



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Další vzdělávání pro pracovníky škol v Plzeňském kraji

CZ.1.07/1.3.47/02.0010

Astronomie 3 pro učitele zeměpisu (geografie) a fyziky

RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.

31. 5. 2014

Obsah:

Astronomie 3 pro učitele zeměpisu (geografie) a fyziky	3
1 Cíl	3
2 Úvod	3
3 Teoretická část	4
3.1 Typy galaxií, jejich morfologie a Hubblovo rozdělení	4
3.2 Pokusy o novou typologii galaxií	6
3.3 Označování galaxií	6
3.4 Eliptické galaxie	7
3.4.1 M32	8
3.4.2 M87	8
3.5 Spirální galaxie	8
3.5.1 M31	10
3.5.2 M100	10
3.5.3 M104	10
3.5.4 NGC 6070	10
3.5.5 M101	11
3.5.6 M51	11
3.5.7 NGC 4414	11
3.5.8 NGC 6946	11
3.5.9 ESO 510-G13	11
3.5.10 NGC 3314	11
3.6 Spirální galaxie s příčkou	12
3.6.1 NGC 1365	13
3.6.2 NGC 6782	13
3.6.3 NGC 1300	13
3.6.4 M83	13
3.7 Čočkové galaxie	13
3.7.1 M102	14
3.7.2 M84	14
4 Praktická část	14
4.1 Modely souhvězdí	14
4.2 Seeing	15
4.3 Simulace granule Slunce	15
4.4 Mapování povrchu Venuše	15
4.5 Simulace sopky	15
4.6 Simulace tornáda	15
4.7 Rakety	15
5 Seznam literatury	16
6 Test	16

Astronomie 3 pro učitele zeměpisu (geografie) a fyziky

1 Cíl

Cílem pracovního semináře je seznámení účastníků s objekty vzdáleného vesmíru, tedy galaxiemi, kupami galaxií a nadkupami, stejně jako informace o naší Galaxii, tedy objektu, v němž se nachází celá sluneční soustava včetně Země a ostatních planet a samozřejmě i včetně nás.

Závěr pracovního semináře je pak věnován praktickým záležitostem, tedy demonstraci jednoduchých experimentů, které umožňují přiblížit procesy, které ve vesmíru probíhají a které mají značný motivační význam.

Seminář stejně jako předchozí dva pracovní semináře je určen pedagogům základních a středních škol, zejména pro pedagogy předmětů fyzika a zeměpis (geografie). Informace z něj však může využít kdokoli, kdo se zajímá o astronomii či o galaxie. První část pracovního semináře je vedena formou přednášky doprovázené četným obrazovým materiálem. Druhá část obsahuje demonstrační experimenty, doprovázené vysvětlením jevů a náměty pro použití uvedených experimentů ve školní a mimoškolní výuce či při dalších aktivitách.

2 Úvod

2.1 Galaxie

Galaxie jsou velmi hmotné, masivní systémy, skládající se zejména z hvězd, hvězdných soustav (hvězdokup), zbytků po výbuších supernov, mlhovin, tedy mračen mezihvězdného plynu a prachu a další hmoty, elementárních částic, atomů a molekul, ale rovněž z temné, neviditelné, skryté hmoty a temné, neviditelné, skryté energie, přičemž je to systém, který je gravitačně vázaný. Samotné slovo galaxie pochází z řečtiny, kde slovo *galaxias* je v překladu mléčný, a proto jej můžeme v různých obměnách najít i v názvech mnoha mléčných výrobků. Slovo galaxie tedy odkazuje na Mléčnou dráhu, která je jako světlý, bílý pás na obloze velmi jasně patrná (hlavně z málo osvětlených míst) a pochází z řecké pověsti, kdy Zeus ve spánku přiložil k prsu Héry malého Hérakla, aby mu sáním mateřského mléka umožnil se stát nesmrtelným. Bohyně, která se příliš vydatným sáním Hérakla vzbudila, jej vztekla od ňadra odtrhla a mléko, které vystříklo, vytvořilo pás přes celou oblohu. Mléčná dráha je opravdu výrazně spjatá s galaxiemi, konkrétně se jedná o největší část naší galaxie, nazývané správně Galaxie, tedy její rovinu galaktického disku se spirálními rameny, v nichž se nachází největší část hmoty Galaxie. Galaxie, které pozorujeme ve všech směrech pohledu, mají velmi rozdílné velikosti, podobně jako jsou velmi odlišné hrubé domácí produkty jednotlivých zemí. Rozdíly mezi hmotnostmi galaxií jsou však mnohem výraznější, a tak je nevhodné je přirovnávat k čemukoli, co na zemi známe. Nejmenší trpasličí galaxie obsahují jen několik milionů hvězd, naopak ty největší se počtem hvězd blíží k biliardám hvězd a je otázkou, zda v dosud nepoznaném vesmíru nenajdeme v budoucnosti galaxie, které budou ještě větší.

V té části vesmíru, kterou jsme schopni pozorovat při dnešní technické úrovni, se nachází celkem pravděpodobně téměř 200 miliard galaxií. Zaujímají obvykle prostor mezi tisíci a milionem světelných let a jsou obvykle odděleny víceméně prázdným prostorem (tedy prostorem, který sice obsahuje mnoho hvězd, plynu, prachu, částic apod., ale žádné galaxie) velkým několik milionů až několika stovek milionů světelných let. Větší část galaxií není v prostoru umístěna zcela samostatně, ale je seskupena do skupin galaxií zvaných kupy galaxií. Ani ty nejsou ve vesmíru samostatně, ale seskupují se do nadkup. Podle posledních výzkumů tímto stupněm končí uspořádání hierarchické, ve větších dimenzích pak vesmír má pěnovou, plástevnatou strukturu, v níž jsou hmotné objekty častěji navázány na hypotetické lineární či plošné útvary, původně pravděpodobně tvořené temnou hmotou. Astronomové tyto útvary koncentrace nadkup a galaxií označují slovy špagety, lívance, buchty či koláče. Ještě ve větších měřítcích pak je vesmír zcela nezajímavý, homogenní a izotropní, tedy všude naprosto stejný. Je ovšem otázkou, zda tato současná, soudobá představa přežije další rozvoj pozorovací a výpočetní techniky, neboť zatím máme možnost vidět jen do relativně malé oblasti tvořící nepatrnou část celého vesmíru.

Pro pochopení postavení člověka ve vesmíru, jeho nepatrnosti vůči vesmíru, je znalost objektů vzdáleného vesmíru, i když je na obloze nelze pozorovat s výjimkou Magellanových mračen, M31 a samozřejmě Mléčné dráhy jako objektu obsahujícího podstatnou část naší Galaxie velice významná a vede k rozvoji vlastnosti člověka zvané skromnost, se kterou se v našem současném světě setkáváme stále méně a méně a to je škoda. Poznatky o galaxiích tak přispívají nejen k vytvoření světonázorových postojů a poznání postavení člověka v přírodě a nutnosti či nezbytnosti vnímat a respektovat přírodní zákony, ale i poznání sama sebe.

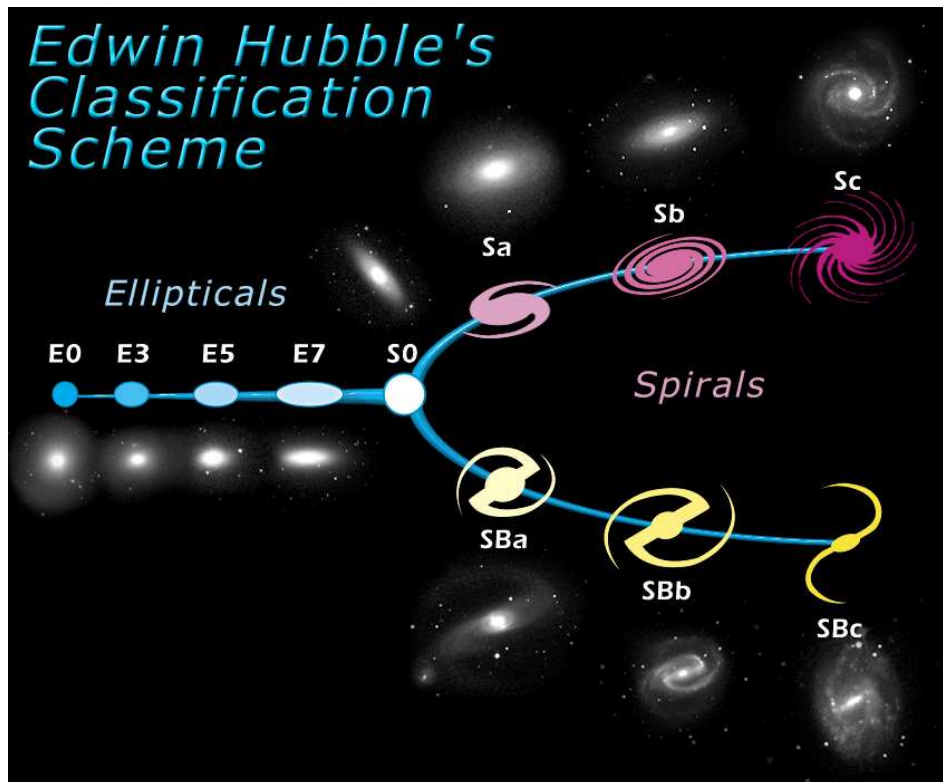
3 Teoretická část

Teoretická část popisuje nejvýznamnější typy galaxií a jejich představitele, zabývá se rovněž zásadními procesy u galaxií, jejich interakcí a podobně. Významný podíl představuje rovněž popis interakcí galaxií, na jejichž počítačových simulacích pracoval první úspěšný absolvent Fakulty pedagogické PhDr. Jakub Schwarzmeier, Ph.D. pod vedením přednášejícího tohoto tématu, vytvořil ve své disertační práci *On Simulations of Galaxy Dynamics and Their Application to Physics Education* jednotlivé simulace, a ty jsou k dispozici na webové stránce FPE [1]. Simulace nejsou součástí tohoto textu, neboť by to bylo pro úřední posouzení stejně zbytečné, ostatně podobně jako powerpointové prezentace s vloženými animacemi a simulacemi, neboť tyto materiály nejsou dostatečně uchopitelné vzhledem k jejich textovému charakteru.

3.1 Typy galaxií, jejich morfologie a Hubblovo rozdělení

Galaxie byly původně vzhledem ke svému mlhavému, rozmazanému tvaru považovány za mlhoviny, a proto také francouzský lovec komet Charles Messier, když jej omrzelo při hledání komet stále pozorovat tyto, v malém dalekohledu stejně vypadající objekty, si je začal vypisovat včetně jejich souřadnic. Tím vznikl první katalog takových objektů, Messierův katalog. Ten byl dodatečně rozšířen ještě o několik objektů, které byly zcela jistě v pozorovacích možnostech Messiera a dnes obsahuje 110 objektů, nejčastěji mlhovin, hvězdokup a galaxií (v dnešním slova smyslu).

Když byl později (na přelomu 19. a 20. století) rozpoznán jiný charakter galaxií, byly galaxie rozčleněny podle jejich pozorovaného tvaru. Toto rozčlenění je označováno odborným souslovím vizuální morfologie. Podrobnější rozčlenění pochází od Edwina Powella Hubbla ze 20. let 20. století, který sestavil morfologické schéma známých typů galaxií známé dnes jako ladičkový diagram.



<http://cas.sdss.org/dr7/en/proj/basic/galaxies/images/tuningfork.jpg>

V levé části ladičkového diagramu se nacházejí eliptické galaxie, které mají tvar rotačního elipsoidu. Podle Hubble se označují písmenem E a číslem udávajícím poměr velké a malé poloosy. Kulově symetrické eliptické galaxie mají označení E0, nejplacatější eliptické galaxie mají poměr velké a malé poloosy roven třem a označení E7.

V pravé části Hubbleova ladičkového diagramu najdeme dvě větve: větev spirálních galaxií a větev spirálních galaxií s příčkou. Oba zmíněné typy galaxií jsou mnohem plošší než eliptické galaxie. Kolem centrálního seskupení hvězd, plynu a prachu se otáčejí v galaktickém disku spirální ramena, v nichž najdeme nejmladší hvězdy. Rozdíl mezi oběma skupinami spočívá ve tvaru centrální části: spirální galaxie ji mají kulově symetrickou, spirální galaxie s příčkou ji mají válcově symetrickou. Ve větvi spirálních galaxií (S) Hubble rozlišil typy podle poměru velikosti jádra a spirálních ramen. Typ Sa má velké jádro a poměrně malá spirální ramena, typ Sc má malé jádro a poměrně velká spirální ramena. Podobně je to u spirálních galaxií s příčkou. Ve větvi spirálních galaxií s příčkou (SB) máme rovněž typy podle poměru velikosti jádra a spirálních ramen. Typ SBa má velké jádro a poměrně malá spirální ramena, typ SBc má malé jádro a poměrně velká spirální ramena.

Hubble se domníval, že jeho ladičkový diagram vyjadřuje vývoj galaxií. Předpokládal, že vznik galaxií začíná koncentrací hmoty do kulové galaxie (E0), pak se začne projevovat odstředivá síla a dojde k postupnému zplošťování galaxií až po E7 a při dalším zplošťování někdy dojde k vzniku spirálních galaxií, jindy ke vzniku spirálních galaxií s příčkou. Přitom se postupně zvětšují spirální ramena. Hubble předpokládal, že existuje ještě speciální typ galaxií (S0), který leží na průsečíku všech tří ramen, tzv. čočkové galaxie. Ty by měly mít prvky galaxií eliptických i prvky galaxií spirálních; měly být tedy jakýmsi přechodovým typem galaxií. Když pak tento typ galaxií byl později objeven, stal se Hubble a jeho ladičkový diagram slavným, neboť předpověděl existenci nového typu galaxií.

Kromě galaxií, které se v diagramu vyskytují, existují rovněž galaxie, jejichž tvar neodpovídá ani eliptickým, ani spirálním galaxiím či spirálním galaxiím s příčkou. Tyto galaxie se nazývají galaxie nepravidelné a často je narušení jejich tvaru vyvoláno gravitačním působením některé sousední galaxie. Do skupiny nepravidelných galaxií řadíme též malé galaxie, postrádající koherentní struktury. Obvykle se jedná o vznikající galaxie, nebo galaxie, které se nacházejí v sousedství některé větší galaxie.

3.2 Pokusy o novou typologii galaxií

Hubblův ladičkový diagram vznikl před necelými 100 lety, kdy byla astronomická pozorovací technika ve srovnání s dnešní velmi výrazně slabší, na podstatně nižší úrovni. To samozřejmě znamená, že máme v dnešní době podstatně jiná pozorovací data, než jaká měl Edwin Powell Hubble. Mohlo by se sice zdát, že je jedno, zda pozorujeme galaxie v našem okolí, nebo zda pozorujeme galaxie v jiné lokalitě, jako jsou velmi podobní lidé na různých místech na Zemi, ale ukazuje se, že je situace obdobná spíše srovnání s různými živočichy, kteří se liší podle toho, v jakém podnebném pásmu žijí, nebo na jakém kontinentu se nacházejí pro ně příznivé životní podmínky. U galaxií pozorujeme v různých lokalitách rovněž různé typy galaxií, ale ne kvůli životním podmínkám, ale kvůli tomu, že tím, jak se díváme do různých vzdáleností, z nichž světlo putuje různou, velmi, velmi dlouhou dobu, pozorujeme galaxie v různé etapě stáří vesmíru, a tedy se díváme do minulosti, lze říci dokonce, že dnes vidíme hluboko do doby, kdy byl vesmír podstatně mladší, než jaké je jeho dnešní stáří.

Většina galaxií, které dnes známe, spadá do kategorie nepravidelných galaxií, a tedy do skupiny galaxií, které v Hubblově ladičkovém diagramu nejsou znázorněny. K tomu přibližně polovina eliptických galaxií má kolem elipsoidu jemné zárodky spirálních ramen. A navíc jádro spirálních galaxií a spirálních galaxií s příčkou (o čočkových galaxiích nemluvě) mnohdy připomíná eliptickou galaxii. Ze všech těchto důvodů se Hubblův ladičkový diagram snaží astronomové nahradit nějakým jiným, vhodnějším rozčleněním galaxií. Nejznámější snaha, vycházející z fyzikální podstaty galaxií a z fyzikálně-astronomických procesů, které u galaxií probíhají, člení galaxie na dvě skupiny: na galaxie diskové a galaxie diskové a sférické. Toto nově navržené dělení však nepřináší taková pozitiva, jaká bychom očekávali, protože mezi sférické galaxie jsou řazeny prakticky pouze galaxie eliptické, a druhá skupina diskových galaxií pak obsahuje všechny zbývající typy. Proto není toto dělení galaxií astronomy přijímáno dostatečně příznivě. I pro potřeby semináře tedy zůstaneme u tradičního, klasického členění galaxií podle vizuální morfologie.

I zde dochází k pokusům o úpravu Hubblova ladičkového diagramu. Jde například o doplnění mezilehlé větve v pravé části diagramu pro galaxie, u nichž je centrální vypuklina téměř kulová, ale přece jen přesně kulově symetrická není... Tato větev se označuje SAB a k ní přísluší zpřesňující podtypy a, b, c podobně jako u zbylých dvou větví. Spirální galaxie se v této úpravě označují nikoli jen S jako v tradičním diagramu, ale SA. Navíc jsou doplňovány ještě další typy na koncích větví spirálních galaxií a spirálních galaxií s příčkou.

3.3 Označování galaxií

Jen málo galaxií má své jméno, například Galaxie v Andromedě, Velké Magellanovo mračno, Malé Magellanovo mračno, Vírová galaxie nebo Galaxie Sombrero. Pojmenování galaxií by rovněž přinášelo problémy v okamžiku, kdy známe necelých 200 000 galaxií. Proto jsou obvykle galaxie označovány pomocí katalogu a pořadového čísla v tomto katalogu. Nejznámější je již zmíněný Messierův katalog označovaný písmenem M, Nový obecný či generální katalog označovaný písmeny NGC, Indexované katalogy označované písmeny IC I a IC II, katalog galaxií a kup galaxií označovaný písmeny CGCG,

Morfologický katalog galaxií označovaný písmeny MCG či Uppsalský souborný katalog galaxií označovaný písmeny UGC a mnoho dalších. Jak uvádí <http://en.wikipedia.org/wiki/Galaxy>, má například galaxie M109 dále označení NCG3992, UGC6937, CGCG 269-023, MCG + 09-20-044 a PGC 37617.

3.4 Eliptické galaxie

Eliptické galaxie se nacházejí v levé části ladičkového diagramu, jak je uvedeno výše. Podle Hubbla se označují písmenem E a číslem udávajícím poměr velké a malé poloosy. Kulově symetrické eliptické galaxie mají označení E0, nejplošší eliptické galaxie mají poměr velké a malé poloosy roven třem a označení E7.

Mezi eliptické galaxie se řadí většinou menší galaxie (s přibližně miliónem hvězd), i když i největší galaxie patří mezi eliptické (například M87). Často se jedná o mladá seskupení hvězd. Knižní publikace z konce minulého století udávají, že eliptických galaxií je zhruba 25 % všech galaxií. Z dnešního pohledu je třeba tuto charakteristiku upřesnit, že jde o čtvrtinu relativně blízkých galaxií. V hustých oblastech vesmíru, tedy v kupách galaxií, je podíl eliptických galaxií přibližně 40 %, v řídkých oblastech vesmíru je naproti tomu jejich podíl výrazně menší (méně než 10 %). Obě tato tvrzení souvisí se vznikem eliptických galaxií. Stejně tak se vznikem galaxií souvisí i to, že ve velkých vzdálenostech, tedy v počátcích existence vesmíru, jejich podíl prudce klesá k hodnotám blízkým nule. Asi polovina eliptických galaxií má „šnekovou“ strukturu, tedy zárodky spirálního disku a spirálních ramen. Eliptická galaxie svítí téměř po celé ploše, v níž je pozorujeme, přibližně stejně jasně.

Malé eliptické galaxie obsahují relativně malé množství mezihvězdné hmoty. V důsledku této vlastnosti se v malých eliptických galaxiích téměř nevyskytují otevřené hvězdokupy a je v nich velmi nízké tempo tvorby nových hvězd. Místo toho jsou v nich ve velkém množství obvykle starší, méně hmotné hvězdy, které obíhají kolem společného hmotného středu. Hvězdy obsahují pouze malý podíl těžších prvků, protože vznikly brzy po Velkém třesku, kdy se ve vesmíru ještě nestačily těžší prvky vytvořit jadernou hvězdotvorbou v jádrech hvězd, a tak se skládají zejména z vodíku a hélia, jak odpovídá složení vesmíru po Velkém třesku. V tomto smyslu mají malé eliptické galaxie některé společné rysy s mnohem menšími kulovými hvězdokupami. Nejmenší známá eliptická galaxie má velikost asi desetkrát menší než naše Galaxie.

Malé eliptické galaxie jsou obvykle popisovány jako galaxie, kde vznik hvězd skončil brzy po jejich vzniku, takže obsahují prakticky pouze staré hvězdy. Tomu odpovídá jejich převažující žluto-oranžovo-červená barva, čímž se velmi výrazně liší od ostatních typů galaxií se zřetelným modrým nádechem. Tato modrá barva vychází především z mladých, horkých hvězd ve spirálních ramenech spirálních galaxií a spirálních galaxií s příčkou.

Také největší galaxie, které pozorujeme, jsou eliptické. To je způsobeno tím, že obří eliptické galaxie vznikají srážkami galaxií libovolného typu. Eliptické galaxie tak mohou dosáhnout obrovské velikosti. Nejčastěji takové galaxie můžeme nalézt v centrech kup galaxií.



Obří eliptická galaxie ESO 325-G004

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d3/Abell_S740%2C_cropped_to_ESO_325-G004.jpg/640px-Abell_S740%2C_cropped_to_ESO_325-G004.jpg)

3.4.1 M32

Messier 32 (také NGC 221) je trpasličí eliptická galaxie typu E2 v souhvězdí Andromedy. M32 je 2,5 miliónů světelných let daleko a její průměr je 20 000 světelných let. Jde o průvodce známé Galaxie v Andromedě (M31) a byla objevena francouzským astronomem Le Gentilem v roce 1749. Stejně jako většina eliptických galaxií M32 obsahuje převážně starší slabé oranžové a červené hvězdy a prakticky žádný prach a plyn. Galaxie M32 obsahuje asi 3 miliardy hvězd a v centru je supermasivní černá díra s hmotností 3 miliony Sluncí. http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?from=&to=cs&a=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FMessier_32%23cite_note-NSOG-8

3.4.2 M87

Messier 87 (také NGC 4486 či Virgo A) je obří eliptická galaxie typu E0 či E1 v souhvězdí Panny (tvoří centrum kupy galaxií). M87 je 53,5 miliónů světelných let daleko a její průměr je 120 000 světelných let. Galaxie M87 obsahuje asi 2,7 bilionů hvězd a v centru je supermasivní černá díra s hmotností 2,4 miliardy Sluncí. V roce 1781 byla objevena francouzským astronomem Charlesem Messierem. http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?from=&to=cs&a=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FMessier_32%23cite_note-NSOG-8

Má v dalekohledu podobu elipsy, která snižuje jasnost s rostoucí vzdáleností od centra. Tento objekt je silným zdrojem elektromagnetického záření, zejména v oblasti rádiových vln. Z centra je vyzářována energie ve formě výtrysku (jetu), který sahá až do neskutečné vzdálenosti 5 000 světelných let. V M87 se nachází nezvykle vysoký počet asi 12 000 kulových hvězdokup.

3.5 Spirální galaxie

Spirální galaxie jsou mnohem plošší než eliptické galaxie. Kolem centrálního seskupení hvězd, plynu a prachu se otáčejí v galaktickém disku spirální ramena, v nichž najdeme nejmladší hvězdy. Spirální galaxie mají centrální vypuklinu (bulge) kulově symetrickou, podle poměru velikosti jádra a spirálních

ramen rozlišujeme hlavní typy Sa, Sb a Sc. Typ Sa má velké jádro a poměrně malá spirální ramena, typ Sc má malé jádro a poměrně velká spirální ramena.

Mezi spirální galaxie se řadí většinou větší galaxie (s přibližně biliónem hvězd), i když ty největší galaxie patří mezi eliptické (například M87). Často se jedná o starší seskupení hvězd. Knižní publikace z konce minulého století udávají, že spirálních galaxií je zhruba 50 % všech galaxií (počítáno celkem spirálních galaxií a spirálních galaxií s příčkou). Z dnešního pohledu je třeba tuto charakteristiku upřesnit, že jde o polovinu relativně blízkých galaxií. V hustých oblastech vesmíru, tedy v kupách galaxií, je podíl spirálních galaxií přibližně 10 %, v řídkých oblastech vesmíru je naproti tomu jejich podíl výrazně větší (přibližně 45 %). Obě tato tvrzení souvisí se vznikem spirálních galaxií. Stejně tak se vznikem galaxií souvisí i to, že ve velkých vzdálenostech, tedy v počátcích existence vesmíru, jejich podíl prudce klesá k hodnotám blízkým nule. Asi třetina spirálních galaxií jsou obyčejné spirály, zatímco dvě třetiny z nich jsou spirální galaxie s příčkou.

Spirální galaxie jsou velmi ploché objekty, mnohem plošší než eliptické galaxie. Skládají se z rotujícího galaktického disku tvořeného hvězdami a mezihvězdným prostředím, obklopujícího centrální vypuklinu (bulge) obsahující většinu starších hvězd. Spirální galaxie se tedy skládají ze čtyř odlišných složek:

- Plochý, rotující galaktický disk tvořený většinou mladými hvězdami a mezihvězdnou látkou (plynem a prachem)
- Centrální vypuklina (bulge) tvořená zejména staršími hvězdami, která se podobá eliptické galaxii
- Kulové či elipsoidální halo obklopující do velké vzdálenosti galaxii, včetně mnoha mlhovin a hvězdokup, zejména kulových
- Supermasivní černá díra ve středu galaxie

Tvar galaktického disku se spirálními rameny připomíná větrník. Spirální ramena v galaktickém disku mají tvar logaritmické spirály zahnuté proti směru rotace galaxie a rotují kolem středu galaxie s konstantní úhlovou rychlostí. To a překvapivá stabilita spirálního systému neodpovídající disipaci energie, pokud by ramena vznikla klasickým způsobem, vedlo astrofyziky C. C. Lina a Franka Shuka v roce 1964 k hypotéze o vzniku spirálních ramen pomocí tzv. hustotních vln šířících se ze středu galaxie radiálně ven. Tato hypotéza sice nebyla zatím potvrzena, ale přesto je stále považována za nejpravděpodobnější scénář vzniku spirálních ramen. Spirální ramena jsou oblasti vzniku hvězd v galaxiích.

Centrální vypuklina je obrovská oblast tvořená převážně staršími, načervenalými hvězdami. Centrální vypuklina spirálních galaxií typu Sa se obvykle skládá z hvězdy populace II, což jsou staré, červené hvězdy s nízkým obsahem kovů. Naopak centrální vypukliny galaxií typu Sc jsou mnohem menší a jsou složeny z mladých, modrých hvězd populace I. Některé centrální vypukliny mají podobné vlastnosti jako eliptické galaxie.

Viditelná hmota ve formě hvězd, plynu a prachu je obklopena přibližně kulovým či elipsoidálním galaktickým halo, které obsahuje mnoho neviditelné hmoty nazvané skrytá (temná) hmota. Skrytá (temná) hmota tvoří více než 90 % hmotnosti galaxie, i když ji nemůžeme pozorovat. O její existenci víme díky dynamickému chování galaxií.

Uprostřed centrálních vypuklin spirálních galaxií se nachází supermasivní černá díra. Takové černé díry v principu nemohou být pozorovány přímo, ale o jejich existenci víme jednak z velice dlouhých výtrysků z center galaxií, jednak z pohybu hvězd, plynu a prachu kolem centra galaxií.



NGC 4414, spirální galaxie v souhvězdí Vlasů Bereniky
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c3/NGC_4414_%28NASA-med%29.jpg/640px-NGC_4414_%28NASA-med%29.jpg)

3.5.1 M31

Galaxie Messier 31 (také NGC 224) je spirální galaxie typu Sb v souhvězdí Andromedy. M31 je 2,5 miliónů světelných let daleko a její průměr je 150 000 světelných let. Galaxie v Andromedě je nám nejbližší spirální galaxie, ale ne nejbližší galaxie celkově. Galaxie M31 obsahuje asi 300 bilionů hvězd a v centru je supermasivní černá díra s hmotností 30 milionů Sluncí. Galaxie v Andromedě je největší galaxie naší kupy galaxií, která obsahuje kromě Galaxie a M31 také M33 (Galaxie v Trojúhelníku) a asi 60 dalších menších galaxií. Galaxie a M31 se k sobě postupně blíží a v dálné budoucnosti dojde k jejich srážce a vytvoření jedné obří eliptické galaxie.

3.5.2 M100

Galaxie Messier 100 (také NGC 4321) je spirální galaxie typu Sc v souhvězdí Vlasů Bereniky. Objevil ji francouzský astronom Pierre Méchain v roce 1781. M100 je 55 miliónů světelných let daleko a má průměr 100 000 světelných let. Galaxie M100 patří k největším a nejjasnějším galaxiím v kupě Panny.

3.5.3 M104

Galaxie Sombrero (také M104 nebo NGC 4594) je spirální galaxie typu Sa v souhvězdí Panny. M104 je 30 miliónů světelných let daleko. Galaxie M104 patří k největším a nejjasnějším galaxiím v kupě Panny. Galaxie M104 má v centru supermasivní černou díru s hmotností 1 miliardy Sluncí. Galaxie Sombrero má zvláštní podobu: má světlé jádro, neobvykle velkou centrální vypuklinu a zejména výrazný prachový pás přes celou galaxii. Ten dal galaxii jméno Sombrero.

3.5.4 NGC 6070

Galaxie NGC 6070 je spirální galaxie typu Sc v souhvězdí Hada. Je od nás vzdálená 100 milionů světelných let. Objevil ji William Herschel v roce 1786.

3.5.5 M101

Galaxie M101 (také NGC 5457) se nazývá Větrník nebo Klenot. Je to spirální galaxie typu Sc v souhvězdí Velké Medvědice. Je od nás vzdálená 27 milionů světelných let a její průměr činí 170 000 světelných let. Objevil ji francouzský astronom Pierre Méchain v roce 1781, který o tomto objevu informoval Charlese Messiera. Pro M101 je typické velký počet regionů ionizovaného vodíku H II. Tyto regiony jsou ionizovány velkým počtem extrémně jasných a horkých mladých hvězd. M101 je asymetrická, má nezvyklý počet spirálních ramen – čtyři.

3.5.6 M51

Vírová galaxie M51 (také NGC 5194) je spirální galaxie typu Sc v souhvězdí Honicích psů. Je od nás vzdálená 23 milionů světelných let a její průměr činí 43 000 světelných let. Objevil ji francouzský astronom Charles Messier v roce 1773 při hledání komet. Pro M51 je typická výrazná struktura spirálních ramen související s interakcí se sousední galaxií NGC 5195. Zajímavostí je, že kromě zařazení mezi spirální galaxie ji lze zařadit i mezi galaxie s aktivními jádry, neboť její jádro vyzařuje prakticky stejné množství energie jako zbytek galaxie.

3.5.7 NGC 4414

Galaxie NGC 4414 je spirální galaxie typu Sc v souhvězdí Vlasů Bereniky. Je od nás vzdálená více než 62 milionů světelných let.

3.5.8 NGC 6946

Galaxie NGC 6946 známá také podle názvu Ohňostroj je spirální galaxie typu Sc (nebo přesněji SABc) ležící na pomezí souhvězdí Keфеa a Labutě. Je od nás vzdálená 22,5 milionů světelných let. Tato galaxie má podobně jako M101 čtyři spirální ramena.

3.5.9 ESO 510-G13

Galaxie ESO 510-G13 objevená Evropskou jižní observatoří v Chile je typu Sa a nachází se ve vzdálenosti 150 milionů světelných let v souhvězdí Hydry. Zvláštností je zprohýbaný spirální disk pozorovaný z boku, což je patrně důsledkem interakce s nějakou další galaxií, která se kolem této spirální galaxie v minulosti prohnala.

3.5.10 NGC 3314

Galaxie NGC 3314 je dvojice galaxií, které se promítají na jedno místo oblohy, i když leží v různých vzdálenostech. Přední galaxie je spirální galaxie s příčkou typu SBbc a nachází se ve vzdálenosti 114 milionů světelných let v souhvězdí Hydry. Za ní je vidět spirální galaxie typu Sab nacházející se ve vzdálenosti 140 milionů světelných let (rovněž v souhvězdí Hydry).



NGC 3314a (v popředí) a NGC 3314b (v pozadí) na snímku Hubblova kosmického dalekohledu (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Galactic_Silhouettes_-_GPN-2000-000893.jpg)

3.6 Spirální galaxie s příčkou

Asi dvě třetiny spirálních galaxií, včetně naší vlastní Galaxie, nemá centrální vypuklinu kulově symetrickou. Tyto galaxie mají centrální vypuklinu protáhlou, ve tvaru příčky. Na konci této příčky z ní pak vyrůstají spirální ramena, a to sice ve velké většině podobně jako u párových orgánů lidí a živočichů, tedy dvě spirální ramena, ale u mnoha galaxií jsou spirální ramena vícečetná, i když s ohledem na dynamickou stabilitu též sudá. Tak je tomu například u Galaxie, kde je podle posledních průzkumů na konci každého konce příčky začátek dvou spirálních ramen, tedy celkem má naše Galaxie čtyři spirální ramena. Že to není zcela výjimečné, to je zjevné i z předchozí kapitoly týkající se spirálních galaxií, kde jsme si ukázali dvě takové spirální galaxie, které mají celkem čtyři spirální ramena.

Spirální galaxie s příčkou se nacházejí v pravé spodní části Hubblova ladičkového diagramu. Jak již bylo zmíněno dříve, jsou spirální galaxie s příčkou mnohem plošší než eliptické galaxie. Kolem centrálního seskupení hvězd, plynu a prachu se otáčejí v galaktickém disku spirální ramena, v nichž najdeme nejmladší hvězdy. Ve větvi spirálních galaxií s příčkou (SB) rozeznáváme podobně jako u spirálních galaxií typy podle poměru velikosti jádra a spirálních ramen. Typ SBa má velké jádro a poměrně malá spirální ramena, typ SBc má malé jádro a poměrně velká spirální ramena.

Příčky spirálních galaxií s příčkou nejsou považovány za stabilní objekty. Astronomové předpokládají, že mohou vzniknout v důsledku hustotních vln šířících se radiálně z jádra galaxie, případně v důsledku slapových sil při interakci s jinou galaxií.

Jak je výše uvedeno, jsou spirální galaxie s příčkou zhruba dvakrát četnější než obyčejné spirální galaxie. Tak tomu pravděpodobně nebo vždy. Odhaduje se, že podíl spirálních galaxií s příčkou byl před 8 miliardami let asi 10 % a pak se neustále postupně zvětšoval až na současný dvoutřetinový podíl.



NGC 1300 na snímku z Hubblova kosmického teleskopu

(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Hubble2005-01-barred-spiral-galaxy-NGC1300.jpg/1024px-Hubble2005-01-barred-spiral-galaxy-NGC1300.jpg>)

3.6.1 NGC 1365

Galaxie NGC 1365 je spirální galaxie s příčkou typu SBc v souhvězdí Pece. NGC 1365 je 56 miliónů světelných let daleko.

3.6.2 NGC 6782

Galaxie NGC 6782 je spirální galaxie s příčkou typu SBa v souhvězdí Páva. NGC 6782 je od nás vzdálena 183 miliónů světelných let.

3.6.3 NGC 1300

Galaxie NGC 1300 je spirální galaxie s příčkou typu SBbc v souhvězdí Eridanu, kde je součástí kupy obsahující asi 200 galaxií. Byla objevena Johnem Herschelem v roce 1835. NGC 1300 je od nás vzdálena 61 miliónů světelných let a má velikost asi 110 000 světelných let; je tedy o málo větší než naše vlastní Galaxie. V jádru galaxie NGC 1300 byla nečekaně objevena spirála s velikostí asi 3 300 světelných let. Astronomové se domnívají, že tato spirála může být způsobena plynem, který se v příčce galaxie pohybuje podél spirály směrem k centru, kde je pohlcen supermasivní černou dírou. Je to však stále ještě hypotéza, teprve další výzkumy mohou tuto hypotézu potvrdit či vyvrátit.

3.6.4 M83

Galaxie M83 (také NGC 5236) se nazývá Jižní větrník nebo Jižní klenot. Je to spirální galaxie s příčkou typu SBc (či SABc) v souhvězdí Hydry. Je od nás vzdálená 15 milionů světelných let a její průměr činí 170 000 světelných let. Objevil ji francouzský astronom Nicolas Louis de Lacaille v roce 1752 na jižní obloze a Charles Messier ji následně přidal do svého katalogu. M83 je centrem podskupiny galaxií pojmenované právě podle M83.

3.7 Čočkové galaxie

Čočkové galaxie jsou speciálním typem galaxií, který leží na průsečíku všech tří ramen v Hubblově ladičkovém diagramu. Mají kolem jasnější centrální oblasti jen jemný hvězdný disk bez spirálních ramen. Tyto galaxie mají prvky galaxií eliptických i prvky galaxií spirálních; jsou tedy jakýmsi přechodovým typem galaxií. Konkrétně: čočkové galaxie jsou diskové galaxie, podobně jako spirální galaxie s příčkou, které však neobsahují téměř žádný plyn a prach, a proto v nich prakticky neprobíhá vznik hvězd. Obsahují proto jen staré hvězdy, podobně jako eliptické galaxie. Také co do vzhledu jsou velmi podobné eliptickým galaxiím.

Knižní publikace z konce dvacátého století udávají, že eliptických galaxií je zhruba 20 % všech galaxií. Z dnešního pohledu je třeba tuto charakteristiku upřesnit, že jde o pětinu relativně blízkých galaxií. V hustých oblastech vesmíru, tedy v kupách galaxií, je podíl čočkových galaxií přibližně 50 %, rovněž

podíl čočkových galaxií v řídkých oblastech vesmíru je podobný (45 %). Ve velkých vzdálenostech, tedy v počátcích existence vesmíru, je podíl čočkových galaxií malý, přibližně 20%.

Čočkové galaxie byly Hubblem chybně vnímány jako vývojový mezistupeň mezi eliptickými a spirálními galaxiemi.

Protože mají jen jemný hvězdný disk bez spirálních ramen, není možné je charakterizovat tak, jak charakterizujeme spirální galaxie či spirální galaxie s příčkou. Nemůžeme je klasifikovat ani tak, jako klasifikujeme eliptické galaxie, neboť jejich centrální část je kulově symetrická. Rozlišujeme je tedy obvykle podle množství prachu.



Galaxie M102 nazývaná Vřeteno v souhvězdí Draka.

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/File-Ngc5866_hst_big.png/640px-File-Ngc5866_hst_big.png)

3.7.1 M102

Galaxie M102 (také NGC 5866) se nazývá Vřeteno. Je to čočková galaxie, tedy typu S0 v souhvězdí Draka. Je od nás vzdálená 50 milionů světelných let. Objevil ji buď Pierre Méchain nebo Charles Messier v roce 1781.

3.7.2 M84

Galaxie M84 (také NGC 4374) je čočková galaxie v souhvězdí Panny. Je od nás vzdálená 60 milionů světelných let. Objevil ji Charles Messier v roce 1781.

4 Praktická část

4.1 Modely souhvězdí

Ve školních podmínkách se dá celkem jednoduše pomocí meotaru (nebo jiného světelného zdroje) nasimulovat model souhvězdí. Pro představivost je ale lepší prostorový model, který lépe zobrazuje rozložení hvězd ve vesmíru. Je vhodné zvolit známě souhvězdí a také s dobrým poměrem vzdáleností hvězd. Vzdáleností hvězd si musíme připravit z katalogu (např. Hipparcos) a pomocí vzorců v tabulkovém procesoru převést na použitelné rozměry.

4.2 Seeing

Seeing znamená kvalitu teleskopického obrazu hvězdy vlivem nestálosti zemské atmosféry. Laicky se tak také nazývá neklid atmosféry. Na jeho simulaci potřebujeme meotar, přes který položíme karton, ve kterém bude jeden malý otvor simulující hvězdu. Ideální případ bez atmosféry je, když v cestě paprsku nic nepřekáží, tzn. obraz na stěně je klidný, nechvěje se. Na předvedení atmosféry použijeme skleničku s vodou, kterou postavíme na otvor. Obraz na zdi se nám mírně rozostří. Pokud ještě pomocí špejle vodu promícháme, dostaneme rozklepaný obraz hvězdy, který simuluje průchod obrazu přes neklidnou atmosféru. V dnešní době se již tento problém odstraňuje pomocí adaptivní optiky anebo vyvezením dalekohledu nad atmosféru (např. HST).

4.3 Simulace granule Slunce

Pokud pozorujeme za dobrých podmínek dalekohledem Slunce, můžeme spatřit jemnou síť tmavších a světlejších skvrnek po celém jeho povrchu – granulaci. Granulace je projevem proudění slunečního plazmatu v konvektivní vrstvě. Jasnější skvrnky představují vrcholky vzestupných proudů, které do fotosféry přinášejí teplejší materiál z podpovrchových vrstev. Poté co se materiál díky intenzivnímu vyzařování ochladí, projeví se nám ve fotosféře jako tmavší skvrnka a klesá zpět pod povrch. Pozor nezaměňovat se slunečními skvrnami. Rozměry těchto útvarů jsou řádově 1000 – 2000 km. Sluneční granulaci si můžeme vyrobit pomocí jedlého oleje a stříbřenky. V kádince nebo konvici rozmícháme olej se stříbřenkou a uvedeme do varu. Na hladině pak pozorujeme vzestupné proudy, které nám simulují sluneční granulaci. Vznikající buňky se jmenují podle H. Bénarda, který je v roce 1900 poprvé pozoroval, podle něj byly později také pojmenovány Bénardovými buňkami.

4.4 Mapování povrchu Venuše

Povrch Venuše se díky velmi husté atmosféře planety, neprostupné pro optické pozorování, nemůže stát cílem pozemských dalekohledů. Mapování jejího povrchu proto převzaly sondy, podmínky panující na povrchu planety nejsou vhodné ani pro sondy je zde příliš vysoký tlak a teplota. Přesto se to některým podařilo (Venera 7) a na několik minut snímkovaly povrch planety. Jako lepší varianta se ukázalo radarové snímkování povrchu a jeho následná počítačová modelace. S moduritu si vytvoříme model povrchu Venuše, který budeme snímkovat. Radarový svazek paprsků nasimulujeme svazkem 300 špejlí. Pokud špejle nasadíme na vytvořený model, objeví se na druhém konci svazku tvar snímaného povrchu.

4.5 Simulace sopky

Nejenom na Zemi, ale i na jiných tělesech sluneční soustavy nalezneme sopečnou činnost, např. na Jupiterovo měsíci IO. Simulace lávy vytékající z jícnu se dá vytvořit pomocí malé lahvičky a modelu sopky z plastelíny (může se použít i sádra nebo dokonce obyčejná zem). Do lahvičky se nasype jedlá soda. Pak se ve víčku od PET láhve rozmíchá ocet s červeným potravinářským barvivem a nalije se do lahvičky. Při reakci směsi s jedlou sodou se vytvoří červená pěna, která začne vytékat a připomíná tekoucí lávu z jícnu sopky.

4.6 Simulace tornáda

Vzdušný vír neboli tornádo se dá nasimulovat několika způsoby. Mezi jednodušší varianty patří analogické zobrazení pomocí vodního víru v PET lahvi. Dvě PET láhve spojíme víčky, ve kterých vyvrtáme 0,5 cm otvor. Do jedné nalijeme vodu a otočením PET lahve začne voda protékat do spodní části a v horní se vytvoří vír (tornádo).

4.7 Rakety

Modely raket slouží k jednoduché prezentaci základních fyzikálních principů a pro studenty jsou vítaným zpestřením výuky. Existuje spousta variant od vodních po lihové, pro školní potřeby a práci ve skupinách se nejlépe hodí vodní rakety. K výrobě potřebujeme 2 PET lahve, lepenky, korkový špunt, karton, ventilek a hustilku

5 Seznam literatury

1. Schwarzschild J.: On Simulations of Galaxy Dynamics and Their Application to Physics Education (dostupné online na <http://kof.zcu.cz/st/dis/schwarzschild/>)
2. Randa M. a kol., astronomia.zcu.cz.

6 Test

V následujícím testu si můžete ověřit znalosti získané během semináře.

1. Které galaxie **nejsou** ve vesmíru?
 - a. spirální.
 - b. čočkové.
 - c. hyperbolické.
 - d. eliptické.
2. Čím se vyznačují čočkové galaxie?
 - a. výraznými spirálními rameny.
 - b. malou velikostí.
 - c. tím, že se jedná o nejmladší známé galaxie.
 - d. jemným diskem bez spirálních ramen.
3. Galaxie v Andromedě:
 - a. je trpasličím průvodcem naší Galaxie.
 - b. je v Messierově katalogu objektem s pořadovým číslem 31.
 - c. patří mezi nepravidelné galaxie s velkým vlastním pohybem.
 - d. neexistuje; jde o chybné označení mlhoviny v Andromedě.
4. Vzdálenost 2 milionů světelných let urazí světlo za:
 - a. 2 miliony let.
 - b. 2 miliony světelných let.
 - c. 2 miliony sekund.
 - d. 2 miliony minut.
5. Počet spirálních ramen:
 - a. je vždy roven 2.
 - b. je vždy lichý.
 - c. je vždy sudý.
 - d. je obvykle roven 3 až 5.
6. Ve vesmíru známe v současnosti asi:
 - a. 2 miliardy galaxií.
 - b. 2 miliony galaxií.
 - c. 200 000 galaxií.
 - d. 2 000 galaxií.
7. Naše Galaxie je:
 - a. eliptickou galaxií.
 - b. spirální galaxií s příčkou.
 - c. spirální galaxií.
 - d. čočkovou galaxií.
8. Po srážce dvou spirálních galaxií vznikne:
 - a. obří eliptická galaxie.
 - b. obří spirální galaxie.
 - c. masivní černá díra.
 - d. asi 10 nových hvězd.

9. Messierův katalog obsahuje:
- a. přibližně 10 objektů.
 - b. přibližně 100 objektů.
 - c. přibližně 1 000 objektů.
 - d. přibližně 10 000 objektů.
10. Které objekty se **nevyskytují** v galaxiích?
- a. nadkupy
 - b. kulové hvězdokupy
 - c. mlhoviny
 - d. planety

(správné odpovědi: 1c, 2d, 3b, 4a, 5c, 6c, 7b, 8a, 9b, 10a)