

Meteoriti

Meteoriti predstavljaju najiskonskiji dostupni materijal, koji potječe iz vremena nastanka Sunčeva sustava. Ujedno oni su i prvi ~~izvanzemaljski predmeti koje je čovjek dotakao,~~ a da pritom toga nije bio svjestan

- Stoljećima su predstavljali nedokučivu tajnu. Kako su bili nađeni na tlu poslije vrlo efektnog prolaza kroz atmosferu, prozvani su "**nebeskim kamenjem**". Još je 1794. E. CHLADNI postavio teoriju o međuplanetarnom ishodišta meteorita. A. Von WIDMANSTATTEN otkrio 1808. da tkana površina prereza željeznog meteorita koji je 1751. pao kod Hrašćine (Hrvatsko zagorje) pokazuje karakteristične figure kojih nema u željezu koje potječe iz Zemljine kore, čime je omogućeno da se željezni meteoriti identificiraju i mnogo godina nakon pada.

Danas se u muzejima čuva oko 7.000 meteorita ukupne mase više od 500 tona. Među njima ima oko 1.000 meteorita pokupljenih nakon pada pošto su bljeskom bili najavljeni. Ostali su slučajno nađeni. Zanimljivo je istaći da je na Antarktiku pokupljeno 5.000 primjeraka.

- Meteoriti se dijele u tri glavne grupe

- 1. kamene meteorite ili aerolite (92,8%),
- 2. kameno-željezovite meteorite ili siderolite (1,5%), i
- 3. željezovite meteorite ili siderite

Klasifikacija i mineralni sastav meteorita

Ime	Mineralni sastav
Kameni meteoriti (92.8%)	
hondriti (85.7%)	
<i>ugljeviti (5.7%)</i>	hidratizirani Fe-Mg silikati, organski spojevi, 1-9% H ₂ O
<i>normalni (67.6%)</i>	pirokseni, olivin, Fe-Ni
<i>ostali (12.5%)</i>	pirokseni, olivin, Fe-Ni
ahondriti (7.1%)	
<i>Ca-bogati (4.7%)</i>	pirokseni, olivin, plagioklasi
<i>Ca-siromašni</i>	pirokseni, olivin
Kameno-željezoviti meteoriti (1.5%)	
mezosideriti (0.9%)	piroksen, plagioklas, Fe-Ni legura
palaziti (0.5%)	olivin, Fe-Ni
ostali (0.1%)	pirokseni, olivin, Fe-Ni legura
Željezoviti meteoriti (5.7%)	
oktaedriti (4.3%)	kamacit, tenit
heksaedriti (0.6%)	kamacit
ataksiti (0.8%)	tenit, kamacit

Kameni meteoriti sastoje se od silikatnih minerala. Prosječni elementarni sastav je 36% kisika, 26% željeza, 18% silicija, 14% magnezija i nešto drugih elemenata. Dijelev se u dvije podgrupe : **hondrite i ahondrite**.

- **Hondriti** sadrže **hondrule ili hondre** mala, (0,5 - 1 mm u promjeru) sferična tijela, nepoznata u terestričkim materijalima, a koja se sastoje od olivina, piroksena, stakla ili plagioklasa. Nastali su u okolišu bez gravitacije, kao što su to turbulentni fluidi ili teške pare.
- **Ugljeviti hondriti** sadrže i niskotemperaturne hidratizirane minerale (primjerice, serpentin), organske spojeve i 1-9% vode. Pretpostavlja se da ugljeviti hondriti predstavljaju najraniji primitivni, najmanje diferenciran kondenzat planetarne materije, a time i onu jednu od najvažnijih karika u objašnjenju postanka cijelog Sunčevog sustava. Starost im je oko $4,6 \times 10^9$ godina, čime odgovaraju najstarijim stijenama nađenim na Mjesecu.
- **Ahondriti**, kao što im samo ime govori, ne sadrže hondrule i slične terestričkim stijenama od kojih ih je teško razlikovati.

Petrologija i klasifikacija hondrita

- **Hondriti** su nazvani po *hondrulama* ili *hondrama* malim (0,5 - 1 mm u promjeru) sferičnim tijelima, nepoznatim u terestričkim materijalima, a koja se sastoje od olivina, piroksena, stakla ili plagioklasa. Površina hondrita uglavnom je siva, no u raznim gradacijama, od gotovo crne do vrlo svijetle. Katkada su prožeti pukotinama. Gustoće su od 2 do 3,7 g/cm³. Hondrule su međusobno vezane sitnozrnatim matriksom od olivina, piroksena, feldspatoida, grafita, magnetita, i nekih drugih sporednih faza.

U hondritima se javljaju i nepravilno obruvljena bijela tjelešca nazvana *Ca, Al-bogate inkluzije*, koje se uglavnom sastoje od melilita, spinela, klinopiroksena i anortita. Veći fragmenti *metala i sulfida nikla* također su nepravilno raspršena u tim meteoritima. Ovi različiti tipovi materijala očvrslili su zajedno u svemirskom prostoru, tvoreći neku vrstu kozmičkog sedimenta. I pokraj značajnih istraživanja o hondritima u posljednjem desetljeću, nije točno utvrđeno podrijetlo svih njihovih sastojaka.

Postoje više vrsta ili klasa hondrita, koji se međusobno razlikuju, obično ne i značajno, u kemijskom sastavu. *Normalni (obični, ordinarni) hondriti* su daleko najčešći izvanzemaljski materijal koji pada na Zemlju. *H, L, i LL grupe normalnih hondrita* sadrže različite koncentracije željeza, a razlikuju se u oksidacijskom stanju prisutnog željeza. (H normalni hondriti sadrže najviše željeza, uglavnom u obliku samorodnog metala; LL hondriti sadrže najmanje željeza i to uglavnom u oksidiranoj formi u silikatima).

Enstatitni hondriti su potpuno reducirani, i sadrže samorodno željezo jedino u obliku metala, a mogu se podijeliti u *EH* i *EL* grupe.

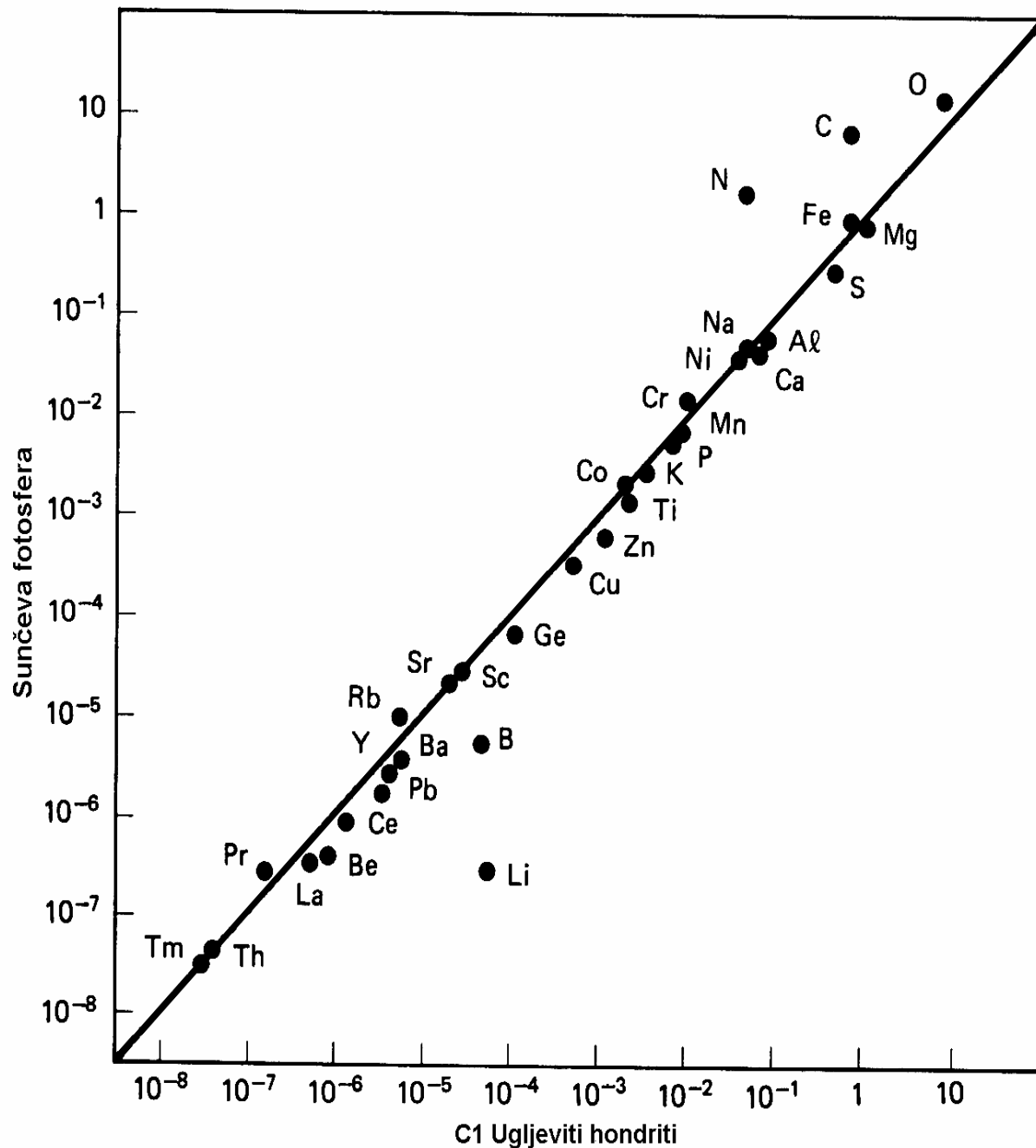
- **Ugljevit se hondriti** (sadrže 2 - 6 % ugljikovodika) mogu dalje podijeliti u najmanje četiri različite kemijske grupe, nazvane **CI, CM, CO, i CV**. Željezo je u tim hondritima obično u višem oksidacijskom stanju negoli u ostalim hondritima. CI hondriti se razlikuju od drugih ugljevitih hondrita jer ne sadrže hondrule, ali je njihov kemijski sastav nedvojbeno hondritski. To je zapravo slabo konsolidiran međuzvezdani prah i predstavlja najstariju tvar Sunčevog sustava koju čovjek poznaje. Ne može izdržati povišenu temperaturu. U toj je tvari nađena znatna primjesa, do 1%, organskih molekula. Među njima ima i vrlo složenih organskih spojeva, koji se javljaju u omjerima i vezama neuobičajenim za Zemljina tla, te neka nepoznata tjelešca. Pojava tih tvari nije dokaz da u svemiru postoje neki oblici života, već dokaz da fizički uvjeti međuzvezdanog prostora pogoduju nastanku organogenih spojeva iz neorganske tvari.

Većina normalnih i enstatitnih hondrita, te neki ugljeviti hondriti prošli su i termalnu metamorfozu. Posljedica toga je rekristalizacija koja je zamaglila primarnu hondritsku strukturu. Glavne su faze hondrita (olivini i pirokseni) zadržane, iako je njihova prvotna heterogena tekstura homognizirana, a staklo devitrificirano u feldspate. Odgovor hondrita na zagrijavanje je, u odsutnosti fluida, drugačiji nego kod terestričkih ultramafitnih stijena sličnog sastava

Ipak, mnogi su ugljeviti hondriti podvrgnuti različitim procesima alteracije pod djelovanjem fluida. Osnova CM i CI hondrita transformirane su u kompleksne smjese filosilikata, i splet karbonatnih i sulfatnih žila.

I pokraj efekata sekundarnih procesa u hondritima, čini se da njihov kemijski sastav nije značajnije izmijenjen. Ustvari, CI1 hondriti (u literaturi se ovi hondriti jednostavnije označavaju samo kao C1 hondriti) najbolje se slažu sa sastavom Sunčeve fotosfere. Ipak, neki elementi su očito remobilizirani zagrijavanjem i preraspoređeni unutar matičnog tijela normalnih hondrita, a stabilni izotopski sastav CM2 i C1 hondrita izmijenjen je pod djelovanjem fluida. Kemijski sastav i građa meteorita ukazuje na to da se među meteoritima nalazi i najprimitivniji materijal, koji ima neposredno podrijetlo u prasunčevoj maglici i materijal koji je pretrpio promjene, djelovanjem visokih temperatura i tlakova. Takav je materijal morao boraviti u središtu većih asteroida.

Usporedba sadržaja elemenata u C1 hondritima i Sunčeve fotosfere



Uočava se odlično podudaranje zastupljenosti elemenata u Sunčevoj atmosferi u odnosu na C1 hondrite, sve u odnosu prema atomima silicija. Podudaranje je vidljivo u dijagonalnoj liniji na dijagramu.

- To podudaranje može biti čak i bolje jer postoje određene neizvjesnosti u samom određivanju solarnog sastava (ipak treba napomenuti da je skala na dijagramu logaritamska što može dijelom sakriti pravu veličinu razlika, ali i unatoč tome te su razlike unutar faktora 2). Plinoviti elementi - ugljik, dušik, kisik - obilniji su na Suncu, tako da se hondriti mogu shvatiti kao Sunčeva troska iz koje su plinovi destilirani. Nasuprot tome, litij, bor i moguće berilij pokazuju veću zastupljenost u hondritima nego na Suncu. Može se shvatiti da se ta tri elementa sistematično razaraju na Suncu interakcijom s nuklearnim česticama. Prema tome, hondriti mogu predstavljati sastav pra-Sunca čak više nego današnje Sunce. Kada se to zna jasno je zašto se hondriti upotrebljavaju za normalizaciju geokemijskih podataka: njihov gotovo kozmički sastav čini tu normalizaciju svrsishodnom u svakodnevnoj geokemijskoj praksi.

Kameno-željezoviti meteoriti građeni su od smjese silikata i metala (otprilike u omjeru 1:1), s nešto sulfida željeza (troilita, FeS) i željezo-nikalnog fosfida [schreibersite, (Fe, Ni)₃P].

- **Željezoviti meteoriti** sastoje se od slitine željeza i nikla. Najveći broj željeznih meteorita ulazi u grupu oktaedrita, nazvanih prema građi kristala. Samo u toj grupi željeznih meteorita javljaju se Widmanstottenove figure. U prasunčevoj maglici odnos željeza i nikla jednak je 20:1, no kako se nikal javlja samo u elementarnom stanju, a željezo može biti i slobodno i vezano, to se postotak nikla u metalnom sadržaju mijenja, i to od 5% do oko 50%. Kod većeg postotka nikla javlja se *tenit*, a kod manjeg *kamacit*. Ahondriti i željezni meteoriti proizvod su istog procesa, s time što jedni potječu iz gornjih slojeva roditeljskog asteroida, drugi iz dubinskih.

Mineraloški, meteoriti su mnogo neraznovrsni negoli Zemlja. Nađeno je u njima oko 150 minerala, od kojih je nekoliko desetaka svojstveno samo njima (na Zemlji je razvrstano oko 3.000 minerala).

- U prosjeku oko 550 meteorita svake godine padne na Zemlju, od kojih je dosad oko 1.700 otkriveno. Mase im variraju u vrlo širokom rasponu. Prije oko 50.000 godina, u područje pustinje u Arizoni, pao je meteorit 30 metara u promjeru i težak 150.000 tona. Sraz je napravio tzv. *Meteor krater* blizu Winslowa u Arizoni, SAD, koji je širok 1.200 metara i 180 metara dubok, a sam je meteorit raspršen u brojne male fragmente. Ipak, najveći do sada otkriveni pojedinačni meteorit je željezoviti meteorit težine oko 60 t, nađen blizu Grootfonteina u Namibiji, a najveći nađeni kameni meteorit ima više od 1 t (pao u Kini 1976.).

Željezoviti meteoriti su u prosjeku veći od kamenih jer se teže fragmentiraju, bilo u matičnom asteroidnom pojasu, bilo nakon sraza sa Zemljom. Najmanji meteoriti koji mogu preživjeti prolaz kroz atmosferu Zemlje su centimetarskih veličina. Na putu kroz atmosferu tijelo se zagrijava do 10.000 K i drobi. Prolazom kroz atmosferu ti se meteoriti tale, nakon toga solidificiraju i nakupljaju na Zemlji kao *metalične* ili *silikatne sferule*. Njihove su veličine u rasponu od 0,01 - 1 mm, a ukupni je donos na Zemlju utvrđen je na oko 2×10^4 t godišnje. Te su *kozmičke sferule* nađene u ledu polarnih krajeva i dubokomorskim sedimentima, gdje su isključena bilo kakva onečišćenja terestričkim izvorima.

Određivanje starosti meteorita

- Za određivanje starosti meteorita upotrebljava se metoda radioaktivnog datiranja, a i tragovi koje su u meteorima ostavile kozmičke zrake. Svi meteoriti su za vrijeme lutanja prostorom izloženi neprestanom bombardiranju kozmičkih zraka. Promatrani mikroskopom, u meteoritu se vide zaustavni tragovi kozmičkih zraka, koje većinom predstavljaju brze jezgre atoma elemenata iz grupe željeza. Tragovi se stanjuju i nestaju na nekoj dubini ispod površine meteorita. Na taj način određuje se vrijeme za koje su meteoriti slobodno lutali prostorom, nakon što su se odlomili od roditeljskog tijela, a prije nego što su pali na Zemlju. Izmjerena vremena starosti meteorita pokazuju kako ih ima raznih. Jedna grupa meteorita stara je od 4,6 do 3,5 milijardi godina. Druga grupa stara je od 1 milijarde do 300 milijuna godina. Nađeno je da su ahondriti mladi od hondrita za otprilike 200 milijuna godina. Neki hondriti pretrpjeli su sudare prije nekih 500 milijuna godina, pa se čini da su se tada odvojili od zajedničkog roditeljskog tijela. Kameni meteoriti lutaju slobodno prostorom prije nego što padnu na Zemlju, prema procjenama, ne duže od 50 milijuna godina, a željezni meteoriti lutaju i do 2 milijarde godina.