

A dramatic night sky scene featuring a bright meteor streaking diagonally from the upper left towards the lower right. The meteor's trail is composed of many small, glowing orange and yellow segments. In the upper center, a large, bright yellow sun or moon is visible. The lower portion of the image shows a dark, textured surface, possibly the Earth's horizon or a body of water, with a faint, glowing blue and white trail of light reflecting off it.

Meteority...původ, geneze, složení,
stavby, klasifikace, příklady...

Mgr. Petr Gadas

Ústav geologických věd Brno

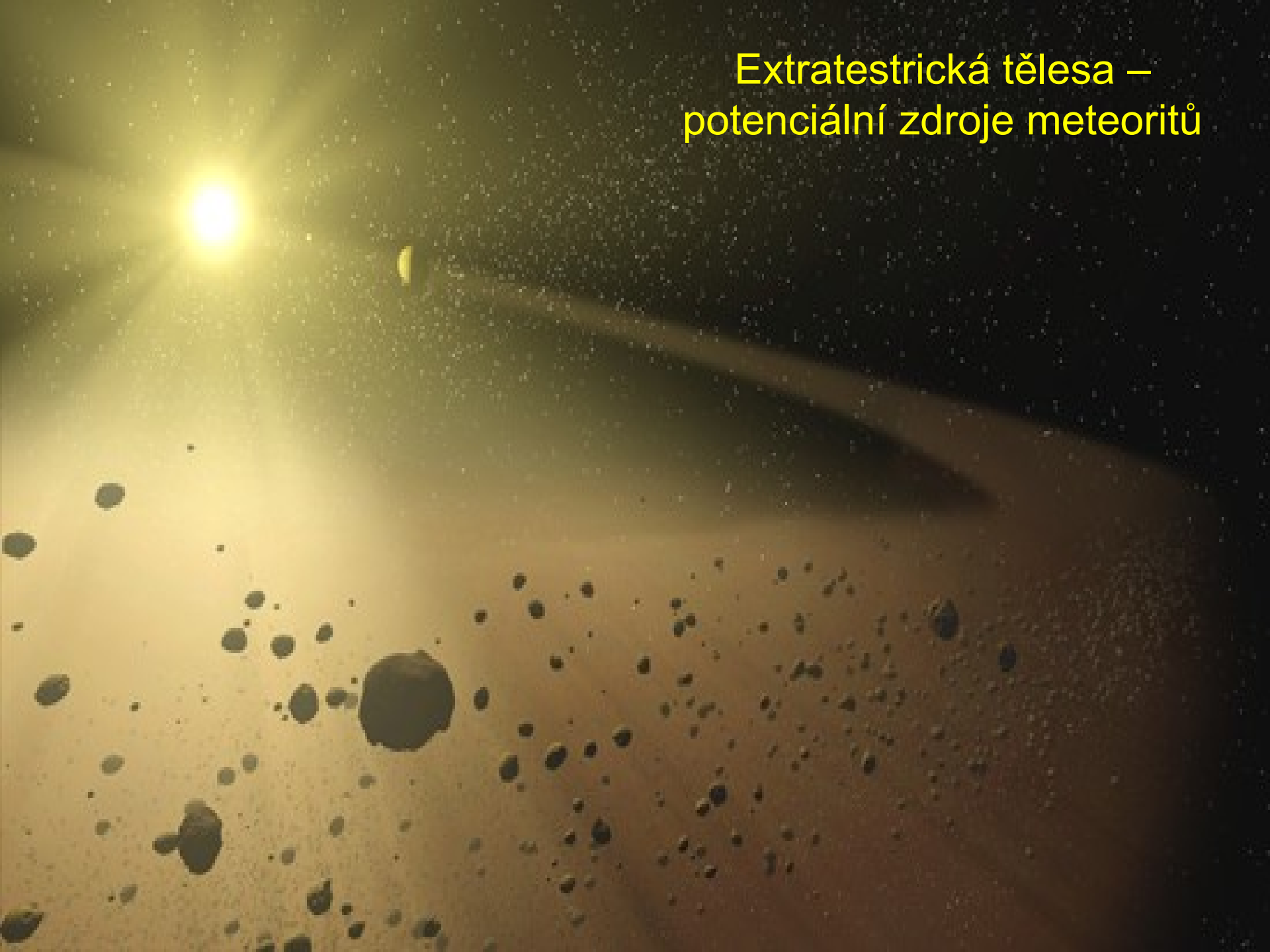
FRVŠ grant 2430-2010



Struktura přednášky:

- 1) Obecné pojmy – tělesa – potenciální zdroje meteoritů
- 2) Jevy spojené se vstupem extraterestrických tělese do zemské atmosféry
- 3) Meteority
 - historický přehled
 - vlastnosti – makroskopický vzhled, složení
 - klasifikace, příklady
- 4) Zajímavé a důležité pády, příklady ze světa a ČR

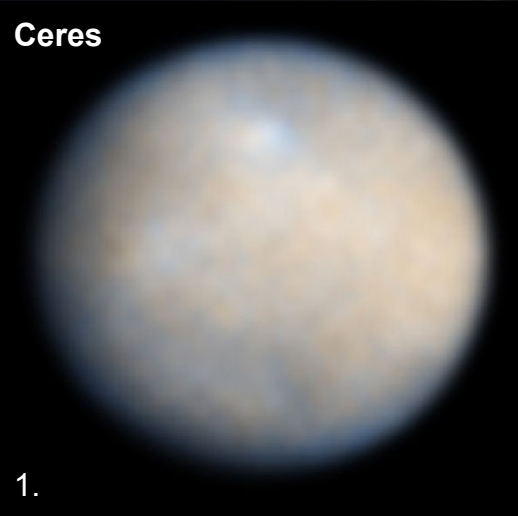
Extratestrická tělesa – potenciální zdroje meteoritů



Obecné pojmy – tělesa vs. jevy

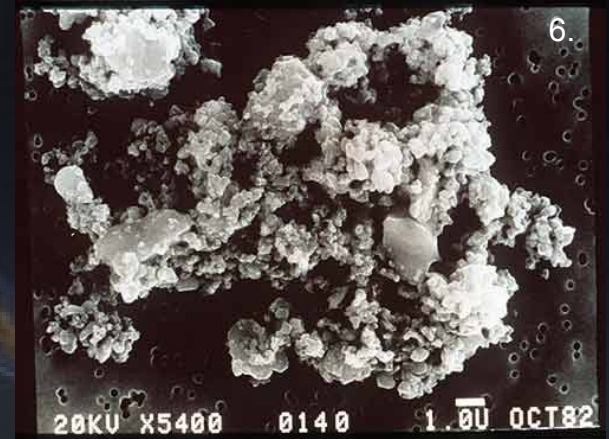
Planetka, asteroid, meteoroid, bolid, meteorit, meteoritický roj, IDP....jedná se o tělesa a hmotu vyskytující se v meziplanetárním prostoru a s nimi spojené jevy při vstupu do zemské atmosféry.

Ceres



Tělesa – planetka popř. astreoid, meteoroid, meteorit, IDP, apod.

Plantersville 1930.

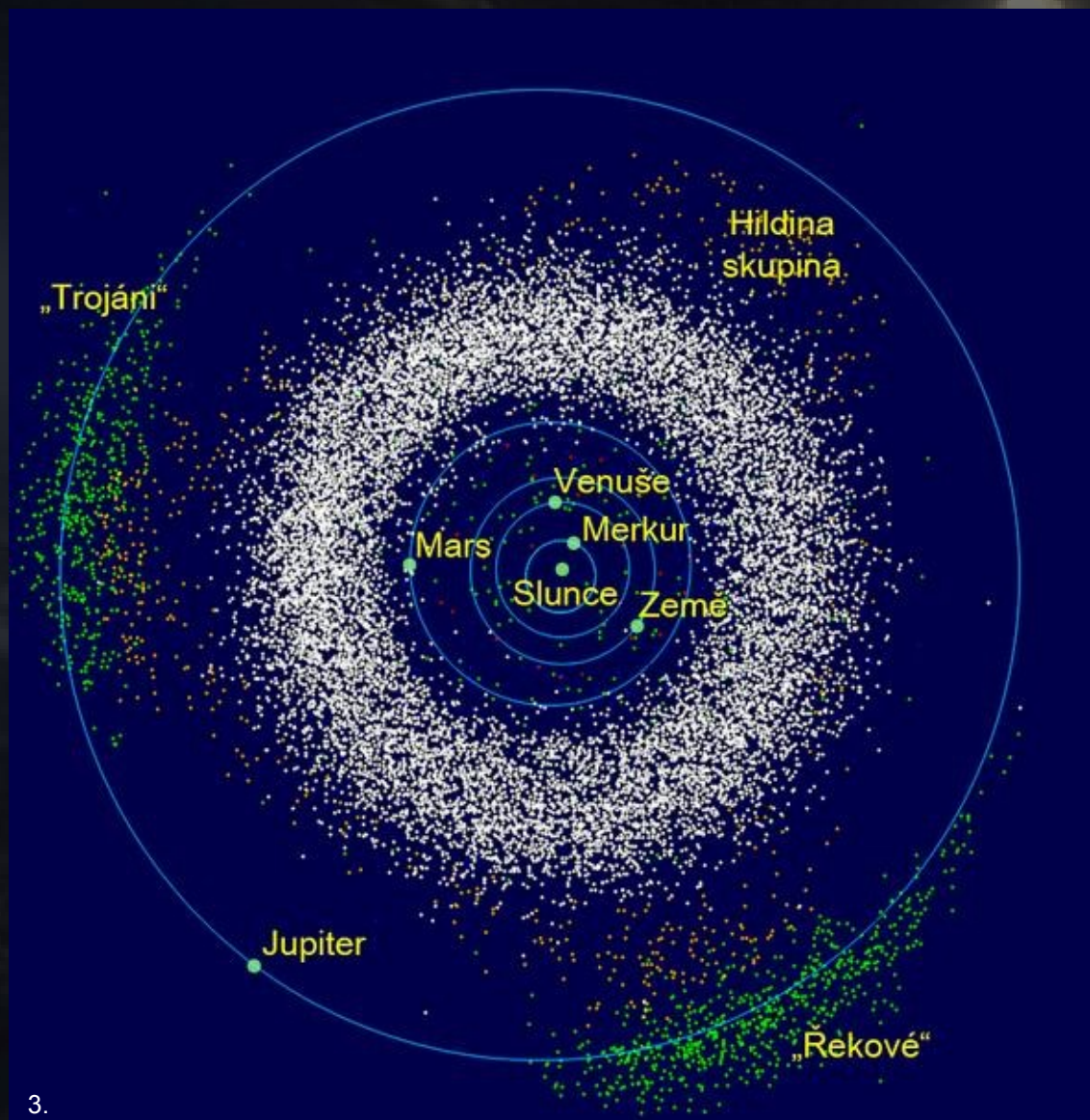


Jevy – meteor, bolid, meteorický roj



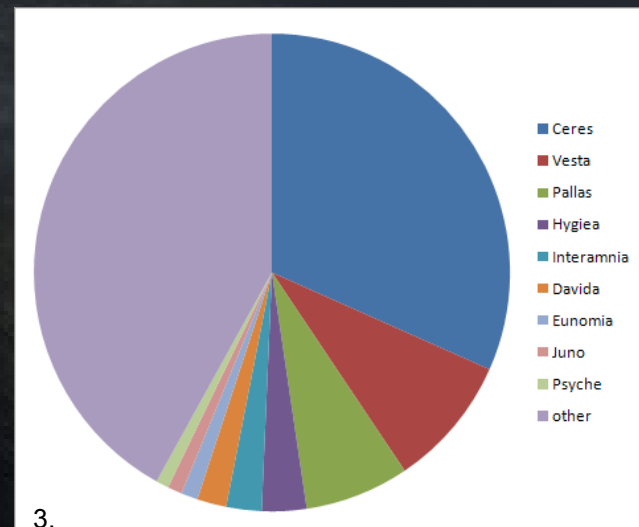
Planetky, asteroidy

Planetka - těleso o velikosti obvykle přes 100 m, podaří se určit jeho dráhu, nepřesné označení *asteroid* (aster-oid ..“podobný hvězdě“) je používáno dodnes.



3.

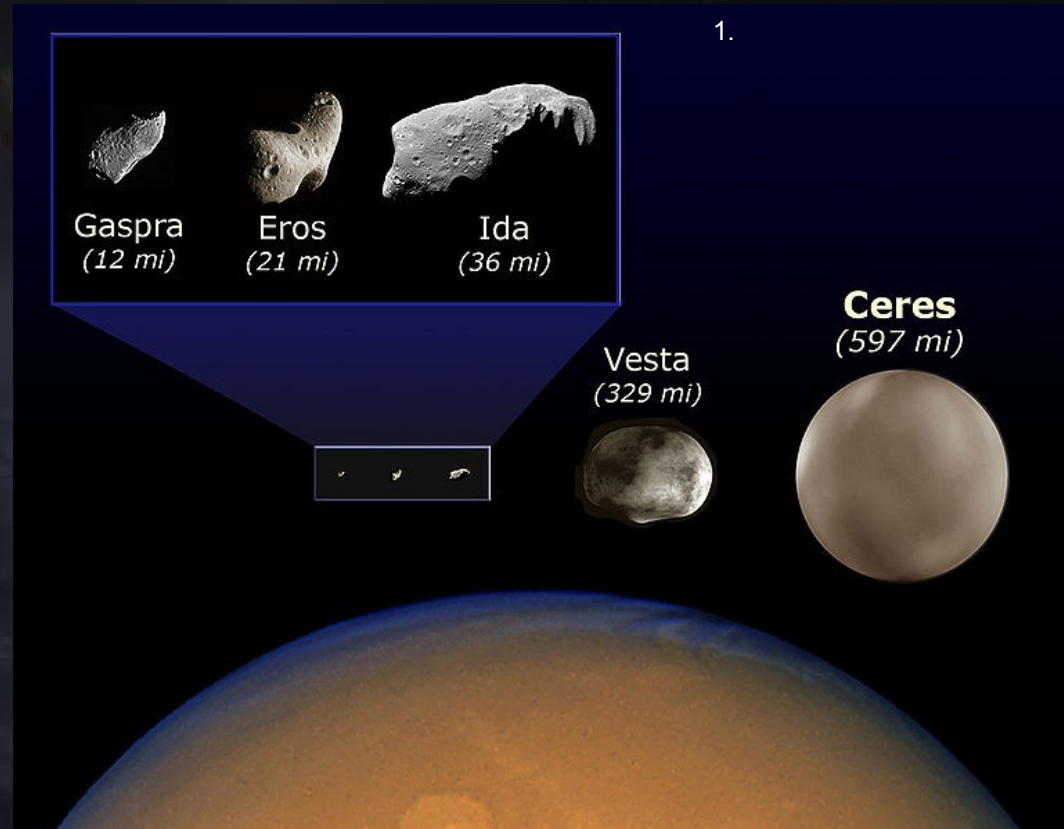
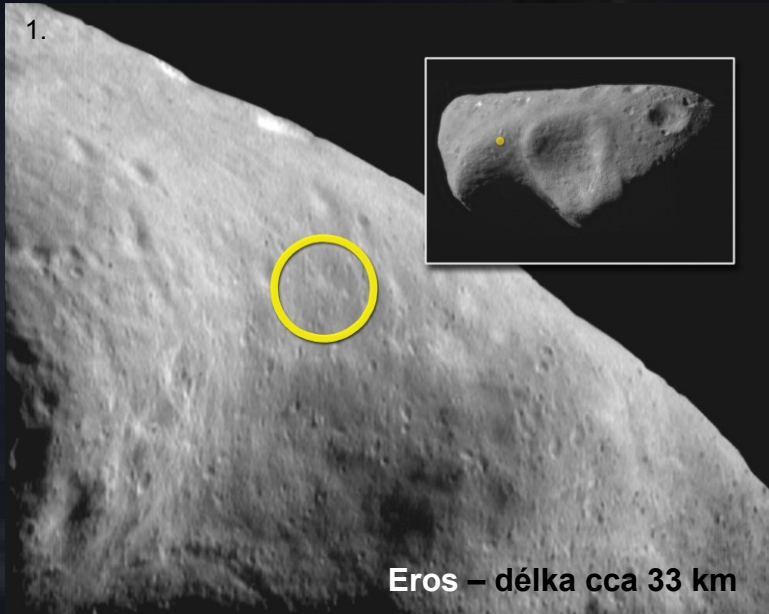
průměr nad	odhad. počet
100 m	25 000 000
300 m	4 000 000
500 m	2 000 000
1 km	750 000
3 km	200 000
5 km	90 000
10 km	10 000
30 km	1 100
50 km	600
100 km	200
200 km	30
300 km	5
500 km	3
900 km	1



3.

Planetky, asteroidy

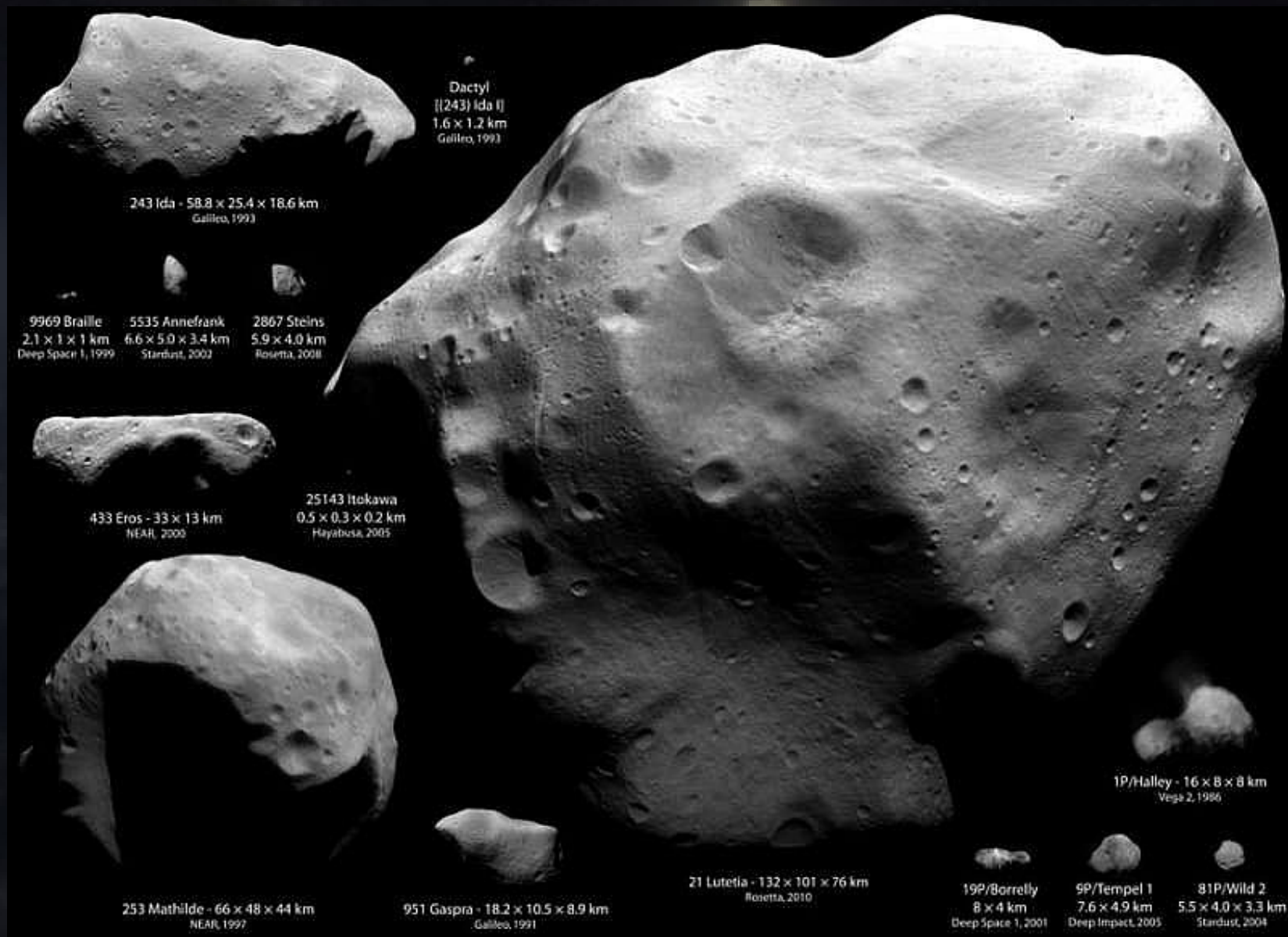
– dnes známo kolem 200 000 těles (odhad všech až 2mil.), charakterizují se dle oběžných drah a světelného spektra (spektrální klasifikace – **C**-carbonaceous, **S**-siliceous, stony – 17%, **X**-mixed, metall), dělí se do skupin (název dle prvního tělesa) a do rodin (vznik rozpadem větších tělesa-cca 35% všech v hlavním pásu), největší těleso ve vnitřní části slun.soust. – CERES o průměru 975 x 909 km (původ ale v Kuiperově pásu).



Gaspra nemá velké krátery – relativně mladý povrch, Eros i Ida mají i velké krátery – důkazy o velkých impaktech.

Planetky, asteroidy

- srovnání absolutní velikosti některých planetek s vybranými kometami (pravý dolní roh), pod názvem uvedeny rozměry v km a jméno sondy, která pořídila snímek, 65.



Planetky, asteroidy

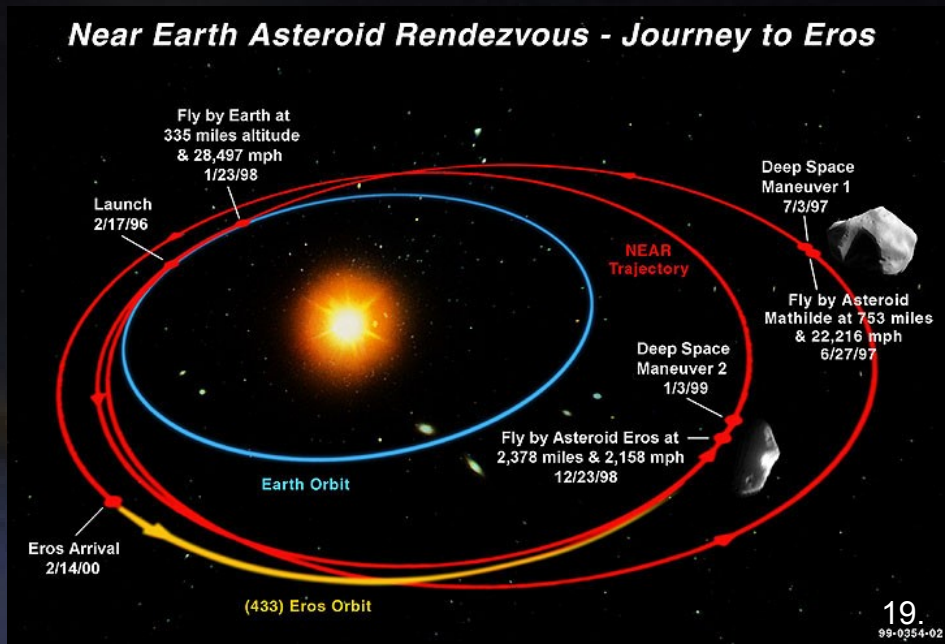
Blízkozemní planetky – Near Earth Objects – NEOs

tělesa mimo hlavní pás asteroidů, s nímž však některá stále udržují vazbu (např. v něm mají svá aphelia). Všechny NEOs mají svá perihelia do vzdálenosti 1.3 AU, některé i uvnitř oběžné dráhy Země (až na 0.983 AU) a např. planetka 1862

Apollo se dostává i do orbitu Venuše (pod 0.72 AU). Dnes známo více než 982 NEOs a předpokládá se, že minimálně 20% zůstává stále neobjeveno.

Potenciálně rizikové objekty – Potentially Hazardous Objects – PHOs

– objekty s trajektoriemi blížícími se k Zemi na méně než 0.05 AU (zhruba 7.5 mil. km) s magnitudou do 22.0 (při prům. albedu 13% jde o objekty do 150 m). Dodnes podrobné informace o planetce 433 EROS (sonda NEAR – Shoemaker - kontakt 12.2 2001) a planetce 25143 ITOKAWA (sonda JAXA Hayabusa – přiblížení v pol. září 2005)



hustota 2.4 g/cm³,
kolísání
teplot od -
150-100 C,
materiál na
povrchu
pochází z asi
1mld starého
kráteru.

59 x47 km

NEAR Flyby of
Asteroid 253 Mathilde
27 June 1997

Nízké albedo kolem 4%, nízká hustota 1.3 g/cm³, frag-
ment CM-chondritu?, rubble pile planetka?

Planetky, asteroidy

20.

Itokawa



Důležitou skupinou planetek jsou tělesa typu **Rubble pile** („skládka, hromada sutí“). Předpokládá se, že vznikly akrecí materiálu detsruované planetky po nárazu srovnatelně velkého tělesa. Jsou důkazem, spolu s přítomností četných impaktních kráterů na jiných planetkách, že běžně dochází k vzájemným střetům a tím produkci mimo jiné i meteoroidů. Odhaduje se, že zpětná akrece fragmentů trvá hodiny až týdny. Tento typ planetek má nižší hustotu než ostatní typy a obvykle postrádají zřetelné impaktní krátery. To je způsobeno relativně vyšším množstvím volných prostor mezi jednotlivými fragmenty, jejichž vzájemné tření spolu s velmi nízkou gravitací zabraňuje kompakci celku. U větších těles vlivem větší gravitace dojde ke kompakci a tím mohou být setřeny projevy kolizí s většími tělesy.

Existují i tzv. **dvoipplanetky** (např. Ida, Kaliope, Camilla aj.) nebo i **trojplanetky** (např. 87 Sylvia 45 Eugenia). Jde o soustavy dvou nebo tří izolovaných těles se společným těžištěm. Vznik těchto soustav se dává do souvislosti s kolizemi a neúplnou akrecí, popř. s gravitačním zachytem blízkoletících těles a vyloučena není ani hypotéza vzniku rotačním rozpadem. Vzácně byly identifikovány kontaktní binární planetky. Množství „sutí“ vzniklé při kontaktu může být velmi proměnlivé (J).

Snímek sondy Galileo 1993 →

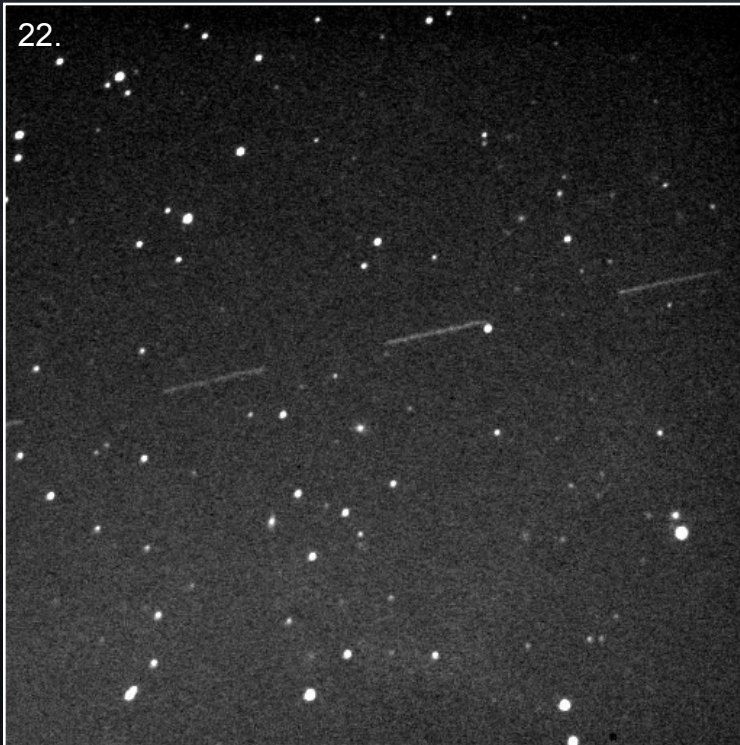


Meteoroid

Meteoroid – těleso meziplanetární hmoty (v rámci sluneční soustavy) o velikosti od mm do zhruba 100 m. Tělesa o velikosti zlomků mm se někdy označují jako mikrometeoroidy. Jejich vznik je spojován nejčastěji s kolizemi větších těles v hlavním pásu planetek. Vzhledem k velikosti jsou ve vesmíru nepozorovatelné na rozdíl od jejich pádů na Zem (viz meteor, meteorit). Mikrometeoritů dopadá na Zem denně několik milionů, těles nad 1 m zhruba 1 denně – pozorování bolidu.

Rychlosti a směry pohybu - většina drah meteoroidů je víceméně paralelních s rovinou ekliptiky s excentricitami srovnatelnými s hlavním pásem asteroidů. Směr vůči Zemi je souhlasný nebo proti směru oběhu Země kolem Slunce. To následně ovlivňuje rychlost vůči Zemi, kdy se rychlosti buď sčítají nebo odečítají.

Původ – drtivá většina má původ v rozpadu větších těles – asteroidů či planetek, méně z komet. Většina se jich tedy nachází v hlavním pásu planetek.



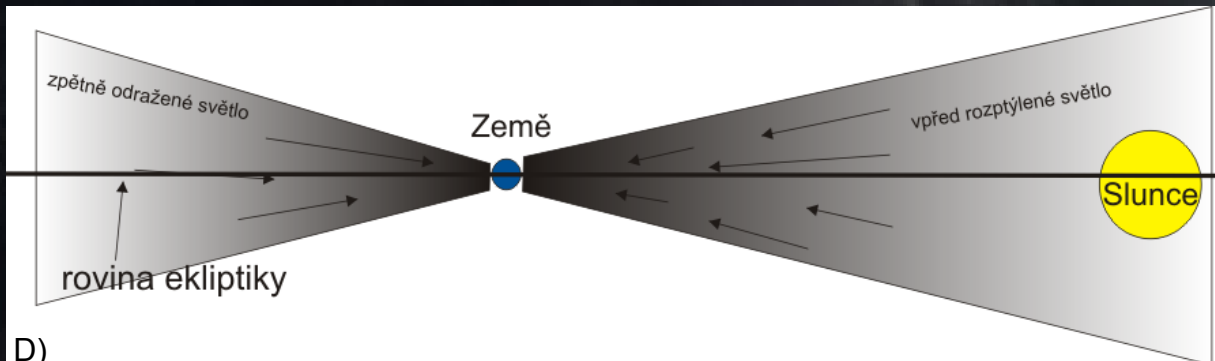
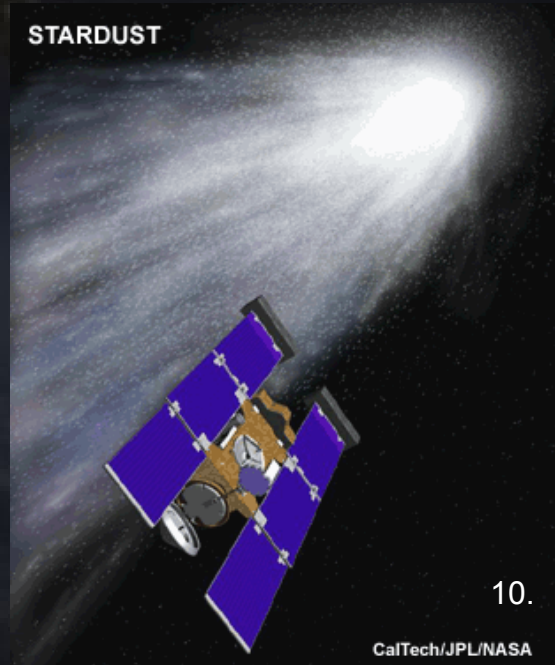
Výjimečný případ pozorování meteoroidu se podařil 6. října 2008, kdy došlo k objevu tělesa s odhadovanou velikostí 5m, přičemž bylo zjištěno, že má kolizní dráhu se Zemí. Výpočet ukázal dobu i přibližné místo dopadu, což se po 19 hodinách potvrdilo a v Súdánské poušti byly později nalezeny jeho zbytky – meteority, podrobnosti v kapitole meteority. Těleso dostalo označení 2008 TC3 a meteorit byl pojmenován podle místa nálezů *Almahata Sitta* (viz dále).

[..\\david\\meteory\\Meteor_Japan_2005-QV7JQQRI-yA.mp4](http://david.meteory.jp/Meteor_Japan_2005-QV7JQQRI-yA.mp4)

IDP – interplanetary dust particles

IDP – Interplanetary Dust Particles - jedná se v podstatě o mikrometeoroidy o velikosti od $1\ \mu\text{m}$ do prvních μm , zdrojem jsou jednak planety či asteroidy, resp. jejich kolize, dále komety (až 50%) a za třetí zdroj se považuje mezihvězdný prostor. Při jejich pádu na Zem nedochází k zahřátí vlivem relativně velkého povrchu vůči hmotnosti a jejich pohyb je řízen prouděním atmosféry a gravitací Země (kritická velikost cca $50\ \mu\text{m}$ pro vstupní rychlost $11,7\text{km/s}$). V ní mohou setrvat i několik týdnů. Optickým projevem je tzv. Zodiakální světlo – slabě viditelný světelný kužel většinou trojúhelníkového tvaru, viditelný po západu či před východem slunce, rozprostřený podél části roviny ekliptiky (resp. $1,3^\circ$ od roviny – v rovině inklinace Jupitera). Ve skutečnosti je odraz světla na IDP zodpovědný až za 60% světla na obloze viditelného za bezměsíčné noci a bez světelného znečištění.

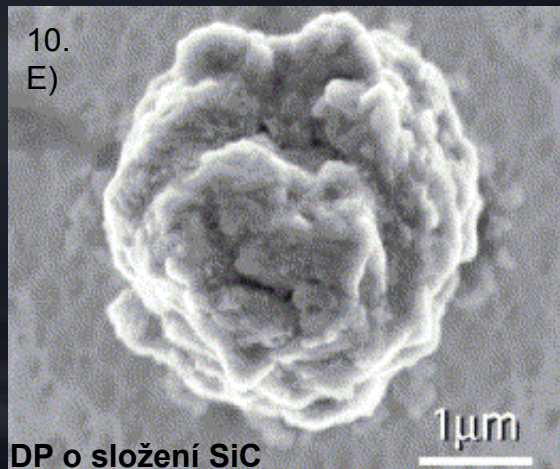
Denně dopadá na Zem přes 100 tun, jejich sběr probíhal ve výškách až 37 km pomocí kolektorů na balónech (60. léta), letadlech (20-35 km, U2- 70. léta, ER-2 – 90. léta - 10 letů – 300 IDP!). Dnes speciální družice – např. Stardust (2000-2004).



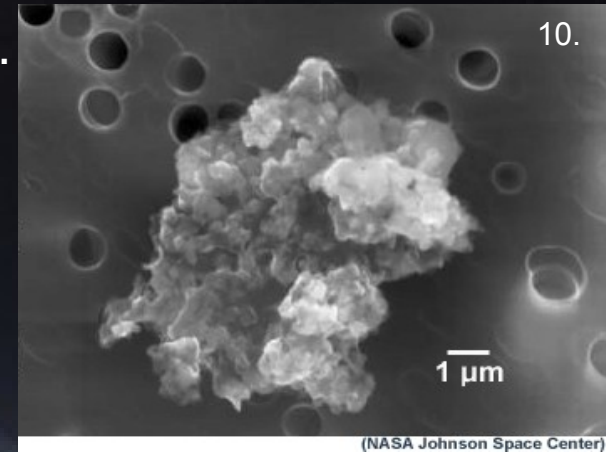
IDP - původ

Bylo zjištěno, že IDP původem z planetek koliduje s atmosférou menší rychlostí - kolem 12 km/s než IDP původem z komet – více než 20 km/s. Dnes výzkum EMP, lontovou sondou, TEM – částice mají velikosti nejčastěji 1-50 μm , větší jsou obvykle složeny z několika subzrn 1-3 μm velkých. Extrasolární DP jsou menší – nm až první μm .

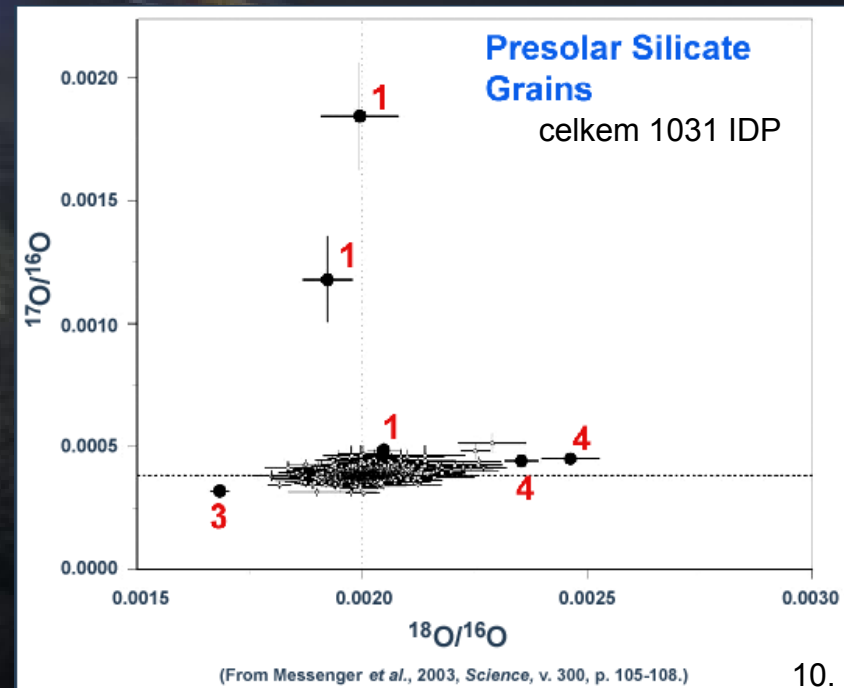
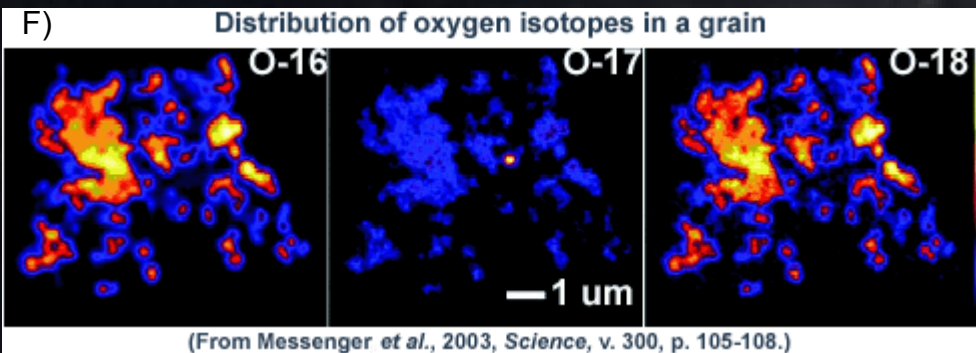
Překvapivě, extrasolární DP neobsahují silikáty, mají složení karbidů Si, Ti Zr, Mo Ru, Fe, dále slitiny Ni-Fe, nitrid Si, oxidy Mg, Al, Ca, Ti..



Studiem zjištěny IDP původem z mezihvězdného prostoru (např. poměry ^{17}O a ^{18}O ku ^{16}O)

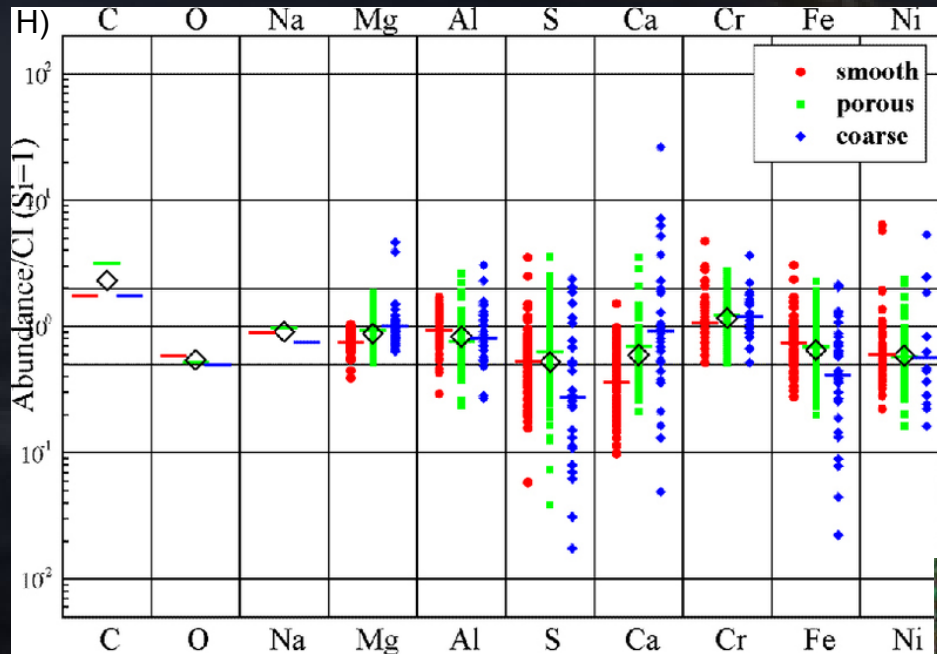
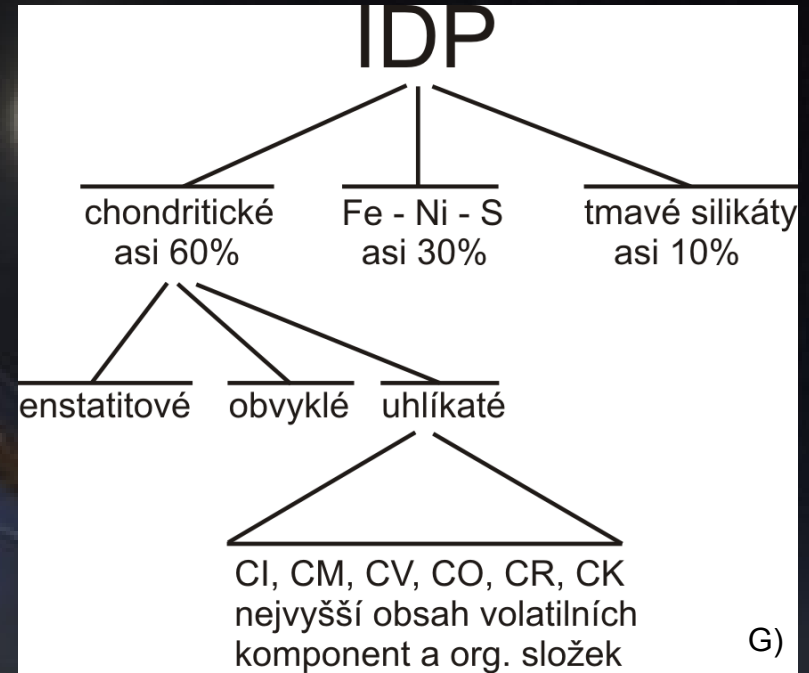


Jedno zrna evidentně odlišný poměr ^{17}O ku ^{16}O a ^{18}O prostřední obrázek.



IDP - složení

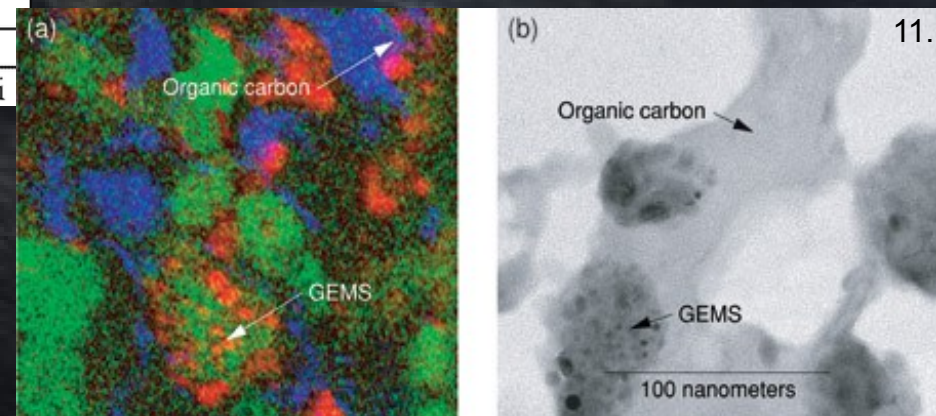
IDP se člení dle složení na chondritické, bohaté Fe-Ni-S a bohaté tmavými silikáty. Nejvyšší obsah volatilních a organických složek vykazují uhlíkaté chondritické IDP – obsah až 50% C na rozdíl od uhlíkatých chondritů s obsahem max 5% C. Jinak složení podobné jako u chondritů



Relativní průměrné složení asi 200 IDP v závislosti na velikosti, resp. mikrostruktuře.

Fotografie z TEM, zobrazující složení části IDP. GEMS – sklo s dispergovanými částicemi kovů a sulfidů

červeně – železo, zeleně – hořčík, modře - uhlík

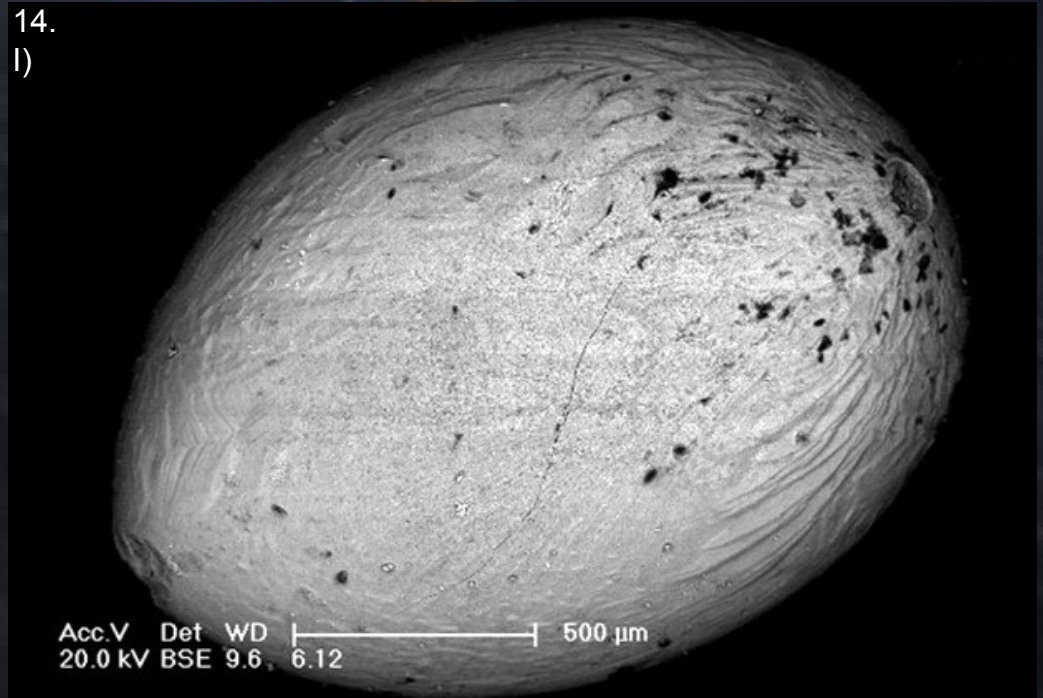
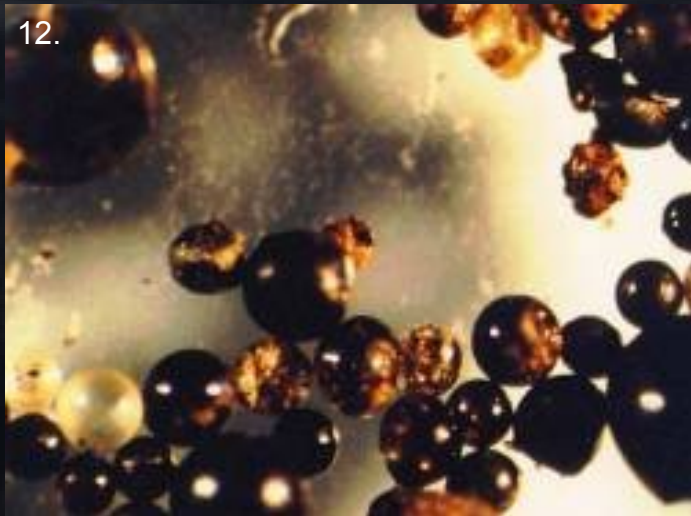


Mikrometeority, sférule

Při výzkumu hlubokomořských sedimentů byly objeveny i kulovité částice o velikosti X0 až 1mm. Podobné útvary byly zjištěny i ve věčně zamrzlých oblastech především Antarktidy. Jejich složení se blíží obyčejným chondritům (bezvodé silikáty Mg, Fe, Ca + Fe-Ni-S, sklo). Vzhledem k vyššímu obsahu platinoidů obsahují tyto sedimenty až stonásobně vyšší koncentrace ve srovnání s jinými sedimenty, především Ir. Polohy extrémně obohacené o Ir se interpretují jako sedimenty z období významných impaktních událostí (např. struktura Xicxulub - cca 65 Ma)



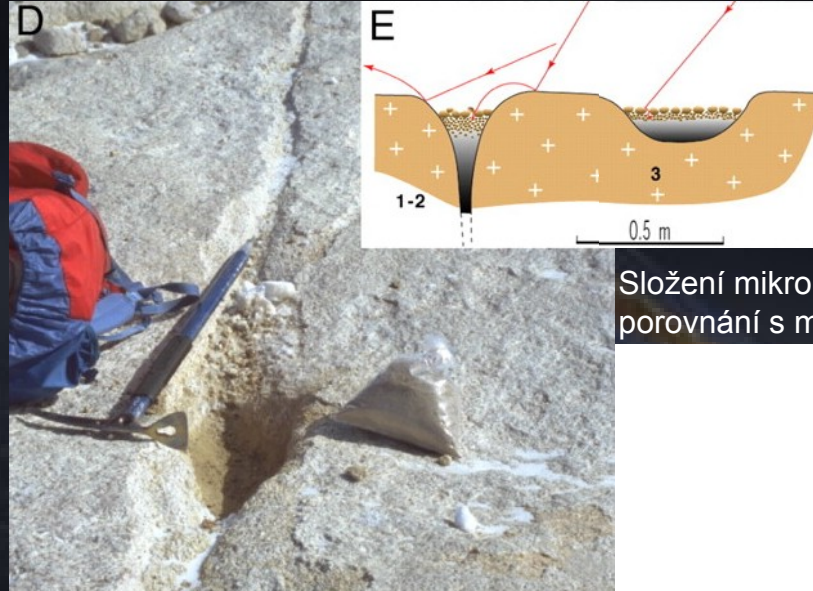
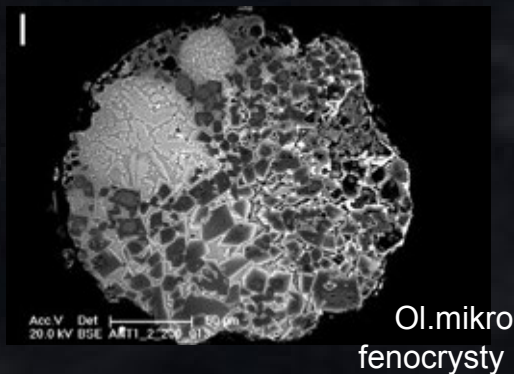
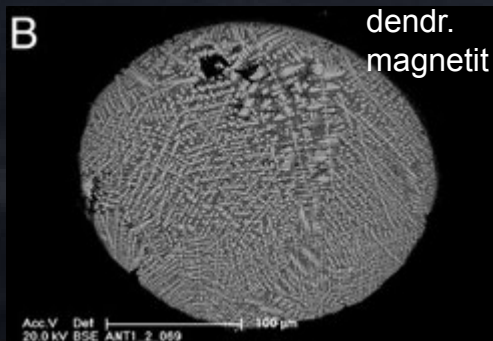
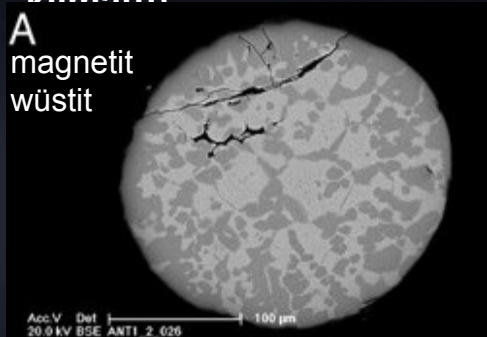
Jedná se nicméně v podstatě o ablační produkty především železem bohatých meteoritů. Jsou černé a magnetické, což usnadňuje jejich sběr ze dna oceánů. Kromě magnetitu obsahují taenit a silikáty. Díky svému vzniku jsou relativně ochuzeny o uhlík, sodík a síru, které se při tavení odpařily. Složením jsou blízké kůrám meteoritů.



Mikrometeority, sférule

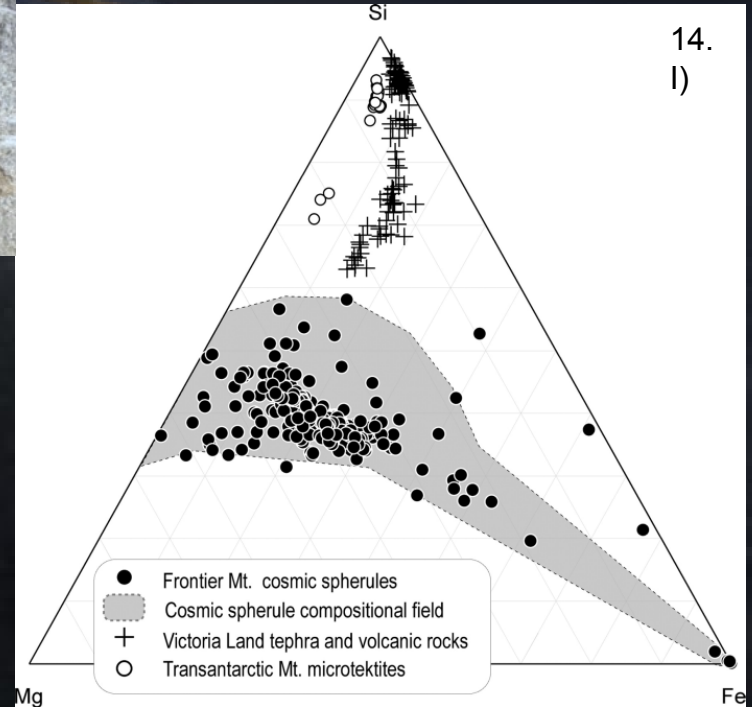
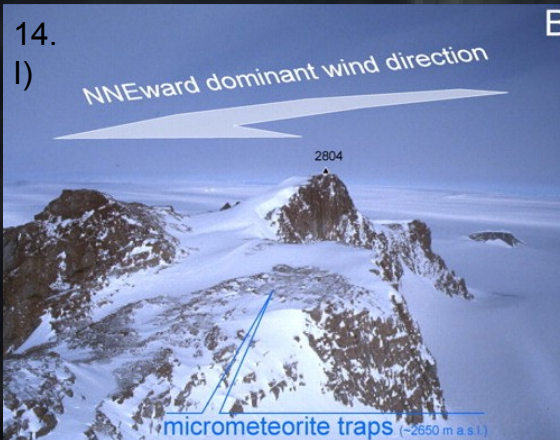
V některých oblastech Antarktidy, Grónska, Nové Země v Rusku apod. nalezeny přírodní pasti s akumulací tohoto materiálu, podobně jako u meteoritů. Složení těchto sférolitických útvarů je velmi blízké materiálu z hlubokomořských prostředí.

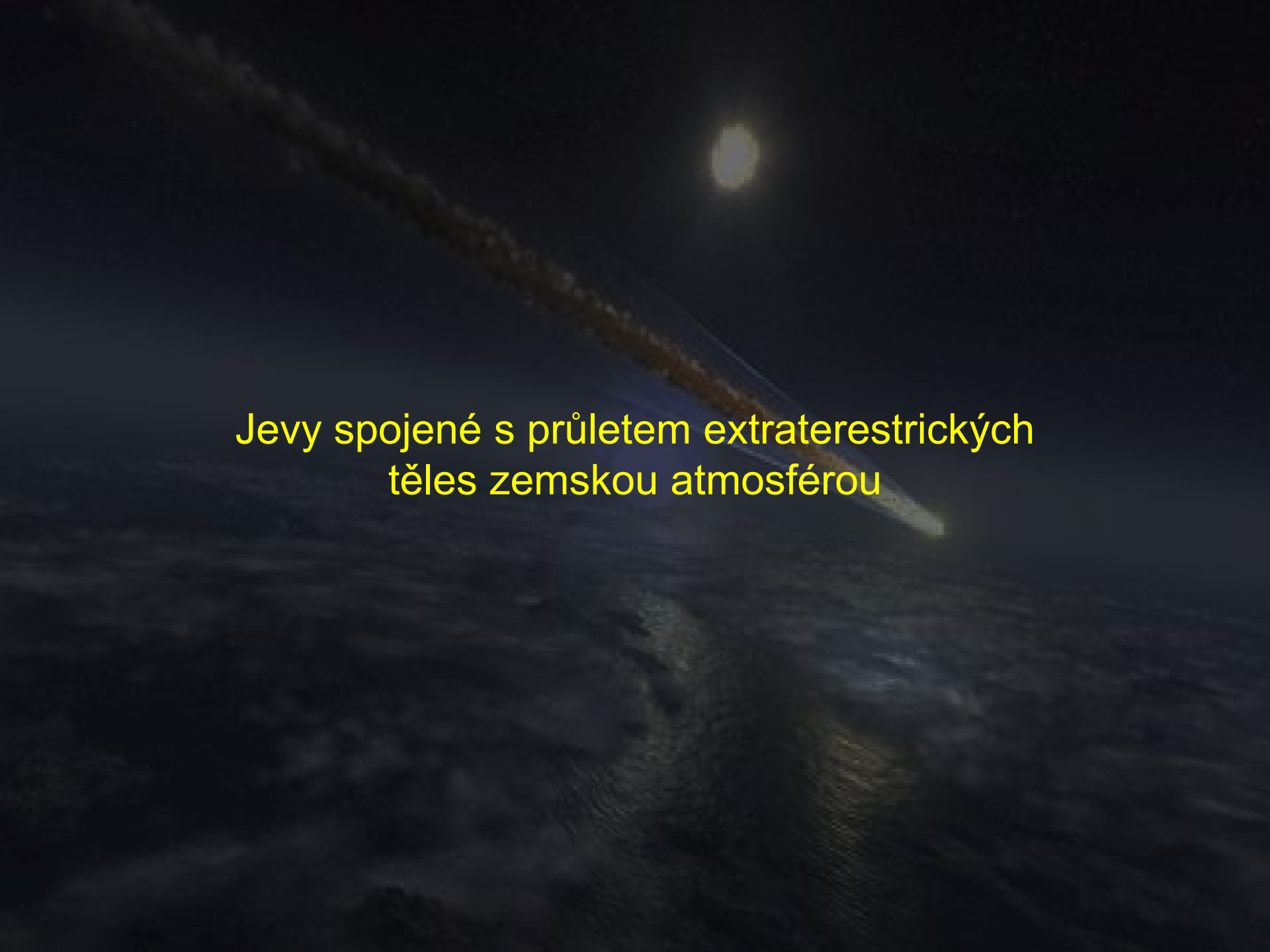
Méně běžné jsou známy z prostředí pouští, plážových písků, neboť relativně snadno zvětrávají (přežití se odhaduje na max. stovky až tisíc let v běžném terestrickém prostředí, až 1 milion let v suchém klimatu).



← přírodní pasti

Složení mikrometeoritů z transanarktických hor v porovnání s mikrotektity a terestrickým mat. (at. %).

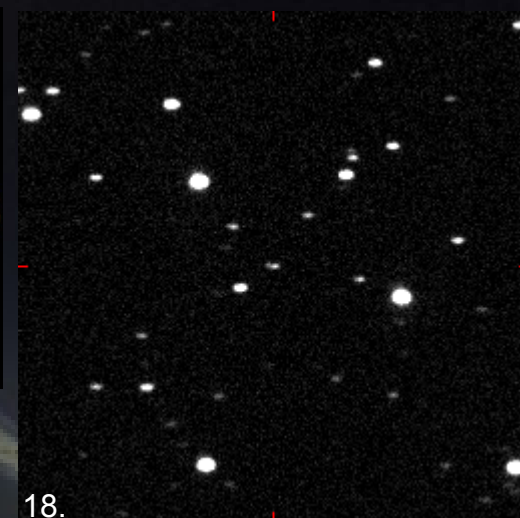
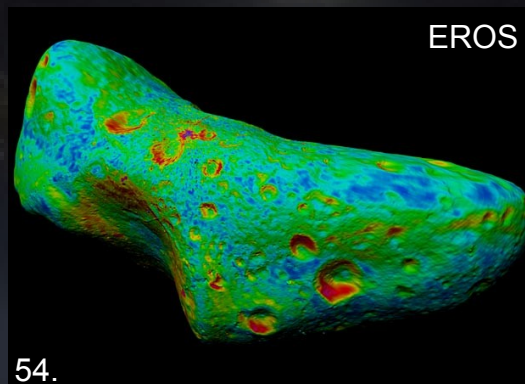
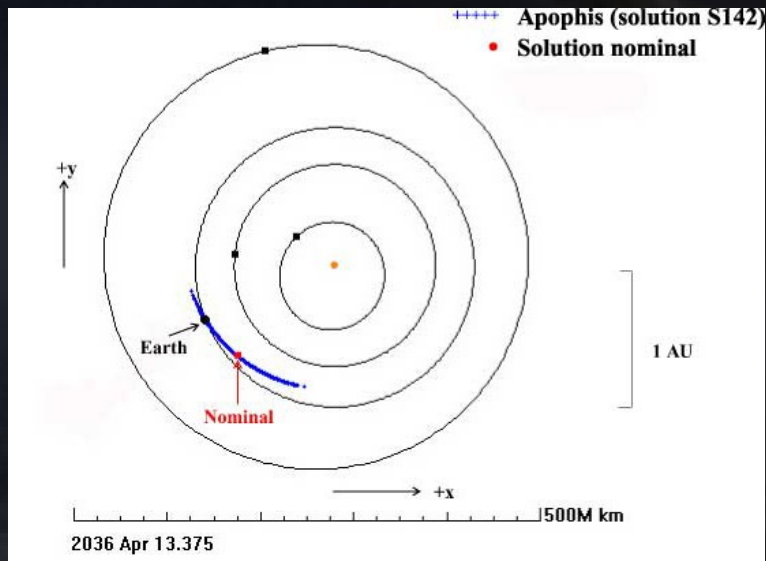


A photograph of a meteor streaking across a dark night sky. The meteor is a bright, elongated white and yellow line, angled from the upper left towards the lower right. In the upper center, a bright, circular celestial body, likely the sun or moon, is visible. The lower portion of the image shows a dark, textured surface, possibly water or a forest canopy, reflecting some of the light from the meteor.

Jevy spojené s průletem extraterestrických
těles zemskou atmosférou

Průlet planetky

Průlet planetky – ve výjimečných případech lze pozorovat za vhodných podmínek pouhým okem průlet planetek, příkladem je Vesta nebo případ planetky Apophis (velikost cca 270m) v roce 2004, jež je v současné době intenzivně sledována z důvodu relativně vyšší pravděpodobnosti srážky se Zemí v r. 2029 a 2036 (přiblížení na vzdálenost kolem 37 000 km - viz. Torino impact hazard scale)



Planetka 2004 FH



Planetka 99942 APOPHIS

Pás největší
pravděpodob-
ností dopadu
planetky 99942
Apophis v roce
2029



Meteory, bolidy

Meteor – název pochází z řeckého *metéoron* – jev na obloze. Jde o stopu ve viditelné části spektra, vzniklou při průniku relativně malého tělesa (mm-cm) do atmosféry třením, zahřátím a tím ionizací molekul v atmosféře. Jev vzniká ve výšce kolem 100-120 km a délka trvání je od zlomků sekund po první sekundy. Bez zvukových projevů.



Norsko 13. 12. 2009 Geminidy

Bolid – z řeckého *..bolis (βολίς)..s významem střela, záblesk..* stopa ve viditelné části spektra, vzniklá při průniku tělesa o velikosti desítek cm až několika metrů do atmosféry. Od meteorů se liší výrazně vyšší jasností (vyšší než Venuše – magnituda pod -4.5) a délkou trvání od několika prvních sekund po první desítky sekund, zároveň jsou časté zvukové projevy (dunění, výbuchy apod.) spojené buď s rozpadem (výbuchem) meteoroidu nebo průletem atmosférou, jejím rozrážením a opětovným nárazem za meteoroidem. Často pozorovatelná i fragmentace tělesa během pádu. Velikost meteoroidu bývá

odhadována na základě jasnosti bolidu dle vztahu:

$$m = e^{- (0.3 + 0.4 M)}$$

kde m = odhadovaná hmotnost
 Mmagnituda



15.

Kalifornie 14. 12. 2009 Geminidy

Bolid Perth
z. Austrálie
3.12. 2005



33.

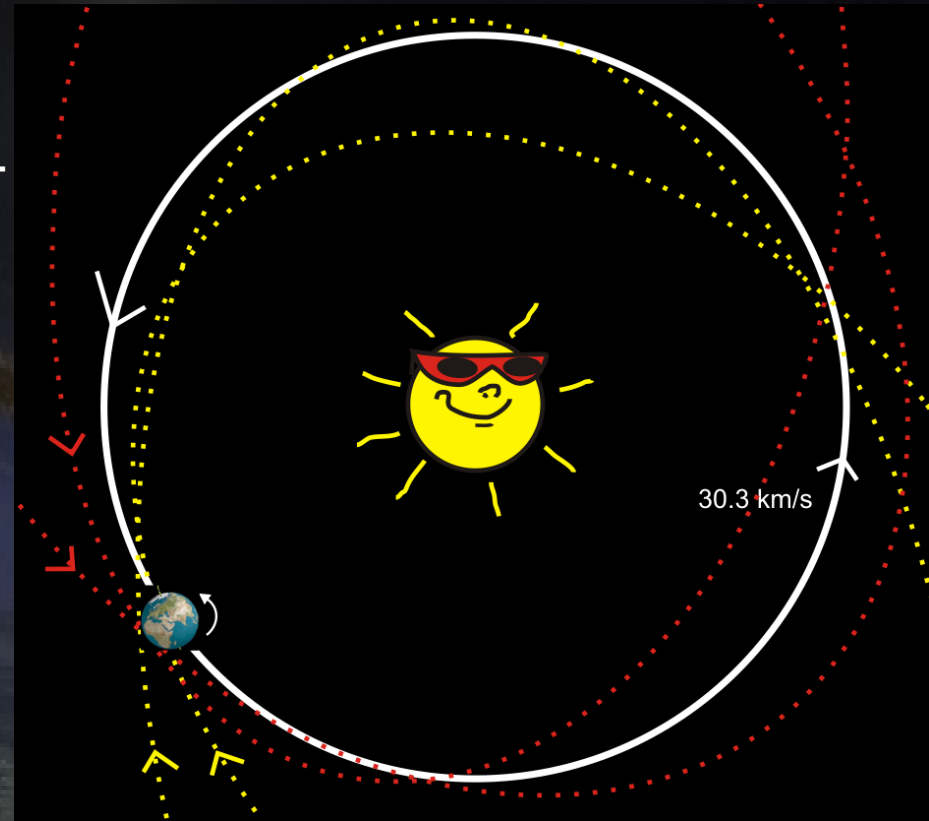
Meteory, bolidy

Směry a rychlost pádu – rychlost vstupu ovlivňuje vzájemná rychlost Země a meteoroidu (zhruba mezi 11 - 72 km/s).

Maximální rychlost pohybu meteoroidu v meziplanetárním prostoru podél orbity Země činí 42 km/s (úniková rychlost ze sluneční soustavy), rychlost oběhu Země činí asi 29.8 km/s → maximální rychlost při vstupu se rovná součtu → **71.8 km/s**, minimální rychlost se rovná únikové rychlosti ze Země → **11.2 km/s** popřípadě 42-29.8, → **12.2 km/s**, v případě, že meteoroid Zemi „dohání“.

1.

[video prezentace Grand Teton Meteorit.mp4](#)

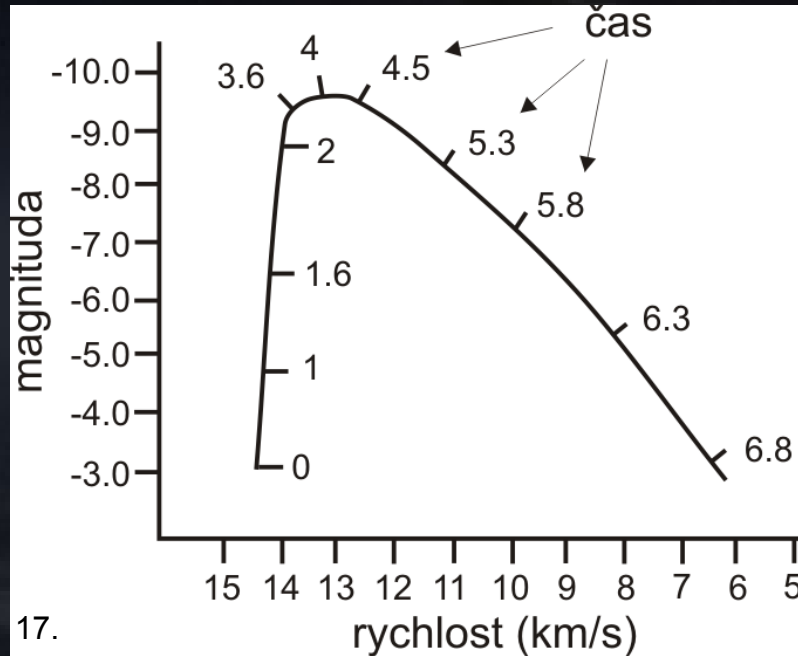


Úhly průletu se pohybují od 0-90°, výjimečně se objevují tzv. **Earth-grazing meteority**, relativně rychlejší a takové, které přilétají pod velmi malým úhlem, rozzáří se v atmosféře a tu následně opouští. Výjimečně mohou fragmentovat a některé úlomky dopadají na Zem.

Příkladem je těleso US19720810 (1972). Vstup do atmosféry byl pozorován nad Utahem a výstup nad Albertou v Kanadě. Odhadovaná velikost činí 3-14 m, ztráta hmoty až 50%, zpomalení na rychlost 800 m/s a úklon vůči ekliptice z 15 na 8 .

Meteory, bolidy

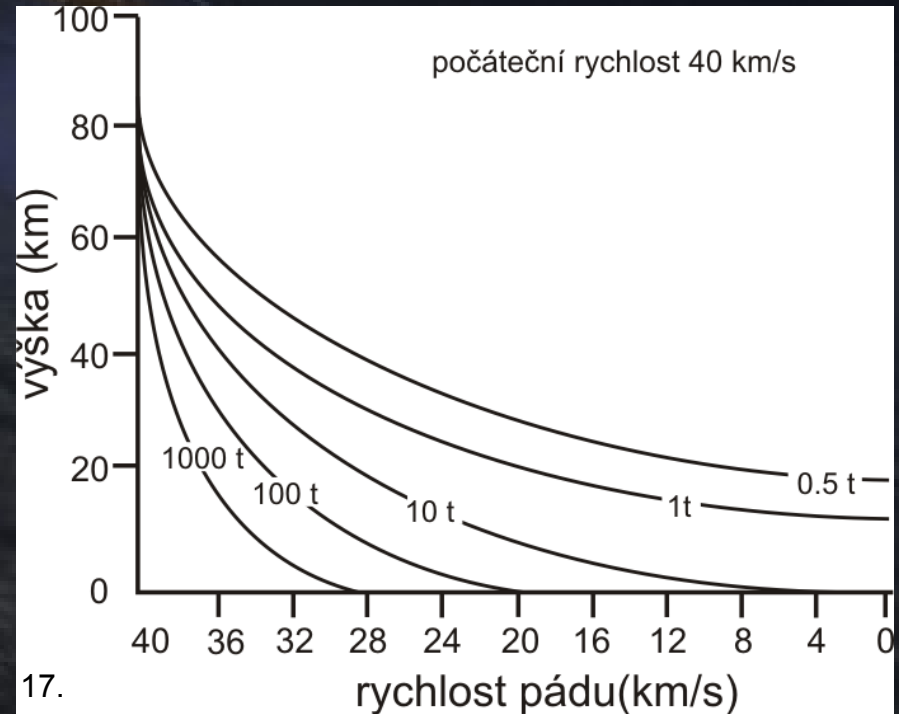
Meteor, bolid – světelná stopa není způsobená „hořením“ meteoroidu, ale ionizací molekul vzduchu, který je třením zahřán až na teploty kolem 4000 °C. V závislosti na rychlosti, hmotnosti, úhlu střetu může stopa dosahovat délky stovek m až několika km.



Jasnost roste se zvyšující se hmotností tělesa a rychlostí vstupu do atmosféry del vztahu:

Četnost meteorů a bolidů lze z pozorování vyjádřit:
 $N(>D)=37D^{-2.7}$ což platí pro tělesa 5cm-300m, pro větší vztah neplatí.

Čím je těleso hmotnější, tím je jeho brždění pomalejší a naopak. Viditelná tělesa jsou obvykle ve vzdálenosti max. 150-200 km. Výška světelných projevů pádu se pohybuje mezi 120-80 km, níže meteory pohasínají. Odhad počtu pouhým okem pozorovatelných meteorů je až 25 milionů.



Meteory, bolidy

Barva meteoru, bolidu – bývá nejčastěji bílá, namodralá, ale známé jsou zář červenavé, žluté a vzácně zelenavé. Barva se může měnit i v průběhu jevu, což může být způsobeno průletem různými „vrstvami“ atmosféry. Na barvu má rovněž vliv složení meteoritu (oranžová/žlutá - Na, žlutá - Fe, modrá/zelená – Cu, purpurová – K apod.) ale i rychlost průletu a tak i teplota.

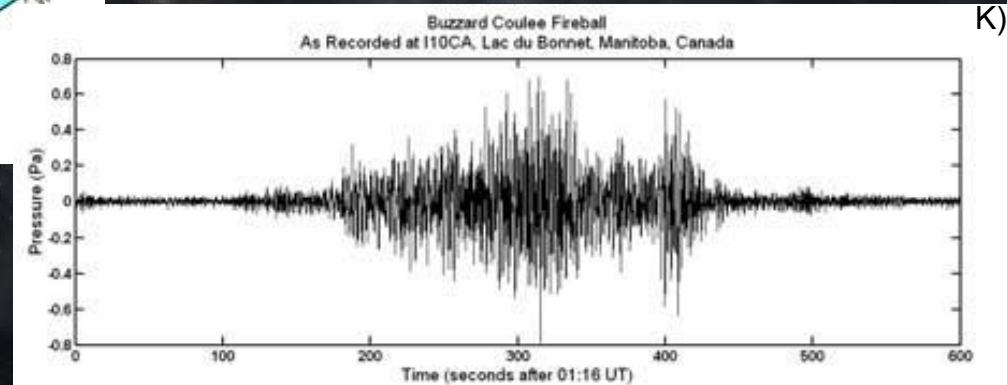
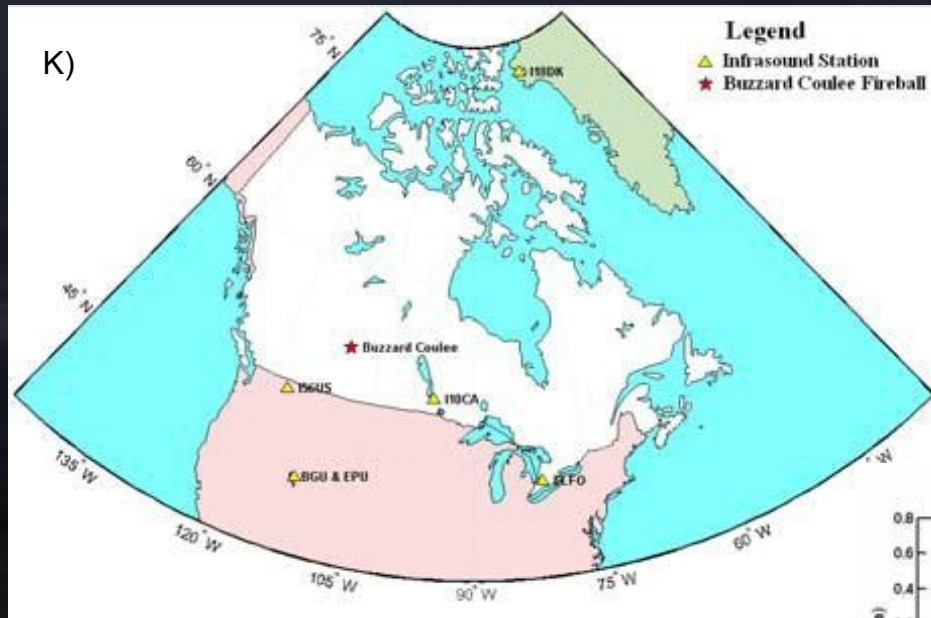
Teplota meteoru – I přes vysoké teploty při průletu atmosférou obvykle nedochází k prohřátí tělesa vyjma tenké povrchové vrstvičky. Na rozdíl od železných meteoritů (lepší tepelná vodivost) jsou proto kaménne meteority obvykle ihned po pádu chladné, někdy i s ledovou krustou. Železné mohou být na omak teplé.

Stopy po průletu – vzácně byly těsně po půletu pozorovány „kouřové“ stopy po průletech bolidů, jedná se však většinou o kondenzační páry, nikoli o zplodiny hoření. Vznikají spíše ve spodních vrstvách atmosféry a zanikají do několika minut po pádu.



Meteory, bolidy

Zvuky – vzhledem ke vzdálenosti většiny pozorovaných bolidů by zvuk, spojovaný s explozemi bolidů měl být slyšitelný až za několik desítek vteřin až několik minut, tedy v době, kdy už světelné projevy dávno zanikly. Existuje však řada pozorování, kdy byl zvuk slyšitelný prakticky ve stejném okamžiku jako samotný bolid. Neexistuje spolehlivé vysvětlení, nicméně se usuzuje, že vzhledem k energii uvolněné plazmatem je její část transformována do elektromagnetického záření v úrovni audiofrekvencí, šířeného rychlostí světla, jež má za následek rezonanci objektů na Zemi a tím vzniku hřmění, dunění a praskání. Dnes identifikace infrazvuků – např. meteorit Buzzard Coulee (2008), kdy byly kromě slyšitelných projevů zaznamenány infrazvuky pomocí mikrobarometrů na stanicích severní Ameriky a Grónska (vznik především při fragmentaci tělesa, K)).



Meteorický roj

Meteorický roj – od sporadických meteorů se liší jednak výrazně vyšší četností meteorů za časovou jednotku (až stovky meteorů za hodinu) a jednak předvídatelností – jsou spojovány s konkrétními tělesy (většinou kometami).

Radiant – bod, ze kterého zdánlivě vylétají meteory v rámci meteorického roje – způsobeno perspektivním pohledem na subparalelně letící meteoroidy.

Sporadické meteory způsobují částice letící poměrně vysokými rychlostmi (přes 60 km/s) s parabolickými dráhami.

Quadrantid Meteor Shower

1 am, Jan 4



1.,9. meteorický roj	maximum aktivity	souhvězdí radiantu	pravd.mateřské těleso
Quadrantidy	3.-4. ledna	Pastýř	Kozik-Peltier?
Lyridy	28. Dubna	Lyra	Thatcher
Pí Puppidy	Konec dubna		Grigg-Skjellerup
Éta aquaridy	4. Května	Vodnář	Halley
Beta tauridy	30. Června		Encke
Perseidy	10.-12. srpna	Perseus	Swift-Tuttle
Drakonidy	9. Října		Giacobini-Zinner
Orionidy	20.-22 Října	Orionidy	Halley
Tauridy	5. Listopadu	Býk-Beran	Encke
Leonidy	17. Listopadu	Lev	Temple-Tuttle
Geminidy	13. Prosince	Blíženci	Fetone-planetka
Ursidy	22. prosince	Malý vůz	Tuttle

A photograph of a meteor streaking across a dark night sky. The meteor is a bright, elongated object with a white-to-yellowish tip and a long, dark, smoky trail extending towards the upper left. In the upper center, a bright, circular moon is visible. The lower half of the image shows a dark, textured surface, likely water, with a faint reflection of the meteor's light.

Meteority

Meteority

Meteorit – zbytek meteoroidu, který přežije průlet atmosférou a dopadne na zemský povrch. Množství dopadnuvšího materiálu je závislé na původní váze, složení tělesa, na rychlosti a úhlu vstupu do atmosféry. Udává se minimální velikost kolem 1 m. Dnes známy i meteority z Měsíce a Marsu.

Rozeznání od pozemského materiálu – obvykle jen těsně po pádu (rychlé alterace kůry). Výjimkou jsou oblasti s nízkou vlhkostí a stabilním klimatem (pouště, arktické oblasti apod.)

Typické znaky - černá povrchová kůra, někdy ablační útvary na povrchu, stopy po tečení taveniny, výjimečně aerodynamický tvar, u železných meteoritů i nápadně vysoká hustota.

Pojmenování – většinou podle místa pádu, popřípadě navíc číslo nebo písmeno, ojediněle jinak (například tzv. Hodges podle Ann Hodges, jež byla zasažena meteoritem Sylcauga (1954).

Původ – drtivá většina jsou fragmenty planetek, tzn. že většina pochází z hlavního pásu planetek, které jsou zase pozůstatkem destruované planetesimály v níž již alespoň částečně došlo k diferenciaci. Vzácné jsou meteority původem z Marsu či Měsíce.

Projevy na zemském povrchu – většinou žádné, neboť dopadají volným pádem, vzhledem k velikosti pouze drobné důlky o velikostech v cm-dm. Pouze větší (metrová a větší tělesa) mohou vytvořit impaktní kráter o velikosti v metrech až desítkách metrů, někdy spojený se seismickou aktivitou a destrukcemi (větší struktury – viz přednáška L. Dzikové).



25.

Carancas meteorit – 15.9.2007, chondrit H4-5



Meteority – historie výzkumů

-starověk – záznamy o pádech kamenů z oblohy

1492 – ve Francii u městečka Ensisheim (Alsasko, dnes Německo) dopadl meteorit o váze kolem 127 kg, (dnes asi 55kg) někteří učenci přijímají možnost pádu „kamene z oblohy“

1794 – německý přírodovědec Ernst Chladni prosazuje názor, že horniny mohou pocházet z vesmíru

1801 – italský astronom Giuseppi Piazzi objevuje první asteroid a nazývá ho Ceres

1802 – britský chemik analyzoval 4 kamenné meteority a zjistil, že se podobají sobě navzájem, ale odlišují od hornin na Zemi

1906 – průmyslník Daniel Barringer předpokládá, že velká deprese v arizonské poušti mohla vzniknout dopadem mimozemského tělesa

1959 – první zaznamenaný pád - u Příbrami v ČR, dokumentace možnosti původu v pásu asteroidů

1969 – v meteoritu Murchison poprvé objeveny aminokyseliny a další organické látky, spekulace o mimozemském původu života na Zemi

1969 – první nálezy meteoritů na Antarktidě, dnes cca 80% všech známých meteoritů



ALH84001 – stopy po organismech v Mars. meteoritu

1. **1980** – objeveny důkazy o dopadu gigantického tělesa před 65 Ma lety (L. a W. Alvarezovi)

1982 – první objev lunárního meteoritu (Allan Hills 81005) v Antarktidě

1983 – první důkaz meteoritu původem z Marsu

1987 – podrobné studium prach. částic zformovaných v „atmosféře“ červeného obra v posledním stadiu jeho vývoje

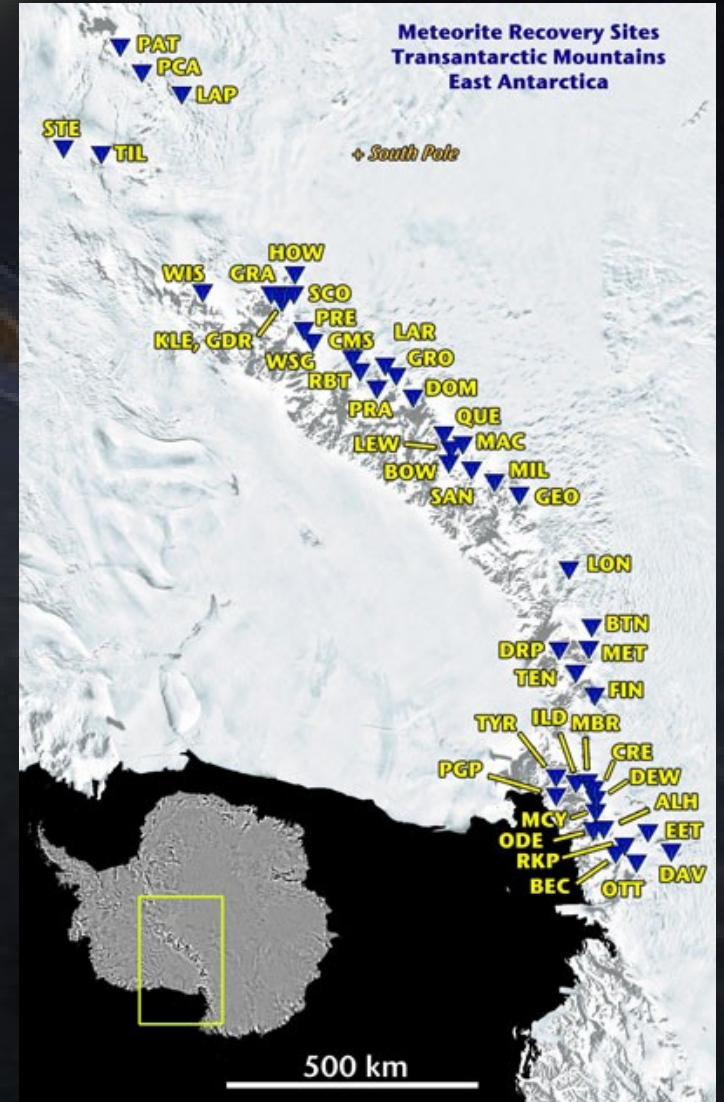
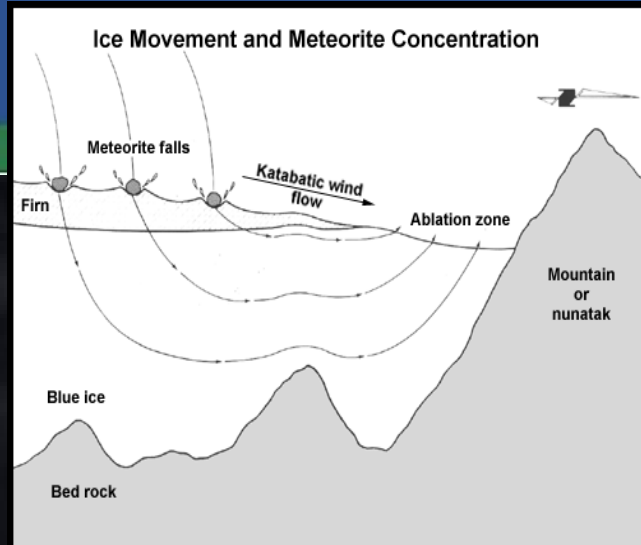
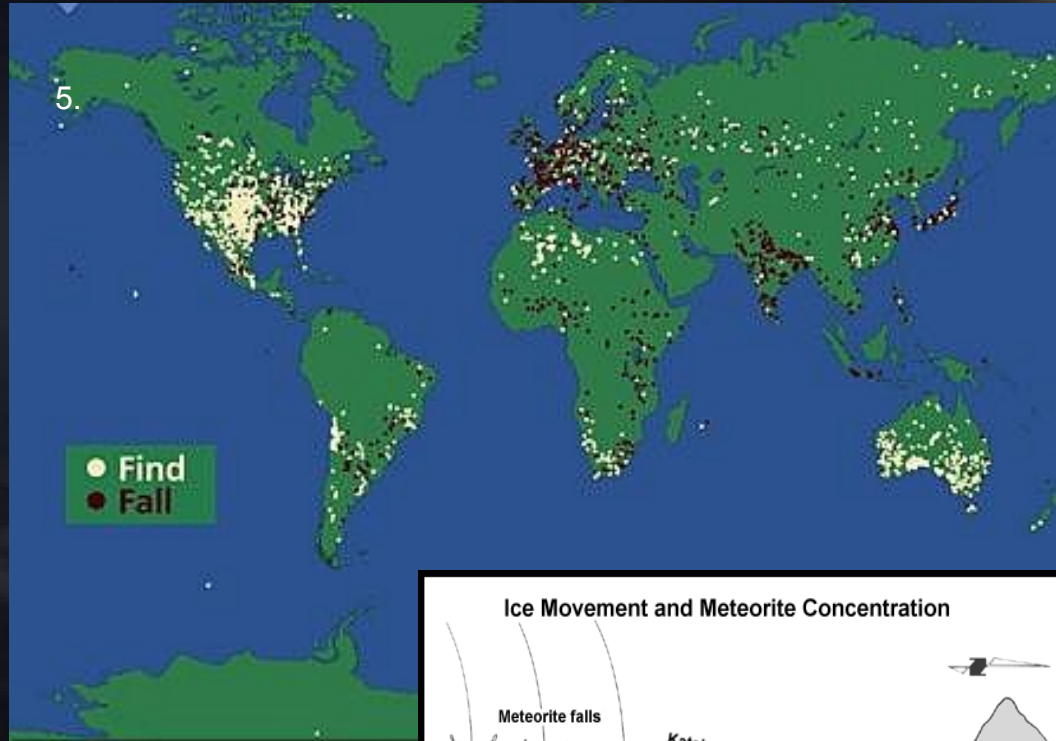
1994 – zaznamenán a podrobně zdokumentován dopad komety Shoemaker-Levy 9 na Jupiter včetně apokalyptických důsledků

2001 – NEAR Shoemaker přistává na povrchu asteroidu Eros

2004 – sonda Stardust prolétá ohonem komety Wild 2 a odebírá vzorky prachu (návrat na Zem 2006)

Meteority – pozorované pády a nálezy

Hustota pádů bude přibližně shodná na celém povrchu Země. Z důvodu nerovnoměrného osídlení jsou pozorované pády značně nerovnoměrné. Nálezy nesouvisející s pozorovanými pády jsou podmíněny zejména vegetačním pokryvem a charakterem podnebí tzn. že nepoměrně častější jsou nálezy v oblastech aridních (pouště a polopouště) anebo arktických (antarktida), v nichž fungují přirozené akumulční pasti.



Meteority

Velikosti – od μm u mikrometeoritů po kilometry u planetek. Obvykle mm – první metry. Největší známé meteority jsou:

Hoba – meteorit – v s. části Namibie u města Grootfontein, doposud na místě pádu, váha odhadována na více než **60 tun**, největší známý jednotlivý kus. Dopa pádu odhadována na cca 80 000 let, složení – 84% Fe, 16% Ni, stopy Co. Klasifikován jako ataxit IVB (Ni bohatý). Objeven kolem roku 1920.

Campo del Cielo (El chaco) – 37 t (jiný odhad 34t), Hromadný pád o celkové váze přes 100t situován do oblasti cca 1000 km SZ od Buenos Aires v Argentině. Oblast pádu cca 3x20 km, celkem asi 26 kráterů (max. 120 x 100m), doba dopadu cca 4-5000 let, první informace už z r. 1576 – podle informací od indiánů vyrábějících zbraně byl následně objeven zdroj – oktaedrická IAB železa (93%Fe, 6.7%Ni, 0.3%Co).



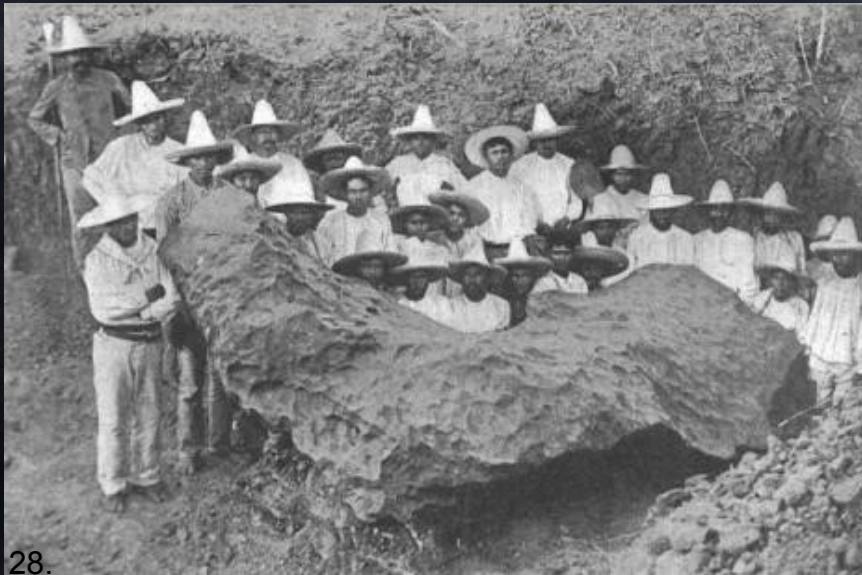
Meteority – největší jednotlivé kusy

Cape York

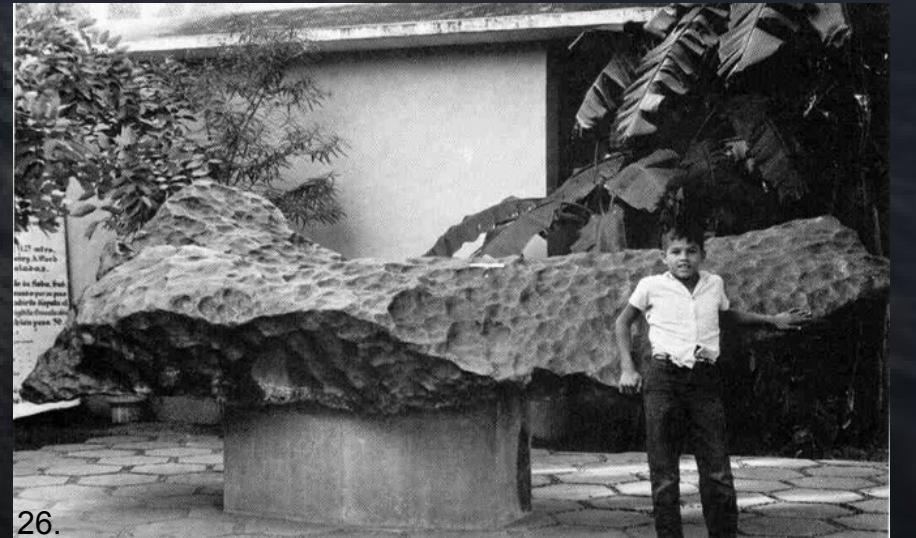
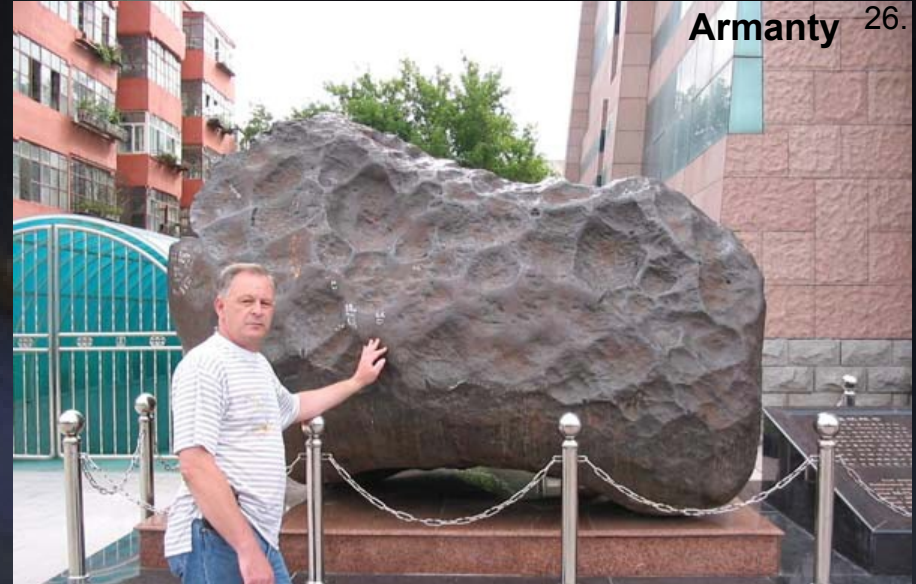


Armanty – 28 tun vážící meteorit, hrubozrnný oktaedrit, Xinjiang

Bacubirito – 22 tun, Mexiko



Cape York – meteorit z Grónska, váha téměř 31 tun, hromadný pád o celkové váze až 60 tun z doby před 10000 lety.



Meteority – největší jednotlivé kusy

Willamette



Willamette – největší meteorit nalezený na území USA (Oregon, 1902) o váze ca 15.5 tuny. Jde o střední oktaedrit IIIAB s obsahem 7.6 Ni a 91 Fe se stopami kobaltu a fosforu. Hluboké nerovnosti na povrchu jsou kombinací výrazných regmaglyptů jako důsledku velmi rychlého průletu atmosférou a zvětrávání vlivem dlouhé expozice pozemským podmínkám. Widmanstättenovy obrazce jsou málo patrné z důvodu rekrystalizace materiálu meteoritu při zahřátí.

Meteorit má zajímavou historii nálezů. Byl znám již indiánům, nicméně po nálezu na území patřícím soukromé ocelářské firmě byl tajně přemístěn o 1200 metrů dál na území nálezce - Ellis Hughes. Na to se přišlo a soud přiklil vlastnictví ocelářské firmě.

Nakonec byl prodán za 26 tisíc \$ a následně darován.

Am. muzeu přír. věd. indiány uctívány kámen se stal v roce 1999 jaurem sporu, neboť požadoval navrácení kamene na původní místo. Došlo k dohodě, že meteorit zůstane v muzeu a náčelníci mohou 1 x ročně provádět

kolem něj náboženské obřady. Spory se táhnou dodnes.

1923 – E. Hughes. se svým 15-tiletým synem právě kra-

doucí meteorit Willamette na dřevěném vozíku po dřevěných kolejkách.



WILLAMETTE
Oregon, USA
gefunden 1902

Meteority - tvary

Tvar meteoritů je většinou nepravidelný. Je ovlivněn především procesy při průletu atmosférou, které jsou nicméně odrazem skladby a i velikosti původního meteoroidu. Meteority, které nejeví známky fragmentace po fázi natavování povrchu ani po pádu na zemský povrch se označují jako celotvary. Často mají vyvinutou kůru na celém povrchu. Díky dopadu na tvrdý povrch mohou být otlučené s různě velkými odlomenými částmi. Vlivem rozpadu ještě při letu se často nachází meteority s kůrou pouze na části povrchu a jsou známy nálezy i fragmentů, relativně daleko od sebe, jež do sebe zapadají a složí tak původní celotvar. Podobná situace je běžná při nárazu na tvrdou podložku.

Forest City, 31.



Kainsaz, Tatarstan, 31.

Známy jsou i nálezy in-situ rozpadlých meteoritů vlivem povětrnostních podmínek, především díky kolísání teplot.

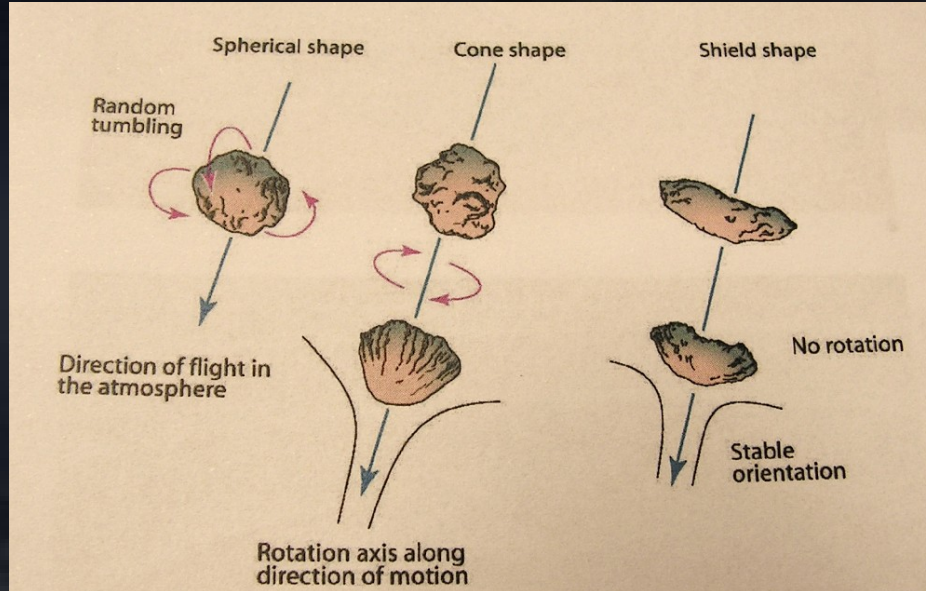
Dar al Gani, 32.



Dar al Gani, 32.

Meteority - tvary

Vzácné jsou meteority s výrazně aerodynamickými tvary – **orientované meteority**, jejichž vznik je dáván do souvislosti s přednostní rotací tělesa v souvislosti s jeho tvarem. Proces ablace je obvykle velmi intenzivní a způsobuje ztrátu i přes 90% původní hmoty.



Laffayette, nález 1931, nedef. achondrit



Middlesbrough, pád V.Británie 1881,

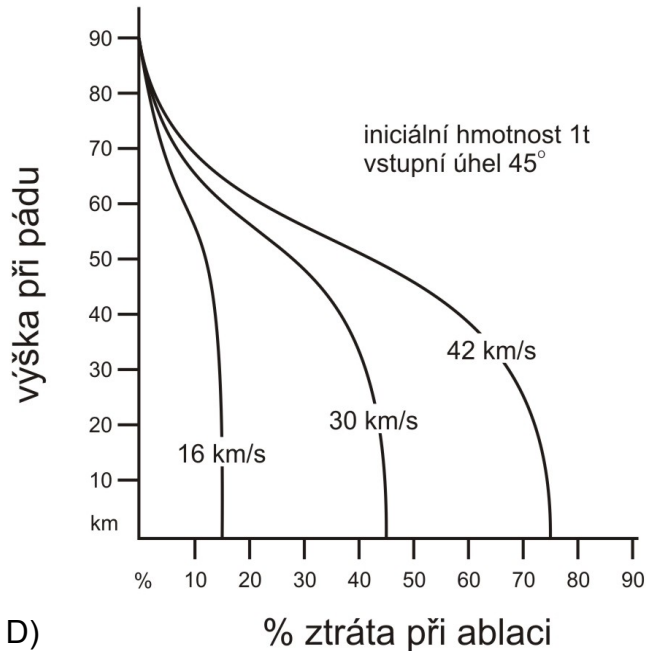


Karakol, nález 1840,
Chondrit LL6
2.7 kg



Meteority - tvary

Regmaglypty – vznikají při přednostním natavování povrchové vrstvy vlivem intenzivních vířivých proudů při průletu atmosférou. Výrazné bývají zejména na železných meteoritech. Obvykle jsou rovněž výraznější na tělesech s vyšší iniciální rychlostí (např. Willamette meteorit). Rychlost ablace se u železných meteoroidů odhaduje na 2mm/s (R)). V závislosti na složení a tím i rozdílné teploty tání dochází k přednostní ablaci materiálu s nižší teplotou tání (např. troilit vs. forsterit).



Díky intenzivnímu tavení povrchu zejména čelní strany dochází k ablaci a takto vzniklé kapky okamžitě tuhnou a padají v podstatě volným pádem za vzniku sklovitých kuliček - mikrometeoritů (viz výše).

Meteority - kůra

Jde většinou o několik desetin mm mocnou kůru na povrchu meteoritu, vznikající prudkým zahřátím, tavením materiálu meteoritu a následným rychlým utuhnutím na **sklovitou hmotu**. Kůra nemusí být vyvinuta na celém povrchu, ale zvláště u orient. Meteoritů pouze na jedné-čelní straně. Odkapáváním vznikají **mikrometeority** (viz výše). Barva většinou černá, šedočerná, lesklá i matná.

Kůra je v povrchových podmínkách značně nestabilní, rychle podléhá degradaci a mění se na směs sekundárních vodnatých silikátů, oxidů a hydroxidů železa. Ztrácí se lesk, mění se struktura a barva na rezavou až postupně zcela mizí a obnažuje se tak poměrně nenápadné nepřetavené jádro. V případě železných meteoritů vzniká na povrchu směs oxid-hydroxidů Fe. V případě přítomnosti sulfidů Fe dochází i ke vzniku kyseliny sírové a tím urychlení degradace meteoritu. Úplné setření původního vzhledu netrvá déle než

několik stovek let. Vše odvisí od prostředí, v němž se meteorit nachází. V devadesátých letech byla vyvinuta škála zvětrání meteoritů (W0-W6), užívaná mimo jiné charakteristiky při popisu jednotlivých meteoritů (především chondritů).



34. NWA5882



Millbillillie, Austrálie, pád 1960, (33.)

NWA2996



31.

Meteority - kůra

Železné meteority mívají tenší kůru (do 0.25 mm) na rozdíl od kamenných s až 1 mm mocnou kůrou. Někdy bývají vyvinuty **proudové linie** – zbytky po tečení skla, někdy pérovitě či koncentricky uspořádané. V místech v „závětrí“ se naopak tavenina může hromadit a vznikají lemy, kapky apod. Ojediněle může dojít až k nahromadění na kůru silnou až 1 cm. Vzácně jsou pozorovány tzv. **kontrakční trhliny**, vznikající prudkým ochlazením natavené kůry, to v případě nálezu těsně



po pádu, jinak se může jednat o trhliny způsobené zvětráváním. V případě úniku fluid může dojít k degazaci a vzniku drobných bublinek ve skle kůry. Pokud je průlet víceméně bez rotace dochází k „smývání“ taveniny a vzniku drobných vlněk.



Nuevo Mercurio



Noctat Addagmar, 34.

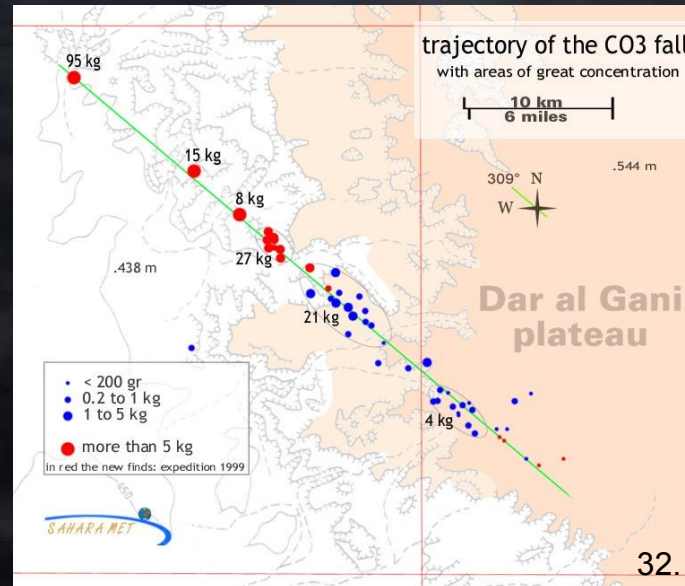
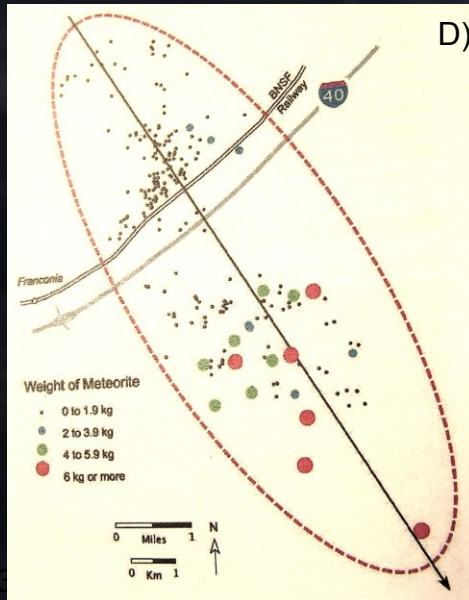
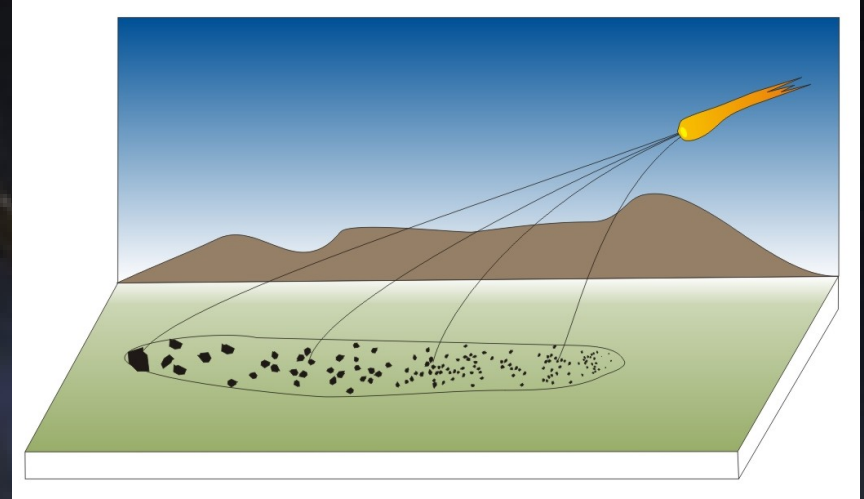


Whetstone Mountains, chondrit
H5, pád 23.6. 2009



Meteority – hromadné pády

Předpokládá se, že většina meteoritů je součástí více či méně početných **hromadných pádů** a pouze zřídkakdy nedojde k fragmentaci meteoroidu na více kusů. Větší tendenci k rozpadu mají nehomogenní a nekompaktní materiály (železokamenné meteority, brekcie, uhlíkaté chondrity apod.) vlivem prudké změny tlaku na meteoroid. Větší soudržnost vykazují naopak železné meteority. Fragmenty udržují přibližně stejnou dráhu a v závislosti na kinetické energii postupně „vypadávají“. Místo hromadného pádu má tvar protáhlé **elipsy**, kdy nejtěžší kusy dopadají nejdál a naopak. Úhel volného pádu vůči zemskému povrchu klesá s hmotností jednotlivých kusů a nejčastěji se pohybuje kolem 20-30°. Elipsa pádového pole je protáhlá ve směru letu meteoroidu a může mít velikost v km až desítkách km a rozlohu i několik stovek km².



Meteority – složení a stavby

Meteority jsou velmi pestrá horninová skupina a tomu odpovídá i jejich minerální složení, které je zase odrazem jejich geneze. Minerální složení, chemismus jednotlivých fází, textura a další znaky jsou základem klasifikace meteoritů.

Celkem je známo z meteoritů kolem 280 minerálů ve srovnání s více než 4000 druhy na Zemi. Je to dáno jednak úrovní a možnostmi zkoumání, jednak výrazně odlišnými a méně diverzifikovanými prostředím vzniku (málo volatilních složek, vody, apod.).

Celkem je známo z meteoritů kolem 280 minerálů ve srovnání s více než 4000 druhy na Zemi. Je to dáno jednak úrovní a možnostmi zkoumání, jednak výrazně odlišnými a méně diverzifikovanými prostředím vzniku (málo volatilních složek, vody, apod.) i přes to, že jak na Zemi tak v meteoritech tvoří většinu hmoty minerály s obsahem 8 prvků (O, Si, Al, Mg, Fe, Ca, Na a K).

K nejhojnějším minerálům meteoritů patří olivín, pyroxeny, plagioklasy, kamacit a taenit, troilit, schreibersit a cohenit. Dle typu se vzájemný poměr obsahů v různých typech meteoritů velmi liší.

Olivín – obvykle výrazná převaha forsteritové komponenty (100-65 mol.%), součást chondrů i matrix.

Pyroxeny – převaha Mg-Fe pyroxenů nad Ca-bohatými pyroxeny, jak v chondrách tak v matrix.

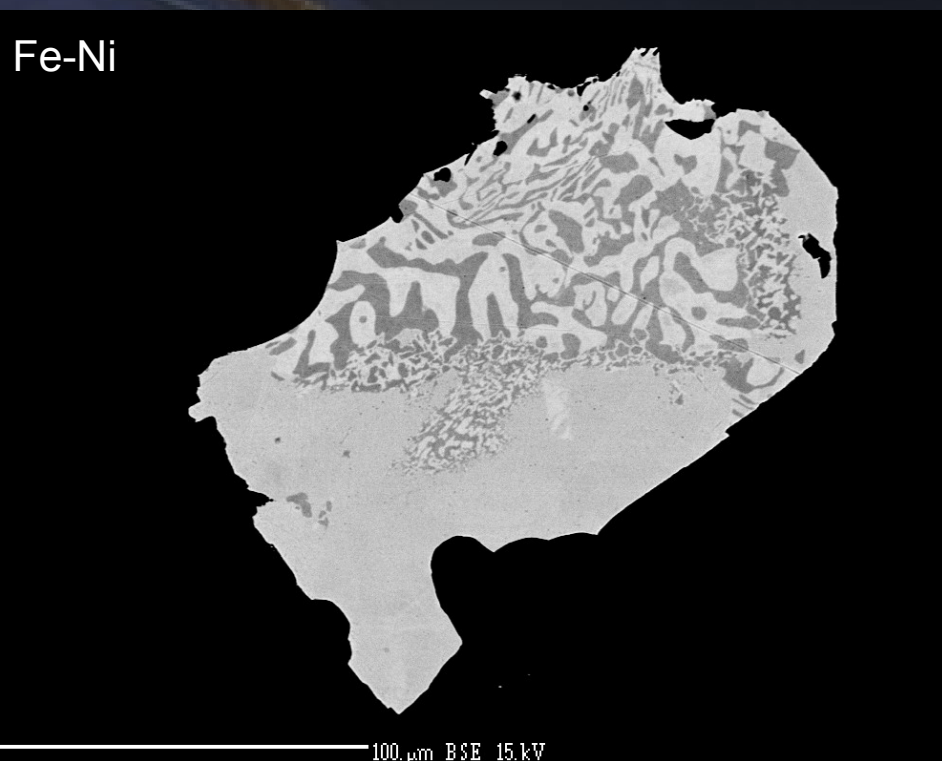
Plagioklasy – obvykle Ca-bohaté, albit je vyloženě vzácný.

Kamacit – α -(Fe,Ni), nízkoteplotní modifikace, intimně prorůstá s taenitem γ -(Fe,Ni), vysokoteplotní modifikací a naopak.

Troilit – FeS, velmi hojná součást jak chondrů tak matrix

Schreibersit – $(\text{FeNi})_3\text{P}$ – znám výhradně z meteoritů, často prorůstá s troilem

Cohenit – $(\text{Fe,Ni,Co})_3\text{C}$ – často v asociaci s schreibersitem.



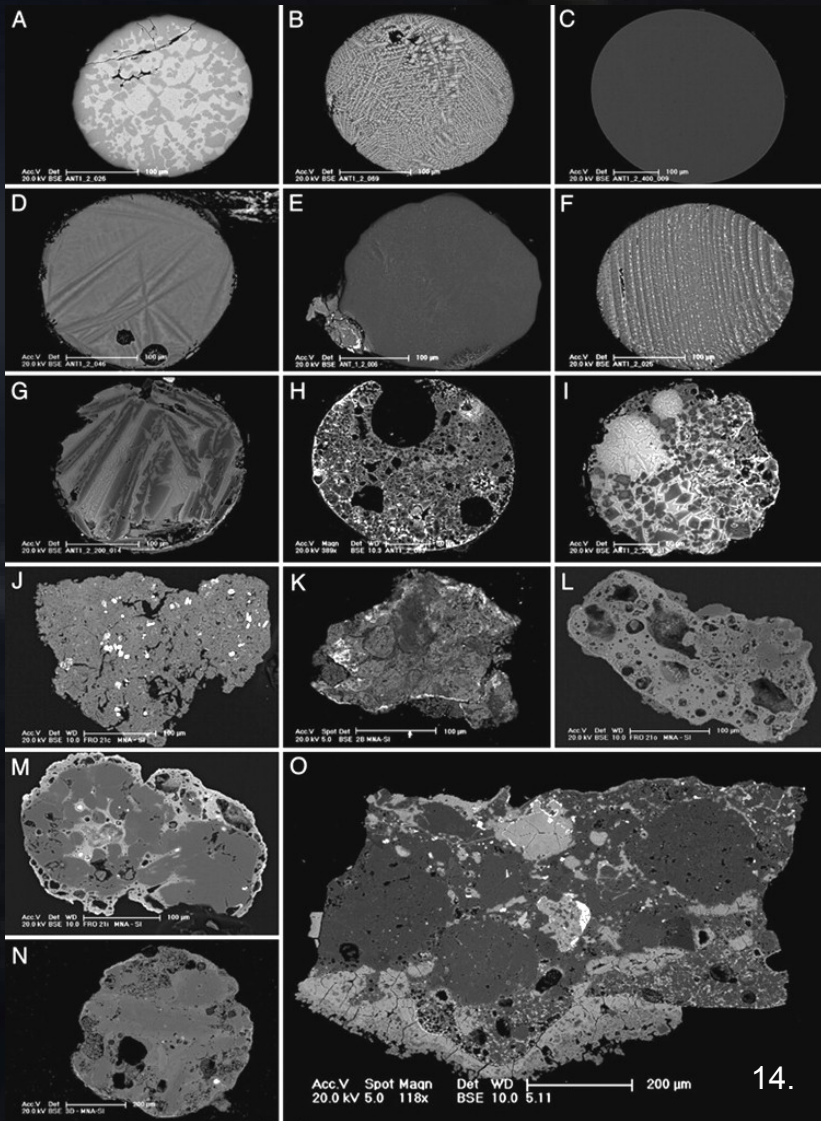
Meteority – složení a stavby

K dalším „běžnějším“ minerálům meteoritů patří:

- Silikáty:** **coesit, stišovit** – vzácné vysokotlaké modifikace, vznik při impaktech
foidy – hlavně nefelín a sodalit v chondrách CV chondritů
sklo – primární v chondritech a achondritech, sekundární vzniká zesklenním při impaktech (**maskelynit** v shergotitech a pravých chondritech vzniká za tlaků přes 30 GPa)
mellilit $(\text{CaNa})_2(\text{AlMg})(\text{SiAl})_2\text{O}_7$
K-živec – extrémně vzácný v eukritech
fylosilikáty – hlavně minerály serp.skupiny a smektity, produkty hydratace
křemen – extrémně vzácný v eukritech a Ca-bohatých achondritech
ringwoodit – olivín se spinelovou strukturou, vzniká za tlaků více než 150 kbarů při impaktech
- Oxidy:** **spinelidy** – bohaté chromitovou $(\text{FeCr}_2\text{O}_4)$ složkou, magnetit běžný v matrix uhlíkatých chondritů
ilmenit – v achondritech, lunárních a mart'anských bazaltech
perovskit – CaTiO_3 v karbonátových chondritech
- Sulfidy:** **pentlandit** – $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$ – v asociaci s troilitem v některých chondritech
pyrhotin – v CM chondritech
- Ryzí prvky:** **awaruit** – Ni_3Fe , **ryzí Cu** – inkluze v NiFe a troilitu, **diamant** – vznik při impaktech, **grafit** – běžná akcesorie v NiFe meteoritech, pravých chondritech a ureilitech, často jako nodule v asociaci s troilitem, **lonsdaleit** – hexagonální vysokotlaký polymorf diamantu v ureilitech
- Fosfáty:** **whitlockit** – $\text{Ca}_9\text{MgH}(\text{PO}_4)_7$ – běžný v pravých, R a CV chondritech
- Karbidy:** **karbid křemíku** SiC – jako zrna mezihvězdného prachu v některých chondritech
- Hydroxidy:** **akaganeit** – $\beta\text{-FeO}(\text{OH}, \text{Cl})$ – nejčastější produkt zvětrávání FeNi v meteoritech spolu s **goethitem**
- Karbonáty:** **kalcit** – velmi vzácný v žilkách v CI chondritech, častěji v asociaci s magnetitem.

Meteority – složení a stavby

Chondry – kulovité útvary o velikosti 0.X-Xmm nacházející se v matrix meteoritu. Jejich složení a množství se může velmi lišit. Někdy zcela převládají nad matrix, jindy jsou vzácné nebo velmi nenápadné popřípadě zatlačované v průběhu termální metamorfózy (až kolem 950 °C), probíhající ve hmotě protoplanetek. Původ chondrů je však dáván do souvislosti s prvotní formací sluneční soustavy.



Existuje mnoho typů – s různým složením. Jsou klasifikovány do 3 skupin - porfyrické, neporfy. a granulární, dělených dále podle složení porf. vyrostlic, textury (radiální, kryptokrystalické atd.) Nejhojnější jsou porf. olivín-pyroxenické (cca 50% všech chondrů)

A photograph of a meteor streaking across a dark night sky. The meteor is a bright, orange-yellow line of light, angled from the upper left towards the lower right. In the upper center, a bright, circular celestial body, likely the sun or moon, is visible. The lower portion of the image shows a dark, textured surface, possibly water, with a faint reflection of the meteor's path.

Klasifikace meteoritů

Meteority – klasifikace, petrografie

Klasifikace meteoritů se vyvíjela a stále vyvíjí v souvislosti s úrovní poznání jejich složení minerálního i chemického a také s mírou znalostí o jejich vzniku a vývoji. V současnosti je používána klasifikace s kombinací genetických, minerologických a chemických přístupů. Některé klasifikace jsou velmi podrobné vývoj se stále posouvá vpřed s rozvojem metodiky studia meteoritů, planetek a astronomie jako celku.

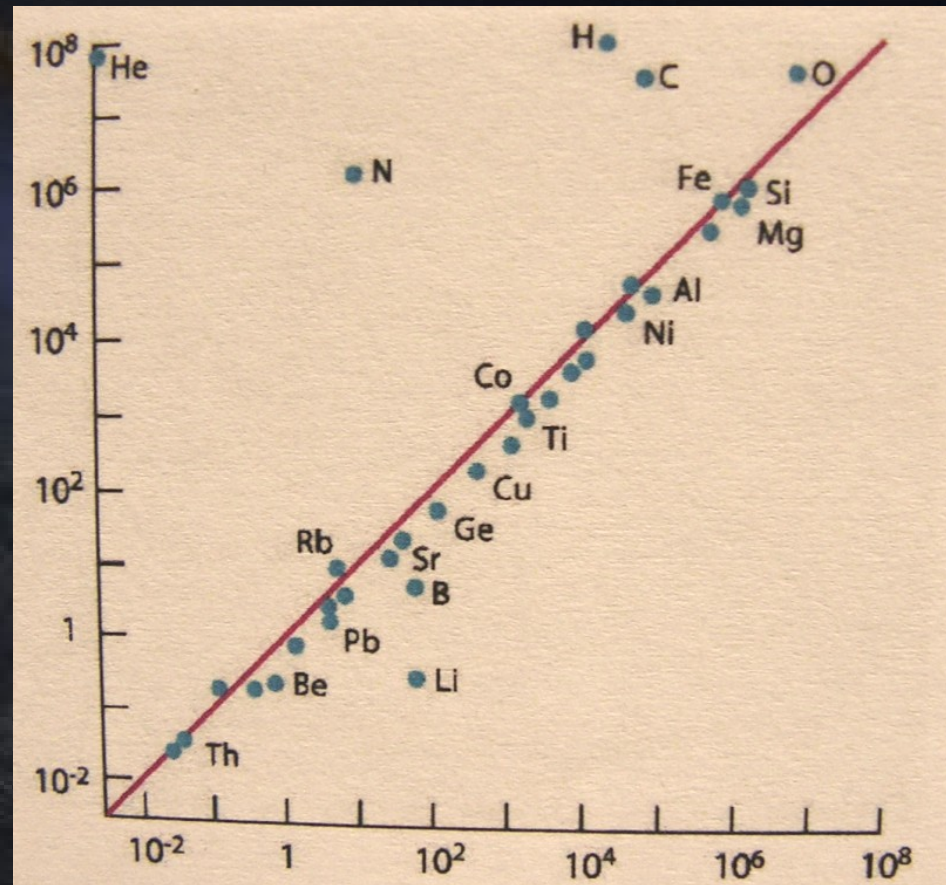
V minulosti se genetický faktor nepoužíval a základní členění odpovídalo převládající složce – meteority kamenné, železné nebo železo-kamenné.

Dnes základní dělení dle geneze na **meteority primitivní** a **meteority diferencované**. Označení souvisí s předpokládaným místem vzniku v rámci mateřského tělesa popřípadě zda-li vůbec pochází z tělesa, které prošlo či neprošlo magmatickou diferenciací. Mezi primitivní se zahrnují i některé vzácné meteority ze skupiny meteoritů diferencovaných (např. acapulcoity, ureility apod.). Meteoritům nediferencovaným v podstatě odpovídají všechny chondrity a meteoritům diferencovaným achondrity s výše zmíněnou výjimkou.

Většina primitivních (nediferencovaných) meteoritů má chemické složení velmi podobné složení fotosféry Slunce (nepočítají-li se volatilní složky – He, H, O, N, C)

Ze všech meteoritů tvoří primitivní meteority tvoří asi 85 %, diferencované kamenné asi 9%, železokamenné asi 1.5 % a železné 4.5%.

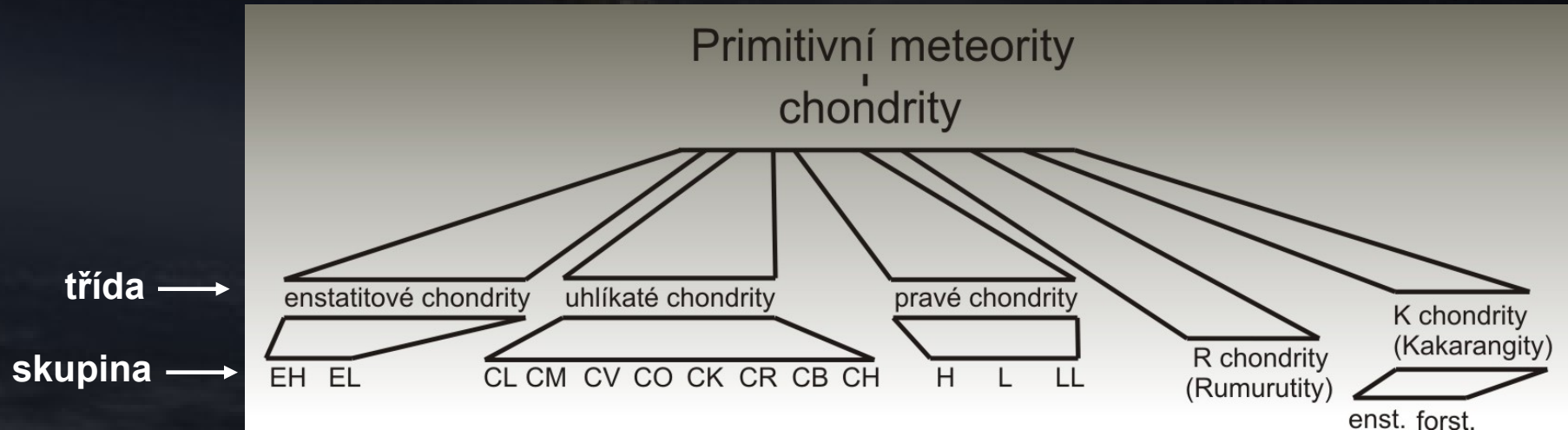
zastoupení prvků ve Slunci (atomy/ 10^6 Si)



zast. prvků v CI chondritech (atomy/ 10^6 Si)

Meteority primitivní - chondrity

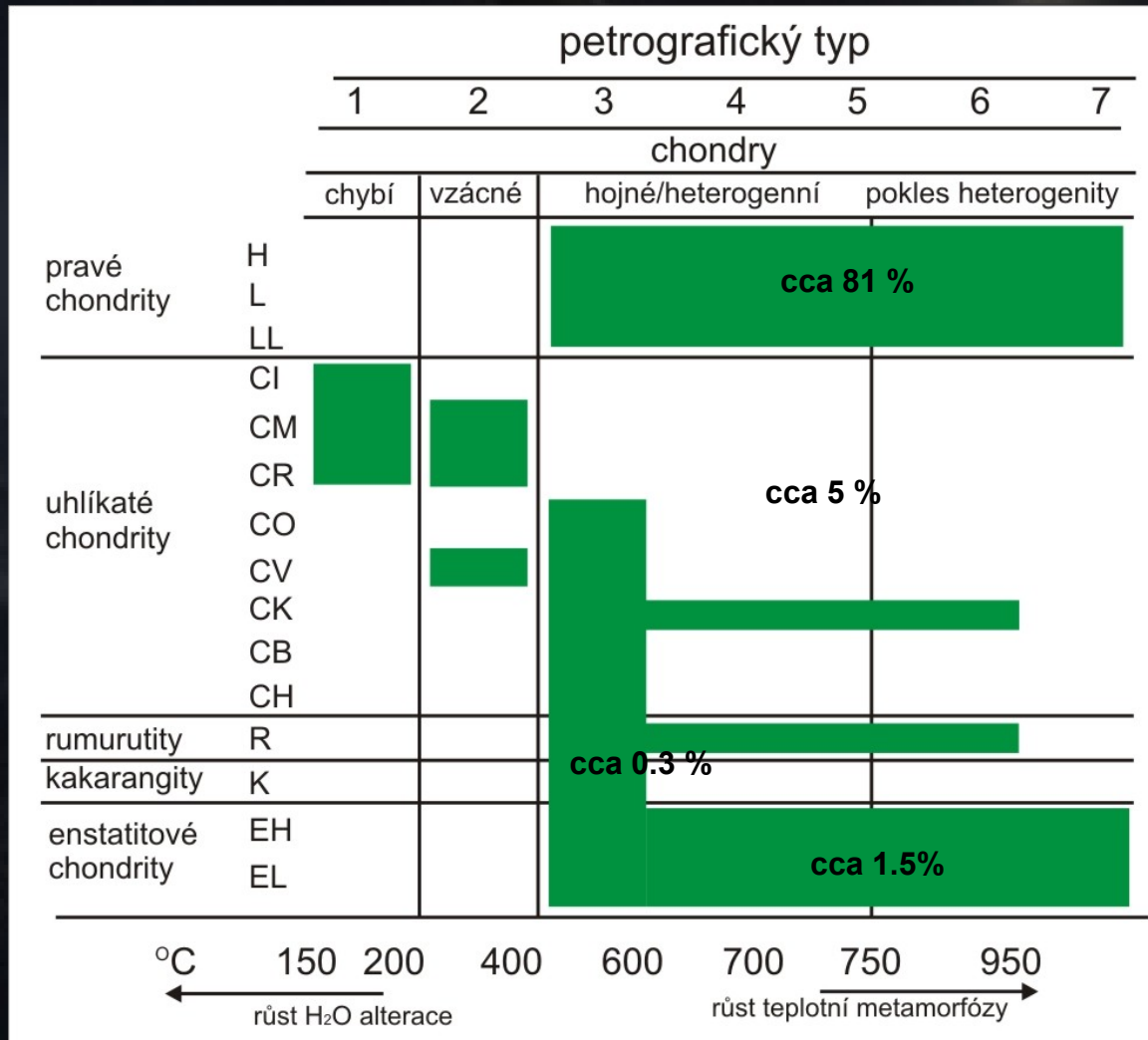
Chondrity – označení dle přítomnosti chonder, ale některé typy sem řazené je vůbec nemusí obsahovat. Chondrity se člení do tříd, skupin a klanů. Skupiny uhlíkatých chondritů jsou označeny písmenem C- jako carbonaceous a prvním písmenem jména typového chondritu např. CB – karbonátový chondrit skupiny Bencubbin. Další složkou označení je číslo petrografického typu.



Dalšími kritérii pro členění do skupin jsou obsahy ryzích kovů vs. obsah Fe (v kovech či silikátech), molární zastoupení fayalitu v olivínu. Například pravé chondrity jako nejpočetnější skupina kamenných meteoritů vůbec (asi 85%) se člení na skupinu **H** – High Iron s obsahem asi 25-30 hm% Fe celkově, z čehož cca 15-19% je v ryzím stavu a zbytek ve formě silikátů, zatímco skupině **L** – low iron odpovídá 20-25hm% Fe, 1-10% je elementární a zbytek v olivínu s Fa_{21-25} . **LL** skupina s Low metall a Low iron obsahuje pouze do 3 hm% ryzího Fe a celkově 19-22hm% Fe s olivínem Fa_{26-32} . Procesy související s termálními změnami a tím i rekrystalizací původní hmoty planetesimál mají za důsledek značnou variabilitu ve složení chondritů a to je umožňuje dále klasifikovat na **petrografické typy**.

Meteority primitivní - chondrity

Petrografické typy – existují různé přístupy, například Norton et al (2008) vytvořil jednodušší členění na základě texturních vztahů chondrů a matrix a odhadovaného stupně metamorfózy na 7 typů.



Během akrečního procesu planetesimál docházelo k akumulaci tepla především ve vnitřních částech těles, což mělo za následek rekrytalizaci především matrix, ale nedošlo k roztavení chondrů. Roztavená hmota matrix měla tendenci se gravitačně oddělit a diferencovat a tím došlo ke vzniku protolitu diferencovaných meteoritů.

Míra metamorfních změn spolu s texturními charakteristikami má za důsledek detailní klasifikaci. Jako nejvíce primitivní se v rámci klasifikace na 7 petrografických typů jeví být typ 3.

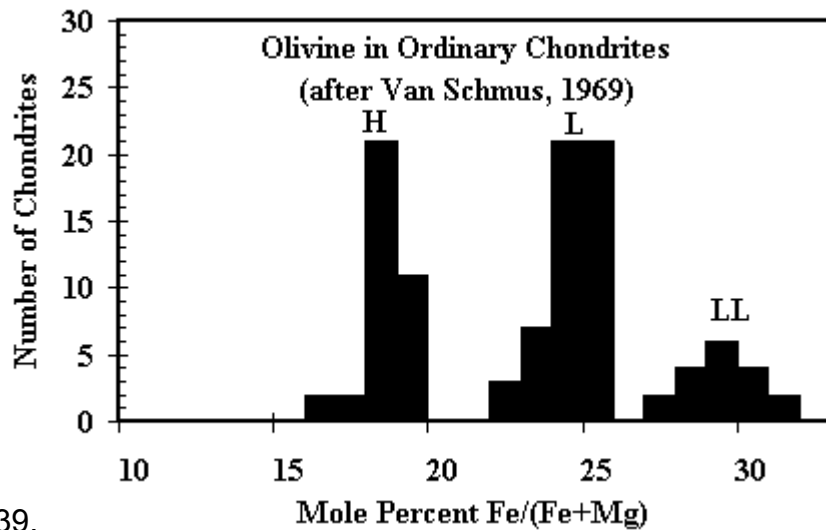
Klasifikace a petrografické typy chondritů dle D)

Meteority primitivní - chondrity

Petrografické typy – klasifikace vytvořena již v r. 1967 Van Schmusem a Wodem pro rozlišení stupně metamorfózy hmoty meteoritů. Vyčleněno bylo 6 typů.

kritérium	Petrografický typ					
	1	2	3	4	5	6
Homogenita složení olivínu a pyroxenu	-	variabilita ≥ 5%		var.pod 5%	homogenní olivíny i pyroxeny	
Strukturní stav nevápenatých pyroxenů	-	především CPX		CPX		OPX
				nad 20%	pod 20%	
Stupeň vývoje sekundárních olivínů	-	-		< 2µm zrna	< 50µm zrna	> 50µm zrna
Magmatogenní sklo v chondrách	-	izotropní sklo ve variabilním množství		chybí nebo turb.	chybí	
Kovové minerály (maximum hm.% Ni)	-	teanit chybí (Ni<200 mg/g		kamacit a taenit v množství nad 20%		
Sulfidy (průměrný obsah Ni)	-	> 0.5 %		> 0.5 %		
Textura a zastoupení chonder	chybí	velmi ostře ohraničené		ostře ohr.	dobře odlišitelné	špatně odlišitelné
Textura matrix	jemnozrnná	více opákní	opákní	čirá mikrokry- talická	rekrytalovaná matrix	
Celkový obsah C	3-5 %	1.5-2.8 %	0.1-1.1%	pod 0.2 %		
Celkový obsah H ₂ O	18-22%	3-11%	pod 2 %			

Meteority primitivní – příklady chondritů – pravé chondrity

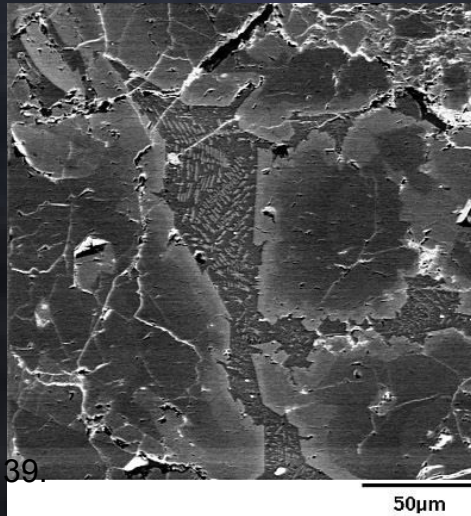


39.

Četnost pravých chondritů v závislosti na molárním zastoupení fayalitové komponenty v H, L a LL typech.



39. NWA 1756, monomiktní
chondr. brekcie LL3, Ni bohatý (50-60%) kov, S1, W2.



NWA 3127, pravý chondrit LL3, 480
g. S2, W3, zvýšený Cr v olivínu

Meteority primitivní – příklady chondritů – ostatní

39.

Sahara 97079, enstatitový chondrit EH

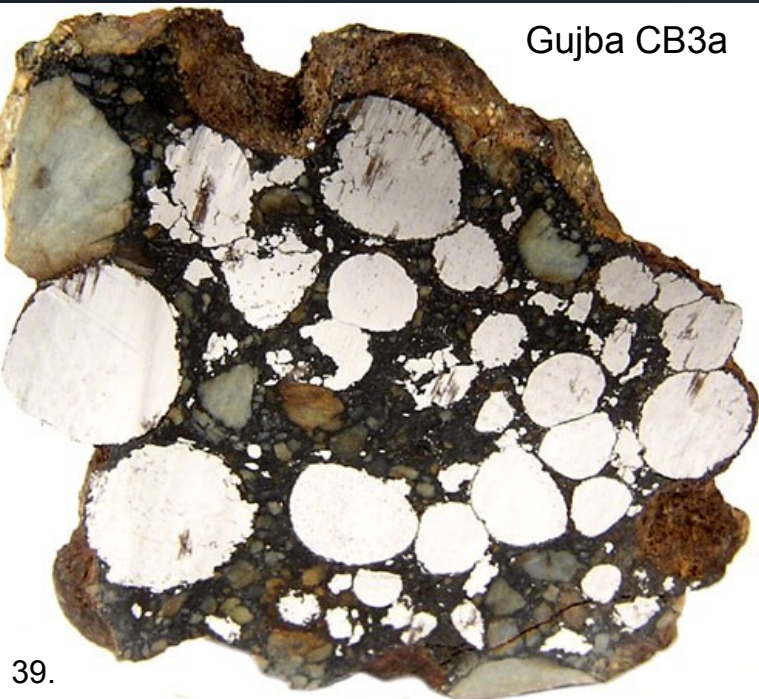


K-chondrit

39.



Gujba CB3a



39.

NWA 2931, rumurutitový chondrit



39.

Meteority primitivní – příklady chondritů – uhlíkaté chondrity

I přes svoje označení není již dnes obsah uhlíku hlavním kritériem pro zařazení meteoritu mezi uhlíkaté chondrity. Tím hlavním měřítkem je relativně vyšší poměr Mg, Ca, a Al vůči Si ve srovnání s ostatními chondrity. Některé primitivní typy (CI) mohou vzácně obsahovat i karbonáty a ojediněle byly zjištěny i **aminokyseliny**.

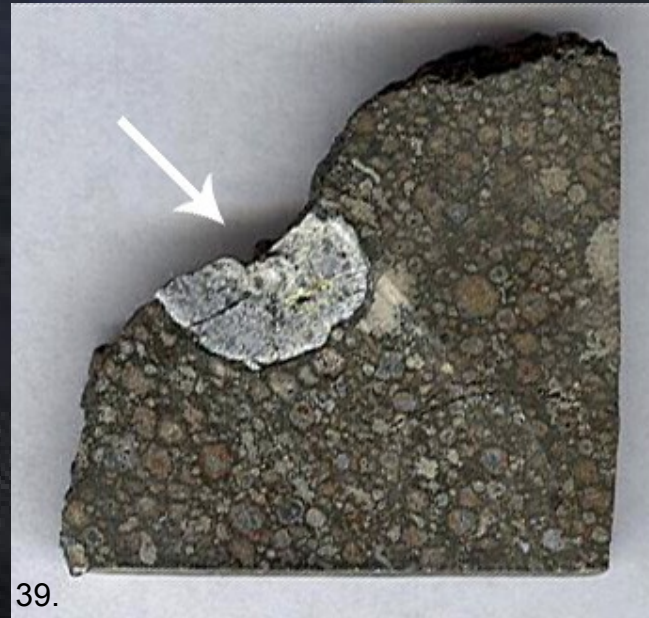
Uhlíkaté chondrity jsou svým složením poměrně komplikované a heterogenní. Vzhledem mohou připomínat uhelné brikety (jsou černé). Zřídka vykazují známky tepelné metamorfózy a pokud ano, tak nízkého stupně a často neobsahují žádný ryzí kov, někdy magnetit. Pozoruhodný a typický je výskyt minerálů s vodou, zatlačujících původní bezvodé silikáty.



Karbonátový chondrit Tagish Lake Pád
18.1.2000, CI2, Mike Zolensky, NASA JSC



Framboidální magnetit z uhlíkatého chondritu
Orgueil v agregátu jíl.minerálů.

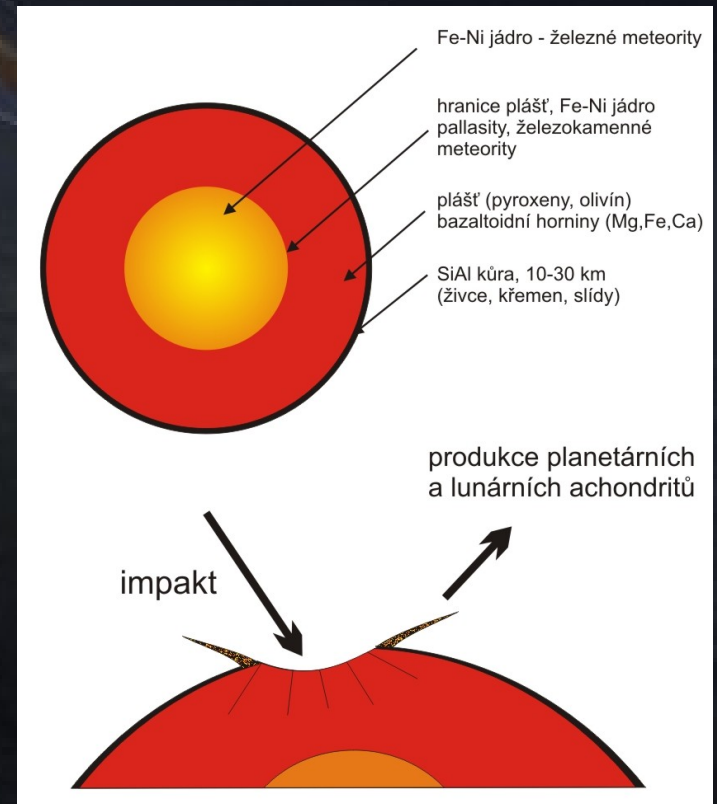
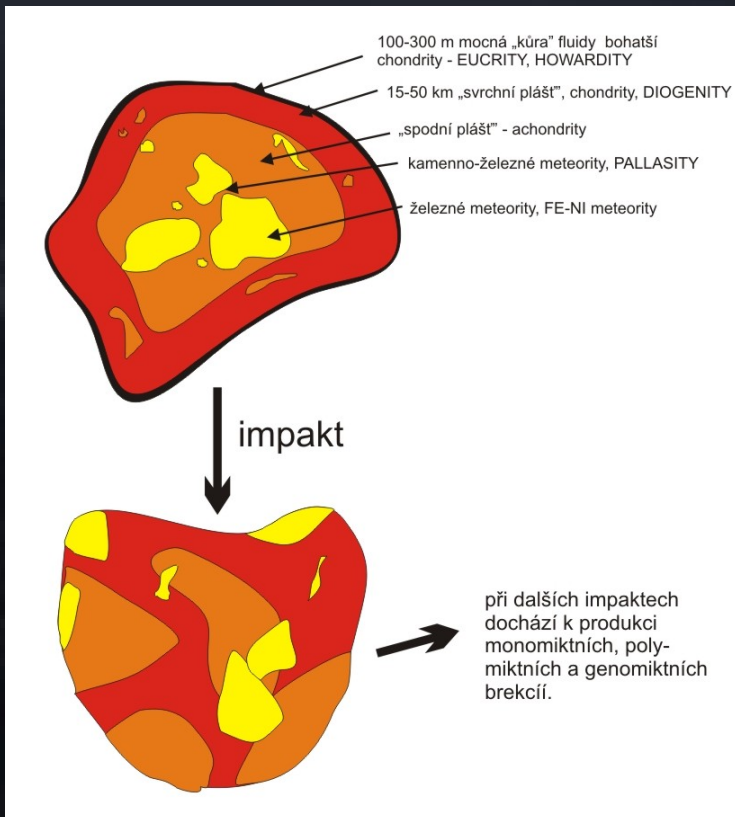


NWA – 2364 –
Uhlíkatý chondrit
CV3, v němž byl
určen nejstarší
materiál ve sluneční
soustavě –
4.568 Ga let, a
To z CAIs fragmentu,
navíc obsahuje nano-
diamanty pravdě-
podobně interste-
lárního původu (X).

Meteority diferencované

Jde o meteority jejichž hmota vznikla v souvislosti s magmatickou diferenciací původního mateřského tělesa. V důsledku tepla nahromaděného při akreci (kinetická energie) a radiogenního tepla došlo v planetesimálách k natavování materiálu a postupnému přeskupení materiálu vlivem gravitace a vzniku NiFe jádra, přechodné zóny a SiAl „kůry“. Následná destrukce takových těles důsledkem kataklysmatických srážek s jinými srovnatelně velkými tělesy dala vzniknout planetkám a meteoroidům s různým zastoupením NiFe a SiAl složek, jež mohly zpětně v různé míře akretovat a navíc byly planetky bombardovány a tříštěny. Do této skupiny náleží z kamenných meteoritů **achondrity**, dále **kamenno-železné** a **železné meteority**. Celkově je tato skupina zastoupena asi 15 % ze všech meteoritů.

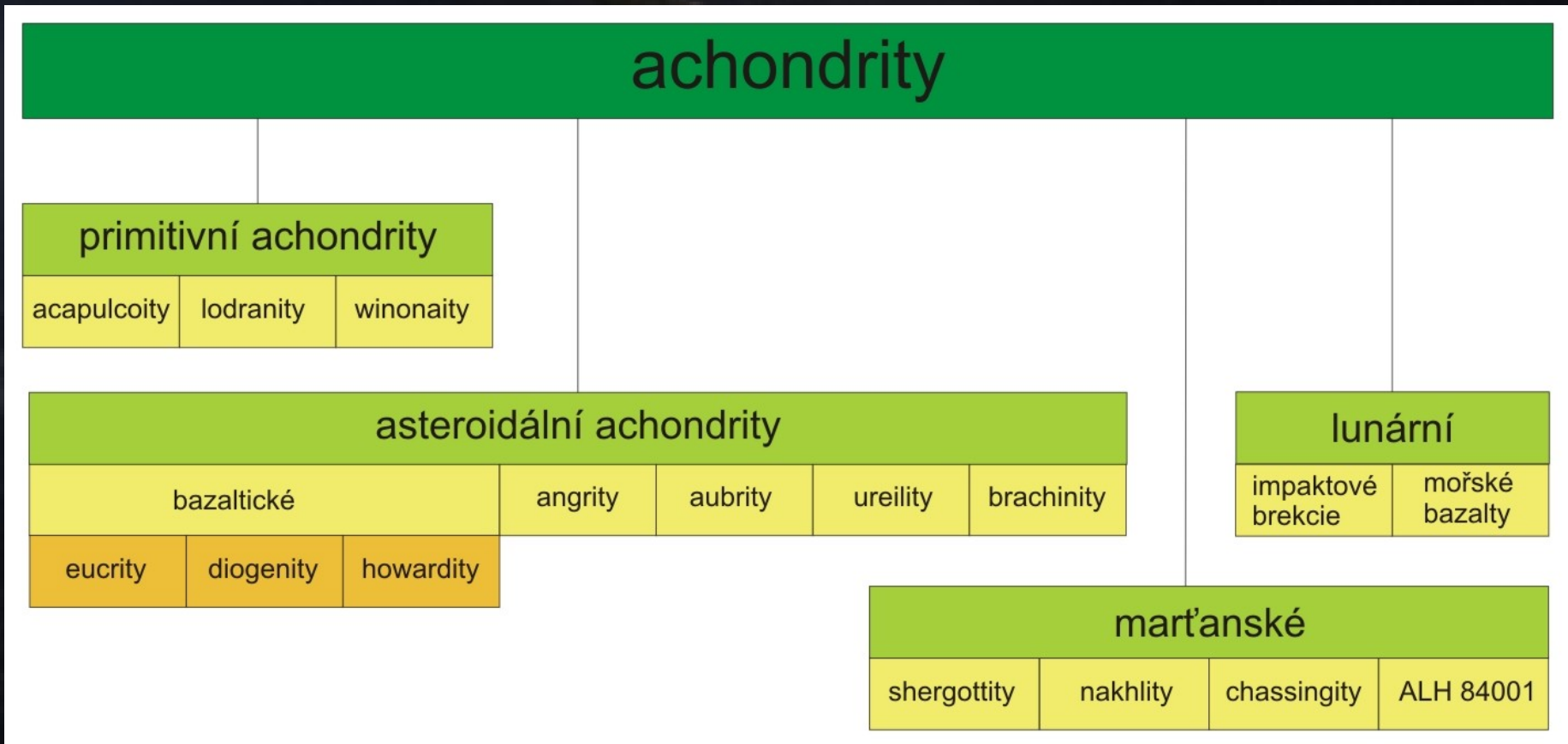
V závislosti na velikosti tělesa mohlo dojít k diferenciaci v různé míře, nicméně se považují tyto meteority za materiál z kompletně přetavených těles. Lze tedy vyčlenit skupinu asteroidálních meteoritů (tělesa X0-500km a planetárních (ve smyslu terestrických o průměru 500- 10000 km) meteoritů.



Meteority diferencované - achondrity

Zahrnují širokou skupinu meteoritů původem z pásu planetek (asteroidů), z Měsíce a Marsu. Dále sem patří tzv. **primitivní achondrity**, mající znaky obou hlavních skupin, takže někdy bývají řazeny k primitivním meteoritům (acapulcoity apod.).

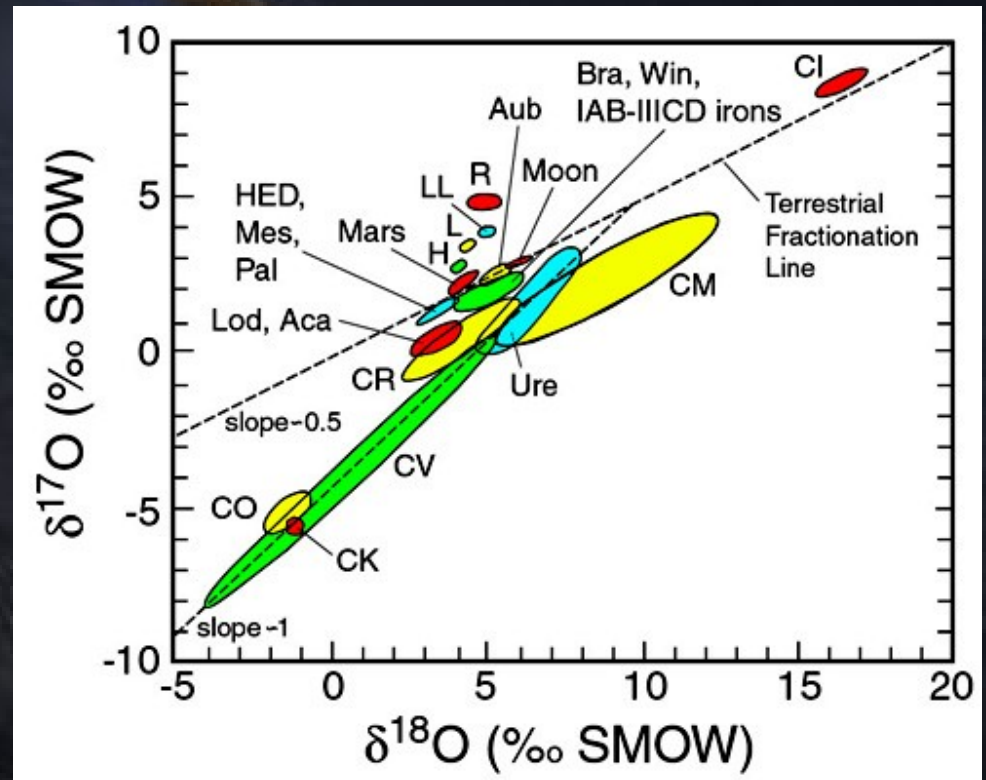
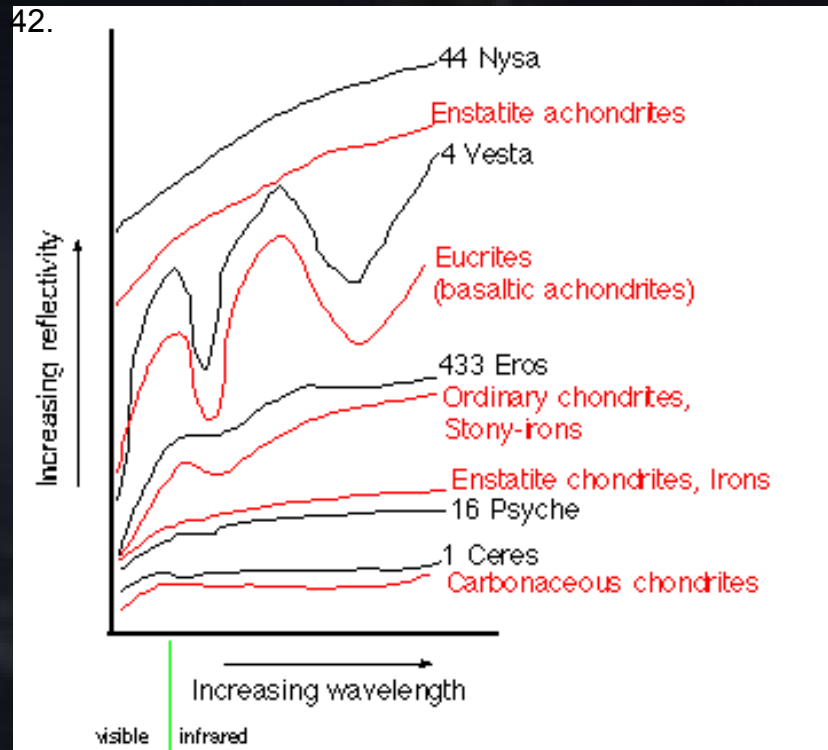
Astroidální achondrity se dále člení na basaltické (HED) **achondrity**, **angrity**, **aubrity**, **ureility** a **brachinity**, zatímco planetární na **mart'anské** a **lunární**. Tyto hlavní skupiny se dále dělí:



Meteority diferencované - achondrity

Jak se achondrit klasifikuje a přiřadí ke konkrétnímu asteroidu či k Marsu nebo měsíci? Existuje široká škála metod od podrobného petrografického studia přes studium izotopické až po tzv. **reflektanční spektroskopii**.

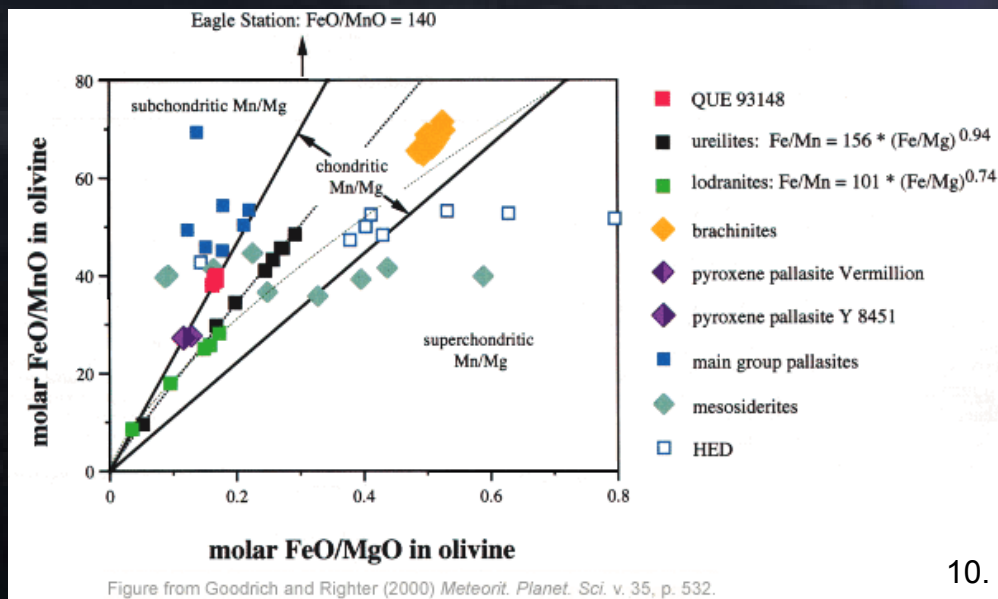
42.



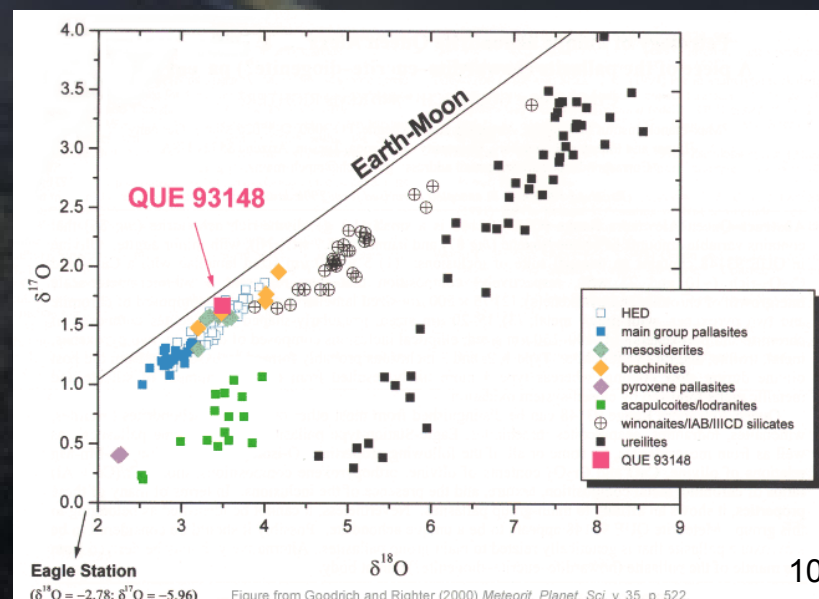
Meteority diferencované - achondrity

Kombinací jednotlivých charakteristik petrografických, chemických aj. lze achondrity klasifikovat např. takto:

39.	Aubrite	HED			Angrite
		Eucrite	Diogenite	Howardite	
Texture	coarse-brecciated	basaltic	coarse	brecciated	medium to coarse
Olivine/Pyroxene	<<1	<<1	<<1	<<1	1
Olivine	Fa ₀	absent	Fa ₂₇₋₃₅	Fa ₈₋₈₉	Fa ₁₁₋₆₆ (La _{0.1-48})
Olivine FeO/MnO	-	-	44-60	-	75-100
Low-Ca pyroxene	Fs _{0.1-1.2}	trace	Fs ₂₃₋₃₃	variable	absent
Low-Ca pyroxene FeO/MnO	-	25-38	27-35	-	-
Ca-pyroxene	Fs _{0.0-2} Wo ₄₀₋₄₆	variable	trace	variable	Fs ₁₂₋₅₀ Wo ₅₀₋₅₅
Plagioclase	trace: An ₂₋₂₃	An ₆₀₋₉₉	An ₆₀₋₉₉	An ₆₀₋₉₈	An _{88-99.7}
Chromite, Cr/(Cr+Al)	-	62-88	68-89	-	-
Silica	absent	trace	trace	trace	absent
Kamacite	minor	trace-minor	trace	trace	trace
Taenite	trace	absent	absent	trace	absent
Troilite	trace	trace	trace	trace	trace
Other minerals	cubic sulfides	trace	trace	trace	spinel, phosphates, oxides



10.



10.

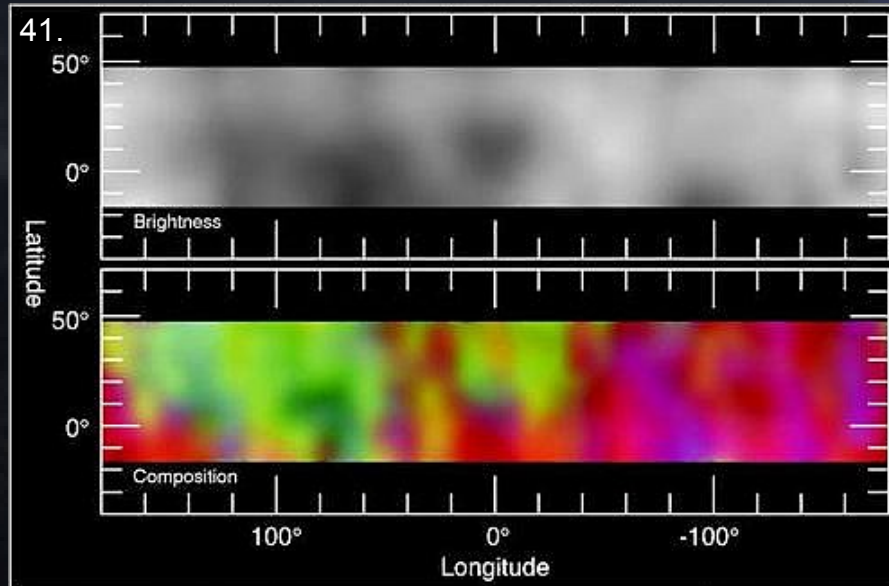
Příklad studia meteoritu QUE 93148, řazeného mezi HED-pallasity (plášť vesty)

Meteority diferencované – bazaltické asteroidální achondrity - HED

HED – howardity, eucrity, diogenity – liší se složením i stavbou, které jsou odrazem odlišného způsobu a místa vzniku v rámci mateřské planetky. Předpokládá se, že všechny tři skupiny mají původ v jednom tělese, nejpravděpodobněji planetce **4 VESTA**.

Z této skupiny jsou nejhojnější **eukrity**, tvořící asi 52 % všech HED achondritů. Mají poněkud světlejší barvu než terestrické bazalty díky velkému podílu středně šedého pigeonitu. Zcela převládají brekciované typy, výjimkou je eucrit Ibitira, který navíc obsahuje až 7 obj.% plynových bublin, což je v říši meteoritů zcela ojedinělý jev. Eukrity se člení na kumulátové (často gabra), nekumulátové (bazaltoidní) a polymiktní.

Diogenity jsou hrubozrnné, často monominerální (Fe-hypersten a bronzit), někdy s olivínem a akcesorickým plagioklasem, spinelem a ryzím Fe. Jsou převážně brekciované a ovažují se za plutonické horniny. Brekciací a smísením eukritových a diogenitových úlomků vznikly **howardity**, tzn, že mají charakter polymiktních brekcií, někdy i s klasty chondritického materiálu.

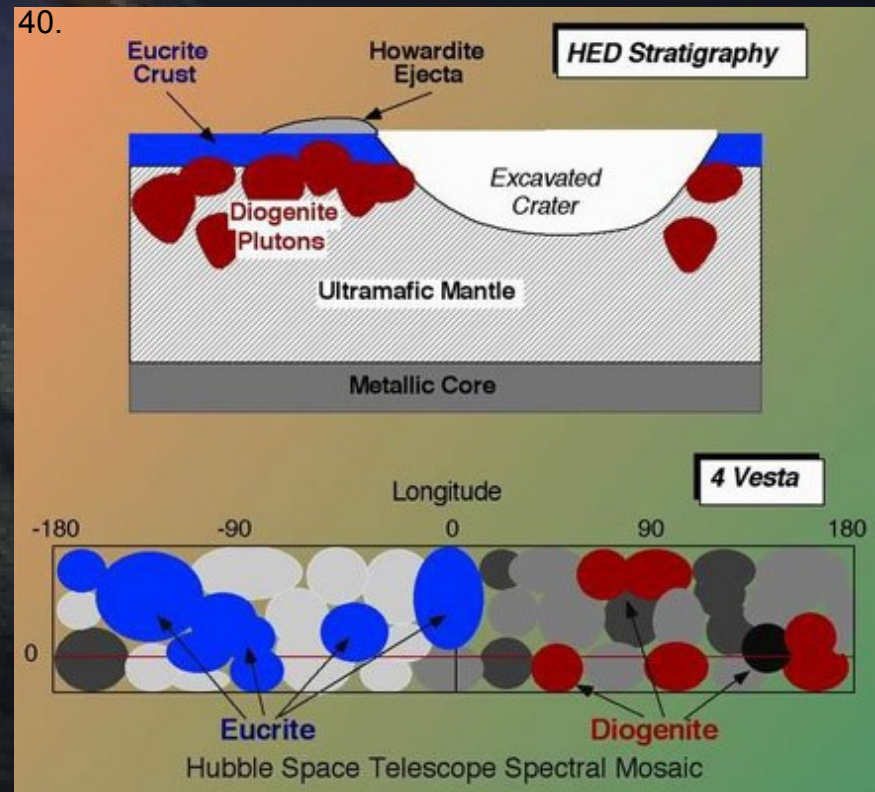


Surface of Asteroid Vesta

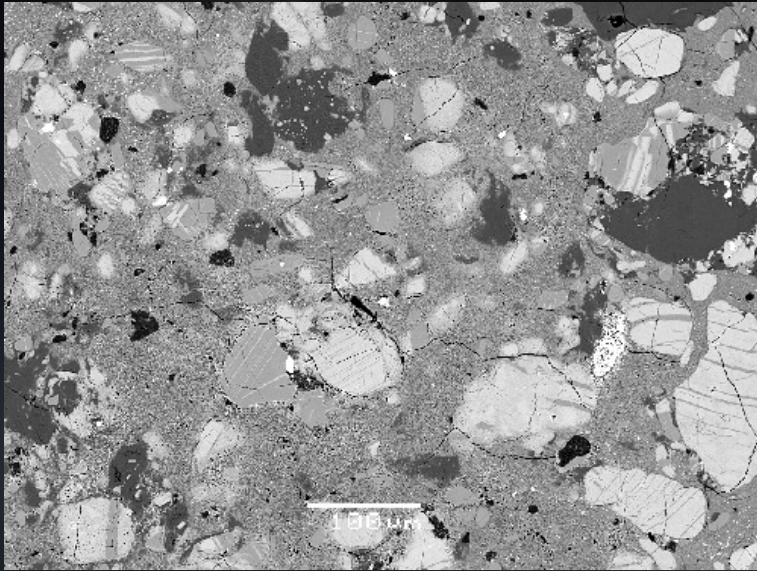
HST · WFPC2

PRC95-40 · ST ScI OPO · October 9, 1995 · B. Zellner (GA Southern Univ.), NASA

40.



Meteority diferencované – bazaltické asteroidální achondrity - HED



NWA-2201 Howardit – klasty eukritu v jemnozrnné matrix s fluidální stavbou. BSE snimek.



NWA-2794 – polymiktní howardit s klasty eukritu i diogenitu.



NWA-3147 – světlý eukrit s lištovitými krystaly OPX



NWA-4473 – hrubozrnný diogenit se světlými vyrostlicemi.

Meteority diferencované – bazaltické asteroidální achondrity - HED

10.



38 Diogenit Johnstown – hrubozrnná hornina utuhlá ve velké hloubce tvořená především velkými krystaly ortopyroxenů.

Eukrit Passamonte, jemnozrnná, rychle utuhlá hornina s lištovitým plagioklasem a většími ortopyroxeny, 10.



Kumulátový eukrit Serra de Mage s velkými pyroxeny, v nichž jsou admíseny CPX a xenomorfními plagioklasy, 10.

Meteority diferencované – bazaltické asteroidální achondrity - ostatní



38.

Ureilit SHISR-007, tento typ ast. achondritů obvykle zcela postrádá živce, obsahuje olivín, CPX, FeNi slitiny a troilit. Výjimečné jsou přítomností „intersticiálního“ grafitu, vzácně lonsdaleitu a diamantu, které vznikly při impaktu.

Angrit D'Orbigny je největší známý meteorit svého druhu. Je velmi hrubozrnný, s velkými olivíny a vesikulami.



38.



38.

Aubrit z Cumberland Falls. Vzácné achondrity složené téměř pouze z čistého enstatitu, vzácně obsahující *oldhamit* (CaMgFe)S nebo *niningerit* (MgFeMn)S.

Meteority diferencované – meteority z Marsu - SNC

Jsou nesmírně vzácné, doposud je známo celkem asi jen 40 kusů. Jsou poměrně podobné některým bazickým a ultrabazickým horninám na Zemi. Dnes jsou členěny na 4 typy podle různého složení. Nejvíce zastoupené jsou tzv. **shergottity**, mezi kterými se dále rozlišují bazaltické typy, shergottity o složení lherzolitických peridotitů a olivín-porfyrické shergottity. Jako **nakhlity** se označují martánské meteority o složení clinopyroxenitů a jako **chassignity** meteority blízké dunitům. Posledním typem zatím s jedinným nálezem je ortopyroxenit s označením ALH 84001. Pozorovány byly doposud jen 4 pády (Shergotty, Nakhla, Chassigny a Zagami).

Od jiných achondritů se liší především izotopovým složením plynů, především poměrem lehkého a těžkého vodíku, který je výrazně nižší vzhledem k nižší gravitaci Marsu. Dalším rozdílem je věk většiny meteoritů z Marsu, který se pohybuje kolem 1.3 Ga, což je nesrovnatelně méně než ostatní (kolem 4.5 Ga). Většinou vykazují známky šokové metamorfózy (undulózní zhášení augitu a živců, přítomnost maskelynitů apod.). Vzácné **nakhlity** jsou zajímavé přítomností minerálů s obsahem vody a absencí šokové metamorfózy.

Extrémně vzácné **chassignity** jsou tvořeny až z 90% Fe-bohatým olivínem, dále CPX a zesklivatělými živci.

ALH 84001 je jedinným exemplářem svého druhu meteoritu z Marsu. Odpovídá složením hrubozrnnému ortopyroxenitu (hyperstenitu). Unikátním se jeví jednak obsah karbonátů a především nález struktur o velikosti až 100 nm, které připomínají bakterie. Karbonátové nodule obsahovaly stopy polycyklických aromatických uhlovodíků.

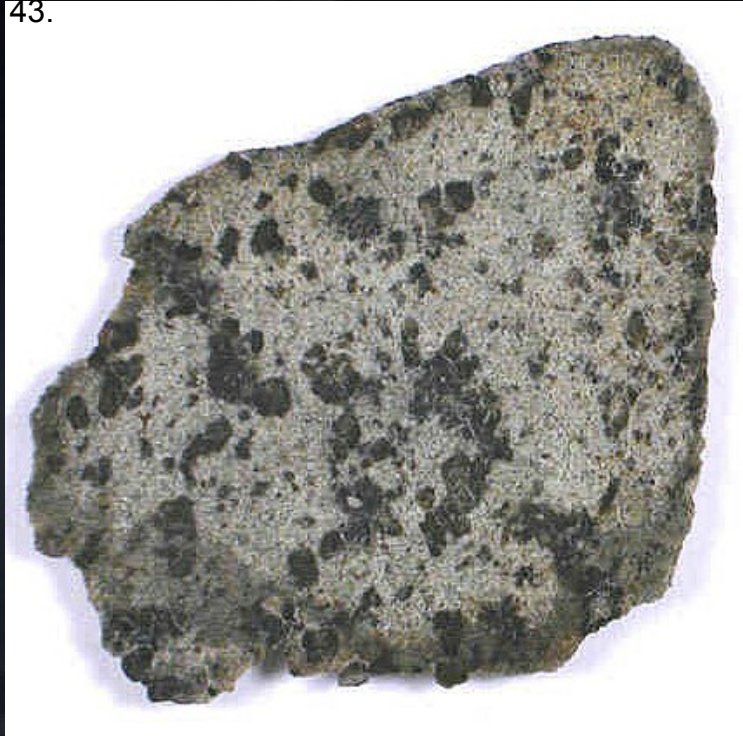
bazaltický Shergottit NWA 2046 – olivín-OPX porfyrický bazaltický shergotit, dále s pigeonitem, maskelynit, spinelidy, ilmenitem, pyrrhotinem aj (

43.



Meteority diferencované – meteority z Marsu - SNC

43.



Sayh al Uhaymir - SaU130 Shergottit, pravděpodobně součást hromadného pádu o celkové váze téměř 10 kg, porfyrický bazalt s velkými olivíny plovoucími v jemnozrnné matrix z pigeonitu a maskelynitu, dále fosfáty, opákní fáze. Silně šokově postižený.

43.



NWA 998 – nakhlit, složený především z augitu, sekundární minerály s vodou, chlorapatit, olivín, pyrrhotin, Ti-magnetit a pre-terestrický ankerit.

43.



NWA 2737 – chassignit, nalezený v Maroku, asi 5 let považovaný za pseudometeorit. Jde o silně šokově postižený kumulátový dunit obsahující asi 90% olivínu, 5% CPX a 2% plagioklasu. Díky šokové metamorfóze změnil olivín barvu ze zelené na modročernou. Celkem nalezeno asi 0.6 kg. Kus na obrázku (0.7g) je na internetu na prodej za 2000 USD (!).

Meteority diferencované – meteority z Měsíce - Lunaity

První ověřený nález lunárního meteoritu pochází z roku 1982, kdy tým vědců objevil meteorit v oblasti Allan Hills, později označený jako ALH A81005. Nebyl to však první nález meteoritu původem z měsíce. Již dříve (v r. 1979 a 1980) byly postupně nalezeny 3 meteority v Yamato Mountains, nicméně nebyl ihned rozpoznán jejich lunární původ. Později byly nalezeny další i mimo antarktidu (NWA, Austrálie). Od jiných typů achondritů se liší především svou petrografií. Většina lunárních meteoritů má složení tzv. **regolitové brekcie**. Regolit je hornina, pokrývající měsíční povrch a jde o produkt „impaktivního zvětrávání“, tzn. o nesoudržný materiál tvořený především původními vyvřelými horninami měsíce (**anortozity**) a vyvřelinami vzniklými při velkých impaktních událostech, tvořící dnes měsíční moře (**bazaltoidy**). Některé brekcie jsou víceméně monomiktní a mohou být tvořeny pouze klasty anortozitů nebo bazaltů anebo mohou být polymiktní. Vzácně mohou obsahovat i klasty gabroidních hornin. Většina lunárních meteoritů vykazuje silné projevy šokové metamorfózy.



43.

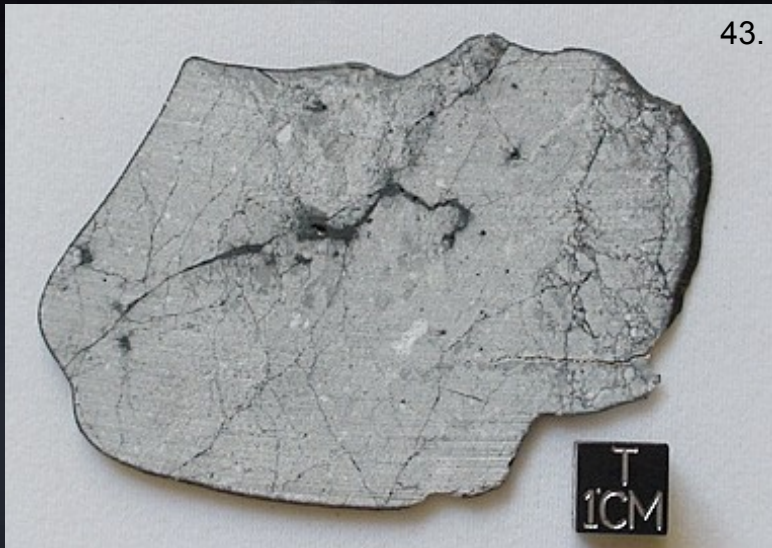


Měsíční anortozity mají hlubinný původ – jsou to hrubozrnné horniny tvořené především bazickým plagioklasem.

Bombardování relativně velkými asteroidy, způsobujícími vznik velkých kráterů a produkci bazaltoidních hornin ustalo zhruba před 3.9 Ga. Lunární mořské bazalty tvoří asi 17 % měsíčního povrchu. Mají složení podobné terestrickým bazaltům (Fe-bohaté pyroxeny, olivín, ilmenit, Ca-bohatý plagioklas aj.) Člení se na základě chemismu.

ALH 81005, první nalezený a ověřený lunární achondrit – anortozitická regolitová brekcie, klasty světlých anortozitů v tmavé matrix.

Meteority diferencované – meteority z Měsíce - Lunaity



NWA-482, anortositická impaktní brekcie s výraznými znaky drčení a tmavými žilkami skla.



NWA-5000, regolitová brekcie s klasty anortozitů a bazaltů



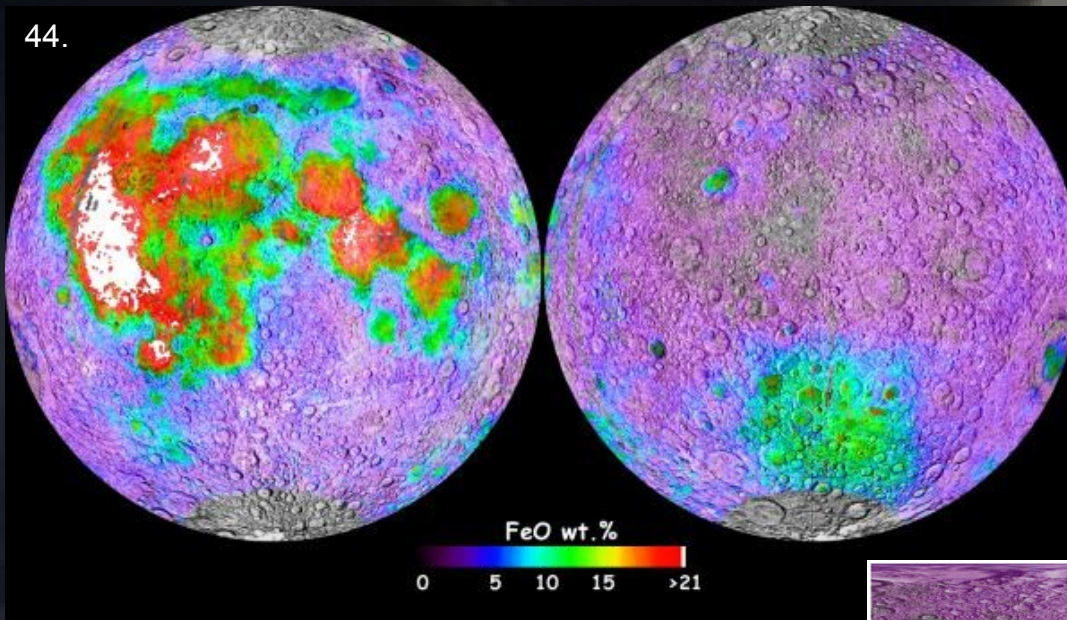
NWA-032, olivinický bazalt s fragmenty a vyrostlými olivínu v tmavé matrix (pyroxenu a chromit).



NWA-773, regolitová brekcie s klasty olivinického gabra.

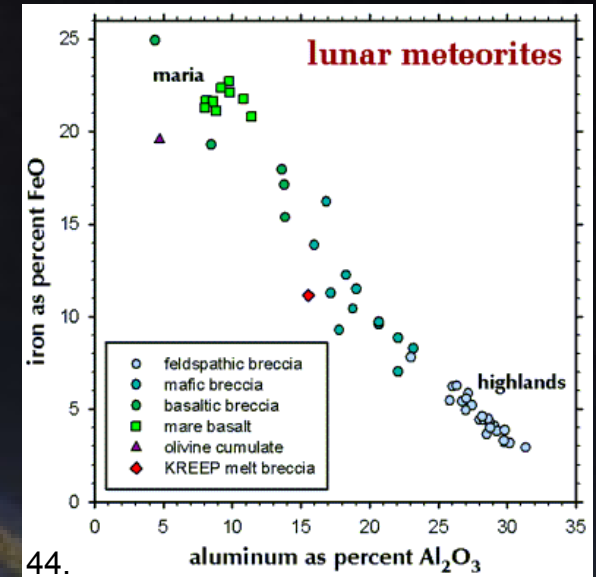
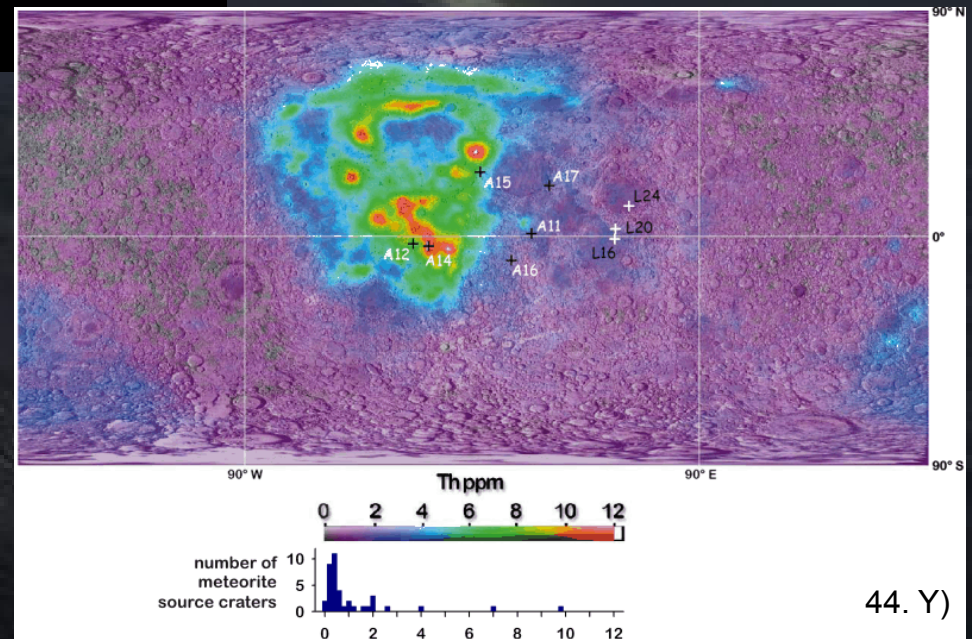
Meteority diferencované – meteority z Měsíce - Lunaity

V závislosti na chemickém složení lunárních meteoritů lze s určitou mírou pravděpodobnosti stanovit oblast či kráter, z něhož studovaný meteorit pochází.



Koncentrace FeO (falešné barvy) na měsíčním povrchu v hm.% na základě měření reflektanční spektroskopie sondou *Clementine* v roce 1994. Vysoké obsahy odpovídají měsíčním mořím (bazalty) a nízké pevninám a vysočinám (anortozity).

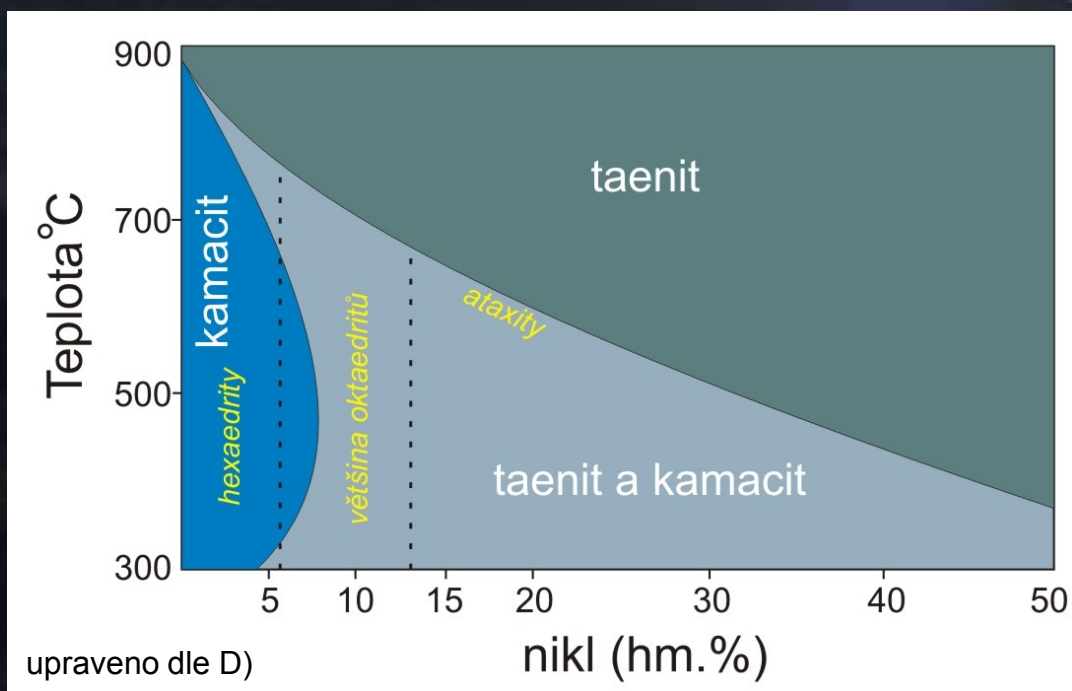
Koncentrace Th (v ppm) na měsíčním povrchu ve falešných barvách určené gamma-spektrometrem družice *Lunar Prospector* v roce 1998-99. Vyznačeny místa působení misí Apollo (A) a sond Luna (L). Spodní malý diagram ukazuje četnost meteoritů s danou koncentrací Th.



Meteority diferencované – železné a kamenoželezné meteority

Předpokládá se, že tento typ meteoritů má svůj původ v jádře a na hranici kamenného pláště a Fe-Ni jádra. Větší či menší příměs Fe-Ni slitin obsahují běžně i chondrity a některé achondrity, což ukazuje na různou míru stratifikace hmot v odlišných hloubkových úrovních a tím i odlišnou míru tepelné metamorfózy. Při destrukci víceméně diferencovaných těles docházelo k vyvrhování i materiálu z jádra a na zmíněném rozhraní a vzniku M- nebo SM- asteroidů (metall, stony-metal). Příkladem je například planetka **16 Psyche** (průměr 253 km, hustota 6.98 g/cm³), která se jeví být M-typem.

Slitiny Fe-Ni jsou v meteoritech zastoupeny především dvěma hlavními typy – **kamacitem** – s nižším obsahem Ni (α -(Fe,Ni)) a **taenitem** γ -(Fe,Ni), obě fáze jsou kubické. V závislosti na poměru Fe/Ni, teplotě a rychlosti krystalizace vznikají různé formy. Zatímco taenit tvoří krychle, kamacit oktaedry rostoucí přes rohy taenitových krychlí. Tím vzniká specifická kombinace tvarů – viz dále. **Plessit** je velmi jemnou směsí taenitu a kamacitu a často s těmito fázemi asociuje.



44. Occultation of
TYC 5783:1228
by 16 Psyche

by
Dave Gault



Meteority diferencované – železné a kamenoželezné meteority

Starší klasifikace této skupiny vychází ze studia vzorů Fe-Ni fází po rozříznutí, vyleštění a naleptání – vznikají tzv. **Widmanstättenovy** obrazce, tvořené lamelami kamacitu prorůstající s Ni-bohatší fází. Tyto klasifikace člení především skupinu oktaedritů na 6 strukturních podtříd lišících se tloušťkou jednotlivých kamacitových lamel. V případě hexaedritů se po naleptání objevují tzv. **Neumannovy** linie.

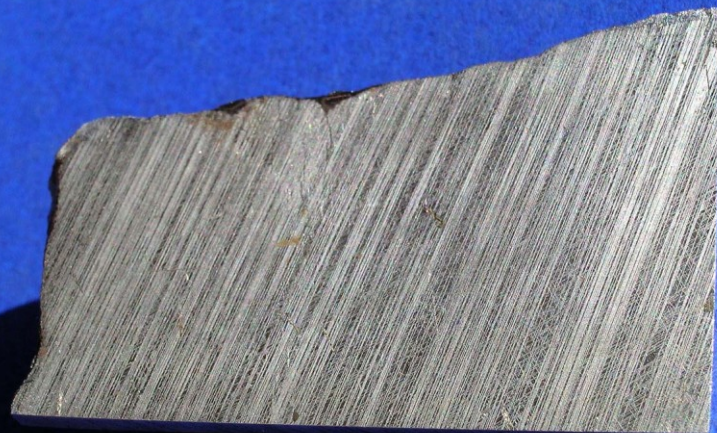
Dnes se používají velmi podrobné strukturně-chemicko-mineralogické klasifikace, vyčleňující 14 skupin a několik podskupin s více než 760 členy. Použity jsou označení např. **IAB** (iron AB).

Strukturní a chemická klasifikace železných meteoritů				
Strukturní třída	Texturní označení	Šířka lamel kamacitu	Obsah niklu hm. %	Odpovídající chemická skupina
Hexaedrity (HEX) Neumannovy obr.		50	4.5-6.5	IIAB, IIG
Oktaedrity (O) Widmanst. obr.	Nejhrubší oktaedrit (Ogg)	3.3-50	6.5-7.2	IIAB, IIG
	Hrubý oktaedrit (Og)	1.3-3.3	6.5-8.5	IAB, IC, IIE, IIIAB, IIIE
	Střední oktaedrit (Om)	0.5-1.3	7.4-10.3	IAB, IID, IIE, IIIAB, IIIF
	Jemný oktaedrit (Of)	0.2-0.5	7.8-12.7	IID, IIICD, IIIF, IVA
	Nejjemnější oktaedrit (Off)	<0.2	7.8-12.7	IIIC, IIICD
	Plessit (Opl)	<0.2, jehlice	jehlice kamacitu	IIIC, IIIF
<i>Upraveno dle D)</i>	-	chybí	>16	IIIF, IVB

Meteority diferencované – železné meteority – hexaedrity, oktaedrity

Hexaedrity jsou mnohem vzácnější než oktaedrity. Vyznačují se nižším obsahem Ni. Jsou pro ně charakteristické Neumannovy linie, což jsou řezy přes velmi jemné (1-10 μ m) dvojčatné lamely v kamacitových krystalech, které se zdůrazní mechanickým šokem a jsou viditelné po naleptání. Na štítových stranách meteoritů, kde došlo k ablaci při průletu, může být struktura setřena tepelným působením.

51.



Hrubý
oktaedrit
Canyon
Diablo IAB

Hexaedrit Calico
Rock IIAB,
Neumannovy
linie

46.

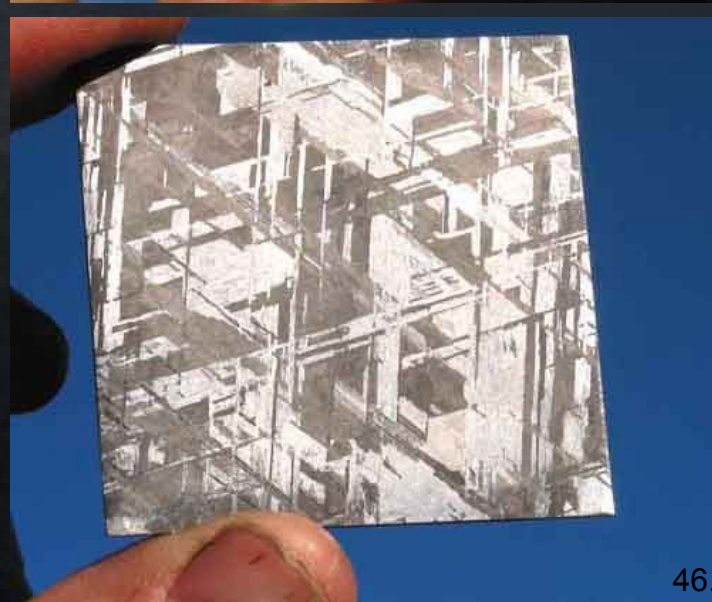


Střední
oktaedrit Cape
York IIIAB



Seymchan
pallasit
Neumanovy linie
+ Widmanst.
obrazce

47.



46.

Meteority diferencované – železné meteority - ataxity

Název z řeckého označení pro hmotu bez struktury. Makroskopicky ataxity nevykazují lamely kamacitu a taenitu, takže působí celistvým dojmem. Odmísení a tím i Widmanst. obrazce jsou patrné pouze pod mikroskopem. Charakteristický je pro ně vysoký obsah Ni (kolem 16hm.%). Jsou poměrně vzácné, nicméně mezi ně patří i největší známý meteorit na Zemi – **Hobe meteorit**.

34.



Chinga ataxit IVB, Rusko, obsah Ni až 18 hm.%.
Historický pád

Impakťový kráter meteoritu Gebel-Kamil,
nezařazeného ataxitu s obsahem 19.6 hm% Ni. Stáří
impaktu méně než 5000 let.

Největší, 83 kg vážící kus meteoritu Gebel-Kamil s
dobře vyvinutými regmaglypty.



Meteority diferencované – železokamenné meteority

Původ nejasný, některé teorie ukazují na rozhraní pláště a jádra mateřské planety, jiné hovoří o odmísení silikátové taveniny, další o brekcii s kovovým tmelem a nebo o vzniku jakýchsi akumulací kovového materiálu na chondritických asteroidech díky impaktu. Obsah nekovové složky dosahuje až přes 50 obj. %.

Distribuce silikátové složky může být rovnoměrná, ale často, zejména u větších kusů bývá patrné nerovnoměrné rozložení s místní akumulací. Některé typy jsou klasifikovány jako tzv. **silikátová železa** (IAB, IIICD, IVA) nebo na pomezí Fe-Ni meteoritů a chondritů (IIE).

Dále sem patří důležitá skupina – **Pallasity** (MPG) – meteority tvořené Fe-Ni slitinou uzavírající především krystaly olivínu nebo jejich fragmenty. Pallasity mohou někdy obsahovat jen malé množství kovového materiálu. Kov nejčastěji odpovídá střednímu oktaedritu (IIIAB a IIF). Člení se na hlavní skupinu (Mg-bohatý olivín ve středním oktaedritu v poměru cca 2/1), dále na pallasity „Eagle Station“ (Fe-bohatý fragmentovaný olivín, Ni-bohatý IIF) a pyroxenové pallasity (zvýš. množství CPX spolu s olivínem).

Mesosiderity (MES) obsahují přibližně stejný podíl kovové a silikátové složky a jsou to polymiktní brekcie ostrohranných i zaoblených klastů (OPX, plg, eucritový materiál) s žilkami až intersticiálním kovem, který odpovídá IIIAB. Předpokládá se, že by mohly pocházet z vyšších úrovní pláště nebo na rozhraní pláště a kůry. Problematická však zůstává absence olivínu.



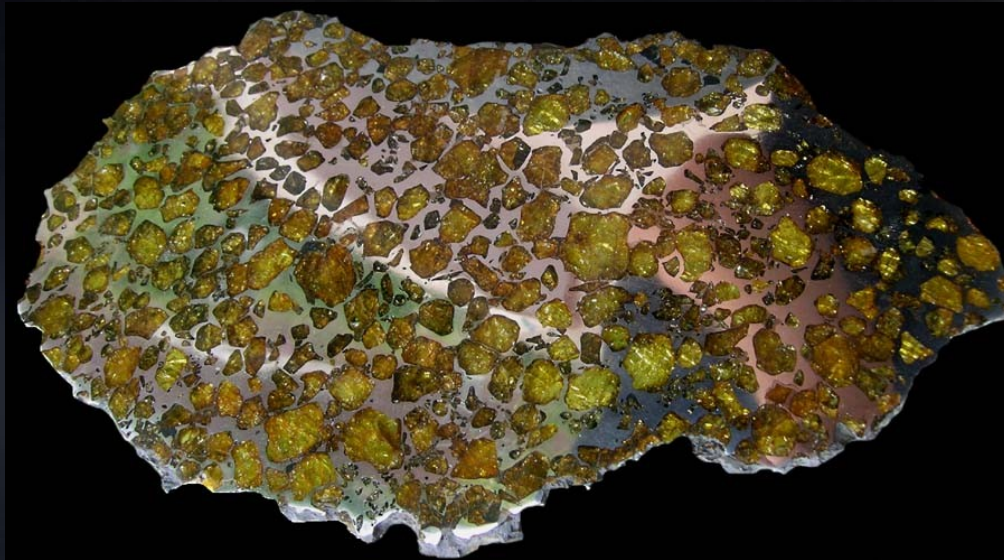
Silikátové železo Udei Station, Nigérie (enstatit, olivín, plagioklas, diopsid, Om oktaedrit)



Mesosiderit Crab Orchard, Tennessee

Meteority diferencované – pallasity

Imilac, Chile



51.

Esquel, Argentina

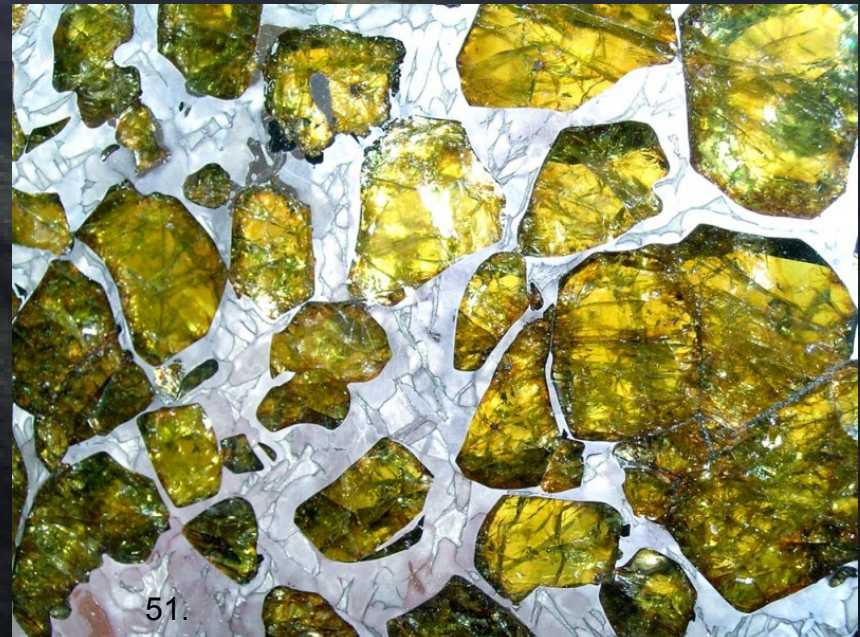


51.

53.



Fukang, Čína, původní kus vážil kolem 1 t, obsahoval nerovnoměrně rozmístěné shluky velkých olivínů drahokamové kvality (Fo_{87}). Meteorit náleží k hlavní skupině pallasitů, zajímavostí je přítomnost intersticiálního K-živce v silikátových inkluzích (Z)). Kus na obrázku vlevo byl nabízen v aukci za 2 mil \$



51.



Meteority „s rodokmenem“

Meteority „s rodokmenem“

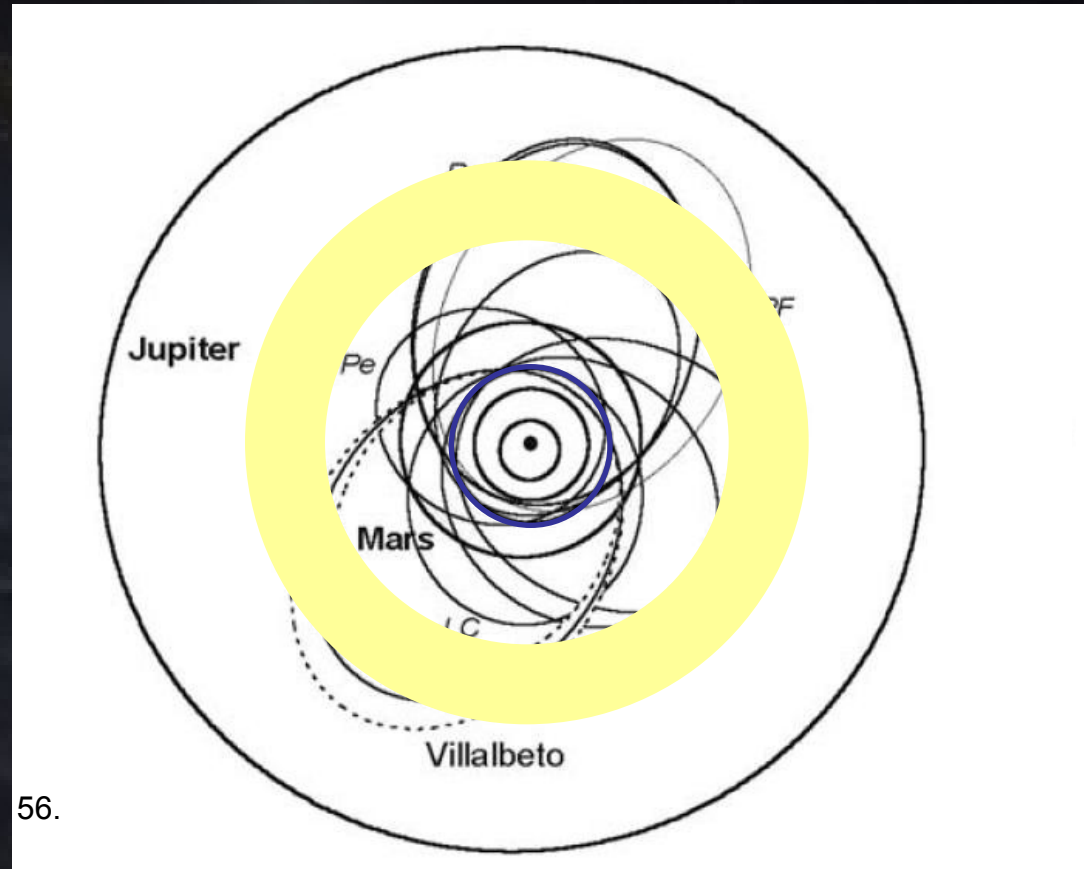
Dnes existuje rozsáhlá síť pozorovacích stanic za účelem snímkování oblohy a snahou zaznamenat jasné bolidy a dopočítání jejich původní dráhy a místa dopadu potenciálního zbytku – meteoritu.

Výpočet je poměrně komplikovaný a tím spolehlivější, čím více je spolehlivých dokladů (snímků, videozáznamů) pádu bolidu.

První úspěšně rozšifrovaný rodokmen se podařil Z. Ceplechovi na základě snímků ze dvou stanic na území tehdejšího Československa. Bolid a meteorit dostal jméno Příbram podle místa pádu. K události došlo 7. dubna 1959.

Dnes známy rodokmeny několika těles, u nichž se podařilo zpětně určit orbit v rámci sluneční soustavy a rovněž dohledat místo pádového pole a prozkoumat tak zbytky například:

Příbram	–	7.4. 1959	Pr
Lost City	-	3.1.1970	LC
Innisfree	-	5.2.1977	In
Peekskill	-	9.10. 1992	Pe
Tagish Lake	–	18.1. 2000	TL
Morávka	–	6.5. 2000	Mo
Thuat	-	21.7. 2002	PF
Neuschwanstein	-	14.7. 2003	Ne
Willabeto	-	4.1. 2004	Vi..
Buzzard Coulee	-	20.11. 2008	
Carancas	-	15.9. 2007	
Bunburra	-	6.5. 2009	
Košice	-	28.2. 2010	



Oběžná dráha Země



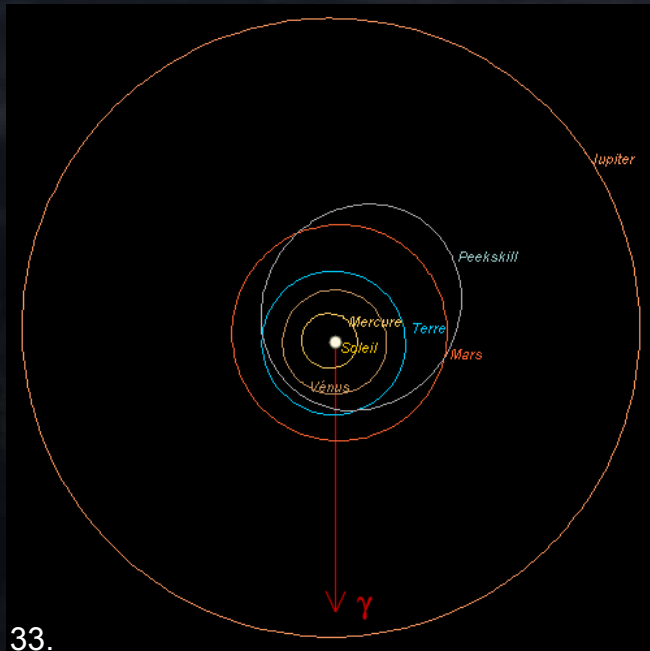
Hlavní pás planetek

Meteority s rodokmenem – Pád Peekskill

Pád z 9. října 1992, zaznamenaný poměrně dlouho trvající (40s) bolid od JZ k SV směřující, tisíce očitých svědků, 16 videozáznamů (fotbalová sezóna mezi vysokými školami na východním pobřeží). Jeho fragmentace probíhala nad Kentucky a samotný pád v Peekskillu ve státě New York, kde mimo jiné jeden fragment zasáhl Chevrolet Malibu, který byl jako rarita výhodně prodán. Barva bolidu byla svědky určena jako nazelenalá. Rychlost vstupu spočítána na 14.7 km/s, hmotnost meteoroidu na cca 10 tun, veli-kost cca 1.7 x 1.7 x 1m (N)). Hmotnost nalezeného materiálu 12.37 kg, jednalo se o obyčejný brekciováný chondrit H6, doba expozice spočtena na cca 25 mil. let (M)).

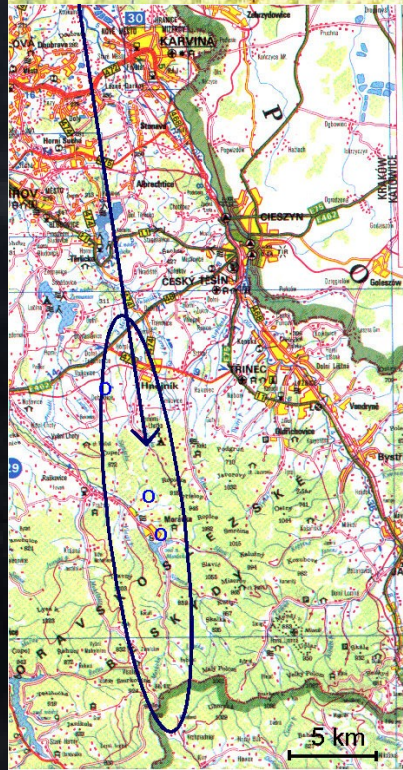


Jeden ze záznamů bolidu Peekskill s dobře patrnou fragmentací.

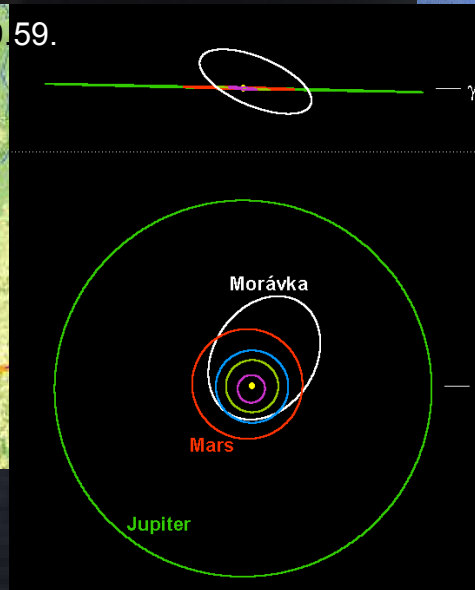


Meteority s rodokmenem – Pád Morávka

Pád Morávka – pád ve dne 6.5. 2000, jasný bolid, předpokládá se až 10000 svědků, 3 videozáznamy, zaznamenaná rázová vlna na seism.stanici. Nalezeno 5 kusů.



59. 59.



Předpoklad pádu až 100 ks. Vstupní rychlost spočítána na 22.5 km/s. Sklon k ekliptice 32°. Jde o běžný chondrit H5-6, iniciální hmotnost ohadnuta na 1.5 tuny, kosmický věk cca 6.7 mil.let. Unikátní byla možnost kombinovat seismická data z husté sítě stanic na ostravsku se stanicí zachycující infrazvuky v Německu a daty ze špiónážních družic. To umožnilo značně přesně stanovit rodokmen tělesa (BB, CC).

59.

autor videosnímku: Josef Mišák



59. Jiří Fabig



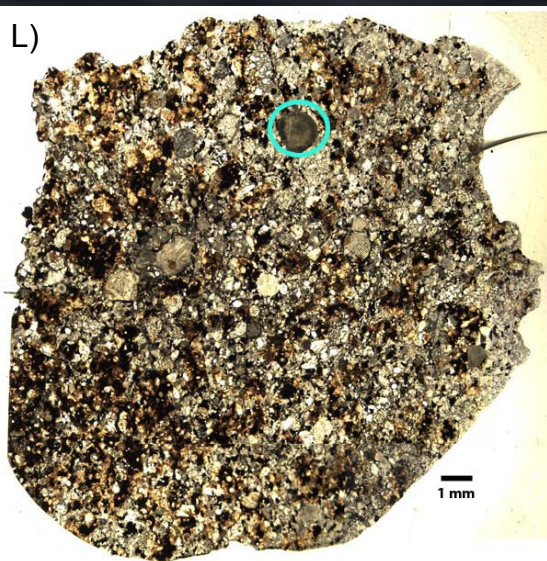
59.



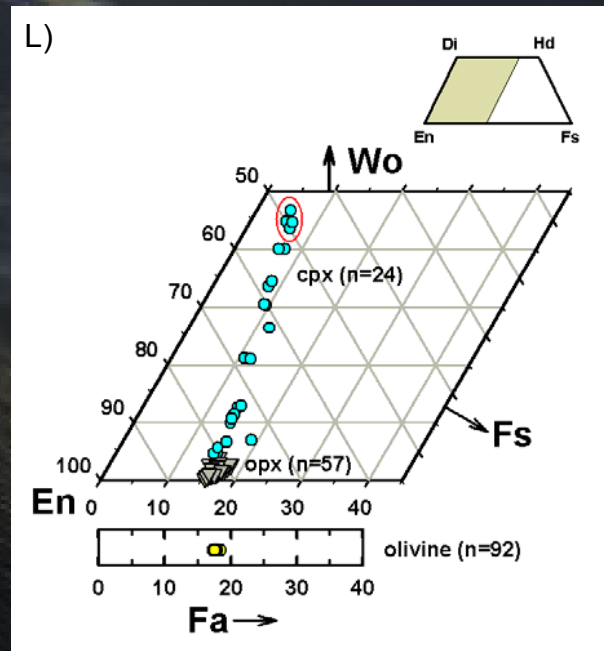
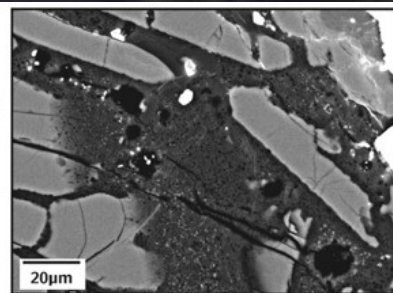
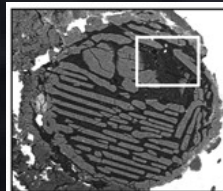
Meteority s rodokmenem – Pád Buzzard Coulee

Pád Buzzard Coulee – dne 20. listopadu 2008 byl zaznamenán několika kamerami jasný bolid na sz. Kanadou. Po stanovení přibližného místa dopadu bylo o týden později objeveno několik fragmentů tělesa.

[video prezentace\Buzzard Coulee.mp4](#)



Pole pádu o rozloze asi 10 x 3 km poskytl již více než 200 kusů o celkové váze přes 50 kg. Další analýzy ukázaly, že se jedná o běžný chondrit H4

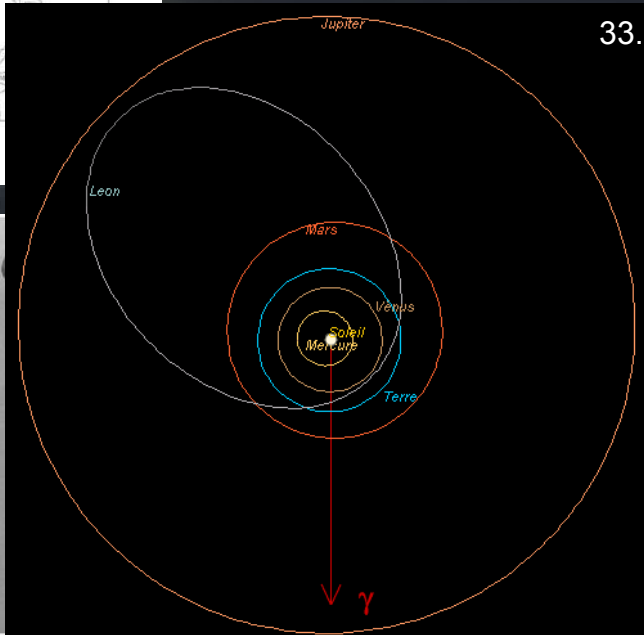
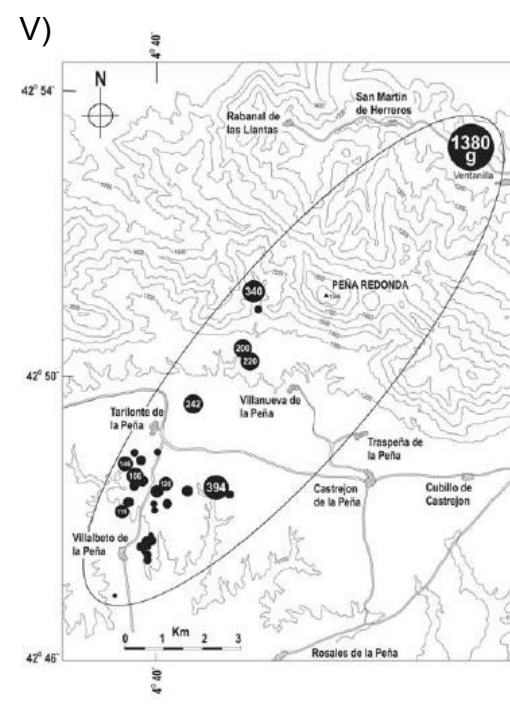
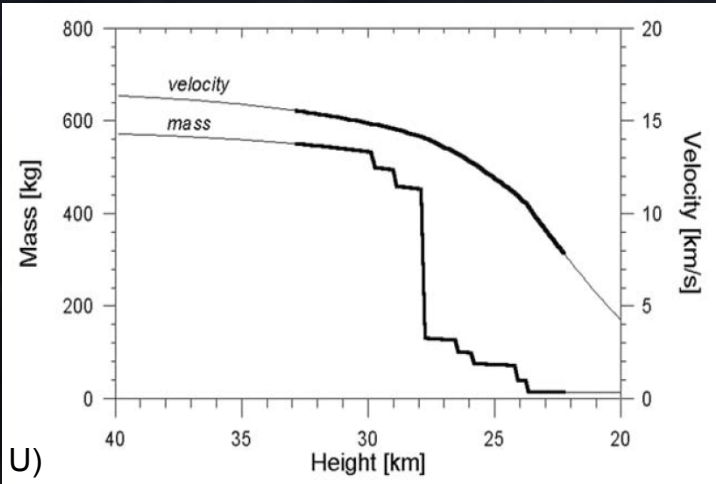


Meteority s rodokmenem – pád Villalbeto de la Pena

pád ze dne 4.1. 2004 v severním Španělsku, těleso o hmotnosti cca 10 tun
vstoupilo rychlostí 19+3 km/s do atmosféry nad sv. Portugalskem a po
průletu do oblasti Kantábrie dopadlo do blízkosti Villalbeto de la Pena.
Jednalo se o pravý chondrit L6, kosmický
věk 48+5 mil. let. Zanechal po sobě výraz-
nou kouřovou stopu.



33.



33.

Meteority – pád Whetstone Mountains

Whetstone Mountains – pád do oblasti Cochise County v Arizoně dne 23. června 2009. Bolid zachycen v Tusconu, asi 65 km daleko od místa pádu, zaznamenány silné zvukové projevy. Již 48 hodin po pádu nalezen první meteorit, celkem pak 22 kusů. Jedná se o H5 chondrit - brekcie.



Meteority – pád Almahata Sitta - planetka 2008 TC3

Almahata Sitta – pád 7. 9.2008 do oblasti Núbíjské pouště v Súdánu. Objekt byl výjimečný tím, že byl zjištěn ještě 19hodin před vstupem do zemské atmosféry a bylo tak možné přesně sledovat jeho dráhu. Ve výšce 37 km nad Zemí planetka explodovala a její úlomky dopadly na několi desítek km dlouhé pádové pole. Bylo za pomoci studentů Chartúmské univerzity nalezeno cca 10 kg většinou drobných fragmentů (cca 600 ksuů). Meteorit náleží k ureilitům a je nápadný vysokou nehomogenitou a porozitou (příčina jeho fragmentace) a vysokým obsahem grafitu s inkluzemi diamantů. Z jeho složení někteří vědci usuzují, že by mateřské těleso mohlo být planetkou typu Rubble pile, jiní to však vylučují . Dalším unikátem je přítomnost organických sloučenin, nicméně se předpokládá, že vznikly anorganickým způsobem (22.)



Anomální ureilitová mikrobrekcie – olivín, Ca-chudý pyroxen, pigeonit, grafit, kamacit, troilit.

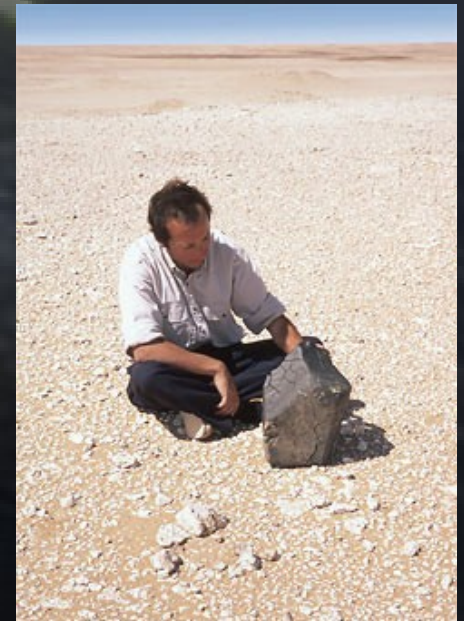
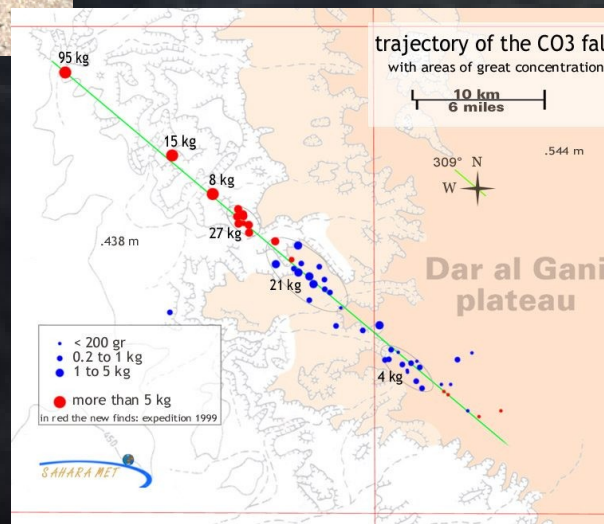
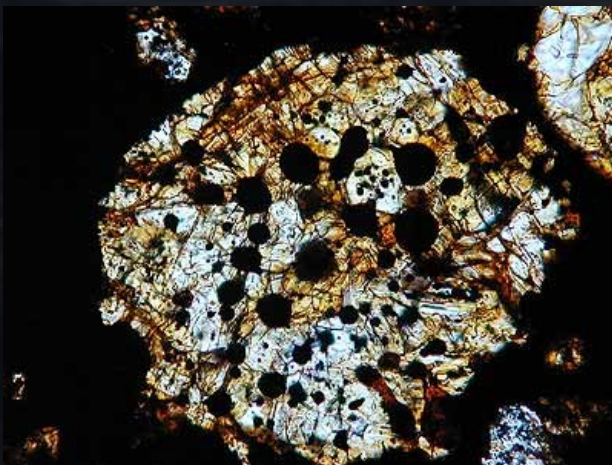
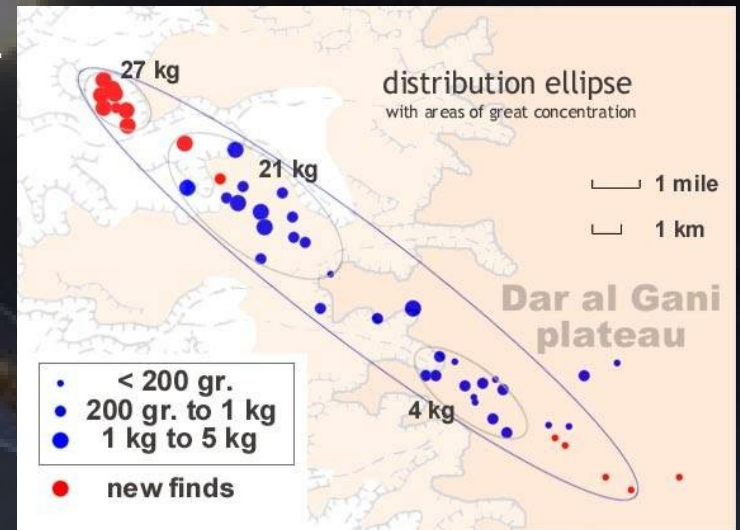
Amine Compound Detected	Almahata Sitta (2008 TC ₃)	
	Free (ppb)	Total (ppb)
D-aspartic acid	1.2 ± 0.2	3.0 ± 0.2
L-aspartic acid	1.4 ± 0.3	5.0 ± 1.5
D-glutamic acid	0.5 ± 0.1	3.5 ± 0.4
L-glutamic acid	0.9 ± 0.2	7.7 ± 0.7
Glycine	21 ± 1	69 ± 24
D-alanine	5.0 ± 0.2	11 ± 3
L-alanine	5.1 ± 0.2	11 ± 2
β-alanine	4.2 ± 0.7	17 ± 7
D,L-α-amino- <i>n</i> -butyric acid (α-ABA)	1.7 ± 0.1	5.0 ± 0.5
D-β-amino- <i>n</i> -butyric acid (D-β-ABA)	1.2 ± 0.2	4.5 ± 1.4
L-β-amino- <i>n</i> -butyric acid (L-β-ABA)	1.2 ± 0.8	4.7 ± 1.3
γ-amino- <i>n</i> -butyric acid (γ-ABA)	1.8 ± 0.3	12 ± 1
α-aminoisobutyric acid (α-AIB)	3.6 ± 1.0	7.1 ± 5.8
D,L-valine	1.7 ± 0.4	1.8 ± 0.6
D-norvaline	< 0.3	0.7 ± 0.1
L-norvaline	< 0.2	0.7 ± 0.1
D-isovaline	0.6 ± 0.1	1.3 ± 0.1
L-isovaline	0.7 ± 0.1	1.4 ± 0.1
ε-amino- <i>n</i> -caproic acid (EACA)	3.6 ± 1.8	< 4
ethanolamine (MEA)	19 ± 1	21 ± 1
methylamine (MA)	11 ± 1	13 ± 1
ethylamine (EA)	76 ± 5	105 ± 8
isopropylamine (IPA)	84 ± 10	149 ± 17

A photograph of a meteor streaking across a dark night sky. The meteor is a bright, elongated object with a long, thin trail of light behind it, moving from the upper left towards the lower right. In the upper center, a bright, circular moon is visible. The lower portion of the image shows a dark, textured surface, likely water, which reflects the light from the meteor and the moon. The overall scene is dark and atmospheric.

Meteority – historické pády

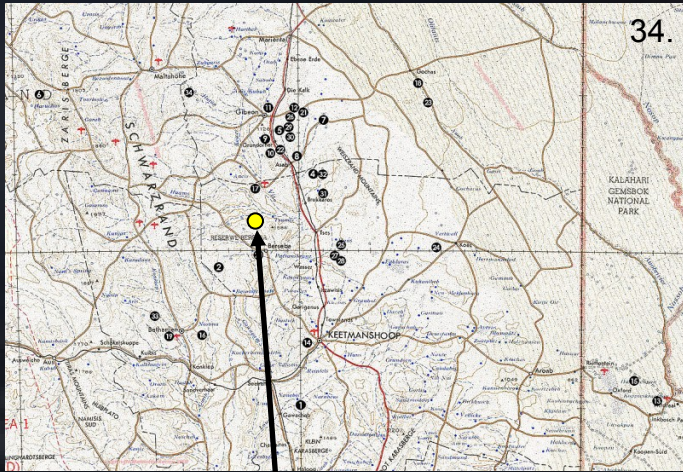
Meteority – pád Dar al Gani

Karbonátový chondrit 749 Dar al Gani – největší meteorit nalezený v Lybii a třetí největší karbonátový chondrit na světě, nálezy postupně rozšiřují elipsu pádového pole až na délku 43 km. Dokonalý příklad distribuce v závislosti na váze jednotlivých fragmentů. Doba pádu neznámá, odhady několik tisíc let vzhledem k vyhlazeným plochám od větru a písku a pouštního laku. Celkem nalezeno 183 kg, jde o karbonátový chondrit 3 s hojnými a dobře vyvinutými chondrami (vše 32.)



Meteority - Gibeon

Jde o mohutný prehistorický (5000-30000 let) hromadný pád neznámého stáří. Nálezy stovek těžkých fragmentů původního tělesa pochází z oblasti Swartrand v poušti Kalahari v Namibii. Velikost meteoroidu se odhaduje na celkem 4 x 4 x 1.5 m. Planetka vstoupila do atmosféry od SZ (odhad dle distribuce v pádovém poli o velikosti cca **350 x 200 km** !). Dnes známo asi 120 větších kusů, největší kus – Amalia – 1328 kg. Složení – jemný oktaedrit (87% Fe, 8% Ni, 0.5% Co, Pt, Ir, P atd.) Zajímavá je přítomnost tzv. štítových orientovaných celotvarů – kdy se deskovité fragment orientoval při průletu atmosférou velkou plochou – „štítem“ ve směru pádu, na štítu docházelo k masívní ablaci až odtavování ve směru k okrajů a vzniku tzv. L-hran. V meteoritu Gibeon byl rovněž poprvé objeven minerál eskolaite (Cr_2O_3) jako první mimozemský výskyt (S)). Původně dáván do souvislosti s



34.



34.

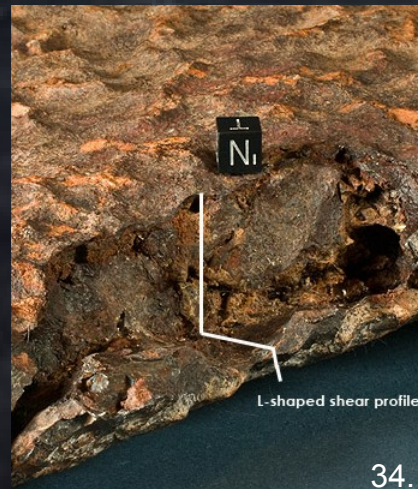
kráterem **Brukkaros**, ale ta již byla zcela vyloučena důkazem sopečného původu této struktury.

77 kg



37.

Brukkaros



34.



34.



České meteority

České meteority – přehled dle mezinárodní databáze www.lpi.usra.edu

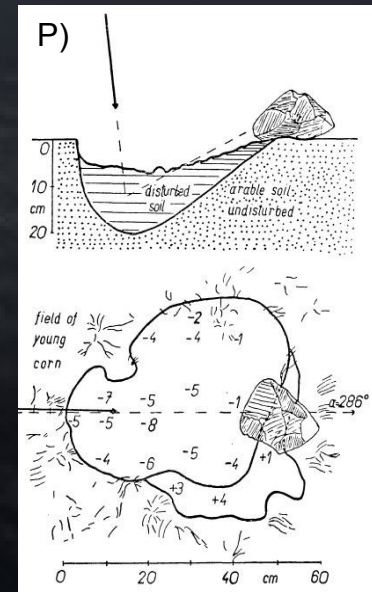
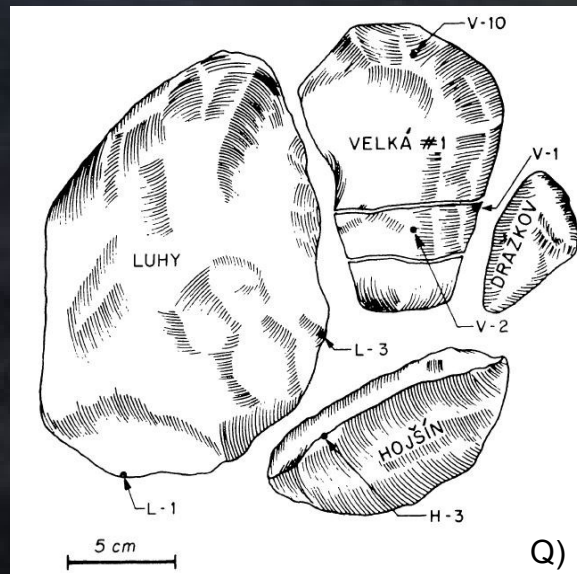
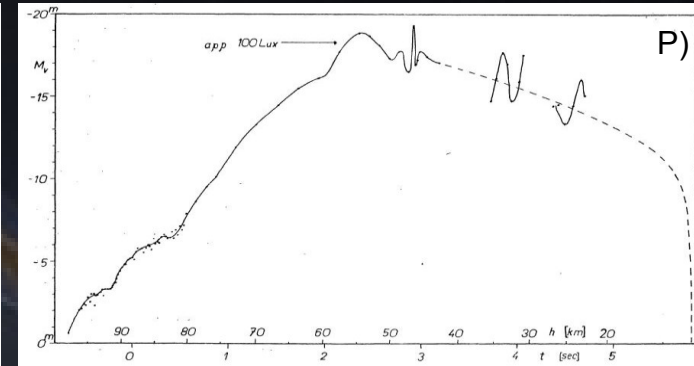
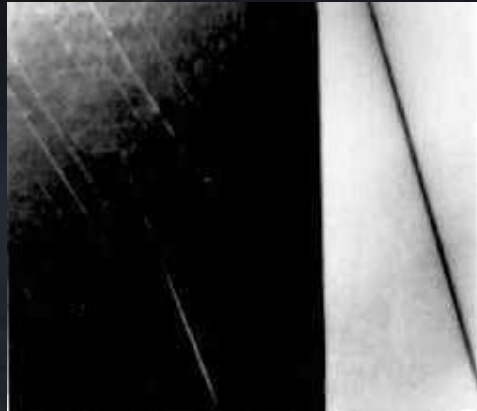
Name [?]	Status [?]	Fall [?]	Year [?]	Place [?]	Type [?]	Mass [?]	MetBull [?]	GoogleEarth •• Map all ↓
Alt Bela	Official		1898	Severomoravsky, Czech Republic	Iron, IID	4 kg		
Blansko	Official	Y	1833	Jihomoravsky, Czech Republic	H6	470 g		
Bohumilitz	Official		1829	Jihocesky, Czech Republic	Iron, IAB-MG	59 kg		
Braunau	Official	Y	1847	Vychodocesky, Czech Republic	Iron, IIAB	39 kg		
Chlumec	Undocumented		1993	Vychodocesky, Czech Republic	Iron, ungrouped	3 kg		
Elbogen	Official	Y	1400	Zapadocesky, Czech Republic	Iron, IID	107 kg		
Lissa	Official	Y	1808	Stredocesky, Czech Republic	L6	12.8 kg		
Morávka **	Official	Y	2000	Severomoravsky, Czech Republic	H5	633 g	85	
Opava	Official		1925	Severomoravsky, Czech Republic	Iron	14.3 kg		
Ploschkovitz	Official	Y	1723	Severocesky, Czech Republic	L5	39 g		
Příbram **	Official	Y	1959	Stredocesky, Czech Republic	H5	5.56 kg	15	
Sazovice	Official	Y	1934	Jihomoravsky, Czech Republic	L5	412 g		
Selčany	Official		1900	Stredocesky, Czech Republic	Iron	20 g		
Stannern	Official	Y	1808	Jihomoravsky, Czech Republic	Eucrite-mmict	52 kg		
Suchy Dul **	Official	Y	1969	Vychodocesky, Czech Republic	L6	815 g	48	
Tabor **	Official	Y	1753	Jihocesky, Czech Republic	H5	7.54 kg	33	
Teplá	Official		1909	Zapadocesky, Czech Republic	Iron, IIIAB	17 kg		
Tieschitz	Official	Y	1878	Severomoravsky, Czech Republic	H/L3.6	28 kg		
Ústí nad Orlicí **	Official	Y	1963	Vychodocesky, Czech Republic	L6	1269 g	28	
Vicenice **	Official		1911	Jihomoravsky, Czech Republic	Iron, IID	4.37 kg	31	
Wessely	Official	Y	1831	Jihomoravsky, Czech Republic	H5	3.75 kg		
Zebrak	Official	Y	1824	Stredocesky, Czech Republic	H5	2 kg		
Žlín **	Official		1939	Jihomoravsky, Czech Republic	H4	3.3 g	87	

České meteority – Příbram (CZ19590407)

bolid zaznamenán 7.4.1959 v 19.30, jasný začal být ve výšce 98 km (rychlost 20.9 km/s), pohasíná v 13 km, magnituda -19.2, délka trvání 7s, úhel k rovině ekliptiky cca 10.5 .

Odhadovaná velikost na 1.1-1.3 tuny, meteorit kamenný (O)), podle výpočtů „přežilo kolem 50 kg materiálu, celkem získáno 9.5 kg meteoritů (Luhy, Velká, Hojšín, Dražkov), jedná se o obyčejný chondrit H5 s dobou expozice spočítanou na cca 18mil. let

Složení: olivín, enstatit, chromit, troilit, NiFe, maskelynit, olivinické chondry (Q)).



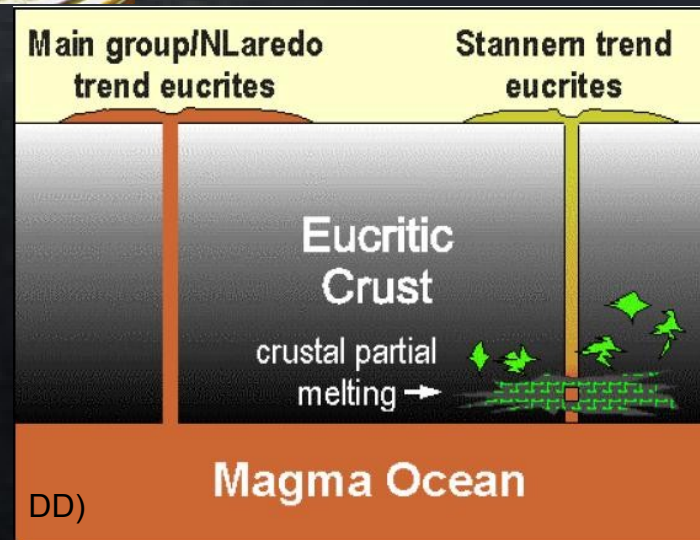
České meteority – Stonařov - Stannern

Pád s mnoha svědky se odehrál 22. května 1808 v ranních hodinách poblíž obce Stonařov jz. od Jihlavy. Měl mnoho svědků, kteří zaznamenali jak bolid (..ohnivý kužel...), zvukové projevy (...rána jak z děla...) tak samotný pád, kdy jednotlivé kameny dopadaly v bezprostřední blízkosti lidí. Pádové pole mělo rozměry asi 12 x 5 km. Celkem bylo nalezeno asi 66 kusů o váze 52 kg. Největší kus je uložen ve Vídni (AA)).

Petrograficky odpovídá stonařovský meteorit eukritu - monomiktní brekcii s relativně nízkým stupněm metamorfózy, relativně obohacenou o inkompatibilní prvky (REE, W). Kosmický věk je odhadován na 35+/-0.7 mil.let a absolutní stáří na 4.43 Ga.



Poněkud neobvyklý chemismus stonařovských meteoritů umožnil vyčlenit tzv. Stannern trend ve skupině eukritů, naznačující kontaminaci magmatu korovým materiálem (DD)).



České meteority – jiné zajímavé kusy

Meteorit **Těšice** – 15.7.1878, pozorovaný pád se zvukovými projevy a kouřovou stopou, kámen po nález byl horký, nalezen jediný kus (27.5 kg).

Meteorit **Broumov** (Braunau) – IAB oktaedrit, pův. váha cca 39 kg.

Meteorit **Loket** (Elbogen) – pád kolem r. 1400, střední oktaedrit IID, v minulosti označován jako „Zakletý purkrabí“. Původní váha asi 107 kg,

Meteorit **Opava-Kylešovice** – nález 4 ks při výzkumu paleolitického sídliště (18.tis.let) v r. 1925, pravd. hexaedrit s 5.6% Ni, celkem 14.3 kg.

62.



Opava - Kylešovice,
železo ?

60.

Broumov, IAB



Braunau (Broumov) b. Trutnov, Böhmen /
Tschechische Republik
Fall am 14.7.1847 - (zwei Massen, 39 kg)
Eisenmeteorit (Hexaedrit)
Das Stück ist teilweise gesägt und dann zerbrochen
Die Bruchfläche zeigt die Spaltbarkeit des α -Eisen
nach den Würfelflächen.

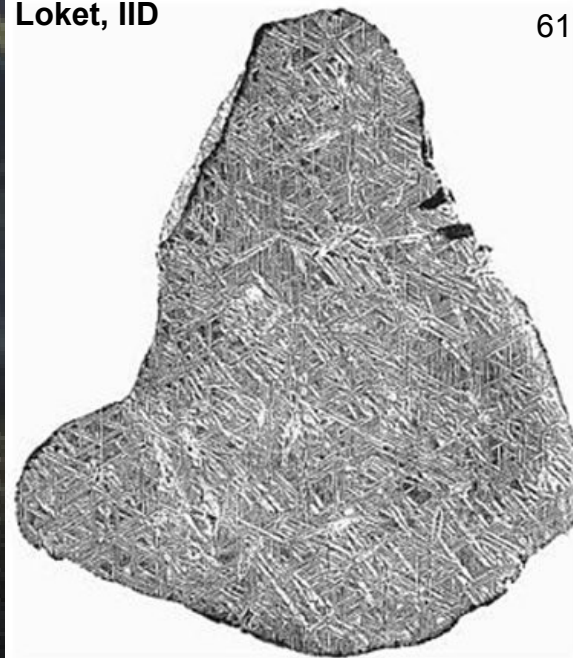
Těšice, H/L3,



58.

Loket, IID

61.



63.



Excitovaný Dr. Muawia Shaddad a veselé studentky z Chartúmské univerzity v Súdánu po nálezu jednoho z úlomků meteoritu Almahata Sitta („stanice šest“). Veselý je i Peter Jenniskens z institutu SETI.

Děkuji za pozornost

Citace a použitá grafika

- A) S. J. Bus and R. P. Binzel *Phase II of the Small Main-belt Asteroid Spectroscopy Survey: A feature-based taxonomy*, Icarus, Vol. 158, pp. 146 (2002)
- B) Normile, D (30 April 2010). "Spunky Hayabusa Heads Home With Possible Payload". *Science* **328** (5978): 565
- C) Chapman, Clark R. (October 1996). "S-Type Asteroids, Ordinary Chondrites, and Space Weathering: The Evidence from Galileo's Fly-bys of Gaspra and Ida" (PDF). *Meteoritics* **31**: 699–725
- D) Norton R. O., Chitwood L. A. (2008): Field guide to meteors and Meteorites. Springer.
- E) Nittler, L. R. (2003) Presolar stardust in meteorites: recent advances and scientific frontiers. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 209, p. 259-273.
- F) Messenger, S., Keller, L. P., Stadermann, F. J., Walker, R. M., and Zinner, E. (2003) Samples of stars beyond the solar system: silicate grains in interplanetary dust. *Science* vol. 300, p. 105-108.
- G) Jessberger E. K., Bohsung J., Chakaveh S., and Traxel K. (1992) *Earth Planet. Sci. Lett.*, submitted.
- H) E. K. Jessberger, T. Stephan, D. Rost, P. Arndt, M. Maetz, F. J. Stadermann, D. E. Brownlee, J. P. Bradley, G. Kurat (2001). *Properties of Interplanetary Dust: Information from Collected Samples*, in Grün, E., Gustafson, B.A.S., Dermott, S.F., Fechtig, H. (Eds.) **Interplanetary Dust**, pp. 253–294, Springer-Verlag.
- I) P. Rochettea, L. Folcob, C. Suaveta, M. van Ginnekenb, J. Gattaccecaa, N. Perchiazic, R. Brauchera, and R. P. Harveyd (2008): **Micrometeorites from the Transantarctic Mountains. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, **105**, **47**, **18206-18211**.
- J) P. Michel et al. (2001). "Collisions and Gravitational Reaccumulation: Forming Asteroid Families and Satellites". *Science* **294** (5547): 1696
- K) Hildebrand et al. (2009): CHARACTERISTICS OF A BRIGHT FIREBALL AND METEORITE FALL AT BUZZARD COULEE, SASKATCHEWAN, CANADA, NOVEMBER 20, 2008. A40th Lunar and Planetary Science Conference (2009).
- L) Hutson et al. (2009): A FIRST LOOK AT THE PETROGRAPHY OF THE BUZZARD COULEE (H4) CHONDRITE, RECENTLY OBSERVED FALL FROM SASKATCHEWAN. 40th Lunar and Planetary Science Conference (2009).
- M) Graf T. et al. (1997): Exposure history of Peekskill (H6) meteorite. – *Meteoritics and Planetary Science*, **32**, 25-30.
- N) P. Brown, Z. Ceplecha, R. L. Hawkes, G. Wetherill, M. Beech & K. Mossman (1994): The orbit and atmospheric trajectory of the Peekskill meteorite from video records. - *Nature* **367** (1994), pp. 624-626.
- O) Ceplecha Z.: Impacts of meteoroids larger than 1 m into Earth's atmosphere. *Astronomy and Astrophysics* **286**, (1994), 967-970
- P) Ceplecha Z. (1961): Multiple fall of Příbram meteorites photographed. – *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia* **12** (1961), pp. 21 Tuček K. (1961): Morphological and Mineralogical Composition of the Meteoritic Stones of Příbram. – *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia* **12** (1961), pp. 196.
- Q) Bagolia et al. (1980): Pre-atmospheric size of the Příbram meteorite based on studies of fossil cosmic ray tracks and spallation products. - *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia* **31**, **51-58**.
- R) Lovering J.F. et al.: Temperatures and mass losses in iron meteorites during ablation in the earth's atmosphere. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 19, Issue 3, (1960) pp.156-158

Citace a použitá grafika

- S) Petaev, M.I. et al.: Mineralogy and origin of brassy, sulfide-rich masses in the Gibeon IVA iron. In: 28th Annual Lunar and Planetary Science Conference, 1997, p. 093.
- T) Trigo-Rodriguez J. M. et al (2006): The Villalbeto de la Peña meteorite fall: II. Determination of atmospheric trajectory and orbit. - *Meteoritics & Planetary Science* 41, Nr 4, 505–517
- U) Llorca J. et al. (2005): The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, strewn field, and petrography. - *Meteoritics & Planetary Science* 40, Nr 6, 795–804
- V) Mukhopadhyay P. K. et al. (2009): A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system. - DOI: 10.1117/2.1200907.1699
- W) Bouvier A., Wadhwa M. (2010): The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. - *Nature Geoscience* 3, 637 - 641
- X) Irving A. J. et al (2004): PETROLOGY OF PRIMITIVE OLIVINE-ORTHOPYROXENE-PHYRIC SHERGOTTITES NWA 2046 AND NWA 1195: ANALOGIES WITH TERRESTRIAL BONINITES AND IMPLICATIONS FOR PARTIAL MELTING OF HYDROUS MARTIAN MANTLE. - *Lunar and Planetary Science XXXV*.
- Y) Korotev R. L., Jolliff B. L., Zeigler R. A., Gillis J. J., and Haskin L. A. (2003) Feldspathic lunar meteorites and their implications for compositional remote sensing of the lunar surface and the composition of the lunar crust, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, 4895-4923.
- Z) Lauretta D. S. et al. (2006): THE FUKANG PALLASITE: EVIDENCE FOR NON-EQUILIBRIUM SHOCK PROCESSING. – *Lunar and Planetary Science XXXVII* (2006).
- AA) Haloda J. et al (2008): Stonařovské meteority 1808-2008. Muzeum Vysočiny Jihlava.
- BB) Borovička J. et al. (2003): The Morávka meteorite fall: 3. Meteoroid initial size, history, structure, and composition. - *Meteoritics & Planetary Science* 38, Nr 7, 1005–1021.
- CC) Brown P.G. et al. (2003): The Morávka meteorite fall: 2. Interpretation of infrasonic and seismic data. - *Meteoritics & Planetary Science* 38, Nr 7, 989–1003.
- DD) Barrat et al. (2007): Could Stannern-trend eucrites be crustal-contaminated melts? – open research online, The Open University.

Citace a použitá grafika

1. www.wikipedia.org
2. www.astro.sunyb.edu
3. Murray and Dermott, *Solar System Dynamics*, pg. 107
4. www.wirginmedia.com
5. www.mnh.si.edu
6. www.semp.us
7. www.astronet.ru
8. <http://thegreenhorns.wordpress.com>
9. digilander.liberi.it
10. www.psrh.hawaii.edu
11. www.llnl.gov
12. www.stevespanglerscience.com
13. www.astrosociety.org
14. www.pnas.org
15. Wally Pacholka / AstroPics.com / TWAN
16. www.spaceweather.com
17. Pavel Gabzdyl prezentace
18. www.nasa.gov
19. nssdc.gdsc.gov
20. www.isas.jaxa.jp
21. www.brera.mi.astro.it
22. www.osel.cz
23. weblogs.marylandweather.com
24. www.otsimrat.net
25. www.meteorite-recon.com
26. www.jensenmeteorite.com
27. www.davidarling.info
28. www.environmentalgraffiti.com
29. www.encyklopedia-of-meteorites.com
30. www.lpi.usra.edu
31. www.meteorite-times.com
32. www.saharamet.com
33. fireball.meteorite.free.fr
34. www.meteorite-recon.com
35. www.georeisecommunity.de
36. maps.google.cz
37. www.metbase.de
38. www.meteorites.com
39. www4.nau.edu
40. geoweb.gg.utk.edu
41. hubblesite.org
42. www.meteoritemarket.com
43. www.catchafallingstar.com
44. meteorites.wustl.edu
45. users.tgp.com.au
46. www.arizonaskiemeteorites.com
47. www.superstock.com
48. www.colvir.net
49. www.mhmeteorite.com
50. www.meteorman.org
51. www.meteoritehunter.com
52. M come meteorite Collection (www.mindat.org)
53. therevelationpaintingjournals.files.wordpress.com
54. dsc.discovery.com
55. www.mindat.org
56. www.sciencemag.org
57. www.skyriver.ca
58. www.marmet-meteorites.com
59. www.asu.cas.cz
60. photo.simkoz.com
61. www.scribd.com
62. www.meteoryt.net
63. apod.nasa.gov
64. www.historicmeteorites.com
65. www.astronet.ru
66. www.muzeum-pribram.cz