

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Marcel Grün

Předběžné výsledky analýzy měsíčních vzorků z Apolla 11

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 15 (1970), No. 2, 85--88

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138235>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1970

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Předběžné výsledky analýzy měsíčních vzorků z Apolla 11

MARCEL GRÜN, Praha

První zprávy, které podrobně seznamují s předběžnými výsledky fyzikální, chemické, mineralogické a biologické analýzy měsíčních vzorků přivezených výpravou Apollo 11 byly uveřejněny v [1, 2, 4—7, 12]. Předběžnou analýzu provedl tým 54 odborníků přímo v Lunar Receiving Laboratory v Houstonu. Až do konference o výsledcích analýz v Houstonu 5. až 9. ledna 1970 nesměly být publikovány žádné dílčí výsledky podrobného rozboru. Souhrn ze 144 přednesených referátů je v [17].

Z celkového množství vzorků bylo asi 5% určeno pro předběžné biologické zkoušky v karanténě, 40% pro předběžný výzkum v Houstonu a v různých laboratořích, 10% pro dlouhodobé experimenty v Houstonu a 45% pro pozdější podrobnou analýzu. Celkem bylo v posledních dvou letech stanoveno asi 150 základních vědeckých úkolů (viz [10, 11]), jejichž řešení se zúčastňuje v USA 21 univerzitních týmů, 3 soukromé instituce, 2 průmyslové podniky a 10 státních laboratoří a dále skupiny ve Velké Británii, NSR, Kanadě, Japonsku, Finsku a Švýcarsku. Několik vzorků bylo určeno pro veřejné vystavování v různých státech, mj. 1. 3. — 15. 3. 1970 též v Astronomickém ústavu ČSAV v Ondřejově.

Měsíční sekce Apollo 11 přistála v JZ části Mare Tranquillitatis (0,67° S, 23,49° V), asi 20 km od kráteru Sabine D. Touto částí krajiny prochází několik světlých paprsků kráterů Theophilus, Alfraganus, Tycho aj., avšak místo přistání leží mezi nimi, asi 15 km od největšího paprsku, kde vrstvu měsíčního regolitu tvoří úlomky a drť o velikosti od zlomku milimetru do 0,8 m. Krajina je pokryta krátery od 10^{-2} do 10^1 m; asi 60 m východně leží kráter 4 m hluboký o průměru 33 m, který Armstrong na konci své vycházky podrobněji popsal. Z hloubky kráterů lze usoudit, že tloušťka vrstvy regolitu je 3—6 m.

Autentické dojmy kosmonautů jsou uveřejněny souhrnně např. v [3]. Několikacentimetrová vrstva je popisována jako hnědý až středně šedý lehce soudržený granulovaný materiál a je relativně měkká do 15—20 cm. Mechanické vlastnosti odpovídají výsledkům pozorování sond Surveyor [9]. Průměrná hustota 3,1 je o málo vyšší než u pozemských materiálů.

Na Měsíci byly sebrány tři kolekce vzorků:

1. Nouzový vzorek (1 kg) sebral Armstrong asi 20 minut po výstupu na měsíční povrch, přibližně 1,5 m od přistávací nohy kabiny.
2. Hromadný vzorek obsahuje 14,6 kg hornin, z toho 4,2 kg jsou kameny nad 1 cm a pochází ze vzdálenosti asi 10—15 m od kabiny.
3. Dokumentované vzorky představují asi 20 a 13,5 cm, které Armstrong koncem vycházky ofotografoval a sebral a obsah dvou trubic, které naplnil Aldrin materiálem z hloubky 10 cm různě velkých kamenů (6 kg).

Petrologie a mineralogie

Přivezené materiály jsou dvojího genetického druhu a lze je rozdělit do čtyř skupin: A — jemně zrnité krystalické kameny, B — středně zrnité krystalické kameny mikrogabroidní struktury, C — brekie, D — jemný materiál.

Předběžně se zkoumalo 20 krystalických kamenů (A, B), většinou přes 50 g, největší 919 g. Jde o materiály, které prošly teplotou asi 10^3 °K a poté velmi pozvolna chladly (řádově 10^5 let). Podle některých domněnek vznikly nehluboko pod povrchem jako lávové proudy, později rozbité při impaktní činnosti; podle Ureya a Kopala mohlo dojít ke vzniku ještě před vytvořením měsíčního tělesa [12].

A — tmavě šedé kameny o hustotě 3,4 se zrna sférickými i oválnými; 15% jejich objemu tvoří vakuové dutiny. Předběžná analýza vzorku typu A zjistila 53% jednoklonného pyroxenu (křemičitany s příměsí Ca, Fe, Mg), 27% plagioklasu (3-klonný sodnovápenatý živec), 18% opakního materiálu (ilmenit — nerost Fe Ti O₃ s příměsí Mg, Mn; snad troilit — nerost FeS a železo), 2% translucenčních materiálů a stopy olivínu (hlavní součást kamenných meteoritů). Zrna olivínu jsou 0,5 mm dlouhá, ostatní materiál má velikost 0,05–0,2 mm. S výjimkou opakních materiálů jsou kameny A podobné pozemským čedičům. Devět dalších zkoumaných kamenů se liší od uvedeného vzorku hlavně variacemi obsahu olivínu (0–10%).

B — tmavě šedohnědý kámen o hustotě 3,2 se zrnitou strukturou připomínající mikrogabroidní strukturu některých pozemských čedičů. Zrna jsou poněkud hrubší (0,2–3 mm). Předběžná analýza zjistila: 46% jednoklonného pyroxenu, 31% plagioklasu, 11% opakního materiálu (ilmenit), 5% cristobalitu (nerost SiO₂ ve vulkanických horninách a meteorických železech) a 7% ostatních materiálů. Olivín zde zastoupen není, byly však zjištěny dvě neidentifikované fáze (žlutá a nebarevná).

U všech krystalických kamenů chybí jakékoliv stopy po hydrátech ($1 : 10^5$).

C — Brekie jsou hrubozrné klastické aglomeráty různých materiálů. Jejich základní hmota je šedá se skvrnami bílými, světle šedými a hnědošedými. Většina je jemnozrná s úlomky zpravidla pod 0,5 cm. Pouze několik vzorků je zaobleno. Zajímavým útvarem jsou ostrohranné úlomky a sklovité kuličky nejrůznějších barev, charakteristické také pro jemný povrchový materiál.

D — jemný sypký materiál, obsahující především částečky 0,03–1 mm: úlomky klinopyroxenu, ilmenitu, cristobalitu a olivínu (10–15%), úlomky brekcií (25%), sklo a kuličky Ni-Fe. Barva základní hmoty je středně až tmavě šedá s odstínem hnědé. Sklo tvořící 50% — 70% jemné hmoty je trojího druhu: a) vláknovité, váčkovité a kuličkovité úlomky tmavě šedé barvy; b) hranaté úlomky s indexem lomu 1,5 (bezbarvé, hnědé, žluté, oranžové); c) sféroidní, elipsoidické, prstencové a slzovité částice barvy vínově rudé, hnědé, zelené nebo žluté s indexem lomu 1,6 až 1,8. Sypký povrch obsahuje 2% meteorických úlomků (žádný kamenný achondrit). Nezvyklé světlé kameny, tvořené převážně vápenatým živcem, jsou pravděpodobně anorthrosity pocházející z vysočin.

Nebyly zjištěny žádné změny velikosti částic s hloubkou pod povrchem, jen jeden odebraný vzorek ukazuje světlou vrstvu 2–5 mm silnou asi 6 cm pod povrchem. Hustota dvou hloubkových vzorků je 1,66 a 1,54.

Přítomnost skupiny železo-troilit-ilmenit bez hydrátů nasvědčuje tomu, že krystalické kameny se formovaly pod extrémně nízkým parciálním tlakem kyslíku, vodních par a síry.

Řada kamenných vzorků je zaoblená, avšak způsob eroze na Měsíci je zcela odlišný než na Zemi. Podle stupně erodovanosti lze určit dodatečně umístění kamene na Měsíci. Nebyla zjištěna žádná eroze vodou. Na vzorcích je vidět četná impaktní činnost — změny po dopadech částic.

Zajímavým útvarem na povrchu jsou malé jamky se sklovitým povlakem, způsobené pravděpodobně mikroexplosemi. Na jejich morfologickou podobnost s impaktními krátery větších rozměrů upozorňuje Sadil [13]. V brekcích jsou některé jamky větších rozměrů než u krystalických kamenů.

Ve vzorcích z Apolla 11 bylo nalezeno několik nových modifikací známých minerálů (např. spinelů) a dále dva zcela nové minerály: pseudo-brookit ($\text{MgFeTi}_4\text{O}_{10}$), jehož základem je ilmenit a dále metamorfovaný křemen s pyroxmangitovou strukturou. Železo bylo nalezeno pouze v metalickém stavu.

Výsledky chemické analýzy 23 vzorků pomocí Jarell-Ash-Ebertova spektrometru s disperzí 5 Å/mm jsou shrnuty v tabulce, uveřejněné v [1, 14]. Všechny vzorky jsou si chemickým složením vzájemně podobné a obsahují stejné prvky jako terestrické vulkanické materiály a meteority. Největší podíl vedle kyslíku přísluší Si (16,8–21%), Fe (12,1–16%), Ca (6,4–8,6%), Ti (4,2 až 7,5%), Al (4,1–6,9%), Mg (3,9–6,0%), Na (0,15–0,48%), K (0,05–0,18%). Dále byly zjištěny stopy Cr, Mn, S (řádově $10^{-1}\%$). Dále byly stanoveny obsahy ostatních prvků na základě detekčních limitů:

10^{-2} – $10^{-1}\%$: C, N, P, Cl, Sr, Y, Zr, Ba

10^{-3} – $10^{-2}\%$: F, Sc, V, Co, Ni, Zn, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf

10^{-4} – $10^{-3}\%$: Li, Be, B, Cu, Ga, Ge, Rb, Eu, Tb, Ho, Tm, Lu, Ta, Pb, Th

10^{-5} – $10^{-4}\%$: Cd, Sn, I, W, Os, U, Se, Br, Mo, Cs

méně než $10^{-5}\%$: As, Pd, Ag, In, Sb, Re, Ir, Au, Hg, Bi

Ve srovnání s pozemskými horninami či meteority byl zjištěn vysoký obsah Ti, Zr, Y. Oproti chondritům mají méně Fe, Mg, Ni, Co, ale více Ca, Al, Zr, Sr, Ba, Y, Yb. K a Rb jsou zastoupeny asi stejně; těžké prvky jako Pb, Bi, Tl nebyly nalezeny, podobně jako prvky platinové skupiny.

Metodami isotopické analýzy byly zjištěny inertní plyny He, Ar, Ne, Kr, Xe jak uvnitř brekcí, tak v jemných povrchových materiálech. Složení nasvědčuje původu ze slunečního větru, což nasvědčuje formování materiálu na povrchu Měsíce až po působení korpuskulárního slunečního záření. Měření poměru isotopů ^{40}K : ^{40}Ar u přivezených hornin odpovídá stáří $3 \pm 0,7 \cdot 10^9$ let (od poslední termické metamorfózy), tedy větší než pro pozemské horniny. Dalšími čtyřmi metodami (poměry ^{87}Rb : ^{87}Sr , ^{235}U : ^{207}Pb , ^{238}U : ^{206}Pb , ^{232}Th : ^{208}Pb) byla tato hodnota zpřesněna na 3,6–3,8 · 10^9 let. Z měření poměru ^{18}O : ^{16}O byla odhadnuta teplota krystalisace (nebo rekrystalisace) na 1400–1500 °K, což odpovídá pozemským basaltům. Přítomnost nuklidů vznikajících účinkem kosmického záření ukazuje, že kameny byly po dobu 20–600 milionů let v hloubce méně než 1 m pod povrchem.

Nedestruktivní gamma-spektrometrií byl zkoumán obsah radioisotopů s velmi krátkým poločasem rozpadu. Bylo identifikováno 12 radioaktivních isotopů s nejkratším poločasem rozpadu 5,7 dní (^{52}Mn) a 16,1 dní (^{48}V). Koncentrace U a Th je podobná jako u pozemských čedičů; vysoký obsah ^{26}Al potvrzuje dlouhodobé působení kosmického záření.

Magnetická měření ukázala, že u krystalických vyvřelin je jen velmi vzácná remanentní magnetisace (10^{-4} elektromagnetických jednotek/gram). Pro brekcie byly zjištěné hodnoty v průměru o řád vyšší a u sypkého materiálu dosahuje až $4 \cdot 10^{-2}$ elektromagnetických jednotek/gram.

Organická analýza nezjistila žádné uhlohydráty v přivezených vzorcích a poměr organických stop je nejvýše 1 : 10^6 . Nebyly zjištěny žádné stopy života současného, minulého ani fosilního. Rozemleté horniny a prach byly vstříkovány biologickým objektům bez zjevného účinku. Projevil se však pozitivní účinek na růst rostlin. O podrobném výzkumu biochemickém a biofyzikálním pojednává např. [10] výsledky studia vlivu měsíčního materiálu na rostliny jsou shrnuty v [18].

Literatura

- [1] Kolektiv: Preliminary Examination of Lunar Samples from Apollo 11, *Science* 165 (1969), 1211.
- [2] STUBBS P.: *New Scientist* 43 (1969), 631.
- [3] Kolektiv SPACE: *Letectví a kosmonautika* 45 (1969), 860 a 902.
- [4] *Nature* 223 (1969), 1197.
- [5] *Nature* 223 (1969), 1305.
- [6] WATTS R. J.: *Sky and Telescope* 38 (1969), 312.
- [7] WATTS R. J.: *Sky and Telescope* 38 (1969), 149.
- [8] MINNAERT M. G. J.: *Scientific World* 13 (1969), 5, 3.
- [9] TURKEVICH A. L. et al.: *Science* 158 (1967), 635; 160 (1968), 1108; 162 (1968), 117.
- [10] DRAFFAN G. H. et al.: *Chemistry in Britain* 5 (1969), 296.
- [11] MC LANE J. C.: *Astronautics & Aeronautics* 5 (1967), 34.
- [12] KOPAL Z.: Přednáška ČAS a Planetária, Praha 29. 12. 1969.
- [13] SADIL J.: *Kosmické rozhledy* 7 (1969), 127.
- [14] VÍTEK A.: *Letectví a kosmonautika* 46 (1970), 24.
- [15] SADIL J.: *Říše hvězd* 51 (1970), 25.
- [16] BOUŠKA V.: *Vesmír* 49 (1970), 1, 18.
- [17] *Nature* 225 (1970), 321.
- [18] MAHLBERG P. G.: Study of Effects of Lunar Materials on Botanical Systems, NASA CR-101912, 30. 9. 1969.

Přímá měření gravitace na měsíčním povrchu

Jedním z prvních až dosud uveřejněných výsledků z měsíční expedice Apolla 11 je přímé měření gravitace na povrchu naší přirozené družice. Měření gravitace bylo do programu letu zařazeno ze tří důvodů: Pokud by se totiž změněné pole v bodě přistání lišilo podstatně od teoretické hodnoty, která byla určena nepřímo, ukazovalo by to existenci anomálie, kterou by bylo třeba dále zkoumat. V případě malých odchylek je možno usuzovat na celkovou strukturu měsíčního tělesa a z přímých měření je možno odvodit průměr Měsíce a tuto hodnotu lze porovnat s hodnotami určenými jinými metodami.

Použitý přístroj je integrační akcelerometr, který byl umístěn v měsíční sekci. Akcelerometru se používá během celého letu v navigačním systému lodi. Byl kalibrován na Zemi před letem a v beztlíživém stavu byl znovu určen nulový bod stupnice.

Tíhové zrychlení na povrchu bylo určeno ze šestnácti měření v době, kdy byl LM na Měsíci. Průměr z těchto šestnácti měření dává 162.821,680 mgal se střední pravděpodobnou chybou 13,098 mgal. Takto zjištěné zrychlení na povrchu Měsíce velmi dobře souhlasí s hodnotami získanými dříve. Z výsledků cirkumlunárního letu Apolla 10 byl určen poloměr Měsíce v místě přistání Apolla 11, poměr hmoty Země a Měsíce byl přesně určen při letu sondy Mariner 2. Hmoty Země byla určena z pohybu umělých družic. Zrychlení určené z těchto výchozích parametrů vychází 162.762,914 mgal, což se od výsledků z akcelerometru PIPA v měsíční sekci Apolla 11 liší jen velmi málo. Autor pokusu DR. RICHARD NANCE z Mapping Science Laboratory NASA proto použil nově zjištěné hodnoty tíže k určení poloměru Měsíce v místě přistání. Hodnota 1 735.262,12 metrů velmi dobře souhlasí s výsledky družic Měsíce Lunar Orbiter i předchozích letů v projektu Apolla.

NANCE R. L.: Gravity: 1. Measurement on the Lunar Surface, *Science* 166 (1969), 384.

Pavel Koubský