohoto barycentra je zjištělný pouze při velmi přesném pozorování.

Obrázek A1

(střed Země, barycentrum, oběžná dráha Země, Měsíc, oběžná dráha Měsíce)

↑ Schematické znázornění soustavy Země-Měsíc (není v měřítku) s vyznačeným barycentrem a oběžnými drahami Země a Měsíce kolem něj. Barycentrum soustavy se nachází zhruba 4650 km od středu Země, přičemž poloměr Země je o něco méně než 6400 km. Barycentrum je asi osmdesátkrát dál od středu Měsíce než od středu Země.

* **Barycentrum** je těžiště určité soustavy těles.

* **Těžiště** je jedinečný bod v tělese nebo soustavě, v němž platí, že působení tíhové síly na něj má stejný účinek jako působení na celé těleso či soustavu. Těleso podepřené v tomto bodě se bude nacházet v rovnovážném stavu.

V pokusu použijeme dva předem připravené páry tenisových míčků, abychom ukázali, jak se změní umístění barycentra soustavy dvou těles, dojde-li ke změně jejich hmotnosti. Míčky v prvním páru mají stejnou hmotnost. V druhém páru je jeden z míčků naplněn mincemi nebo ložiskovými kuličkami, což zvyšuje jeho hmotnost.

Pomůcky

Návod k přípravě tenisových míčků najdete v Příloze.

- Pár tenisových míčků o stejné hmotnosti spojený provázkem
- Pár tenisových míčků o různé hmotnosti spojený provázkem

Obrázek A2

↑ A) Sada tenisových míčků (prázdných) o stejné hmotnosti.

B) Sada tenisových míčků o různé hmotnosti: jeden z míčků byl naplněn ložiskovými kuličkami, olůvky nebo mincemi a barevně označen jakožto míček s větší hmotností.

Pokyny

Seznamte se prosím s doprovodným videem: Teach with space – barycentric balls | VP07a.

1. Uchopte pár tenisových míčků o stejné hmotnosti tak, že jeden z nich bude volně viset dolů.
2. Rozhoupejte volný míček, aby získal rychlost, a pak míček, který jste dosud drželi, pusťte.
3. Soustava míčků se bude pohybovat po své dráze a zároveň budou oba míčky obíhat kolem těžiště celé soustavy. V případě stejně těžkých míčků se těžiště nachází uprostřed provázku (obr. A3).
4. Pokus zopakujte s párem nestejně hmotných míčků. Nezáleží na tom, zda bude demonstrátor v ruce držet těžší nebo lehčí míček. Poté, co se míčky začnou pohybovat po vlastní dráze, budeme zřetelně pozorovat, že těžší míček obíhá těsně kolem těžiště soustavy (tj. blízko ke středu těžšího míčku), zatímco lehčí míček obíhá po mnohem delší oběžné dráze (obr. A3). Čím větší bude rozdíl mezi hmotnostmi obou míčků, tím blíže ke středu těžšího míčku barycentrum bude.

Obrázek A3

↑ Vlevo: V soustavě stejně těžkých tenisových míčků se těžiště, neboli barycentrum, nachází v centru soustavy uprostřed spojovacího provázku (na obr. označeno X). Oba míčky obíhají po stejné oběžné dráze (vyznačeno přerušovanou čarou).

Vpravo: V soustavě různě těžkých tenisových míčků se těžiště, neboli barycentrum, nachází blíž k těžšímu, naplněnému míčku (na obr. označeno X). Projevuje se to tím, že se těžší míček pohybuje po mnohem menší oběžné dráze než lehčí míček.

Bezpečnostní pokyny

- Pokus provádějte venku nebo ve velké místnosti, např. aule či tělocvičně.
- Žáci musí stát v dostatečné vzdálenosti od demonstrátora.
- Demonstrátor by si měl vyhazování míčků předem nacvičit.
- Před každým pokusem zkontrolujte, že všechny uzly pevně drží a že plnicí otvor na těžším míčku je dobře utěsněn.

Diskuze

Po skončení pokusu s žáky proberte, co jste v jeho průběhu pozorovali. Níže naleznete několik doporučených otázek.

V Příloze najdete návod na řízenou diskuzi, která z těchto otázek vychází a zaměřuje se na souvislost pokusu s děním ve vesmíru. Můžete využít i pracovní list s výpočty týkajícími se různých vesmírných jevů.

Cílem diskuze je, aby si žáci zapamatovali následující fakta:

- Umístění barycentra je závislé na hmotnosti těles. V případě dvou těles o stejné hmotnosti se barycentrum nachází v geometrickém středu soustavy
- Pokud jsou hmotnosti těles různé, leží barycentrum blíže těžišti hmotnějšího objektu.
- V případě jednoduché soustavy o dvou tělesech by žáci měli být schopni použít momentovou větu pro výpočet umístění barycentra.
- Pochopení konceptu barycentra je důležité při studiu vesmíru. Ať už se jedná o pátrání po jinak neviditelných planetách v okolí jiných hvězd nebo o klasifikaci vesmírných těles v naší sluneční soustavě a odlišení planet s měsíci od systémů dvojplanet.

Doporučené otázky:

- Jak najdeme barycentrum soustavy těles?
- Jak hledají astronomové ve vesmíru barycentra vzdálených oběžných soustav, jako jsou třeba dvojhvězdy nebo planety obíhající kolem jiných hvězd?
- Jak se využije koncept barycentra při rozlišování mezi planetou s přirozeným satelitem (Měsíc) a dvěma planetami obíhajícími kolem společného barycentra (systém dvojplanety)?
- Je Pluto ve skutečnosti součástí soustavy trpasličí dvojplanety?
- Co se děje v soustavách dvojhvězd, když kolem sebe obíhají v těsné blízkosti dva velmi hmotné objekty?

→ ZÁVĚR

Tento pokus pomocí jednoduché a efektní ukázky předvádí dva klíčové pojmy fyziky a mechaniky – barycentrum neboli těžiště a moment síly. Aktivita uvádí tyto pojmy do souvislosti s různými vesmírnými úkazy: oběžnými drahami, měsíci, dvojplanetami a dvojhvězdami a povzbuzuje a zaměstnává představivost žáků.

Barycentra ve vesmíru

Otázky

1. Pro tělesa na obrázku W1 nalezněte vzdálenost barycentra od středu tělesa M a posléze od středu tělesa m.

Obrázek W1

2. a) Měsíc má hmotnost $0,0123 M_E$ (kde M_E je hmotnost Země) a vzdálenost mezi středem Země a středem Měsíce je 384 000 km. Pakliže je poloměr Země $6,37 \cdot 10^3$, dokažte, že Země a Měsíc jsou součástí soustavy planety a jejího měsíce.
b) Níže naleznete některé údaje o Plutu a jeho největším měsíci Charonu převzaté z databáze údajů o planetách a měsících amerického Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (NASA):

hmotnost Pluta	$1,31 \cdot 10^{22}$ kg
poloměr Pluta	1195 km
hmotnost Charonu	$1,62 \cdot 10^{21}$ kg
vzdálenost středů	19 600 km

Určete, zda se v případě Pluta a Charona jedná o soustavu planety a jejího měsíce, nebo o dvojplanetární systém.

3. Slunce má poloměr 1,4 milionu km a Jupiter poloměr 140 000 km. Střední vzdálenost Jupitera od Slunce je 778 milionů km. Hmotnost Slunce je zhruba 1000 krát větší než hmotnost Jupiteru. Spočítejte, kde leží barycentrum soustavy Slunce – Jupiter, a toto umístění okomentujte.

4. Ve videonahrávce Teach with space – barycentric balls in space | VP07b astronautka Evropské vesmírné agentury Samantha Cristoforetti předvádí princip barycentra na palubě Mezinárodní vesmírné stanice (ISS) v prostředí mikrogravitace.

V prvním pokusu Samantha spojí dva baseballové míčky pletací jehlicí. Oba míčky mají stejnou hmotnost, a tak leží barycentrum v geometrickém středu celé soustavy, tedy uprostřed pletací jehlice. Když Samantha zatlačí na jeden z míčků, soustava se začne otáčet kolem svého barycentra. Poté Samantha zatlačí přímo na barycentrum a celá soustava se začne pohybovat, tentokrát však bez rotace.

Ve druhém pokusu nahradí Samantha jeden z baseballových míčků jiným míčkem podobné velikosti, ale jiné hmotnosti. Když pak Samantha zatlačí na jeden z míčků, soustava se dá do pohybu a otáčí se kolem svého barycentra, které však už neleží v jejím geometrickém středu. Poté Samantha zatlačí na soustavu v místě nového barycentra a stejně jako v prvním pokusu, i teď se dá soustava do pohybu, aniž by rotovala.

Pokud je hmotnost baseballového míčku 0,145 kg, délka pletací jehlice 0,3 m a umístění nového barycentra ve čtvrtině vzdálenosti mezi středy baseballového a nového míčku, jaká je hmotnost nového míčku? Který z obou míčků má větší hmotnost?

→ PŘÍLOHA

Jak připravit sady tenisových míčků

V obou případech jsou míčky spojené silným provázkem. Míčky v prvním páru mají stejnou hmotnost. V druhém páru je jeden z tenisových míčků naplněný ložiskovými kuličkami nebo mincemi, čímž vzniká soustava nestejně hmotných těles.

Pomůcky

- 4 tenisové míčky
- silný provázek
- nůžky
- fix
- pletací jehlice (nebo šroubovák)
- ložiskové kuličky, olůvka, drobné mince – množství dostatečné k naplnění jednoho míčku
- kvalitní lepidlo nebo lepicí páska
- lepicí páska
- ostrý nůž

Pokyny

1. Ustříhnete zhruba 60 cm dlouhý kus provázku.
2. Připevníte jeden konec provázku k pletací jehlici pomocí lepicí pásky.
3. Zapichnete jehlici do tenisového míčku. Špička jehlice by měla z míčku vyjít přesně na druhé straně. Nejjednodušší je předem si na míček nakreslit dvě tečky, které vás při propichování navedou. Až se na druhé straně míčku objeví konec provázku připevněný k jehlici, odlepte ho a udělejte na něm dvojitý uzel, čímž zabráníte jeho vytažení (viz obr. X1 A-B).
4. Pletací jehlici z míčku opět vytáhněte a na provázku udělejte další dvojitý uzel naproti tomu prvnímu. Provázek nyní prochází míčkem a je na obou jeho stranách zajištěn dvojitými uzly proti vytažení. V případě potřeby zesilte stěnu míčku v okolí vpichů pomocí lepidla či pevné lepicí pásky (viz obr. X1 C).
5. Zopakujte kroky 1-4 s druhým tenisovým míčkem na opačném konci provázku. Ve výsledku by mezi oběma míčky mělo být zhruba 40-50 cm provázku.
6. Zopakujte kroky 1-5 s druhým párem tenisových míčků. Dbejte na to, aby délka provázku mezi míčky byla u obou párů přibližně stejná.
7. Vyberte si jeden pár míčků. Nožem do jednoho míčku prořízněte malý otvor, kterým míček zcela naplníte ložiskovými kuličkami, olůvky či malými mincemi. Otvor zalepte lepidlem nebo pevnou lepicí páskou (viz obr. X1 D-F).
8. Fixem nabarvěte/označte naplněný tenisový míček.

Obrázek X1

↑ Jak připravit dva páry tenisových míčů.

Řízená diskuze

Jak najdeme barycentrum soustavy těles?

V jakékoli soustavě ve vesmíru, v níž kolem sebe obíhají dvě a více těles, se nachází těžiště neboli barycentrum, kolem kterého všechna tělesa této soustavy obíhají.

Jednoduchý případ: soustava dvou těles

V případě jednoduché soustavy dvou těles je těžiště neboli barycentrum bod, kolem kterého obě tělesa obíhají. O tomto barycentru můžeme uvažovat jako o „rovnovážném bodu“ dané soustavy.

Známe-li hmotnosti dvou objektů a jejich vzájemnou vzdálenost, můžeme vypočítat umístění barycentra porovnáním **momentů sil***. Začneme tím, že si představíme, že soustava vyváženě balancuje na bodě otáčení, jako když dva lidé sedí na houpačce. Pakliže leží bod otáčení v místě barycentra a celá soustava by byla umístěna do imaginárního gravitačního pole, momenty sil působící na jednotlivé strany soustavy by se navzájem vyrušily.

Představme si soustavu dvou těles jako na obrázku X2. Těžší těleso má hmotnost **M**, lehčí **m** a vzdálenost mezi jejich středy je **d**. Barycentrum se nachází někde mezi oběma tělesy. Vzdálenost mezi středem hmotnějšího tělesa a barycentrem je **B**.

Obrázek X2

d = vzdálenost mezi středy těles

B = vzdálenost mezi středem tělesa **M** a barycentrem

Dvě tělesa (o hmotnostech **M** a **m**) obíhající kolem společného těžiště neboli barycentra. Středy těles dělí vzdálenost **d** a vzdálenost mezi středem hmotnějšího tělesa **M** a barycentrem je **B**.

Pokud použijeme momentovou větu vůči těžišti (barycentru), získáme:

$$\text{Součet momentů sil působících vůči barycentru ve směru hodinových ručiček} = \text{Součet momentů sil působících vůči barycentru proti směru hodinových ručiček}$$

tj. momenty sil, které působí v opačných směrech, se vyruší. Pro soustavu na obr. X2 nejprve zavedeme následující veličiny:

* **Moment síly** vyjadřuje míru pohybového účinku síly, zvláště při rotaci kolem bodu nebo osy otáčení.

B = vzdálenost mezi středem hmotnějšího tělesa M a barycentrem (v metrech)

d = vzdálenost mezi těžišti obou těles (v metrech)

m = hmotnost lehčího tělesa (v kilogramech)

M = hmotnost těžšího tělesa (v kilogramech)

Porovnáním momentů sil působících v opačných směrech dostáváme:

$$M \cdot B = m \cdot (d - B)$$

$$M \cdot B = m \cdot d - m \cdot B$$

$$M \cdot B + m \cdot B = m \cdot d$$

$$B \cdot (M + m) = m \cdot d$$

Z posledního vztahu pak vyplývá, že vzdálenost mezi středem hmotnějšího tělesa M a barycentrem je dána vzorcem:

$$B = m \cdot d / (M + m)$$

Jak hledají astronomové ve vesmíru barycentra vzdálených oběžných soustav, jako jsou třeba dvojhvězdy nebo planety obíhající kolem jiných hvězd?

Na obrovské vesmírné vzdálenosti je obtížné měřit pohyb jednotlivých hvězd v soustavě **dvojhvězdy*** kolem jejich barycentra. Ačkoli fyzicky od sebe mohou být obě hvězdy vzdáleny tisíce kilometrů, z našeho pohledu ze Země či její blízkosti se zdá být pohyb obou hvězd na obloze minimální – může to být jen pouhá tisícina stupně nebo i méně.

Ještě složitější než pozorovat pohyby dvojhvězd je sledovat jemné „kolébání“ mateřských hvězd způsobované pohybem **exoplanet*** obíhajících kolem jejich společného těžiště – v rámci soustavy hvězdy a jejich planet se bude barycentrum celé soustavy nacházet uvnitř mateřské hvězdy. Abychom tyto jemné pohyby zachytili a „kolébání“ rozpoznali, musíme polohu hvězd měřit velice přesně a mnohokrát po sobě.

Věděli jste, že...?

V prosinci 2013 vypustila Evropská kosmická agentura (ESA) satelitní observatoř Gaia (obr. X3), která má za úkol přesně zmapovat polohu a vlastnosti asi 1,2 miliardy hvězd uvnitř naší galaxie Mléčné dráhy. Gaia kráčí ve šlépějích dřívější družice ESA s názvem Hipparcos, která byla vypuštěna v r. 1989 (obr. F4). Během čtyř let svého fungování provedl Hipparcos přesná měření polohy asi 120 000 hvězd na obloze. Tato měření umožnila určit barycentra mnoha soustav dvojhvězd. V některých případech se výsledky měření neshodovaly s očekáváním a naznačily tak možnost přítomnosti dalších těles v těchto soustavách, což bylo často potvrzeno pozdějším pozorováním. Pozorování polohy a pohybu hvězd na obloze se nazývá **astrometrie*** a je jednou z metod, které astronomové používají ke zjišťování přítomnosti doprovodných hvězd a planet. Další alternativní metodou je měření **radiální rychlosti***. Při pátrání po „kolébání“ hvězdy využívá tato metoda Dopplerova jevu v pozorovaném spektru jejího záření. Chcete-li se dozvědět o této metodě více a seznámit se i s dalšími způsoby hledání exoplanet, podívejte se na odkaz „Jak se hledají extrasolární planety“ v oddílu Odkazy.

* **Astrometrie** je odvětví astronomie zabývající se přesným měřením polohy a pohybu nebeských těles.

* **Dvojhvězda** je soustava dvou hvězd obíhajících kolem společného barycentra.

* **Exoplaneta/extrasolární planeta** je planeta obíhající jinou hvězdu než Slunce.

* **Radiální rychlost** je rychlost objektu ve směru linie směřující k pozorovateli.

Obrázek X3

↑ Vizualizace družice Gaia Evropské kosmické agentury.

Obrázek X4

↑ Družice Hipparcos, s jejíž pomocí byla přesně pozorována poloha více než dvou milionů hvězd.

Jak se využije koncept barycentra při rozlišování mezi planetou s přirozeným satelitem (Měsíc) a dvěma planetami obíhajícími kolem společného barycentra (systém dvojplanety)?

V soustavě, ve které kolem sebe obíhají dvě tělesa, se bude barycentrum nacházet vždy blíže těžišti hmotnějšího tělesa. Čím větší bude rozdíl mezi hmotnostmi těles, tím blíže těžišti hmotnějšího tělesa barycentrum bude.

V soustavě dvou těles, které mají velmi rozdílné hmotnosti, může barycentrum ležet i uvnitř hmotnějšího tělesa. Díky tomu vzniká dojem, že těleso s menší hmotností obíhá kolem tělesa s větší hmotností. Dobře si to představíme na následujících dvou příkladech:

V případě **planety s měsícem** se barycentrum nachází uvnitř hmotnějšího tělesa (planety).

V případě **dvojplanety** neleží barycentrum uvnitř ani jednoho z těles.

Pravidlo o umístění barycentra se vztahuje na soustavy všech obíhajících těles. Příkladem jsou dvojhvězdy i soustavy více hvězd, planety obíhající kolem svých mateřských hvězd, družice a vesmírné lodi, které putují kolem Země, a další objekty uvnitř sluneční soustavy.

Je Pluto ve skutečnosti součástí soustavy trpasličí dvojplanety?

Přestože byl Pluto přeřazen do kategorie **trpasličích planet*** (v roce 2006 na zasedání Mezinárodní astronomické unie v Praze), opakovaná pozorování jeho měsíců naznačují, že soustava Pluta je možná mnohem složitější. Pluto má pět měsíců. Nejbližší z nich, Charon, se svou velikostí a hmotností mnohem více blíží Plutu než ostatní čtyři měsíce. Ve skutečnosti je tomu tak, že celá soustava obíhá kolem barycentra, které se nachází mezi Plutem a Charonem a neleží tedy pod povrchem Pluta, jak by se dalo očekávat v případě trpasličí planety s pěti měsíci. Pluto a Charon jsou tedy někdy označovány za dvojplanetu se čtyřmi měsíci. Na obrázku X5 vidíme snímek Pluta, Charona a jejich čtyř měsíců pořízený Hubbleovým vesmírným dalekohledem. Na fotografii jsou vyznačeny oběžné dráhy čtyř menších měsíců. Z obrázku X5 jasně vidíme, že barycentrum soustavy leží mezi Plutem a Charonem.

Obrázek X5

↑ Snímek z Hubbleova vesmírného dalekohledu zachycuje čtyři malé měsíce obíhající dvojplanetu Pluto-Charon. Na obrázku jsou vyznačeny oběžné dráhy menších měsíců.

Věděli jste, že...?

Mise Hubbleova vesmírného dalekohledu je společným projektem NASA a ESA. V roce 1990 byl dalekohled vypuštěn na oběžnou dráhu kolem Země ve výšce 600 km. Jedná se o jednu z největších a nejuspěšnějších vesmírných observatoří, jaké kdy byly zkonstruovány. Díky svému umístění mimo zemskou atmosféru, která svými neustálými pohyby ovlivňuje světlo přicházející k Zemi z vesmíru, nám dalekohled poskytuje úžasné ostré záběry tisíců vesmírných objektů, jako jsou planety, dvojhvězdy, galaxie, mlhoviny a oblasti vzniku hvězd. Hubbleův vesmírný dalekohled zásadním způsobem rozšířil naše znalosti o vesmíru.

* **Trpasličí planeta** je vesmírné těleso s hmotností blížíící se hmotnosti planet, které však není ani planetou, ani neobíhá kolem jiné planety. Trpasličí planeta má dostatečnou hmotnost na to, aby měla zhruba kulovitý tvar, obíhá přímo kolem Slunce, ale zatím nevyčistila oblast kolem své oběžné dráhy od ostatních těles. Termín trpasličí planeta zavedla v roce 2006 Mezinárodní astronomická unie. V současné době patří ve sluneční soustavě mezi trpasličí planety pět těles: Pluto, Ceres, Haumea, Makemake a Eris. Zatímco Ceres leží uvnitř pásu planetek, ostatní čtyři trpasličí planety leží za oběžnou dráhou Neptuna. Převládá názor, že ve vzdálených oblastech sluneční soustavy existuje ještě celá řada dalších trpasličích planet.

Co se děje v soustavách dvojhvězd, kde kolem sebe obíhají dva velmi hmotné objekty v těsné blízkosti?

Dvojhvězda se skládá ze dvou hvězd, které jsou navzájem vázány gravitační silou a obíhají okolo společného barycentra. Toto poklidné obíhání trvá až do okamžiku, kdy těžší hvězda spotřebuje veškeré jaderné palivo, které má k dispozici (převážně vodík) a začne se rychle smršťovat vlivem vlastní gravitační síly. V závěrečných fázích tuto bouřlivou událost doprovází mohutná erupce, při níž je do okolního prostoru odvrženo až 90 procent látky původní hvězdy. V této chvíli mluvíme o hvězdě jako o ***supernově**. Zbýlých 10 procent vytvoří nesmírně kompaktní objekt. V závislosti na hmotnosti původní hvězdy může jít o tzv. ***bílého trpaslíka**, ***neutronovou hvězdu** nebo ***černou díru**.

Po nějaké době začne docházet palivo i lehčí hvězdě, začne se nafukovat (v této fázi jejího vývoje mluvíme o tzv. červeném obru) a může se stát, že některé její části se dostanou až do sféry gravitačního působení kompaktního objektu a dojde k přetoku hmoty z jednoho tělesa na druhé. Tuto situaci si můžete prohlédnout na obrázku X6 (jde o uměleckou představu, která je však založena na přesných teoretických výpočtech; ve skutečnosti jsou obě tělesa tak blízko sebe, že je nelze ani současnými dalekohledy rozlišit). Přetékájící látka často vytvoří akreční disk, v němž se hmota z červeného obra postupně „přelévá“ na kompaktní objekt, zahřívá se a intenzivně září. Právě z analýzy tohoto záření je možné dozvědět se mnoho cenných informací o povaze tohoto objektu. Akreční disky často doprovází výtrysky hmoty v kolmých směrech na rovinu disku, které jsou také vidět na obrázku a jejichž vznik zatím není uspokojivě vysvětlen.

Jakmile i červený obr spotřebuje většinu svého paliva, nastane další výbuch supernovy. Hvězda se začne rychle smršťovat, převážná většina jejího materiálu je vyvržena do okolí a výsledkem je dvojice kompaktních objektů, které obíhají kolem společného barycentra. V závislosti na hmotnosti původních hvězd se může jednat o dvojici černých děr, nebo neutronových hvězd, popřípadě i o kombinaci černé díry a neutronové hvězdy. Díky tření s okolní látkou a v závěrečných fázích i díky vyzařování ***gravitačních vln** se jejich rotace zpomaluje, a obě tělesa se postupně přibližují, až splynou v jediný kompaktní objekt, nejčastěji černou díru. Přesný průběh této události však zatím není zcela znám. K jeho pochopení zcela jistě významně přispěje pozorování gravitačních vln.

Jak se mění barycentrum dvojhvězdy během jejího vývoje? Předpokládáme-li, že na začátku popsaného scénáře tvoří dvojhvězdu hvězdy zhruba srovnatelné hmotnosti, bude se barycentrum nacházet poblíž středu jejich spojnice. Jakmile těžší hvězda projde stadiem supernovy a ztratí většinu své hmotnosti, přesune se barycentrum směrem k těžší hvězdě. V extrémním případě se může zdát, že kompaktní objekt obíhá původně lehčí hvězdu, zatímco ta se jenom mírně vychyluje. Ve fázi přetoku látky z hvězdy na kompaktní objekt se barycentrum mírně posouvá směrem ke kompaktnímu objektu, neboť hvězda mírně ztrácí hmotnost, zatímco hmotnost kompaktního objektu mírně narůstá. Hmotnost látky, která takto přeteče, je však minimální. Znatelná změna ovšem nastane, když i druhá hvězda projde stadiem supernovy. Výsledkem může být opět dvojice přibližně stejně hmotných těles (nyní kompaktních objektů), jejichž barycentrum se nachází znovu poblíž středu jejich spojnice.

Obrázek X6

↑ Umělecké ztvárnění binárního systému, který tvoří hvězda v závěrečné fázi svého vývoje (tzv. rudý obr, vlevo) a kompaktní objekt (vpravo), který je pozůstatkem původně těžší hvězdy. V této fázi vývoje dvojhvězd může dojít k přetoku látky z červeného obra. Přetékající látka vytváří v okolí kompaktního objektu tzv. akreční disk, který vydává intenzivní záření. Na obrázku jsou vidět také výtrysky (modře), v nichž je část padající látky vyvrhována značnou rychlostí do okolního prostoru.

***Supernova** je jedno ze závěrečných stádií vývoje hvězdy, při němž se hvězda rychle smršťuje v důsledku vlastní gravitace a intenzivně září (její záření se co do intenzity vyrovná záření celé galaxie, ve které se hvězda nachází). V této bouřlivé fázi vývoje hvězda ztrácí většinu své hmotnosti.

***Bílý trpaslík** je kompaktní objekt, který vznikne zhroucením hvězdy průměrné nebo podprůměrné hmotnosti. Skládá se převážně z uhlíku a kyslíku. Hmotnosti bílých trpaslíků jsou nižší než 1,4 hmotností slunce (tzv. Chandrasekharova mez).

***Neutronová hvězda** je pozůstatkem po velké hvězdě, která na konci svého života explodovala v supernově. V porovnání s běžnými hvězdami jsou neutronové hvězdy extrémně malé (jejich poloměry se pohybují v řádu desítek km), při srovnatelné hmotnosti (1,35 až přibližně 3 hmotnosti slunce). Jejich hustota je srovnatelná s hustotou atomového jádra (pro představu: kostka cukru vyrobená z tohoto materiálu by měla stejnou hmotnost jako 1000 egyptských pyramid).

***Černá díra** vzniká gravitačním zhroucením hmotné hvězdy. Uvnitř černé díry je gravitační pole natolik silné, že úniková rychlost převyšuje rychlost světla a ani světlo z této oblasti nemůže uniknout. Existence černých děr vyplývá z Einsteinovy obecné teorie relativity. On sám je však považoval spíše jen za matematickou kuriozitu. První přesvědčivé observační doklady o tom, že skutečně existují, se objevily až začátkem 70. let minulého století, na základě pozorování rentgenového zdroje Cygnus X-1 v souhvězdí Labutě. Kromě černých děr hvězdné velikosti existují i tzv. supermasivní černé díry (o hmotnosti milionů i více hmot Slunce), které tvoří jádra galaxií. V principu mohou naopak existovat i černé díry velmi malé hmotnosti jako pozůstatek velkého třesku. Tyto černé díry se však zatím nepodařilo detekovat.

***Gravitační vlny** předpověděl Albert Einstein jako důsledek obecné teorie relativity. Jedná se o vlnění samotného prostoročasu, které se projevuje periodickými změnami vzdáleností. Gravitační vlny doprovází všechny bouřlivé události ve vesmíru, jako jsou srážky černých děr, galaxií, popř. i vznik samotného vesmíru. Nepřímý důkaz jejich existence byl nalezen v 70. letech 20. století na základě přesného měření změny oběžné doby dvojhvězdy s rádiovým **pulzarem**. Gravitační vlny byly detekovány přímo v roce 2015 dvěma detektory LIGO v USA. Pozorovaný signál odpovídal splynutí dvou černých děr o hmotnosti přibližně 30 slunečních hmotností, které původně tvořily dvojhvězdu.

***Pulsar** je rotující neutronová hvězda se silným magnetickým polem. Pulsary vyzařují paprsek, který lze na Zemi, pokud směřuje směrem k ní, pozorovat jako pravidelný „záblesk“ rádiových vln.

Slovníček pojmů

- ***Astrometrie** je odvětví astronomie zabývající se přesným měřením polohy a pohybu nebeských těles.
- ***Barycentrum** je těžiště určité soustavy těles.
- ***Bílý trpaslík** je kompaktní objekt, který vznikne zhroucením hvězdy průměrné nebo podprůměrné hmotnosti. Skládá se převážně z uhlíku a kyslíku. Hmotnosti bílých trpaslíků jsou nižší než 1,4 hmotností slunce (tzv. Chandrasekharova mez).
- ***Černá díra** vzniká gravitačním zhroucením hmotné hvězdy. Uvnitř černé díry je gravitační pole natolik silné, že úniková rychlost převyšuje rychlost světla a ani světlo z této oblasti nemůže uniknout. Existence černých děr vyplývá z Einsteinovy obecné teorie relativity. On sám je však považoval spíše jen za matematickou kuriozitu. První přesvědčivé observační doklady o tom, že skutečně existují, se objevily až začátkem 70. let minulého století, na základě pozorování rentgenového zdroje Cygnus X-1 v souhvězdí Labutě. Kromě černých děr hvězdné velikosti existují i tzv. supermasivní černé díry (o hmotnosti milionů i více hmot Slunce), které tvoří jádra galaxií. V principu mohou naopak existovat i černé díry velmi malé hmotnosti jako pozůstatek velkého třesku. Tyto černé díry se však zatím nepodařilo detekovat.
- ***Dvojhvězda** je soustava dvou hvězd obíhajících kolem společného barycentra.
- ***Exoplaneta/extrasolární planeta** je planeta obíhající jinou hvězdu než Slunce.
- ***Gravitační vlny** předpověděl Albert Einstein jako důsledek obecné teorie relativity. Jedná se o vlnění samotného prostoročasu, které se projevuje periodickými změnami vzdáleností. Gravitační vlny doprovází všechny bouřlivé události ve vesmíru, jako jsou srážky černých děr, galaxií, popř. i vznik samotného vesmíru. Nepřímý důkaz jejich existence byl nalezen v 70. letech 20. století na základě přesného měření změny oběžné doby dvojhvězdy s rádiovým **pulzarem**. Gravitační vlny byly detekovány přímo v roce 2015 dvěma detektory LIGO v USA. Pozorovaný signál odpovídal splynutí dvou černých děr o hmotnosti přibližně 30 slunečních hmotností, které původně tvořily dvojhvězdu.
- ***Moment síly** vyjadřuje míru pohybového účinku síly při rotaci kolem bodu nebo osy otáčení.
- ***Neutronová hvězda** je pozůstatkem po velké hvězdě, která na konci svého života explodovala v supernově. V porovnání s běžnými hvězdami jsou neutronové hvězdy extrémně malé (jejich poloměry se pohybují v řádu desítek km), při srovnatelné hmotnosti (1,35 až přibližně 3 hmotnosti slunce). Jejich hustota je srovnatelná s hustotou atomového jádra (pro představu: kostka cukru vyrobená z tohoto materiálu by měla stejnou hmotnost jako 1000 egyptských pyramid).
- ***Pulsar** je rotující neutronová hvězda se silným magnetickým polem. Pulsary vyzařují paprsek, který lze na Zemi, pokud směřuje směrem k ní, pozorovat jako pravidelný „záblesk“ rádiových vln.
- ***Radiální rychlost** je rychlost objektu ve směru linie směřující k pozorovateli.
- ***Supernova** je jedno ze závěrečných stádií vývoje hvězdy, při němž se hvězda rychle smršťuje v důsledku vlastní gravitace a intenzivně září (její záření se co do intenzity vyrovná záření celé galaxie, ve které se hvězda nachází). V této bouřlivé fázi vývoje hvězda ztrácí většinu své hmotnosti.

***Těžiště** je jedinečný bod v tělese nebo soustavě, v němž platí, že působení tíhové síly na něj má stejný účinek jako působení na celé těleso či soustavu. Těleso podepřené v tomto bodě se bude nacházet v rovnovážném stavu.

***Trpasličí planeta** je vesmírné těleso s hmotností blížíící se hmotnosti planet, která však není ani planetou, ani neobíhá kolem jiné planety. Trpasličí planeta má dostatek hmoty na to, aby měla zhruba kulovitý tvar, obíhá přímo kolem Slunce, ale zatím nevyčistila oblast kolem své oběžné dráhy od ostatních těles. Termín trpasličí planeta zavedla v roce 2006 Mezinárodní astronomická unie. V současné době patří ve sluneční soustavě mezi trpasličí planety pět těles: Pluto, Ceres, Haumea, Makemake a Eris. Zatímco Ceres leží uvnitř pásu planetek, ostatní čtyři trpasličí planety leží za oběžnou drahou Neptuna. Převládá názor, že ve vzdálených oblastech sluneční soustavy existuje ještě celá řada další trpasličích planet.

Odkazy

Výukové materiály Poznáváme vesmírem

ESA: Poznáváme vesmírem – Vykutálené elipsy – materiály pro učitele a studentské aktivity | P02: esamultimedia.esa.int/docs/edu/P02_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf

ESA: Poznáváme vesmírem – Vykutálené elipsy – videonahrávka | VP02:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VP02

ESA: Poznáváme vesmírem – Jak uvařit kometu – videonahrávka | VP06:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06

ESA: Poznáváme vesmírem – Barycentrické míčky – videonahrávka | VP07a:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric_balls_-_classroom_demonstration_video_VP07a

ESA: Poznáváme vesmírem – Barycentrické míčky ve vesmíru – videonahrávka | VP07b:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric_balls_in_space_-_classroom_demonstration_video_VP07b

Mise a vědecké projekty Evropské kosmické agentury (ESA)

ESA – Mise Gaia: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Gaia

Brožurky k misi Gaia (v sedmi evropských jazycích): www.esa.int/Education/Little_Books_of_Gaia

Aplikace Gaia pro iPhone: blogs.esa.int/gaia/2014/09/01/gaia-in-your-pocket-mapping-the-galaxy-with-the-new-gaia-app/

Vodcast Science@ESA: Díl 6.: Mapování galaxie – od družice Hipparcos k satelitu Gaia:

www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Science_ESA_Episode_6_Charting_the_Galaxy_-_from_Hipparcos_to_Gaia

ESA – mise Hipparcos: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Hipparcos_overview

Vyrobte si vlastní mapu hvězd podle družice Hipparcos:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Create_your_own_Hipparcos_star_globe2

ESA/NASA – Hubbleův vesmírný dalekohled: sci.esa.int/hubble/

Jak se hledají extrasolární planety:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/How_to_find_an_extrasolar_planet

Databáze údajů o planetách a měsících NASA

Hlavní stránka: nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/

Obsah databáze údajů o planetách: nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html

Údaje o Slunci: nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html

poznáváme vesmírem – barycentrické míčky | P07

www.esa.int/education

Vzdělávací odbor ESA uvítá jakékoli komentáře a zpětnou vazbu.

teachers@esa.int

Vyrobilo Vzdělávání ESA

Všechna práva vyhrazena © Evropská kosmická agentura 2015