

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

NUKLEARNI PRAKTIKUM

UPUTE I ZADACI

ZAGREB 1993

S A D R Ž A J

	Str.
A. UVOD	II
1. GEIGER-MULLEROV BROJAČ	1
2. RADIOAKTIVNI RASPAD Tn. IONIZACIJSKA KOMORA	11
3. SCINTILACIJSKI DETEKTOR	23
4. APSORPCIJA BETA ZRAČENJA	36
5. APSORPCIJA GAMA ZRAČENJA	42
6. RADIOAKTIVNOST U ZRAKU I KALIJU	53
7. INDUCIRANA RADIOAKTIVNOST	64
8. STATISTIKA	76
9. NEKOHERENTNO RASPRŠENJE GAMA ZRAČENJA	87
10. SZILARD-CHALMERSOV EFEKT	98
11. USPORAVANJE I DIFUZIJA NEUTRONA U VODI	104
12. GERMANIJSKI DETEKTOR	122
13. RADIJATIVNI UHVAT NEUTRONA U VODIKU - MASA NEUTRONA	131

A. U V O D

Nuklearna fizika je grana znanosti, u kojoj se istražuju strukture atomskih jezgri, svojstva osnovnih i uzbudjenih stanja, prijelazne pojave, raspadi, nuklearne reakcije, sile među česticama i niz drugih pojava. Snažan razvoj eksperimentalnih i teorijskih metoda u nuklearnoj fizici ima velik utjecaj na istraživanja u drugim granama fizike, u kemiji, biologiji i medicini. Nuklearne metode mjerenja često se primjenjuju npr. u industriji i poljoprivredi.

Atomska jezgra, nukleus, je centralno tijelo u atomu, koje sadrži gotovo svu masu atoma (više od 99.9 %), a ima vrlo malen volumen, oko 14 redova veličine manji od volumena atoma. Stoga je gustoća u atomskim jezgrama oko 10^{17} kg/m³.

Prvo otkriće, u kojemu je opaženo djelovanje atomske jezgre je otkriće radioaktivnosti (H. Bequerel 1896.). U nekoliko slijedećih godina načinjen je niz fundamentalnih otkrića o radioaktivnom raspadu i pretvorbama radioaktivnih elemenata. U tim istraživanjima (braćni par M. i P. Curie, F. Soddy, R. Fayans i drugi) pronađeno je također nekoliko novih elemenata (radij, polonij, aktinij, itd.). U daljnjem razvoju nuklearne i atomske fizike od ogromne važnosti bilo je otkriće atomske jezgre. Hipotezu o atomskoj jezgri predložio je E. Rutherford 1911., a eksperimentalnu potvrdu dao je sa svojim suradnicima H. Geigerom i E. Marsdenom 1913. Zamisli o strukturi atoma i njihovim svojstvima postale su bitno jasnije Bohrovim modelom atoma (1913.) i kasnijim razvojem kvantne teorije. Oko atomske jezgre u kvantiziranim stanjima gibaju se elektroni (koje je kao posebne čestice, koje imaju negativan električni naboj, otkrio J. J. Thomson 1897.). Atomska jezgra svojim pozitivnim električnim nabojem privlači elektrone, te se oni nalaze u stanjima negativne energije. Zbog relativno vrlo male mase i zbog kvantnih efekata, njihovo gibanje prošireno je na volumen, koji je bitno veći od volumena atomske jezgre. Sistem elektrona oko jezgre, atomski omotač, a u najvećoj mjeri samo nekoliko vanjskih elektrona (valentni elektroni), određuju kemijska svojstva atoma. Ukupna svojstva atoma ipak određuje jezgra, ali indirektno. Broj elektrona u potpunom, neutralnom, atomu jednak je broju elementarnih naboja u atomskoj jezgri. Taj broj je ujedno kemijski redni broj atoma. Elektroni popunjavaju kvantna stanja redom od najnižeg, po jedan u jedno stanje (Paulijev princip isključenja istih stanja), pa je broj

III

elektrona u vanjskoj ljusci određen nabojem jezgre. Broj tih (valentnih) elektrona u biti određuje kemijska i niz fizičkih svojstava atoma.

Otkriće neutrona, čestice gotovo jednake mase kao proton, ali bez električnog naboja, (J.Chadwick 1932.) i hipoteza da su osnovne čestice u atomskim jezgrama protoni i neutroni (D.Ivanjenko i W.Heisenberg 1932.), predstavljaju značajan korak u razumijevanju strukture atomske jezgre. Kada tim česticama (proton, neutron, elektron) dodamo foton, kvant elektromagnetskog zračenja, dobivamo zaokruženu, ali pojednostavljenu sliku o strukturi materije. Polazeći od pretpostavke da je materija građena od tih čestica, i da među njima postoje izvjesne sile, moguće je pomoću kvantne teorije objasniti, a u mnogim slučajevima i egzaktno proračunati, fizička i kemijska svojstva atomskih jezgri, atoma, molekula, medumolekulskih sila, kristala i drugih kondenziranih sistema, dakle, gotovo sva svojstva tvari.

Ova razmatranja navode nas na zamisao da su fotoni, elektroni, protoni i neutroni osnovne, elementarne čestice u materiji. Naziv "elementarne čestice" upotrebljavao se (a i u današnje doba često ga nalazimo) za ove i neke druge, kasnije otkrivene čestice. U posljednje vrijeme, zbog otkrića velikog broja novih čestica (poznato je oko 25 "čestica", i više stotina "rezonancija" - uzbuđenih stanja čestica), naprosto se usvaja naziv čestice. Naime, već jednostavne činjenice o gore spomenutim česticama, navode nas u nesigurnost o njihovoj "elementarnosti". Slobodan neutron, a također u izvjesnim slučajevima i neutron u jezgri, raspada se u proton, elektron i česticu neutrino. Na osnovi toga moglo bi se zaključiti da je neutron "složena" čestica. Međutim, proton u jezgri u izvjesnim situacijama raspada se u neutron, pozitivni elektron (pozitron) i neutrino.

Čestice se dijele prema svojim značajkama na hadrone, leptone i čestice-prenositelje. Hadroni su barioni i mezoni, koji se smatraju složenim strukturama od kvarkova (smatra se da postoji šest vrsta, "okusa", kvarkova: u, d, s, c, b, i t; kvarkovi nose i značajku koja se naziva "bojom", pa svaki kvark može imati jednu od tri boje, dakle, smatra se da ih je 18, a isto toliko antikvarkova). Leptoni su elektron, muon, tauon, njima pridruženi neutrini i njihove antičestice, dakle kao i kvarkovi također šest plus šest vrsta čestica. Čestice-prenositelje sile su foton (prenositelj el.-magn. sile), "vektorski bozoni" (W^+ , W^- i Z^0 čestice - prenositelji slabe sile) i gluoni (prenositelji sile među kvarkovima). Ovaj pregled ne iscrpljuje sve predviđene "elementarne čestice". U razmatranjima jakih i elektroslabih sil predviđaju se i druge čestice. Ukjučivanje

gravitacijskih sila zahtijeva daljnje čestice. U fizici čestica velike uspjehe postigla je teorija koja se naziva "Standardni model", no u opisivanje tog modela nećemo ulaziti.

Istraživanja u fizici čestica čine danas najvažnije područje fizike s gledišta poznavanja osnovnih zakonitosti prirode. Iako su otkrivene mnoge relacije među veličinama koje opisuju svojstva otkrivenih čestica, još nije jasno zašto one postoje, niti je otkrivena teorija o njihovom nastajanju, interakcijama, strukturi i drugim svojstvima. Poznat je, međutim, niz osnovnih zakona, koje nazivamo zakonima sačuvanja. Ovi zakoni usko su vezani sa svojstvima simetrije prostora, vremena i drugim simetrijama. Jedna od posebno interesantnih simetrija je u odnosu na konjugaciju električnog naboja, prema kojoj svaka čestica ima "simetričnu" antičesticu (takvi su parovi elektron i pozitron, proton i antiprotion itd.). Sve čestice nemaju svoju antičesticu. Npr. fotoni, kvanti elektromagnetskog polja, nemaju antičesticu, pa su prema tome antifotoni identični fotonima. Bliski kontakt čestice i njene antičestice uzrokuje njihovo međusobno poništavanje, u kojem nastaju dvije ili više čestica.

Današnja je fizika čestica izvanredno uspješna u tumačenju njihovih svojstava, raspada, raspršenja i reakcija. Međutim, u tumačenju strukture i procesa u atomskim jezgrama postignuti su samo kvalitativni rezultati. Već najjednostavnija atomska jezgra, deuterion (neutron i proton), sa stanovišta kvarkovske građe nukleona (tri plus tri kvarka) predstavlja neriješen problem. K tome, atomske jezgre pokazuju svojstva koja daju dobru osnovu za tumačenje njihove građe polazeći od nukleona kao osnovnih građevnih elemenata. To su glavni razlozi da se nuklearni procesi, uz neke izuzetke, redovno tumače polazeći od pretpostavke da su atomske jezgre sagrađene od protona i neutrona.

Osnovna svojstva atomskih jezgri

Električni naboj jezgre je pozitivan i jednak broju protona, tj. kemijskom rednom broju (Z) puta elementarni naboj (elementarni kvant elektriciteta) $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C. Elektron je negativan i sadrži jedan elementarni naboj. Potpun, neutralan atom sadrži stoga jednak broj protona u jezgri i elektrona u atomskom plaštu. Broj električnih naboja u izoliranom sustavu je striktno sačuvan. Električni naboj je neovisan o gibanju čestice (tj. električni naboj je invarijantna veličina).

Masa atoma gotovo je jednaka masi same jezgre, koju u biti određuje

zajednički broj protona (Z) i neutrona (N) u jezgri, $A = Z + N$ (nukleonski, odn. barionski broj). Eksperimentalno se mjere mase atoma, a u raspadima, reakcijama i sl. važne su također promjene ukupnih atomskih masa, te stoga u tablicama nalazimo mase potpunih atoma. Masa atoma nije jednaka sumi masa čestica od kojih je sastavljen. Manjak (defekt) mase posljedica je gubitka energije prilikom vezanja čestica u atom. Na osnovi Einsteinove relacije o ekvivalentnosti mase i energije dobivamo da je energija vezanja cjelokupnog atoma jednaka

$$B(Z,A) = c^2 \Delta M = c^2 [Z(M_p + m) + (A - Z)M_n - M(Z,A)]$$

gdje su M_p , m i M_n mase protona, elektrona i neutrona, $M(Z,A)$ je masa cjelokupnog atoma, a c brzina svjetlosti. Energija vezanja atomske jezgre bitno je veća od energije vezanja elektrona u atomima. Ova činjenica ukazuje da između nukleona djeluju izvanredno snažne "nuklearne" ili "jake" sile. Kako je energija vezanja po nukleonu, $B(Z,A)/A$, koja iznosi između 7 i 8.6 Mev, prilično konstantna, ako se izuzme nekoliko najlakših jezgri, i gustoća jezgri gotovo neovisna o broju nukleona, može se zaključiti da nuklearne sile imaju kratak doseg (svega oko 10^{-15} m = 1 fm) i da imaju svojstvo zasićenja.

Atome pojedinog kemijskog elementa označuje broj protona u jezgri. Međutim, za izvjesni Z nalazimo redovno nekoliko mogućnosti broja neutrona u jezgri. Iako su kemijska svojstva tih atoma gotovo jednaka, njihove mase su različite, otprilike proporcionalne $A = Z + N$. Atome istog elementa s različitim brojem neutrona u jezgri nazivamo izotopi.

Veličina atomske jezgre, unatoč ekstremno malih dimenzija, vrlo je dobro definirana. Glavni razlog je kratak doseg nuklearnih sila. Mjerenjem dimenzija i oblika jezgri ustanovljeno je da su sferične, ili tek malo odstupaju od sfernog poprimajući elipsoidni oblik. Radius jezgri vrlo približno (unutar 10 %) dat je relacijom

$$R = R_0 A^{1/3}, \quad R_0 = 1.25 \text{ fm} = 1.25 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Iz toga slijedi svojstvo o gotovo konstantnoj gustoći nuklearne materije, budući da je volumen jezgre $V = 4\pi R^3/3 = \text{konst.} \cdot A$, dakle razmjernan broju nukleona. Gustoća nuklearne materije je ogromna, oko $2 \cdot 10^{14}$ puta veća od gustoće vode.

Impulsni moment je strogo kvantizirana veličina u atomskim jezgrama i

atomima. To je osnovna zamisao u Bohrovoj teoriji vodikova atoma: dozvoljena su samo takva stanja, u kojima je impulsni moment jednak cjelobrojnem višekratniku Planckove konstante podijeljene s 2π , $\hbar = h/2\pi = 1.054 \cdot 10^{-27}$ Js. Orbitalno gibanje nabijene čestice predstavlja kružnu struju. Zbog toga se javlja također magnetski dipolni moment. U Bohrovoj teoriji on iznosi višekratnik od "Bohrovog magnetona" $\mu_B = e\hbar/2mc = 0.927 \cdot 10^{-23} \text{ Am}^2$, gdje je e elementarni naboj, a m masa elektrona. Bohrov magneton je atomska (a ne nuklearna) jedinica za magnetski moment.

Spin čestice je njen unutarnji, vlastiti impulsni moment. Naziv spin (engl. vrtnja) primjenjuje se za vlastite impulsne momente čestica, dok za sisteme atomske jezgre s dva ili više nukleona, atome i dr. zadržava se naziv impulsni moment. Spin čestice također je kvantizirana veličina, međutim, pored cjelobrojnih višekratnika od \hbar nalazimo također polucijejele vrijednosti.

Proton, neutron i elektron imaju spin $\hbar/2$, a foton $1\hbar$. Spin čestice ima izvanrednu važnost za njena svojstva. Dvije (ili više) identičnih čestica sa spinom $\hbar/2$ (nazivaju se "fermioni") ne mogu zaposjedati isto stanje u nekom sistemu. Stoga čestice-fermioni u nekom sistemu, kad se on nalazi u najnižem energijskom stanju, popunjavaju redom ta stanja tako da je samo jedna čestica u jednom stanju. Ovo svojstvo, koje nazivamo Paulijevim principom isključenja istih stanja, ima odlučnu ulogu u svojstvima atomskih jezgri, atoma, molekula i drugih sistema. Čestice sa spinom 0 ili cjelobrojnim višekratnikom od \hbar (bozoni), nasuprot svojstvima fermiona, preferiraju zaposjedanje istih stanja.

Vlastit impulsni moment čestice, spin, posljedica je unutarnjeg gibanja čestica, koje nije objašnjeno. To gibanje, kao i orbitalno gibanje čestica, uzrokuje magnetski moment čestice. Omjer stvarnog magnetskog momenta i vrijednosti spin puta magneton naziva se g faktor (često se upotrebljava naziv giromagnetski odnos koji nije sretno izabran izraz, jer taj naziv odgovara recipročnoj vrijednosti tog omjera; u novije vrijeme počinje se upotrebljavati izraz "magnetomehanički omjer", ili još češće naprosto g faktor, što ćemo mi upotrebljavati). Za elektron taj je odnos jednak $g_e = -2$ (magnetski moment izražen u Bohrovim magnetonima; minus zbog suprotne orijentacije impulsnog i magnetskog momenta, što je posljedica negativnog naboja elektrona). Relativistička Diracova teorija elektrona objašnjava ovu vrijednost. Točnija mjerenja dala su da je $g_e = -2,00232$. Odstupanje od Diracove teorije, iako malo, imalo je osnovnu važnost u razvoju najpotpunije

fizičke teorije, kvantne elektrodinamike. Najnoviji rezultat iznosi $g = -2.002319304386 \pm 0.00000000020$, što je najpreciznija poznata mjerena veličina (H. Dehmelt je za istraživanja na tom problemu dobio Nobelovu nagradu za 1989. godinu).

Magnetski momenti u nuklearnoj fizici izražavaju se u nuklearnim magnetonima, $\mu_N = e\hbar/2M_p \cong \mu_B/1836$. Spin protona i neutrona iznosi $\hbar/2$. Vrijednosti njihovih magnetskih momenata nisu u skladu s jednostavnim predodžbama o magnetskim dipolnim momentima čestica poput npr. elektrona, i ukazuju da su to strukturirane čestice. G faktor protona (omjer između mjerenog magnetskog momenta i vrijednosti spin puta nuklearni magneton,) iznosi $g_p = +5.587$. Neutron je neutralan, međutim ima g faktor jednak $g_n = -3.827$, što ukazuje na strukturu neutrona s pozitivnim centralnim i negativnim vanjskim dijelom.

Stabilni i nestabilni nuklidi. Naziv nuklid upotrebljava se za vrstu atoma s izvjesnim Z i $N = A - Z$ (brojem protona, elektrona i neutrona). Izotopi su nuklidi s istim Z, izobari nuklidi s istim A, a izotoni nuklidi s istim N. Za Z protona, Z elektrona i N neutrona općenito postoji najniže moguće energijsko stanje, tzv. osnovno stanje nuklida. Najveći broj atoma u prirodi nalazimo u osnovnom stanju. To osnovno stanje najčešće je također i stabilno stanje. Međutim, često nalazimo da se nuklidi u osnovnom stanju raspadaju emisijom čestica. Tu pojavu nazivamo radioaktivnost. Jedna od glavnih tema kasnije opisanih vježbi je proučavanje alfa, beta i gama radioaktivnosti. Uz oko 280 stabilnih i oko 50 radioaktivnih nuklida, koje nalazimo u prirodi, u laboratorijima je proizvedeno preko 1000 "umjetnih" nuklida (listom radioaktivnih).

Radioaktivnost

Mnogi atomi nisu stabilne strukture čestica od kojih su sagrađeni: Z protona i N neutrona u jezgri i (ako su neutralni, što je najčešći slučaj) Z elektrona u atomskom omotaču može imati niže energijsko stanje. Npr., ako atomski omotač nije u osnovnom stanju, javljaju se atomski prijelazi (rendgensko zračenje, ultravioletno, vidljivo itd. zračenje). Atomsko zračenje će se spominjati samo u slučajevima kada se javljaju kao popratne pojave nuklearnih procesa.

Promatrani sustav od Z protona i N neutrona u jezgri može biti u stanju koje nije stanje najniže energije ("osnovno stanje"). Tada se najčešće javlja emisija fotona, tzv. gama (γ) zračenje. Ta tzv. viša ili uzbudena stanja atomske jezgre mogu biti vrlo kratkotrajna, ali mogu imati i prilično

VIII

dug srednji život. Gama raspad je uzrokovan elektromagnetskom interakcijom. Drugi način oslobađanja viška energije putem elektromagnetskih sila je "elektronska konverzija (preobrazba)". U tom procesu uzbuđena jezgra izravno preda energiju elektronu u atomskom omotaču istog atoma (dakle, "unutarnji fotoelektrični efekt") i elektron napušta atom odnoseći energiju prijelaza umanjenu za energiju svog vezanja.

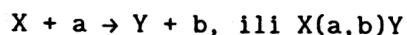
Promatran sustav može također imati višu energiju od sustava koji bi nastao njegovom diobom. Dioba se javlja npr. kod emisije alfa (α) čestice, jezgre atoma ${}^4\text{He}$, emisije ${}^{12}\text{C}$, ili pak diobom na dva podjednaka dijela (tzv. spontana fisija). Ovi su procesi posljedica nuklearnih sila, međutim Coulombova energija često igra važnu ulogu. Naime, protoni i nakupine nukleona koje nose električni naboj nalaze se u potencijalnoj jami čije su stijenke posljedica Coulombove sile. Probijanje Coulombove barijere često jako uspori proces emisije nabijenih čestica.

Druga je mogućnost pretvorba jednog nukleona u drugi, dakle protona u neutron ili neutrona u proton. Ti su procesi posljedica slabih sila koje prenose "vektorski bozoni", nedavno otkrivene čestice W^+ , W^- i Z^0 (Nobelova nagrada C. Rubbia i van den Meer 1984) i relativno su spori zbog ogromne mase tih bozona (blizu 100 GeV). Tri su takva nuklearna raspada poznata: β^- i β^+ raspad i elektronski uhvat. β^- raspad je posljedica pretvorbe jednog neutrona u proton koju prati emisija elektrona (e^-) i elektronskog antineutrina ($\bar{\nu}_e$), dakle $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$. Kako se u konačnom stanju nalaze tri čestice (elektron, neutrino i rezidualna jezgra), energija se dijeli kontinuirano. Pauli je predložio rješenje problema kontinuiranog spektra β^- čestica iz nuklearnih raspada hipotezom o novoj, teško zamjetljivoj čestici, neutrinu. β^+ raspad je posljedica pretvorbe protona u neutron, pozitron (antielektron) i elektronski neutrino, dakle, $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$. Zbog tri tijela u konačnom stanju se i u ovom slučaju nalaze kontinuirani spektri emitiranih čestica. Elektronski uhvat je u neku ruku inverzni beta raspad: proton s jednim elektronom (najčešće iz K ljuske istog atoma) pretvara se u neutron i elektronski neutrino, $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$. U konačnom stanju nalaze se samo dva tijela, rezidualna jezgra i neutrino, pa su njihove energije određene. Ipak se javlja više energija jer jezgra može uhvatiti elektron iz različitih ljusaka atomskog omotača. K tome, zbog nastale šupljine u atomskom omotaču, javlja se također emisija atomskog zračenja, od kojeg je najvažnije karakteristično rendgensko zračenje rezidualnog atoma.

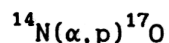
Osnovno stanje sistema s određenim Z i N katkada je izvanredno

kratkotrajno, zbog negativne energije vezanja jednog nukleona (npr., ne postoji stabilna jezgra s $A = 5$), ili grupe nukleona (npr., ne postoji stabilna jezgra s $A = 8$).

Nuklearne reakcije su procesi u kojima se djelovanjem čestica izvana, djeluje na atome tako da se promjene u drugi nuklid. To su, dakle, procesi u kojima se nukleoni "pregrupiraju". Proces teče tako da nuklid-meta, X , s upadnom česticom a prijede u nuklid Y i izlaznu česticu b (moguće i više izlaznih čestica),



Npr., prva nuklearna reakcija koja je opažena (E. Rutherford 1919.) je



U nuklearnim pretvorbama (raspadima i reakcijama) striktno je sačuvan električni naboj (broj elementarnih kvanata elektriciteta), broj nukleona (barionski broj), broj leptona (elektrona i neutrina), energija i masa (uzevši u obzir Einsteinovu relaciju o ekvivalentnosti), impuls i impulsni moment, dok su neke druge veličine približno sačuvane (npr. izotopni spin), a druge (npr., magnetski momenti) ne podliježu zakonima sačuvanja.

Neutroni su neutralni, pa je njihovo međudjelovanje s elektronima (preko magnetskih dipolnih momenata) vrlo slabo. Stoga se i vrlo spori (termički) neutroni kreću gotovo slobodno do u blizinu jezgre. Kad dođu u područje dosega nuklearnih sila, snažne interakcije s atomskim jezgrama uzrokuju nuklearne reakcije (najčešće tzv. radijativni uhvat neutrona). Za nuklearne reakcije s drugim česticama (protonima, alfa česticama, fotonima itd.) potrebne su visoke energije, od preko 100 keV, a obično u području više MeV zbog potrebnog savladavanja Coulombske barijere.

Metode istraživanja u nuklearnoj fizici i primjene tih metoda velikim su dijelom zasnovane na opažanju čestica relativno vrlo visoke energije. To je posebna odlika ove grane, kao i visoko energijske fizike (fizike čestica). Zbog visoke energije moguće je opažanje pojedinih čestica, a vrlo često i precizno mjerenje njihove energije. Naime, svojom interakcijom u detektorskom sistemu te čestice su u mogućnosti da izvrše mnogostruko uzbuđivanje atoma, elektrona u čvrstom stanju, ili ionizaciju. Ta činjenica pruža velike mogućnosti da se primijeni cijeli niz efekata za detekciju čestica, kao i opažanje vrlo rijetkih događaja. Tako je u pojedinim

slučajevima na osnovi radioaktivnosti uzorka moguće ustanoviti i identificirati svega nekoliko desetaka atoma jedne vrste.

U nuklearnoj fizici razvijen je veći broj detekcijskih metoda, od kojih su neke поближе opisane u vježbama.

PAŽNJA. U vježbama koje se rade u Nuklearnom praktikumu upotrebljavaju se radioaktivni izvori, koji mogu biti opasni po zdravlje. Studenti su dužni pridržavati se pravila istaknutih u praktikumu. Prilikom rukovanja s jakim izvorima mora biti prisutan voditelj praktikuma. U slučaju bilo kakve nesigurnosti obvezno se prekida rad i poziva voditelj praktikuma.