

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

N. A. Kozyrev

Vulkanická činnost na Měsíci

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 4 (1959), No. 6, 704--708

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138379>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1959

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>

velmi mnoho prachu a velmi málo plynu. Tento meziplanetární prach je druzhotného původu a nepřímo svědčí o existenci těles typu asteroidů nebo komet, z nichž vznikl. Difusní mlhoviny se spojitým spektrem kolem některých hvězd mohou tedy také nepřímo ukázovat na existenci analogických těles v kosmickém prostoru.

Přeložil Jaroslav Ruprecht

VULKANICKÁ ČINNOST NA MĚSÍCI¹⁾

N. A. KOZYREV, doktor fys.-mat. věd,

Hlavní astron. observatoř AV SSSR (Pulkovo)

Morfologie měsíčního povrchu dokazuje zcela přesvědčivě, že relief Měsíce se vyvíjel postupně, v důsledku opakovaných zdvihů a poklesů měsíční kůry. Důkazem poklesu částí měsíčního povrchu, provázeného vznikem trhlin a rozlitém žhavé hmoty, jsou nakloněné a „zpola zaplavené“ krátery na okrajích měsíčních moří. Příkladem zdvihu měsíční kůry, provázeného značnou expansí, je pozoruhodné údolí v Měsíčních Alpách, široké 10–15 km a dlouhé přes 100 km, jehož svislé okraje jsou podobného tvaru. S podobnými tektonickými procesy byla nepochybně spojena i vulkanická činnost.

Představme si, jak z měsíčního nitra vystupují na povrch proudy žhavé hmoty. Protože chybí atmosféra, plyny adsorbované v lávě z ní bouřlivě unikají a vzniká tak porézní struktura. V důsledku toho musí být horniny, z nichž jsou složeny povrchové vrstvy Měsíce, neobyčejně porézní, s téměř nulovým koeficientem tepelné vodivosti. Takto se dá pravděpodobně vysvětlit, že koeficient tepelné vodivosti měsíčního povrchu je stokrát až tisíckrát menší ve srovnání se zemským povrchem. Docházelo-li k vylévání žhavé hmoty, tj. magmatu, v různých částech měsíčního povrchu v různých epochách, nemohly unikající plyny vytvořit u Měsíce pozorovatelnou atmosféru. Neustálým bombardováním měsíčního povrchu slunečními korpuskulami, tvrdým slunečním zářením a mikrometeority nabývají totiž částice atmosféry rychlosti převyšující rychlost parabolickou (kolem 2,4 km/s,²⁾ to znamená, že unikají a nemohou se kolem Měsíce shromažďovat. V případě, že nebeské těleso již má dostatečně mocnou atmosféru, je to něco jiného. Pronikání částic se pak podobá hlubinné explozi, při níž je energie předávána velkým hmotám, takže jednotlivé částice plynu nabývají jen malých rychlostí, při nichž nemůže nastat disipace atmosféry. Neměl-li tedy Měsíc dostatečnou atmosférou hned na počátku, nemohl si ji tímto způsobem postupně vytvořit.

Příčina tektonických procesů a vnitřní energie u kosmických těles je dosud neznámá. Je však v každém případě jasné, že velké těleso má při stejných koeficientech tepelné vodivosti více možností zachovat si a shromažďovat vnitřní energii než těleso malých rozměrů. Tyto úvahy zdánlivě svědčí proti tomu, že by se u Měsíce mohla zachovat možnost tektonických procesů až do současné doby. Avšak vezmeme-li v úvahu neobyčejně malou tepelnou vodivost měsíčního povrchu, dojdeme k závěru, že Měsíc může shromažďovat a uchovávat si vnitřní energii ještě lépe než naše Země. Proto na Měsíci mohou horotvorné pochody probíhat i nyní, a dokonce i intenzivněji nežli na Zemi. Docházíme k zajímavému a poněkud paradoxnímu závěru: nepřítomnost atmosféry, která vede k pórovité struktuře povrchu a tím silně snižuje výměnu tepla, působí příznivě na hromadění vnitřní energie a na rozvoj horotvorných procesů.

¹⁾ Н. А. Козырев, Доктор физико-математических наук, Главная астрономическая обсерватория АН СССР (Пулкovo), *Вулканическая деятельность на Луне*, Природа, 1959, č. 3.

²⁾ Velikost kosmických rychlostí závisí na hmotě mateřského nebeského tělesa. U zemského povrchu je parabolická rychlost (tj. rychlost nutná k tomu, aby se těleso vymanilo ze zemského gravitačního pole) 11,2 km/s. Pozn. překl.

Během posledních dvou století byla velmi podrobně zkoumána topografie Měsíce. Přesto však až do nedávna se nepodařilo uvést ani jeden věrohodný příklad změny v měsíčním reliefu. To nijak neodporuje závěrům o možnosti intenzivní tektonické činnosti na Měsíc i v současné době. Nehledíme-li totiž na procesy související s činností vody, vzduchu a života na Zemi, bylo by naopak i z Měsíce velmi obtížné přesvědčit se o existenci horotvorných pochodů na Zemi.

Četní pozorovatelé však již odedávna poukazovali na možnost změn u měsíčních kráterů. Mezi těmito pozorováními jsou zvláště zajímavá ta, kde se mluví o objevení dýmu, zastírajícího detaily dna kráteru. Tato pozorování byla bohužel pouze vizuální a nebyla dostatečně přesvědčivá, protože viditelnost detailů na povrchu Měsíce závisí velmi podstatně na tom, jak jsou osvětleny Sluncem, a může záviset i na kvalitě zobrazení, tj. na stavu zemské atmosféry.

Skutečně seriosní a podložené pozorování kouřové clony, halící část měsíčního povrchu, se podařilo poprvé astronomu D. Alterovi v říjnu 1956 šedesátipalcovým reflektorem na observatoři Mount Wilson v Kalifornii. Dělal sérii snímků kráterů Ptolemaius, Alphonsus a Arzahel v modrém a infračerveném světle. Vlivem rozptylu světla v zemské atmosféře byly všechny snímky v modrém světle mnohem méně kontrastní než v infračerveném. Avšak zejména detaily dna kráteru Alphonsus byly zcela setřeny. Při rozboru fotografií uveřejněných Alterem došel autor tohoto článku k závěru, že si tento úkaz zaslouží pozornosti a že na dně kráteru Alphonsus může probíhat uvolňování plynů.

Skupina tří uvedených kráterů, z nichž prostřední je Alphonsus, leží na měsíčním poledníku téměř ve středu měsíčního disku. Skupina kráterů vznikla již velmi dávno, ale tato část měsíčního povrchu je zajímavá, tím, že zde prochází řada zlomů poledního směru, které se objevily až po vytvoření kráterů. Zajímavý je zejména zlom, který prochází diametrálně kráterem Alphonsus, a trhliny a temné skvrny na dně tohoto kráteru. Kráter Alphonsus má průměr cca 120 km. Je velmi strmý a jeho centrální vrchol dosahuje výšky kolem 1400 m nad úroveň dna. Na sever od něho ležící kráter Ptolemaius je typickým příkladem velkého cirkru, v němž není centrální vrchol. Stavba dna a stěn kráterů uvedené skupiny potvrzuje vysokou tektonickou aktivitu této části měsíčního povrchu.

Nyní se budeme zabývat otázkou, jak může vzniknout úkaz zastření podrobností ve stavbě povrchu při uvolňování plynů. Nelze jej pochopitelně vysvětlit rozptylem světla v uvolňovaných plynech. K tomu by byl zapotřebí sloup plynu řádově stejný jako v zemské atmosféře, tj. 10^{25} molekul nad 1 cm^2 povrchu. Mohou-li však plyny fluoreskovat vlivem tvrdého slunečního záření, pak k vytvoření plynného závoje stačí sloup plynu, schopný pohltit veškeré tvrdé záření Slunce. Koeficient absorpce tvrdého, tj. korpuskulárního, Röntgenova a krajního ultrafialového záření, musí být velmi vysoký. Lze proto předpokládat, že už sloupec plynu řádově 10^{15} molekul, tj. asi 10^{-10} zemské atmosféry, může vyvolat pozorovatelnou fluorescenci. Vznik takové lokální atmosféry při uvolňování plynů v některém z měsíčních kráterů je zcela dobře možný. Zůstává pouze otázka, je-li tvrdé sluneční záření dostatečně intenzivní, aby vyvolalo fluorescenční záření ve viditelné části spektra, pozorovatelné na pozadí normálního slunečního spektra, odraženého Měsícem. Je třeba upozornit i na to, že fluoreskovat mohou nejen plyny, ale i minerály na povrchu Měsíce.

V r. 1955 autor tohoto článku srovnával Fraunhoferovy čáry v přímém slunečním spektru a spektru odraženém Měsícem a dostal tak spektrální metodou přímý důkaz o existenci fluorescence v oblasti kráteru Aristarchos, jejíž intenzita dosahovala ve fialové části spektra asi 15% normálního světla odraženého Měsícem. Tím bylo dokázáno, že je možno pokusit se potvrdit uvolňování plynů na dně měsíčních kráterů spektrální metodou na základě jejich fluorescence.

V říjnu a listopadu 1958 autor společně s pracovníkem charkovské astronomické observatoře V. I. Jezerským prováděl spektrální výzkum Marsu padesátipalcovým reflektorem na Krymské observatoři Akademie věd SSSR. Zároveň s tím se rozhodl systematicky shromažďovat fotometricky standardisované spektrogramy některých částí Měsíce, zejména kráteru Alphonsus, aby bylo možno dokázat existenci vystupujících plynů.

Při pozorování byla štěrbinová spektrografu nastavena vždy ve směru rektascense. Lineární disperse činila na snímcích 23 Å na 1 mm poblíž H_{γ} , přičemž měřítko detailů bylo asi 10" na 1 mm. Normální doba expozice na deskách Kodak 103 AF byla 10–30 min.

Až do noci z 2. na 3. listopadu nebylo pozorováno na spektrogramech kráteru Alphonsus nic zvláštního. 3. listopadu ráno byly získány tři spektrogramy kráteru Alphonsus, při čemž štěrbinová spektrografu procházela diametrálně tímto kráterem a protínala jeho centrální vrchol. Při snímání prvního spektrogramu (ve 4 hod. moskevského času) byl autor překvapen tím, že centrální vrchol byl silně zamílen a měl neobvyklý načervenalý odstín. Protože dále podle programu byl spektrograficky pozorován Mars, byl další spektrogram kráteru Alphonsus zhotoven až po delší přestávce, mezi 6^h00^{min} a 6^h30^{min}. Jakmile se ústřední vrchol kráteru objevil ve štěrbině spektrografu, byla ihned nápadná jeho neobyčejná jasnost a bílé zbarvení. Autor po dobu expozice neustále kráter sledoval visuálně a náhle zpozoroval, že vrchol nabývá opět své obvyklé ostrosti. Expozice byla ihned přerušena a začala další, od 6^h30^{min} do 6^h40^{min}, při téže poloze štěrbin. Autor nepřikládal svým visuálním dojmům valného významu a domníval se, že všechny neobvyklé změny souvisí se změnou kvality zobrazení. Bylo proto velmi překvapující, že po vyvolání spektrogramů se ukázalo, že všechny změny pozorované pouhým okem jsou zcela reálné a že skutečně probíhaly v ústředním vrcholu kráteru Alphonsus.

Na prvním spektrogramu je ústřední vrchol pozorovatelně slabší ve fialových paprscích proti ostatním detailům kráteru, což se na obvyklých spektrogramech nepozoruje. Proměřením snímku se zjistilo, že se absorpce měnila s λ^{-1} a celková vypočtená absorpce činila 15–20% ve viditelné části spektra.

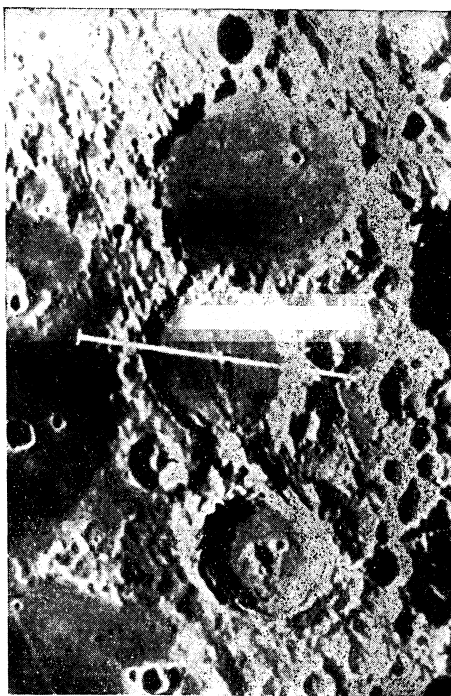
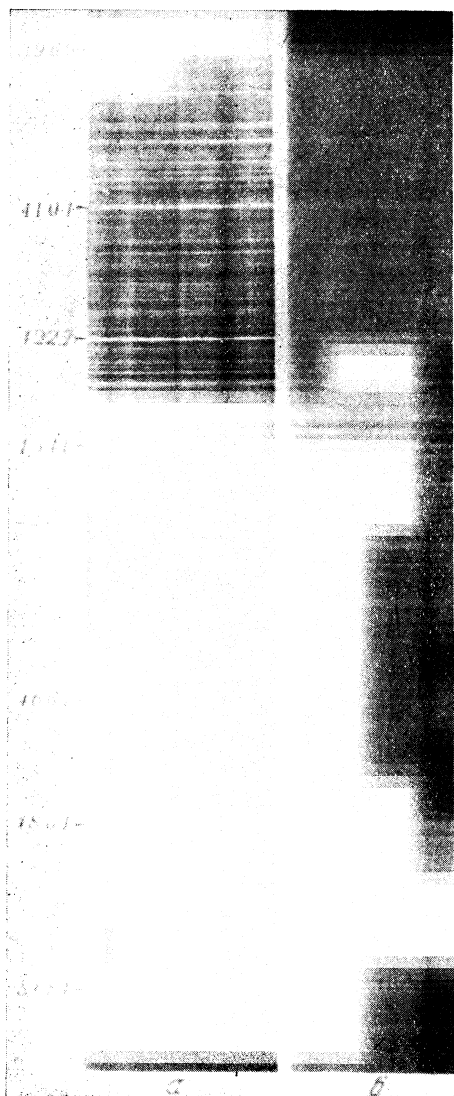
Na druhém spektrogramu tuto absorpci nepozorujeme, je tu však nápadné emisní plynové spektrum, sestávající z řady širokých pásů, které se překládají přes obvyklé spektrum ústředního vrcholu.

Na třetím spektrogramu je opět normální stav kráteru. K uvolňování plynů docházelo tedy maximálně 2^h30^{min} a minimálně 0^h30^{min}.

Další nocí, z 3. na 4. listopadu, byly získány ještě dva spektrogramy Alphonsa. Kráter však zůstal v normálním stavu. Večer 4. listopadu přešel Měsíc do poslední čtvrti a Alphonsus nebyl dále dostupný pozorování.

Časně zrána 3. listopadu 1958 došlo tedy v ústředním vrcholu kráteru Alphonsus k mimořádně zajímavému jevu — k vulkanickému procesu. Nejprve došlo k vyvržení prachu — vulkanického popelu, a nato, jak to obvykle bývá, došlo k uvolnění plynů. Plyny vystupovaly pravděpodobně z magmatu, které vystoupilo k povrchu; magma musí obsahovat plyny, adsorbované ve velkých hloubkách pod vlivem vysokého tlaku.

Nejcharakterističtější zvláštností emisního spektra vrcholu kráteru Alphonsus je skupina pásů, která začíná od 4754 Å a poměrně náhle černá ze strany dlouhých vln. Jasnost těchto pásů je až 40% normální jasnosti vrcholu v těchto vlnových délkách. Překládající se emisní spektrum je zřejmě lehce posunuto na stranu Slunce. Toto posunutí činí asi 0",7 neboli 1,5 km na povrchu Měsíce a dá se pravděpodobně vysvětlit tím, že tvrdé sluneční záření, které vyvolává fluorescenci, mohlo proniknout jen na tu stranu plynového sloupce, vystupujícího z vrcholu kráteru, která je obrácena ke Slunci. Musíme se domnívat, že k záření těchto plynů došlo podobně jako k záření komet. Sluneční radiace vyvolala disociaci složitých molekul na opticky aktivní molekulární zbytky — radikály,



Sopečná činnost na Měsíci. Napravo — úsek Měsíce, v jehož středu je kráter Alphonse. Bílá úsečka, procházející zobrazením špičatého vrcholu hory ve středu ukazuje relativní polohu štěrbin spektrografu. Nalevo — spektrogramy kráteru Alphonse, které byly exponovány: a) 3. listopadu 1958 od 6^h00^m do 6^h30^m, b) 3. listopadu 1958 od 6^h30^m do 6^h40^m moskevského času.

jinž přísluší pozorované emisní spektrum. Zajímavé je srovnání povrchové jasnosti svítících plynů s povrchovou jasností komet.

Při kolmém dopadu slunečních paprsků, kolem úplňku, je odrazecí schopnost kráteru Alphonsus rovna 0,13, tj. téměř dvakrát větší než střední odrazecí schopnost měsíčního povrchu. V okamžiku, kdy byla prováděna pozorování, byla výška Slunce nad obzorem kráteru Alphonsus pouze 18°. Podle údajů charkovského astronoma V. A. Fedorce je albedo ústředního vrcholu při této výšce Slunce desetkrát menší než albedo v úplňku. Předpokládáme-li, že v průměru ve všech vlnových délkách jasnost zářících plynů tvořila 10% celkové jasnosti vrcholu, pak dostaneme povrchovou jasnost svítících plynů rovnou jedné padesátině střední povrchové jasnosti Měsíce v úplňku. Jelikož jasnost Měsíce v úplňku je -5,5 hvězdné velikosti na čtvereční minutu, povrchová jasnost svítících plynů je potom řádově rovna -1 hvězdné velikosti na čtvereční minutu. Povrchová jasnost komet je přitom kolem deváté velikosti na čtvereční minutu.

Pozorované záření plynů bylo tedy desettisíckrát intenzivnější než záření komet. To je důkazem, že množství vyvržených plynů bylo víc než dostatečné k tomu, aby pohltilo všechno tvrdé sluneční záření. I přes takovou jasnost bylo by svítící plyny sotva možno pozorovat kolem úplňku, při velké výšce Slunce. Kdyby bylo albedo Měsíce vyšší, bylo by vůbec těžko pozorovatelné. Svícení vulkanických plynů můžeme pozorovat přirozeně jen tehdy, je-li daný detail měsíčního povrchu ozářen Sluncem.

Abychom získali úplný obraz o našem emisním spektru, je třeba krok za krokem odejít ve všech vlnových délkách od jasnosti ústředního vrcholu jasnost spektra okolního dna kráteru. Tato měření, která vyžadují velkou přesnost, nebyla dosud zakončena. Již dnes je však možno vyslovit některé závěry.

Hlavní složkou jasné skupiny pásů, začínající u 4754 Å, a postupně slábnoucí směrem k fialové části spektra, je Swannův pás molekuly uhlíku C_2 . Výrazné maximum u vlnové délky 4737 Å odpovídá počátku soustavy harmonických pásů této molekuly. Existenci C_2 potvrzují i jiné, značně slabší Swannovy pásy s maximy u 5165 a 5636 Å. Existenci molekuly C_2 ve vystupujících plynech lze tedy považovat za prokázanou. V oblasti od H_δ do čáry $H\ Ca^+$ se vyskytuje soustava slabých pásů, kterou pozorujeme, podobně jako Swannovy pásy, ve spektrech hlav komet, a která přísluší lineární molekule C_3 . Charakteristickým rozdílem proti spektru hlav komet je to, že se nevyskytuje ultrafialový pás CN 3883 Å. Vyskytují se poměrně jasné pásy v úseku spektra od 4600 do 4250 Å a v jiných místech velké množství slabých pásů. Zatím se nepodařilo určit molekuly, kterým tyto pásy přísluší. Je třeba poznamenat, že všechny pásy tohoto spektra jsou velmi neostré. Swannovy čáry mají být velmi ostré ze strany dlouhých vln a zatím jsou rozmazané přibližně na 5 Å. Tento jev souvisí nejspíše s procesem typu predisociace: pásy byly pozorovány právě v době tvoření opticky aktivních molekulárních zbytků ze složitých původních molekul.

Shrneme-li pozorované jevy, vidíme, že v kráteru Alphonsus došlo ke skutečnému vulkanickému výbuchu. V žádném případě to nemohlo být pomalé vytékání plynů z trhlin v měsíčním povrchu, které pravděpodobně pozoroval D. Alter. Tento závěr zřejmě potvrzují sdělení anglických pozorovatelů P. Wilkinse a F. Breawna, kteří zjistili nevelkou načervenalou skvrnu v bezprostřední blízkosti ústředního vrcholu kráteru Alphonsus, na jeho jižní straně. Pozorovali tuto skvrnu 19. listopadu 1958 a tvrdí, že do listopadu 1958 neexistovala.

Je možné, že popsané pozorování zůstane ještě po dlouhou dobu ojedinelé. Nezávisle na tom však je důkazem, že si do dnešní doby zachoval Měsíc vnitřní energii a možnost horotvorných procesů. Fakt, že byl uvedený proces pozorován ve vrcholu kráteru, nemůže být náhodný a svědčí o tom, že základní reliéf Měsíce byl vytvořen endogenně a není jen důsledkem dopadu meteoritů na měsíční povrch.

Přeložil Jaroslav Ruprecht