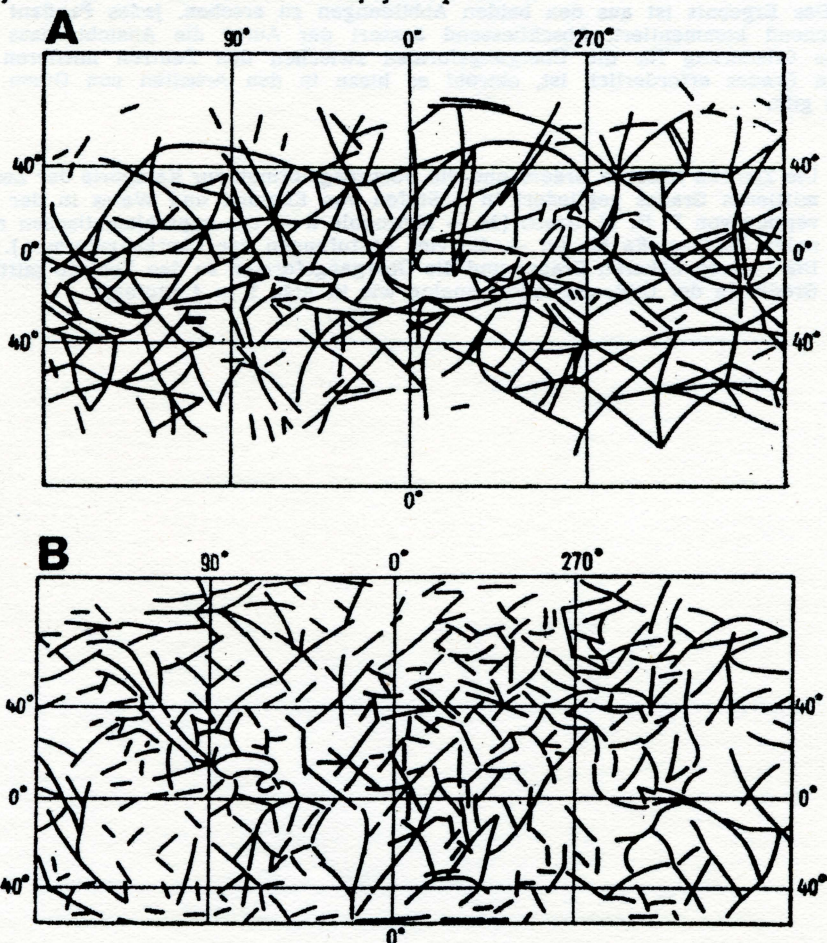


LUDVÍK LOYDA

## „ŘÍČNÍ ÚDOLÍ“ NA MARSU A MĚSÍCI

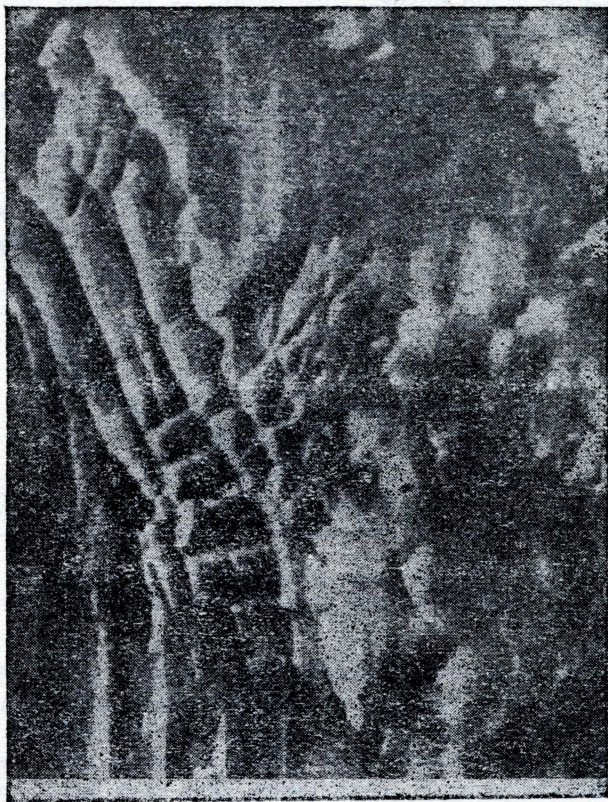
Otázka původu údolí na mimozemských nebeských tělesech byla rozvířena až v posledních letech, kdy technický pokrok umožnil výzkum planet na vyšší úrovni, než dosud dovolovaly pouhé dalekohledy. Kromě tmavých a světlých míst, pojmenovaných už dávno „maria“ a „terrae“, byly známy na obou planetách i systémy lineárních struktur směru SV a SZ. Na Marsu k těmto strukturám, zvaných zde „kanály“, přistupují ještě lineární tvary směru S—J a Z—V. Protože hlavní tektonické poruchy a jiné struktury probíhají těmito směry i na Zemi (obr. 1), lze jistě oprávněně předpokládat, že tyto linární tvary reliéfu mohly vzniknout vlastně všude stejným způsobem.



1. Hlavní lineární struktury (zlomy) na Marsu (A) a na Zemi (B) Čarušin, Katterfel'd 1973).



Podrobnější údaje byly získány skutečně až v poslední době. Od poloviny listopadu 1971 po celý rok kroužila dvakrát denně kolem Marsu družice Mariner 9 (Weaver, Pešek 1973). Vyslala celkem 50 miliard údajů, z nichž bylo sestaveno 7300 obrazů, na nichž byly zachyceny tvary už od velikosti 25 cm. Obzvláště zajímavým bylo jistě objevení sopky Nix Olympica, resp. její výšky 24 km (na Měsíci dosahují nejvyšší vrcholy relativní výše 10 km) a dlouhých riftů a kaňonů (obr. 2). V rovníkové části Marsu byl tak např. objeven rift dlouhý 3700 kilometrů, široký 240 km a hluboký 6500 m. Jiný systém kaňonů směru Z–V je dlouhý 2500 km a široký 100–200 km.



2. Fotografie území 42×48 kilometrů na Marsu s rýhami, vzniklými zřejmě tektonickým způsobem (Mariner 9, 1972).

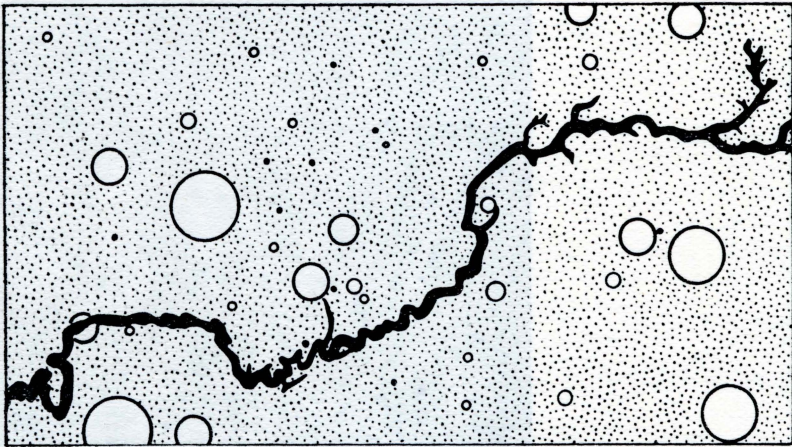
Největším překvapením byl však objev „meandrujících říčních koryt“ (meandering river beds), tvořících zde celou suchou říční síť (obr. 3). Tato údolí považují Weaver a Pešek nutně za říční a ne za tektonická, protože zlomy — aspoň tak jak je známe z geologických map — podobnou síť nikdy netvoří. Jejich původ, jak se zdá, není ani vulkanický, protože v jejich blízkosti není žádný velký sopečný kráter (obr. 4).

Na Měsíci jsou ovšem také podobná klikatá údolí (rimae, rillae), která bývají přirovnávána k lávovým proudům velkých sopek — např. havajských (Cruikshank, Wood, 1972). Přitom se však vůbec nebere v úvahu, že údolí na Marsu a Měsíci jsou dlouhá stovky a tisíce kilometrů, zatímco lávové proudy dosahují délky maximálně desítek kilometrů.



Gilvarry (1969) rozvádí představu o řekách a jejich údolích na Měsíci ještě dále. Domnívá se, že jejich délka musí být v takovém poměru k délce řek na Zemi v jakém je velikost obou planet. Vyvozuje potom zcela jednoduše: je-li nejdelší řeka na Zemi dlouhá 6400 km (tj. zhruba jako radius Země), široká 10 km a hluboká 30 m (Amazonka), pak největší řeka na Měsíci by měla být dlouhá max. 1600 km (tj. zhruba radius Měsíce), široká 2,5 km a hluboká 12 m. Podle tohoto receptu lze jistě „spolehlivě“ vypočítat i ostatní údaje o všech planetách.

Podle všech dosavadních představ je pojem „údolí“ spojován s erozní činností vodních toků. Tímto způsobem se však vykládá nejen vznik údolí pevninských řek, ale zcela samozřejmě i původ údolí na mořském dně, na Měsíci a na Marsu. Že na těchto místech řeky nejsou — to zatím nebylo považováno za příliš závažný nedostatek této erozní představy.



3. Údolí na Marsu, dlouhé asi 400 km a široké 5—6 km. Jiné než erozní vysvětlení jeho vzniku zatím neexistuje (Mariner-9, 1972).

Je proto třeba vysvětlit, jak je možné, že na Marsu a Měsíci existují údolí říčního typu, přestože na obou planetách není voda. Máme-li vznik těchto údolí zkoumat opravdu objektivně, pak musíme vycházet jen z ověřených faktů. Proto můžeme s určitostí tvrdit pouze to, že na mořském dně, Marsu a Měsíci údolí skutečně existují. Jejich genesi jsme však dosud nezkoumali a označovat je už předem všechna za erozní je tvrzením naprosto nepodloženým.

Pokusme se však vyjít z některých jiných známých faktů, z nichž sice žádný otázku vzniku údolí na Marsu a Měsíci sám neřeší, ale které ve svém souhrnu nám vytvářejí obraz prostředí, v němž by měly řeky vznikat a do hloubky erodovat. První podmínkou pro vznik údolí erozním způsobem na povrchu jakékoliv planety musí být zcela nutně přítomnost vody. Tato otázka byla vyřešena dost svéráznou úvahou: Nevadí, že dnes na těchto planetách voda není — údolí jsou přece neklamným svědectvím, že zde kdysi byla. Podle některých představ zde tedy voda byla, podle jiných tu ještě je vázaná v dlouhodobě zmrzlé půdě (permafrostu), z níž je uvolňována při dopadu velkých meteoritů.

Jsou-li ovšem podle dosavadních představ, údolí na povrchu planet potvrzením přítomnosti vody, pak musí být zcela nutně i důkazem existence vodního oběhu, bez něhož by řeky vznikat nemohly. Jeho nedílnou součástí musí být potom zcela



4. Údolí Grand Canyon v oblasti Tithonius Lacus na Marsu. Šířka údolí je 120 km, vznik bočných rýh je vykládán erozí vodních toků. (Mariner 9, 1972.)



samořejmě i větší vodní plochy, dostatečný výpar a tvorba mraků a srážek. Neexistuje-li v o b n í o b ě h, pak nemohou vznikat ani řeky a tedy ani říční (erozní) údolí.

Podmínek pro existenci oběhu vody je ovšem několik. Je to jednak teplota umožňující výpar (50 cm nad povrchem je na Marsu teplota cca o 40 °C nižší než na Zemi), dále dostatečně hustá a zvrstvená atmosféra a v neposlední řadě i patřičně silná gravitace planety, která brzdí unikání vodních par do vesmíru.

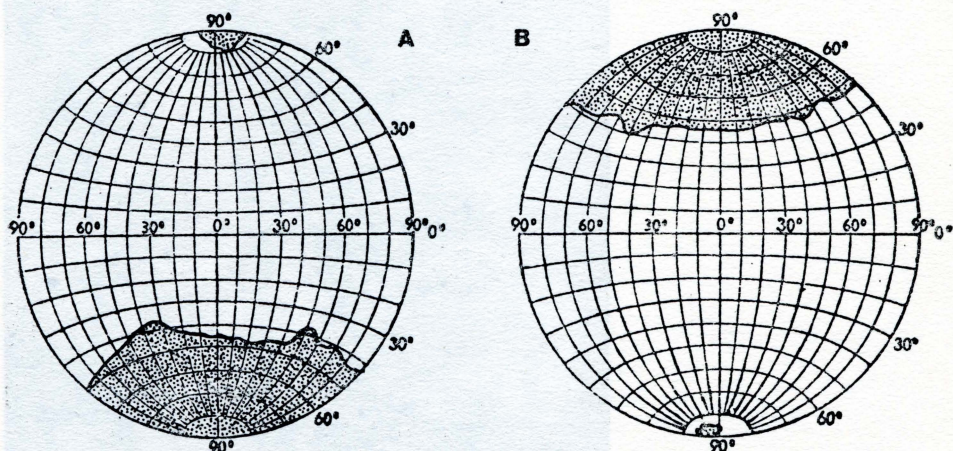
Tabulka 1. Složení atmosféry jednotlivých planet

Merkur	CO <sub>2</sub> (dále neznámo)
Venuše	CO <sub>2</sub> (97 %) N (2 %) H <sub>2</sub> O (max 0,05 %), CO, O
Země	N, O, H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>
Mars	CO <sub>2</sub> (90 %), CO, H <sub>2</sub> O (stopy) H, O
Jupiter	H, He, CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>
Saturn	H, CH <sub>4</sub> , He, NH <sub>3</sub>
Uran	H, He, CH <sub>4</sub>
Neptun	H, CH <sub>4</sub> , He
Pluto	neznámé
Měsíc	—

Tab. 1 ukazuje zhruba složení atmosféry jednotlivých planet. Tzv. malé planety se odlišují od velkých především přítomností kyslíku (volného i ve sloučeninách). I mezi nimi je ovšem naše Země výjimečným zjevem — její atmosféra je úplně odlišného složení. Stopy vody v atmosféře Marsu nelze jistě



považovat za důkaz existence vodního oběhu — musely by tu být i vodní plochy a podmínky pro vznik mraků, srážek aj. Také bílé čapky na pólech planety, původně považované za ledové či sněhové (obloha polárního ledu na Zemi), jsou zde tvořeny jen ztuhlým CO<sub>2</sub>. Jejich mocnost je malá, asi 2–3 cm, a při vrcholení letního období skoro mizí (obr. 5). V zimě se pak rozšiřují až k 40. rovnoběžce (Weaver, Pešek, 1973). Původ CO<sub>2</sub> zde lze vysvětlit zcela jednoduše, protože při sopečné činnosti uniká z nitra planety asi ve stejném množství na Marsu jako na Zemi. U Měsíce je situace ještě jednodušší — atmosféra prakticky chybí a vodní plochy také. Zůstávají zde tedy jen ta „říční“ údolí.



5. Polární sněhové čepičky, tvořené ztuhlým CO<sub>2</sub> na Marsu. A — v severním létě, B — v jižním létě (Wraver, Pešek 1973).

K vytvoření dostatečně husté atmosféry kolem kterékoliv planety je třeba i odpovídající gravitace, schopné tento plynný obal udržet. Není-li tato podmínka splněna, pak vypařující se voda musí uniknout do vesmíru. Tabulka 2. ukazuje rozdíly v základních údajích o jednotlivých planetách. Z ní je také hned patrné, že gravitace Marsu a Měsíce je zřejmě příliš nízká, takže neudrží (Newtonův gravitační zákon) plynný obal v dostatečné hustotě, nutné k vytvoření vodního koloběhu. Také atmosférický tlak je zde malý a vodní plochy by zde proto nikdy nemohly existovat — voda by se musela hned vypařit a uniknout.

Tabulka 2. Porovnání základních údajů o Zemi, Marsu a Měsíci

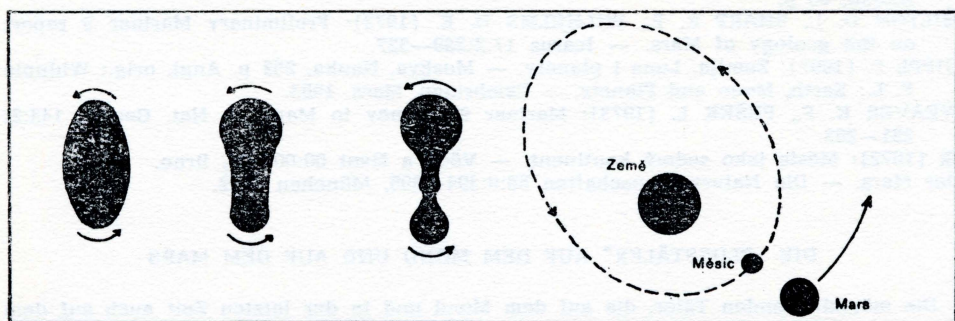
1. Střední vzdálenost od Slunce (v mil. km)	Země 149,6	Mars 227,94	Měsíc 149,6
2. Prům. orbitální rychlost (v km/s)	29,79	24,18	1,03
3. Střední průměr (v km)	12.742,0	6.775,0	3.475,0
4. Povrch (v mil. km <sup>2</sup> )	510,09	144,20	37,96
5. Objem (v mlrd km <sup>3</sup> )	1.083,22	162,82	22,0
6. Váha (v tril. tun)	6.600,0	710,0	81,0
7. Hustota (v g/cm <sup>3</sup> )	5,52	3,94	3,34
8. Gravitace	1,0	0,38	0,165
9. Atmosférický tlak (v mb) 1013	1013	6–20	—



Není jisté vyloučeno, že na vytvoření husté atmosféry a jejím zvrstvení se podílejí ještě další faktory — např. magnetické pole (které je na Zemi asi 100× silnější než na Marsu), dále elektrické jevy, ionisace aj. Je možné, že i postavení planety ve Sluneční soustavě a její oběžná dráha jsou důležité pro vznik a udržení plynného obalu.

Z uvedeného celkově vyplývá, že podmínky pro udržení atmosféry jsou sice příhodné na Zemi, ale ne už na Marsu a Měsíci. Jakékoli úvahy o tom, že na těchto planetách voda kdysi byla a později zmizela, nepřihlížejí vůbec k základním podmínkám, nezbytným k existenci vody a vodního oběhu. Hustota hornin Marsu a Měsíce a na ní závislá gravitace aj. nasvědčují, že žádná z těchto planet vodu na svém povrchu nikdy udržet nemohla.

Teoreticky sice možným, ale prakticky nikdy nedokazatelným by mohlo být vysvětlení existence říčních údolí na povrchu Země, Marsu a Měsíce i jejich vzniku erozním způsobem, jestliže přijmeme výklad o společném původu těchto planet. Podle Lyttletona (1969) vznikla Země, Mars i Měsíc z jediné mateřské planety (obr. 6). Je-li tento předpoklad správný, pak tato původní velká planeta mohla mít i svůj vodní a vzdušný obal, který při její pozdější deformaci a rozpadu zůstal soustředěn kolem Země v důsledku její největší hustoty, gravitace aj. Měsíc se svou nepatrnou gravitací nemá vlastně atmosféru žádnou a řídká atmosféra Marsu mohla vzniknout až dodatečně — unikáním CO<sub>2</sub> při sopečné činnosti.



6. Společný vznik Země, Marsu a Měsíce z původní jediné planety (Lyttleton 1969). Po jejím rozpadu zůstal menší Měsíc v oblasti zemské gravitace, zatímco větší Mars začal samostatně obíhat kolem Slunce.

Podle této představy by se mohlo předpokládat, že na povrchu Marsu a Měsíce budou nalezeny také sedimentární horniny — zřejmě ještě pozůstatek z období, kdy obě tyto planety tvořily spolu se Zemí planetu jedinou se společným vodním a vzdušným obalem. Nelze však věřit, že by se z této doby mohly zachovat i neporušená stará údolí, kterými snad kdysi protékaly řeky. Jejich stáří by muselo být aspoň 1 miliardu let a možná mnohem více — a v té době asi vyřadil povrch planety i její vodní a plynný obal poněkud jinak.

Otázka vody a vodního oběhu, které jsou podle erozních představ podmínkou pro vznik říčních údolí na Měsíci a na Marsu, je tedy stručně probrána. Je také jasné, že údolí objevená na Marsu a Měsíci mohou být erozního původu — i když se říčním údolím i v podrobnostech podobají.



Pro zastánce erozních výkladů zřejmě nyní nastává doba, kdy výzkum přináší údaje, o nichž se dosud nevědělo a s nimiž se pochopitelně při tvorbě hypotéz nemohlo počítat. Teprve nedávno bylo např. zjištěno, že zemětřesení začínají na Zemi i na Měsíci přibližně ve stejné době (fk, 1972). Kromě toho se celkem náhodně ukázalo i to, že na Zemi se slabší seismické otřesy soustřeďují hlavně do areálů říčních údolí (Leblanc aj., 1973). Faktor, který otřesy vyvolává, působí zřejmě na obě planety současně a nemůže být proto pouze měsíčního nebo jen zemského původu. Objevení této síly, působící pravděpodobně na všechny planety, nelze asi očekávat jen jako výsledek studia velkých zemětřesení či průběhu zlomových linií, podobně jako správné vysvětlení vzniku údolí na Marsu a Měsíci není možné jen z hlediska dnešních erozních představ.

#### Literatura

- CRUISEHANK D. P., WOOD C. A. (1972): Lunar rilles and Hawaiian volcanic features: possible analogues. — *Moon*, 3:4:412—447.
- ČARUŠIN G. V., KÄTTERFELD G. N. (1973): Glubinnnye razlomy Zemli i Marsa. — *Planetarnaja treščinovanost*, 37—56, Izd. Leningr. Univ.
- GILVÄRRY J. J. (1969): Geometric and physical scaling of river dimensions on the Earth and Moon. — *Nature* 221:5180:533—537.
- LEBLANC G., STEVENS A. E., WETMILLER R. J., DU BERGER R. (1973): A microearthquake survey of the St. Lawrence Valley near La Malbaie, Quebec. — *Can. J. Earth Sci.*, 10:1:42—53.
- LOYDA L. (1972): Ústup erozních představ. — *Sborník Čs. spol. zem.* 77:243—249. Praha
- LYTTLETON R. A. (1969): The origin of the Moon. — *Sci. J.*, 5:5:53—58.
- MARTYNOV D. J. (1970): Planety. Rešennye i nerešennye problemy. — Moskva, Nauka, 88 p.
- MILTON D. J., SHARP R. P., WILHELMS D. E. (1972): Preliminary Mariner 9 report on the geology of Mars. — *Icarus* 17:2:289—327.
- UIPL F. (1967): Zemlja, Luna i planety. — Moskva, Nauka, 252 p. Angl. orig.: Whipple F. L.: *Earth, Moon and Planets*. — Cambridge, Mass. 1963.
- WEAVER K. F., PEŠEK L. (1973): Mariner 9 journey to Mars. — *Nat. Geogr.*, 143:2: 231—263.
- fk (1972): Měsíc jako sedmý kontinent. — *Věda a život* 00:00—00, Brno.
- Der Mars. — *Die Naturwissenschaften* 59:9:394—395, München 1972.

#### DIE „FLUSSTÄLER“ AUF DEM MOND UND AUF DEM MARS

Die mäandrierenden Täler, die auf dem Mond und in der letzten Zeit auch auf dem Mars (Abb. 2—4) entdeckt wurden, liessen die Frage auftauchen, wie sie entstanden sind. Bisher wird allgemeinen angenommen, dass diese Täler durch erosive Tätigkeit des fließenden Wassers entstanden sind, dessen Existenz auf beiden Himmelskörpern allerdings nur vorausgesetzt werden konnte. Die entdeckten Täler werden nicht als tektonische Täler betrachtet, weil bisher kein Netz von Brüchen, das einem Flusssystem ähnlich wäre, entdeckt wurde. Die Möglichkeit des vulkanischen Ursprungs wird jedoch zugegeben, und zwar auf Grund der Ähnlichkeit ihres Grundrisses mit den Lavaströmen. Gegen diese letzte Deutung wäre jedoch einzuwenden, dass die Lavaströme nur wenige km Länge erreichen, während die Täler auf dem Mars und auf dem Mond Hunderte und Tausende von km lang sind.

Die Entstehung von erosiven Tälern auf den beiden genannten Himmelskörpern ist selbstverständlich von der Existenz des Wassers abhängig. Heute gibt es auf der Oberfläche des Mars und des Mondes kein Wasser, es wird jedoch vorausgesetzt, dass einst dort Wasser vorhanden war — die Existenz der Täler wäre ein überzeugender Beweis dafür.

Gegen diese auch weiterhin allgemein geltende Meinung ist im Prinzip Folgendes anzuführen:

1. Zur Bildung der Flusstäler ist nicht nur die Existenz des Wassers notwendig, aber es müssen dort auch Bedingungen für den Wasserkreislauf, d. h. Wasserfläche, Ausdünstung, Wolkenbildung und Niederschläge, vorhanden sein.



2. Für die Bildung des Wasserkreislaufes sind weitere Bedingungen nötig — nämlich eine dichte und geschichtete Atmosphäre und ausreichende Gravitation, durch die die erwähnte Gashülle auf dem Planeten festgehalten werden könnte.

Man kann zwar, dass es auf dem Mars und auf dem Mond einst sowohl Wasser, als auch Wasserkreislauf gegeben hatte, da eben seither dort die „Flusstäler“ blieben, aber man wird nie beweisen können, dass diese Planeten im Vergleich mit dem gegenwärtigen Stand viel grössere Dichte der Gesteine hatten und somit auch Gravitation und eine dichte Lufthülle, Wasser und Wasserkreislauf. Tab. 1 zeigt die unterschiedliche Zusammensetzung der Atmosphäre bei den einzelnen Planeten, Tab. 2 bringt dann die grundlegenden Angaben über die Erde, den Mars und den Mond (1 — die mittlere Entfernung von der Sonne (in Mio km), 2 — die durchschnittliche orbitale Geschwindigkeit (in km/sec), 3 — der mittlere Durchmesser (in km), 4 — Oberfläche (in Mio km<sup>2</sup>), 5 — Umfang (in Mil. km<sup>3</sup>), 6 — Gewicht (in Tril. Tonnen), 7 — Dichte (in g/cm<sup>3</sup>), 8 — Gravitation nische und die erosive Entstehung dieser Täler ausschliessen, kann es keine andere als die tektonische Deutung geben.

#### Verzeichnis der Abbildungen:

1. Die bedeutendsten linearen Strukturen (Brüche) auf dem Mars (A) und auf der Erde (B) — Čarušin, Katterfeld 1973).
2. Fotoaufnahme einer Fläche von 42×48 km auf dem Mars mit Rinnen (Furchen), die offensichtlich tektonisch entstanden sind.
3. Ein Tal auf dem Mars, etwa 400 km lang und 5–6 km breit. Es existiert bisher keine andere als erosive Deutung seiner Entstehung (Mariner 9, 1972).
4. Das Tal Grand Canyon in dem Gebiete des Tithonius Lacus auf dem Mars. Das Tal ist 120 km breit, die Entstehung der Seitenrinnen wird ebenfalls durch die Flusserosion gedeutet (Mariner-9, 1972).
5. Schneekäppchen auf den Polen des Mars, gebildet durch das versteifte CO<sub>2</sub>.
6. Gemeinsame Entstehung der Erde, des Mars und des Mondes aus ursprünglich einem einzigen Planeten (Lyttleton 1969). Nach dessen Zerfall verblieb der kleinere Mond in der Gravitationsphäre der Erde, während der grössere Mars selbständig um die Sonne umzukreisen begann.