constant erhält, sobald man das Ammoniakgas verhindert bis zum Luftbehälter zu gelangen. Zu dem Ende bringt man vor diesem Behälter erst ein cylindrisches Gefäß an, welches Eisstücke enthält, die, indem sie schmelzen, das Ammoniak fast gänzlich wieder lösen, und dann ein zweites solches Gefäß, welches gefüllt ist mit groben mit Schwefelsäure benästen Bimsteinstücken.

Mittelst dieser Vorrichtung hoffte ich niedrige, vollkommen feste Temperaturen zu erhalten, allein aus Gründen, die ich S. 405 angegeben, ist dem nicht also. Man erhält nur eine gewisse Regelmäßigkeit, wenn man einen starken Strom kleiner Luftblasen aus einer Brause durch das flüssige Ammoniak leitet, wodurch die Flüssigkeit beständig umgerührt und deren Viscosität zerstört wird. Ein Luftthermometer muß mit dem Apparat in Verbindung stehen und ganz in das flüssige Ammoniak tauchen. Mittelst einer regulirenden Schraube regelt man den Zutritt der Luftblasen, um somit das Thermometer stillstehend zu erhalten.

IV. *Beschreibung eines Ophthalmometers nach Helmholtz; vom Inspector Meyerstein in Göttingen.*

Die Untersuchungen vom Prof. Helmholtz über Accommodation des Auges, haben bekanntlich das von ihm erfundene Ophthalmometer hervorgerufen. Dieses Instrument gehört wohl zu den wenigen, welche durch die Einfachheit des Principis, durch die Leichtigkeit, mit welcher dieselben angewendet werden können, und durch den hohen Grad der Genauigkeit, welcher damit zu erreichen ist, eine besondere Beachtung verdienen.

Im Jahre 1857 forderte Prof. Helmholtz mich auf

für ihn ein Ophthalmometer auszuführen, zu welchem Zwecke ich dessen Abhandlung »über die Accomodation des Auges« in v. Gräfe's Archiv Band I, Abtheilung 2 benutzte. Ich habe seit jener Zeit viele solcher Instrumente angefertigt, die jedoch von der ursprünglichen Construction, wenn auch nicht in dem Haupttheile doch in manchen Beziehungen, welche zum bequemen und sicheren Gebrauche dienen, abweichen. Ich komme daher der an mich ergangenen Aufforderung nach, in diesen Annalen eine vollständige Beschreibung des Instrumentes zu geben, wie es zuletzt aus meiner Werkstätte hervorgegangen ist.

Zur Erklärung des Principis, auf welchem das Ophthalmometer beruht, gebe ich Helmholtz eigene Worte: »Es sey Fig. 1 Taf. VII A ein Fernrohr, vor dessen Objectivglase und schräg gegen seine Axe die beiden planparallelen Glasplatten $a_1 b_1$ und $a_2 b_2$ so stehen, daß die dem Beschauer zugewendete Hälfte des Objectivglases ihr Licht durch die Platte $a_2 b_2$, die abgewendete durch die Platte $a_1 b_1$ empfängt. Das Fernrohr sey auf das Object cd eingestellt. dann erscheint ihm durch die Platte $a_1 b_1$ das Bild nicht in cd , sondern in $c_1 d_1$ und durch die Platte $a_2 b_2$ in $c_2 d_2$. Beide Bilder erscheinen gleichzeitig in dem Gesichtsfelde des Fernrohrs neben einander.

Wenn man nun die Glasplatten so weit dreht, daß das Ende d_1 des ersten mit dem Ende c_2 des zweiten Bildes zusammenfällt, und man die Winkel kennt, um welche die Glasplatten gedreht sind, so läßt sich daraus die Länge cd berechnen, ohne daß man dazu die Entfernung von A und cd zu kennen braucht. Die Einstellung der betreffenden Ränder kann sehr scharf geschehen, selbst wenn sich das Gesichtsoject ein wenig bewegt, da die beiden Bilder $c_1 d_1$ und $c_2 d_2$ sich immer genau in derselben Weise mit bewegen, und ihre Berührung dabei nicht gestört wird. Hat man weit abstehende Gegenstände zu beobachten, so braucht man die Winkel zwischen den beiden Glasplatten und der Gesichtslinie nicht gleich zu machen, man kann sogar eine von den Platten ganz weg lassen. Wenn man aber ver-

hältnißmäfsig nahe Gegenstände beobachten will, wie es meist der Fall seyn wird, müssen beide Platten gleich dick seyn, und nach entgegengesetzten Seiten hin denselben Winkel mit der Gesichtslinie bilden. Die Platten verschieben nämlich das Bild des gesehenen Gegenstandes nicht nur nach der Seite, sondern nähern es auch etwas. Wenn nun die Annäherung für die beiden Bilder desselben Gegenstandes verschieden groß ist, kann man das Fernrohr nicht gleichzeitig auf beide einstellen, und deshalb die Lage der Bilder nicht genau vergleichen.“

Beschreibung des Instrumentes.

Zwei vollkommen ebene Planparallelgläser sind in einem starken Messingrahmen der Art befestigt, daß dieselben vollkommen in *einer* Ebene liegen. Dieser Rahmen ist, wie aus dem Folgenden hervorgeht, in der Mitte durchschnitten. An den beiden gegenüberliegenden Seiten Fig. 2 Taf. VII, sind 2 Stahlzapfen AA' befestigt, welche genau in einer Axe liegen, senkrecht gegen den Schnitt der Parallelgläser, und parallel mit den Flächen derselben seyn müssen. Mit diesem Zapfen AA' , folglich auch mit dem Metallrahmen, ist an einer jeden Seite desselben ein gezahntes Rad RR verbunden.

Fig. 3 Taf. VII. Ein Kasten von Messing dient zur Aufnahme dieser Vorrichtung. Es passen nämlich die konischen Theile aa' des Zapfen AA' in zwei konische Löcher der gegenüberliegenden Platten PP' des Kastens so vollkommen als möglich; diese Löcher selbst liegen ebenfalls in einer Axe, so, daß die eben gemachte Bedingung, in Bezug des Zapfen, nicht gestört wird. Auf einem jeden, außerhalb des Kastens, durchtretenden Theil des Stahlzapfens, ist ein in ganze Grade getheilter Kreis KK' durch eine Schraubenmutter befestigt, an welchem man mittelst Nonius Zehntel eines Grades abliest. Die beiden Platten PP' sind an beiden Enden durch zwei Metallstücke verbunden, deren

eines zur Aufnahme eines Fernrohrs und deren anderes zur Aufnahme einer negativen Linse dient, wenn man das Fernrohr für entfernte Gegenstände anwenden will. Da aus der Theorie des Instrumentes hervorgeht, daß die Glasplatten in entgegengesetzter Richtung sich drehen müssen, so sind zu diesem Zwecke zwei Getriebe angebracht, von denen das Eine in das Rad R , das Andere in das Rad R' eingreift: die Getriebe selbst aber greifen in der Mitte in einander. Fig. 4 Taf. VII zeigt dieses deutlich, sie giebt die innere Ansicht aller Theile bei senkrechter Stellung der Glasplatten gegen die optische Axe des Fernrohrs.

Fig. 3 Taf. VII ist ein Durchschnitt durch die Mitte der Glasplatten, ebenfalls bei senkrechter Stellung derselben, parallel zur optischen Axe des Fernrohrs. Da in den meisten Fällen das Fernrohr dieses Instrumentes nur für nahe Gegenstände gebraucht wird, so hat Helmholtz zwei achromatische Objectives, deren Brennweiten sich wie 3:8 verhalten, der Art voreinander gebracht, daß die Crownglaslinsen des einen Objectives nach hinten gegen die Crownglaslinse des anderen gekehrt zu sitzen kommt. Ich zog es jedoch vor, Objectives zu construiren, welche für sehr nahe Gegenstände berechnet sind, deren Wirkung, auch nach dem Urtheile des Hrn. Professor Helmholtz sehr befriedigend ist.

Es ist eine wesentliche Bedingung, daß die in dem Kasten drehbaren Planparallelgläser bei irgend einer bestimmten Einstellung der eingetheilten Kreise, z. B. bei 0, senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohrs stehen, oder daß man die Abweichung derselben von 90° , die nur sehr gering seyn darf, kenne. Um diese Abweichung ermitteln zu können, habe ich den Kasten, welcher die Planparallelgläser einschließt, nicht direct mit dem Fernrohre verbunden, ich habe vielmehr in diesen Kasten Fig. 3 Taf. VII eine Hülse H geschraubt, in welcher sich das Objectivende des Fernrohrs schieben läßt, so daß man den Kasten um das Fernrohr mit Sicherheit drehen kann. Die Hülse H

trägt eine runde Scheibe S , welche sich gegen eine andere S' , von gleichem Durchmesser, die auf dem Fernrohre sitzt, anlegt. Die erste dieser Scheiben ist mit einer groben Eintheilung (von 5 zu 5 Grad) versehen, die zweite mit einem Index. Sind nun die Planparallelgläser wirklich senkrecht gegen die optische Axe, so muß, wenn man auf ein entferntes Object das Fadenkreuz des Oculars scharf eingestellt hat, das Object dieselbe Lage gegen das Fadenkreuz behalten, wenn auch der Kasten von 0 bis 180° um die Axe des Fernrohrs gedreht wird. Diese Drehung wird an den erwähnten Scheiben SS' wahrgenommen. Das Instrument hat keine Correction um eine, etwa vorhandene, Abweichung der Planparallelgläser aufzuheben; es muß dasselbe von Hause aus so frei als möglich davon seyn. Würde aber dennoch ein erheblicher Fehler stattfinden, so läßt er sich durch zwei Beobachtungen eliminiren, indem man bei der Stellung des Kreises an der Hülse einmal bei 0° und dann bei 180° beobachtet, und aus beiden Beobachtungen das Mittel nimmt. Diese Drehbarkeit des Kastens hat aber außerdem den Zweck, die Bilder, von welchen später die Rede seyn wird, in eine gerade Linie zu bringen, da dieses für die Schärfe der Messung durchaus nothwendig ist. Das Fernrohr selbst ist mit einer Drehungsaxe versehen, wie die der Theodoliten, welche mit ihren Endzapfen in einer Stütze liegt, Fig. 5 Taf. VII. An dieser Stütze ist ein cylindrischer Zapfen befestigt, welcher in eine mit einem Dreifuße versehene hohle Säule paßt, so daß also das Fernrohr höher und tiefer gestellt, im Azimuth gedreht und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden kann. An der Ocularseite des Fernrohrs sind zwei Gewichte befestigt, um dasselbe vollständig im Gleichgewicht mit dem Kasten zu bringen, und es läßt sich dadurch ohne die Drehungsaxe des Fernrohrs zu klemmen, dasselbe sanft gegen den Horizont neigen; es ist die Drehungsaxe erst dann mittelst der Schrauben FF' festzustellen, wenn das Instrument zu einer Messung vorbereitet ist.

Messung mit dem Instrumente.

Zur Bestimmung des Krümmungshalbmessers der Cornea bringt Helmholtz in einer Entfernung von 2 bis 3 Meter, von dem Auge des zu Beobachtenden an gerechnet, zwei Lampen an, deren Abstand c ein Meter beträgt. Eine Horizontallinie, welche auf der Mitte des Abstandes der beiden Lampen senkrecht ist, dient zur Orientirung des Ophthalmometers, indem die optische Axe des Fernrohrs in einer verticalen Ebene liegen soll, welche diese Horizontallinie enthält.

Die Entfernung des Fernrohrs von dem zu beobachtenden Auge kann 1000 bis 1200 Millimeter betragen; die Höhe des Auges soll der Höhe des Fernrohrs nahezu gleich seyn. Vor dem zu beobachtenden Auge ist ein schwarzer Schirm mit einer Oeffnung von etwa 25 Millimeter Durchmesser. Man stellt nun das Fernrohr des Instrumentes so ein, daß man die Lichtpunkte, welche in der Cornea sich spiegeln, scharf sieht. Diese Lichtpunkte sind es, deren Abstand gemessen werden soll, und von der Schärfe dieser Messung hängt die genaue Bestimmung des Krümmungshalbmessers ab. Bezeichnet man den Abstand des Auges von der Mitte des Abstandes der Lampe mit a , den Abstand der Lampen von einander mit b , und den Abstand der zu messenden Spiegelbilder mit β , den Krümmungshalbmesser mit r , so ist:

$$b : \beta = a : \frac{1}{2} r$$

$$r = \frac{2 a \beta}{b}$$

Die Messung des Abstandes dieser Spiegelbilder läßt sich auf verschiedene Weise vornehmen, indem man:

- 1) die Planparallelgläser so weit dreht bis der eine Lichtpunkt den anderen vollkommen deckt; man erhält dadurch zwei gleiche Abstände, also drei Lichtpunkte.
- 2) Man dreht die Planparallelgläser soweit bis der eine

Lichtpunkt den ursprünglichen Abstand halbiert; man erhält dann drei Abstände, welche einander gleich seyn müssen, also vier Lichtpunkte.

- 3) Man bringt durch die Drehung der Planparallelgläser den doppelten Werth des ursprünglichen Abstandes der beiden Lichtpunkte hervor, wodurch man also zwei neue Abstände erhält, von denen ein jeder dem ursprünglichen gleich seyn muß.

Diese letzte Methode habe ich stets als diejenige gefunden, durch welche man die genauesten Resultate erhält, indem hierbei der Beobachtungsfehler im Verhältniß zu der großen Anzahl Grade, welche man bei der Drehung der Planparallelgläser erhält, sehr gering ist. Ich habe deshalb stets nach dieser Methode gemessen und zwar in der Weise, daß, wenn die Drehung der Planparallelgläser, in dem einen Sinne zwei neue Abstände gab, welche den ursprünglichen gleich waren, ich an den getheilten Kreisen den Stand derselben ablas und dasselbe Experiment machte, indem ich die Planparallelgläser in entgegengesetzter Richtung drehte und wieder den Stand der Kreise notirte. Auf diese Weise erhielt ich also den vierfachen Werth des eigentlichen Abstandes der Lichtpunkte. Für die häufige Anwendung des Ophthalmometers ist es zweckmäßig, sich zuvor eine genaue Kenntniß über den Werth der Drehung der Planparallelgläser, in linearem Maafse ausgedrückt, zu verschaffen. Da es nun, wie aus der Theorie des Instruments hervorgeht, gleichgültig ist, in welcher Entfernung das zu messende Object sich befindet, indem die lineare Verschiebung dieselbe bleibt, während der Gesichtswinkel für diese Verschiebung mit der Entfernung abnimmt, so stellt man in einer für den Beobachter bequemen Entfernung $c = 1$ Meter vom Objective des Fernrohrs, einen, in ganze oder halbe Millimeter, getheilten Stab, dessen Eintheilung horizontal und in gleicher Höhe mit dem Fernrohre ist. Man dreht nun mittelst der Schraubenköpfe die Kreise, bis die Planparallelgläser in einer Ebene liegen: bei dieser Lage zeigen die beiden Kreise, an

welchen die Drehung der Planparallelgläser gemessen wird, auf Null. Nun richtet man das Fernrohr, um ein recht scharfes Bild der Eintheilung des Maafsstabes zu bekommen. Wenn nun an einem der Schraubenköpfe, durch welche die Kreise, also auch die Planparallelgläser, bewegt werden, so lange gedreht wird, bis der in ganze Millimeter getheilte Maafsstab in halbe Millimeter getheilt, durch die Verschiebung der einzelnen Theilstriche, erscheint, so liest man an den Kreisen den Angularwerth dieser Verschiebung ab. Dreht man nun zurück bis diese Halbierung nach der andern Seite stattfindet, so ergiebt die Summe beider Ablesungen in Mittel aus beiden Kreisen die Verschiebung für 1 Millimeter. Es sey im ersten Falle das Mittel der Ablesung beider Kreise $351^{\circ},35$, im zweiten Falle $8^{\circ},85$, so ist also der Angularwerth für ein Millimeter $= 17^{\circ},50$. Bewegt man erner die Planparallelgläser in dem einem Sinne, bis die Eintheilung durch Verschiebung als ganze Millimeter erscheint und dann wieder in dem andern Sinne, so erhält man den Angularwerth für zwei Millimeter Verschiebung. Setzt man dieses Verfahren fort, indem man einmal die Millimeter halbt und dann wieder als ganze Millimeter erscheinen läßt, so erhält man auf diese Weise von Millimeter zu Millimeter die Anzahl Grade, um welche die Planparallelgläser gedreht werden müssen.

Es ist nun bequeme, wenn man sich aus dem auf diese Weise gefundenen Werthe eine Tabelle berechnet, aus welcher man sogleich für einen jeden Grad der Drehung die lineare Verschiebung entnehmen kann.

Da nun aber aus dem Mitgetheilten hervorgeht, dafs bei dieser Beobachtungsmethode die Messung des Abstandes der Lichtpunkte viermal gröfser wird, als die ursprüngliche Distanz, so sind in der Tabelle anstatt Millimeter nur Viertel-Millimeter bezeichnet.

Eine solche Tabelle für ein bestimmtes Instrument mag hier folgen:

	^{mm}	
0°	0,000	0,064
5	0,064	67
10	0,132	70
15	0,201	72
20	0,273	75
25	0,348	75
30	0,423	75
35	0,498	75
40	0,573	75
45	0,648	78
50	0,724	79
55	0,803	82
60	0,885	84
65	0,969	89
70	1,058	95
75	1,153	102
80	1,255	109
85	1,364	112
90	1,476	116
95	1,592	118
100	1,710	123
105	1,833	126
110	1,959	131
115	2,090	138
120	2,228	138
125	2,366	139
130	2,505	

Da es für mich von Interesse seyn mußte, den Grad der Genauigkeit kennen zu lernen, welcher mit diesen Instrumenten zu erreichen ist, so habe ich eine planconvexe Linse von 8^{mm} Radius mit aller Sorgfalt geschliffen und hieran einige Probemessungen vorgenommen und mit Hülfe der vorstehenden Tabelle berechnet. Das Instrument war wie zur Messung der Cornea aufgestellt.

Der Abstand der Linse von der Mitte

der Lichtquellen $a = 2040$ Millim.

Der Abstand der Linse von den Licht-

quellen selbst $a = 1000$ „

Ich erhielt nun bei fünf Messungen folgende Ablesungen im Mittel aus beiden Kreisen:

1) 55,5	2) 56,0	3) 55,7	4) 55,9	5) 56,1
305,2	305,7	305,7	305,7	305,8
<u>110,3</u>	<u>110,3</u>	<u>110,0</u>	<u>110,2</u>	<u>110,3</u>

Benutzen wir nun die angeführte Tabelle, so findet man für die fünf Messungen folgende Werthe der linearen Verschiebung.

Für 1, 2 und 5		^{mm} 1,9668
" 3		1,959
" 4		1,9642.

Der Krümmungshalbmesser der Linse nach der oben angegebenen Formel $r = \frac{2\beta a}{b}$ berechnet, würde also

für 1, 2 und 5	= 8,024
" 3	= 7,992
" 4	= 8,013

betragen.

Die Abweichung des Mittels 8,015 aus diesen 5 Messungen von dem wahren Werthe des Radius 8,0 zeigt wohl zur Genüge die Schärfe, welche mit dem Instrumente zu erreichen ist, wobei man nicht übersehen darf, daß diese geringe Differenz sehr wohl im Schleifen der Linse und in der Unvollkommenheit der Schleifschale etc. selbst liegen kann. Vollkommen so scharf aber, wie der Radius einer solchen Linse bestimmt werden kann, läßt sich auch der der Cornea messen, indem die Bilder der Lampe sich vollkommen so scharf in derselben spiegeln, wie in einer gut polirten Glaslinse.

Ueber eine weitere Anwendung des Instrumentes etwas zu sagen, ist jetzt nicht meine Absicht, jedoch glaube ich, daß das Instrument, abgesehen von seiner ursprünglichen Bestimmung, zu manchen optischen Untersuchungen gute Dienste leisten wird.

Hr. Professor Helmholtz schrieb mir über das ihm von mir gelieferte Instrument folgendes, was ich mit seiner Erlaubniß hier veröffentliche.

„Um die Leistungen des Instrumentes zu prüfen, und gleichzeitig das Brechungsvermögen und die Dicke der

Glasplatte zu bestimmen, habe ich eine Reihe Messungen an den von Ihnen mitgegebenen Maafsstab, der in halbe Millimeter getheilt ist, ausgeführt. Ich stellte immer so ein, daß die Doppelbilder scheinbar eine Theilung in Viertel-Millimeter darstellen, weil diese Einstellung am genauesten ist. Wenn man mehrere Male hintereinander dieselbe Einstellung wiederholt, schwankt sie nicht über $\frac{1}{20}$ Grad, was weniger als $\frac{1}{200}$ in Längenmaafse beträgt. Um die Beobachtung an der Formel prüfen zu können, wurden sie in den vier Stellungen der Gläser, welche dieselbe Deckung der Bilder geben, wiederholt, also bei Drehungen um α , $180^\circ - \alpha$, $180^\circ + \alpha$, $360^\circ - \alpha$.

Das giebt für jede Messung 8 Ablesungen der Scheiben und 8 Werthe für α , aus denen das Mittel genommen wurde. Dieser Werth von α wurde nun zur Rechnung gebraucht nach der Formel:

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

$$E = 2h \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$

Wo n das Brechungsverhältniß der Glasplatte, h ihre Dicke und E die gemessene Linear-Distanz bezeichnen. Es wurden die Werthe von n und h gesucht, die den gemachten Beobachtungen am besten entsprechen, und alle Beobachtungen mit diesen Werthen berechnet. Die größte Abweichung zwischen den gemessenen und berechneten Lineargrößen betrug dann nur $\frac{1}{200}$ Millim.

Göttingen, den 5. August 1860.