

OPTISK KONTAKT MELLEM ET MIKROSKOP OG EN SPEJLENDE FLADE

I. TILVEJEBRINGELSE AF KONTAKTEN

AF

K. PRYTZ

(MEDDELT I MØDET DEN 16. DECEMBER 1904)

Man har ved flere Lejligheder Brug for at bestemme to spejlende Fladers indbyrdes Beliggenhed. Af særlig Betydning er de to Tilfælde: ved Trykmaaling at bestemme Højdeforskellen mellem to Kvægsølvoverflader og ved Maaling af et tilslebet fast Legemes Dimensioner at bestemme Afstanden mellem to slebne Flader.

Ved Indstilling paa en Kvægsølvoverflade er man i Reglen henvist til at bruge vandret Sigte med en Kikkert, medens den faste Flades Stilling sædvanlig bestemmes ved Følemaal, idet der tilvejebringes mekanisk Kontakt mellem Fladen og Endefladen af en Mikrometerskrue.

Kikkertindstillingens Nøjagtighed er begrænset, dels ved at der maa være en ret stor Afstand mellem Kikkerten og dens Objekt, dels ved at der sædvanlig er en buet Glasvæg at sigte igennem, og denne giver Anledning til Lysbrydninger, som ikke fuldt kunne kontrolleres.

Ved Følemaalet maa der altid øves et vist Tryk mod Fladen for at konstatere Berøringen, og dette Tryk giver Anledning til Bøjninger og Sammentrykninger, hvis Virkning let unddrager sig Kontrol.

For de Tilfælde, hvor de ovennævnte Vanskeligheder gør sig gældende, har jeg søgt at supplere de Fremgangsmaader, man raader over, ved at bruge Mikroskopet til Indstilling paa en spejlende Flade, saaledes at Mikroskopet er rettet ind mod Fladen. Dette kan, som bekendt ske, naar der paa Fladen er anbragt et mikroskopisk Objekt, og naar man kan give dette Objekt den fornødne Belysning. Indstiller man paa skarpt Syn af Objektet, er dets og dermed Fladens Afstand fra Objektivret ret nøjagtig bestemt. Da denne Fremgangsmaade dog ikke kan faa nogen almindelig Anvendelse, har jeg indrettet det saaledes, at Mikroskopet selv leverer Objektet i Form af et af Objektivret dannet virkeligt Billede af en i Mikroskopet fast anbragt Lyskilde; naar dette Billede falder i den spejlende Flade, er der hvad jeg kalder *optisk Kontakt* mellem Mikroskopet og Fladen. Denne vil danne et med Objektivbilledet sammenfaldende Spejlbillede, som sender Lys opad mod Mikroskopet. Forholdet er altsaa, som om der laa et lysende Objekt i Spejlfladen.

Mikroskopet udstyres i den Hensigt saaledes (Fig. 1): I Højde med det positive Okulars Brændplan anbringes et Siderør, hvorigennem der indføres en kegleformig Stang af en klar Glassort, Lyslederen σ , hvis inadvendende smalle Ende er bøjet kort om og sleben parallel med Stangens Længderetning; i den derved fremkomne, nedad mod Objektivret vendte, lille plane Flade er der ridset to fine, parallelle Streger i en indbyrdes Afstand af $\frac{1}{40}$ mm. Efter at have forsølvet Glasstangen, dog med Undtagelse af den brede Endeflade, sleb jeg Sølvlaget bort fra den smalle Endeflade saaledes, at dog det i Stregerne afsatte Sølv blev siddende; herved fremtræde Stregerne mørke paa lys Grund ved Brugen.

Gennem den ydre Endeflade af Glasstangen sendes der Lys ind; dette Lys vil ved Tilbagekastning naa den indre Endeflade og træde kraftig ud af denne, rettet ned mod Objektivret. Denne Flade bliver saaledes Lysgiveren σ , hvoraf

Objektivet danner det formindskede Billede σ' . Gennem Okularet ser man foreløbig intet, bortset fra det svage Lys, som kastes tilbage fra Objektivets Linseflader.

Okularet indstilles skarpt paa Randen af Lysgiveren σ eller paa et i dens Plan udspændt Traadkors. Fører man Mikroskopet frem mod en spejlende Flade AB , til Billedet σ' falder deri, vil Lyset kastes tilbage mod Objektivet og af dette blive brudt op mod Lysgiveren σ , hvorfra det er kommen; dette

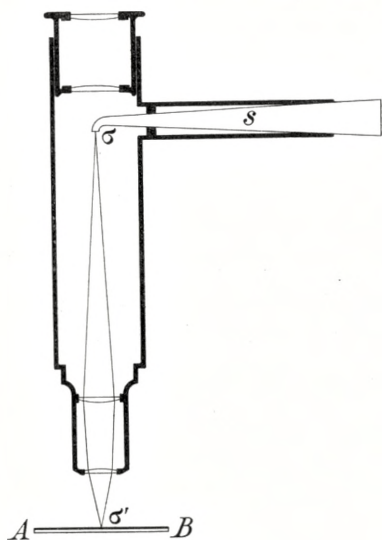


Fig. 1.

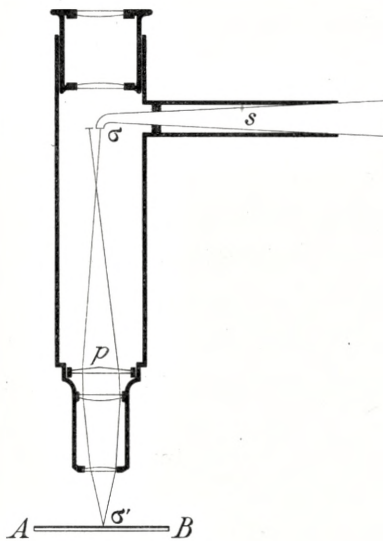


Fig. 2.

følger af det Ombytningsforhold, som bestaar mellem en lysende Genstand og dens Linsebillede. Man ser derfor i det givne Tilfælde intet gennem Okularet. Mørke i Mikroskopet viser, at der er optisk Kontakt. Forskydes Mikroskopet lidt op eller ned, ser man, at der udbreder sig en Lysning omkring Lysgiverens Rand; men selve det dannede Billede faar man ikke at se.

Allerede Tilvejebringelse af Mørke i Mikroskopet kan give en ganske god Indstilling paa optisk Kontakt; jeg var dog ikke tilfredsstillet derved; jeg ønskede at faa Billedet at se.

For at opnaa det, anbragte jeg tæt over Objektivets et lille Dobbeltprisme p (Fig. 2), dannet af en Glasplade, hvis ene Sideflade er sleben meget fladt tagformet, med en Rygvinkel paa $179^{\circ} 36'$, saa at hver af de to Halvdele danner et Prisme med en brydende Vinkel paa $12'$. Anbringelsen af Dobbeltprismet vil have til Følge, at Objektivets danner to meget nær ved hinanden liggende Billeder paa Spejlfladen AB ; da det Lys, som er gaaet nedad gennem det ene Prisme, efter at være tilbagekastet gaar opad gennem det andet, bliver Følgen at der ogsaa foroven under Okularet dannes to Billeder, som falder et paa hver Side af Lyskilden (Fig. 3). Begge Billeder bliver derfor synlige gennem Okularet, med mindre Prismekanterne, saaledes som det er vist i Fig. 2,

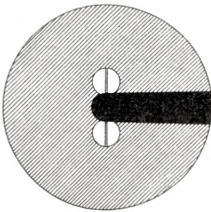


Fig. 3.

staar vinkelret paa Lyslederens Axe, i hvilket Tilfælde Lyslederen dækker det ene Billede. Fig. 3 viser hvad man ser i Synsfeltet, naar Prismekanterne er parallelle med Lyslederens Axe. Da der er rigeligt Lys, i alt Fald naar Spejlfladen AB er metallisk, skader det ikke, at de to Billeder maa dele Lysmængden.

Naar Dobbeltprismets Ryglinie er vinkelret paa de i Lysgiveren indridsede Streger, ses disse med al ønskelig Tydelighed i hvert Fald ved en Objektivforstørring paa indtil 20 Gange. Derimod er, trods den brydende Vinkels Lidenhed, Ufuldkommenheden ved Billeddannelsen i Prismet stor nok til at give uskarpe Billeder, naar Stregerne er parallelle med Rygvinkelen. Det skal bemærkes her, at Objektivets Forstørring er uden Indflydelse paa de to iagttagne Billeders Størrelse.

Man vil kunne erstatte Dobbeltprismet med en akromatisk Linse, som skæres igennem ved et Snit gennem Axen, og som atter samles, efter at der er bortslebet et Lag fra hver af de to Snitflader. Har Linsen en Brændevide paa omtr. 8 cm., og slibes der $\frac{1}{3}$ mm. bort af hver Linsehalvdel, vil den sammensatte Linse virke omtrent som Prismet, og man

vil formodenlig paa den Maade opnaa gode Billeder i alle Tilfældene. Jeg vil ved første Lejlighed iværksætte denne Ordning. Forøvrigt vil man kunne bruge et Dobbeltprisme med betydelig mindre brydende Vinkel end de $12'$.

Det med Lysleder og Prisme udstyrede Mikroskop bruges saaledes, at man forandrer dets Afstand til Spejlfladen, indtil Billedet af de to Streger viser sig saa skarpt som det kan blive.

Det er ikke nødvendigt, at Mikroskopets Axe er vinkelret paa Spejlfladen; drejes denne ud fra sin vinkelrette Stilling saaledes, at det af Objektivet dannede Billede vedbliver at falde i Fladen, da vil det ingen Indflydelse have paa de to Spejlbilleders Beliggenhed under Okularet; der vil kun gaa lidt Lys tabt, ved at det, tilbagekastet fra Spejlet, gaar forbi Objektivet, idet det træffer Indfatningen, medens man ved den vinkelrette Stilling faar næsten alt det tilbagekastede Lys igen ind i Mikroskopet. Det er ligeledes uden Indflydelse paa Billedernes Beliggenhed, om den spejlende Flade er krum eller plan. I denne Forbindelse skal det bemærkes, at Objektivbillederne er overordenlig smaa. Lysgiveren er omtrent 1 mm. i Diameter; da det Objektiv, jeg sædvanlig har anvendt, har Forstørrelsen 20, bliver hvert af de to Objektivbilleder kun omtrent $\frac{1}{20}$ mm. stort. Deres Centrers indbyrdes Afstand er henved $\frac{1}{10}$ mm., og Afstanden mellem de to Stregers Billeder bliver kun $\frac{1}{800}$ mm. stor.

Indstillingsnøjagtigheden. Det, man indstiller Mikroskopet paa, er Spejlbilledet af det af Objektivet dannede virkelige Billede σ' af Lysgiveren σ ; da dette Billede, ved en Forandring af Afstanden mellem Mikroskop og Spejl, flytter sig dobbelt saa meget som Spejlet i Forhold til Objektivet, bliver Indstillingsnøjagtigheden dobbelt saa stor som ved Indstillingen paa et virkeligt Objekt. For at faa en Bestemmelse af den har jeg indrettet det saaledes, at jeg kunde kontrollere den ved den omtrent 20 Gange saa nøjagtige Indstilling ved Lysinterferens; dette skete ved den i Fig. 4 skematisk viste Opstilling.

En Planglasplade P er spejlende forsølvet paa begge Sider; den er fæstet til en Slæde og kan forskydes ved Finskruen F . Paa den ene Side af Glaspladen er Mikroskopet Q med Lysleder og Dobbeltprisme anbragt, paa den anden Side en svagt buet Linse L , som sammen med Glaspladen skal danne Newtonske Interferensringe. Mikroskop og Linse er fæstede til Slædens Underlag.

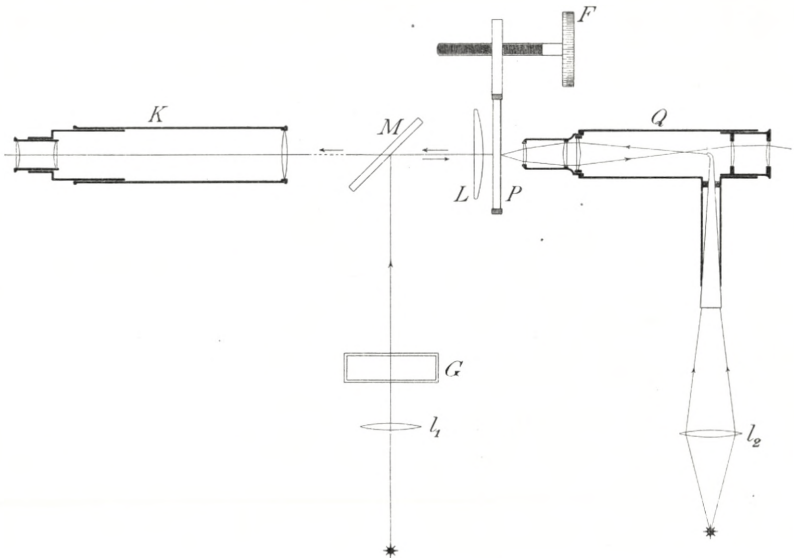


Fig. 4.

Linsen er gennemsigtig forsølvet paa den mod P vendende Side; det samme gælder det skraat stillede Planglas M . Som Lyskilde for Interferensen blev en Kvægsølvbuelampe fra Zeiss, konstrueret af Siedentopf, benyttet; den leverer et overordenlig kraftigt og ret konstant Lys ved en Strømstyrke paa 9 Ampère. Efter at være gjort parallelt ved Linsen l_1 kastes Lyset fra M ind mod Interferensglassene; herfra gaar det tilbagekastede Lys gennem M til Kikkerten K , i hvilken Interferensringene iagttages.

Der anbringes en Iagttager ved Mikroskopet og en anden

ved Kikkerten. Førstnævnte indstiller Glaspladen P til optisk Kontakt med Mikroskopet, hvorefter den anden noterer Interferensbilledets Plads i Forhold til Kikkertens Traadkors. Herefter bringes Glaspladen ud af Kontakt for straks efter paa ny at indstilles, og efter den ny Indstilling iagttages atter Interferensbilledets Plads; dette gentages, saa længe det kan ske, uden at Øjet trættes for meget. Af Afvigelserne i Interferensbilledets Plads ved de forskellige Indstillinger findes Middelfejlen ved Kontaktindstillingen.

Lysset fra Kvægsøvlampen gaar gennem et Glaskar G med en svag Opløsning af Kaliumbichromat, der absorberer det blaa Kvægsøvllys. Interferenslyset bestaar altsaa af det grønne og det gule Kvægsøvllys, som danner et pragtfuldt Interferensbillede, hvori de grønne Ringe er de fremherskende; mellem disse ser man i skiftende Række Grupper af sorte og gule Mellemrum, der variere efter en indviklet Periode, da det gule Lys indeholder to Bølgelængder. De gule Ringes Nærværelse gør det muligt at faa faste Holdepunkter i Billedet, idet man altid ved at foretage en ringe Forskydning af Pladen P kan fremskaffe en saadan indbyrdes Beliggenhed af gule og grønne Striber i Kikkertens Synsfelt, at man med Sikkerhed kan genkende en af Striberne efter dens Flytning, naar det kan forudsættes, at Billedet ved Flytningen kun kan være forskudt nogle faa Striber. Da særlige Forsøg havde vist, at denne Forudsætning var tilstede i nærværende Undersøgelse, opnaaedes det, at Iagttageren ved Kikkerten ikke behøvede at tælle det forbipasserende Antal Striber, naar den anden Iagttager bragte Pladen P i eller ud af Kontakt med Mikroskopet; sidstnævnte kunde derfor bevæge Pladen netop saa hurtig, som det passede bedst for Indstillingen, uanset at Striberne derved passerede saa hurtig forbi, at de ikke kunde tælles.

Efter hver Indstilling paa optisk Kontakt noteredes Antallet af grønne Striber, som befandt sig mellem en af Kikkert-

traadene og Midten af den Stribe, Nulstriben, der tjente som Holdepunkt i Interferensbilledet.

Mikroskopets Lysleder fik sin Belysning fra en Glødelampe, som stod i $1/2$ —1 m. Afstand, og hvoraf der ved Linsen l_2 blev dannet et Billede i den frie Endeflade af Lyslederen. Apparatet blev ved Skærme beskyttet mod Opvarmning fra Lampen.

Af de i en Iagttagelsesrække fundne Stillinger af Interferensbilledet i Forhold til Kikkertens Traadkors blev Billedets Middelling beregnet. Afvigelserne derfra i de enkelte Iagttagelser blev tagne som Iagttagelsesfejlene ved de tilhørende Kontaktindstillinger, og heraf blev Middelfejlen ved disse Indstillinger beregnet, foreløbig maalt i 1 Stribeafstand for det grønne Hg-Lys som Enhed.

Mikroskopet var i alle Forsøgene udstyret med Zeiss' positive Kompensationsokular Nr. 8 (Forstørring = 8). Som Objektiv anvendtes i de fleste Forsøg (7 Iagttagelsesrækker) Zeiss' Akromat *B*, for hvilket Ækvivalentbrændvidden er opgivet til 12 mm., Objektstanden til 3 mm. og Forstørringen til 20. Der udførtes to Iagttagelsesrækker med et Tørapokromat fra Zeiss med Forstørring 63.

I nedenstaaende Tabeller betyder *a* det Antal Striber den valgte Nulstriben var fjærnet fra Kikkerttraaden ved hver Kontaktindstilling, *b* Nulstribens Afstand fra sin Middelling og saaledes Iagttagelsesfejlen ved Indstillingen. Rækkens Løbenummer er givet øverst i Tabellen. Under Tallene fra hver Forsøgsrække er den af Værdierne for *b* fundne Middelfejl opført. Under Tabellen er den af samtlige Iagttagelser, disse tagne under et som een Række, beregnede Middelfejl angiven.

Den Fejl i Indstillingen paa optisk Kontakt, som svarer til, at Interferensbilledet er forskudt 1 Stribeafstand fra den rigtige Stilling, er lig med $1/2$ Bølgelængde for det Lys, som danner Striberne. Da Middelfejlen ved Objektivforstørring 20, samlet Forstørring 160 er funden lig 2,1, udtrykt i Stribeafstand,

Tabel I.
Objektivforstørring = 20, Okularforstørring = 8.

1		2		3		4		5		6		7	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
0	+3,4	-1	+1,4	-3	-2,0	+4	+2,9	+3	+2,1	0	-1,2	0	-1,2
-6	-2,6	0	+2,4	+1	+2,0	+3	+1,9	-1	-1,9	+3	+1,8	+1	-0,2
-4	-0,6	-6	-3,6	-1	0,0	+2	+0,9	+1	+0,1	0	-1,2	+6	+4,8
-3	+0,4	+1	+3,4	-1	0,0	0	-1,1	-1	-1,9	+2	+0,8	-2	-3,2
-4	-0,6	-5	-2,6	+2	+3,0	+1	-0,1	+2	+1,1			+3	+1,8
		0	+2,4	+3	+4,0	+2	+0,9	+1	+0,1			+1	-0,2
		-6	-3,6	-3	-2,0	0	-1,1	+4	+3,1			0	-1,2
				0	+1,0	+1	-0,1	+3	+2,1			-1	-2,2
				-4	-3,0	0	-1,1	-4	-4,9			0	-1,2
				-1	0,0	+3	+1,9					+4	+2,8
				0	+1,0	-2	-3,1						
				-1	0,0	0	-1,1						
				-2	-1,0	+1	-0,1						
				-3	-2,0	+1	-0,1						
				-3	-2,0	0	-1,1						
Middel- fejl	} 2,1	3,1		2,0		1,5		2,5		1,5		2,4	

Af samtlige 65 Værdier for *b* beregnes Middelfejlen til 2,1 Stribeafstand.

Tabel II.
Objektivforstørring = 63, Okularforstørring = 8.

1		2	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
+1,0	-1,1	-1,0	-0,3
+4,0	+1,9	-1,5	-0,8
+2,5	+0,4	-2,0	-1,3
+5,0	+2,9	0,0	+0,7
+1,5	-0,6	-2,5	-1,8
+2,5	+0,4	-1,2	-0,5
-1,5	-3,6	+1,5	+2,2
+2,0	-0,1	+2,0	+2,7
-0,5	-2,6	-2,0	-1,3
+4,5	+2,4		
Middel- fejl	} 2,1	1,6	

Af samtlige 19 Værdier for *b* beregnes Middelfejlen til 1,8 Stribeafstand.

bliver Fejlen altsaa lig 1,05 Bølgelængde; da denne for det grønne Hg-Lys er 0,546 μ , bliver altsaa Resultatet af Undersøgelsen, at man under de givne Forhold *kan indstille paa optisk Kontakt med den Nøjagtighed, som svarer til en Middelfejl = 0,57 μ .*

Til de i Tabellerne angivne Talresultater skal jeg knytte følgende Bemærkninger. Jeg benyttede til Føring af Plan-*glasset P* et ældre Slædeapparat med fortrinlig Styring for Slæden men med en Skrue med stor Dødgang; jeg kunde derfor ikke benytte mig af det Middel til Lettelse ved Indstillingen paa skarpt Syn i Mikroskopet, som bestaar i hurtigt at skifte mellem for store og for smaa Afstande mellem Spejl og Mikroskop; Indstillingsbetingelserne var derfor ugunstigere end de kan ventes at blive ved de fleste Anvendelser af Metoden. Med Hensyn til de to i Lyslederen σ (Fig. 2) indridsede Streger vil det efter mine Erfaringer være at foretrække at have dem forholdsvis brede men med mindre Mellemrum end $\frac{1}{40}$ mm., saa at Skarpindstillingen kunde betinges af, at det lyse Mellemrum mellem dem traadte tydelig frem. Ved en Misforstaaelse blev i Forsøgene med Forstørringen 20 de Tal *a* i Tabel I, som angiver Interferensbilledets Stilling, kun noterede i hele Stribeafstande, skønt der vel kunde have været Grund til at medtage en Decimal; herved er antagelig Middelfejlen bleven funden noget for stor.

Ved det stærkere Objektiv, Forstørring 63, kunde de to Streger i Lyskilden σ ikke ses, vistnok som Følge af Prisme-billedets Ufuldkommenhed; derimod kunde man faa et skarpt Billede af et foran Lysgiveren σ udspændt, ret tykt Silkespind hvad der tyder paa, at Stregernes Billeder forsvinder, fordi Prismet formindsker deres Bredde, naar de staa vinkelret paa den brydende Kant. Der synes ikke at være vundet meget ved Brugen af det stærkere Objektiv i Henseende til Indstillingsnøjagtighed; men Indstillingen var lettere end ved den svagere Forstørring, fordi Billedet af Traaden ret pludselig kom til Syne eller forsvandt ved Forandringer af Afstanden

mellem Mikroskop og Spejl. Objektafstanden for dette Objektiv er opgivet til 0,2 mm.

Metodens Anvendelser. Det, som jeg nærmest har haft for Øje ved Metodens Udarbejdelse, er dens Anvendelse til Bestemmelse eller Indstilling af en Kvægsølvoverflades Højde ved Trykmaaling. Paa Grund af, at Indstillingsnøjagtigheden er 20—30 Gange saa stor som ved Kikkerten, kan man ved Mikroskopet naa betydelig videre end hidtil i Retning af at undersøge luftformige Legemer i stærkt fortyndet Tilstand ligesom ogsaa smaa Trykforandringer i Luftarter af almindelig Tæthed.

Foruden at opnaa større Nøjagtighed bliver man tillige betydelig gunstigere stillet med Hensyn til at opnaa konstant Temperatur i Kvægsølvet og i Luftarten. Ved Kikkertindstilling maa Rummet over Kvægsølvet ligge synligt; man er derved hindret i at omgive Rummet med Is, det sikreste Middel man har til at tilvejebringe en konstant og kendt Temperatur. Ved Mikroskopet er man frit stillet i saa Henseende, da det selv leverer det Lys, der bruges ved Indstillingen. Lufttermometrets Anvendelighed vil kunne udvides ad den Vej, dels fordi Følsomheden forøges i en betydelig Grad, og dels fordi man kan faa en sikker Temperaturbestemmelse i det skadelige Rum, naar man bruger Mikroskopet til Indstilling af Kvægsølvoverfladen i dette Rum; den sædvanlig anvendte Spids af Glas eller Platin bliver da erstattet med Spidsen af den fra Objektivet udtrædende Lyskegle.

Man vil kunne bringe to mod hinanden rettede Mikroskoper i indbyrdes optisk Kontakt, idet man i saa Fald i det ene Mikroskop ser skarpt Objektivbilledet af Lyskilden i det andet; er det ene Mikroskop forskydeligt ved Mikrometerskrue, vil man kunne maale et mellemliggende Legemes Tykkelse uden at behøve at øve noget Tryk paa det. Ad den Vej vil f. Eks. en Vædskestraales eller en Draabes Tykkelse kunne maales med en Nøjagtighed af μ .

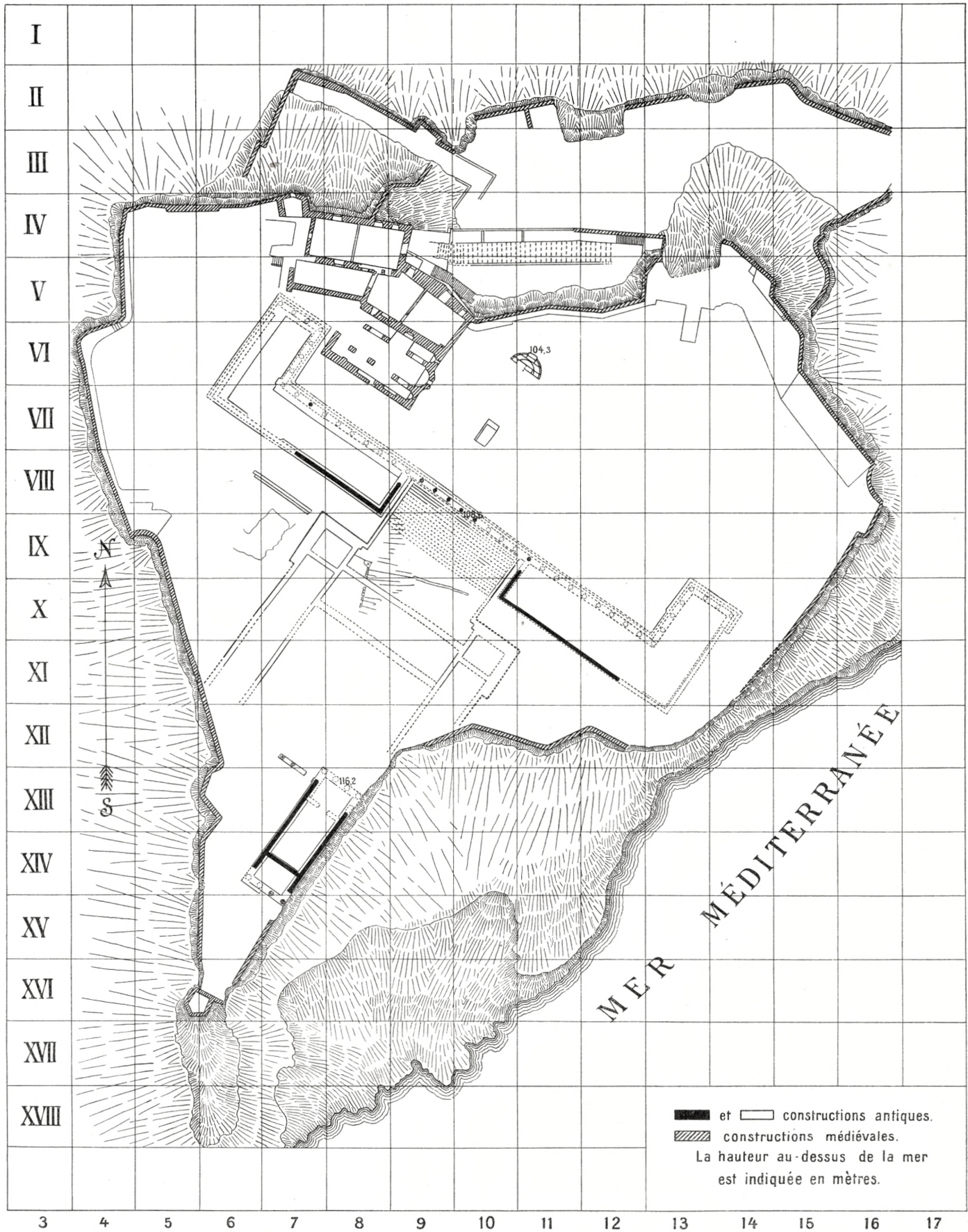


Fig. 13.