

GEOKEMIJA (41041)

2+1+0, 4 ECTS

Izv. prof. dr.sc. Hana Fajković

hana.fajkovic@geol.pmf.hr

https://www.pmf.unizg.hr/geol/predmet/geo_c

GEOKEMIJA (297819)

2+1+0, 4 ECTS

Izv. prof. dr.sc. Hana Fajković

hana.fajkovic@geol.pmf.hr

https://www.pmf.unizg.hr/geol/predmet/geo_c

Expectation

Reality

Blizi se
ispitni rok

BITNI DATUMI

- **9. 11. 2026. Kolokvij I**
- **18. 1. 2027. Kolokvij II**
- **25. 1. 2026. Ispravak kolokvija**

Pravila polaganja ispita

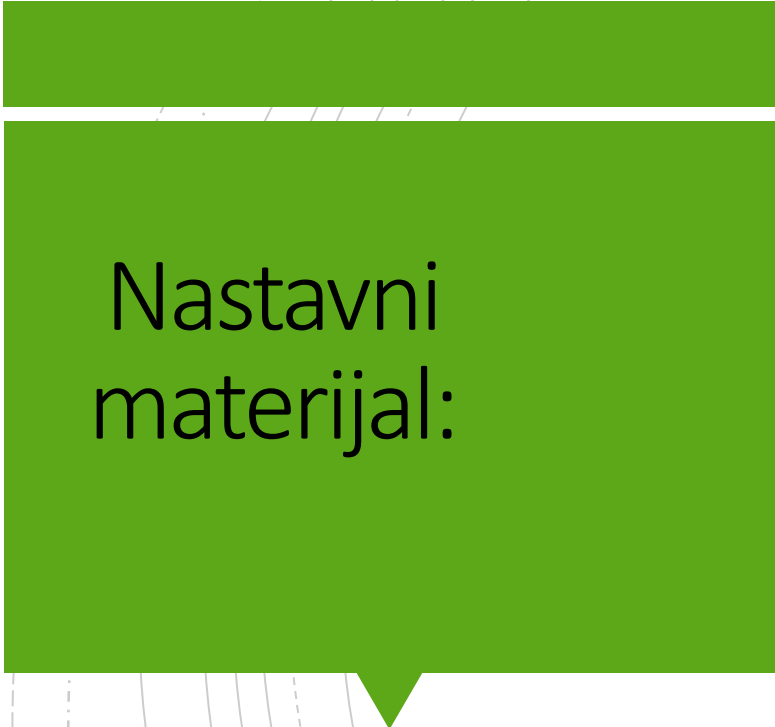
with GIS. Computer methods in geosciences, Volume 13. Pergamon, 398 str.

H. Fajković	Geokemija	41041
Ispitni rokovi: 1. i 3. četvrtak u redovitim ispitnim rokovima; četvrtkom u izvanrednim ispitnim rokovima		
Uvjeti za dobivanje potpisa: redovito pohađanje predavanja i vježbi; položeni kolokviji		
Način provjere znanja i polaganja ispita: Provjera znanja se provodi usmenim ispitom i kontinuiranom provjerom znanja koja se provodi pisanim putem, preko kolokvija. Uvjet za izlazak na usmeni ispit su pozitivno ocijenjeni kolokviji. Kod kontinuirane provjere znanja tijekom semestra studenti pišu dva kolokvija od kojih svaki obuhvaća dio gradiva kolegija. Na kraju semestra, prije ispitnih rokova, bit će omogućeno dodatno pisanje kolokvija. Svaka pisana provjera znanja sastoji se od gradiva iz predavanja i/ili dijelova obavezne literature i sastoji se od 10 do 20 pitanja na koja studenti odgovaraju pisano. Vrijeme rješavanja je 90 minuta. Tipovi pitanja u pisanoj provjeri znanja: - rješavanje računskih zadataka - odabir točnog odgovora, između 3 – 9 ponuđenih odgovora - nadopunjavanje definicija ključnim riječima - objašnjavanje zadanih pojmova - odgovor na postavljena pitanja - navođenje podjela, klasifikacija itd.		

Ocjena iz pisane provjere znanja izračunava se na temelju postignutih bodova odnosno postotka tih odgovora:

50–65 %	dovoljan (2)
66–77 %	dobar (3)
78–89 %	vrlo dobar (4)
90–100 %	izvrstan (5)

Završna ocjena temelji se na svim postignutim rezultatima

A green speech bubble graphic with a tail pointing towards the bottom left. It contains the text 'Nastavni materijal:'.

Nastavni
materijal:

Prezentacija

Poglavlja iz priručnika

Znanstveni radovi

Vanjske prezentacije

Poveznice na video materijale

Ispitni rokovi

- Kako je raspisano u studomatu!

H. Fajković

četvrtkom u 1. i 3. tjednu ispitnih rokova; četvrtkom u izvanrednim ispitnim rokovima

ECTS bod

- Jedan bod iznosi 25 do 30 radnih sati
- 4 ECTS boda = 100 – 120 sati
- 3 kolokvija (2 + ispravak) = 6 h
- 10 termina po 3 h = 30 h
- Može se zaokružiti na 64 - 84 sati / 10 termina za konzultacije
- = 5 – 7 h – Ako se računaju i kolokviji, toliko je vremena predviđeno da se možete pripremati za svaku pojedinu nastavnu jedinicu

LITERATURA

Chemical Fundamentals of Geology and Environmental Geosciences (Gill, 2015.)



Environmental and Low temperature Geochemistry (Ryan, 2014.)



Principles and Application of Geochemistry (Faure, 1998.)



Geokemija (Prohić, 1998.)

■ STRUČNA PRAKSA što je to ?

KARIJERNI CENTAR

https://www.pmf.uni-zg.hr/studenti/strucna_praksa

V. semestar						
Izborni predmet izvan obvezne jezgre studija			Zimski semestar		Ljetni semestar	
Nastavnici	ISVU šifra	Naziv predmeta	P+V+S	ECTS	P+V+S	ECTS
K. Fio Firi, H. Fajković	213517	Stručna praksa	0+6+0	4		

Studenti koji upišu kolegij stručne prakse **u zimskom semestru**, moraju praksu odraditi i evidentirati u OSSP **do kraja akademske godine**, dakle **do kraja rujna 2022.** Studenti koji upišu kolegij stručne prakse **u ljetnom semestru**, moraju praksu također odraditi i evidentirati u OSSP **do kraja akademske godine**, dakle **do kraja rujna 2022.**

Na temelju članka 95., stavka 3. Statuta KLASA: 007-02/23-01/19, URBROJ: 251-58-10203-23-2 od 3. srpnja 2023. (dalje: Statut), na prijedlog Fakultetskog kolegija od 18. srpnja 2024., Fakultetsko vijeće Sveučilišta u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta na sjednici 18. srpnja 2024. donijelo je

**PRAVILNIK
O STUDIRANJU NA PRIJEDIPLOMSKIM, DIPLOMSKIM I INTEGRIRANIM PRIJEDIPLOMSKIM I
DIPLOMSKIM STUDIJIMA
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA**

**Broj izlazaka na ispite
Članak 49.**

Student ima pravo polagati ispit iz istog kolegija najviše četiri puta u jednoj akademskoj godini.

POČETAK I RAZVOJ GEOKEMIJE



Razmislite o slijedećim pitanjima i probajte ih odgovoriti nakon što pročete sav nastavni materijal

- Što je geokemija? Kako glasi definicija geokemije?
- Kako se zvao znanstvenik kojeg mnogi smatraju ocem znanstvene discipline koju nazivamo Geokemija?
- Tko je prvi upotrijebi izraz Geokemija i kada?
- Što je klark?
- Unutar geokemije, kao znanstvene discipline, koje dvije velike grupe poznaješ?
- Što su primordijalni elementi?
- Kakav je opći trend zastupljenosti izotopa od lakih elemenata do željeza?
- Objasni nastanak kemijskih elemenata
- Što su hondrule?
- Što je Goldschmidtova klasifikacija?
- Koliko je star svemir?
- Što su to refraktorni elementi? Nabroji neke.
- Objasni vezu između zastupljenosti ^{56}Fe i E vezivanja po nukleonu?
- Što je Aufbau princip? Vrijedi li on uvijek ili postoje izuzetci?
- Objasni razliku između pokusa s katodnom cijevi i pokusa s zlatnom folijom?



- Definicija geokemije ide unatrag do Christiana Friedricha SCHÖNBEINA (1799.-1869.), koji je kao profesor kemije u Bazelu 1838. prvi upotrijebio riječ "geokemija" ("Geochemie"), ali i dao kratak opis što pod tim pojmom podrazumijeva.

"Mi moramo detaljno proučavati svojstva svih geoloških formacija, moramo iznaći odnose njihovih kemijskih i fizičkih svojstava i njihovih kronoloških sekvenci što je točnije moguće, i moramo u isto vrijeme pažljivo usporediti produkte kemijskih sila koje su danas aktivne s organskim tvarima iz prošlosti.,,

Iako SCHÖNBEIN nije značajnije utjecao na znanost svoga vremena, ostaje da je to prva definicija geokemije i kao takva ima, ako ništa drugo, ono povijesno značenje.

Slijedeća objavljena definicija pripisuje se Franku W. CLARKU (1847. - 1931.) koji u petom izdanju svoje edicije "Data of Geochemistry" (1925.) napisao:

"Svaka se stijena, za naše potrebe, može shvatiti kao kemijski sustav u kojem se mogu dogoditi kemijske promjene pod utjecajem različitih agensa. Svaka takva promjena pretpostavlja poremećaj ravnoteže, s konačnim nastankom novog sustava koji, u novim uvjetima, postaje stabilan. Studij tih promjena područje je geokemije. Funkcija geokemičara je prema tome da odredi koje su promjene moguće, kako i kada one nastaju, i uoči fenomene koji su im pridruženi. Analiza i sinteza su dva glavna istraživačka instrumenta, ali oni postaju efektivni samo ako su vođeni širokim znanjem kemijskih principa koje omogućuje usporedbu podataka i izvlačenje punog značenja iz nađenih činjenica"

cited as		Clarke (1889)	Clarke (1891)	Clarke (1908)
cited in		[C 1]: 138 c.3	[C 2]: 39 c.3	[C 3]: 32 c.3
	titled "clarke"?	-	-	-
	elements	19	19	20
lithosphere		93%	93%	93%
	definition	10 miles	10 miles	10 miles
	rock types	All	All	All
hydrosphere		ocean 7%	ocean 7%	ocean 7%
atmosphere		N 0.02%	N 0.02%	N 0.02%
remarks		often mentioned		
Z	element	(mass%)	(mass%)	(mass%)
8 O	oxygen	49.98	49.98	49.78
14 Si	silicon	25.30	25.30	26.08
13 Al	aluminium	7.26	7.26	7.34

- **Klark (klarkova vrijednost, engl. *Clarke value*)** = prosječna koncentracija kemijskog elementa u Zemljinoj kori, izražena kao maseni udio (%) ili u ppm (mg/kg; 1 % = 10 000 ppm).
- Nazvan po **F. W. Clarkeu**, koji je od 1884. do 1925. (pet izdanja „Data of Geochemistry“) sustavno prikupljao i usrednjavao kemijske analize stijena i tako prvi odredio prosječni sastav kore.
- Primjeri: klark O $\approx$ 46 %, Si $\approx$ 28 %, Al $\approx$ 8 %, Fe $\approx$ 5,6 %, Cu $\approx$ 25 ppm, Au $\approx$ 0,004 ppm (4 ppb).
- **Klark je referentna točka:** kad se kaže da je element u nekoj stijeni „obogaćen“ ili „osiromašen“, to se uvijek misli **relativno prema klarku** (geokemijske anomalije = osnova geokemijske prospekcije).
- Klarkove vrijednosti su se mijenjale s vremenom

PRIMJER

Koncentracija kisika u uzorku kvarcita iznosi $\sim 50,7\%$. Koliko je to izraženo u klarkovima?

Korak 1 — klark kisika (prosjeak kontinentalne kore):

$$w(O)_{\text{kora}} = 46,1\% \rightarrow 1 \text{ klark}$$

Korak 2 — omjer:

$$\frac{w(O)_{\text{uzorak}}}{w(O)_{\text{kora}}} = \frac{50,7}{46,1} \approx 1,1$$

Odgovor: uzorak sadrži **1,1 klarka kisika** $\rightarrow$ blago obogaćen O u odnosu na prosjek kore.

Zašto? Kvarcit je gotovo čisti SiO_2 ($\sim 53\%$ O). Što je stijena kiseliya (više SiO_2), viši je i udio O: -
kvarcit $\sim 1,15$ klarka O | granit $\sim 1,0$ | bazalt $\sim 0,98$ | peridotit $\sim 0,93$ | metalni meteorit ~ 0

Pravilo: n klarka = n $\times$ prosječni sadržaj u kori.

>1 = obogaćenje, ≈ 1 = prosjek, <1 = osiromašenje (npr. zlatna ruda ima i 10 000+ klarka Au — tako se prepoznaju rudne anomalije).

Razmisli: Uzorak granita sadrži 9 ppm U. Klark U $\approx 2,7$ ppm. Koliko je to klarkova i što ti to govori o stijeni?



Frank Wigglesworth Clarke
(1847-1931)

F.W. Clarke was a chemist who determined the composition of the Earth's crust. He has been called the Father of Geochemistry.



The **F.W. Clarke Award** is presented annually at the Goldschmidt conference.

The award consists of an engraved silver medal, an honorarium (US\$ 750), and a certificate.

- Danas Geokemijsko društvo (<https://www.geochemsoc.org/>), svjetska organizacija koja okuplja znanstvenike koji se bave raznim područjima geokemije svake godine dodjeljuje nagradu mladim znanstvenicima i nagrada nosi ime F.W. Clarke (F.W. Clarke Award)



V. I. VERNADSKY

SCIENTIFIC THOUGHT
AS
A PLANETARY
PHENOMENON

Ruski znanstvenik i jedan od osnivača moderne geokemije, V. J. VERNADSKI (1863. -1945.), osnivač je ruske geokemijske škole i posebno je zaslužan za područje **biogeokemije** i **geokemije izotopa**.

1924. god. u francuskom i 1930. godine u njemačkom izdanju piše:

"Geokemija studira kemijske elemente, tj. atome, u Zemljinoj kori i, koliko je moguće, Zemlje kao cjeline. Ona proučava njihovu raspodjelu u sadašnjosti i prošlosti. Geokemija se može strogo razlučiti od mineralogije jer mineralogija proučava samo razvoj spojeva atoma, molekule i kristale".



Victor Moritz Goldschmidt (1888-1947)

V.M. Goldschmidt was a chemist considered to be the founder of modern geochemistry and crystal chemistry and developer of the Goldschmidt Classification of elements.

[Short biography](#)



The V.M. Goldschmidt Award is presented annually at the Goldschmidt conference. The award consists of an engraved gold-plated bronze medal, an honorarium (US\$ 1,500), a travel stipend, and inclusion as a Geochemistry Fellow.

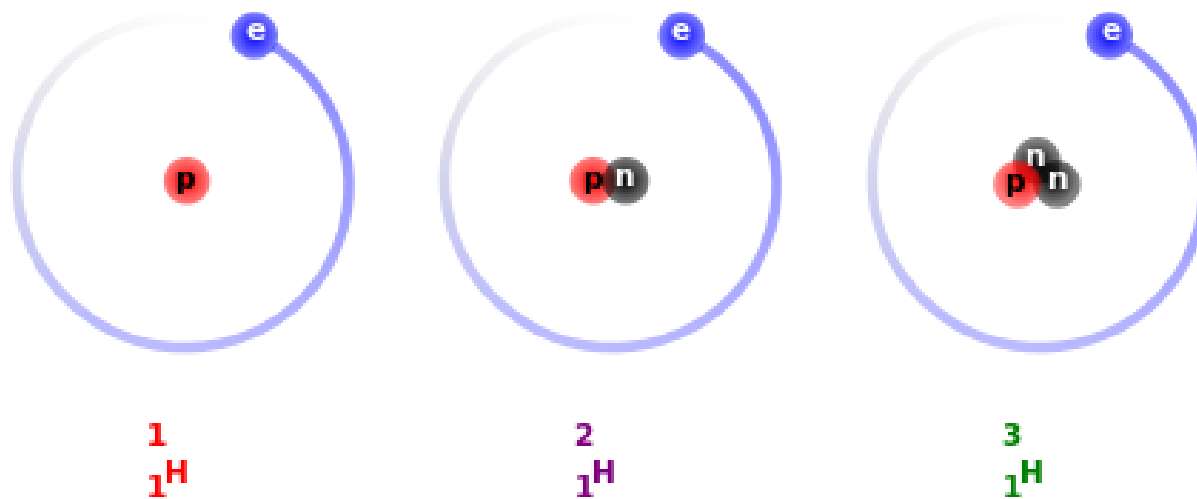
- Ako jednog znanstvenika treba imenovati ocem geokemije onda se taj naziv najčešće pripisuje norveškom mineralogu Victoru Moritzu **Goldschmidt**u.
- Značaj ovog znanstvenika očituje se i u nazivu velike konferencije (V. M. Goldschmidt Conference) koju godišnje posjeti oko 4000 znanstvenika, ali i nagrade koja se smatra jednim od najviših priznanja u području geokemije (V. M. Goldschmidt Award).

Definicija znamenitog geokemičara V. M. **GOLDSCHMIDTA** (1888. – 1947.) iz 1933., glasi:

"Osnovni cilj geokemije je, s jedne strane, da kvantitativno odredi sastav Zemlje i njezinih dijelova, i s druge strane, da otkrije zakone koji kontroliraju raspodjelu pojedinačnih elemenata. Da bi riješio taj problem geokemičaru treba značajan broj analitičkih podataka terestičkih materijala, stijena, vode, i atmosfere.

Geokemičar, također, analizira meteorite, upotrebljava astrofizičke podatke sastava drugih kozmičkih tijela i geofizičke podatke prirode Zemljine unutrašnjosti. Mnogo korisnih informacija dobiva se od laboratorijskih sinteza minerala i istraživanja načina njihovog nastanka i uvjeta stabilnosti."

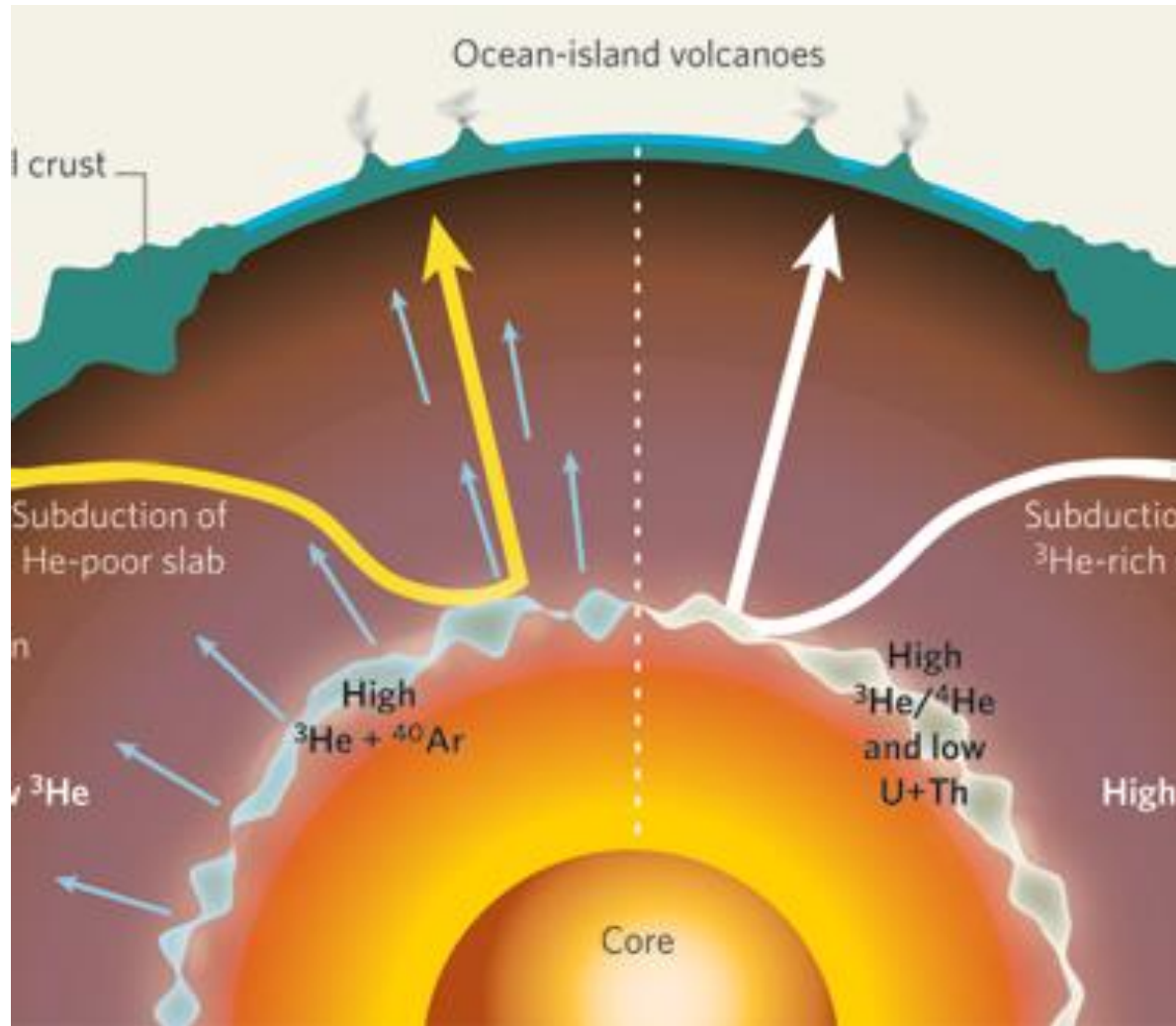
B. MASON je 1954. dopunio njegovu definiciju ističući značaj i izotopa.



- ◆ Schönbein (1838.) – prvi upotrijebio riječ geokemija
 - ◆ Clarke (1925.) – stijena = kemijski sustav podložan promjenama; pojam klark
 - ◆ Vernadski (1924./1930.) – utemeljitelj biogeokemije i izotopne geokemije
 - ◆ Goldschmidt (1933.) – "otac moderne geokemije", klasifikacija elemenata
-
- **Ključna ideja:** Geokemija = znanost o sastavu Zemlje, raspodjeli elemenata i izotopa te zakonima koji tu raspodjelu određuju.

Pitanja:

- Tko je prvi upotrijebio riječ geokemija?
- Zašto se Goldschmidta naziva ocem moderne geokemije?



GEOKEMIJA

se može definirati kao znanost koja proučava sustav Zemlje, raspodjelu kemijskih elemenata i njihovih izotopa u Zemlji i zakone koji tu raspodjelu uvjetuju.

PODJELA:



Iako su se gotovo svi geokemičari okušali i u podjeli geokemije, ipak prve pokušaje sistematske podjele geokemije susrećemo tek kod Rösler i Langea (1972.) koji su geokemiju podijelili prema načinu promatranja, i to:

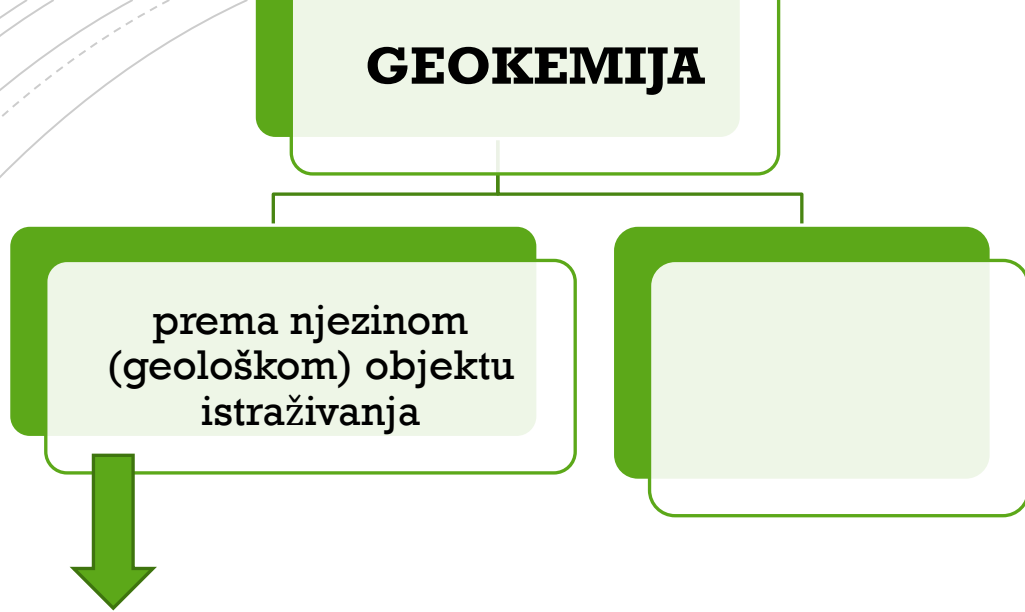
GEOKEMIJA

```
graph TD; A[GEOKEMIJA] --> B[prema njezinom (geološkom) objektu istraživanja]; A --> C[prema drugim posebnim kriterijima (primjerice, metodi istraživanja, primjenjivosti, i slično)];
```

prema njezinom
(geološkom) objektu
istraživanja

prema drugim posebnim
kriterijima (primjerice,
metodi istraživanja,
primjenjivosti, i slično)

GEOKEMIJA



```
graph TD; A[GEOKEMIJA] --> B[prema njezinom (geološkom) objektu istraživanja]; A --> C[ ]; B --> D[• Litogeokemija - geokemija čvrste Zemljine kore]; B --> E[• a) glavnih komponenti stijena - petrokemija,]; B --> F[• b) kemija tala - pedogeokemija,]; B --> G[• c) glavnih elemenata i elemenata u tragovima minerala - mineralna geokemija;]; B --> H[• Hidrogeokemija - geokemija voda (površinske i podzemne vode);]; B --> I[• Biogeokemija - geokemija žive tvari uključujući njihove fosilne produkte (organska geokemija);]; B --> J[• Atmogeokemija - geokemija plinova, osobito atmosfere;]; B --> K[• Kozmogeokemija - kemija izvanzemaljske materije;];
```

prema njezinom
(geološkom) objektu
istraživanja

- Litogeokemija - geokemija čvrste Zemljine kore
 - a) glavnih komponenti stijena - petrokemija,
 - b) kemija tala - pedogeokemija,
 - c) glavnih elemenata i elemenata u tragovima minerala - mineralna geokemija;
- Hidrogeokemija - geokemija voda (površinske i podzemne vode);
- Biogeokemija - geokemija žive tvari uključujući njihove fosilne produkte (organska geokemija);
- Atmogeokemija - geokemija plinova, osobito atmosfere;
- Kozmogeokemija - kemija izvanzemaljske materije;

GEOKEMIJA

```
graph TD; A[GEOKEMIJA] --> B[ ]; B --> C[ ]; B --> D[prema drugim posebnim kriterijima (primjerice, metodi istraživanja, primjenjivosti, i slično)]; D --> E[• Izotopna geokemija  
• Fizička geokemija  
• Geokemija elemenata u tragovima  
• Regionalna geokemija  
• Geokemija istraživanja mineralnih sirovina  
• Historijska geokemija];
```

prema drugim posebnim
kriterijima (primjerice, metodi
istraživanja, primjenjivosti, i slično)

- Izotopna geokemija
- Fizička geokemija
- Geokemija elemenata u tragovima
- Regionalna geokemija
- Geokemija istraživanja mineralnih sirovina
- Historijska geokemija

Fizička geokemija - primjena fizičko-kemijskih zakona na razjašnjavanje geokemijskih zakonitosti raspodjele, osobito za eksperimentalna određivanja (eksperimentalna geokemija) ravnoteže između mineralnih faza i otopina.

Izotopna geokemija - produženje "normalne" geokemije na studij izotopa, određivanje i interpretaciju prirodnih varijacija izotopske raspodjele. može se shvatiti kao direktna primjena znanja izotopne geokemije i rezultata na geološke probleme. Posebno područje može biti i radiogeokemija (geokemija radioaktivnih elemenata i izotopa i geokronologija primjenom rezultata analize radionuklida)

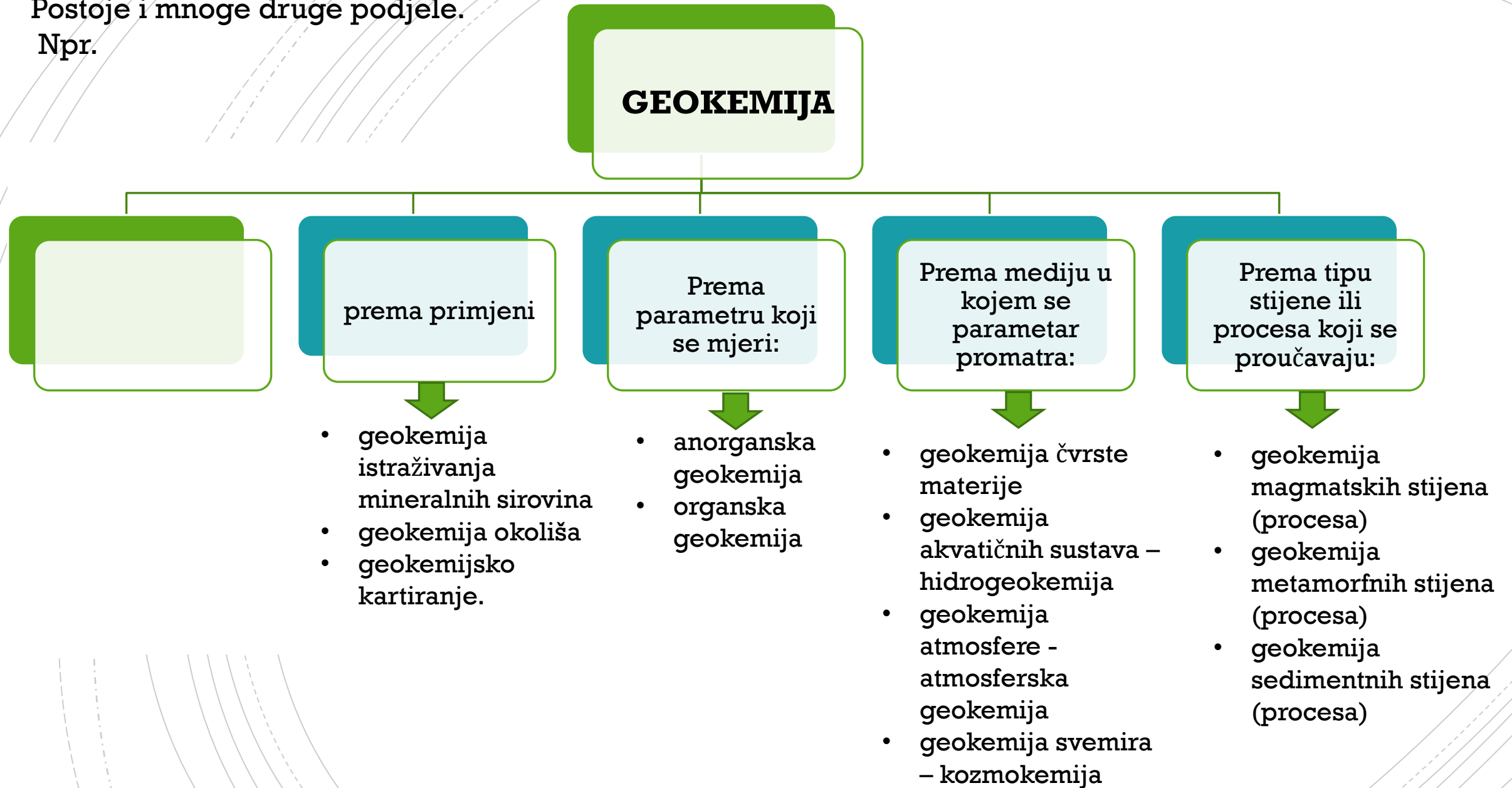
Regionalna geokemija - određivanje geokemijskih značajki regionalnih geoloških jedinica, osobito geokemijskih i petrokemijskih provincija i provincija mineralnih sirovina.

Historijska geokemija - određivanje zavisnosti geokemijskih zakona i faktora geološke povijesti Zemlje.

Geokemija istraživanja mineralnih sirovina - uporaba općenitih i regionalnih geokemijskih zakona u geologiji ležište mineralnih sirovina, osobito u svrhu istraživanja ležišta (geokemijska prospekcija).

Geokemija elemenata u tragovima - određivanje i zakonitosti raspodjele elemenata u tragovima u mineralima i stijenama za objašnjavanje kristalokemijskih i genetskih problema, i za praktičko iskorištavanje tih elemenata.

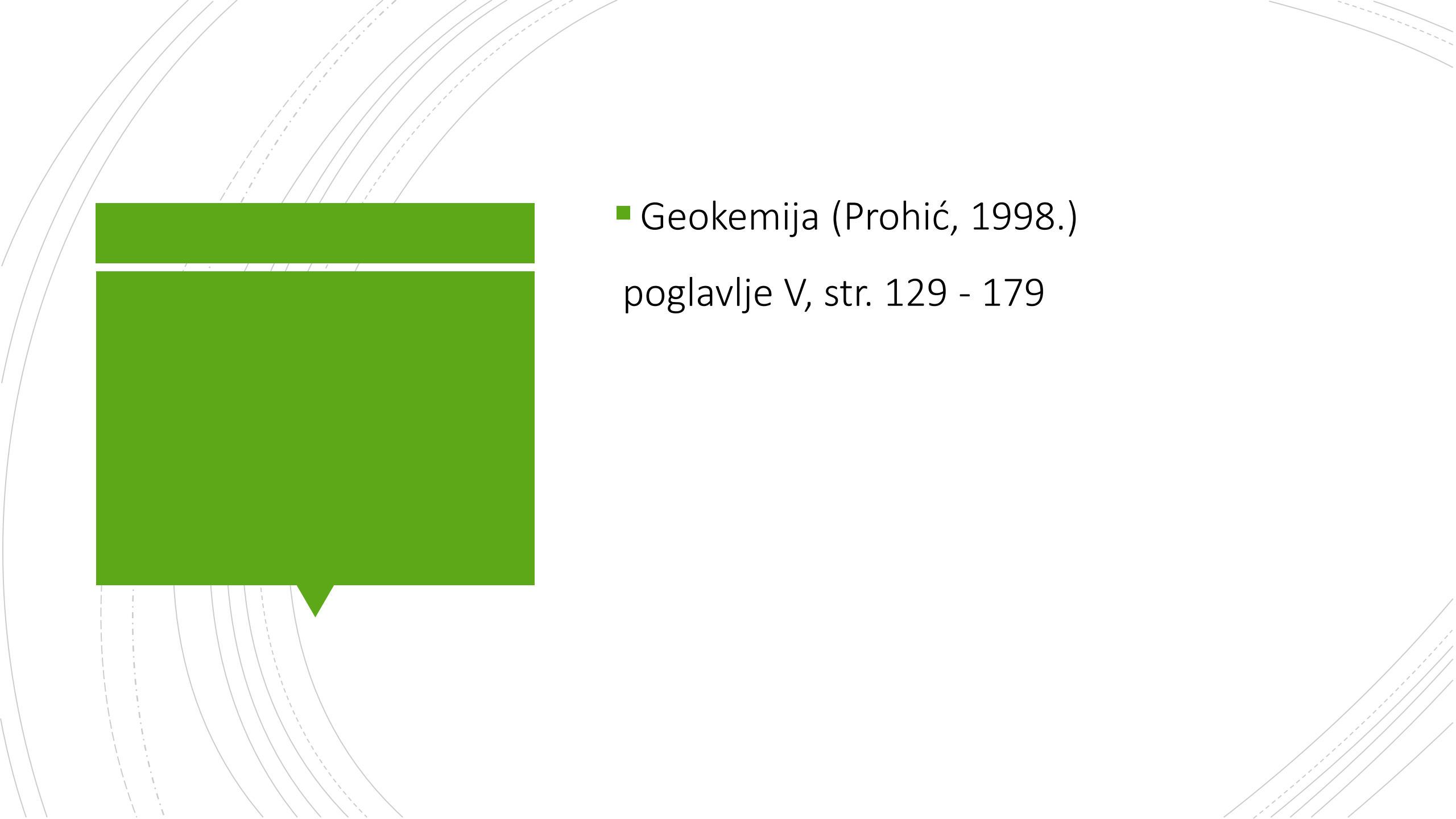
Postoje i mnoge druge podjele.
Npr.

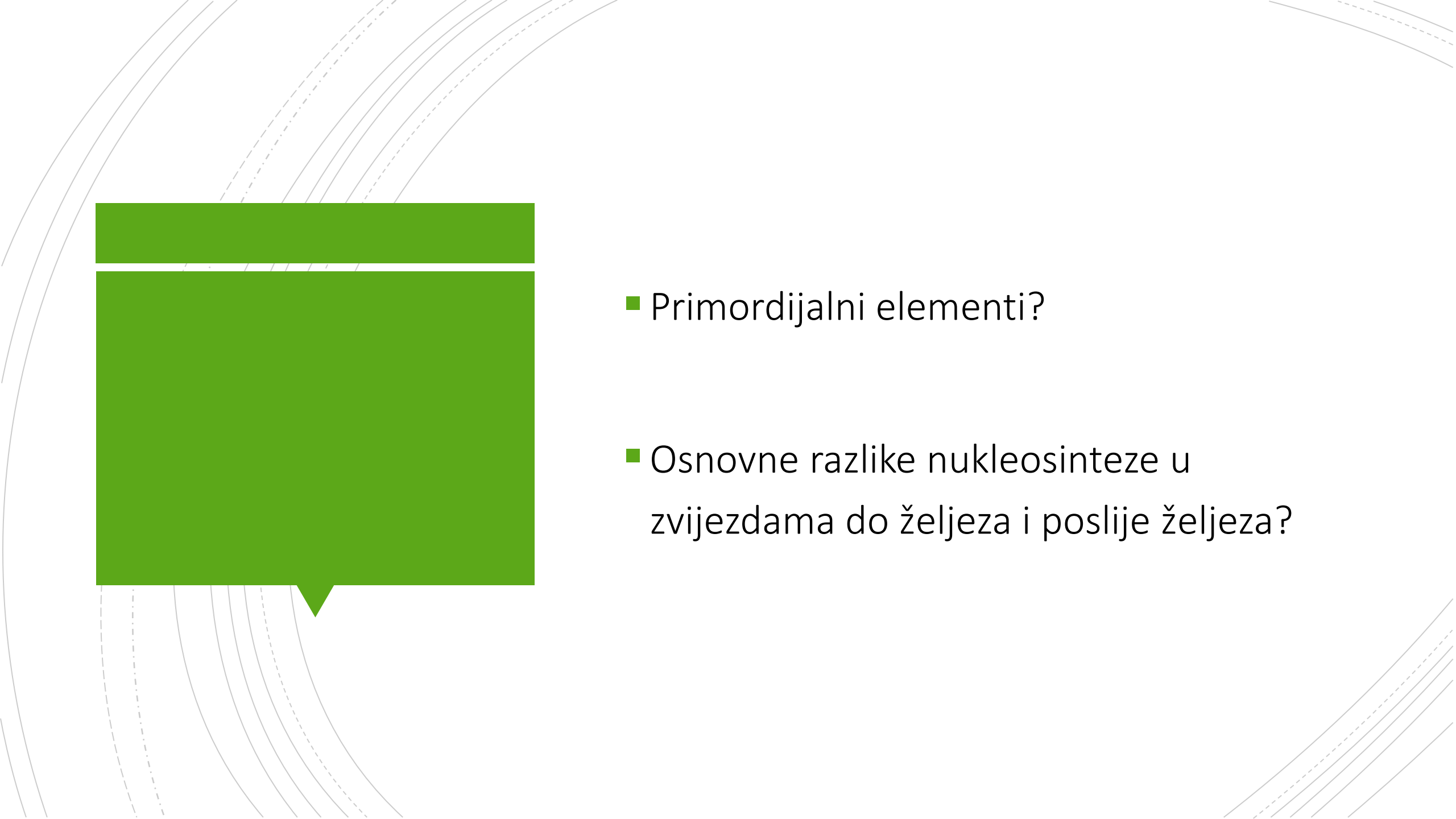


NASTANAK KEMIJSKIH ELEMENATA I NJIHOVA SVOJSTVA



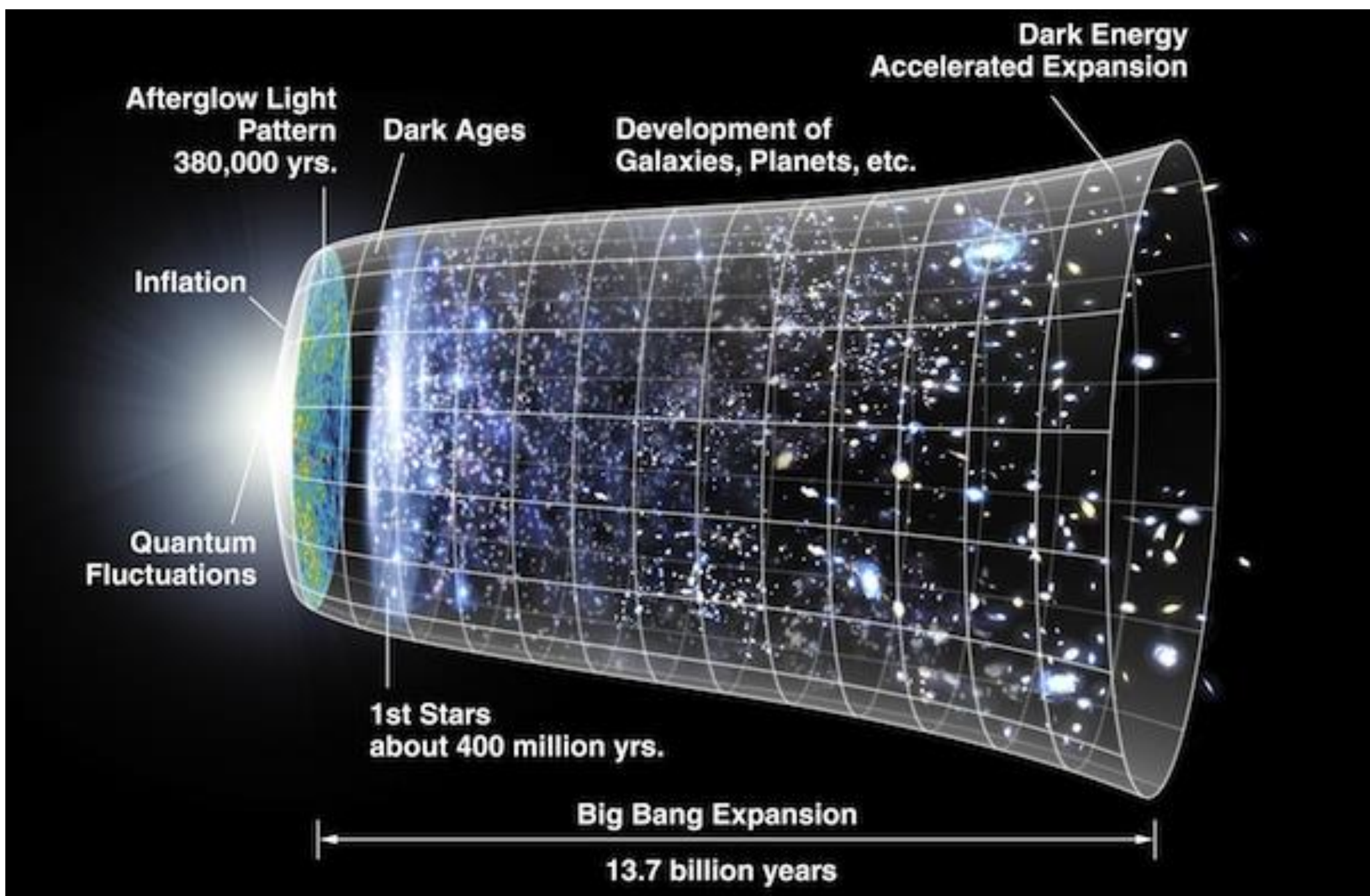
Geokemiju smo definirali kao znanost koja proučava sastav Zemlje, raspodjelu kemijskih elemenata i njihovih izotopa, u i na Zemlji, kao i zakone koji tu raspodjelu uvjetuju. Dakle, osnovni parametar od interesa u geokemiji je **KEMIJSKI ELEMENT**.

- 
- The background of the slide features a series of thin, curved lines in shades of gray, creating a sense of motion or a stylized globe. On the left side, there are two solid green rectangular blocks. The top block is smaller and positioned above the bottom block. The bottom block is larger and has a small triangular notch at its bottom center.
- Geokemija (Prohić, 1998.)
poglavlje V, str. 129 - 179

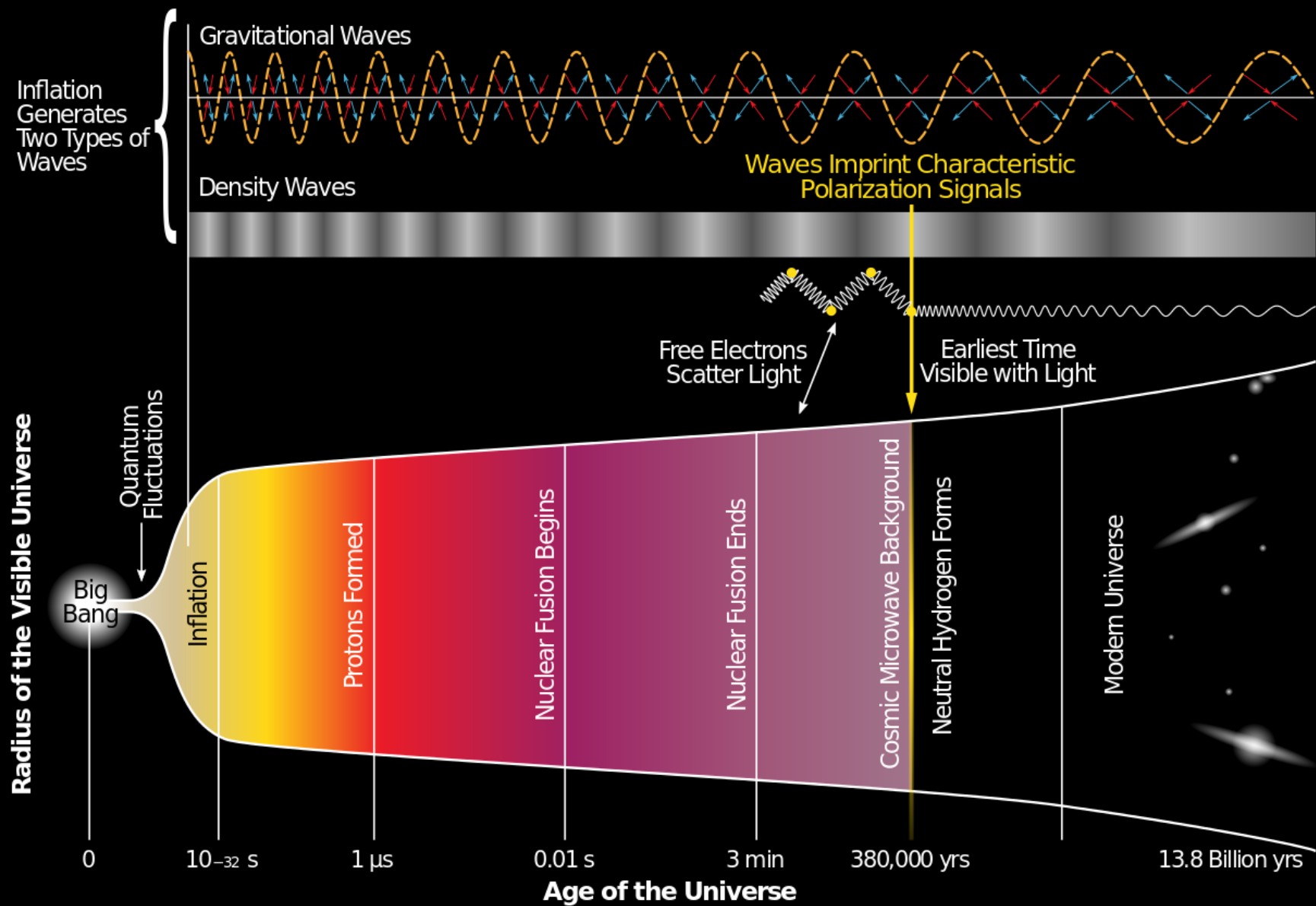
- 
- Primordijalni elementi?
 - Osnovne razlike nukleosinteze u zvijezdama do željeza i poslije željeza?

Kozmokemija

- Disciplina koja proučava kemijsku kompoziciju (sastav) svemira kao i procese koji do toga dovode.
- Tradicionalno se smatrala granom geokemije – šira definicija geokemija kaže da se ta disciplina bavi ponašanjem kemijskih elemenata i izotopa u vrijeme geoloških procesa koji se odvijaju i na drugim planetima.
- Tu su uključena pitanja koja govore o:
 - Sintezi nuklida u zvijezdama
 - Podijeli elementa između krutina, tekućina i plinova u solarnim nebulama



History of the Universe



- Sve je postalo u Velikom prasku prije oko 13 Ga (12-15 Ga).

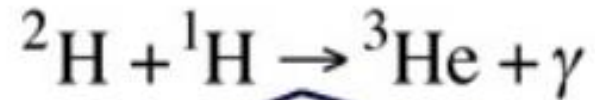
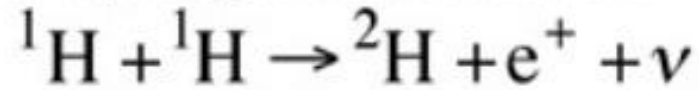
* Ga ("giga-annum") = 10^9 godina

- Nastali H, He i Li u tragovima.
- Ostatak PSE nastao nukleosintezaom u zvijezdama (različiti procesi: fuzija, s-proces, r-proces).
- Nukleosinteza (nukleo- + sinteza), sinteza atomskih jezgra u svemirskim procesima. U prirodi se razlikuje kozmološka prvotna nukleosinteza lakih elemenata, koja se odvijala neposredno nakon velikoga praska, i nukleosinteza koja se u kasnijoj povijesti svemira odvija u zvijezdama.
- Materija stvorena u zvijezdama oslobađa se u međuzvjezdani prostor zvjezdanim vjetrovima ili konačim uništenjem zvijezda (supernovae).

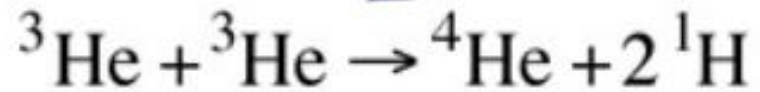
UKRATKO: Nastanak kemijskih elemenata

-  Velika T – kvarkovi i fotoni
- → Ekspanzija svemira → opadanje T
- → Nastanak protona i neutrona
- → Formiranje prvih atoma (H i He) – prvih par minuta
- → ~100 milijuna godina: daljnja nukleosinteza u zvijezdama
- → Stelarna nukleosinteza – elementi do Fe
- → Supernove – elementi teži od Fe (r- i s-proces)
- → Raspodjela elemenata odražava stabilnost jezgri (Fe, Ni najstabilniji)

PP Chains of Hydrogen Fusion in Sun-Like Stars



PPI ~ 69%



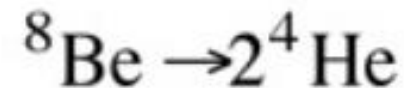
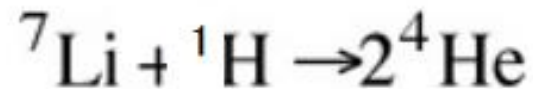
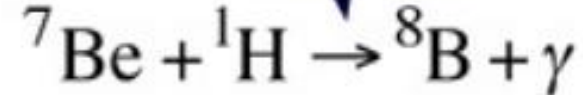
~ 31%



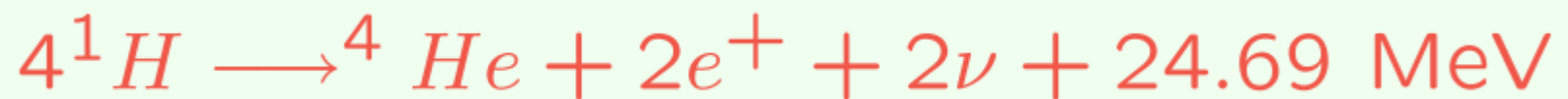
PPII ~ 99.7%

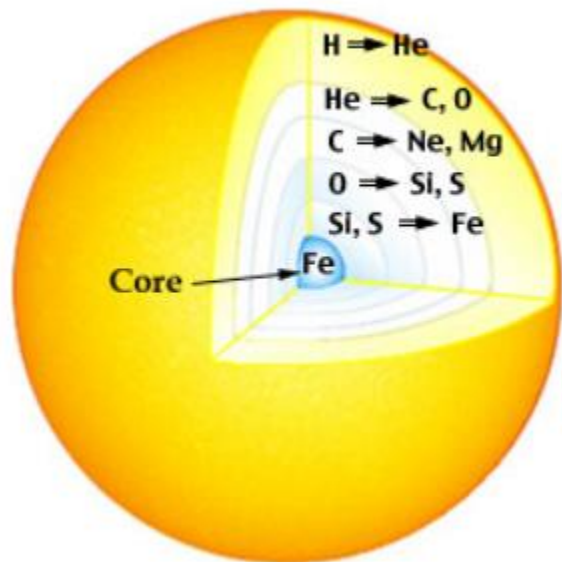
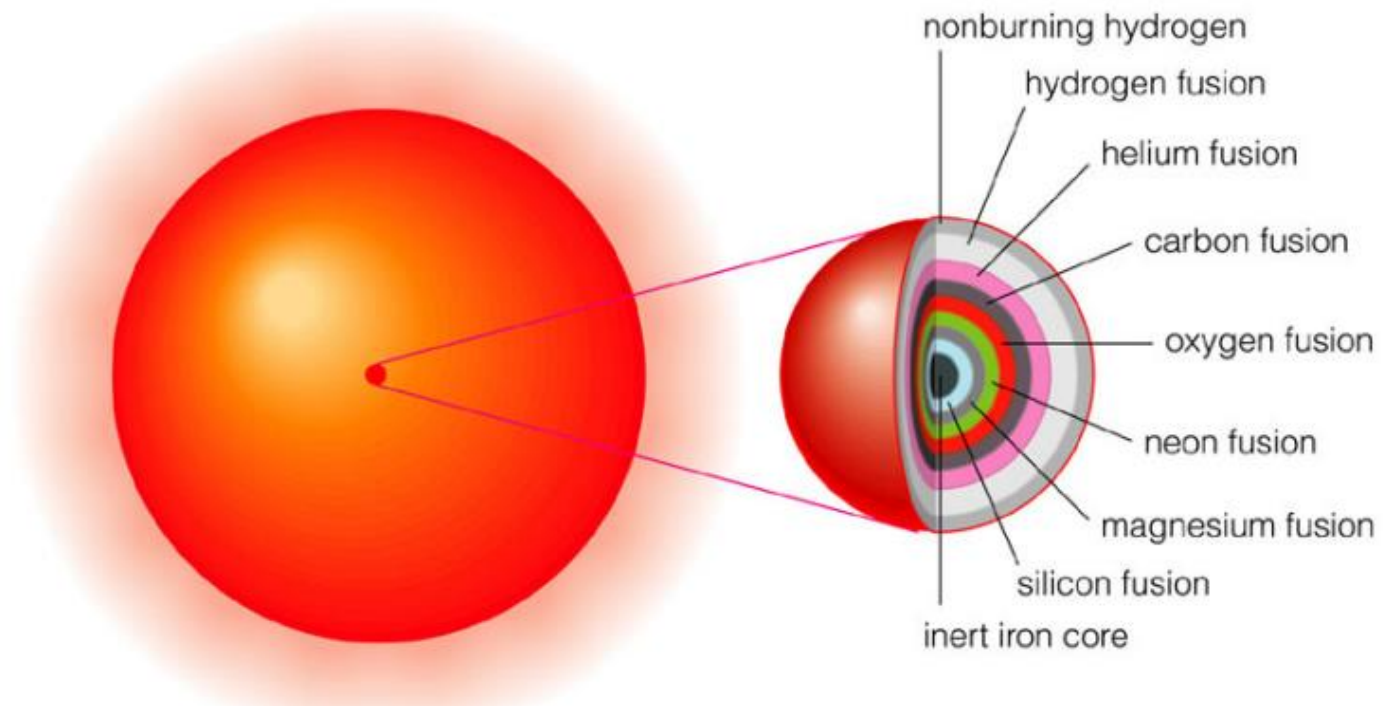


PPIII ~ 0.3%



© 2003 Stuart J. Robbins





Ciklus:

**SAŽIMANJE -> RAST TEMPERATURE -> FUZIJA
TEŽIH ELEMENATA** ide u principu do ^{56}Fe .

<i>Fuel</i>	<i>Main products</i>	<i>Secondary products</i>	<i>T</i> (10^9 K)	<i>Duration</i> (yr)	<i>Main reaction</i>
H	He	^{14}N	0.037	8.1×10^6	$4\text{H} \rightarrow {}^4\text{He}$ (CNO cycle)
He	O, C	^{18}O , ^{22}Ne s-Process	0.19	1.2×10^6	$3{}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$ ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O}$
C	Ne, Mg	Na	0.87	9.8×10^2	${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} \rightarrow \dots$
Ne	O, Mg	Al, P	1.6	0.60	${}^{20}\text{Ne} \rightarrow {}^{16}\text{O} + {}^4\text{He}$ ${}^{20}\text{Ne} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{24}\text{Mg}$
O	Si, S	Cl, Ar, K, Ca	2.0	1.3	${}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} \rightarrow \dots$
Si	Fe	Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni	3.3	0.031	${}^{28}\text{Si} \rightarrow {}^{24}\text{Mg} + {}^4\text{He} \dots$ ${}^{28}\text{Si} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{24}\text{Mg} \dots$

Zastupljenost današnjih elemenata temelji se na postepenoj (graduironoj) sintezi teških elemenata iz lakih kroz seriju kompleksnih reakcija nuklearne fuzije koja nastaje u zvijezdama – STELARNA NUKLEOSINTEZA

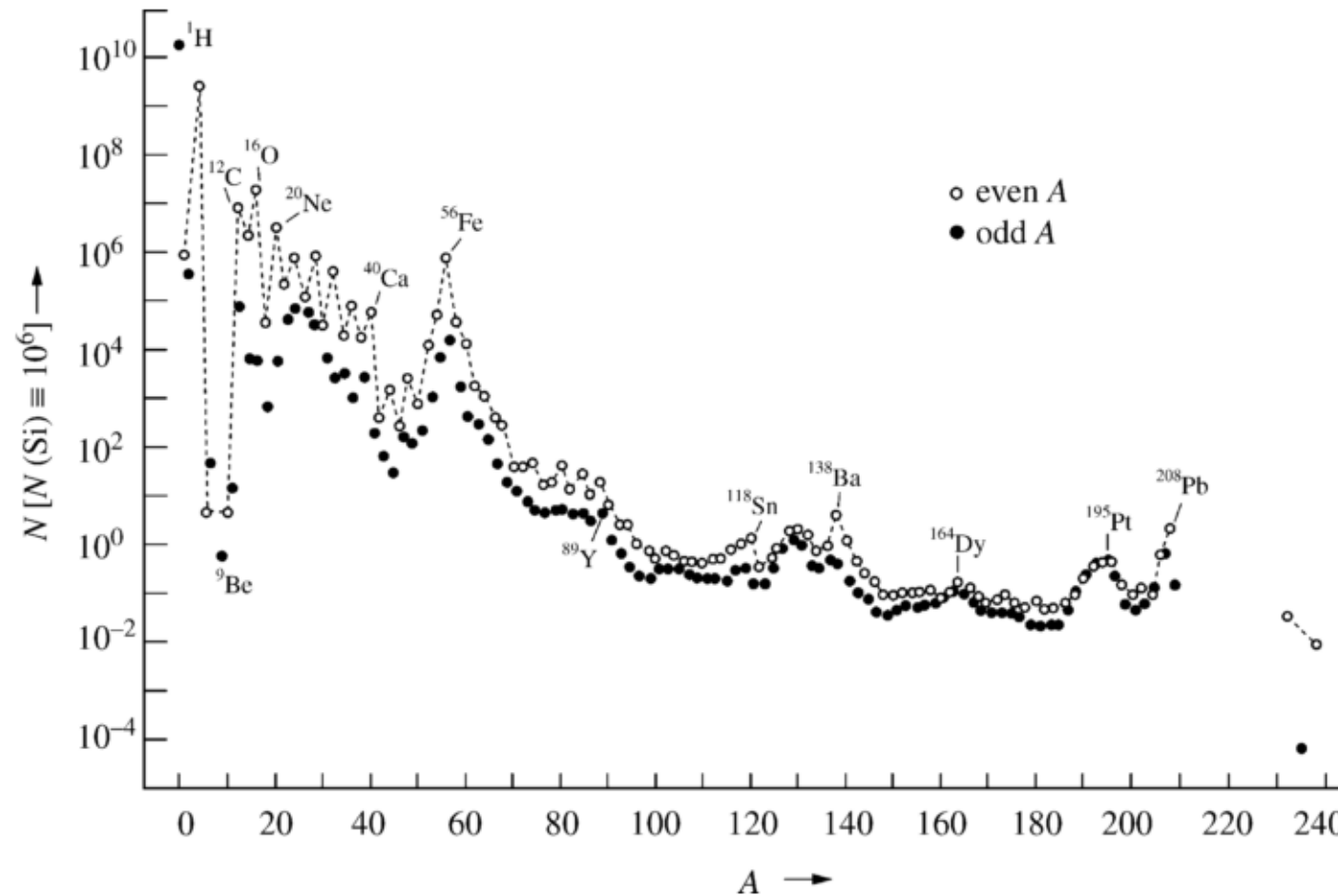


Figure 6 Solar system abundances by mass number. Atoms with even masses are more abundant than those with odd masses (Oddo–Harkins rule) (source [Palme and Beer, 1993](#)).

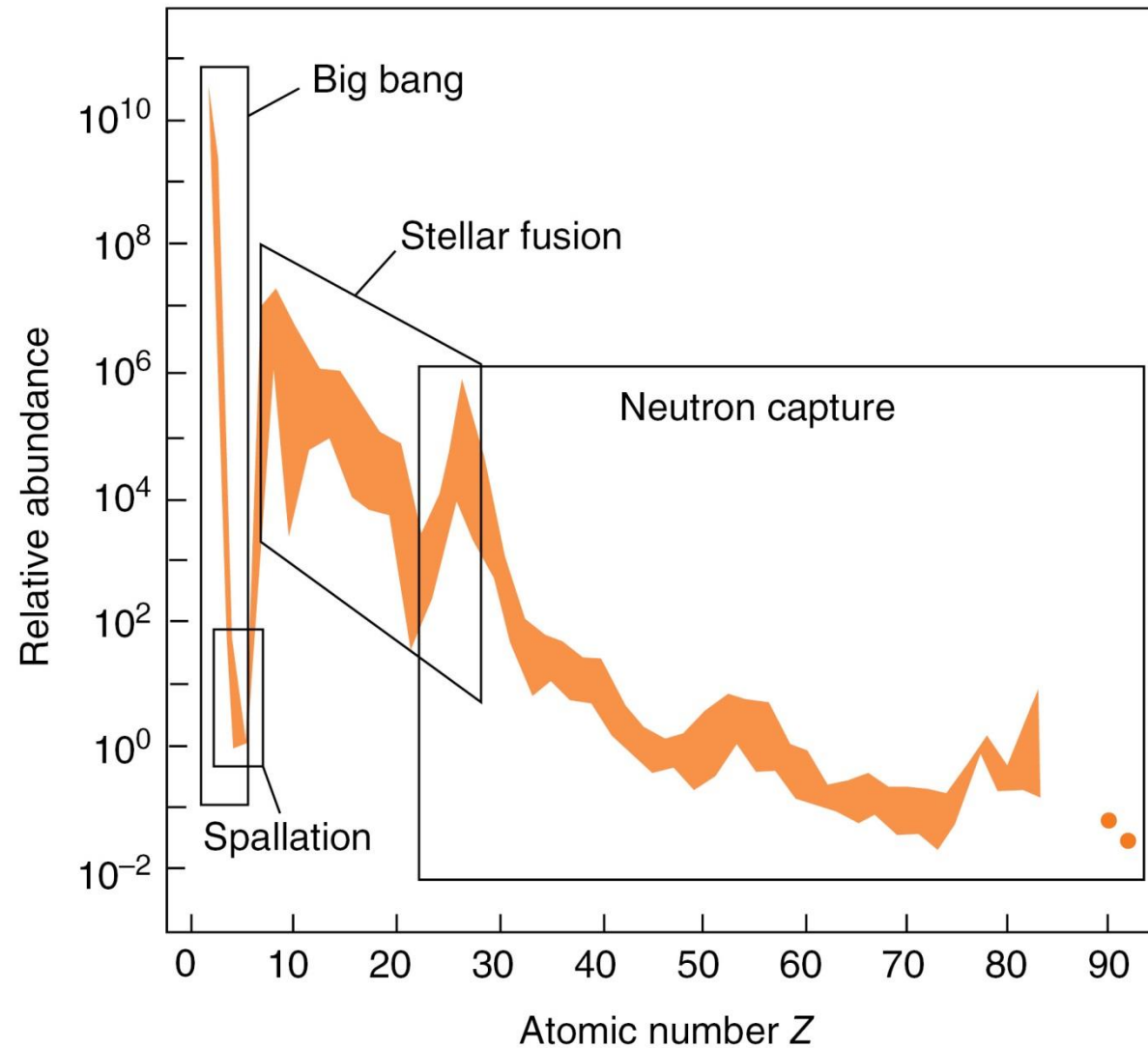


Figure 11.3 The Solar-System abundance curve (Figure 11.2) showing the domains of various nucleosynthetic processes.

KRIVULJA OBILNOSTI

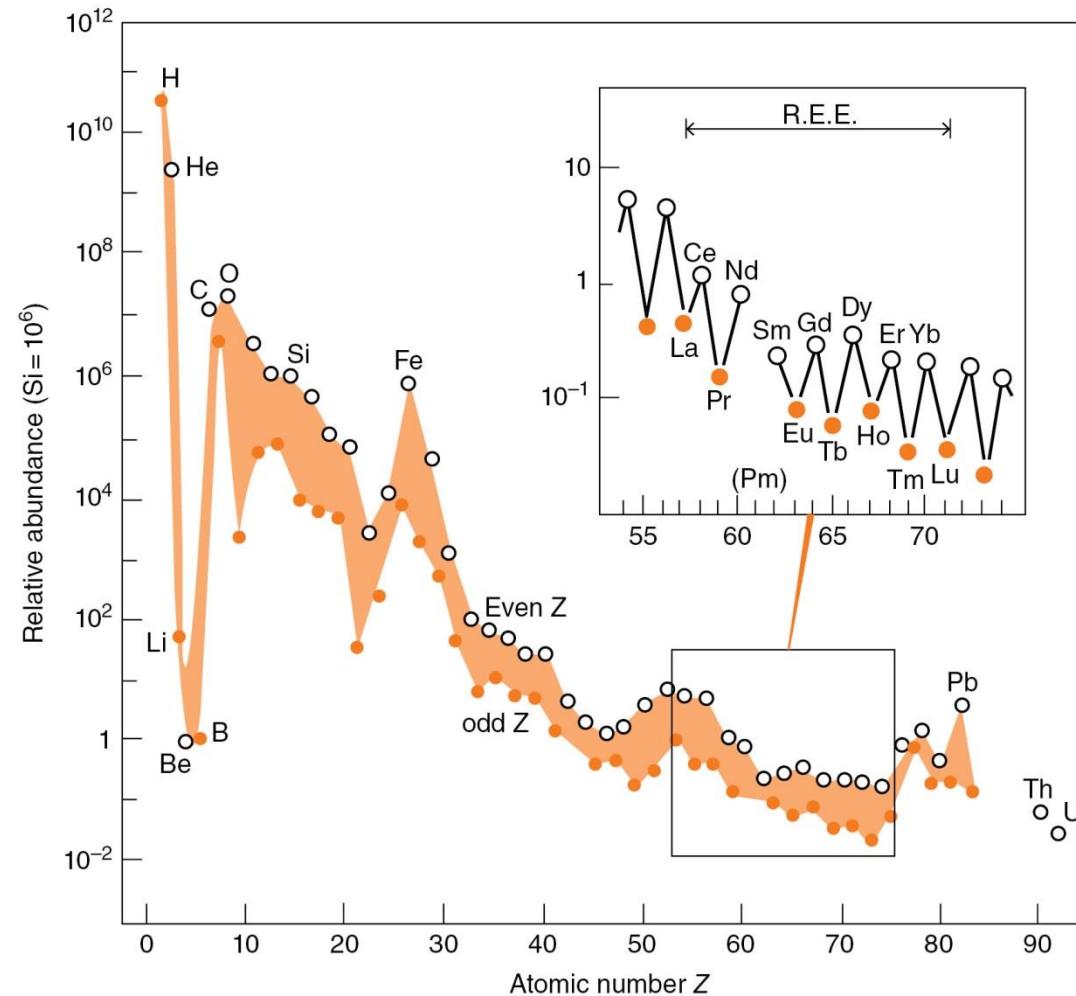
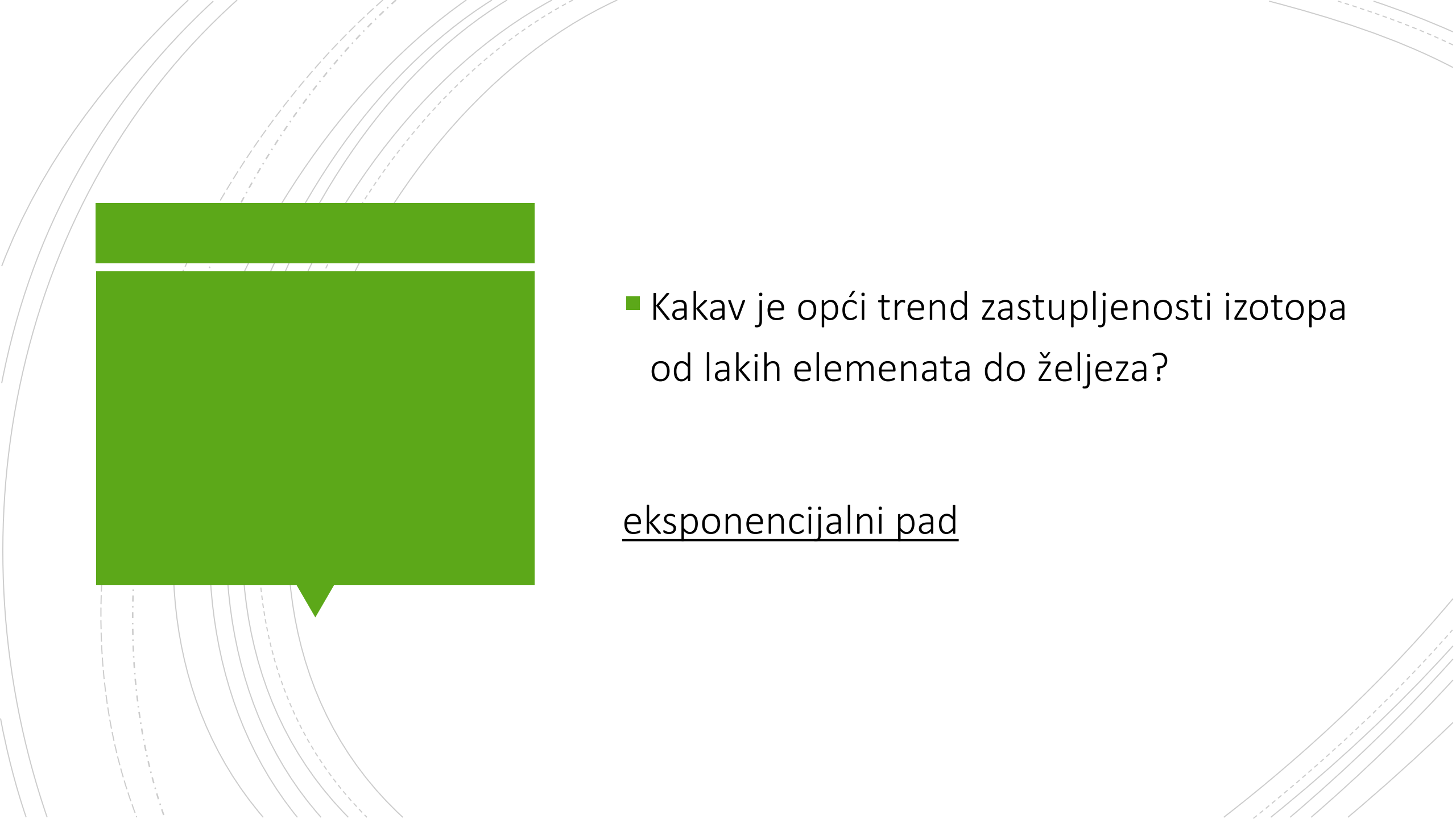
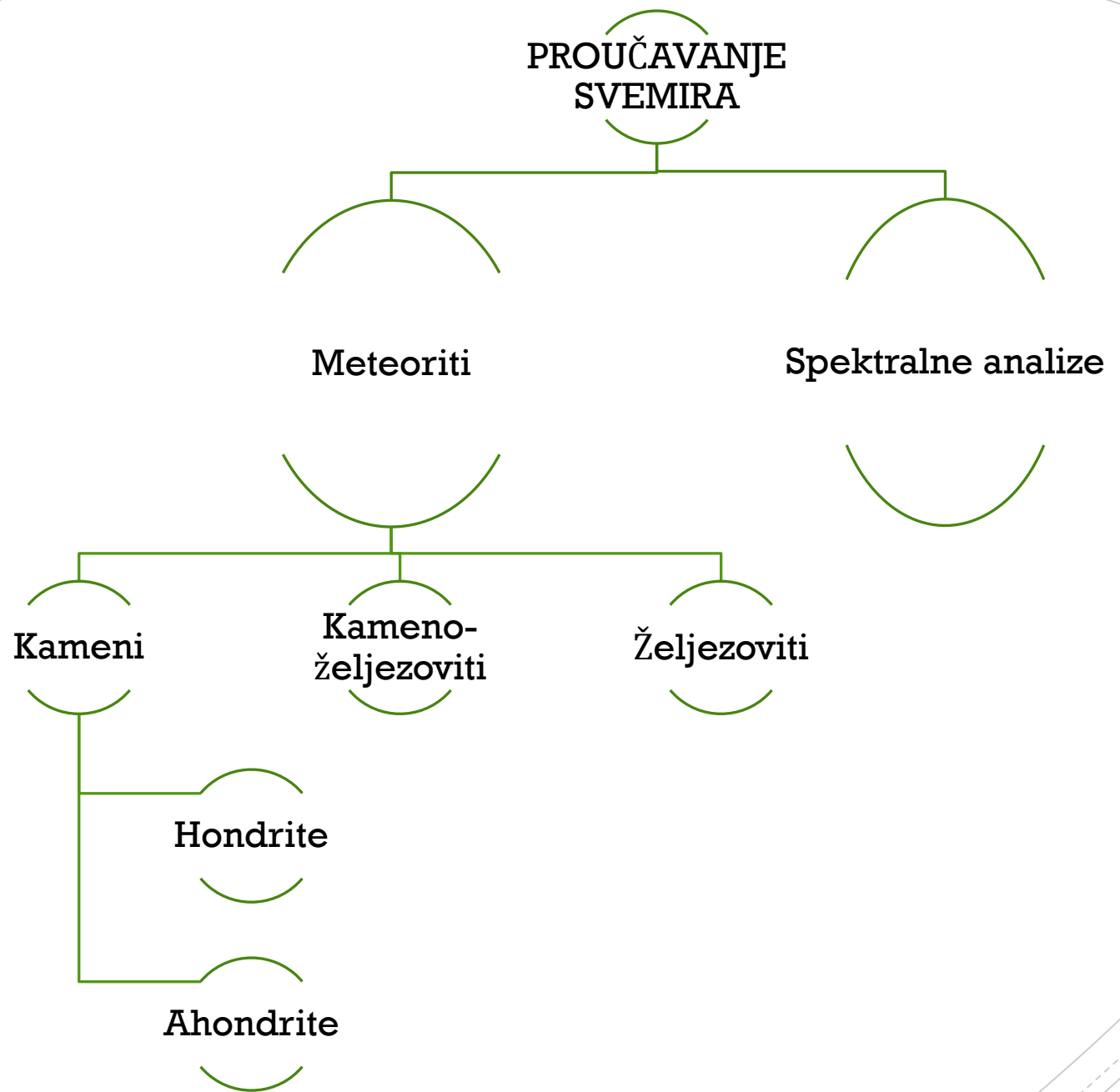
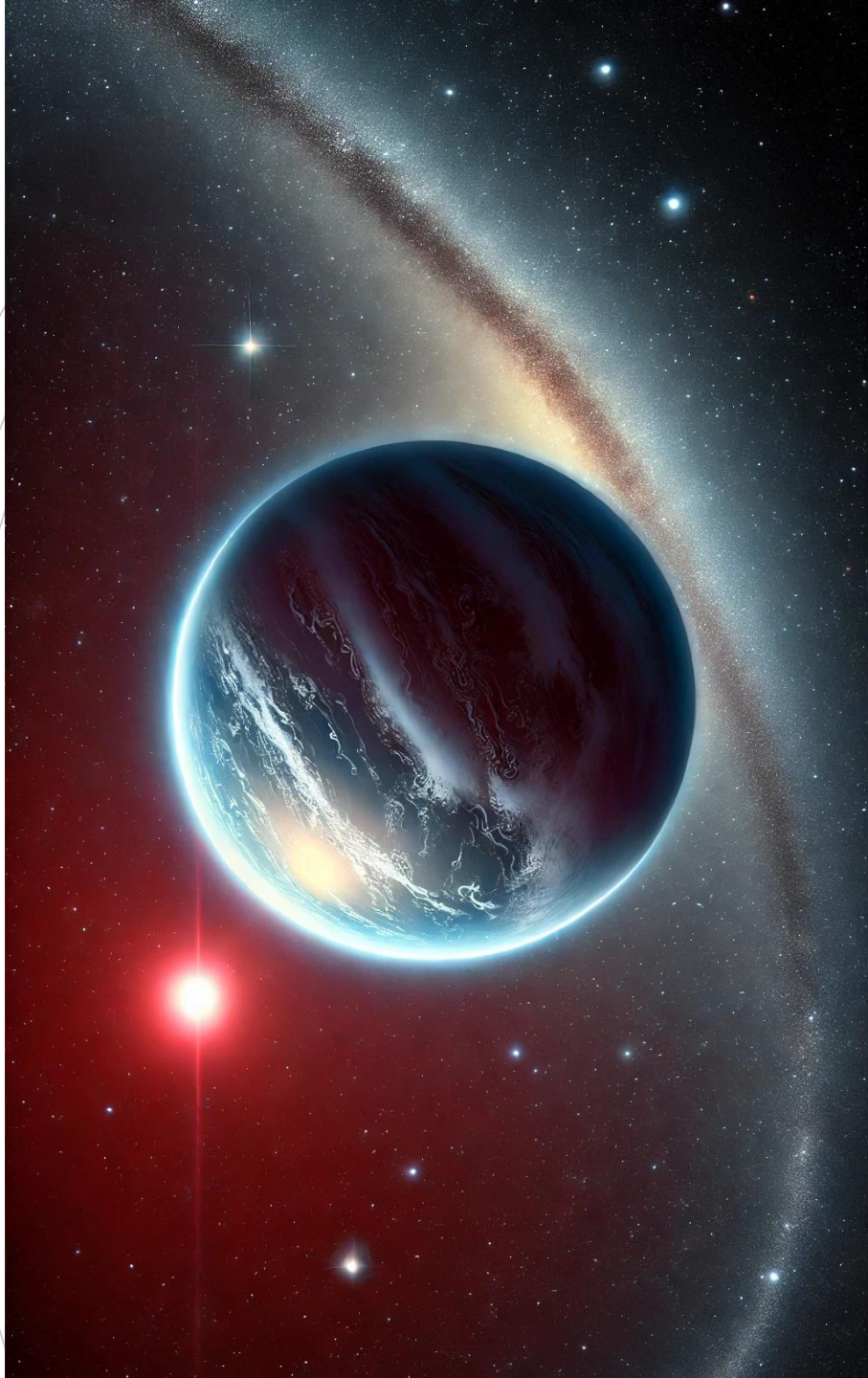


Figure 11.2 The composite Solar-System elemental abundance curve. The vertical axis shows on a **logarithmic** scale the number of atoms of each element per 10⁶ atoms of silicon. The inset shows abundances of the rare earth elements ('REE', La to Lu) and some neighbouring elements. The element promethium (Pm) has no stable isotopes and is not found in meteorites (see Exercise 11.1 at the end of this chapter). ○, elements with Z even; ●, elements with Z odd. The stippled band emphasizes the abundance difference between even-Z and odd-Z nuclides.

- Do željeza vode razne fuzijske reakcije → proizvode se vrlo stabilne jezgre i oslobađa se E
- Zato je Fe obilno u Svemiru!
- Elementi teži od Fe trebaju E – endotermne reakcije → zvijezde postaju nestabilne → supernova → raspršenje elemenata → elektronsko kaptiranje (uhvat elektrona)
 - **r-proces** (*rapid neutron capture*): jezgre vrlo brzo hvataju neutrone → nastaju elementi poput uranija, torija, zlata.
 - **s-proces** (*slow neutron capture*) → postupno nakupljanje neutrona → nastaju elementi srednje mase (npr. stroncij, barij, olovo).

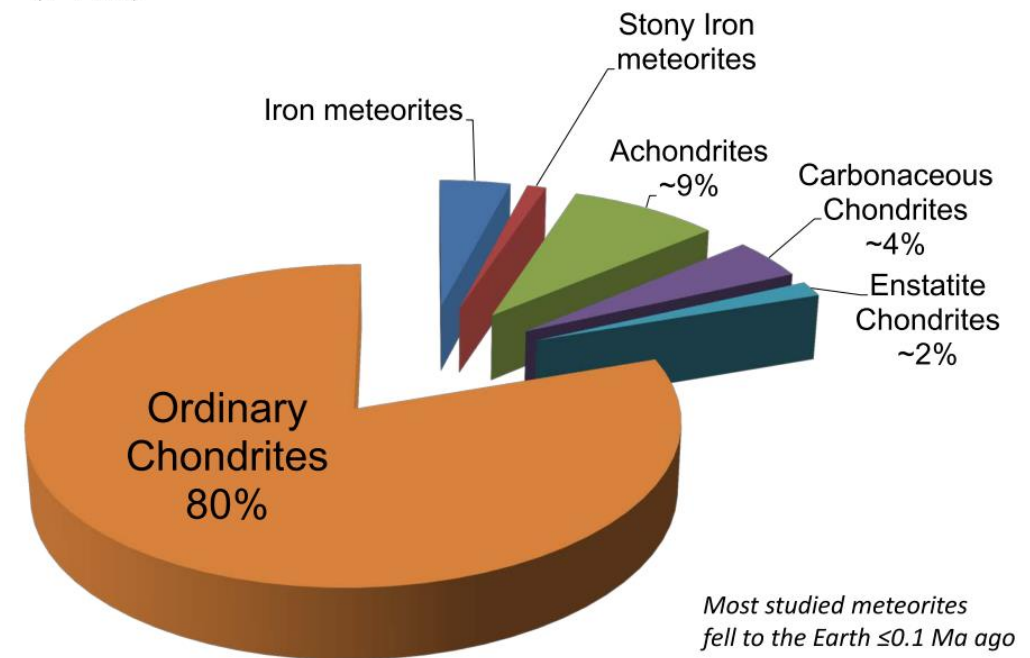
- 
- Kakav je opći trend zastupljenosti izotopa od lakih elemenata do željeza?

eksponencijalni pad



- NAIJSTARIJI METEORITI: Hondriti (Geokemija, Prohić, str 164.)
- Hondriti su najprimitivniji materijal u Sunčevom sistemu
- Najčešća klasa meteorita
- Zbog svog “primarnog” sastava često se uspoređuje s ostalim planetarnim materijalima, pri čemu se opisuje koliko je materijal “evoluirao” (evolved)

Meteorite: Fall statistics
(n=1101)



Dhofar
(Ordinary Chondrite H)

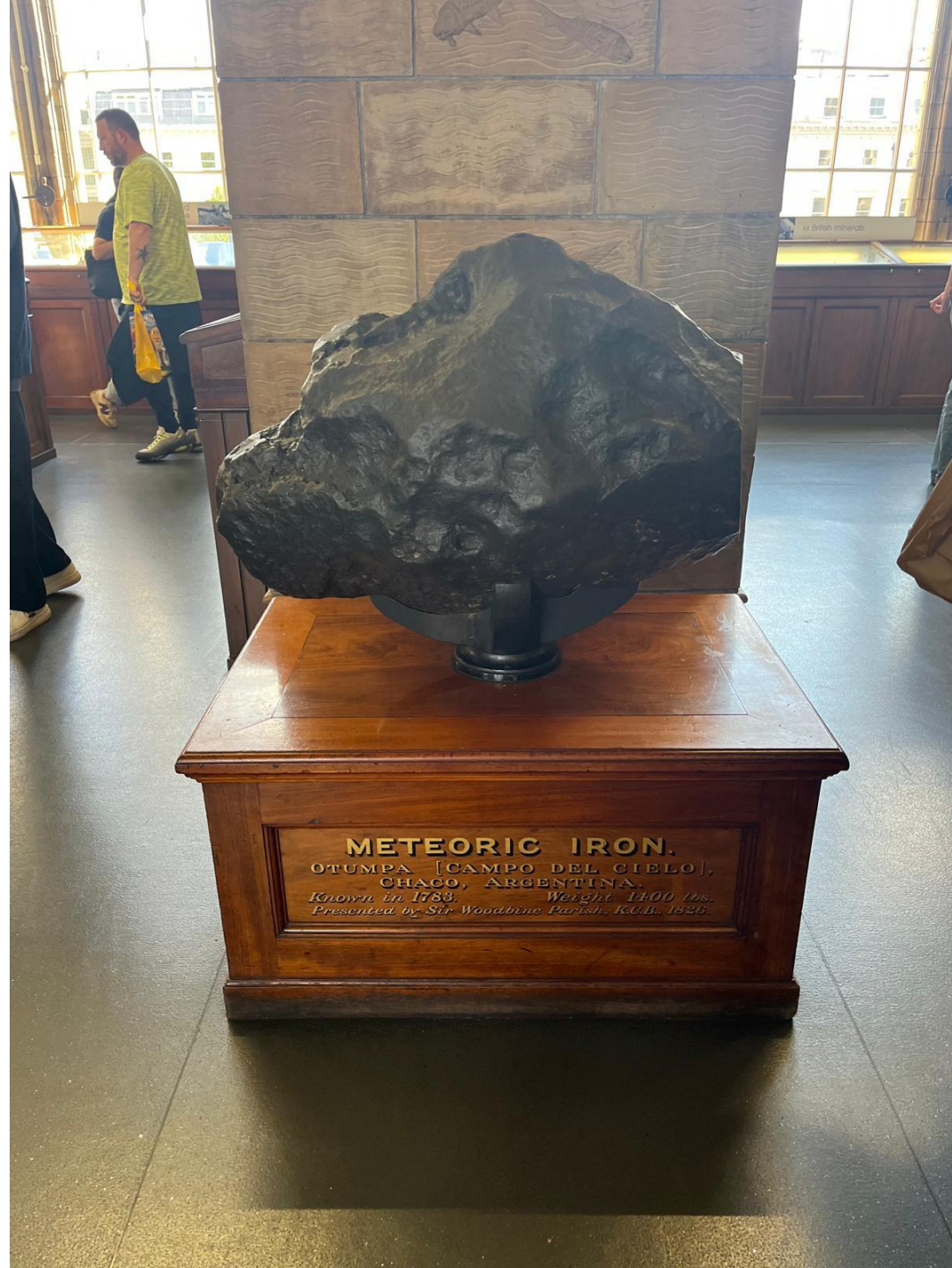


North West Africa
(Ordinary L)



North West Africa
(CO)





METEORIC IRON.

OTUMPA [CAMPO DEL CIELO],
CHACO, ARGENTINA.

Known in 1788. Weight 1400 lbs.
Presented by Sir Woodbine Parish, K.C.B., 1826.

Box 11.1 Types of meteorite, shown in proportion to percentage of total falls¹

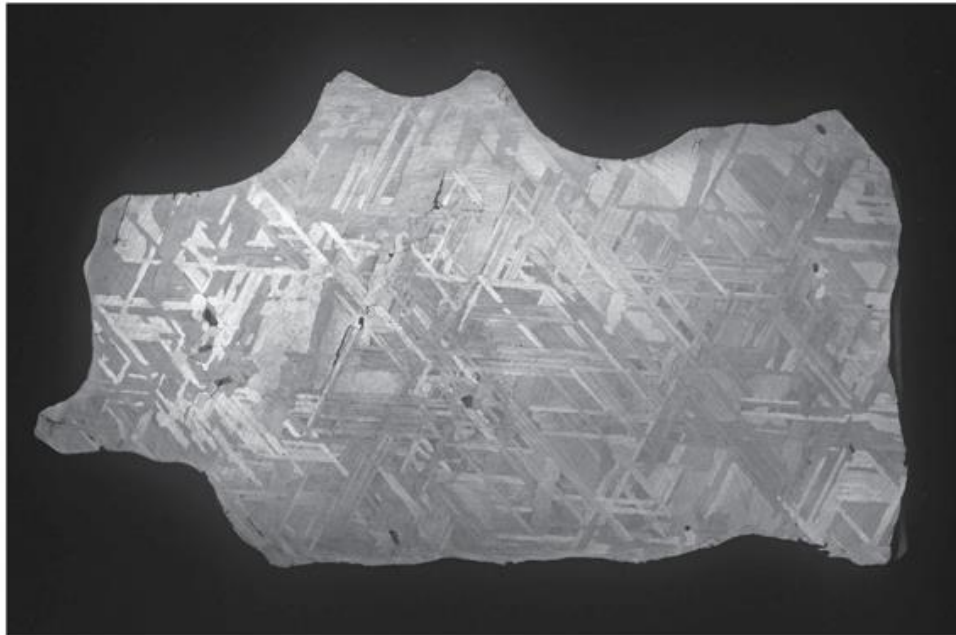
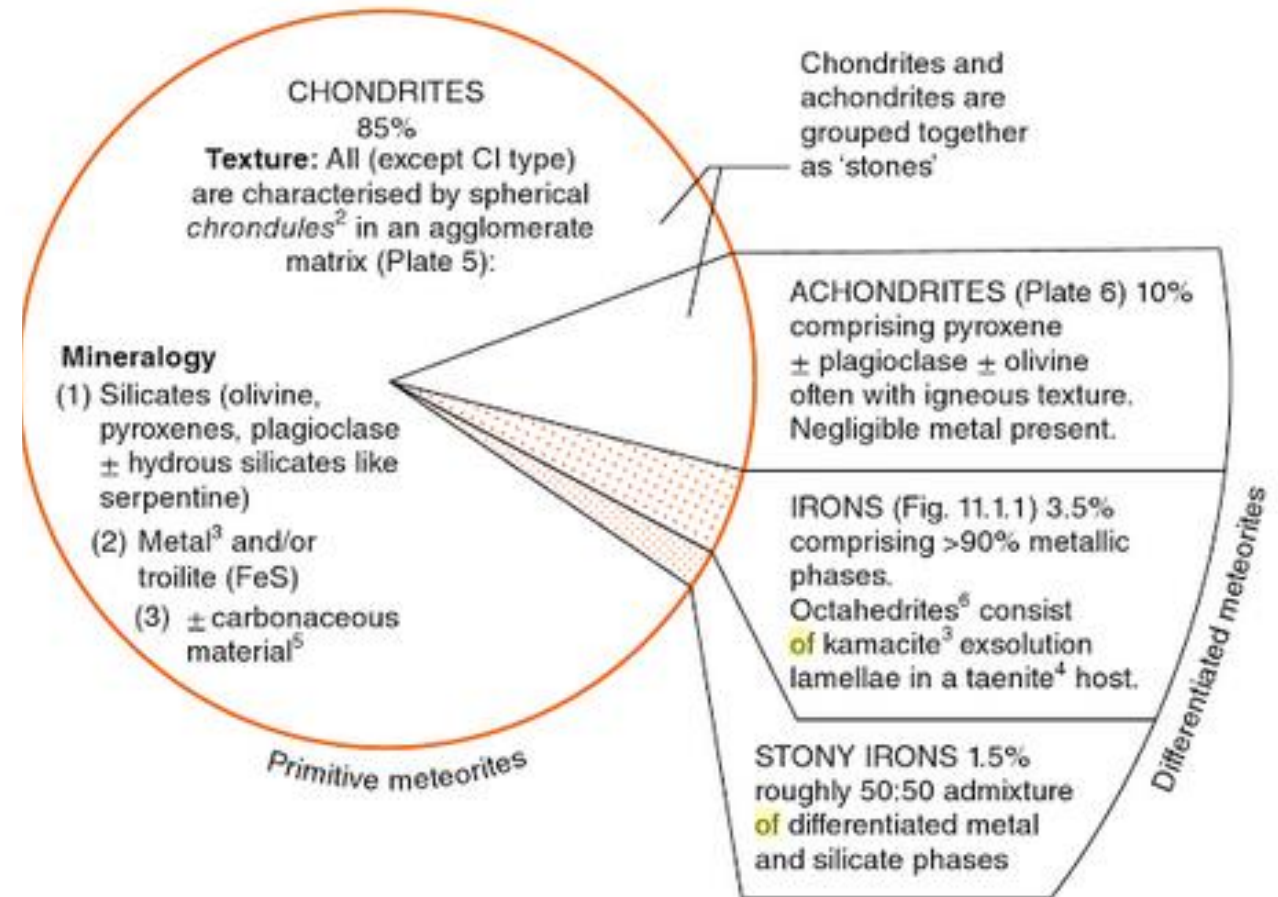
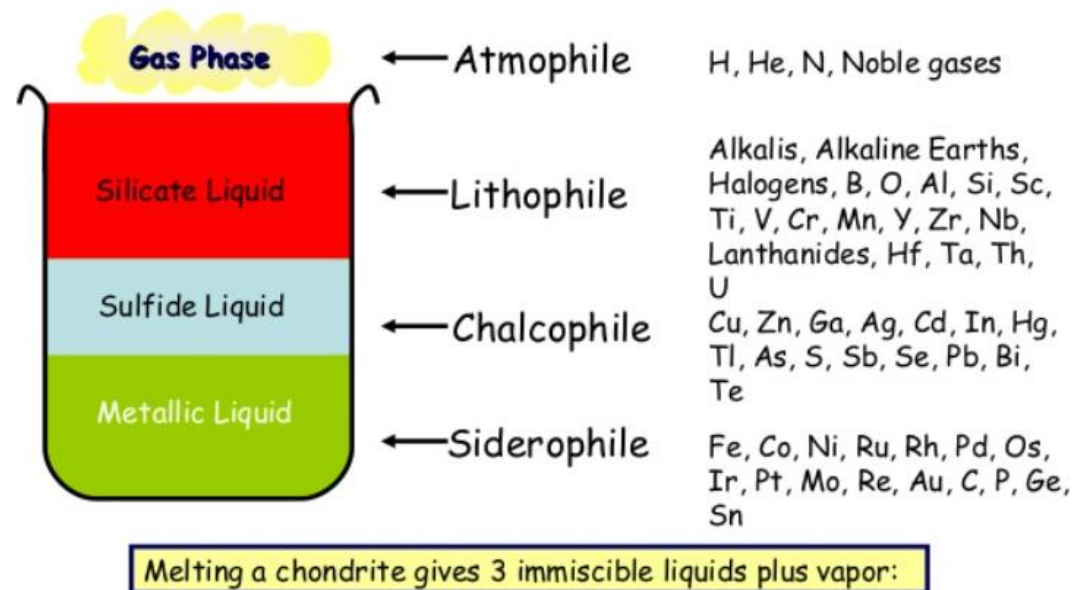


Figure 11.1.1 The acid-etched surface of an octahedrite⁶ iron meteorite (Canyon Diablo iron), exposing the internal Widmanstätten texture of kamacite³ lamellae in a taenite⁴ host. The specimen is 15cm in length. (Source: © The Natural History Museum, London. Reproduced with permission.)



Postoji podjela kemijskih elemenata prema tzv. geokemijskom afinitetu

- Litofilni (rock-loving) elementi koji tvore silikate ili okside
- Siderofilni (iron-loving) elementi koji se vežu za željezo u metalnim smjesama;
- Halkofilni (sulfur-loving) elementi koji reagiraju sa sumporom tvoreći sulfide
- Atmosofilni elementi, prisutni su u plinovitom stanju; prisutni su i atmosferi



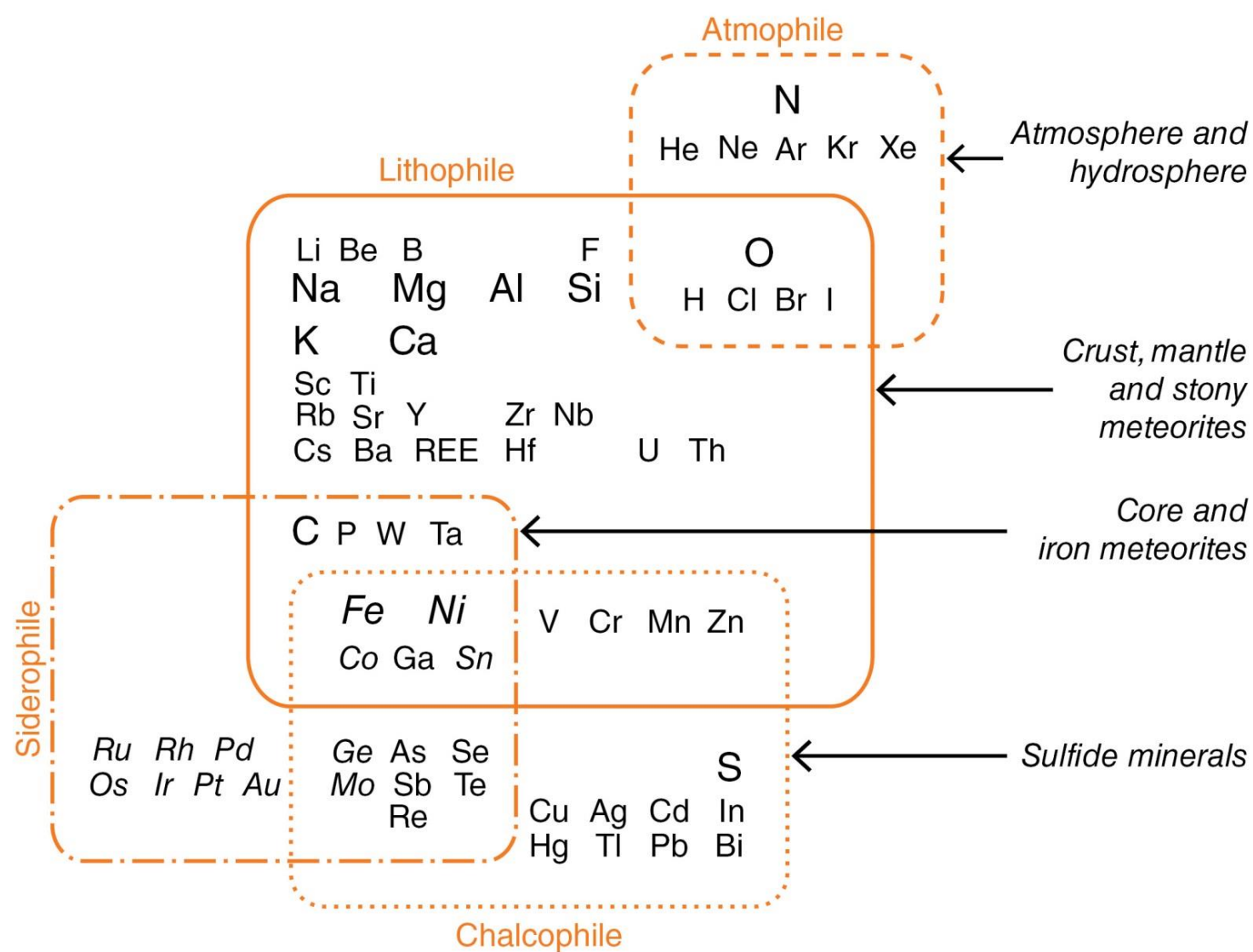


Figure 11.4 Element affinities in the Earth and in meteorites. Areas of overlap show elements common to two or more phases. Larger lettering indicates a major element. Elements found principally in the metal phase are shown italicized. (REE – Figure 11.2.)

Volatilni vs. Refraktorni (kriterij je temperatura kondenzacije)

Prelaze u plinovitu fazu pri niskim temperaturama – H, He i N + Cd, Pb, S i alkalni elementi (većina)

Većina siderofilnih je volatilna

Litofilni i halkofilni, u različitim stupnjevima

Ostaju u krutom stanju i pri vrlo visokim temperaturama – platinski metali (npr. iridij),

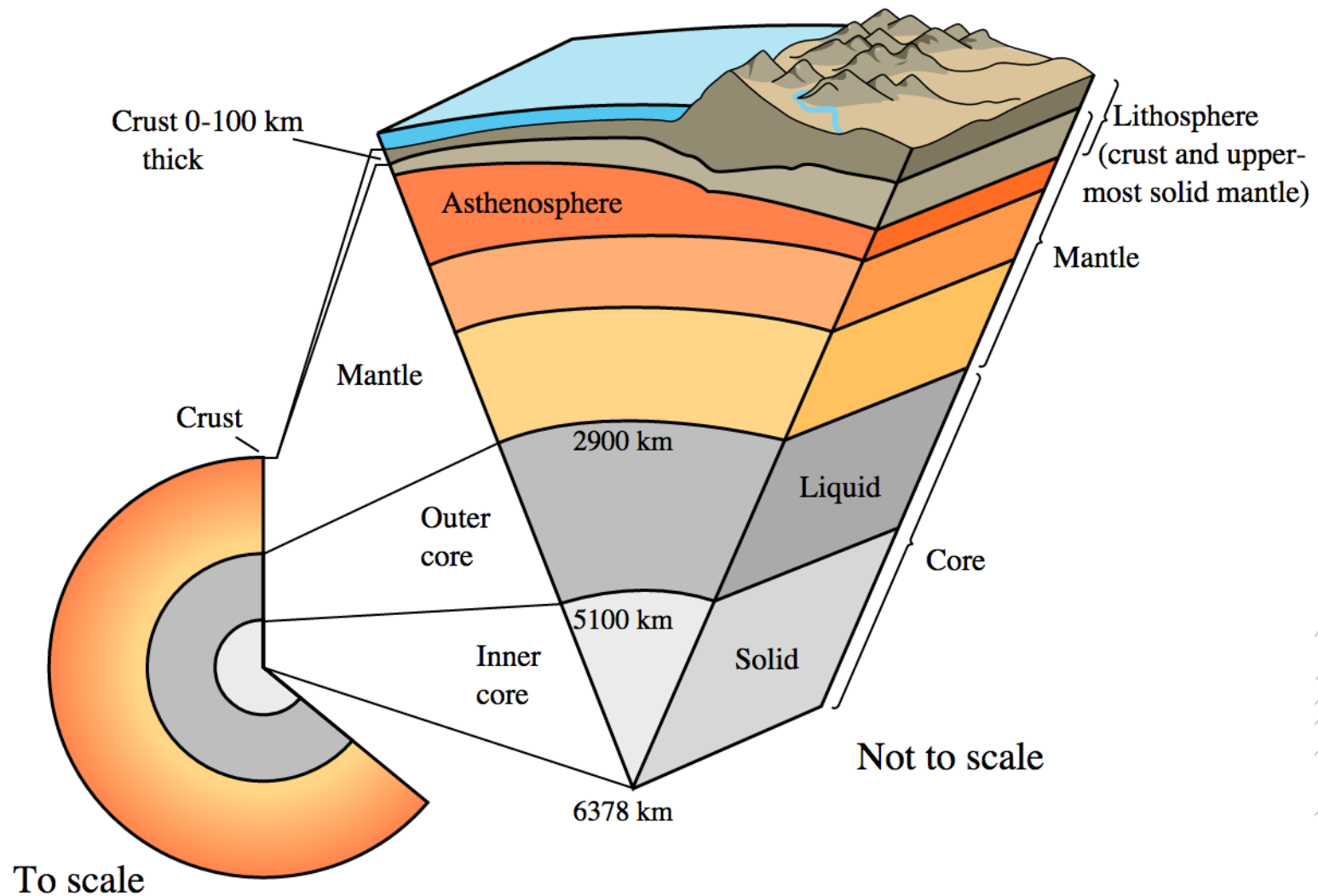
+ Ca, Al, Ti koji tvore refraktorne okside ili silikate / CaTiO_3 i/ili $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Mg i Si su djelomično refraktorni elementi – zašto je to bitno?

Atmofilni

KEMIJSKA DIFERENCIJACIJA ZEMLJE

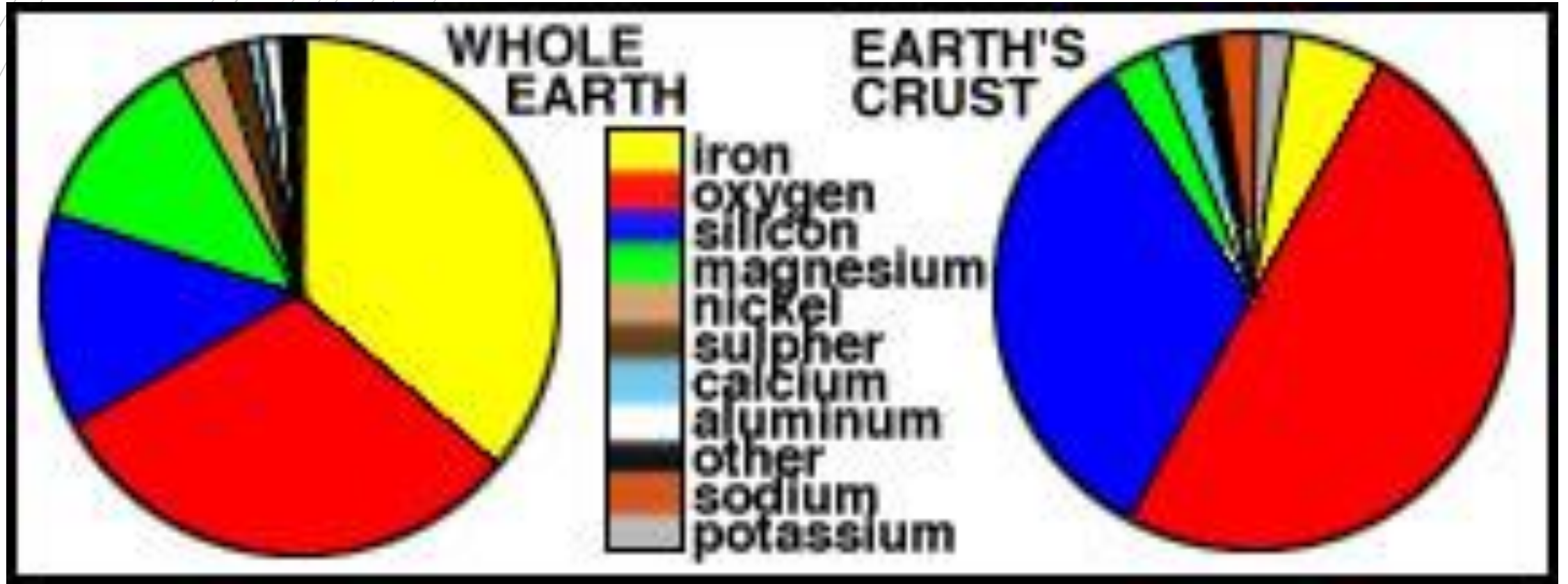
Zašto nam treba
Goldschmidtova
klasifikacija?



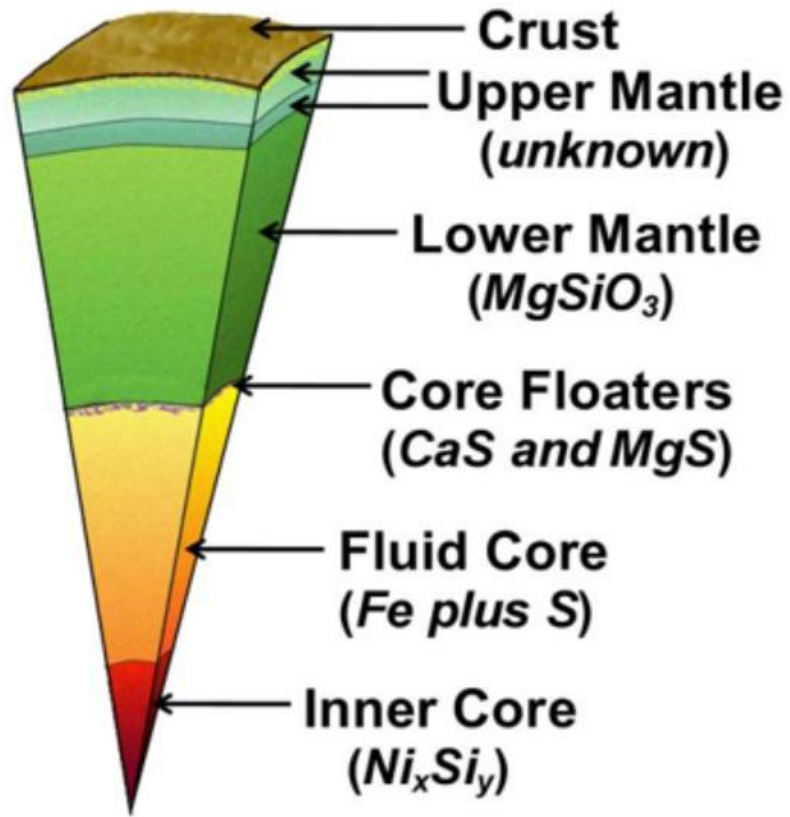
Zemlja nije homogena!

- Zemlja i hondriti imaju približno isti **ukupni (bulk) sastav**
— nastali su iz istog solarnog nebularnog materijala
- Ali: **kora, plašt i jezgra** imaju znatno različite koncentracije elemenata

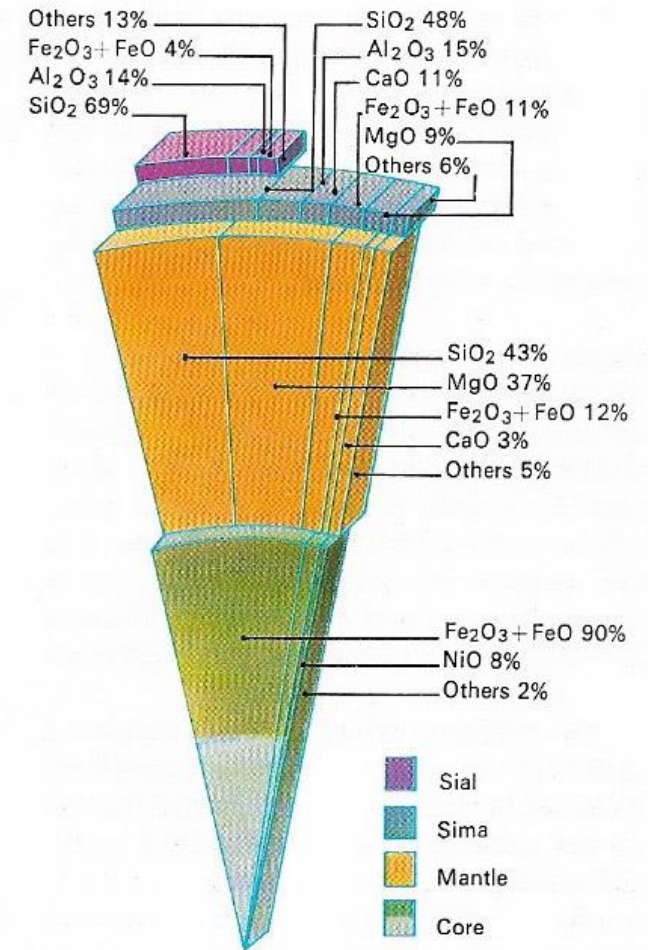
Razmislite: Kako je iz homogenog početka nastala tako slojevita Zemlja?



Layers of the Earth Composition



Notice Si is in the Lower Mantle and the Inner Core as well as the crust.



Napomena: sastav jezgre prikazan je kao oksidi (FeO , NiO) radi usporedivosti s ostalim slojevima, ali jezgra je zapravo metalna Fe–Ni legura — upravo zato što su siderofilni elementi reducirani u metal, a ne vezani u silikatnu rešetku.

Depth
(km)

Pressure (millions of atmospheres)

1 2 3 4 5

Crust

*Feldspar, pyroxene,
quartz*

Temperature (degrees C)

1.000 2.000 3.000 4.000 5.000 6.000 7.000 8.000

Upper Mantle

*Olivine, pyroxene, garnet
Ringwoodite, wadsleyite, mayjenite*

1.000

Lower Mantle

Bridgmanite & ferropericlase

2.000

D'' layer

Post-perovskite

3.000

4.000

Outer Core

Liquid iron alloy

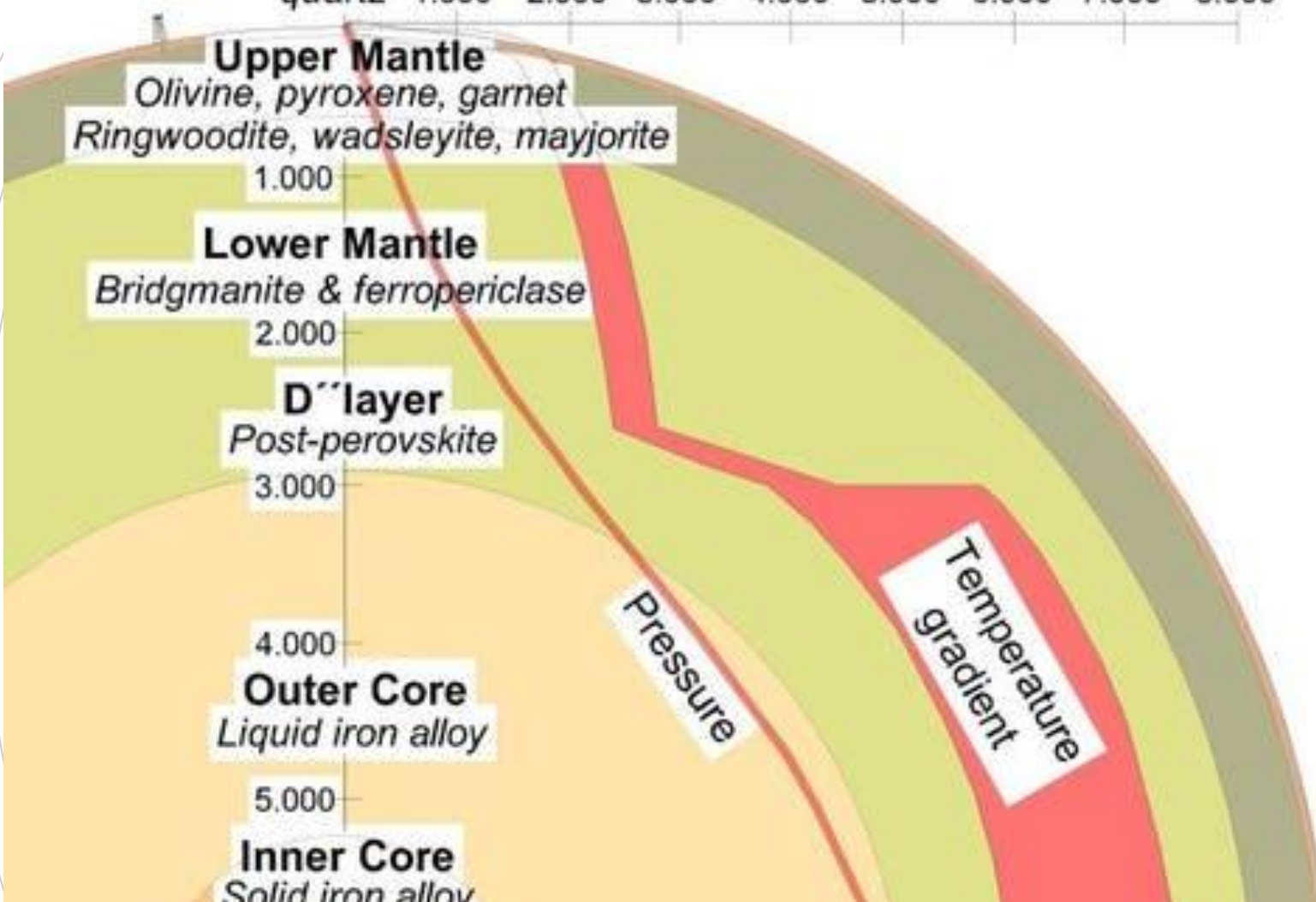
5.000

Inner Core

Solid iron alloy

Pressure

Temperature
gradient



Diferencijacija Zemlje u tri koraka

1. Rano taljenje

- akrecija + radioaktivno zagrijavanje (^{26}Al , ^{235}U , ^{238}U) + udari
- → djelomično do potpuno taljenje mlade Zemlje (“magma ocean”)

2. Gravitacijska segregacija — “iron catastrophe”

- u tekućoj Zemlji gušći metalni Fe–Ni “potone” prema centru
- → nastanak jezgre

3. Kora iz plašta

- djelomično taljenje plašta → bazaltne i kisele (felsične) taljevine
- → postupna izgradnja kore

Skupina	Kamo su otišli	Primjeri
Siderofilni (iron-loving)	metalna jezgra (Fe–Ni)	Ni, Co, Pt-elementi, Au, Re
Halkofilni (sulfur-loving)	sulfidna faza / kasnije rude	S, Cu, Zn, Pb
Litofilni (rock-loving)	silikatni plašt i kora	Si, O, Al, Ca, Na, K, REE, U, Th
Atmofilni	atmosfera / hidrosfera	H, C, N, plemeniti plinovi

Kako znamo da je jezgra željezna?

- **Gustoća** unutrašnjosti Zemlje (seizmologija, moment inercije) $\approx 13\,000\text{ kg/m}^3 \rightarrow$ odgovara samo Fe–Ni legura
- **Osiromašenje siderofilima u kori** (vrlo niski Au, Pt u usporedbi s hondritima) $\rightarrow$ “potonuli” su
- **Željezovi meteoriti** = fragmenti jezgri razbijenih planetoida — imamo “uzorke” tuđih jezgri

Pitanja za kolokvij — kemijska diferencijacija

- Objasni pojam kemijske diferencijacije Zemlje i njezine glavne korake.
- Zašto su siderofilni elementi osiromašeni u kori u usporedbi s hondritima?
- Zašto se željezovi meteoriti mogu smatrati “uzorcima” jezgri?
- Zašto se ^{56}Fe naziva vrhom krivulje obilnosti i što to znači za nukleosintezu?

"Hard" or "Type A" Cations

(All electrons removed from outer shell)
(Thus a noble-gas-like configuration of the outer shell)

Coordinate F>O>N>Cl>Br>I>S
Commonly coordinate with O of carboxyl groups of organic ligands
See also insets 1 to 5 and 7.

Cations that coordinate with OH⁻ (or H₂O) in solution
Cations that coordinate with OH⁻ or O²⁻ in solution
Cations that coordinate with NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, etc. in solution

Symbol (see scale at far right)
Element Name
Atomic Mass
Naturally occurring isotopes
Radioactive decay pathways

Outline solid for naturally occurring elements or ions; dashed for ones that rarely or never occur in nature.
Atomic Number (number of protons)
Ionic Radius (r) (Å) (or elemental radius for elemental forms)
Most abundant (bold)
Radioactive (italicized)

z_r = ionic charge + ionic radius
z_r = 32 = ionic charge + ionic radius

Chromate (CrO₄²⁻) is a hard anion shown to left
Permanganate (MnO₄⁻) is a hard anion shown to left

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

Intermediate Cations

(Some electrons remain in outer shell)
Coordinate with S or O likely

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

"Soft" ("Type B") Cations

(Many electrons remain in outer shell)
Coordinate >Br>S>Cl>N>O>F
Commonly coordinate with C of organic ligands, as in methylmercury

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

Elemental Forms (uncharged)

other than noble gases
Principal elements in iron meteorites (Fe>Ni>Co) and, with S or O, presumably dominant elements in Earth's core

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

Anions

with incomplete outer electron shells
with full outer electron shells (e.g., as CH₄, NH₃, H₂S, H₂O, etc.)

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

Anions

with incomplete outer electron shells
with full outer electron shells (e.g., as CH₄, NH₃, H₂S, H₂O, etc.)

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

z_r = 16
z_r = 8
z_r = 4
z_r = 2

An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and Their Ions

Version 4.8d © 2008 L. Bruce Railsback, Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia, 30602-2501 U.S.A. (rlsbk@gly.uga.edu). For updates and more information, see <http://www.geology.uga.edu/~lbruce>
Version 4.6 of this table was published as Figure 1 of the following paper: Railsback, L.B., 2003. An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and Their Ions. *Geology*, v. 31, no. 9, p. 737-740. Publication of Version 4.6 in *Geology* was supported by National Science Foundation Grant DUE 02-03115. Version 4.7 was published in 2004 in the *Geological Society of America's* *Geological Society of America Bulletin*. Version 4.8 is available from the website listed above, as are translations of this table into Spanish.

Inset 5: Typical simple oxysalt minerals

(...MO_n minerals without OH or H₂O)
Minerals with cations of very low ionic potential (e.g., K⁺, Na⁺, Ba²⁺)
Minerals with cations of low ionic potential (e.g., Ca²⁺, Sr²⁺, Pb²⁺)
Minerals with cations of intermediate ionic potential (e.g., Mg²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺)
Minerals with cations of high ionic potential (e.g., Al³⁺, Si⁴⁺, Ti⁴⁺)

Inset 6: Melting and decomposition (d) temperatures (K) of oxides of intermediate and soft cations

2000
1600
1200
800
400
0

Inset 7: Conceptual model of the behavior of oxides of hard (and intermediate) cations

High z_r
Strong bonds, but cation-cation repulsion
Intermediate z_r
Weak cation-cation repulsion
Low z_r
Weak cation-cation repulsion

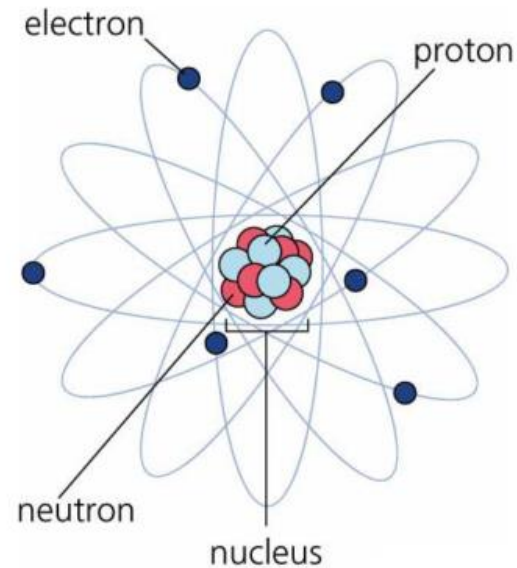
Inset 9: The many valence states of nitrogen

Valence state
Example
5+ NO₃⁻ (nitrate)
4+ NO₂ (nitrogen dioxide)
3+ NO₂⁻ (nitrite)
2+

Ponavljanje!

- *Protoni i neutroni zajedno nazivaju se 'nukleoni' (čestice jezgra)*
- *"Nuklid" – sinonim za atom*

Unutrašnja građa atoma



A HISTORY OF THE ATOM: THEORIES AND MODELS

How have our ideas about atoms changed over the years? This graphic looks at atomic models and how they developed.

SOLID SPHERE MODEL



JOHN DALTON



1803

Dalton drew upon the Ancient Greek idea of atoms (the word 'atomos' meaning indivisible). His theory stated that atoms are indivisible, those of a given element are identical, and compounds are combinations of different types of atoms.

+ RECOGNISED ATOMS OF A PARTICULAR ELEMENT DIFFER FROM OTHER ELEMENTS

- ATOMS AREN'T INDIVISIBLE - THEY'RE COMPOSED FROM SUBATOMIC PARTICLES

PLUM PUDDING MODEL



J.J. THOMSON



1904

Thomson discovered electrons (which he called 'corpuscles') in atoms in 1897, for which he won a Nobel Prize. He subsequently produced the 'plum pudding' model of the atom. It shows the atom as composed of electrons scattered throughout a spherical cloud of positive charge.

+ RECOGNISED ELECTRONS AS COMPONENTS OF ATOMS

- NO NUCLEUS; DIDN'T EXPLAIN LATER EXPERIMENTAL OBSERVATIONS

NUCLEAR MODEL



ERNEST RUTHERFORD



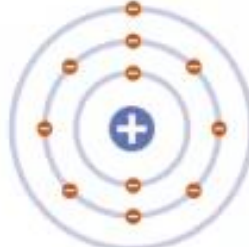
1911

Rutherford fired positively charged alpha particles at a thin sheet of gold foil. Most passed through with little deflection, but some deflected at large angles. This was only possible if the atom was mostly empty space, with the positive charge concentrated in the centre: the nucleus.

+ REALISED POSITIVE CHARGE WAS LOCALISED IN THE NUCLEUS OF AN ATOM

- DID NOT EXPLAIN WHY ELECTRONS REMAIN IN ORBIT AROUND THE NUCLEUS

PLANETARY MODEL



NIELS BOHR



1913

Bohr modified Rutherford's model of the atom by stating that electrons moved around the nucleus in orbits of fixed sizes and energies. Electron energy in this model was quantised; electrons could not occupy values of energy between the fixed energy levels.

+ PROPOSED STABLE ELECTRON ORBITS; EXPLAINED THE EMISSION SPECTRA OF SOME ELEMENTS

- MOVING ELECTRONS SHOULD EMIT ENERGY AND COLLAPSE INTO THE NUCLEUS; MODEL DID NOT WORK WELL FOR HEAVIER ATOMS

QUANTUM MODEL



ERWIN SCHRÖDINGER



1926

Schrödinger stated that electrons do not move in set paths around the nucleus, but in waves. It is impossible to know the exact location of the electrons; instead, we have 'clouds of probability' called orbitals, in which we are more likely to find an electron.

+ SHOWS ELECTRONS DON'T MOVE AROUND THE NUCLEUS IN ORBITS, BUT IN CLOUDS WHERE THEIR POSITION IS UNCERTAIN

+ STILL WIDELY ACCEPTED AS THE MOST ACCURATE MODEL OF THE ATOM



Chadwick, 1932

+ Neutrons!

+



© COMPOUND INTEREST 2016 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.





John Dalton [Doltn]

1776. – 1844.

Engleski kemičar i meteorolog, osnivač je atomističke teorije.



Sir Joseph James Thomson

[Tomson]

1856. – 1940.

Dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1906. godine za dokaz da je elektron čestica.



Ernest Rutherford [Raderford]

1871. – 1937.

Engleski fizičar. Otkrio je α - i β -čestice i γ -zračenje. Dobio je Nobelovu nagradu za kemiju 1908. godine.



Niels Bohr [Bor]

1885. – 1962.

Danski fizičar, dobio je Nobelovu nagradu za kemiju 1922. godine. Počasni je doktor Sveučilišta u Zagrebu.



Erwin Schrödinger [Šredinger]

1887. – 1961.

Austrijski fizičar, jedan od začetnika valne mehanike. Dobio je Nobelovu nagradu za fiziku 1933. godine.

Thomsonov eksperiment

<https://www.youtube.com/watch?v=Ka3v5dIQGOI>

(1:50 + 2:35)

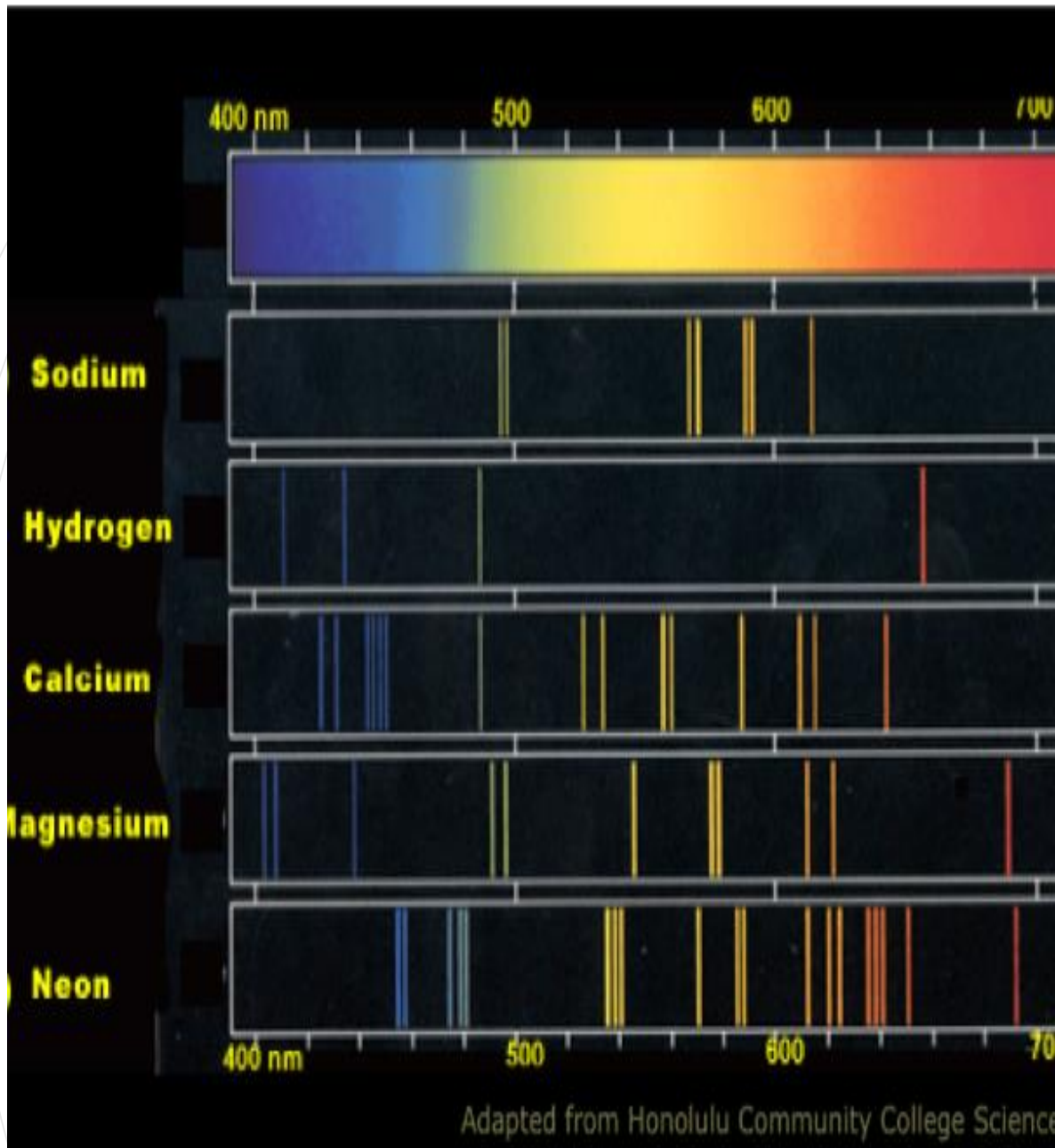
Rutherfordov eksperiment (znao je da su alfa čestice + nabijene čestice)

<https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/f8d552c1-03ca-47a1-943a-61ea3e2d1bd0/povijest-modela-atoma.html>

https://www.youtube.com/watch?v=IQ1h_gdVIHg

(Cijeli video)

<https://www.youtube.com/watch?v=GB2UpIynSOQ>



- Problem Rutherfordov modela (tzv. planetarni model atoma) je što takav model ne bi bio stabilan.
- Po predloženom modelu negativno nabijeni elektroni kruže po putanjama oko pozitivno nabijene jezgre.
- Zbog zakona o očuvanju energije elektroni bi trebali kontinuirano gubiti kinetičku energiju i spiralno se približavati jezgri, te na kraju završiti u samoj jezgri (kolabirati).
- Pri takvom gibanju došlo bi do nastanka kontinuiranog spektra jer bi elektroni emitirali zračenje sve manje E - sve veće valne duljine $\neq$ NIJE OPAŽENO
- OPAŽENO JE da se atomski spektri sastoje od diskretnih linija → razvoj Bohrovog modela atoma (2 postulata)
-

KVANTNOMEHANIČKI MODEL ATOMA

<https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/f8d552c1-03ca-47a1-943a-61ea3e2d1bd0/kvantnomehanicki-model-atoma-1.html>

DEFEKT MASE I ENERGIJA VEZANJA

Usporedimo mase

a) Protona i neutrona

b) jezgre helija – sastoji se od dva protona i dva neutrona:

$$m(p) = 1,007276467 \text{ u}$$

$$m(e) = 0,0005485799 \text{ u} \rightarrow m(p+e) = 1,007825 \text{ u}$$

$$m(n) = 1,008665 \text{ u}$$

$$m(^4\text{He}) = 4,0026033 \text{ (iz PSE)}$$

$$\Delta m = [2 \cdot m(p+e) + 2 \cdot m(n)] - m(^4\text{He}) =$$

$$4,03298 - 4,0026033 = 0,0303767 \text{ u}$$

DEFEKT MASE

$$E \text{ (energija vezivanja)} = \Delta M c^2$$

Δm - razlika između neke atomske jezgre i mase svih njenih komponenti - protona i neutrona - zove se **defekt mase**.

Energija vezivanja po nukleonu (energija vezivanja jezgre) govori o stabilnosti jezgre → što je ta energija veća nukleoni su stabilniji.

Što je **u**, da se podsjetimo?

- Unificirana atomska jedinica mase
- u ili m_u ili Dalton (Da) (eng amu atomic mass unit)
- 1/12 mase ugljikova izotopa ^{12}C
- iznosi $1,6606 \cdot 10^{-27}$ kg
- napomena; relativna atomska masa je omjer atomske mase i unificirane atomske jedinice pa je zato bez mjerne jedinice
- Prohić, str 75

$$E \text{ (energija vezivanja)} = \Delta M c^2$$

Mjerne jedinice energije:

- džul (J)
- elektronvolt ($\text{eV} \approx 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$)
- umnošci zakonitih jedinica snage i vremena, npr. kilovatsat ($\text{kWh} = 3,6 \text{ MJ}$)

energija, rad, količina topline

džul

J

N m

$\text{m}^2 \text{ kg s}^{-2}$

c - brzina svjetlosti , $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$\Delta m = [2 \cdot m(p) + 2 \cdot m(n)] - m(4\text{He}) = 4,03298 - 4,0026033 = 0,0303767 \text{ u} \rightarrow \text{u kg} = ?$$

$$E \text{ (energija vezivanja)} = \Delta M c^2$$

$$=? \text{ kg m}^2\text{s}^2 \rightarrow \text{J} /$$

$$=? \text{ MeV} / 4 \text{ (br nukleona)}$$

$$=? \text{ MeV}$$

Energije u nuklearnoj fizici izražavati u MeV

$$1 \text{ MeV} = 1.609 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Kolika je energija vezivanja po nukleonu vodika?

c - brzina svjetlosti, $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$\Delta m = [2 \cdot m(p) + 2 \cdot m(n)] - m(4\text{He}) = 4,03298 - 4,0026033 = 0,0303767 \text{ u} \rightarrow \text{u kg} = 5,09 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E \text{ (energija vezivanja)} = \Delta M c^2$$

$$= 4,58 \times 10^{-12} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \rightarrow \text{J/}$$

$$= 28.46 \text{ MeV} / 4 \text{ (br nukleona)}$$

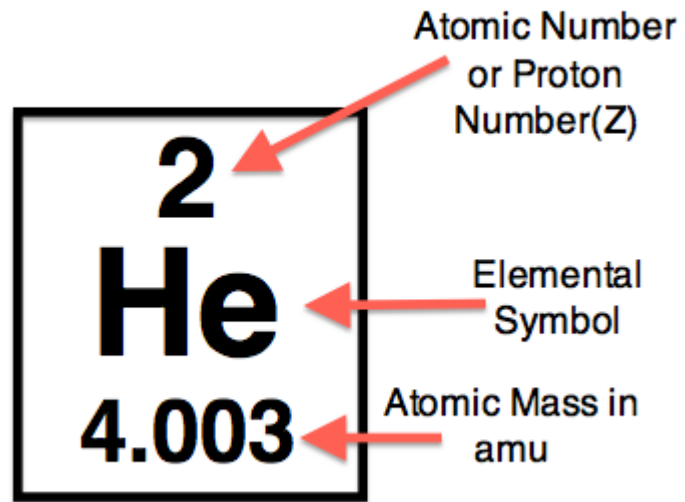
$$= 7,12 \text{ MeV}$$

Energije u nuklearnoj fizici izražavati u MeV

$$1 \text{ MeV} = 1.609 \times 10^{-13} \text{ J}$$

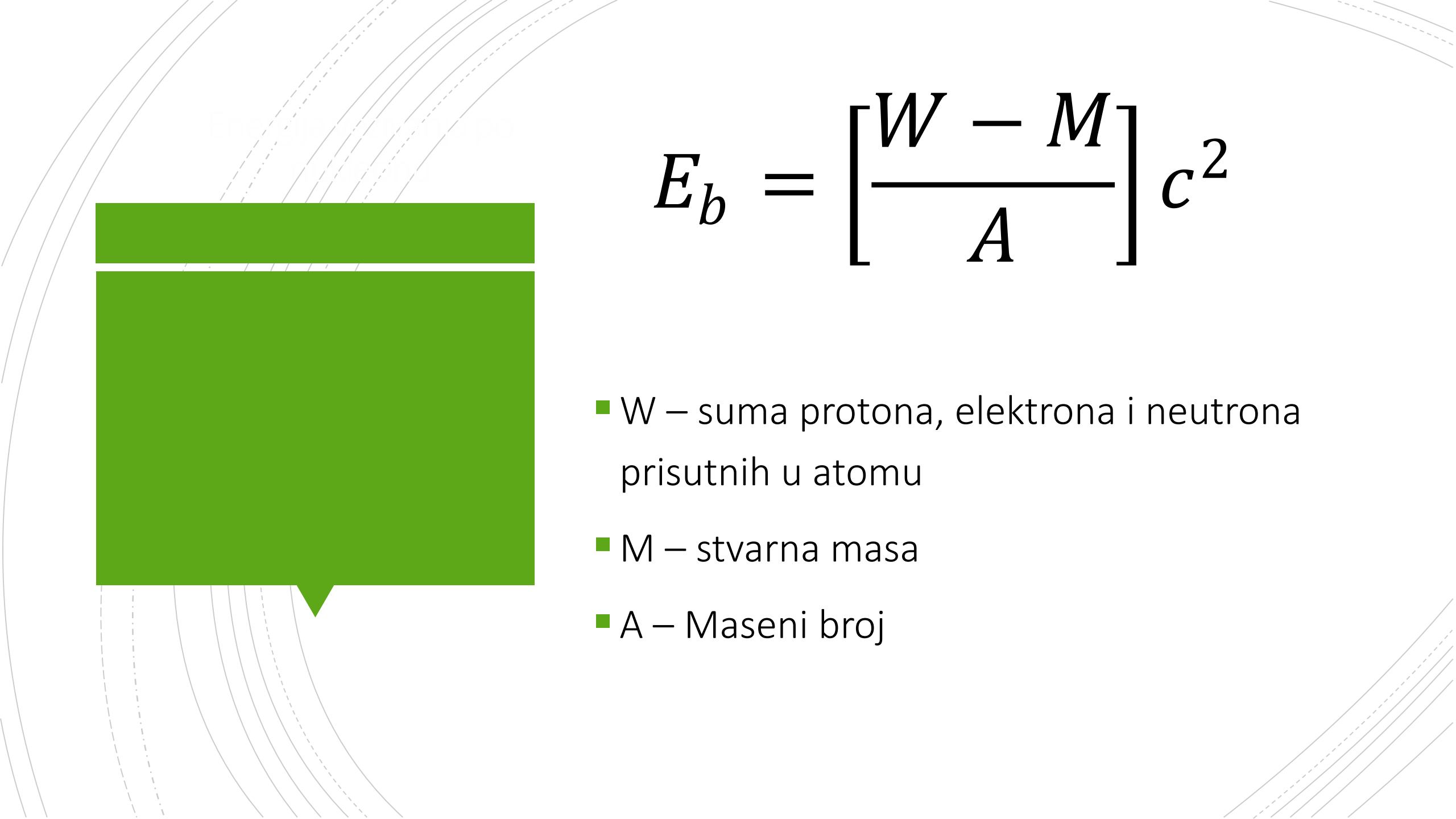
Kolika je energija vezivanja po nukleonu?

c - brzina svjetlosti, $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$



$$\begin{aligned} 1 \text{ atomic mass unit} &= 1u \\ &= 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &\equiv 931 \text{ MeV} \\ &\equiv 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} \end{aligned}$$

$$1 \text{ u} = 1,6605387313 \text{ yg (joktograma)}$$


$$E_b = \left[\frac{W - M}{A} \right] c^2$$

- 
- 
- W – suma protona, elektrona i neutrona prisutnih u atomu
 - M – stvarna masa
 - A – Maseni broj

Sile u jezgri:

- Gravitacijska sila – zanemariva, privlačna (10^{-39})
- Coulombova sila – odbojna, samo između protona
- Jaka nuklearna sila – privlačna, između nukleona, kratkog dosega (1)
- Slaba sila

Na stabilnost jezgre prvenstveno utječu 2 sile, jedna odbojna i jedna privlačna. Stabilnost jezgre ovisi o odnosu jake nuklearne sile i Coulombove sile.

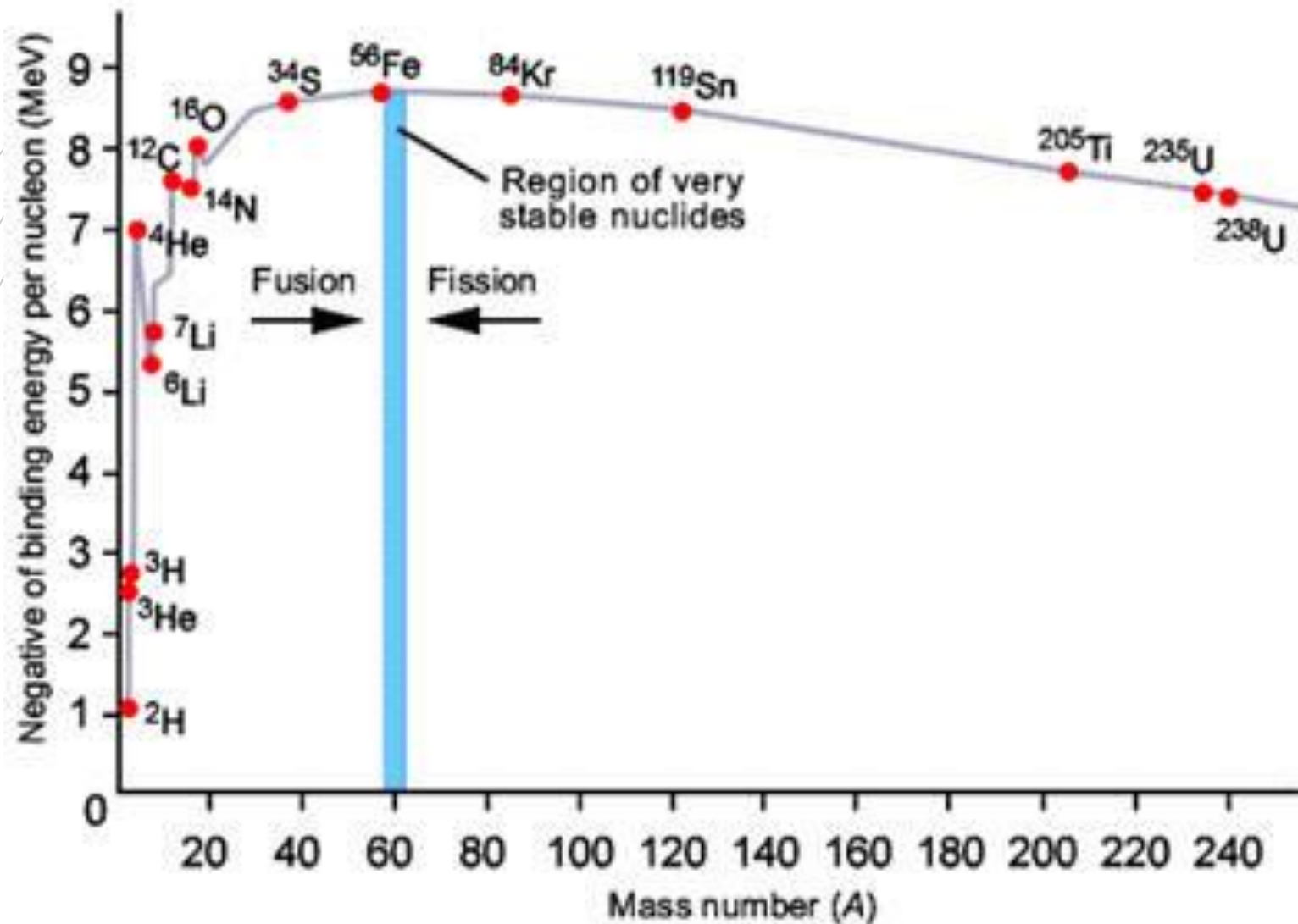
Nuklearne sile pokazuju svojstvo zasićenja → slabe s povećanjem broja nukleona.

Može se reći da neutroni razrjeđuju elektronsko odbijanje protona

Element	Mass of nucleons (u)	Nuclear Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Binding Energy per Nucleon (MeV)
Deuterium	2.01594	2.01355	2.23	1.12
Helium 4	4.03188	4.00151	28.29	7.07
Lithium 7	7.05649	7.01336	40.15	5.74
Beryllium 9	9.07243	9.00999	58.13	6.46
Iron 56	56.44913	55.92069	492.24	8.79
Silver 107	107.86187	106.87934	915.23	8.55
Iodine 127	128.02684	126.87544	1072.53	8.45
Lead 206	207.67109	205.92952	1622.27	7.88
Polonium 210	211.70297	209.93683	1645.16	7.83
Uranium 235	236.90849	234.99351	1783.80	7.59
Uranium 238	239.93448	238.00037	1801.63	7.57

A very useful web site containing a huge nuclear database is to be found at:

<http://nucleardata.nuclear.lu.se>



Energija vezivanja po nukleonu (energija vezivanja jezgre) govori o stabilnosti jezgre → što je ta energija veća nukleoni su stabilniji

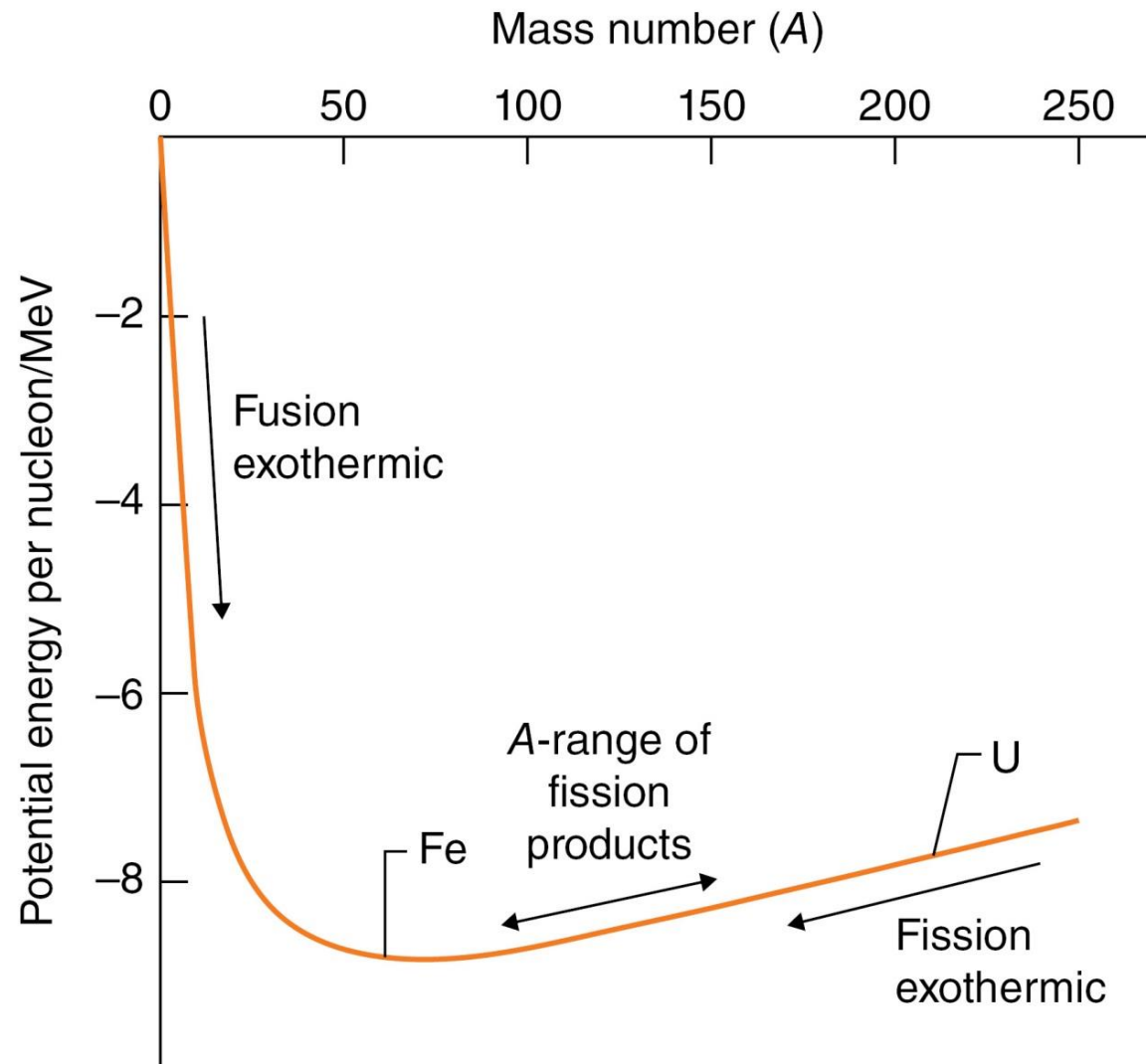


Figure 11.2.1 Sketch of how potential energy per nucleon varies with mass number A for naturally occurring nuclides.

ZADATAK

Usporedi E vezivanja po nukleonu za ugljik i dušik.

Calculate the binding energy and binding energy per nucleon (in MeV) of a nitrogen

nucleus (${}^{14}_7\text{N}$) from the following data :

Mass of proton = 1.00783 u

Mass of neutron = 1.00867 u

Mass of nitrogen nucleus = 14.00307 u

Solution

Nuclear reaction : $7\text{p} + 7\text{n} \rightarrow {}^{14}_7\text{N}$

Mass defect $\Delta M = 7m_{\text{p}} + 7m_{\text{n}} - m_{\text{nucleus}}$

$$\therefore \Delta M = 7(1.00783) + 7(1.00867) - 14.00307 \text{ amu}$$

$$\implies \Delta M = 0.11243 \text{ amu}$$

Thus binding energy $E = \Delta M \times 931.5 \text{ MeV}$

$$\therefore E = 0.11243 \times 931.5 = 104.73 \text{ MeV}$$

$$\text{Binding energy per nucleon} = \frac{104.73}{14} = 7.48 \text{ MeV}$$

Ponavljanje!

Kvantni brojevi

Prema kvantnoj mehanici, svaki elektron u atomu opisan je sa četiri različita kvantna broja, od kojih tri (n , l , i m) određuju valnu funkciju koja daje vjerojatnost nalaženja elektrona u različitim točkama prostora.

Četvrti kvantni broj, (s), odnosi se na magnetna svojstva elektrona koja se nazivaju spin.

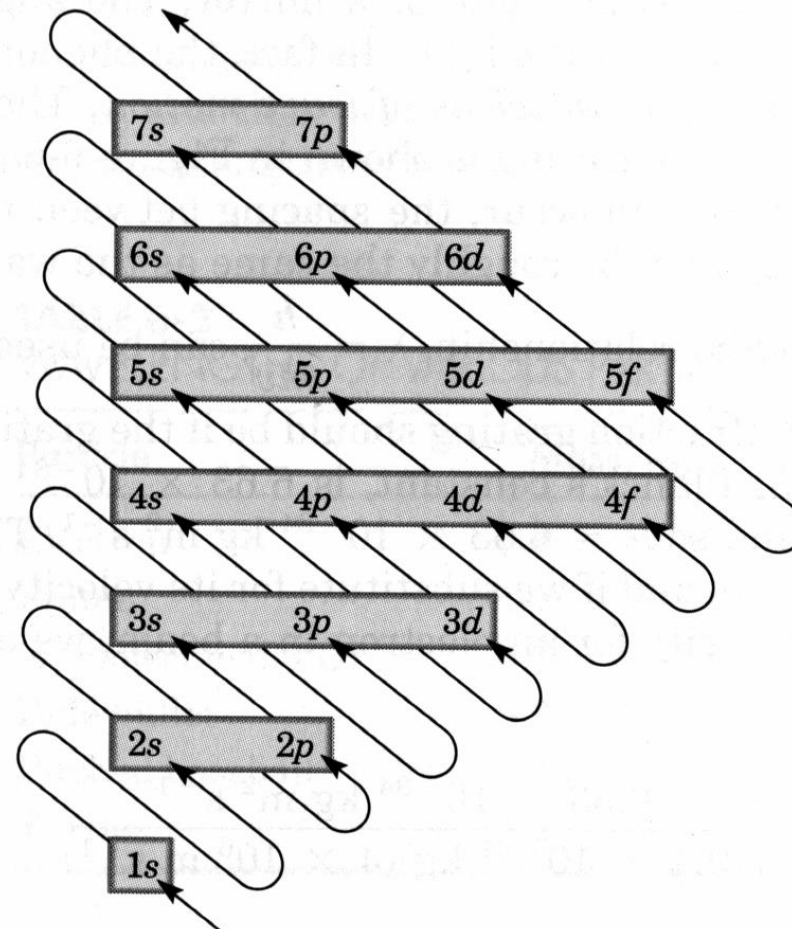
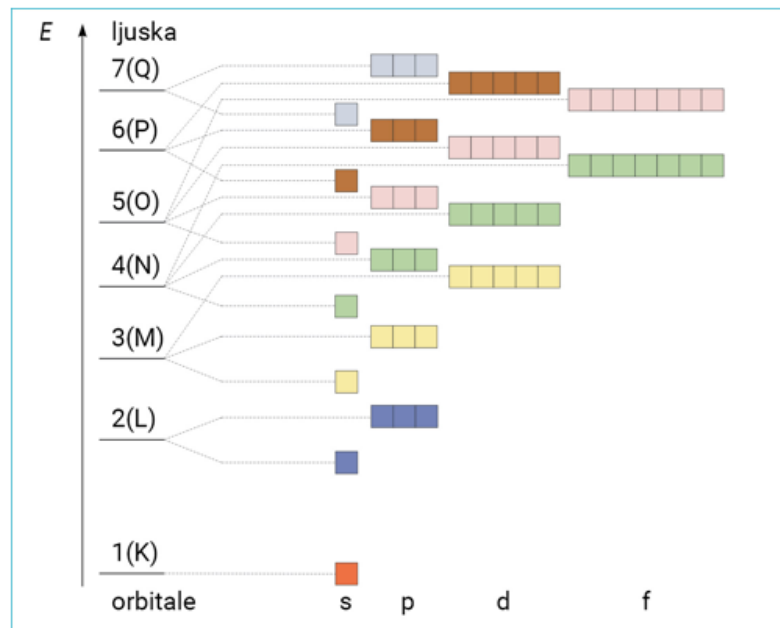
Dopuštene vrijednosti i opće značenje svakog od četiri različita kvantna broja elektrona u atomu su sljedeći :

- Osnovni kvantni broj (n) - Taj kvantni broj u osnovi određuje energiju nekog elektrona i može imati samo pozitivne vrijednosti : 1, 2, 3, i više.
- Orbitalni kvantni broj (l) – određuje oblik orbitale
- Magnetski kvantni broj (m) – određuje usmjerenost orbitale u prostoru
- Kvantni broj spina (s) - Taj se kvantni broj odnosi na dvije moguće orijentacije osi spina elektrona; moguće vrijednosti su $+1/2$ i $-1/2$.

Elektronska konfiguracija atoma

Uređenje i raspored elektrona u orbitalama nekog atoma naziva se elektronska konfiguracija i opisuje se brojem koji označava broj glavne ljuske, slovom koje označava podljusku i sufiksom koji označava broj elektrona u određenoj podljusci.

Primjerice, oznaka $2p^4$ označava 4 elektrona u p podljusci ljuske za koju je $n = 2$



Elektronsku konfiguraciju atoma u osnovnom stanju moguće je predvidjeti ako se slijede sljedeća *pravila* :

- Elektroni u nekom atomu zauzimaju najmanji mogući energetska nivo ili orbitalu najniže energije. Prvi elektron od nekog niza elektrona prvo popunjava 1s orbitalu. Kada je ta orbitala ispunjena sljedeći elektron ispunjava 2s orbitalu, itd., u redoslijedu popunjavanja prema prethodnoj slici.
- Maksimalan broj elektrona u nekoj orbitali je dva, prema tzv. Paulijevom principu isključenja ili zabrane koji kaže :

U atomu ne mogu dva elektrona imati iste vrijednosti sva četiri kvantna broja n , l , m i s .

- Podljuske koje sadrže više od jedne orbitale popunjavaju se u suglasju sa tzv. Hundovim pravilom, koje kaže :

Elektroni se razmještaju unutar istovrsnih orbitala tako da broj nesparenih elektrona s paralelnim spinovima, a time i sumarni spinski zamah bude maksimalan, jer je tada ukupni oblak naboja elektrona maksimalno raspršen po atomu i atom ima najniže energetska stanje. Skraćeno, elektroni u istoj podljusci nastoje ostati nespareni (u odvojenim orbitalama), s paralelnim spinovima (tj. njihov kvantni broj spina je isti).

- Elektroni popunjavaju orbitale u atomu prema strogo utvrđenom redoslijedu, tzv. principu izgradnje ("aufbau" ili "building-up principle")

→ svaki sljedeći elektron ispunjava podljusku najmanje moguće energije (prema pravilima iz točke 1). Elektroni ulaze u višu energetska podljusku tek nakon što je ispunjena niže energetska podljuska do svog punog kapaciteta.

Postoje iznimke!

- Elektronske konfiguracije koje slijede i iz principa izgradnje (aufbau princip) u skladu su s periodnim sustavom elemenata.
- Korekcije konfiguracija ne slijede iz teorije nego iz eksperimentalnih činjenica.

- Potpuno popunjena ili djelomično popunjena ljuska je stabilna, i sustav može tome težiti, čak ako se pri tome i “zaobilazi” aufbau princip
- Među elementima s manjim atomskim brojem, do 30, ima manje izuzetaka. Do 30 izuzetak je samo bakar (29) i krom (24)
- Primjer su rutenij (44), rodij (45), srebro (47) i platina (78)

- Konfiguracija skandija izgleda ovako

- $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^1$

Preferencijalno će se ionizirati ioni iz 4s orbitale!

Napiši konfiguraciju Sc^+ , Sc^{2+} i Sc^{3+}

Sc	[Ar]	<table><tr><td>↑</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	↑					<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ¹ 4s ²
↑										
↑↓										
Ti	[Ar]	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	↑	↑				<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ² 4s ²
↑	↑									
↑↓										
V	[Ar]	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td></td><td></td></tr></table>	↑	↑	↑			<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ³ 4s ²
↑	↑	↑								
↑↓										
Cr*	[Ar]	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑	↑	↑	↑	↑	<table><tr><td>↑</td></tr></table>	↑	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹
↑	↑	↑	↑	↑						
↑										
Mn	[Ar]	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑	↑	↑	↑	↑	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ⁵ 4s ²
↑	↑	↑	↑	↑						
↑↓										
Fe	[Ar]	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑↓	↑	↑	↑	↑	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
↑↓	↑	↑	↑	↑						
↑↓										
Co	[Ar]	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ⁷ 4s ²
↑↓	↑↓	↑	↑	↑						
↑↓										
Ni	[Ar]	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ⁸ 4s ²
↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑						
↑↓										
Cu*	[Ar]	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	<table><tr><td>↑</td></tr></table>	↑	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹
↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓						
↑										
Zn	[Ar]	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓						
↑↓										

~~[Ar] $3d^1 4s^2$~~

$3d^1 4s^1$

[Ar] $3d^1$

Cu⁺



Cr³⁺



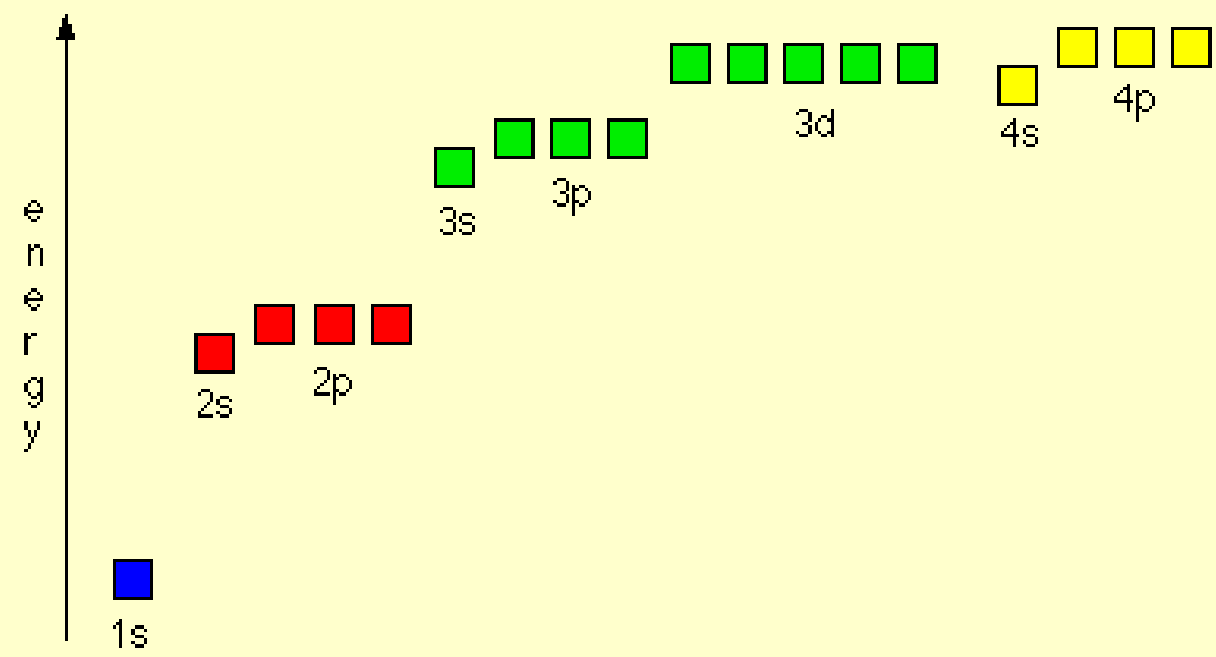
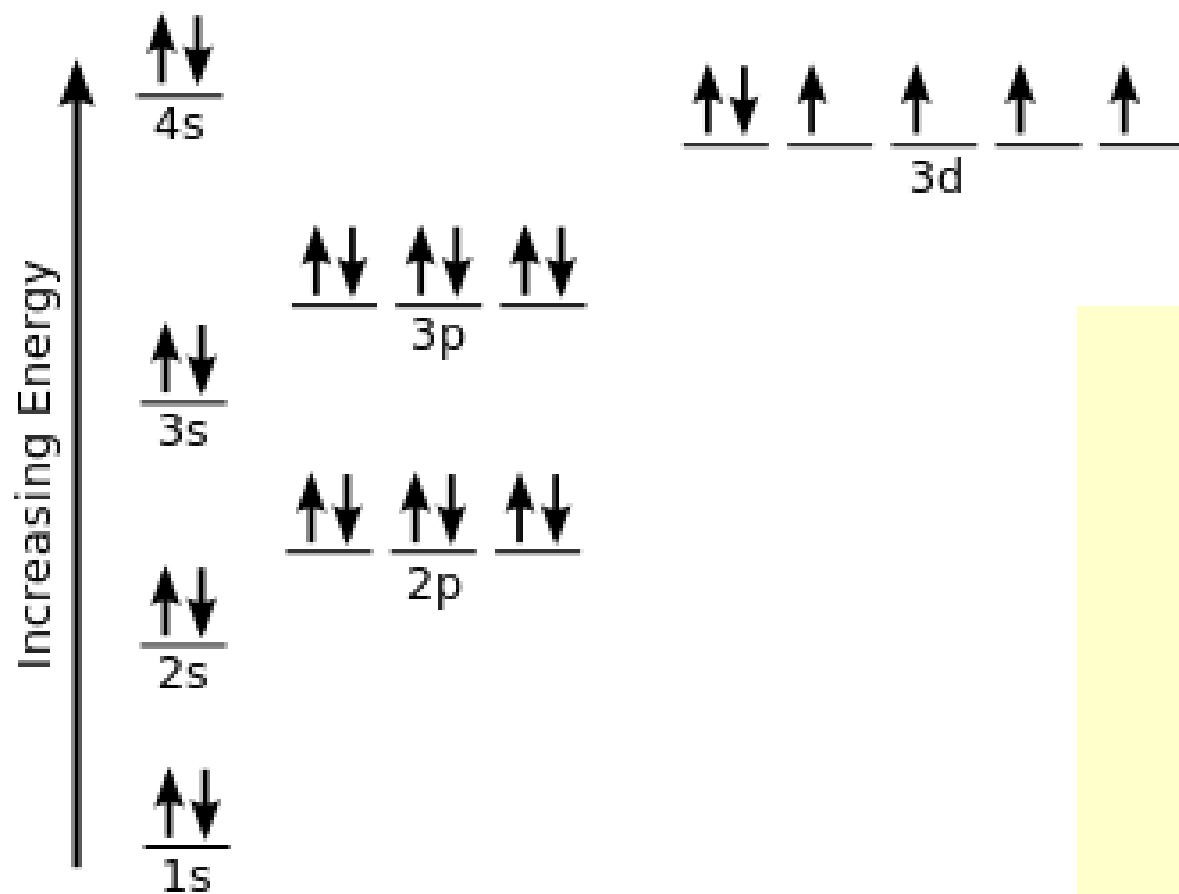
Razmisli i

obrazloži: Je li

stabilniji Fe²⁺ ili

Fe³⁺ ?

- Postoji razlika u E orbitala 4s i 3d kada su pune i prazne.
- Kada su orbitale prazne 4s orbitala ima nižu E i prva se popunjava
- Kod punih orbitala 4s ima malo višu E, ionizacija započinje tamo (od tamo "odlaze" elektroni)



When d-block elements form ions, the 4s electrons are lost first.