

6.2. Vedeliku murdumisnäitaja määramine Abbe refraktomeetriga

6.2.1. Tööülesanne

Abbe refraktomeetri ehituse ja tööpõhimõttega tutvumine. Suhkru- või soolalahuse murdumisnäitaja ja dispersiooni määramine sõltuvalt kontsentratsioonist. Klaasplaadi murdumisnäitaja määramine.

6.2.2. Katsevahendid

Abbe refraktomeeter, uuritavad vedelikud või ained nende valmistamiseks, destilleeritud vesi, tükike vatti.

6.2.3. Vajalikud eelteadmised

Tarvis on teada valguse peegeldumis- ja murdumisest, täielikku peegeldumist, piirnurga ja aine dispersiooni mõistet ning dispersiooni iseloomustavaid suursi.

6.2.4. Töö käik

6.2.4.1. Teoreetilised alused

6.2.4.1.1. Sissejuhatus

Ühest keskkonnast teise minnes muudab valguskiir keskkondade piiril oma levimissuunda ehk murdub. Murdumisestuse järgi asub murdunud kiir 1" (jn. 6.2.1) ühes tasandis langeva kiirega 1 ja selle langemispunkti keskkondade eralduspinnale tõmmatud normaaliga \vec{N} . Langemisenurga α siinuse suhe murdumisenurga γ siinusesse on antud ainepaari jaoks konstantne suurus:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}. \quad (6.2.1)$$

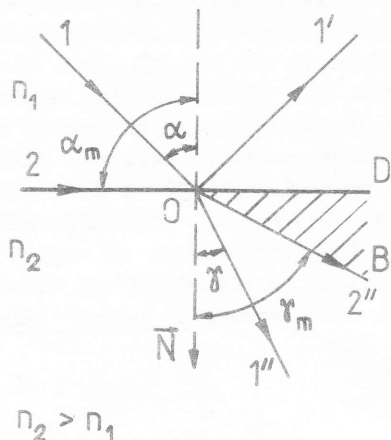
Suurst n_{21} nimetatakse teise aine (see, millesse kiir läheb) suheliseks murdumisnäitajaks esimese aine suhetes.

Mingi aine murdumisnäitajat vaakumi suhtes nimetatakse selle aine absoluutseks murdumisnäitajaks^{*}. Võib tõestada,

^{*} Sõna "absoluutne" jäetakse tihti ära ja siis räägitakse lihtsalt antud aine murdumisnäitajast, pidades silmas, et see on määratud vaakumi suhtes.

et kahe aine suhteline murdumisnäitaja võrdub nende absoluutsete murdumisnäitajate suhtega. Kui esimese ja teise aine absoluutsed murdumisnäitajad on n_1 ja n_2 , siis on teise aine suhteline murdumisnäitaja esimese suhtes

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6.2.2)$$



Joonis 6.2.1. Valguse murdumine optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda:

1 ja 2 - langevad valguskiired; 1' - peegeldunud, 1'' ja 2'' - murdunud valguskiired, \vec{N} - pinnenormaal.

Praktikas mõõdetakse väga tihti (ja see on otstarbekas) aine murdumisnäitajat õhu suhtes. Absoluutsed murdumisnäitajad on viimastest ligikaudu 1,0003 korda suuremad. Tabelites on harilikult esitatud absoluutsed murdumisnäitajad.

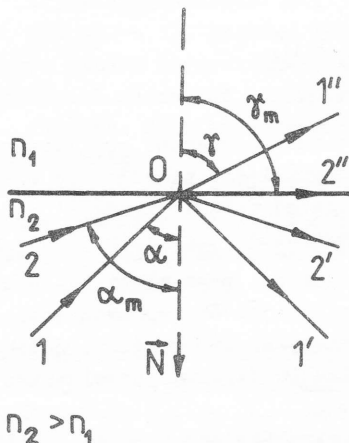
Suurema murdumisnäitajaga aine on optiliselt tihedam väiksema murdumisnäitajaga ainest.

6.2.4.1.2. Abbe refraktomeetri ehitus ja tööpõhimõte

Refraktomeetriteks nimetatakse riistu, mis on ette

nähtud murdumisnäitaja määramiseks.

Enne kui asume kirjeldama Abbe refraktomeetrit, vaatleme valguskiire üleminekut optiliselt hõredamast ainest optiliselt tihedamasse (jn. 6.2.1). Ülalesitatud kahest valemist järeldub vahetult, et sellisel juhul on murdumisnurk väiksem langemisnurgast (välja arvatud normaalne langemine, mil need nurgad on võrdsed). Suurim murdumisnurk γ_m vastab langemisnurgale 90° . Joonisel 6.2.1 on kujutatud nendele nurkadele vastavad kiired 2 ja 2". Murdumine suurema murdumisnurga all kui γ_m ei ole võimalik. Seepärast valgus, mis jõuab kahe aine lahutuspinnale punktis O, ei levi suundade OD ja OB vahel. Kui valgus langeb keskkonna lahutuspinnale optiliselt tihedama keskkonna poolt, siis on murdumisnurk γ alati suurem langemisnurgast α (jn. 6.2.2). Nurgale $\alpha = \alpha_m$ vastab murdumisnurk $\gamma_m = 90^\circ$. Kui langemisnurk $\alpha > \alpha_m$, siis valgus peegeldub täielikult tagasi optiliselt tihedamasse keskkonda. Seda nähtust nimetatakse valguse täielikuks peegeldumiseks.



Joonis 6.2.2. Valguse murdumine optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda: 1 ja 2 - langevad, 1' ja 2' - peegeldunud, 1'' ja 2'' - murdunud valguskiired, N - pinnanormaal.

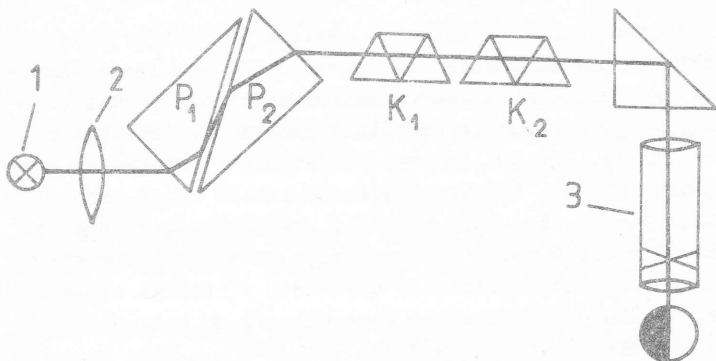
Mõlemal kirjeldatud juhul kehtib seos (6.2.3):

$$\sin \alpha_m = \frac{n_1}{n_2} \sin 90^\circ = \frac{n_1}{n_2} = n_{12}. \quad (6.2.3)$$

Kui mõõta nurk α_m , saame arvutada murdumisnäitaja n_{12} , ja kui ühe keskkonna absoluutne murdumisnäitaja n_2 on teada, saame leida ka teise keskkonna absoluutse murdumisnäitaja n_1 .

Eespoolkirjeldatud kasutataksegi murdumisnäitaja määramisel Abbe refraktomeetriga.

Abbe refraktomeetri põhilisteks osadeks on kaks prisma P_1 ja P_2 ja pikksilm (jn. 6.2.3).



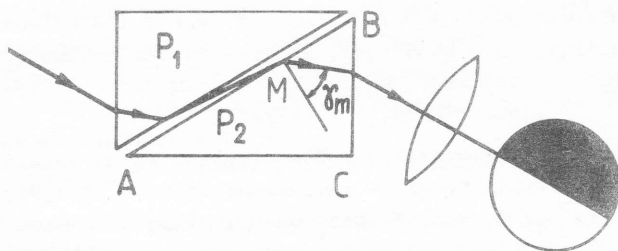
Joonis 6.2.3. Abbe refraktomeetri skeem: 1 - valgusallikas, 2 - kondensor, P_1 - valgustav prisma, P_2 - mõõteprisma, K_1 ja K_2 - kompensatori otsevaateprismad, 3 - pikksilm.

Prismat P_2 nimetatakse mõõteprismaks. Ta on valmistatud raskest flindist, mille murdumisnäitaja on $\approx 1,74$. Mõõteprisma tahud, mis on pööratud pikksilma ja prisma P_1 poole (viimast nimetatakse sisendtahuks), on hoolikalt poleeritud. Prismat P_1 nimetatakse valgustavaks prismaks. Tema tahk, mis on pööratud prisma P_2 poole, on mateeritud. Refraktomeetri töö seisukohalt ei ole valgustava prisma

klaasi sordil mingit tähtsust.

Uuritav vedelik paigutatakse prismade vahele, kus ta moodustab õhukese tasaparalleelse kihi. Valgus langeb prisma P_1 otsatahule, läbib prisma ja jõuab mateeritud pinnale, kus hajub. Seetõttu võime pinna iga punkti vaadelda valgusallikana, kust valgus levib vedelikku kõikides suundades. Läbinud õhukese vedelikukihi, langeb valgus mõõteprisma sisendtahule nii, et langemisnurk varieerub $0^\circ \dots 90^\circ$ -ni. Mõõteprismas on sel juhul kiirte murdumisnurgad vahemikus $0^\circ \dots \gamma_m$. Piirnurga suurus, nagu selgus eespool, on määratud prisma ja uuritava vedeliku murdumisnäitajate suhtega. Mõõteprismast väljumisel murdub valgus veel kord ja langeb siis pikksilma, mis on teravustatud lõpmatusse (jn. 6.2.3).

Joonisel 6.2.4 on näidatud selline valguskiir, mis langeb mõõteprisma tahule AB peaaegu 90° -se langemisnurga all. Murdumisnurk on sel juhul praktiliselt võrdne piirnurgaga γ_m . Samasse lahutuspinna punkti M langevad ka kiired, mille $\alpha < 90^\circ$ ja need murduvad nii, et vastav murdumisnurk $\gamma < \gamma_m$. Niisugune olukord kehtib kõigi pinna AB punktide korral. Kui nüüd pikksilm asetada nii, et tema optiline telg ühtib nende mõõteprismast väljuvate valguskiirte sihiga, mis mõõteprismasse sisenesid piirnurga all, siis näeme, et üks pool pikksilma vaateväljast on valgustatud, teine aga mitte (vt. jn. 6.2.4).

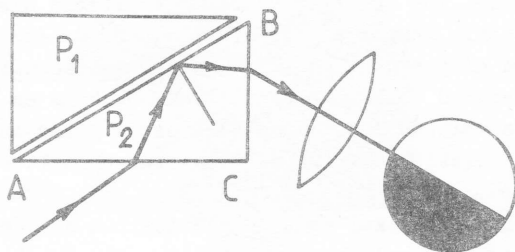


Joonis 6.2.4. Kiire käik Abbe refraktomeetri mõõtepeas.

Ühe vedeliku asendamine teisega muudab ka piirnurka. Selleks, et taastuks endine pilt pikksilmas (pool vaateväljast on valgustatud, pool tume), peame pikksilma pöörama teatava nurga võrra. Kasutades tuntud murdumisnäitajaga vedelikke, võime igale eespoolkirjeldatud pikksilma asendile seada vastavusse murdumisnäitaja väärtuse, ehk teisiti öeldes - me võime pikksilma pöördenurga gradueerida murdumisnäitaja väärtuste järgi.

Järelikult selleks, et Abbe refraktomeetriga määrata vedeliku murdumisnäitajat, peame pikksilma pöörama seni, kuni niitristi keskpunkt satub heleda ja tumeda ala piirjoonele. Vedeliku murdumisnäitaja väärtuse saame nüüd skaalalt leida.

On võimalik kasutada murdumisnäitaja määramiseks ka täieliku peegelduse meetodit. Sel juhul langeb valgus mõõteprisma tahule AC ja peegeldub vedeliku ning prisma P_2 sisendtahul AB lahutuspinna pealt (jn. 6.2.5).



Joonis 6.2.5. Läbipaistmatu vedeliku murdumisnäitaja määramine.

Eespooltoodud Abbe refraktomeetri töö põhimõtte kirjeldamisel me eeldasime, et valgus on monokromaatne. Seetõttu on pikksilmas valgustatud ja valgustamata ala piir teravalt näha. Kui aga valgustamiseks kasutada näiteks päeva- valgust või hõõglambi valgust (nii nagu see tegelikult toimub), muutub piir värviliseks ja tema asukoht täpselt fikseerimatuks. Sellise olukorra põhjustab valguse dispersioon vedelikus, s.t. vedeliku murdumisnäitaja sõltuvus val-

guse lainepikkusest. Et mõõta oleks võimalik ka valge valguse kasutamisel, peab tekkiva dispersiooni kompenseerima. Nii ongi Abbe refraktomeetril dispersiooni kompensator. See koosneb kahest otsevaateprismast. Kumbki otsevaateprisma koosneb omakorda kahest kroonklaasist ja ühest flintklaasist kokku kleebitud prismast. Osaprisamad valmistatakse nii, et valgus, mis langeb prismale paralleelselt alusega, lahutatakse küll spektriiks, kuid sellele vaatamata ei muutu kiirte keskmine levimissuund (kollased kiired väljuvad prismast langenud kiire sihil), sellest ka nimetus otsevaateprisma.

Nupust 4 (jn. 6.2.6) saab pöörata mõlemat kompensatori prisma üheaegselt, kuid prismad pöörduvad vastupidistes suundades. See võimaldab dispersiooni muuta maksimaalsest väärtusest kuni nullini. Kuna kompensatorile langeb vedelikus dispergeeritud valgus, siis võime, muutes prisma pööramisega pidevalt kompensatori dispersiooni, saavutada olukorra, kus uuritava vedeliku tekitatud dispersiooni kompenseerib kompensatori dispersioon. Öeldakse ka, et on toimunud dispergeeritud valguse akromatiseerimine. Kui akromatiseeritud valgus langeb pikksilma, siis on taas valgustatud ja valgustamata vaatevälja osade piirjoon selgelt näha ja niitristi keskpunkt reguleeritav täpselt sellele piirjoonele.

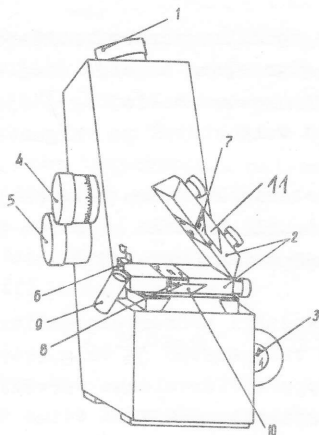
Teiselt poolt, kui vedelikust tingitud dispersioon on kompensatori poolt kompenseeritud, siis juhul, kui me teaksime kompensatori igale asendile vastavat dispersiooni suurust, saaksime teada ka vedeliku keskmise dispersiooni. Praktikumis kasutatav refraktomeeter võimaldab määrata ka vedeliku keskmise dispersiooni.

6.2.4.2. Eksperiment

6.2.4.2.1. Refraktomeetri ИРФ-454 kirjeldus ja sellega töötamine

Refraktomeetri ИРФ-454 skemaatiline välisvaade on toodud joonisel 6.2.6.

Refraktomeetri korpusele on paigaldatud mõõtepea 2, milles asuvad mõõte- 8 ja valgustav prisma 7. Selleks, et



Joonis 6.2.6. Refraktomeetri MPD-454 olulisemad detailid: 1 - pikksilma okulaar, 2 - mõõtepea, 3 - peegel skaala valgustamiseks, 4 - kompensatorinupp, mis on ühendatud skaalaga trumliga, 5 - mõõtepeanupp, 6 - mõõtepeasulgur, 7 - valgustav prisma, 8 - mõõteprisma, 9 - termomeetri hoidja, 10 - peegel valguse suunamiseks mõõteprismasse, 11 - valgustava prisma kate.

leida valgustatud ja valgustamata vaatevälja osa eralduspiir ja viia see pikksilma vaateväljas oleva niitristini, tuleb pöörata mõõtepeanuppu 5 seni, kuni saavutatakse vaatevälja soovitud asend. Nupu 4 pööramisel pöörduvad kompensatori prismad, mis võimaldab likvideerida eralduspiiri värvilise riba. Koos kompensatoriga pöördub kompensatori trummel, mille skaalalt võetud lugemite järgi saab arvutada vedeliku keskmise dispersiooni.

Läbipaistva vedeliku murdumisnäitajat mõõdetakse läbivas valguses, s.t. valgus peab mõõtepeasse sisenema valgustava prisma 7 avatud akna kaudu. Selleks tuleb avada valgustava prisma aken 11, kuna mõõteprisma aken peab olema peegli 10 suletud.

Läbipaistmatu vedeliku murdumisnäitaja määramisel peab valgustava prisma aken olema suletud ning valgus juhatakse peegliiga 10 mõõteprismasse. Selle tagajärjel vahetavad pikksilmas nähtavad valgustatud ja valgustamata vaatevälja osad kohad.

Mõõtmiste alustamiseks avame kõigepealt mõõtepea. Puh-tale mõõteprisma pinnale kanname pipetiga 2 - 3 tilka uuri-tavat vedelikku ning suleme ettevaatlikult mõõtepeasulgu-ri 6.

Teravustame okulaari pööramisega niitristi ja pööra-tes nuppu 5, leiame valgustatud ja valgustamata ala piir-joone. Pöörates nuppu 4, kõrvaldame värvilise vöödi valgu-se ja varju eralduspiiril. Seejärel viime valgustatud ja valgustamata ala eralduspiiri täpselt ühte niitristiga ja võtame lugemi. Murdumisnäitaja täis-, kümnendik-, sajandik-ja tuhandikosad loetakse vahetult skaalalt, kümnetuhandi-kud hinnatakse silmaga. Nii saadud murdumisnäitaja väärtus vastab lainepikkusele 589 nm. Murdumisnäitaja väärtused on õiged 20 °C juures. Kui mõõtmisi tehakse 20 °C-st erineval temperatuuril, siis tuleb arvutada murdumisnäitajale pa-rand. Parandi arvutamiseks võime kasutada järgmist valemit:

$$\Delta n = 0,072 (t-20) 10^{-4}.$$

See valem on parandi arvutamiseks kasutatav temperatuuri-vahemikus 5...35 °C. Refraktomeeter ИФР-454 võimaldab mõõta murdumisnäitajat piirkonnas 1,3...1,7 täpsusega $\pm 2 \cdot 10^{-4}$.

Refraktomeetriga ИФР-454 saab määrata ka uuritava aine keskmise dispersiooni ($n_F - n_C$), mis võimaldab leida Abbe arvu. Nende suuruste arvutamiseks peame teadma kom-penseatori trumli näitu Z ja murdumisnäitajat n_D . Arvutus-te skeem on toodud lisa 7.1. Keskmise dispersiooni mõõt-mise täpsus on $1,5 \cdot 10^{-4}$.

6.2.4.2.2. Mõõtmised

Antud töös on vaja mõõta vee ja juhendaja poolt mää-ratud nelja lahuse murdumisnäitaja ja dispersioon. Enne iga mõõtmist tuleb mõõtepea mõlemad prismad puhastada des-

tilleeritud vees niisutatud vatitükiga ja seejärel kuivatada. Seejuures on vaja meeles pidada, et prisma materjal (flint) on pehme ja kergesti kriimustatav.

Iga vedeliku puhul viime valguse ja varju piiri niit-ristiga ühte kümme korda, reguleerides iga kord ka kompensatorit. Seejuures on vaja pooled mõõtmised teha kompensatori ühes asendis ja pooled teises, 180° võrra pööratud asendis. Mõõtmistulemused kanname otsekohe varem ettevalmistatud protokollile. Käesolevas töös võiks andmed kirjutada järgmisse tabelisse.

Uuritav aine:

	Kontsent- ratsioon	Mõõtmise nr.	I		II	
			n_D	Z	n_D	Z
1.		1				
		2				
		3				
		.				
		.				
		10				
2.		1				
		2				
		3				
		.				
		.				
		10				

Pärast arvutusi esitame graafikul lahuse murdumisnäitaja ja keskmise dispersiooni sõltuvuse kontsentratsioonist. Tuleb valida mõistlik graafiku mastaap.

6.2.5. Küsimusi

1. Kui suur on maksimaalne murdumisnurk valguskiire siirdumisel õhust vette, õhust klaasi ja veest klaasi?
2. Miks läigivad õhumullid vees?
3. Selgitada, kuidas tekib vaateväljas värviline riba juhul, kui kompensator on kiirte teelt kõrvaldatud?
4. Mis määrab värvide järjekorra selles ribas (vt. küsi-

mus 3) ning kas see järjekord võib olla mõne teise uuritava aine korral vastupidine (anda üksikasjalik põhjendus)?

5. Selgitada, milline ülesanne on kompensatoril ning kuidas tema kaasabil värviline riba likvideeritakse (teha kiirte käiku kujutav joonis enne ja pärast kompensatorit).
6. Missugune peab olema vahevedeliku murdumisnäitaja ja miks?

Kirjandus

I. Ландсберг Г.С. М.: Наука, 1976. С. 482 - 488.

L i s a 7.1

Keskmise dispersiooni arvutamine refraktomeetriga
MPD-454 saadud andmete põhjal

Keskmine dispersioon arvutatakse valemi

$$n_D - n_C = A + \sigma B$$

järgi.

Siin valemis sisalduvad suurused A ja B leitakse tabelist 1 eksperimendis määratud murdumisnäitaja n_D põhjal. Kui tabelis 1 vajalikku murdumisnäitajat pole, siis leitakse A ja B interpoleerimise teel. Suurus σ leitakse tabelist 2 eksperimendist määratud kompensatori näidu Z põhjal. Mittetäisarvulise Z korral leitakse σ interpoleerimise teel.

Keskmise dispersiooni arvutamisel on vaja meeles pida, et kui Z väärtus ületab 30, on σ negatiivne.

Keskmise dispersiooni arvutamise näide

Oletame, et eksperiment andis järgmised tulemused:
Murdumisnäitaja $n_D = 1,3330$.
Kompensatori näidud:

	Ühelt poolt	Teiselt poolt
	36,4	36,4
	36,4	36,4
	36,3	36,4
	36,5	36,5
	36,5	36,4
Keskmine	36,4	36,4

Üldine keskmine Z = 36,4

Tabelitest leiame:

$$n_D = 1,3330 \text{ korral} \quad A = 0,023715$$

$$Z = 36,4 \text{ korral} \quad B = 0,053828$$

$$\sigma = -0,3286$$

Järelikult:

$$n_F - n_C = A + B\sigma = 0,02\ 372 - (0,05\ 383 \cdot 0,3286) = 0,00\ 603.$$

T a b e l 1

Andmetabel keskmise dispersiooni arvutamiseks

n_D	A	B	n_D	A	B
1,200	0,02444	0,03295	1,410	0,02342	0,02969
1,210	0,02438	0,03294	1,420	0,02338	0,02937
1,220	0,02432	0,03292	1,430	0,02336	0,02903
1,230	0,02426	0,03289	1,440	0,02333	0,02867
1,240	0,02420	0,03284	1,450	0,02330	0,02829
1,250	0,02414	0,03277	1,450	0,02330	0,02829
1,260	0,02408	0,03269	1,460	0,02328	0,02790
1,270	0,02403	0,03260	1,470	0,02326	0,02749
1,280	0,02397	0,03249	1,480	0,02324	0,02706
1,290	0,02392	0,03236	1,490	0,02323	0,02662
1,300	0,02387	0,03222	1,500	0,02321	0,02615
1,310	0,02382	0,03207	1,510	0,02320	0,02566
1,320	0,02377	0,03190	1,520	0,02320	0,02515
1,330	0,02373	0,03171	1,530	0,02319	0,02452
1,340	0,02368	0,03151	1,540	0,02319	0,02407
1,350	0,02364	0,03130	1,550	0,02320	0,02349
1,360	0,02360	0,03107	1,560	0,02320	0,02289
1,370	0,02356	0,03082	1,570	0,02321	0,02225
1,380	0,02352	0,03056	1,580	0,02323	0,02159
1,390	0,02348	0,03029	1,590	0,02325	0,02090
1,400	0,02345	0,03000	1,600	0,02328	0,02018

Tabel 2

Andmed σ määramiseks Z järgi

Z	σ	Z	Z	σ	Z
0	1,000	60	16	0,669	44
1	0,999	59	17	0,629	43
2	0,995	58	18	0,588	42
3	0,988	57	19	0,545	41
4	0,978	56	20	0,500	40
5	0,966	55	21	0,454	39
6	0,951	54	22	0,407	38
7	0,934	53	23	0,358	37
8	0,914	52	24	0,309	36
9	0,891	51	25	0,259	35
10	0,866	50	26	0,208	34
11	0,839	49	27	0,156	33
12	0,809	48	28	0,104	32
13	0,777	47	29	0,052	31
14	0,743	46	30	0,000	30
15	0,707	45			