

Meteority, meteory, meteoroidy

David Čapek

capek@asu.cas.cz

Astronomický ústav AV, Ondřejov

Osnova:

1. Minerály meteoritů
2. Typy meteoritů a klasifikace
3. Poznávání meteoritů (na amatérské úrovni)
4. Nálezy, pády, meteority s rodokmenem
5. Košice - nejnovější meteorit s rodokmenem

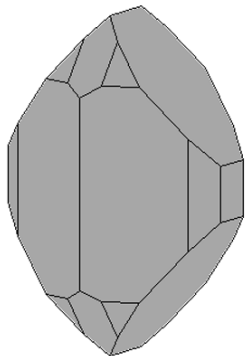
Literatura, zdroje informací:

- časopis Minerál 5/2008
- Bernard, Rost a kol.: Encyklopedický přehled minerálů, Academia, 1992
- Weisberg, McCoy, Krot: Systematics and Evaluation of Meteorite Classification, Meteorites and the Early Solar System II, 2006
- <http://tin.er.usgs.gov/meteor/metbull.php> ... databáze meteoritů
- <http://www4.nau.edu/meteorite/>

Olivín

$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ Mg_2SiO_4 ... forsterit Fe_2SiO_4 ... fayalit

- kosočtverečný (rombický)
- v bazických magmatických horninách (např. bazalty) i v metamorfovaných
- v meteoritech převažují Mg-členy (forsterit)
- př. olivín v obyčejném H-chondritu: $\text{Fa}_{19}\dots (\text{Mg}_{1.62}, \text{Fe}_{0.38})\text{SiO}_4$



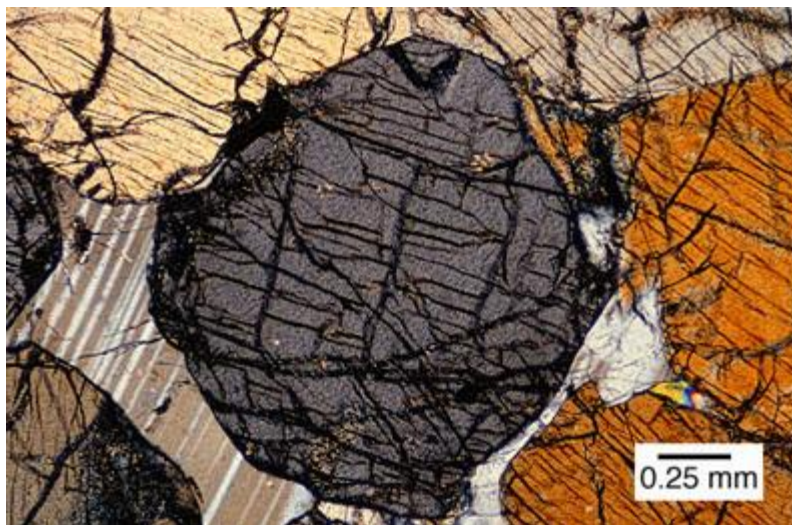
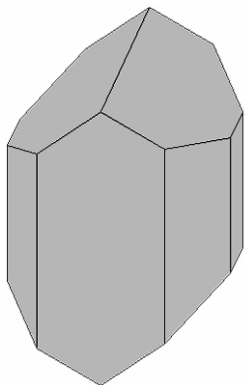
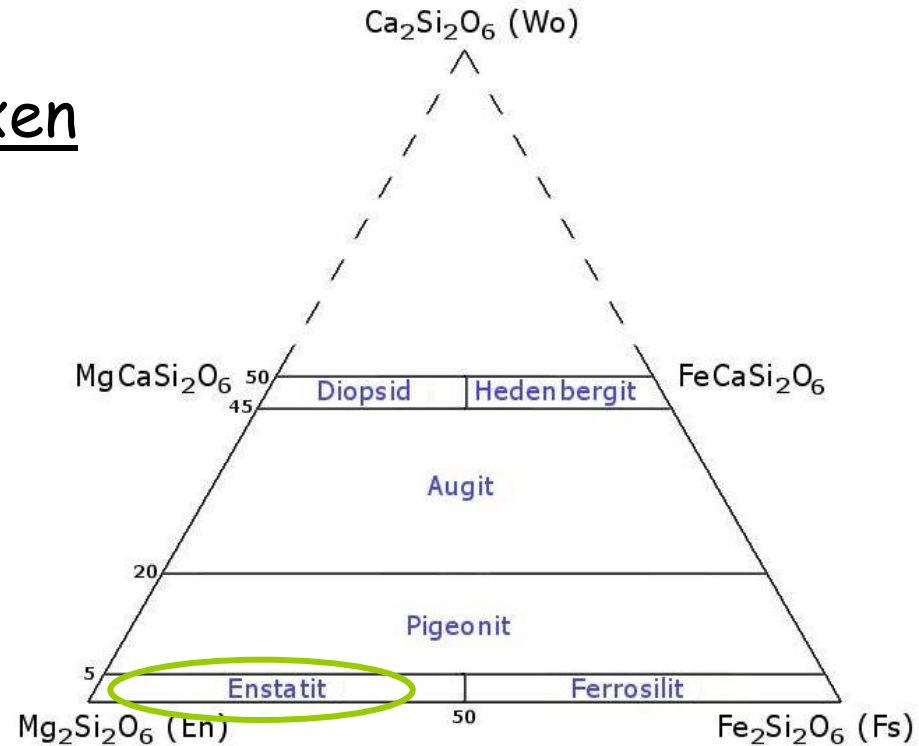
Pyroxen

železnatohořečnaté:

MgSiO_3 ... enstatit
 FeSiO_3 ... ferrosilit
- rombické i monoklinické

ostatní

- monoklinické

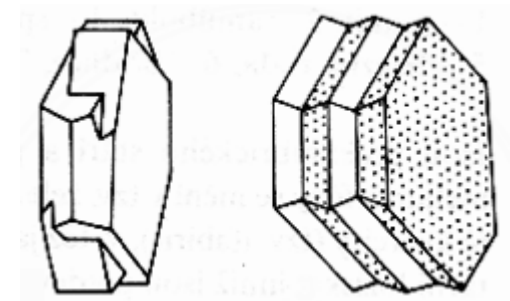
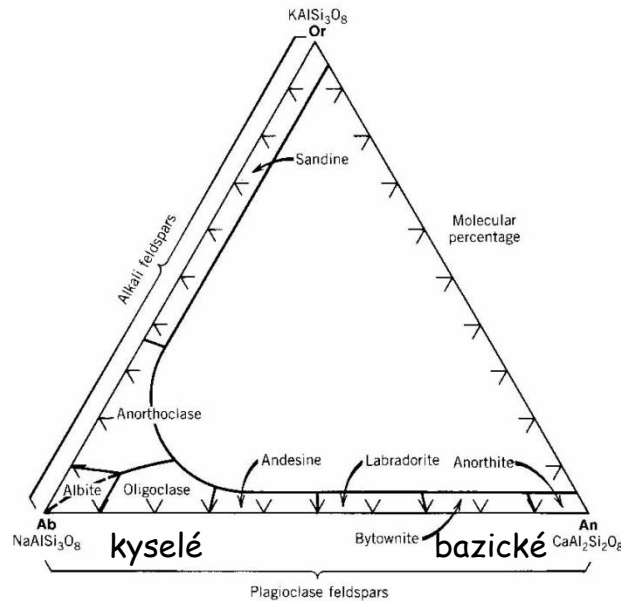


Plagioklasy (= sodno-vápenaté živce)

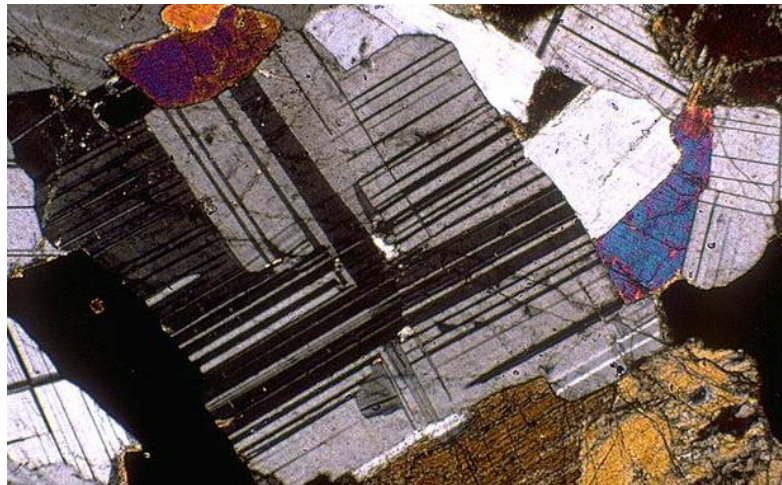
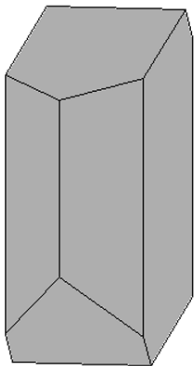
albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

- triklinické

př. $\text{An}_{05}, \text{Ab}_{82}$

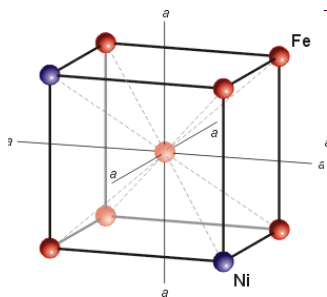


K-živec
dvojčatění žvců albit



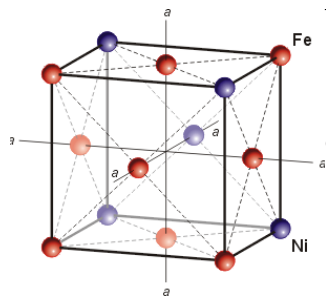
Železo, nikl

kamacit 6-9% Ni



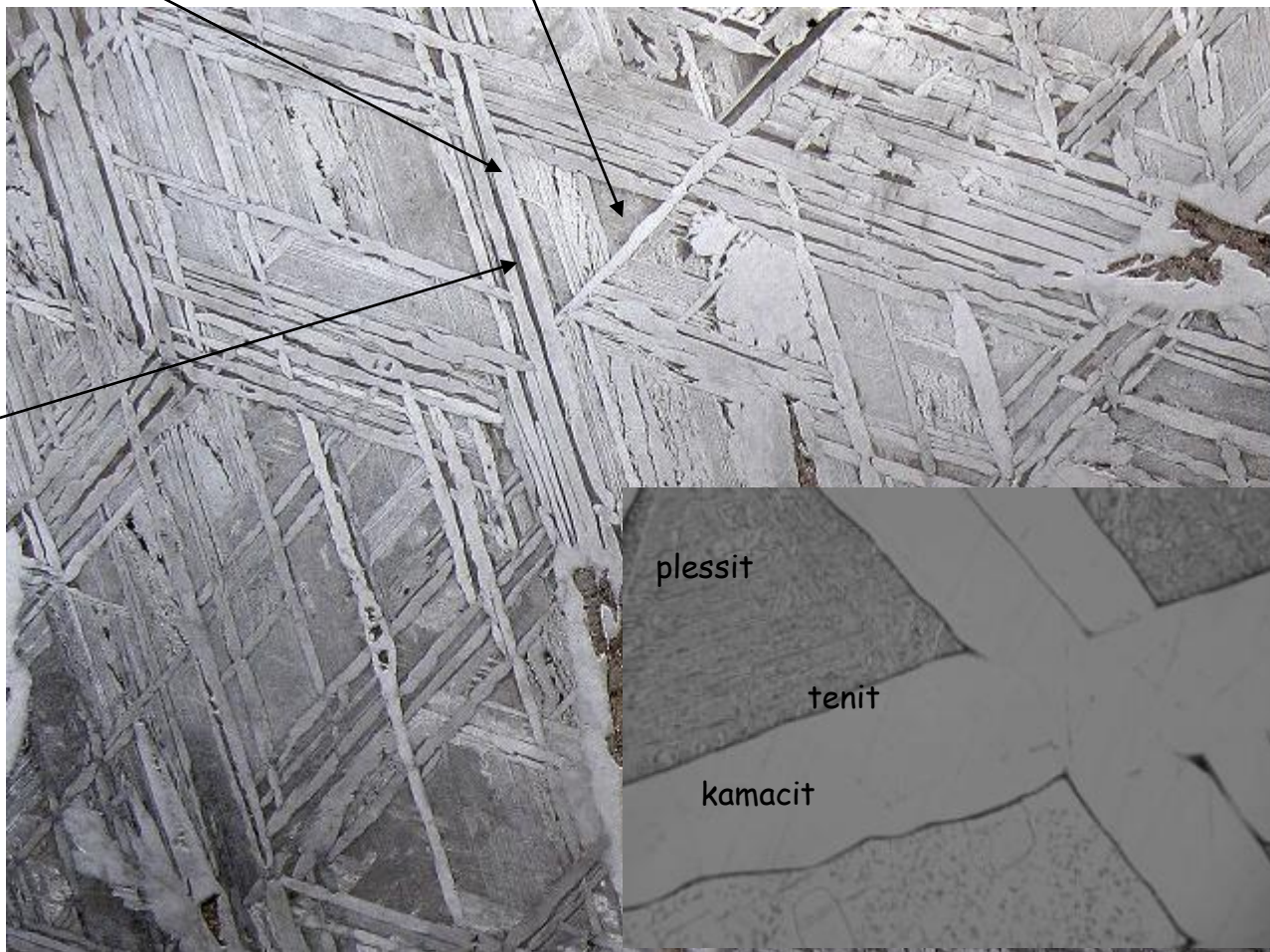
- silné lamely
- magnetický,
- vzácně i v pozemských horninách

tenit 27-65% Ni



- nemagnetický
- tenké lamely

plessit=jemná směs kamacitu a tenitu



Ostatní minerály

troilit FeS je obdoba pozemského pyrrhotinu Fe_{1-x}S ,

grafit C

diamant (mikrodiamanty) C

fylosilikáty - slídy, jílové minerály

- vrstvy tetraedrů SiO_4
- obsahují OH , H_2O



Klasifikace meteoritů

Rose ~1860:

- kamenné
 - achondrity
 - chondrity
- železné
- železokamenné

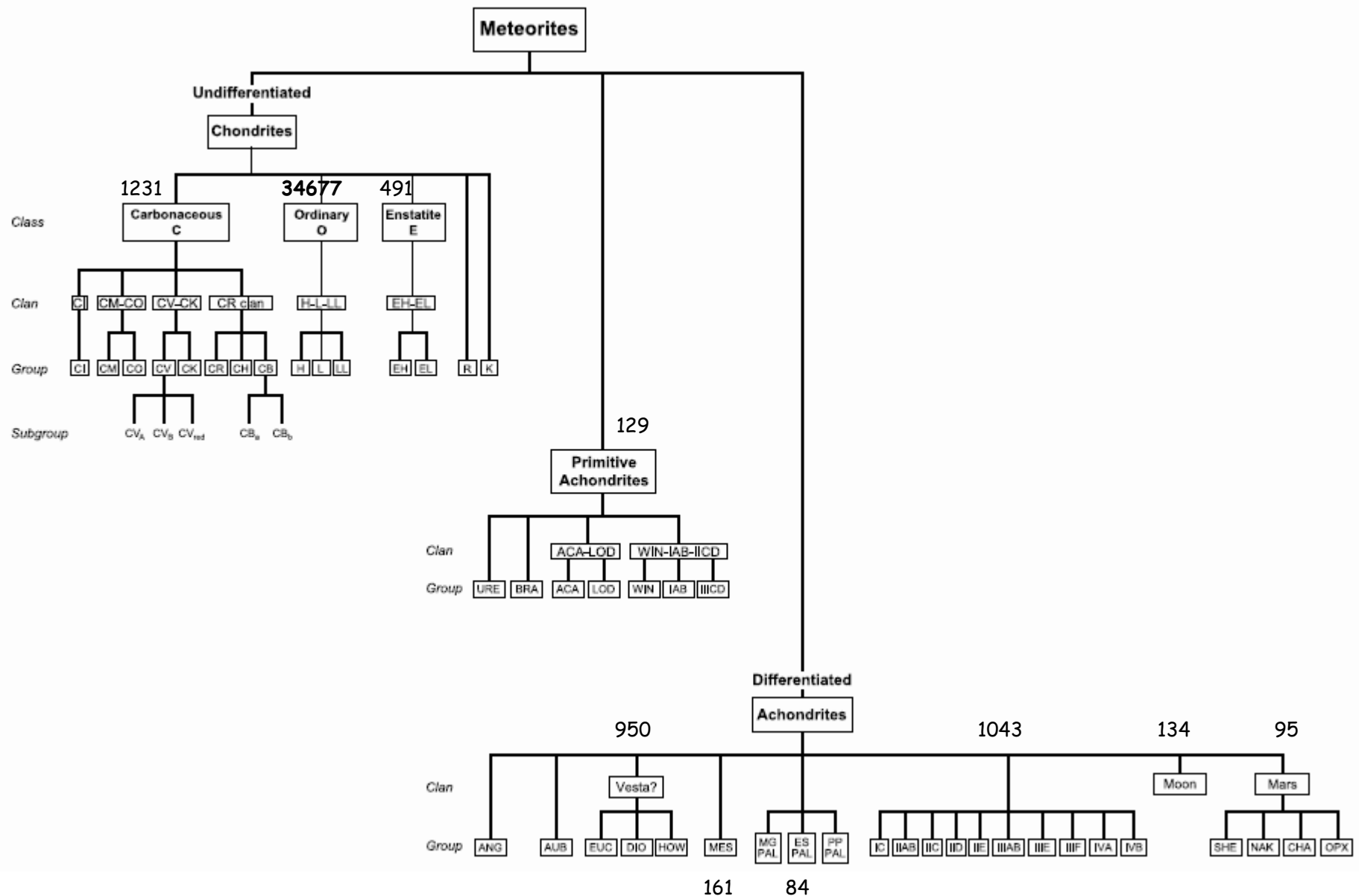


Rose-Tschermak-Brezina, 1904 (základní dělení, dle mineralogie a struktury):

- kamenné
 - achondrity
 - chondrity
 - enstatit-anortitové chondrity
 - siderolity
- železné
 - litosiderity
 - oktaedrity
 - hexaedrity
 - ataxity

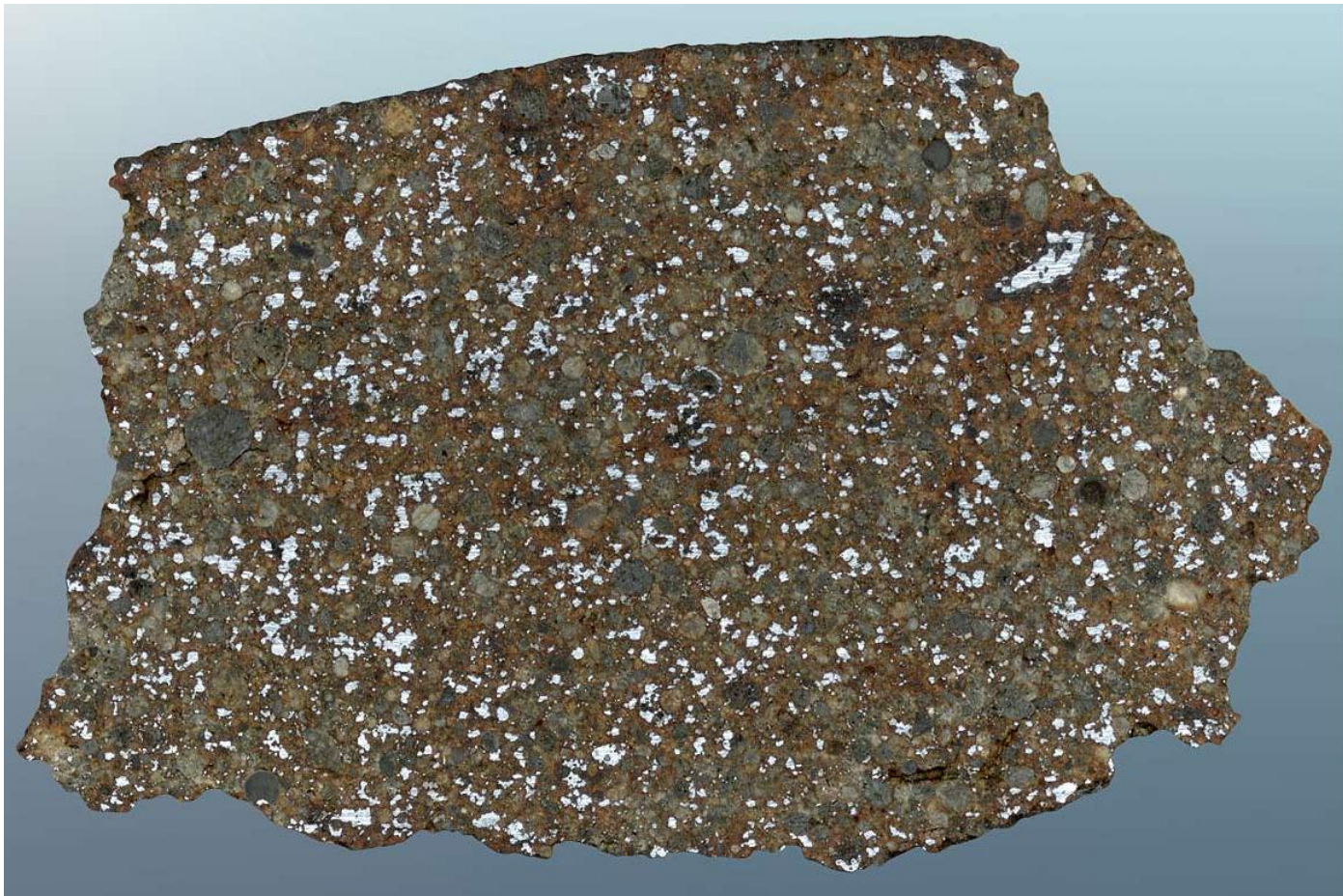


Klasifikace meteoritů - současný stav



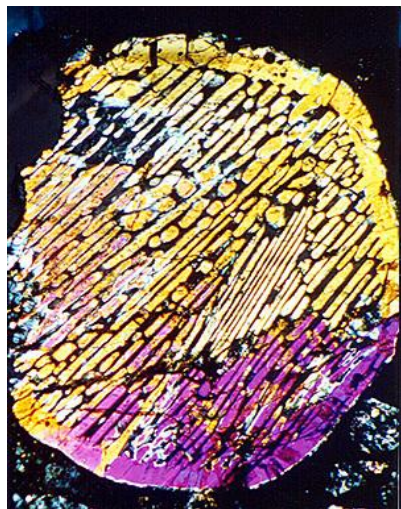
Chondrity

- primitivní, nediferencované meteority
- neprošly tavením, pouze tepelná metamorfóza, či alterace vodou
- chemické složení ~ sluneční pramlhovině (až na lehké/těkavé prvky)
- stáří ~4,56 Gyr

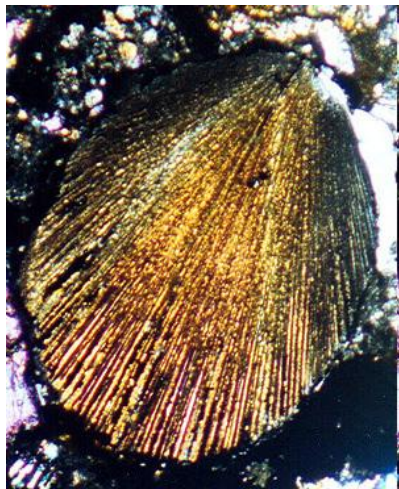


Chondry

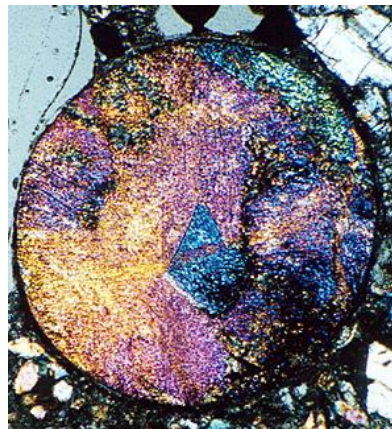
<http://www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-Chondrules.html>



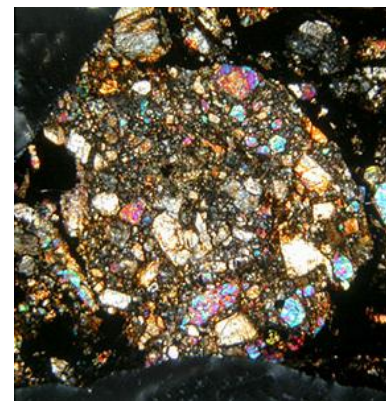
roštovitá chondra



radiální chondra

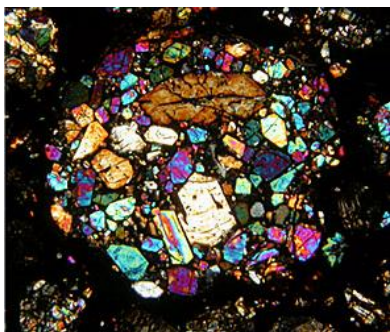


kryptokrystalická chondra



granulární chondra

porfyrická chondra



Velikost - zlomky mm až několik mm

Tvorba ve sluneční pramlhovině, nebo protoplanetárním disku.

Vznik rychlým ohřevem ($\sim 1200-1600\text{K}$) a následným chladnutím.

Zdroj ohřevu je nejasný (rázové vlny, výtrysky sluneční hmoty,...)

Obyčejné chondrity

Nejčastější meteority... ~85% všech pádů (34677)

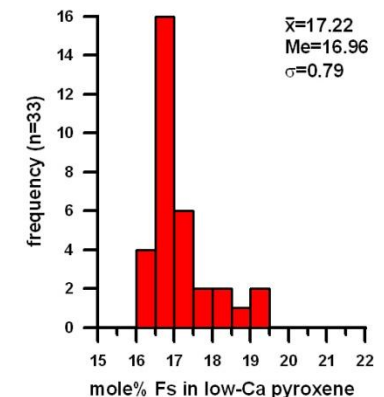
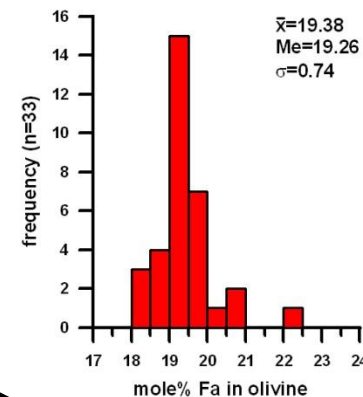
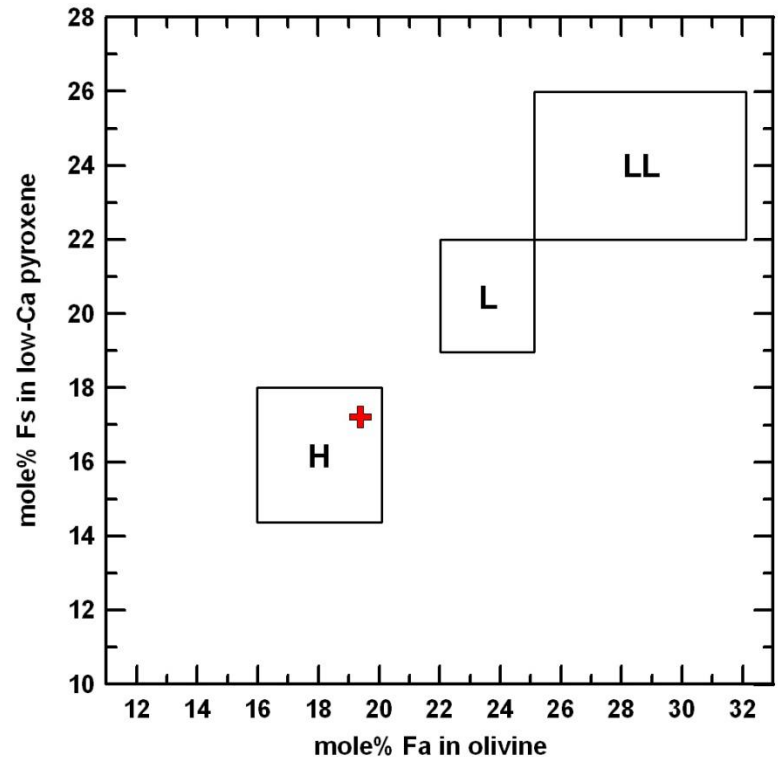
Obsahují

- matrix = jemnozrnná základní hmota (obvykle <15%)
- chondry
- zrna Fe-Ni

Chemická klasifikace:

- na základě míry oxidace Fe
(obsah ryzího Fe+FeS vs FeO)

- H** - malý stupeň oxidace
 - největší obsah ryzího kovu
 - olivíny a pyroxeny jsou hořečnatější
- L** - větší stupeň oxidace
- LL** - největší stupeň oxidace
 - nejvíce Fe je v silikátech a sulfidech
 - olivíny a pyroxeny jsou železnatější



př.: meteorit Košice (H5), měření dr. Haloda

Obyčejné chondrity

Petrologická klasifikace 3-6:

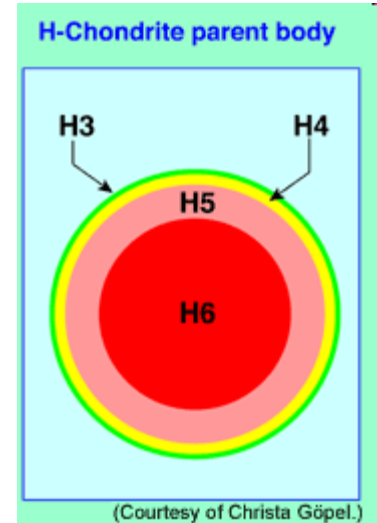
- na základě stupně tepelné metamorfózy

3 - nejnižší stupeň

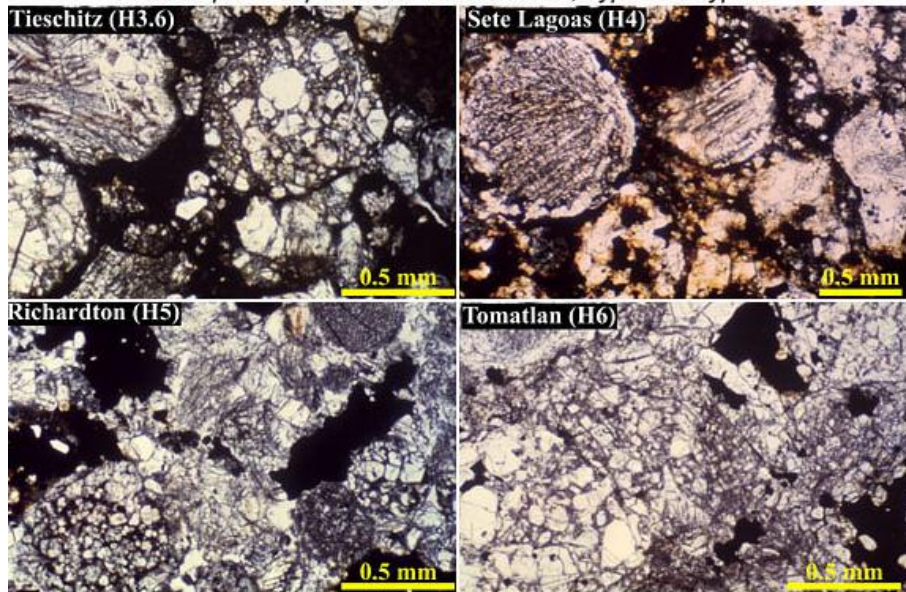
6 - nejvyšší stupeň

Projevy:

- homogenizace složení px a ol
- rekrytalizace matrix, původního skla
- „mizení“ chonder
- přeměna monoklinických pyroxenů na kosočtverečné



Metamorphic Sequence for H Chondrites, Type 3 to Type 6



(Courtesy of Gary Huss.)

Příklady

Příbram - obyčejný chondrit H5
Jesenice - obyčejný chondrit L6

Uhlíkaté chondrity

- nejprimitivnější meteority vůbec
- nízký stupeň tepelné metamorfózy (max. 200°C)
- obsahují grafit, mikrodiamanty, fulereny, organické sloučeniny, fylosilikáty
- vodní alterace - stupeň 2 a 1 (např. CM1, CI2)
- obsah vody až 22%
- malá pevnost, velká porozita, sají vodu, rychle se rozkládají

CI (Ivuna)

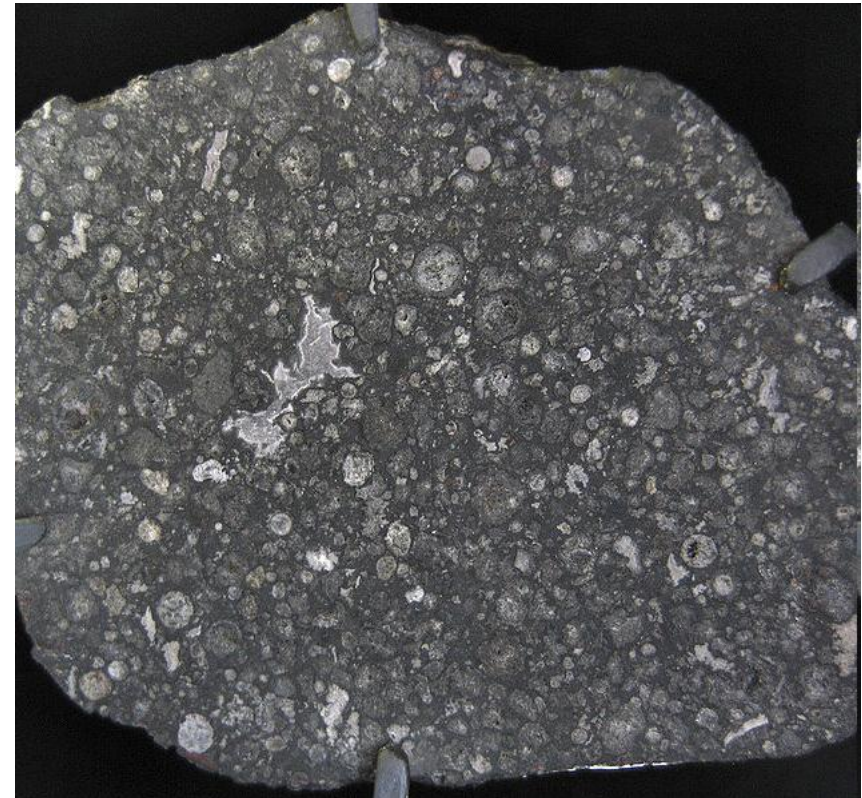
- nejprimitivnější typ meteoritu
- max. 50°C
- jemnozrnná matrix, bez chonder
- jílové minerály, magnetit, sulfidy, karbonáty
- složení velmi blízké slun. fotosféře
- používá se pro modelování chem. vývoje pláště
- př. Orgueil

CM (Mighei)

- nejběžnější typ C-chondritů
- malé chondry (0,3mm)
- př. Murchison

CV (Vigarano)

- velké chondry (~1mm), CAI, AOA
- často typ 3
- př. Allende



Enstatitické chondrity

- extrémně redukční prostředí
- Fe kovové a v sulfidech, téměř žádné Fe v silikátech
- pyroxen převážně ve formě enstatitu (MgSiO_3)
- **EH** - příměs Si v NiFe ~3%
- **EL** - příměs Si v NiFe ~1%



EL6

Primitivní achondrity

- chemicky podobné chondritům, ale struktura ukazuje na tavení, či metamorfní rekrystalizaci

Ureility

- brekcie
- ol., px (pigeonit), grafit, mikrodiamanty, NiFe, FeS
- např. 2008 TC3



Brachinility, Acapucoility, Lodranility, Winonaity,

Diferencované achondrity

- magmatické horniny (prošly tavením)
- chemické složení ovlivněno procesy diferenciací magmat

HED meteority - možné mateřské těleso asteroid Vesta

Howardity

- polymiktní brekcie (tj. obsahující úlomky různých hornin)
- obsahují úlomky eukritů a diogenitů
- „regolit“

Eukrity

- nejběžnější achondrity
- podobné bazaltům
- hlavně pigeonit, anortit
- „kůra“

Diogenity

- hrubozrnné - středně zrnité
- téměř monominerální složení - enstatit,
- méně olivín, plagioklas
- „plášť“



Diferencované achondrity

železokamenné meteority

Pallasity

- nejkrásnější meteority
- převážně olivín + Ni-Fe
- z rozhraní jádro-plášť (promícháno impaktem)



Mesosiderity

- úlomky hornin (bazalty, gabra, pyroxenity) + Ni-Fe



Diferencované achondrity

meteority z Marsu

- malé stáří
- velké šokové postižení (až 50GPa)

Shergotity

- nejčastější, struktura bazaltu
- pyroxen+plagioklas

Nakhlity

- především augit (~bazalt)
- 1.3 Gyr

Chassignity

- především olivín (odpovídají pozemským dunitům)

meteority z Měsíce

Bazalty měsíčních moří

- matrix plagioklas+pyroxen, vyrostlice olivín+augit (Ca-Mg-Fe pyroxen)

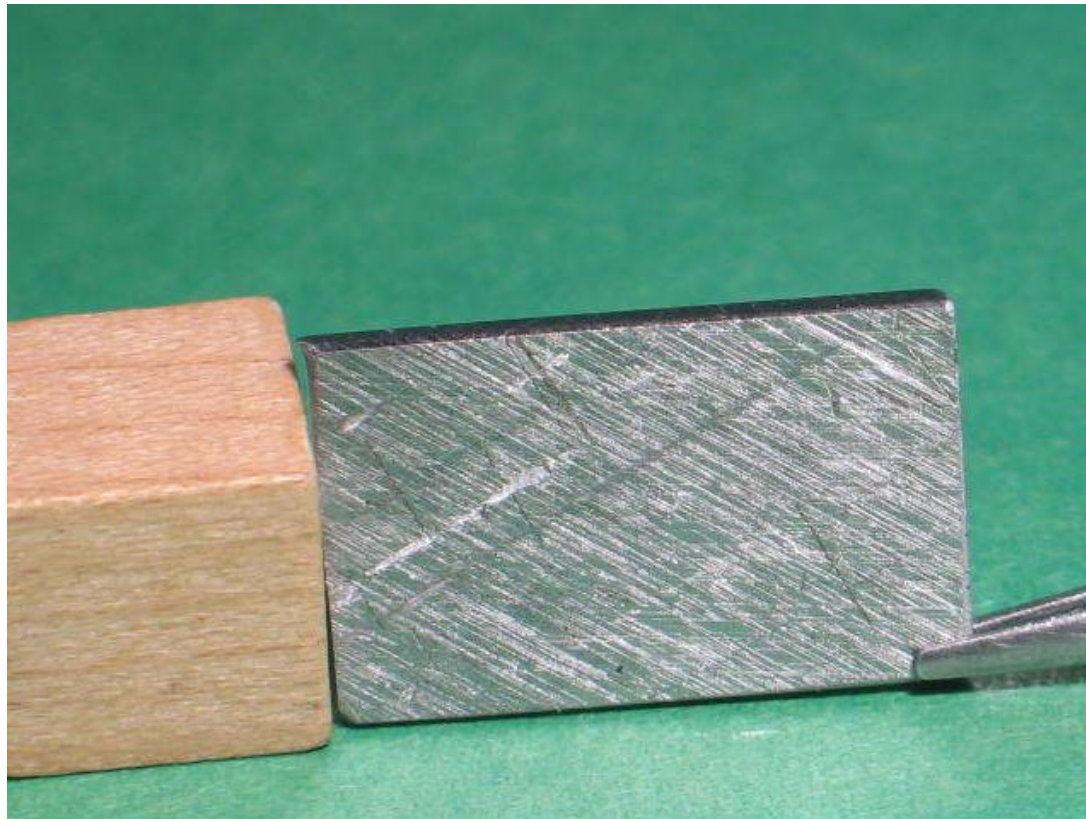
Anortozity měsíčních vysočin

- brekcie
- tvořené převážně anortitem (Ca-plagioklas)

Železné meteority - strukturní klasifikace

Hexaedrity

- <6% Ni
- pouze kamacit (kubický), často monokrystal
- Neumannovy linie = dvojčatné lamely, vzniklé asi průchodem rázové vlny, zahřátím nad 400°C mizí



Železné meteority - strukturní klasifikace

Oktaedrity

- 6-17% Ni
- kamacit, taenit
- nejběžnější typ Fe-meteoritů
- Widmanstättenovy obrazce - rychlost chladnutí 1-200°C/Myr v rozsahu teplot 700-400°C.
- zahřátím nad 900°C mizí

zkratka

struktura

Ogg

- velmi hrubá (3,3-50mm)

Og

- hrubá

Om

- střední

Of

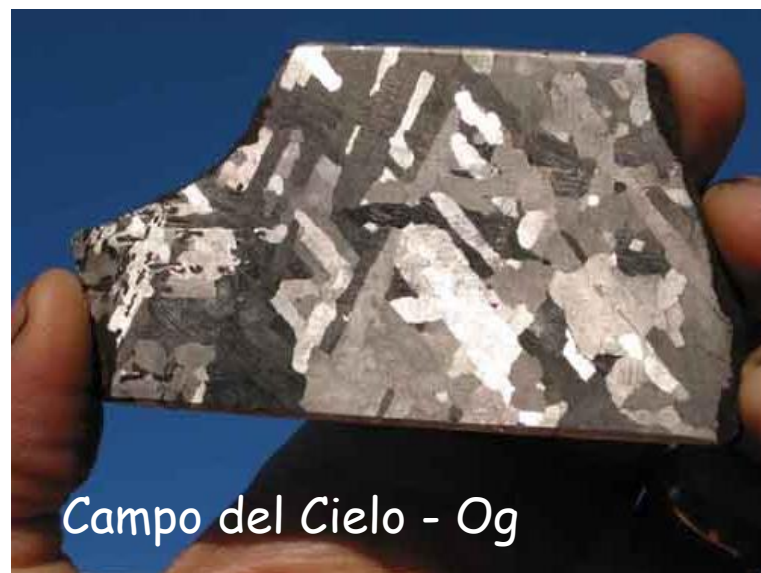
- jemná

Off

- velmi jemná (0,2mm)

Opl

- plesitická

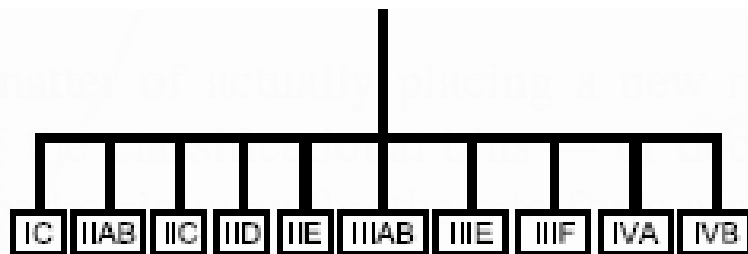


Železné meteority - strukturní klasifikace

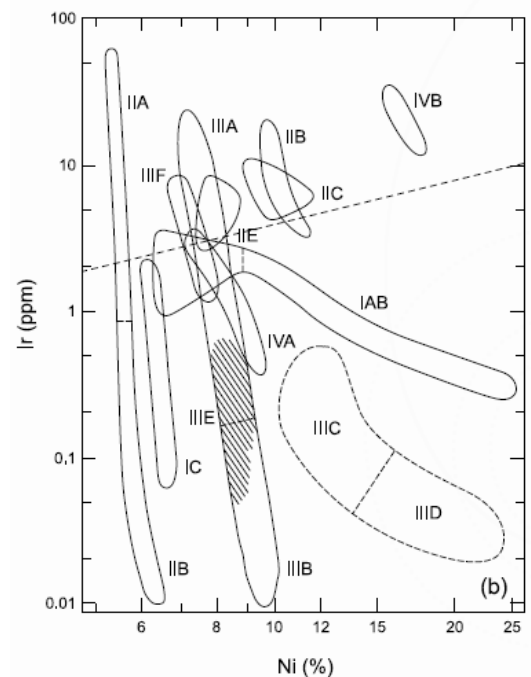
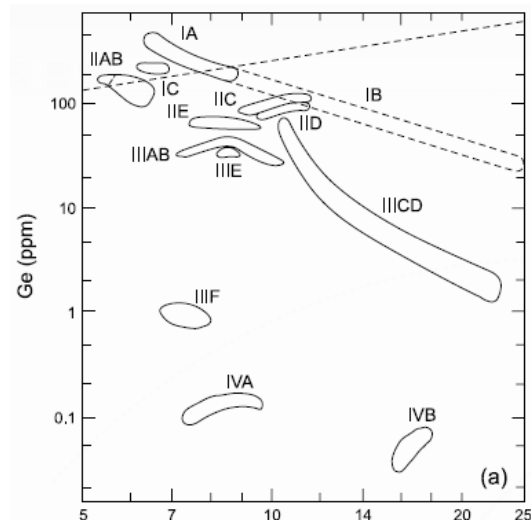
Ataxity (D) - vysoký obsah Ni
 - bez struktury



Železné meteority - chemická klasifikace

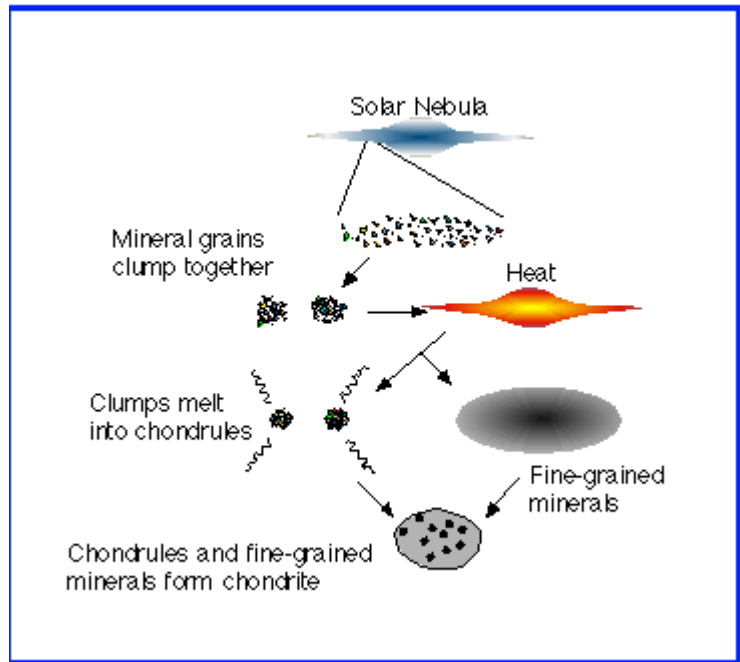


- na základě obsahu vzácných zemin Ga, Ge, Ir
- odlišení různých mateřských těles
- 15% meteoritů nepatří ani do jedné z těchto tříd

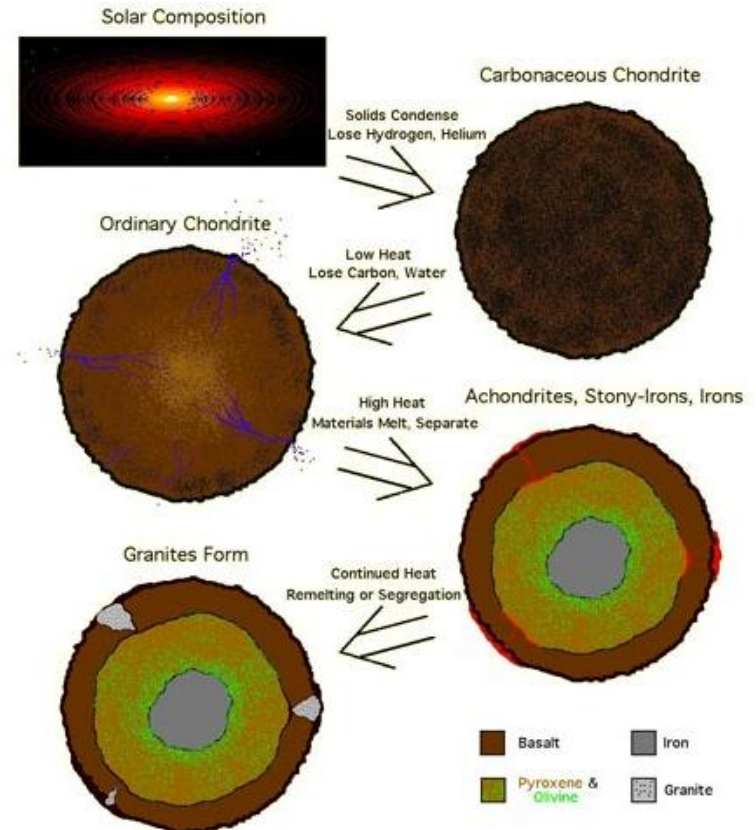


Vznik meteoritů

- kondenzace a spojování prachových částic
- rychlé roztavení a zchladnutí... vznik chonder
- akrece chonder, Ni-Fe zrn, prachu... mateřská tělesa chondritů
- radioaktivní ohřev rozpadem ^{26}Al - tepelná metamorfóza, tavení, vznik diferencovaných těles



Relations Between Important Planetary Materials





Meteoritics & Planetary Science 36, A293–A322 (2001)
Available online at <http://www.uark.edu/meteor>

Pojmenovávání meteoritů

The Meteoritical Bulletin, No. 85, 2001 September

JEFFREY N. GROSSMAN^{1*} AND JUTTA ZIPFEL²

¹U. S. Geological Survey, Mail Stop 954, Reston, Virginia 20192, USA

²Max Planck Institut für Chemie, Postfach 3060, D-55020 Mainz, Germany

*Correspondence author's e-mail address: jgrossman@usgs.gov

(Received 2001 May 31)

Abstract—Meteoritical Bulletin No. 85 lists information for 1376 newly classified meteorites, comprising 658 from Antarctica, 409 from Africa, 265 from Asia (262 of which are from Oman), 31 from North America, 7 from South America, 3 from Australia, and 3 from Europe.

Dunbogan, Gujba, Independence, Itqiy, Morávka, Oued el F. Noteworthy non-Antarctic specimens include 5 martian meteorites (816, 817, and Sayh al Uhaymir 051 and 094); 6 lunar meteorites (479, 482, and 773); an ungrouped enstatite-rich meteorite (CV, R, enstatite, and unequilibrated ordinary chondrites, primarily

Morávka

~49°36' N, 18°32' E

North Moravia, Czech Republic

Fell 2000 May 6, 11:51:52 U.T.

Ordinary chondrite (H5)

After a bright fireball was observed in the Czech Republic, Poland, and Slovakia, and a sonic boom was heard in northern Moravia, a 214 g stone that had passed through a spruce tree and landed in a garden was collected. Two other pieces weighing 329 and 90 g were collected later in May and in June. The fall was videotaped, allowing the calculation of orbital parameters (P. Spurný, J. Borovička, Z. Ceplecha, *CAS*): $a = 1.85 \pm 0.10$ AU, $e = 0.47 \pm 0.03$, $q = 0.9823 \pm 0.0012$ AU, $Q = 2.7 \pm 0.2$ AU, $\Omega = 46.2580^\circ$, $\omega = 203.5^\circ \pm 1.0$, $i = 32.2^\circ \pm 0.8$. Mineralogy and classification (P. Jakeš and J. Frýda, *CUP*): olivine, Fa_{19.2}; low-Ca pyroxene, Fs_{16.9}; high-Ca pyroxene, Fs_{6.2}Wo_{44.3}; see also Borovička *et al.* (2000). Specimens: main mass, *CAS*.

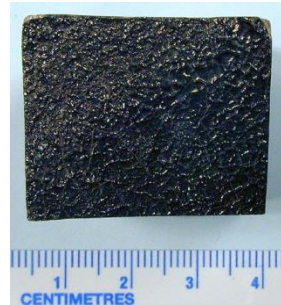
INTRODUCTION

The Meteoritical Bulletin is a compilation of announcements by the Meteoritical Society's Meteorite Nomenclature Committee of newly described and classified meteorites. Additional information about meteorites listed in the Meteoritical Bulletin and the newly revised *Guidelines for Meteorite Nomenclature* may be found at the

ANSI
(6
A
F
Appe
met
8941

Poznávání meteoritů - vzhled, vlastosti

- kůrka tavení (fusion crust) - zlomky mm mocná povrchová vrstvička materiálu roztaveného a utužlého během letu atmosférou



- orientované meteority - při průletu atmosférou se jejich orientace stabilizuje a získají aerodynamický tvar



Poznávání meteoritů - vzhled, vlastosti

- obsah kovu - většina meteoritů (všechny O-chondrity) obsahuje slitinu Fe-Ni, na lomu, nebo nábrusu lze poznat pouhým okem.



- magnetismus - díky přítomnosti Fe-Ni. Zkoušet kompasem, ne magnetem!
- regmaglypty - důlky na povrchu (turbulentní víry při průletu atmosférou)



Poznávání meteoritů - vzhled, vlastosti

- vysoká hustota většiny meteoritů (O-chondritů)
 - O chondrity $3.2-3.4 \text{ g cm}^{-3}$
 - Fe-meteority $\sim 8 \text{ g cm}^{-3}$
 - C chondrity $2.1-3.1 \text{ g cm}^{-3}$
 - granit $\sim 2.7 \text{ g cm}^{-3}$
 - bazalt $\sim 3.0 \text{ g cm}^{-3}$
- přítomnost chonder na nábrusu nebo lomu

