

Prohlídka Měsíce

Pavel Gabzdyl

Hvězdárna a planetárium Brno



<http://www.facebook.com/prohlidka.mesice>



<http://mesic.astronomie.cz>



Měsíc

- Měsíc je nejsnáze pozorovatelným kosmickým objektem na pozemské obloze.
- Měsíc je jediné kosmické těleso, na kterém můžeme ze Země pozorovat bez dalekohledu povrchové útvary.
- Měsíc je jediné těleso, na kterém můžeme malými dalekohledy sledovat účinky impaktních, vulkanických, tektonických a zvětrávacích procesů.
- Při pravidelném sledování Měsíce můžeme již pouhýma očima zjistit některé zákonitosti jeho pohybu.



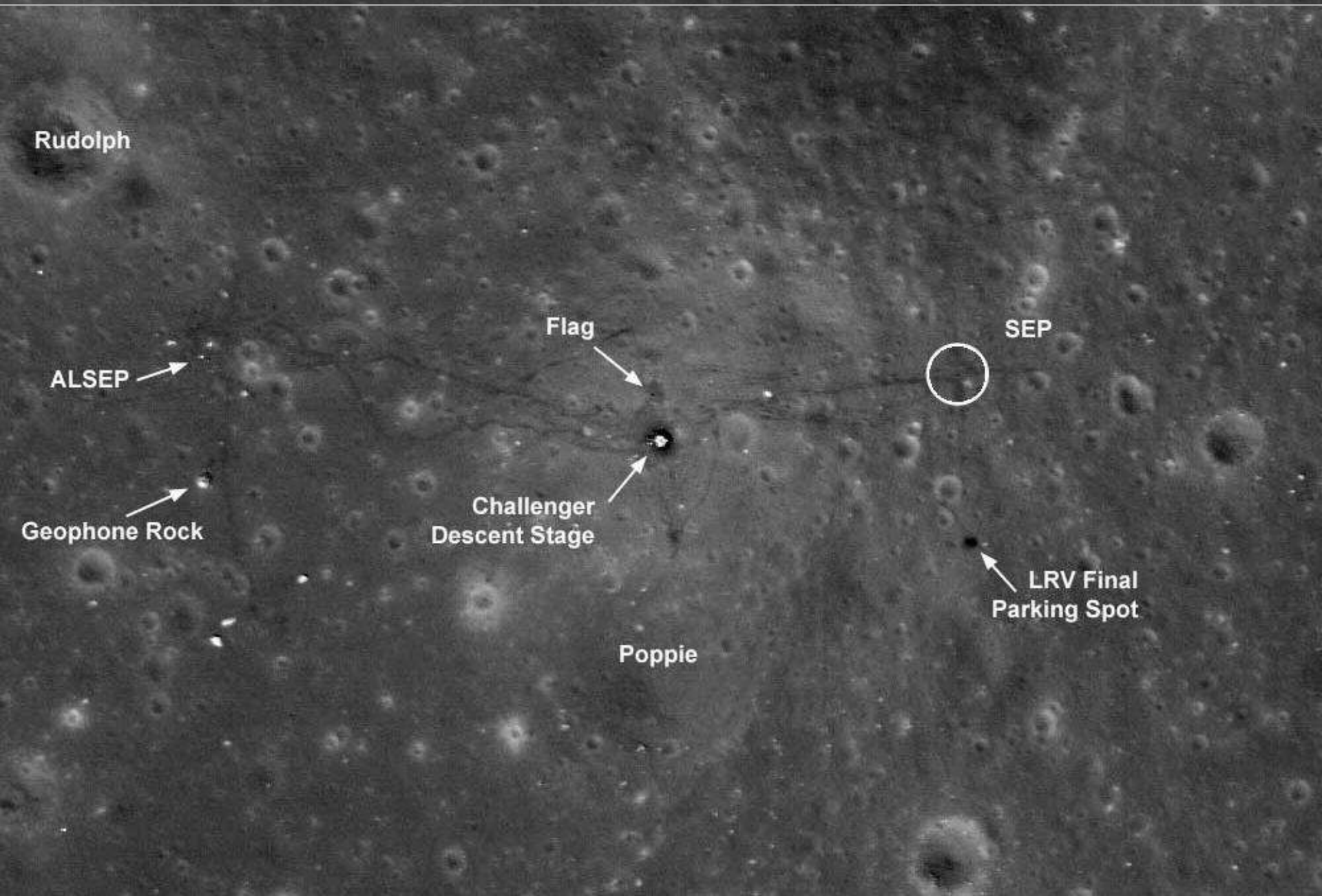
Foto: Dennis Di Cicco

Výzkum Měsíce



- Luna (1959 - 1976)
- Pioneer (1959)
- Lunar Ranger (1961 - 1965)
- Zond (1965 - 1970)
- Surveyor (1966 - 1968)
- Lunar Orbiter (1966 - 1967)
- **Apollo (1967 - 1972)**
- Galileo (1990, 1992)
- Clementine (1994)
- Lunar Prospector (1998 - 1999)
- SMART (2003 - 2006)
- SELENE (2006 – 2009)
- Chandrayaan 1, 2... (2007 –)
- Chang'e 1, 2, 3...(2007 –)
- LRO (2009 –)
- ARTEMIS (2010 –)
- GRAIL (2011– 2012)
- LADEE (2013 – 2014)

Místo přistání Apolla 17 na snímku ze sondy LRO



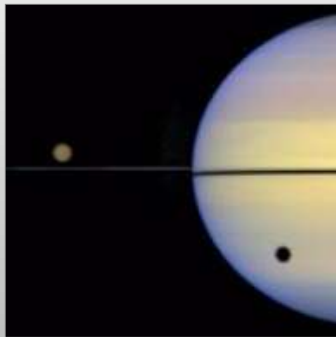
Měsíce ve Sluneční soustavě



Poměry velikostí mateřské planety a jejího největšího měsíce:



Jupiter : Ganymed
(27 : 1)



Saturn : Titan
(23 : 1)



Uran : Titania
(32 : 1)



Neptun : Triton
(18 : 1)



Země : Měsíc
(3,6:1)

Velikost Měsíce ve vztahu k ostatním satelitům

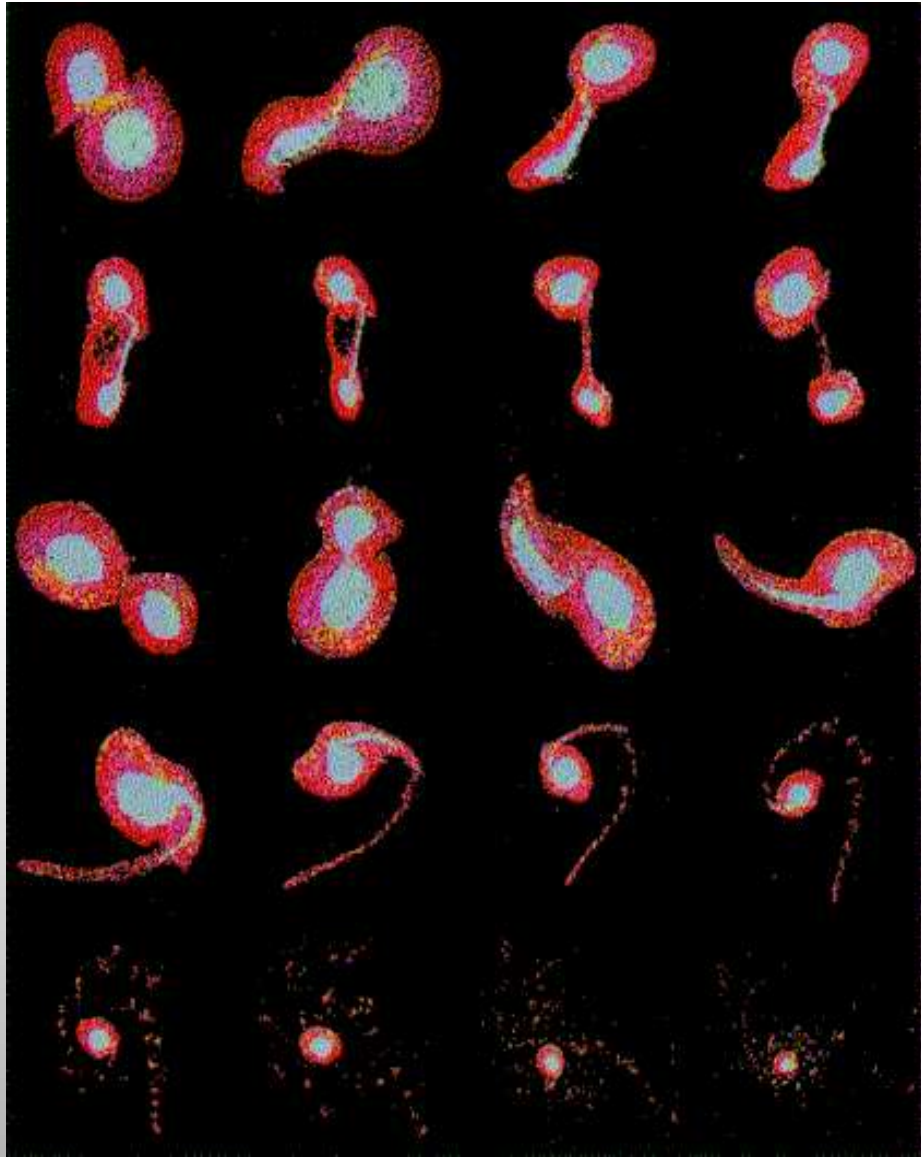


Vznik Měsíce: problémy



- Měsíc je v porovnání se Zemí poměrně velkým tělesem (viz ostatní satelity)
- průměrná hustota Měsíce je $3,3 \text{ g/cm}^3$, Země $5,5 \text{ g/cm}^3$
- systém Země-Měsíc má poměrně velký moment setrvačnosti
- Měsíc a Země mají téměř stejné izotopické složení
- svrchních 200 km měsíční kůry muselo být v raném období roztaveno.

Teorie velké srážky



**(1975): Hartmann a Davis
(planetární geologové)**

Proč je Měsíc ochuzen o železo?

**(1976): Cameron a Ward
(astronomové)**

Velký moment setrvačnosti Země-Měsíc

(1997): Robin Canupová

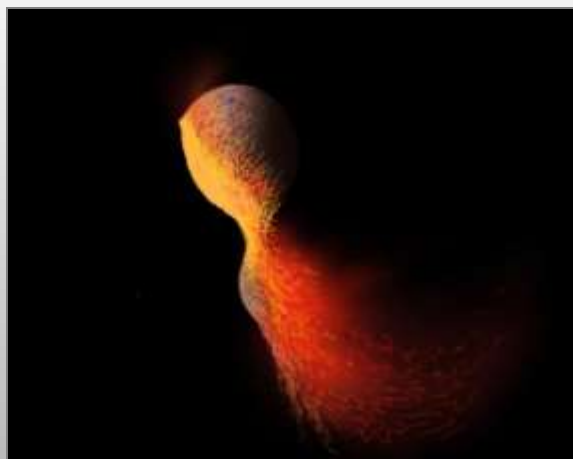
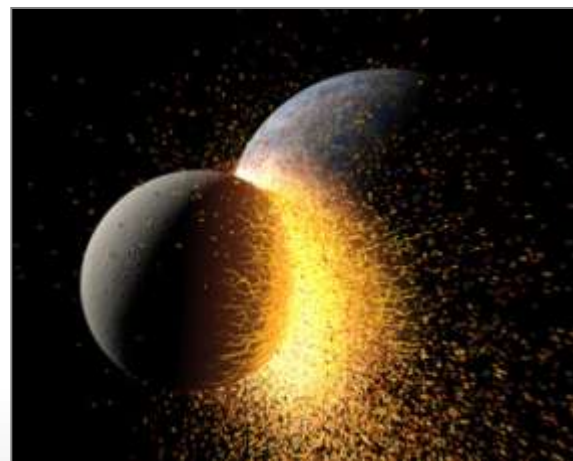
Odhady hmotnosti tělesa, které se srazilo s naší planetou dosahují hodnot od 11 do 14 % současné hmotnosti Země. Jednalo by se tedy o těleso nepatrně větší než planeta Mars.

(2001): Wiechert a kol.

Těleso, se kterým se Prazemě srazila, představovalo její dvojče s podobným složením a s podobnou dráhou kolem Slunce. Podobnost materiálu pro výstavbu obou těles pomohl odhalit poměr izotopů kyslíku ^{16}O , ^{17}O a ^{18}O , obsažených v pozemských a měsíčních horninách.

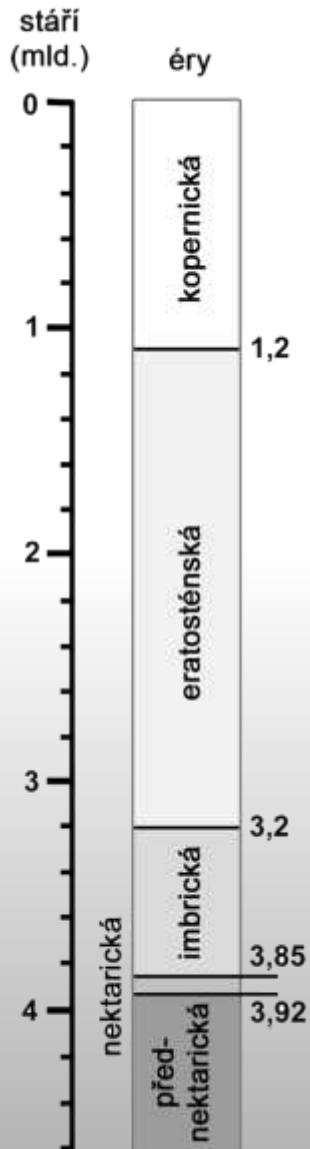
Scénář vzniku

Důsledky: existence Měsíce, přílivy a odlivy, stabilizace sklonu (klima), sklon rotační osy Země (klima)



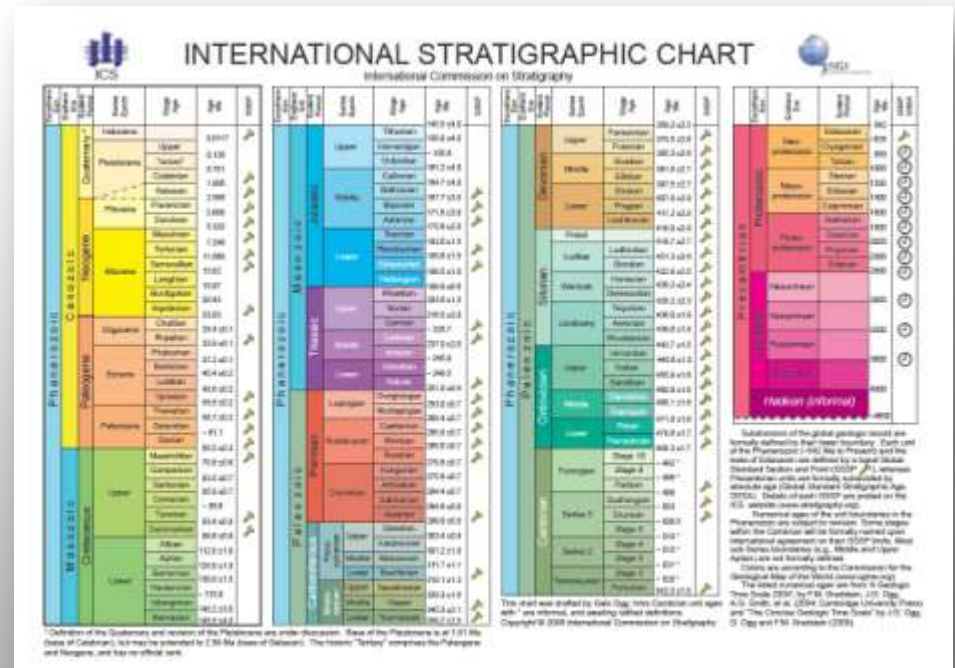
Kresby: Don Davis

Měsíční stratigrafie



Jednotlivé měsíční útvary a různé typy hornin nevznikly na Měsíci najednou, ale postupně, v určitém sledu. Stanovením časové posloupnosti geologických událostí se v případě Měsíce zabývá *měsíční stratigrafie*. Zatímco se geologická minulost Země dělí na věky (např. prvohory, druhohory), útvary (např. karbon, devon, perm) a další menší celky, u Měsíce je dělení jednodušší. Jednotlivé éry (věky) shrnuje následující stratigrafická tabulka, která vychází z publikace D. E. Wilhemse z roku 1987 *The Geologic History of the Moon*.

Pro Zemi:
www.stratigraphy.org



Éra přednektarická – před 3,92 mld. roků

Vznik měsíční kůry, velmi silné počáteční bombardování.

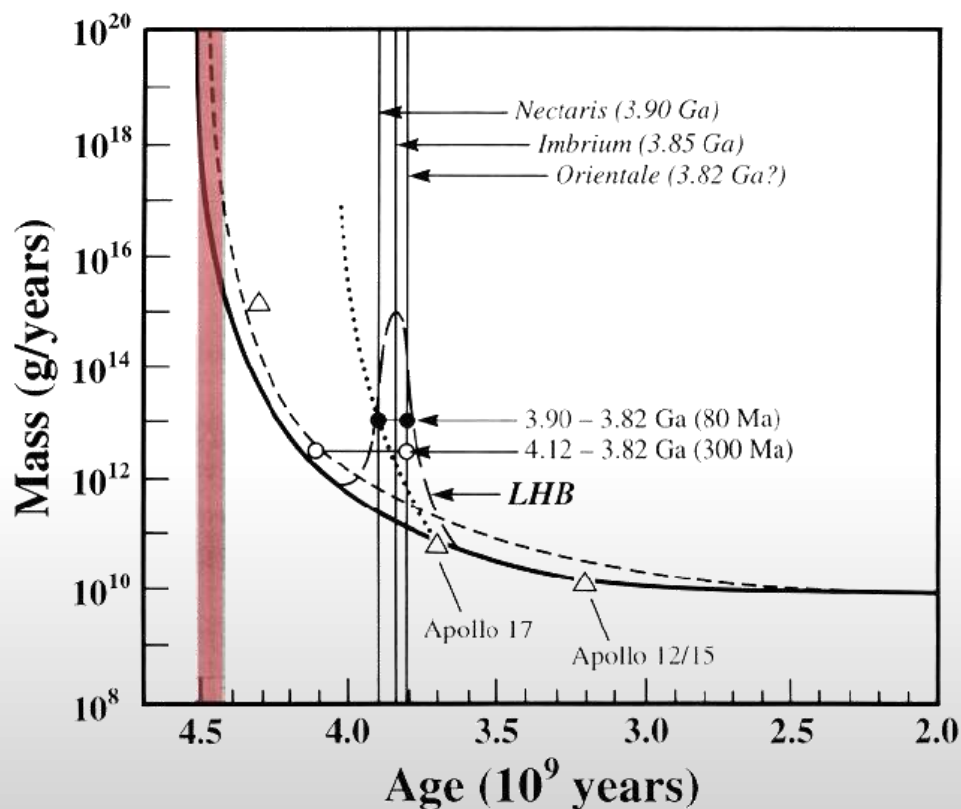
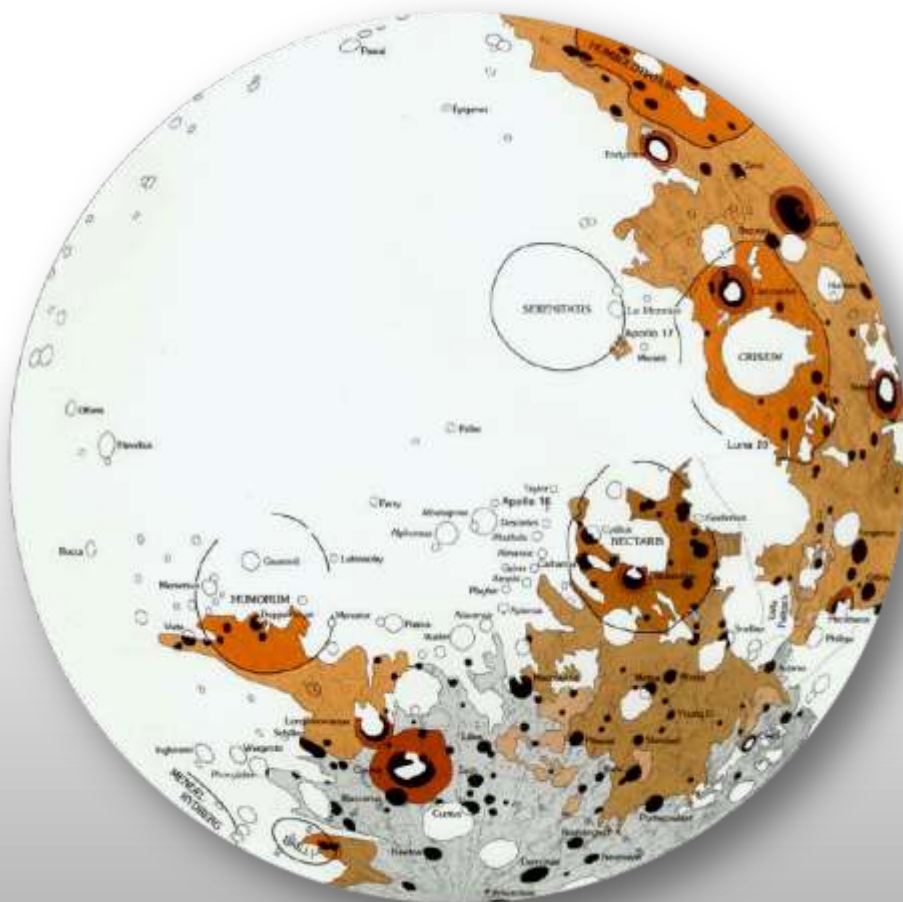


Diagram zobrazuje závislost míry akrece na čase. Souvislá čára vyznačuje míru akrece extrapolovanou do minulosti. Přerušovaná linie znázorňuje nárůst akrece během éry pozdního intenzivního bombardování. Graf podle Koeberla, 2004.



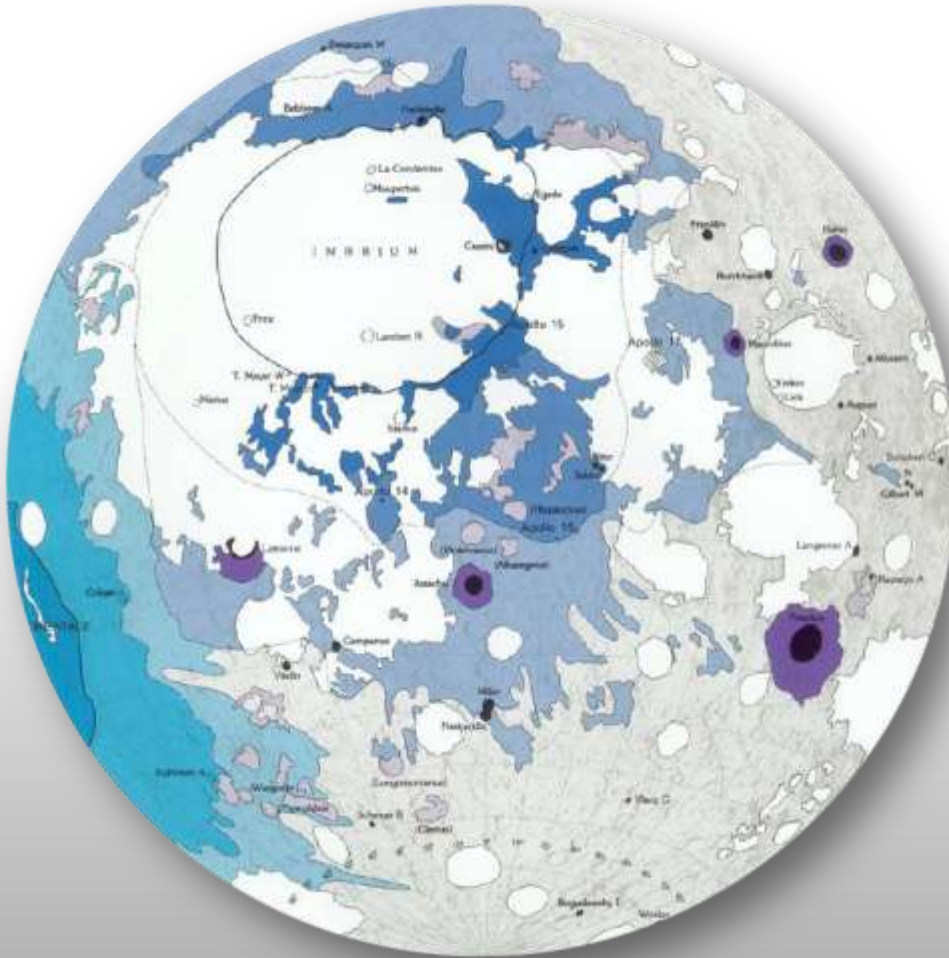
Éra nektarická – před 3,85 až 3,92 mld. roků

Za počátek této éry se bere vznik pánve Nectaris (budoucí Moře Nektaru) před 3,92 mld. roků. V tomto poměrně krátkém období vzniká většina velkých pánví (období pozdního intenzivního bombardování).



Éra imbrická – před 3,2 až 3,85 mld. roků

Počátek éry souvisí se vznikem pánve Imbrium. Tato éra se dělí na pozdně imbrickou, kdy probíhala významná vulkanická aktivita zodpovědná za vznik moří, a **raně imbrickou**, kdy vznikaly velké impaktní pánve.



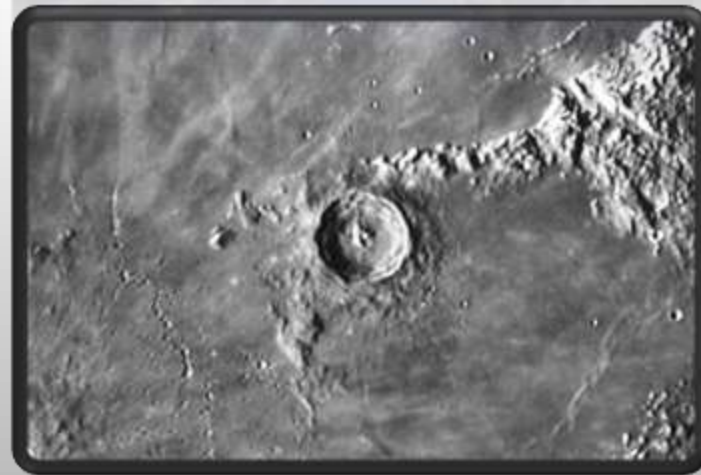
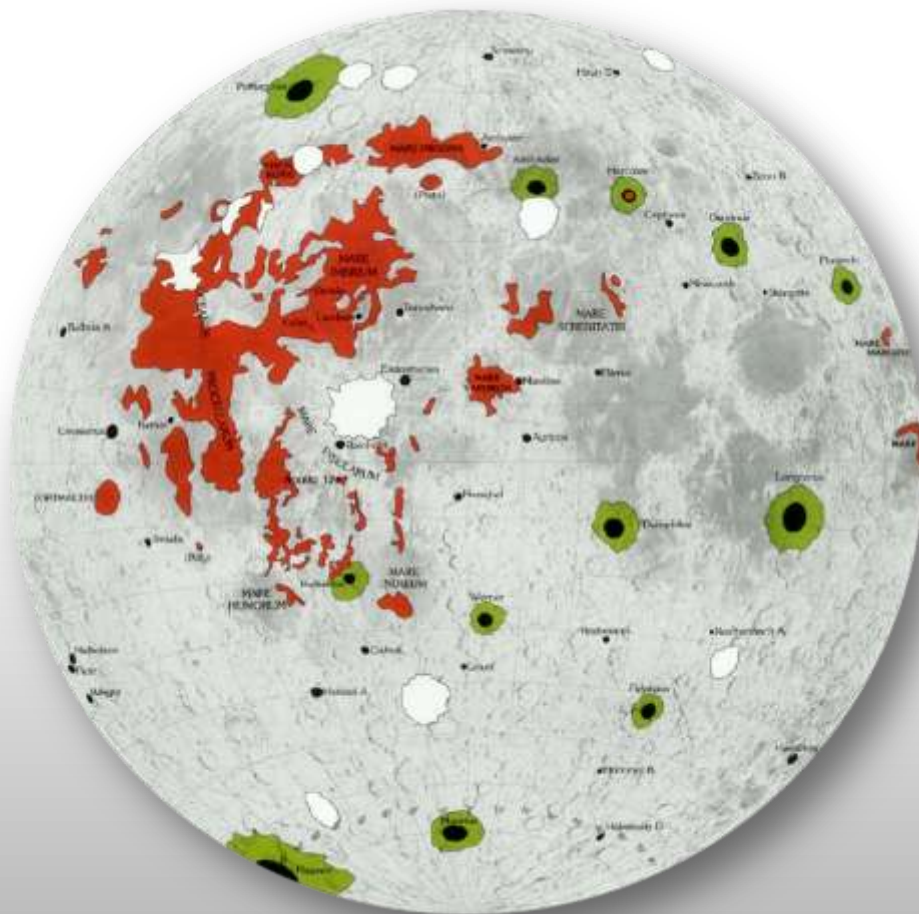
Éra imbrická – před 3,2 až 3,85 mld. roků

Počátek éry souvisí se vznikem pánve Imbrium. Tato éra se dělí na **pozdně imbrickou**, kdy probíhala významná vulkanická aktivita zodpovědná za vznik moří, a **raně imbrickou**, kdy vznikaly velké impaktní pánve.



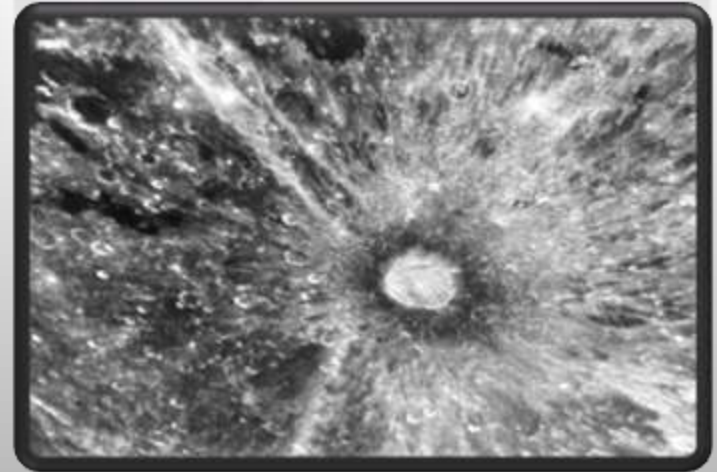
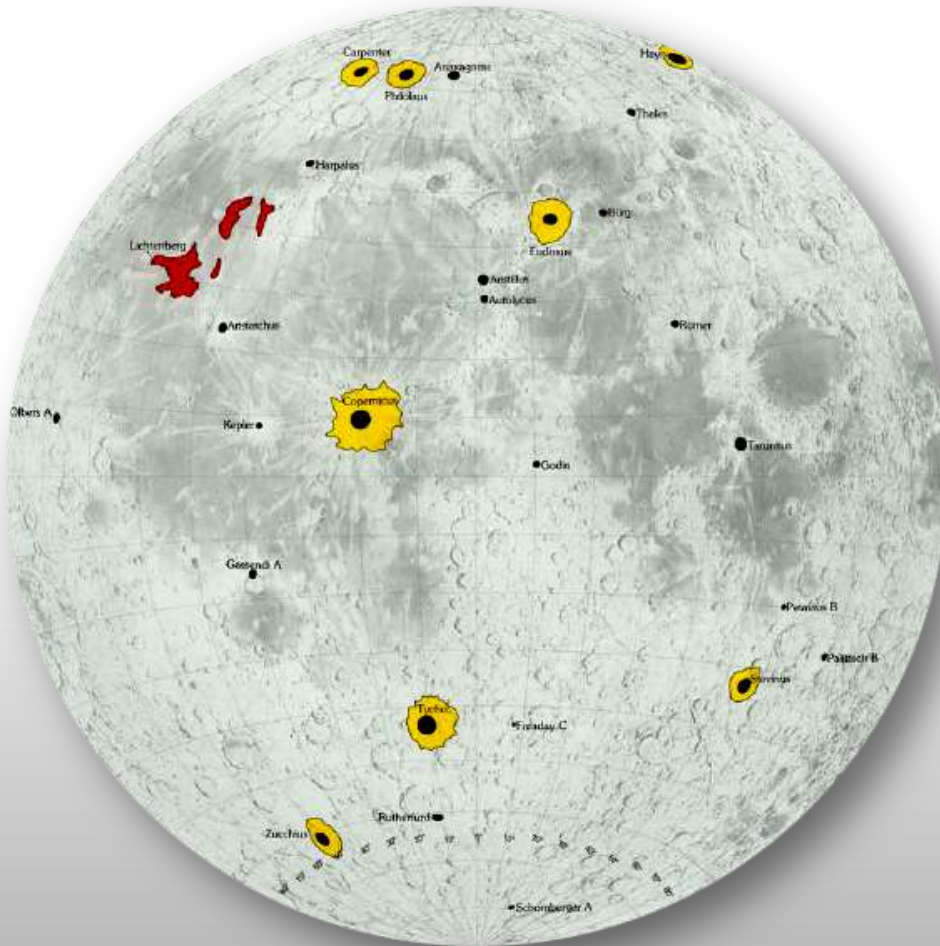
Éra eratosthénská – před 1,2 až 3,2 mld. roků

Vznik mírně erodovaných kráterů, jakými je například Eratosthenes. Světlé paprsky těchto kráterů jsou už zahlazené.



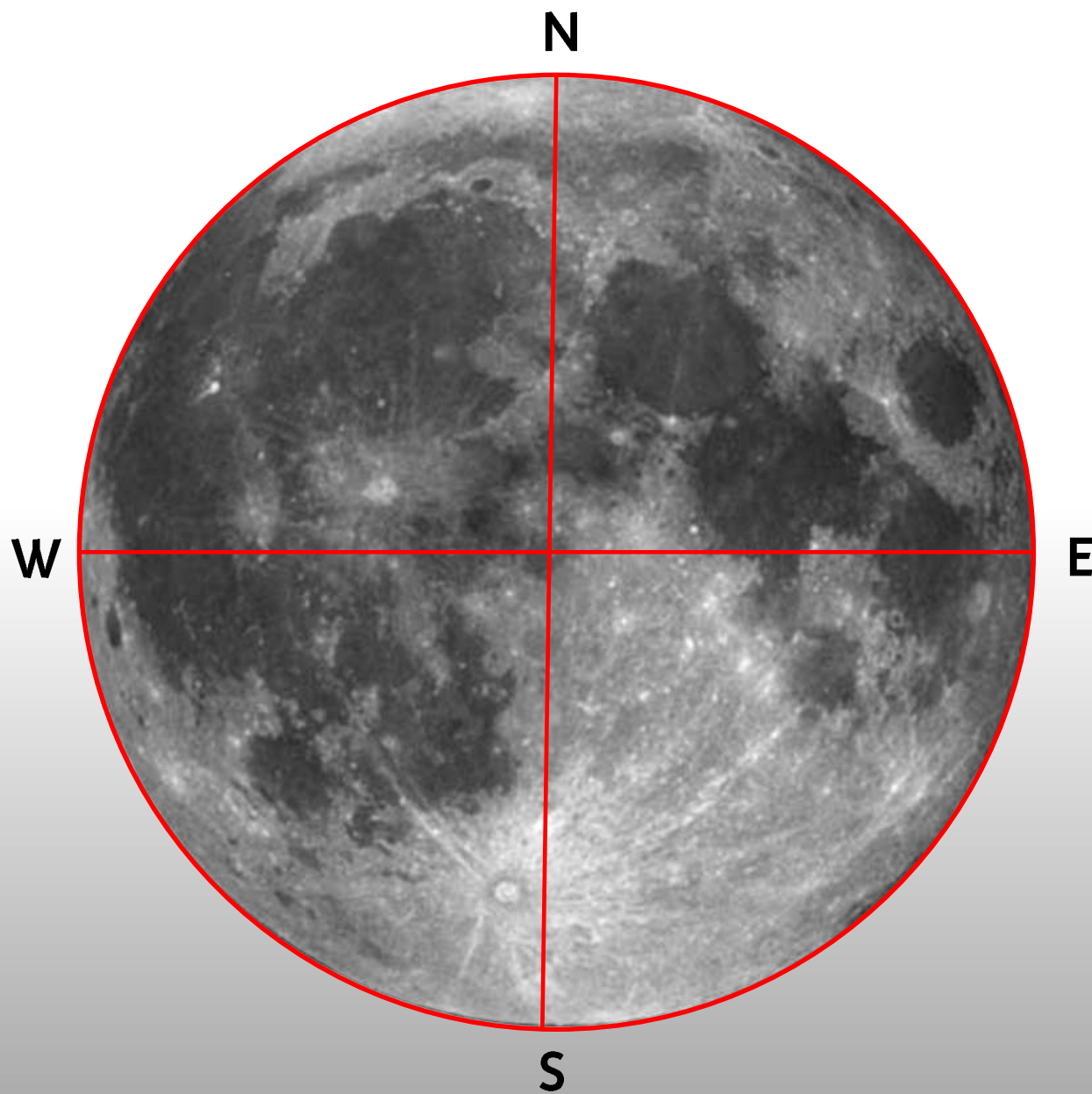
Éra kopernická – od současnosti až před 1,2 mld. roků

Vznik mladých kráterů se světlými paprsky typu Koperník. Formování regolitu.





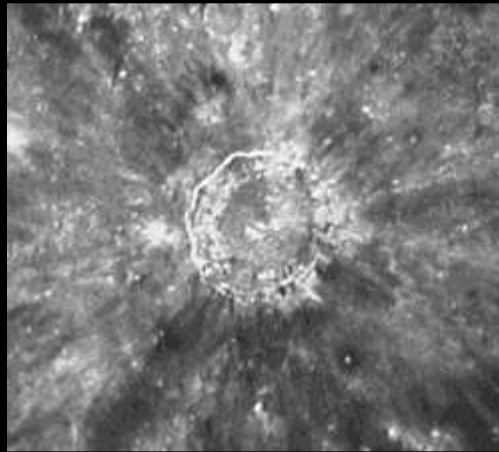
Orientace



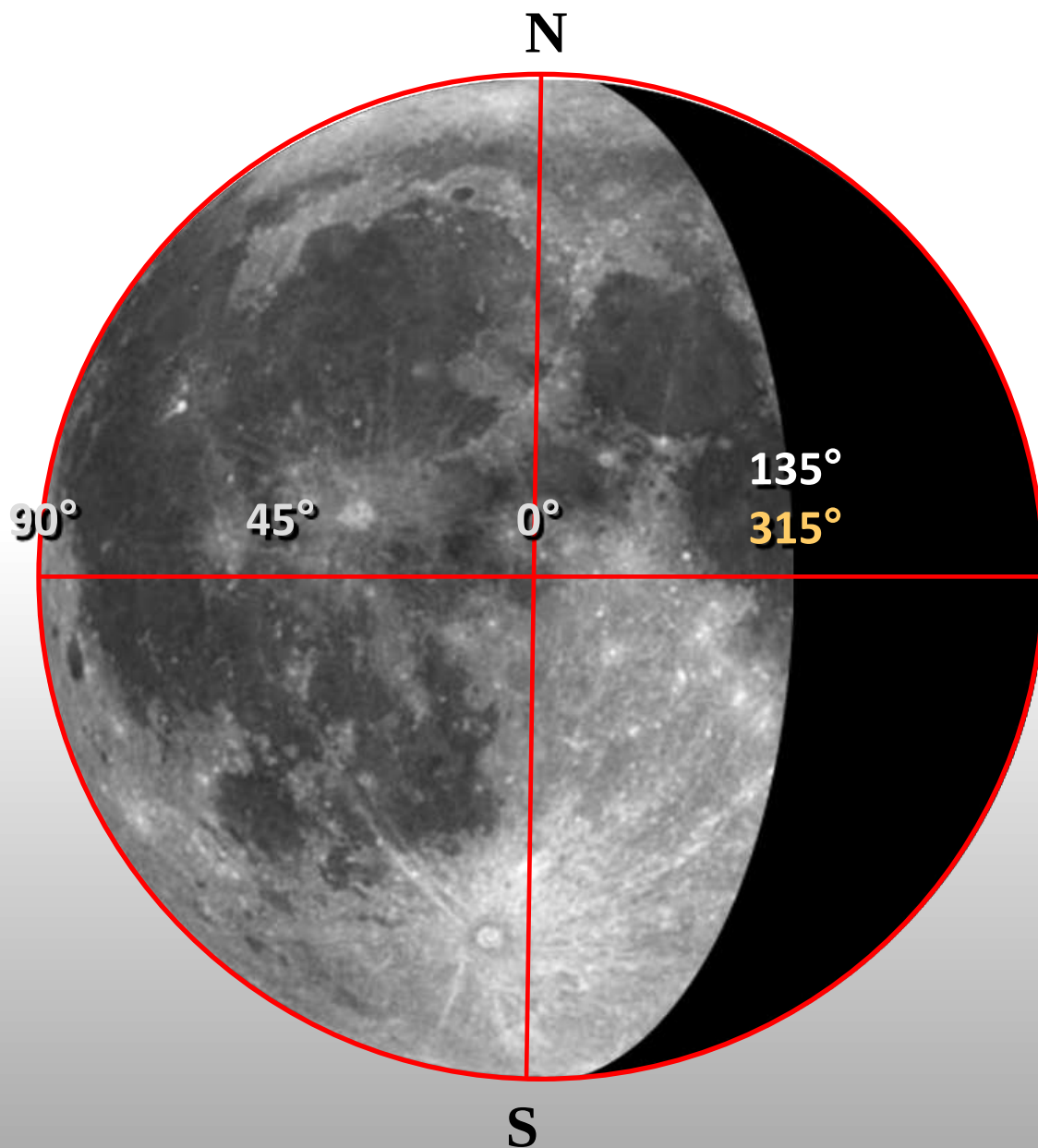
Budete-li ze severní zemské polokoule sledovat Měsíc, jak putuje po obloze, uvidíte, že svou pravou stranou míří k západu a levou k východnímu směru. Tak to i na starších mapách Měsíce bylo. V roce **1961** ovšem Mezinárodní astronomická unie rozhodla, že tomu bude u Měsíce jinak a prohodila východ se západem tak, aby to vyhovovalo pozorovateli na Měsíci. Pravda, díky tomu se Moře východní vlastně ocitlo na západním okraji Měsíce, ale to není nic proti tomu, jaké potíže by původní orientace činila astronautům na povrchu Měsíce – vždyť by jim Slunce vycházelo na západě!

Pozice terminátoru

Pro sledování měsíčních útvarů je nejvhodnější dobou průchod ranního nebo večerního terminátoru, kdy mají terénní nerovnosti plastický vzhled.



Pozice terminátoru



Colongitudo: selenografická délka ranního terminátoru, počítaná od základního poledníku směrem k západu od 0° do 360° . **Neudává momentální fázi, ale polohu terminátoru na měsíčním povrchu!**

Přibližné hodnoty colongituda: první čtvrt: 0° , úplněk: 90° , poslední čtvrt: 180° , nov: 270° .



Literatura

Atlasy a mapy:

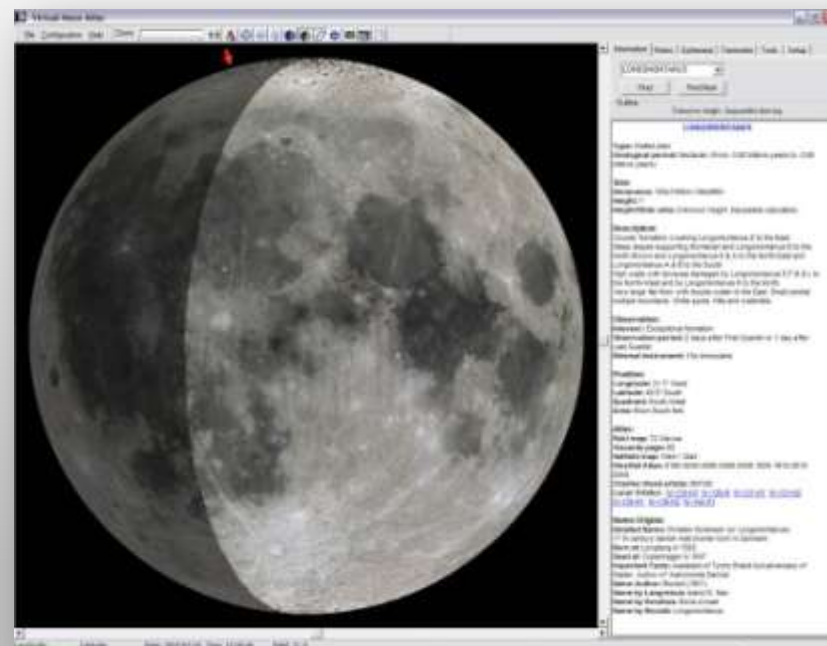
- Rükl, A.: *Atlas Měsíce*. Aventinum, Praha 1991.
- Rükl, A.: *Atlas of the Moon*. Aventinum, 2004.
- Rükl, A.: *Nová mapa Měsíce*. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Praha 2004.

Monografie (česky):

- Gabzdyl, P.: *Pod vlivem Měsíce*. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně, Brno 2002.
- Gabzdyl, P.: *Měsíc*. Aventinum, 2006.
- Grün, M.: *První den na Měsíci*. Gradatin, Praha 1994.
- Kopal, Z.: *Vesmírní sousedé naší planety*. Academia, Praha 1984.

Monografie (anglicky):

- Spudis, P. D.: *The Once and Future Moon*. Smithsonian Institution Press, 1996.
- Wood, C. A.: *The Modern Moon: A Personal View*. Sky Publishing Corp., Cambridge 2003.



Virtual Moon Atlas

Skvělý pomocník při poznávání Měsíce.

Prohlídka Měsíce

(<http://mesic.astronomie.cz>) – Souhrnné informace o Měsíci a o útvarech na jeho povrchu. Součástí jsou i praktické rady k pozorování měsíčního povrchu.

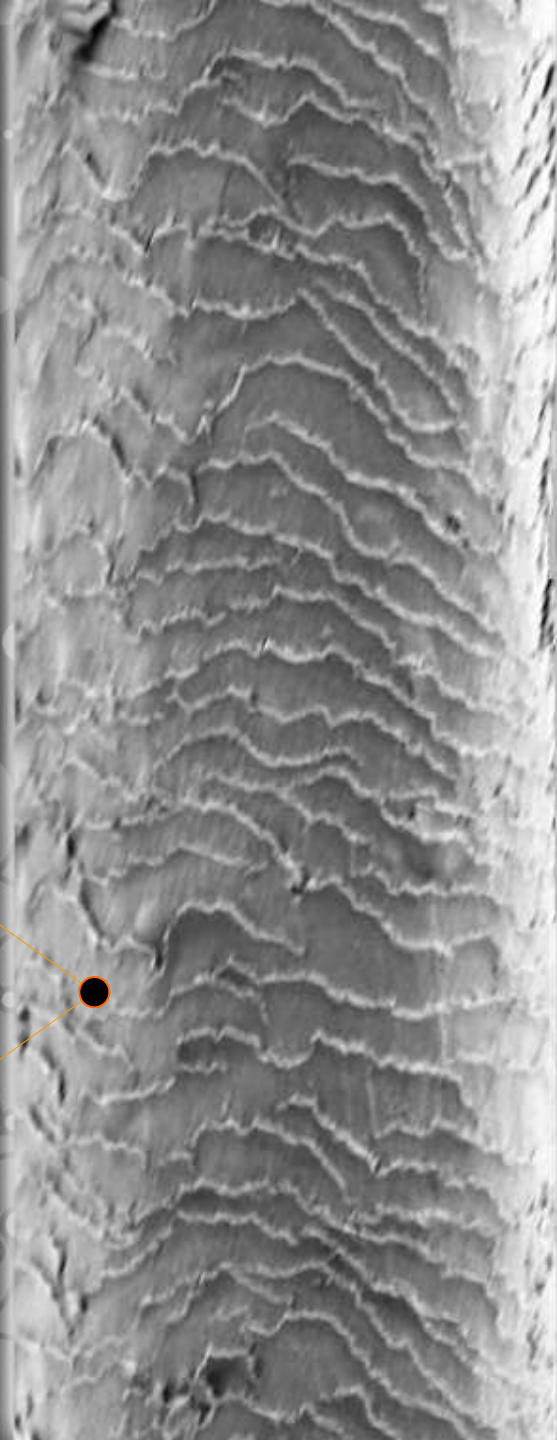
Měsíční dvanáctka



1

Jednoduché krátery

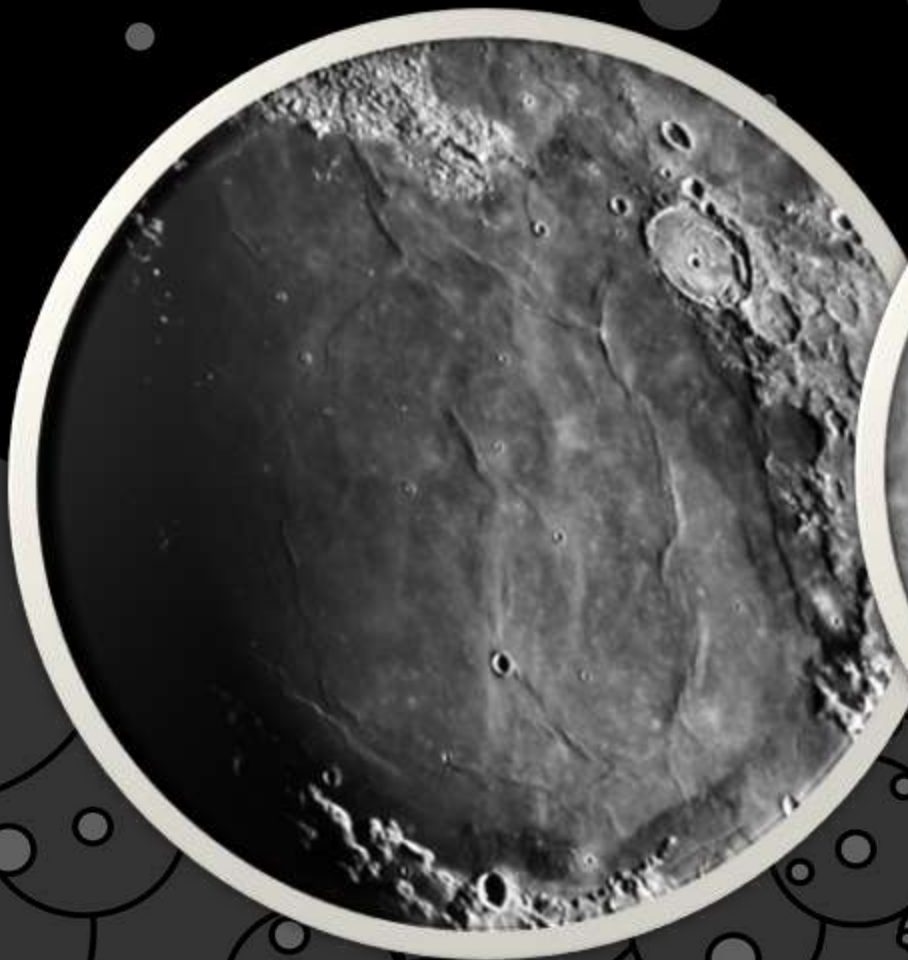
- Měsíc je kráterovou rezervací
- pozorovatelné už od 0,01 mm
- jen na přivrácené straně jich je 300 000 (> 1 km)



1

Kráter Linné

- průměr 2,45 km, hloubka 600 m
- čerstvý kráter?



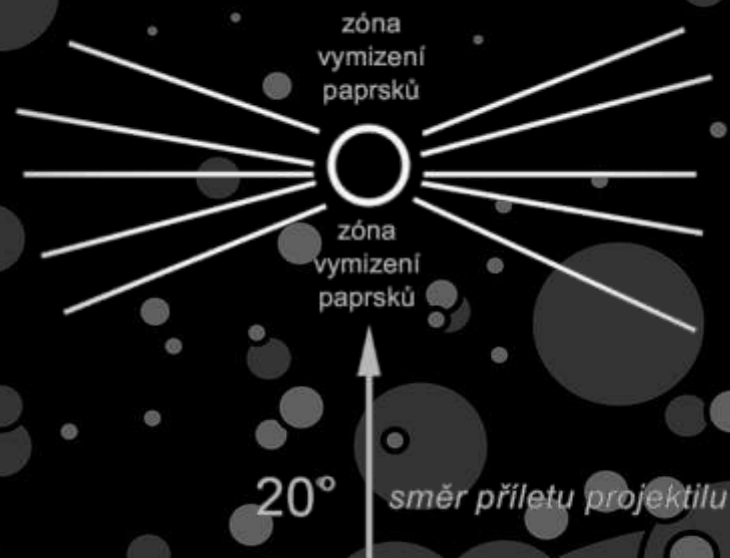
2

Šikmý dopad



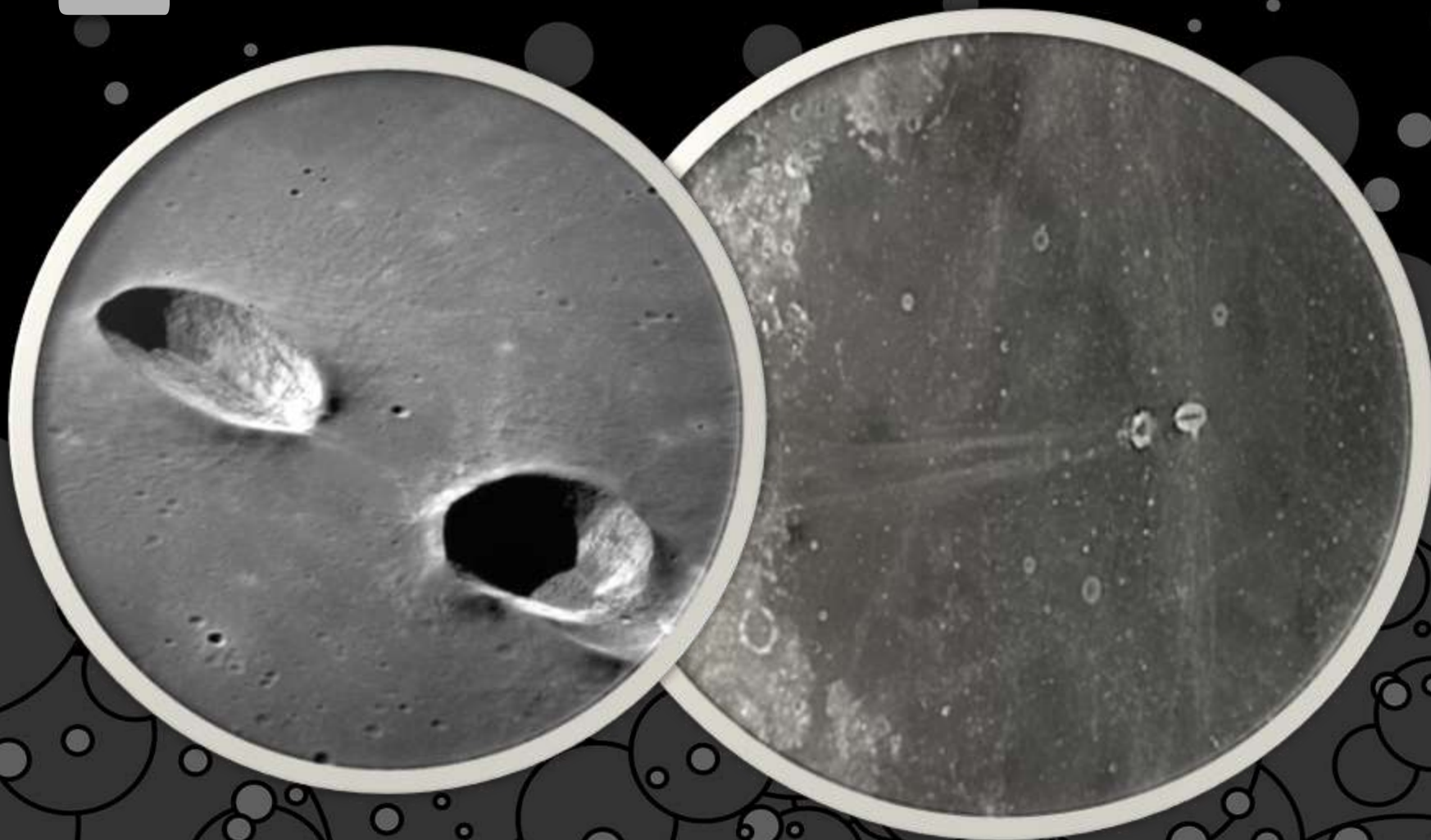
2

Šikmý dopad



2

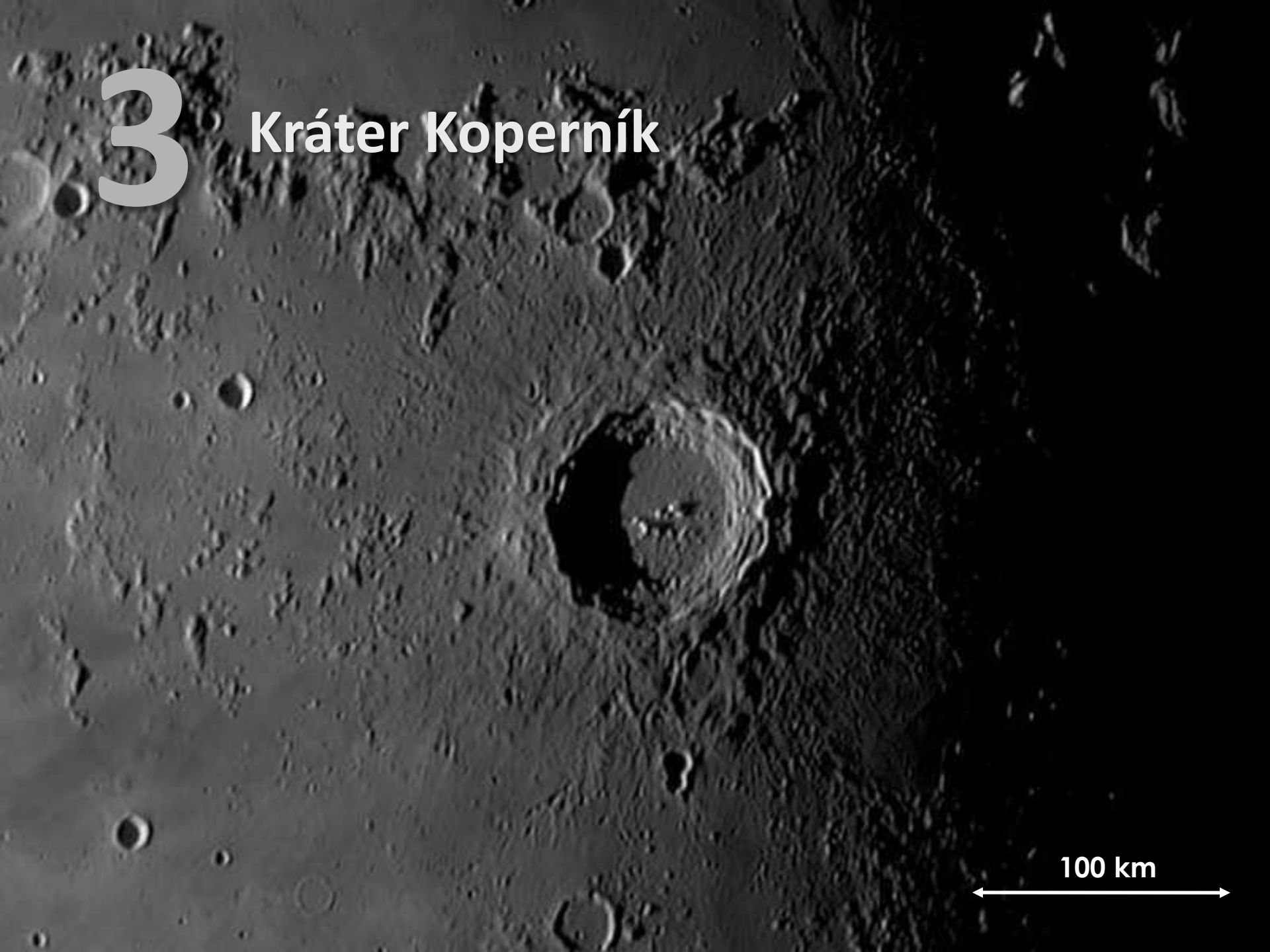
Dvojkráter Messier

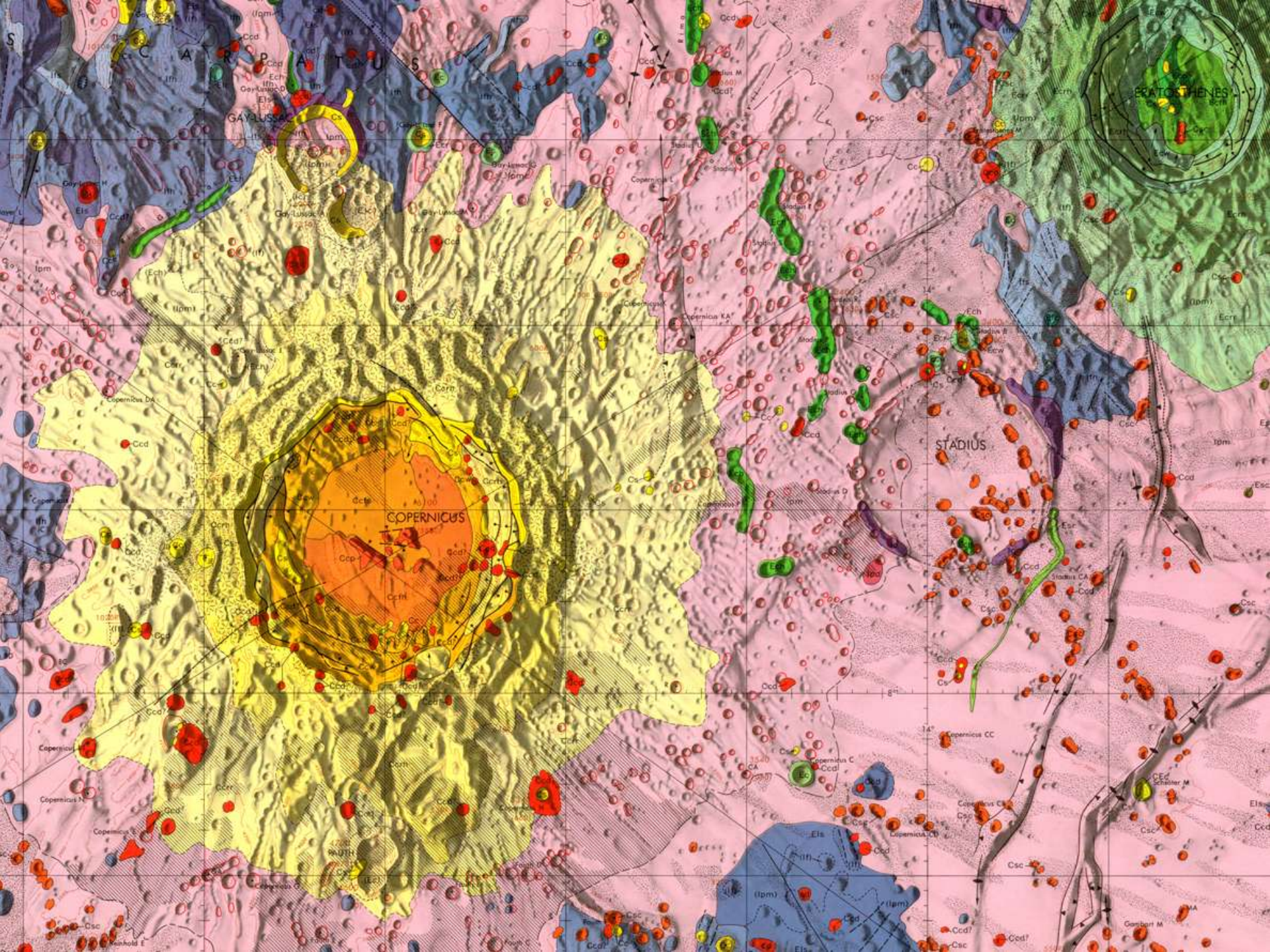


3

Kráter Koperník

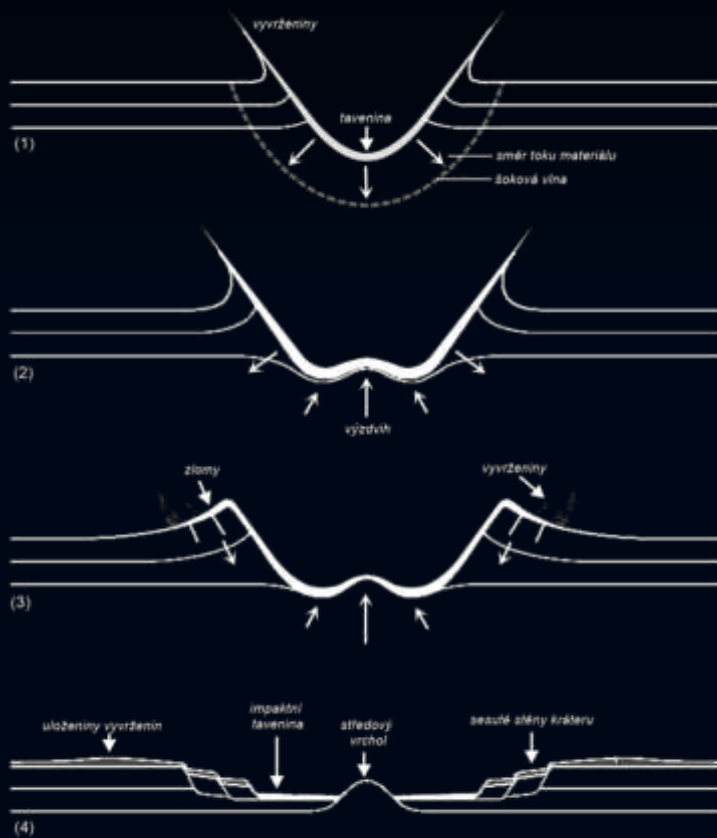
100 km

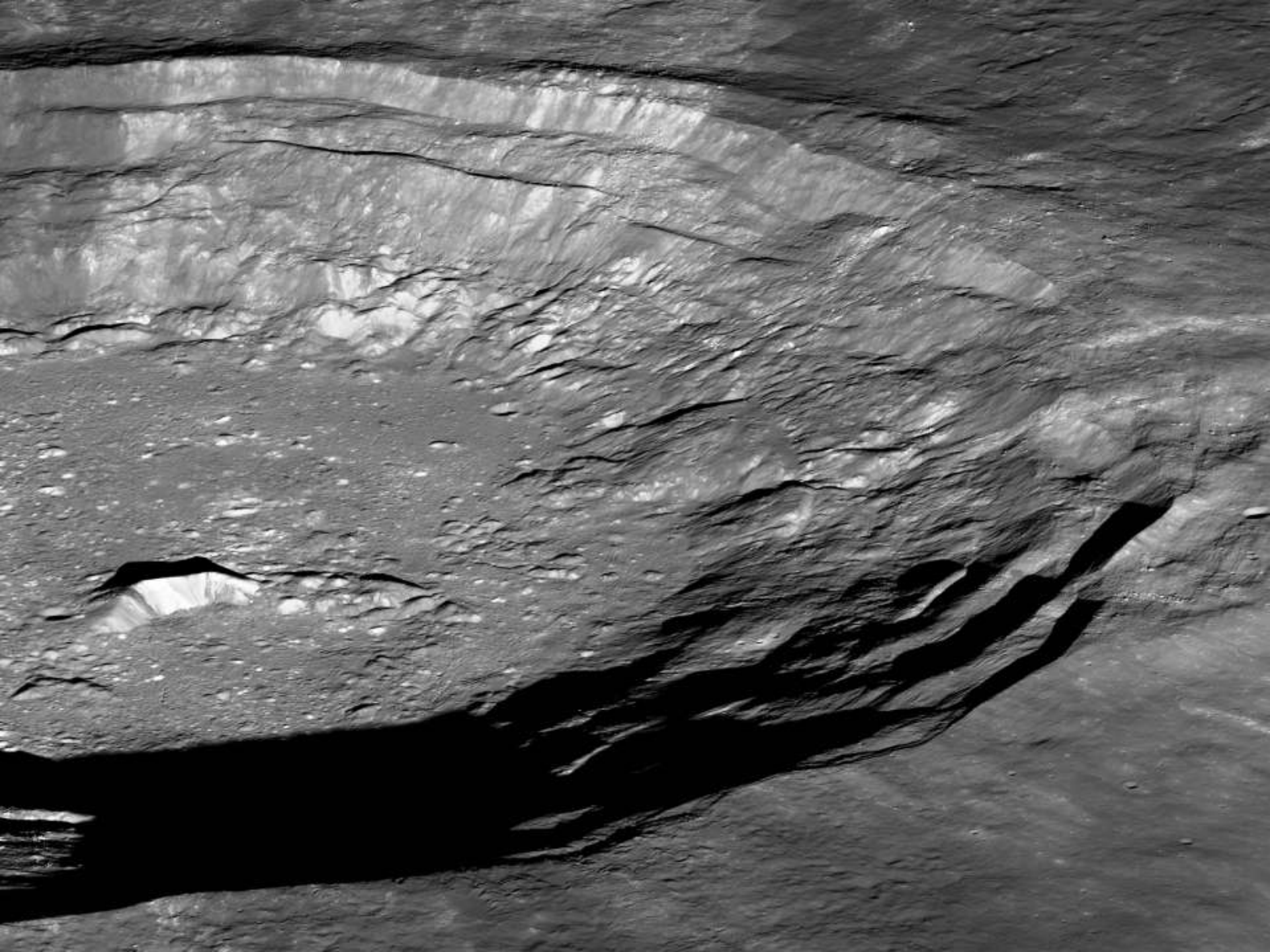




3 Kráter Koperník

1. Dopad impaktoru velkou rychlostí
2. Projevy šokové metamorfózy
3. Výhoz materiálu
4. Vznik centrální elevace
5. Zborcení valů (terasovitě stupňování)





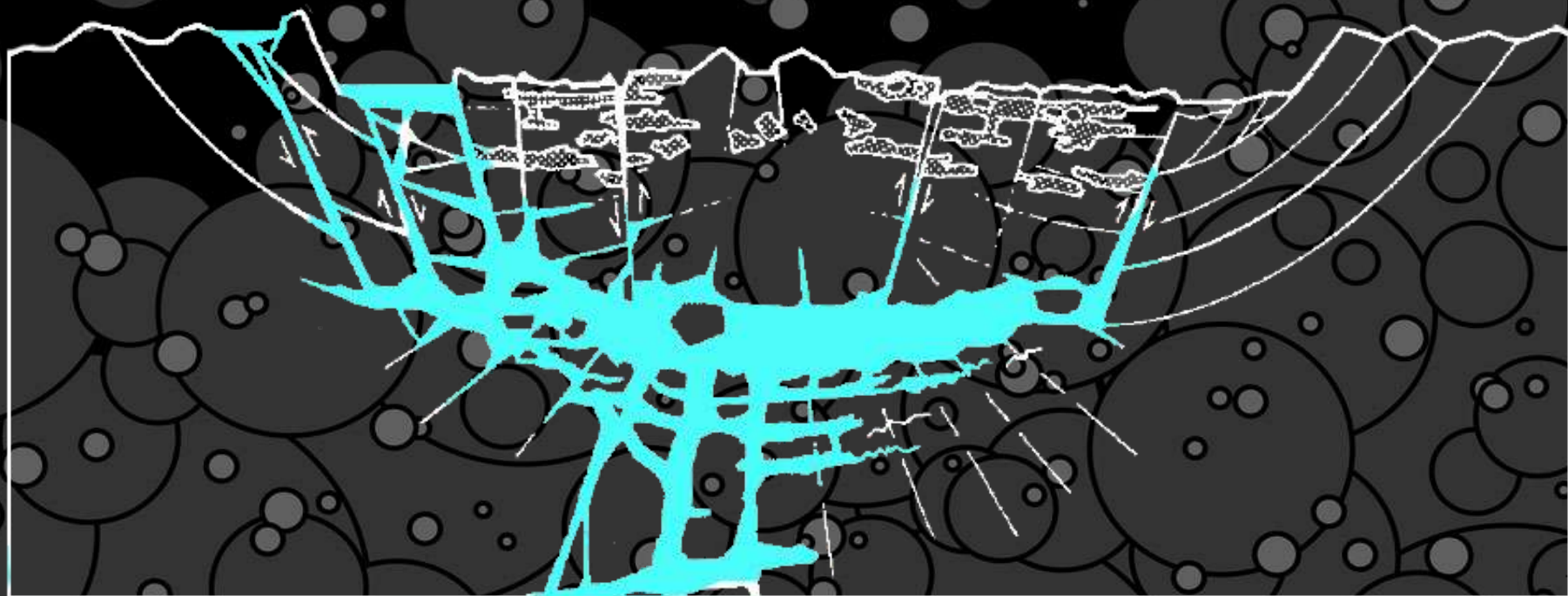


4 Prasklé díry



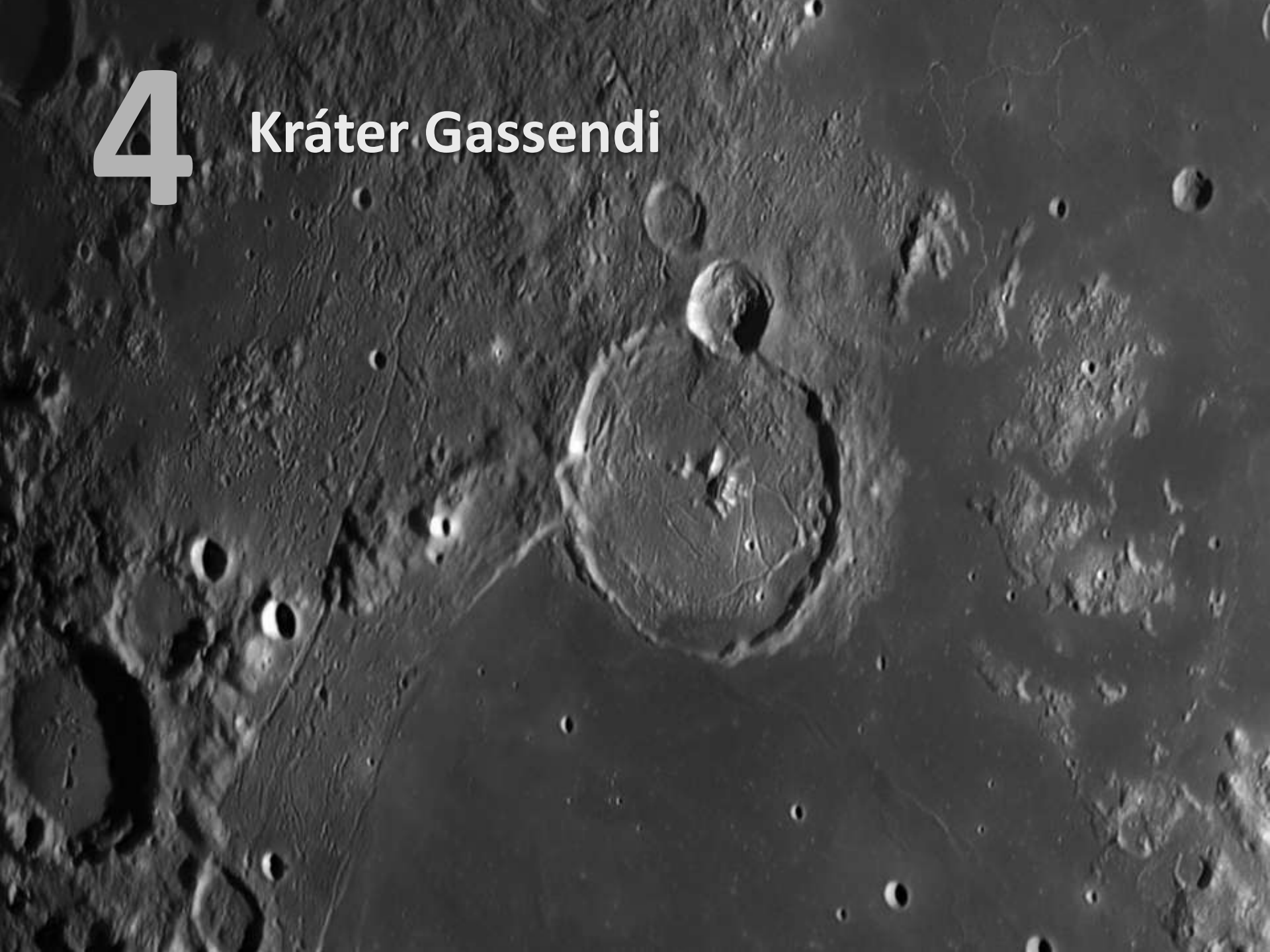
4

Kráter Gassendi

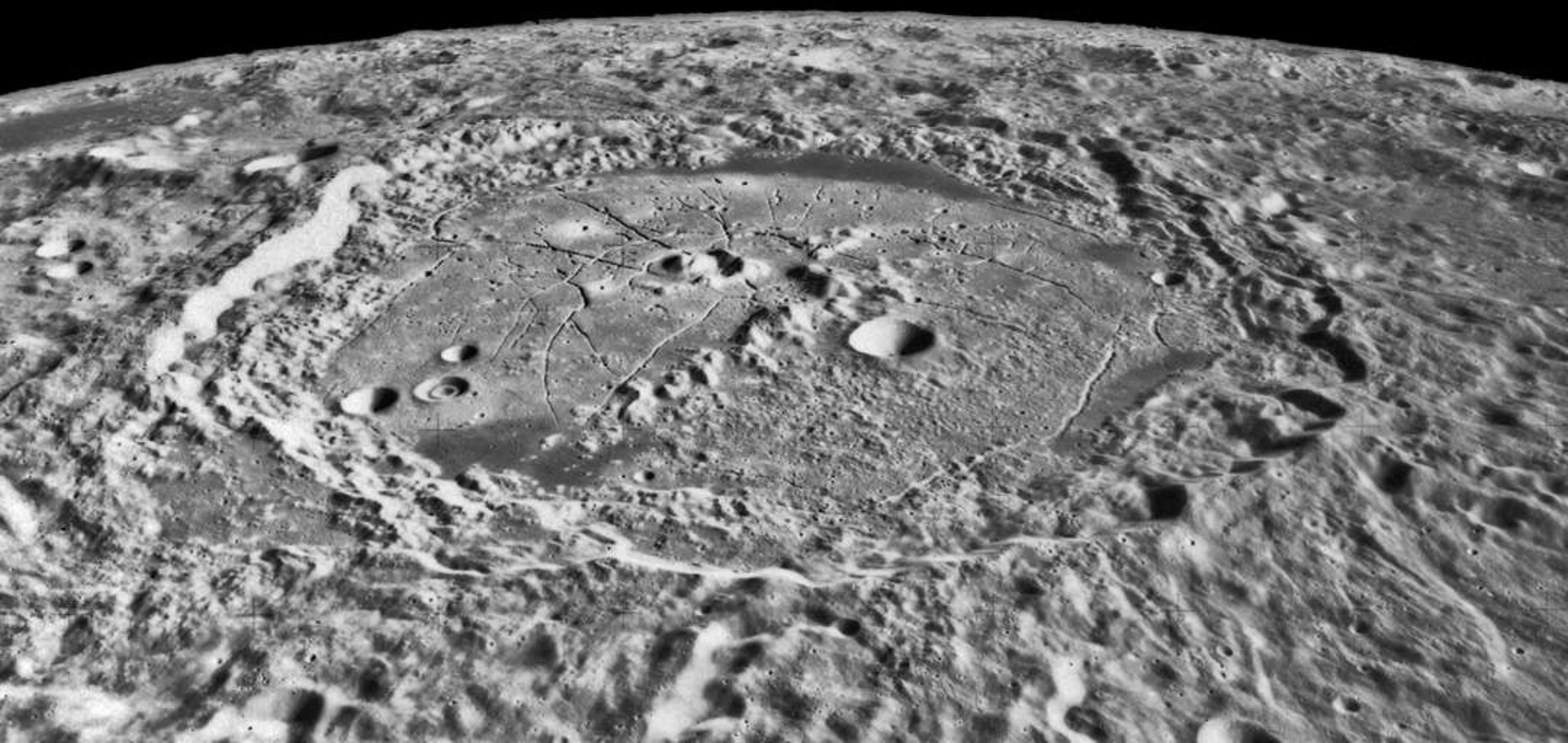


4

Kráter Gassendi

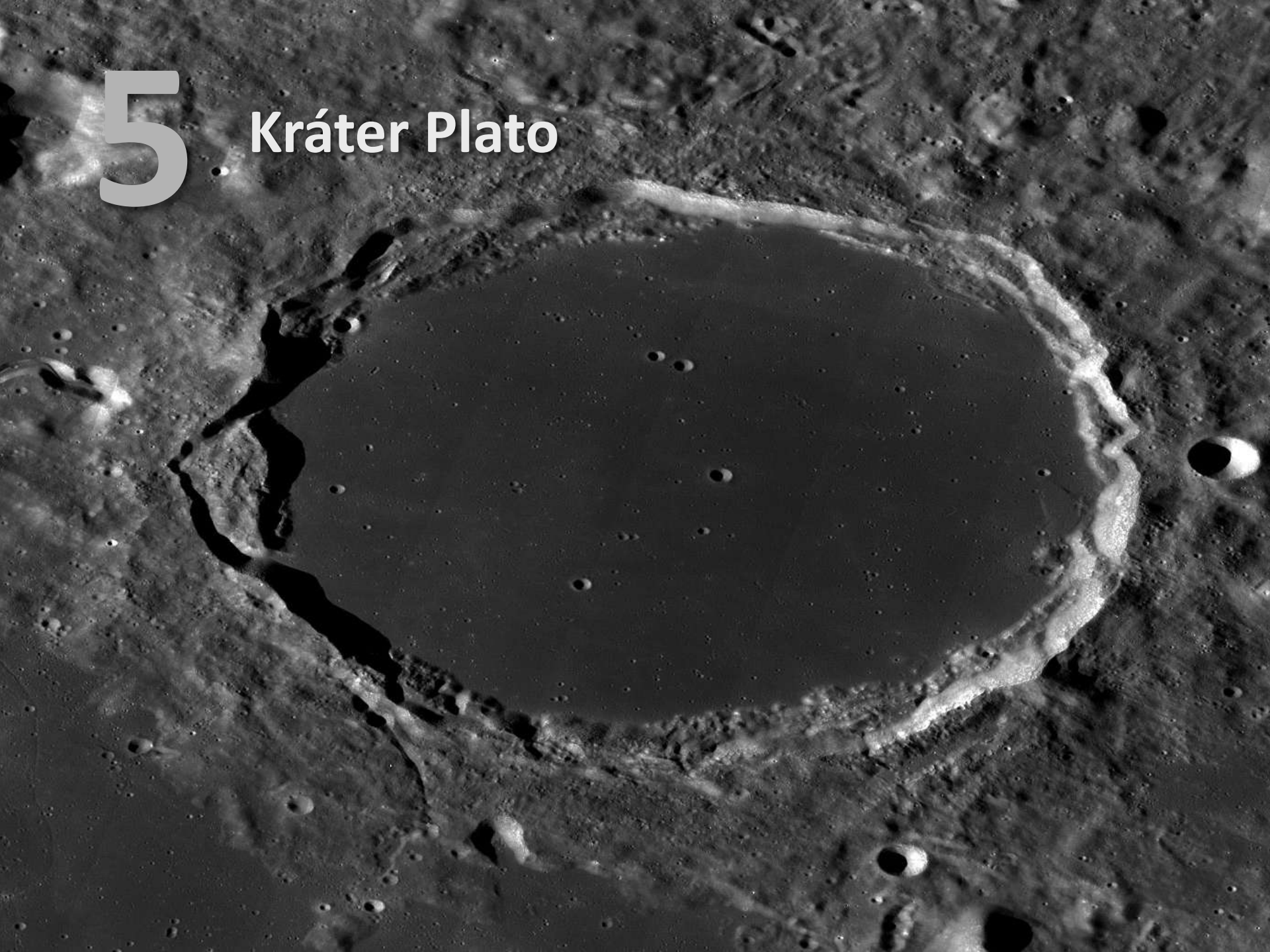


4 Kráter Humboldt



5

Kráter Plato



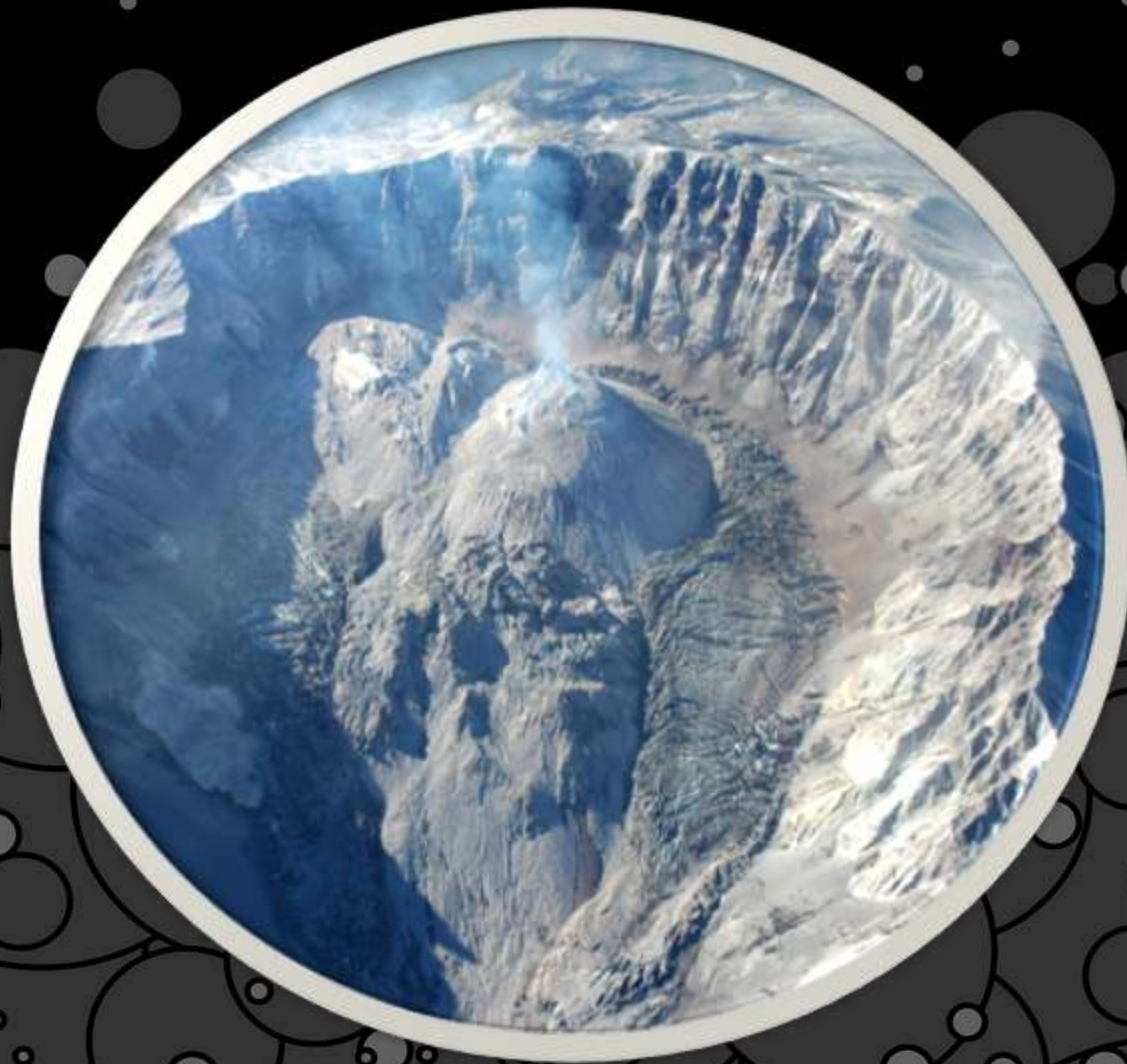
5

Kráter Plato



6

Lunární dómy



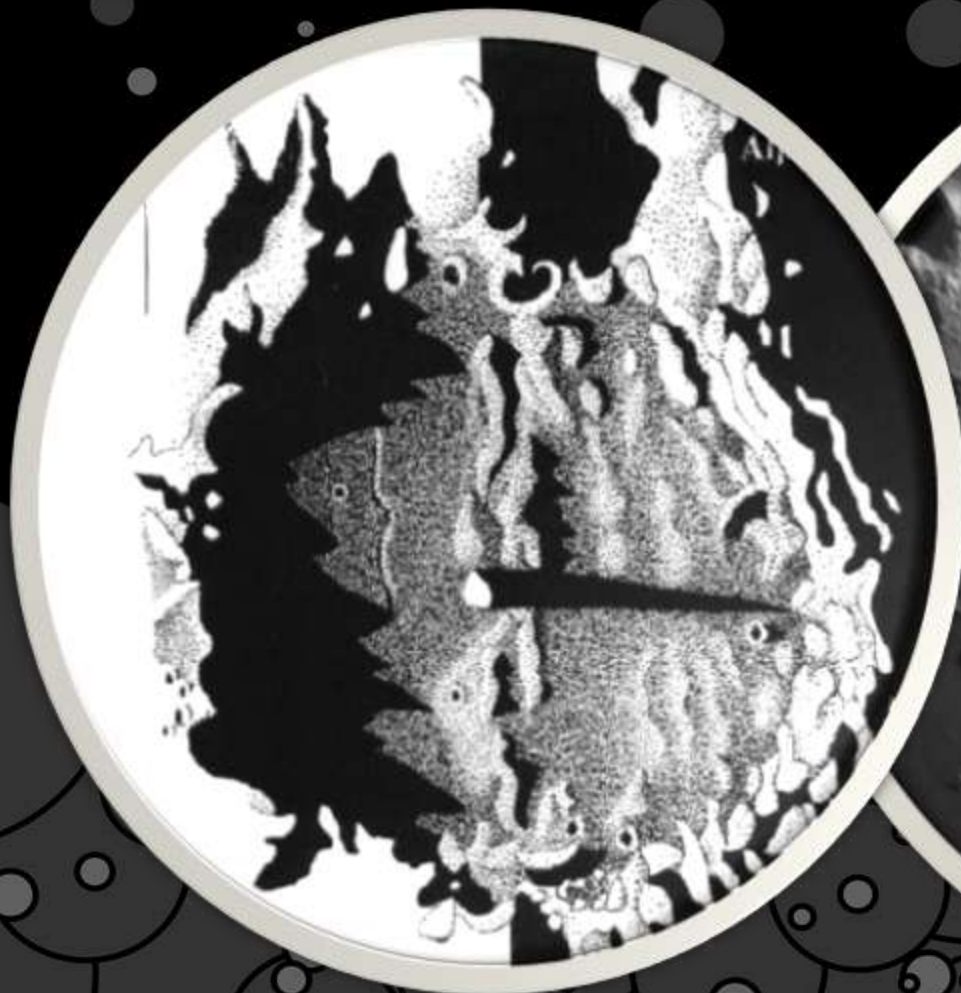
6

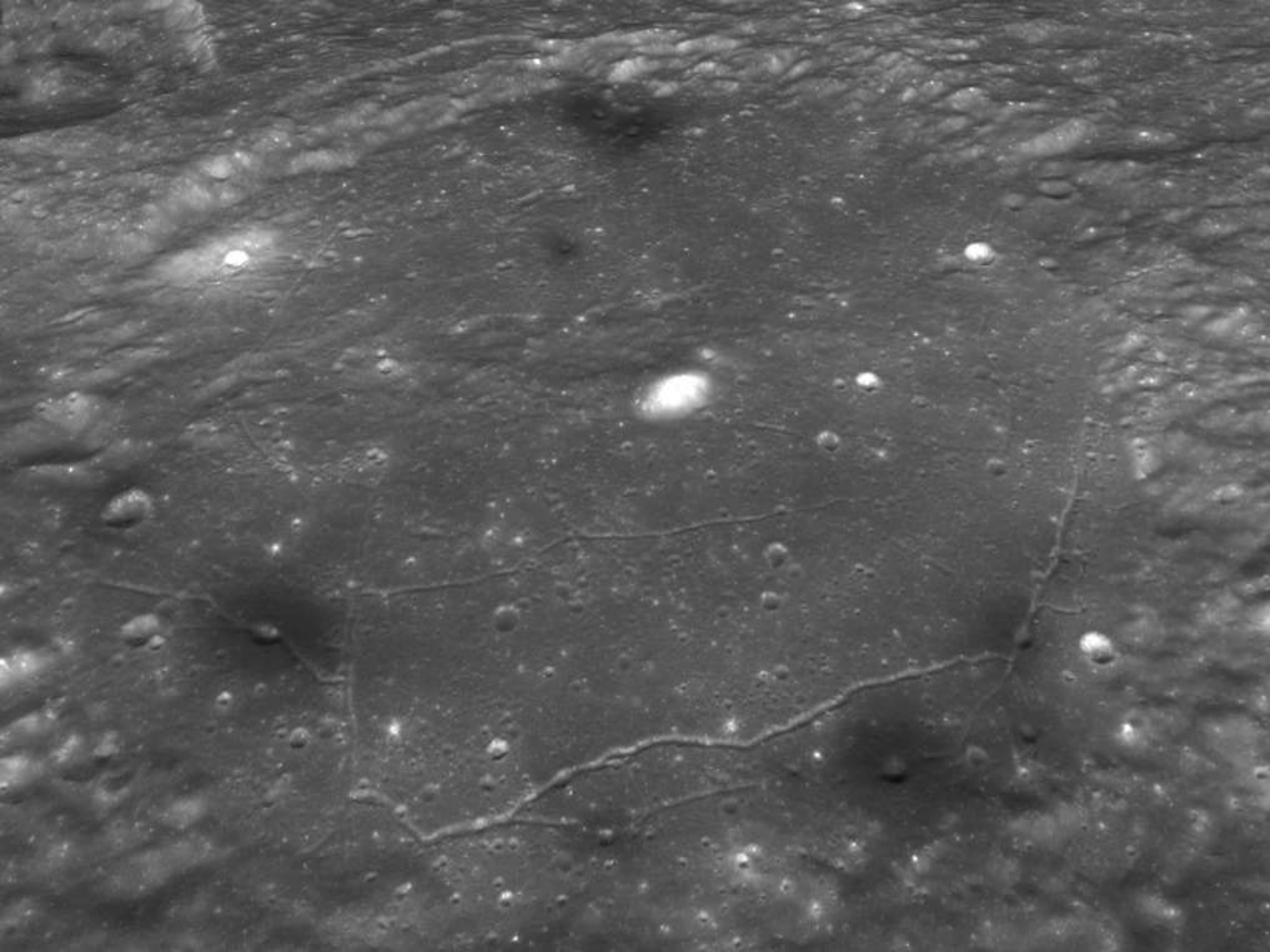
Lunární dómy u kráteru Arago



7

Sopky v kráteru Alphonsus





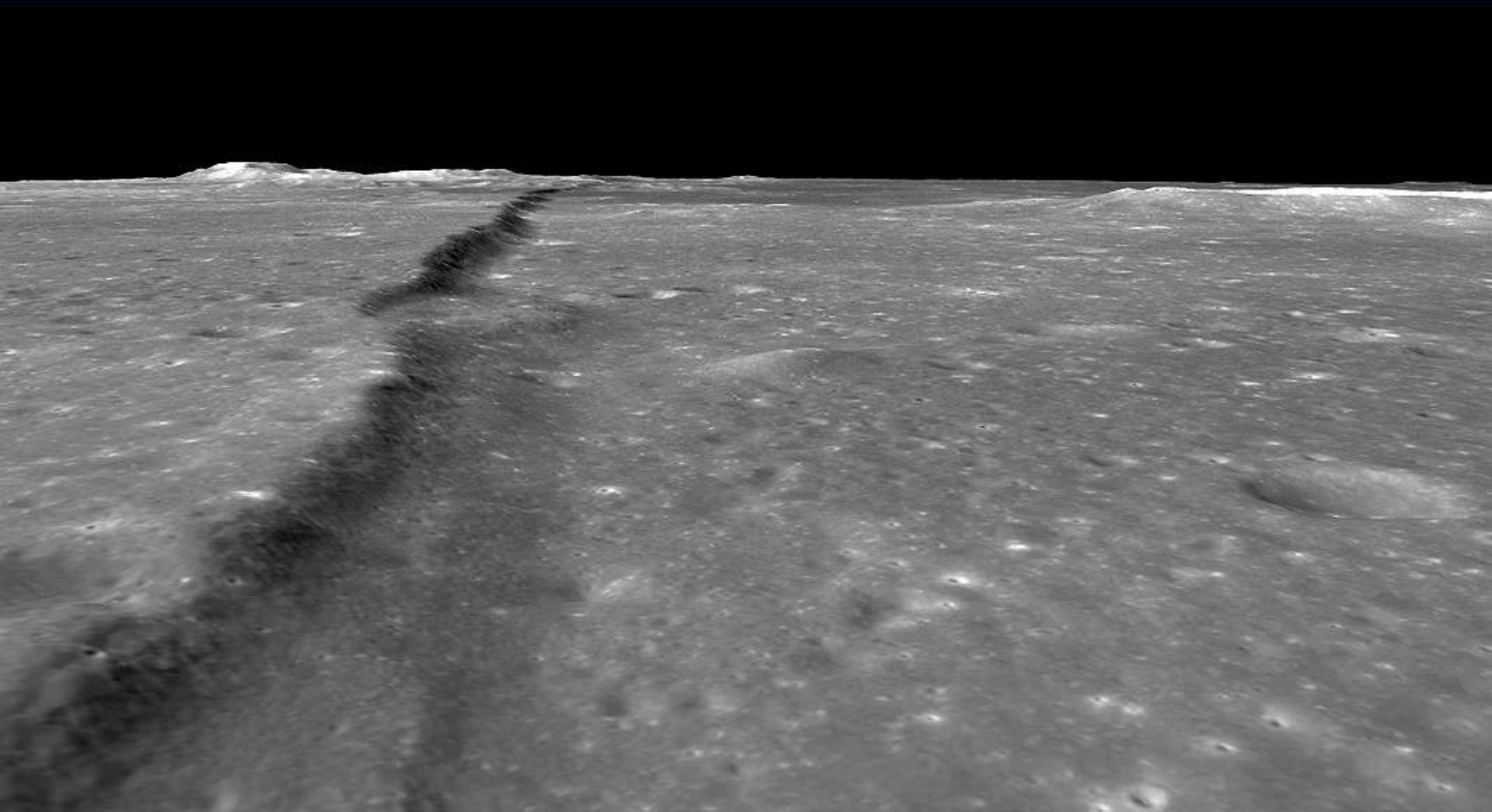
8

Zlom



8

Přímý zlom



9

Skla



Foto: Marin Myslivec

9

Schróterovo údolí



10

Ariadaeova brázda

- délka 220 kilometrů
- šířka až 4 km, stěny stovky metrů vysoké



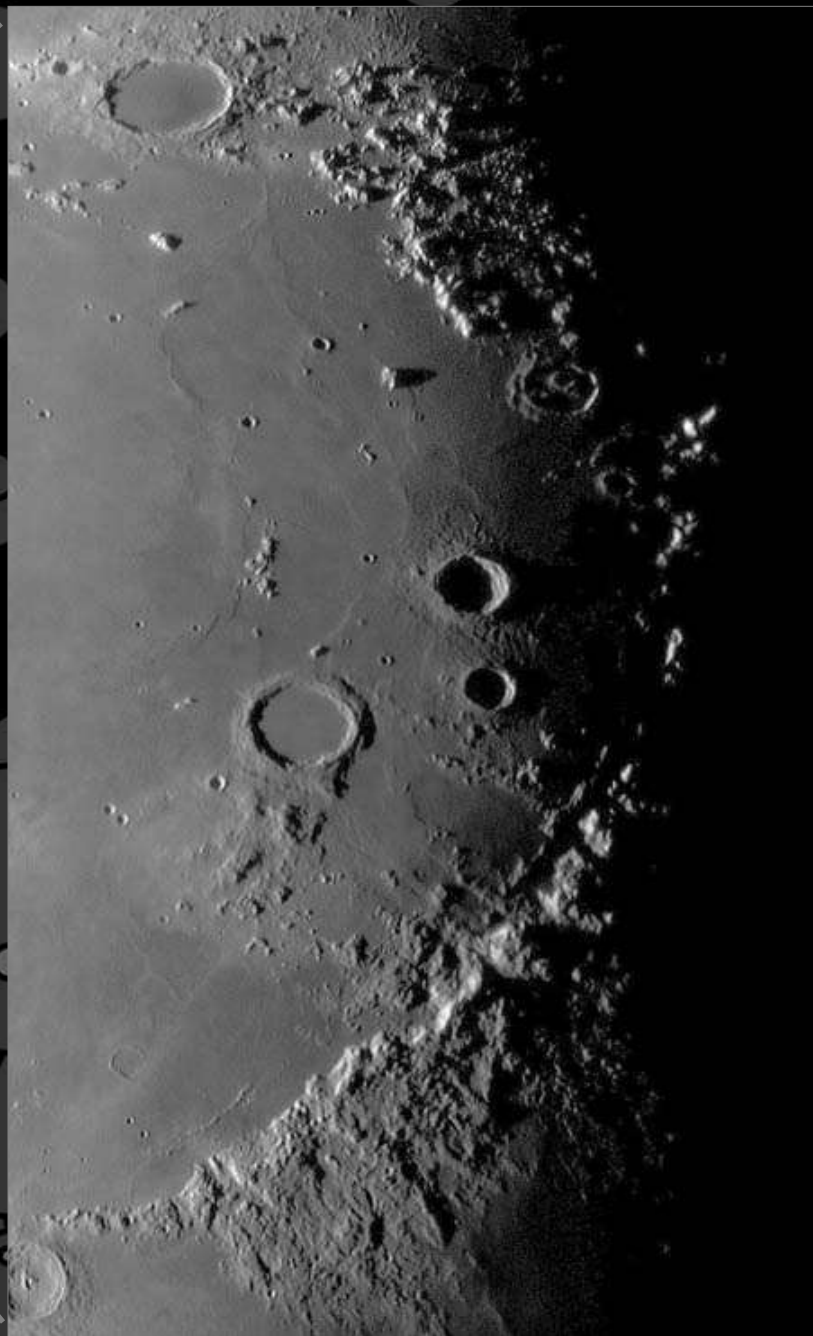
10

Ariadaeova brázda



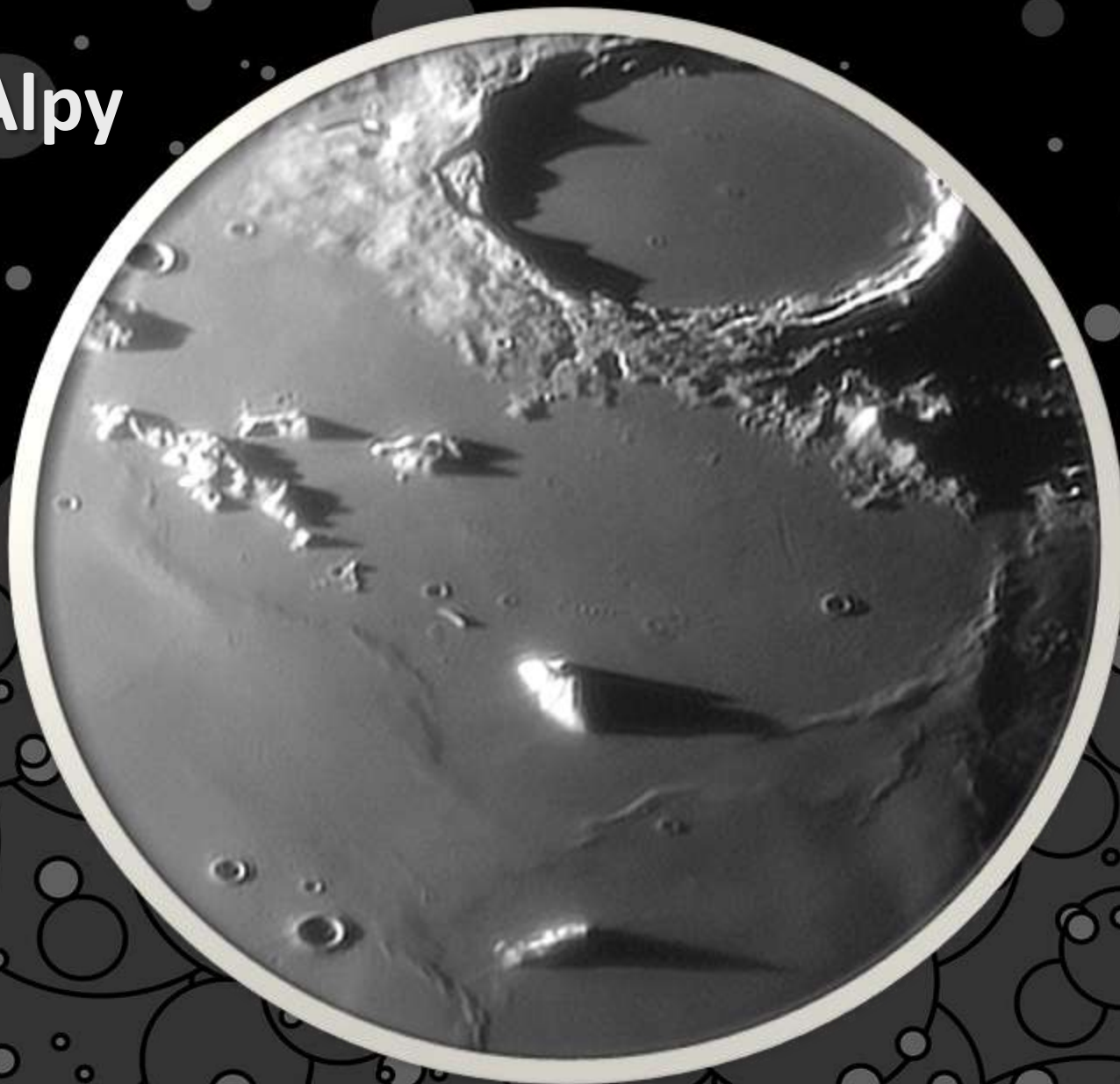
11

Alpy



11

Alpy



12 Měsíc



Martin Dietzel a Mario Sämisch, Itálie 18. 8. 2011

12 Měsíc



Měsíc promítnutý pomocí 8,2metrového VLT dalekohledu na observatoři Paranal v Chile.
Obraz Měsíce má průměr přes jeden metr!
Foto: Gerhard Hüdepohl

Měsíční dvanáctka

Pavel Gabzdyl

Hvězdárna a planetárium Brno



<http://www.facebook.com/prohlidka.mesice>



<http://mesic.astronomie.cz>