

# Kvantitativna kemijska analiza makroelemenata željeznih meteorita

---

**Budimčić, Jelena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:950097>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski studij kemije

Jelena Budimčić

**Kvantitativna kemijska analiza makroelemenata željeznih meteorita**

Diplomski rad

Mentori: prof. dr. sc. Ivan Vicković

izv. prof. dr. sc. Tihomir Marjanac

Osijek, rujan 2014.

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Department of Chemistry

University Graduate Study Program

Jelena Budimčić

**Quantitative chemical analysis of macroelements in iron  
meteorites**

Diploma Thesis

Supervisors: prof. Ivan Vicković, Ph. D.

assoc. prof. Tihomir Marjanac, Ph. D.

Osijek, September 2014

*Zahvalila bih se svom ocu Željku, sestri Luciji, bratu Danku – Matku i zaručniku Željku, koji su mi bili oslonac tijekom studiranja; hvala vam na razumijevanju i ljubavi koje ste mi pružili. Hvala mojoj majki Drini na bezuvjetnoj ljubavi i podršci, na savjetima koji me sada vode kroz život; od tebe sam jako puno naučila.*

*Zahvaljujem se svojim mentorima: profesorima Ivanu Vickoviću i Tihomiru Marjancu, koji su me u kratko vrijeme puno toga naučili i olakšali mi završetak ovoga studija, učinili dosadne i kompleksne stvari zanimljivima i jednostavnima, te koji su u posljednjoj fazi mog studiranja bili moj GPS. Hvala vam od srca!*

*Posebne zahvale gospodinu Zoranu Bojaniću, diplomiranom inženjeru kemije Ivanu Nemetu, doktorici znanosti Lovorki Pitarević - Svedružić i profesoru Darku Tibljašu s Prirodosovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, bez kojih ne bih mogla dovršiti ovaj rad, a koji su zaslužni za dobivanje i interpretaciju rezultata praktičnoga dijela mog diplomskog rada.*

*Zahvalila bih se svojim profesorima: profesoru Milanu Sak – Bosnaru, docentu Berislavu Markoviću, docentici Neli Malatesti, docentici Dajani Gašo – Sokač, docentici Vlatki Gvozdić, profesorici Elizabeti Has - Schön, docentu Goranu Šmitu i docentici Martini Medvidović – Kosanović; asistentima: docentici Mireli Samardžić, Oliveri Galović, docentu Nikoli Sakaču, dr. sc. Tomislavu Baliću, dr. sc. Elviri Kovač - Andrić, Martini Gadojšik – Šrajter i Ivani Balić na strpljenju i želji da me nauče razumjeti kemiju. Zahvaljujem se također gospođama Mariji, Ljubici, Branki i Željki na pomoći u praktikumima; gospođicama Kasandri i Kristini iz referade te gospođi Sanji Petrušić na razumijevanju i pomoći.*

*Zahvalila bih se kolegama s fakulteta, među kojima se ističu Tatjana Radanović i Martina Mihaljević, na razumijevanju i pomoći koju su mi pružile tijekom studiranja. Bez vas ne bih bila tu gdje jesam.*

*Veliko hvala mojim prijateljima, rodbini i kumovima na podršci i razumijevanju. Posebne zahvale obitelji Stipe Ložušića koja me primila u svoj dom i omogućila mi izradu ovog rada.*

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Odjel za kemiju  
Diplomski studij kemije  
Znanstveno područje: Prirodne znanosti  
Znanstveno polje: Kemija

## KVANTITATIVNA KEMIJSKA ANALIZA MAKROELEMENTATA ŽELJEZNIH METEORITA

Jelena Budimčić

**Rad je izrađen na:** Odjel za kemiju, Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku i Odsjek za geologiju, Prirodoslovno – matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**Mentori:** prof. dr. sc. Ivan Vicković i izv. prof. dr. sc. Tihomir Marjanac

### Sažetak

Jedanaest uzoraka meteorita nađenih na području RH i BIH prvi puta su analizirani, i to metodama poliranja i nagrizanja ferikloridom (PN), rentgenske difrakcije na prahu (XRD) i tehnikom induktivno spregnute plazme s atomskom emisijskom spektroskopijom (ICP – AES). Cilj diplomskoga rada bio je utvrditi kvalitativan i kvantitativan sastav odabranih uzoraka, te pokušati odrediti strukturne i kemijske tipove željeznih meteorita kojima uzorci pripadaju, a hipoteza je bila da su makroelementi u uzorcima željezo i nikal, da se nalaze u različitim omjerima te da svi uzorci sadrže iridij. Ustanovljeno je da su u svim uzorcima makroelementi željezo i nikal, u omjeru 1 : 1, te da svi uzorci sadrže iridij, iako u 100 puta većoj koncentraciji no što je poznato za druge meteorite. Većina analiziranih uzoraka pripada strukturnom tipu ataksita, dok se kemijski tip pojedinog uzorka nije mogao sa sigurnošću utvrditi zbog nemogućnosti mjerenja koncentracije siderofilnih elemenata galija, germanija i zlata, a koji su parametri za kemijsku klasifikaciju siderita.

**Diplomski rad obuhvaća:** 141 stranicu, 25 slika, 18 tablica, 12 literaturnih navoda i 1 prilog

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** analiza/ataksit/klasifikacija/siderofilni elementi/željezni meteoriti

**Rad prihvaćen:** 5. rujna 2014.

### Stručno povjerenstvo za ocjenu:

1. Ivan Vicković, prof. dr. sc.
2. Tihomir Marjanac, izv. prof. dr. sc.
3. Berislav Marković, doc. dr. sc.

**Rad je pohranjen:** u Knjižnici Odjela za kemiju, F. Kuhača 20, Osijek

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Department of Chemistry**  
**Graduate study of Chemistry**  
**Scientific Area: Natural Sciences**  
**Scientific Field: Chemistry**

**QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF MACROELEMENTS IN IRON  
METEORITES**

**Jelena Budimčić**

**Thesis completed at:** Department of Chemistry, J. J. Strossmayer University of Osijek and Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb

**Supervisors:** prof. Ivan Vicković, Ph. D. and assoc. prof. Tihomir Marjanac, Ph. D.

**Abstract**

For the first time eleven meteorite samples, some found or recently fallen on the territory of Croatia and some in Bosnia and Herzegovina, were analyzed by three techniques: polishing and etching by ferric chloride (PN), X – ray powder diffractometry (XRD) and inductively coupled plasma with atomic emission spectrometry (ICP – AES). The goal of this work was to determine qualitative and quantitative composition of chosen meteorite samples, and to attribute structural and chemical groups of iron meteorites if possible. The hypothesis was that samples contain iron and nickel as macroelements in different ratios and that all of them contain irridium. Analyses have shown that all eleven samples contain iron and nickel as macroelements in one to one ratio and that all of them contain irridium, although in thousand times bigger amount compared with other meteorites. Most samples that have been analysed belong to the structural group of ataxite, while chemical groups could not be established with certainty due to impossibility of measuring amounts of siderophile elements like gallium, gold and germanium, which are main parameters for the chemical classification of iron meteorites.

**Thesis includes:** 141 pages, 25 figures, 18 tables, 12 references, 1 appendix

**Original in:** Croatian

**Keywords:** analysis/ataxite/classification/ siderophile elements/iron meteorites

**Thesis accepted:** 5<sup>th</sup> September 2014

**Reviewers:**

1. prof. Ivan Vicković, Ph. D.
2. assoc. prof. Tihomir Marjanac, Ph. D.
3. asst. prof. Berislav Marković, Ph. D.

**Thesis deposited:** at the Library of Department of Chemistry, F. Kuhača 20, 31000 Osijek, Croatia

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Literaturni pregled.....	2
2.1. Osnovno nazivlje.....	2
2.2. Odakle potječu asteroidi?.....	2
2.3. Poveznica između asteroida i meteorita.....	8
2.4. Od svemira do Zemlje: lekcije preživljavanja.....	14
2.5. Fizikalne odlike meteorita i utjecaj atmosferskih prilika.....	18
2.6. Vrste meteorita i njihov karakterističan kemijski sastav.....	23
2.6.1. Minerali u meteoritima.....	23
2.6.2. Hondriti.....	31
2.6.3. Ahondriti.....	35
2.6.4. Kameno – željezni meteoriti: sideroliti.....	40
2.6.5. Željezni meteoriti: sideriti.....	42
3. Eksperimentalni dio.....	51
3.1. Priprema uzoraka za mikroskopiranje.....	54
3.2. Metoda rentgenske difrakcije na prahu.....	57
3.3. Metoda induktivno spregnute plazme s atomskom emisijskom spektroskopijom.....	58
4. Rezultati analiza.....	60
5. Rasprava.....	67
6. Metodički dio.....	70
6.1. Mini projekt za osnovnu školu.....	70
6.1.1. Vježba 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita.....	71

6.1.2. Vježba 2. Zašto su nastali krateri?.....	77
6.1.3. Vježba 3. Od čega se sastoje željezni meteoriti?.....	88
6.1.4. Vrijednovanje osnovnoškolskog mini projekta.....	97
6.2. Mini projekt za srednju školu.....	97
6.2.1. Predavanje 1. Osnovne značajke meteorita.....	98
6.2.2. Vježba 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita.....	101
6.2.3. Vježba 2. Specifični reagensi za dokazivanje željezovih i niklovih iona.....	110
6.2.4. Predavanje 2. Beer – Lambertov zakon.....	117
6.2.5. Vježba 3. Primjena Beer – Lambertovog zakona.....	125
6.2.6. Vrijednovanje srednjoškolskog mini projekta.....	134
7. Zaključak.....	135
8. Prilozi.....	137
8.1. Petrografski tipovi.....	137
9. Literatura.....	139
10. Životopis.....	140



## 1. Uvod

Temu diplomskoga rada odabrala sam iz znatiželje budući da se tijekom obrazovanja nisam susrela s ovom problematikom. Meteoriti koji su pali u Republici Hrvatskoj te Bosni i Hercegovini ili su nađeni tijekom posljednjih 50 godina do sada nisu bili analizirani, pa se o njima gotovo ništa ne zna. Za diplomski rad uz pomoć mentora odabrala sam 11 uzoraka željeznih meteorita, od kojih su 10 nađeni u Republici Hrvatskoj i 1 koji je nađen u Bosni i Hercegovini, te ih analizirala trima metodama; a) poliranjem i nagrizanjem ferikloridom, b) tehnikom rentgenske difrakcije na prahu (XRD), i c) induktivno spregnutom plazmom s atomskom emisijskom spektroskopijom (ICP – AES).

Cilj rada bio je kvalitativno i kvantitativno odrediti sastojke odabranih uzoraka, te ih na temelju dobivenih podataka svrstati u pojedinu strukturnu grupu, te, ako je moguće, svrstati ih u određenu kemijsku grupu željeznih meteorita.

Hipoteza ovog rada bila je da su svi odabrani uzorci željezni meteoriti, s makroelementima željezom i niklom, a da se u svakom uzorku nalaze u različitim omjerima. Također, pretpostavka je bila da svi uzorci sadrže povećani udio iridija budući da su nezemaljskoga podrijetla. Budući da su istraživani željezni meteoriti iz RH i BIH sada po prvi puta analizirani, rezultate analiza nije bilo moguće direktno usporediti s literaturnim podacima.

## 2. Literaturni pregled

### 2.1. Osnovno nazivlje

Kako bi se razumjelo što je zapravo analit u ovoj kemijskoj analizi, najprije će biti objašnjena tri pojma, a to su meteor, meteoroid i meteorit. Nerijetko ljudi uočavaju „zvijezde padalice“ dok promatraju nebo, no zapravo se ne radi o zvijezdama već o luminescentnoj pojavi koja nastaje pri prolasku tijela kroz Zemljinu atmosferu. Meteor dakle nije tijelo, već svjetlosna pojava koja nastaje zagrijavanjem tijela do usijanja zbog trenja koje pružaju slojevi Zemljine atmosfere dok to tijelo kroz njih prolazi velikom brzinom. Svako tijelo manje veličine i mase od planeta, a koje ima neovisnu putanju u svemiru, dobiva sufiks –oid pa se stoga asteroidima smatraju tijela neovisne putanje, koji su masom i veličinom manji od planeta. Meteoroidi su tijela neovisne putanje, veličinom manja od asteroida pri čemu se treba naglasiti da je većini meteoroida asteroid izvorišno tijelo, odnosno da su meteoroidi fragmenti asteroida nastali pri neelastičnim sudarima asteroida s drugim tijelima u svemiru, s planetima ili drugim asteroidima. Meteorit je, pak, meteoroid koji je preživio prolazak kroz Zemljinu atmosferu te pao na Zemljinu površinu, i kojega možemo držati u ruci. Dakle, analit u ovoj kemijskoj analizi bit će meteorit.

### 2.2. Odakle potječu asteroidi?

Pojam *asteroid* uveo je William Herschel 1802. godine, kako bi ta tijela razlučio od zvijezda, a budući da je ustanovljeno da su oni manji od planeta, često puta su ih astronomi nazivali planetoidima. Upravo zbog manjih dimenzija od planeta asteroidi su bili zanemareni. Tek je 1970 – ih godina uočena važnost asteroida u razjašnjavanju postanka Sunčevog sustava, i to nakon što je ustanovljeno da su fragmenti asteroida bombardirali Zemljinu površinu tijekom proteklih 4,56 milijardi godina. Neočekivano je zapravo, da ti fragmenti asteroida koji su dospjeli na Zemljinu površinu, odnosno meteoriti, otkrivaju više o samome početku Sunčevoga sustava od svih teleskopskih istraživanja planeta zajedno. No, odakle potječu ti asteroidi, odnosno njihovi fragmenti?

Galileov suvremenik, Johannes Kepler, prvi je primijetio zanimljivu prazninu između orbita Marsa i Jupitera. Bio je sumnjičav zato što su orbite planeta Merkura, Venere, Zemlje i Marsa nevjerojatno simetrične uzimajući u obzir njihovu srednju

udaljenost od Sunca. Kako se ide od Sunca kao središta prema vanjskom dijelu Sunčeva sustava, može se zamijetiti pravilan geometrijski porast međuplanetarne udaljenosti od  $0,321 \text{ AU}^1$  za svaki planet pa se tako Merkur nalazi na  $0,387 \text{ AU}$ , Venera na  $0,723 \text{ AU}$ , Zemlja na  $1,000 \text{ AU}$  i Mars na  $1,524 \text{ AU}$ . Ako bismo nastavili s računanjem udaljenosti sljedećega planeta od Sunca, idući planet bi bio udaljen  $2,800 \text{ AU}$  od Sunca, ali takav položaj ne zauzima niti jedan planet. Peti po redu udaljen od Sunca jest Jupiter, s udaljenošću od  $5,200 \text{ AU}$ , očigledno dvostruko veće udaljenosti ako bismo nastavili s progresijom. Kepler je bio uvjeren da na udaljenosti od  $2,800 \text{ AU}$  postoji nepoznati planet pa je sastavio tri zakona koja danas nose njegovo ime. [2] Za centralno gibanje planeta oko Sunca vrijede tri Keplerova zakona:

I. Planeti se gibaju po eliptičnim putanjama u čijem je jednom žarištu Sunce.

II. Radij – vektori planeta prelaze u jednakim vremenskim intervalima jednake površine.

III. Kvadrati ophodnih vremena planeta  $T$  odnose se kao kubovi njihovih srednjih udaljenosti  $a$  od Sunca:  $a^3/T^2 = \text{konst.}$  [3] (2.1.1.)

Pomoću zakona prikazanoga u obliku jednadžbe (2.1.1.) Kepler je lako mogao izračunati srednju udaljenost planeta od Sunca jednostavno promatrajući vrijeme potrebno za revoluciju. Iako nije znao zašto tri njegova zakona vrijede, držao je da prema njegovim proračunima mora postojati planet između Marsa i Jupitera.

Skoro stoljeće kasnije, 1766. godine, njemački je astronom Titius von Wittenburg otkrio geometrijski alat koji je pokazivao da je udaljenost planeta od Sunca zapravo matematička progresija koja se temeljila na brojevima 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 768. Svakom broju u nizu pribroji se broj 4, te se naposljetku taj zbroj dijeli s 10. Na taj način su dobivene udaljenosti planeta od Sunca u astronomskim jedinicama, što je prikazano u *tablici 1*.

---

<sup>1</sup>AU (eng. Astronomical Unit) skraćena je za astronomsku jedinicu, koja označava srednju udaljenost Zemlje od Sunca. Godine 2012. Internacionalna astronomska unija definirala je tu udaljenost kao  $149\,597\,870\,700$  metara. [1]

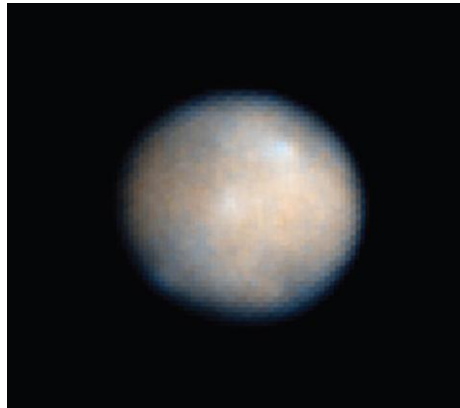
Tablica 1. Primjena Titius – Bodeovoga pravila.

Planet	Titiusova progresija	Stvarna udaljenost (AU)
Merkur	$(0+4)/10 = 0,4$	0,387
Venera	$(3+4)/10 = 0,7$	0,723
Zemlja	$(6+4)/10 = 1,0$	1,000
Mars	$(12+4)/10 = 1,6$	1,524
Planet ?	$(24+4)/10 = 2,8$	2,770
Jupiter	$(48+4)/10 = 5,2$	5,203
Saturn	$(96+4)/10 = 10,0$	9,539
Uran	$(192+4)/10 = 19,6$	19,180
Neptun	$(384+4)/10 = 38,8$	30,060
Pluton	$(768+4)/10 = 77,2$	39,400

Važnost i ispravnost toga pravila prepoznata je tek nakon što je već spomenuti Herschel slučajno otkrio Uran 1781. godine, te izmjerio srednju udaljenost od Sunca koja je iznosila 19,18 AU što se prilično uklapalo u Titius - Bodeovo pravilo. To je bilo i potvrda astronomima da mora postojati planet na udaljenosti 2,8 AU od Sunca. No, nakon što je otkriven planet iza Urana, Neptun, i to preko gravitacijskih perturbacija, izračunata je njegova srednja udaljenost od Sunca koja je iznosila 30,06 AU što je odskakalo od navedenoga pravila; također i predviđena vrijednost za Pluton definitivno nije odgovarala izmjerenoj, stoga je za dva najudaljenija planeta našega Sunčevog sustava, Neptun i Pluton, Titius – Bodeovo pravilo palo u vodu.

Nakon što je Uran otkriven, sva se pozornost usmjerila k otkrivanju novoga planeta između Jupitera i Marsa. U Palermu, gradu na otoku Siciliji u Italiji, u to je vrijeme bila dovršena najjužnija europska promatračnica, u kojoj je radio Giuseppe Piazzi. On je promatrao i bilježio zvijezde te je 31. prosinca 1800. godine zamijetio zvijezdu blizu ekliptike u zviježđu Bika, koja dotada nije bila zabilježena u tablicama. Spletom nesretnih okolnosti, Piazzi je bio primoran napustiti promatračnicu, no svoje je bilješke poslao Johannu Bodeu, vlasniku Berlinske promatračnice, kako njegov trud ne bi bio uzaludan. Dok su njegove bilješke stigle u prave ruke, novi je „planet“ promijenio svoj položaj pa njegovo otkriće nije bilo potvrđeno. Unatoč tome, Piazzi ga je nazvao *1 Ceres*, prema rimskom bogu agrikulture. Budući da nitko osim Piazzija nije uočio taj „planet“, u pomoć

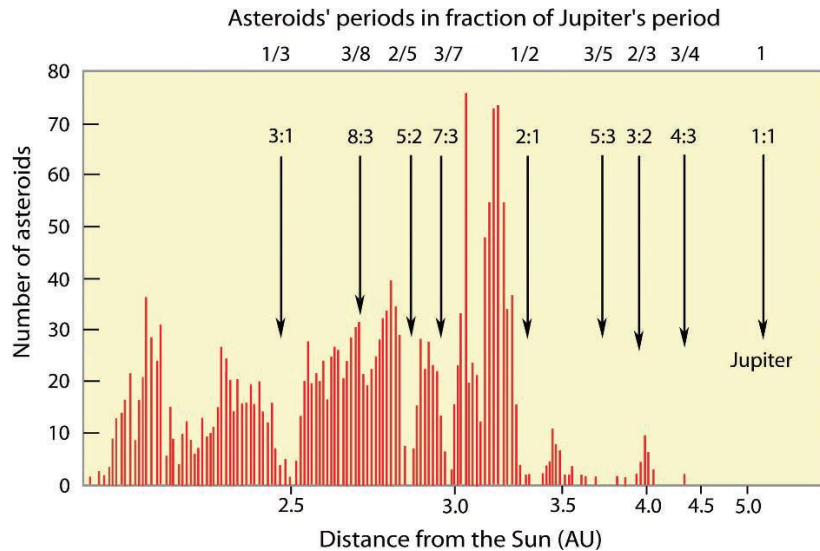
su pozvali glasovitoga matematičara Karla Gausa koji je na temelju originalnih Piazzijevih podataka izračunao orbitu. Točno godinu nakon prvotnoga otkrića, *1 Ceres* je pronađen i više se nije izgubio.



*Slika 1.* Fotografija *1 Ceresa* snimljena 24. siječnja 2004. godine Hubble Space teleskopom.

Otkriće *1 Ceresa* bilo je prvo u nizu otkrića koja su uslijedila u narednih 7 godina. Poslije njega su otkriveni *2 Pallas*, *3 Juno* i *4 Vesta*. Postalo je očito da se između Marsa i Jupitera ne nalazi jedan planet, već niz objekata manjih od planeta, planetoida, čije su orbite odgovarale udaljenosti od 2 do 4 AU od Sunca. To je područje nazvano *pojasom asteroida*.

Postoje tri područja u Sunčevom sustavu gdje se asteroidi mogu nalaziti, od kojih je najpoznatiji *glavni pojas*, koji je već spomenut, na udaljenosti od 2 do 4 AU od Sunca. Američki astronom Daniel Kirkwood naglasio je da glavni asteroidni pojas nije jednoličan kao što se prvotno mislilo. Postojale su praznine u pojasu u kojima ili ima malo asteroida ili ih uopće nema, dakle one su bile očite, samo se nije znalo zašto je to tako. Na dijagramu (*slika 2.*) su prikazana područja siromašna asteroidima, poznata kao Kirkwoodove praznine.

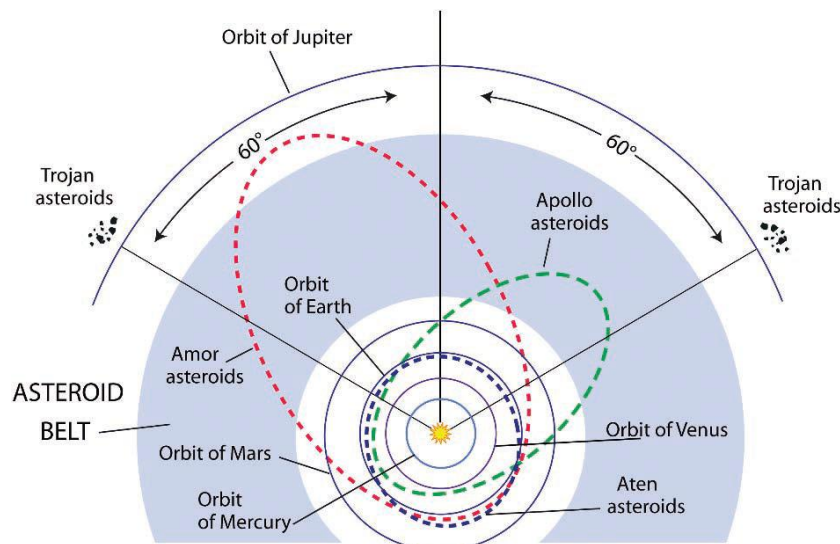


Slika 2. Dijagram odnosa broja asteroida i njihove udaljenosti od Sunca. Praznine koje se mogu uočiti na dijagramu posljedica su Jupiterovih gravitacijskih perturbacija.

Kirkwood je razjasnio tu činjenicu kao posljedicu Jupiterove gravitacijske sile. Štoviše, zapazio je da asteroidi u ili blizu tih praznina imaju nestabilne orbite te izračunao da asteroidi u tim područjima imaju orbitalne periode koji su jednostavno frakcija Jupiterovog orbitalnog perioda. Primjerice, asteroid na udaljenosti 3,28 AU ima period 5,94 godine, što je točno polovica Jupiterovog orbitalnog perioda od 11,88 godina, što znači da će taj asteroid imati bliski susret s Jupiterom svake dvije godine. Ova gravitacijska poveznica naziva se rezonancija. Bilo koji asteroid čiji je period frakcija Jupiterovog perioda bit će izložen gravitacijskim perturbacijama mnogo češće od ostatka asteroida u glavnome pojasu. Rezultat ovakvih perturbacija kroz nekoliko milijuna godina postaje postepeno povećani orbitalni ekscentricitet asteroida, čime se oni ubrzavaju duž eliptične orbite i na taj se način povećava mogućnost njihovih sudara s drugim asteroidima u glavnom pojasu. Ovakvim se sudarima može objasniti mehanizam kojim se fragmenti „šalju“ od asteroidnog pojasa do planeta unutrašnjeg dijela Sunčevog sustava, od kojih je jedan Zemlja.

Objekti blizu Zemlji ili NEO (eng. *Near – Earth Object*) su oni asteroidi koji su uspjeli „pobjeći“ iz asteroidnog pojasa te slobodno kruže oko planeta unutrašnjeg Sunčevog sustava, od kojih je najveća meta Zemlja. Prvi uočeni objekt blizu Zemlji, koji je napustio asteroidni pojas te koji je sjekao orbitu Marsa bio je 433 *Eros*. Nakon njega otkriveni su 1221 *Amor*, 1862 *Apollo* i 2062 *Aten*.

Posljednja grupa asteroida su vrlo tamna tijela koja dijele orbitu s Jupiterom, a nazivaju se *Trojanski asteroidi*. Oni se zapravo dijele u dvije podgrupe pronađene 60 stupnjeva istočno i zapadno od Jupitera, što je prikazano na *slici 3*. Otkriće prvog Trojanskog asteroida pripisuje se njemačkom astronomu Maximilianu Wolfu. Nije bilo preveliko iznenađenje da takvi klasteri asteroida postoje. Francuski je matematičar Lagrange pokazao da samo pet takvih klastera mogu opstati „povezani“ za Jupiterovu orbitu, no ipak od pet Lagrangeovih točaka, samo su dvije ( $L_4$  i  $L_5$ ) stabilne, i to one smještene 60 stupnjeva istočno i zapadno od Jupitera. [2] No, jesu li svi meteoriti potekli od fragmentacije asteroida?



*Slika 3.* Prikaz orbita objekata blizu Zemlji: asteroida *Apolla*, *Amora* i *Atena*, te prikaz položaja Trojanskih asteroida, smještenih 60 stupnjeva istočno i zapadno od Jupitera.

Diferencirani bazaltni meteoriti, eukriti, formirani su vrlo rano u povijesti Sunčevog sustava, prije između 5,56 i 4,45 milijardi godina, što odgovara nastanku asteroida. Međutim postoji malena grupa od 19 ahondrita, SNC (*shergottite*, *nakhilite*, *chassignite*) i njima sličnih meteorita koji su stari uglavnom manje od 1,3 milijardi godina i čija se „mladost“ ne može pripisati kasnijoj diferencijaciji asteroida, štoviše, asteroidi su se, budući da su malenih dimenzija, hladili vrlo brzo. Svi SNC meteoriti nose isti izotopni potpis kisika što ukazuje na njihovo zajedničko izvorišno tijelo. Oksidiraniji su od eukrita te pokazuju omjere izotopa za određene rijetke plinove, kao što su dušik i vodik, koje je u

istom omjeru izmjerila sonda Viking u Marsovoj atmosferi. Dakle, postoji velika mogućnost da je toj skupini meteorita izvorišno tijelo Mars. Također je dosad pronađen 21 meteorit kojima je izvorišno tijelo Mjesec. Ovi su meteoriti nastali sudarima Marsa, odnosno Mjeseca, s asteroidima koji su pri udaru dio materijala izbacili u svemir. [4]

### 2.3. Poveznica između asteroida i meteorita

Većina astronoma smatra da su meteoriti dijelovi asteroida iako nikada nisu direktno uzorkovali asteroid. Zasada je poznato da svjetska kolekcija meteorita mora sadržavati dijelove najmanje 135 različitih asteroida, što vjerojatno ne uključuje sve tipove asteroida. Oko 85% svih meteorita su obični hondriti<sup>2</sup>. Postavlja se pitanje postoji li način da se uspoređi mineralogija meteorita u laboratoriju s mineralogijom asteroida u asteroidnom pojasu. Postoji, no ne na jednostavan način. Svemirski brod *Galileo* imao je bliski susret s asteroidima *951 Gaspra* i *243 Ida*, koji se smatraju običnim hondritima. Njihove površine su izgledale kao slojevite stijene prekrivene morem manjeg kamenog materijala, koji je akumuliran tijekom nebrojenih milijuna godina neprestanih sudara s manjim meteoroidima. Takve se površine nazivaju regoliti. Regoliti čine veći dio Mjeseca, a isto tako i veći dio asteroida u glavnom pojasu. Većina je materijala prošla nebrojeno puta u povijesti kroz fragmentaciju i sažimanje tijekom bezbrojnih epizoda stvaranja kratera. Tijekom sudara uglato je kamenje razbijeno u mnoštvo manjeg kamenja i zatim cementirano u čvrsti kameni materijal, nazvan regolitnom brečom. Neke su regolitne breče uspjele stići na Zemlju netaknute, a koje potječu od meteoroida koji pripadaju ili skupini ugljičnih ili običnih hondrita.

Gledajući na najmanjoj skali površina je regolitnog materijala sastavljena od smjese fragmentiranih i sažimanih zrnaca minerala. Ti minerali apsorbiraju, transmitiraju ili reflektiraju Sunčevu svjetlost koja dopijeva do površine asteroida. Omjer dolazeće i reflektirane svjetlosti naziva se *albedo*, a definira se kao učinkovitost reflektiranja tih zrnaca minerala. Refleksivnost ovisi o tome kako koji mineral reagira na pojavu vidljive ili infracrvene svjetlosti. Kako svjetlost prolazi kroz zrnca minerala, minerali apsorbiraju specifičnu valnu duljinu i reflektiraju Sunčev spektar umanjen za apsorbirani dio. Kristali

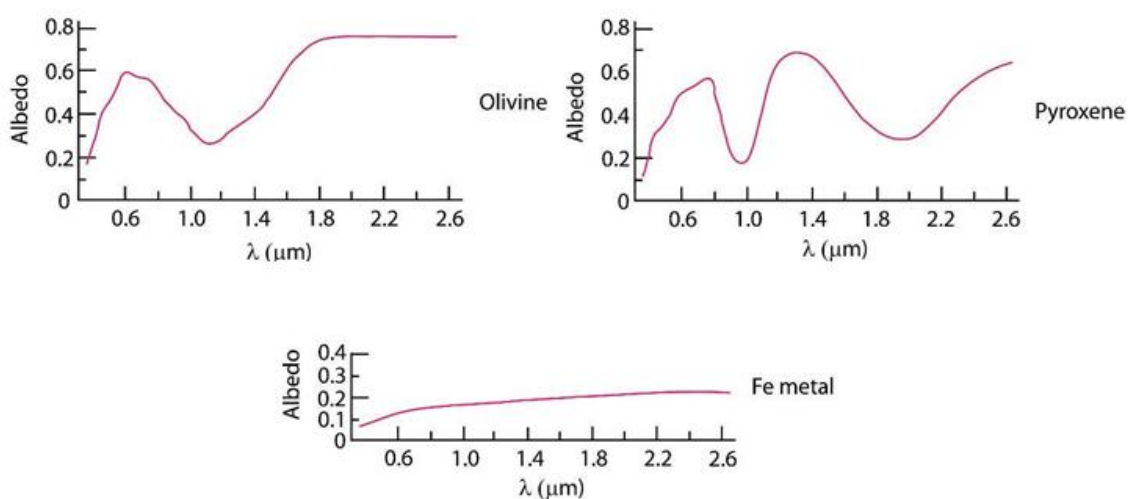
---

<sup>2</sup> Hondriti su primitivni kameni meteoriti koji su dobili naziv prema hondrama, koje su njihov sastavni dio, a koje su zapravo male sferične nakupine kamenja nastale od taljenog materijala u svemiru. Više o njima piše u poglavlju 2.6.2. Hondriti.



minerala ne proizvode oštro definirane apsorpcijske linije kao što možemo vidjeti sa Sunca nego se dobiva kompozicija širokih tamnih pruga, koje su rezultat apsorpcije nekoliko minerala i čine spektar površine asteroida. One se sortiraju uspoređujući spektar s laboratorijskim spektrom refleksije pročišćenih minerala.

Samo mali dio minerala proizvodi upotrebljivi infracrveni apsorpcijski spektar koji se mjeri spektrometrom za refleksiju. Nasreću, takva je većina minerala koji se nalaze u hondritima. Tri primarna hondritska minerala su piroksen, olivin te željezo. *Slika 4.* prikazuje njihove spektre refleksije.



*Slika 4.* Spektar refleksije triju primarnih minerala u hondritskim meteoritima.

Koristeći se spektrima refleksije može se napraviti klasifikacija asteroida prema različitim kriterijima: kemijskom sastavu, vrijednosti *albeda*, odnosno refleksivnosti, povezanosti s meteoritom i njihovom relativnom položaju u asteroidnom pojasu. U *tablici 2.* asteroidi su poredani prema opadajućoj vrijednosti *albeda*, a također i prema porastu njihove udaljenosti od Sunca.

Tablica 2. Klasifikacija asteroida prema kriteriju smanjenja reflektivnosti (*albedo*).

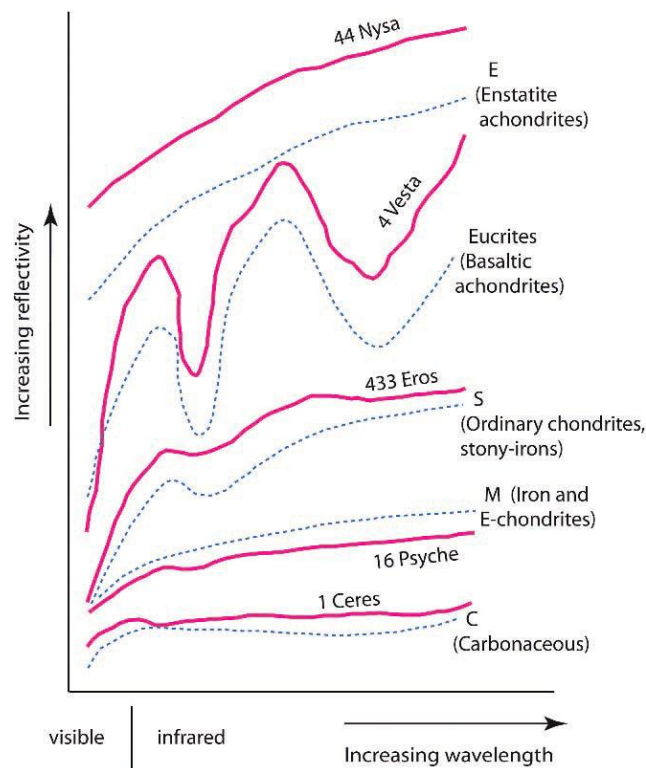
Tip	<i>Albedo</i> (%)	Poveznica s meteoritom	Lokacija
E	25 – 60	Aubriti	Unutrašnji pojas
A	13 – 40	Palasiti, bogati olivinom	Glavni pojas (?) <sup>3</sup>
V	40	Eukriti, bazaltni	Sredina glavnog pojasa, 4 <i>Vesta</i> i fragmenti
S	10 – 23	OC (eng. <i>Ordinary Chondrite</i> ) (?), mezosideriti	Središnji i unutrašnji pojas
Q/R	10 – 23	OC, vjerojatno neoštećen vremenskim prilikama s promjenjivim odnosom olivina i piroksena	Središnji i unutrašnji pojas
M	7 – 20	E – hondriti, željezni	Centralni pojas
P	2 – 7	E – hondriti, željezni, s manjom reflektivnosti	Vanjski pojas
D	2 – 5	Trojanci	Ekstremni vanjski pojas, Jupiter L <sub>4</sub> i L <sub>5</sub> točke
C	3 – 7	CM (eng. <i>Carbonaceous Meteorite</i> ) ugljični hondriti	Središnji pojas, 3,0 AU
B/F/G	4 - 9	C podtip	Od unutrašnjeg do vanjskog pojasa

Primjerice, tip E asteroida nalazi se u unutrašnjem pojasu bliže Suncu, kemijski su povezani s meteoritima nazvanima *aubriti*. Tip V je povezan s asteroidom 4 *Vesta*, to je diferencirani asteroid koji je bio podložan mnogobrojnim sudarima u povijesti. Za tip S asteroida se vjeruje da je povezan s običnim hondritima, najčešće nađenim meteoritima na Zemlji, a koji se nalaze između unutrašnjeg i središnjeg dijela asteroidnog pojasa. Tip M asteroida nalazi se u centralnom pojasu i može ga se povezati s E – hondritima koji sadrže željezo i sa željeznim meteoritima. Tip D je Jupiterov Trojanski asteroid koji se nalazi u L<sub>4</sub>

<sup>3</sup> Upitnici u ovoj tablici označavaju neslaganje astronoma oko lokacije, odnosno tipa meteorita s kojim se određeni tip asteroida povezuje.

ili L<sub>5</sub> Lagrangeovoj točki, 60 stupnjeva istočno ili zapadno od Jupitera, na ekstremnoj granici vanjskoga asteroidnog pojasa, vrlo su tamni i uglavnom su metalnoga sastava. Tip C ugljičnih asteroida najčešće se nalazi u glavnom asteroidnom pojasu i može ga se povezati s CM2 ugljičnim hondritskim meteoritima.

Nakon što su napravljeni spektri refleksije asteroida, sljedeći korak je pronalaženje meteorita koji će imati sličan spektar refleksije za usporedbu. Većina asteroida prekrivena je regolitom fragmenata s finoizrnatim mineralima koji su ucementirani. Kako bi se napravila usporedba površina meteorita i asteroida, karakteristike obiju tvari moraju se vrlo dobro podudarati. Takva se simulacija najbolje radi usitnjavanjem meteorita u fini kristalinični prah kako bi optičke kvalitete bile što sličnije. *Slika 5.* prikazuje pet usporedbi asteroida i meteorita kroz dijagram ovisnosti refleksije o valnoj duljini u infracrvenom i vidljivom području.



*Slika 5.* Usporedba nekoliko odabranih spektara refleksije asteroida i meteorita u vidljivom i infracrvenom području, a koji se međusobno razlikuju u mineralogiji. Spektri refleksije površinskih minerala asteroida dobiveni su snimanjem teleskopom sa Zemlje.

Isprekidane linije prikazuju spektar refleksije odabranih meteorita, dok pune linije prikazuju spektre refleksije asteroida. Usporedba pokazuje blisku podudarnost površine asteroida i mineralogije meteorita u prahu. Kao što se vidi iz *slike 5.* spektar *433 Erosa* blisko se podudara sa spektrom L4 običnoga hondrita, baš kao što se poklapa i spektar asteroida *1685 Toro*, koji ovdje nije prikazan, što dokazuje pretpostavku da su asteroidi izvorišna tijela meteorita, odnosno da su meteoriti fragmenti asteroida koji su preživjeli prolazak kroz Zemljinu atmosferu.

C tip ugljičnih asteroida najzastupljenija su skupina asteroida u glavnom pojasu. Oni su tamna tijela s refleksivnosti između 3 i 7 %, sa samo polovicom refleksivnosti Mjeseca. Više od polovice C tipova asteroida pokazuju da sadrže vodu. S tip asteroida druga je skupina prema zastupljenosti u glavnome pojasu. Oni su vjerojatno najbliži običnim hondritima, stoga ovdje počinje zagonetka. Na Zemlji su obični hondriti najveća skupina prema brojnosti u odnosu na sve ostale skupine meteorita, a dosad samo 16 % od svih proučavanih S tipova asteroida imaju hondritski sastav. To nepodudaranje u brojnosti ugljičnih hondrita, rijetkih na Zemlji, ali mnogobrojnih u asteroidnom pojasu, kazuje nam da obični hondriti zapravo dolaze od jednoga ili pak od malobrojnih izvorišnih tijela asteroida. Velik broj hondrita koji stižu na Zemlju očigledno ne indiciraju njihov velik broj u svemiru, stoga ne možemo očekivati da bi brojnost pojedinih tipova meteorita pronađenih na Zemlji odredila prave omjere tipova asteroida.

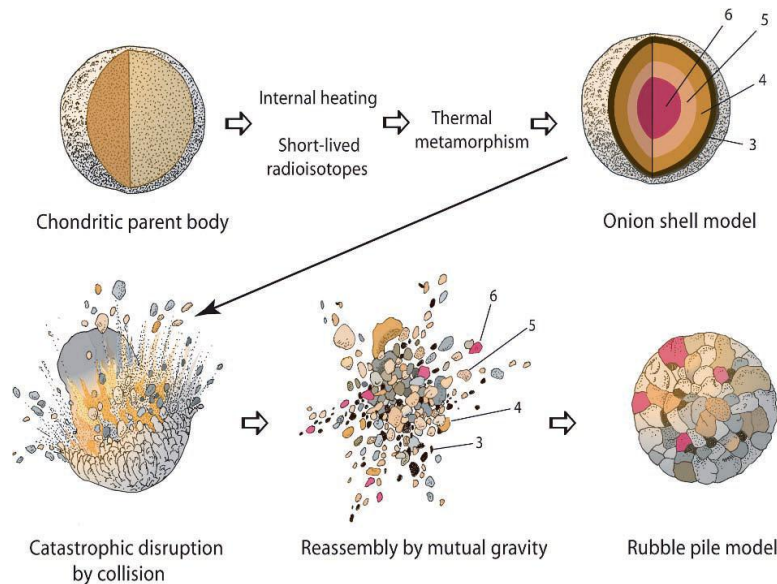
Godine 1996. lansiran je svemirski brod *NEAR* (eng. *Near Earth Asteroid Rendezvous*) kojem je primarni zadatak bio istražiti asteroid blizu Zemlji *433 Eros*, a sekundarni asteroid *253 Mathilde*. U lipnju 1997. godine svemirski brod *NEAR* prošao je pored asteroida *253 Mathilde* na udaljenosti od 1 212 km, koji je otkriven stoljeće prije, a za kojeg se sve do 1995. nije znalo od čega je građen. Istraživanje je pokazalo da je *253 Mathilde* C tip asteroida, s refleksivnosti manjom od 4 % svjetline drvenoga ugljena, odnosno polovice refleksivnosti tamne strane Mjeseca. Tako mala reflektivnost ukazivala je da je *253 Mathilde* fragment CM ugljičnoga hondrita. Daljnje istraživanje pokazalo je da *253 Mathilde* ima gustoću oko  $1,3 \text{ g/cm}^3$ , što je polovica gustoće tipičnih CM hondrita. Stoga se došlo do zaključka da asteroid *253 Mathilde* ima strukturu „rubble pile“, odnosno da je sastavljen od mnoštva krhotina različitoga sastava.

Dva su modela kojima se objašnjava unutrašnjost hondritskog asteroidnog izvorišnog tijela. Prvotno tijelo nastalo je srastanjem dijelova tijekom gibanja toga tijela

svojom orbitom u protoplanetarnom disku. Rezultat takvoga gibanja je nastanak homogenog tijela s jednoliko raspoređenim komponentama mineralnog sastava. Unutrašnje zagrijavanje nastalo raspadom kratkoživućeg radioizotopa  $^{26}\text{Al}$  osigurava dovoljno toplinske energije za zagrijavanje tijela od jezgre pa sve do njegove površine. Taj termalni metamorfizam postepeno zagrijava unutrašnjost asteroida, a rezultira petrografskim tipom<sup>4</sup> 6 u jezgri, dok u ostatku tijela rezultira petrografskim tipovima od 6 do 3. Rezultat takvog postepenog zagrijavanja tijela je slojevita struktura, slična lukovici, pa je ovaj model i dobio naziv *model ljuske luka*. U vrijeme svoje rane povijesti, nakon što je formiran model Ljuske luka, asteroidno je izvorišno tijelo ometeno katastrofalnim sudarima s drugim asteroidima koji su razorili njegovu tadašnju strukturu u milijune fragmenata, ali na sreću, sudari nisu bili toliko snažni da te fragmente rasprše u svemir. Umjesto raspršenja nastalih fragmenata asteroida, oni su se sažimali pod utjecajem gravitacije te je novonastalo tijelo sličilo modelu „rubble pile“, odnosno novonastalo je tijelo bilo mješavina petrografskih tipova. Danas je asteroid *253 Mathilde* teško oštećen zbog dvaju sudara čiji su ožiljci vidljivi u obliku velikih kratera na njegovoj površini. Njegova površina izgleda glatko i nevjerojatno jednolično, što sugerira na homogenost u njegovoj cijeloj unutrašnjosti; mala gustoća i glatka površina ukazuju da je matriks vodeni led. *253 Mathilde* se smatra dijelom drevnog i primitivnog Sunčevog sustava.

---

<sup>4</sup> Petrografska se skala koristi za određivanje teksture hondritskih meteorita; odnosno za određivanje rastućeg metamorfizma u hondritima. Postoji 6 petrografskih tipova, za koje postoji 10 kriterija prema kojima se određeni asteroid ili meteorit svrstava u određeni tip. Tablica petrografskih tipova nalazi se u prilogu 8.1. na kraju rada.



Slika 6. Prikaz modela ljuske luka (*onion shell model*) te modela gomile fragmenata (*rubble pile model*) hondritskog asteroidnog izvorišnog tijela.

## 2.4. Od svemira do Zemlje: lekcije preživljavanja

Kao što je već rečeno, meteoriti su meteoroidi koji su preživjeli prolazak kroz Zemljinu atmosferu, a to uspijevaju samo neki. Veći meteoroidi uspijevaju stići na Zemljinu površinu netaknuti, iako s reduciranom veličinom i masom. Treba naglasiti da svaki meteor nije vatrena kugla<sup>5</sup>, iako je za obje pojave karakteristična pojava svjetlosti. Vatrene kugle uglavnom su posljedica prolaska većih meteoroida kroz Zemljinu atmosferu, a koji preživljavaju taj prolazak te stižu do lica Zemlje. Prema konvenciji vatrena je kugla bilo koji meteoroid koji ima magnitudu sjaja od -5 pa na niže<sup>6</sup> s nedefiniranom gornjom granicom, a ponekad vatrene kugle dostižu magnitudu od -12,5. Za vatrene je kugle karakteristična pojava zvuka i već navedene svjetlosti intenzivne magnitude sjaja. Veliki meteoroid koji stiže do najvišega dijela Zemljine atmosfere ima brzinu veću od 80 km/s, stoga i ogromnu količinu gibanja. Kako bi mu se smanjila količina gibanja, mora se primijeniti sila suprotne orijentacije od one koja djeluje na meteoroid. Takvu silu suprotne orijentacije, koja nastaje zbog različite gustoće slojeva Zemljine atmosfere, trivijalno nazivamo otporom zraka. No, sam otpor zraka ne bi bio dovoljan za smanjenje impulsa sile, pa tako ovdje veliku ulogu ima proces ablacije. Ablacija je proces uklanjanja ili

<sup>5</sup>Prijevod engleske riječi *fireball*, kojoj je sinonim *bolid*.

<sup>6</sup>Što je negativnija vrijednost magnitude sjaja, to je objekt sjajnije, odnosno intenzivnije svjetline. Sunce primjerice ima magnitudu sjaja -26,5, a pun Mjesec -12,5.

gubitka meteoritskog materijala isparavanjem ili sublimacijom pod utjecajem topline koja je rezultat sile otpora koju pružaju slojevi Zemljine atmosfere kako meteoroid kroz njih prolazi, pri čemu meteoroid može izgubiti i do 90 % svoje mase.

Prema prvome zakonu termodinamike energija ne može niti nastati niti nestati, već se može samo pretvarati iz jednoga oblika u drugi. Tako se i kinetička energija meteoroida može pretvoriti u druge oblike energije, toplinsku i svjetlosnu, a njih dvije skupa proizvode fenomen vatrene kugle, koji se događa tek na visini 100 km jer tek tada otpor zraka počinje imati presudnu ulogu. Kako se kinetička energija postepeno pretvara u toplinu i svjetlost, vanjska površina meteoroida počinje se taliti pa nakon nekog vremena kada njegova površina dosegne temperaturu veću od 1500°C, meteoroid počinje isijavati svjetlost. Nastanak svjetlosti kod vatrene kugle mogu objasniti dva mehanizma koja se događaju istovremeno. Prvi je da se čvrsto tijelo meteoroida zagrije do usijanja kako raste temperatura na njegovoj površini. Takvo tijelo emitira svjetlost, no ipak nedovoljnu da bismo je lako zamijetili sa zemlje. Ali, kako se zagrijavanje meteoroida nastavlja, istovremeno se zagrijava i zrak oko njega. Zrak se zagrijava najvećim dijelom zbog kompresije ispred meteoroida koji se kreće velikom brzinom. Pod utjecajem tolike topline atomi u atmosferi, koji okružuju meteoroid, ioniziraju se, odnosno gube elektrone. Gotovo trenutačno novonastali ioni u atmosferi hvataju elektrone otpuštajući energiju u obliku svjetlosti i istovremeno uzrokuju usijanje zraka oko meteoroida, što je razlog zašto vatrene kugle možemo vidjeti sa zemlje.

Što se tiče zvuka koji nastaje, to je druga priča. Iako se vatrena kugla vidi, nema zvuka, tek nakon nekog vremena, začuje se serija eksplozija. Ti su zvukovi eksplozija uzrokovani tlačnim valovima nastalim u atmosferi uslijed hiperzvučnog prolaska vatrene kugle. Svjetlost koju isijava vatrena kugla i zvuk nastao udarnim valovima nebrojenih fragmenata meteorita ne mogu se dogoditi istovremeno. Svjetlost se emitira tijekom kratkog putovanja od oko 100 km gotovo trenutačno, dok zvuk putujući brzinom od oko 330 m/s zaostaje daleko iza pojave svjetlosti. Ovisno o udaljenosti vatrene kugle od promatrača, vremenska razlika između uočavanja vatrene kugle i zvuka kojeg proizvodi može biti od 30 sekundi do nekoliko minuta.

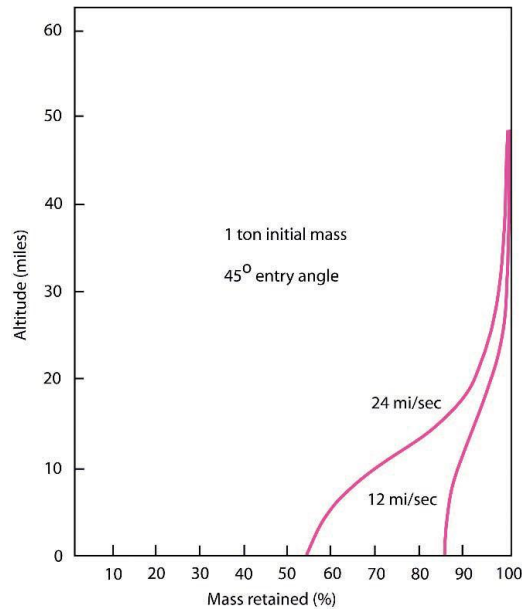
Brojni kameni meteoriti koji su pronađeni ubrzo nakon pada na zemlju nisu bili vrući, ali topli jesu. Razlog tomu je jednostavan: pri prosječnoj visini od 15,24 km, kozmička brzina meteorita pada na nulu, a on postaje ovisan samo o zakonu gravitacije

koji mu dozvoljava brzinu od nekoliko stotina km/h, što je premala brzina da bi uzrokovala kompresiju atmosfere s rezultirajućim zagrijavanjem. Samo je vanjska površina oko milimetar debljine zahvaćena procesom taljenja te se gotovo trenutačno odvija i ablacija pa se toplina u tako kratkom vremenu nije niti stigla provesti u dublje slojeve, odnosno srž meteorita. Pri visini od 15,24 km temperatura atmosfere je oko  $-46^{\circ}\text{C}$  ili čak niža. Tako niska temperatura uzrokuje brzo hlađenje padajućeg kamena. Mnogo prije udara o zemlju površina meteorita je topla, ne vruća, stoga ni ne čudi što su nerijetko takvi meteoriti pronađeni s ledenom koricom koja se nije rastalila. Što se tiče pak željeznih meteorita, kod njih nije takav slučaj. Željezo je bolji vodič topline od silikata, pa se zagrijane zone mogu vidjeti i do nekoliko milimetara debljine prerezanoga dijela meteorita. Željezni meteoriti znaju biti neugodno vrući, ali nikada crveno usijani.

Ablacija, koju sam već spomenula, najdestruktivniji je proces u fazi usijanja meteorita tijekom prolaska kroz atmosferu, no nužan za preživljavanje meteorita. Kako otpor zraka raste s dubinom prodora meteorita u atmosferu, rep meteorita zagrijava se do usijanja, tali se te meteorit postepeno počinje gubiti svoju masu. Izbačena masa sa sobom nosi i toplinu isparavanja, te se meteorit na taj način hladi sprječavajući prodor topline u svoju unutrašnjost. Rastaljeni odbačeni materijal struji zrakom iza meteorita što je uzrok tankom dugom repu svjetlosti kojeg vidimo sa zemlje. Taj rep svjetlosti jest zapravo prašina sastavljena od mikroskopskih kapljica tekućine koje vrlo brzo očvrstnu.

Atmosfera pruža veći otpor meteoroidima koji imaju vrlo velike upadne brzine, pa je zbog toga i proces ablacije veći, što kazuje da su gubici mase ekstremno veliki. *Slika 7.* pokazuje dva primjera pada meteoroida pri istim uvjetima, s različitim upadnim brzinama. Ono što se može zamijetiti jest da meteoroid s većom upadnom brzinom trpi veće gubitke mase.





Slika 7. Grafički prikaz ovisnosti visine s koje pada željezni meteoroid<sup>7</sup> početne mase 1000 kg o količini njegove preostale mase u obliku postotka nakon što je pao na zemlju pod upadnim kutom od 45° i dvjema različitim brzinama: 38 km/s i 19 km/s.

Kada veliki meteoroid ulazi u Zemljinu atmosferu, on se vrlo brzo raspada na komade zbog velikih promjena atmosferskog tlaka, posebice ako je već prije bio fragmentiran. Većina padova kamenih meteorita su višestruki. Kada je glavna masa meteorita fragmentirana, njegovi dijelovi nastavljaju padati više ili manje zajedno, no svakako ne padaju nasumično, već je lokacija njihovoga pada određena impulsom sile koji na svakoga od njih djeluje, odnosno njihovom kinetičkom energijom. Masivniji dijelovi, dakle oni s većom kinetičkom energijom padaju dalje. U prosjeku oni padaju pod kutom od 30° u odnosu na okomicu, dok oni s manjom masom padaju pod kutom 20°. Kada dospiju na zemlju, dijelovi meteorita su raspoređeni duž *udarnoga polja*, uobičajeno prekrivajući eliptično područje, koje se naziva i distribucijska elipsa, prikazana na slici 8.

<sup>7</sup>1 milja iznosi 1,609 km.

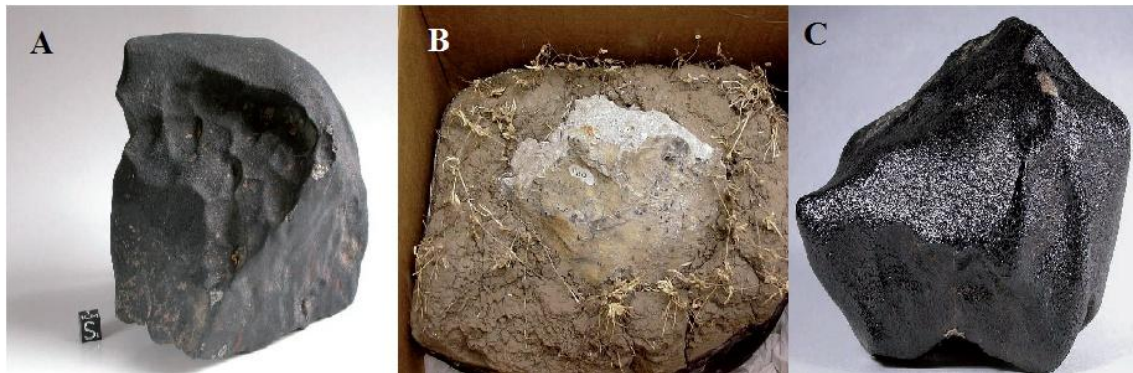


*Slika 8.* Shema koja ilustrira nastanak klasičnog udarnog polja. Kada meteoroid uđe u najviši sloj atmosfere s putanjom pod određenim kutom, često ga velika decelerirajuća sila lomi u desetke, stotine ili tisuće fragmenata. Manji fragmenti brže se usporavaju pa se pri padu na Zemljinu površinu raspoređuju po bližem kraju površine elipse, dok se oni fragmenti s većom masom raspoređuju po daljem kraju površine elipse. Vjetrovi jako utječu na distribuciju fragmenata, i mijenjaju eliptični uzorak distribucije.

## 2.5. Fizikalne odlike meteorita i utjecaj atmosferskih prilika

Meteoroidi koji su preživjeli prolazak kroz Zemljinu atmosferu, odnosno meteoriti, a koji su pronađeni nedugo nakon pada, imaju zajedničku karakteristiku koja nije obilježje niti jedne Zemljine stijene, a to je *korica taljenja*. Meteoroid tijekom pada trpi temperature veće od  $1800^{\circ}\text{C}$  te je njegova vanjska morfologija potpuno promijenjena nakon što stigne na površinu. Rijetki su slučajevi kada se kameni meteoriti nađu netaknuti, odnosno nefragmentirani, odmah nakon pada, ali i takvi su slučajevi zabilježeni. Takvi meteoriti potpuno su prekriveni koricom tamnosmeđe do crne boje, debljine ne veće od 1 mm. U fazi vatrene kugle, kada je temperatura površine meteorita najveća, površina meteorita počinje se taliti, ostavljajući iza sebe rastaljene čestice. Sve dok taljenje površine meteorita traje, korica ne može nastati. Ona nastaje tek u posljednjih nekoliko sekundi faze vatrene kugle kada je ablacija smanjena, odnosno kada temperatura površine meteorita počne opadati. Kao što je rečeno, meteoriti se često raspadaju pri prolasku kroz slojeve Zemljine atmosfere, pa ovisno od kojega dijela meteorita potječe fragment, korica može izostati.

Hondritski kameni meteoriti sastoje se od kristaliničnoga olivina<sup>8</sup> i ortopiroksena, u kojima se nalaze granule elementarnog željeza. Navedena dva minerala pri temperaturama taljenja ne mogu rekristalizirati već slobodno teku kroz rastaljeni površinski dio meteorita debljine oko 1 mm. Tom prilikom nastaje amorfno svijetlosmeđe staklo sa sastavom prvobitnih minerala. Granule elementarnog željeza oksidiraju, pri čemu nastaje mješavina željezovog (II) i (III) oksida, magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , koji se miješa s nastalim staklom, te na taj način nastaje korica čija boja varira od tamnosmeđe do crne. Neki su meteoriti, kao što su enstatični ahondriti ili aubriti, monomineralne tvari, što znači da ne sadrže elementarno ili oksidirano željezo. Rezultat toga je korica svjetlije kremaste boje, najčešće bež boje. Još je jedna varijacija u boji korice, i to kod ahondrita eukrita, koji su prema kemijskom sastavu vrlo slični Zemljinim bazaltima<sup>9</sup>. Eukriti su bogati kalcijem, koji potječe iz minerala plagioklasa i njegove staklaste forme maskelinita. Kada se minerali bogati kalcijem miješaju s elementarnim i oksidiranim željezom, korica poprima sjajnu crnu boju, tipičnu za eukrite.



*Slika 9.* Različiti tipovi meteorita imaju različite boje korica taljenja: A) kameni meteorit Bassiounou mase 3,3 kg s tamnosmeđom koricom, B) kameni meteorit aubrit s bež koricom, C) ahondritski meteorit eukrit sa sjajnom crnom koricom.

Odlika kamenih meteorita također je i prisutnost kontrakcijskih pukotina, nastalih pri naglom hlađenju. One nisu duboke, dubine su gotovo iste kao što je debljina korice, ali su važne točke ulaska kemijskih i mehaničkih agensa iz okoliša koji djeluju na taj meteorit.

<sup>8</sup>Popis i kemijski sastav svih minerala koji se mogu naći u meteoritima nalazi se u poglavlju 2.1.6.1. Minerali u meteoritima.

<sup>9</sup>Finozrnata bazična magmatska stijena koju Zemlja erupcijom vulkana izbacuje na svoju površinu, a koja je prema kemijskom sastavu smjesa minerala plagioklasa i piroksena.

Nadalje, bitno je naglasiti da i željezni meteoriti imaju koricu, tamnoplave do crne boje, koja ima debljinu samo djelić milimetra, dakle tanja je nego kod kamenih meteorita, pa tako i krhkija. U stvaranju korice kod željeznih meteorita ne sudjeluju silikati, već se gotovo cijela korica sastoji od željezovih oksida, stoga ni ne čudi što su korice željeznih meteorita najizloženije utjecajima kemijskih agensa iz okoliša koji ju lako uništavaju.

Ono zbog čega su željezni meteoriti još posebni jest promjena njihove površine pod utjecajem topline. Kao što se vidi na *slici 10. B)*, mali Sikhote – Alin željezni meteorit pod utjecajem topline mijenja strukturu svoje površine, od oktaedralne strukture površina postaje granularne teksture. Isto se može postići i s jetkanjem površine meteorita, odnosno nagrizanjem kiselinama.



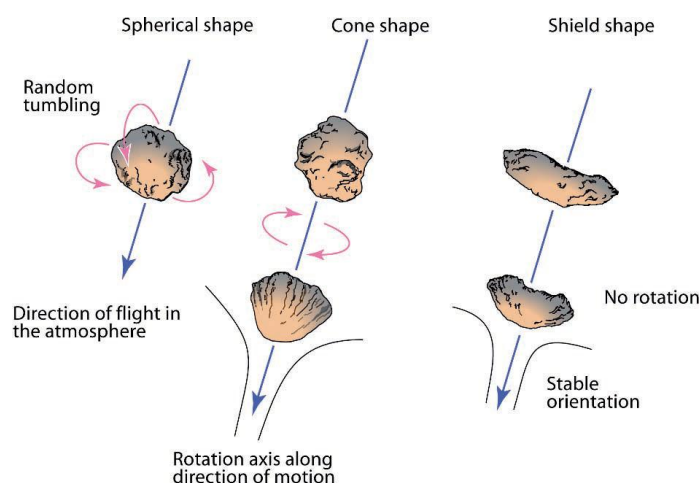
*Slika 10.* A) Kameni meteorit na čijoj se površini vide fine kontrakcijske pukotine, B) Sikhote – Alin željezni meteorit mase 19,5 g na čijoj se površini primjećuje potpuno rekristalizirana oktaedarska struktura, što je zanimljivo, zamjećuju se i Neumannove linije, koje će biti objašnjene u poglavlju 2.1.6.5. Željezni meteoriti, C) željezni meteorit Henbury izuzetno rijetkog sastava, rekristalizirana površina pokazuje pruge širine od 1 do 11 mm, primjećuju se Widmanstättenove lamele, koje će također biti objašnjene u poglavlju o željeznim meteoritima.

Na terenu nije neuobičajena pojava sekundarne korice taljenja, koja je uvijek tanja od one primarne. Pojava sekundarne korice nam govori da je meteorit s već gotovo formiranom primarnom koricom u padu fragmentiran, te na novonastalim fragmentima, odnosno njihovim novonastalim površinama nastaje vrlo tanak sloj sekundarne korice. U odnosu na primarnu koricu sekundarna nije tako glatka jer je nastala pri smanjenoj ablaciji, dakle nije bilo dovoljno dugo dovoljno velike količine topline da bi se potpuno istalila i zagladila kao što je slučaj s nastankom primarne korice taljenja.

Iako se ne čini na prvi pogled tako, svi meteoriti imaju definirani oblik. Budući da su produkt ablacije i fragmentacije, očekivalo bi se da imaju nepravilan oblik. No, većina je meteorita uglata, odnosno čoškasta, s kutovima blizu 90° koji dominiraju. Ako meteorit razvije svoj oblik u višim slojevima atmosfere, njihovi oštri uglovi teže zaobljavanju radije nego da su oštro ispupčeni. Originalan oblik meteoroida ipak ne možemo znati.

Još je jedan produkt ablacije vidljiv na površini meteorita, a to su oblici nazvani „remaglifi“, odnosno površinske jamice karakteristične kako za kamene tako i za željezne meteorite. Uobičajeno ime za te površinske jamice jest „otisci palca“ budući da su veličine ljudskoga palca. Ti su otisci palca plići kod kamenih meteorita, pa kao takvi i ne dobro definirani za razliku od površinskih jamica kod željeznih meteorita. Ako se željezni meteoroid raspadne uz eksploziju, njegovi fragmenti se deformiraju i nalikuju ostacima bombe, stoga se ponekada za njih rabi naziv špliteri.

Kako meteoroid juri kroz atmosferu zagrijan do usijanja, na površini meteorita, kako kamenih, tako i željeznih, mogu se vidjeti različiti oblici tečenja u obliku linija koje se pružaju radialno od jednog ugla meteorita. Osim oblika tečenja uočeni na meteoritima, zanimljivi su i sami oblici meteorita: u obliku sfere, konusa i štita. Kako nastaju takvi oblici?



Slika 11. Prikaz nastanka orijentiranih meteorita u obliku sfere, konusa i štita.

Tri oblika meteorita nastaju ovisno o tom kako se meteoroid orijentira pri padu kroz atmosferu, a prikazani su na slici 11. Velika većina njih nekontrolirano se vrti čime si

zaglađuju površinu i tako nastaje grubo rečeno sferni oblik. Ako na meteoroid djeluje maksimalna sila otpora, on se stabilizira tijekom pada i sprječava se njegova nekontrolirana vrtnja, a time i nastanak sfernoga oblika. On pri padu nastavlja s rotacijom uzduž smjera njegova gibanja, ili se uopće ne rotira, pa na taj način nastaju meteoriti u obliku konusa, odnosno štita.

Meteoriti koji stignu do površine Zemlje, a ne pronađu se u određenom vremenu, izloženi su atmosferskim utjecajima, od kojih im posebno šteti kisik i voda budući da je Zemlja za njih strani svijet. Pri normalnim uvjetima na Zemlji meteoriti neće preživjeti dugo ukoliko se ne poduzmu mjere njihovoga zbrinjavanja i zaštite. Dva su osnovna tipa atmosferskih utjecaja kojima su oni podložni, a to su mehanički i kemijski. Utjecaj mehaničkih agensa trpi meteoroid još i prije no što doprije na Zemljinu površinu, a to su brojne serije fragmentacija. U trenutku kada meteorit padne na zemlju pretrpi još jedan mehanički šok udarajući o površinu velikom brzinom. Nakon pada i dalje je podložan mehaničkim utjecajima kao što su abrazija vjetrom, ekstremne temperature, prisutnost vode, aktivnost biljaka i životinja. Staklasta korica taljenja osigurava kratkotrajnu zaštitu za one meteorite koji su stigli u komadu, odnosno one koji nisu fragmentirani, što je pak rijetkost. Kontrakcijske pukotine koje se formiraju pri padu meteorita stvaraju probleme za očuvanje meteoritskog materijala jer kroz njih voda ulazi u unutrašnjost meteorita i na taj način počinje destruktivni utjecaj kemijskih agensa. Ako meteorit padne na tlo gdje je izložen vrlo niskim temperaturama, voda koja uđe kroz kontrakcijske pukotine može ih oštetiti na način da ih proširi jer led ima manju gustoću, a veći volumen od vode.

Velika većina meteorita su pronađeni nakon tko zna koliko dugo vremena i bili su izloženi ponajprije kemijskim procesima oksidacije i hidratacije. Nakon određenoga vremena zbog kemijskih utjecaja nastaju novi minerali, bitno različiti od prvobitnih odmah nakon pada. Na kamenim meteoritima tamna korica može posvijetliti, a na željeznim oksidirati. Olivin i feldspat pretvaraju se u glinaste minerale, dok željezo, posebice kamacitna faza vrlo hrđa. Zbog toga se pronađeni meteoriti tretiraju određenim postupcima kako bi se spriječio mehanički, a posebice kemijski utjecaj na njih. Jedan od postupaka sprječavanja utjecaja kemijskih agensa će biti opisan u nastavku. Željezni meteoriti koji se pronađu tretiraju se s razrijeđenom nitratnom kiselinom (postupak jetkanja) kako bi se potvrdilo prisutstvo ili odsutstvo Widmanstättenovih lamela. Nakon toga, meteoriti se neutraliziraju, isperu vodom, suše u pećnici i namaču u apsolutni etanol. Tada se njihova površina premazuje završnim akrilnim premazom kako bi ostala postojana na zraku.

## 2.6. Vrste meteorita i njihov karakterističan kemijski sastav

Poznata je podjela meteorita u tri glavne skupine: kameni ili aeroliti, željezni ili sideriti i kameno – željezni meteoriti ili sideroliti, i ona se danas koristi, iako je pomalo arhaična. Budući da se asteroidi smatraju izvorišnim tijelima meteorita, također se smatra da su sideriti fragmenti jezgre asteroida, sideroliti fragmenti plašta asteroida, a aeroliti fragmenti kore asteroida. Prema navedenoj podjeli lako je reći koja je razlika između triju skupina. Željezni su meteoriti teži od kamenih istih dimenzija i često su magnetični. Na prvi pogled, kameni meteoriti izgledaju kao i bilo koje drugo Zemljino kamenje i građeni su od minerala koji se mogu naći u magmatskim stijenama. Kameno – željezni meteoriti su pak mješavina oba tipa. Problemi nastaju kada stavimo magnet blizu prepoznatog kamenoga meteorita, a on lagano zakreće iglu kompasa, i tada se meteorit mora pomnije analizirati jer nije jasno kako unaprijed definirani „obični kamen“ može biti lagano magnetičan. Napravi li se presjek toga meteorita, mogu se zamijetiti granule srebrnosivog materijala koji zapravo utječe na iglu kompasa; to je najreduciraniji oblik željeza, elementarno željezo. Elementarno željezo neuobičajena je pojava u Zemljinim stijenama jer izloženo kisiku i vlazi hrđa i postaje nemagnetično. Dakle, po vanjskim fizikalnim svojstvima meteorita ne može se odrediti njegovo izvorišno tijelo, niti porodica kojoj on pripada. Stoga pozornost treba obratiti na veličinu zrna i oblike minerala od kojih je građena njegova unutrašnja kemijska struktura. Uzimajući u obzir sva navedena svojstva, uvedena je podjela meteorita na četiri velika razreda: hondrite i ahondrite (asteroidne, planetarne i mjesečeve) te željezne i kameno – željezne meteorite. [2]

### 2.6.1. Minerali u meteoritima

Minerali čine čvrste dijelove našega planeta i Sunčevog sustava, oni su građevni materijali svih stijena, pa i meteorita. Do sada je identificirano oko 4000 minerala, od kojih je oko 280 pronađeno u meteoritima. No, što su minerali? Internacionalno mineraloško udruženje mineral definira kao kemijski element ili spoj koji je kristaliničan, a koji je nastao kao posljedica geoloških procesa. Na Zemlji je širok raspon geoloških procesa koji su omogućili gotovo svim kemijskim elementima, koji se mogu naći u prirodi, sudjelovanje u izgradnji minerala, dok su minerali meteorita nastali u ranoj fazi Sunčeva sustava pod utjecajem ograničenog broja procesa. Zastupljenost kemijskih elemenata u

ranoj fazi Sunčevog sustava slijedi generalni obrazac: lakši elementi najviše su zastupljeni, dok su oni teži manje zastupljeni. *Tablica 3.* prikazuje 18 elemenata s najvećom zastupljenosti u Sunčevom sustavu.

*Tablica 3.* Prikaz 18 kemijskih elemenata s najvećom zastupljenosti u Sunčevom sustavu. **Podobljani** elementi kombiniraju se međusobno i izgrađuju najzastupljenije minerale nađene u meteoritima i na Zemlji.

<b>Kemijski element</b>	<b>Kemijski simbol</b>	<b>Zastupljenost, broj atoma<sup>10</sup></b>
Vodik	H	24 300 000 000
Helij	He	2 343 000 000
<b>Kisik</b>	<b>O</b>	<b>14 130 000</b>
Ugljik	C	7 079 000
<b>Magnezij</b>	<b>Mg</b>	<b>1 020 000</b>
<b>Silicij</b>	<b>Si</b>	<b>1 000 000</b>
<b>Željezo</b>	<b>Fe</b>	<b>838 000</b>
Sumpor	S	444 900
<b>Aluminij</b>	<b>Al</b>	<b>84 100</b>
<b>Kalcij</b>	<b>Ca</b>	<b>62 870</b>
<b>Natrij</b>	<b>Na</b>	<b>57 510</b>
Nikal	Ni	47 800
Krom	Cr	12 860
Mangan	Mn	9 168
Fosfor	P	8 373
Klor	Cl	5 237
<b>Kalij</b>	<b>K</b>	<b>3 692</b>
Titanij	Ti	2 422

Nevjerojatno je da samo 8 kemijskih elemenata gradi minerale s najvećom zastupljenosti u meteoritima, a to su kisik, silicij, magnezij, željezo, aluminij, kalcij, natrij i kalij. Ostali elementi grade minerale koji se pronalaze u malim količinama, ili pak u tragovima. Najzastupljeniji minerali u meteoritima su piroksen, olivin, feldspat, kamacit i

<sup>10</sup>Zastupljenost određenoga elementa uspoređena je s milijunom atoma silicija. Primjerice, na svaki milijun atoma silicija dolazi 838 000 atoma željeza.



taenit, a u malim količinama mogu se naći troilit, šrajberzit i kohenit. Silikatni materijali, kao što su piroksen, olivin i feldspat, dominiraju aerolitima, dok metali kamacit i taenit s malim udjelom šrajberzita i kohenita dominiraju sideritima. *Tablica 4.* daje pregled najvažnijih minerala nađenih u meteoritima, njihovu porodicu, kemijsku formulu i kratki opis za koje su meteorite karakteristični.

*Tablica 4.* Pregled minerala nađenih u meteoritima. [5]

Ime minerala	Kemijska formula	Meteoriti za koje su karakteristični
<b>SILIKATI</b>		
Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Plagioklas bogat natrijem rijedak u meteoritima, ali su malene količine nađene u SNC meteoritima.
Anortit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Plagioklas bogat kalcijem zastupljen je u hondritima i ahondritima, najzastupljeniji je mineral u eukritima, a u manjim količinama može se naći u angritima i C hondritima.
Augit	$\text{Mg}(\text{Fe}, \text{Ca})\text{Si}_2\text{O}_6$	Klinopiroksen bogat kalcijem pronađen u nekim ahondritima, najzastupljeniji je piroksen u <i>shergottite</i> meteoritima, a u manjim je količinama nađen u eukritima i <i>nakhilitima</i> .
Bronzit	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$	Ortopiroksen nađen u enstatitu bogatom magnezijem i ferosilitu bogatom željezom.
Bajtavnit <sup>11</sup>	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Plagioklas bogat kalcijem često pronađen u eukritima zajedno s anortitom i malom količinom angrita.
Klinoenstatit	$\text{MgSiO}_3$	Piroksenski mineral i zadnji član u nizu monoklinske serije piroksena nađen je u običnim hondritima.
Klinopiroksen	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$	Piroksenski mineral koji je nastao u monoklinskom kristalnom sustavu zajedno s klinoenstatitom, pigeonitom, augitom, diopsidom i hedenbergitom.

<sup>11</sup>Fonetska transkripcija engleskog naziva *Bytownite*.

Koezitet	$\text{SiO}_2$	Polimorf kvarca velike gustoće nastao usljed djelovanja vrlo visokoga tlaka u kratkome vremenu na kristalni kvarc, on je produkt udara meteorita.
Diopsid	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	Klinopiroksen bogat kalcijem i magnezijem, a nađen je u E hondritima, aubritima i mezosideritima. U vrlo malim količinama može se naći u inkluzijama CM hondrita.
Enstatit	$\text{MgSiO}_3$	Ortopiroksen bogat magnezijem nađen kao najzastupljeniji mineral u svim običnim, ugljičnim i R hondritima, a isto tako i u bazaltnim ahondritima.
Fajalit	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	Olivin bogat željezom nađen u svim hondritima osim E hondrita.
Feldspat	$(\text{K, Na, Ca})(\text{Si, Al})_4\text{O}_8$	Grupa minerala koja uključuje plagioklase i ortoklase.
Feldspatoidi: Nefelin Sodalit	$(\text{Na, K})\text{AlSiO}_4$ $\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$	Silikati slični feldspatima. Primarna je razlika u količini vezanoga $\text{SiO}_2$ . Feldspatoidi sadržavaju oko dvije trećine silicijevog dioksida više no feldspati. Pronađeni su u hondrama CV hondrita.
Forsterit	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	Olivin bogat magnezijem, pogledaj fajalit.
Staklo	Amorfno	Obično se nalazi u hondritima i ahondritima, nastaje kada se rastaljeni silikatni materijal naglo ohladi i kristali imaju nedovoljno vremena za rast. Ono može kristalizirati ako se zagrijava, ne tali, i polagano hladi. Minerali mogu postati staklo pri visokotlačnim udarima, vidi maskelinit.
Hipersten	$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$	Ortopiroksen bogatiji željezom od enstatita i bronzita. Najviše je zastupljen u diogenitima i uobičajeno je svijetlozelene do smeđe boje, a pronaden je i u L grupi običnih hondrita.
Maskelinit	$(\text{Na, Ca})(\text{Si, Al})_3\text{O}_8$	Plagioklas koji se pretvara u staklo pod utjecajem metamorfičkog šoka, a najčešće nađen u <i>shergottite</i> meteoritima i običnim hondritima. Prisutnost maskelinitnog stakla ukazuje da je meteorit pretrpio velike udarne tlakove.

Melilit	$(Ca, Na)_2(Al, Mg)(Si, Al)_2O_7$	Mineral sa strukturom između akermanita $Ca_2MgSi_2O_7$ i gelenita $Ca_2Al(Si, Al)_2O_7$ . Pronađen u inkluzijama s kalcijem i aluminijem u CV hondritima, te u velikim hondrama Allende CV3 hondrita.
Olivin	$(Mg, Fe)_2SiO_4$	Niz minerala koji, ovisno o sastavu inkluzija, mogu biti od forsterita bogatog magnezijem do fajalita bogatog željezom. Sastav olivina uglavnom se izražava kao molekulski postotak fajalita, npr. F <sub>20</sub> , dok ostatak postotka čini forsterit. Olivini bogati magnezijem zastupljeniji su u meteoritima. Olivin je najzastupljeniji mineral u svim hondritima, palasitima i nekim ahondritima, ali rijedak u E hondritima i aubritima.
Ortoklas	$KAlSi_3O_8$	Vrlo rijedak u meteoritima, nađen u vrlo malim količinama u eukritima i <i>nakhilitima</i> .
Ortopiroksen	$(Mg, Fe)SiO_3$	Piroksenski mineral koji kristalizira u ortorompskom sustavu koji uključuje enstatit (još nazvan i ortoenstatit), ferosilit, bronzit i hipersten. Uobičajeno ime mu je piroksen s niskim udjelom kalcija.
Filosilikati	-	Velika skupina minerala koji sadrže hidroksilne skupine i vodu. Uključuju grupu serpentina i smektita koji se mogu naći u meteoritima. Pojavljuju se kao rezultat mehaničkog i kemijskog utjecaja vode na meteorite, a mogu se naći u ugljičnim hondritima.
Pigeonit	$(Fe, Mg, Ca)SiO_3$	Klinopiroksen siromašan kalcijem s množinskim udjelom $CaSiO_3$ od 5 do 15 %. Najzastupljenija je faza u eukritima i kumulativni materijal zajedno s augitima i ortopiroksenima u <i>shergottitima</i> . Olivin bogat željezom okružen je pigeonitom u <i>nakhilitima</i> .
Plagioklas	$(Na, Ca)(Si, Al)_3O_8$	Niz minerala od anortita bogatog kalcijem do albita bogatog natrijem.

Piroksen	$\text{CaSiO}_3\text{-MgSiO}_3\text{-FeSiO}_3$	Grupa minerala koja uključuje ortopiroksene kao što je enstatit i klinopiroksene kao što su augiti, diopsidi i pigeoniti. Kemijski sastav piroksena iskazuje se kao postotak triju navedenih minerala koji se redom nazivaju volastonit (Wo), enstatit (En) i ferosilit (Fs) te se obilježavaju također u obliku postotaka, npr. $\text{Wo}_{42}\text{En}_{54}\text{Fs}_4$ .
Kvarc	$\text{SiO}_2$	Izuzetno rijedak u meteoritima. Nađen u malim količinama u eukritima, ahondritima bogatih kalcijem i u visokoreduciranim E hondritima.
Ringvudit	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	Olivin sa strukturom spinela. Mineral je koji nastaje pri djelovanju visokih tlakova kao što je 150 kbara, a nastaje pretvorbom olivina bogatog magnezijem. Indikator da je meteorit pretrpio udarni šok.
Serpentin	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Zastupljen u matriksu CI i CM hondrita, uobičajeno je finoznate strukture, pomiješan s organskim tvarima.
Smektit	-	Grupa glinenih minerala s kompleksnim sastavom koji uključuje montmorilonit i saponit. Oni su pronađeni u CM hondritima i SNC meteoritu (podrijetlom s Marsa).
Stishovit	$\text{SiO}_2$	Polimorf kvarca izuzetno velike gustoće nastao udarom meteorita u kvarcnu stijenu pri izuzetnim tlakovima. Uobičajeno ga se povezuje s koezitom i nastaje pri statičnom tlaku preko 100 kbara. Njegova pojavnost ukazuje na impaktne kratere.
Volastonit	$\text{CaSiO}_3$	Zadnji član u sastavu piroksena.
<b>KARBONATI</b>		
Kalcit	$\text{CaCO}_3$	Rijedak u meteoritima. Katkada pronađen u udarnim pukotinama u CI hondritima, a uobičajeno ga je naći skupa s magnetitom.
<b>HIDROKSIDI</b>		
Akaganeit	$\beta\text{-FeO(OH, Cl)}$	Glavni korozijski produkt nastao djelovanjem atmosferskih agensa na Fe – Ni mineral kamacit, mineral s malim udjelom nikla.

Goetit	$\alpha$ - Fe(OH)	Sekundarni korozijski produkt djelovanja atmosferskih agensa na kamacit.
<b>OKSIDI</b>		
Kromit	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Dominantan je oksid u običnim hondritima, uobičajeno se nalazi u hondrama u obliku crnih neprozirnih zrnaca.
Ilmenit	FeTiO <sub>3</sub>	Crni, neprozirni i malo magnetični mineral, glavna ruda titanija. U malim količinama pronađen u Zemljinim magmatskim stijinama, ahondritima te bazaltima s Marsa i Mjeseca.
Magnetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Crn, neproziran i jako magnetični oksid. Uobičajeno pronađen u matriksu ugljičnih hondrita i u malim količinama u običnim hondritima i nekim ahondritima. Najčešći mineral u korici taljenja aerolita.
Perovskit	CaTiO <sub>3</sub>	Pronađen u inkluzijama s kalcijem i aluminijem u ugljičnim hondritima, a nastaje pri visokim temperaturama.
Spinel	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ovaj se oksid pojavljuje u obliku malih neprozirnih oktaedara u meteoritima. U malim je količinama prisutan u hondrama i pukotinama CV hondrita.
<b>SULFIDI</b>		
Pentlandit	(Fe, Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	Brončane je boje kao pirhotit i postaje magnetičan tek nakon što se zagrije. Uobičajeno ga se pronalazi s troilitom u meteoritskim inkluzijama. U malim količinama pronađen u matriksu i hondrama CO, CV, CK i CR hondritima.
Pirhotit	Fe <sub>1-x</sub> S	Magnetični željezov sulfid pronađen u meteoritima s malim udjelom željeza u odnosu na sumpor. Uobičajeno ga se pronalazi s troilitom u meteoritima i u malim količinama nalazi se u CM hondritima.

Troilit	FeS	Sulfid brončane boje pronađen u gotovo svim meteoritima u malim količinama u obliku kuglica, nemagnetičan je. U hondritima je nađen u obliku kuglica i u matriksu i u hondrama, s udjelom od oko 6 %.
<b>FOSFIDI I FOSFATI</b>		
Šrajberzit	(Fe, Ni) <sub>3</sub> P	Želježno – nikalni fosfid pronađen u malim količinama u sideritima i siderolitima. Orijetiran paralelno Neumannovim linijama. Srebrnobijele boje dok je svjež, a nakon što potamni brončane. Uobičajeno pronađen oko troilitnih granula. Nije pronađen nigdje na Zemlji, već samo u meteoritima.
Vitloktit	Ca <sub>9</sub> MgH(PO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub>	Važan fosfatni mineral u običnim hondritima, R i CV hondritima poznat prema nazivu merilit.
<b>KARBIDI</b>		
Kohenit	(Fe, Ni) <sub>3</sub> C	Želježno – nikalni karbid pronađen u malim količinama u hrapavim oktaedritima (sideriti).
Silicijev karbid	SiC	Pojavljuje se u obliku zrnaca međuzvezdane prašine u Murchinson CM ugljičnim hondritima.
<b>SAMORODNI ELEMENTI I METALI</b>		
Avaruit	Ni <sub>3</sub> Fe	Nikalna legura bogata željezom, slična taenitu, nađena je u vrlo malim količinama u CV, CK i R hondritima.
Bakar	Cu	Pronađen u tragovima u običnim hondritima i sideritima, te nekim CV hondritima. Uobičajeno ga se pronalazi u malenim inkluzijama u leguri željeza i nikla te u troilitu.
Dijamant	C	Polimorf grafita nastao udarnim tlakovima. Pronađen u nekim meteoritima u ugljičnom matriksu te u CM hondritima u obliku međuzvezdanih dijamanta.
Grafit	C	Uobičajen mineral u sideritima, običnim hondritima i ureilitima. Pojavljuje se u obliku nakupina s troilitom, a zastupljen je i u CI, CM i E hondritima.

Kamacit	$\alpha$ - (Fe, Ni)	Alfa faza željezno – nikalne metalne legure nastala pri niskim temperaturama koja sadrži između 4 i 7,5 % nikla. Kamacit je primarni mineral u sideritima i siderolitima, a malo ga ima i u običnim hondritima, i nekim ahondritima.
Lonsdaleit	C	Heksagonski polimorf dijamanta. Pojavljuje se u ureilitima i u skupini IAB siderita. Nastao metamorfičkim šokom grafita na izvorišnom tijelu.
Plesit	(Fe, Ni)	Finozrnati mineral nastao srastanjem kamacita i taenita najčešće zastupljen u oktaeditima i nekim hondritima.
Taenit	$\gamma$ - (Fe, Ni)	Gama faza željezno – nikalne legure nastala pri visokim temperaturama s udjelom nikla od 27 do 65 %, prisutna u sideritima. Pojavljuje se u obliku tankih lamela koje okružuju kamacitne plohe ili u obliku sraslaca s kamacitom formira plesit.

## 2.6.2. Hondriti

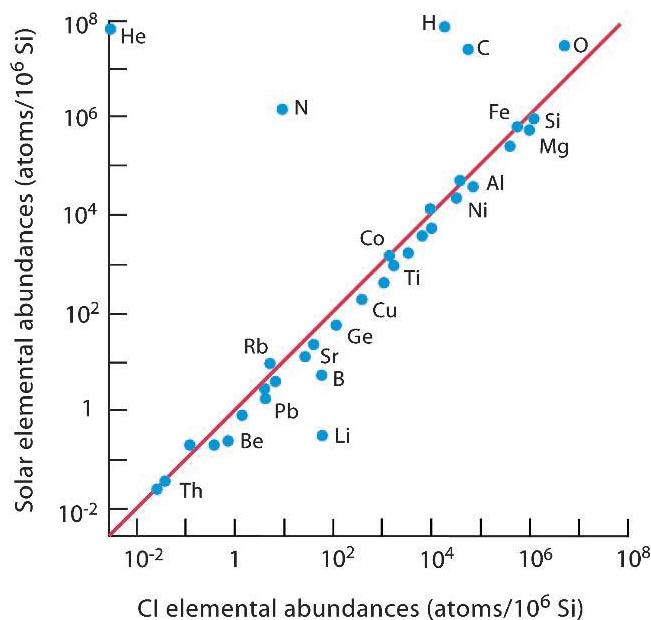
U Zemljinoj kori zastupljeni su alumosilikati, odnosno spojevi koji sadrže tetraedre sa silicijem u središtu i četiri atoma kisika na svakom od vrhova tetraedra. Budući je tetraedar sam po sebi ion naboja 4-, ioni aluminijska igraju ulogu neutralizirajućih čestica. U hondritima ulogu aluminijska preuzimaju ioni željeza, natrija, kalcija ili magnezija, dakle hondriti su bogati silikatima. Tri najzastupljenija minerala u hondritima su različiti olivini, pirokseni i željezno – nikalne legure. Olivini su silikati maslinasto zelene do žute boje koji su vrlo zastupljeni u Zemljinim bazaltima. Sastoje se od tetraedra sa silicijem u središtu i četiri atoma kisika na svakom od vrhova tetraedra, te iona željeza i magnezija, stoga se njihova formula zapisuje kao  $(\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4$ . Olivini su zapravo grupa minerala slične strukture i sastava. Relativne količine magnezija i željeza određuju koji će tip olivina iskristalizirati iz magme, budući da su ioni  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{2+}$  slične veličine, omogućena im je izmjena u kristalnom sustavu. Takav oblik ionske izmjene naziva se čvrsta otopina. Stoga, ovisno o sadržaju pojedinoga iona, čvrste otopine mogu biti kemijskoga sastava od forsterita bogatog magnezijem (Fs), kemijske formule  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , do željezom bogatog fjalita (Fa), kemijske formule  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ . Druga grupa minerala prema zastupljenosti u

hondritima jesu pirokseni, silikatni minerali slični olivinima. Razlikuju se od olivina po kalciju kojega sadrže uz magnezij i željezo. Obični hondriti primarno sadrže ortopiroksen s niskim udjelom kalcija, enstatit  $MgSiO_3$ . Najveća razlika između olivina i piroksena, uz sadržaj kalcija, jest da pirokseni uvijek imaju manji udio metala u svom sastavu od olivina. Treći mineral u hondritima jest željezno – nikalna legura, koja se nalazi u obliku sivih granula u matriksu te pokazuje magnetičnost budući da je oko 23 % ukupnoga željeza u meteoritu u svom elementarnom stanju. Željezo se u meteoritima uvijek pronalazi zajedno s niklom, čiji sastav u hondritima varira od 5 do 25 %.

Osim triju najzastupljenijih minerala u hondritima postoje tri takoreći sporedna, odnosno ona koja se uvijek pojavljuju, ali u mnogo manjim količinama; to su troilit, željezovi oksidi i plagioklasni feldspat. Troilit je zapravo željezov (II) sulfid,  $FeS$ , prepoznat prema brončanoj boji granula koje su okružene uglavnom grafitom. Prema izgledu ga se može zamijeniti s pirhotitom, ali kada se upotrijebi kompas, nedoumice su riješene; troilit je nemagnetičan, dok je pirhotit vrlo magnetičan. Drugi mineral koji se javlja jest magnetit,  $Fe_3O_4$ , koji je glavni mineral korice taljenja, a može ga se naći i u matriksu ugljičnih hondrita. Plagioklasni feldspat može se naći u manjim količinama u većini aerolita i siderolita, dok se u većim količinama nalazi u bazaltnim ahondritima.

Hondriti se smatraju najprimitivnijim meteoritima zbog svoga sastava koji je jako sličan Sunčevom. Sunce se sastoji od 73,5 % vodika i 25 % helija. Uklone li se navedene isparljive komponente, uz kisik, dušik, ugljik i neon, preostaje 1,5 % neisparljivih. Elementarni sastav najprimitivnijih meteorita, CI ugljičnih hondrita, odgovara sastavu solarne fotosfere, što se može vidjeti na sljedećoj slici. Iz *slike 12.* se može vidjeti da elementarni sastav neisparljivih komponenata CI ugljičnih hondrita, prikazan kružićima, odgovara sastavu neisparljivih komponenata na Suncu, prikazanih pravcem.





Slika 12. Graf koji prikazuje podudarnost zastupljenosti nehlapljivih komponenata na Suncu i u CI ugljičnim hondritima.

Od svih kamenih meteorita, čiji je pad uočen, 85 % njih čine obični hondriti. Kao što je već rečeno, hondriti su primitivni kameni meteoriti koji sadrže sferične inkluzije magmatskog podrijetla promjera od 0,1 do 4 mm uobičajene žućkaste boje koje se nazivaju hondre. Hondriti se dijele u razrede, grupe i porodice, i to prema petrografskim karakteristikama prikazanih u prilogu 8.1. Razredi hondrita uključuju obične hondrite (OC), ugljične hondrite (C), i enstatske hondrite (E). Do sada najveći razred kamenih meteorita čine obični hondriti, čiji je sastav već opisan; olivini, pirokseni i željezo – nikalna legura (metal). Ukupna količina metala, oksidiranog i elementarnog, koristi se kao kriterij za klasifikaciju običnih hondrita u tri različite kemijske grupe: H, L i LL hondrite. Slovo „H“ znači *high iron*, odnosno za hondrite bogate željezom, čiji je maseni udio od 25 do 30 %, od čega je od 15 do 19 % elementarnog željeza, vezanoga za silikatne teraedre. Osim većeg masenog udjela metala, od ostalih dviju grupa razlikuju se prema sastavu olivina. Za H hondrite raspon sastava fajalita  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  je od 15 do 19 %, dok ostatak čini forsterit  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , što se zapisuje kao  $\text{Fa}_{15-19}\text{Fo}_{81-85}$ . Stoga se može zaključiti da su H hondriti bogati magnezijem. Druga grupa običnih hondrita su L hondriti, gdje „L“ znači *low iron*, odnosno malen udio željeza. Imaju isti maseni udio željeza, ali sadrže samo od 1 do 10 % željezo – nikalne legure, stoga su i manje magnetični. Sastav olivina je  $\text{Fa}_{21-25}\text{Fo}_{79-75}$ , što ukazuje na veći udio oksidiranog željeza u odnosu na H hondrite. Od triju

grupa običnih hondrita L hondriti čine najveći udio u nalazima, oko 46 %. Posljednja grupa, LL hondriti, gdje „LL“ znači *low total iron, low metal*, sadrže od 1 do samo 3 % elementarnog željeza, dok je ukupni maseni udio željeza od 19 do 22 %. Sadržaj fajalita je najveći, od 26 do 32 %.

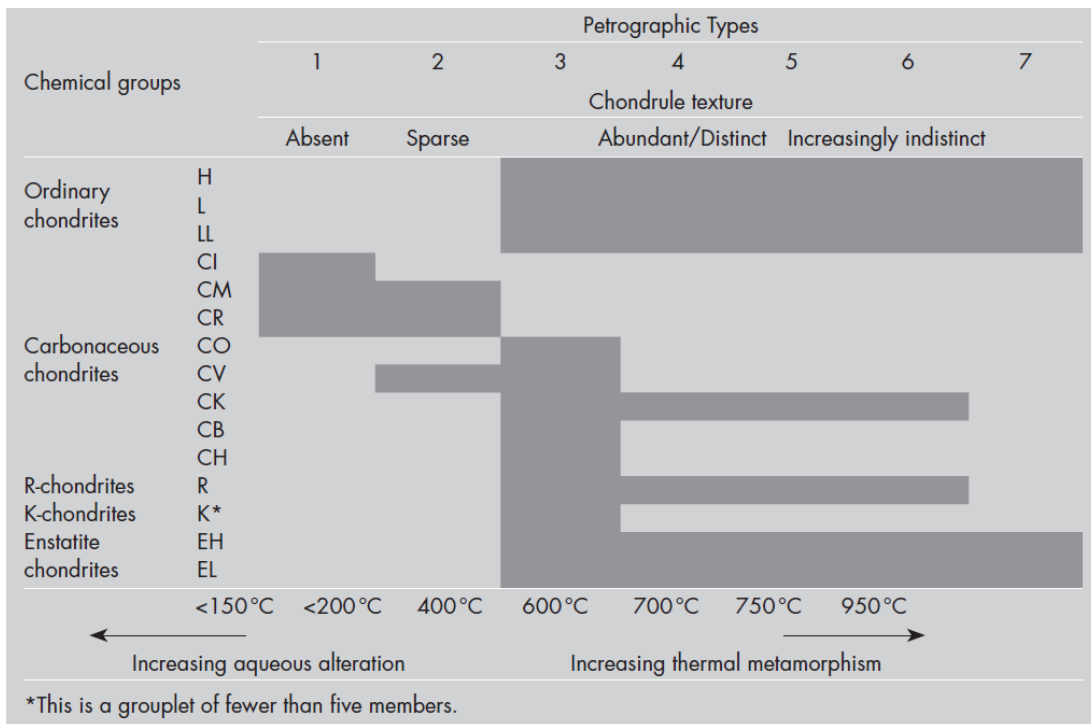
Enstatski hondriti su relativno rijetki, te njihovi pronalasci čine samo 2 % svih pronađenih aerolita. Nastali su u okolišu s manjkom kisika, pa se željezo u njima pronalazi ili u obliku metala, s niklom, ili u obliku troilita, odnosno željezovog (II) sulfida. Njihov piroksen gotovo uopće ne sadrži željezo, već čisti magnezijev silikat, enstatit, pa su prema tome i dobili naziv. U grupe su podijeljeni slično kao i obični hondriti, prema ukupnom masenom udjelu željeza. Tako postoje dvije grupe enstatskih hondrita, EL i EH, pri čemu EL grupa ima od 25 % pa naniže željeza, a EH grupa od 30 % pa naviše.

Ugljični hondriti ili C hondriti, kemijski su najkompleksiji i najheterogeniji razred meteorita, stoga niti ne čudi što ima 8 grupa ugljičnih meteorita. Meteoriti ovoga razreda izvana su slični briketima ugljena. Njihova korica taljenja je tamnosive do crne boje, a iznutra su jednako tamni. Neki od njih imaju vrlo dobro definirane hondre, dok drugi imaju bezobličnu unutrašnjost. Za razliku od običnih hondrita ne pokazuju, ili pokazuju vrlo male znakove termalnog metamorfizma. Sadrže vrlo malo metala, a željezo se nalazi najčešće u obliku oksida magnetita. Vrlo važno razlikovno svojstvo ugljičnih hondrita jest da sadrže hidratirane silikatne minerale, što ukazuje na utjecaj vode na njihova kemijska i fizikalna svojstva. Iako se nazivaju ugljičnim hondritima, maseni udio ugljika nije glavna karakteristika ovih meteorita. Njihova je glavna karakteristika veći sadržaj magnezija, kalcija i aluminijska u odnosu na sadržaj silikata određenoga u običnim hondritima. Neki od najprimitivnijih ugljičnih hondrita, kao što su C11<sup>12</sup>, sadrže ugljikohidrate i kompleksne organske spojeve, kao što su aminokiseline, a koji mogu uključeni u istragu o podrijetlu života na Zemlji. Osim triju glavnih razreda pojavljuju se i R hondriti, odnosno Rumuruti hondriti te takozvani gruplet: K hondriti, a koji nisu toliko bitni. *Tablica 5.* sažeto prikazuje već opisanu klasifikaciju hondrita, ali prema petrografskim tipovima.

---

<sup>12</sup>U oznaci C11 C označava razred meteorita, a to su ugljični hondriti, I označava grupu ugljičnih hondrita, Ivuna, koje su dobile naziv prema uzorku koji je prvi svrstan u tu grupu, a 1 označava petrografski tip.

Tablica 5. Klasifikacija hondrita prema petrografskim tipovima.<sup>13</sup>



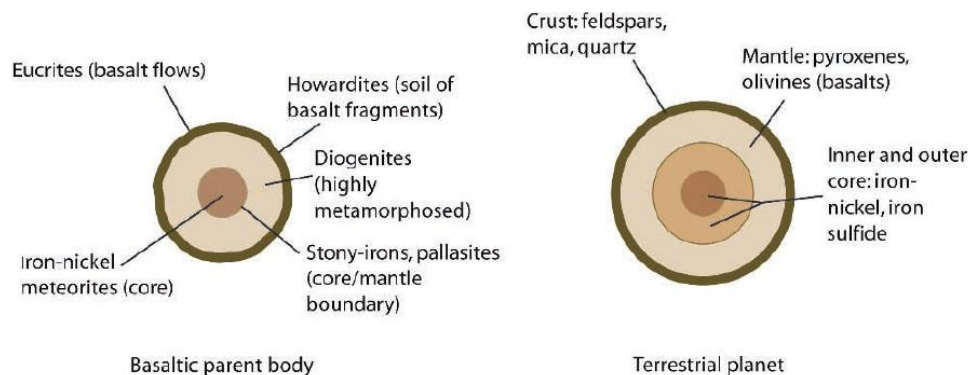
### 2.6.3. Ahondriti

Baš kao što se iz naziva može zaključiti, ahondriti su meteoriti bez hondri i ne treba ih pomiješati s primitivnim CI hondritima jer imaju potpuno drugačije karakteristike. Ahondriti, sideriti i sideroliti čine tek 15 % pronađenih meteorita, ali to ih ne čini manje bitnima. Nisu slični hondritima, ali su međusobno jako slični. Za razliku od hondrita, koji su pretrpili u većoj ili manjoj mjeri termalni metamorfizam, ahondriti su nastali taljenjem gotovo cijelog izvorišnog tijela, pa tako nastala planetarna struktura nije sadržavala hondre.

U ranoj povijesti Sunčevog sustava Zemlja i ostali unutrašnji planeti imali su više ili manje jednoličan sastav kao i njihovo hondritsko izvorišno tijelo. Masa im se postepeno povećavala kako su akumulirali kameni materijal raspršen u unutrašnjem dijelu Sunčevog sustava. Planeti u nastanku postepeno su se zagrijavali neprestanim sudarima s kamenim materijalom te se površina polako počela taliti. Kako se kameni materijal gomilao na planetima u nastanku, njihova je masa komprimirala planete uzrokujući pretvorbu

<sup>13</sup>Van Schumus i Wood prepoznali su 6 petrografskih tipova, koji se mogu naći u prilogu 9.1., dok današnji znanstvenici prepoznaju 7 petrografskih tipova.

gravitacijske u toplinsku energiju u dubljim dijelovima planeta. Uz navedeno, toplina je nastajala radioaktivnim raspadima radioizotopa zarobljenim u najdubljem kamenom materijalu. Svi ovi izvori topline proizvodili su dovoljno toplinske energije da se mladi planeti rastale cijeli. Tada, u polutekućem i tekućem stanju, planeti su počeli s diferencijacijom. U takovim uvjetima s rastaljenim materijalom, minerali veće gustoće razdvajaju se od onih manje gustoće. Teški metali, kao što su željezo i nikal, te neki plemeniti metali, kao što su zlato, platina i iridij, razdvojili su se od nastajuće viskozne tekućine, postepeno tonući u centar tijela, čineći tešku jezgru. Lakši elementi i minerali nakupljali su se oko kore čineći gustu bazaltnu stijenu i tanki plašt naposljetku. Diferencijacija je završila kada su najlakši minerali, kao što su feldspati i kvarc, isplivali na površinu plašta čineći relativno tanku vanjsku koru planeta. Ahondritski meteoriti vjerojatno su fragmenti vanjske kore tih diferenciranih izvorišnih tijela.



*Slika 13.* Prikaz produkata diferencijacije. Bazaltni ahondriti fragmenti su izvorišnih tijela koja su bila dovoljna vruća da se potpuno rastale. Kada su se rastalili, započeo je proces diferencijacije koji je rezultirao u razdvajanju tekućina od kristala u razdvojena koncentrična područja. Mnogo veći planeti potpuno su se rastalili ne ostavljajući tragove svojih početnih građevnih jedinica.

Ahondriti su najveći razred diferenciranih meteorita i uključuju meteorite iz asteroidnog pojasa, s Marsa i Mjeseca. Uz navedene, postoji malena skupina rijetkih, ali ne i manje bitnih, primitivnih ahondrita čiji članovi pokazuju znakove djelomičnoga taljenja i djelomične diferencijacije, a koji su svrstani u tri skupine: akapulkoiti (eng. *acapulcoites*), lodraniti (eng. *lodranites*) i vinonaiti (eng. *winonaites*). Zašto su oni tako bitni?

Akapulkoiti i lodraniti imaju vrlo slična kemijska i mineraloška svojstva, a jedina bitna razlika između dviju grupa jest veličina zrna minerala. Akapulkoiti sadrže finoizrnat

ortopiroksen kao primarni mineral, a uz njega i određene količine olivina, željezo – nikalne legure, troilita i kromita s veličinom zrna od 0,2 do 0,4 mm. Što se lodranita pak tiče, kod njih dominiraju silikati olivini s veličinom zrna od 0,5 do 1,0 mm. Gledajući kemijski sastav, nalaze se između enstatita ili E hondrita i H hondrita. Obje grupe imaju značajke opsežne rekristalizacije koja se događala tijekom termalnog metamorfizma. Smatra se da potječu od dubljih dijelova istog izvorišnog tijela, asteroida S tipa, gdje su temperature bile visoke, ali opet nedovoljne za potpuno taljenje minerala, stoga su oni prijelazni oblici između ahondrita i hondrita. Vinonaiti su posebna skupina primitivnih ahondrita. Mineraloški gledano, baš kao i ostale dvije skupine primitivnih ahondrita, slične E i H hondritima. Zašto ih se onda izdvaja? Vinonaiti sadrže elementarno željezo, niklov i željezov (III) sulfid u pukotinama te su prema kemijskom sastavu vrlo slični silikatnim inkluzijama nađenim u sideritima IAB i IIICD.

Dok su primitivni ahondriti bili samo djelomično taljeni, bazaltni ili magmatski ahondriti prošli su kroz proces potpune diferencijacije pa slične Zemaljskim bazaltima. Bazaltni ahondriti dijele se u 3 skupine: havarditi (eng. *howardites*), eukriti i diogeniti, skraćenice HED. Smatra se da HED meteoriti imaju isto izvorišno tijelo i da je to *4 Vesta*. HED meteoriti najveća su skupina asteroidnih ahondrita s preko 751 meteoritom, dok se uz njih u asteroidne ahondrite ubrajaju četiri rijetke skupine: angriti, aubriti, ureiliti i brahniti.

Havarditi su konglomerati slomljenog materijala, odnosno polimiktne breče<sup>14</sup>, koji često sadrže crne fragmente materijala ugljičnih hondrita i ksenolitske<sup>15</sup> inkluzije. Oni su najvjerojatnije fragmenti izbačeni pri sudaru asteroida s *4 Vestom*, sudeći prema krateru na njenom južnom polu. Puni su regolita, baš kao i površina Mjeseca i ostalih asteroida, što ukazuje na brojne pretrpljene sudare u prošlosti. Kao i eukriti, havarditi imaju sjajno crnu koricu taljenja te su rijetki baš kao i diogeniti.

Od triju skupina bazaltnih ahondrita, eukriti čine više od polovice uzoraka. Kao i havarditi, eukrite se može razlikovati od aerolita prema sjajno crnoj korici taljenja. Sačinjeni su od fino zrnatog materijala magmatskih stijena pa su prema načinu nastanka slični Zemaljskim bazaltima, iako se iz pregleda i usporedbe unutrašnjosti eukrita i Zemaljskih bazalta to ne bi reklo. Unutrašnjost eukrita puno je svjetlija od one u Zemaljskih bazalta. Zbog čega je to tako? Eukriti sadrže puno svijetlosivog klinopiroksena

---

<sup>14</sup>Slobodan prijevod engleske fraze *polymict breccia*. Fraza označava stijenu sačinjenu od oblikih fragmenata drugih stijena različitoga sastava.

<sup>15</sup>Ksenoliti su dijelovi strane stijene zarobljeni unutar magmatske stijene.

bogatog kalcijem, pigeonita, dok Zemaljski bazalti sadrže tamni klinopiroksen bogat željezom, feroaugit. Uz pigeonit, sadrže plagioklas bogat natrijem dok uopće ne sadrže hidratne minerale, i to ih razlikuje od Zemaljskih bazalta.

Diogeniti se nazivaju plutonskim<sup>16</sup> meteoritima jer se smatra da im je podrijetlo u plutonskim stijenama, duboko ispod kore asteroida *4 Veste*. Mineraloški gledano, diogeniti su monomineralne tvari, sačinjene od gotovo čistog grubozrnatog ortopiroksena (hipersten bogatog željezom i bronzita) s vrlo malim količinama olivina bogatog magnezijem i plagioklasnog feldspata anortita. Za razliku od havardita, koji su konglomerati breče, većina diogenita izgrađena je od jednog tipa stijena, što se može vidjeti usporedivši njihovu unutrašnjost.

Osim primitivnih i asteroidnih ahondrita, bitno je reći da postoje vrlo zanimljivi meteoriti podrijetlom s Marsa i s Mjeseca. Marsovski meteoriti vrijedni su spomena jer je u jednome tipu pronađen dokaz mogućeg postojanja života, no krenimo od početka. Marsovski meteoriti dijele se u 4 tipa, od kojih prva tri tipa imaju kraticu SNC. Što ta tri slova predstavljaju? Svako od njih predstavlja grupu meteorita nazvanu prema prvom pronađenom meteoritu, tako slovo S označava *shergottite*, nazvane prema meteoritu koji je pao nedaleko grada Shergottyja u Indiji, slovo N označava *nakhilite*, nazvane prema meteoritu koji je pao u Egiptu blizu grada Nakhla, i posljednje slovo C označava *chassignite*, nazvane prema meteoritu koji je pao nedaleko od grada Chassignyja u Francuskoj. Četvrti tip, predstavljen samo jednim meteoritom pronađenim u Allan Hillsu na Antarktici, ali svakako ne manje važan, zove se upravo prema njemu: ALH 84001.

Većina *shergottita* su bazaltnoga sastava s pigeonitom, maskelinitom i augitom kao primarnim mineralima. Maskelinit, tip stakla koje ima kemijski sastav plagioklasnog feldspata, formiran je pri vitrifikaciji<sup>17</sup> plagioklasa, stoga *shergottiti* pokazuju znakove metamorfičkog šoka. Jesu li oni stvarno s Marsa? Nekoliko indikatora dovelo je znanstvenike do tog odgovora. Prvo što su otkrili je bilo da je sastav izotopa plinova bio identičan onima u Marsovoj atmosferi, a zatim su otkrili da je omjer vodika i deuterija bio vrlo visok. Budući da Mars ima masu kao 11 % Zemlje, on svojom gravitacijom ne može zadržati lagani vodik koji odleti u svemir, ostavljajući deuterij iza sebe. Određivanje

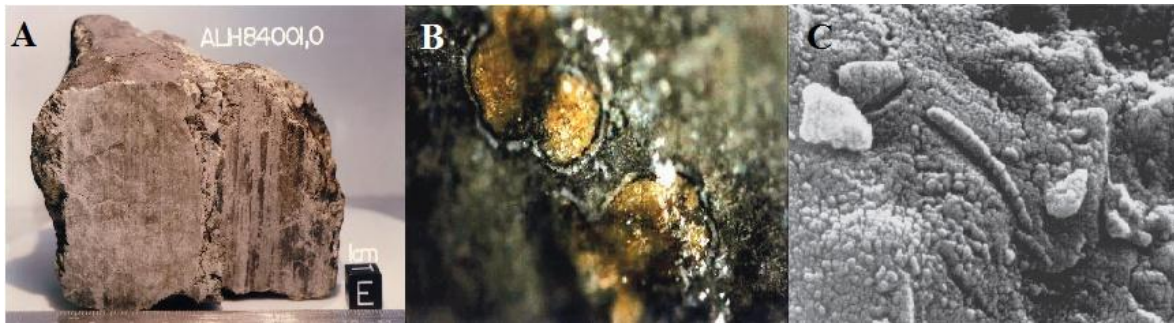
---

<sup>16</sup>Plutonska stijena je bilo koje masivno tijelo nastalo duboko u unutrašnjosti nekog izvorišnog tijela pod utjecajem magme.

<sup>17</sup>Vitrifikacija je pretvorba stakla u čvrstom stanju u kristaliničnu strukturu što se događa pri udarima asteroida i planeta.

njihove starosti dovelo je do konačne potvrde, ustanovilo se da su stari oko 1,3 milijardi godine, što je premlado da bi bilo asteroidalnog podrijetla. Što se tiče *nakhilita*, bitno ih je spomenuti jer imaju sličnosti s ALH 84001 meteoritom. Primarni piroksenski mineral u *nakhilitima* je augit, koji čini gotovo 80 %, te on njihovoj unutrašnjosti daje zelenkastu nijansu. Svi *nakhiliti* sadrže idingzit, produkt utjecaja različitih agensa na meteorit, vidljiv u obliku žila u olivinu ukazujući na prisutnost vode. *Chassigniti* pak sadrže 90 % olivina bogatog željezom, oko 5 % klinopiroksena i oko 1,7 % plagioklasa te prema starosti odgovaraju ostalim Marsovskim meteoritima. Meteoriti ovog tipa pretrpjeli su veliki šok nastao udarima što je vidljivo prema nevjerojatnoj plavocрноj boji olivina, koji je inače žutozelene boje.

Nekoliko je znanstvenika na Antarktici otkrilo meteorit žutozelene boje koji ih je izuzetno podsjećao na ortopiroksenski mineral, hipersten, te su smatrali da su našli diogenit, no daljnjim istraživanjima uočili su prisutnost minerala koji se inače ne nalazi u diogenitima te utvrdili starost koja odgovara Marsovskim meteoritima. U AHL 84001 su pronađeni ugljični ostatci zajedno s magnetitom i željezovim (II) sulfidom, što je vrlo neuobičajena kombinacija. Ugljični ostatci bili su puni organskih tvari tipičnih za raspad organskoga materijala na Zemlji i čudnih fosilnih struktura koje su sličile fosilnim bakterijama nađenim u Zemaljskim stijenama starim 3 milijarde godina, stoga je ovaj meteorit pobudio velik interes. Ugljični su ostatci bili vidljivi u obliku žutonarančastih globula promjera oko 50  $\mu\text{m}$  ispresijecanih s bijelim i crnim slojevima bogatim magnezijem i željezom. Između slojeva su našli zrnca magnetita i željezovog (II) sulfida u gotovo istom omjeru. Osim toga, ugljični su ostatci sadržavali policikličke aromatske ugljikovodike (PAH) koji su povezani s procesima života na Zemlji, a koji su produkti raspada organske materije. No najveći interes, kako znanosti, tako i javnosti, pobudio je nalaz da su u ugljičnim globulama pronađene strukture nalik bakterijama, a koje su izgledale identično Zemljanim bakterijama, osim što su one bile velike tek desetinu vrijednosti veličine najmanjih bakterija poznatih na Zemlji. Nije li to vrijedno spomenuti?



Slika 14. A) Slika ALH 84001 meteorita, B) prikaz ugljičnih globula nađenih u meteoritu ALH 84001 i C) sitne strukture koje slične nanobakterijama koje bi mogle biti dokaz ranijeg života na Marsu, dugačke su od 20 do 100 nm.

#### 2.6.4. Kameno – željezni meteoriti: sideroliti

Sideroliti su kameno – željezni meteoriti izgrađeni od željeza i silikata u približno istim omjerima, a dijele se u dvije glavne skupine: palasite i mezosiderite. [2] Palasiti su diferencirani meteoriti magmatskoga podrijetla izgrađeni od dva nemješiva minerala: gotovo čistog olivina i matriksa željezno – nikalne legure. Iako se željezo i olivin nalaze u omjeru 1:1, to ne mora uvijek biti tako, ovisi od uzorka do uzorka. Generalno, volumni udio željezno – nikalne legure može varirati između 28 i 88 %. Metalni matriks primarno se sastoji od kamacita, s malim udjelom nikla, s tankim lamelama taenita i plesitske smjese obiju legura. Olivini su prozirne žute do žutozelene granule nepravilnog oblika, a mogu biti ili monokristali, varirajući u veličini od nekoliko milimetara do 1 cm, ili do nekoliko centimetara veliki polikristali. Željezno – nikalna legura i olivin čine oko 95 % volumena palasita. Olivin je bogat magnezijem, a željezno – nikalna legura sadrži između 7 i 16 % nikla. Preostalih 5 % volumena palasita čine tri minerala koja se uobičajeno pojavljuju na obrubu olivinskih granula, a to su troilit (oko 2,3 %), šrajberzit (oko 1,2 %) i kromit (oko 0,4 %). Palasiti se dijele u dvije grupe ovisno o omjeru nikla i elemenata u tragovima, te sastavu izotopa kisika. Najveća je glavna grupa palasita MG (eng. *Main Group*), a manja grupa je nazvana *Eagle – Station Trio*. Mineraloški gledano, dvije se grupe razlikuju prema udjelu željeza u olivinu i nikla u željezno – nikalnoj leguri. U većoj grupi palasita olivin je bogatiji magnezijem ( $Fa_{11-19}$ )<sup>18</sup>, dok je u manjoj grupi palasita olivin bogatiji željezom ( $Fa_{20-21}$ ). Što se tiče udjela nikla, veća grupa sadrži između 14 i 16 % nikla u metalu, dok manja grupa sadrži manje nikla, između 7,8 i 11,7 %. Nažalost, nijedna od

<sup>18</sup> Vidi poglavlje 2.6.2. Hondriti.



dviju navedenih karakteristika ne može poslužiti za njihovo vizualno razlikovanje. Najbolje se razlikuju prema sastavu izotopa kisika u olivinu. U novije je vrijeme ustanovljen i novi gruplet palasita, naročito zbog volumnoga udjela piroksena, od oko 5 %, koji se u ostale dvije skupine palasita pronalazi samo u tragovima, pa su stoga i nazvani piroksenski palasiti. Piroksen se uobičajeno nalazi u obliku milimetarskih inkluzija u velikim granulama olivina. A kako nastaju palasiti?

Palasite se može smatrati nemješivom emulzijom, kao što su ulje i voda. Tijekom diferencijacije, frakcijska bi kristalizacija trebala odvojiti dva glavna minerala metal i olivin, tako da mogu odvojeno kristalizirati u drukčijim dijelovima asteroidnog izvorišnog tijela, međutim to se nije dogodilo. Olivin je ultrabazični mineral koji nastaje samo u dubljim dijelovima asteroidnog izvorišnog tijela. Možemo zamisliti kako se giba do granice jezgre i plašta te nastavlja prožimati jezgru. No, da bi se pomiješao čisti olivin s materijalom željezne jezgre, potreban je jedan od dvaju navedenih procesa: ili se čvrsti kristalinični olivin mora uklopiti u rastaljenu željezno – nikalnu jezgru, ili tekuća jezgra metala mora biti prisilno injektirana u olivinski sloj. U oba slučaja i olivin i metal imaju jaku tendenciju brzoga razdvajanja. Koja su moguća objašnjenja njihovog miješanja? Ne izgleda vjerojatno da sama gravitacijska kompresija može biti dovoljna za miješanje olivina i metalne jezgre, a ono što bi još pospješilo taj proces, iako samo nakratko, mogu biti udarni valovi generirani na površini tijela pri impaktima. Drugo je moguće objašnjenje da je postojala konvekcijska nestabilnost u djelomično rastaljenoj jezgri koja je mogla prouzročiti ulazak metala u olivinski sloj. Oba bi procesa u objašnjenjima bila trenutačna i vrlo kratka budući da bi separacija olivina i željeza počela iznova, što znači da bi jezgra metala morala brzo kristalizirati, zarobljujući olivin prije no što separacija počne. Stoga su palasiti morali nastati u vremenskom ograničenju kada je metalna kora bila gotovo cijela u čvrstom stanju, nakon diferencijacije, ali prije potpune kristalizacije. [6]

Mezosideriti su tipični sideroliti, iako ih prema nekim izvorima [6] smatraju sideritima. Oni su konglomerati breče sastavljeni od oblih i uglatih fragmenata različitog mineralnog sastava, i to od uglavnom ortopiroksena, plagioklasa i eukritskog materijala, dok u žilicama i inkluzijama sadrže željezno – nikalnu leguru. Željezna legura, karakteristična za željezne meteorite IIIAB, može pokazivati Widmanstättenove linije. Ključni problem u razumijevanju ove skupine meteorita jest taj da njegove komponente nemaju vezu jedna s drugom tijekom nastanka, one su samo nasumična smjesa. Frakcija silikata ima sastav blizak HED meteoritima; magmatskim stijenama iz kore ahondritskog

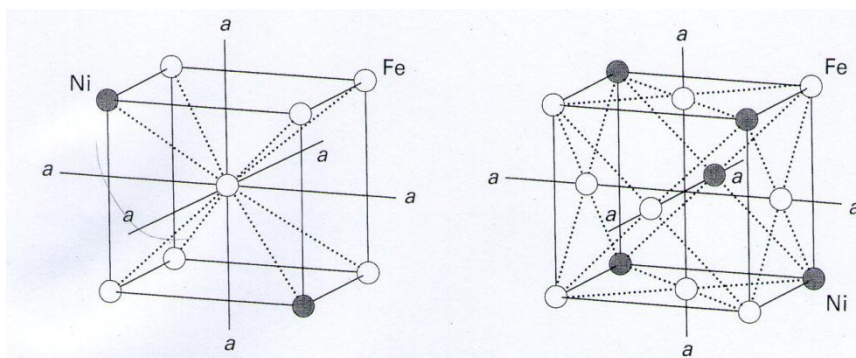
asteroida, i može biti da svi silikati potječu od istog izvorišnog tijela, ali iz različitih nivoa kore i plašta. Stoga, iz nerazumijevanja sastava mezosiderita proizlaze problemi svrstavanja ovih meteorita. [2]

### **2.6.5. Željezni meteoriti: sideriti**

Od svih meteorita čiji je pad uočen, sideriti čine oko 4 %, dok u pronalascima čine gotovo 40 %. Generalno su masivniji od kamenih meteorita, stoga lakše prolaze kroz Zemljinu atmosferu, s manje fragmentiranja. Budući da su izgrađeni većim dijelom od željezne – niklane legure, u Zemljinom su okolišu vrlo podložni djelovanju atmosferskih čimbenika, ali su ipak otporniji od svojih kamenih rođaka jer hrđa koja nastaje na površini siderita štiti unutrašnjost tih meteorita. Sideriti također pripadaju skupini diferenciranih meteorita i predstavljaju jezgre asteroidnih izvorišnih tijela. Imaju duplo veću gustoću od hondrita, oko  $8 \text{ g/cm}^3$ , što je njihovo karakteristično fizikalno svojstvo koje se gotovo prvo uočava uzimanjem takovih meteorita u ruke. Kao što je rečeno, makroelementi siderita su željezo i nikal, stoga ćemo proučiti mineralogiju siderita kako bismo mogli razumjeti njihovu podjelu. Ono što je zanimljivo jest kako je počela priča o sideritima, te zašto su oni tako zanimljivi i izuzetni.

Sideriti naizgled nemaju strukturu kada se napravi njihov presjek, ali samo naizgled. William Thompson, poznatiji kao lord Kelvin, tretirao je komad palasita, nađenoga u Krasnojarsku u Rusiji, s razrijeđenom dušičnom kiselinom kako bi spriječio hrđanje. Dušična je kiselina nagrizala tu metalnu površinu te se pojavio zanimljiv uzorak triju različitih vrsta legura željezo – nikal, a svaka od njih je reagirala s dušičnom kiselinom različitim brzinama. Uzorak se sastojao od širokih tamnih lamela (kamacita) koje su bile okružene svjetlijim tanjim lamelama (taenit) i njihove smjese u trokutastim područjima (plesit). On je to objavio, iako za to nikada nije dobio priznanje. Gotovo istovremeno Count Alois von Widmstätten otkrio je isti uzorak, ali na drugačiji način. On je komad meteorita lagano zagrijavao pri čemu su se tri različite faze različitim brzinama oksidirale uzrokujući naoko vidljivu razliku u sjajnosti. On to nije objavio, ali je svima pričao o tome. Pa iako je lord Kelvin zaslužio da se takova struktura naziva prema njemu, ona se danas naziva Widmanstättenovom.

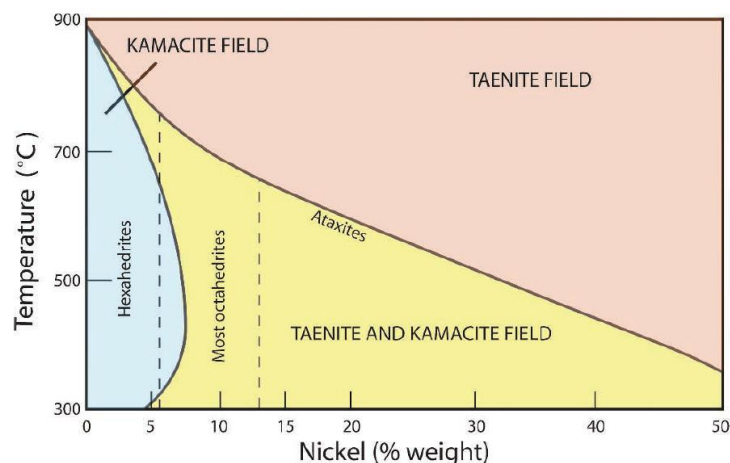
Kao što je rečeno, željezni se meteoriti sastoje uglavnom od triju faza, dvaju minerala i njihove mješavine. Minerali su izometrični, kristaliziraju u kubičnoj rešetki. Kamacit ili ferit, mineral siromašniji niklom, kristalizira u obliku volumno – centrirane kubične rešetke i može sadržavati do 7,5 % nikla, stoga se za njega u metalurgiji koristi naziv  $\alpha$  – željezo. Drugi mineral bogatiji niklom, taenit ili austenit, kristalizira u obliku plošno – centrirane kubične rešetke, i može sadržavati od 20 do 45 % nikla, te se za njega koristi naziv  $\gamma$  – željezo. Plesit, mješavina kamacitne i taenitne faze, nastaje kasnije u difuzijskom procesu pri niskim temperaturama. Na *slici 15.* prikazane jedinične ćelije kamacita i taenita.



*Slika 15.* (Lijevo) Prostorno – centrirana kubična rešetka kamacita (bcc). (Desno) Plošno – centrirana kubična rešetka taenita (fcc).

Ponašanje homogene kristalne mase želježno – nikalne legure objašnjeno je 1979. godine, kada je eksperimentalno dobiven fazni dijagram stabilnosti, prikazan na *slici 16.* Dijagram predviđa stabilnost, odnosno dinamičku ravnotežu taenita i kamacita pri specifičnim temperaturama i određenom udjelu nikla. Kada se metalna masa ohladi ispod 1400°C, kristalizira u plošno – centriranom sustavu taenita. Između 1400 i 900°C samo je taenit stabilan. Kako temperatura opada ispod 900°C, metal koji se hladi može ući u tri polja stabilnosti. U koje će polje ući ovisi o ukupnom udjelu nikla i brzini hlađenja. U velikom polju stabilnosti, prikazano crvenom bojom, stabilan je samo taenit. Mnogo manje polje definirano plavom bojomna dijagramu je polje gdje je samo kamacit stabilan. Između taenitnog i kamacitnog polja stabilnosti nalazi se polje, prikazano žutom bojom, u kojem mogu koegzistirati i taenit i kamacit. U ovom polju, kako temperatura opada, taenit počinje mijenjati kubični sustav iz plošno – centriranog u prostorno – centrirani razdvajajući se u

dvije koegzistirajuće faze, kamacit i taenit. Iz dijagrama stabilnosti može se vidjeti da se taenitna faza smanjuje smanjenjem temperature, a kamacitna faza povećava, odnosno kamacitna se faza povećava na račun smanjenja taenitne faze. Transformacija taenita u kamacit događa se kroz proces difuzije u čvrstom stanju u kojoj nikal i željezo mogu migrirati u kristalne strukture obiju legura. Brzina difuzije jako je ovisna o temperaturi. Difuzija je brza pri visokim temperaturama dok se njena brzina sve više i više smanjuje kako se metal hladi. S druge strane, bitna je činjenica da brzina difuzije nije ista u kamacitu i taenitu. Kamacit može lakše primiti atome u svoju kristalnu strukturu (bcc), stoga razlika u djelotvornosti difuzije postaje veća kako temperatura nastavlja opadati. Kako temperatura opada, opada i brzina difuzije, sve do otprilike 500°C, gdje difuzija iščezava (iako je vrijednost temperature za iščezavanje difuzije u taenitu i kamacitu drugačija, radi pojednostavljenja uzmimo da je za obje legure ista i jednaka 500°C). Zašto je objašnjenje dijagrama bilo nužno? Zato što smo tek sada spremni upotrijebiti taj dijagram za iščitavanje karakteristika triju grupa meteorita: heksaedrita, oktaedrita i ataksita. [6]



*Slika 16.* Fazni dijagram stabilnosti željezo – nikalne legure koji predviđa dinamičku ravnotežu tri polja: kamacitnog, taenitnog i polja gdje obje faze koegzistiraju za različite vrijednosti temperature i udjele nikla. [2]

Počnimo s ukupnim sadržajem nikla od oko 5 % i temperaturom iznad 900°C. Kao što se može vidjeti iz dijagrama, u tom je području stabilan samo taenit. Čisti je taenit stabilan do temperature od oko 750°C, gdje ulazi u polje gdje taenit i kamacit mogu

koegzistirati. U tom polju taenit otpušta nešto nikla i počinje nastajati kamacit. Pri temperaturi od 650°C, metal ulazi u polje kamacita, gdje taenit ne može koegzistirati. Meteoriti s udjelom nikla od 4,5 do 6,5 % sadrže gotovo čisti kamacit, a bez primjesa taenita ne mogu formirati Widmanstättenove lamele. Umjesto Widmanstättenovih lamela na njihovoj su prereznoj površini pod mikroskopom vidljive Neumannove linije, set finih paralelnih linija duljine od 1 do 10  $\mu\text{m}$  koje predstavljaju vrlo tanke srasle lamele na ravninama kamacitne kristalne rešetke. Takvi se sideriti nazivaju heksaedritima. Ako je ukupan udio nikla negdje između 7 i 13 %, taenit koji se hladi otpušta nešto željeza i nikla i ulazi u polje gdje i taenit i kamacit mogu koegzistirati. U ovome polju kristalizira većina siderita za koje je karakteristična pojava Widmanstättenovih lamela, a koji se nazivaju oktaedritima i koji čine 80 % svih pronađenih siderita. Zamijetimo da, kako sadržaj nikla raste, polje taenita bliži se temperaturi 500°C gdje difuzija iščezava. To znači da će moći nastati sve manje kamacita, što je vidljivo kroz mikroskopske Widmanstättenove lamele, odnosno njihovu odsutnost pri udjelima nikla višim od 16 %. Ta posljednja skupina siderita nazivaju se ataksiti, s oznakom D, što potječe od njemačke riječi *dicht eisen*, a znači gusto željezo. Osim navedenih triju skupina, postoji i četvrta, anomalni ili negrupirani sideriti, koja ne pokazuje svojstva, niti ima kemijski sastav unutar granica bilo koje od navedenih skupina.

Iz dijagrama stabilnosti može se vidjeti, dakle, da se sideriti dijele u 3 velike skupine: heksaedrite, oktaedrite i ataksite, s tim da se oktaedriti dijele u 6 podskupina, ovisno o širini kamacitnih lamela i udjelu nikla. Ova se klasifikacija naziva strukturnom. *Tablica 6.* daje skupine i podskupine siderita prema strukturnoj klasifikaciji, bez anomalnih siderita.

Tablica 6. Strukturna klasifikacija siderita.

Grupa	Simbol	Širina kamacitnih lamela (mm)	Udio nikla (%)
Heksaedriti	H	> 50	4,5 – 6,5
Oktaedriti	O		
Grublji	Ogg	3,3 – 50	6,5 – 7,2
Grub	Og	1,3 – 3,3	6,5 – 7,2
Srednji	Om	0,5 – 1,3	7,4 – 10,3
Fin	Of	0,2 – 0,5	7,8 – 12,7
Finiji	Off	< 0,2	7,8 – 12,7
Plesitski	Opl	< 0,2	Vretenasti kamacit
Ataksit	D	Bez strukture	> 16,0

Bitno je naglasiti da i u sideritima postoje inkluzije s različitim mineralima. Od silikata se svojom zastupljenošću ističu piroksen s niskim udjelom željezovog (II) oksida  $Fe_{4-9}$ , olivin  $Fa_{1-4}$  i plagioklas  $An_{9-22}$ , koji nisu jednako i ne moraju biti zastupljeni u svim sideritima. Od metalnih inkluzija ističu se troilit  $FeS$ , šrajberzit  $(Fe, Ni, Co)_3P$ , kohenit  $(Fe, Ni, Co)_3C$  te naposljetku grafit, sa svoja 4 polimorfa. Stoga se mikroelementima siderita smatraju fosfor, sumpor i ugljik, koji igraju važnu ulogu pri stvaranju Widmanstättenovih lamela, dok kao parametri za klasifikaciju nisu toliko značajni. Osim navedene strukturne, postoji i točnija kemijska klasifikacija siderita, temeljena na kvantitativnoj kemijskoj analizi kako makroelemenata, tako elemenata u tragovima pronađenih u sideritima. Prikaz usporedbe strukturne i kemijske klasifikacije siderita nalazi se u *tablici 7*. Problem strukturne klasifikacije jest u tome što se većina grupa i podgrupa međusobno preklapaju u svojstvima, stoga je kemijska klasifikacija napravljena kako bi se izbjegla preklapanja uzimajući u obzir više parametara za svrstavanja pojedinog uzorka siderita. Prednost je kemijske klasifikacije što ona siderite dijeli u različite grupe koje predstavljaju različita izvorišna tijela. [6]

Tablica 7. Poveznica između kemijske i strukturne klasifikacije siderita. [6]

Chemical groups	Frequency (%)	Bandwidth (mm)	Ni (wt%)	Structural groups
IA	17.0	1.0–3	6.4–8.7	Ogg, Og, Om
IB	1.7	0.01–1.0	8.7–25	Om → D
IC	2.1	<3	6.1–6.8	Anom, Og
IIA	8.1	>50	5.3–5.7	H
IIB	2.7	5–15	5.7–6.4	Ogg
IIC	1.4	0.06–0.07	9.3–11.5	Opl
IID	2.7	0.4–0.8	9.6–11.3	Om, Of
IIE	2.5	0.7–2	7.5–9.7	Ogg → Om (Anom)
IIF	1.0	0.05–0.21	8.4–10	Of → D
IIIA	24.8	0.9–1.3	7.1–9.3	Om
IIIB	7.5	0.6–1.3	8.4–10.5	Om
IIIC	1.4	0.2–3	10–13	Ogg → Off
IIID	1.0	0.01–0.05	16–23	Off → D
IIIE	1.7	1.3–1.6	8.2–9.0	Og
IIIF	1.0	0.5–1.5	6.8–7.8	Ogg → Of
IVA	8.3	0.25–0.45	7.4–9.4	Of
IVB	2.3	0.006–0.03	16–26	D

Elementi u tragovima uobičajeno se nalaze u količinama bliskim dijelovima na milijun (ppm) ili dijelovima na milijardu (ppb). Oni su dobar parametar klasifikacije zato što samo određeni elementi imaju afinitet za željezne legure, odnosno svojom veličinom odgovaraju međuprostorima u kristalnoj strukturi tih legura. Takvi elementi nazivaju se siderofilnim, odnosno onima koji vole željezo. Siderofilni elementi koji su prvi korišteni za kemijsku klasifikaciju jesu galij, germanij i iridij, i kemijska se klasifikacija uobičajeno prikazuje dijagramom ovisnosti elementa u tragovima o zastupljenosti makroelementa nikla u postotcima, koji označavaju miligram nikla po gramu metala (wt%). No, zašto elementi u tragovima mogu biti dobar parametar za klasifikaciju?

U željezno – nikalnoj taljevini koja se polagano hladi prvo kristalizira željezo s udjelom nikla manjim nego u istom volumenu taljevine od koje je nastao. To je posljedica niklovog preferiranog akumuliranja i koncentriranja u tekućoj fazi. Kako se proces kristalizacije nastavlja, i taljevina i kristalizirajući metal postepeno se obogaćuju niklom, iako je opet taljevina bogatija. Rezultat te pojave, nazvane frakcijskom kristalizacijom, jest metal s različitim udjelima nikla. Ključ kemijske klasifikacije prema elementima u tragovima jest što siderofilni elementi u tragovima imaju različite afinitete za željezo u

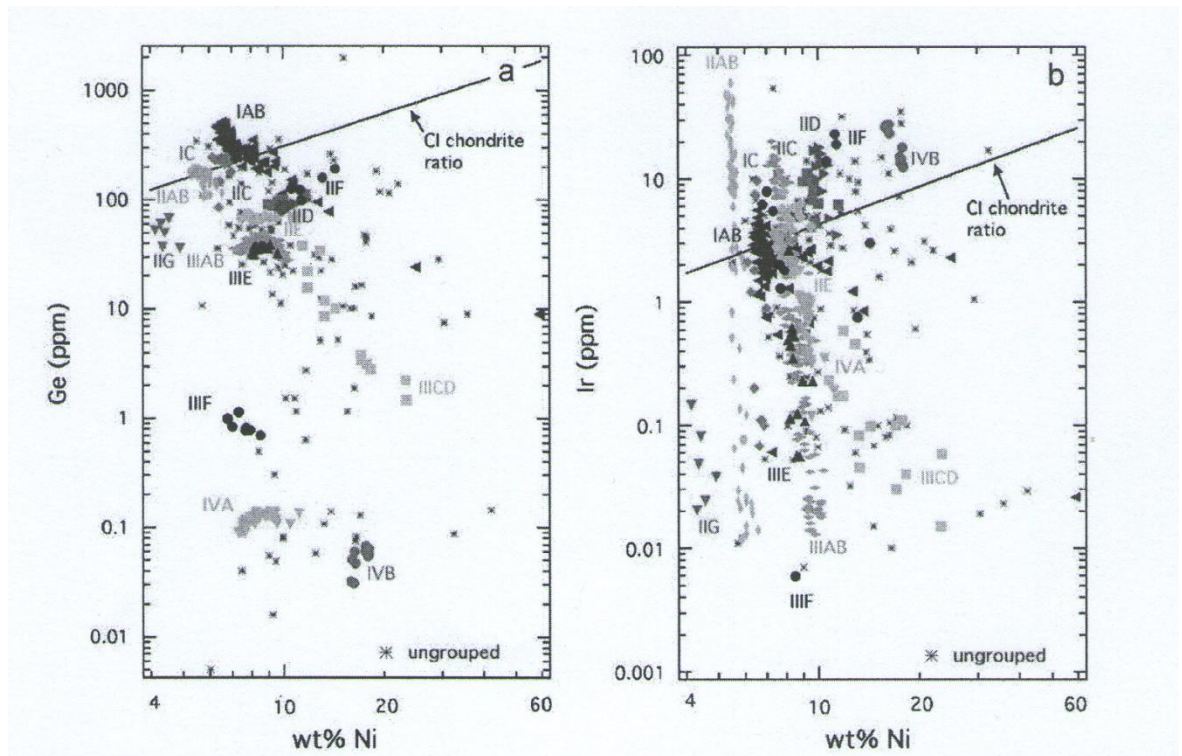
obliku taljevine i u obliku čvrste tvari<sup>19</sup>. Usporedbom makroelemenata i elemenata u tragovima, frakcijska kristalizacija jače utječe na raspodjelu elemenata u tragovima između dviju faza, stoga ih čini poželjnijim parametrima za kemijsku analizu i klasifikaciju. Primjerice, iridij preferirano ulazi u kristalnu strukturu kristalizirajućeg metala s malim udjelom nikla, pa kako se udio nikla povećava u kristalizirajućem metalu, količina iridija u njemu opada, a povećava se u taljevini. Stoga se u kemijskim analizama često koristi parametar koeficijenta raspodjele između tekuće i čvrste faze za pojedini element, D. Na slici 17. nalaze se dijagrami ovisnosti koncentracije germanija, odnosno iridija o masenom udjelu nikla u uzorcima siderita koji pokazuju na koji se način kemijski klasificiraju sideriti.

Prvotna mjerenja galija i germanija u sideritima pokazala su da se sideriti mogu podijeliti u četiri grupe, označene rimskim brojevima od I do IV, prema trendu smanjenja zastupljenosti navedenih elemenata. Kasnije su te četiri grupe podijeljene u 14 grupa kojima je osim rimskoga broja dodano i slovo od A do G, ovisno o zastupljenosti ostalih elemenata u tragovima: iridija, kroma, kobalta, bakra, arsena, antimona, volframa, renija, platine i zlata. Zastupljenost galija i germanija mijenja se u grupama, ali ne značajno jer su to najisparljiviji elementi, a za razliku od navedenoga iridija, njihova zastupljenost ne ovisi značajno o procesu frakcijske kristalizacije. [7], [8], [9]

---

<sup>19</sup>Čvrsta tvar je kristalna tvar, točno određene strukture, dok je kruta tvar ona koja je pri sobnoj temperaturi u obliku krutine, no može i ne mora imati kristalnu građu.





Slika 17. Logaritamski dijagrami (a) Ge u odnosu na Ni i (b) Ir u odnosu na Ni svih (700) siderita. [8]

Usporedbom kemijskih trendova i mineralogije grupa ustanovljeno je da se 14 grupa mogu svrstati u 2 tipa. Prvi tip obuhvaća grupe: IIAB, IID, IIAB, IVA, IVB, i vjerojatno manje grupe kao što su IC i IIIF, koje u svom sastavu gotovo da i nemaju silikata, a čiji se trendovi sastava mogu objasniti kemijskom frakcinacijom tijekom procesa očvršćavanja rastaljenog željeza. Drugi tip obuhvaća grupe: IAB, IIICD i IIIE, koji u svom sastavu imaju značajnu količinu silikata. U prvome se tipu siderita kemijske varijacije uvelike slažu s modelom frakcijske kristalizacije u kojem su korišteni eksperimentalno dobiveni koeficijenti razdjeljenja čvrsti metal/tekući metal, dok se u drugom tipu distribucija elemenata u tragovima ne može modelirati samom frakcijskom kristalizacijom. Štoviše, istraživanjima je pokazano da grupe drugog tipa siderita IAB i IIICD nisu nastale frakcijskom kristalizacijom. Ta dva tipa siderita zvala su se magmatske i nemagmatske grupe, no ipak su preimenovani zbog nedosljednosti naziva tipova i načina nastanka meteorita svrstanih u njih, pa se sada nemagmatske grupe nazivaju grupama koje sadrže silikate, a magmatske grupe frakcijski kristalizirane grupe. [7], [8], [9]

Kemijske analize oko otprilike 700 siderita prikazali su Goldstein i suradnici [8], i one pobijaju tradicionalno mišljenje o njihovom asteroidnom podrijetlu. Smatra se da

većina siderita potječe od pedesetak tijela promjera od oko 1 000 km koja su nastala prije hondrita na udaljenosti od 1 do 2 AU, a ne u asteroidnom pojasu. To je dokazano mjerenjem izotopa kisika, te mjerenjem starosti pojedinog uzorka na temelju frakcinacije metal – silikat vremenom poluraspada hafnija u volfram, solidifikacije metala vremenom poluraspada renij – osmij, hlađenja vremenom poluraspada mangan – krom te hlađenja i ponovnog zagrijavanja pri impaktima vremenom poluraspada kalij – argon. [8] , [9]

### 3. Eksperimentalni dio

Uzorci meteorita prikupljeni na tlu Republike Hrvatske te Bosne i Hercegovine prvi puta su obrađeni i analizirani, i to metodama rentgenske difrakcije na prahu (RXD), induktivno spregnutom plazmom s atomskom emisijskom spektroskopijom (ICP – AES) te nagrivanjem i poliranjem (PN). Budući da su analize ovih uzoraka prvi puta napravljene, nemoguće je rezultate usporediti s onima iz znanstvenih radova. U ovom radu obradila sam 11 uzoraka, i to 10 s područja Hrvatske i 1 s područja Bosne i Hercegovine. Na temelju izgleda i fizikalnih svojstava uzoraka pretpostavljeno je da su svi uzorci sideriti, odnosno da najveći maseni udio u uzorcima čine željezo i nikel. U *tablici 8.* prikazan je popis analiziranih uzoraka i metoda kojima je pojedini uzorak obrađen.

*Tablica 8.* Popis analiziranih uzoraka s njihovom oznakom, mjestom pronalaska i metodama kojima su obrađeni.

Oznaka uzorka	Mjesto pronalaska	Metoda analize
001	Rab – Lopar	PN, ICP – AES
002	Pag – Šimuni	ICP – AES
004	Pula	PN, ICP – AES
010	Brač – Lovrečina	ICP - AES
016	Puljići (BIH)	PN, ICP – AES
018	Pirovac	ICP – AES
021	Rab – zidine	XRD
041	Velika Gorica	PN, XRD
042	Rovanjska	XRD
046	Jastrebarsko – Volavje	XRD
047	Bakarac	PN

Uzorak 001 pronađen je na otoku Rabu, u mjestu Loparu, 1997. godine. Uzorak je crn, njegova površina je oker hrđava, vrlo je slabo magnetičan. Na svježem je lomu crn, kristaliničan, a uočavaju se i rijetki narančasti minerali u njegovoj strukturi.

Uzorak 002 pronađen je na otoku Pagu, na plaži Šimuni, 1977. godine. Pretpostavlja se da bi uzorak mogao biti fragment meteorita vezan za eksploziju bolida koja je viđena s Raba 1970. godine. Uzorak je na svježem lomu crn, jako je magnetičan, kristaliničan je i drobiv. Jedna površina ima rastaljenu koricu (*fusion crust*) debljine oko 1 mm. Nagrižena površina pokazuje zrakaste Neumannove linije koje prolaze kroz cijeli komad uzorka, iz čega se može zaključiti da pripada strukturnom tipu heksaedrita.

Uzorak 004 pronađen je u Puli 2010. godine. Uzorak metala je masno crne boje, glatke površine, nije magnetičan, sadrži male šupljiničice od otopljenih minerala. Na jednom dijelu površine je tirkizna korica (nalik na opal, slično uzorcima s Raba), površina se čini kao rastaljena, mjestimično se u šupljinama vide štapičasti kristali metala. Prilikom nalaza je na površini bila "garež", a nalaznik ga je oprao. Na pojedinim mjestima vide se zeleni minerali. Na presjeku metalničan, šupljikav. Rastaljena površina je crna, amorfna sa sitnim metalnim česticama.

Uzorak 010 pronađen je na Braču, plaži Lovrečina, 1990. godine. Uzorak je fragment većeg tijela jer na jednoj plohi ima izvrsno sačuvanu rastaljenu koricu. Magnetičan je i relativno lagan. Ima lijepo vidljive kristale piroksena koji se uočavaju i na trošnoj površini. Nagrizanjem i poliranjem, koje je prvotno napravljeno, vide se slabo izražene Widmanstättenove lamele. U uzorku ima praznih okruglih šupljina sa staklastom površinom. Uzorak nalikuje na impaktno staklo s primjesom željeza.

Uzorak 016 pronađen je u Kašinovači kod Puljića u Bosni i Hercegovini, 2008. godine. Metalni je uzorak na trošnoj površini tamnosiv, a na presjeku sjajno bijel. Vrlo je magnetičan. Na trošnoj se površini uočavaju veliki kristali uz koje se nalaze sitna crvenkasta zrnca, koja su vjerojatno hrđa.

Uzorak 018 pronađen je na plaži Pirovac 2010. godine. Smeđkasti je materijal s jamicama, koje su vjerojatno remaglifi, a ne otopljene hondre, jer se u strukturi stijene ne vide nikakve kružne forme pod mikroskopom. Na dva se mjesta vidi ostatak crne korice. Manja je 7,5 x 7,2 mm i čini se da je primarna, a veća se čini sekundarna jer je tanja i ima dimenzije 17,1 x 9,7 mm. Uzorak nije magnetičan, a morfološki nalikuje na krupnozrnate hondrite. Na prerezu uzorka se uočava smeđa jezgra koju okružuje oker ovojnica, ali se mikroskopski vidi da je materijal istovjetan.

Uzorak 021 pronađen je u više dijelova na otoku Rabu, u uvali Siće, 2006. i 2011. godine. Uzorak 021 čini više uzoraka „šljake“ i stakla koji su ispali iz rimskog zida. "Šljaka" je teška, metalična, hrđava, šupljikava. Uzorak A i C su slabo magnetični. Makroskopski nalikuju na topioničku šljaku, dok se na prerezu vidi svježi metal. U uzorku B nađene su u šupljinama sitne bentičke foraminifere (Numulit - izgubljen pri rezanju, Peneroplis, Diskociklina) koje su se u uzorak naselile dok je ležao u moru. Uzorci E, G, H, I i J su slabo magnetične šupljikave metalne "šljake". I u njihovim šupljinama nađeni su numuliti. Uzorci K i L su željezne breče, jako magnetične, s klastima pješčenjaka (37 mm) i numulitima u željeznoj hrđavoj osnovi. Uzorci A i B su prethodno polirani i nagrizeni ferikloridom. Nagrizanjem se u uzorku A odvajaju dvije faze, jedna sjajna i druga tamnija. U oba uzorka uočene su Neumannove linije, što ih svrstava u strukturni tip heksaedrita. Uzorak A snimljen je tehnikom rentgenske difrakcije na prahu.

Uzorak 041 pronađen je u Kurilovcu pored Velike Gorice, 1950. godine. Željezni je meteorit s jako dobro razvijenim kristalima veličine od 1 do 2 mm. Čini se da uzorak nije homogen i da ima dijelova sa slabije razvijenim kristalima. Uzorak je jako magnetičan, a korica taljenja nije sačuvana.

Uzorak 042 pronađen je u Rovanjskoj, 2012. godine. Uzorak je svijetli željezni meteorit s tankom crnom koricom, debljine oko 0,1 mm. Mjestimično se uočavaju zone s troilitom. Uzorak nije magnetičan.

Uzorak 046 pronađen je u Volavju pored Jastrebarskog, 2009. godine. Uzorak je crni željezni špliter s remaglifima i strijama od lomljenja. Vrlo je magnetičan.

Uzorak 047 pronađen je kod Bakarca, 2014. godine. Sivi je metal, na trošnoj plohi crvenkast. Nema sačuvanu koricu taljenja i makroskopski jako podsjeća na hematit. Jako je magnetičan.

### 3.1. Priprema uzoraka za mikroskopiranje

Pet uzoraka (001, 004, 016, 041 i 047) obrađeno je metodom poliranja i nagrivanja kako bi se potvrdilo prisutstvo, odnosno odsutstvo pojedinoga strukturnoga tipa siderita. Ovom je metodom nemoguće utvrditi kojem kemijskom tipu pripada uzorak siderita jer ovo nije klasična metoda kvalitativne niti kvantitativne kemijske analize. Njome je moguće uzorke svrstati u strukturne tipove na temelju pojavnosti ili nepojavnosti određenih struktura karakterističnih za pojedini strukturni tip siderita, a koje su već navedene u poglavlju o sideritima. Ukratko, tri su strukturna tipa siderita, i to heksaedriti, oktaedriti i ataksiti, za koje su karakteristične redom navedene strukture: Neumannove linije, Widmanstättenove lamele i mikroskopske Widmanstättenove lamele, odnosno njihovo odsutstvo. Prema literaturi [6] da bi se navedene strukture pojavile na površini uzorka siderita, uzorak je potrebno prerezati, ispolirati te na kraju nagrivoti, ili zagrijavati. Navedeni su uzorci redosljedom brušeni brusnim prahovima 400, 800 i 1200, od najgrubljeg do najfinijeg, pri čemu je bitno naglasiti da su brušeni pojedinim prahom kružnim pokretima s malo vode nekoliko minuta, kako ne bi došlo do pojave lažnih Neumannovih linija. Nakon brušenja s jednim brusnim prahom, površinu uzorka isprala sam jakim mlazom hladne vode te postupak ponovila s drugim brusnim prahom, i s drugim uzorcima. Na *slici 18.* prikazani su uzorci nakon poliranja.

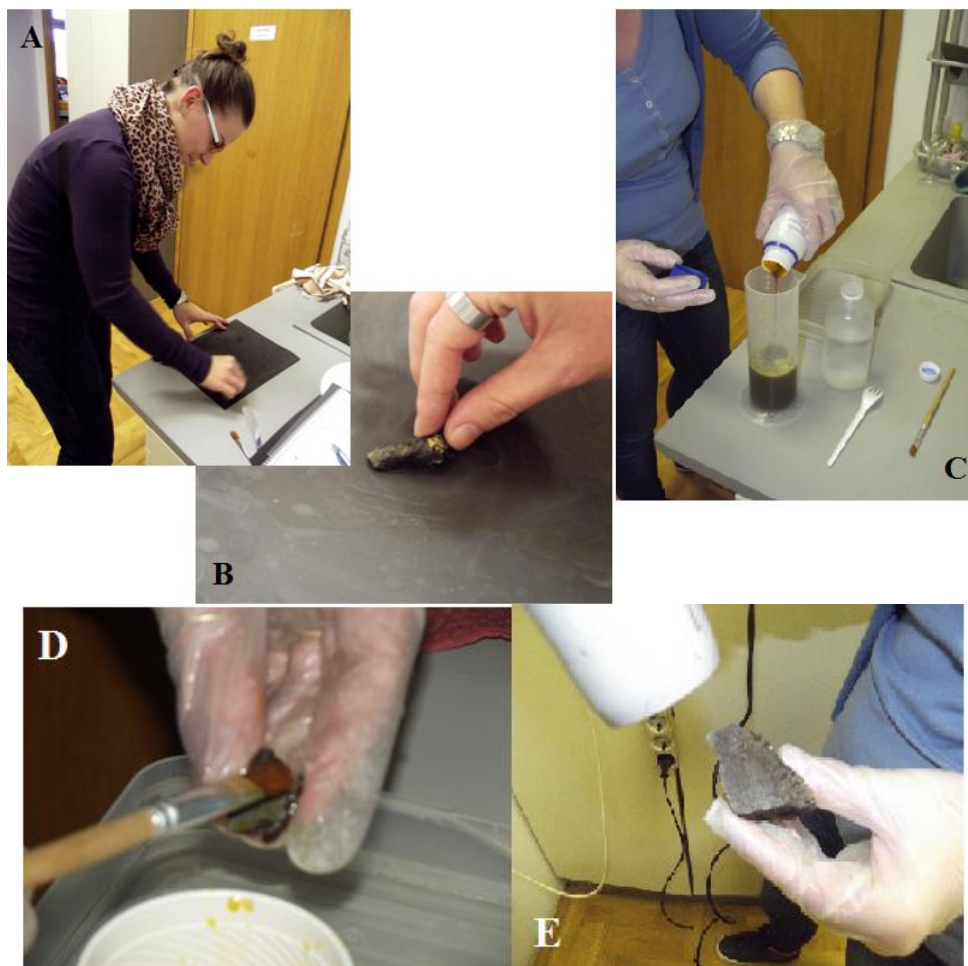


Slika 18. Uzorci nakon poliranja brusnim prahovima 400, 800 i 1200: A) 001, B) 004, C) 016, D) 041 i E) 047.

Nakon poliranja uslijedilo je nagrivanje. Prema dostupnoj literaturi [2], [4], [5], [6] najčešće korištena otopina za nagrivanje siderita jest *nitol*, otopina koncentrirane dušične kiseline i 99 % - tnog etanola u omjeru 1:6, koja se priprema ulijevanjem koncentrirane dušične kiseline u etanol, a nikada obratno. S njom je opasno raditi jer je jako korozivna pa je pronađena zamjena za tu otopinu, vodena otopina feriklorida. Prema literaturi [2] otopina željezovog (III) klorida daje bolje rezultate u odnosu na otopinu nitola jer brže otapa kamacitnu fazu. Za razliku od otopine nitola, kojom je potrebno nagrivoti uzorak oko



4 minute da bi se vidjeli rezultati, otopinom feriklorida zagrijane na 38°C, odnosno 100°F, rezultati se potiču nakon 1 minute, pri čemu su karakteristične strukture oštrije. Stoga sam u radu koristila otopinu feriklorida pri sobnoj temperaturi koju sam dobila otapanjem 150 g željezovog (III) klorida heksahidrata u 0,5 L vode, množinske koncentracije 0,92 M. Uzorke sam kistom premazivala točno jednu minutu, nakon čega sam ih ispirala mlazom hladne vode i sušila ih sušilom za kosu. Na *slici 19.* prikazani su postupci poliranja i nagrivanja.

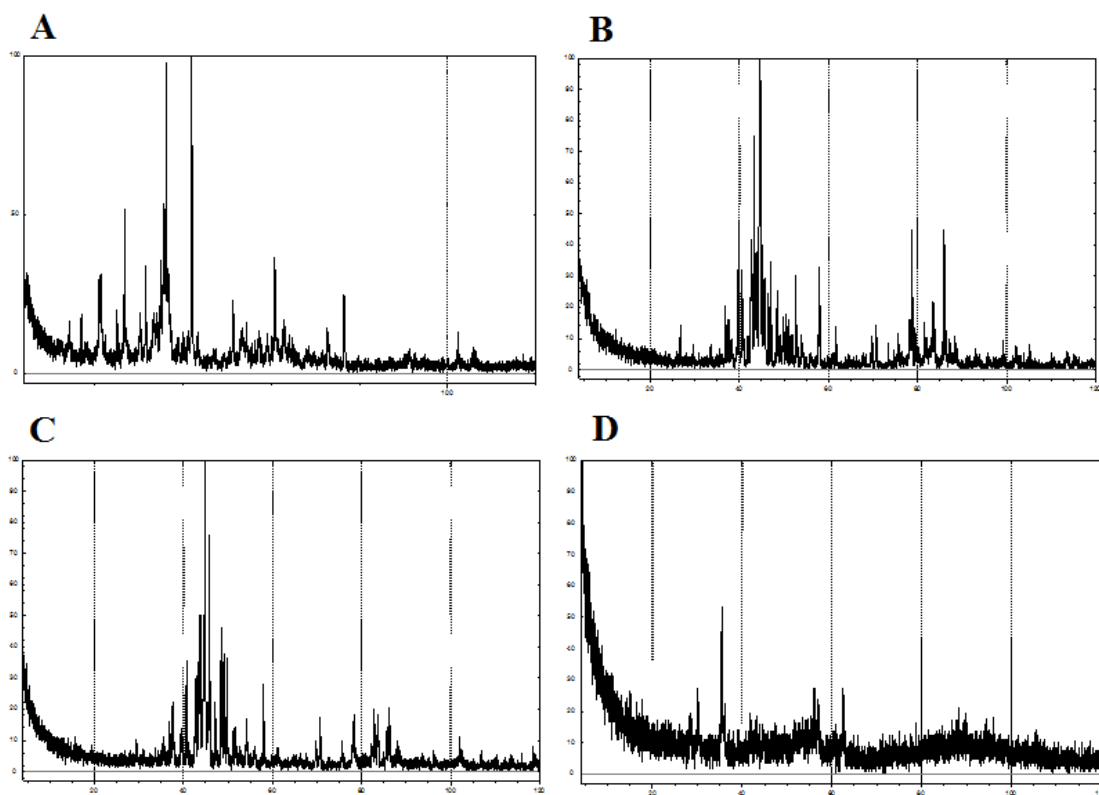


*Slika 19.* A) i B) Prikaz postupka brušenja, odnosno poliranja uzorka; C) priprema otopine feriklorida, D) nanošenje feriklorida kistom na uzorak i E) sušenje uzorka sušilom za kosu.



### 3.2. Metoda rentgenske difrakcije na prahu

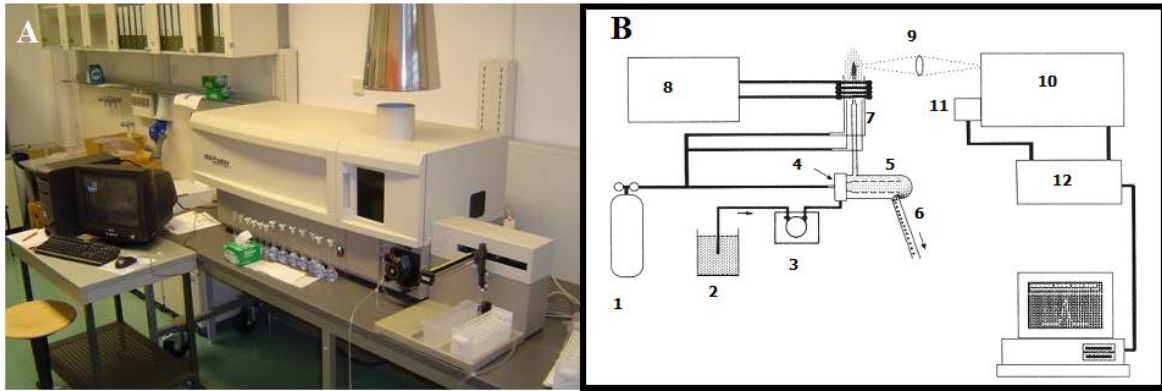
Rentgenska difrakcija na prahu je nedestruktivna metoda fazne analize. U ovom je radu kvalitativna fazna analiza provedena metodom difrakcije rentgenskih zraka na praškastim uzorcima. Uzorci su snimljeni pomoću Phillipsovog vertikalnog rentenskog goniometra (tip PW3710) u Zavodu za opću i anorgansku kemiju Kemijskog odsjeka Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, uz upotrebu Cu – cijevi (40 kV i 40 mA) čije je zračenje monokromatizirano grafitnim monokromatorom. Za registraciju zračenja korišten je proporcionalno brojilo. Snimanje je bilo kontinuirano brzinom 0,02 °/s. Pukotine na instrumentu bile su: pukotina za regulaciju divergencije snopa 1°, pukotina za sprječavanje raspršenja 1° (i na strani cijevi i ispred brojila) te prijamna pukotina 0,2 mm. Prah je sniman na silicijskom nosaču. Snimljena su 4 uzorka: 021, 041, 042 i 046. Njihovi difraktogrami prikazani su na *slici 20*.



Slika 20. Difraktogrami uzoraka: A) 021, B) 041, C) 042 i D) 046.

### **3.3. Metoda induktivno spregnute plazme s atomskom emisijskom spektroskopijom**

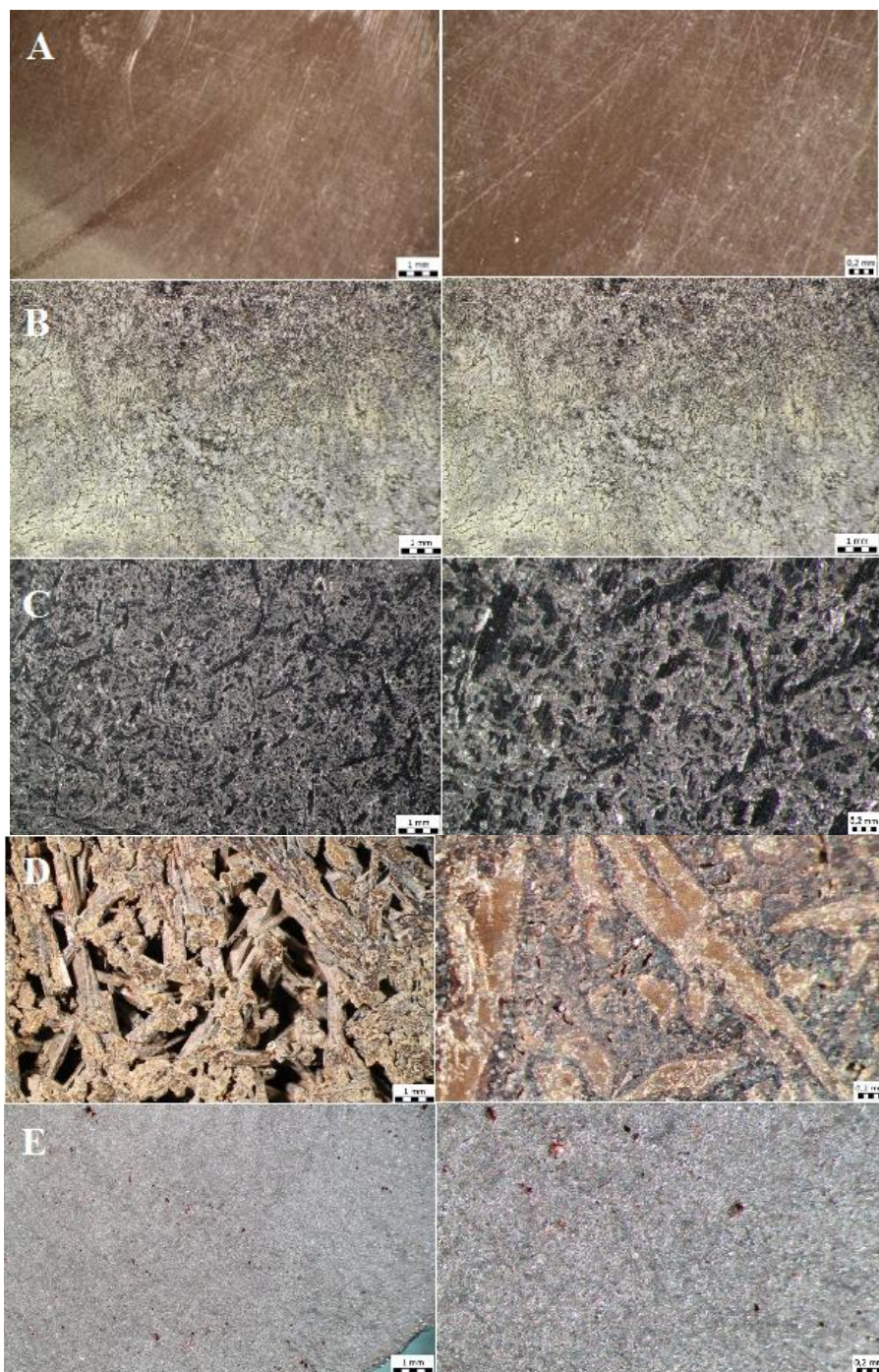
Induktivno spregnuta plazma s atomskom emisijskom spektroskopijom vrlo je osjetljiva metoda kvantitativne kemijske analize koja omogućuje određivanje čak i do 1 dio na milijardu dijelova (ppb), stoga je pogodna za kvantitativnu kemijsku analizu elemenata u tragovima. Radi na principu ioniziranja uzorka u stanju plazme, čiji se elektroni vraćaju iz pobuđenoga stanja u osnovno pri čemu emitiraju energiju točno određenih valnih duljina karakterističnu za pojedini kemijski element. Kvantitativna kemijska analiza napravljena je u Zavodu za analitičku kemiju Kemijskog odsjeka Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na vertikalnom instrumentu ICP – AES, Teledyne Leeman PRODIGY, SAD. Prikaz i shema uređaja na kojem su napravljene kemijske analize nalaze se na *slici 21*. Metodom ICP – AES analizirano je 8 uzoraka: 001, 002a, 002b, 004, 010, 016a, 016b i 018. Uzorci 002 i 016 pronađeni su u više dijelova na istom nalazištu, stoga im je pripisana ista oznaka. Ovom je analizom određen maseni udio 27 sljedećih elemenata: aluminijska, kroma, kadmija, kobalta, bakra, olova, mangana, nikla, cinka, željeza, itrija, cerija, neodimija, gadolinija, terbija, disprozija, erbija, iterbija, lutecija, iridija, cirkonija, hafnija, molibdena, niobija, osmija, talija i volframa.



*Slika 21.* A) Prikaz vertikalnog instrumenta ICP – AES kojim je napravljena kvantitativna kemijska analiza osam uzoraka. B) Shema uređaja. Plin argon (1) uvodi se pod tlakom u ICP – AES instrument gdje služi kao plin za raspršivanje uzorka te ujedno i kao pomoćni i vanjski plin u plameniku. Uzorak (2) u tekućem obliku uvodi se u ICP – AES instrument pomoću peristaltičke pumpe (3) koja sadrži cjevčice kroz koje prolazi uzorak. Raspršivač (4) prevodi tekući uzorak u aerosol (čestice promjera od 1 do 10  $\mu\text{m}$ ) koje se prenosi do komore za raspršivanje (5), kojoj je zadatak uklanjanje velikih kapljica iz aerosola te uklanjanje pulsa koji nastaje tijekom raspršivanja. Višak uzorka iz komore za raspršivanje odlazi u otpadni spremnik (6), dok glavina uzorka ulazi u plamenik (7) koji sadrži 3 koncentrične cijevi za protok argona i uvođenje aerosola. Plin za raspršivanje uzorka unosi aerosol uzorka u plazmu. Radiofrekvencijski generator (8) služi za napajanje bakrene zavojnice koja se nalazi na vrhu plamenika. Pobuđeni elektroni ioniziranog uzorka emitiraju energiju točno određenih valnih duljina, koja odlazi prema optičkim elementima (9 i 10); optičkom sustavu (9) koji usmjerava zračenja u spektrometar (10) koji razdvaja ulazno polikromatsko zračenje na diskretne valne duljine. Detektor (11) se koristi za mjerenje intenziteta emisijske linije koja se izolira u spektrometru, a procesor signala (12) služi za pretvaranje signala dobivenog a detektoru u informaciju koja se može dalje obraditi u računalnoj analizi, te za kontrolu rada instrumenta, obradu i pohranu dobivenih podataka.

## 4. Rezultati analiza

Na *slici 22.* nalaze se prikazi površina uzoraka tretiranih 0,92 M ferikloridom snimljenih petrografskim mikroskopom Olympus SZX10. Svaki uzorak snimljen je nekoliko puta, s različitim uvećanjem površina uzoraka.



*Slika 22.* Prikaz površina uzoraka nagrizanih ferikloridom ( $c = 0,92$  M) snimljenih petrografskim mikroskopom Olympus SZX10: A) 001, B) 004, C) 016, D) 041 i E) 047.

Rezultati rentgenske difrakcije na prahu za uzorke 021, 041, 042 i 046 prikazani su u *tablicama 9, 10, 11 i 12*, dok su rezultati induktivno spregnute plazme s atomskom emisijskom spektroskopijom prikazani u *tablici 13*.

*Tablica 9.* Rentgenografski podatci za uzorak 021.

<b>Položaj maksimuma [°2θ]</b>	<b>d – vrijednost [Å]</b>	<b>Relativni intenzitet [%]</b>	<b>Mineral</b>
14.16	6.2536	8	lepidokrokit
16.91	5.2444	11	olivin
17.88	4.9605	8	goethit
18.40	4.8217	4	magnezioferit
20.96	4.2376	29	kvarc
21.33	4.1654	24	goethit
22.33	3.9811	11	olivin
23.56	3.7760	4	olivin
25.05	3.5555	17	olivin
26.75	3.3322	51	kvarc
27.16	3.2836	10	lepidokrokit
30.28	2.9513	13	magnezioferit
31.56	2.8345	27	olivin
33.33	2.6886	13	goethit
34.01	2.6358	12	olivin
34.91	2.5703	30	olivin
35.63	2.5201	46	magnezioferit; olivin
36.14	2.4854	80	wüstit; goethit
36.77	2.4443	28	goethit; lepidokrokit; kvarc
37.23	2.4152	19	olivin
38.20	2.3560	2	olivin; lepidokrokit
38.95	2.3126	6	olivin
40.00	2.2539	10	goethit
41.14	2.1940	10	olivin
41.32	2.1850	10	goethit
41.91	2.1555	100	wüstit
43.29	2.0901	9	magnezioferit
46.99	1.9337	7	lepidokrokit
47.36	1.9195	8	magnezioferit; olivin
49.42	1.8442	3	olivin

51.22	1.7835	16	olivin
53.45	1.7144	11	magneziferit; goethit
54.43	1.6858	9	olivin; goethit
57.18	1.6110	8	magneziferit; olivin
59.12	1.5627	7	goethit
60.23	1.5366	10	olivin
60.82	1.5231	23	wüstit; olivin; goethit
62.73	1.4811	11	magneziferit
64.20	1.4508	2	goethit; kvarc
64.92	1.4364	12	olivin
68.13	1.3763	3	kvarc
69.78	1.3478	1	goethit
71.56	1.3186	2	goethit
72.78	1.2995	11	wüstit; kvarc
74.50	1.2736	2	magneziferit
76.50	1.2453	23	wüstit
91.43	1.0769	4	
102.30	0.9891	9	
106.05	0.9642	4	

Tablica 10. Rentgenografski podatci za uzorak 041.

<b>Položaj maksimuma [°2θ]</b>	<b>d – vrijednost [Å]</b>	<b>Relativni intenzitet [%]</b>	<b>Mineral</b>
26,67	3,3424	11	
29,74	3,0040	7	
30,94	2,8902	3	manganov karbid
33,55	2,6710	5	manganov karbid
36,88	2,4373	15	manganov karbid
37,53	2,3966	15	željezov karbid
38,07	2,3640	11	
38,35	2,3474	12	
39,28	2,2935	8	manganov karbid
39,66	2,2725	35	željezov karbid
39,74	2,2683	48	željezov karbid
40,52	2,2266	19	željezov karbid; manganov karbid
40,93	2,2050	14	manganov karbid
41,91	2,1558	9	
42,70	2,1175	40	manganov karbid
42,79	2,1135	40	željezov karbid
43,37	2,0862	75	manganov karbid

43,59	2,0766	28	željezov karbid
43,87	2,0636	38	manganov karbid
44,54	2,0345	100	manganov karbid; željezov karbid
44,78	2,0241	93	željezov karbid; manganov karbid
45,25	2,0038	37	manganov karbid
45,78	1,9822	27	željezov karbid
46,54	1,9515	21	
47,10	1,9294	32	manganov karbid
47,98	1,8961	4	
48,43	1,8797	17	željezov karbid
48,70	1,8698	14	
49,02	1,8584	11	željezov karbid
49,70	1,8345	10	manganov karbid
49,91	1,8273	15	manganov karbid
50,44	1,8094	17	
51,11	1,7873	11	manganov karbid
51,79	1,7653	8	
52,63	1,7377	30	manganov karbid
52,92	1,7302	18	
53,93	1,7000	10	manganov karbid
54,29	1,6899	10	željezov karbid
54,86	1,6735	1	manganov karbid
56,07	1,6402	3	manganov karbid
57,61	1,6000	13	
57,95	1,5915	31	manganov karbid; željezov karbid
61,70	1,5034	11	
69,64	1,3501	13	manganov karbid
70,59	1,3344	18	željezov karbid; manganov karbid
74,72	1,2705	1	manganov karbid
75,64	1,2572	8	manganov karbid
78,28	1,2213	21	željezov karbid; manganov karbid
78,74	1,2143	45	manganov karbid
79,41	1,2058	12	
81,61	1,1788	11	manganov karbid
82,16	1,1722	2	manganov karbid
83,07	1,1617	12	željezov karbid
83,54	1,1564	21	željezov karbid; manganov karbid
85,98	1,1297	45	željezov karbid; manganov karbid



Tablica 11. Rentgenografski podatci za uzorak 042.

<b>Položaj maksimuma [°2θ]</b>	<b>d – vrijednost [Å]</b>	<b>Relativni intenzitet [%]</b>	<b>Mineral</b>
29,55	3,0230	6	željezov karbid
31,04	2,8811	2	željezov manganov karbid
33,62	2,6656	5	željezov manganov karbid
35,65	2,5184	7	željezov manganov karbid
36,86	2,4384	10	željezov manganov karbid
37,56	2,3949	18	željezov karbid
39,57	2,2777	8	željezov karbid; željezov manganov karbid
40,64	2,2198	35	željezov karbid; željezov manganov karbid
42,62	2,1215	16	željezov manganov karbid
42,87	2,1094	28	željezov karbid
43,40	2,0849	32	željezov manganov karbid
43,71	2,0708	65	željezov karbid
43,88	2,0634	45	željezov manganov karbid
44,49	2,0363	49	željezov karbid; željezov manganov karbid
44,84	2,0216	100	željezov karbid; željezov manganov karbid
45,44	1,9959	25	željezov manganov karbid
45,81	1,9807	66	željezov karbid
47,18	1,9266	18	željezov manganov karbid
48,43	1,8795	40	željezov karbid
49,05	1,8558	31	željezov karbid
49,69	1,8333	37	željezov manganov karbid
51,15	1,7858	8	željezov manganov karbid
51,69	1,7683	12	željezov karbid
52,68	1,7377	5	željezov manganov karbid
54,24	1,6911	11	željezov karbid; željezov manganov karbid
56,02	1,6415	5	željezov karbid; željezov manganov karbid
58,00	1,5890	27	željezov karbid; željezov manganov karbid
61,33	1,5116	4	željezov manganov karbid
66,23	1,4111	2	željezov karbid
69,73	1,3486	5	željezov karbid; željezov manganov karbid
70,60	1,3342	12	željezov karbid; željezov manganov karbid
75,60	1,2579	6	željezov karbid; željezov manganov karbid



77,98	1,2253	10	željezov manganov karbid
78,33	1,2207	12	željezov karbid; željezov manganov karbid
80,16	1,1974	3	željezov karbid
82,28	1,1718	10	željezov manganov karbid
82,85	1,1651	15	željezov karbid; željezov manganov karbid
83,62	1,1564	11	željezov karbid; željezov manganov karbid
85,57	1,1350	16	željezov karbid; željezov manganov karbid
86,07	1,1287	18	željezov karbid
87,22	1,1177	3	željezov karbid; željezov manganov karbid
88,17	1,1081	5	željezov karbid
101,98	0,9921	8	željezov karbid
106,82	0,9602	2	željezov karbid
113,60	0,9213	4	željezov karbid
118,55	0,8961	5	željezov karbid

Tablica 12. Rentgenografski podatci za uzorak 046.

<b>Položaj maksimuma [°2θ]</b>	<b>d – vrijednost [Å]</b>	<b>Relativni intenzitet [%]</b>	<b>Mineral</b>
28.44	3.1389	22	
30.08	2.9713	39	magnetit
33.12	2.7048	5	
35.40	2.5359	100	magnetit
37.08	2.4245	14	magnetit
41.78	2.1622	23	wüstit
43.09	2.0994	30	magnetit
44.88	2.0196	10	
53.47	1.7138	10	magnetit
56.97	1.6163	30	magnetit
62.53	1.4843	44	magnetit

Tablica 13. Prikaz rezultata induktivno spregnute plazme s atomskom emisijskom spektroskopijom.

Oznaka „< cL“ označava da se određeni element nalazi ispod granice detekcije uređaja ICP – AES.

w [%]	Uzorak	001	002a	002b	004	010	016a	016b	018
	<b>Al</b>	1,49	9,04	6,62	0,125	4,1	0,134	0,92	3,46
	<b>Cd</b>	0,106	0,0005	0,0005	0,107	0,102	0,0005	0,001	0,002
	<b>Cr</b>	0,623	6,48	6,56	0,018	0,598	0,546	0,546	0,0015
	<b>Co</b>	0,004	0,008	0,006	0,128	0,002	0,078	0,076	0,002
	<b>Cu</b>	0,07	0,07	0,065	0,056	0,01	0,011	0,007	0,005
	<b>Pb</b>	< cL	1,17	1,19	< cL	0,028	< cL	< cL	< cL
	<b>Mn</b>	0,985	1,41	1,44	75,85	0,556	0,08	0,075	1,24
	<b>Ni</b>	3,93	24,42	24,53	16,91	38,19	27,39	27,02	34,23
	<b>Zn</b>	0,0005	6,37	6,44	0,026	0,0024	0,001	0,003	0,0065
	<b>Fe</b>	4,07	24,79	24,87	17,41	38,48	27,75	27,38	34,51
	<b>Y</b>	0,2	0,31	0,33	1,04	0,28	0,17	0,21	0,23
	<b>Ce</b>	0,75	0,75	0,68	< cL	0,78	0,72	0,77	0,7
	<b>Nd</b>	0,88	0,85	0,87	0,83	0,81	0,84	0,85	0,84
	<b>Gd</b>	0,65	0,68	0,67	0,67	0,64	1,63	1,63	0,68
	<b>Tb</b>	0,79	0,81	0,8	0,81	0,77	0,8	0,81	0,82
	<b>Dy</b>	0,62	0,63	0,62	0,65	0,6	0,45	0,45	0,63
	<b>Er</b>	0,88	1,3	1,24	1,11	1,3	1,33	1,22	1,31
	<b>Yb</b>	0,62	0,63	0,62	0,65	0,6	0,45	0,45	0,63
	<b>Lu</b>	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	<b>Ir</b>	0,614	0,623	0,614	0,627	0,59	0,598	0,635	0,615
	<b>Zr</b>	0,285	0,278	0,273	0,274	0,269	0,266	0,274	0,274
	<b>Hf</b>	0,568	0,573	0,567	0,579	0,528	0,508	0,52	0,563
	<b>Mo</b>	0,635	0,594	0,589	0,585	0,574	0,578	0,636	0,595
	<b>Nb</b>	0,501	0,507	0,505	0,508	0,477	0,446	0,455	0,51
	<b>Os</b>	0,503	0,341	0,375	0,364	0,477	0,387	0,623	0,392
	<b>Ta</b>	0,55	0,547	0,562	0,571	0,535	0,536	0,577	0,549
	<b>W</b>	0,527	0,62	0,627	0,544	0,51	0,534	0,532	0,53

## 5. Rasprava

Kao što se može uočiti iz *slike 22*, niti jedan od nagrizenih uzoraka nije pokazao oštro definiranu karakterističnu strukturu, niti Neumannove linije, niti Widmansttänove lamele. Može se zaključiti da je vrijeme nagrivanja bilo prekratko, iako je u literaturi preporučeno nagrivanje ferikloridom oko minute [6], da bi se kamacit, ukoliko ga ima u uzorku, počeo otapati i dao karakterističnu strukturu kako bi se mogla odrediti strukturna grupa siderita. Ono što je vrlo zanimljivo, uspoređujući površine uzorka 047 prije i poslije nagrivanja, jest da uzorak 047 izgleda potpuno jednako, odnosno da gotovo i nije reagirao s ferikloridom. To je karakteristika strukturne grupe ataksita, koji se sastoje od gotovo čistog taenita, željezno – nikalne legure s većim udjelom nikla. Za uzorak 004 karakteristična je brza oksidacija na zraku. Nakon njegova poliranja, u roku nekoliko minuta, njegova je površina gotovo potpuno potamnila, dok nakon nagrivanja, ispiranja i sušenja njegova površina izgleda gotovo jednako kao i nakon poliranja. Uzorak 001 je nakon poliranja imao vrlo sjajnu sivu površinu, dok je ona nakon nagrivanja bila mat siva. Iz *slike 22*. A) uočljive su linije koje bi mogle biti Neumannove, i indicirati da uzorak 001 pripada strukturnom tipu heksaedrita, koji se sastoje od gotovo čistog kamacita, željezno – nikalne legure s najmanjim udjelom nikla. No, s druge strane je moguće da te linije potječu od poliranja, budući da nisu dobro definirane. Uzorak 041 najburnije je reagirao s ferikloridom te je njegova porozna površina najviše korodirala, što je vidljivo iz *slike 22*. D). Uzorak 016 nakon nagrivanja izgleda gotovo nepromijenjeno, no boljim promatranjem mogu se uočiti Neumannove linije, stoga se uzorak 016 može svrstati u strukturni tip heksaedrita. Prilikom poliranja uzorka 004 oslobađao se „organski“ miris. Poliranje daje metalični sivi sjaj, no nagrivanjem se nisu pojavile Widmansttänove lamele. Pod mikroskopom se vidi da je sitnozrnat i šupljikav, a reakcija s vodikovim peroksidom bila je izuzetno burna. Sadrži puno organskog materijala, a nakon nagrivanja ferikloridom potamni.

U uzorku 021, analiziranom rentgenskom difrakcijom na prahu, bitni su sastojci wüstit FeO, magnezioferit  $MgFe_2O_4$  (iako nije isključeno da je riječ o nekom drugom mineralu iz skupine spinela<sup>20</sup>), mineral iz skupine olivina  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ , te goethit i lepidokrokrit, polimorfne modifikacije FeO(OH), a sporedan je kvarc  $SiO_2$ . U uzorku 041 pak, glavni su sastojci željezov karbid  $Fe_3C$  i manganov karbid  $Mn_5C_2$ , a u uzorku su

---

<sup>20</sup> Spineli su skupina minerala opće formule  $AB_2O_4$ , gdje A predstavlja ion dvovalentnog metala, a koji može biti magnezij, mangan, željezo, cink ili nikal, dok B predstavlja ione aluminija, kroma ili željeza. [12]

prisutne još neke faze koje nisu jednoznačno određene. U uzorku 042 glavni su sastojci željezov karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  i željezov manganov karbid  $(\text{Fe}, \text{Mn})_5\text{C}_2$ . U posljednjem uzorku analiziranom ovom tehnikom dominantan je sastojak magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , iako bi trebalo ispitati ne radi li se o nekom drugom mineralu iz skupine spinela, dok je sporedan sastojak wüstit  $\text{FeO}$ . Na rentgenogramu praha (*slika 22. D*), koji je slabe kvalitete (niski intenziteti), registrirano je nekoliko slabih difrakcijskih maksimuma koji su ostali nepripisani, što ukazuje na prisutnost dodatnih faza.

Iz *tablice 13.* može se vidjeti da su makroelementi svih osam uzoraka željezo i nikal, što je i pretpostavljeno. Zanimljivo je da se u svim analiziranim uzorcima željezo i nikal nalaze u istim omjerima, a iridija ima oko 100 puta više no u analiziranim sideritima iz znanstvenih radova [7], [8], [9]. Nadalje, kemijski tip siderita ne može se sa sigurnošću odrediti jer nisu mjerene količine galija, germanija i zlata, a koji su parametri prema kojima se u znanstvenim radovima [8] određuje kojem kemijskom tipu siderita pojedini uzorak pripada. Zanimljivo svojstvo brze oksidacije na zraku uzorka 004 može se pripisati velikoj količini mangana, kojeg u uzorku ima 75,85 %, i koji je u ovom slučaju također makroelement. Zbrojevi masenih udjela u ovom uzorku prelaze 100 %, pa može biti da je zastupljenost mangana 7,5 %, što je još uvijek mnogo u odnosu na ostale elemente. Najviše nikla, a prema tome i željeza, sadrže uzorci 010 i 018, dok najmanje sadrži uzorak 001. Zbroje li se maseni udjeli svih analiziranih elemenata za pojedini uzorak, može se zamijetiti da on nije 100 %, što može biti zbog mjerenja samo određenih elemenata, koja ne uključuju ugljik, vodik, sumpor i fosfor, a koji su mikroelementi, a može biti i zbog pogreški pri analizi. Zanimljivo je i da je količina iridija u analiziranim uzorcima gotovo ista, oko 0,6 %.

Uzimajući u obzir samo maseni udio nikla, analizirani se uzorci mogu svrstati u pojedini strukturni, odnosno kemijski tip siderita, što se analizom odgovarajućih elemenata u tragovima ne mora pokazati istinitim. Prema *tablici 7.* uzorci analizirani tehnikom ICP – AES okvirno se mogu svrstati u sljedeće strukturne i kemijske tipove: uzorci 010, 016a, 016b i 018 prema dostupnim rezultatima analiza ne mogu se svrstati u određeni kemijski tip siderita, ali pripadaju strukturnom tipu ataksita zbog masenog udjela nikla koji prelazi 27 %, s druge strane pak, uzorak 001 pripada strukturnom tipu heksaedrita zbog vrlo malog udjela nikla od 3,93 %, dok se kemijski tip na temelju dostupnih rezultata analize ne može odrediti. Budući da se za svrstavanje uzoraka siderita u strukturne i kemijske tipove koristi samo jedan mjereni parametar, a to je maseni udio nikla, za pojedine uzorke siderita

moguće je svrstavanje u nekoliko strukturnih i nekoliko kemijskih tipova. Uzorci 002a i 002b sadrže 24,92 %, odnosno 24,53 % nikla, te se mogu odrediti po dva strukturna i dva kemijska tipa siderita kojima pripadaju. To su kemijski tip IVB kojemu odgovara strukturni tip ataksita, s masenim udjelom nikla od 16 do 26 %; te kemijski tip IB kojemu odgovara strukturni tip prijelaznog karaktera između srednjeg oktaedrita i ataksita, s masenim udjelom nikla od 8,7 do 25 %. Za uzorak 004 s masenim udjelom nikla od 16,91 % mogu se odrediti tri kemijska i tri strukturna tipa siderita kojima pripada. To su kemijski tip IB kojemu odgovara strukturni tip prijelaznog karaktera između srednjeg oktaedrita i ataksita, s masenim udjelom nikla od 8,7 do 25 %; kemijski tip IIID kojemu odgovara strukturni tip prijelaznog karaktera između finijeg oktaedrita i ataksita, s masenim udjelom nikla od 16 do 23 %; te kemijski tip IVB kojemu pripada strukturni tip ataksita, s masenim udjelom nikla od 16 do 16 %.

## 6. Metodički dio

Kvantitativnu kemijsku analizu makroelemenata željeznih meteorita može se obraditi kroz mini projekte i na osnovnoškolskoj i na srednjoškolskoj razini. Ovdje će biti prikazana dva mini projekta, jedan na osnovnoškolskoj, a drugi na srednjoškolskoj razini. Mini projekt je najbolja metoda učenja zbog nekoliko bitnih razloga. Najprije, pri njegovom osmišljavanju i provedbi sudjeluje nekoliko predmetnih nastavnika iz fizike, matematike, kemije i geografije, dakle, mini projekt povezuje odvojene predmete i pokazuje učenicima kako se isto gradivo može promatrati s različitih gledišta i pri tome dobiti sasvim nove spoznaje. Nakon toga slijedi najbitniji faktor mini projekta, a to je da učenici, naravno pod vodstvom nastavnika, samostalno proučavaju zadani sadržaj, pokušavaju rješavati zadatke vlastitim navođenjem i logičkim zaključcima i da pri tom sami istražuju literaturu. U ovome dijelu učenici postaju aktivni subjekt događanja, a ne pasivni promatrači i slušači kao u redovitoj frontalnoj nastavi. To je bitna prednost mini projekta u odnosu na ostale nastavne metode jer osigurava učenicima stjecanje samopouzdanja, samostalnosti i vještine baratanja određenim pojmovima i tehnikama karakterističnim za samostalni istraživački rad. Nakon što učenici odrade zadatke predviđene mini projektom slijedi vrjednovanje koje je unaprijed definirano. Dakle, učenici unaprijed znaju koliko im određeni zadatak pridonosi ukupnoj ocjeni. Ocjena mini projekta, u odnosu na ispite gradiva obrađivanog tradicionalnim metodama, stvarno je mjerilo aktivnosti, sposobnosti i spremnosti učenika da jedan problem riješi interdisciplinarnim pristupom i kritičkim razmišljanjem, i uobičajeno je poticajnije od ocjena dobivenih zbog „štrebanja“ za ispite jer kada nešto radiš samostalno, imaš brojna pitanja, a moraš sam otkriti odgovore, moraš razmišljati. Učenici najbolje pamte ono do čega sami dođu. Literatura se nalazi na kraju rada, a internetski izvori su brojni, djeci najprikladniji nalaze se u knjizi Exploring Meteorite Mysteries koja se može naći na NASA – inoj stranici u pdf formatu. [10]

### 6.1. Mini projekt za osnovnu školu

Mini projekt za osnovnu školu predviđen je za osme razrede u ukupnom trajanju četiri školska sata, odnosno 180 minuta, koji su tako određeni da učenici imaju jedan dvosat za rješavanje zadataka druge vježbe. Mini projekt rješava se grupno, ovisno o

veličini razreda grupa se može sastojati od 4 do 6 članova. Kroz vježbe učenici će naučiti rješavati probleme interdisciplinarno, povezujući gradivo kemije, fizike, matematike i geografije. Nastavnik prije svega u nekoliko rečenica treba objasniti što su meteoriti, a što meteori, te od čega se sastoje. Obavezno je uputiti učenike u literaturu, prije svega internet. Kroz vježbe učenici će naučiti kako se zapisuju rezultati mjerenja, odnosno upoznati se sa računanjem srednje vrijednosti i apsolutne pogreške, ponovit će pretvaranje mjernih jedinica i izraze za kinetičku i potencijalnu energiju, pomoću zadane zemljopisne širine i dužine ucrtavat će na slijepu kartu najpoznatije kratere na svijetu te na taj način ponoviti snalaženje na karti svijeta i države u kojima se ti krateri nalaze, naučit će očitavati dijagram i ponoviti maseni udio elemenata u spoju. Dakle, integrirat će znanje i metode iz grupe raznorodnih predmeta.

### **6.1.1. Vježba 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita**

Uputa nastavniku: Nastavnik treba objasniti djeci s čim rade. Meteoriti su veće ili manje stijene različitog kemijskog sastava koje su došle iz svemira, a njihovim proučavanjem možemo razjasniti kako je postao naš Sunčev sustav. Meteori su svjetlosne pojave koje se uočavaju pri padu meteorita. Meteoroidi su, najjednostavnije rečeno, stijene koje još nisu stigle do Zemlje. Naš uzorak sastoji se uglavnom od željeza i nikla, stoga i djeluje tako težak kada se uzme u ruku. Nastavnik treba pripremiti određeni broj radnih listića, ovisno o broju grupa učenika.

Bitno je napomenuti da nastavnik treba djeci naglasiti koliko značajnih znamenaka treba biti u zapisu rezultata mjerenja i pretvorbi; u ovoj vježbi dovoljno je rezultat zapisati s jednom značajnom znamenkom iza decimalne točke. Više o značajnim znamenkama može se naći u literaturi [1].

Što se tiče uzorka, bilo bi dobro kada bi ih bilo više, no i ako se ima samo jedan, i on je dostatan za cijeli razred. Najprije neka ga učenici prime u ruke da osjete „njegovu težinu“. Nakon toga nastavnik dijeli svakoj grupi radni listić, a dok oni čitaju što trebaju raditi, nastavnik priprema graduiranu čašu, digitalnu vagu, konopčić, drveni štapić i oko pola litre vode. Nakon toga, ukoliko postoji samo jedan uzorak, nastavnik odabire jednog učenika, ili se učenici sami dogovaraju tko želi napraviti mjerenja, dok ostali, prema dogovoru u grupi, zapisuju rezultate i rješavaju zadatke slijedeći radni listić 1.

Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 1. iznosi 26. Vježba 1. traje 1 školski sat, odnosno 45 minuta.



### Radni listić 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor: graduirana čaša od 250 mL ili menzura, konopčić, drveni ili stakleni štapić, oko pola litre vode, digitalna vaga, uzorak željeznog meteorita

Postupak: Graduirana čaša od 250 mL napuni se vodom do vidljive oznake, primjerice do 50 mL, kako bi se mogao zabilježiti početni volumen. Nakon toga čaša s vodom stavi se na digitalnu vagu te se odredi njena masa, a sve se bilježi u priloženu tablicu. Uzorak se špagom poveže za drveni ili stakleni štapić te se uroni u vodu u graduiranoj čaši do kraja. Bilježi se novi volumen i nova masa. Postupak se ponovi pet puta, kako bismo imali najmanje 5 rezultata mjerenja.

Mjerenja (A, B, C, D) i računato (a, b, c)	1	2	3	4	5
A. Masa čaše s vodom/g					
B. Masa čaše s vodom i uzorkom/g					
a. Masa uzorka/g					
C. Volumen vode/cm <sup>3</sup>					
D. Volumen vode s uzorkom/cm <sup>3</sup>					
b. Volumen uzorka/cm <sup>3</sup>					
c. Gustoća uzorka/ g/cm <sup>3</sup>					

/35 x 0,5 = 17,5

Srednja gustoća:  $\rho_s = (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5)/5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g/cm}^3$  /1

Maksimalna apsolutna pogreška:  $\rho_m = | \rho_{\max} - \rho_s |$  ili  $\rho_m = | \rho_s - \rho_{\min} |$

*(Od dviju relacija, koristi se ona za koju je apsolutna pogreška veća.)*

Maksimalna apsolutna pogreška:  $\underline{\hspace{10cm}}$  /1

Prikaz rezultata:  $(\rho_s \pm \rho_m) = \underline{\hspace{10cm}}$  /1

1. Dobivenu srednju gustoću pretvori u:

a)  $\text{kg/m}^3$ :  $\underline{\hspace{10cm}}$  /0,5

b)  $\text{g/dm}^3$ :  $\underline{\hspace{10cm}}$  /0,5

c)  $\text{kg/cm}^3$ :  $\underline{\hspace{10cm}}$  /0,5

2. Kamen nađen na Zemlji ima volumen  $25 \text{ cm}^3$  i ima težinu  $0,8 \text{ N}$ . Ima li on veću ili manju gustoću od našeg meteorita? Akceleraciju sile teže  $g$  zaokružimo na  $10 \text{ m/s}^2$ .

*(Prostor za računanje)*

/4

## Rješenje radnog listića 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita

Članovi grupe: Danko – Matko Budimčić, Ivan Deak, Josip Kušić, Antonio Kušić, David Nikšić	Razred: 8. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 13.3.2014.
Broj ostvarenih bodova: 26/26	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor: graduirana čaša od 250 mL ili menzura, konopčić, drveni ili stakleni štapić, oko pola litre vode, digitalna vaga, uzorak željeznog meteorita, kalkulator

Postupak: Graduirana čaša od 250 mL napuni se vodom do vidljive oznake, primjerice do 50 mL, kako bi se mogao zabilježiti početni volumen. Nakon toga čaša s vodom stavi se na digitalnu vagu te se odredi njena masa, a sve se bilježi u priloženu tablicu. Uzorak se špagom poveže za drveni ili stakleni štapić te se uroni u vodu u graduiranoj čaši do kraja. Bilježi se novi volumen i nova masa. Postupak se ponovi pet puta, kako bismo imali najmanje 5 rezultata mjerenja.

Mjerenja (A, B, C, D) i računato (a, b, c)	1	2	3	4	5
A. Masa čaše s vodom/g	120	121	123	119	120
B. Masa čaše s vodom i uzorkom/g	436	437	441	440	437
a. Masa uzorka/g	316	316	318	321	317
C. Volumen vode/cm <sup>3</sup>	25	25	25	25	25
D. Volumen vode s uzorkom/cm <sup>3</sup>	65	67	64	66	67
b. Volumen uzorka/cm <sup>3</sup>	40	42	39	41	42
c. Gustoća uzorka/ g/cm <sup>3</sup>	7,9	7,5	8,2	7,8	7,6

$$17,5 / 35 \times 0,5 = 17,5$$

Srednja gustoća:  $\rho_s = (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5)/5 = 7,8 \text{ g/cm}^3$  1 /1

Maksimalna apsolutna pogreška:  $\rho_m = | \rho_{\max} - \rho_s |$  ili  $\rho_m = | \rho_s - \rho_{\min} |$

*(Od dviju relacija, koristi se ona za koju je apsolutna pogreška veća.)*

Maksimalna apsolutna pogreška:  $| 7,8 - 8,2 | = 0,4$  1 /1

Prikaz rezultata:  $(\rho_s \pm \rho_m) = (7,8 \pm 0,4) \text{ g/cm}^3$  1 /1

1. Dobivenu srednju gustoću pretvori u:

a)  $\text{kg/m}^3$ :  $7,8 \text{ g/cm}^3 \times (0,001/0,000\ 001) = 7\ 800 \text{ kg/m}^3$  0,5 /0,5

b)  $\text{g/dm}^3$ :  $7,8 \text{ g/cm}^3 \times (1/0,001) = 7\ 800 \text{ g/dm}^3$  0,5 /0,5

c)  $\text{kg/cm}^3$ :  $7,8 \text{ g/cm}^3 \times (0,001/1) = 0,007\ 8 \text{ kg/cm}^3$  0,5 /0,5

2. Kamen nađen na Zemlji ima volumen  $25 \text{ cm}^3$  i ima težinu  $0,8 \text{ N}$ . Ima li on veću ili manju gustoću od našeg meteorita? Akceleraciju sile teže  $g$  zaokružimo na  $10 \text{ m/s}^2$ .

*(Prostor za računanje)*

$$V = 25 \text{ cm}^3$$

$$G = 0,8 \text{ N}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

---

$$\rho = ?$$

$$G = m \times g \rightarrow m = G/g = 0,8 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 0,08 \text{ kg} = 80 \text{ g}$$

$$\rho = m/V = 80 \text{ g}/25 \text{ cm}^3 = 3,2 \text{ g/cm}^3$$

Kamen ima manju gustoću od našeg meteorita.

### 6.1.2. Vježba 2. Zašto su nastali krateri?

Uputa nastavniku: Nastavnik treba djeci objasniti zašto su nastali krateri. Nekoliko dana prije dana održavanja vježbe 2. treba reći da sami pretraže literaturu, prvenstveno internet [10], kako bi bilo lakše raditi, a i ako djeci i dalje nešto nije jasno, da mogu pitati. Budući da meteoroidi koji ulaze u Zemljinu atmosferu ulaze velikom brzinom, imaju veliku kinetičku energiju, pa i gravitacijsku potencijalnu, najbolje je razgovor započeti s tom temom. Nakon što dospije do Zemljine površine, ta energija ne može nestati već se pretvara u druge oblike energije. Ovisno o količini kinetičke energije meteorita, krater, nastao pri srazu meteorita i Zemlje, može biti veći ili manji. Brojni su svjetski krateri, a najpoznatiji su obrađeni kroz zadatke. Za rješavanje radnog listića 2. potrebno je 90 minuta, odnosno blok sat. Kroz zadatke učenici će naučiti primjenjivati zakone fizike i na temelju ucrtavanja pojedinih kratera na kartu, ponovit će snalaženje na karti svijeta. Nastavnik može dozvoliti upotrebu atlasa, ali ne mora. Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 2. iznosi 33.

## Radni listić 2. Zašto su nastali krateri?

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor: atlas (ne nužno, prema dogovoru s nastavnikom), kalkulator

Postupak: U sljedećoj su tablici navedeni najpoznatiji krateri na svijetu s njihovim geografskim širinama i dužinama, promjerima i starošću. Potrebno je pomoću tablice riješiti zadatke radnog listića 2.

Krater	Zemljopisna širina	Zemljopisna dužina	Promjer/km	Starost/godine
A	35° sjeverno	111° zapadno	1,2	50 000
B	51° sjeverno	69° zapadno	70 - 100	212 milijuna
C	37° sjeverno	83° zapadno	6	< 300 milijuna
D	56° sjeverno	74° zapadno	22	290 milijuna
E	60° sjeverno	111° zapadno	6	440 milijuna
F	23° sjeverno	90° zapadno	200	65 milijuna
G	31° sjeverno	103° zapadno	13	100 milijuna
H	27° južno	28° istočno	140	1,97 milijardi
I	46° sjeverno	135° istočno	-	46
J	25° sjeverno	77° istočno	5,5	Nepoznata
K	17° južno	126° istočno	13	< 600 milijuna
L	43° sjeverno	90° istočno	6	< 500 milijuna
M	48° sjeverno	104° zapadno	9	200 milijuna
N	32° sjeverno	102° zapadno	0,2	< 50 000

O	41° sjeverno	87° zapadno	13	< 300 milijuna
P	43° sjeverno	95° zapadno	3	65 milijuna
R	36° sjeverno	88° zapadno	14	200 milijuna

1. Na slijepoj karti svijeta ucrtaj kratere označene slovima od A do R. /17 x 0,5 = 8,5

2. Odgovori na sljedeća pitanja:

a) Koji je od navedenih najstariji, a koji najmlađi krater?

\_\_\_\_\_ /1

b) Koji je od navedenih krater najvećega, a koji najmanjega promjera?

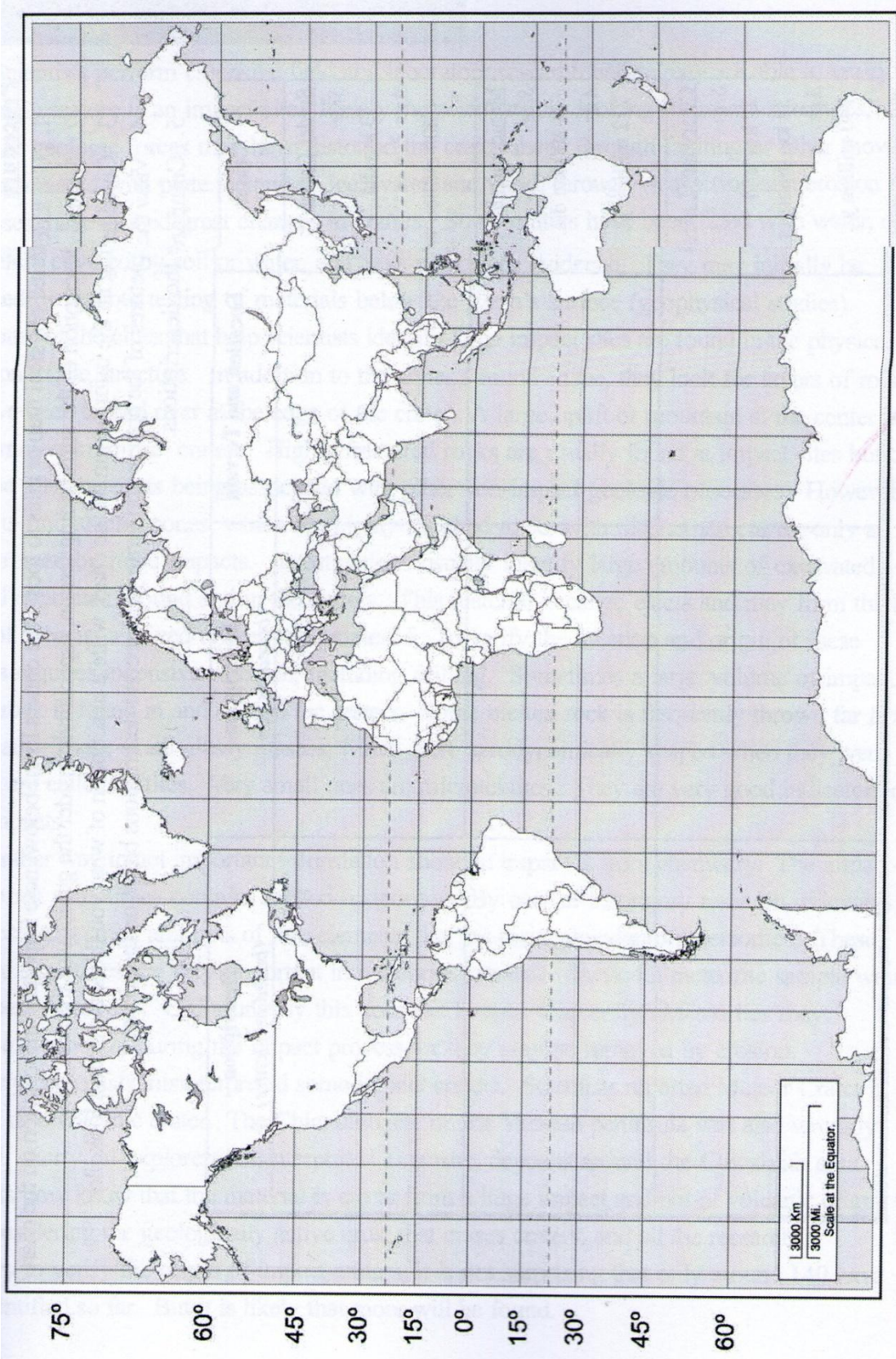
\_\_\_\_\_ /1

c) Koji se od navedenih kratera ne nalazi na kopnu?

\_\_\_\_\_ /1

d) Za svaki krater odredi državu u kojoj se nalazi.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ /17 x 0,5 = 8,5





3. Željezni meteorit promjera 30 m napravi krater promjera 1 km. Koliki je bio promjer željeznog meteorita koji je udario u Zemlju prije 65 milijuna godina, a koji je jedan od uzroka zašto su dinosaurusi izumrli, ako je napravio krater promjera 200 km?

*(Prostor za računanje)*

/2

4. Koristeći poznatu veličinu željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka, izračunaj njegov volumen, ukoliko željezni meteorit ima oblik kugle. Izračunavši volumen odredi masu željeznoga meteorita ukoliko znamo da se on najvećim dijelom sastoji od željeza gustoće  $7,8 \text{ g/cm}^3$ .

*(Prostor za računanje)*

/3

5. Uzevši masu željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka, izračunaj njegovu kinetičku i gravitacijsku potencijalnu energiju ako znamo da se on kretao brzinom 15 km/s na visini od 10 km.

*(Prostor za računanje)*

/4

6. Usporedi kinetičku energiju željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka i kinetičku energiju kamiona težine 500 000 N i brzine 150 km/h. Uzmimo da je  $g$  10 m/s<sup>2</sup>.

*(Prostor za računanje)*

/4

## Rješenje radnog listića 2. Zašto su nastali krateri?

Članovi grupe: Danko – Matko Budimčić, Ivan Deak, Josip Kušić, Antonio Kušić, David Nikšić	Razred: 8. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 17.3.2014.
Broj ostvarenih bodova: 33/33	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor: atlas (ne nužno, prema dogovoru s nastavnikom), kalkulator

Postupak: U sljedećoj su tablici navedeni najpoznatiji krateri na svijetu s njihovim geografskim širinama i dužinama, promjerima i starošću. Potrebno je pomoću tablice riješiti zadatke radnog listića 2.

Krater	Zemljopisna širina	Zemljopisna dužina	Promjer/km	Starost/godine
A	35° sjeverno	111° zapadno	1,2	50 000
B	51° sjeverno	69° zapadno	70 - 100	212 milijuna
C	37° sjeverno	83° zapadno	6	< 300 milijuna
D	56° sjeverno	74° zapadno	22	290 milijuna
E	60° sjeverno	111° zapadno	6	440 milijuna
F	23° sjeverno	90° zapadno	200	65 milijuna
G	31° sjeverno	103° zapadno	13	100 milijuna
H	27° južno	28° istočno	140	1,97 milijardi
I	46° sjeverno	135° istočno	-	46
J	25° sjeverno	77° istočno	5,5	Nepoznata
K	17° južno	126° istočno	13	< 600 milijuna
L	43° sjeverno	90° istočno	6	< 500 milijuna
M	48° sjeverno	104° zapadno	9	200 milijuna
N	32° sjeverno	102° zapadno	0,2	< 50 000

O	41° sjeverno	87° zapadno	13	< 300 milijuna
P	43° sjeverno	95° zapadno	3	65 milijuna
R	36° sjeverno	88° zapadno	14	200 milijuna

1. Na slijepoj karti svijeta ucrtaj kratere označene slovima od A do R.  $8,5 / 17 \times 0,5 = 8,5$

2. Odgovori na sljedeća pitanja:

a) Koji je od navedenih najstariji, a koji najmlađi krater?

Najstariji je H, a najmlađi I. 1 / 1

b) Koji je od navedenih krater najvećega, a koji najmanjega promjera?

F je najvećeg, a N najmanjeg promjera. 1 / 1

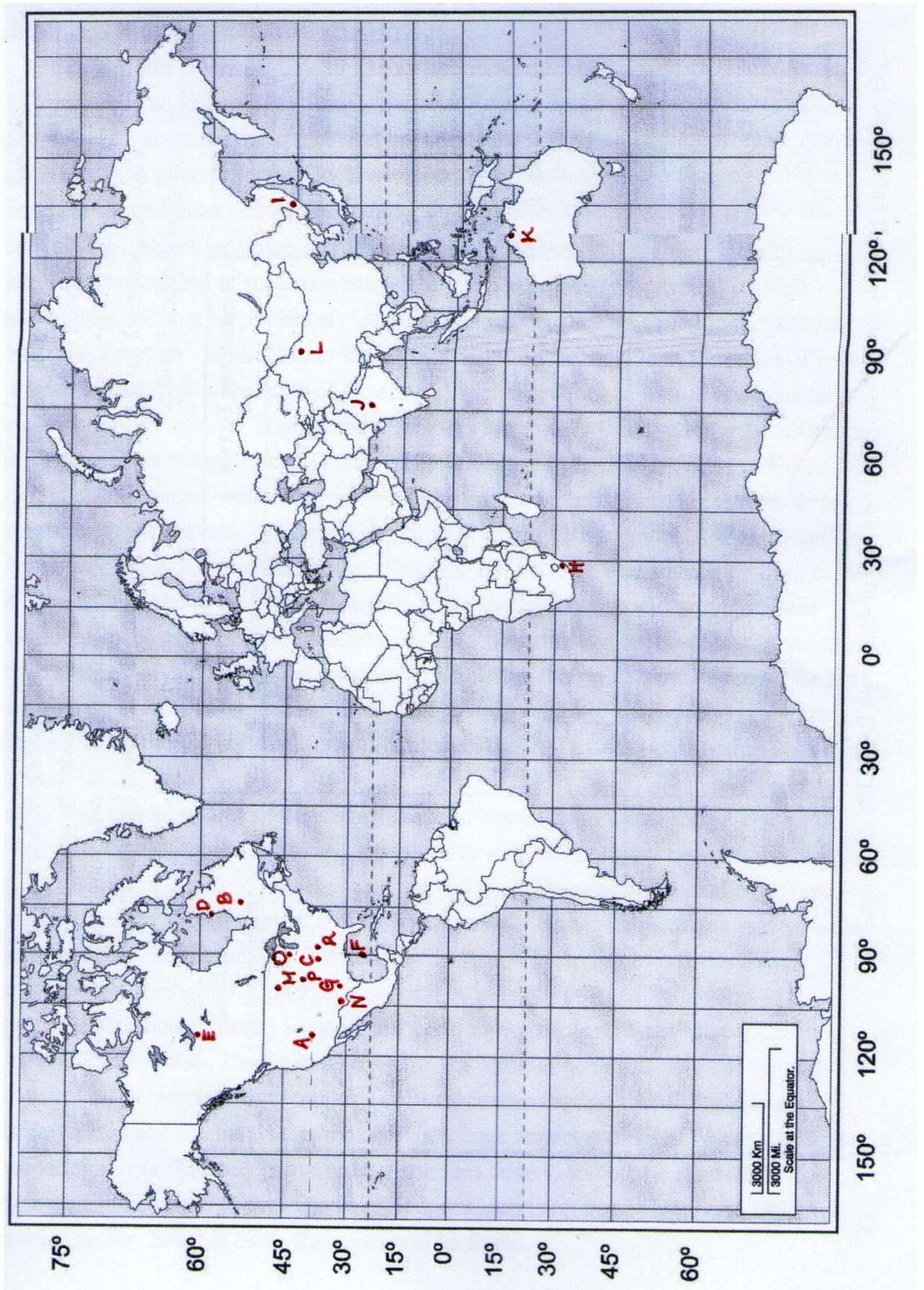
c) Koji se od navedenih kratera ne nalazi na kopnu?

Krater F. 1 / 1

d) Za svaki krater odredi državu u kojoj se nalazi.

Krateri A, C, G, M, N, O, P i R nalaze se u SAD – u, krateri B, D i E u Kanadi, krater F u Meksiku, krater H u JAR – u, krater I u Rusiji, krater J u Indiji, krater K u Australiji i krater L u Kini.  $8,5 / 17 \times 0,5 = 8,5$







3. Željezni meteorit promjera 30 m napravi krater promjera 1 km. Koliki je bio promjer željeznog meteorita koji je udario u Zemlju prije 65 milijuna godina, a koji je jedan od uzroka zašto su dinosauri izumrli, ako je napravio krater promjera 200 km?

*(Prostor za računanje)*

$$d_m = 30 \text{ m} \quad D_m = 1\,000 \text{ m}$$

$$y \quad D_y = 200\,000 \text{ m}$$

---

$$x = ?$$

$$d_m : D_m = y : D_y$$

$$d_m D_y = D_m y$$

$$y = (d_m D_y) / D_m = 6\,000 \text{ m}$$

2 / 2

4. Koristeći poznatu veličinu željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka, izračunaj njegov volumen, ukoliko željezni meteorit ima oblik kugle. Izračunavši volumen odredi masu željeznoga meteorita ukoliko znamo da se on najvećim dijelom sastoji od željeza gustoće  $7,8 \text{ g/cm}^3$ .

*(Prostor za računanje)*

Promjer je 6 000 m, pa je polumjer 3 000 m.

$$V_{\text{meteorit}} = \frac{4}{3} r^3 \pi = \frac{4}{3} \times (3\,000 \text{ m})^3 \times 3,14 = 1,13 \times 10^{11} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{meteorit}} = 7,8 \text{ g/cm}^3 = 7\,800 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{meteorit}} = V_{\text{meteorit}} \times \rho_{\text{meteorit}} = 8,81 \times 10^{14} \text{ kg}$$

3 / 3

5. Uzevši masu željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka, izračunaj njegovu kinetičku i gravitacijsku potencijalnu energiju ako znamo da se on kretao brzinom 15 km/s na visini od 10 km. Uzmimo da je  $g$  10 m/s<sup>2</sup>.

*(Prostor za računanje)*

$$m_{\text{meteorit}} = 8,81 \times 10^{14} \text{ kg}$$

$$v_{\text{meteorit}} = 15 \text{ km/s} = 15\,000 \text{ m/s}$$

$$h = 10 \text{ km} = 10\,000 \text{ m}$$

---

$$E_k, E_{gp} = ?$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 8,81 \times 10^{14} \text{ kg} \times (15\,000 \text{ m/s})^2 = 9,91 \times 10^{22} \text{ J}$$

$$E_{gp} = mgh = 8,81 \times 10^{14} \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} \times 10\,000 \text{ m} = 8,81 \times 10^{19} \text{ J} \quad 4/4$$

6. Usporedi kinetičku energiju željeznoga meteorita iz prethodnoga zadatka i kinetičku energiju kamiona težine 500 000 N i brzine 150 km/h. Uzmimo da je  $g$  10 m/s<sup>2</sup>.

*(Prostor za računanje)*

$$G = 500\,000 \text{ N}$$

$$v = 150 \text{ km/h} = 150 \times (1000/3600) = 41,67 \text{ m/s}$$

---

$$E_k = ?$$

$$G = mg \rightarrow m = G/g = 500\,000 \text{ N}/10 \text{ m/s}^2 = 50\,000 \text{ kg}$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 50\,000 \text{ kg} \times (41,67 \text{ m/s})^2 = 43\,406\,250 \text{ J}$$

Kamion ima puno manju kinetičku energiju od željeznog meteorita. 4/4

### 6.1.3. Vježba 3. Od čega se sastoje željezni meteoriti?

Uputa nastavniku: Nastavnik treba pojasniti učenicima na najjednostavniji način od čega su izgrađeni željezni meteoriti i na primjeru slike Widmanstättenovih lamela pokazati razliku između tamnijeg spoja kamacita i svjetlijeg spoja taenita, te njihove mješavine plesita, da bi učenici znali barem prepoznati što je što. Svakako treba izbjeći korištenje suvišnih pojmova i objašnjenje unutarnje građe meteorita. Ono što je bitno da učenici znaju jest da su kamacit i taenit smjese od željeza i nikla, ali u različitim omjerima. To im je potrebno za interpretaciju dijagrama stabilnosti minerala željeznih meteorita pri određenim temperaturama i masenim udjelima nikla. Ovdje treba naglasiti da je cilj ove vježbe naučiti učenike kako čitati dijagrame i snalaziti se na njima. U ostalim zadacima učenici će provjeriti svoje znanje o masenom udjelu elemenata u smjesi, dakle već obrađeno gradivo kemije. Za vježbu 3. predviđeno je trajanje 45 minuta, odnosno 1 školski sat. Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 3. iznosi 23.



### Radni listić 3. Od čega se sastoje željezni meteoriti?

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor: bojice, kalkulator

Postupak: Riješiti zadatke pomoću priloženoga dijagrama.

1. Dijagram prikazuje ovisnost temperature o masenom udjelu nikla i sastoji se od tri polja.

a) Oboji crveno polje taenita koje je stabilno samo pri visokim temperaturama. /1

b) Oboji plavo polje kamacita koje je stabilno pri nižim temperaturama i malim masenim udjelima nikla. /1

c) Oboji zeleno polje kamacita i taenita koje je stabilno pri nižim temperaturama i većim masenim udjelima nikla. /1

d) Označi točku A koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 5 % pri 900°C. /1

e) Označi točku B koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 25 % pri 400°C. /1

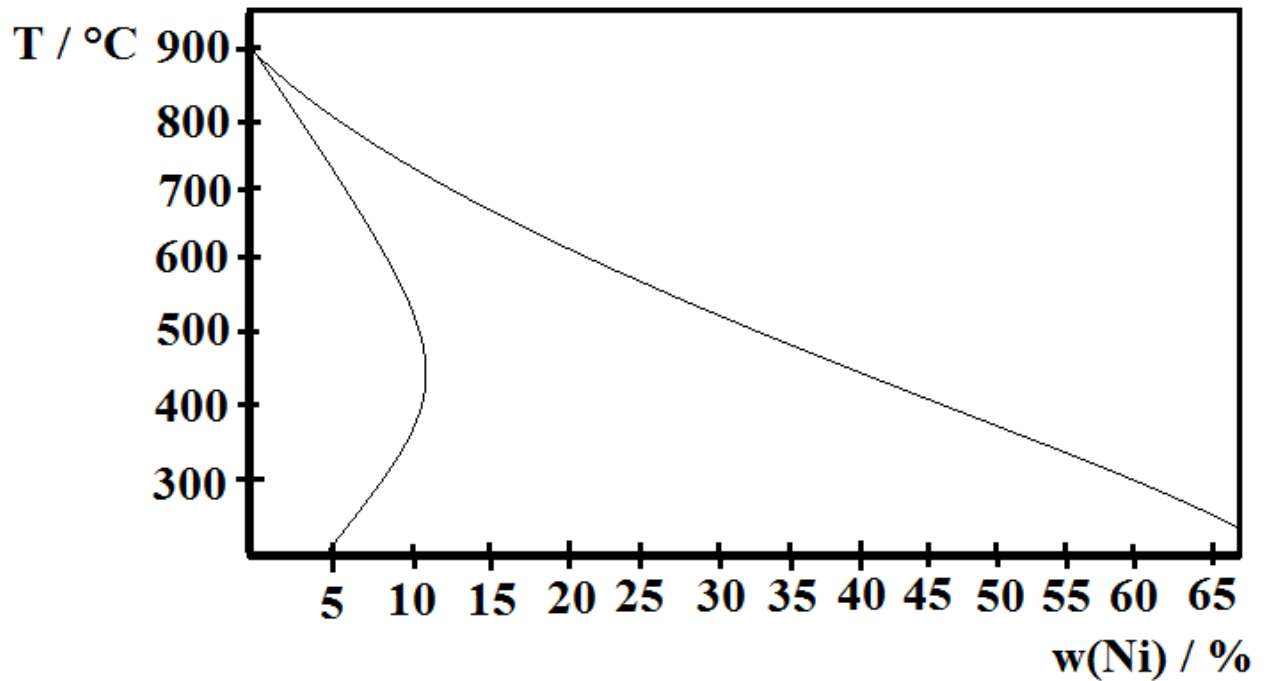
f) Označi točku C koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 60 % pri 600 °C. /1

g) Označi točku D koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 30 % pri 500°C. /1

h) Označi točku E koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 10 % pri 400°C. /1

i) Za svaku točku napiši kojem polju pripada: kamacita K, taenita T ili taenita i kamacita TK.

\_\_\_\_\_ /5



2. Željezni meteorit mase 500 g sastoji se samo od željeza i nikla. Ako je maseni udio željeza 55 %, kolika je masa nikla u tom meteoritu? Je li željezni meteorit izgrađen od kamacita, taenita ili od obje smjese, ako znamo da je stabilan pri 600°C? (Pogledaj dijagram.)

*(Prostor za računanje)*

3. Masa nikla u željeznom meteoritu, koji se sastoji samo od željeza i nikla, jest 44 g, a maseni udio željeza jest 95 %. Izračunaj masu željeza, masu željeznog meteorita i zaključi od koje se smjese, kamacita, taenita, ili od oba, sastoji željezni meteorit ako znamo da je on stabilan pri 600°C. (Pogledaj dijagram.)

*(Prostor za računanje)*

4. Kamacit sadrži 112 g željeza, a taenit 75 g nikla. Kamacit ima maseni udio nikla 7 %, a taenit ima maseni udio željeza 37,5 %. Odredi masu nikla u kamacitu, masu kamacita, masu željeza u taenitu i masu taenita.

*(Prostor za računanje)*

### Rješenje radnog listića 3. Od čega su izgrađeni željezni meteoriti?

Članovi grupe: Danko – Matko Budimčić, Ivan Deak, Josip Kušić, Antonio Kušić, David Nikšić	Razred: 8. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 20.3.2014.
Broj ostvarenih bodova: 23/23	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor: bojice, kalkulator

Postupak: Riješiti zadatke pomoću priloženoga dijagrama.

1. Dijagram prikazuje ovisnost temperature o masenom udjelu nikla i sastoji se od tri polja.

a) Oboji crveno polje taenita koje je stabilno samo pri visokim temperaturama. 1 / 1

b) Oboji plavo polje kamacita koje je stabilno pri nižim temperaturama i malim masenim udjelima nikla. 1 / 1

c) Oboji zeleno polje kamacita i taenita koje je stabilno pri nižim temperaturama i većim masenim udjelima nikla. 1 / 1

d) Označi točku A koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 5 % pri 900°C. 1 / 1

e) Označi točku B koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 25 % pri 400°C. 1 / 1

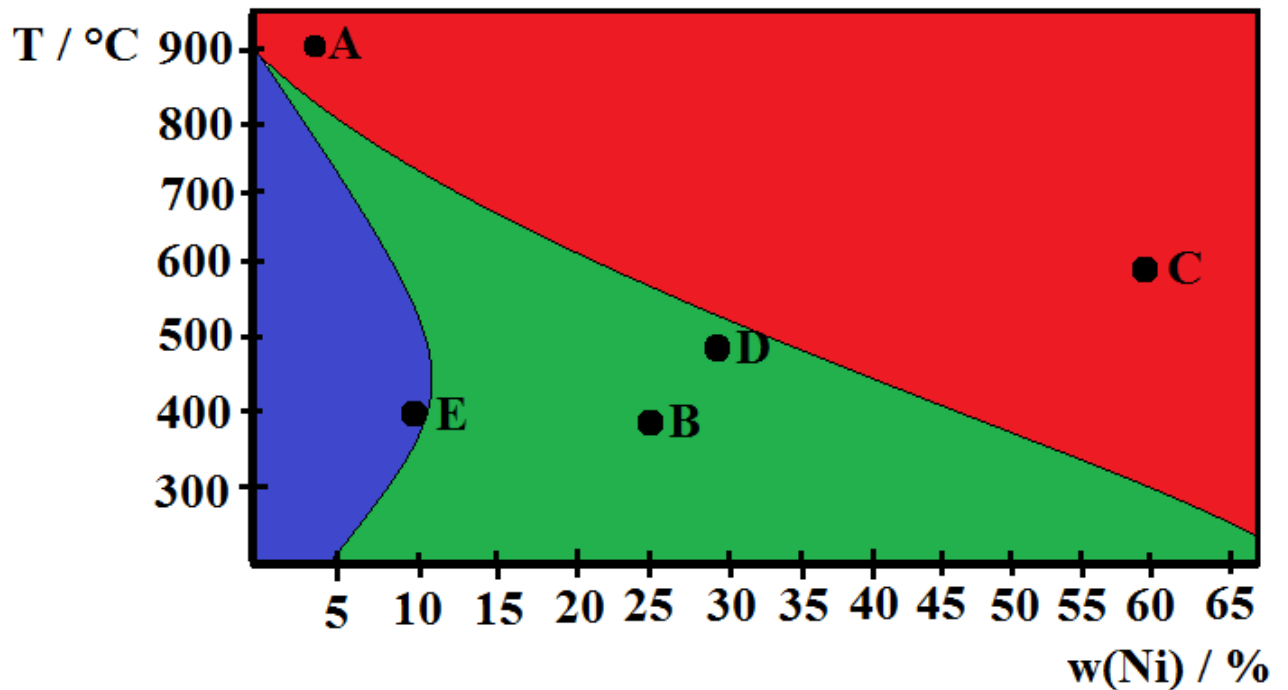
f) Označi točku C koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 60 % pri 600 °C. 1 / 1

g) Označi točku D koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 30 % pri 500°C. 1 / 1

h) Označi točku E koja označava smjesu s masenim udjelom nikla 10 % pri 400°C. 1 / 1

i) Za svaku točku napiši kojem polju pripada: kamacita K, taenita T ili taenita i kamacita TK.

A i C pripadaju T, B i D pripadaju TK i E pripada K. 5 / 5



2. Željezni meteorit mase 500 g sastoji se samo od željeza i nikla. Ako je maseni udio željeza 55 %, kolika je masa nikla u tom meteoritu? Je li željezni meteorit izgrađen od kamacita, taenita ili od obje smjese, ako znamo da je stabilan pri 600°C? (Pogledaj dijagram.)

(Prostor za računanje)

$$m_{\text{meteorit}} = 500 \text{ g}$$

$$w(\text{Fe, meteorit}) = 55 \% = 0,55$$

---


$$m(\text{Ni, meteorit}) = ?$$

$$w(\text{Fe, meteorit}) + w(\text{Ni, meteorit}) = 1$$

$$\rightarrow w(\text{Ni, meteorit}) = 1 - w(\text{Fe, meteorit}) = 1 - 0,55 = 0,45$$

$$m(\text{Ni, meteorit}) = w(\text{Ni, meteorit}) \times m_{\text{meteorit}} = 0,45 \times 500 \text{ g} = 225 \text{ g}$$

Maseni udio nikla u željeznom meteoritu je 45 %, a on je stabilan pri 600°C, što znači da je željezni meteorit izgrađen od taenita.

3 / 3

3. Masa nikla u željeznom meteoritu, koji se sastoji samo od željeza i nikla, jest 44 g, a maseni udio željeza jest 95 %. Izračunaj masu željeza, masu željeznog meteorita i zaključi od kojeg se spoja, kamacita, taenita, ili od oba, sastoji željezni meteorit ako znamo da je on stabilan pri 600°C. (Pogledaj dijagram.)

*(Prostor za računanje)*

$$m(\text{Ni, meteorit}) = 44 \text{ g}$$

$$w(\text{Fe, meteorit}) = 95 \% = 0,95$$

---

$$m(\text{Fe, meteorit}), m_{\text{meteorit}} = ?$$

$$w(\text{Fe, meteorit}) + w(\text{Ni, meteorit}) = 1$$

$$\rightarrow w(\text{Ni, meteorit}) = 1 - w(\text{Fe, meteorit}) = 1 - 0,95 = 0,05$$

$$m_{\text{meteorit}} = m(\text{Ni, meteorit})/w(\text{Ni, meteorit}) = 44 \text{ g}/0,05 = 880 \text{ g}$$

$$m(\text{Fe, meteorit}) = m_{\text{meteorit}} \times w(\text{Fe, meteorit}) = 880 \text{ g} \times 0,95 = 836 \text{ g}$$

Maseni udio nikla je 5 %, a željezni meteorit je stabilan pri 600°C što znači da je izgrađen od kamacita.

4. Kamacit sadrži 112 g željeza, a taenit 75 g nikla. Kamacit ima maseni udio nikla 7 %, a taenit ima maseni udio željeza 37,5 %. Odredi masu nikla u kamacitu, masu kamacita, masu željeza u taenitu i masu taenita.

*(Prostor za računanje)*

$$m(\text{Fe, K}) = 112 \text{ g} \quad w(\text{Ni, K}) = 7 \% = 0,07$$

$$m(\text{Ni, T}) = 75 \text{ g} \quad w(\text{Fe, T}) = 37,5 \% = 0,375$$

---

$$m(\text{Ni, K}), m(\text{K}), m(\text{Fe, T}), m(\text{T}) = ?$$

Kamacit (K):

$$w(\text{Ni, K}) + w(\text{Fe, K}) = 1$$

$$\rightarrow w(\text{Fe, meteorit}) = 1 - w(\text{Ni, meteorit}) = 1 - 0,07 = 0,93$$

$$m(\text{K}) = m(\text{Fe, K})/w(\text{Fe, K}) = 112 \text{ g}/0,93 = 120,4 \text{ g}$$

$$m(\text{Ni, K}) = w(\text{Ni, K}) \times m(\text{K}) = 0,07 \times 120 \text{ g} = 8,4 \text{ g}$$

Taenit (T):

$$w(\text{Ni, T}) + w(\text{Fe, T}) = 1$$

$$\rightarrow w(\text{Ni, T}) = 1 - w(\text{Fe, T}) = 1 - 0,375 = 0,625$$

$$m(\text{T}) = m(\text{Ni, T})/w(\text{Ni, T}) = 75 \text{ g}/0,625 = 120 \text{ g}$$

$$m(\text{Fe, T}) = w(\text{Fe, T}) \times m(\text{T}) = 0,375 \times 120 \text{ g} = 45 \text{ g}$$



#### 6.1.4. Vrijednovanje osnovnoškolskog mini projekta

Ukupan broj bodova koji se može ostvariti na mini projektu jest 82; 26 bodova za vježbu 1, kojom se provjerava znanje o znanstvenom zapisu rezultata istraživanja i pretvorbi mjernih jedinica, 33 boda za vježbu 2, kojom se provjerava znanje o fizikalnim zakonima i snalaženju na karti svijeta iz geografije, te 23 boda za vježbu 3, kojom se provjerava znanje očitavanja dijagrama i znanje masenog udjela elementa u spoju iz kemije. U *tablici 14.* nalazi se prijedlog ocjenjivanja.

*Tablica 14.* Prijedlog ocjenjivanja za provedeni mini projekt za osnovnu školu.

Raspon bodova	Ocjena
0 – 41	Nedovoljan
42 – 51	Dovoljan
52 – 61	Dobar
62 – 71	Vrlo dobar
72 - 82	Izvrstan

#### 6.2. Mini projekt za srednju školu

Mini projekt za srednju školu predviđen je za učenike četvrtih razreda gimnazija, odnosno učenike trećih i četvrtih razreda kemijske srednje škole. Predviđeno trajanje mini projekta jest 270 minuta, odnosno 6 školskih sati s rasporedom od dva sata i dva dvosata. Za razliku od mini projekta predviđenoga za osnovnu školu, gdje učenici nisu imali poseban sat za upoznavanje stručne terminologije, mini projekt za srednju školu previđa obradu novoga gradiva i upoznavanje sa stručnom terminologijom, no ne predetaljno, budući da učenici srednjoškolske razine imaju potrebna znanja koja im omogućuju praćenje takove nastave. Kroz mini projekt učenici će ponoviti i proširiti znanja stečena na satima kemije, fizike i matematike. Mini projekt obuhvaća 5 komponenata: 2 predavanja i 3 vježbe. Baš kao i za osnovnu školu, mini projekt za srednju školu predviđen je za grupe učenika, od 4 do 6, ovisno o veličini razreda. Tijekom dvaju predavanja učenici će naučiti razlikovati termine meteor, meteoroid i meteorit, naučit će od čega se sastoje željezni meteoriti, odnosno koji su najzastupljeniji minerali u njima. Na taj način ponovit će

gradivo kemije. Osim kemije i fizike, naučit će osnovne pojmove vezane za spektrofotometriju, kako bi mogli protumačiti spektre, odnosno dovesti u odnos intenzitet obojenja i množinsku koncentraciju analita, odnosno određivane tvari. Kroz tri vježbe učenici će osim ponavljanja gradiva uvježbati samoopažanje i izražavanje, odnosno razviti vlastito kritičko mišljenje. Osim predavanja, učenici trebaju pregledati internetske stranice kao izvor literature kako bi olakšali i sebi i nastavniku. Internet može čak poslužiti i kao izvor za izradu novih mini projekata. Nastavnik na predavanjima treba usmjeriti pozornost na učenike i njihovo snalaženje u mnogobrojnim izvorima literature. Predavanja svakako ne trebaju biti isključivo frontalni rad nastavnika, već nastavnik treba biti samo vodič kroz upoznavanje meteorita, odnosno pomagač ako nešto vezano za tu tematiku zaista nije jasno.

### **6.2.1. Predavanje 1. Osnovne značajke meteorita**

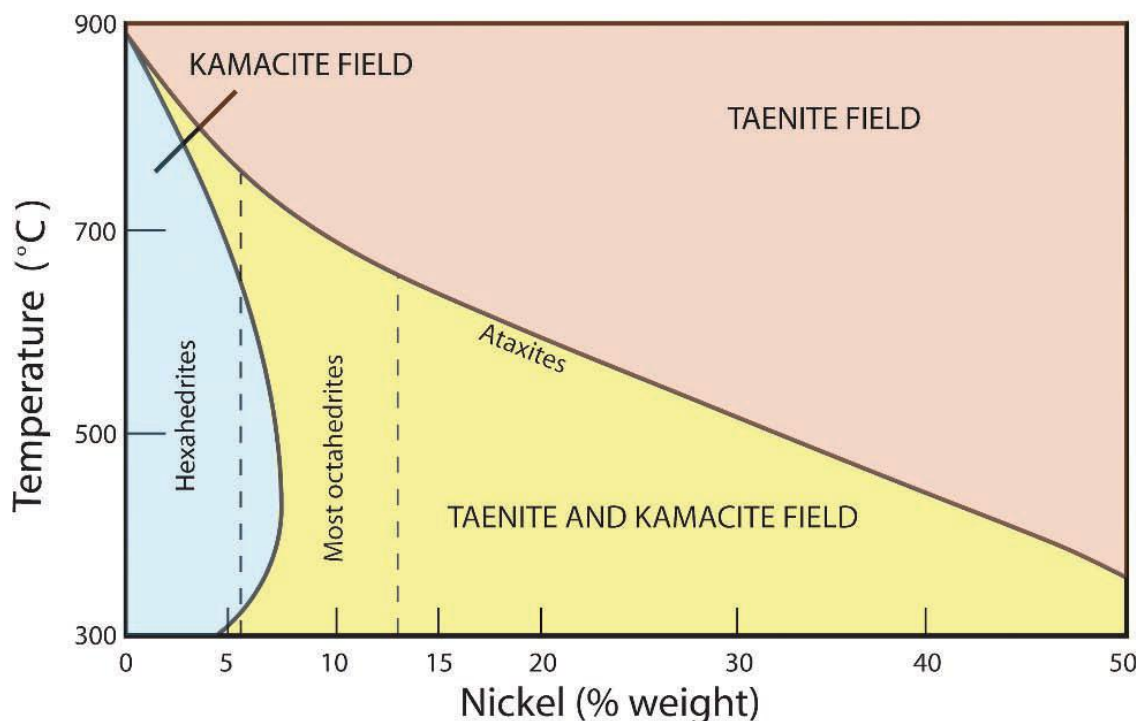
Uputa nastavniku: Nastavnik sam odabire metodu kojom će, prema njegovom mišljenju, učenici najbolje shvatiti i upoznati se s navedenom tematikom. Najbolje je pripremiti Power Point prezentaciju (PPT) sa slikama, časopise i knjige o meteoritima te, ako je moguće, osigurati povezivnost na internet (rad u računalnoj učionici). U sljedećem tekstu nalazi se glavna gradiva koju treba obraditi na ovom predavanju. Predviđeno trajanje predavanja je 45 minuta, odnosno 1 školski sat.

Umjesto termina „zvijezda padalica“ koji se u narodu koristi za pojavu vidljivu na noćnom nebu trebali bismo koristiti ispravan naziv *meteor*. Meteor nije objekt koji možemo držati u ruci, već pod pojmom meteor podrazumijevamo svjetleći efekt nastao usljed zagrijavanja tijela do usijanja pri ulasku u Zemljinu atmosferu velikom brzinom zbog otpora zraka. Pojam *meteorit* označava tijelo određenoga kemijskoga sastava vanzemaljskoga podrijetla koji je preživio ulazak u Zemljinu atmosferu, dok *meteoroid* označava čvrsto tijelo mase i veličine manje od planeta, ali koji ima neovisnu putanju, odnosno orbitu u svemiru.

Meteoriti se međusobno razlikuju prema veličini i obliku, no najvažnije, razlikuju se prema svom kemijskom sastavu. Meteoriti se dijele na kamene, željezne i kameno-željezne. U kamenim meteoritima može se naći osam različitih kemijskih elemenata, koji su nabrojani prema zastupljenosti: kisik, silicij, natrij, kalcij, kalij, aluminij, magnezij i

željezo. Osnovna je struktura silikatni ion tetraedarske strukture  $\text{SiO}_4^{4-}$ , dok je od minerala najzastupljeniji olivin, mineral žutozelene boje čiji se sastav opisuje formulom  $(\text{Fe, Mg})\text{SiO}_4$ , a koji uglavnom čini hondre, male kuglice veličine od 0,1 mm pa do zrna graška, prema kojima je i najzastupljenija skupina kamenih meteorita i dobila ime hondriti. Hondriti čine 60 % svih meteorita, a čak 85 % kamenih meteorita. Kameno-željezni meteoriti grupa su meteorita koji sadrže jednake omjere silikatnih materijala i željezno - nikalne legure, od kojih su najbrojniji palasit i mezosiderit.

Željezni meteoriti zapravo su željezno - nikalna legura. Ukoliko sadrže malen postotak nikla (do 7,5 %) imaju strukturu minerala kamacita s jediničnom ćelijom  $\alpha$  - željeza, odnosno prostorno centriranom kubičnom rešetkom, dok oni s većim udjelom nikla (od 20 do 45 %) imaju strukturu minerala taenita s jediničnom ćelijom  $\gamma$  - željeza, odnosno plošno centriranom kubičnom rešetkom.



Slika 23. Fazni dijagram stabilnosti željezno - nikalne legure prikazuje stabilnost taenita, kamacita te taenita + kamacita za različite vrijednosti temperature i različite masene udjele nikla. [2]

Željezni se meteoriti prema strukturnoj klasifikaciji dijele u tri velike skupine, a to su heksaedriti (H), oktaedriti (O) te ataksiti (D), baš kao što je vidljivo na slici 23. faznog dijagrama stabilnosti legure željezo - nikel. Heksaedriti su željezni meteoriti koji sadržavaju najmanje nikla, uobičajeno manje od 6 %. Oni se sastoje od gotovo čistoga kamacita. Kada se napravi njihov presjek, ne pokazuju Widamanstättenove lamele, već presječna ploha ima set finih paralelnih linija debljine od 1 do 10  $\mu\text{m}$  koje prikazuju jako tanke uduplane lamele na plohama kamacitne kristalne rešetke. Ovu je strukturu prvi puta opisao Ernst Neumann 1848. godine te se prema njemu nazivaju Neumannovim linijama. Te se ravnine u većini slučajeva ne vide golim okom, ali ako je meteor preživio intenzivni šok, slabe točke, kao što su uduplane ravnine kristalne rešetke, pokazuju klizanje uzduž ravnina paralelnih plohama kocke, te to mehaničko uduplanje postaje vidljivo kao višestruki set finih paralelnih linija. [2], [4]



*Slika 24.* (Lijevo) Ovaj željezni meteorit mase 19,5 g pokazuje efekt nagloga zagrijavanja njegove površine. Njegova oktaedarska struktura potpuno je rekristalizirana te se zamjećuju Neumannove linije. (Desno) Komad željeznoga meteorita Cape York pronađenoga na Grenlandu 1818. Širina trakica je 1,2 mm. Tamna područja uzduž kamacitnih trakica predstavljaju plesit. [2]

### 6.2.2. Vježba 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita

Uputa nastavniku: Nastavnik treba pripremiti pribor i kemikalije određene radnim listićem 1. Kada učenike podijeli u grupe, od 4 do 6 članova, svakoj daje po jedan radni listić. Budući da se radi s opasnim kemikalijama, nastavnik mora naglasiti kako je bitno oprezno raditi navedenu vježbu. Učenicima s dužom kosom treba obavezno naglasiti da ju povežu, a predstavnicima grupa koji rade s kiselinama obavezno treba podijeliti zaštitne rukavice i naočale. Podrazumijeva se da svi učenici trebaju nositi zaštitne kute. Budući da rad ove vježbe ovisi o količini uzorka, treba raspodijeliti zadatke na taj način da svaka grupa sve vidi, kako bi mogla riješiti zadatke predviđene za ovu vježbu. U vježbi je predviđen „najgori slučaj“, odnosno da ima samo jedan uzorak za razred, pa je nastavniku prepuštena raspodjela zadataka. Učenicima treba naglasiti da uzorak 2. u vježbi 1. trebaju spremati za sljedeći pokus.

Učenici će kroz vježbu 1. naučiti kako pravilno rukovati opasnim tvarima, provjerit će svoje sposobnosti samoopažanja te će razvijati vlastito kritičko mišljenje. Učenici će ovom vježbom obnoviti svoja znanja iz anorganske i fizikalne kemije, te će naučiti kako se zapisuju rezultati znanstvenog istraživanja i ponoviti pretvorbu mjernih jedinica. U tablici predviđenoj za unos izmjerene mase u gramima, učenici trebaju pretvoriti masu iz grama u kilograme i miligrame.

Bitno je napomenuti da nastavnik treba djeci naglasiti koliko značajnih znamenaka treba biti u zapisu rezultata mjerenja i pretvorbi; više o značajnim znamenkama može se naći u literaturi [1].

Predviđeno trajanje ove vježbe je 90 minuta, odnosno 1 dvosat. Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 1. iznosi 33.

### Radni listić 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor i kemikalije: vaga, željezni meteorit, kompas, HCl (conc.), HNO<sub>3</sub> (conc.), dijamantna pila, brusni prahovi (600 i 1000), 2 čaše od 200 mL, satno stakalce

**OPASKA: Koncentrirana klorovodična i dušična kiselina jako su korozivne, OBAVEZNA upotreba zaštitne kute, rukavica i naočala. Uzorak 2 spremite za sljedeći pokus.**

Postupak:

a) Uzmite meteorit u ruku, te procijenite njegovu masu. Izvažite ga tri puta i popunite sljedeću tablicu te riješite zadatak 1.

b) Primaknite mu kompas. Meteorit uzmite i lagano pomičite spram kompasa. Odgovorite na pitanje 2.

c) Tehničar će vam prerezati željezni meteorit na 4 dijela.

I) Jedan dio ostavite na satnome stakalcu.

II) Drugi dio stavite u čašu te u nju usipajte barem 20 mL koncentrirane klorovodične kiseline. Promotrite što se događa.

III) Treći dio stavite u čašu te dodajte malo koncentrirane dušične kiseline, toliko da prekrije vaš uzorak. Promotrite što se događa.

IV) Četvrti dio navlažite vodom te uzmite i brusite s prahom 600 (grublji) laganim kružnim pokretima nekoliko minuta, isperite ga vodom, te postupak ponoviti 3 puta, nakon toga

isto treba napraviti s brusnim prahom 1000 (finiji). Pri brušenju se učenici mogu izmjenjivati.

Mjerenje (A) i pretvorbe (a, b)	1	2	3
a. Masa/mg			
A. Masa/g			
b. Masa/kg			

/9x0,5 = 4,5

1. a) Srednja vrijednost mase:  $m_s = \text{_____} \text{ mg} = \text{_____} \text{ g} = \text{_____} \text{ kg}$  /3x0,5 = 1,5

b) Maksimalna apsolutna pogreška:  $m_m = |m_s - m_{\min}|$  ili  $m_m = |m_{\max} - m_s|$

(Od dviju relacija, koristi se ona za koju je apsolutna pogreška veća.)

$m_m = \text{_____}$  /1

c) Zapis rezultata:  $(m_s \pm m_m) = (\text{_____}) \text{ g}$  /1

2. Što zapažate kada meteorit lagano primičete i odmičete od kompasu? Što je tomu uzrok? Svoj odgovor potkrijepi pisanjem pripadajuće elektronske konfiguracije pomoću najbližega plemenitoga plina.

\_\_\_\_\_ /2

3. Što se dogodilo s uzorkom br. 1 meteorita kojeg ste ostavili na satnome stakalcu, promotrite njegovu površinu.

\_\_\_\_\_ /1

4. Što se događa s uzorkom br. 2 meteorita kojem ste dodali koncentriranu klorovodičnu kiselinu? Potvrdi odgovor kemijskom jednadžbom pisanjem oksidacijskoga stanja svakog elementa, a pri objašnjenju koristi pojmove elektrokemijski niz, oksidans i reducens.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Što se događa s uzorkom br. 3 meteorita kojem ste dodali koncentriranu dušičnu kiselinu? Zašto ona ne otapa vaš meteorit?

---

---

---

---

6. Zašto je bitno pri brušenju činiti kružne pokrete?

---

---

---

---

7. Za reakciju željeza iz meteorita s koncentriranom klorovodičnom kiselinom odredite toplinu koja se oslobodi ili utroši ukoliko naš uzorak meteorita ima masu 0,5 kg, a znamo da se radi o oktaedritu s masenim udjelom nikla 10 %. Zadana je standardna entalpija stvaranja klorovodične kiseline koja iznosi  $-92,3 \text{ kJ/mol}$ , te standardna entalpija stvaranja željezovog (II) klorida koja iznosi  $-477,2 \text{ kJ/mol}$ .

*(Prostor za računanje)*



/6

8. Oktaedrit s masenim udjelom nikla od 12,5 % reagira s koncentriranom klorovodičnom kiselinom. Da bi se cijeli uzorak otopio, potrebno nam je 40 mL kiseline. Koliki se volumen vodika razvija pri s.u.? Pretpostavimo da s kiselinom reagira samo nikal.

*(Prostor za računanje)*

/8

## Rješenje radnog listića 1. Fizikalna svojstva željeznih meteorita

Članovi grupe: Lucija Budimčić, Anamarija Stilin, Mirela Grinfelder, Ivana Radošević, Anamaria Štrk	Razred: 4. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 11.11.2013.
Broj ostvarenih bodova: 33/33	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor i kemikalije: vaga, željezni meteorit, kompas, HCl (conc.), HNO<sub>3</sub> (conc.), dijamantna pila, brusni prahovi (600 i 1000), 2 čaše od 200 mL, satno stakalce

**OPASKA: Koncentrirana klorovodična i dušična kiselina jako su korozivne, OBAVEZNA upotreba zaštitne kute, rukavica i naočale. Uzorak 2 spremite za sljedeći pokus.**

### Postupak:

- a) Uzmite meteorit u ruku, te procijenite njegovu masu. Izvažite ga tri puta i popunite sljedeću tablicu te riješite zadatak 1.
- b) Primaknite mu kompas. Meteorit uzmite i lagano pomičite spram kompasa. Odgovorite na pitanje 2.
- c) Tehničar će vam prerezati željezni meteorit na 4 dijela.
  - I) Jedan dio ostavite na satnome stakalcu.
  - II) Drugi dio stavite u čašu te u nju usipajte barem 20 mL koncentrirane klorovodične kiseline, Promotrite što se događa.
  - III) Treći dio stavite u čašu te dodajte malo koncentrirane dušične kiseline, toliko da prekrije vaš uzorak. Promotrite što se događa.
  - IV) Četvrti dio navlažite vodom te uzmite i brusite s prahom 600 (grublji) laganim kružnim pokretima nekoliko minuta, isperite ga vodom, te postupak ponoviti 3 puta, nakon toga

isto treba napraviti s brusnim prahom 1000 (finiji). Pri brušenju se učenici mogu izmjenjivati.

Mjerenje (A) i pretvorbe (a, b)	1	2	3
a. Masa/mg	452 000	451 000	450 000
A. Masa/g	452	451	450
b. Masa/kg	0,452	0,451	0,450

$$4,5 / 9 \times 0,5 = 4,5$$

1. a) Srednja vrijednost mase:  $m_s = 451\,000\text{ mg} = 451\text{ g} = 0,451\text{ kg}$  1,5 / 3 \times 0,5 = 1,5

b) Maksimalna apsolutna pogreška:  $m_m = |m_s - m_{\min}|$  ili  $|m_m = m_{\max} - m_s|$

(Od dviju relacija, koristi se ona za koju je apsolutna pogreška veća.)

$$m_m = 452 - 451 = 11 / 1$$

c) Zapis rezultata:  $(m_s \pm m_m) = (451 \pm 1)\text{ g}$  1 / 1

2. Što zapažate kada meteorit lagano primičete i odmičete od kompasu? Što je tomu uzrok? Svoj odgovor potkrijepi pisanjem pripadajuće elektronske konfiguracije pomoću najbližega plemenitoga plina.

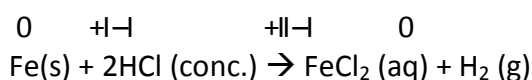
Magnetna igla kompasu lagano se zakreće što znači da je uzorak magnetičan. Magnetičan je jer sadrži željezo:  $[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$  (Ima 4 nesparena elektrona). 2 / 2

3. Što se dogodilo s uzorkom br. 1 meteorita kojeg ste ostavili na satnome stakalcu, promotrite njegovu površinu.

Površina više nije sjajna, korodirala je. 1 / 1

4. Što se događa s uzorkom br. 2 meteorita kojem ste dodali koncentriranu klorovodičnu kiselinu? Potvrdi odgovor kemijskom jednažbom pisanjem oksidacijskoga stanja svakog elementa, a pri objašnjenju koristi pojmove elektrokemijski niz, oksidans i reducens.

Uzorak meteorita koji smo ostavili u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini se otapa.



Željezo se oksidira ( $0 \rightarrow +2$ ), a vodik se reducira ( $+1 \rightarrow 0$ ), što znači da je željezo reducent, a vodikovi ioni oksidans. Reakcija je moguća jer željezo ima negativniji elektrodni potencijal od vodika pa ga istiskuje iz kiselina. 4 / 4

5. Što se događa s uzorkom br. 3 meteorita kojem ste dodali koncentriranu dušičnu kiselinu? Zašto ona ne otapa vaš meteorit?

Koncentrirana dušična kiselina je jako oksidacijsko sredstvo pa na površini željeza stvara sloj oksida koji sprječava njegovu daljnju oksidaciju. 2 / 2

6. Zašto je bitno da pri brušenju činite kružne pokrete?

Bitno je činiti kružne pokrete kako ne bismo napravili paralelne ogrebotine koje bi sličile Neumannovim linijama, pa bi se uzorak pogrešno klasificirao. 2 / 2

7. Za reakciju željeza iz meteorita s koncentriranom klorovodičnom kiselinom odredite toplinu koja se oslobodi ili utroši ukoliko naš uzorak meteorita ima masu 0,5 kg, a znamo da se radi o oktahedritu s masenim udjelom nikla 10 %. Zadana je standardna entalpija stvaranja klorovodične kiseline koja iznosi -92,3 kJ/mol, te standardna entalpija stvaranja željezovog (II) klorida koja iznosi -477,2 kJ/mol.

*(Prostor za računanje)*

$$\text{HCl}(\text{conc.}) \rightarrow w(\text{HCl}) = 0,36, \rho(\text{HCl}) = 1,18 \text{ g/mL}$$

$$m_{\text{oktahedrit}} = 0,5 \text{ kg} = 500 \text{ g}$$

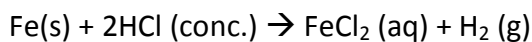
$$w(\text{Ni, oktahedrit}) = 0,1 \rightarrow w(\text{Fe, oktahedrit}) = 0,9$$

$$\Delta_f H(\text{HCl, aq}) = -92,03 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f H(\text{FeCl}_2, \text{aq}) = -477,2 \text{ kJ/mol}$$

---

$$Q = ?$$



$$\Delta_r H = \sum \nu \Delta_f H(\text{Produkti}) - \sum \nu \Delta_f H(\text{Reaktanti})$$

$$\Delta_r H = \Delta_f H(\text{FeCl}_2, \text{aq}) + \Delta_f H(\text{H}_2, \text{g}) - \Delta_f H(\text{Fe, s}) - 2\Delta_f H(\text{HCl, aq})$$

$$\Delta_r H = [-477,2 + 0 - 0 - 2 \times -92,03] \text{ kJ/mol} = -293,14 \text{ kJ/mol}$$

$$m(\text{Fe, s}) = w(\text{Fe, oktahedrit}) \times m_{\text{oktahedrit}} = 0,9 \times 500 \text{ g} = 450 \text{ g}$$

$$n(\text{Fe, s}) = m(\text{Fe, s})/M(\text{Fe, s}) = 450 \text{ g}/55,845 \text{ g mol}^{-1} = 8,06 \text{ mol}$$

$$Q = \Delta_r H \times n = -293,14 \text{ kJ/mol} \times 8,06 \text{ mol} = -2\,362,13 \text{ kJ} \rightarrow \text{Toplina se oslobađa.} \quad 6/6$$

8. Oktaedrit s masenim udjelom nikla od 12,5 % reagira s koncentriranom klorovodičnom kiselinom. Da bi se cijeli uzorak otopio, potrebno nam je 40 mL kiseline. Koliki se volumen vodika razvija pri s.u.? Pretpostavimo da s kiselinom reagira samo nikal.

*(Prostor za računanje)*

$$w(\text{Ni, oktahedrit}) = 0,125$$

$$V(\text{HCl, conc.}) = 40 \text{ mL} = 0,04 \text{ L}$$

$$\text{HCl (conc.)} \rightarrow w(\text{HCl, conc.}) = 0,36 \text{ i } \rho(\text{HCl, conc.}) = 1,18 \text{ g/mL} = 1\,180 \text{ g/L}$$

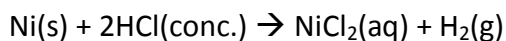
---

$$V(\text{H}_2, \text{g}) = ?$$

$$c(\text{HCl, conc.}) = [w(\text{HCl, conc.}) \times \rho(\text{HCl, conc.})]/M(\text{HCl, conc.})$$

$$c(\text{HCl, conc.}) = (0,36 \times 1\,180 \text{ g/L})/36,461 \text{ g/mol} = 11,65 \text{ M}$$

$$n(\text{HCl, conc.}) = c(\text{HCl, conc.}) \times V(\text{HCl, conc.}) = 11,65 \text{ M} \times 0,04 \text{ L} = 0,47 \text{ mol}$$



$$n(\text{HCl}) : n(\text{H}_2) = 2 : 1 \rightarrow n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{HCl}) = 0,23 \text{ mol}$$

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \times V_m = 0,23 \text{ mol} \times 22,44 \text{ L/mol} = 5,23 \text{ L}$$

8 / 8

### 6.2.3. Vježba 2. Specifični reagensi za dokazivanje željezovih i niklovih iona

Uputa nastavniku: Nastavnik treba pripremiti pribor i kemikalije određene vježbom 2, te pripremiti uzorak 2. iz prethodne vježbe kako bi se s njim moglo raditi. Ovisno o broju skupina, toliko setova pribora treba biti priređeno, dok kemikalije učenici mogu koristiti zajedno. Budući da se uzorak 2. iz prethodne vježbe treba raspodijeliti u dvije epruvete, najbolje je da ga nastavnik raspodijeli tako, da svaka skupina ima po dvije epruvete toga uzorka. Otopine niklovog (II) klorida i željezovog (III) klorida trebaju biti iste množinske koncentracije, koja nije strogo definirana, dakle, nastavnik ih sam priprema prema svojoj želji. Učenicima treba naglasiti da uzorak iz ovoga pokusa, kojemu su dodali tetrakalijevog heksacijanoferata (II), treba spremati za iduću vježbu.

Učenici će kroz ovu vježbu naučiti kojim se reagensima mogu dokazati ioni željeza i nikla, te će ponoviti kompleksne spojeve. Učenicima mora biti dostupna literatura o specifičnim reagensima prijelaznih metala kako bi mogli riješiti zadatke ove vježbe. Literatura se nalazi na kraju rada. [2], [11] Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 2. iznosi 17. Predviđeno vrijeme za rješavanje ove vježbe jest 45 minuta, odnosno 1 školski sat.

## Radni listić 2. Specifični reagensi za dokazivanje željezovih i niklovih iona

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor i kemikalije: Otopina tetrakalijevog heksacijanoferata(II) i otopina dimetilglioksima, uzorak br. 2 iz vježbe 1. otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini, otopina niklovog (II) klorida, otopina željezovog (III) klorida, 4 epruvete za svaku grupu učenika.

### Postupak:

a) Uzorak 2, otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini, dobit ćete od nastavnika, a bit će raspodijeljen u dvije epruvete. U prvu epruvetu s uzorkom 2 dodajte dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II), a u drugu dimetilglioksima. Uočite promjene boje.

**OPASKA: Uzorak kojem ste dodali dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) spremite za sljedeću vježbu.**

b) U treću, praznu epruvetu, sipajte malo niklovog (II) klorida i dodajte mu dvije kapi dimetilglioksima.

c) U četvrtu, praznu epruvetu, sipajte malo željezovog (III) klorida i dodajte mu dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II).

1. Nacrtajte sve četiri epruvete te prikažite boje otopina prije i nakon dodavanja pojedinog reagensa. Razlikuju li se boje otopina čistih tvari i smjesa tvari?

*(Prostor za crtanje i pisanje)*

/7

2. Napišite formulu tetrakalijevog heksacijanoferata (II).

\_\_\_\_\_ /1



3. Napišite jednadžbu reakcije tetrakalijeovog heksacijanoferata (II) sa željezovim (III), odnosno niklovim (II) ionom.

---

---

---

/4

4. Kolika je molalnost otopine dimetilgliksima molekulske formule  $C_4H_8O_2N_2$ , koji je reagens za dokazivanje nikla, ako je masa etanola u kojem je otopljen 200 g, a znamo da s niklom reagira u omjeru  $1:2 = n(Ni):n(\text{dimetilgliksim})$ . Masa otopljenog ataksita iznosi 500 g, a poznat je podatak da on sadrži 26 % nikla.

*(Prostor za računanje)*

/5

## Rješenje radnog listića 2. Specifični reagensi za dokazivanje željezovih i niklovih iona

Članovi grupe: Lucija Budimčić, Anamarija Stilin, Mirela Grinfelder, Ivana Radošević, Anamaria Štrk	Razred: 4. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 14.11.2013.
Broj ostvarenih bodova: 17/17	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor i kemikalije: Otopina tetrakalijevog heksacijanoferata(II) i otopina dimetilglioksima, uzorak br. 2 iz vježbe 1. otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini, otopina niklovog (II) klorida, otopina željezovog (III) klorida, 4 epruvete za svaku grupu učenika

### Postupak:

a) Uzorak 2, otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini, dobit ćete od nastavnika, a bit će raspodijeljen u dvije epruvete. U prvu epruvetu s uzorkom 2 dodajte dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II), a u drugu dimetilglioksima. Uočite promjene boje.

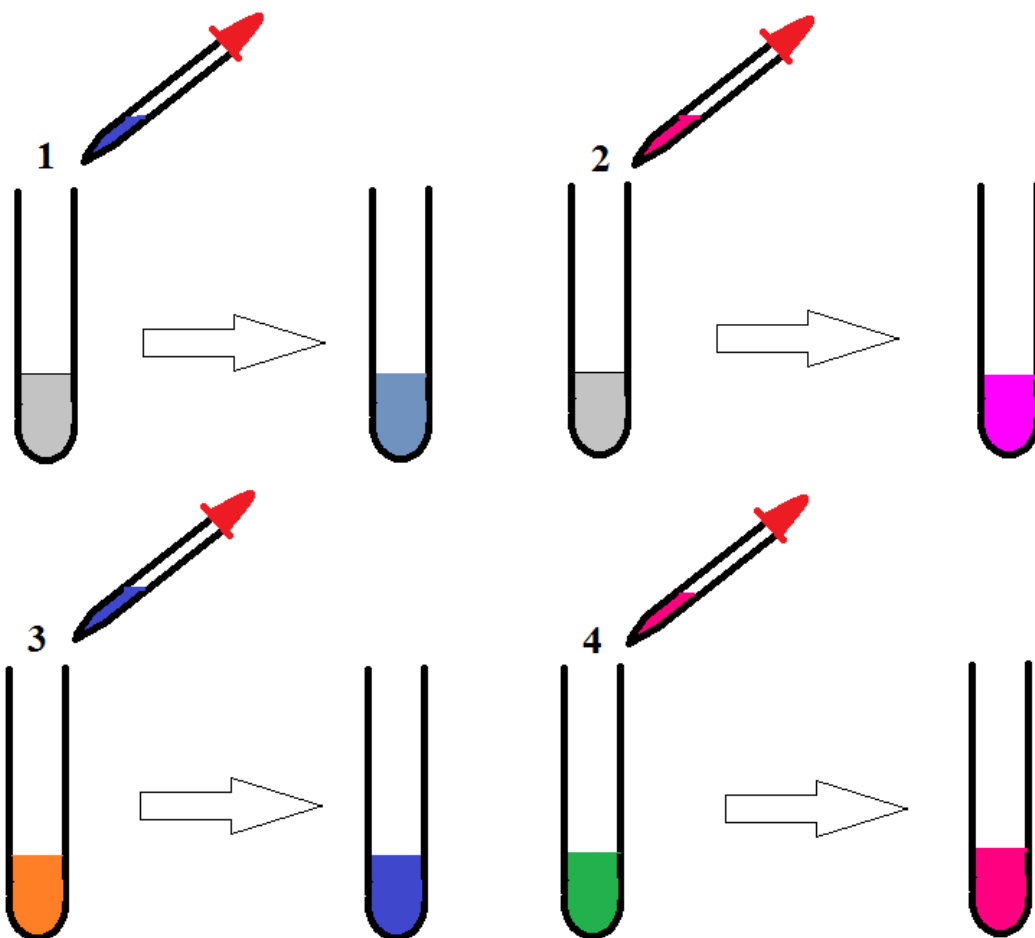
**OPASKA: Uzorak kojem ste dodali dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) spremite za sljedeću vježbu.**

b) U treću, praznu epruvetu, sipajte malo niklovog (II) klorida i dodajte mu dvije kapi dimetilglioksima.

c) U četvrtu, praznu epruvetu, sipajte malo željezovog (III) klorida i dodajte mu dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II).

1. Nacrtajte sve četiri epruvete te prikažite boje otopina prije i nakon dodavanja pojedinog reagensa. Razlikuju li se boje otopina čistih tvari i smjesa tvari?

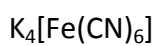
(Prostor za crtanje i pisanje)



Boje otopina čistih tvari i smjesa tvari razlikuju se.

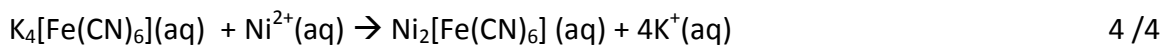
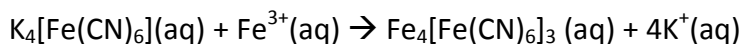
7 / 7

2. Napišite formulu tetrakalijevog heksacijanoferrata (II).



1 / 1

3. Napišite jednadžbu reakcije tetrakalijeovog heksacijanoferata (II) sa željezovim (III), odnosno niklovim (II) ionom.



4. Kolika je molalnost otopine dimetilglioksima molekulske formule  $C_4H_8O_2N_2$ , koji je reagens za dokazivanje nikla, ako je masa etanola u kojem je otopljen 200 g, a znamo da s niklom reagira u omjeru  $1:2 = n(Ni):n(\text{dimetilglioksim})$ . Masa otopljenog ataksita iznosi 500 g, a poznat je podatak da on sadrži 26 % nikla.

*(Prostor za računanje)*

$$m(C_2H_5OH) = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$$

$$1:2 = n(Ni):n(\text{dimetilglioksim})$$

$$m_{\text{ataksit}} = 500 \text{ g}$$

$$w(Ni, \text{ataksit}) = 26 \% = 0,26$$

---

$$b(\text{dimetilglioksim}) = ?$$

$$m(Ni, \text{ataksit}) = w(Ni, \text{ataksit}) \times m_{\text{ataksit}} = 0,26 \times 500 \text{ g} = 130 \text{ g}$$

$$n(Ni, \text{ataksit}) = m(Ni, \text{ataksit})/M(Ni, \text{ataksit}) = 130 \text{ g}/58,6934 \text{ g/mol} = 2,21 \text{ mol}$$

$$n(\text{dimetilglioksim}) = 2n(Ni, \text{ataksit}) = 2 \times 2,21 \text{ mol} = 4,43 \text{ mol}$$

$$b(\text{dimetilglioksim}) = n(\text{dimetilglioksim})/m(C_2H_5OH) = 4,43 \text{ mol}/0,2 \text{ kg} = 22,15 \text{ mol/kg}$$

#### 6.2.4. Predavanje 2. Beer – Lambertov zakon

Uputa nastavniku: Nastavnik treba objasniti učenicima vezu između množinske koncentracije i količine propuštene, odnosno apsorbirane svjetlosti od strane ispitivane otopine. Bilo bi poželjno da nastavnik na primjeru objasni učenicima kako se iz grafa određuje nepoznata koncentracija analita na temelju njegove apsorbancije. Učenici će naučiti kako se iz grafa dobiva vrijednost veličine označene na apscisi pomoću poznate veličine označene na ordinati, i računski i grafički. Na taj način ponovit će gradivo matematike i obnoviti znanje iz kemije. Nastavnik svakoj grupi treba podijeliti po jedan primjerak radnog listića 3. Kroz radni listić 3. učenici trebaju računski pokazati koliku bi masu željezovog (III) klorida trebali otopiti u vodi kako bi dobili otopine potrebne za sljedeću vježbu. Nastavnik to treba pregledati kako bi se uvjerio jesu li učenici sami sposobni pripremiti otopine određene koncentracije budući da nastavnik mora prirediti otopine prije vježbe 3. Ispod svakog zadatka nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za radni listić 3. iznosi 9. U nastavku je napisana glavina gradiva koju je djeci potrebno objasniti, uz primjere spektra kalijevog permanganata. Predviđeno trajanje ovoga predavanja jest 45 minuta, odnosno 1 školski sat.

Spektrofotometrija je grana kemije koja proučava utjecaj elektromagnetskog zračenja na kemijski sastav i strukturu tvari te proučava spektre nastale interakcijom zračenja i tvari. Pri prolasku svjetlosti kroz otopinu dolazi do apsorpcije zračenja. Dio svjetlosti najprije se reflektira o staklo kivete  $\Theta_r$ , dok se dio svjetlosti apsorbira  $\Theta_a$ , a dio propušta  $\Theta_p$ , pa je ukupan tok svjetlosti  $\Theta_0$ :

$$\Theta_0 = \Theta_r + \Theta_a + \Theta_p \quad (1)$$

Slojevi tvari iste debljine  $d$ , uz iste ostale uvjete, uvijek apsorbiraju dio toka upadne svjetlosti  $\Theta_0$ , pri čemu se propuštena svjetlost  $\Theta_p$  može izraziti relacijom:

$$\Theta_p = \Theta_0 10^{-\alpha d} \quad (2)$$

$\alpha$  je konstanta i naziva se apsorptivnost, a mjerna jedinica joj je  $\text{cm}^{-1}$ . Tok prolazne svjetlosti ovisi i o koncentraciji otopine  $c [\text{mol L}^{-1}]$ , pri čemu vrijedi:

$$\varepsilon = \alpha/c [\text{Lmol}^{-1} \text{cm}^{-1}] \quad (3)$$

Molarna apsorptivnost  $\epsilon$  ovisi o prirodi tvari, valnoj duljini upadne svjetlosti i temperaturi otopine, stoga se jednadžba (2) može preoblikovati u izraz:

$$\Theta_p = \Theta_o 10^{-\epsilon cd} \quad (4)$$

Izraz (4) vrijedi za apsorpciju monokromatske svjetlosti u otopini stalne temperature. Omjer toka propuštene i upadne svjetlosti je transmitancija  $T$ :

$$T = \Theta_p/\Theta_o = 10^{-\epsilon cd} \quad (5)$$

Transmitancija eksponencijalno ovisi o koncentraciji otopine, a da bi se prikazala linearna ovisnost transmitancije o koncentraciji uvedena je fizikalna veličina apsorbanacija  $A$ , koja je jednaka logaritmu recipročne transmitancije:

$$A = \log 1/T = \log (\Theta_o/\Theta_p) = \epsilon cd \quad (6)$$

### **Primjer vježbe: Spektrofotometrija: Beer-Lambertov zakon**

**Cilj vježbe:** Provjeriti Beer-Lambertov zakon određujući nepoznatu koncentraciju uzorka vodene otopine kalijevog permanganata.

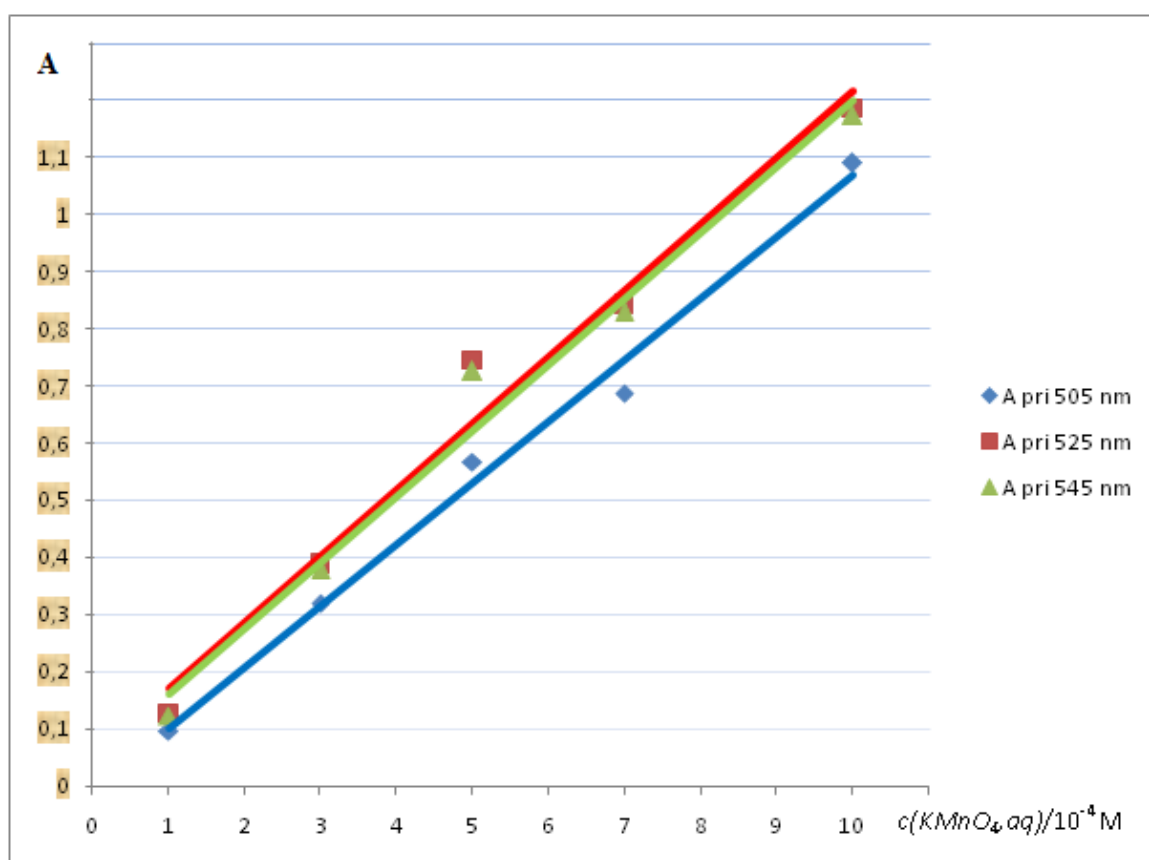
#### **Postupak:**

Pripremljene su otopine kalijevoga permanganata sljedećih koncentracija  $1 \times 10^{-4}$  M,  $3 \times 10^{-4}$  M,  $5 \times 10^{-4}$  M,  $7 \times 10^{-4}$  M i  $1 \times 10^{-3}$  M. Snimljeni su spektri za sve uzorke u rasponu valnih duljina od 350 do 750 nm. Zabilježena je vrijednost apsorbanacije  $A_\lambda$  za valnu duljinu  $\lambda_{\max}$  pri kojoj vodena otopina kalijevoga permanganata maksimalno apsorbira svjetlost. Uzet je uzorak vodene otopine kalijevog permanganata nepoznate koncentracije i izmjerena je apsorbanacija pri  $\lambda_{\max}$ .

Eksperimentalni podatci:

Tablica 15. Ovisnost apsorbancije o množinskoj koncentraciji vodene otopine kalijevog permanganata.

$c/10^{-4}M$ $A_\lambda$	1	3	5	7	10	X
$A_{505}$	0,097	0,319	0,567	0,688	1,09	0,701
$A_{525}$	0,126	0,388	0,744	0,842	1,184	0,859
$A_{545}$	0,123	0,378	0,726	0,829	1,173	0,842



Slika 25. Ovisnost apsorbancije o množinskoj koncentraciji vodene otopine kalijevog permanganata pri 505, 525 i 545 nm.

Iz *slike 1*. Može se očitati da je  $\lambda_{max} = 525$  nm upravo ona valna duljina pri kojoj vodena otopina kalijevog permanganata ima maksimalnu apsorbanciju. Koristeći pravce na *slici 1*. mogu se također očitati vrijednosti apsorbancije uzorka vodene otopine kalijevoga permanganata nepoznate koncentracije pri tri valne duljine.

*Tablica 16.* Ovisnost apsorbancije o množinskoj koncentraciji određivane otopine kalijevoga permanganata na temelju *slike 1*.

$c/10^{-4}M$	$X_{505}$	$X_{525}$	$X_{545}$
$A_{\lambda}$	6,7	6,4	6,7
$A_{505}$	0,701		
$A_{525}$		0,859	
$A_{545}$			0,842

$$c_s (X)=[c(X)_{505}+c(X)_{525}+c(X)_{545}] /3 = (6,6\pm 0,2) \times 10^{-4} M$$

**Zaključak:** Mjereći apsorbancije vodenih otopina kalijevoga permanganata različitih koncentracija pri tri valne duljine pokazalo se da je apsorbancija svih određivanih vodenih otopina kalijevog permanganata najveća pri valnoj duljini 525 nm. Iz *slike 25*. određene su tri koncentracije uzorka  $KMnO_4(aq)$  nepoznate koncentracije na temelju izmjerene apsorbancije pri tri valne duljine. Srednja vrijednost koncentracije  $KMnO_4(aq)$  je  $6,6 \times 10^{-4} M$ .



### Radni listić 3. Priprema otopina za UV – Vis spektrofotometriju

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

**OPASKA:** Budući da će nastavnik prirediti otopine željezovog (III) klorida za snimanje UV – Vis spektrofotometrom, potrebno je računski prikazati koliku je masu željezovog (III) klorida potrebno otopiti u određenoj količini vode da bi se dobile otopine zadane množinske koncentracije.

1. Zadan je niz od 5 otopina željezovog (III) klorida heksahidrata množinskih koncentracija:

- a) 0,1 M
- b) 0,2 M
- c) 0,3 M
- d) 0,4 M
- e) 0,5 M.

Odredi masu željezovog (III) klorida heksahidrata koju je potrebno otopiti u 200 mL vode kako bi se dobile otopine navedenih koncentracija. /5

2. UV – Vis spektrofotometrom određena je apsorbancija vodene otopine olovo (II) nitrata koja iznosi 0,115. Ako je duljina puta svjetlosti,  $b$ , 1 cm, a molarni apsorpcijski koeficijent  $0,26 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ , kolika je masa olovo (II) nitrata otopljena u 150 mL vode?

### Rješenje radnog listića 3. Priprema otopina za UV – Vis spektrofotometriju

Članovi grupe: Lucija Budimčić, Anamarija Stilin, Mirela Grinfelder, Ivana Radošević, Anamaria Štrk	Razred: 4. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 18.11.2013.
Broj ostvarenih bodova: 9/9	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

**OPASKA:** Budući da će nastavnik prirediti otopine željezovog (III) klorida za snimanje UV – Vis spektrofotometrom, potrebno je računski prikazati koliku je masu željezovog (III) klorida potrebno otopiti u određenoj količini vode da bi se dobile otopine zadane množinske koncentracije.

1. Zadan je niz od 5 otopina željezovog (III) klorida heksahidrata množinskih koncentracija:

a) 0,1 M;  $m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 0,1 \text{ M} \times 54,06 \text{ g L/mol} = 5,406 \text{ g}$

b) 0,2 M;  $m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 0,2 \text{ M} \times 54,06 \text{ g L/mol} = 10,812 \text{ g}$

c) 0,3 M;  $m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 0,3 \text{ M} \times 54,06 \text{ g L/mol} = 16,218 \text{ g}$

d) 0,4 M;  $m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 0,4 \text{ M} \times 54,06 \text{ g L/mol} = 21,624 \text{ g}$

e) 0,5 M;  $m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \text{ M} \times 54,06 \text{ g L/mol} = 27,03 \text{ g}$

$$m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = c(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) \times V(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) = c(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) \times 0,2 \text{ L} \times 270,3 \text{ g/mol} = c(\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}) \times 54,06 \text{ g L/mol}$$

Odredi masu željezovog (III) klorida heksahidrata koju je potrebno otopiti u 200 mL vode kako bi se dobile otopine navedenih koncentracija.

5 / 5

2. UV – Vis spektrofotometrom određena je apsorbancija vodene otopine olovo (II) nitrata koja iznosi 0,115. Ako je duljina puta svjetlosti,  $b$ , 1 cm, a molarni apsorpcijski koeficijent  $0,26 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ , kolika je masa olovo (II) nitrata otopljena u 150 mL vode?

$$A = 0,115$$

$$b = 1 \text{ cm}$$

$$\epsilon = 0,26 \text{ L/mol cm}$$

$$V_{\text{voda}} = 150 \text{ mL} = 0,15 \text{ L}$$

---

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = ?$$

$$A = \epsilon \times b \times c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$$

$$c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = A/(\epsilon \times b)$$

$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)/V_{\text{voda}} = A/(\epsilon \times b)$$

$$[m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)/M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)]/V_{\text{voda}} = A/(\epsilon \times b)$$

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = [A \times M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \times V_{\text{voda}}]/(\epsilon \times b)$$

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (0,115 \times 331,214 \text{ g/mol} \times 0,15 \text{ L})/(0,26 \text{ L/mol cm} \times 1 \text{ cm})$$

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 21,97 \text{ g}$$

### 6.2.5. Vježba 3. Primjena Beer – Lambertovog zakona

Uputa nastavniku: Kao što je već rečeno, nastavnik prije ove vježbe treba pripremiti vodene otopine željezovog (III) klorida množinskih koncentracija 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M i 0,5 M, a svakoj od tih otopina treba dodati po dvije kapi tetrakalijevo heksacijanoferata (II). Potrebno je također pripremiti otopine s uzorkom 2 kojemu je dodano dvije kapi tetrakalijevo heksacijanoferata (II) iz prethodnoga pokusa. Uzorak 2 kojemu je dodano dvije kapi tetrakalijevo heksacijanoferata (II) iz prethodnoga pokusa treba presipati u odmjernu tikvicu odgovarajućeg volumena i razrijediti s vodom do oznake. Nakon što nastavnik napravi sve navedeno, može početi s provedbom vježbe 3. Ukoliko tehničar nije prisutan, nastavnik može provesti postupak snimanja UV – Vis spektrofotometrom.

Nastavnik prema spektru standardne 0,01 M otopine željezovih (III) iona, kojoj su dodane dvije kapi tetrakalijevo heksacijanoferata (II), odabire dvije ili više valnih duljina pri kojima ta otopina ima maksimalnu apsorbanciju. Na temelju apsorbancije pri određenoj valnoj duljini daje učenicima podatke kako bi mogli izračunati molarni apsorpcijski koeficijent, koji će dalje koristiti. Bitno je da tijekom snimanja spektara zadanih otopina nastavnik jasno i glasno očitava apsorbancije za otopine određene koncentracije pri određenim valnim duljinama. Koncentracije otopina trebaju biti definirane prije snimanja svih uzoraka, kako bi svi učenici stigli zapisati rezultate, odnosno kako bi mogli unijeti točne vrijednosti apsorbancija na svoj graf i u kemijski račun.

Kroz ovu će vježbu učenici naučiti primjenjivati Beer - Lambertov zakon, odnosno provježbat će linearnu funkciju. Ispod svakog zadatka s desne strane nalaze se maksimalno ostvarivi bodovi, a nastavnik ispred oznake „/“ bilježi koliko je bodova pojedina grupa učenika postigla. Ukupan broj bodova nastavnik bilježi u tablicu na početku radnog listića. Maksimalan broj bodova za vježbu 3. iznosi 49. Za provedbu ove vježbe predviđeno je 45 minuta, odnosno 1 školski sat.

#### Radni listić 4. Primjena Beer – Lambertovog zakona

Članovi grupe: _____ _____	Razred: _____
Nastavnik: _____	Nadnevak: _____
Broj ostvarenih bodova: _____	Potpis nastavnika: _____

Pribor i kemikalije: UV – Vis spektrofotometar, 7 kiveta, destilirana voda, standardna otopina željezovog (III) klorida koncentracije 0,01 M kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II), 5 otopina željezovog (III) klorida kojima je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) koncentracija: 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M i 0,5 M, otopina s uzorkom 2 (meteorit otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini) kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) pripremljena na način opisan u uputi nastavniku.

Postupak: Nastavnik će snimiti spektar standardne 0,01 M otopine željezovog (III) klorida kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II). Reći će pri kojim valnim duljinama ovaj spoj ima najveće apsorbancije pa to treba zapisati. Treba zapisati i vrijednost apsorbancije pri tim valnim duljinama kako bi se mogao izračunati molarni apsorpcijski koeficijent te otopine pri određenoj temperaturi, ako je put svjetlosti jednak širini kivete,  $b$ , i iznosi 1 cm. Nakon što se zapišu valne duljine s maksimalnom apsorbancijom navedene otopine, i vrijednosti apsorbancija pri tim valnim duljinama, nastavnik redom snima spektre za pripremljene otopine koncentracija 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M i 0,5 M, a učenici zapisuju pripadajuće apsorbancije i valne duljine. Na kraju snima spektar otopine s uzorkom 2, koji ima nepoznatu koncentraciju. Bilježi se pripadajuća apsorbancija pri određenoj valnoj duljini. Nakon što se prikupe svi podatci, učenici ih zapisuju u predviđenu tablicu te crtaju dijagram ovisnosti apsorbancije o množinskoj koncentraciji željezovih (III) iona. Iz linearne funkcije treba izračunati nepoznatu koncentraciju željezovih (III) iona u uzorku 2 grafičkim i matematičkim

postupkom. Nakon što se izračuna ta koncentracija, nastavnik treba dati podatak o volumenu na koji je razrijedio taj uzorak, kako bi učenici mogli odrediti množinu željezovih (III) iona.

1.  $c_{\text{standardna otopina}} = 0,01 \text{ M}$

$b = 1 \text{ cm}$

$\lambda_1 = \text{_____ nm}$      $A_{\lambda_1} = \text{_____}$      $\rightarrow \epsilon_{\lambda_1} = \text{_____ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$\lambda_2 = \text{_____ nm}$      $A_{\lambda_2} = \text{_____}$      $\rightarrow \epsilon_{\lambda_2} = \text{_____ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

*(Prostor za računanje)*

/6

2. Popuni tablicu odgovarajućim rezultatima:

Uzorak	1	2	3	4	5	X
c/M	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	?
$A_{\lambda_1}$ $\lambda_1 = \text{_____ nm}$						
$A_{\lambda_2}$ $\lambda_2 = \text{_____ nm}$						

/12

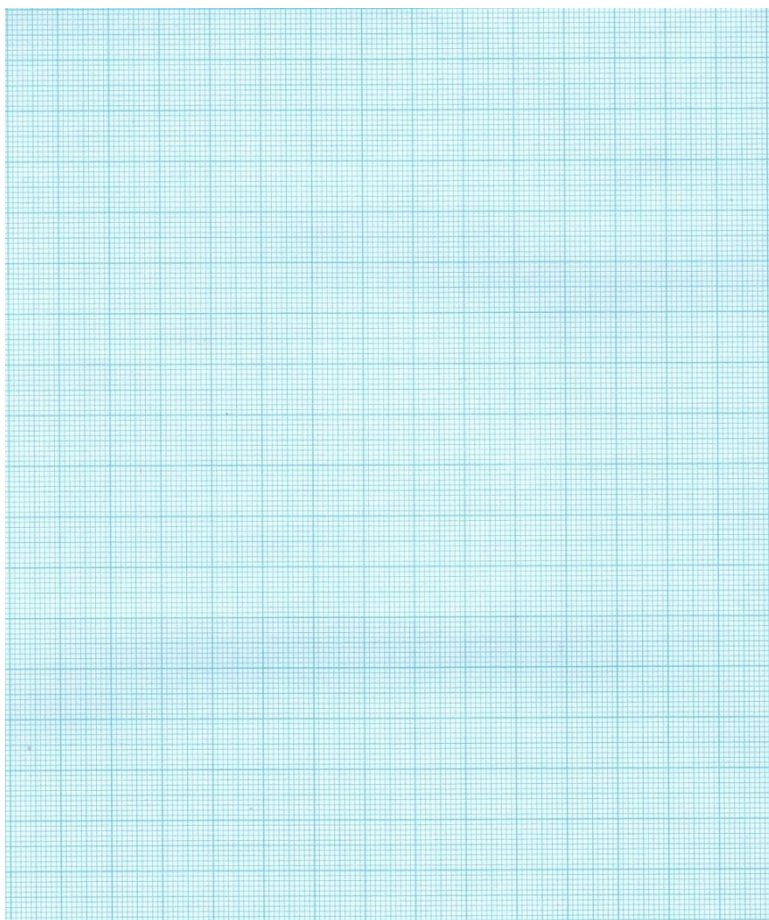
a) Matematički postupak:  $c(X)_{\lambda_1} = \text{_____ M}$

$c(X)_{\lambda_2} = \text{_____ M}$

*(Prostor za računanje)*

b) Grafički postupak:

(Prostor za crtanje)



/20

Iz grafa:

$$c(X)_{\lambda_1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}$$

$$c(X)_{\lambda_2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}$$

/2

$$V(\text{otopine}) = \underline{\hspace{1cm}} \text{ mL}$$



$$n(X)_{\lambda 1} = \text{_____ mol}$$

$$n(X)_{\lambda 2} = \text{_____ mol}$$

*(Prostor za računanje)*

#### Rješenje radnog listića 4. Primjena Beer – Lambertovog zakona

Članovi grupe: Lucija Budimčić, Anamarija Stilin, Mirela Grinfelder, Ivana Radošević, Anamaria Štrk	Razred: 4. a
Nastavnik: Jelena Budimčić	Nadnevak: 18.11.2013.
Broj ostvarenih bodova: 49/49	Potpis nastavnika: <i>Budimčić, Jelena</i>

Pribor i kemikalije: UV – Vis spektrofotometar, 7 kiveta, destilirana voda, standardna otopina željezovog (III) klorida koncentracije 0,01 M kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II), 5 otopina željezovog (III) klorida kojima je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) koncentracija: 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M i 0,5 M, otopina s uzorkom 2 (meteorit otopljen u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini) kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II) pripremljena na način opisan u uputi nastavniku.

Postupak: Nastavnik će snimiti spektar standardne 0,01 M otopine željezovog (III) klorida kojoj je dodano dvije kapi tetrakalijevog heksacijanoferata (II). Reći će pri kojim valnim duljinama ovaj spoj ima najveće apsorbancije pa to treba zapisati. Treba zapisati i vrijednost apsorbancije pri tim valnim duljinama kako bi se mogao izračunati molarni apsorpcijski koeficijent te otopine pri određenoj temperaturi, ako je put svjetlosti jednak širini kivete,  $b$ , i iznosi 1 cm. Nakon što se zapišu valne duljine s maksimalnom apsorbancijom navedene otopine, i vrijednosti apsorbancija pri tim valnim duljinama, nastavnik redom snima spektre za pripremljene otopine koncentracija 0,1 M, 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M i 0,5 M, a učenici zapisuju pripadajuće apsorbancije i valne duljine. Na kraju snima spektar otopine s uzorkom 2, koji ima nepoznatu koncentraciju. Bilježi se pripadajuća apsorbancija pri određenoj valnoj duljini. Nakon što se prikupe svi podatci, učenici ih zapisuju u predviđenu tablicu te crtaju dijagram ovisnosti apsorbancije o množinskoj koncentraciji željezovih (III) iona. Iz linearne funkcije treba izračunati nepoznatu koncentraciju željezovih (III) iona u uzorku 2 grafičkim i matematičkim

postupkom. Nakon što se izračuna ta koncentracija, nastavnik treba dati podatak o volumenu na koji je razrijedio taj uzorak, kako bi učenici mogli odrediti množinu željezovih (III) iona.

1.  $c_{\text{standardna otopina}} = 0,01 \text{ M}$

$b = 1 \text{ cm}$

$\lambda_1 = 400 \text{ nm} \quad A_{\lambda_1} = 0,0149 \rightarrow \epsilon_{\lambda_1} = 1,49 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$\lambda_2 = 450 \text{ nm} \quad A_{\lambda_2} = 0,0105 \rightarrow \epsilon_{\lambda_2} = 1,05 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

*(Prostor za računanje)*

$\epsilon_{\lambda_1} = A_{\lambda_1} / (b \times c_{\text{standardna otopina}}) = 0,0149 / (1 \text{ cm} \times 0,01 \text{ M}) = 1,49 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$\epsilon_{\lambda_2} = A_{\lambda_2} / (b \times c_{\text{standardna otopina}}) = 0,0105 / (1 \text{ cm} \times 0,01 \text{ M}) = 1,05 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

6 / 6

2. Popuni tablicu odgovarajućim rezultatima:

Uzorak	1	2	3	4	5	X
c/M	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	?
$A_{\lambda_1}$ $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$	0,149	0,298	0,447	0,596	0,745	0,729
$A_{\lambda_2}$ $\lambda_2 = 405 \text{ nm}$	0,105	0,210	0,315	0,420	0,525	0,513

12 / 12

a) Matematički postupak:  $c(X)_{\lambda_1} = 0,489 \text{ M}$

$c(X)_{\lambda_2} = 0,489 \text{ M}$

(Prostor za računanje)

$$c(X) = A / (b \times \varepsilon)$$

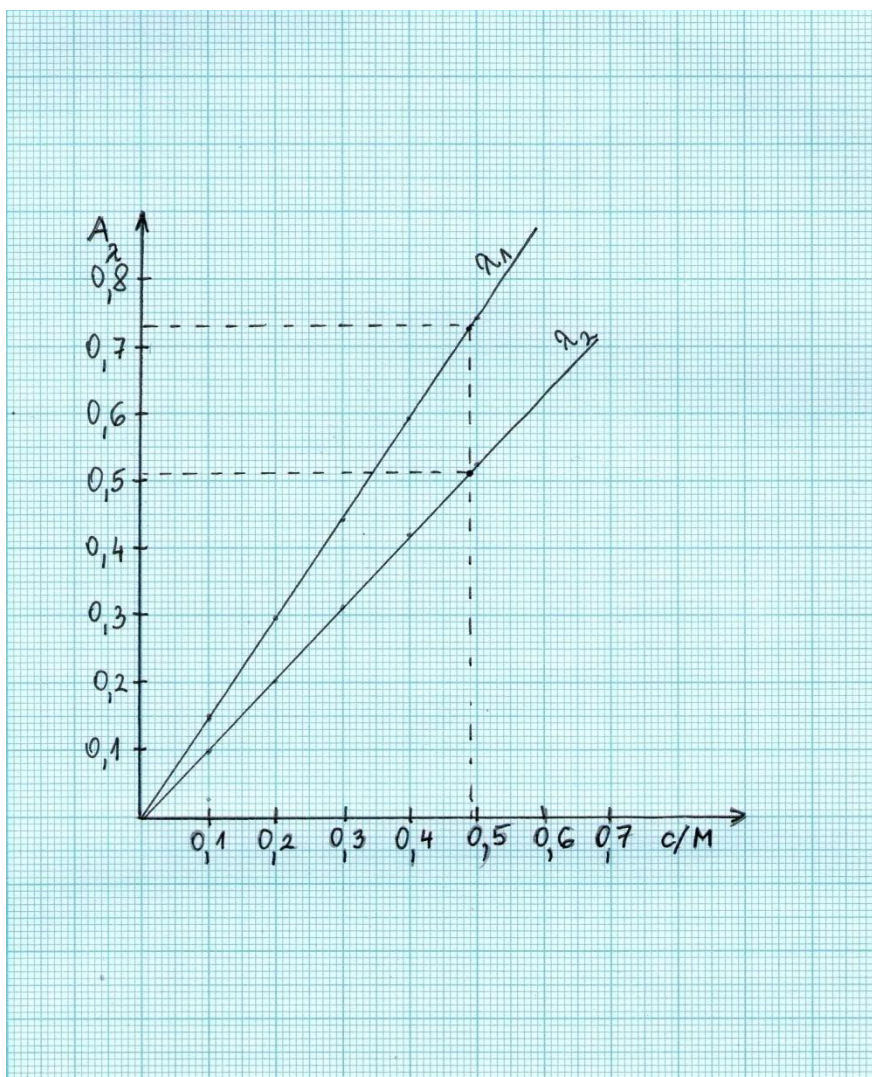
$$c(X)_{\lambda_1} = 0,729 / (1 \text{ cm} \times 1,49 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}) = 0,489 \text{ M}$$

$$c(X)_{\lambda_2} = 0,513 / (1 \text{ cm} \times 1,05 \text{ Lmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}) = 0,489 \text{ M}$$

4 / 4

b) Grafički postupak:

(Prostor za crtanje)



20 / 20

132

Iz grafa:

$$c(X)_{\lambda 1} = 0,49 \text{ M}$$

$$c(X)_{\lambda 2} = 0,49 \text{ M}$$

2 / 2

$$V(\text{otopine}) = 200 \text{ mL} = 0,2 \text{ L}$$

$$n(X)_{\lambda 1} = 0,098 \text{ mol}$$

$$n(X)_{\lambda 2} = 0,098 \text{ mol}$$

*(Prostor za računanje)*

$$n(X)_{\lambda 1} = n(X)_{\lambda 2} = c(X) \times V(\text{otopine}) = 0,49 \text{ M} \times 0,2 \text{ L} = 0,098 \text{ mol}$$

5 / 5

### 6.2.6. Vrijednovanje srednjoškolskog mini projekta

Mini projekt sveukupno sadrži 108 bodova: učenici su mogli ostvariti 33 boda u prvoj vježbi, u kojoj su naučili fizikalna svojstva željeznih meteorita, naučili su kako se računa srednja vrijednost i apsolutna pogreška.

Kroz zadatke su također ponovili pretvorbu mjernih jedinica i znanja o tome kako položaj elemenata u elektrokemijskom nizu utječe na njegova kemijska svojstva i reaktivnost, a između ostalog razvili su i sustav vlastitog kritičkog mišljenja.

U drugoj vježbi učenici su mogli ostvariti maksimalno 17 bodova, kroz nju su ponovili kompleksne spojeve i naučili specifične reagense za željezove i niklove ione. Na predavanju o apsorpciji također su mogli skupiti bodove, 9 maksimalno, ukoliko su točno riješili radni listić 3. Kroz njegovo rješavanje učenici su pokazali kako bi pripremili otopine različite koncentracije ukoliko imaju poznatu množinsku koncentraciju i volumen u kojem određenu tvar treba otopiti.

U vježbi 3, odnosno na radnim listićima 4, učenici su mogli skupiti maksimalno 49 bodova. Ova vježba nosi najviše bodova zato što u njoj učenici moraju pokazati razumijevanje Beer – Lambertovog zakona i primijeniti ga u grafičkom i računskom određivanju nepoznate koncentracije uzorka meteorita, kojeg su prethodno otapali u koncentriranoj klorovodičnoj kiselini. Prijedlog ocjenjivanja ovog mini projekta nalazi se u *tablici 17*.

*Tablica 17.* Prijedlog ocjenjivanja za provedeni mini projekt za srednju školu.

<b>Raspon bodova</b>	<b>Ocjena</b>
0 – 54	Nedovoljan
55 – 71	Dovoljan
72 – 81	Dobar
82 – 91	Vrlo dobar
92 - 108	Izvrstan

## 7. Zaključak

Analizama je potvrđena hipoteza da su makroelementi 11 analiziranih uzoraka željezo i nikal, odnosno da svi uzorci pripadaju sideritima. Poliranjem i nagrizanjem uzoraka 001, 004, 016, 041 i 047, otopinom feriklorida,  $c = 0,92 \text{ M}$ , kod uzoraka 001 i 016 uočene su slabo vidljive karakteristične strukture, i to Neumannove linije, prema kojima bi se ta dva uzorka mogla svrstati u strukturni tip heksaedrita, odnosno siderita s malim udjelom nikla. Uzorak 004 je nakon poliranja vrlo brzo oksidirao, dok je nakon nagrizanja njegova površina poprimila zelenkastu boju. Uzorak 001 je nakon nagrizanja samo izgubio sjaj, dok uzorak 047 uopće nije reagirao s otopinom feriklorida što ukazuje na njegovo pripadanje strukturnom tipu ataksita. Što se tiče uzorka 041 pak, on je najbrže reagirao s otopinom feriklorida, promijenivši boju svoje površine iz metalno sjajno sive u narančastu.

Rentgenskom difrakcijom na prahu analizirana su 4 uzorka: 021, 041, 042 i 046. Kvalitativnom kemijskom analizom određeno je sljedeće: u uzorku 021 bitni su sastojci wüstit  $\text{FeO}$ , magnezioferit  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  (iako nije isključeno da je riječ o nekom drugom mineralu iz skupine spinela), mineral iz skupine olivina  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ , te goethit i lepidokrokrit, polimorfne modifikacije  $\text{FeO}(\text{OH})$ , a sporedan je kvarc  $\text{SiO}_2$ . U uzorku 041 pak, glavni su sastojci željezov karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  i manganov karbid  $\text{Mn}_5\text{C}_2$ , a u uzorku se nalaze još neke faze koje nisu jednoznačno određene. U uzorku 042 glavni su sastojci željezov karbid  $\text{Fe}_3\text{C}$  i željezov manganov karbid  $(\text{Fe}, \text{Mn})_5\text{C}_2$ . U posljednjem uzorku analiziranom ovom tehnikom dominantan je sastojak magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , iako bi trebalo provjeriti ne radi li se o nekom drugom mineralu iz skupine spinela, dok je sporedan sastojak wüstit  $\text{FeO}$ . Na rentgenogramu praha, koji je slabe kvalitete (niski intenziteti), registrirano je nekoliko slabih difrakcijskih maksimuma koji su ostali nepripisani, što ukazuje na prisutnost dodatnih faza.

Rezultati ICP – AES analize na uzorcima 001, 002a, 002b, 004, 010, 016a, 016b i 018, pokazali su da se u svakom od uzoraka željezo i nikal nalaze u približno istim omjerima, te da je količina iridija u svim uzorcima gotovo ista i jednaka 0,6 %, što je oko 100 puta veća koncentracija nego u 700 analiziranih siderita, nađenih diljem svijeta. U uzorku 004 je osim željeza i nikla makroelement mangan, s masenim udjelom od 75,85 %, iako je moguće da je njegov maseni udio ipak 7,59 %. Budući da nisu mjerene količine siderofilnih elemenata galija, germanija i zlata, sa sigurnošću se ne mogu utvrditi kemijski tipovi analiziranih siderita, već se samo za neke od uzoraka mogu aproksimativno odrediti

po dva ili tri kemijska tipa kojima pripadaju, uzimajući u obzir samo dobiveni podatak za maseni udio nikla u pojedinom uzorku. Ustanovljeno je da sedam od osam uzoraka analiziranih tehnikom ICP - AES pripada strukturnom tipu ataksita, a to su uzorci 002a, 002b, 004, 010, 016a, 016b i 018.



## 8. Prilozi

### 8.1. Petrografski tipovi

Tablica 18. Deset kriterija za određivanje petrografskog tipa hondritskih meteorita. [2]

Kriterij	Petrografski tipovi					
	1	2	3	4	5	6
1. Homogenost olivinskog i piroksenskog sastava	-	Srednje odstupanje piroksena $\geq 5\%$		< 5 % srednje devijacije do jednoličnosti	Jednolični feromagnetični materijali	
2. Strukturni oblik piroksena s niskim udjelom Ca	-	Pretežno monoklinski kristali		Monoklinski kristali < 20 %      > 20 %		Ortorompski kristali
3. Stupanj razvoja sekundarnog feldspata	-	Nije prisutan		Zrna < 2 $\mu\text{m}$	< 50 $\mu\text{m}$	> 50 $\mu\text{m}$
4. Magmatsko staklo u hondri	-	Čisto i izotropno staklo; različita zastupljenost		Mutno ako je prisutno	Nije prisutno	
5. Minerali metala (maksimalni udio Ni)	-	Bez ili s vrlo malo taenita (Ni < 200 mg/g)		Prisutni kamacit i taenit (> 20 %)		
6. Sulfidni minerali (prosječan udio Ni)	-	> 5 mg/g		< 0,5 %		
7. Tekstura hondri	Nema	Izrazito definirane		Dobro definirane	Razaznaju se	Teško se razaznaju

8. Tekstura matriksa	Neproiziran finoiznati	Vrlo neproziran	Neproiziran	Transparentni monokristali	Rekristalizirani
9. Ukupni udio ugljika	3 – 5 %	1,5 – 2,8 %	0,1 – 1,1 %	< 0,2 %	
10. Ukupni udio vode	18 – 22 %	3 – 11 %	< 2 %		

## 9. Literatura

- [1] Paić, M., Fizička mjerenja, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb, 1964.
- [2] Norton, O. R., Chitwood, L. A., Field Guide to Meteors and Meteorites, Springer - Verlag London, 2008.
- [3] Šporer, Z., Kuntarić, A., Repetitorij fizike, V. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
- [4] Zanda, B., Rotaru, M., Meteorites: Their Impact on Science and History, Cambridge University Press, 2011.
- [5] Rubin, A. E., (1997.), Mineralogy of Meteorite Groups, Meteoritics and Planetary Science 32, 231 – 247
- [6] Norton, O. R., The Cambridge Encyclopedia of Meteorites, Cambridge University Press, 2004.
- [7] Wasson, J. T., Kallemeyn, G. W., (2002.), The IAB iron – meteorite complex: a group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts, Geochimica Cosmochimica Acta 66, 2445 - 2473
- [8] Goldstein, J. J., Scott, R. D., Chabot, N. L., Iron meteorites: Crystallization, thermal history, parent bodies and origin, Chemie der Erde, Science Direct, 69 (2009.) 293 – 325
- [9] Campbell, A. J., Humayun, M., (2005.), Composition of group IVB iron meteorites and their parent melt, Geochimica et Cosmochimica Acta, 69 (19) 4733 - 4744
- [10] Group of authors, Exploring Meteorite Mysteries: A Teacher`s Guide with Activities for Earth and Space Sciences, Lyndon B. Johnson Space Center, 1997.
- [11] Wenger, P. E., Duckert, R., Reagents for qualitative analysis, Elsevier Publishing Company, 1948.
- [12] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/560104/spinel>

(pregledano 24. srpnja 2014.)

## **10. Životopis**

### **OSOBNI PODATCI:**

Ime i prezime: Jelena Budimčić

Datum i mjesto rođenja: 21. listopada 1990., Zagreb

Adresa: M. P. Katančića 10a, 31 222 Bizovac

Telefon: 031/675-761 i 091/928-6955

E- mail: jbudimci@kemija.unios.hr

### **OBRAZOVANJE I RADNO ISKUSTVO:**

1997. – 2005. Osnovna škola Bratoljuba Klaića u Bizovcu

2005. – 2009. Jezična ( II. ) gimnazija u Osijeku

2009. - 2014. Odjel za kemiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Studeni 2013. – veljača 2014. II. gimnazija u Osijeku

radno mjesto: nastavnik kemije

Rujan 2014. II. gimnazija u Osijeku

radno mjesto: nastavnik kemije

### **DODATNA ZNANJA, SPOSOBNOSTI I VJEŠTINE:**

Znanje stranog jezika: engleski i njemački (pismo i pasivno u govoru)

Znanje rada na računalu: osnovno korištenje računalom (Word, Excel, Power Point, Internet)

Položen vozački ispit B kategorije

Položen ispit za vatrogasca i vatrogasca prve klase

Položen ispit za odbojkaškog suca – gradski rang

**HOBİ:**

Çitanye knjiga, igranje odbojke, vožnja biciklom

**OSTALO:**

Bračno stanje: neudana

Motivacija: stručno usavršavanje