

DIAFILM

Ministerstvo kultury a Hvězdárna hl. města Prahy

SLUNEČNÍ SOUSTAVA

Autor:
ing. Marcel Grün

Vyrobil:
KRÁTKÝ FILM PRAHA
Diafilm 1975

FILMOVÉ LABORATOŘE PRAHA

SLUNEČNÍ SOUSTAVA

Slunce, Měsíc a planety, které měnily polohu mezi hvězdami, upoutávaly pozornost našich předků již na sklonku doby kamenné. Ve starověku studovali hvězdáři jejich postavení na nebi a podle něho se snažili předpovídat osudy lidí. To byla první etapa výzkumu planet. Skončila vytvořením správného heliocentrického názoru na uspořádání a pohyby planet. Druhá etapa začala s objevem dalekohledu, který umožnil spatřit planety jako kosmická tělesa. Třetí etapa je ve znamení kosmonautiky a přímého výzkumu celého prostoru sluneční soustavy. Kosmický výzkum nám poskytl nový pohled na tělesa sluneční soustavy, meziplanetární prostor, naši Zemi a na vzájemné vztahy mezi nimi. Drtivá většina toho, co bylo o sluneční soustavě napsáno před r. 1957, zastarala tak beznadějně, že by mohla být stejně dobře napsána ve Starém Řecku nebo Římě.

Tento diafilm má zaplnit mezeru v obrazové dokumentaci nejnovějších poznatků a současně podat stručný, avšak ucelený přehled moderních názorů na vývoj a nynější stav sluneční soustavy. Jedinou souhrnnou publikací, která u nás vyšla o tomto oboru v posledních 15 letech, je příručka "Fyzika sluneční soustavy" autorů Ing. Grüna a prom. fyz. Koubského, vydaná Hvězdárnou hl. města Prahy a Krajským pedagogickým ústavem v Praze počátkem r. 1974. Diafilm je současně obrazovým doplňkem těchto skript.

Titulní obraz -

Pohled na Zemi nad měsíční krajinou. Snímek byl pořízen z paluby kosmické lodi.

VZNIK A VÝVOJ SLUNEČNÍ SOUSTAVY

Vesmír kolem nás se dynamicky mění, jednotlivé světy vznikají a zanikají. Vývojové fáze však trvají tak dlouho, že celý dosavadní soubor pozorování, vykonaných lidmi, je pouhou "momentkou" ze života kosmických těles. Zato můžeme studovat ohromné množství objektů v různých vývojových etapách - jen v naší Galaxii je přes 150 miliard hvězd. Některé z nich jsou starší, jiné mladší než Slunce, většina se jich od Slunce značně liší, avšak několik desítek miliard je stejného typu jako Slunce. Máme možnost pozorovat i velmi rané fáze vývoje hvězd - a snad i planet, které u cizích hvězd vidět nemůžeme. Jediným planetárním systémem, bezpečně prokázaným, je náš, jehož součástí je i Země.

Hvězdy a planety zřejmě vznikají současně z oblaku mezihvězdného plynu a prachu. Při určité koncentraci a celkové hmotnosti oblaku dochází k jeho smršťování. Tak tomu bylo i v naší části Galaxie před více než 5 miliardami let. Mezihvězdný oblak měl průměru asi 15 miliard km a hmotnost několika nynějších Sluncí. Zatímco na okrajích byla teplota kolem 100 K, uvnitř dosahovala mnoha set K a s rostoucí hustotou se zvětšovala, neboť začalo docházet k pohlcování infračerveného záření. Většina hmoty se soustřeďovala do disku o rozměrech zhruba dnešního systému. Smršťování začala mlhovina rotovat, neboť celkový moment hybnosti musel zůstat zachován. Centrální část se postupně oddělila od tenké rotující mlhoviny a pomalu pokračovala ve smršťování. Když dosáhla hodnoty desetinásobku průměru budoucí hvězdy, teplota uvnitř se přiblížila milionu K. Další růst teploty vedl k zážehu jaderných reakcí v nitru protohvězdy, smršťování se zastavilo - zrodila se nová hvězda.

V téže době docházelo diferenciací pevných a plyných částic k postupnému vytváření tzv. planetesimál. Jejich vzájemným gravitačním působením a akrecí se utvářely větší protoplanetární celky. Blíže u Slunce se akrece zúčastnily pouze pevné částice a vznikaly planety terestrického typu, kdežto ve větších vzdálenostech se aglomerovaly i zmrzlé plyny. Celková hmotnost protoplanetárního oblaku byla nejméně 3 % hmotnosti Slunce.

Mezi postupně se zvětšujícími planetárními tělesy zůstávalo však dosti drobných částic. Ty byly odváty zvýšeným tokem slunečního větru (tento jev jsme pozorovali u hvězdy T Tauri).

Nitra některých planet se poté postupně roztavovala radioaktivním teplem, docházelo k diferenciaci jednotlivých vrstev a k přetváření povrchu planet. Původní, tzv. primární atmosféry, složené zejména z vodíku a helia (jichž bylo v protoplanetárním oblaku nejvíce), byly v této době u některých planet nahrazeny sekundárními atmosférami.

Obraz 1 -

Mlhovina Trifid (M 20; NGC 6514) v souhvězdí Střelce je jednou z předpokládaných kolébek hvězd. V oblaku jsou nedávno zrozené modro-bílé hvězdy i tmavé zárodky (globule) nových hvězd. Ultrafialové záření nových hvězd ionisuje vodíkové atomy zbylého plynu, vznikají volné elektrony a protony. Při rekombinaci energetických elektronů s protony je vyzářováno červené světlo v oblasti čáry $H\alpha$, které ozařuje siluetu hustší a chladnější části mlhoviny. Snímek byl pořízen na Mt. Palomaru teleskopem o průměru zrcadla 5 m, donedávna největším dalekohledem na světě.

SLUNCE

1 388 878

Slunce je hvězda hlavní posloupnosti, typu G 2 spektrální klasifikace. Jeho průměr je 109krát větší než průměr Země, objem 1 300 000 krát a hmotnost 320 000 krát větší než Země. Je tvořeno žhavými, elektricky vodivými plyny (plasmou), mezi nimiž dominuje vodík s heliem a ostatní prvky tvoří jen nepatrnou příměs. Celková zářivost Slunce je $4 \cdot 10^{26}$ W a ve spektru jsou zastoupeny všechny existující vlnové délky záření.

Slunce vzniklo smrštěním mezihvězdného oblaku před pěti a půl miliardami let. Po poměrně rychlém a bouřlivém počátečním vývoji nastoupilo svou dlouhou, klidnou životní dráhu a má před sebou ještě nejméně 5 miliard let života. Teprve poté se začne gravitačně hroutit, zazáří jako supernova a nakonec z něho zůstane neutronová hvězda o středové hustotě 10^{17} kg/m³ a průměru několika kilometrů. V tomto závěrečném stadiu svého života strhne Slunce do své žhavé náruče i všechny planety.

Rozsáhlou vnější část Slunce, kterou lze pozorovat v optickém oboru, nazýváme atmosférou. Obsahuje jen 10^{-10} (desetimiliardtinu) sluneční hmoty, velmi řídké rozptýlené. Dělíme ji na fotosféru, chromosféru a koronu.

Korona (vnější vrstva) je ze Země pozorovatelná na okraji Slunce jen při úplných zatměních nebo speciálním přístrojem - koronografem - na vysokohorských observatořích. Má milionkrát slabší jas než disk a její hustota je 10^{-12} krát menší než hustota pozemského vzduchu. Není vyloučeno, že vnější korunou je prostoupen celý prostor sluneční soustavy, kam se šíří

ve formě slunečního větru, vyvolávaného turbulencí atmosféry.

Chromosféra je vrstva o tloušťce 10 000 km, nacházející se ve spodní části korony. Zářící zejména v červené barvě vodíkové čáry $H\alpha$. Je pro ni charakteristický prudký vzrůst teploty, a proto je značně nehomogenní a odehrávají se v ní bouřlivé procesy. Typickým chromosférickým jevem jsou náhlá zjasnění zvaná erupce. Z chromosféry do korony vystupují proudy plasmy, tzv. protuberance. Rozhodující vliv na sluneční aktivitu má magnetické pole.

Fotosféra (povrch) je nejnižší vrstvou atmosféry.

Zdrojem energie je sluneční nitro. Protože je nelze pozorovat přímo, jsme odkázáni na přibližné modely. Směrem ke středu přibývá hustota i teploty. Na okraji Slunce je hustota 10^{-6} kg/m³ a teplota 6000 K, uprostřed je hustota 10^5 kg/m³, teplota 13 milionů K, tlak $2 \cdot 10^{10}$ MPa. Jádru má průměr desetkrát menší než je průměr celého Slunce. Z termonukleárních procesů, které zde probíhají, je nejvýznamnější proton - protonový cyklus: 4 jádra vodíku (protony) se slučují komplikovaným procesem na 1 jádro helia, při čemž vznikají fotony, neutrino a pozitrony. Fotony se složitou cestou dostávají z jádra k povrchu: jsou neustále pohlcovány a znovu vyzařovány, až po mnoha tisících let dospějí k fotosféře a odtud se rozlétají do prostoru. Přímá cesta ze středu k povrchu by jim trvala pouhé 2 sekundy.

Obraz 2 -

Složený snímek korony a chromosféry Slunce ze dne 12.11.1966. Korona byla fotografována při úplném zatmění Slunce. Chromosféra s aktivními oblastmi v čá-

ře $H\alpha$ krátce poté. Nad jihovýchodním a jihozápadním okrajem jsou tzv. koronální zvony.

Fotosféra (povrch Slunce) je pouhých 300 km tlustá vrstva atmosféry, z níž vyzařuje většina slunečního světla. Z nitra Slunce sem vystupují rychlostí 1 km/s konvektivní proudy, jejichž vrcholy pozorujeme jako granulaci. Nejznámějším jevem jsou skvrny, pozorované již počátkem 1. tisíciletí a dalekohledem poprvé zkoumané r. 1611 Fabriciem a Galileim. Jsou to chladné deprese, jejichž povrch leží o několik set km níže než okolí. Umbra (jádro) má povrchovou teplotu 3900 K, její jasnost je asi čtvrtina jasnosti okolní fotosféry, a proto se zdá být téměř černá. Je obklopena šedou penumbrou (svah k depresi).

Skvrny se objevují obvykle ve skupinách a jejich počet kolísá v přibližně 11leté periodě sluneční činnosti. Mohou dosahovat průměrů až 50 000 km. Podobně jako v jiných případech i za vznik těchto útvarů je zodpovědné magnetické pole na Slunci. K ochlazení skvrn dochází stlačením magnetickým polem (indukce průměrně 0,4 T, tj. 8000krát vyšší než na Zemi). Siločáry magnetického pole propojují oblasti skvrn s místy výskytu erupcí.

Obráz 3 -

Obrí skupina skvrn ze dne 17. 5. 1951, fotografovaná na observatoři Mt. Wilson.

Moderní fyzika nám předkládá model Slunce jako tělesa s dynamickými změnami gigantických rozměrů. Mezi nejzajímavější patří erupce, zjasnění trvající jen desítky minut a dále protuberance, výtrysky poměrně chladné plasm (10⁴ K) do zřavé korony (10⁶ K). Oba typy útvarů jsou úzce spjaty s místy výskytu slunečních

skvrn a jsou způsobovány změnami vysoce intenzivního magnetického pole.

Při erupcích se uvolňuje ohromné množství energie (10^{25} J) v různých oborech elektromagnetického záření i protony o vysokých energiích $10^9 - 10^{11}$ eV (korpulární záření). Zasáhne-li Zemí, má to vliv na její magnetosféru, atmosféru i biosféru. Energie se čerpá transformací zejména z energie magnetických polí tzv. aktivních oblastí (anihilace protisměrných magnetických polí). Družice OSO 7 registrovala r. 1972 poprvé netepečné jaderné reakce v oboru záření γ . Erupce zachvátí všechny vrstvy sluneční atmosféry, kde teplota stoupne z 10^4 na 10^8 K. Výzkum erupcí má význam nejen pro biologii a lékařství, nýbrž i pro studium řízeného uvolňování termionukleární energie.

Protuberance jsou v podstatě trubice magnetických siločar, svírající a unášející zářivou plasmu. Dosahují v koruně vzdáleností až 2 poloměry Slunce od fotosféry. Nejkratší a nejvýznamnější jsou eruptivní protuberance, dosahující maximálních výšek a rychlostí až 700 km/s.

Obraz 4 -

Kosmonautika umožnila studovat i extrémně krátkovlnné obory záření, které zemská atmosféra absorbuje. Na snímku ze Skylabu 4 je jedna z největších eruptivních protuberancí za poslední dvě desetiletí, fotografovaná v oboru záření ionisovaného helia ($\text{HeI} - 30,4$ nm) dne 12. 12. 1973. Do výšky 400 000 km bylo vyvrženo asi 50 milionů kg hmoty. Pouhých 17 hodin předtím byl tento jev registrován jako obrovská klidná protuberance ve výšce kolem 100 000 km.

Sluneční činnost se periodicky mění. Nejznámější je perioda jedenáctiletá, v níž se výrazně mění počet skvrn a jejich skupin. Poslední maxima byla r. 1957, 1968 a bude koncem r. 1979. V letech 1973 - 1975 bylo minimum sluneční činnosti. Erupce se však občasné vyskytují i v mezidobí, jak nás přesvědčila mj. pozorování družic a orbitálních stanic.

Ve výzkumu Slunce zůstává dosud nevyřešená celá řada problémů. Mezi ně patří procesy uvnitř (nebyla registrována očekávaná dávka neutronů ze slunečního jádra) i v atmosféře (např. vztahy mezi magnetickými poruchami, erupcemi a slunečním větrem). Pro pozemšťany je životně důležité studovat vlivy sluneční aktivity na různá onemocnění organismu (např. infarkty myokardu), dopravní nehodovost i na výskyt přírodních katastrof.

Obraz 5 -

Portrét Slunce v rentgenovém oboru záření (0,3-6 nm), pořízený ze Skylabu 2 dne 28. 5. 1973. Jasně oblasť jsou úzce svázány s fotosférickými aktivními oblastmi. Tmavé koronální díry jsou poblíže severního pólu, východního okraje a uprostřed disku. Jsou pravděpodobně zdrojem slunečního větru. Původ desítek jasných světlých bodů dosud neznáme.

PLANETY

+

Fyzikální a chemické rozdíly mezi hvězdami (slunci) a planetami vyplývají především z rozdílné hmotnosti. Planety jsou tělesa méně hmotná. Proto nedosáhla teplota v jejich nitrech tak vysokých hodnot, jako u hvězd a nemohlo dojít k zážehu jaderných reakcí. Nejsou vytvořeny ze žhavé plasmy jako hvězdy, nýbrž jejich hmotnost je v pevné fázi. Planety proto většinou pasívně od-

rážejí světlo, které k nim blízká hvězda vysílá; to-
též se týká korpuskulárního záření. Jejich gravitační
i magnetické pole je poměrně slabé.

Jupiter, největší planeta naší soustavy, by se
při asi 20x větší hmotnosti stlačil vlastní gravitací
do menšího objemu a stal by se zřejmě malou, chladnou
hvězdou.

Obraz 6 -

Schéma planetárního tělesa podle P. Příhody.
Jsou vyznačeny základní interakce planetárního tělesa
s okolím a typické hodnoty, platné obecně pro planety.

PLANETY NAŠÍ SLUNEČNÍ SOUSTAVY

Náš planetární systém obsahuje pouze 0,13 %
hmotnosti celé sluneční soustavy, zato na jednotlivá
tělesa připadá většina celkového momentu hybnosti.
Největší moment hybnosti má Jupiter, mnohem větší
než Slunce samo. Pomalá rotace hvězd podobných Slunci
podporuje domněnku o cizích planetárních systémech.

Do planetárního systému zahrnujeme 9 planet a
jejich 34 měsíců, planetky (planetoidy), komety, me-
teority, prach, plyn, ionty a volné elektrony. Pohyb
velkých těles je determinován gravitací. Na malé čás-
tice působí především tlak slunečního záření a elek-
tromagnetické síly. I když prostor mezi planetami je
o mnoho řádů dokonalejším vakuem, než dovedeme na Zemi
vyrobit (je o 20 řádů řidší než vzduch!), není nikde
náprosté vakuum, všude se setkáváme s různými formami
hmoty.

Obraz 7 -

Vlevo: postavení planet v září 1975. Rozměry Slunce jsou v tomto měřítku zanedbatelné, vnitřní planety jsou zobrazeny v detailu. Čárkovaná je část dráhy, ležící při pohledu od severu pod rovinou ekliptiky (tj. oběžné dráhy Země kolem Slunce). Pohyb planet se řídí Keplerovými zákony, v ohniscích elips leží těžiště sluneční soustavy (není totožné se středem Slunce). Anomální pohyb má Pluto, který při sklonu 17° k rovině ekliptiky se může přiblížit ke Slunci více než Neptun; od konce tohoto desetiletí bude Pluto předposlední planetou soustavy.

Vpravo: Schematické znázornění typů interakce planet s tokem slunečního větru (zejména protony, letící rychlostí mnoha set km/s) a meziplanetárním prostředím. Závisí na přítomnosti magnetického pole planety:

a) interakce měsíčního typu - těleso nemá magnetické pole ani ionosféru, korpuskulární záření není nijak odkláněno; b) planeta s řídkou atmosférou (ionosférou) a zanedbatelným magnetickým polem - vytváří se rázová vlna (Venuše a Mars); c) planeta s vodivým povrchem - opět vzniká rázová vlna a magnetosféra (Merkur); d) bohatě vyvinutá magnetosféra Země, uvnitř se vytvářejí pásy zvýšené radiace (Země, Jupiter).

Planety naší soustavy⁺ můžeme rozdělit podle velikostí a vnitřní stavby do dvou skupin. Velké planety (Jupiter, Saturn atd.) jsou ve větších vzdálenostech od Slunce, mají větší hmotnost, hustou atmosféru, avšak poměrně malou celkovou hustotu. Z chemického hlediska jsou tvořeny hlavně vodíkem a heliem z původní protoplanetární mlhoviny. Planety terestrické jsou blíže u Slunce, mají menší hmotnost a rozměry, řídkou atmosféru, avšak značnou hustotu centrálního tělesa, tvořeného zejména

silikáty a těžšími prvky. Velké měsíce některých planet se v mnohém podobají terestrickým planetám, avšak obvykle mají menší hmotnost, hustotu a až na výjimky nemají žhavé jádro. Podrobné údaje jsou shrnuty v tabulce.

Obraz 8 -

V dolní části je porovnání velikostí planet vůči Slunci (vyznačena je typická skvrna a protuberance). Nahore jsou průřezy modelem Jupitera a jeho atmosféry, nitrem Země a Měsíce jako typickými představiteli planetárních těles naší sluneční soustavy.

MERKUR

+

Je to planeta pozorovatelná ze Země jen s velkými obtížemi, protože se nevzdaluje od Slunce o více než 28° . Traduje se, že sám Koperník si před smrtí povzdechl, že tuto planetu nikdy nespatriil na vlastní oči. Dodnes není optická astronomie schopna poskytnout mnoho informací. V 60. letech však přišla na pomoc radarová astronomie. Tmavý povrch je pokryt krátery jako na Měsíci; doba rotace je 59 dní, tj. $2/3$ doby oběhu kolem Slunce. Z radiového měření byla odvozena povrchová teplota 400 K. Nejvýznamnější poznatky přinesl Mariner 10, který se k Merkuru přiblížil v letech 1974-75 třikrát a komplexně tuto planetu studoval. Dnes můžeme říci, že Merkur se povrchem podobá Měsíci, kdežto nitrem Zemi.

Průměr jádra z roztaveného železa měří $3/4$ průměru planety, což je relativně více než u Země. Proto je také průměrná hustota planety větší než hustota Země. Povrch je poset krátery, avšak s výjimkou obrov-

ské pánve (talasoidu) Caloris) o průměru 1300 km, zcela chybí měsíční moře.

Hlavním překvapením bylo zjištění existence magnetického pole, i když jeho indukce je stokrát slabší než u Země. Teplota povrchu se značně mění - polední teplota v rovníkových oblastech dosahuje 700 K, kdežto kolem pólnoci klesá pod 100 K. Merkur má řídkou a tenkou atmosféru, která vznikla zřejmě radioaktivním rozpadem povrchového materiálu. Tlak na povrchu je pouze $2 \cdot 10^{-7}$ Pa.

Obraz 9 -

Mariner 10 pořídil několik tisíc snímků Merkura. Zde je fotomosaika 18 záběrů, pořízených 29. 3. 1974 během 13 minut ve vzdálenosti 200 000 km před prvním přiblížením. Dole je večerní terminátor (poblíže 200° z.d.), světlý okraj leží asi na 110° z.d. Jih je vpravo. Jasný kráter Kuiper s paprsky (zhruba uprostřed snímku) má průměr 40 km a patří mezi nejjasnější útvary této planety.

+

Díky sondě Mariner 10 jsme postoupili v rozlišení jednotlivých detailů na povrchu Merkura asi 5000krát. Nejlepší snímky mají rozlišení asi 150 m a většina je srovnatelná s dobrými pozemními fotografiemi Měsíce. Podobně jako u Měsíce byla zjištěna nápadná asymetrie výskytu kráterů; na jedné polokouli jsou četnější. Albedo je prakticky stejné jako na Měsíci - kráter Kuiper odráží 24 % světla, oblasti silně zvlněné krátery asi 15 % a hladké plochy jsou podstatně tmavší (kolem 10 %).

Obraz 10 -

Severní oblast Merkura ze vzdálenosti 80 000 km. Pozoruhodný je sráz těsně u okraje planety, dlouhý stovky km a příkře se svažující k východu. Geologové se domnívají, že je tektonického původu. Celkem byly zmapovány 2/5 povrchu.

+

VENUŠE

Až do roku 1960 byla považována za dvojníka Země, ale dnes víme, že tyto představy byly zcela mylné. Povrch je zakryt hustou atmosférou, nevykazující pro pozorovatele ze Země téměř žádné trvalé detaily. V posledních 15 letech přišly na pomoc kosmické sondy. Nejvýznamnější výsledky získaly sovětské sondy Venera, které provedly přímou sondáž atmosféry a pronikly až k povrchu.

Rozsáhlá atmosféra rotuje s periodicitou 4 dní. Ve větších výškách jsou světlé mraky, podobné pozemským cirrům, níže se pohybují tmavé mraky. Vznikají poblíže rovníku a přemísťují se směrem k pólům.

Venušin den je delší než rok - doba rotace retrográdním směrem je 243 dní, jeden oběh kolem Slunce trvá 225 dní.

Povrch Venuše nám poprvé odhalila radarová pozorování. Nyní je zmapován touto metodou téměř celý povrch s rozlišením kolem 10 km. Byly zjištěny krátery o průměrech nejčastěji 40 - 100 km, výjimečně až 160 km. Celkový ráz terénu je plochý s největšími výškovými rozdíly kolem 2 km, valy kráterů nepřevyšují okolo o více než půl kilometru.

Nitro planety dosud neznáme. Hádankou zůstává, proč sondy nezjistily přítomnost magnetického pole.

Přesto má Venuše ionosféru a byly zde registrovány jevy podobné polárním zářím.

Obráz 11 -

První snímky Venušiny atmosféry zblízka přinesl Mariner 10. Vidíme portrét v ultrafialovém světle, pořízený ze vzdálenosti 27 000 km. Severní pól je vlevo, dole terminátor.

Díky sovětským sondám Venera 4 - 8, které se postupně dostávaly stále hlouběji do atmosféry Venuše, až posléze vysílaly informace přímo z povrchu, známe teplotu, tlak i chemické složení atmosférických vrstev. Některé z těchto parametrů byly nezávisle měřeny i ze Země.

Tlak v atmosféře vzrůstá ve výšce 90 km nad povrchem, ve výšce 50 km je roven pozemskému atmosférickému tlaku, avšak u povrchu je 100krát větší - překračuje 9 MPa. Teplota dosahuje na povrchu 750 K, teplotní gradient je limitován konvekcí na $10^{\circ}/\text{km}$. Takové podmínky připomínají spíše Dantovo peklo než ráj vědecko-fantastických spisovatelů. Tento dojem by ještě dokreslovalo mírné přišerší a nepříznivé chemické složení atmosféry. Sovětské sondy zjistily 97 % CO_2 , 2 % N_2 , 0,1 % O_2 a necelé 1 % H_2O . Vodní páry se vyskytují jen ve vysoké atmosféře, kde ve výšce nad 50 km kondensuje a vytváří - koncentrovaný roztok kyseliny sírové (80 %). Koloběh vody zde vypadá jinak než na Zemi: kapičky deště se vypařují ještě během svého pádu, nedorazí k povrchu a pára znovu stoupá vzhůru. Stopově obsahuje Venušina atmosféra také čpavek, helium a snad i argon a neon. Oblačná pokrývka sahá od 30 km do 70 km a nad ní se rozprostírá jakási "kouřová" vrstva o tloušťce 10 km.

Vysoká teplota u povrchu je udržována zejména působením tzv. skleníkového efektu, kterému zřejmě napomáhá atmosférická konvekce. Dopadající záření se mění na tepelné (infračervené), pro které jsou hustá oblaka nepropustná. Energetická rovnováha mezi dopadajícím slunečním a vlastním tepelným zářením nastává až při vyšších teplotách. Tak se u povrchu akumuluje teplo jako ve skleníku.

Teplota i tlak se během dne nemění. U povrchu je buď bezvětří, nebo vánek pod 3 m/s. Ve výšce 20 - 40 km je rychlost větru 30 - 40 m/s a nad 50 km roste až na 140 m/s.

Obraz 12 -

Vlevo je diagram, znázorňující informace o Venušině atmosféře. Na svislé ose jsou znázorněny výšky nad povrchem, na vodorovné teploty v K a oranžová křivka představuje růst teploty. Modře jsou zobrazeny různé vrstvy atmosféry. Chemické složení je závislé na povrchových podmínkách. Z hornin je uvolňován CO_2 a nad oblaky se částečně rozkládá na kyslík a kysličník uhelnatý. Kyslík vstupuje do řady reakcí, jejichž vyvrcholením je vznik kyseliny sírové se stopami kyselin chlorovodíkové a fluorovodíkové. Nad oblaky probíhají reakce fotochemické, uvnitř termochemické. Reakce molekul v kapalně fázi jsou zarámovány, ostatní probíhají mezi plynnými molekulami.

Vpravo: sonda Venera 9 a 10 nové konstrukce; 22. a 25. 10. 1975 se oběma podařilo přistát rychlostí 7 - 8 m/s na povrchu Venuše a hodinu odtamtud vysílat. Sonda je vysoká asi 2,5 m a má hmotnost téměř 1500 kg. Dole je koule s přístroji o průměru asi 1 m, nad ní je aerodynamický stabilisátor o průměru

přes 2 m a na něm anténa. Vpravo dole je fotografie povrchu Venuše v místě přistání Venera 10 - zřejmě skalní plošina. Venera 8 již r. 1972 rozebírala sypký materiál a zjistila, že obsahuje draslík, uran a thorium ve stejném poměru jako pozemské žuly.

ZEMĚ

"Moře se modrají ve všech odstínech. Mraky jsou zářivě bílé. Pevniny hnědavé, od světlehnědé po tmavěhnědou. Myslím si, že kdybych byl cestovatelem z jiné planety, sotva bych odhadl, zda je tato planeta obydlená." Tak popisoval Zemi jeden z kosmonautů. Země má mnoho shodných rysů s ostatními terestrickými planetami - a odlišnosti zřejmě vyplývají zejména z existence života na jejím povrchu. Paradoxem zůstává, že chceme-li se poučit o stavbě a vývoji naší planety, musíme studovat jiná kosmická tělesa.

Vývoj Země lze rozdělit do čtyř etap.

V prvních milionech let po akreci byl povrch rozryt dopady milionů planetesimál a atmosféru tvořil vodík se vzácnými plyny. Po desítkách milionů let došlo k roztavení jádra a diferenciaci jednotlivých vrstev kombinací gravitačního smršťování, radioaktivního rozpadu a tepla z impaktů. Poté, co sluneční vítr odvál akreční atmosféru, vytvořila se primární z metanu, čpavku a vody. Období před 3,7 - 2,2 miliardami let (prahory) je charakterisováno chladnutím. Vznikají oceány, vynořují se prakontinenty a vulkanická aktivita vrcholí. Chemické reakce mezi vodou, plyny a povrchovým materiálem způsobují sedimentaci hornin. Nejstarší pozemské horniny jsou z počátku prahor (nalezeny v Gronsku). Před 3,4 miliardami let se objevil primitivní život (fosilní bunky z Transvaalu); život vznikl na Zemi

souběžnou evolucí proteinů a nukleových kyselin. Vě starohorách dostal povrch Země dnešní podobu, objevily se hojnější stopy života. Před 600 miliony let začaly prvohory (vývoj od trilobitů k obojživelníkům a plazům), následovaly druhohory (vývoj ptáků a pak savců), třetihory (rozvoj savců). Čtvrtohory začaly před milionem let a teprve v nich se počala formovat lidská společnost. Dnešní podobu má člověk teprve asi 100 000 let.

Přímé pozorování zemského nitra není možné, nejhlubší vrty nepřesahují 8 km. Podpovrchové vrstvy však můžeme studovat nepřímou pomocí seismických vln. Model byl na obr. 8. V jádru panuje teplota 3500 K a tlak $3,4 \cdot 10^5$ MPa, obsahuje roztavené železo a nikl. Jádro je obklopeno obalem z křemíku a hořčíku. Vnější část tvoří kůra, v níž převládá křemík a hliník.

Země má poměrně rozsáhlou magnetosféru, kterou obtékají a zároveň deformují částice slunečního větru: směrem ke Slunci je stlačena do vzdálenosti desetinasobku poloměru Země, na opačné straně se dovnitř táhne tisíce poloměrů. V magnetosféře existují dvě oblasti zvýšené koncentrace nabitých částic (Ván Allenovy radiační pásy). Magnetické pole Země o indukci $5 \cdot 10^{-5}$ T vzniká díky elektrickým tokům vodivým jádrem planety; přesný mechanismus dosud neznáme.

Obraz 13 -

Pohled na naši planetu z kosmické lodi při návratu od Měsíce ze vzdálenosti 160 000 km od Země. Hnědavě je vidět Afrika a část Euroasie.

Současná atmosféra Země obsahuje 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 1 % argonu a dalších plynů. Na její vznik měla rozhodující vliv vulkanická činnost.

Kyslík se ve větší míře objevuje až s rozvojem života (fotosyntéza rostlinného porostu); před 2 miliardami let jej bylo sotva 1 %.

Člověk žije v mikroklimatické vrstvě, vysoké jen několik km. Nad ní je troposféra (hranice 9 - 17 km), v níž se tvoří počasí. Do výšky 30 km se vypíná stratosféra, v níž se teplota téměř nemění; kolem 25 km je maximální koncentrace ozonu O_3 , vznikajícího disociací O_2 vlivem ultrafialového záření. Dalšíh 50 km zabírá mezosféra. Pod touto hranicí je soustředěno 99 % veškeré atmosférické hmoty. Teplotní diference nad pevninami a oceány způsobuje pohyby atmosféry. Od 100 do 400 km leží ionosféra, tvořená ionizovaným plynem, který je elektricky vodivý a odráží rádiové signály. Ještě výše se rozkládá exosféra neboli geokorona, v níž kolem 1000 km převládají vodík a helium a nad 2500 km už pouze vodík. Studium této vrstvy má klíčový význam pro pochopení vzniku a vývoje atmosféry. Zde začal vznikat první atmosférický kyslík fotodisociací vodních molekul, zatímco vodík disipuje z atmosféry do prostoru. Podobně uniká i helium, vznikající radioaktivním rozpadem uranu a thoria, zatímco argon (uvolňující se z radioaktivního izotopu ^{40}K) zůstává. Kalium/argonová metoda je vítanou pomocnicí při určení stáří Země.

Obraz 14 -

Geokorona na snímku v ultrafialovém oboru záření, pořizeném z Měsíce při letu Apollo 16 elektronografickou kamerou. Při expozici 15 s bylo zaregistrováno vodíkové halo do vzdálenosti 25 000 km, při delších expozicích až do 200 000 km. Barvy modrá, červená, zelená a zlatá představují rozdílné koncentrace plynu.

Asi 30 % zemského povrchu zaujímají pevniny. To je asi 1200krát více než rozloha naší republiky. Z této plochy připadá 33 % na pouště a 26 % na lesy. Zemědělsky se využívá jen 11 % povrchu pevnin; v budoucnosti lze tuto plochu rozšířit ještě čtyřnásobně. Systematickým fotografováním Země z kosmického prostoru se zabývají některé umělé družice. Meteorologické družice již získaly za 15 let kolem 4 milionů snímků a využívají se již běžně v praxi (přijímací stanice jsou i v Praze a Bratislavě). Velmi nadějně je mapování a výzkum přírodních zdrojů. Z geomorfologických charakteristik lze odhalit ložiska nerostů pod povrchem, z rozdílné odrazivosti v infračerveném oboru se dozvíme o stavu hospodářských porostů a o jejich napadení škůdci. Snadno lze zaznamenávat porušování ekologické rovnováhy. To není bez významu ani pro nás: pětina všech vodních toků v ČSSR je už zničena a i když je nebezpečně zamořeno jen 7000 km² ze 128 000 km² celkové rozlohy, žijí právě zde 4 miliony lidí!

Meteorologické družice mají rozlišení na snímcích několik set metrů, družice pro výzkum přírodních zdrojů několik desítek metrů a zpravodajské družice jsou schopny odhalit půlmetrové detaily.

Obraz 15 -

Infračervený snímek Země v tzv. nepravých barvách, pořizený družicí Landsat-1 26. 7. 1972. Modře jsou zobrazeny říční toky a jezero, červeně rostlinstvo.

+

MĚSÍC

Pohled na Měsíc nás přesvědčuje, že měsíční krajina se značně liší od pozemské. To platí dnes, ale

na sklonku akrečního období před 4 miliardami let se tváře obou těles navzájem značně podobaly.

Nejstarší měsíční horniny vznikly již před 4,6 miliardami let a geologický vývoj tohoto tělesa zřejmě skončil v době, kdy na Zemi teprve začínal. Geochemický rozbor prokázal, že Měsíc nebyl nikdy součástí Země. Soudíme, že vznikl akrecí. Někteří odborníci soudí, že šlo o homogenní akreci - Měsíc měl vzniknout z chemicky homogenního materiálu a k vytvoření rozdílných zón uvnitř (kůry, pláště, jádra) mělo dojít teprve po skončení akrece vlastním diferenciačním procesem. Pravděpodobnější je však hypotéza heterogenní akrece. Zárodečné planetesimály se akrecí spojily a vytvořily Zemi. Ta pak postupně přibírala z okolního prostoru "miniměsíce" s hustými jádry a řidším křemíkovým okalem. Slapové síly Země odtrhly obaly od jader. Jádra pokračovala po změnách drahách v letu sluneční soustavou a řidší zbytky se usadily na oběžných drahách kolem Země a vznikl z nich Měsíc. K těmto pochodům došlo před 4,6 miliardami let. Po roztavení vnějších vrstev vznikly před více než 4 miliardami let pevniny s krátery. Poté se vytvořily pánve a světlejší roviny. Před 3,8 - 3,0 miliardami let vznikly mořské čediče a od té doby je měsíční kůra klidná. Měsíc je dnes už mrtvým tělesem.

Na základě seismických a geochemických dat byl vypracován následující model měsíčního nitra. Kůra má tloušťku 50 - 60 km a převažuje v ní plagioklas. Pod ní je asi 250 km svrchního pláště (pyroxeny, olivín). Řidká a slabá seismická aktivita pochází z hloubek kolem 800 km. V hloubce asi 1000 km se nachází astenosféra. Pod ní je jádro, které má buď složení původního nediferencovaného Měsíce nebo je z taveniny Fe - FeS. V nitru Měsíce je tlak asi jako v hloubce 150 km pod povrchem Země a teplota kolem 1500 K. Jedním z autorů

tohoto modelu je i náš odborník dr. Jakeš, který se významně podílel na rozboru přivezených měsíčních hornin.

Obraz 16 -

Pohled na část odvrácené strany Měsíce z paluby Apolla 17. V pravé horní části obrázku je světle ohraničené Mare Crisium, blíže ku středu Mare Fecunditatis s výrazným kráterem Lanigenus a dále k hornímu obzoru Mare Tranquillitatis, kde přistáli první pozemšťané.

+

Povrch Měsíce je tvořen z více než $3/4$ světlými pohořími. Zbytek jsou tzv. moře (vyskytující se zejména na přivrácené straně). Jsou to prolákliny zaplavené lávou, jejich povrch však není vodorovný, nýbrž je skloněn až o 10° .

Všude na Měsíci se můžeme setkat s krátery. Na jejich vzniku se podílely rozhodující měrou činnosti impaktní (dopady meteoritů) a tektonické. Na přivrácené straně Měsíce je asi 300 000 kráterů o průměru nad 1 km. Na odvrácené straně, kterou jsme poprvé spatřili na snímcích sovětské sondy Luna 3 roku 1959, je jich nejméně milion. Největší krátery mají průměry několika set km, s klesajícími rozměry jejich počet roste. Vznikly zřejmě v raných dobách vývoje Měsíce. Menší krátery a kráterové jámky se však občas vytvářejí i v současné době. Relativně mladší krátery jsou obklopeny světlými paprsky (Tycho, Koperník) - jde o nesmírné množství malých kráterků, vzniklých sekundárními impakty.

Obraz 17 -

Kráter Schmidt poblíže Mare Tranquillitatis na snímku z Apolla 10, pořízeného z výšky asi 16 km nad Měsícem.

+

Povrch Měsíce je pokryt vrstvou tzv. regolitu (drobný materiál čedičový, brekciový a skelný). Regolit má tloušťku jen několika metrů a pod ním jsou skalnaté horniny. Měsíční horniny ze silikátových minerálů se sice podobají pozemským čedičům, avšak poměr prvků je zcela jiný. Světlé složky, pocházející z pevnin, mají vysoký obsah Ca a Al, zatímco tmavé složky z mladších moří mají zvýšený obsah Fe, Mg, Ti. Z kyslíčků se v těchto horninách uplatňují SiO_2 , Al_2O_3 , FeO, MgO, CaO, TiO_2 a Na_2O . Část železa je v ryzí formě. Voda zde zcela chybí. Tři nejčastější typy hornin jsou: a) tmavé čediče mořského typu, b) světlé anorthosity (brekcie bohaté na plagioklas, obsahují více než 24 % Al_2O_3), c) světlé horniny KREEP, bohaté na dusík, vzácné zeminy a fosfor. Pro zajímavost uvedme i nové minerály, které na Zemi nejsou - tranquillitit $\text{Fe}_8(\text{Zr}, \text{Y})_2\text{Ti}_3\text{Si}_3\text{O}_{24}$ a armalcolit $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Ti}_2\text{O}_5$.

Řada vzorků hornin vykazuje stopy remanentního magnetismu, zřejmě vznikaly v poli tisíckrát intenzivnějším než je současné nehomogenní magnetické pole Měsíce.

Povrchová vrstva regolitu má velmi špatnou tepelnou vodivost. Zatímco na povrchu se střídá teplota od -180°C do $+110^\circ\text{C}$, již v metrové hloubce zůstává téměř konstantní.

Z Měsíce bylo přivezeno při šesti pilotovaných expedicích a dvou letech dálkově řízených sond přes

385 kg měsíčních hornin, z nichž dodnes bylo prozkoumáno jen 10 %. Na rozborech se podíleli odborníci celého světa, mj. i z Československa (u nás byly vzorky z Luny 16, Luny 20, Apollo 11 a 12).

Kosmonauti strávili na Měsíci 630 hodin, z toho 90 při pilné práci. Přivezli 20 000 fotografií, realizovali šedesát experimentů a náchodili (i najezdili) "100 měsíčních kilometrů". Některé přístroje, které zanechali na Měsíci, dosud pracují.

Sovětský svaz vyslal na různá místa na Měsíci dva Lunochody, dálkově řízené ze Země. Najezdily desítky kilometrů, předaly desetitisíce televizních i telefotometrických snímků a výsledky desítek chemických rozborů půdy.

Obraz 18-

Poslední expedice Apollo (17) přistála v prosinci 1972 na úpatí pohoří Taurus - Littrow. Vpravo vozidlo Rover, uprostřed geolog Schmitt u přístrojů Alsep a zcela vzadu kosmická loď. Autorem snímku je velitel Cernan (jehož dědeček Černan odešel r. 1905 ze slovenského Kysucka za prací do Ameriky a jehož maminka byla původem z Bechyně).

Naše znalosti o Měsíci prudce vzrostly zejména díky kosmonautice. 10 % všech prací o oboru výzkumu vesmíru je věnováno právě tomuto tělesu.

Po neúspěšných startech amerických raket r. 1958 jsme byli r. 1959 svědky fantastických úspěchů sovětských kosmických raket. Luna 1 minulá Měsíc v lednu 1959 pouze o 6000 km, Luna 2 na měsíční povrch dopadla v září 1959 a Luna 3 v říjnu ofotografovala odvrácenou stranu Měsíce. Druhá generace sond Luna v polo-

vině 60. let uskutečnila první tvrdá přistání a pře-
dala první snímky z povrchu (Luna 9 v únoru 1966,
Luna 13 v prosinci 1966). Mezitím se Luny 10 - 12
staly prvními družicemi Měsíce. Třetí generace sově-
tských Lun přišla ke slovu počátkem 70. let: univer-
zální přistávací plošina je schopná měkce (rychl. pod
1 m/s) dopravit přes 800 kg užitečného zatížení. Luny
16 a 20 nesly raketu Měsíc - Země, která přivezla vzor-
ky hornin. Luna 17 a 21 nesla Lunochody. Téhož typu
poněkud modifikovaného se využívá jako družic Měsíce
(např. Luna 22).

Američani se v šedesátých letech nejprve potý-
kali s mnoha neúspěchy. Až sondy Ranger 7 - 9 přinesly
snímky Měsíce z těsné blízkosti. V letech 1966-67 při-
stálo na Měsíci pět sond Surveyor, provádějících kom-
plexní výzkum vč. chemické analýzy. Pět sond Lunar
Orbiter zmapovalo v téže době Měsíc s rozlišením ně-
kolika desítek metrů. Vyvrcholením amerického úsilí
bylo přistání prvních lidí na Měsíci 20. 7. 1969 a po
nich ještě dalších pěti expedic.

Obraz 19 -

Vlevo: Luna 16. Při startu má hmotnost asi 4000
kg (nosná raketa Proton), na Měsíci přistává 1880 kg,
z toho 800 kg tvoří raketa pro dopravu vzorků měsíční
horniny. Na Zemi přistává malá koule o hmotnosti ne-
celých 100 kg, nesoucí 10 dkg měsíčního materiálu.

Vpravo: Měsíční sekce Apollo 14. po přistání v ob-
lasti Fra Mauro pouhých 30 m od plánovaného místa. Při
startu raketou Saturn 5 měla loď Apollo hmotnost 45 000
kg. Na oběžné dráze kolem Měsíce se loď rozdělila - dva
kosmonauti přistávali a jeden na ně čekal ve velitelské
sekcí na oběžné dráze. Po startu z Měsíce, při němž

Část sekce sloužila jako startovací rampa a po přestupu do lodi Apollo přistávali kosmonauti do vln Tichého oceánu v kabině o hmotnosti 5 000 kg. Přistávací sekce Apolla má celkovou výšku téměř 7 m, rozpětí amortizátorů přistání téměř 9 m a hmotnost 15 000 kg.

+

MARS

Také o této planetě jsme získali většinu poznatků díky kosmickým sondám. Nejprve jsme se domnívali, že Mars je pustý a mrtvý jako Měsíc, avšak nyní jsme tyto názory opustili. V době Huyghensových pozorování (polovina 17. stol.) činil objem všech obrazových informací o této planetě pouze 10 bitů (bit = jednotka informace). Při oposici r. 1877 vzrostl na několik tisíc a do 60. let tohoto století představují všechna pozemská pozorování asi 5 milionů bitů. Téměř takové množství informací přinesla sonda Mariner 4 r. 1965, která pořídila snímky povrchu se zřetelnými krátery. Dvojice sond z r. 1969 získala stokrát více a Mariner 9 (první umělá družice Marsu) znovu stokrát více informací. Při tom rozlišení detailů se zlepšilo za 3 století 10 000 krát.

Dnes máme celý povrch zmapován s rozlišením 1-3 km, místy s rozlišením 150 m. Polovina povrchu je tvořena starým kráterovým terénem. Většina z nich je impaktního původu, avšak jsou silně erodovány. Největší kruhová pánev - Hellas - má dvojnásobný průměr než Mare Imbrium na Měsíci. Na zbytku terénu nalezneme mladší vulkanické útvary nebo rozsáhlé plošiny sedimentárního původu.

Mars má poloviční průměr než Země a hustotu jen 70 % hustoty Země. Protože má hmotnost desetkrát menší než Země, vytvořil se akrecí z chladnější části

protoplanetárního oblaku za kratší dobu. Po skončení akrece měl homogenní složení. Lehčí horniny (Si, Al) vytvořily kůru o tloušťce asi 50 km. Teplo z radioaktivních rozpadů přispělo k další diferenciaci nitra: z feromagnetických silikátů se vytvořil plášť a z metalického železa a troilitu (FeS) vzniklo jádro. Druhá etapa vývoje začala asi po miliardě let a došlo v ní k zalití povrchu lehčím materiálem pláště a k rozsáhlé vulkanické činnosti, přetrvávající v menší míře dodnes. Vznikla redukční atmosféra, v níž se objevil neon, argon, voda, dusík, kysličník uhličitý a methan (uhlík vázal kyslík a vodík). Vodík unikal (a uniká) do prostoru, podobně jako kolem Země se kolem Marsu rozkládá korona až do vzdálenosti 20 000 km. Hlavní složkou atmosféry zůstal CO_2 , tvořící dnes 70-90 %. Povrchový tlak je pouhé 0,02 atmosférického tlaku na Zemi (jako ve výšce 30 km nad Zemi), tj. kolem 600 Pa. Sovětská sonda Mars 6 zjistila bohatý obsah inertního plynu, snad argonu (25 ± 10 %). Dále byly registrovány stopy CO a O (0,1 %), O_3 (10^{-4} %, na Zemi 1 %) a vodních par (10^{-2} %).

Na Marsu se střídají roční období, jako na Zemi, jenže dvakrát pomaleji. Teplota za dne může vystoupit na rovníku na 10 - 20 °C, v noci klesnout na -100 °C. Protože dráha Marsu kolem Slunce je excentričtější než dráha Země, způsobuje změna vzdálenosti od Slunce změnu teploty až o 20 °C. Se změnou ročního období lze pozorovat změny povrchu. V polárních oblastech se vytvářejí polární čepičky, mizící s příchodem léta. Jejich základem je zmrzlá voda (sublimuje při 190 K), pokrytá vrstvou tuhého CO_2 (sublimuje při 150 K).

Magnetické pole Marsu je tisíckrát slabší než u Země, avšak desetkrát intenzivnější než v meziplanetárním prostoru (indukce $6 \cdot 10^{-8}$ T).

Obraz 20 -

Vlevo: Snímek Marsu ze Země dalekohledem na Mt. Palomar. Mars má charakteristickou červenavou barvu, lze sledovat jižní polární čepičku, světlé a tmavé oblasti. Tmavší "moře" a "bažiny" nejsou geologicky odlišné od "pevnin": vesměs jde o skalnatý terén, prachový materiál nebo vlnitý povrch s velkým rozptylem záření.

Vpravo: Severní polokoule Marsu ze tří snímků Marineru 9 (7. 8. 1972 z výšky 13 700 km). Dole je oblast gigantických vulkánů s Olympus Mons (Nix Olympica) a těsně u spodního okraje je rovníkový systém kanonů. Mariner pořídil 7273 snímků.

+
Velkým překvapením byly fotografie oblasti Tharsis na západní polokouli - na rozlehlé plošině je řada gigantických vulkanických kuželů, geologicky velmi mladých (100 - 300 milionů let). Přímé výbuchy sice registrovány nebyly, avšak nad touto oblastí byla registrována zvýšená koncentrace vodních par a poněkud vyšší teplota. Vulkanická aktivita, která se udržela po tři miliardy let, je jedním z pozoruhodných rysů Marsu.

Obraz 21 -

Olympus Mons na snímcích Marineru 9 z ledna 1972. Tento útvar lze ze Země sledovat jako malou světlou skvrnku. Je to největší známá sopka ve vesmíru. Lávový kužel má u úpatí průměr 600 km, dosahuje výšky 24 km nad okolím, kaldera (lávový kráter) má průměr 65 km. Největší pozemská štítová sopka Mauna Loa na Havajských ostrovech má průměr 200 km a výšku ode dna moře 9,6 km.

Rozsáhlé marťanské pláně jsou pusté, pokryté pískem a drobným prachem. Zatímco na Měsíc dopadají mikrometeority zcela bez zábran a nárazem na povrch se vypaří a na Zemi mikrometeorická tělíška čeká vypaření již ve vysoké atmosféře, na Marsu je tělíško atmosférou pouze přibrzděno a dosedá téměř volným pádem na povrch. Tak se ukládají místy silné nánosy prachu.

Na jiných místech nacházíme řadu tektonických propadlin, širokých kolem 100 km a hlubokých až 6 km. Typickým tvarem jsou kaňony - Coprates má údolní systémy o celkové délce přes 2500 km. Šířka kaňonů je místy až 250 km a hloubka 5 - 7 km. Bývá často přirovnáván ke Grand Canyonu v Coloradu, ale spíše se podobá východoafrické příkopové propadlině. Mnohá údolí a kaňony připomínají vyschlá řečiště, mají podobné meandrovité tvary. Není skutečně vyloučeno, že kdysi bývaly naplněny tekoucí vodou, ale jistotu o tom dosud nemáme. Dnes voda v tekutém stavu na Marsu neexistuje.

Obraz 22 -

Část kaňonu na východním okraji Tithonius Lacus jižně od rovníku (snímek Marineru 9 z ledna 1972). V naznačeném řezu byla ultrafialovým spektrometrem změřena relativní hloubka, která je až pětkrát větší (a šířka 5-6krát větší) než u Grand Canyonu.

Voda v Marsově atmosféře byla objevena ze Země r. 1963. První družice Marsu zjistily, že kdyby všechna pára kondensovala, vytvořila by na povrchu souvislou vrstvu o tloušťce 25 - 35 μm . Sonda Mars 5 zjistila o dva roky později dvojnásobek této hodnoty (což je asi 1/160 hodnoty na Zemi). V létě je vodních par nejvíce.

V tekutém stavu by se snad mohla sezónně vyskytovat jen v proláklínách, kde je vyšší atmosférický tlak (800 Pa). Další voda je ukryta v polárních čepičkách - kdyby roztály, uvolnila by se vrstva vody o tloušťce asi 10 m. Další vodu možná nalezneme v regolitu: nad 45° šířky je dostatečně chladno, aby pod povrchem zůstala po celý rok. Z této oblasti pozemského polárního permafrostu bychom vytěžili také asi 10 metrovou vrstvu vody.

Atmosféra má malou tepelnou setrvačnost, proto stačí k jejímu uvedení do pohybu již malé teplotní diference. Větry mají rychlost přes 100 m/s a vynikají velkou transportní schopností. Dnes lze hovořit o počátcích meteorologie Marsu. Nejzajímavější jsou obrovské prachové bouře. Vznikají vždy v jediné oblasti Noachis - Hellas koncem místního jara, když se Mars nachází v periheliu (více energie ze Slunce). Za několik týdnů může zachvátit celou planetu a trvá několik měsíců. Při bouři r. 1971 bylo v atmosféře Marsu současně v pohybu přes miliardu tun prachu. Malá silikátová zrnka o průměru několika tisícín milimetru byla hnána ve výškách do 50 km rychlostí přes 300 km/hod. Přitom se výrazně mění klimatické podmínky: Prachem prosycená atmosféra pohltí třetinu dopadající sluneční energie, stejnou část odrazí zpět do vesmíru a jen 1/3 dopadá na povrch. Teplota v atmosféře zůstává konstantní (-15 až -55 °C). Prudké prachové bouře přispívají k erozi povrchu a významně se tak podílejí na přetváření Marsovy krajiny.

Obraz 23 -

Změny na povrchu Marsu byly dříve přičítány sezónnímu rostlinstvu, avšak dnes víme, že jde spíše o změny nánosů spraše. Fotografie Marineru 9 ukazuje

superposici dvou snímků téže krajiny Depressio Helle-spontica, pořízené v intervalu 37 dní. První snímek byl interpretován v zelené barvě, druhý v červené. Po složení jsou ztmavlé oblasti povrchu se zeleným nádechem, kdežto zesvětlené oblasti vyhlížejí červeněji. Velikost záběru odpovídá minimálním rozměrům, pozorovatelným ze Země.

+

Při utváření současné tváře rudé planety hrály významnou roli i klimatické změny. Již jsem se zmínil o ozónové vrstvě v atmosféře - na Zemi ozónosféra chrání život před ultrafialovým slunečním zářením. Ke změně klimatu v delším období vede dlouhoperiodické kolísání excentricity (perioda 90 000 a 2 miliony let) a zejména změny sklonu rotační osy (15° - 35° v periodě 100 000 a milion let). Po prachových bouřích se polární oblasti pokryjí prachem, pohlcují více tepla, voda se odpařuje a atmosféra může zhoustnout.

Geologickou, meteorologickou a případně i biologickou aktivitu mohou nejlépe zkoumat kosmické sondy, které přistávají na povrchu planety.

Obraz 24 -

Mapa Marsu z r. 1973 podle pozorování Lovellovy observatoře a Marineru 9. Obsahuje rovníkovou oblast $\pm 65^{\circ}$ šířky. 0° délky je uprostřed obrázku, zprava doleva délka roste. Sever je nahoře. Vlevo podél rovníku je Tharsis s osamělým Olympus Mons, dále směrem vpravo navazuje Vallas Marineris s množstvím Kanonů. V dolní (jižní) části je vlevo od středu rozsáhlá pánev Argyre (50° j.š., 45° z.d.) a vpravo od středu Hellas (45° j.š., 290° z.d.), největší pánev o průměru 2000 km a hloubce 4 km, v níž zřejmě zuří nepřetržitě písečné bouře.

Křížkem jsou vyznačena místa přistání sovětských sond Mars:

Mars 2 - tvrdý dopad 27. 11. 1971 - 45° j.š., 58° z.d.

Mars 3 - přistání 2. 12. 1971 - 45° j.š., 158° z.d.

Mars 6 - dopad 12. 3. 1974 - 24° j.š., 25° z.d.

Rámečkem jsou označena místa přistání sond Viking:

Viking 1 - červenec 1976 - $19,5^{\circ}$ s.š., 34° z.d. - oblast Chryse na severovýchodním konci kanonu Coprates, 5 km pod úroveň okolního terénu. Největší pravděpodobnost výskytu kapalné vody. Náhradní oblast je označena A".

Viking 2 - září 1976 - $44,3^{\circ}$ s.š., 10° z.d. - Mare Acidaliu na jižním okraji polární čepičky, 5 km pod okolním terénem. Náhradní oblast je označena B".

+

Obraz 25 -

Za nové poznatky o Marsu vděčíme především kosmickým sondám.

Vlevo: Na úspěchy Marinerů, které v 60. letech prolétaly kolem Marsu, navázal Mariner 9, který se 14. 11. 1971 stal první umělou družicí Marsu. Pracoval 10 měsíců. Sonda měla hmotnost přes 1000 kg. Základní těleso byl osmiboký hranol o průměru 1,4 m a výšce 0,46 m. K horní základně byly připevněny panely slunečních baterií $0,9 \times 2,1$ m. Pod bílou fólií jsou nádrže pohonných hmot zakončené tryskou motoru. Nahoře je metrová parabolická anténa.

Vpravo: Sovětské sondy Mars 2 a 3 byly nejtěžšími tělesy, které lidé zatím vypustili k planetám (4650 kg). Sonda měla dvě části - orbitální sekce nesla nahoře pod aerodynamickým štítem přistávací sekci. Celková délka byla 5 m, parabolická anténa měla průměr přes 2,5 m. Kulové přistávací pouzdro mělo průměr přes 1 m, hmotnost několik set kilogramů.

Starty k planetám lze opakovat jen při vhodné poloze Země a cílové planety, při níž spotřebujeme na cestu z jedné planetární dráhy k druhé nejméně energie. K Marsu se startovní "okna" otevírají každých 760 dní. Vhodné termíny pro start jsou: srpen-září 1975 (přílet k Marsu v červnu až srpnu 1976), září-říjen 1977 (přílet červenec-srpen 1978), říjen-listopad 1979 (přílet srpen-září 1980), listopad-prosinec 1981 (přílet září-říjen 1982) atd.

Obraz 26 -

Sonda pro výzkum života na Marsu - Viking. Celá sonda má hmotnost 3400 kg, délku 4,9 m. Na oběžné dráze kolem Marsu se rozděluje na část orbitální (kamery rozlišují z výšky 1000 km detaily o velikosti fotbalového hřiště) a přistávací. Ta má konstrukci podobnou měsíční sondě Surveyor - hmotnost 1050 kg, výšku 2,1 m a průměr 2,7 m. 60 kg přístrojů je zaměřeno na 10 experimentů. V krychli o hraně 33 cm jsou tři laboratoře pro výzkum možných forem života, několik dalších přístrojů, 40 termostatů, 22 000 transistorů a 18 000 dalších součástek. Viking 1 startoval 20. 8. 1975, navedení na oběžnou dráhu 19. 6. 1976, přistání v červenci 1976. Viking 2 startoval 9. 9. 1975, navedení na oběžnou dráhu 7. 8. 1976, přistání v září 1976.

Kolem Marsu obíhají dva měsíčky - Phobos a Deimos. Jsou to nejjednodušší kosmická tělesa, která člověk dosud zkoumal. Tvoří je nepravidelné bloky skal s četnými stopami srážek s meteorickými tělesy. Phobos má rozměry 20 x 23 x 28 km, Deimos 10 x 12 x 16 km. I když se podobají planetkám, není uspokojivě vysvětleno, jak se dostaly na své dráhy. Někteří odborníci soudí, že jde o pozůstatky po rozpadu jediného většího měsíce Marsu.

Oba měsíčky obíhají po téměř kruhových drahách uvnitř vodíkové korony. Phobos ve vzdálenosti 9300 km se pohybuje rychleji, než se pod ním planeta otáčí kolem své osy, takže Martané by ho viděli vycházet na západě a zapadat po třech hodinách na východě.

Obraz 27 -

Vlevo Deimos, vpravo Phobos s kráterem o průměru přes 5 km. Snímky Marineru 9.

+

JUPITER

Největší planeta sluneční soustavy, jejíž hmotnost 2,5krát převyšuje hmotnost všech ostatních planet dohromady a 318krát hmotnost naší Země, je tvořena nejlehčími prvky - vodíkem a heliem. Jejich vzájemný poměr je u Jupitera stejný jako u Slunce (1 atom He připadá na 10 atomů H), což potvrzuje společný původ a složení zachované z raných fází vývoje.

Viditelná část Jupitera není povrch, nýbrž jen horní vrstva atmosféry. Dokonce si nejsme jisti, zda Jupiter vůbec má pevný povrch. Pravděpodobnější je, že atmosféra přechází plynule do nižších vrstev.

Nitro Jupitera je na obr. 8. Soudíme, že uprostřed je železnosilikátové jádro o průměru Země, teplota 20 000 K a tlak 60 milionkrát větší než na povrchu Země ($6 \cdot 10^6$ MPa). V těchto podmínkách lze již očekávat vodík a možná i helium v kovové fázi. Zatímco železo nacházíme v tomto stavu za normálních tlaků, vodík se do něho dostává při $3 \cdot 10^5$ MPa a helium při $8 \cdot 10^6$ MPa. Taková látka má molekuly disociovány na atomy a je elektricky vodivá. Na Zemi jsme podobné tlaky zatím laboratorně nevyrobili. Kolem jádra by mohla být "slupka" kapalného helia v kovovém stavu a dále rozsáhlá vrstva kapalného kovového vodíku. Ten přechází při teplotě 11 000 K a tlaku $3 \cdot 10^5$ MPa do vrstvy kapalného molekulárního vodíku s příměsí helia. Ta má tloušťku 25 000 km a nad ní tisíci kilometrová atmosféra.

V atmosféře se vyskytují vodík a helium (prokázané Pioneerem 10 a 11), dále zřejmě methan CH_4 , čpavek NH_3 , voda H_2O a malé příměsi dalších sloučenin. Při pohledu ze Země se jeví vnější atmosféra jako systém světlých a tmavých oblačných pásů (pruhů), rotací uspořádaných rovnoběžně s rovníkem. Světlé pásy jsou výstupné toky plynů a tmavé pruhy jsou sestupné toky (mají o 9 K nižší teplotu a leží o 20 km níže).

Obráz 28 -

První snímky Jupitera zblízka přinesly sondy Pioneer 10, který proletěl ve vzdálenosti 130 000 km v prosinci 1973 a Pioneer 11, který proletěl v nejbližší vzdálenosti 42 000 km v prosinci 1974 a pořídil mj. i tento snímek ze vzdálenosti 1 060 000 km.

Nejzajímavější je Jupiterova teplota. Vzhledem k jeho vzdálenosti od Slunce by měla být asi 105 K na viditelném povrchu. Avšak naměřeno bylo 130 - 145 K.

Tuto diferenci si vysvětlíme pouze vnitřním zdrojem energie. Tím je pravděpodobně smršťování: při změně průměru o 1 mm za rok kryje potenciální energie přeměněná na teplo veškerá energetická vydání Jupitera. Slunci ovšem Jupiter konkurovat nemůže, i když vydává do prostoru 2,5krát více energie než sám přijímá: výkon Jupitera je pouze $3 \cdot 10^{-7}$ výkonu Slunce.

Díky vodivému jádru má Jupiter velmi silné magnetické pole. Vnější nestabilní část magnetosféry je silně ovlivňována slunečním větrem, i když je zde 25krát slabší než u Země. Směrem ke Slunci je stlačena magnetosféra asi do vzdálenosti 7 milionů km (100 poloměrů planety). Vnitřní intenzivní pole sahá do vzdálenosti 1,4 milionů km. Na viditelném povrchu je indukce $4 \cdot 10^{-5}$ T, tj. desetinásobek hodnoty u Země. Rotační a magnetická osa planety svírají úhel asi 10° a střed pole leží asi 8000 km mimo střed planety. Ve vnitřním magnetickém poli jsou silné radiační pásy. Studium je velmi obtížné, protože v poli nabitých částic se pohybuje pět měsíců.

Jupiter má nejrozsáhlejší rodinu měsíců - celkem 14. Čtyři největší objevil Galilei a dnes víme, že se velikostí podobají Měsíci. Poslední dva objevil Ch. Kowal r. 1974 a 1975 a podobají se Deimosu. Galileovské měsíce jsou poměrně dobře prostudovány. Víme, že jejich průměrné hustoty klesají směrem od Jupitera. Nejzajímavější je Io, o níž je již dávno známo, že způsobuje růst rádiové emise od Jupitera. Pioneer 11 potvrdil, že Io má slabou ionosféru, polární čepičky (snad ze sirníků amonných) a řídkou atmosféru (tlak na povrchu 10^{-3} Pa), z níž se uvolňuje vodíková korona. Další měsíce zřejmě atmosféru nemají. Radary i sonda Pioneer 10 a 11 studovaly však povrch Ganymeda a od Kallista byla zachy-

cena slabá rádiová emise. Z polarisace světla lze usoudit, že Io, Ganymed, Europa mají povrch pokryt ledem, zatímco Kallisto má na jedné straně regolit a na druhé holé skály.

Obraz 29 -

Nezvyklý pohled na Jupitera od severního pólu získala sonda Pioneer 11 ze vzdálenosti 1,3 milionu km v prosinci 1974. Tmavší modrošedé plochy nahore a po stranách mohou být způsobeny Rayleighovým rozptylem slunečního světla. Vpravo dole je dobře patrná Rudá skvrna.

+

R. 1665 pozoroval Cassini ve středních šířkách jižní polokoule Jupitera stálý útvar velkých rozměrů. O 115 let později byla popsána jeho červená barva. Má tvar oválu 40 000 x 13 000 km. Jeho vzhled se poněkud mění a nepatrně se posouvá. Tzv. Rudá skvrna je proti okolí stabilní, mraky ji obtékají. Dnes víme, že jde zřejmě o mohutný stabilní vír, zasahující ještě 8 km nad okolní mraky. Svědčí o tom nižší teplota skvrny a menší vrstva plynů nad ní. Kromě této stabilní skvrny lze pozorovat občas menší víry přechodného charakteru. Např. v severním tropickém pásu byla koncem r. 1971 objevena malá "Rudá skvrna", kterou fotografoval i Pioneer 10, avšak do příletu Pioneera 11 již zmizela.

Obraz 30 -

Detailní záběr Jupiterovy Rudé skvrny z Pioneera 11, vzdáleného 540 000 km od povrchu planety. Délka oválovité skvrny podobné pozemským hurikánům gigantic-
kých rozměrů je třikrát větší než průměr Země. Na tomto i předchozím záběru jsou dobře patrné konvektivní bunky.

+

SATURN

Pioneer 11 po svém průletu kolem Jupitera nyní cestuje napříč sluneční soustavou, přeletěl přísluním v únoru 1976 (3,8 a.j. od Slunce), v dubnu 1979 znovu protíná Jupiterovu dráhu a kolem 5. září 1979 se setká se Saturnem. Je plánován průlet mezi atmosférou a vnitřním prstencem planety (4000 km nad oblačky) a dále přiblížení k největšímu měsíci Titanu na 19 000 km.

Saturn byl poslední známou planetou ve starověku a již v polovině 17. století upoutával první pozorovatele primitivními dalekohledy svým záhadným, avšak překrásným prstencem.

Na povrchu vlastní planety lze pozorovat jen velmi málo kontrastní pruhy. Průměr není o mnoho menší než u Jupitera, zato průměrná hustota je pouze poloviční. Snad i Saturnův povrch se smršťuje a proto vykazuje také aktivní tepelnou bilanci - vydává do prostoru 2,4krát více energie než přijímá od Slunce a na jeho povrchu je teplota 97 K místo pouhých 71 K. To nasvědčuje výkonu asi $6 \cdot 10^{-8}$ výkonu Slunce. Pozoruhodné je, že toto zjištění umožnila r. 1969 pozorování v infračerveném oboru, prováděná z paluby letadla.

U Saturnu nebyla zjištěna zatím žádná známka magnetosféry; zřejmě se jeho nitro liší od Jupiterova. Ve středu by mohlo být železnatosilikátové jádro o průměru 20 000 km, kolem vrstva ledu o tloušťce 5 000 km a dále vrstva kovového kapalného vodíku (tl. 8 000 km) a molekulárního kapalného vodíku. V atmosféře byly vedle vodíku zjištěny slabé stopy methanu a čpavku. Helium ze Země zjistit nelze.

Kolem Saturnu se rozkládá do vzdálenosti 2,3 poloměru prsteneč. Podle radarových odrazů z r. 1972 soudíme, že je tvořen převážně ledovými krystalky (sněhem) o průměru 4 - 30 cm. Tloušťka prstence nepřesahuje 100 km.

Saturnova rodina měsíců čítá prozatím deset těles. Mezi nimi vévodí Titan, největší měsíc sluneční soustavy, který můžeme směle zařadit mezi planety. Má průměr 5 800 km, avšak menší průměrnou hustotu než terestrické planety, 1,34krát větší než voda, zatímco Země má 5,52krát větší hustotu než voda. Má rozsáhlejší atmosféru než Mars (čtyřikrát vyšší povrchový tlak), v níž byl bezpečně identifikován methan a předpokládá se i přítomnost vodíku a dusíku. Vnitřní stavbou je Titan zcela odlišný od všech těles sluneční soustavy.

Obraz 31 -

Snímek Saturnu, získaný superposicí 16 fotografií reflektorem o průměru 155 cm v Arizoně. Prstence, ležící v rovině rovníku, jsou skloněny k zornému paprsku o $26,9^\circ$. Tmavé dělení prstence se nazývá Cassiniho. Viditelný povrch je žlutavě zbarven; z tmavších pruhů je nejzajímavější rovníkový.

+

URAN

Sedmou planetu objevil r. 1781 W. F. Herschel (původním povoláním hudebník na anglickém královském dvoře a po matce původem z Moravy). Jen s největšími obtížemi na ní můžeme pozorovat nějaké detaily - tmavší pruhy mají kontrast pouhých 5 %. Předpokládáme, že tato planeta se poněkud podobá vnitřní stavbou Saturnu - měla by mít jádro o průměru 16 000 km, tep-

lotě 4000 K a tlaku 10^5 MPa, obklopené ledem a pláštěm z molekulárního vodíku. Průměrná hustota je jen 1,2krát větší než hustota vody. Atmosféra je průzračná do značné hloubky a byla v ní zjištěna přítomnost vodíku a methanu; čpavku zatím nikoliv. Uran je v tepelné rovnováze s přijímaným slunečním zářením.

NEPTUN

S rostoucí vzdáleností od Slunce ubývá našich poznatků o planetách. Na povrchu Neptuna nelze sledovat žádné detaily. Atmosféra je průzračná do velkých hloubek a obsahuje snad methan a vodík. Není vyloučeno, že vnitřní struktura se podobá předchozí planetě, avšak průměrná hustota je kupodivu větší.

Objev této planety je fascinující z hlediska úspěchů nebeské mechaniky i z hlediska psychologie. R. 1841 J. C. Adams, tehdy ještě student v Cambridgi, řešil problém rušivého vlivu neznámé planety na pohyb Uranu. Když své výsledky po čtyřech letech uveřejnil, nikdo je nebral vážně a žádný (!) profesionální astronom se neobtěžoval namířit dalekohled do vypočteného místa. Francouz Leverrier dospěl r. 1845 ke shodným výsledkům, avšak ani on nepřiměl pařížské pozorovatele, aby výpočty ověřili. Příležitostně si postěžoval mladému berlínskému astronomovi Galleovi a ten našel ještě téhož večera, co obdržel dopis, novou planetu. Byla necelý stupeň od předpokládaného místa. To bylo 23. 9. 1846 - avšak dodnes se mnoho profesionálních astronomů zabývá pouze hvězdami a galaxiemi a považuje výzkum planet za podřadnou práci ...

PLUTO

Poslední planeta sluneční soustavy, o jejíž existenci víme, je téměř zcela mimo pozorovací možnosti. Za úspěch považujeme zjištění průměru a rotace. Přírodu této planety si těžko dovedeme představit: jediným plynem, který by při střední teplotě 42 K mohl v atmosféře trvale existovat v plynné fázi je neon. Není vyloučeno, že Pluto byl kdysi měsícem Neptuna - avšak mechanismus odtržení nám není jasný. Dráha Pluta je velmi excentrická, v periheliu leží blíže u Slunce než Neptunova dráha. R. 1987 bude planeta v periheliu a r. 2114 opět v aféliu.

Také historie objevu této planety se čte jako detektivní román. Již počátkem 20. století bylo předpovězeno, že poruchy dráhy Neptuna by mohla mít na svědomí další planeta. Humason začal r. 1919 neznámou planetu hledat, avšak bezvýsledně. Teprve po jeho smrti se ukázalo, že měl neobyčejnou smůlu: na dvou deskách Pluta zachytil, avšak na jedné byl obraz překryt křemem a na druhé zaměnil planetu za jasnou hvězdu. Řada odborníků hledala planetu marně. Až Tombaugh novou planetu zachytil novým dalekohledem v březnu 1930 asi 5° od vypočteného místa. Dnes víme, že hmotnost Pluta je mnohonásobně menší, než se soudilo při výpočtech. Jinými slovy: výpočty byly chybné, ale přesto vedly k objevu.

Obraz 32 -

Vlevo Uran - snímek G. P. Kuipera; dvoumetrovým reflektorem Mc Donaldovy observatoře ukazuje všech pět měsíčků, avšak planeta musela být přexponována; uprostřed Neptun se dvěma měsíci - snímek téhož autora; Vpravo Pluto - dvojice snímků ze 2. a 5. 3. 1930, na

nichž byl objeven. Pluto je označen šipkou, jasná hvězda je δ Geminorum.

KOMETY

+

Chladný, vzdálený prostor na samém pomezí sluneční soustavy je říší komet. Typická kometa má jádro o průměru nejvýše několik km, obsahující drobné balvany a prachové částice, pojené zmrzlými plyny. Po většinu svého života je to těleso velmi skromně vypadající. Teprve když se po eliptické dráze přibližuje ke Slunci, získává svůj krásný zjev. Jádro se zahřívá, plyny sublimují a dávají vznik komě, tj. atmosféře komety. Je to oblak fluoreskujících plynů o průměru až několika set tisíc km. Hustota komy je jen 10^{-15} částí hustoty zemské atmosféry. Skládá se z molekul C_2 , CN, výjimečně při přiblížení ke Slunci i Na, Fe, Ni. Z družic byla také objevena rozsáhlá vodíková obálka o průměru stejném jako je průměr Slunce. Z komy se částice plynu a prachu přesouvají tlakem slunečního záření a větru do chvostů. I když se může táhnout miliony km za komou, jeho hustota je zcela nepatrná. Můžeme ji přirovnat k hustotě, jaká by byla v hledišti Národního divadla v Praze, kdybychom do jeho celého objemu rozptýlili miliontinu pšeničného zrnka!

Při každém průchodu komety přisluním ztrácí část své hmoty a musí tedy zákonitě jednou zaniknout. Po vyčerpání pojivých plynů se jádro komet rozpadá. Není vyloučeno, že materiál komet je zbytkem původního stavebního materiálu protoplanetární mlhoviny.

Obraz 33 -

Snímek komety 1973 f ze dne 14. 1. 1974, zís-

kaný na materiál Ektachrome při 15minutové expozici Schmidovým teleskopem o průměru 45 cm. Objevil ji náš astronom dr. Kohoutek. Protože jsme měli čas se na pozorování připravit, byla zkoumána komplexně ze Země i z vesmíru tak důkladně, jako žádná kometa v historii. V tom smyslu zůstala "Kometou století", i když laika zklamala malou jasností. Jádro mělo průměr 5 km, koma dosáhla průměru téměř 10^5 km, vodíková obálka průměru milion km. Rozsáhlý chvost měl po krátkou dobu délku až 60 milionů km. Pokud se kometa Kohoutek po průchodu periheliem nerozpadla, objeví se opět za 75 000 let. Další populární kometa, Halleyova, bude v přísluní r. 1986, ale těžko ji někdo ze severní polokoule spatří pouhým okem.

+

DROBNÁ TĚLESA SLUNEČNÍ SOUSTÁVY

Meziplanetární prostor je vyplněn meziplanetární hmotou - plynem i pevnými částicemi různých rozměrů.

Meziplanetární plyn. Skládá se především z protonů a volných elektronů. Jejich hustota je nepatrná - ve vzdálenosti Země od Slunce obsahuje 1 cm^3 pouze 10 těchto částic (1 cm^3 vzduchu u povrchu obsahuje $3 \cdot 10^{19}$ molekul). Zdrojem částic jsou aktivní procesy na Slunci, pohybují se podél siločar magnetického pole ve tvaru Archimedovy spirály rychlostí průměrně 400 km/s. Předpokládáme, že meziplanetární plyn obklopuje celý planetární systém v podobě heliosféry. Ta je deformovaná interakcí s mezihvězdným plynem a dosahuje ve směru pohybu Slunce vzdálenost 5 a.j., v opačném směru snad až 300 a.j. Hustota mezihvězdného plynu (vodík, helium) je pouze 0,1 atomu/ cm^3 !

Meteorický prach. Kosmonautika umožnila studovat nejmenší pevné částice meziplanetární hmoty až do hmotností 10^{-20} kg. Takové částice (mikrometeority) se při

vstupu do zemské atmosféry nijak opticky neprojevují.

Meteory. Meteor je jev, při kterém vniká drobná částice (též meteorická částice, meteoroid) do atmosféry a ve výškách kolem 100 km se třením o okolní atomy a molekuly doslova vypaří. Ionisovanou stopu lze sledovat opticky nebo radarem po několik sekund. Velikost částic se pohybuje od zlomku milimetru až po několik centimetrů. Obzvláště jasné meteory - bolidy - mají velikost až několik metrů, jsou však někdy tvořeny velmi porézní (málo hustou) látkou.

Meteority. Jsou to kamenné nebo železné částice, které po průletu atmosférou dopadnou na zemský povrch. Mívají velikost od několika set metrů do několika kilometrů. Svůj původ mají jednak v pozůstatcích komet, jednak jde o planety. Těch se pohybuje mnoho tisíc zejména mezi dráhou Marsu a Jupitera, avšak některé se mohou přiblížit i k Zemi. Vypadají zřejmě podobně jako Marsovy měsíce (viz obr. 27). 3/4 všech měsíců ve sluneční soustavě je téhož typu.

Obraz 34 -

Vlevo nahoře jsou zakresleny dráhy drobných těles. Komety se obvykle pohybují po elipsách s velkou excentricitou. Po rozpadu jádra komety se podél dráhy vytváří oblak částic (meteorické roje). Jedna z typických planetek - Adonis - se může přiblížit k Zemi až na 2 miliony km, oběžná doba je 2,5 roku, průměr tělesa 1 - 2 km. Téhož typu jsou dráhy dvou meteoritů. Prvním z nich, u něhož se podařilo podle snímků určit dráhu ve sluneční soustavě, je meteorit Příbram, který dopadl 8. 4. 1959 u obce Luhy. Zazářil jako hvězda - 19^m - a z původního tělesa o hmotnosti

několika tun zbylo několik kilogramů. Druhým registrovaným případem byl meteorit Lost City (Oklahoma) ze 4. 1. 1970.

Vpravo nahoře je fotografický záznam začátku přeletu meteoritu Příbram, vpravo dole jsou čtyři nalezené úlomky o hmotnosti 5,8 kg.

Vlevo dole je závislost četnosti výskytu mikrometeoritů v prostoru na hmotnosti (odpovídajícím průměru) tělísek. Podklady byly získány převážně na družicích.

+

Po dopadu většího meteoritu se vytváří v půdě kráter o rozměrech několikanásobně větších než původní těleso. Stopy po impaktní činnosti nacházíme na všech terestrických planetách a u některých hrály dominující roli při utváření povrchu. Největší byla v době existence planetesimálních těles. Na Zemi větším impaktním vlivům zabranuje nyní atmosféra, avšak na Měsíci nebo Merkuru se projevují silněji. Vzhled kráterů je na různých tělesech sluneční soustavy značně odlišný díky rozdílnému mechanismu a stupni erose.

Obraz 35 -

Vlevo: Kráter v severovýchodním Quebecu (Kanada) na snímku z družice, byl vytvořen impaktem před 200 miliony let. Dnes je v kráteru o průměru 60 km jezero Lake Manicouagan.

Vpravo: Měsíc z výšky 118 km, fotografovaný Wordenem z Apollo 15. Oblast velmi starého impaktního povrchu východně od kráteru Ciolkovskij. Uprostřed je relativně mladý impaktní kráter o průměru 19 km se světlymi paprsky vyvrženého materiálu.

+

KOSMONAUTIKA

Za mnoho poznatků vděčí fyzika sluneční soustavy kosmonautice. Desítky sond prováděly přímý výzkum kosmických těles. Avšak mnoho nového lze zjistit i z oběžné dráhy kolem Země. V takových výškách již mizí absorpce některých oborů elektromagnetického záření. Je-li aparatura dobře pointována, neruší nás ani turbulence, ani vlastní světlo atmosféry. Dvaceticentimetrový refraktor Hvězdárny hl. města Prahy, vyslaný do vesmíru, by byl tak výkonný jako dvoumetrový reflektor na Ondřejově.

Značným pokrokem je pozorování z orbitálních stanic. První orbitální stanici vypustil Sovětský svaz r. 1971. Počátkem 80. let začnou Sověti i Američani využívat tzv. kosmických raketoplánů, mnohonásobně použitelných, které dopraví užitečné zatížení na oběžnou dráhu levněji, spolehlivěji a bezpečněji než dosavadní rakety.

Obraz 36 -

Raketoplán podle amerických představ by měl vynést asi 30 tun na nízkou dráhu. Zde vidíme jeho orbitální část. Užitečným zatížením je orbitální laboratoř Spacelab, kterou vyvíjí západoevropské státy a s jejímž prvním startem se počítá na červen 1980.

+

Také socialistické země se dnes zabývají kosmonautikou. Bratrská spolupráce se Sovětským svazem a ostatními socialistickými státy přinesla již své ovoce. Organizace Interkosmos vypustila již 14 družic a na většině z nich byly československé přístroje. Některé zkoumaly Slunce a jeho vlivy na Zemi,

jiné geofyzikální problémy. Náš průmysl získal od kosmického výzkumu řadu cenných podnětů. Předsedou organizace Interkosmos je v tomto období akademik Kožešník, předseda ČSAV.

Obráz 37 -

Interkosmos 5 pro geofyzikální výzkum. Aparatury připravili pracovníci Ústavu experimentální fyziky v Košicích, Matematickofyzikální fakulty UK v Praze, Geofyzikálního a Astronomického ústavu ČSAV. Na bocích družice o hmotnosti asi 350 kg jsou panely slunečních baterií. Kruhová anténa v popředí je určena pro příjem nízkofrekvenčních vln.

+

SLUNEČNÍ SOUSTAVA Z VESMÍRU

Na obloze můžeme spatřit pouhým okem nejvýše 2 až 3 tisíce hvězd. Všechny jsou součástí naší Galaxie, obrovského disku se 150 nebo více miliardami hvězd. Astronomové mohou zkoumat miliardy cizích galaxií. Mezi kosmickými objekty jsou však obrovské vzdálenosti. Kdybychom si představili hvězdy jako dešťové kapky, pak uvnitř typické galaxie by byly od sebe vzdáleny jedna od druhé 60 km!

Většina hvězd se od Slunce liší, avšak asi 10 % je stejného typu. Předpokládáme - i když to zatím nemůžeme dokázat - že i jiné hvězdy mají své planetární systémy. Není vyloučeno, že na některých z nich se rozvíjel život a dosáhl stadia technické civilizace. Bylo vypočteno, že průměrná vzdálenost mezi civilizacemi ve vesmíru musí být nejméně 1000 světelných let. To je příliš mnoho na cestování nebo přímý styk a proto se vysvětlení některých dosud nejasných otázek

"Návštěvou z vesmíru" odmítají jako nepravděpodobná. Avšak vzdálenost nevylučuje, i když značně ztěžuje, možnost dorozumívání na dálku.

Obraz 38 -

Pohled z hypotetické planety hvězdy Capella (souhvězdí Vozky), vzdálené od nás 45 světelných roků. Uprostřed je hvězda Slunce a hvězda Centauri, +/ nejblíže Slunce. Jasnost obou hvězd je na hranici pozorování pouhým okem.

+

Závěrečný obraz -

Severní část Kalifornského zálivu z Gemini 4.

* * * * *

+/ alfa Centauri

Tabulka: Základní údaje o planetách sluneční soustavy

	Merkur	Venuše	Země	Mars	Jupiter	Saturn	Uran	Neptun	Pluto
Vzdálenost od Sl. maximální /10 ⁶ km/	69,7	109	152,1	249,1	635,7	1507	3006	4537	7375
Vzdálenost od Sl. minimální /10 ⁶ km/	45,9	107,4	147,1	236,7	740,9	1537	2733	4536	7425
Vzdálenost od Sl. střední /10 ⁶ km/	57,9	108,2	149,6	227,9	778,6	1427	2870	4493,6	5900
Doba oběhu	88 ^d	224,7 ^d	365,3 ^d	687 ^d	11,86 ^h	29,46 ^h	84,01 ^h	164,8 ^h	247,7 ^h
Rotace	59 ^d	-243 ^d	23 ^h 56 ^m 4 ^s	24 ^h 37 ^m 30 ^s	9 ^h 56 ^m 30 ^s	10 ^h 14 ^m	11 ^h	16 ^h	6 ^h 9 ^m
Orbitální rychlost km/s	47,9	35	29,8	24,1	13,1	9,6	6,8	5,4	4,7
Sklon osy rotace	28 ^o	3 ^o	23 ^o 27'	23 ^o 59'	3 ^o	26 ^o 48'	82 ^o 5'	28 ^o 48'	?
Sklon dráhy k rovině ekliptiky	7 ^o	3,4 ^o	0 ^o	1,9 ^o	1,3 ^o	2,5 ^o	0,8 ^o	1,8 ^o	17,2 ^o
Rovník, průměr /km/	4880	12 104	12 756	6787	142 810	120 000	51 800	49 500	6000/?/

Tabulka (pokrač.)

	Mer- kur	Ve- nuše	Země	Mars	Jupi- ter	Sa- turn	Uran	Nep- tun	Pluto
Hmotnost /Země = 1/	0,055	0,815	1	0,108	317,9	95,2	14,6	17,2	0,1 /?
Hmotnost /% Slunce/	0,000017	0,000245	0,000304	0,000382	0,09547	0,02859	0,00436	0,00524	0,00025?
Původní hmotnost planetární /% Slunce/	0,004	0,056	0,07	0,007	1,5	0,77	0,27	0,27	0,6 ?
Objem /Země = 1/	0,06	0,88	1	0,15	1316	755	67	57	0,1 ?
Hustota /voda = 1/	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,2	1,7	?
Hlavní složky atmosféry	?	CO ₂	N ₂ + O ₂	CO ₂ , Ar?	H ₂ , He	H ₂ , He	H ₂ , He CH ₄	H ₂ , He CH ₄	?
Teplota vřiditel. povrchu / °C = mraky/	-170 400	-33 / 480	22	-23	-150	-180	-210	-220	-230 ?
Atmosf. tlak na povrchu / MPa/	10 ⁻¹³	9	10 ⁻¹	6.10 ⁻⁴	?	?	?	?	?
Počet měsíců	0	0	1	2	14	10	5	2	0

1821-75-Mn