

GRAFY A DIAGRAMY Z ASTRONOMIE A ASTROFYZIKY



Nakladatelství
Svoboda
Praha, 1990

**GRAFY
A DIAGRAMY
Z ASTRONOMIE
A ASTROFYZIKY**

Diafilm

**Nakladatelství Svoboda
Praha 1990**

Připravil: RNDr. Oldřich Hlad

Nakladatelství
Svoboda
Praha



OBSAH

1) Úvod	7
2) Seznam diapozitivů	9
3) Užití diafilmu a jeho vztah k předchozím astronomickým diafilmům ministerstva kultury ČR a k některým dalším pomůckám...	11
4) Texty k diapozitivům.....	13
5) Seznam literatury	55
6) Astronomické diafilmy ministerstva kultury ČR (výpis grafů)	57

1. ÚVOD

V průběhu posledních patnácti let vydalo ministerstvo kultury ČR diafilmy (viz obsah a seznam v příloze) se 180 barevnými obrazy, v nichž jsou výtvarně zpracované grafy. Tento diafilm poskytuje pracovníkům hvězdáren a planetárií a astronomických kroužků i lektorům dalších 36 výtvarně zpracovaných grafů. Celkem je tedy do dnešního dne zpracováno 77 grafů. Jejich význam pro výklad astronomie v kroužcích, při populárních přednáškách a zejména při vytváření komponovaných audiovizuálních programů je zřejmý. Estetické působení je účinnější nežli při ofotografování černobílé předlohy z knihy a obsah textu i obrazů je možno využít pro vzdělávání i výchovu k vědeckému světovému názoru.

Cílem tohoto diafilmu je zejména rozšířit počet výtvarně zpracovaných grafů, vhodných pro použití i v případě vysokých požadavků na estetickou a technickou kvalitu projekce (např. v sálech planetárií a při kvalitní audiovizí). S barevným provedením roste názornost, temné pozadí brání oslnění diváka a formát (na rozdíl od obrázků v knihách) je přizpůsoben projekci. Barevné astronomické fotografie lze přefotografovat z knih a z časopisů na kinofilm. U grafů tomu tak není, protože nevyhovují formátem.

Diapozitivy je možné používat jednotlivě v různých programech. Tomu je přizpůsoben i text.

Sérii některých diapozitivů lze používat v blocích (viz kapitola o využití diafilmu).

Autor

2. SEZNAM DIAPOZITIVŮ

1. Fáze a oběh Měsíce
2. Vznik zatmění
3. Relativní čísla slunečních skvrn
4. Velikosti a vzdálenosti planet
5. Konfigurace planet se Sluncem
6. Elongace a sklony drah vnitřních planet
7. Večernice a jitřenky
8. Měsíce planet – průměry a vzdálenosti
9. Měsíce Marsu
10. Měsíce Jupitera
11. Měsíc Io a rádiové záření Jupitera
12. Měsíce Saturnu
13. Měsíce Uranu a Neptunu
14. Charon a Pluto
15. Dráhy planetek a komet
16. Planetky
17. Oortův oblak komet
18. Dráha Halleyovy komety
19. Elektromagnetické záření
20. Spektra a spektrograf
21. Planckův zákon a spektrální třídy hvězd
22. Záření v Galaxii
23. Spektrální třídy a teplota
24. Hertzsprungův-Russellův diagram
25. Průměry hvězd a sluneční soustava
26. Vývoj a zánik hvězd
27. Okolí Slunce do 20 světelných let
28. Okolí Slunce do 100 světelných let
29. Okolí Slunce do 1000 světelných let

30. Stáří vesmíru a jeho částí
31. Galaktický rovník, ekliptika, rovník
32. Rovníkové souřadnice
33. Ekliptikální souhvězdí
34. Obloha a Země
35. Střídání ročních období
36. Čas a zeměpisné souřadnice v ČSSR

3. UŽITÍ DIAFILMU A JEHO VZTAH K PŘEDCHOZÍM ASTRONOMICKÝM DIAFILMŮM MINISTERSTVA KULTURY ČR A K NĚKTERÝM DALŠÍM POMŮCKÁM

Hlavním cílem tohoto diafilmu je doplnit diatéky hvězdáren, planetárií a astronomických kroužků tak, aby hlavní typy pořadů i přednášek byly doplněny grafy vyhovujícími po obsahové, estetické i technické stránce. Soubor diapositivů je již dosti velký, avšak vydání dalších diafilmů jej může ještě zlepšit. Tento hlavní cíl předznamenal i výběr tematiky. Jednalo se zejména o to, doplnit chybějící diapositivy.

V souboru jsme zároveň vytvořili skupiny diapositivů, které lze použít v blocích k souvislému výkladu. Jsou to následující skupiny:

1. Diapositivы D 4 – D 7 lze použít k výkladu o sluneční soustavě se zaměřením na viditelnost (pozorování) planet.
2. Diapositivы D 8 – D 14 jsou věnovány výsledkům studia pozorování měsíců sluneční soustavy, získaným kosmickými sondami v posledních letech.
3. Diapositivы D 15 – D 18 jsou věnovány meziplanetární hmotě, zejména planetkám a kometám. V těchto oborech dosáhla československá astronomie značných úspěchů.
4. Diapositivы D 19 – D 26 jsou vhodné k souvislému pojednání o záření, vlastnostech a vývoji hvězd.
5. Diapositivы D 27 – D 29 slouží k výkladu o prostorovém rozložení hvězd v okolí Slunce.
6. Diapositivы D 31 – D 36 umožňují i souvislý výklad základů hvězdářského zeměpisu a časomíry i základů orientace na obloze a na Zemi.

Souvislost s předchozími diafilmy je tedy zřejmá; již při jejich vzniku se jednalo o postupné doplňování základní diatéky. Např. 4. a 5. skupina může být doplněna diapositivem paralaxy z diafilmu Mikuláš Koperník (II. díl), skupina 5. vhodně využije diapositivы o rozložení galaxií v prostoru

z diafilmu Hvězdný vesmír (II. díl) k rozšíření prostorové představy na rozsáhlé prostory vzdáleného vesmíru. Proto uvádím přehled všech grafů, které byly dosud publikovány v diafilmech ministerstva kultury ČR.

4. TEXTY K DIAPOZITIVŮM

D 1 Fáze a oběh Měsíce

Rotace Měsíce je vázaná. To znamená, že až na librace (kývání), které umožňují vidět o 9 % více než polovinu měsíčního povrchu, obrací Měsíc k Zemi stále stejnou polovinu.

Při pohledu z pólu měsíční dráhy (vnitřní část obrázku) je situace zcela jednoduchá a přehledná. Při pohledu ze Země (vnější část obrázku) je viditelné osvětlení (fáze) závislé na poloze Měsíce a Slunce. Měsíc od novu přes první čtvrt dorůstá do úplňku a pak přes poslední čtvrt zmenšuje fázi k novu.

Sledujeme-li oběh a zároveň dvě po sobě následující fáze (např. novy), je (z pravého obrázku) patrné, že nejdříve za 27,2 dne (siderický měsíc) se otočí kolem vlastní osy o 360° , tj. vůči hvězdám. Aby dosáhl novu, byl opět mezi Zemí a Sluncem, musí ještě dále obíhat. Novu dosáhne za synodický měsíc (29,5 dne).

V kursech astronomie je vhodné probrat také souvislost mezi rozdílem délek Slunce a Měsíce a fází (stářím) vyjádřenou ve stupních, kdy vrchol úhlu je ve středu Měsíce. Fáze je rovna rozdílu délek Slunce a Měsíce. Snadno zjistíme, že terminátor prochází právě v polovině vzdálenosti mezi okrajem a středem měsíčního disku (viděno ze Země), nikoli v časovém středu mezi novem čtvrtěmi, ale pět dní před a po novu, tedy dva dny před první čtvrtí a dva dny po poslední čtvrti.

Literatura: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,13, 19, 20 , 21.

D 2 Vznik zatmění

Aby nastalo zatmění, je nutné, aby byly splněny následující podmínky:

1. Měsíc musí být v syzigii (v novu nastane zatmění Slunce, v úplňku zatmění Měsíce).
2. Měsíc musí být v blízkosti uzlu měsíční dráhy (je skloněna 5° k ekliptice).

Měsíc je v téže syzigii vždy po synodickém měsíci, v témže uzlu vždy po drakonickém měsíci (27,2 dne).

Za 223 synodických měsíců ($223 \cdot 29,53058818$) uplyne 232 drakonických měsíců ($242 \cdot 27,21221997$) s rozdílem jen 0,0361 dne. Za tuto dobu 18 let a 10,33 dne se zatmění opakuje (saros). Jedna třetina dne způsobí, že jev se opakuje o 120° stranou v zeměpisné délce. Za tři sarosy se opakuje ve stejné oblasti zeměkoule.

Literatura: 1, 5, 19, 20, 21.

D 3 Relativní čísla slunečních skvrn

Křivka vyjadřuje intenzitu sluneční činnosti za posledních 400 let, neboť relativní číslo sluneční činnosti je obvyklým a obecně uznávaným měřítkem činnosti Slunce.

Relativní číslo $R = k \cdot (10g + f)$, kde g je počet skupin skvrn, f je počet všech skvrn a konstanta k závisí na použitém přístroji ($k = 1$ pro dalekohled o průměru 80 mm a zvětšení 64 krát).

Relativní číslo se zjišťuje pro každý den, dále pro měsíc a rok. Hodnoty získané na různých místech různými přístroji jsou korigovány v hvězdárně v Curychu ve Švýcarsku a jsou publikovány. Z těchto hodnot je sestaven graf.

Relativní číslo bývá též nazývané Wolfovo číslo podle R. Wolfa, který je zavedl.

Střední hodnota periody výskytu slunečních skvrn je 11 let s extrémy 7 a 17 let. Relativní číslo dosahuje hodnot cca 5 – 300.

Kromě jedenáctileté periody je vhodné uvádět ještě osmdesátiletou.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 13, 21.

D 4 Velikosti a vzdálenosti planet

Charakteristiky planet jsou uvedeny v tabulkách v příloze, údaj o vzdálenosti v astronomických jednotkách (146,6 miliónu km) odečteme přímo z grafu.

Velikosti planet jsou názorně zobrazeny. Vzhledem k průměru Země jsou průměry planet větší: Jupiter – 11×, Saturn – 9×, Uran a Neptun 4×; menší: Merkur 3×, Venuše 1×, Mars 2×, Pluto 5 – 6 ×.

Z grafu je jasné i pořadí planet, v jakém obíhají kolem Slunce. Výjimku tvoří Pluto, který jednou za čtvrtinu tisíciletí je dvě desítky let blíže Slunci než Neptun. Tato situace nastává i nyní v letech 1979 – 1999. Nejbliže Slunci je Pluto v roce 1989 (29,65 astronomické jednotky), nejdále od Slunce bude v roce 2107 (49,30 astronomické jednotky).

Literatura: 2, 3, 5, 7, 13, 20, 21;
družice a sondy 4, 8.

D 5 Konfigurace planet se Sluncem

Postavení planet (konfigurace, aspekty) vůči Zemi a Slunci je důležité znát kvůli posouzení, kdy a jak je planeta viditelná na obloze.

Je vhodné rozlišovat planety vnější (Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluto) a vnitřní (Merkur, Venuše). Vnější planety se pohybují pomaleji než Země, vnitřní rychleji, a to ve směru rostoucí rektascenze (délky), tj. při pohledu ze severní polokoule Země zprava doleva.

„Předjíždí-li“ rychlá vnitřní planeta Zemi, vzniká v okolí dolní konjunkce se Sluncem při pohledu ze Země zpětný pohyb a planeta vykoná kličku. Kolem největší výchylky (elongace) je vnitřní planeta pozorovatelná jako večernice (východní elongace), nebo jako jitřenka (západní elongace). Viz též diapozitiv D 7.

„Předjíždí-li“ Země vnější planetu v okolí její opozice se Sluncem, koná vnější planeta zpětný pohyb, který je částí kličky. To zachycuje pravá část grafu.

Zpětné pohyby v kličkách trvají u Merkuru 19 – 24 dní, u Venuše 42 dní, u Marsu 74 dní, u Jupitera 120 dní, u Saturnu 140 dní a u Uranu 152 dní.

Vnější planeta je dobře pozorovatelná od kvadratury přes opozici po kvadraturu.

Opozice Marsu nastanou v listopadu 1990, v lednu 1993, v únoru 1995, v březnu 1997 a v dubnu 1999. Vzdálenost Marsu od Země v době opozic se nyní zmenšuje.

Opozice Jupitera každý rok a vždy po roce nastanou o měsíc později a o jedno znamení vlevo. Nyní probíhají v zimních měsících v nejvyšších souhvězdích zvětrníku (1989 – Blíženci).

Opozice Saturnu nastane ve Střelci v červenci 1989 a v červenci 1990, v Kozorohu v červenci 1991 a v srpnu 1992, ve Vodnáři v srpnu 1993, v září 1994 a v září 1995 atd. Probíhají nyní v nejnižnějších (nejnižších) souhvězdích ekliptiky.

Synodické a siderické doby oběhu planet jsou uvedeny v přílohách. Pro vztah mezi siderickou dobou oběhu Země ($365,2563656$) P_z , synodickou dobou oběhu planety S a siderickou dobou oběhu planety P_p platí:

a) pro planety vnitřní

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P_P} - \frac{1}{P_Z},$$

b) pro planety vnější

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P_Z} - \frac{1}{P_P}.$$

Literatura: 5, 13, 19, 20, 21.

D 6 Elongace a sklony drah vnitřních planet

Venuše se vzdálí od Slunce až o 47° , Merkur až o 28° (je-li zároveň v odsluní).

Nenulový sklon dráhy k ekliptice je příčinou vzniku klíčky jak vnitřních, tak vnějších planet. Kdyby se totiž planeta pohybovala v rovině ekliptiky, projevil by se zpětný i dopředný pohyb v jedné čáře na obloze (na hlavní kružnici). Tvar klíčky závisí na okolnosti, zda se planeta pohybuje v blízkosti uzlu dráhy (průsečík dráhy planety s ekliptikou), či daleko od něho.

Rozměr klíčky závisí na době, po kterou planeta setrvává ve zpětném pohybu, a u jednotlivých planet činí: u Merkuru $8,5 - 10$ stupňů, u Venuše 16 stupňů, u Marsu 15 stupňů, u Jupitera 10 stupňů a u Saturnu $6,5$ stupně.

Největší sklon dráhy k ekliptice má Pluto ($17,1497^{\circ}$), dále Merkur ($7,0056^{\circ}$), Venuše ($3,3948^{\circ}$), Saturn ($2,478^{\circ}$) a Mars ($1,8505^{\circ}$), nejmenší sklon má Uran ($0,7723^{\circ}$).

Největší výstřednost dráhy má Pluto ($0,24712$), dále Merkur ($0,20563$) a Mars ($0,0949$).

Literatura: 5, 13, 19, 20, 21.

D 7 Večernice a jitřenky

Kdybychom mohli odstranit atmosféru, zastavit Zemi (revoluci i rotaci) a pozorovat např. celý jeden oběh Merkuru kolem Slunce, zakreslit jej a pak umístit Slunce na východní či západní obzor, snadno bychom ukázali, jak vzniká efekt večernice a jitřenky. Právě to ukazuje diapozitiv.

Země má ovšem atmosféru, rotuje a obíhá kolem Slunce. Zdánlivý pohyb vnitřních planet je následkem vlastního pohybu planety i pohybu Země. Po západní maximální elongaci mizí jitřenka pomalu z jižní oblohy a pomalu se stává večernicí. Po maximální východní elongaci mizí rychle večernice v záři Slunce a rychle se po dolní konjunkci objevuje na ranní obloze.

Venuše bude v maximální východní výchylce (večernice):

- v nejvýchodnějších polohách v dubnu v Býku v roce 1996 a 2004,
- ve východních polohách v červnu v Raku v roce 1991 a 1999,
- v lednu ve Vodnáři v roce 1993 a 2001,
- v listopadu ve Střelci v roce 1989 a 1997.

U Merkuru nastává ročně 6 - 7 maximálních elongací. Pro pozorování jsou výhodné jarní východní a podzimní západní elongace, kdy ční ekliptika strmě nad obzor.

Viz též text k diapozitivu D 6.

Literatura: 5, 13, 19, 20, 21.

D 8 Měsíce planet – průměry a vzdálenosti

Do sluneční soustavy patří všechna tělesa obíhající kolem Slunce, respektive tělesa obíhající kolem oběžnic Slunce. Kromě planet to jsou měsíce planet, komety, planety a meteorické roje. Jako jednotlivá tělesa se dosud podařilo identifikovat cca 1100 komet (s periodickými cca 1700), 5000 planetek (z toho u 2000 je určena dráha) a 54 měsíců planet, objevených v letech 1610 – 1986. V létě 1989 proletí kolem Neptunu sonda Voyager 2 a počet měsíců se bezpochyby zvětší.

Měsíce planet lze rozdělit do tří skupin. První – nejdůležitější – tvoří klasické (regulární) měsíce, které vznikly spolu s mateřskou planetou. Mají malý sklon dráhy a velikosti. Hmotnosti a rozměry dráhy jsou úměrné mateřské planetě. Patří sem historické družice Jupitera Io, Evropa, Ganymed a Kalisto, všechny Saturnovy měsíce od Mimase až po Japeta a všech pět historických družic Uranu.

Druhou skupinu tvoří tělesa, která byla pravděpodobně zachycena velkou planetou. Patří sem skupiny družic Jupitera a Saturnu s velkými sklony drah a také měsíce Marsu.

Třetí skupinu tvoří neregulární podivuhodné družice buď s malým sklonem dráhy a retrográdním pohybem (Neptun a Triton), nebo měsíce „dvojplanet“ Země-Měsíc a Pluto-Charon.

Ganymedes (J III) a Titan (S VI) jsou větší než Merkur. Tyto měsíce, Kalisto (J IV), Io (J I) a Triton (N I) jsou větší než Měsíc. Všechny uvedené měsíce a Evropa (J II) jsou větší než Pluto.

Vzdálenosti měsíců od planet se pohybují od tisíců do stovek tisíců kilometrů, u některých skupin měsíců Saturnu a Jupitera až po milióny a dvě desítky miliónů kilometrů.

Měsíc Titan (S VI) má atmosféru složenou z dusíku a methanu. Na měsíci Io (J I) jsou činné sopky. Řada měsíců má skalnatý povrch, jiné jsou pokryty ledem, či znečištěným ledem. Na povrchu některých byly zjištěny sloučeniny síry a uhlíku.

Pohled na povrch měsíců skýtá krásný a zajímavý pohled. Snímky nalezneme v časopisech zejména z roku 1980 a 1986.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21; družice a sondy: 4, 8.

D 9 Měsíce Marsu

Byly objeveny A. Hallem v roce 1877 dalekohledem o průměru 65 cm. Tvarem a vzhledem připomínají planetky. Větší Phobos (M I) má rozměry $13,5 \times 11 \times 10$ km, menší Deimos (M II) $7,5 \times 6 \times 5,5$ km.

Měsíce obíhají velmi blízko planety (Phobos má malou poloosu dráhy 9378 km, Deimos 23 459 km). Tomu odpovídají také doby oběhu 0,319 dne a 1,267 dne. Vzhledem k rotaci Marsu (24,6299 h) vznikají zajímavé úkazy při pozorování družic z povrchu planety. Ačkoliv obě družice obíhají ve stejném smyslu jako Mars kolem Slunce, Phobos vychází na západě a za 4,5 hodiny zapadá na východě za rychlé změny fáze. Deimos vychází na východě a zapadá na západě až za 66 hodin a projde za tuto dobu všemi fázemi dvakrát.

Družice jsou pokryty krátery. Jeden z nich je pojmenován po spisovateli Jonathanu Swiftovi, který v satirické knize Gulliverovy cesty uvedl 150 let před objevem měsíců nejen jejich počet, ale přibližně i vzdálenosti od Marsu. Jedná se o zajímavou náhodu.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 10 Měsíce Jupitera

V rovině rovníku Jupitera obíhá osm satelitů. Kromě velkých (historických) měsíců Io, Evropa, Ganymed, Kalisto jsou to Amalthea (V), Thebe (XIV),Adraste (XV) a Metis (XVI). Ostatní tvoří dvě skupiny neregulérních satelitů, z nichž jedna obíhá retrográdně (sklon drah v 150°) ve vzdálenostech přes 20 miliónů kilometrů od planety s oběžnými dobami kolem dvou let. Skupina s přímým oběhem obíhá v poloviční vzdálenosti s dobou oběhu kolem 250 dní a se sklonem drah těsně pod 30° . Většina těchto měsíců byla objevena ze Země.

Nejpozoruhodnější jsou první čtyři velké měsíce, z nichž Ganymed a Kalisto jsou pokryty krunýřem ze znečištěného ledu, Evropa je pokryta čistým ledem. Na sopkami pokrytém Io se vyskytuje síra a její sloučeniny. Její stopy jsou i na měsíci Amalthea (V).

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 11 Měsíc Io a rádiové záření Jupitera

Kosmické sondy Pionýr 10 a Voyagery přinesly řadu informací, mj. i o silném magnetickém poli Jupitera. Indukce pole na hranici oblačné vrstvy dosahuje hodnot $3 \cdot 10^{-4} - 14 \cdot 10^{-4}$ T (na povrchu Země $3 \cdot 10^{-4} - 800 \cdot 10^{-4}$ T). Pole do vzdálenosti více než tří poloměrů má charakter magnetického dipólu. Relativistické elektrony procházející magnetickým polem jsou příčinou synchrotronního rádiového záření na decimetrových vlnách. Periodické výkyvy tohoto záření souvisí s měsícem Io, který při pohybu kolem Jupitera narušuje strukturu radiačních pásů.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 12 Měsíce Saturnu

Saturnovy měsíce od Atlasu (XV) vzdáleného 137 640 km až po Japeta (VIII) vzdáleného 3 561 000 km se pohybují po téměř kruhových drahách s téměř nulovými sklony. Pouze Japetus má sklon dráhy téměř osm stupňů. Od Mímase po Japeta jsou všechny měsíce zřejmě původními Saturnovými měsíci.

Měsíc Phoebe (IX) obíhá ve vzdálenosti 12 952 000 km retrográdně s dobou oběhu 550,5 dne.

Největší měsíc sluneční soustavy Titan (VI) má atmosféru složenou z dusíku a metanu, jejíž oblaka se vyskytují až 200 km nad měsíčním povrchem.

Enceladus (II) je pozoruhodný značným albedem (odrazivostí světla). Je to způsobeno tím, že je celý pokryt čistým ledem. Z podobných důvodů má stejné vlastnosti řada dalších měsíců, zejména Tethys (III) a Mimas (I). S nimi kontrastuje Phoebe (IX), který téměř neodráží světlo. Je pokryt uhlíkem.

Měsíce Saturnu až po devátý byly objeveny ze Země, desátý a jedenáctý též, ale byly potvrzeny až po průletu sondy Voyager 2.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 13 Měsíce Uranu a Neptunu

Uranovy měsíce

Objevy Titanie (III) a Oberonu (IV) Herschelem (1787) i Ariela (I) a Umbriela (II) Lassellem (1851) byly triumfem rostoucí kvality velkých dalekohledů z doby před 1,5 – 2 stoletími. Obdobným způsobem byla v roce 1948 objevena Miranda (V) Kuiperem. Tyto regulérní měsíce obíhají po prakticky kruhových drahách ve vzdálenostech 129 000 – 583 000 km za 1,5 – 14 dní. Všechny jsou pokryty skalami a znečištěným ledem.

Ostatních deset měsíců bylo objeveno sondou Voyager 2 na přelomu let 1985/1986. Těchto deset maličkých měsíců obíhá 49 000 – 86 000 km od planety většinou za dobu kratší jednoho dne po kruhových drahách v rovině Uranova rovníku.

Neptunovy měsíce

Objevy Tritonu (I) Lassellem (1846) a Nereidy (II) Kuiperem (1949) vzbudily ve své době senzaci. Totéž se podařilo sondě Voyager 2 v srpnu 1989 při průletu soustavou Neptunu. Byly objeveny další prstény a měsíce. Na Neptunu jsou kromě detailů pásů zřetelně pozorovatelné dva obří uragány, zuřící v metanové atmosféře planety a metanová cirrová oblaka. Snímky Tritonu zachycují detaily povrchu pokrytého různě zbarveným zmrzlým metanem.

Rovněž potvrzení předpokladu, že Triton je pokryt zmrzlým metanem, by bylo zajímavé. Triton patří totiž k satelitům, jejichž původ je nejasný.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 14 Charon a Pluto

Objev dvouplanety Pluto-Charon J. W. Christym (1978) je dosti typický pro jednu skupinu objevů moderní doby. Christy si při prohlídce desek povšiml nepravidelného vzhledu Pluta, ačkoliv ostatní objekty nejevily nepravidelnost. Při prohlídce dalších desek, exponovaných v různých dobách, se nepravidelnost objevovala na opačných stranách kotoučku planety s frekvencí oběhu objeveného měsíce (6,3872 dne). Sama planeta je pozorovatelná jen velkými dobrými dalekohledy (o průměru nad čtvrt metru), takže Charon, vzdálený necelých 20 000 km od Pluta, není žádným přístrojem ze Země přímo pozorovatelný.

Pluto je v letech 1979 - 1999 blíže Slunci než Neptun. Má značně výstřednou dráhu. Přísluním prošel 5. září 1989 a bude od Slunce vzdálen 4 436 000 000 km (29,6 astronomické jednotky). V odsluní má vzdálenost 7 375 000 000 km (49,3 astronomické jednotky).

V roce 1988 procházela rovina Charonovy dráhy Sluncem (i Zemí) a nastala řada zákrytů. Začala v roce 1985 a skončí v roce 1990.

Literatura: 5, 7, 13, 20, 21.

D 15 Dráhy planetek a komet

Na rozdíl od velkých planet mají planetky, komety a meteor (roje) dráhy s různými sklony drah k ekliptice i různé výstřednosti drah.

Planetky jsou převážně soustředěny v pásu v mezích 2,05 – 3,65 astronomické jednotky. Jen asi 60, tj. 3 % z planetek se známými drahami, se tomu vymyká. Třetina z nich přichází blíže ke Slunci, dvě třetiny jsou dále od Slunce. Zajímavých je 14 planetek, které obíhají v libračních centrech Jupitera. Sklony drah planetek leží v rozmezí $0,5^{\circ}$ – 30° , výjimečně i více, excentricity 0 – 0,42. V pásu planetek jsou mezery, kde je minimum planetek. Jejich doba oběhu je zlomkem doby oběhu Jupitera. Nejvýraznější minima mají $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ doby oběhu Jupitera.

Komety mají velmi rozdílné dráhy jak co do jejich sklonů, rozměrů velké poloosy dráhy (a tím i dvojoběžné), tak co do excentricit.

Podle dob oběhu po ekliptické dráze lze komety rozdělit na krátkoperiodické (doby oběhu v letech, desítkách až stovkách let) a dlouhoperiodické (tisíce až milióny let). Příklady krátkoperiodických komet jsou na obrázku. Z dlouhoperiodických můžeme jmenovat např. kometu Kohoutek (oběžná doba 11 miliónů let), Arend-Rolland (8 miliónů let), West (16 100 let) a Donatti (1858 VI – 1970 let).

Meteorické roje mají dráhy obdobné drahám komet, s nimiž geneticky souvisí. Jmenujme např. Aquaridy a Orionidy související s Halleyovou kometou.

Literatura: 2, 5, 7, 13, 20, 21.

D 16 Planetky

Celková hmotnost planetek je odhadována na 0,6 hmotnosti Země. Nepochybně existují desítky tisíc drobných planetek, které nebudou nikdy objeveny. Zatím bylo objeveno na 5000 planetek, z nichž u 2000 je stanovena dráha. Jen největší planetky dosahují průměru 300 – 600 km a mohou mít kulový tvar. U některých planetek byla změřena i rotace.

Na obrázku je výběr z planetek o průměru nad 200 km. Vzdálenost od vodorovné osy je mírou sklonu drah k ekliptice. Levý okraj obrázku odpovídá poloze Marsu, pravý poloze Jupitera.

Na objevení planetek se podíleli také českoslovenští pozorovatelé. První československou planetku objevil dr. Emil Buchar v roce 1925 (Tynka), druhou dr. Milan Antal v roce 1973 (Slovakia). V současnosti objevuje s úspěchem planetky kolektiv pracovníků Hvězdárny a planetária v Českých Budějovicích v čele s doc. Antonínem Mrkosem. Do dnešního dne jich bylo objeveno půl tisíce a více než 44 má definitivní označení a nesou řadu jmen československých měst i představitelů naší vědy a kultury. Z planetek objevených v jiných zemích nese české jméno planetka Hašek.

Literatura: 2, 5, 7, 13, 20, 21.

D 17 Oortův oblak komet

Do sluneční soustavy patří pravděpodobně desítky až stovky miliard komet, soustředěných podle jedné z teorií do oblaku komet, který obklopuje sluneční soustavu ve značné vzdálenosti. Tomu odpovídá i oběžná doba. Při vzdálenosti komet v oblaku může činit i milión let.

Gravitačním působením okolních hvězd se čas od času některá kometa dostane na dráhu, která ji přivede do vnitřních oblastí sluneční soustavy.

Oblak komet je nebezpečnou zásobárnou mohutných projektilů o hmotnosti miliardy až miliónu miliard tun. Podle některých (velmi nejistých) domněnek by spouštěcím mechanismem pro nálet velkého množství těchto jader komet mohla být hypotetická hvězda (hnědý trpaslík) Nemesis, obíhající kolem Slunce za dvě desítky miliónů roků ($26 \cdot 10^6$). Ta právě po této době vždy v minulosti prý způsobila vpád komet mezi planety a tomu odpovídající zkázu.

K významným objevům komet se řadí i 25 československých komet (z toho 12 objevil doc. Mrkos).

Literatura: 2, 5, 7, 13, 20, 21.

D 18 Dráha Halleyovy komety

Dráha této komety s oběžnou dobou 76 let sahá až za dráhu Neptunu. Je totožná s drahami roje Aquarid a Orionid, jejichž meteory se uvolnily z látky mateřské komety. Uvádí se, že kometa vydrží jen stovky návratů do nitra sluneční soustavy ke žhavé hvězdě – ke Slunci. Konečně i poslední návrat této komety ke Slunci svědčí o pokračujícím oslabení a o budoucí zkáze komety.

V časopisech i knihách byla publikována řada údajů i fotografií pořízených sondami typu Giotta a Vega. Všimněme si spíše historie průletů komety kolem Slunce, které jsou zaznamenány až do roku 240 př. n. l.

Komety jsou zpravidla označeny jménem objevitele. Halleyova kometa je výjimkou, neboť dostala své jméno podle muže, který úspěšně předpověděl její návrat v roce 1758 a jednoznačně určil, že tato kometa je totožná s kometami z roku 1531, 1607 a 1682. Těsně před jejím návratem byl výpočet dráhy zpřesněn a chyba předpovědi činila jeden měsíc. Další návraty (1835, 1910) byly určeny s přesností několika dnů a průchod přísluním v roce 1986 byl určen s přesností 0,05 dne.

Literatura: 2, 5, 7, 13, 20, 21.

D 19 Elektromagnetické záření

Při tepelných (ale i dalších) procesech vzniká elektromagnetické záření. Při tepelných procesech závisí rozložení energie ve spektru na teplotě (viz text k diapozitivu D 21). Graf podává názorný přehled o druzích záření a jejich detekci (pozorování), včetně těch záření, která jsou pohlcována atmosférou (krátkovlnné záření a některé oblasti infračerveného záření). Detekci a měření takového záření je nutno provádět mimo atmosféru.

Oko je schopno zachytit jen nepatrnou část spektra od 400 do 700 nm, a tak je největší množství informací v látkách ve vesmíru možno zachytit jinými detektory. Vznikaly a vznikají nové oblasti výzkumu, jako je radioastronomie, infračervená astronomie i výzkum v oblastech záření ultrafialového, rentgenova a gama.

Metody, které byly a jsou používány ve viditelné části spektra (fotometrie, spektroskopie apod.), lze použít přímo či v analogii i na další obory spektra. Přestože mnoho bylo již vykonáno, lze očekávat nebývalý růst informací získaných zařízenými na kosmických lodích, družicích a sondách.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 12, 13, 15 - 17, 21.

D 20 Spektra a spektrogram

Obrovské množství poznatků o vesmíru získáváme zejména proto, že světlo je schopno přenášet téměř nezměněné či nezměněné informace na velké vzdálenosti rychlostí téměř 300 000 km/s. Dovoluje změřit polohu a vzdálenost těles, změřením osvětlení určit jejich svítivost aj.

Značný posun v možnostech získání informací znamenal objev rozkladu světla hranolem a později mřížkou.

Světlo soustředěné objektivem dalekohledu dopadá přes mřížku a kolimátor na hranol (mřížku). Vzhledem k různým frekvencím (vlnovým délkám) dochází k rozkladu světla na lámavé hraně či na vrypech. Další optický systém ostře zobrazuje spektrum na stínítko (fotografickou desku), respektive na zařízení, které umožňuje fotometrii v jednotlivých čárách či částech spektra.

Pevné látky a hvězdy (hustý žhavý plyn) vysílají spojitě spektrum. Žhavý plyn za normálních podmínek vysílá čárové spektrum. Jestliže světlo prochází chladnějším plynem (kapalinou), pohlcují látky to světlo, které by samy vysílaly. Prvé spektrum se nazývá emisní, druhé absorpční.

Jednotlivé atomy či atomy molekul mají polohu čar ve spektru zcela charakteristickou, lišící se od čar jiných prvků. Spektroskopie může tak podat informaci o látkách a jejich stavu v kosmickém prostoru.

Z velikosti posunu čar k červenému (fialovému) konci spektra lze určit podle Dopplerova principu rychlost, s jakou se od nás zdroj vzdaluje (s jakou se k nám přibližuje).

Ze sklonu čar lze určit rychlost rotace těles.

Ze zdvojení čar lze určit vlastnosti dvojhvězd.

Z rozšíření čar je možné určit tlak, za kterého plyn vysílá světlo.

Intenzita jednotlivých částí spektra informuje o rozložení energie záření podle vlnových délek a informuje (viz Planckův a další zákony) o teplotě zdroje.

Literatura: 2, 5, 6, 11, 13, 15 -17, 21.

D 21 Planckův zákon a spektrální třídy hvězd

Planckův zákon vyjadřuje množství energie vyzářené absolutně černým tělesem v různých frekvencích (vlnových délkách) v závislosti na teplotě:

$$E_{\lambda} = \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{\pi h c^2}{e^{\frac{h c}{k T}} - 1}$$

kde $h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ je Planckova konstanta,
 $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je rychlost světla,
 $k = 1,38063 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ je Boltzmannova konstanta.

Matematické vyjádření zákona není jednoduché. Avšak v případě, kdy je graf vypočten a nakreslen, může být výklad k němu jednoduchý. Připojme ještě Wienův zákon:

$$\eta_{\max} = \frac{b}{T},$$

kde $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$.

Tento zákon vyjadřuje, na jaké vlnové délce při teplotě T je záření největší.

Jestliže vzrůstá teplota železa, je maximum energie vyzařováno nejprve v infračervené části spektra (tepelné záření), pak v červené, oranžové a žlutobílé.

Obdobně je tomu i v případě záření atmosfér hvězd. Barva (maximum záření) hvězdy je závislá na teplotě její atmosféry. Křivky na grafu jsou vypočteny pro efektivní teploty jednotlivých spektrálních tříd a teplota je poznamenána u každé křivky. Zdůrazníme, že hvězda září v obrovském rozsahu vlnových délek. Upozorníme na hvězdy spektrálních tříd, u kterých maximum záření leží mimo oblast viditelného záření – světla.

POZNÁMKA:

- 1) Hvězda nezáří ovšem jako absolutně černé těleso. Efektivní teplota je definována jako teplota takového abso-

lutně černého tělesa, které by vyzářilo množství energie odpovídající svítivosti hvězdy. Pro svítivost L hvězdy platí:

$L = 4\pi R^2 \cdot \varrho \cdot T^4$, kde R je poloměr,
 T absolutní teplota a $\varrho = 7,56 \cdot 10^{-16} \text{ Jm}^{-3}\text{K}^{-4}$ je Stefanova-Boltzmannova konstanta.

Stefanův-Boltzmannův zákon vyjadřuje závislost záření absolutně černého tělesa $B(T)$ na čtvrté mocnině teploty:

$$B(T) = \frac{1}{\pi} \cdot \varrho \cdot T^4.$$

2) Diapozitiv je možno doplnit diapozitivem D 19 – elektromagnetické záření.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 13; 14 – 17, 21.

D 22 Záření v Galaxii

V návaznosti na D 19 je vhodné ukázat při zobrazení celé sféry hvězd (viditelných okem) rozsáhlé oblasti podél galaktického rovníku, které září (neviditelným) rádiovým zářením (žlutá a červená barva), i několik nejvýkonnějších zdrojů rentgenova záření, tedy záření z opačné, velmi energetické části spektra. Je zřejmé, že „rádiová obloha“ či „rentgenová obloha“ by měla jiný vzhled než obloha ve viditelném světle.

K silným rádiovým zdrojům patří např. Krabí mlhovina, oblast mlhovin v meči Orionu, Rosetta, Hya A (3C 218), Cen A (NGC 5128), Sgr A (centrum Galaxie), Laguna (M8), Omega (M17), Cyg A, Severní Amerika, Cas A (3C 461).

Intenzívními zdroji X záření jsou např. zdroje v Magellanových mračcích, nova MON 1975, Sco-X-1, Cen-X-4, Cyg-X-1.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 13, 14 – 17, 21.

D 23 Spektrální třídy a teplota

Látkové složení hvězd je prakticky stejné, a tak o charakteru spektra rozhoduje zejména teplota atmosféry hvězdy, která je příčinou vzniku záření.

Rozložení intenzity záření ve spektru a výskyt čar jednotlivých prvků umožnily provést klasifikaci hvězd podle spektra (Harvardská klasifikace). Podle ní lze zařadit hvězdy do tříd:

-S
(P)-W-O-B-A-F-G-K-M
-R-N

dělených dále na desetiny (např. A0 až A9), kde index nula značí čistou třídu a čísla 1 - 9 přechod k třídě následující (A0...A5...A9,F). Přiřazení efektivních teplot je patrné z obrázku.

Stručná charakteristika tříd:

- W - Wolf-Rayetovy hvězdy - široké emisní čáry vodíku a hélia (vyskytují se vzácně, modrofialová barva).
- O - spojitě spektrum s intenzívními čarami hélia (vyskytují se řídce, modré hvězdy).
- B - absorpční čáry hélia a Balmerova série vodíku (asi 3 - 4 % hvězd, modrobílé hvězdy zvané héliové).
- A - mohutné absorpční čáry vodíku, čáry vápníku (H a K), výskyt kovů (více než čtvrtina hvězd - vodíkové hvězdy, barva bílá).
- F - sílí čáry vápníku (H a K) a kovů, slabne Balmerova série vodíku (žlutobílá barva, asi desetina hvězd).
- G - čáry vápníku (H a K nejintenzívnější), intenzívní čáry kovů, dobře patrná Balmerova série (hvězdy typu Slunce, asi šestina hvězd, barva žlutá).
- K - objevují se pásy molekul, čáry kovů velmi silné (více než třetina hvězd, barva oranžová).
- M - objevují se čáry kyslíčků, zejména TiO, výrazné pásy molekul (asi patnáctina hvězd, barva červená).
- S - tzv. zirkonové hvězdy s čarami ZrO (nepatrný počet, barva červená).
- R, N - tzv. uhlíkové hvězdy s výraznými pásy CO a CN (kolem půl procenta hvězd, barva červená).

K označení spektra se připojují malá písmena, charakterizující buď spektrum, či hvězdu:

e - emisní čáry,	g - obří hvězda,
n - neostré čáry,	d - trpaslík,
s - ostré čáry,	sg - podobr,
p - zvláštnosti na spektru,	c - veleobr aj.

Nyní se používá též MKK systému tříd svítivosti (luminosity):

- Ia - jasní nadobři,
- Ib - nadobři,
- II - jasní obři,
- III - obři,
- IV - podobři,
- V - hlavní posloupnost,
- VI - podtrpaslíci,
- VII - bílí trpaslíci.

Viz též text k D 19, D 20, D 21.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 11, 13, 14 - 17, 20, 21.

D 24 Hertzprungův-Russellův diagram

Na přelomu 19. a 20. století disponovala astronomie množstvím údajů o vzdálenostech, svítivostech (absolutních magnitudách) a spektrech hvězd i dostatečnou teoretickou úrovní fyziky. Není proto divu, že na přelomu desátých let tohoto století byl vytvořen tento obdivuhodný diagram.

Na ose x jsou vyneseny teploty (spektrální třídy), na svislé ose y svítivosti (absolutní hvězdné velikosti). Vezme-li dostatečný počet hvězd (tisíce, desetitisíce) a umístíme-li je podle těchto vlastností do plochy diagramu, ukáže se, že nevyplní diagram rovnoměrně, ale rozmístí se podél křivek, které odpovídají mj. i později zavedené klasifikaci podle tříd svítivosti (viz text k D 23). Ukazuje se, že toto rozložení není náhodné, má fyzikální podstatu a souvislost s vlastnostmi hvězd během jednotlivých stadií jejich vývoje.

Popis a důležité údaje jsou přímo na obrázku. Je ovšem vhodné je využít pro uvedení dalších charakteristik hvězd (např. hmotností a průměrů), které plynou i z názvů obr – trpaslík. Diagram lze užít nejrozličnějším způsobem (viz např. D 26), ale jeden z příkladů je nejvhodnější. Pozorujme na obloze dvě hvězdy spektrální třídy M (červené hvězdy). Ze zdánlivé jasnosti a vzdálenosti určíme absolutní hvězdnou velikost (svítivost) a zjistíme, že první hvězda září desetitisíckrát více než druhá (absol. magnitudy -5 a $+5$). Osvětlení, které způsobují, musí být v poměru jejich kotoučů (průměrů hvězd na sféru), tj. $\pi R_1^2 / \pi R_2^2$ ($1:10\,000$), a tedy poloměry musí být v poměru odmocnin, tj. $1:100$. Jedna hvězda je rudý obr a druhá rudý trpaslík.

Literatura: 2, 5, 6, 11, 13, 14 – 17, 21.

D 25 Průměry hvězd a sluneční soustava

Diapozitiv je názornou ukázkou velikosti rudých nadob-
rů. K celkové informaci je vhodné ukázat i rozměry men-
ších hvězd. Takové grafy jsou v diafilmu ministerstva kultu-
ry ČR Hvězdný vesmír I. díl.

Průměry hvězd (nepočítáme-li neutronové hvězdy) mo-
hou dosahovat ve většině případů stonásobků průměru
Slunce u obrů a setiny průměru u trpaslíků.

Literatura: 2, 5, 6, 13, 21.

D 26 Vývoj a zánik hvězd

Hvězdy vznikají z rozsáhlých prachoplynných mračen. Při kontrakci látky působením gravitace dochází k stlačení látky a tím ke vzniku její teploty. Při dosažení teploty vhodné pro zažehnutí termonukleární vodíkové reakce začne hvězda zářit. Vstupuje na hlavní posloupnost. Místo, kde vstoupí na HR diagram, závisí na její hmotnosti, neboť ta určuje množství záření (výkon) i teplotu hvězdné atmosféry. Podstatné je, že určuje i zářivý výkon a tím i dobu, po kterou hvězda zůstane na hlavní posloupnosti. Čím hmotnější hvězda, tím rychleji spaluje vodík na hélium. Hvězdy o hmotnosti našeho Slunce setrvávají na hlavní posloupnosti miliardy let (naštěstí pro život na Zemi), nejhmotnější hvězdy jen desítky tisíc let. Po „spálení“ vodíku v jádru klesá tlak záření a hvězda se smršťuje. Tím se zvyšuje teplota a „dohoří“ vodík v obalu jádra. Vnější vrstvy hvězdy se rozpínají a na HR diagramu se hvězda přesouvá do oblasti červených obrů či nadobřů (podle hmotnosti). U málo hmotných hvězd se nezapálí Salpeterova reakce (při teplotách nad 100 miliónů stupňů) a z hvězdy se stává bílý trpaslík. U hvězd s hmotností 0,5 – 3 hmotnosti Slunce se zapálí termonukleární reakce, při které se přeměňuje hélium na uhlík. Při jejím započetí nastane tzv. héliové vzplanutí, po kterém se zmenší průměr hvězdy, vzroste teplota a hvězda přejde do oblasti modrých hvězd. Zde je oblast pulsujících hvězd. Po dokončení héliové reakce se ještě intenzívně spaluje vodík ve vnějších vrstvách, silné záření převyší gravitační vlivy a vrchní vrstvy hvězdy expandují (planetární mlhoviny). Ze zbytku hvězdy se stává opět bílý trpaslík.

U hmotnějších hvězd nastává v jádře při velkých tlacích slučování protonů s elektrony na neutron (při vzniku neutrina) s následným gravitačním kolapsem. Vzniká neutro nová hvězda s hmotností do dvou hmotností Slunce. Při vyšší hmotnosti (a tedy i snad vyšší hmotnosti původního obra) vzniká černá díra.

Literatura: 2, 3, 5, 11, 12, 13, 21.

D 27 Okolí Slunce do 20 světelných let

V přílohách mnoha populárních knížek i přehledů nalezneme seznamy např. dvaceti nejjasnějších či nejbližších hvězd, příklady hvězd s největším vlastním pohybem (změnou souřadnic), radiální rychlostí apod. Diapozitivu D 27, D 28, D 29 názorně představují nejbližší hvězdy do 20, 100 a 1000 světelných let.

Na tomto diapozitivu jsou přirozeně uvedeny i nejbližší hvězdy, které nejsou viditelné pouhým okem. Avšak jak na tomto diapozitivu, tak na dalších je dána přednost jasným hvězdám, které každý může na obloze snadno vyhledat.

Vezmeme-li např. hvězdy do třetí hvězdné velikosti viditelné u nás (50^0 s. š.) ve výšce větší než 10^0 nad obzorem (deklinace větší než -30^0), kterých je na obloze 103, zjistíme, že do 20 světelných let jsou vzdáleny jen tři: alfa Velkého psa – 8,62 světelných let, alfa Malého psa – 11,16 světelných let a alfa Orla – 16,12 světelných let. Do 40 světelných let následuje 7 hvězd, jež však patří do „resortu“ diapozitivu D 28, kde jsou některé z nich znázorněny. Vezmeme-li za kritérium ještě slabší hvězdy viditelné okem, nebo další hvězdy jižní oblohy, seznam se rozroste např. o alfa Centaura, epsilon Eridanu, tau Velryby, epsilon Indiána apod. Např. do deseti světelných let je počet známých hvězd roven čtyřicetivaceti (vícenásobné a dvojhvězdné systémy počítáme jako jednu hvězdu).

K blízkým hvězdám patří zcela zákonitě i hvězda s největší změnou polohy. Je to Barnardova hvězda.

Literatura: 2, 3, 5, 6, 11, 13, 14 – 17, 21.

D 28 Okolí Slunce do 100 světelných let

Z jasných hvězd u nás dobře pozorovatelných (nad 3^m - 30^0) do této skupiny patří 44 hvězd. Kromě tří hvězd bližších než 20 sv. r. (viz D 27) doplňuje seznam deseti nejbližších jasných hvězd sedm: alfa Ryb - 21,87 sv. r., alfa Lyry - 24,51 sv. r., éta Pastýře - 30,18 sv. r., dzéta Herkula - 31,96 sv. r., gamma Panny - 32,92 sv. r., alfa Pastýře - 33,6 sv. r. a delta Kozoroha - 37,47 sv. r. Do vzdálenosti 40 sv. r. můžeme u nás tedy pozorovat deset dosti jasných hvězd (do 3^m).

Z těchto hvězd je zejména pozoruhodný Arkturus (alfa Pastýře) vzhledem ke značnému vlastnímu pohybu (v deklinaci - 2,001" za rok, v rektascenzi 1,158" za rok, celkově 2,31" za rok; radiální rychlost -5,2 km/s). Znamená to, že téměř za 8000 let se změní jeho poloha o vzdálenost zadních kol Velkého vozu, za Platónský rok (25 600 let) o 16^0 . Vzhledem k tomu, že se pohybuje k jihu, byl před 75 000 lety fantastickou polárkou našich předků z doby kamenné. Přibližuje se k nám radiální rychlostí -5,2 km/s. Od té doby se přiblížil o 1,3 sv. r. ve směru paprsku.

Z hlediska pohybů je zajímavější pouze jedna jasná hvězda, a to Polárka (alfa Malého medvěda). Její vlastní pohyb je ještě větší (v rektascenzi 3,216" za rok, v deklinaci 0,008" za rok, celkově 3,22" za rok; radiální rychlost -17,4 km za rok). Její poloha se změní tangenciální rychlostí o zadní kola Velkého vozu za 5600 let, za Platónský rok se posune o 23^0 ve směru přes dnešní pól a tedy před jedním Platónským rokem byla 25^0 od tehdejšího pólu a nebyla nikdy před naší epochou polárkou. Před 5000 lety byl polárkou Thuban (alfa Draka). Až se znovu za 20 000 let k němu přiblíží průsečnice zemské osy se světovou sférou, bude dnešní Polárka v oblasti zadních kol Malého vozu a za stejné další období bude před Thubanem opět polárkou v oblasti souhvězdí Draka.

Literatura: 2, 3, 5, 11, 13, 14 - 17, 21.

D 29 Okolí Slunce do 1000 světelných let

Vezměme opět v úvahu jasné hvězdy dobře viditelné od nás prostým okem (3^m , β $\delta > -30^\circ$). Od 100 do 1000 světelných let je to 49 hvězd, s těmi bližšími 96 hvězd. Sedm jasných hvězd je vzdálenějších než 1000 sv. let: alfa Zajíce – 858 sv. let, alfa Orionu – 931 sv. let, dzéta Persea – 1164 sv. let, beta, delta, ypsilon a iota Orionu 1300 sv. let, alfa Labutě 1550 sv. let, delta a éta Velkého psa 2170 sv. let.

Určení vzdálenosti ve vesmíru není snadné. Jde o problém, jak změřit paralaxu (viz též obrázek k paralaxe v diafilmu Mikuláš Koperník). Přesnost měření trigonometrickým způsobem klesá se vzdáleností. U blízkých paralax je kolem 10 %, ve vzdálenosti 100 sv. let může činit i 50 % (!). Je tedy jasné, že u vzdálenějších hvězd je nutno použít dalších metod (sekulárních paralax, fyzikálních vlastností hvězd apod.) pro nepřímé získání informace o vzdálenosti.

V literatuře bývají uváděny údaje z různých pramenů. V tomto textu byly paralaxy vzaty z Hvězdářské ročenky za rok 1987 (analogické jsou v dalších ročenkách). Doporučuji pro vzdálenosti užívat právě tento zdroj. Hvězdářská ročenka je v ČSFR velmi užívaná (jednotnost) a Jenkinsovy paralaxy tam užitě jsou nejlepším zdrojem v této oblasti.

Literatura: 2, 3, 5, 11, 13, 14 – 17, 21.

D 30 Stáří vesmíru a jeho částí

Při kosmologických úvahách se nejčastěji dostáváme k modelům vyhovujícím doplerovskému výkladu rozpínání vesmíru a teorii velkého třesku.

Diapozitiv ukazuje časový průběh od téměř (10^{-43} s) velkého třesku v neustále se rozpínajícím vesmíru.

Fyzikální výklad dějů bezprostředně následujících po okamžiku nula zatím neexistuje.

Filozoficky je zajímavá doba od současnosti ($5 \cdot 10^{17}$ s, tj. $1,6 \cdot 10^{10}$ let) do budoucnosti. Jestliže dnes je vesmír 16 miliard let starý, pak další časový údaj 10^{14} let znamená 100 biliónů let a nejvyšší údaj (10^{10^8} let) nelze vůbec pojmenovat a z hlediska prostého pohledu vyjadřuje prakticky nekonečné trvání.

Literatura: 2, 3, 6, 12, 13, 21.

D 31 Galaktický rovník, ekliptika, rovník

Jedním z důležitých úkolů astronomie, respektive její popularizace, je poskytnout informace o prostorovém uspořádání světa kolem nás a orientovat ho v tomto prostoru. U dosti značného počtu lidí převládá antropocentrický a geocentrický pohled, přestože jsou nepochybně informováni např. o podstatě sluneční soustavy. Je to proto, že jsme pod soustavným vlivem tíže. Při orientaci je však nutné vzít v úvahu řadu fyzikálních skutečností a podle podstaty a účelu volit vhodné souřadné soustavy. Některé čáry a body těchto soustav jsou základem jednoduché orientace. Postavení těchto čar ve světovém prostoru zpravidla podléhá během věků jen nepatrným změnám.

Sto miliard hvězd naší Galaxie je rozloženo převážně v blízkém okolí hlavní roviny Galaxie. Při pohledu ze Země (ze sluneční soustavy) se hvězdy blízkých spirálních ramen projevují jako stříbrný pás obepínající celou oblohu. Mléčná dráha má značnou šířku a je nepravidelná. Z rozložení hvězd na obloze lze staticky nalézt polohu hlavní roviny Galaxie a její průsečnici se světovou sférou považovat za základní orientační čáru. Tato hlavní kružnice se nazývá galaktický rovník. Poloha hlavní roviny Galaxie i galaktický rovník během věků prakticky nemění svoji polohu. Pravoúhlý či polární systém galaktických souřadnic je nejvhodnějším systémem pro orientaci v Galaxii i ve vzdáleném vesmíru.

Gravitační síly působící mezi Zemí a Sluncem určují oběh Země v rovině ekliptiky. Její poloha vůči světovému prostoru (galaktickému rovníku) se mění během věků nepatrně působením gravitačních sil ostatních těles sluneční soustavy. Souřadné systémy (pravoúhlý či polární) s ní spojené jsou vhodné pro popis pohybů těles sluneční soustavy; zejména je výhodné používat heliocentrické souřadnice.

Rotace Země kolem osy protínající světovou sféru v pólech umožní definovat další důležitou orientační čáru – světový rovník. Je to průsečnice roviny kolmé na rotační osu a procházející středem Země se světovou sférou. Osa Země opíše během 25 600 let plášť kužele (precesní pohyb) a během této doby opíše průsečíky rovníku ekliptiky úhel 360^0 (1^0 za 72 let). Rovníkové systémy souřadnic jsou vhodné

pro určování okamžitých souřadnic pozorovaných objektů.

Literatura: 2, 5, 6, 11, 13, 14 – 17, 20, 21.

D 32 Rovníkové souřadnice

Soustava rovníkových souřadnic prvního a druhého druhu patří k nejdůležitějším systémům. Rovněž hvězdný čas je pro astronomickou orientaci nepostradatelný.

Z metodického hlediska může být spor o to, v jakém pořadí souřadnicové systémy vykládat. Autorovi se osvědčilo jak v lekcích na gymnáziu a na vysoké škole, tak v astronomických kursech zavést po zopakování zeměpisných souřadnic přímo rovníkový systém druhého druhu (α, δ), pak systém rovníkových souřadnic prvního druhu (t, δ) a ihned je propojit zavedením hvězdného času $H = \alpha + t$. (Jsou-li zavedeny pravý a střední sluneční čas, je pak snadné určit, že časová rovnice je rovna rozdílu hvězdného času a rektascenze Slunce ± 12 hodin.)

Při zavádění souřadnic je vhodné si uvědomit fyzikální děje, ze kterých systém vychází. V tomto případě je to rotace Země. Změny souřadnic souvisí s precesí a nutací, tj. s vlivem Slunce, Měsíce a planet na rotující Zemi.

Zemská osa protíná povrch Země v severním a jižním zemském pólu; světovou sféru protíná v severním a jižním světovém pólu. Rovina vedená středem Země a kolmá na světovou osu protíná Zemi v zemském rovníku a světovou sféru ve světovém rovníku. Vedeme-li místem pozorovatele rovnoběžku se zemskou osou a rovnoběžnou rovinou s rovinou světového rovníku, protnou světovou sféru opět ve světových pólech a ve světovém rovníku.

Deklinace δ (obdoba zeměpisné šířky) je úhel, který svírá spojnice pozorovatel-hvězda s rovinou rovnoběžnou s rovinou rovníku, procházející pozorovatelem; je to úhlová vzdálenost hvězdy od světového rovníku. Na sever od něj je kladná, na jih záporná. Určíme ji ve stupních.

Literatura: 2, 5, 6, 11, 13, 14 – 17, 20, 21.

D 33 Ekliptikální souhvězdí

Všechny názvy souhvězdí zvířetníku se dochovaly až ze starověku. Prakticky všechny starověké kultury znaly zdánlivou dráhu Slunce – ekliptiku. Mnohé z nich určily sklon rovníku k ekliptice velmi přesně. Hipparchos (kolem roku 150 př. n. l.) určil polohu ekliptiky a precesní pohyb (též nestejnou délku ročních dob). Poblíž ekliptiky se pohybují i planety.

Je vhodné znát souhvězdí zvířetníku i polohu ekliptiky mezi souhvězdími, která obvykle slouží pro orientaci na obloze v různých ročních dobách. Rovněž je vhodné ukázat části ekliptiky, ve kterých je Slunce v jednotlivých ročních dobách, respektive i polohu Měsíce v jednotlivých fázích vůči Slunci v různých ročních dobách. Dále lze ukázat výhodné a nevýhodné polohy večernic a jitřenek v závislosti na roční době (poloze Slunce na ekliptice a ekliptiky vůči obzoru).

Popis obrazu je dostatečný. Viz též diapozitivy D 1, D 7, D 35.

Jako doplněk můžeme použít diapozitiv o precesi z diafilmu ministerstva kultury ČR Mikuláš Koperník.

Literatura: 2, 5, 6, 11, 13, 14 – 17, 20, 21.

D 34 Obloha a Země

Polohu bodu na sféře vyjadřujeme podle potřeby v různých souřadnicových soustavách (rovníkových, obzorníkových apod.). Vztahy mezi nimi jsou řešeny ve sférické astronomii za pomoci sférické trigonometrie. Téměř nikdo nepotřebuje však tyto vztahy znát takto podrobně. Pro první seznámení je vhodné najít vztahy vázané na polednicích a neobsahující čas. Právě ty jsou znázorněny na obrázku.

Levý řeší vztah mezi výškou pólu a rovníku nad obzorem v závislosti na zeměpisné šířce:

$$h_p = \varphi, h_R = 90^\circ - \varphi,$$

kde h jsou příslušné výšky a φ zeměpisná šířka.

Pravý vztah přidává hvězdu (respektive její deklinaci) a určuje výšku tělesa nad obzorem v okamžiku jeho průchodu poledníkem (svrchní průchod poledníkem):

$$h_* = h_R + \delta = 90^\circ - \varphi + \delta.$$

Lze je použít od rovníku na sever. Na jižní polokouli musíme určovat průchod nad severním bodem (obzorem) a $h_* = h_R - \delta$ a místo φ použít (φ) , tj. $h_* = 90^\circ - (\varphi) - \delta$.

Literatura: 5, 11, 13, 14 - 17, 21.

D 35 Střídání ročních období

Země obíhá kolem Slunce podle Keplerových zákonů, tj. po elipse (výstřednost je rovna 0,01669) se stálou plošnou rychlostí. Z toho plyne, že okamžitá rychlost na dráze a úseky mezi body rovnodenností a body slunovratů urazí v různých ročních dobách za různě veliké doby. Díly ročních dob jsou znázorněny na obrázku.

Okamžitá rychlost v apsidách (perihelium – přisluní, afélium – odsluní) je dána vztahy:

$$\begin{aligned}v_P &= a(1 + e), \\v_A &= a(1 - e),\end{aligned}$$

kde v jsou rychlosti, $a = 1 \text{ a. j.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$ a e je výstřednost (číselná – numerická).

Bývá vhodné zdůraznit, že v přisluní je Země 4. ledna (v zimě) a v odsluní 4. července (v létě). Proto je léto delší než zima (na severní polokouli). Oteplení je dáno úhlem dopadu slunečních paprsků a nikoli vzdáleností. Rozdíl vzdáleností (147 – 152 miliónů km) se projeví jen nižší průměrnou letní teplotou severní polokoule oproti jižní (maximálně 2 °C).

Literatura: 2, 5, 6, 13, 21.

D 36 Čas a zeměpisné souřadnice v ČSFR

Československo je nevelká země značně protáhlého tvaru. Rozdíl zeměpisných šířek je malý. ($\sim 3,5^{\circ}$), rozdíl zeměpisných délek značný ($\sim 10,5^{\circ}$; to odpovídá časovému rozdílu přes 40 minut). Např. právě poledne, kdy Slunce vrcholí, nastane na nejzápadnějším výběžku o 41 minut později než na východním. Pro konstruktéra paralaktických slunečních hodin (stylus v rovině místního poledníku skloněný k severu o zeměpisnou šířku) je problém jednoduchý; v době nejkratšího stínu vyznačí dvanáctou hodinu a pak vždy po hodině hodiny další. Dopolední hodiny jsou symetrické s odpoledními podle polední přímky.

Kdo by chtěl vynášet rysky od rána podle hodin jdoucích ve střeoevropském čase, musel by znát další dva údaje:

- 1) zeměpisnou délku, z níž odvodí časový rozdíl proti 15° východní délky (1° odpovídá 4 minutám – na východ nastane poledne dříve);
- 2) časovou rovnici, respektive v kolik hodin SEČ nastane právě poledne na 15° východní délky.

Řešení je jednoduché a ukážeme si ho později na příkladu. Pro toho, kdo se zabývá pozorováním těles podrobněji, je však zajímavou otázkou, zda i východy a západy těles se rovněž posouvají právě o rozdíl zeměpisných délek, či zda je ovlivní i rozdíl zeměpisných šířek. Ukážeme si oba vlivy na příkladu a poznáme, že ani na našem území není vliv zeměpisné šířky zanedbatelný. Vezměme dvě místa (Rumburk – $50^{\circ}57'$ s. š., $14^{\circ}33'$ v. d. a Komárno – $47^{\circ}46'$ s. š., $18^{\circ}08'$ v. d.). Počítejme úhly pro Slunce dne 1. července (deklinace Slunce je $23^{\circ}09'38''$). Na průsečíku 50° s. š. a 15° v. d. vychází Slunce ve 3 hod. 54 min., vrcholí ve 12 hod. 3 min. 43 sec. a zapadá ve 20 hod. 13 min. Jak tomu bude v Rumburku a v Komárně? Z rozdílu zeměpisných délek vyplývá, že právě poledne nastane v Komárně o 12,53 min. dříve než na 15° v. d. a o 14,23 minuty dříve než v Rumburku. Učinil by chybu ten, kdo by tvrdil, že stejným způsobem se opozdí východ a západ Slunce.

Ukažme si to výpočtem.

Postup:

- 1) Určíme okamžik pravého poledne (v SEČ) na všech místech.

- 2) Určíme poloviční denní oblouk pro všechny zeměpisné šířky.
- 3) Určíme doby východu (odečtením) a západu (přičtením) z okamžiku pravého poledne (průchod Slunce místním poledníkem) a polovičního denního oblouku.
- Bez ohledu na refrakci ($35'24''$), průměr Slunce ($16'$) a paralaxu ($8'8''$) počítáme poloviční oblouk denní t podle vzorce: $\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta$, kde φ je zeměpisná šířka a δ je deklinace Slunce. Vezmeme-li v úvahu refrakci q , průměr Slunce R a paralaxu p, musíme použít vzorce:

$$\cos; t = \frac{\cos /90^\circ + q + R - p/ - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} .$$

Výsledek (všechny časy v SEČ).

Rumburk 15⁰ v. d./50⁰ s. š. Komárno

Pravé poledne 12 ^h 05 ^m 31 ^s	12 ^h 03 ^m 43 ^s	11 ^h 51 ^m 11 ^s
Východ Slunce 3 ^h 57 ^m	3 ^h 54 ^m	3 ^h 52 ^m
Západ Slunce 20 ^h 20 ^m	20 ^h 13 ^m	19 ^h 50 ^m

Rozdíl východů R - K	5 ^m
Rozdíl pravých polední R - K	14,5 ^m
Rozdíl západů R - K	30 ^m
Rozdíl délek dne R - K	25 ^m

Je zřejmé, že vliv zeměpisné šířky nelze zanedbat při přesnějším výpočtu dob východu a západu. Na rozdíl okamžiků vrcholení má vliv jen rozdíl zeměpisných délek.

Je vhodné si uvědomit, co tvoří množinu míst na zeměkouli, která mají Slunce právě na obzoru. Je to hlavní kružnice, jejíž rovina je kolmá na spojnici Slunce a protisvitu – nejprve stanovíme místo, kde Slunce vrcholí např. ve 3^h 54^s SEČ.

Refrakci demonstruje pro případ Slunce obrázek vpravo nahoře, ukazující i deformaci slunečního kotouče.

Literatura: 5, 10, 11, 13, 21.

SEZNAM LITERATURY

Je vybrána zejména československá literatura obsahující soubory informací či soubory obrazů kosmických těles.

Knihy

- (1) Bouška, J. – Vanýsek, V.: Zatmění a zákryty nebeských těles. Praha, ČSAV 1963.
- (2) Encyklopédia astronómie. Bratislava, Obzor 1977.
- (3) Grygar, J. – Horský, Z. – Mayer, P.: Vesmír. Praha, Mladá fronta 1978.
- (4) Grün, M.: Kosmonautika – současnost a budoucnost. Praha, Horizont 1983.
- (5) Hlad, O. – Pavloušek, J.: Přehled astronomie. Praha, SNTL 1984, 1989.
- (6) Kleczek, J. – Švestka, Z.: Astronomický a astronautický slovník. Praha, ČSAV 1963.
- (7) Koubský, P.: Planety naší sluneční soustavy. Praha, Albatros 1988.
- (8) Lála, P. – Vitek, A.: Malá encyklopedie kosmonautiky. Praha, Mladá fronta 1982.
- (9) Růkl, A.: Obrazy z vesmíru. Praha, Artia 1988.
- (10) Selešnikov, S. J.: Člověk a čas. Praha, Práce 1974.
- (11) Široký, J. – Široká, M.: Základy astronomie v příkladech. Praha, SPN 1966.
- (12) Šolc, M. – Švestka, J. – Vanýsek, V.: Fyzika hvězd a vesmíru. Praha, SPN 1983.
- (13) Vanýsek, V.: Základy astronomie a astrofyziky. Praha, Academia 1981.

Atlasy a mapy

- (14) Bečvář, A.: Atlas coeli 1950,0 s katalogem. Praha, ČSAV 1958.
- (15) Hlad, O. – Hovorka, R. – Polechová, P. – Weiselová, J.: Hvězdná obloha 2000,0 (knižní vydání). Praha, GKP 1988.
- (16) Hlad, O. – Hovorka, R. – Polechová, P. – Weiselová, J.: Severní a jižní hvězdná obloha 2000,0. Praha, GKP 1985.
- (17) Hlad, O. – Weiselová, J.: Souhvězdí naší oblohy. Praha, Pressfoto ČTK a HaP Praha 1986.
K dostání je ve hvězdárnách a v planetáriích v ČSFR; je možné si ji objednat na adrese: HaP Praha, Hvězdárna Petřín, Štrahovská 205, 118 46 Praha 1.
- (18) Růkl, A.: Otáčivá mapka hvězdné oblohy. Praha, Pressfoto ČTK a HaP Praha 1987.
K dostání je ve hvězdárnách a v planetáriích v ČSFR; je možné si ji objednat na adrese: HaP Praha, Hvězdárna Petřín, Štrahovská 205, 118 46 Praha 1.

Ročenky

- (19) Astronomická ročenka na rok....
KH Hlohovec, SÚAA Hurbanovo, SAS.
- (20) Hvězdářská ročenka na rok....
Praha, Academia.
- (21) **Poznámka: V roce 1991 vyjde v GKP Praha Kapesní atlas vesmíru, obsahující malou encyklopedii astronomie se 100 obrazy, atlas oblohy a mapy měsíců, Měsíce, Merkuru, Venuše a Marsu a zejména katalog a soubory dat.**

6. ASTRONOMICKÉ DIAFILMY MIN. KULTURY ČR (výpis grafů)

Mikuláš Koperník

Filosaofova soustava
Aristarchova měření
Deferent a epicykl
Ptolemaiova soustava
Měření výšky Slunce kvadrantem
Měření trikvetrem
Koperníkova soustava a paralaxa Marsu
Gravitační zákon
Roční pohyb Země
Aberace
Klička Marsu podle Koperníka
Precese
Keplerovy zákony
Paralaxa
Vzdálenosti sféry hvězd
Paralaxa hvězd a krajina

Sluneční soustava

Částice z pole v okolí Slunce
Dráhy planet a sluneční vítr
Nitro planet
Ovzduší Venuše
Dráhy meteoritů a komet

Hvězdný vesmír I.

Řez galaxií

Velikosti hvězd – obři

– střed

– trpaslíci

HR – diagram

Planckův zákon

Vývoj hvězdy o velké hmotnosti

Jaderné reakce v nitru hvězdy

Rotace galaxie

Hvězdný vesmír II.

Orientace v galaxii (detail)

Typy galaxií

Místní skupina galaxií

Kupy galaxií

Pozorovatelný vesmír (supergalaxie)

Hubblův diagram

Rudý posuv

Modely vesmíru

Explodující model

Zakřivení prostoru

Velký třesk

**Grafy a diagramy
z astronomie
a astrofyziky**

Diafilm

Připravil Oldřich Hlad.

Edice audiovizuálních materiálů.

Výtvarně zpracovali Jan Helebrant a Oldřich Hlad.

Značku navrhl Pavel Helísek.

Diapozitivy fotograficky připravil Dimitrij Dostál.

Vydání I. Praha 1990.

Vydalo MK ČR v Nakladatelství Svoboda.

Odpovědná redaktorka Jarmila Kverková.

Výtvarná redaktorka Miluše Drábková.

Technický redaktor Jiří Hajný.

Realizace diafilmu Filmové laboratoře Barrandov, Praha.

Brožuru vytiskly VČT 30 F 2474/90.