

NAGIBNI KOMPENZATORI

SADRŽAJ

I. Uvod	316
II. Berekov nagibni kompenzator	
1) Opis i teorija instrumenta	318
2) Veličina funkcije $f(i)$	327
3) Određivanje konstante C_A za Berekov nagibni kompenzator	327
III. Određivanje razlike u hodu pomoću Berekovoga kompenzatora uz obične uslove rada	332
IV. Osjetljivost Berekovoga kompenzatora	337
V. Mosebachovi postupci za povišenje točnosti odnosno za proširenje područja djelovanja Berekovih kompenzatora	339
1) Metoda namještanja viših kompenzacionih poteza za povišenje točnosti pri malim razlikama u hodu	339
2) Metoda namještanja kompenzacionih poteza nižih od kompenzacionih poteza izjednačenja radi povećanja dosega kompenzatora	341
VI. Postupci za povišenje točnosti odnosno za proširenje područja djelovanja Berekovih kompenzatora umetanjem pločice poznate razlike u hodu	342
1) Povećanje točnosti pri određivanju malih razlika u hodu	342
2) Povećanje dosega djelovanja Berekovoga kompenzatora	344
VII. Ehrlingov nagibni kompenzator	347
Literatura	353

I. UVOD

Jedan od najosnovnijih postupaka, koje vršimo pri istraživanjima mikroskopskih preparata pomoću polarizacionoga mikroskopa, sastoji se u tom, da se odredi razlika u hodu anizotropnih presjeka kristaliziranih supstancija. Iz poznate razlike u hodu možemo nadalje, ako odredimo još i debljinu preparata, lako i jednostavno izračunati veličinu dvoloma anizotropnoga presjeka. Svaki mikroskopičar i te kako dobro znade, od kakve su dijagnostičke vrijednosti razlika u hodu i s njom povezane interferencione boje pojedinih anizotropnih presjeka u jednu ruku i veličina dvoloma u drugu ruku. Za određivanje razlike u hodu postoje mnogi veoma raznoliko konstruirani kompenzatori. Točnost mnogih između njih nije baš visoka. Gotovo sa svima od njih rad je dosta dugotrajan, jer ih treba namještati mjesto okulara na tubus mikroskopa, pa

isključivši analizator iz mikroskopskoga tubusa metnuti povrh njih pokrovni analizator, koji treba namjestiti okomito na polarizator. Klasični kompenzator takve vrste je na pr. Babinetov kompenzator, s kojim se mogu točnije odrediti razlike u hodu anizotropnih presjeka.

Kudikamo jednostavniji je postupak pri mjerenjima sa tako zvanim nagibnim kompenzatorima. Oni se odlikuju, kako će se kasnije detaljnije razložiti, velikom osjetljivošću. Područje njihove djelatnosti je veliko, to jest pomoću njih možemo određivati i velike razlike u hodu. Po svojoj konstrukciji oni su razmjerno jednostavni i radi toga jeftiniji. Obzirom na svoju veličinu oni su toliki, da se mogu poput gipsne pločice umetati u procijep, koji se nalazi na dnu tubusa neposredno iznad objektiva. Na taj se način pri radu sa njima ne mora trošiti vrijeme za njihovo namještanje, kao što je to slučaj sa kompenzatorima, koje umećemo mjesto okulara ili na pr. kroz Wrightov okular sa procijepom, pri čemu moramo još posebno namještat i pokrovni analizator.

Princip nagibnih kompenzatora dao je zapravo već Biot 1824. godine (lit. 1, 586—587), kad je predložio, da se za određivanje relativnoga karaktera vibracionih smjerova u anizotropnim presjecima poslužimo tankom pločicom kremenata izbrušenom okomito na optičku os. Pločica mora biti tanka, kako ne bi uslijed cirkularne polarizacije kremenata došlo do neželjenih smetnji. Ako se takva pločica umetne ispod analizatora u tubus mikroskopa, pa ako se ona nagiba oko smjera, koji leži u njoj i ide dijagonalno između ukrštenih nikola, tad će uz sve veće nagibe optička os kremenata, koja se u početnom položaju podudara sa osi mikroskopa, sve jače odstupati od toga smjera. Drugim riječima zrake svijetla, koje idu kroz mikroskop, prolazit će kroz kremenatu pločicu u smjerovima, koji će se uz povećanje nagiba sve više udaljavati od optičke osi kremenata. Radi toga će u pločici zbog dvoloma biti ostvarena izvjesna razlika u hodu, koja će uz jače nagibanje pločice postajati sve veća, što se uostalom može lako razabrati po porastu interferencionih boja.

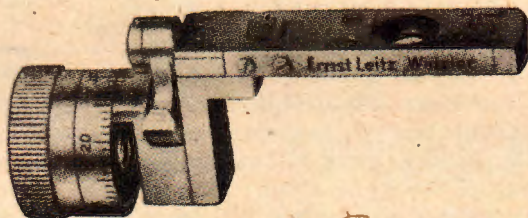
Promjena razlike u hodu ostvaruje se dakle na temelju Biotovoga principa ne promjenom debljine, kao što je to slučaj kod klinova (na pr. kremeniti klin) nego nagibanjem kristalne pločice. Nikitin (lit. 2 i lit. 3, 333—346) je prvi na temelju toga konstruirao svoj nagibni kompenzator za kvantitativna određivanja razlike u hodu posluživši se pri konstrukciji kremenom pločicom debelom oko 0,07 mm. Ona je bila izbrušena tako, da je normala na nju prema optičkoj osi u kremenatu bila nagnuta za kojih 25°. Uza sve svoje prednosti taj je kompenzator imao i nedostataka. Jedan je bio u tom, što mu točnost nije bila osobito visoka, a drugi se sastojao u tom, što se kraj spomenute debljine kremenate pločice moglo mjeriti razlike u hodu najviše do 55 $m\mu$, t. j. približno samo prvi red. Formula za rad pomoću toga kompenzatora bila je približna formula, koja vrijedi samo za pločice priređene od minerala vrlo sla-

boga dvoloma. Da bi se područje djelovanja kompenzatora proširilo, a da se pri tom ne upotrebe deblje kremene pločice, kod kojih bi već smetala cirkularna polarizacija, odlučio se znameniti, pre-rano umrli upravitelj naučnoga odjela optičke tvrtke E. Leitz u Wetzlaru (Njemačka) M. Berek (lit. 4 i 5) na to, da za konstrukciju svojega nagibnoga kompenzatora uzme pločicu kalcita brušenu okomito na optičku os.

II. BEREKOV NAGIBNI KOMPENZATOR

1) Opis i teorija instrumenta

a) Na sl. 1 prikazan je taj važni instrument. Na ravnom pločastom dijelu (na slici desno), koji se može umetnuti u procijep na dnu mikroskopskoga tubusa, nalazi se kalcitna pločica izbrušena okomito na optičku os. Ona se pomoću graduiranoga bubnja (na

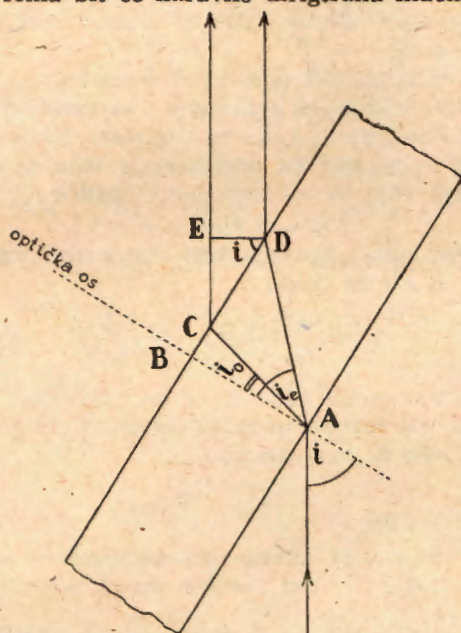


Sl. 1

slici lijevo) može nagibati oko smjera, koji leži u njenoj ravni, t. j. oko smjera okomitoga na os c kalcita. Taj smjer, oko kojega se mogu vršiti nagibanja, ide — kad je kompenzator umetnut u procijep na dnu tubusa — dijagonalno među vibracionim smjerovima ukrštenoga polarizatora i analizatora. Nagibi se mogu na skali bubnja čitati na $0,1^\circ$, a $0,05^\circ$ može se još cijeniti od oka. Početni položaj imamo onda, kada je na skali bubnja namješteno 30° . U tom slučaju optička os kalcitne pločice poklapa se s osi mikroskopa. Svjetlo prolazeći kroz mikroskop ide tada u smjeru optičke osi kalcitne pločice u kompenzatoru; kompenzator tada ne mijenja razliku u hodu, koja je nastala pri prolazu svjetla kroz neko zrno mikroskopskoga preparata.

Iz početnoga položaja (30°) možemo zakrećući graduirani bubanj nagibati pločicu na jednu stranu do 60° na skali i na drugu stranu do 0° skale, t. j. na svaku stranu za 30° . Nagnuvši pločicu za izvjestan broj stupanja iz njenog početnoga položaja udaljili smo istodobno time za jednaki broj stupnjeva i optičku os pločice od osi mikroskopa. Kako zrake svjetla idu kroz tubus u smjeru njegove osi, to taj nagib ujedno odgovara kutu, koji zatvaraju zrake svjetla, koje padaju na kalcitnu pločicu kompenzatora, sa optičkom osi pločice. Taj kut neka bude označen slovom i (sl. 2). Svjetlo, koje tako upada na kalcitnu pločicu u Berekovom kompen-

zatoru, ne će u ovom slučaju ići kroz kalcit u smjeru njegove optičke osi; drugim riječima morat će doći do dvoloma. Svjetlo, koje je kod A upada na kalcitnu pločicu pod kutom i , rastavit će se prolazeći kroz kalcit u dva dijela. Jedan dio, koji odgovara ordinarnom valu, slomit će se jače prema okomici na mjestu upadanja, koja se poklapa sa optičkom osi kalcita, čineći sa tom okomicom kut i_o . Jakost loma bit će naravno dirigirana indeksom loma ω za kalcit.



Sl. 2

Drugi dio svjetla, koji odgovara ekstraordinarnom valu, lomit će se slabije, t. j. njemu pripadni kut loma i_e razlikovat će se manje od kuta upada i , nego što se od ovoga razlikuje kut i_o . Za taj dio svjetla ne će biti indeks loma ϵ , jer svjetlo ne ide kroz kristalnu pločicu u smjeru okomitom na optičku os, nego će indeks loma po svojoj vrijednosti imati neku međuvrijednost između indeksa loma ω i ϵ za kalcit. Ta će međuvrijednost, koju ćemo označiti sa n_e , za istu kristalnu pločicu varirati već prema tomu, koliki je nagib pločice.

b) Razliku u hodu R između jednoga i drugoga dijela svjetla nakon njihovoga izlaza u uzduh kod C odnosno kod D možemo izraziti na taj način, da ispitamo, koliko valnih dužina je sadržano u jednom i drugom dijelu svjetla od točke A kao točke ulaženja svjetla u kristal, pa do koje mu drago ravnine u uzduhu, gdje oba vala nakon izlaza iz kristala imaju istu frontnu visinu, na pr. do ravnine ED okomite na smjer svjetla, koje se nakon izlaza iz kri-

stalne pločice širi dalje u zraku. Razliku u hodu R dobit ćemo, ako od broja valnih dužina, koje pripadaju ordinarnom valu na putu ACE , odbijemo valne dužine ekstraordinarnoga vala sadržane na putu AD . Ta će razlika u hodu uz sve jače nagibe pločice kompenzatora postepeno sve više rasti i to jedamput zbog toga, što će svjetlo prolaziti kroz kristal pod sve većim kutom prema optičkoj osi kristala, t. j. uz sve jače izraženi dvolom, a u drugu ruku radi toga, što uz sve veće nagibe kalcitne pločice postaje put svijetla kroz kalcit sve duži.

Pri određivanju razlike u hodu R moramo imati na umu, da su u kalcitu valne dužine za ordinarni i ekstraordinarni val kraće nego u uzduhu (važuumu), kako to odgovara indeksima loma ω i n_e . Označimo li valnu dužinu ordinarnoga vala u kalcitu sa λ_o i ekstraordinarnoga vala sa λ_e , tad postoji odnos

$$\omega \lambda_o = n_e \lambda_e = \lambda \dots \dots \dots (1)$$

kao kvantitativni odraz spomenutoga skraćenja valne dužine λ . Razlika u hodu R bit će dakle

$$R = \frac{AC}{\lambda_o} + \frac{CE}{\lambda} - \frac{AD}{\lambda_e} \dots \dots \dots (2)$$

Riječima bismo mogli sadržaj izraza (2) ovako prikazati. Za sporiji ordinarni val imamo na putu od ulaza svijetla u kristalnu pločicu kod A preko C do E ukupno

$$\frac{AC}{\lambda_o} + \frac{CE}{\lambda}$$

valnih dužina. Što se tiče širenja bržega, ekstraordinarnoga vala, tu će na putu od A do D biti sadržan manji broj valnih dužina i to njih samo $\frac{AD}{\lambda_e}$. Budući da je za svaki val spektralno homogene svjetla potrebno isto vrijeme, prevalit će svjetlo put AD u kraćem vremenu od vremena, koje će biti potrebno, da svjetlo prijeđe put ACE . Koliko je valnih dužina više sadržano na putu ACE nego na putu AD , toliko će ih ekstraordinarni val izašavši kod D iz kalcita načiniti još u uzduhu, dok će ordinarni val stići tek do E . Za tu razliku u broju valnih dužina će dakle ekstraordinarni brži val nakon svoga izlaza u uzduh stalno biti pred sporijim ordinarnim valom.

Iz slike 2. se vidi, da je

$$AC = \frac{d}{\cos i_o} \text{ zatim } AD = \frac{d}{\cos i_e} \text{ i}$$

$$CE = CD \cdot \sin i = (BD - BC) \cdot \sin i = d (\operatorname{tg} i_e - \operatorname{tg} i_o) \cdot \sin i,$$

gdje je sa d označena debljina kalcitne pločice u kompenzatoru. Uvrstimo li sve to u jednadžbu (2), dobit ćemo

$$R = \frac{d}{\lambda_o \cos i_o} + \frac{d (\operatorname{tg} i_e - \operatorname{tg} i_o) \cdot \sin i}{\lambda} - \frac{d}{\lambda_e \cos i_e} \dots \dots (3)$$

Služeći se prema zakonu za lom svjetla izrazima

$$\omega = \frac{\sin i}{\sin i_0} \text{ te } n_e = \frac{\sin i}{\sin i_e},$$

iz kojih slijedi

$$\omega \sin i_0 = n_e \sin i_e = \sin i \dots \dots \dots (4)$$

moći ćemo pomoću odnosa izraženih jednadžbama (1) i (4) iz jednadžbe (3) eliminirati λ_0 i λ_e pa razliku R prikazati u ovisnosti od λ ovako:

$$R = \frac{\omega d}{\lambda \cos i_0} + \frac{d}{\lambda} \left(\frac{\sin i_e}{\cos i_e} - \frac{\sin i_0}{\cos i_0} \right) \sin i - \frac{n_e d}{\lambda \cos i_e}$$

i dalje

$$R = \frac{\omega d}{\lambda \cos i_0} + \frac{d}{\lambda} \left(\frac{n_e \sin^2 i_e}{\cos i_e} - \frac{\omega \sin^2 i_0}{\cos i_0} \right) - \frac{n_e d}{\lambda \cos i_e}.$$

Izluči li se ovdje $\frac{d}{\lambda}$ kao zajednički faktor, moći ćemo pisati

$$R = \frac{d}{\lambda} \left(\frac{\omega}{\cos i_0} + \frac{n_e \sin^2 i_e}{\cos i_e} - \frac{\omega \sin^2 i_0}{\cos i_0} - \frac{n_e}{\cos i_e} \right)$$

zatim

$$R = \frac{d}{\lambda} \frac{\omega \cos i_e + n_e \sin^2 i_e \cdot \cos i_0 - \omega \sin^2 i_0 \cdot \cos i_e - n_e \cdot \cos i_0}{\cos i_0 \cdot \cos i_e}$$

nadalje

$$R = \frac{d}{\lambda} \frac{\omega \cos i_e (1 - \sin^2 i_0) - n_e \cos i_0 (1 - \sin^2 i_e)}{\cos i_0 \cdot \cos i_e}$$

pa dalje

$$R = \frac{d}{\lambda} \frac{\omega \cos i_e \cdot \cos^2 i_0 - n_e \cos i_0 \cdot \cos^2 i_e}{\cos i_0 \cdot \cos i_e}$$

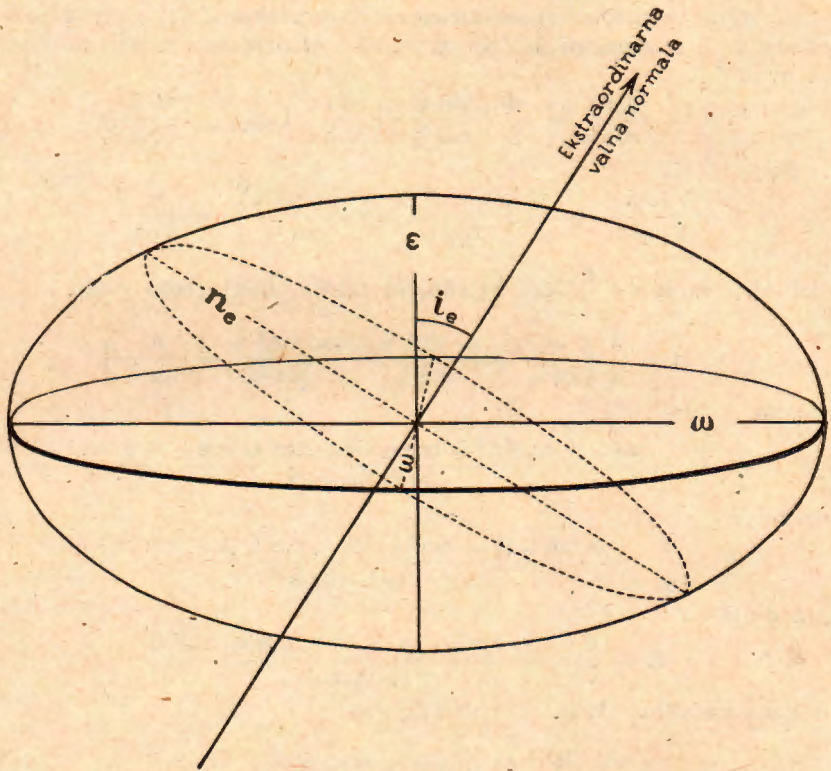
i konačno skrativši sa $\cos i_0 \cdot \cos i_e$, ovo:

$$R = \frac{d}{\lambda} (\omega \cos i_0 - n_e \cos i_e) \dots \dots \dots (5)$$

U toj jednadžbi imamo vrijednost indeksa loma n_e ekstraordinarnoga vala, koja je za svaki nagib kalcitne pločice u kompenzatoru drugačija, zatim i_0 i i_e . Naš je cilj, da zgodnim supstitucijama iz te jednadžbe uklonimo kako n_e tako i kutove i_0 i i_e , pa da te kutove nadomjestimo kutom i , jer pomoću skale na bubnju kompenzatora možemo mjeriti samo taj vanjski kut nagiba i . Pristupit ćemo dakle sada tomu, da nađemo zgodne izraze za $n_e \cos i_e$ i $\omega \cos i_0$ u jednadžbi (5).

c) U tu ćemo svrhu našu pažnju svratiti malo na odnose, koji vrijede u indiktrisi kalcita, koja je splošteni rotacioni elipsoid (sl. 3) sa rotacionom osi dužine ε . Okomito na rotacionu os ide druga duža os elipsoida ω , koja je ujedno polumjer kruznoga presjeka okomitoga na rotacionu os ε . Nacrtaimo u sl. 3 ekstraordinarnu valnu normalu, koja je prema optičkoj osi kalcita, t. j. kod

Berekovoga kompenzatora i prema normali na kalcitnu pločicu nagnuta pod kutom i_e . Centralni presjek indikatriše okomit na spomenutu valnu normalu bit će elipsa (u slici 3 nacrtana crtkano) sa većim polumjerom ω u kružnom presjeku indikatriše i manjim polumjerom, koji će biti jednak indeksu loma n_e . Taj će indeks po svojoj veličini biti između indeksa loma ω i ϵ kalcita.



Sl. 3

Ekstraordinarna valna normala, rotaciona os elipsoida ϵ , n_e i pripadni polumjer ω u kružnom presjeku elipsoida leže u istoj ravnini i ako tu ravninu izvadimo iz slike 3 i nacrtamo posebno u sl. 4, tad će se osobito jasno razabrati odnosi, koji su nam potrebni. Iz sl. 4 naime neposredno slijedi

$$\frac{x^2}{\omega^2} + \frac{y^2}{\epsilon^2} = 1 \quad \dots \dots \dots (6)$$

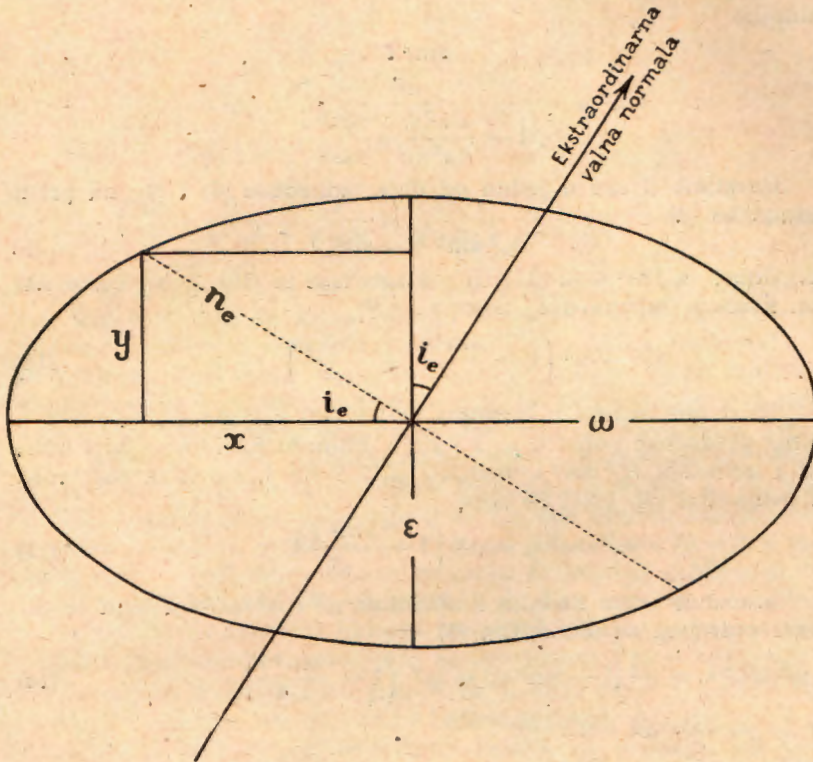
$$\left. \begin{aligned} x &= n_e \cdot \cos i_e \\ y &= n_e \cdot \sin i_e \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

Ako vrijednosti za x i y iz jednadžbe (7) uvrstimo u jednadžbu (6), imat ćemo

i dalje

$$\frac{n_e^2 \cos^2 i_e}{\omega^2} + \frac{n_e^2 \sin^2 i_e}{\varepsilon^2} = 1$$

$$\frac{\cos^2 i_e}{\omega^2} + \frac{\sin^2 i_e}{\varepsilon^2} = \frac{1}{n_e^2} \dots \dots \dots (8)$$



Sl. 4

Ako tu $\cos^2 i_e$ nadomjestimo sa $1 - \sin^2 i_e$, tad jednadžbu (8) možemo shvatiti kao jednadžbu sa dvije promjenljive veličine i to $\sin^2 i_e$ i n_e^2 . Da bismo ih mogli nadomjestiti sa izrazima, koji bi za nas bili prikladniji, potrebna nam je još jedna jednadžba među njima, a to je prema zakonu loma jednadžba

$$\frac{\sin i}{\sin i_e} = n_e$$

iz koje — ako je uzmemo recipročno i kvadriramo — izlazi

$$\frac{\sin^2 i_e}{\sin^2 i} = \frac{1}{n_e^2} \dots \dots \dots (9)$$

Iz jednadžbi (8) i (9) ćemo izjednačujući njihove lijeve strane eliminirati n_e^2 i dobiti, ako $\cos^2 i_e$ zamijenimo sa $1 - \sin^2 i_e$, izraz

$$\frac{1 - \sin^2 i_0}{\omega^2} + \frac{\sin^2 i_0}{\varepsilon^2} = \frac{\sin^2 i_0}{\sin^2 i}$$

iz kojega ćemo moći izračunati, da je

$$\sin^2 i_0 = \frac{\varepsilon^2 \sin^2 i}{\omega^2 \varepsilon^2 - \omega^2 \sin^2 i + \varepsilon^2 \sin^2 i} \dots \dots \dots (10)$$

odnosno

$$\sin^2 i_0 = \frac{\frac{\sin^2 i}{\omega^2}}{1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2} + \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} \dots \dots \dots (11)$$

Uvrstimo li sad u jednu od obje jednačbe (8) i (9), na pr. u jednačbu (9)

$$n_e^2 \sin^2 i_0 = \sin^2 i \dots \dots \dots (9)$$

vrijednost za $\sin^2 i_0$ iz (11) ili još zgodnije iz (10), dobit ćemo nakon kraćega računa ovaj izraz za n_e^2 :

$$n_e^2 = \omega^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2} + \frac{\sin^2 i}{\omega^2} \right) \dots \dots \dots (12)$$

Tako sad imamo u izrazima (11) i (12) vrijednosti za $\sin^2 i_0$ i za n_e^2 predočene pomoću ω , ε i $\sin i$. Pomoću njih ćemo lako izraziti i umnožak $n_e^2 \cos^2 i_0$ pomoću ω , ε i $\sin i$, što nam baš treba za jednačbu (5). Izaći će nam

$$n_e^2 \cos^2 i_0 = \omega^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2} \right) \dots \dots \dots (13)$$

Izračunat ćemo nadalje i umnožak $\omega^2 \cos^2 i_0$, koji nam je također potreban za jednačbu (5).

$$\omega^2 \cos^2 i_0 = \omega^2 (1 - \sin^2 i_0) = \omega^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2} \right) \dots \dots \dots (14)$$

jer je po zakonu loma

$$\frac{\sin i}{\sin i_0} = \omega \text{ ili } \sin^2 i_0 = \frac{\sin^2 i}{\omega^2}$$

Na taj način imamo sada izraze

$$n_e^2 \cos^2 i_0 = \omega^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2} \right) \dots \dots \dots (13) \text{ i}$$

$$\omega^2 \cos^2 i_0 = \omega^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2} \right) \dots \dots \dots (14)$$

d) Nakon vađenja drugoga korijena i uvrštavanja dobivenih vrijednosti u jednačbu (5) moći ćemo pisati

$$R = \frac{d\omega}{\lambda} \left(\sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} - \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2}} \right) \dots \dots \dots (15);$$

gdje je konačno razlika u hodu R izražena samo pomoću indeksa loma ω i ε za kalcit, kao i pomoću kuta i , za koji je kalcitna plo-

čica u kompenzatoru nagnuta; taj kut možemo uvijek na skali bubnja lako očitati. Ako se sad oba korijena razviju po proširenom binomskom stavku i ako se članovi jednakih potencija od $\sin i$ saberu, tad će izaći

$$R = \frac{d\omega}{2\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \cdot \sin^2 i \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} + \frac{1}{\omega^2} \right) \cdot \sin^2 i + \right. \\ \left. + \frac{1}{8} \left(\frac{1}{\varepsilon^4} + \frac{1}{\varepsilon^2 \omega^2} + \frac{1}{\omega^4} \right) \cdot \sin^4 i + \right. \\ \left. + \frac{5}{64} \left(\frac{1}{\varepsilon^6} + \frac{1}{\varepsilon^4 \omega^2} + \frac{1}{\varepsilon^2 \omega^4} + \frac{1}{\omega^6} \right) \cdot \sin^6 i + \right. \\ \left. + \frac{7}{128} \left(\frac{1}{\varepsilon^8} + \frac{1}{\varepsilon^6 \omega^2} + \frac{1}{\varepsilon^4 \omega^4} + \frac{1}{\varepsilon^2 \omega^6} + \frac{1}{\omega^8} \right) \cdot \sin^8 i + \dots \right] \dots \quad (16)$$

Iz te formule, koja ne vrijedi samo za kalcit, nego ima općenito značenje, vidi se, na koji način raste razlika u hodu R sa nagibom i° pločice u kompenzatoru. Kako ta razlika raste, tako će se postepeno pri radu u bijelom svijetlu uz sve jače nagibanje kompenzatorove pločice mijenjati i interferencione boje u nizu, koji će gotovo idealno odgovarati Newtonovoj skali boja (lit. 5, 131), jer je za kalcit uz maksimalne nagibe pločice od 30° omjer između disperzije dvoloma i visine dvoloma malen (lit. 6, 581 i lit. 7, 136). Uzmemo li za disperziju dvoloma čak razliku između dvoloma za H -liniju ($\lambda = 397 \text{ m}\mu$) i dvoloma za A -liniju ($\lambda = 759 \text{ m}\mu$), pa tu razliku podijelimo sa dvolomom za D -liniju ($\lambda = 589 \text{ m}\mu$), tad ćemo za kalcit dobiti vrijednosti 0,10 do 0,12, dok uz iste uslove ta vrijednost za kremene klinove iznosi 0,07. Kalcit je prema tomu jednako prikladan za pravljenje kompenzatora kao i kremen.

Svratimo najprije našu pažnju na izraz u uglatoj zagradi formule (16). On predstavlja silazni beskonačni red. Ako mjesto ω i ε uvrstimo u taj izraz indekse loma kalcita za D -liniju, tad ćemo formulu (16) moći pisati ovako:

$$R = \frac{d\omega}{2\lambda} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \cdot \sin^2 i \left[1 + 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i + \right. \\ \left. + 0,0215 \sin^6 i + 0,0078 \sin^8 i + \dots \right] \dots \quad (17)$$

Izračunamo li vrijednost izraza u uglatoj zagradi uz maksimalni nagib pločice kompenzatora od 30° , kako to odgovara Berekovom kompenzatoru, tad ćemo — uzevši pri proračunavanju u obzir još član, koji sadrži $\sin i$ u četvrtoj potenciji — moći ustanoviti, da ta vrijednost

za D -liniju iznosi 1,055.

Izvršimo li slično izračunavanje istoga izraza iz formule (16) za H -liniju spektra, tad ćemo naći, da ta vrijednost

za H -liniju iznosi 1,054 (lit. 7, 135).

Vrijednost toga izraza se dakle gotovo ništa ne mijenja sa promjenom valne dužine svjetla, t. j. i uz najveće nagibe kompenzatorske pločice (30°) možemo smatrati vrijednost izraza u uglatoj zagradi neovisnom o vrsti svjetla, s kojim radimo. Pogreška, koju ćemo zbog toga uraditi, iznositi će uz maksimalni nagib pločice od 30° između svjetla D - i H -linije tek $0,1\%$. Možemo dakle smatrati, da je vrijednost toga izraza samo funkcija nagiba i° pločice bez obzira na valnu dužinu svjetla, kojim se služimo, pa se radi izračunavanja te vrijednosti za pojedine nagibe možemo bez daljega poslužiti oblikom iz formule (17), koji rezultira iz opće formule (16) uvađanjem indeksa loma ω i ε za D -liniju spektra. Prema tomu možemo pisati, da je razlika u hodu

$$R = \frac{d\omega}{2\lambda} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \cdot f(i) \dots \dots \dots (18),$$

gdje je

$$f(i) = \sin^2 i [+ 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i + 0,0215 \sin^6 i + + 0,0078 \sin^8 i + \dots \dots \dots] \dots \dots \dots (19)$$

Još će manja pogreška biti, ako pri izračunavanju $f(i)$ za razne kutove i zanemarimo u uglatoj zagradi sve članove, koji sadrže $\sin i$ u šestoj potenciji i u višim potencijama. Suma svih tih daljih članova u uglatoj zagradi toliko je malena, da oni vrijednost cijeloga izraza u zagradi ne mijenjaju ni za $0,05\%$. Prema tomu možemo uzeti, da se razlika u hodu može pomoću Berekovoga kompenzatora sa dovoljno visokom točnosti izračunati prema formuli

$$R = \frac{d\omega}{2\lambda} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \sin^2 i (1 + 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i) \dots (20)$$

gdje možemo koeficijente od $\sin^2 i$ i $\sin^4 i$ u desnoj okrugloj zagradi smatrati kao konstante neovisne o valnoj dužini svjetla, s kojim radimo.

Prema onomu, što je spomenuto neposredno iza formule (2), moramo služeći se formulom (20) imati na umu to, da će razlike u hodu izračunane po toj formuli biti izražene brojem valnih dužina. Želimo li međutim razliku u hodu izraziti — kako se to obično radi — milimikronima, tad ćemo razliku R prikazanu formulom (20) morati pomnožiti sa valnom dužinom λ izraženom u milimikronima pa ćemo za razliku u hodu R dobiti konačno izraz

$$R = \frac{d\omega}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \sin^2 i (1 + 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i) \dots (21)$$

u kojem debljina d mora biti također izražena milimikronima, jer će se samo u tom slučaju λ , s kojim množimo, kratiti sa λ u nazivniku formule (20).

U formuli (21) je faktor

$$\frac{d\omega}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right)$$

stalna veličina, dok god radimo u svjetlu iste valne dužine, jer on zavisi od debljine pločice d u kompenzatoru te od indeksa loma ω i ε kalcita za svjetlo dotične valne dužine. Taj se faktor dakle javlja kao konstanta karakteristična za svaki pojedini Berekov kompenzator, čija se vrijednost međutim nešto mijenja, ako se pri radu služimo svjetlom različitih valnih dužina, budući da se pri tom mijenjaju indeksi loma ω i ε za kalcit. Radi toga ćemo tu konstantu označiti sa C_λ . Prema tome možemo reći, da se pomoću Berekovoga kompenzatora razlika u hodu može izračunati po formuli

$$R = C_\lambda \cdot f(i) \dots \dots \dots (22),$$

gdje je

$$C_\lambda = \frac{d\omega}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \dots \dots \dots (23)$$

i

$$f(i) = \sin^2 i (1 + 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i) \dots \dots (24)$$

Da bismo po formuli (22) mogli izračunati razliku u hodu, moramo znati konstantu kompenzatora C_λ za onu vrst svjetla, s kojim radimo, i funkciju $f(i)$ kuta i , za koji je nagnuta pločica kompenzatora iz svojega početnoga položaja.

2) Veličina funkcije $f(i)$.

Iz formule (24) vidi se, na koji način možemo iz nagiba i pločice u kompenzatoru izračunati funkciju toga kuta $f(i)$, koja će pomnožena sa konstantom kompenzatora dati razliku u hodu za dotični nagib pločice. Izračunavanje te funkcije za razne kutove i , koje bismo mjerenjem odredili, oduzimalo bi mnogo vremena, jer ta funkcija nije baš jednostavna. Određivanje razlike u hodu trajalo bi na taj način dosta dugo. Da se tome izbjegne, izračunane su već unaprijed vrijednosti za funkciju $f(i)$ odnosno — pretpostavljajući, da ćemo izračunavanje vršiti logaritmički — logaritmi te funkcije. Tvrtka Leitz obično šalje zajedno sa Berekovim kompenzatorima uvijek i uputu za njihovu primjenu. U toj uputi se nalazi i tabela izračunanih vrijednosti za logaritam funkcije prikazane formulom (24), i to počev od nagiba $i = 0^\circ$ pa do $i = 31,9^\circ$ postepeno za svaku desetinku stupnja na tri decimale. Ta je tabela u ovom prikazu navedena kao tabela I.

3) Određivanje konstante C_λ za Berekov nagibni kompenzator

a) Prema izrazu (23) izgledalo bi, da je za određivanje konstante Berekovoga kompenzatora na pr. za svjetlo D -linije spektra, C_D najjednostavnije odrediti debljinu kalcitne pločice u kompenzatoru pa uz ω i ε za tu liniju izračunati vrijednost konstante. Indeksi loma ω i ε su više puta vrlo točno određeni za kalcit (isporodi na pr. vrlo detaljna određivanja F. F. Martensa ili Gifforda

izvršena na materijalu iz Islanda, lit. 8, 2843—2844), pa ih pri tim izračunavanjima možemo smatrati poznatima. U Berekovim kompenzatorima, s kojima se mogu mjeriti razlike u hodu do četvrtoga reda — a takvi se kompenzatori najviše rade — debljina kalcitne pločice iznosi oko 0,1 mm. Primjera radi uzmimo, da debljina pločice iznosi točno 0,1 mm = 100 000 m μ . Vrijednost konstante toga kompenzatora za D-liniju bila bi tada

$$C_D = \frac{100\,000 \times 1,65835}{2} \left(\frac{1}{1,48640^2} - \frac{1}{1,65835^2} \right)$$

ili

$$C_D = 7379,2 \text{ odnosno } \log C_D = 3,868.$$

Određivati na taj način konstantu kompenzatora prije, nego što se pločica u nj ugradi, bilo bi moguće. Određivanje ili kontroliranje konstante na netom opisani način kod već gotovih kompenzatora neizvodivo je, jer bismo u tu svrhu morali kompenzator rastaviti i pločicu izvaditi iz njezinoga ležišta. Sve to lako bi prozročilo veća ili manja oštećenja na kompenzatoru, a možda i potpuno njegovo uništenje.

Određivanje konstante vršimo zbog toga na drugi način, koji je razmjerno brz i jednostavan. Pri tom je sasvim nepotrebno poznavati debljinu kalcitne pločice. Prelazimo sada na opisivanje te metode, koja je uz to još i točnija.

b) Umetne li se Berekov kompenzator u procijep na dnu tubusa neposredno iznad objektiva, tad će se među ukrštenim nikolima uz početni položaj kompenzatora — to jest kada je normala na kalcitnu pločicu, koja se podudara sa optičkom osi, namještena u sredinu vidnoga polja — u mikroskopu vidjeti dva međusobno okomita kraka crnoga križa, kako to odgovara presjeku optički jednosnoga kristala okomitom na optičku os. Nagnemo li pločicu kompenzatora iz početnoga položaja, koji odgovara čitanju 30° na skali bubnja ili bar nije daleko od toga znaka skale, na jednu i na drugu stranu, to jest od 30° na više i od 30° na niže, tad će — radimo li u monohromatskom svijetlu — kraj izvjesnoga nekoga nagiba razlika u hodu u pločici kompenzatora upravo biti jednaka cijeloj valnoj dužini svijetla, s kojim radimo. Uz taj nagib će dakle uslijed interferencije doći do poništenja svijetla. Kroz vidno polje mikroskopa proći će prvi tamni kompenzacioni potez. Namjestimo li taj tamni potez u sredinu vidnoga polja (na presjek niti u okularu), tad će — ako smo bubanj zakretali tako, da taj namještaj odgovara čitanju a_1 većem od 30° — razlika između čitanja a_1 i 30° ($a_1 - 30^\circ$) odgovarati kutu i , koji zatvaraju zrake upadnoga svijetla sa optičkom osi kalcitne pločice. Zakrenemo li od 30° na niže, tad će kod prvoga kompenzacionoga poteza na tu stranu čitanje b_1 na skali bubnja biti naravno za toliko stupnjeva ispod 30°, koliko je a_1 bilo iznad 30°. Ako dakle učinimo tako, da iz početnoga položaja nagnemo pločicu kompenzatora na jednu stranu do prvoga kompenzacionoga poteza na više, čemu odgovara čitanje a_1 na skali bubnja,

pa zatim do prvoga kompenzacionoga poteza na drugoj strani od početnoga položaja, čemu odgovara čitanje b_1 , tad će razlika između oba čitanja $a_1 - b_1$ predstavljati dvostruku vrijednost nagiba pločice iz početnoga položaja, t. j.

$$a_1 - b_1 = 2i$$

i prema tomu

$$i = \frac{a_1 - b_1}{2}$$

Praktički se služimo baš tim načinom za određivanje kuta i , jer smo tad neovisni od pretpostavke, da se kalcitna pločica u kompenzatoru nalazi u početnom položaju, t. j. da je normala na nju, a time ujedno i optička os kalcita, namještena točno u sredinu vidnoga polja upravo onda, kad je skala bubnja namještena točno na 30° .

Općenito uzevši moći ćemo zakretanjem bubnja namjestiti na presjek niti u okularu s jedne i s druge strane početnoga položaja pločice i drugi, treći, n -ti kompenzacioni potez uz čitanja a_n na jednoj i b_n na drugoj strani od početnoga položaja skale. Aritmetička sredina između ta dva čitanja u tom će općem slučaju odgovarati nagibu i_n pločice, uz koji razlika u hod u iznosi ne λ nego $n\lambda$ milimikrona. U tom slučaju možemo prema formuli (22) — budući da je $R = n\lambda$ — pisati

$$n\lambda = C_\lambda \cdot f(i_n), \text{ gdje je } i_n = \frac{a_n - b_n}{2}.$$

U toj formuli znamo $n\lambda$, budući da radimo u monohromatskom svjetlu poznate valne dužine, te nagib i_n . Možemo dakle odrediti C_λ na pr. logaritmički

$$\log C_\lambda = \log n + \log \lambda - \log f(i_n) \dots \dots \dots (25),$$

pri čemu ćemo vrijednost $\log f(i_n)$ uzeti iz tabele I, o kojoj smo govorili u razdjelu II, 2 ovoga prikaza. Samo se po sebi razumije, da ćemo određivanje ponoviti više puta, pa iz svih određivanja, koja se moraju dobro među sobom podudarati, uzeti srednju vrijednost. Diferencije $a_n - b_n$ smiju pokazivati maksimalnu razliku od $0,1^\circ$ kod pojedinih određivanja. Kao primjer neka bude navedeno ovdje baždarenje Berekovoga kompenzatora br. 988 u svjetlu Leitzove osramnatrijske svjetiljke, t. j. za D -liniju spektra. Taj se kompenzator nalazi u mineraloško-petrografskom muzeju u Zagrebu.

Čitanjem nagiba na bubnju kompenzatora utvrđeno je bilo, da se prvi kompenzacioni potez nalazi u sredini vidnoga polja kraj nagiba na jednu stranu od početnoga položaja uz čitanje

$$a_1 = 44,9^\circ$$

a na drugu stranu uz čitanje

$$b_1 = 15,2^\circ$$

na skali bubnja. U formuli (25) je za taj slučaj $n = 1$, pa će ona poprimiti ovaj oblik

$$\log C_D = \log \lambda - \log f(i_1),$$

gdje je $\lambda = 589,3 \text{ m}\mu$, a $i_1 = \frac{44,9-15,2}{2} = 14,85^\circ$. Provedemo li račun, naći ćemo, da je

$$\log C_D = 3,947 \text{ odnosno } C_D = 8860$$

Za isti kompenzator je međutim izvršeno određivanje konstante C_D i na taj način, što su u sredinu vidnoga polja bili namješteni treći kompenzacioni potezi s jedne i s druge strane od početnoga položaja. Sredina iz tri suglasna čitanja na jednoj i drugoj strani skale bila je

$$a_3 = 56,1 \quad b_3 = 4,2,$$

odakle izlazi

$$i_3 = \frac{a_3 - b_3}{2} = 25,95^\circ$$

i prema formuli (25) imat ćemo

$$\log C_D = \log 3 + \log 589,3 - \log f(25,95^\circ)$$

odakle će nam opet izaći

$$\log C_D = 3,947.$$

c) Sasma jednako, kako je to opisano malo prije pod b), može se odrediti vrijednost konstante kompenzatora za monohromatsko svjetlo drugih valnih dužina, na pr. za talijsko svjetlo ($535,1 \text{ m}\mu$), za litijsko svjetlo ($670,8 \text{ m}\mu$), za Fraunhoferovu C-liniju ($656,3 \text{ m}\mu$) ili F-liniju ($486,1 \text{ m}\mu$), za pojedine linije živinoga linijskoga spektra i t. d.

Taj zadatak može se međutim, kako je to već 1924. godine upozorio Berek (lit. 7, 136) riješiti i čisto računskim putem uz uvjet, da smo konstantu kompenzatora odredili za jednu vrst svjetla i da su nam indeksi loma ω i ε kalcita kroz cijelo spektralno područje točno poznati. Ovaj posljednji uvjet je izvršen, jer kako je već na početku razdjela II, 3a ovoga prikaza spomenuto, indeksi loma za kalcit su nekoliko puta vrlo točno određeni.

Račun je vrlo jednostavan. Konstanta Berekovoga kompenzatora ima — kako znamo — ovaj oblik

$$C_\lambda = \frac{d\omega}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega^2} \right) \dots \dots \dots (23)$$

Tu je λ valna dužina svjetla, za koje vrijedi ta konstanta, a ω i ε su indeksi loma za to svjetlo. Uvrstimo li u tu formulu za ω i ε prema Martensu (lit. 8, 2843) vrijednosti za D-liniju spektra (za Na-svjetlo) i označimo li vrijednost konstante za to svjetlo za C_D tad ćemo imati

$$C_D = 0,147585 \cdot \frac{d}{2} \dots \dots \dots (26)$$

Podijelimo li izraz (23), koji predstavlja konstantu kompenzatora za svjetlo valne dužine λ , sa izrazom (26), koji vrijedi za D-liniju spektra pa dobiveni kvocijent logaritmirano, moći ćemo pisati

$$\log C_\lambda - \log C_D = \log \left(\frac{\omega}{\varepsilon^2} - \frac{1}{\omega} \right) + 0,83096 \quad (27)$$

Prema toj formuli možemo, ako poznamo logaritam konstante Berekovih kompenzatora za svjetlo D -linije, lako i jednostavno izračunati logaritam njihove konstante za svjetlo bilo koje valne dužine, ako samo na desnoj strani jednadžbe (27) uvrstimo vrijednosti ω i ε kalcita za svjetlo te valne dužine.

Na taj ćemo način moći izračunati, da konstanta Berekovih kompenzatora za liniju C spektra stoji sa konstantom za D -liniju u ovom odnosu

$$\log C_C - \log C_D = - 0,004. \dots \dots \dots (28)$$

Slično ćemo za konstantu za F -liniju moći izračunati

$$\log C_F - \log C_D = + 0,010. \dots \dots \dots (29)$$

Riječima bismo to mogli ovako kazati: za koji mu drago Berekov kompenzator je vrijednost logaritma njegove konstante za svjetlo C -linije za 0,004 manja od vrijednosti logaritma njegove konstante za svjetlo D -linije. Vrijednost pak logaritma njegove konstante za svjetlo F -linije je za 0,010 veća od vrijednosti logaritma konstante za D -liniju spektra.

Slično možemo dobiti ove odnose za pojedine linije živinoga linijskoga spektra i to

za crvenu Hg -liniju (690,8 $m\mu$) $\dots \dots \log C - \log C_D = - 0,006$
 za žutozelenu Hg -liniju (546,1 $m\mu$) $\dots \log C - \log C_D = + 0,003$
 za indigomodru Hg -liniju (435,8 $m\mu$) $\dots \log C - \log C_D = + 0,017$

Za Berekov kompenzator br. 988 tvrtke E. Leitz, Wetzlar iznosi prema tomu logaritam njegove konstante C

za svjetlo crvene Hg -linije (690,8 $m\mu$) $\dots \dots \log C = 3,941$
 za svjetlo C -linije (656,3 $m\mu$) $\dots \dots \log C = 3,943$
 za svjetlo žutozelene Hg -linije (546,1 $m\mu$) $\dots \dots \log C = 3,950$
 za svjetlo F -linije (486,1 $m\mu$) $\dots \dots \log C = 3,957$
 za svjetlo indigomodre Hg -linije (435,8 $m\mu$) $\dots \log C = 3,964$,
 jer je za taj kompenzator — kako smo odredili pod b) ovoga radjela — $\log C_D = 3,947$.

d) Vrlo često se Berekovim kompenzatorom služimo radeći u bijelom svjetlu, pa se pita, kakvu ćemo konstantu u tom slučaju uzimati. Optičko težište bijeloga svjetla se nalazi pri valnoj dužini od nekih 55 $m\mu$. Među ukrštenim nikolima toj razlici u hodu odgovora osjetljiva crvena boja na granici između prvoga i drugoga reda interferencionih boja. Želimo li dakle direktno odrediti logaritma konstante za bijelo svjetlo, namjestit ćemo u sredinu vidnoga polja na presjek obih niti u okularu spomenutu osjetljivu crvenu boju i tad prema formuli (25) izračunati iz izmjerenoga i_1 vrijednost $\log C$ za dnevno svjetlo imajući na umu, da je u tom slučaju $\log n = 0$ i $\lambda = 550 m\mu$.

Računski ćemo prema onomu, što je rečeno u prethodnom odjeljku c), moći utvrditi, da je logaritma konstante Berekovih kompenzatora u bijelom svjetlu za 0,003 veći od logaritma konstante

u Na-svijetlu. Između logaritma konstante za bijelo svjetlo i logaritma konstante za svjetlo žutozelene Hg-linije živinoga linijskoga spektra nema dakle razlike. To tako i mora biti, jer se valna dužina, koja odgovara težištu danjega svjetla, i valna dužina svjetla žutozelene Hg-linije — a prema tomu i indeksi loma kalcita za svjetlo tih valnih dužina — gotovo ništa ne razlikuju među sobom.

e) Moglo bi se pomisliti na to, da bismo mogli izaći i bez određivanja konstanti za Berekove kompenzatore uz uslov, da kalcitne pločice u svim kompenzatorima budu jednako debele. Svi Berekovi kompenzatori bi u tom slučaju imali iste konstante. Teoretski bi to išlo, ali praktički se taj uslov ne može ostvariti radi svojstava, koja kalcit pokazuje pri mehaničkom obrađivanju. Od kalcita se mogu naime izbrusiti i polirati planparalelne pločice okomite na optičku os. Zbog toga, što je kalcit razmjerno mekan mineral, veoma bi teško bilo načiniti od njega spomenute pločice tako, da im debljina bude upravo onolika, koliko mi to želimo.

Određiti konstantu, t. j. drugim riječima provesti baždarenje Berekovoga kompenzatora, nije uostalom prema onomu, što smo rekli, težak posao. To je baždarenje lako provesti svuda, gdje god postoji dobar izvor monohromatskoga svjetla. U krajnjem ćemo slučaju moći prema onomu, što je rečeno u prethodnom odsjeku d), baždarenje provesti i u dnevnom svijetlu. Ne će biti na odmet, ako se međutim posebno naglasi, da baždarenje — kao uostalom i svaki drugi posao — mora biti provedeno vrlo točno i savjesno. U protivnom slučaju, t. j. kad bi konstanta kompenzatora bila određena pogrešno, bila bi sva određivanja razlika u hodu, koja bismo vršili tim kompenzatorom, opterećena sistematskom pogreškom. Ta bi se pogreška odrazila i na visinu dvoloma, koji bismo iz takvih razlika u hodu izračunavali.

III. ODREĐIVANJE RAZLIKE U HODU POMOĆU BEREKOVOGA KOMPENZATORA UZ OBIČNE USLOVE RAĐA

Da pogledamo sada, kako bismo odredili razliku u hodu nekoga anizotropnoga presjeka pomoću Berekovoga kompenzatora. Najprije ćemo presjek među ukrštenim nikolima namjestiti u položaj potpune tame. Iz toga položaja zakrenut ćemo ga za 45° tako, da zbog dijagonalnoga položaja vibracionih smjerova interferenciona boja njegova bude najintenzivnija. Nakon toga ćemo u dijagonalno načinjeni procijep na dnu tubusa namjestiti Berekov kompenzator. To ćemo namještenje izvršiti oprezno pazeći, da se pločica kompenzatora nalazi u početnom položaju, t. j. da skala bude namještena bar približno na 30° . U protivnom slučaju pločica bi virila iz metalnoga okova kompenzatora, pa bi se kompenzator lako mogao pri umetanju i pri vađenju iz procijepa oštetiti.

Vibracioni smjerovi anizotropnoga presjeka i kompenzatora sada su paralelni, ali unaprijed ne možemo znati, da li su oni na-

mješteni podudarno ili nepodudarno, t. j. da li se anizotropni presjek i kompenzator nalaze u položaju adicije ili u položaju suptrakcije. Radeći u bijelom svijetlu to ćemo međutim lako odrediti na taj način, da zakrećući bubanj i nagibajući time pločicu kompenzatora gledamo, da li će interferencione boje rasti. To bi značilo, da se razlika u hodu nagibanjem pločice samo povećava; drugim riječima anizotropni presjek i kompenzator nalaze se u položaju adicije. U tom slučaju zakrenut ćemo anizotropni presjek za 90° u kojemu smjeru i tad ćemo imati položaj suptrakcije, koji je lako prepoznati po tom, što će se pri nagibanju pločice kompenzatora iz početnoga položaja kako na jednu tako i na drugu stranu razlika u hodu smanjivati, dok na koncu uz izvjestan nagib ta razlika ne bude jednaka nuli. U tom će slučaju, ako je anizotropni presjek dosta velik, preko njega preći tamni potez ili tamna mrlja. Pri daljem nagibanju kalcitne pločice u kompenzatoru razlika u hodu će opet postepeno rasti i mi ćemo vidjeti, kako se u skladu s tim porastom postepeno opet mijenjaju i interferencione boje. Ako je zrno malo, tad će ono uz izvjestan nagib kompenzatorove pločice izgledati potpuno tamno, jer će ga tamni kompenzacioni potez ili mrlja u cijelosti prekriti.

Kad smo se na taj način uvjerali, da se anizotropni presjek i kompenzator nalaze u položaju suptrakcije, nagnut ćemo pločicu kompenzatora zakrećući bubanj iz početnoga položaja na više za kut i° , dok ne dođe do kompenzacije. Tom nagibu neka odgovara čitanje a na skali kompenzatora. Kompenzaciju ćemo međutim dobiti i onda, kad pločicu iz početnoga položaja nagnemo na niže, t. j. na suprotnu stranu skale nego prije, za isti kut i° . Tom nagibu neka odgovara čitanje b na skali kompenzatora. Razlika $a - b$ obih čitanja očito odgovara dvostrukom kutu nagiba pločice iz početnoga položaja, t. j. kut nagiba i° , uz koji nastupa kompenzacija, dobije se iz oba čitanja prema formuli

$$i = \frac{a - b}{2}$$

Iz toga podatka možemo zaključiti na veličinu razlike u hodu anizotropnoga presjeka ili a) logaritmički ili b) grafičkom metodom ili c) pomoću logaritmičkoga računala (lit. 7, 43—45).

a) Izračunavanje razlike u hodu logaritmičkim putem. Za razliku u hodu vrijedi, ako logaritmiramo formulu (22),

$$\log R = \log C_\lambda + \log f(i) \dots \dots \dots (30).$$

Ako znamo logaritam konstante kompenzatora — bilo da nam je ta vrijednost javljena iz optičke radionice, u kojoj je kompenzator izgrađen, bilo da smo je prema II, 3 sami odredili — tad ćemo toj vrijednosti prema (30) pribrojiti $\log f(i)$ iz tabele I. Budući da kod svih vrijednosti tabele I moramo pomišljati karakteristiku —10, morat ćemo tu negativnu karakteristiku uzeti naravno u obzir i kod zbroja logaritama obih spomenutih veličina, koji predstavlja dekadski logaritam tražene razlike u hodu. Za antilogarit-

miranje, t. j. za traženje same razlike u hodu dostaju uz obične uslove rada logaritmi prirodnih brojeva na tri decimale. Tabela tih logaritama obično je priložena svakoj uputi za rad sa Berekovim kompenzatorom, a u ovom je prikazu ona navedena kao tabela II.

Kao primjer neka bude ovdje spomenuto određivanje dvoloma na kalotini smjerom (010) vivijanita iz rudnika Stari Trg (Trepča) kod Kosovske Mitrovice. Debljina te kalotine određena pomoću mikrometarokulara na vijak tako, da je kalotina bila postavljena okomito na ravninu mikroskopskoga stola, iznosila je 0,061984 mm. Kako okomito na (010) vivijanita ide glavni vibracioni smjer Np , razlika u hodu odgovarat će dvolomu $Ng - Nm$ vivijanita. Nagibi a i b pločice kompenzatora br. 988 očitani su u tri određivanja uz Na -svijetlo ovako:

a	58,1	58,15	58,1
b	2,7	2,75	2,75
$a - b$	55,4	55,4	55,35

Srednja vrijednost iznosi $a - b = 55,38$, odakle izlazi

$$i = \frac{a - b}{2} = 27,69^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \log f(27,69) &= 9,355 - 10 \\ + \log C_D &= 3,947 \\ \hline \log R &= 3,302 \end{aligned}$$

Razlika u hodu izražena milimikronima bit će (zbog karakteristike 3) izražena četveroznamenkastim brojem, za koji iz tabele II nalazimo vrijednost 2005. Prema tomu je

$$R = 2005 \text{ m}\mu.$$

Odatle pomoću poznate debljine preparata izlazi za dvolom

$$Ng - Nm = \frac{0,002005}{0,061984} \quad \text{ili}$$

$$Ng - Nm = 0,0323 \text{ u } Na\text{-svijetlu.}$$

b) Određivanje razlike u hodu grafičkim putem. Da bismo iz čitanja na skali kompenzatora grafički mogli odrediti pripadne razlike u hodu R , potrebno je, da si unaprijed konstruiramo dijagram za Berekov kompenzator, pomoću kojega vršimo određivanje. To ćemo učiniti tako, da za niz nagiba i° kompenzatorove pločice — uzimajući iz tabele I pripadne vrijednosti $\log f(i)$ — odredimo razlike u hodu, koje tim nagibima odgovaraju. Nanijet ćemo tada na milimetarpapir na ordinati razlike u hodu tako, da svakom milimetru odgovara na pr. razlika u hodu od 10 $m\mu$, a na apscisi razlike $a - b$ obih položaja kompenzacije a i b očitanih na skali kompenzatora i to tako, da na pr. svaki centimetar odgovara jednom stupnju. Dobit ćemo tako dijagram, pomoću kojega možemo direktno čitati razlike u hodu u deseticama milimikrona, dok dijelove desetice, na pr. njihove polovice, trećine i četvrtine, što bi predstavljalo po 5, 3 ili $2\frac{1}{2}$ milimikrona, možemo još procijeniti.

Dakako da možemo učiniti još detaljnije takve dijagrame (vidi na pr. u lit. 7 stranicu 44 i sliku 21, gdje svakom milimikronu odgovara 1 mm, pa se mogu direktno čitati milimikroni, a desetinke njihove mogu se još procijeniti), ali je pri tom nezgodno to, da za isti kompenzator za svaku vrst svjetla, s kojim radimo, moramo imati posebno konstruiranu krivulju u dijagramu. Sve to iziskuje prilično mnogo računanja i dosta posla pri konstrukciji dijagrama, ma da se mora priznati, da je vrlo udobno služiti se takvim dijagramima, kad su već jednom konstruirani.

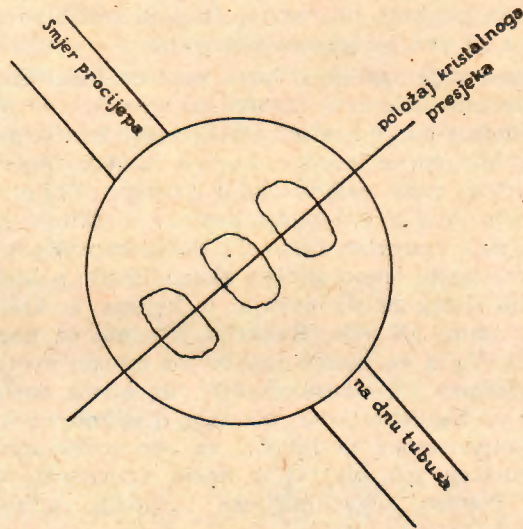
c) Izračunavanje razlike u hodu pomoću logaritmičkoga računala. I ovo se izračunavanje zasniva na primjeni formule (22) odnosno (30). Budući da je međutim vrijednost konstante za Berekove kompenzatore obične izvedbe, kojima možemo mjeriti razlike u hodu do četvrtoga reda, vrlo visoka a u drugu ruku opet vrijednost $f(i)$ vrlo malena, bilo bi računanje pomoću direktnih vrijednosti za C_λ i $f(i)$ na logaritmičkom računalu dosta neprikladno i netočno. Vrijednost konstante iznosi obično skoro 10000, a kod kompenzatora sa većim dosegom djelovanja, u kojima je kalcitna pločica deblja od 0,1 mm, još više. Funkcija $f(i)$ ima za nagib $i = 24,2^{\circ}$ vrijednost tek $1/4$, a za manje nagibe još mnogo manje; na pr. za $i = 5,73^{\circ}$ vrijednost $f(i)$ iznosi tek 0,01. Da bismo došli u područje veće točnosti na logaritmičkom računalu, dijelimo visoku vrijednost konstante kompenzatora sa 10000 i sa isto toliko množimo nisku vrijednost funkcije $f(i)$. Na taj se način vrijednost produkta (22) ne mijenja. Pomoću logaritmičkoga računala radimo dakle po formuli

$$R = \frac{C_\lambda}{10000} \cdot 10000 f(i)$$

Za računanje po ovom izrazu moramo dakle osim omjera $\frac{C_\lambda}{10000}$, koji se lako može prema onomu, što je spomenuto pod II, 3, odrediti jedamput za uvijek za svaki pojedini kompenzator, poznavati još i vrijednost $f(i)$ odnosno vrijednost umnoška 10000 $f(i)$. Ta se vrijednost za razne nagibe i° pločice kompenzatora nalazi za svaku desetinku stupnja počev od 0° pa do $31,9^{\circ}$ izračunana u tabeli III. I ta je tabela uvijek priložena uz svako uputstvo za rad pomoću Berekovih kompenzatora.

Na kraju ovoga poglavlja neka bude istaknuto, da je pri određivanju razlika u hodu pomoću Berekovoga kompenzatora, kao uostalom pri mjerenju sa bilo kojim kompenzatorom od važnosti to, da apertura osvijetljenja bude dovoljno smanjena, kako bi iz toka svjetlosnih zraka, koje dolaze na kristalni presjek, otpale zrake, koje se udaljuju od osi mikroskopskoga tubusa. To se postizava sužavanjem zaslona ispod mikroskopskoga stola, a eventualno i zaslona ugrađenoga u samom objektivu. Kako se time jako smanjuje intenzitet svjetla u mikroskopu, dobro će biti, da se prema potrebi primijeni snažno umjetno svjetlo. Ako kristalni presjek, koji ispi-

tujemo, pokazuje undulozno potamnjenje ili ako pri određivanjima smeta eventualna zonarna struktura, poslužiti ćemo se jačim okularom. Dobro je, ako taj okular ima u sebi ugrađen iris-zaslon. Sužavanjem iris-zaslona moći ćemo vidno polje toliko sužiti, da nam na pr. u preparatima neke stijene ne smetaju, ili da nam bar što manje smetaju, susjedna zrna.



Sl. 5

Važno je pri radu sa Berekovim kompenzatorom nadalje to, da se zrno, koje određujemo, osobito ako mu je razlika u hodu malena, nalazi ili točno u sredini vidnoga polja ili bar na pravcu, koji ide kroz sredinu vidnoga polja okomito na smjer procijepa na dnu tubusa (lit. 7,41) (sl. 5). To je potrebno radi toga, što mjesta jednake razlike u hodu pri nagibnim kompenzatorima nijesu pravci, kako je to na pr. slučaj kod Babinetovoga kompenzatora, nego su to blago svinute hiperboli slične krivulje. Tjemena tih hiperbolastih krivulja leže na pravcu okomitom na smjer procijepa na dnu tubusa. Pri nagibanju kompenzatorove pločice te krivulje ulaze u vidno polje mikroskopa svojom konveksnom stranom. Uz male razlike u hodu zakrivljenost je jače izražena nego kod većih razlika. Ako dakle kristalni presjek, koji ispituje, ne leži na pravcu, koji ide okomito na smjer procijepa kroz sredinu vidnoga polja, tad ćemo razlike u hodu dobivati veće, nego što doista jesu. Tek uz visoke razlike u hodu kompenzacioni potezi se svojim oblikom dobro približuju obliku ravnih pruga i tad položaj kristalnoga presjeka u vidnom polju mikroskopa nije od značenja za određivanje razlike u hodu. Najbolje će biti ipak, da zrno, koje mjerimo, bude uvijek u sredini vidnoga polja.

Želimo li razliku u hodu određivati u monohromatskom svijetlu, tad ćemo najprije potražiti položaj kompenzacije i odrediti nagibe kompenzatora a i b na jednu i drugu stranu od početnoga položaja u bijelom svijetlu. Tek nakon toga ćemo u blizini nagiba za bijelo svijetlo utvrditi točne nagibe, koji odgovaraju kompenzaciji u monohromatskom svijetlu.

IV. OSJETLJIVOST BEREKOVOGA NAGIBNOGA KOMPENZATORA

Uloži li se Berekov kompenzator u procijep na dnu tubusa, a da na mikroskopskom stolu nema nikakvoga anizotropnoga presjeka, tad će se među ukrštenim nikolima pri nagibanju kompenzatorove pločice morati uz izvjesno čitanje na skali bubnja, koje će iznositi 30° ili se približavati tom položaju, dobiti interferenciona figura optički jednoosnoga kristalnoga presjeka okomitoga na optičku os. Široki kraci tamnoga križa pokrivaju se ili se gotovo pokrivaju sa obje niti u okularu.

Taj je križ vrlo osjetljiv već na sasna malene razlike u hodu. Već neznatna razlika u hodu od $3 \text{ m}\mu$ izazivlje uz intenzivnu rasvjetu jasno zamjetljivo raspadanje križa, koje se može i izmjeriti. Tom se pojavom služimo pri ispitivanjima, da li su mikroskopski objektivi ili segmenti na univerzalnim stolićima bez dvoloma. Taj dvolom može nastati, ako su segmenti ili leće u objektivima suviše kruto stegnute u svojim metalnim okvirima. Takav neželjeni anormalni dvolom može biti više puta od znatnijih smetnji pri mjerenju manjih razlika u hodu (do $200 \text{ m}\mu$). Ispitivanje objektiva u tom pogledu vrši se tako, da se objektiv u svom prstenu zakreće odvijanjem ili zavijanjem. Pri tom će se interferencioni crni križ kompenzatora raspadati i opet sklapati već pri neznanim razlikama u hodu od cigle $\frac{1}{4} \text{ m}\mu$. Slično ćemo ispitivati i segmente stavljajući ih u otvor mikroskopskoga stola.

Kako je već spomenuto, prelaziti će preko zrna, kojemu želimo odrediti razliku u hodu — pretpostavljajući dakako položaj suptrakcije — kompenzacioni potez kako na jednu tako i na drugu stranu od početnoga položaja kompenzatora. Pri određivanju većih razlika u hodu, koje idu u treći do četvrti red, ti su potezi tako oštro izraženi, da je za određivanje razlike u hodu dovoljno izvršiti po jedno brižljivo namještanje svakoga poteza u presjek niti u okularu, te iz izvršenih čitanja izračunati razliku u hodu. U praksi obično međutim vršimo dva namještanja svakoga poteza uz potrebna očitavanja na skali instrumenta i to radi toga, da se na taj način isključi eventualna gruba pogreška u samom čitanju na skali.

Kraj malih razlika u hodu kompenzacioni potezi se pružaju samo malo u stranu od sredine vidnoga polja tako, da u tom slučaju u položaju kompenzacije preko zrna zapravo ne ide jače ili slabije svinuti crni potez, nego je položaj kompenzacije označen

dosta širokom crnom mrljom, čije namještanje u sredinu vidnoga polja nije onako oštro kao malo prije spomenuto namještanje kompenzacionih poteza u veće razlike u hodu. Radi toga ćemo pri određivanju malih razlika u hodu, koje se kreću unutar prvoga reda, uvijek izvršiti veći broj pojedinačnih namještanja, njih bar 4—5, pa se za izračunavanje poslužiti njihovom aritmetičkom sredinom. U nastavku ovoga prikaza opisat ćemo postupke, pomoću kojih možemo i uz veoma male razlike u hodu postići jednako oštro namještanje položaja kompenzacije, kako je to moguće kod velikih razlika.

Kako poredbena ispitivanja, koja je izvršio M. Berek (lit. 4, 431—435) pokazuju, kod njegovoga je nagibnoga kompenzatora točnost, koja se može postići u određivanju malih razlika u hodu, znatno veća od točnosti Babinetovoga kompenzatora zasnovanoga na principu pokretnoga kremenoga klina. Kod visokih razlika u hodu točnost je Berekovoga kompenzatora tek neznatno manja.

Pri mjerenju veoma malih razlika u hodu, kad je položaj kompenzacije označen širokom tamnom mrljom, od osobite je važnosti, da vibracioni smjerovi kompenzatora i kristalnoga presjeka budu točno paralelni, t. j. da se nalaze točno u položaju supstrakcije. Prema Berekovim teoretskim istraživanjima u tom slučaju utjecaj svih pogrešaka u justiranju iščezava (lit. 7, 137). Uz takav međusobni položaj kristalnoga presjeka i kompenzatora mjerenja razlike u hodu vrše se — principijelno uzevši, t. j. ne obazirući se na slučajne pogreške u opažanju — uvijek ispravno, bez obzira na to, da li su nikoli točno ukršteni ili ne i da li je možda procijep za ulaganje kompenzatora na dnu tubusa pogrešno orijentiran. Pitanje je samo, možemo li bilo po čemu prosuditi, da se kristalni presjek i kompenzator nalaze uistinu točno u položaju supstrakcije. Možemo. U kompenzacionim potezima, koji su kod nagibnih kompenzatora jače ili manje svinuti, bit će intenzitet simetrijski raspodijeljen samo onda, ako se kristalni presjek i kompenzator nalaze točno u položaju supstrakcije. Već uz neznatno odstupanje od toga relativnog međusobnog smještaja intenzitet u kompenzacionim potezima pri njihovom pomicanju kroz vidno polje mikroskopa ne će biti simetrijski porazdijeljen obzirom na presjek niti u okularu. Kompenzaciona mrlja na pr., koju opažamo kod malih razlika u hodu, ne će u tom slučaju ići kroz sredinu vidnoga polja. Po toj nesimetriji u intenzitetu odmah ćemo moći zaključiti, da međusobni položaj kristalnoga presjeka i kompenzatora nije onakav, kako to traži teorija. U tom slučaju bit će dosta, da mikroskopski stol sa preparatom zakrenemo malo amo tamo, dok ne zapazimo, da je raspodjela intenziteta u kompenzacionom potezu postala simetrijska. Na taj način možemo pomoću nagibnih kompenzatora lako i jednostavno kontrolirati, da li se kristalni presjek i kompenzator nalaze točno u položaju supstrakcije ili ne i u ovom potonjem slučaju možemo ih slabim zakretanjem mikroskopa lako namjestiti u taj međusobni položaj. Pri upotrebi Babinetovoga kompenzatora naprotiv

nije tako lako razabrati, da li se kristalna pločica i kompenzator nalaze u ispravnom međusobnom položaju. Neispravan položaj pločice prema Babinetovom kompenzatoru prouzročit će paralelan pomak kompenzacionoga poteza prema većim ili manjim razlikama u hodu, a to će dakako utjecati na rezultat mjerenja.

Uz dobre strane nagibnih kompenzatora, koje su kratko istaknute sasna na početku ovoga prikaza (vidi drugu alineju uvoda), imaju oni dakle u poredbi sa Babinetovim kompenzatorom i tu prednost, da radeći sa njima možemo lako i jednostavno odrediti, da li se anizotropni presjek i kompenzator nalaze u onom međusobnom položaju, koji je prema teoriji najpovoljniji za određivanje razlike u hodu. Ukoliko to ne bi bio slučaj, tad možemo takav međusobni položaj lako namjestiti i njegovo namještanje kontrolirati.

Pred kratko vrijeme objavio je R. Mosebach nekoliko radova (lit. 9, 10, 11), na temelju kojih izlazi, da se pomoću Berekovoga kompenzatora može mjeriti sa točnošću od ± 1 do $\pm 2 \mu$. Vrijednost za logaritme funkcije kuta nagiba i^0 kompenzatorove pločice na tri decimale, kako su navedene u tabeli I, u tom slučaju nedostaju za izračunavanje razlika u hodu, nego ćemo se tada poslužiti sličnom tabelom na četiri decimalna mjesta, koju je proračunao Mosebach, ili vrijednostima 10000 $f(i)$ iz tabele III. Mosebach preporuča uz to, da se za svaki kompenzator konstruira i krivulja pogrešaka. Ovdje ćemo ukratko spomenuti njegove postupke.

V. MOSEBACHOVI POSTUPCI ZA POVEĆANJE TOČNOSTI ODNOSNO ZA PROŠIRENJE PODRUČJA DJELOVANJA BEREKOVIH KOMPENZATORA

- 1) Metoda namještanja viših kompenzacionih poteza za povećanje točnosti pri malim razlikama u hodu.

U slučaju kompenzacije nepoznata razlika u hodu R_x nekoga kristalnoga presjeka jednaka je razlici u hodu kalcitne pločice u kompenzatoru. Tu razliku, kako je spomenuto, možemo lako odrediti iz obih nagiba kompenzatora a i b na jednu i na drugu stranu od početnoga položaja namještanjem kompenzacionih poteza u sredinu vidnoga polja. Pri radu u bijelom svijetlu ti se kompenzacioni potezi lako razabiru po tom, što u obliku tamnih više ili manje svinutih lukova ili tamnih mrlja prelaze preko kristalnoga presjeka. Budući da oni odgovaraju jednakoj razlici u hodu za kristalni presjek i za kompenzator, zvat ćemo ih kompenzacioni potezi izjednačenja.

Radimo li, mjesto u bijelom svijetlu, u monohromatskom svijetlu, tad ćemo uz spomenuti kompenzacioni potez izjednačenja razlike u hodu uz razne nagibe pločice u kompenzatoru zapažati još i druge tamne poteze, kod kojih razlike u hodu za kristalni presjek s jedne i za kompenzator s druge strane ne će biti izjednačene, nego će se među sobom razlikovati za jednu, dvije, tri i t. d.

valne dužine svjetla, s kojim radimo, zbog čega će među ukrštenim Nikolima također biti tama.

Da bi povećao točnost određivanja malih razlika u hodu, koje idu do pola ili najviše do cijele valne dužine, pri čemu kompenzaciji izjednačenja razlike u hodu odgovaraju oširoke, mutne i rasplinite tamne mrlje, služi se Mosebachi ne kompenzacionim mrljama izjednačenja, nego drugim kompenzacionim potezima. Rađeći u monohromatskom svjetlu prema njemu namještamo dakle ne na kompenzacioni potez izjednačenja, nego od početnoga položaja kompenzatora na jednu i na drugu stranu na prvi, drugi i t. d. općenito uzevši na k -ti kompenzacioni potez na više odnosno na niže od kompenzacionih poteza izjednačenja. Pri tom ćemo kod prvih udaljenijih poteza određivati razliku u hodu, koja će za jednu valnu dužinu λ biti veća od razlike u hodu R_x kristalnoga presjeka, koju baš želimo odrediti. Kod drugih, trećih i općenito uzevši kod k -tih kompenzacionih poteza odredit ćemo razliku u hodu R_k , koja će biti za $k\lambda$ veća od razlike u hodu R_x našega kristalnoga presjeka. U obliku jednadžbe možemo to pisati ovako:

$$R_k = R_x + k\lambda$$

ili tražena razlika u hodu kristalnoga presjeka je

$$R_x = R_k - k\lambda \dots \dots \dots (31)$$

Prvi, drugi, viši odnosno niži kompenzacioni potez od kompenzacionih poteza izjednačenja izraženi su međutim u vidnom polju mikroskopa kudikamo oštrije, zbog čega je namještanje po njima točnije nego po širokoj i nejasnoj kompenzacionoj mrlji izjednačenja.

Kao primjer navest ćemo određivanje dvoloma $\varepsilon - \omega$ na jednom preparatu kremenata iz rudnika Stari Trg (Trepča) izbrušenom paralelno sa optičkom osi, kojemu je debljina određena pomoću okularmikrometra na vijak tako, da je preparat bio postavljen okomito na ravninu mikroskopskoga stola. Našao sam, da debljina d iznosi 0,0315 mm.

Naravnavši u bijelom svjetlu položaj kompenzacije prešao sam na mjerenje razlike u hodu u monohromatskom Na-svjetlu i to tako, da je na presjek niti u okularu bio namješten oštro izraženi drugi kompenzacioni potez iznad i ispod položaja kompenzacije u bijelom svjetlu uz ova čitanja na skali već spomenutoga kompenzatora br. 988:

$$a = 53,9 \text{ i } b = 6,75.$$

Razliku u hodu R_k , gdje je $k = 2$, izračunat ćemo po formuli

$$R_k = 10000 f(i) \cdot \frac{C_D}{10000},$$

u kojoj je $i = \frac{a - b}{2} = 23,58^\circ$.

Iz tabele III možemo izvaditi vrijednost $10000 f(i) = 1655$. Za kompenzator br. 988 je

$$\frac{C_D}{10000} = 0,886 \text{ (vidi II, 3b).}$$

Prema tomu je

$$R_k = 1655 \cdot 0,886 = 1466 \text{ m}\mu.$$

Po formuli (31) možemo prema tomu pisati

$$R_x = 1466 - 2 \times 589,3 \text{ ili}$$

$$R_x = 287 \text{ m}\mu$$

Za dvolom $\varepsilon - \omega$ izlazi dakle

$$\varepsilon - \omega = \frac{0,000287}{0,0315} \text{ ili}$$

$$\varepsilon - \omega = 0,0091 \text{ u Na-svijetlu.}$$

2) Metoda namještanja kompenzacionih poteza nižih od kompenzacionih poteza izjednačenja radi povećanja dosega kompenzatora.

Više puta se događa, da je razlika u hodu preparata veća nego što bismo je mogli dohvatiti Berekovim kompenzatorom. Ipak možemo i u tom slučaju pomoću takvoga kompenzatora izvršiti točno određivanje razlike u hodu uz pretpostavku, da pomoću nekoga kompenzatora, na pr. pomoću kremenoga klina većega opsega mjerenja, koji ne treba biti graduiran, odredimo kvalitativno promatranjem u bijelom i u monohromatskom svijetlu, gdje se javlja kompenzacioni potez, koji odgovara izjednačenju razlike u hodu između kristalnoga presjeka i kremenoga klina. Uzmimo, da smo promatranjem ustanovili, da spomenuta kompenzacija izjednačenja nastupa između k -toga i $(k + 1)$ -voga kompenzacionoga poteza samega kremenoga klina u Na-svijetlu. Razlika zrna R_x je tada

$$R_x = k\lambda + R_k \quad (32),$$

gdje pod R_k razumijemo onu razliku, za koliko razlika našega kristalnoga presjeka prelazi umnožak $k\lambda$. Između položaja kompenzacije izjednačenja i početnoga položaja klina bit će dakle, kad pomičemo klin prema tanjem njegovom dijelu, k crnih poteza u Na-svijetlu, od kojih će prvi niže smješteni crni potez odgovarati razlici u hodu R_x umanjenoj za λ ; drugi će odgovarati razlici u hodu R_x umanjenoj za 2λ i t. d., t. j. treći, četvrti i na koncu k -ti potez na kremenom klinu idući na niže odgovarat će razlici u hodu R_x smanjenoj za $k\lambda$. Taj će posljednji, k -ti potez, koji smo opazili pri pomicanju klina na niže, biti prvi potez pri pomicanju kremenoga klina na više. Obzirom na to može se reći, da prvom tamnom potezu na kremenom klinu odgovara razlika u hodu R_x smanjena za $k\lambda$, drugom više smještenom tamnom potezu razlika u hodu R_x smanjena za $(k - 1)\lambda$, trećem više smještenom potezu razlika u hodu R_x smanjena za $(k - 2)\lambda$ i t. d. Što međutim vrijedi za kremeniklin, vrijedi i za Berekov kompenzator, t. j. prvi kompenzacioni potezi s jedne i s druge strane od početnoga položaja kompenzatora određivat će svojim položajem razliku u hodu R_k , koja

će za $k\lambda$ biti manja od tražene razlike u hodu R_x . Drugim kompenzacionim potezima s obje strane početnoga položaja bit će određena razlika u hodu, koja će za $(k-1)\lambda$ biti niža od tražene razlike R_x presjeka i t. d.

Uzmimo, da smo se odlučili, da izvršimo čitanje za spomenute druge kompenzacione poteze. Iz čitanja a i b naći ćemo tad

$$i = \frac{a - b}{2}$$

i po bilo kojoj od metoda opisanih pod III odredit ćemo pripadnu razliku u hodu R_{k-1} . Toj ćemo razlici dodati još razliku $(k-1)\lambda$ i na taj način dobiti traženu razliku u hodu R_x , ma da je direktno našim kompenzatorom nijesmo više mogli dohvatiti.

VI. POSTUPCI ZA POVIŠENJE TOČNOSTI ODNOSNO ZA PROŠIRENJE PODRUČJA DJELOVANJA BEREKOVIIH KOMPENZATORA UMETANJEM PLOČICE POZNATE RAZLIKE U HODU

Da bi se kod malih razlika u hodu, kad je kompenzaciona mrlja — kako je već spomenuto — široka, rasplinuta i nejasna, određivanje moglo vršiti točnije, kao i da bi se moglo određivati razlike u hodu, koje već prelaze opseg djelovanja kompenzatora, možemo se poslužiti postupkom, koji se sastoji u tom, da se u tok svijetla uklopi bilo podudarno bilo nepodudarno sa vibracionim smjerovima presjeka, koji ispitujemo, kristalna pločica poznate razlike u hodu.

1) Povećanje točnosti pri određivanju malih razlika u hodu

Ako se radi o određivanju malih razlika u hodu, tad se u tok svijetla među ukrštenim nikolima može uklopiti dijagonalno gipsna pločica osjetljive crvene boje prvoga reda, koja se nalazi uz svaki mikroskop. Od oba moguća dijagonalna položaja odabrat ćemo onaj, koji odgovara podudarnom položaju odnosno pločaju adicije između gipsne pločice i kristalnoga presjeka ili drugačije rečeno nepodudarnom položaju gipsne pločice i kompenzatora. Tim smo međutim razliku u hodu kristalnoga presjeka R_x , koju želimo odrediti, povećali za razliku u hodu gipsne pločice R_g . Pomoću Berekovoga kompenzatora odredit ćemo u tom slučaju zbroj obih netom spomenutih razlika $R_x + R_g$. Budući da je ta razlika veća od same razlike u hodu R_x , bit će dakako kompenzacioni potez oštrije izražen i samo mjerenje zbog toga točnije. Uslov za tu metodu je međutim, da moramo točno znati razliku u hodu R_g gipsne pločice (ili više njih), koju uklapamo. Tu razliku možemo jednom za uvijek odrediti. Odbijemo li je od sume $R_x + R_g$ određene pomoću kompenzatora, dobit ćemo razliku u hodu kristalnoga presjeka R_x .

Kao primjer navest ću ovdje određivanje dvoloma $Ng - Nm$ na negrijanom preparatu habazita iz gabra u Jablanici (Hercegovina), kojemu je debljina iznosila 0,13715 mm. Teodolitnomikroskopskim ispitivanjem toga preparata pomoću Leitzovog univerzalnoga stolića UT4 mogao sam ustanoviti, da je pri pravljenju izbruska zrno presječeno tako, da glavni vibracioni smjer X, koji odgovara valu najmanjega indeksa loma N_p , zatvara sa normalom na izbrusak kut od $17\frac{1}{4}^{\circ}$. Namjestivši smjer X tako, da se on poklapao sa osi mikroskopskoga tubusa, mogao sam prići određivanju razlike u hodu, koja odgovara dvolomu $Ng - Nm$. Umetnuvši u procijep Berekov kompenzator primijetio sam u bijelom svjetlu odmah, da je razlika u hodu mala. To se razabiralo po malom nagibu kompenzatorove pločice i po nejasnoj, širokoj i rasplinutoj kompenzacionoj mrlji. Pomoću posebnoga dodatnoga valjčića, koji će biti kasnije opisan, uklopio sam u tok svjetla neposredno iznad dodatnoga kondenzora, koji se upotrebljava pri teodolitnomikroskopskim ispitivanjima na Leitzovim mikroskopskim stativima, podudarno sa kristalnim presjekom habazita dvije gipsne pločice. Njihovu vlastitu razliku u hodu odredio sam prethodnim mjerenjem i našao, da ona iznosi 532 $m\mu$ u Na -svijetlu za svaku od njih ili za obje zajedno 1064 $m\mu$. Utvrđivanjem položaja kompenzacije u bijelom svjetlu i mjerenjem obih kompenzacionih poteza pomoću već spomenutoga Berekovoga kompenzatora br. 988 našao sam, da je ukupna razlika u hodu habazitnoga izbruska i obih gipsnih pločica, t. j. $R_x + R_g$, određena ovim čitanjima na skali kompenzatora

$$\begin{array}{r} 51,2 \\ - 9,2 \\ \hline 42,0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 51,1 \\ - 9,2 \\ \hline 41,5 \end{array} \quad \text{— sredina } 41,95^{\circ} : 2 ; i = 20,98^{\circ}$$

$$\log f(20,98^{\circ}) = 9,119 - 10 \text{ prema tabeli I.}$$

$$+ \log C_D = 3,947$$

$$\log (R_x + R_g) = 13,066 - 10$$

Iz tabele II slijedi, da je

$$R_x + R_g = 1165 \text{ } m\mu$$

Budući da je razlika gipsnih pločica samih $R_g = 1064 \text{ } m\mu$, to izlazi, da je razlika u hodu samoga habazitnoga izbruska

$$R_x = 101 \text{ } m\mu$$

Zbog toga, što je vibracioni smjer X prema normali na izbrusak bio nagnut za $17\frac{1}{4}^{\circ}$, moramo prije daljega računanja dvoloma $Ng - Nm$ razliku R_x pomnožiti sa $\cos 17\frac{1}{4}^{\circ}$; prema tomu je dvolom

$$Ng - Nm = \frac{0,000101 \cdot \cos 17^{\circ} 15'}{0,13715}$$

ili dvolom habazita iz Jablanice u Na -svijetlu

$$Ng - Nm = 0,0007$$

Uzmemo li u obzir, da je kut optičkih osi teodolitnomikroskopski na istom preparatu određen sa

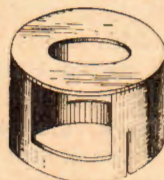
$$2V = + 70 \frac{1}{2}^{\circ},$$

tad prema Boldyrevljevom dijagramu (lit. 2 atlas, tabla VII) sli-
jedi za drugi parcijalni dvolom vrijednost

$$Nm - Np = 0,00035$$

ili za maksimalni dvolom

$$Ng - Np = 0,0011.$$



Sl. 6

Dodatni valjčić, koji je osobito prikladan za ulaganje gipsnih pločica neposredno povrh dodatnoga kondenzora, prikazan je na sl. 6. On ima oblik šupljega metalnoga valjka, koji na svom plaštu ima procijep toliko velik, da se u taj procijep može uložiti jedna gipsna pločica ili i dvije takve pločice zajedno jedna povrh druge. S gornje strane je plašt omeđen ravnom metalnom pločom, koja u sredini ima koncentrično smještenu rupu otprilike tolikoga promjera, koliki je promjer kružnoga otvora u Leitzovim metalnim okvirima, u kojima je uložena gipsna pločica osjetljive crvene boje I. reda. Taj se šuplji valjčić jednostavno natakne na dodatni kondenzor, kojim se služimo pri teodolitnomikroskopskim istraživanjima tako, da se gipsna pločica namještena u procijep valjčića nalazi bilo u jednom bilo u drugom dijagonalnom položaju prema ukrštenim nikolima. S donje strane učinjena su na plaštu valjčića četiri uzana oko $\frac{3}{4}$ cm dugačka proreza sa tim ciljem, da prema potrebi možemo donji dio plašta lakim pritiskom među prstima ponešto stisnuti ili proširiti, kako bi valjčić stajao na dodatnom kondenzoru stabilno.

Pomoću opisanoga valjčića može se prema potrebi jednostavno i lako u tok svijetla uklopiti jedna ili dvije gipsne pločice, t. j. malu razliku u hodu možemo povećati za 532 ili za 1064 $m\mu$. To povećanje može naravno biti i znatnije, ako u tok svijetla uklopimo kristalni presjek točno poznate veće razlike u hodu.

2) Povećanje dosega djelovanja Berekovoga kompenzatora

Tim jednostavnim dodatnim dijelom možemo se poslužiti i onda, kad se radi o tom, da odredimo razlike u hodu, koje su veće od dosega djelovanja našega kompenzatora. U tom ćemo slučaju gipsne pločice (jednu ili dvije) namjestiti pomoću valjčića tako, da se one prema kristalnom presjeku, koji je namješten dijagonalno za mjerenje razlike u hodu, nalaze u položaju suptrakcije (odnosno prema kompenzatoru u položaju adicije). Drugim riječima razlika u hodu kristalnoga presjeka R_x , koju želimo odrediti, bit će zbog toga smanjena za razliku u hodu uložениh gipsnih pločica R_p i u tom ćemo slučaju čitajući položaje za kompenzaciju izjednačenja razlike

u hodu pomoću Berekovoga kompenzatora određivati razliku u hodu $R_x - R_p$. Uklapajući na taj način jednu ili dvije gipsne pločice sa razlikom u hodu od 532 odnosno 1064 $m\mu$ možemo doseg djelovanja našega kompenzatora za toliko proširiti. Uz eventualno uklapanje pločica poznatih većih razlika u hodu bit će dakako proširenje dosega djelovanja još znatnije.

Kao primjer navest ćemo ovdje određivanje dvoloma $N_g - N_m$ u Na -svijetlu na jednoj lijepoj, jednoliko debeloj kalotini smjerom (010) vivijanita iz rudnika Stari Trg (Trepča), kojoj je prethodno — postavivši je okomito na ravninu mikroskopskoga stola — pomoću mikrometarokulara na vijak izmjerena debljina $d = 0,15235$ mm. Mjerenje razlike u hodu izvršeno je pomoću Berekovoga kompenzatora br. 2599, kojemu logaritam konstante C za Na -svijetlo iznosi 4,241. Njim se mogu određivati razlike u hodu do kojih 4600 $m\mu$. Pri pokušaju, da se tim kompenzatorom odredi razlika u hodu na spomenutoj kalotini, zapaženo je u bijelom svijetlu, da se pri nagibanju kalcitne pločice kompenzatora interferencione boje snizuju, ali da sam kompenzacioni potez već nije više moguće namjestiti u sredinu vidnoga polja, t. j. na presjek niti u okularu, jer je razlika u hodu R_x spomenute kalotine vivijanita bila veća od najveće razlike u hodu, koja se kompenzatorom br. 2599 uopće još može odrediti.

Uloživši u tok svijetla pomoću opisanoga valjčića dijagonalno, nepodudarno prema vivijanitnoj kalotini gipsnu pločicu sa vlastitom razlikom u hodu $R_p = 532 m\mu$ za Na -svijetlo snizili smo nepoznatu razliku u hodu R_x vivijanitne kalotine za 532 $m\mu$ i čitanjem položaja kompenzacionoga poteza poništenja razlike u hodu na skali kompenzatora dobili smo ovo:

$$\begin{array}{r} 59,1 \\ - 0,6 \\ \hline 58,5 \end{array} \quad \begin{array}{r} 59,0 \\ - 0,5 \\ \hline 58,5 \end{array} \quad \begin{array}{r} 59,05 \\ - 0,5 \\ \hline 58,55 \end{array} \text{ — sredina } 58,52 : 2 = 29,26^\circ$$

Napomenut ćemo, da ovdje navedena tri čitanja nijesu učinjena radi toga, što bi to bilo možda potrebno, nego radi toga, da se na primjeru vidi velika točnost kompenzatora.

Iz određenoga kuta $i = 29,26^\circ$ dobit ćemo na poznati način razliku u hodu $R_x - R_p$.

$$\begin{array}{r} \log f(29,26^\circ) = 9,401 - 10 \text{ prema tabeli I.} \\ + \log C_D = 4,241 \\ \hline \log (R_x - R_p) = 13,642 - 10 \end{array}$$

Iz tabele II slijedi, da je

$$R_x - R_p = 4390 m\mu$$

Budući da je $R_p = 532 m\mu$, to slijedi, da je

$$R_x = 4922 m\mu$$

Prema tomu je parcijalni dvolom vivijanita određen na gore opisanom preparatu

$$N_g - N_m = \frac{0,004922}{0,15235} \quad \text{ili}$$

$$N_g - N_m = 0,0323 \text{ u Na-svijetlu.}$$

Isporede li se ovdje netom opisani postupci sa Mosebachtovim postupcima opisanim pod V, tad treba reći, da su Mosebachtovi postupci jednostavniji. Zbog te veće jednostavnosti treba Mosebachtovim postupcima dati prednost. Razumije se samo po sebi, da se kako jedni tako i drugi postupci mogu primjenjivati i pri radu sa drugim kompenzatorima, na pr. pri radu sa Ehringhausovim nagibnim kompenzatorom, koji ćemo malo kasnije opisati.

Uzevši u obzir sve, što smo dosad rekli, moramo zaključiti, da je Berekov kompenzator instrument velikoga dosega djelovanja i visoke točnosti. Ne treba posebno naglasiti, da se taj kompenzator — slično kao na pr. gipsna pločica ili tinjčeva pločica i ostali kompenzatori — može upotrebiti i za određivanje relativnoga optičkog karaktera vibracionih smjerova u nekom kristalnom presjeku, kako u paralelnom tako i u konvergentnom polariziranom svijetlu. U tu svrhu moramo pamtit i to, da je paralelno smjeru, oko kojega nagibljemo kalcitnu pločicu u Berekovom kompenzatoru, položen glavni vibracioni smjer, koji odgovara valu najvećega indeksa loma ω odnosno najmanje brzine c . Okomito na to ide dakako vibracioni smjer vala veće brzine a . Na metalnom okovu svakoga Berekovoga kompenzatora ubilježena su radi boljega snalaženja pri radu ta dva vibraciona smjera sa $H_1 = c$ i $H_2 = a$. Ako uz dijagonalni položaj preparata pri nagibanju kompenzatorove pločice zapazimo kompenzaciju ili barem pad boja, tad imamo nepodudarni međusobni položaj vibracionih smjerova u kristalnom presjeku i kompenzatoru. Vibracione smjerove našega presjeka moramo tada označiti obratno nego što su označeni na kompenzatoru. Obratno ćemo naravno zaključiti, da imamo podudarni međusobni položaj vibracionih smjerova u kristalnom presjeku i u kompenzatoru, kad ćemo pri nagibanju pločice u kompenzatoru imati porast boja. U tom slučaju prenijet ćemo oznake sa kompenzatora direktno na vibracione smjerove kristalnoga presjeka.

Pri promatranjima u konvergentnom svijetlu nagibat ćemo uz normalni položaj kristalnoga presjeka kompenzator iz početnoga položaja tako dugo, dok u interferencionoj figuri ne zapazimo na pr. kod optički jednoosnih kristala crne mrlje u dva suprotna kvadranta. Po razmještaju tih mrlja zaključit ćemo tada na optički karakter analognim načinom, kako to činimo služeći se tinjčevim listićem sa vlastitom razlikom u hodu od četvrtine vala.

U početnom svom položaju Berekov se kompenzator može upotrebiti i za stauroskopska ispitivanja. Namještanje vibracionih smjerova je pri tom točnije i pouzdanije nego pomoću Calderono-

ve, Traubeove, Bravaisove i t. d. pločice, ali zaostaje iza točnosti takvih određivanja, koja se vrše pomoću uređaja za polusjenu, na pr. pomoću Nakamurine pločice.

VII. EHRINGHAUSOV NAGIBNI KOMPENZATOR

Upotrebiti za pravljenje nagibnih kompenzatora mjesto kalcitnih pločica pločice izbrušene od kremenja okomito na optičku os nije moguće radi optičke aktivnosti kremenja, koja se očituje u zakretanju vibracionoga smjera svjetla, koje ide kroz kremen u smjeru optičke osi i u smjerovima slabo nagnutim prema optičkoj osi. Zbog toga svojstva kremenja ne bi bilo moguće takvim kompenzatorom određivati malene razlike u hodu (do jedne valne dužine). Eringhausovim istraživanjima treba zahvaliti, da se i kremen može upotrebljavati za konstrukciju nagibnih kompenzatora vrlo visoke osjetljivosti, kakve danas proizvodi optička tvrtka Winkel-Zeiß u Göttingenu. Ehringhaus je 1931. godine upozorio (lit. 12), da se nagibni kompenzator može izgraditi i iz dvije pločice izbrušene od optički jednoosnoga nekoga kristala paralelno njegovoj optičkoj osi, ako ih jednako debele namjestimo jednu povrhu druge u položaju suptrakcije, t. j. tako, da se vibracioni smjer bržega (odnosno sporijega) vala jedne pločice podudara sa vibracionim smjerom sporijega (odnosno bržega) vala druge pločice. Optička aktivnost u tom slučaju također ne smeta. Načinimo li na pr. takvu kombiniranu pločicu od dviju kremenih pločica izbrušenih od jednoga te istoga kristala kremenja, tad je bez daljega jasno, da će ona uz bilo kakvo zakretanje mikroskopskoga stola među ukrštenim nikolima u okomitom prolaznom svjetlu biti uvijek tamna, i ako se pojedine pločice, od kojih je ona sastavljena, općenito uzevši ne nalaze u položaju potamnjenja. Razlika u hodu u jednoj pločici poništi se naime pri prolazu svjetla kroz drugu isto takvu pločicu, koja se prema prvoj nalazi u položaju suptrakcije. Uvede li se takva kombinirana pločica u procijep na dnu tubusa tako, da se može slično kao i kod Berekovoga kompenzatora nagibati oko smjera, koji ide dijagonalno među ukrštenim nikolima podudarajući se istodobno sa optičkom osi jedne od obih slijepljenih pločica, tad će se pri nagibanju iz početnoga horizontalnoga položaja kombinirane pločice razlika u hodu svake pojedine pločice različito mijenjati. Uslijed toga će pri prolazu svjetla kroz kombiniranu pločicu kao cjelinu nastati uz razne nagibe i^0 različite razlike u hodu R i kombinirana pločica će zbog toga interferirati uz svaki nagib u određenoj nekoj boji. Takva kombinirana pločica ponaša se dakle slično kao presjek optički jednoosnoga kristala okomit na optičku os odnosno konkretno govoreći kao kalcitna pločica u Berekovom kompenzatoru.

Želimo li naći, kako zavisi razlika u hodu kombinirane pločice o kutu nagiba i^0 — to je ujedno kut, koji sa normalom na kom-

biniranu pločicu čine paralelne zrake, koje dolaze iz polarizatora — tad će to biti lako izvesti, ako se sjetimo na sličan izvod, koji smo učinili pri Berekovom kompenzatoru. Ovdje međutim treba imati na umu, da imamo posla sa dvije kristalne pločice namještene međusobno u položaju suptrakcije. Označimo li razliku one pločice, koja se nagiblje oko svoje optičke osi sa R_1 , i razliku pločice, koja se nagiblje oko smjera okomitoga na optičku os, sa R_2 , tad ćemo nakon prolaza svijetla kroz kombiniranu pločicu imati razliku u hodu

$$R = R_1 - R_2 \quad \dots \dots \dots (33)$$

a) Pokušajmo najprije odrediti, kako zavisi razlika u hodu R_1 one pločice, koju — nagibajući kombiniranu pločicu iz početnoga horizontalnoga položaja za kut i^0 — nagiblujemo oko njene optičke osi. Moramo pri tom pamtititi, da za kremen indikatrissa ima oblik produženoga rotacionoga elipsoida. Nagibajući indikatrissu oko njene rotacione osi, kojoj dužina odgovara većemu indeksu loma ϵ , imamo uvijek — bez obzira na veličinu nagiba — posla sa istim eliptičnim presjecima indikatrisse okomitim na smjer dolaznoga svijetla; velika os tih presjeka je ϵ , a mala ω . To znači, da će zbog dvoloma pri prolazu svijetla kroz tu kremen pločicu nastati dva vala; za jedan od njih indeks loma će biti ω , a za drugi će indeks loma biti uvijek ϵ . Razlika u hodu R_1 između tih dvaju valova bit će izražena formulom, koja će biti slična formuli (8). U obzir moramo uzeti sada (vidi sl. 7), da se jače lomi ekstraordinarni val, dok se ordinarni val u skladu sa manjim indeksom loma ω kod kremen lomi slabije. Na taj način ćemo izmijenivši u formuli (8) ono, što treba izmijeniti, moći pisati za razliku u hodu

$$R_1 = \frac{d}{\lambda} (\epsilon \cos^2 i_e - \omega \cos^2 i_o) \dots \dots \dots (34)$$

Budući da je prema zakonu loma

$$\frac{\sin i}{\sin i_e} = \epsilon \text{ i } \frac{\sin i}{\sin i_o} = \omega,$$

odakle slijedi

$$\sin^2 i_e = \frac{\sin^2 i}{\epsilon^2} \text{ i } \sin^2 i_o = \frac{\sin^2 i}{\omega^2}$$

odnosno

$$1 - \cos^2 i_e = \frac{\sin^2 i}{\epsilon^2} \text{ i } 1 - \cos^2 i_o = \frac{\sin^2 i}{\omega^2}$$

Iz posljednje dvije jednadžbe izlazi

$$\cos i_e = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\epsilon^2}} \text{ i } \cos i_o = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}}$$

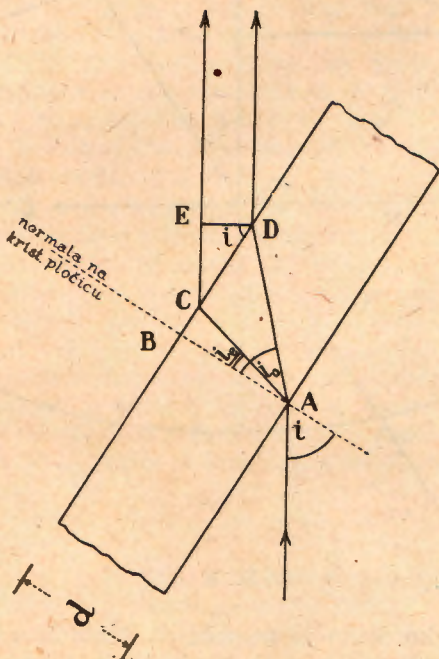
Uvrstimo li to u (34), dobit ćemo izraz, iz kojega će se vidjeti, kako ovisi razlika u hodu R_1 o kutu nagiba i^0 , koji čitamo na skali kompenzatora, jedne od obje pločice u Ehrlinghausovom kompenzatoru.

$$R_1 = \frac{d}{\lambda} \left(\varepsilon \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2}} - \omega \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} \right)$$

ili

$$R_1 = \frac{d}{\lambda} \left(\sqrt{\varepsilon^2 - \sin^2 i} - \sqrt{\omega^2 - \sin^2 \omega} \right) \quad (36)$$

b) Prijeđimo sad na to, da izvedemo sličan izraz za razliku u hodu između ona dva vala, koja nastaju pri prolazu svijetla kroz drugu kremenenu pločicu. Kad nagibljemo kombiniranu pločicu Ehringhausova kompenzatora, tad drugu pločicu nagibljemo oko polumjera ω indikatrise kremenena. Pri tom centralni eliptični presjek indikatrise okomit na smjer svijetla, koje prolazi kroz kremen, ne će više biti isti bez obzira na izvršeni nagib kao prije pod a). Jedan od polumjera svih tih presjeka bit će ω , dok će drugi polumjer u početnom položaju pločice imati najveću moguću vrijednost ε . Pri nagibanju pločice kompenzatora taj će polumjer, koji odgovara indeksu loma ekstraordinarnoga vala, uz sve veći nagib postajati sve manji približujući se postepeno vrijednosti ω . Njegovu promjenljivu vrijednost označit ćemo općenito sa n_e . Izmijenivši prema slici 7 u formuli (8) opet ono, što treba izmijeniti, imajući međutim pri tom na umu to, da je indeks loma jače slomljenoga vala sada n_e , moći ćemo za razliku u hodu R_2 pisati



SL 7

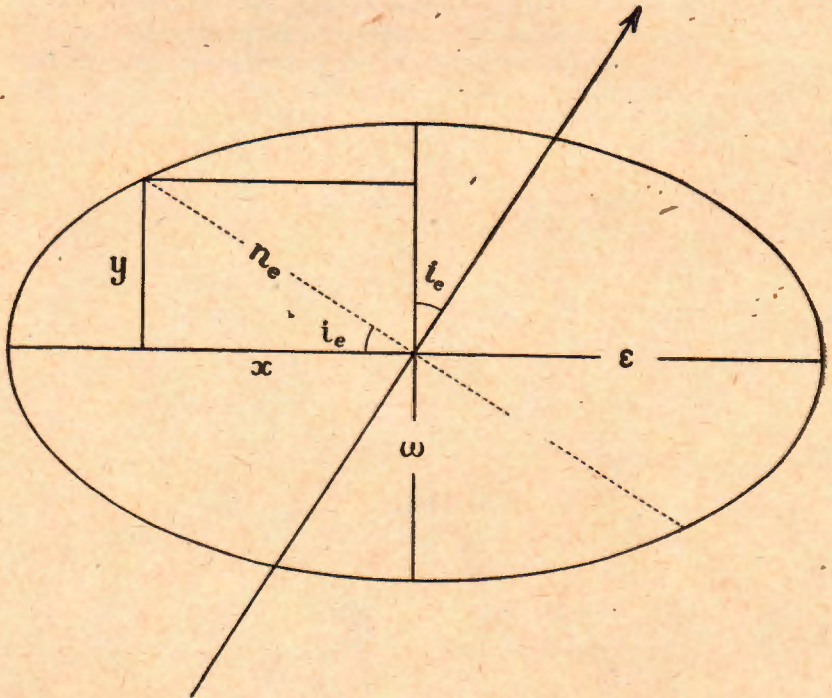
$$R_2 = \frac{d}{\lambda} (n_e \cos i_e - \omega \cos i_o) \quad (37)$$

Po zakonu loma možemo ovdje prema (35) mjesto $\cos i_o$ pisati

$$\cos i_o = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} \quad \text{odnosno} \quad \omega \cos i_o = \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} \quad (38),$$

da bismo na taj način kut i_o nadomjestili sa kutom nagiba i^0 , koji čitamo na skali kompenzatora.

Da sličnu zamjenu izvršimo i za produkt $n_e \cos i_e$ u formuli (37), zamislimo centralni presjek indikatrise kremenca, koji je okomit na ekstraordinarnu valnu normalu, koja sa kraćom osi ω produženoga rotacionoga elipsoida čini kut i_e . Centralni presjek rotacionoga elipsoida okomit na tu valnu normalu bit će elipsa sa manjim polumjerom ω i sa većim polumjerom n_e , koji sa valnom normalom, sa optičkom osi ε i sa pripadnim polumjerom ω leži u jednoj ravnini (sl. 8).



Sl. 8

Sasma jednako, kako je pomoću sl. 3 bio izveden odnos (13), može se iz sl. 8 uzimajući u obzir, da je duža os elipse sada ε , a kraća ω , izvesti odnos

$$n_e^2 \cos^2 i_e = \varepsilon^2 \left(1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2} \right)$$

odnosno

$$n_e \cos i_e = \frac{\varepsilon}{\omega} \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} \quad (39)$$

c) Uvrstimo li (38) i (39) u (37), moći ćemo razliku u hodu R_2 u ovisnosti od kuta nagiba i^0 kompenzatorove pločice izraziti ovako

$$R_2 = \frac{d}{\lambda} \left(\frac{\varepsilon}{\omega} \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} - \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} \right) \quad (40)$$

Prema (33) možemo sada pomoću (36) i (40) pisati, da je razlika u hodu kombinirane pločice u Ehrlinghausovom kompenzatoru

$$R = \frac{d}{\lambda} \left(\sqrt{\varepsilon^2 - \sin^2 i} - \frac{\varepsilon}{\omega} \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} \right)$$

ili

$$R = \frac{d}{\lambda} \varepsilon \left(\sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2}} - \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} \right) \quad (41)$$

Pri tom izvodu prešli smo preko toga, da kod kremenata zbog optičke aktivnosti indikatrixa nije — strogo uzevši — rotacioni elipsoid, ali razlike, koje bi u izvodu zbog toga nastale, toliko su male, da leže daleko izvan granica, koje bi toliko izmijenile rezultat izvoda, da bi se to radeći praktički sa Ehrlinghausovim kompenzatorom još uopće moglo konstatirati. Maksimalni nagibi kod Ehrlinghausovoga kompenzatora iznose 70° , a to je još toliko daleko od optičke osi kremenata, da cirkularna polarizacija njegova kod naših razmatranja ne dolazi u obzir.

Izraz (41) za razliku u hodu R (izraženu valnim dužinama kao jedinicom), koja nastane pri nagibu kombinirane pločice u Ehrlinghausovom kompenzatoru za kut i^0 iz početnoga položaja, svojim oblikom sasvim podsjeća na izraz (15), koji vrijedi za Berekov nagibni kompenzator. Razlika je samo u tom, što ovdje pred zagradom mjesto ω stoji ε i što su oba korijena u zagradi zbog optički pozitivnoga karaktera kremenata zamijenjena. Želimo li razliku u hodu imati izraženu u milimikronima, tad moramo izraz (41) pomnožiti sa valnom dužinom λ izraženom u milimikronima, pa ćemo dobiti, da je razlika u hodu R izražena milimikronima jednaka

$$R = d \varepsilon \left(\sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\varepsilon^2}} - \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{\omega^2}} \right) \quad (42)$$

gdje je debljina d svake od obje pločice u kombiniranoj pločici kompenzatora također izražena milimikronima.

Slično kao kod Berekovoga kompenzatora i tu bi se svaki od oba korijena u zagradi mogao razviti po binomskom stavku, nakon čega bismo ovdje mogli razliku u hodu prikazati kao umnožak

konstante kompenzatora C_λ , koja bi sa valnom dužinom svjetla upotrijebljenoga pri mjerenjima mijenjala svoju vrijednost, i funkcije nagiba i^0 pločice kompenzatora, t. j. $R = C_\lambda \cdot f(i)$.

Za razliku od kalcita mehanička svojstva kremenata pri brušenju su međutim toliko povoljna, da se mogu uvijek od njega izbrusiti pločice točno određene debljine, ukoliko se ne radi o suviše tankim pločicama. Radi toga se tvrtka ZeiB-Winkel u Göttingenu odlučila, da kombinirane pločice običnih Ehringhausovih kompenzatora izrađuje od dvije planparalelne pločice optički što homogenijega kremenata, od kojih je svaka debela točno 1 mm (= 1000000 $m\mu$), a promjer im iznosi 6—7 mm (lit. 13, 402) tako, da debljina kombinirane pločice u kompenzatoru iznosi 2 mm. Uz te uslove formula (42) prelazi u formulu

$$R = 1000000 \left(\sqrt{\varepsilon^2 - \sin^2 i} - \frac{\varepsilon}{\omega} \sqrt{\omega^2 - \sin^2 i} \right) \quad (43)$$

Iz te formule se vidi, da će za određenu spektralno homogenu vrstu svjetla razlika u hodu R zavisiti samo o nagibu i^0 kompenzatorove pločice iz početnoga položaja, budući da su ω i ε za isto svjetlo također stalni. Na taj se način može za sve Ehringhausove kompenzatore upotrebljavati jedna te ista tabela, koja je jednom za vazda proračunana na temelju formule (43). Pomoću te tabele može se iz svakoga nagiba i^0 za sve vrijednosti između 0^0 i 70^0 uz postepeni porast od $0,1^0$ odmah izvaditi pripadna vrijednost razlike u hodu u milimikronima sa točnosti od $\pm 0,02$ do $\pm 0,05 m\mu$. Tabela je konstruirana za valne dužine spektralnih linija C, D i F. Služeći se njom ne trebamo vršiti nikakva izračunavanja izuzev jednostavnu interpolaciju za međuvrijednosti, kojih nema u tabeli.

Čitanja za nagibe na jednu i drugu stranu od početnoga položaja pločice mogu se vršiti točno na $0,05^0$. Uz netom spomenutu debljinu kombinirane pločice od 2 mm mogu se uz nagibe $i = 68,5^0$ mjeriti još razlike u hodu, koje idu do 7 valnih dužina natrijskoga svjetla, što je ekvivalentno sa $6\frac{1}{2}$ valnih dužina za svjetlo C-linije i $8\frac{1}{2}$ valnih dužina za svjetlo F-linije spektra (lit. 13, 398). Sa prilično dobrom točnosti mogu se mjeriti razlike u hodu sve do 1 $m\mu$ (lit. 13, 406).

Nešto kasnije konstruirao je Ehringhaus kompenzator sa vrlo visokim dosegom upotrebivši mjesto kremenih pločica debelih 1 mm kremene pločice debele 10 mm (lit. 14), kojima je tada i promjer bio veći (barem 20 mm). Sa takvim kompenzatorom mogle su se mjeriti razlike u hodu do 66 valnih dužina natrijskoga svjetla. Umetanjem kremenih pločica brušenih paralelno optičkoj osi kremenata debelih 4,3 mm i 8,6 mm u položaju suptrakcije prema vibracionim smjerovima kristalnoga presjeka, koji se ispituje, mogla se dohvatljiva razlika u hodu povisiti još za vlastitu razliku u hodu obih spomenutih pločica, koja za prvu od njih iznosi 66, a za drugu 132 valne dužine Na-svijetla tako, da se mogla dohvatiti maksimalna razlika od 198 valnih dužina Na-svijetla. Zbog velike deblji-

ne kombinirane pločice toga kompenzatora (20 mm), zbog velikoga njenoga promjera (bar 20 mm) kao i zbog potrebe, da radi svoje velike debljine takav kompenzator bude ugrađen u savršeno telecentrički tok svjetlosnih zraka, može se on upotrebljavati samo u posebno konstruiranom mikroskopskom stativu.

Ako se međutim mjesto pločica od kremenca, koji ima slab dvolom, za konstrukciju kombinirane pločice uzme mineral visokoga dvoloma, na pr. kalcit, tad se mogu konstruirati Ehringhausovi nagibni kompenzatori vrlo visokoga dosega u određivanju razlike u hodu uz normalnu veličinu njihovu. Oni se radi toga mogu bez ikakve smetnje upotrebljavati na svakom polarizacionom mikroskopu, jer se mogu namjestiti u procijep na dnu mikroskopskoga tubusa, kojemu visina iznosi 4 mm. Ehringhaus opisuje takav jedan kompenzator (lit. 14, 89), kojemu je kombinirana pločica sastavljena od dvije kalcitne pločice debele po 1 mm. Sa takvim kompenzatorom normalne veličine mogu se mjeriti razlike u hodu, koje idu preko 130 valnih dužina Na-svijetla.

LITERATURA

1. BIOT, J. B., Précis élémentaire de Physique expérimentale, vol. 2, 572, Paris 1824. — Citirano po Rosenbusch, H. — Wülfing, E. A., Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. Band I, erste Hälfte: Untersuchungsmethoden. Fünfte, völlig umgestaltete Auflage. Stuttgart 1921/24.
2. NIKITIN, W., Drehbarer Compensator für Mikroskope. — Zeitschr. für Krystallographie 47 (1910) 378—379.
3. NIKITIN, W. W., La méthode universelle de Fedoroff. Tome 1 et 2 et Atlas. Genève, Paris et Liège 1914.
4. BEREK, M., Zur Messung der Doppelbrechung hauptsächlich mit Hilfe des Polarisationsmikroskops. — Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Jahrgang 1913 (1913) 388—396, 427—435 i 464—470.
5. ROSENBUSCH, H.—WÜLFING, E. A., Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. Band I, erste Hälfte: Untersuchungsmethoden. Fünfte, völlig umgestaltete Auflage. Stuttgart 1921/24.
6. BEREK, M., Berichtigung und Nachtrag zu meiner Mitteilung »Zur Messung der Doppelbrechung usw.« — Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Jahrgang 1913 (1913) 580—582.
7. BEREK, M., Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin 1924.
8. HINTZE, C., Handbuch der Mineralogie. Band I, Abteilung 3, erste Hälfte. Berlin und Leipzig 1930.
9. MOSEBACH, R., Das Messen optischer Gangunterschiede mit Drehkompensatoren. — Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, Bd. 1 (1949) 515—523.
10. MOSEBACH, R., Eine Differenzmethode zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und Erweiterung des Meßbereiches normaler Drehkompensatoren. — Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, Bd 2 (1950) 167—171.

11. MOSEBACH, R., Ein einfaches Verfahren zur Erhöhung der Meßgenauigkeit kleiner optischer Gangunterschiede. — Heidelberg Beiträge zur Mineralogie und Petrographie, Bd. 2 (1950) 172—175.
12. EHRINGHAUS, A., Drehbare Kompensatoren aus Kombinationsplatten doppelbrechender Kristalle. Zeitschr. für Kristallographie 76 (1931) 315—321.
13. EHRINGHAUS, A., Ein Drehkompensator aus Quarz mit grossem Meßbereich bei hoher Meßgenauigkeit. Zeitschr. für Kristallographie 98 (1938) 394—406.
14. EHRINGHAUS, A., Drehkompensatoren mit besonders großem Meßbereich. — Zeitschr. für Kristallographie 102 (1940) 85—111.

Ljudevit Barić

DREHKOMPENSATOREN

ZUSAMMENFASSUNG

Nach kurzer historischer Einleitung wird die Beschreibung und die Theorie des Kalkspatkompensators nach M. Berek gegeben. Es wird eingehend die Bestimmung der Kompensatorkonstante beschrieben. Besonders wird die von Berek angegebene Art der Berechnung der Kompensatorkonstante für verschiedene Lichtarten auseinandergesetzt unter der Voraussetzung, dass diese Konstante für eine Wellenlänge, z. B. für das Na-Licht bekannt ist.

Danas werden drei Arten der Berechnung des Gangunterschiedes aus den beiden ermittelten Kompensationsstellungen angegeben. Das kann nämlich 1) auf logarithmischen Wege, 2) auf graphischem Wege und 3) mit dem Rechenschieber erfolgen.

Die von Mosebach beschriebenen Verfahren zur Erhöhung der Messgenauigkeit kleiner optischer Gangunterschiede und zur Erweiterung des Messbereiches normaler Drehkompensatoren werden auseinandergesetzt. Dasselbe kann man auch durch Zuschalten von Platten mit genau bekanntem Gangunterschied erzielen (Kapitel VI.).

Zum Schluss wird die Theorie und die Beschreibung des Kombinationsquarzplatten-Kompensators nach Ehringhaus beschrieben. Kurz werden auch die Drehkompensatoren mit besonders grossem Messbereich erwähnt.

Verschiedene Bestimmungsmöglichkeiten werden durch praktische Beispiele illustriert.

Tabela I
log f (l)

i	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	—	4.484	5.086	5.438	5.688	5.882	6.040	6.174	6.290	6.392
1	6.484	6.566	6.642	6.712	6.776	6.836	6.892	6.945	6.994	7.041
2	7.086	7.128	7.169	7.207	7.244	7.280	7.314	7.346	7.378	7.408
3	7.438	7.466	7.494	7.521	7.547	7.572	7.596	7.620	7.643	7.666
4	7.688	7.709	7.730	7.750	7.770	7.790	7.809	7.828	7.846	7.864
5	7.881	7.898	7.915	7.932	7.948	7.964	7.980	7.995	8.010	8.025
6	8.039	8.054	8.068	8.082	8.095	8.109	8.122	8.135	8.148	8.161
7	8.173	8.185	8.198	8.210	8.221	8.233	8.244	8.256	8.267	8.278
8	8.289	8.300	8.310	8.321	8.331	8.341	8.352	8.361	8.371	8.381
9	8.391	8.400	8.410	8.419	8.429	8.438	8.447	8.456	8.465	8.473
10	8.482	8.491	8.499	8.508	8.516	8.524	8.532	8.541	8.549	8.557
11	8.564	8.572	8.580	8.588	8.595	8.603	8.610	8.618	8.625	8.632
12	8.640	8.647	8.654	8.661	8.668	8.675	8.682	8.689	8.695	8.702
13	8.709	8.715	8.722	8.728	8.735	8.741	8.748	8.754	8.760	8.766
14	8.773	8.779	8.785	8.791	8.797	8.803	8.809	8.815	8.820	8.826
15	8.832	8.838	8.843	8.849	8.855	8.860	8.866	8.871	8.877	8.882
16	8.888	8.893	8.898	8.904	8.909	8.914	8.919	8.924	8.929	8.935
17	8.940	8.945	8.950	8.955	8.960	8.965	8.969	8.974	8.979	8.984
18	8.989	8.993	8.998	9.003	9.007	9.012	9.017	9.021	9.026	9.030
19	9.035	9.039	9.044	9.048	9.053	9.057	9.062	9.066	9.070	9.075
20	9.079	9.083	9.087	9.092	9.096	9.100	9.104	9.108	9.112	9.116
21	9.120	9.124	9.128	9.132	9.136	9.140	9.144	9.148	9.152	9.156
22	9.160	9.164	9.168	9.172	9.175	9.179	9.183	9.187	9.190	9.194
23	9.198	9.201	9.205	9.209	2.212	9.216	9.220	9.223	9.227	9.230
24	9.234	9.237	9.241	9.244	9.248	9.251	9.255	9.258	9.262	9.265
25	9.268	9.272	9.275	9.278	9.282	9.285	9.288	9.292	9.295	9.298
26	9.301	9.305	9.308	9.311	9.314	9.318	9.321	9.324	9.327	9.330
27	9.333	9.336	9.339	9.343	9.346	9.349	9.352	9.355	9.358	9.361
28	9.364	9.367	9.370	9.373	9.376	9.379	9.382	9.384	9.387	9.390
29	9.393	9.396	9.399	9.402	9.405	9.407	9.410	9.413	9.416	9.419
30	9.421	9.424	9.427	9.430	9.432	9.435	9.438	9.441	9.443	9.446
31	9.448	9.451	9.454	9.456	9.459	9.462	9.464	9.467	9.469	9.472

Tabela II
Logaritmi prirodnih brojeva

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	000	004	009	013	017	021	025	029	033	037
11	041	045	049	053	057	061	064	068	072	076
12	079	083	088	090	093	097	100	104	107	111
13	114	117	121	124	127	130	134	137	140	143
14	146	149	152	155	158	161	164	167	170	173
15	176	179	181	185	188	190	193	196	199	201
16	204	207	210	212	215	217	220	223	225	228
17	230	233	236	238	241	243	246	248	250	253
18	255	258	260	262	265	267	270	272	274	276
19	279	281	283	286	288	290	292	294	297	299
20	301	303	305	307	310	312	314	316	318	320
21	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340
22	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360
23	362	364	365	367	369	371	373	375	377	378
24	380	382	384	386	387	389	391	393	394	396
25	398	400	401	403	405	407	408	410	412	413
26	415	417	418	420	422	423	425	427	428	430
27	431	433	435	436	438	439	441	442	444	446
28	447	449	450	452	453	455	456	458	459	461
29	462	464	465	467	468	470	471	473	474	476
30	477	479	480	481	483	484	486	487	489	490
31	491	493	494	496	497	498	500	501	502	504
32	505	507	508	509	511	512	513	515	516	517
33	519	520	521	522	524	525	526	528	529	530
34	531	533	534	535	537	538	539	540	542	543
35	544	545	547	548	549	550	551	553	554	555
36	556	558	559	560	561	562	563	565	566	567
37	568	569	571	572	573	574	575	576	577	579
38	580	581	582	583	584	585	587	588	589	590
39	591	592	593	594	595	597	598	599	600	601
40	602	603	604	605	606	607	609	610	611	612
41	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622
42	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632
43	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642
44	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652
45	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662
46	663	664	665	666	667	667	668	669	670	671
47	672	673	674	675	676	677	678	679	679	680
48	681	682	683	684	685	686	687	688	688	689
49	690	691	692	693	694	695	695	696	697	698
50	699	700	701	702	702	703	704	705	706	707
51	708	708	709	710	711	712	713	713	714	715
52	716	717	718	718	719	720	721	722	723	723
53	724	725	726	727	728	728	729	730	731	732
54	732	733	734	735	736	736	737	738	739	740

Tabela II
Nastavak

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	740	741	742	743	744	744	745	746	747	747
56	748	749	750	751	751	752	753	754	754	755
57	756	757	757	758	759	760	760	761	762	763
58	763	764	765	766	766	767	768	769	769	770
59	771	772	772	773	774	775	775	776	777	777
60	778	779	780	780	781	782	782	783	784	785
61	785	786	787	787	788	789	790	790	791	792
62	792	793	794	794	795	796	797	797	798	799
63	799	800	801	801	802	803	803	804	805	805
64	806	807	808	808	809	810	810	811	812	812
65	813	814	814	815	816	816	817	818	818	819
66	820	820	821	822	822	823	823	824	825	825
67	826	827	827	828	829	829	830	831	831	832
68	833	833	834	834	835	836	836	837	838	838
69	839	839	840	841	841	842	843	843	844	844
70	845	846	846	847	848	848	849	849	850	851
71	851	852	852	853	854	854	855	856	856	857
72	857	858	859	859	860	860	861	862	862	863
73	863	864	865	865	866	866	867	867	868	869
74	869	870	870	871	872	872	873	873	874	874
75	875	876	876	877	877	878	879	879	880	880
76	881	881	882	883	883	884	884	885	885	886
77	886	887	888	888	889	889	890	890	891	892
78	892	893	893	894	894	895	895	896	897	897
79	898	898	899	899	900	900	901	901	902	903
80	903	904	904	905	905	906	906	907	907	908
81	908	909	910	910	911	911	912	912	913	913
82	914	914	915	915	916	916	917	918	918	919
83	919	920	920	921	921	922	922	923	923	924
84	924	925	925	926	926	927	927	928	928	929
85	929	930	930	931	931	932	932	933	933	934
86	934	935	936	936	937	937	938	938	939	939
87	940	940	941	941	942	942	942	943	943	944
88	944	945	945	946	946	947	947	948	948	949
89	949	950	950	951	951	952	952	953	953	954
90	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
91	959	960	960	960	961	961	962	962	963	963
92	964	964	965	965	966	966	967	967	968	968
93	968	969	969	970	970	971	971	972	972	973
94	973	974	974	975	975	975	976	976	977	977
95	978	978	979	979	980	980	980	981	981	982
96	982	983	983	984	984	985	985	985	986	986
97	987	987	988	988	989	989	989	990	990	991
98	991	992	992	993	993	993	994	994	995	995
99	996	996	997	997	997	998	998	999	999	000

Tabela III

10 000 f (i)

i	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0 ⁰	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.1	1.5	1.9	2.5
1	3.0	3.7	4.4	5.1	6.0	6.9	7.8	8.8	9.9	11.0
2	12.2	13.4	14.7	16.1	17.5	19.0	20.6	22.2	23.9	25.6
3	27.4	29.3	31.2	33.2	35.2	37.3	39.5	41.7	44.0	46.3
4	48.4	51.2	53.7	56.3	58.9	61.6	64.4	67.2	70.1	73.1
5	76.1	79.1	82.3	85.5	88.7	92.0	95.4	98.8	102.3	105.9
6	109.5	113.2	116.9	120.7	124.6	128.5	132.5	136.5	140.6	144.8
7	149.0	153.3	157.6	162.0	166.5	171.0	175.6	180.2	184.9	189.6
8	194.5	199.3	204.3	209.3	214.4	219.5	224.6	229.9	235.2	240.5
9	245.9	251.4	257.0	262.6	268.2	273.9	279.7	285.5	291.4	297.4
10	303.4	309.5	315.6	321.8	328.1	334.4	340.7	347.2	353.7	360.2
11	366.8	373.5	380.2	387.0	393.8	400.8	407.7	414.7	421.8	428.9
12	436.1	443.4	450.7	458.1	465.5	473.0	480.6	488.2	495.8	503.5
13	511	519	527	535	543	551	559	567	576	584
14	592	601	609	618	626	635	644	653	661	670
15	679	688	697	706	716	725	734	743	753	762
16	772	781	791	801	810	820	830	840	850	860
17	870	880	890	901	911	921	932	942	953	963
18	974	985	996	1006	1017	1028	1039	1050	1061	1072
19	1084	1095	1106	1118	1129	1141	1152	1164	1175	1187
20	1199	1211	1222	1234	1246	1258	1270	1283	1295	1307
21	1319	1332	1344	1357	1369	1382	1394	1407	1420	1432
22	1445	1458	1471	1484	1497	1510	1523	1537	1550	1563
23	1577	1590	1603	1617	1631	1644	1658	1672	1685	1699
24	1713	1727	1741	1755	1769	1783	1797	1812	1826	1840
25	1855	1869	1884	1898	1913	1927	1942	1957	1972	1987
26	2001	2016	2032	2046	2062	2077	2092	2107	2123	2138
27	2153	2169	2184	2200	2215	2231	2247	2262	2278	2294
28	2310	2326	2342	2358	2374	2390	2407	2422	2439	2455
29	2471	2488	2504	2521	2537	2554	2570	2587	2604	2620
30	2637	2654	2671	2688	2705	2722	2739	2756	2773	2791
31	2808	2825	2843	2860	2877	2895	2912	2930	2947	2965