

Gotovo svi automati za analizu slike imaju ekran (katodna cijev) na kojemu se reproducira televizijska mikroslika. Svjetleće pero, koje je dio uređaja, omogućuje neposrednu komunikaciju s računalom; moguće je odabrati dio uzorka koji će se analizirati, zaokružiti površine uzorka koje se žele izmjeriti, označiti referentnu točku uzorka za početak analize itd.

Automat za analizu slike nije pogodan za analizu preparata koji ima ogrebotine, čestice prašine, plohe s različitim refleksijom itd. Tada automat ne može sam prepoznati pogrešku, te pogrešno reagira.

Pri automatskoj analizi, kad se broje sitni uzorci, pogreška nije veća od 2-3%, a geometrijsko mjerenje je moguće na svakom dijelu uzorka, i to 10-1000 puta brže nego kad to radi čovjek. Posebno je automatska analiza pogodna za klasificiranje i statističku obradu uzorka.

LIT.: C. P. Shillaber, Photomicrography in theory and practice. J. Wiley and Sons, New York 1949. — B. Varicak, Mikroskop. Školska knjiga, Zagreb 1956. — E. M. Chamot, C. W. Mason, Handbook of chemical microscopy. J. Wiley and Sons, New York-London 1958. — W. H. Burrells, Industrial microscopy in practice. J. Wiley and Sons, London 1961. — A. M. Shragar, Elementary metallurgy and metallography. Dover Publications, Dover 1961. — R. Kingslake, Applied optics and optical engineering. Academic Press, New York-London: Vol. I, 1965; Vol. III, 1966; Vol. IV, 1967. — K. F. A. Ross, Phase contrast and interference microscopy for cell biologists. St. Martin, London 1967. — S. Bradbury, The microscope past and present. Pergamon Press, Oxford 1968. — V. E. Cosslett, Modern microscopy. Cornell University Press, Ithaca 1968. — H. D. Young, Fundamentals of optics and modern physics. McGraw-Hill, New York-London 1968. — M. V. Klein, Optics. J. Wiley and Sons, New York 1970. — S. Bradbury, The optical microscope in biology. E. Arnold, London 1976. — W. G. Driscoll, Handbook of optics. McGraw-Hill, New York-London 1978. — V. E. Cosslett, R. Barer, Advances in optical and electron microscopy. Academic Press, New York: Vol. 1., 1966; Vol. 2., 1968; Vol. 3., 1969; Vol. 4., 1971; Vol. 5., 1973; Vol. 6., 1976; Vol. 7., 1979.

K. Tisaj

**MINERALOGIJA**, znanstvena disciplina u kojoj se proučavaju kristalografska svojstva, pravilna unutrašnja građa, fizikalna svojstva, sinteza i procesi uz koje neki mineral nastaje ili nestaje te načini njegova pojavljivanja u prirodi.

Još prije desetak godina smatralo se da se pod nazivom mineral razumijevaju prirodni sastojci od kojih je izgrađena čvrsta Zemljina kora. Nakon toga su se 21. 7. 1969. ekspedicijom Apollo 11 spustili prvi ljudi na Mjesec i donijeli odanle 22 kg materijala s njegove površine. Četiri mjeseca kasnije donijela je ekspedicija Apollo 12 otprilike dvaput toliko materijala. Ispitivanjem se utvrdilo da u mineraloškom pogledu između Zemlje i Mjeseca nema bitnije razlike, pa se zbog toga ograničenje na čvrstu Zemljinu koru pokazalo neodrživim. I u meteoritima nalaze se sastojci koji u svemu odgovaraju zemaljskim mineralima. Drugačije ne bi moglo ni biti s obzirom na jedinstvo kemijske građe svemira, što je ustanovljeno spektralnom analizom svjetlosti koja dolazi od svemirskih tijela. U navedenim primjerima govori se, ako se želi to posebno naglasiti, o mineralima nebeskih tijela ili o mineralima Mjeseca, ali se oni navode zajedno sa zemaljskim mineralima.

Zbog toga se danas pod mineralom razumije bilo koji proizvod prirodnih kemijskih, fizikalnih i biokemijskih procesa. Minerali su tvorno homogeni, odnosno odlikuju se (uz tek poneki izuzetak) pravilnom unutrašnjom građom.

#### OSNOVNA SVOJSTVA MINERALA

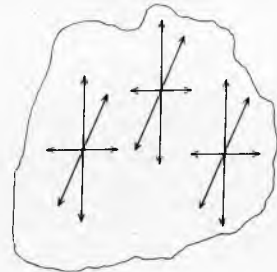
Osim pravilne unutrašnje građe, minerali imaju mnoga karakteristična svojstva.

**Tvarna homogenost.** Pod tim se razumije homogenost u kemijskim i fizikalnim svojstvima. Zbog te homogenosti mineralno zrno u svakom svom dijelu mora imati jednak kemijski sastav i mora pokazivati jednaka fizikalna svojstva. Gotovo uvijek se tu radi o raznolikim kemijskim spojevima kojima se sastav može prikazati kemijskom formulom, rijetko o kemijskim elementima. U elementarnom stanju javlja se, npr., sumpor, ugljik (kao dijamant, lonsdejlit i grafit), zlato, srebro, platina itd.

Spojevi su, npr., gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , pirit i markazit  $\text{FeS}_2$ , kalcit, aragonit i faterit  $\text{CaCO}_3$ , fluorit  $\text{CaF}_2$ , kamena ili kuhinjska sol (halit)  $\text{NaCl}$  itd. I takav će kemijski sastav mineral imati u svakom svom najsitnijem dijelu; to je smisao kemijske homogenosti.

Zahtjev za homogenošću odnosi se, međutim, i na različita fizikalna svojstva. Kuhinjska sol, koja se u rudnicima soli nalazi više puta u obliku lijepih, velikih prozirnih bezbojnih kocaka, kala se vrlo dobro smjerom ploha kocke i ona će se istim tim smjerom kalati gdje god, tj. na kojem god mjestu čekić udari kocku. Slično se ponaša i fluorit, koji se nerijetko u prirodi javlja u lijepim kockama; gdje god ih se udari, uvijek će se fluorit otkalati smjerom oktaedra i nikako drugačije. Kalcit se odlikuje (v. *Kristalna optika*, TE 7, str. 364) svojstvom da svjetlost lomi dvostruko. Jedna od dviju zraka, koje pri tom nastaju, ima u različitim smjerovima različitu brzinu, što je na sl. 1 prikazano kraćim (za manju brzinu) ili duljim (za veću brzinu) strelicama. U kojoj god se točki nekoga kalcitnog zrna određuje brzina svjetlosti za tu zraku, ona će biti uvijek ista dokle god se radi o istom smjeru svjetlosti.

Sl. 1. Pojedina fizikalna svojstva (npr. brzina svjetlosti, sile privlačenja među pojedinim ravninama u strukturi kristala itd.) su za isto kristalno zrno (kristalna jedinka) u raznim smjerovima različita, ali za isti smjer ista u svakoj točki zrna. Na slici je to predočeno strelicama različite duljine za razne smjerove, odnosno jednako dugim strelicama za isti smjer



Homogenost je važno svojstvo minerala, jer se po njoj oni razlikuju od svih sastojaka Zemljine kore ili nebeskih tijela uopće koji nemaju toga svojstva. To su rude, stijene ili kamenje i drugi agregati: oni se sastoje od više različitih minerala, kao npr. granit u Moslavini, ili više puta samo od zrnaca jednog minerala, kao npr. kararski mramor. Kao primjer neka posluži najprije granit iz Moslavačke gore. Već prostim okom, a još bolje pomoću lupe, može se primijetiti da se on sastoji od tri glavne mineralne vrste: od glinenca (feldspata), koji je obično bijel ili slabo ružičast, pokazujući na prijelomu nerijetko sasvim ravne površine zbog dobre kalavosti, zatim od ponešto providnih, bjeličastih zrna kremenca (kvarca) i konačno od sjajnih, crnih pločastih ili lisnatih odlomaka jedne vrste tinjca (liskuna), koji se zove biotit. Svaki od tih sastojaka ima drugačiji kemijski sastav i drugačija fizikalna svojstva, zbog čega granit ne može biti tvorno, tj. fizikalno i kemijski homogen. Takve stijene koje se sastoje od više minerala zovu se poliminerale stijenama.

Sasma čisti kararski mramor sastoji se samo od zrnaca jednog minerala, i to kalcita, koja su kadšto velika i više milimetara. U kemijskom pogledu tu postoji homogenost. U tom slučaju nema, međutim, fizikalne homogenosti. Zrnca su, naime, kojekakvo međusobno raspoređena i ispreturana. Smjer dobre kalavosti u jednom zrnu, dakle određeno jedno fizikalno svojstvo, ne nastavlja se u istom smjeru u drugom zrnu. Nadalje, zraka svjetlosti s promjenljivom brzinom ima u odabranom smjeru nekoga kalcitnog zrna u mramoru sasvim određenu vrijednost. Taj se odabrani smjer ne nastavlja iz toga zrna u susjedna zrna. U kemijskom pogledu postoji, dakle, u kararskom mramoru homogenost, ali je s obzirom na fizikalna svojstva nema. Budući da tvorna homogenost obuhvaća jedno i drugo, zaključuje se da mramor nije tvorno homogen, tj. da mu manjka jedna od bitnih karakteristika minerala, tvorna homogenost. Mramor prema tome nije mineral nego kamen ili stijena, koja se sastoji od mnoštva zrnaca jednog minerala, kalcita. Takve stijene zovu se *monomineralne stijene*.

Vapnenci su, koji izgrađuju golemo prostranstvo našega krasi, poput mramora također monomineralne stijene. Razlika je između vapnenaca i mramora u tome što su zrnca kalcita u vapnencima često tako sitna da ih se prostim okom uopće

ne vidi, nego se u tu svrhu mora poslužiti lupom ili mikroskopom.

**Poremećaji homogenosti.** S obzirom na homogenost, mora se napomenuti da je ona u prirodi često poremećena. U mineralima se nerijetko nalaze uklopoci drugih minerala ili šupljine ispunjene tekućinama (npr. vodenim otopinama) ili plinovima i parama (vodenom parom, ugljik-dioksidom, sumporovodikom itd.), koji su mnogo puta tako sitni da se prostim okom ne mogu ni opaziti. Ti uklopoci kvare homogenost. Budući da se u prirodi minerali gotovo nikad ne razvijaju iz čistih otopina ili talina nego iz otopina i talina u kojima ima svega i svačega, nije čudo da oni gotovo uvijek imaju u sebi uklopke, odnosno da im je homogenost poremećena. Zbog toga apsolutno homogenih minerala u prirodi jedva i ima. Zato se radije kaže da su minerali *tvorno relativno homogeni* mjesto samo *tvorno homogeni*, kako je to u početku navedeno.

### Kristalno stanje

Tvornom je homogenošću, zapravo, obuhvaćena i pravilna unutrašnja građa karakteristična za kristalno stanje. Opažanje utvrđene činjenice da svako mineralno zrno u bilo kojoj svojoj točki pokazuje u istim smjerovima ista svojstva (npr. istu brzinu svjetlosti za određenu zraku, jednako dobru kalavost itd.) vrlo sugestivno upućuje na pravilnu unutrašnju građu, kakva je karakteristična za kristalno stanje. Uzme li se npr. kocka kuhinjske soli ili listići tinjca (liskuna), tada se kocka kuhinjske soli pod udarcem čekića kida i rastavlja u manje komadiće uvijek paralelno s plohamo kocke, odnosno listići tinjca mogu se lako, samom rukom, dalje kalati u još tanje listiće. Odatle se mora zaključiti da su najsitnije čestice (atomi ili atomske skupine), koje izgrađuju sol ili tinjac, raspoređene u velikim slojevima, unutar kojih je privlačenje među česticama vrlo jako, a između slojeva slabo. I takav se raspored mora na svakom mjestu u kocki kuhinjske soli, odnosno u listićima tinjca, na isti način ponavljati. To se ponavljanje može objasniti samo na taj način da su kocka kuhinjske soli ili listići tinjca u cjelini izgrađeni po stalnom i nepromjenljivom planu, kakav odgovara pravilnoj kristalnoj rešetki (v. *Kristalografija*, TE 7, str. 370), za koju je karakteristično da je oko svakoga njena atoma (atomske skupine) razmještaj svih ostalih atoma (atomske skupine) jednak. Samo tako se može shvatiti da mnoga svojstva mineralnih zrna ne ovise o točki koja se promatra, nego samo o smjeru, bez obzira na točku koja se promatra. Kalavost, dakle, nije nikako posljedica eventualnih pogrešaka u kristalnoj rešetki; ona se naprotiv pokazuje kao posljedica pravilnog redanja čestica u toj rešetki. Što su, naprotiv, veće pogreške u pravilnoj kristalnoj građi, to će lošije biti izražena inače dobra kalavost mnogih minerala.

Za minerale je, dakle, karakteristična pravilna unutrašnja građa, odnosno kristalno stanje. Ima li u nekom određenom prostoru suviše mineralnih zrnaca, tad će ona pri svom povećavanju zbog postepenog pravilnog odlaganja materijala oko već gotovih zrna ili, kako se kaže, pri njihovom rastu toliko porasti da će se dotaknuti i na taj će način biti spriječeno dalje pravilno redanje čestica. Zrna će se međusobno dodirivati u kojekakvim slučajnim površinama. Ne bude li, međutim, pri rastu zrnaca nikakvih vanjskih smetnji, tad će kao posljedica pravilne unutrašnje građe, odnosno kristalnog stanja, izrasti sam od sebe kristal, pravilno poliedarsko tijelo (v. *Čvrsto stanje*, TE 3, str. 128).

**Amorfne tvari.** Rijetko kristal ne poprma pravilan poliedarski oblik. Takav je npr. opal,  $\text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$ . On zapravo predstavlja  $\text{SiO}_2$ -gel s promjenljivom količinom vode (obično 4-9%, ali može doseći 20% i vrlo rijetko do 34%). On nikad sam od sebe ne poprma pravilan poliedarski oblik kristala, zbog čega se on uvršćuje u tzv. amorfne (od grč. *ἄμορφος* amorfos, *bezobličan*) tvari. Stajanjem na suhom zraku ili pri zagrijavanju on gubi vodu postupno, a ne u skokovima, kako je to karakteristično za kristalizirane tvari. Novijim rendgenografskim istraživanjima pomoću metode praha utvrđeno je da, općenito uzevši, opal predstavlja kristalni agregat, koji se sastoji od submikroskopskih kristalita s jače ili slabije nesređenom un-

trašnjom građom niskotemperaturnog (takoder i visokotemperaturnog) kristobalita.

**Organski spojevi kao minerali.** Karakteristikom minerala, navedenom u početku, obuhvaćeni su ne samo minerali od kojih je sastavljena čvrsta Zemljina kora nego i minerali meteorita, Mjeseca i općenito svih nebeskih tijela, bez obzira na to radi li se o anorganskim spojevima (što minerali u golemoj većini jesu) ili o organskim spojevima. Od organskih spojeva neka budu spomenuti, npr., humboltin  $\text{Fe}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , uvelit  $\text{Ca}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ , vedelit  $\text{Ca}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , oksamit  $(\text{NH}_4)_2[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ , mingucit  $\text{K}_3\text{Fe}[\text{C}_2\text{O}_4]_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , melit  $\text{Al}_2[\text{C}_{12}\text{O}_{12}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , žilijenit  $\text{Na}_2\text{Co}[\text{SCN}]_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , urea  $\text{CO}[\text{NH}_2]_2$ , acetamid  $\text{CH}_3\text{COONH}_2$  itd. Od spomenutih oksalata dva su (uvelit i vedelit) nedavno utvrđena kao sastojci u gornjokrednom vapnencu kod Žminja u Istri.

**Kamenci.** Sastojci bubrežnih, mokraćnih, žučnih i drugih kamenaca također su proizvod prirodnih kemijskih, fizikalnih i biokemijskih procesa: pripadaju prirodi i odlikuju se pravilnom unutrašnjom građom. Kao sastojci tih kamenaca utvrđeni su, npr., hidroksilapatit  $\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$ , struvit  $\text{MgNH}_4[\text{PO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , već spomenuti uvelit, brušit  $\text{CaH}[\text{PO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , aragonit  $\text{CaCO}_3$ , gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , mokraćna kiselina  $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4$ , kalcijski oksalat-trihidrat  $\text{Ca}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  itd. Šest prvo navedenih sastojaka bilo je već odavna poznato iz mnogih nalazišta na Zemlji.

**Minerali u troskama iz Lavriona.** Zanimljivo je spomenuti stare grčke troske (šljake, zgure) iz Lavriona (lat. Laurium), južno od Atene. Za vrijeme Perikla Atenjani su tu kopali olovnu rudu (uglavnom galenit, PbS) iz koje su dobivali olovo i srebro. Radili su to na morskoj obali; troske koje su pri tom nastajale, jednostavno su bacali u more. U prošlom stoljeću te su troske izvađene iz mora da bi po novim metodama bile ponovno prerađene do onog ostatka olova do kojeg stari Atenjani nisu mogli preraditi rudu. Pri tom su u šupljinama starih troski bili nađeni lijepi kristali različitih olovnih spojeva (različitih oksiklorida kao penfildit  $\text{Pb}_2\text{Cl}_3\text{OH}$ , fiderit  $\text{Pb}_3(\text{OH})_2\text{Cl}_4$ , laurionit (od lat. naziva mjesta Laurium) i paralaurionit  $\text{PbOHCl}$ , zatim fosgenit — olovo-klorokarbonat  $\text{Pb}_2[\text{Cl}_2\text{CO}_3]$ , matlokit — olovo-fluoroklorid  $\text{PbFCl}$ , georgiadezit — olovo-kloroarsenat  $\text{Pb}_3[\text{Cl}_3\text{AsO}_4]$ , cerusit i hidrocerusit — olovo-karbonati,  $\text{PbCO}_3$  i  $\text{Pb}_3[\text{OHCO}_3]_2$  te anglezit — olovo-sulfat  $\text{PbSO}_4$ . Svi su ti spojevi nastali, bez svake sumnje, dugotrajnim djelovanjem morske vode na olovo sadržano u troskama. Te troske ni olovo u njima ne mogu se, prema gore danoj karakteristici za mineral, smatrati mineralima, dok se navedeni olovni spojevi smatraju mineralima u punom smislu riječi. Oni su proizvod prirodnih kemijskih i fizikalnih procesa i pripadaju prirodi. Kristalizirani su, tj. odlikuju se pravilnom unutrašnjom građom. Sasma isto može se ponoviti i za lijepe kristale vivijanita  $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , koji se više puta nalaze u šupljinama rogova, kostiju ili zubi različitih fosilnih životinja. To rogovlje, kosti i zubi nalaze se obično sačuvani u mulju, ilovači ili pijesku. Vivijanit se tu razvio na račun fosfora kojega ima u rogovlju, kostima i zubima. To nisu, posve sigurno, minerali, ali vivijanit u njima je mineral isto onako kao i kristali vivijanita u drugim nalazištima u kojima ti kristali nisu ni u kakvoj vezi s ostacima negdašnjih živih bića.

**Tekućine i plinovi.** Ni tekućine ni plinovi ne mogu se smatrati mineralima u smislu dane karakteristike, jer nemaju pravilne unutrašnje građe, bitne za kristalno stanje. Kisik, dušik i plemeniti plinovi u atmosferi ili vode rijeka, jezera i oceana, pa kapljice žive koje se više puta nalaze u rudnicima žive, nisu prema tomu minerali. Led, koji nastaje smrzavanjem vode, ili čvrsta živa, ako se temperatura spusti ispod 234,26 K jesu minerali.

### Mineralna jedinica i mineralna vrsta

S obzirom na karakteristiku minerala koja je dana na početku, i s obzirom na ono što je rečeno u vezi s monomineralnim stijenama, mora se zaključiti da je zahtjevom stvarne homogenosti, odnosno pravilne unutrašnje građe, zapravo, određen pojam mineralne jedinice, odnosno individuuma u kojemu su na svakom njegovu mjestu sva svojstva ista.

Sve mineralne jedinice istih svojstava čine jednu mineralnu vrstu (species): u vezi s kemizmom treba ipak radi pojave izomorfizma, dodati da se izomorfizam nerijetko može neprekinuto mijenjati unutar određenoga područja. Uz vrstu razlikuju se dalje podvrsta (subspecies), varijetet (varietas) i različitost (differentia). Na primjer varijeteti kremenja jesu: prozirac, čadavac, ametist, ružičnjak, citrin, kresivac, kalcedon, ahata, oniks, sardoniks, hrizopras itd.

U usporedbi s mnogobrojnim životinjskim i biljnim vrstama, do sada poznatih, dobro određenih mineralnih vrsta ima razmjerno malo, oko 2000. Taj se broj godišnje povećava za nekoliko desetaka novih vrsta, među kojima se pojavljuju i spojevi koji su u kemijskom pogledu bili dosad sasvim nepoznati. Da se ne bi dogodilo, kako je to bilo više puta, da se kasnijim ispitivanjima utvrdi da je neki mineral, koji je proglašen za novu vrstu, zapravo bio već poznat, propisan je vrlo točan postupak prigodom objavljivanja podataka o novim mineralnim vrstama. To se pokazalo osobito potrebnim, kad je poslije svršetka drugoga svjetskog rata broj novih mineralnih vrsta počeo bez pravog razloga dosta naglo rasti. Međunarodno mineraloško društvo (International Mineralogical Association — IMA), osnovano 1957. god. u Montrealu (Kanada) pod svojim pokroviteljstvom ima posebnu komisiju za nove minerale i mineralne nazive (Commission on New Minerals and Mineral Names).

### Klasifikacija minerala

Prema svojstvima, utvrđenim proučavanjem pojedinih minerala, minerali se svrstavaju na određeni način, tj. po određenom sustavu u pojedine odjele koji zajedno čine sistematiku minerala. Ta sistematika ili klasifikacija mijenjala se kako se mijenjao i pojam minerala i kako su se uz napredak znanosti razvijale metode za bolje i potpunije ispitivanje minerala.

Prvu je klasifikaciju minerala dao, koliko se dosad znade, Platonov i Aristotelov učenik Tirtam (~ 370, do ~ 285), poznatiji kao Teofrast. On je u svom djelu *O kamenju* opisao 59 prirodnih i umjetnih mineralnih vrsta. U ono vrijeme, kad se o kemiji nije još ništa znalo, on ih je, s obzirom na praktičnu primjenu, razvrstao u ove skupine: 1) kamenje koje se može dobiti u krupnim komadima, 2) dragocjeni obojeni kameni, 3) taljivo kamenje, 4) kamenje koje gori, 5) kamenje koje ne gori, 6) dragocjeno kamenje, 7) kamenje koje se lako reže i 8) zemljaste tvari (boje). Potpuniji pregled dao je poslije toga Plinije Stariji (23—79) u svom djelu *Naturalis historia*.

Dati sistematiku na znanstvenoj podlozi bilo je moguće tek kad se potkraj XVIII i početkom XIX stoljeća kemija toliko razvila da su se mogle izvršiti kvantitativne kemijske analize. Na temelju toga je pokušao R. J. Haüy (1801) načiniti kemijsku sistematiku minerala, kako bi se nadomjestila vrlo rasprostranjena sistematika prema A. G. Werneru (1774), koja se zasnivala na vanjskim oznakama minerala. Wernerova sistematika pokazala se nezgodnom zbog toga što su srodni minerali nerijetko bili odijeljeni u različite skupine, a različiti minerali bili su u istoj skupini; npr. spinel i safir nalazili su se u skupini silikata zajedno s olivinom, augitom, vezuvijanom, granatom itd., dok su jaspis i opal bili zajedno s korundom. U skupinama koje su se zvale prema različitim metalima (skupina platine, zlata, žive, srebra, bakra, željeza itd.) bilo je zajedničko barem to da su se u njima nalazili najraznolikiji minerali kojima je metal, po kojem se skupina zove, bio bitni sastojak. Kako su u međuvremenu podaci o kemijskom sastavu različitih minerala postajali sve brojniji, uvažavan je u kasnijim izdanjima Wernerove sistematike (posljednje izdanje od 1818. priredio je za tisak njegov učenik J. K. Freiesleben) kemijski sastav kao osnova za sistematiku.

Da bi taj sastav pri tom bio od isključive važnosti, to je mišljenje u više svojih radova zastupao J. J. Berzelius (1812, 1814, 1819), upozorivši kako se minerali ne mogu — poput predmeta organske prirode (životinje i biljke) — poredati u sustav na temelju njihovih vanjskih oznaka. F. Mohs (1820) je tvrdio, naprotiv, da kemijsko ponašanje i sastav za karakteristiku minerala ne mogu pružiti nikakvih prirodnohistorijskih oznaka;

one su općenito dane uglavnom oblikom i djeljivošću, tvrdoćom i gustoćom. U vezi sa ta dva oprečna mišljenja treba napomenuti da je kemijski sastav jedna od bitnih karakteristika minerala koja, međutim, ne mora uvijek biti i dovoljna. Dijamant i grafit (C), pirit i markazit (FeS<sub>2</sub>), kalcit, aragonit i faterit (CaCO<sub>3</sub>), rutil, anatas i brukit (TiO<sub>2</sub>) itd., ne razlikuju se po kemijskom sastavu. Ipak, nitko neće reći da su, npr., dijamant i grafit, zatim kalcit, aragonit i faterit isto. To znači da uz kemijski sastav treba kao osnovu za sistematiku uzeti još neko bitno svojstvo. To je pravilna unutrašnja građa svake kristalizirane, odnosno mineralne tvari kojom je određen oblik njenih kristala te njena fizikalna svojstva (optička svojstva, gustoća, tvrdoća, magnetičnost itd.). Taj se kriterij za sistematiku primjenjivao osobito poslije 1912. god., kad je M. von Laue otkrio interferenciju rendgenskih zraka na kristalima, i poslije 1913., kad su W. H. i W. L. Bragg pokazali kako se na temelju toga mogu razriješiti kristalne strukture. Na temelju toga su 1931. P. P. Ewald i C. Hermann razvrstali kristalizirane tvari (dakle ne samo minerale) prema strukturnim tipovima. Povezivanjem razdiobe prema kemijskom sastavu i prema strukturnom tipu ostvaren je *kristalokemijski sustav minerala*. U toj sistematici, kako je daje H. Strunz (1970) u 5. izdanju svoga djela *Mineraloške tabele*, minerali su razvrstani u devet razreda, i to:

*I razred*: elementi (legure, karbidi, nitridi, fosfidi),

*II razred*: sulfidi (selenidi, teluridi, arsenidi, antimonidi, bizmutidi),

*III razred*: halogenidi (jednostavni halogenidi, dvostruki halogenidi, oksidhalogenidi),

*IV razred*: oksidi, hidroksidi,

*V razred*: nitrati, karbonati, borati,

*VI razred*: sulfati (kromati, molibdati, volframati),

*VII razred*: fosfati, arsenati, vanadati,

*VIII razred*: silikati,

*IX razred*: organski spojevi.

Bez kristalokemijske osnove za sistematiku minerala ne bi bilo moguće utvrditi pravilnosti, kojima su povezani međusobno pojedini minerali ili mineralne skupine. Jednostavna i razložna sistematika, npr., borata i silikata bez te osnove ne bi uopće bila ni moguća.

Tablica I  
UDIO POJEDINIHAL MINERALNIHAL SKUPINA  
U ČVRSTOJ ZEMLJINOJ KORI  
(prema E. K. Lazarenku 1979)

Razred	Skupina	Broj minerala	Udio u ukupnom broju minerala %	Maseni udio u Zemljinoj kori %
I	Samородni metali, metaloidi i nemetali	50	3,3	0,10
II	Sulfidi i njihovi analogi, sulfosoli	195	13,0	1,15
III	Halogenidi	86	5,7	0,50
IV	Oksidi i hidroksidi Nitrati	187 8	12,5 0,5	17,00
V	Karbonati Borati Sulfati	67 42 135	4,5 2,8 9,0	1,70 0,50
VI	Kromati Volframati i molibdati	5 14	0,3 1,0	3,35
VII	Fosfati i njihovi analogi	266	17,7	0,70
VIII	Silikati	375	25,0	75,00
IX	Organski spojevi	70	4,7	
	<i>Ukupno</i>	1 500	100,0	100,00

Ispitivanje kristalnih struktura pokazalo se osobito važnim za sistematiku silikata. Na temelju načela postavljenih prema F. Machatschkomu (1928) i W. L. Braggu (1930) razred silikata dijeli se u skupine nezosilikata, sorosilikata, ciklosilikata, inosilikata, filosilikata i tekosilikata. Tom racionalnom podjelom nadomještena je starija formalna razdioba u ortosilikate, meta-silikate, piro-silikate i trisilikate, koja se u znanosti upotrebljavala čitavo jedno stoljeće.

Veliko značenje pri ispitivanju različitih minerala pomoću rendgenskih zraka odrazilo se i u tome što se za brojne mineralne vrste koje su bile smatrane samostalnim pokazalo da predstavljaju samo odlike pojedinih, dobro poznatih minerala. Na taj su način iz sistematike uklonjeni brojni nazivi kao sasma nepotrebni. Za minerale za koje je rendgenografski bilo utvrđeno da ne čine posebne mineralne vrste, uveo se naziv *diskreditirani minerali*.

**Rasprostranjenost minerala.** Neki od minerala, npr. rutil ( $\text{TiO}_2$ ), nalaze se posvuda na Zemlji, ali obično u malim količinama. Tada se, bez obzira na količinu, govori o *proširenim mineralima*, moglo bi se reći posvudašnjim mineralima. Slično se, bez obzira na količinu u određenom nalazištu, govori o *rijetkim mineralima*, ako se oni nalaze tek na nekoliko mjesta (npr. platina Pt ili sjerlzit,  $\text{NaB}[\text{Si}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

Mnogi od minerala sastavljaju kao bitni sastojci različite stijene i rudne zajednice. Zbog toga je njihov udio u građnji čvrste Zemljine kore znatan. To se za pojedine mineralne razrede može razabrati iz tabl. 1.

## POSEBNA PODRUČJA MINERALOGIJE

Prema tome da li se mineralogija bavi mineralima Zemljine kore, Zemljinog omotača ili drugih tijela iz svemira (kozmosa), govori se o *mineralogiji Zemljine kore*, *mineralogiji omotača* ili *kozmičkoj mineralogiji*. Mineralogija Zemljine kore može se dalje razvrstavati, npr., na mineralogiju eruptivnih stijena, mineralogiju pegmatita, mineralogiju kore trošenja itd.

**Kemijska mineralogija** istražuje kemijski sastav minerala i sva njihova svojstva koja su u vezi sa sastavom.

**Regionalna mineralogija** proučava razdiobu minerala i mineralnih zajednica u određenim geološkim područjima i pravilnosti u razdiobi pojedinih minerala. *Topografska mineralogija* nastoji dati što iscrpniji pregled o svim mineralima pojedinih područja; pri tom vrlo lijepo dolaze do izražaja pojedine mineralne zajednice, i u tom smislu ona je usko povezana s regionalnom mineralogijom.

**Genetska mineralogija** proučava postanak minerala i mineralnih kompleksa. Budući da nestankom ili izmjenom jednih minerala nastaju drugi, ona se bavi ne samo postankom nego i nestankom te izmjenom minerala s kemijskoga, fizikalnoga, fizikalnokemijskog i geološkog stanovišta.

**Eksperimentalna mineralogija** bavi se priređivanjem minerala u laboratoriju (sintetski minerali) i proučavanjem uvjeta uz koje oni postaju. Kako je već spomenuto, ona je veoma važna za znanost i praksu. Pri prenošenju podataka koji se pri tom dobivaju u prirodu treba biti vrlo oprezan. U laboratoriju, npr., često se ispituju područja stabilnosti pojedinih minerala, pri čemu će se nerijetko ustanoviti da se rezultati iz laboratorija ne podudaraju s opažanjima u prirodi. Objašnjenje za taj prividni nesklad je u tome što se u laboratoriju eksperimentira pri sintezi minerala obično s vrlo čistim komponentama. Vrlo male količine stranih primjesa mogu, međutim, područje stabilnosti pojedinih minerala bitno izmijeniti, npr., u tom smislu da su zbog prisutnosti tih primjesa pojedini minerali stabilni i pri nižim temperaturama ili nižim tlakovima (i obratno) nego što to odgovara laboratorijskim pokusima.

**Primijenjena mineralogija** bavi se ispitivanjem o tome kakvo je značenje pojedinih minerala u tehnici i gospodarstvu. Već se pračovjek služio različitim kamenjem u svom životu; on je točno znao od kakva kamena da uradi svoje sjekire, mlatove, vrhove za strelice kojima je lovio životinje ili strugala za kožu itd. Za strugala je morao upotrebljavati mekani kamen, jer bi inače proparao kožu. Za vrhove strelica uzimao je što oštrije tvrdi kamen (kalcedon, ahāt itd.), kako bi strelica poput metka

probila gonjenu zvijer. Poznavanje kamena i minerala s obzirom na njihovu primjenu bilo je u ta davna vremena sigurno šire i opsežnije nego što je danas, kad je ono ograničeno na uski krug stručnjaka i radnika; od toga je ovisio život, egzistencija praljudi. Bez gline ne bi bilo lončarstva, ciglarstva, fajanse, porculana od pradavnih vremena pa do danas. Iz ruda se dobivaju različiti metali, npr. čelik, aluminij, bakar, bronca. Zato je proučavanje rudnih ležišta važna grana primijenjene mineralogije. Veličanstvena djela kulture (egipatske piramide, obelisci, mramorni kipovi, djela Inka u Peruu itd.) rađena su od različitog kamena. Minerali od kojih je izgrađeno raznovrsno kamenje čine podlogu na kojoj se razvilo sve živo na Zemlji: biljke, životinje i čovjek.

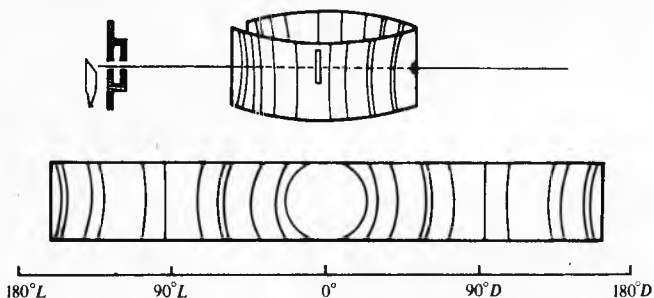
Znanost o dragom i uresnom kamenju također je dio primijenjene mineralogije.

## METODE ZA ODREĐIVANJE POJEDINIH MINERALA

Pri određivanju češćih, proširenih minerala iskusni će istraživač više puta na prvi pogled moći odrediti o kojem se mineralu radi. Tomu će često pridonijeti i promatranje prilika u kojima se mineral javlja: u kakvim stijenama ili zajednicama on dolazi i kakvi su drugi minerali s kojima se zajedno pojavljuje. Najčešće će, međutim, biti potrebno da se izvrše raznolika dopunska ispitivanja, na temelju kojih bi se moglo zaključiti o kojem se mineralu radi.

**Kristalografska određivanja.** Pojavljuje li se mineral u obliku lijepih kristala, može se često pomoću uređaja koji služe za mjerenje kutova među pojedinim plohami (ili plošnim normalama) na kristalu, odnosno koji služe za određivanje međusobnoga prostornog razmještaja plošnih normala, vrlo točno odrediti u koji od šest kristalnih sustava spada neki mineral; to već može bitno olakšati određivanje minerala, a više puta je i dovoljno za njegovo određivanje. Svi se takvi uređaji zovu goniometri. Vrlo se točno može mjeriti, ako su, dakako, kristalne plohe glatke i ravne, pomoću refleksnih goniometara. Pojedini od tih uređaja imaju tako jako povećanje, odnosno toliku sposobnost razdvajanja, da se pomoću njih mogu razmjereno lako i brzo izmjeriti plohami bogati kristalici kojima veličina ne doseže ni pola milimetra.

**Rendgenografska određivanja.** Ako kristali nisu dobro razvijeni, ili ako kristalizirana mineralna tvar dolazi u česticama submikroskopske veličine, tad će se moći dobro primijeniti metoda koju su 1916. god. razvili P. J. Debye i P. Scherrer (v. *Kristalografija*, TE 7, str. 370). Ako kristalizirana tvar nije sama po sebi već dovoljno sitna, bit će potrebno da se ona što finije smrvi. Zbog toga se ta metoda i zove metoda kristalnog praha. Od praha se načini mala pastila, ili se mala količina smjesti u kapilaru, pa se to izloži monokromatskom rendgenskom zračenju (sl. 2). Uz smjer primarne zrake na fotografskom



Sl. 2. Debye-Scherrerov snimak. U gornjem dijelu slike od lijeva na desno označen je smjer primarne zrake. Dolje: fotografska snimka s krivuljama oko izlaza primarne zrake na mjestu označenom sa  $0^\circ$

filmu, koji je namješten koncentrično oko središta posebne metalne komore s ispitivanim preparatima, pojavit će se na filmu zacrnjenja i u drugim smjerovima; ona predstavljaju krivulje u kojima čunjevi rendgenskih zraka, reflektiranih i interferencijom pojačanih na pojedinim mrežnim ravninama u strukturnoj rešetki kristalizirane tvari, presijecaju kružno svinuti film. Za

svaku tvar razmaci su među tim krivuljama i intenziteti pojedinih krivulja drugačiji. Uspoređivanjem podataka dobivenih na taj način za mineral koji se ispituje sa sličnim podacima što su urađeni za svaki pojedini dobro definirani mineral, može se vrlo često odrediti o kojem se mineralu radi. Dobra je strana metode, među ostalim, u tome što je za ispitivanje potrebno vrlo malo tvari.

Godine 1909. P. Walter je objavio da je u zlatonosnim pijescima kod mjesta Nižnij Tagil na Uralu utvrdio pojavu elementarnoga tantala, potkrepljujući to i kemijskom analizom: 98,5% Ta, 1,5% Nb, oko 0,001% Mn uz tragove Au i Sn: gustoće 11,2 kg/dm<sup>3</sup>. Godinu dana kasnije W. John je izvijestio o nalazu tantala i u zlatonosnim pijescima Altaja sa sastavom: 98,99% Ta, 0,0095% Au. P. P. Pilipenko je već 1915. upozorio da ti podaci nisu uvjerljivi. Nakon toga je 1926. V. M. Goldschmidt ispitao metodom kristalnog praha primjerak za koji se smatralo da je iz Nižnjeg Tagila i utvrdio da se radi o TaC, izrazivši pri tom mišljenje da se tu radi o umjetnom proizvodu, a ne o prirodnom mineralu. Konačno je C. Frondel (1962) ispitao originalni materijal s Altaja i Urala i utvrdio da se dijagram praha potpuno podudara s dijagramom za tantalski karbid. Na taj je način bilo dokazano da elementarni tantal u prirodi još nije utvrđen kao mineral; mjesto toga radi se, zapravo, o mineralu TaC (teoretski sastav: 93,78% Ta, 6,22% C).

**Određivanje gustoće i tvrdoće.** Vrlo je važno i pouzdano određivanje gustoće i tvrdoće. Tvrdoća se u mineralogiji određuje vrlo jednostavno prema ljestvici ili skali koju je sastavio mineralog F. Mohs, pa se zbog toga zove *Mohsova ljestvica tvrdoće*. Ona glasi: 1) milovka (talk), 2) gips ili kamena sol, 3) kalcit, 4) fluorit, 5) apatit, 6) glinenac (feldspat), 7) kremen (kvarc), 8) topaz, 9) korund, 10) dijamant. U označenom poretku svaki mineral s višim brojem, odnosno s većom tvrdoćom, zapanat će sve minerale s nižim brojem.

**Određivanje optičkih svojstava** minerala može biti vrlo dragocjeno. Pri tom nije uvijek moguće da se uz maksimalnu točnost odrede sve optičke konstante nekog minerala: npr. u optički dvoosnim mineralima sva tri glavna indeksa loma  $N_z$ ,  $N_y$  i  $N_x$  metodom mineralne devijacije. Za to bi trebalo imati oveće kristale, iz kojih bi se dale izbrusiti prizme ili klinovi određene orijentacije. Možda se neće moći uraditi fino polirana pločica za određivanje indeksa loma metodom totalne refleksije. Ako ništa drugo, odredi se barem neki indeks loma metodom uronjavanja uz onu točnost i pouzdanost koja je pri primjeni te metode uopće dostižna. Nakon toga će se načiniti izbrusak u kojemu će se što točnije, prema mogućnostima konoskopski izravnim opažanjem obiju binormala (optičkih osi, kako se obično kaže), izmjeriti kut među njima  $2V$  i odrediti optički karakter minerala. Bit će potrebno, ako je moguće, odrediti u izbrusku metodom kompenzatora maksimalni dvolom  $N_z - N_x$  ili jedan od parcijalnih dvoloma,  $N_z - N_y$  ili  $N_y - N_x$ , pa iz njega i određene veličine kuta optičkih binormala zaljučiti na drugi parcijalni, a prema tome i na maksimalni dvolom (pomoću Boldyrevljevih dijagrama). Pokušat će se izmjeriti kut potamnjenja, što ga neki od glavnih vibracionih smjerova čini s izraženim nekim geometrijskim elementom u izbrusku, kao npr. sa smjerom pukotina kalavosti, sraslačkih šavova, terminalnih ploha i slično: taj je kut za mnoge minerale karakterističan. Odredit će se kvalitativno karakter disperzije za kut među binormalima i pleohroizam. Pomoću određenih veličina za ta svojstva, ili barem za neka od njih, moći će se često zaključiti o kojem se mineralu radi, uspoređujući te podatke s podacima koji su za raznovrsne minerale pregledno navedeni u različitim tablicama. Jedne između njih, npr. one Trögerove (1971) služe za optičko određivanje minerala koji se javljaju kao sastojci različitih stijena (stjenotvorni ili kamenotvorni minerali). U spomenutim tablicama sadržani su podaci za 244 minerala ili izomorfne mineralne skupine.

Radi li se o optičkom određivanju svih prozirnih ili donekle providnih minerala, tad dolaze u obzir samo tablice u kojima su sadržani podaci za sve minerale. Budući da ih ima mnogo, postavlja se pitanje kako da se prikladno i pregledno poredaju u tablicama. Izgleda da je to u novije vrijeme uspjelo H. Winchellu (1965). Prema njemu su minerali porazmješteni u poluvaljak na ovaj način (sl. 3): uzduž osi poluvaljka nanosi se u određenom mjerilu međuvrijednosni indeks loma  $N_y$  za optički dvoosne minerale, odnosno indeks loma ordinarnog vala za optički jednoosne minerale, ili indeks loma optički jednolomnih minerala (v. *Kristalna optika*, TE 7, str. 364), na taj način da porastu indeksa loma odgovara sve veća udaljenost od središta donjeg polukruga

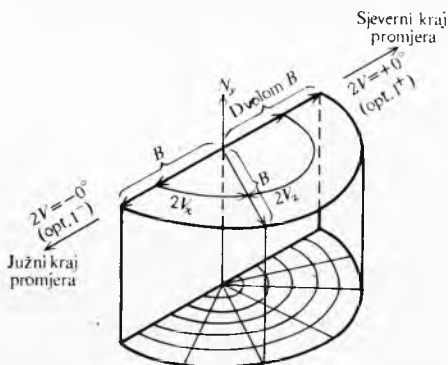
prema središtu gornjeg polukruga, koji predstavljaju bazne presjeka poluvaljka. Početna najniža vrijednost indeksa loma jest 1,300; u najviši bazni presjek smješteni su minerali s indeksom loma većim od 2,500.

Jakost maksimalnog dvoloma  $B$  predočena je većom ili manjom dužinom od osi poluvaljka na njegovim polumjerima. Veličina kuta binormala  $2V$  za optički negativne minerale nanosi se od južnog kraja promjera poluvaljka u smjeru protivno kazaljki na satu, a slično za optički pozitivne od sjevernog kraja poluvaljka u smjeru kretanja kazaljke na satu.

Neka je poluvaljak rastavljen u tanke slojeve paralelno s baznim presjecima poluvaljka: u svakom takvu sloju sadržani su svi minerali s određenim rasponom međuvrijednosnog indeksa loma. Winchell je čitav poluvaljak podijelio u 31 sloj. U najdonjem su sloju minerali s indeksom loma  $N_y = 1,300 \dots 1,399$ , u prvom sloju iznad njega su oni sa  $N_y = 1,400 \dots 1,459$ , a u daljnjem, višem sloju oni sa  $N_y = 1,460 \dots 1,479$  itd. Svaki od tih slojeva prikazan je na posebnoj slici.

Ako je, npr., pouzdanim određivanjem utvrđeno da je neki mineral optički negativan dvoosni mineral kojemu je  $N_y = 1,632$ , kut binormala  $2V = -40^\circ$ , a maksimalni dvolom  $N_z - N_x = 0,014$ , tada određeni  $N_y$  pokazuje da se od slika u Winchellovu djelu mora uzeti u obzir ona u kojoj su sadržani minerali sa  $N_y = 1,620 \dots 1,639$ . U južnom kvadrantu slike krenut će se po polumjeru koji odgovara vrijednosti  $2V = -40^\circ$  od oboda prema središtu, dok se ne dođe do luka, kojemu odgovara dvolom  $N_z - N_x = 0,014$ . Tako određeno mjesto u slici označeno je brojkom 61, koja predstavlja mineral označenih optičkih svojstava. O kojem se mineralu radi, to će se doznati iz teksta uz svaku sliku. Za odabrani slučaj iz toga teksta vidi se da je brojkom 61 označeno mjesto koje odgovara volastonitu.

Nerijetko će se na taj način moći odrediti o kojem se mineralu radi i onda ako su određena samo neka od spomenutih optičkih svojstava. A dogoditi će se također i to da će biti potrebno izvršiti i dalja dopunska ispitivanja.



Sl. 3. Winchellov poluvaljak za pregledno svrstavanje minerala po optičkim svojstvima

Metodika optičkih određivanja danas je toliko razrađena da se iz mikroskopskih opažanja za pojedine izomorfne mineralne skupine može točno odrediti koliko ima u smjesi jedne a koliko druge komponente. Za plagioklase, npr., može se zaključiti koliko ima u njima anortitne a koliko albitne komponente; slično za neko zrno olivina u izbrusku može zaključiti koliko ono sadrži postotaka komponente  $Mg_2SiO_4$ , a koliko komponente  $Fe_2SiO_4$ .

Optički, pomoću mikroskopa, određuju se i neprozirni minerali u odbijenoj svjetlosti promatranjem fino poliranih nabrusaka uz okomiti upad svjetlosti. Tada za određivanje služe druge konstante, kao npr. stupanj refleksije, birefleksija ili refleksni pleohroizam, izotropnost, odnosno anizotropnost, unutrašnji refleksi (sve bez imerzije ili s imerzijom), reljef i tvrdoća itd.

Apsorpcijska sposobnost u infracrvenom dijelu spektra za brojne je minerale također vrlo karakteristična te može poslužiti za njihovo određivanje.

**Ostala fizikalna određivanja.** Pri određivanjima znatno može pomoći često boja, sjaj, zatim boja praha ili crt minerala, ka-



lavost i njezin stupanj, odnosno njeno pomanjkanje, sraslaci, habitus agregata (vlaknast, srololik, iglast, pločast, stupačast itd.), magnetskičnost.

Obrisi mogu također biti vrlo važni. Ako su mineralna zrnca sitna, bit će potrebno da se za promatranje obrisa i za možebitno mjerenje kutova među pojedinim bridovima ili plohama na zrcima upotrijebi lupa ili mikroskop. Ako su pravilno formirana zrnca sitna da se ne mogu vidjeti u običnom mikroskopu, primijenit će se snimanje pomoću elektronskog mikroskopa, kojemu je sposobnost razdvajanja mnogo snažnija nego u običnim mikroskopskim sustavima.

**Raznolika kemijska ispitivanja** također su veoma važna. Korisni podaci kvalitativne prirode često se mogu brzo i lako dobiti ispitivanjem pomoću puhaljke (duhaljke). Mineralna tvar se pri tom žari u malom udubljenju na drvenom ugljenu sama za sebe ili izmiješana sa sodom u oksidacijskom ili redukcijskom plamenu puhaljke. Pri tom se mogu dobiti metalne kuglice, oblijepi različite boje na ugljenu, osjećaju se različiti karakteristični mirisi i sl., na temelju čega se mogu praviti zaključci o prisutnosti, odnosno o odsutnosti pojedinih kemijskih elemenata u ispitivanom primjerku. Jedna od uputa za takva određivanja bila je u nas tiskana u prijevodu već 1910. god. (Fuchs-Brauns: Uputstvo u određivanje ruda, Zagreb. Preveo F. Tučan).

Od rjeđih i osobito od novih minerala treba izvršiti po bilo kojoj metodi potpunu kvalitativnu kemijsku analizu, kako se ne bi dogodilo da se ne izvrši kvantitativno određivanje nekoga bitnog sastojka u mineralu. Tako je bilo, npr., s mineralom vrbaitom, koji je dosad nađen samo u jednom nalazištu na Zemlji: Alšaru, južno od Kavadara u Makedoniji, nedaleko od grčke granice. Prema prvoj kemijskoj analizi koju je 1912. izvršio Fr. Křehlík, sastav minerala mogao bi se prikazati formulom  $TlAs_2Sb_5S_5$ . Više od pola stoljeća kasnije R. Giraud (1967) i H. Rudolf (1968) utvrdili su i živu kao bitni sastojak te odredili pomoću elektronske mikrosonde njezin sadržaj (20,5%, odnosno 20,4%): nakon toga je formula za vrbait morala biti izmijenjena u  $Tl_4Hg_3As_8Sb_2S_{20}$ .

Dobar uvid u kvalitativni sastav može se dobiti i *spektrografskom metodom*, odnosno iz foto-snimaka načinjenih od spektara različitih minerala isparenih uz visoke temperature, npr. u električnom luku. Jačem zacrnjenju na snimci odgovara veća količina nekog elementa u mineralu. Metoda može poslužiti i za kvantitativna kemijska određivanja, ali je toliko osjetljiva da se u tom smislu može primijeniti samo za određivanje onih sastojaka u mineralu kojih ima vrlo malo (ispod 1% ili 0,1%).

Za kvantitativne zaključke može se odlično upotrijebiti *rendgenska spektralna analiza* u kojoj se rendgenske zrake što ih odašilje ispitivana tvar spektralno rastave pomoću monokristala. U tako dobivenom spektru određuje se svaki element pomoću izmjerenih, za nj karakterističnih valnih duljina. Postupak se može primijeniti i za kvantitativna određivanja. Takva se određivanja obavljaju, uostalom, i prema propisima analitičke kemije gravimetrijskim, volumetrijskim, elektroanalitičkim, polarografskim i drugim postupcima.

Danas su razrađene i metode pomoću kojih se može provesti kvantitativna kemijska analiza na vrlo maloj količini ispitivane tvari. Jedan od instrumenata kojim se danas obavljaju takva ispitivanja jest tzv. elektronska mikrosonda. Pomoću nje se može izvršiti kvantitativno određivanje ako su mineralne čestice u izbruscima ili nabruscima velike 1–200 nm.

*Analiza aktiviranja pomoću neutrona* naročito je prikladna za određivanje onih elemenata koji se u mineralu nalaze u vrlo maloj količini. Sastoji se u tome da se ispitivani uzorak izloži neutronskom zračenju; jezgre atoma pretvaraju se pri tom u radioaktivne jezgre ili u druge umjetne radioaktivne elemente, kojima se količina može vrlo osjetljivo odrediti ispitivanjem njihova radioaktivnog zračenja.

**Termoanalitička određivanja.** Za ispitivanje i određivanje minerala primjenjuju se danas i termoanalitičke metode. One se zasnivaju na tome da se registriraju toplinski efekti pri zagrijavanju uzoraka. Ti efekti nastaju, npr., zbog izlaženja kristalne vode, zbog endotermnih, odnosno egzotermnih reakcija kojima je praćen prijelaz jedne polimorfne modifikacije u drugu, zbog

disocijacije karbonata i s tim povezanog otpuštanja  $CO_2$ , zbog otpuštanja hidroksilnih skupina iz kristalne rešetke minerala itd. Jednoličnost se zagrijavanja zbog toga poremeti, što se na krivulji zagrijavanja odražuje po različitim njenim deformacijama. Drugim riječima: te su krivulje za brojne minerale toliko karakteristične da se oni mogu po njima prepoznati.

Treba znati da nijedna od spomenutih metoda nije svemoćna. Nerijetko će zbog toga biti potrebno da se za određivanje minerala upotrijebe dvije ili više različitih metoda i da se izvrši poneko sasma specijalno određivanje.

## TEHNIČKA PRIMJENA MINERALA

**Industrijski važni minerali.** Brojni minerali iskorišćuju se praktički u najraznolikije svrhe. Još od prethistorijskih vremena iskorištavaju se mineralna nalazišta za dobivanje metala. Neki od njih, npr. zlato, nalaze se gotovo bez izuzetka u samorodnom stanju, neki uz to još i u obliku različitih spojeva (srebro, bakar, željezo — samorodno u malim količinama, obilato u obliku različitih svojih spojeva), dok se npr. aluminij pojavljuje samo u obliku različitih spojeva (uglavnom oksida, hidroksida i različitih silikata). Dobivanje metala iz njihovih prirodnih spojeva zadatak je metalurgije. Pri tom svako pojavljivanje nekog metala u prirodi ne znači još da će se on i proizvoditi za tehničke potrebe. Da bi se to moglo ostvariti, sadržaj metala u rudi mora biti: za željezo 40% (uz povoljne okolnosti i iznad 20%), za cink barem 5%, za bakar barem 2% (ili u povoljnim slučajevima najmanje 0,5%), za olovo barem 5–2%, za aluminij barem 35%, za mangan barem 20%, za krom barem 30%, za nikal barem 2–1%, za zlato barem 0,001–0,0005%, za srebro barem 0,05% itd. Ti podaci vrijede ako se nalazište iskorišćuje samo za spomenuti metal. Ako se istodobno vadi više metala, tada sadržaji mogu biti i manji. Osim udjela metala, na iskorišćivanje utječu i drugi činioci, kao npr. količina metala u ležištu, zabačenost, odnosno udaljenost ležišta od komunikacija, konjunktura, odnosno cijene na svjetskom tržištu, oblik spoja u kojem je metal sadržan itd. Iz pirit (FeS<sub>2</sub>), koji se nalazi kadšto u golemim količinama i sadrži u čistom stanju 46,6% željeza, danas se u tehnici ne proizvodi željezo. Ono bi, naime, zbog vrlo malenih, današnjim tehničkim postupcima jedva odstranjivih preostataka sumpora bilo krhko i neupotrebljivo; pirit, prema tome, usprkos visokom sadržaju željeza u sebi nije željezna ruda u tehničkom smislu riječi. Tu je prilika da se pokaže na razliku naziva ruda u mineralogiji i rudarstvu. U mineralogiji se pod tim razumijevaju minerali koji u svom sastavu imaju metala, a odlikuju se metalnim izgledom ili velikom gustoćom. U rudarstvu se pod rudama razumiju minerali s metalima u svom sastavu i mineralne smjese iz kojih se mogu dobiti metali ili metalni spojevi različitim načinima izdvajanja.

Svi ostali minerali koji se ne prerađuju u metale predstavljaju skupinu nerudnih minerala; mnogi od njih su tehnički vrlo važni, npr. barit (BaSO<sub>4</sub>), fluorit (CaF<sub>2</sub>), minerali stroncija, kalcit (CaCO<sub>3</sub>), kremen (SiO<sub>2</sub>), minerali sumpora (S) itd. Tu treba posebno spomenuti i minerale glina i ilovača (kaolinit, dilit, nakrit, montmorilonit, ilit itd.), koji su se još od prethistorijskih vremena iskorišćivali za pravljenje keramike, cigle i glinene robe uopće. Starost najstarijih keramičkih izrađevina iz guranske kulture na području Mezopotamije cijeni se na više od 8000 godina. Zidane građevine od cigle stare su u Mezopotamiji 6000 godina.

Dijamant je kao dragocjeni ukrasni materijal i kao tehnički vanredno važna roba toliko vrijedan da se, npr., u nalazištu Premier u Južnoj Africi proizvodnja od god. 1903. do danas odlično isplatila, premda je dijamantata proizvedeno svega oko 80 milijuna karata (16 tona) iz više od 230 milijuna tona materijala, tj. uz prosječni sadržaj od 35 karata (7 grama) dijamantata na 100 tona kamene mase.

**Sinteza minerala.** Nekako prije stoljeće i pol počelo se raditi na tome da se pojedini minerali načine od svojih sastojaka, određenih kemijskih ispitivanjima, umjetno u laboratoriju. Uspjesi su u početku bili dosta skromni, a pokušaji za sintezu nekih minerala, kao npr. amfibola, stalno su svršavali bez

uspjeha. Točnijim se ispitivanjem uvidjelo da je tome razlog što je u prijašnjim kemijskim analizama bilo zanemareno da je, uz ostalo, bitni sastojak amfibola mala količina vode ili fluora. Kad se to uzelo u obzir, pa kad se sinteza provodila u kemijskim bombama u prisutnosti para vode ili fluorovodične kiseline, tad je sinteza pošla za rukom.

Danas se u laboratorijima uspješno provodi sinteza najraznolikijih minerala, tj. *sintetskih minerala*. Proučavanjem prilika pri sintezi (temperature, tlaka i uzetih kemijskih sastojaka) mogu se nerijetko praviti važni zaključci o postanku minerala u prirodi. Uzmu li se za pokuse u bombama sedimentne stijene, tad će se njihov mineralni sastav uz nove uvjete temperature i tlaka izmijeniti: nastat će nove mineralne zajednice. Odatle se prave važni zaključci o postanku metamorfnih stijena u prirodi. Takvi su pokusi dugotrajni: protegnu se na više mjeseci, pa i na godinu dana.

Osobito je važno da se u laboratoriju prave različiti umjetni kristali kojih se u prirodi već ne nalazi u dovoljnoj količini za podmirenje tehničkih potreba. Tipičan primjer za to su sasma čisti, potpuno bezbojni i prozirni kristali kremenja, tzv. piezokremenja, koji se u velikim količinama upotrebljava u elektroničkim i telekomunikacijskim uređajima za kontrolu oscilatora. Mikroskopski sitne kristale načinio je prije više od jednog stoljeća C. Schafhäutl (1845), a relativno velike kristale G. Spezia (1900). Metoda, koja se za to i danas primjenjuje, zasniva se zapravo na činjenici da je kremen lakše topljiv u otopini natrijskog metasilikata uz temperature iznad 600 K nego ispod njih. Računa se da se danas polovica potrebnog piezokremenja proizvodi umjetno.

Kadšto kristalni proizvodi dobiveni umjetno nemaju analoga među prirodnim mineralima; to se odnosi, npr., na pojedine sastojke u troskama, pa na litij-fluorid. Bezbojni, savršeno prozirni, umjetno priređeni kristali litij-fluorida upotrebljavaju se mjesto fluorita za izradivanje leća potrebnih pri konstrukciji mikroskopskih objektivna najviše kvalitete itd.

Kristalizacija se obavlja u posebnim uređajima, tzv. kristalizatorima. Za kristalizaciju su potrebne male kristalne klice od iste ili druge tvari od kojih kristali rastu. Za orijentirani rast kristala na nekoj podlozi ili za epitaksiju od primarne je važnosti da u strukturnoj građi podloge (domaćina) i kristala koji raste povrh nje (gost) vlada u međusobnim atomskim ili ionskim odnosno molekularnim razmacima dalekosežna analogija. Domaćin kao da u tom slučaju prisiljava gosta na orijentirano pravilno prerastanje. Kakav je način na koji su elementarni sastojci međusobno povezani, to je pri tom manje važno: poznati su, npr., slučajevi epitaksije molekularnih kristalnih rešetaka povrh kristala kovina. Pravilno srastanje dvaju minerala, distena  $\text{Al}_2[\text{O}|\text{SiO}_4]$  i staurolita  $\text{AlFe}_2\text{O}_3(\text{OH}) \cdot 4\text{Al}_2[\text{O}|\text{SiO}_4]$  prvi je slučaj epitaksije uočen u prirodi (E. F. Gemar 1817). U doirnoj plohi iznose elementarni razmaci kod distena 0,774 i 0,557, a kod staurolita 0,782 i 0,563 nm. Od nedavno praktično iskorištenih slučajeva orijentiranog srastanja treba spomenuti izlučivanje kristalića leda povrh klica srebro-jodida, umjetno ubačenih u atmosferu. Ono se obavlja neobično lako, pa se na tom zasniva ostvarivanje umjetnih oborina.

Velike kristalne jedinke mogu se često prirediti izlučivanjem tvari iz prezasićenih otopina povrh malih kristalića iste tvari koji vise u otopini, nadalje polaganim izlučivanjem, pobuđenim bilo isparivanjem otopine, bilo njihovim ohlađivanjem. I sublimacijom se mogu dobiti takvi kristali.

Veliki, potpuno prozirni kristali korunda,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , rade se prema metodi A. Verneula, pronađenoj potkraj prošlog stoljeća, taljenjem i rekristaliziranjem glinice uz visoke temperature u plamenu vodika i kisika. Doda li se glinici u malim količinama kroma, kobalta ili titana (u obliku njihovih soli), dobit će se krasno obojeni rubini i safiri; ako su dobro urađeni, često se teško razlikuju od takva prirodnoga, vrlo skupocjenoga dragog kamenja. Veliki monokristali sintetskog rubina iskorišćuju se za priređivanje rubinskog lasera. Najsitniji korundni prah za abrazivne svrhe također se pravi umjetno u velikim količinama. Nedavno su u Novosibirsku pod vodstvom A. A. Godovikova priređeni krasni smaragd i aleksandriti, koje je nemoguće razlikovati od istovrsnoga prirodnoga dragog kamenja.

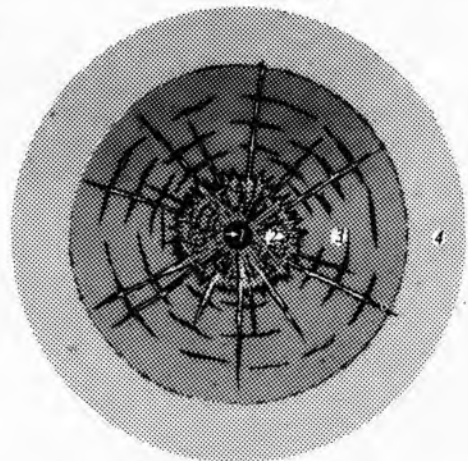
Velike industrijske zemlje podmiruju danas priličan dio svojih potreba za sitnim dijamantima na taj način da ih rade umjetno u posebnoj aparaturi uz visoke tlakove i temperature (više od 3 GPa i ~1700 K). Cijena im je približno ista kao i za prirodne materijale.

LIT.: P. Eskola, *Kristalle und Gesteine*. Springer Verlag, Wien 1946. — F. Tučan, *Opća mineralogija*. Školska knjiga, Zagreb 1951. — A. N. and H. Winchell, *Elements of optical mineralogy, Part II: Descriptions of minerals*. Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York-London 1951. — A. N. Winchell, *Elements of optical mineralogy, Part I: Principles and methods*. Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York-London 1954. — F. Tučan, *Specijalna mineralogija*. Školska knjiga, Zagreb 1957. — W. H. Dement, *Principles of mineralogy* (revised printing). Ronald Press Comp., New York 1960. — E. K. Лазаренко, *Курс минералогии*. Львівський університет, Львів: част. I, 1958; част. II, 1959; част. III, 1961. — C. W. Correns, *Einführung in die Mineralogie*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 1968. — A. A. Годовиков, *Минералогия*. Недра, Москва 1975. — P. Ramdohr, *H. Strunz, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*. Verlag Enke, Stuttgart 1978.

Lj. Barić

**MINIRANJE**, postupak za razaranje i drobljenje stijena, tala i građevina energijom oslobođenom detonacijom eksplozivnog naboja. Primjenjuje se u *rudarstvu* za dobivanje mineralnih sirovina, tehničkog i ukrasnog kamena i za izbjivanje profila pri gradnji podzemnih prostorija i tunela; u *građevinarstvu* za iskop kanala, usjeka i zasjeka, pri gradnji prometnica, te za iskop temelja za građevine; u *poljoprivredi* za gradnju kanala i ustava za navodnjavanje i odvodnjavanje, za rastresanje nepropusnog tla i sl.; u *sumarstvu* za vađenje panjeva i iskop jama za sadnice. Osim toga, miniranje se primjenjuje i u vojne svrhe za rušenje građevina, prometnica i slično.

**Proces rušenja miniranjem**. Prilikom detonacije, eksplozivni naboj naglo, skoro trenutno prelazi iz čvrstog u plinovito agregatno stanje. Tom egzotermnom kemijskom reakcijom oslobada se velika količina energije uz nastanak velike količine plinova. Zbog velike brzine reakcije i visoke temperature (2000–4000 °C) u ograničenom prostoru naglo se povisuje tlak plinova nastalih eksplozijom. Pojavljuje se tlačni udarni val koji se širi radijalno na sve strane brzinom od 1500–5000 m/s, već prema vrsti stijene. U stijeni nastaju tlačna i vlačna naprezanja uz elastične i trajne deformacije (sl. 1). Neposredno uz zonu eksplozije



Sl. 1. Djelovanje eksplozije u stijeni. 1 eksplozivni naboj — zona eksplozije. 2 zona drobljenja i usitnjavanja. 3 zona radijalnih pukotina. 4 zona oscilacija stijene

stijena se drobi i sitni djelovanjem tlačnog naprezanja, a nešto dalje od te zone zbog vlačnog naprezanja nastaje sustav radijalnih pukotina. Pukotine se proširuju djelovanjem visokog tlaka plinova eksplozije i, ako dopru do slobodne površine, stijena se lomi. Izvan zone radijalnih pukotina tlačna i vlačna naprezanja manja su od tlačne i vlačne čvrstoće stijena te se u stijena pojavljuju elastične deformacije kao oscilacija stijenjskog masiva.