

Über die Photographie der Lichtstrahlen kleinster Wellenlängen

von

Victor Schumann in Leipzig.

II. Theil.

(Mit 5 Tafeln und 5 Textfiguren.)

Die Vorarbeiten, wovon der erste Theil dieses Berichtes¹ handelt, bilden die Grundlage meines Verfahrens zur Photographie der Strahlen kleinster Wellenlängen. Alle Wandlungen, die das Verfahren in der Folge erfuhr, sind lediglich Verbesserungen des ursprünglichen, das sich, wie ich wiederholen will, auf die Lichtdurchlässigkeit des weissen Flussspathes, das Fernhalten der atmosphärischen Luft von den wirksamen Strahlen und auf die Ultravioletttempfindlichkeit meiner neuen Platte gründet.

Die genannten Verbesserungen erstrecken sich jedoch nur auf den photographischen Apparat, und zwar allein auf dessen mechanischen Theil, während Prisma und Linsen für alle Aufnahmen jenseits der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ unverändert dieselben geblieben sind, deren ich mich bereits zu meinen Versuchen bedient habe.

Allgemeines über den Bau eines Spectralapparates zur Photographie im luftleeren Raume.

Die Photographie des Spectrums im luftleeren Raume stellt an den photographischen Apparat erhöhte Forderungen. Das

¹ Siehe diese Sitzungsber., Bd. CII, Abth. II. a, April 1893, S. 415—475.

Einstellen des Spaltes, der beiden Linsen und der lichtempfindlichen Platte, das bei gewöhnlichen Instrumenten dieser Art keine Schwierigkeiten bietet, gestaltet sich bei der Aufnahme im Vacuum weniger einfach. Alles muss von aussen her durch die Wand des evacuirten Gehäuses hindurch, und wenn irgend möglich, ohne Störung des Vacuums geschehen. Schon hierdurch wird der Apparat complicirter als ein gewöhnlicher Spectralapparat. Es kommt aber ferner hinzu, dass die Diakaustik des Flussspathkörpers jenseits der Wellenlänge $185.2 \mu\mu$, so stark gekrümmt ist, dass sich nur verhältnissmässig kurze Strecken mit einemale scharf definirt aufnehmen lassen.¹ Die Krümmung der Diakaustik ist für die Construction des Apparates von besonderer Bedeutung: nach ihr richtet sich die Schiefstellung der Platte zur Linsenaxe. Da sich die Diakaustik des Flussspathkörpers ausserdem mit der Wellenlänge ändert, so fordert auch jeder Bezirk eine andere Schiefstellung der Platte, wenn er auf möglichst langer Strecke scharf erscheinen soll. Der Apparat muss demzufolge so beschaffen sein, dass sich die Platte tangirend an der Diakaustik herumführen und erforderlichenfalls der Tangirungspunkt in die Linsenaxe verschieben lässt.

Es leuchtet ein, dass diesen Forderungen ein in ein luftdichtes und evacuirbares Gehäuse eingeschlossener gewöhnlicher Spectralapparat, wie es beispielsweise der im ersten Theil dieses Berichtes erwähnte Vacuumapparat war, nicht mehr genügt, dass vielmehr Vorkehrungen getroffen sein müssen, um jeden gewünschten Spectralbezirk, unter Wahrung seiner Klarheit, mitten ins Seefeld der Camera führen zu können und das womöglich auch nach erfolgtem Evacuiren.

Ein solches Instrument ist weniger einfach. Es ähnelt in gewisser Beziehung mehr dem Spectrometer als dem Spectroskop, selbstverständlich mit dem wesentlichen Unterschiede, dass an Stelle des Oculars die photographische Camera tritt, die, sobald der Platte die vorgedachte Beweglichkeit gesichert

Von einer der Diakaustik entsprechenden Krümmung der Platte, die allerdings zu einer in allen Theilen klar gezeichneten Gesamtaufnahme des Spectrums verhelfen würde, habe ich absehen müssen, da die Herstellung der hierzu erforderlichen Cassette zu grosse Schwierigkeiten bot.

sein soll, eines ziemlich complicirten Mechanismus bedarf. Da alle im Vacuum zu bewegendenden Theile von aussen her bewegt werden müssen, so ist klar, dass ein solcher Vacuumapparat schon aus diesem Grunde nie so einfach als ein gewöhnlicher Spectrograph ausfallen kann.

Ein Spectralapparat zur Photographie im luftleeren Raume soll so eingerichtet sein, dass er ohne Störung des Druckes zulässt die Änderung 1. der Richtung des Collimatorspaltes (Einstellung des Spaltes parallel zur brechenden Kante des Prismas), 2. der Spaltweite, 3. der Spaltlänge (Minderung der Spectrumbreite bei Aufnahme gliederreicher Spectralreihen, auch zur Minderung des zerstreuten Innenlichtes des Apparates), 4. der Lage der wirksamen Spaltstrecke (Aufnahme untereinanderstehender Spectra ohne Verschiebung der Platte; Wellenlängenbestimmung), 5. des Abstandes der beiden Linsen vom Spalt und von der Platte (Focussirung der Plattenmitte), 6. der Stellung der Prismaflächen zu den Linsenaxen (Minimum der Ablenkung), 7. des Winkels zwischen den beiden optischen Axen des Collimators und der Camera (Wechsel des Aufnahmebezirkes), 8. des Winkels zwischen der optischen Axe der Camera und der photographischen Platte (Focussirung der beiden Seiten der Platte), 9. der Lage der Platte in ihrer Ebene (Aufnahme untereinanderstehender Spectra mit Verschiebung der Platte; Spectralreihen).

Soll der Apparat auch noch zur Wellenlängenbestimmung mit dem Gitter (planem) dienen, dann muss sich die Platte ausserdem in ihrer Ebene und in unveränderter Stellung zur optischen Axe der Camera, um dieselbe Axe drehen lassen.

Zur Vermittlung aller dieser im Vacuum auszuführenden Bewegungen eignet sich, ihres guten und dauernd sicheren Verschlusses halber vortrefflich die conische Axe, die hier, wo immer möglich, aus Stahl bestehen sollte. Nur wo ihr Umfang verhältnissmässig gross ausfällt — an einem meiner Vacuumapparate kommen solche Axen bis zu 8 *cm* Durchmesser vor — macht sich ein Übelstand geltend: solche Axen, wenn sie längere Zeit unter Atmosphärendruck gestanden haben, setzen ihrem Herausnehmen aus dem Apparate, das zu dessen Reinigung, auch zur Erneuerung des Fettüberzuges der Verschlussflächen

nöthig ist, einen ungewöhnlichen und manchmal so grossen Widerstand entgegen, dass die freie Hand hierzu nicht mehr ausreicht und dass es dazu einer besonderen Vorrichtung bedarf. Dieselbe Vorrichtung verlangen auch alle die planen Verschlussflächen, die eine gegenseitige, seitliche Verschiebung nicht zulassen, und die infolge dessen nur rechtwinklig zu ihrer gemeinschaftlichen Verschlussfläche von einander getrennt, also nur von einander losgerissen werden können. Alle diese Apparatheile müssen darum, insofern ihre Form eine zu ihrer Trennung geeignete Handhabe nicht bietet, mit feingewindigen Schrauben und Muttern derart versehen sein, dass sie sich je nach Erforderniss durch Zug oder Druck und ohne die geringste Schädigung ihrer Form leicht auseinandernehmen lassen. Solcher Forderung genügt in vollkommenster Weise der auf der Drehbank hergestellte Rotationskörper, weil er die Ausübung centralen Druckes, wie ihn der vorliegende Zweck fordert, ohne Anwendung complicirter Mechanismen erlaubt.

Das Material zum Gehäuse des Apparates muss vor Allem dicht, homogen und womöglich auch chemisch indifferent sein. Glas, das wohl den Vorzug verdiente und das ich früher einmal dazu zu verwenden gedachte, ist der Anbringung der zahlreichen Mechanismen halber gänzlich ausgeschlossen. Edelmetall ist viel zu kostspielig, nicht widerstandsfähig genug gegen mechanische Eindrücke und die Dichtigkeit des geeignetsten (Platin) zweifelhaft. Gussstahl, jedoch geschmiedet — gegossener Gussstahl ist selten frei von Löchern — sorgfältig ausgeglüht und langsam abgekühlt, dürfte, was Dichtigkeit anbelangt, allen Materialien vorzuziehen sein, zumal er sich gegen Quecksilberdampf, womit die Innenwand des evacuirten Gehäuses beim Gebrauch des Apparates dauernd in Berührung bleibt, indifferent verhält. Aber seine Verwendung begegnet im vorliegenden Falle so schwerwiegenden technischen Bedenken, dass dem Messing in gegossenen Stücken der Vorzug gebührt. Die Legirung des Messings soll dicht und sehr hart sein, dicht des hermetischen Verschlusses und hart der exacten Herstellung der Dichtungsflächen halber. Der Hauptwerth ist auf die Dichtigkeit der Gussstücke zu legen und hierauf schon bei Construction der betreffenden Theile Rücksicht zu nehmen. Die Dichtigkeit

hängt nicht allein von der Geschicklichkeit des Metallgiessers ab, schon beim Entwerfen des Apparates kann darauf hingewirkt werden. Plötzlicher Wechsel der Wanddicke ist vor Allem zu vermeiden, wenn nicht poröser Guss die Folge davon sein soll.

Ein evacuirter Spectralapparat ist durch den Atmosphärendruck stark belastet. Liesse er sich von gleicher Widerstandsfähigkeit herstellen, dann würde er schon bei verhältnissmässig schwacher Wandstärke seinem Zweck entsprechen. Da seine Bestimmung aber anderseits an verschiedenen Stellen der Aussenwände eine Durchbrechung und an andern Stellen wieder eine Verstärkung verlangt, so ist die Biegefestigkeit des Gehäuses stellenweise stark vermindert und die Gefahr, dass die gegenseitige Lage von Spalt, Linsen, Prisma und Platte, und sonach auch das Spectrumbild selbst hierdurch gefährdet werden, nicht unbeträchtlich. Es ist daher bei der Construction darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Durchbiegung des Gehäuses selbst bei den grössten Druckdifferenzen, die darin vorkommen können, im Spectrum noch nicht zum Ausdruck gelange. Diese Vorsicht ist besonders dann geboten, wenn der Apparat nicht zu Vacuumaufnahmen allein, sondern auch zur Ermittlung der optischen Constanten von Gasen Verwendung finden soll, wobei Druckunterschiede bis zu einer vollen Atmosphäre vorkommen.

Der Bau eines solchen Apparates stellt an die mechanische Technik erhöhte Forderungen. Besondere Schwierigkeiten bereitet der luftdichte Verschluss der mit dem Vacuum in Berührung stehenden Theile. Die Gussstücke enthalten nicht selten unsichtbare, die Apparatwände durchsetzende Gussfehler (gröbere Poren, kleinere Löcher), die der Luft den Zutritt zum Vacuum vermitteln. Darum beginnt auch die undankbarste Arbeit bei der Herstellung eines solchen Instrumentes erst mit der Vacuumprobe, wo die Arbeiten in der Werkstatt beendet sind. Denn selbst, wenn die Probe nach dem Barometer günstig ausfällt, braucht der Apparat seiner Bestimmung noch nicht zu entsprechen. Die Barometerprobe ist überhaupt nicht feinfühlig genug, als dass sich nach ihr die Verschlussicherheit eines weit evacuirten Gefässes ermitteln liesse. Hier kann allein das

Verhalten der elektrischen Entladungsröhre sicheren Anhalt gewähren.

Der luftdichte Verschluss eines mit dem vorgenannten Comfort ausgerüsteten Vacuumapparates kann unsägliche Mühen bereiten. Auf die Ursache, die der von Zeit zu Zeit wiederkehrenden Undichtheit des Apparates zu Grunde liegt, komme ich später ausführlich zurück.

Mein erster Apparat, womit ich die Aufnahme des Gebietes jenseits der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ begann, bot nicht entfernt den vorgenannten Comfort. Seine Innentheile mussten stets vor dem Evacuiren eingestellt werden. Eine Ausnahme hiervon machte nur die Collimatorlinse, die auch im Vacuum einstellbar war.

Der Apparat war ursprünglich dem vermutheten Längenzuwachs des Ultravioletten angepasst, und dem entsprach seine Einrichtung vollständig. Dass er schon nach kurzem Gebrauch nicht mehr genügte, lag an dem Strahlenreichthum, den das neue Gebiet wider Erwarten entwickelte. Er wurde demzufolge mehrmals umgebaut und jedesmal der Längenzunahme des photographischen Wirkungsbandes angepasst. Das geschah so lange, bis constructive Hindernisse jede weitere Umänderung vereitelten und zum Bau eines verbesserten Apparates drängten. Erst dieser Apparat war es, der sich dem vorstehenden Ideengange anschloss. Von ihm rühren meine besser definirten Aufnahmen und vor Allem die der brechbarsten Strahlen her.

Unter solchen Umständen könnte es scheinen, als verdiene zur Zeit nur noch das verbesserte Instrument eingehende Berücksichtigung. Gleichwohl halte ich es nicht für überflüssig, auch den älteren Apparat an dieser Stelle ausführlicher zu besprechen.

Man darf wohl annehmen, dass sich die spectrale Forschung, nach dem Bekanntwerden dieser Ergebnisse, der weiteren Erschliessung des Gebietes der kleinsten Lichtwellen annehmen wird. Da wird vielleicht manchem Beobachter mit dem schneller zu beschaffenden, einfacheren Apparat mehr als mit dem vervollkommenen gedient sein, zumal sich auch mit ihm recht schön gezeichnete Spectra erzielen lassen, und die wünschenswerthe Erweiterung seiner Wirkungsgrenze, die zwar mein

älteres Instrument nicht zulies, bei der neuen Herstellung eines solchen Instrumentes ohne allzugrosse Mühe erreichbar ist.

Der photographische Apparat zur Aufnahme des
Spectrums im luftleeren Raume.

I. Der erste Apparat.

Der photographische Spectralapparat, womit ich die ersten Aufnahmen im luftleeren Raume ausgeführt habe, ist in Fig. 1 und Fig. 2 auf Taf. I in $\frac{1}{5}$ seiner natürlichen Grösse dargestellt. Daran reihen sich auf derselben und der folgenden Tafel die in wahrer Grösse ausgeführten Abbildungen des Spaltes (Fig. 3), der Keilringe zur Änderung des Winkels der Linsenaxen (Fig. 4), des Prismastativs (Fig. 5), der Cassette und der Camera (Fig. 7 und Fig. 6) und der conischen Triebaxe (Fig. 8).

Sämmtliche Abbildungen, sowohl dieses, als auch des später zu erwähnenden Apparates verbesserter Construction sind unter sorgfältiger Berücksichtigung der Apparatmasse, entweder in natürlicher oder in reducirter Grösse ausgeführt. Sie gewähren daher bei Anfertigung des Apparates so sicheren Anhalt, dass sie dem ausführenden Mechaniker als sogenannte Werkstattzeichnung dienen können.

Ich gehe nun zur Besprechung der Einrichtung des Apparates selbst über.

Sein Hauptkörper (Fig. 1 und 2) ist ein cylindrisches, dickwandiges Gehäuse *a*, das auf kräftigem Dreifuss *b* ruht. Fest mit dem Gehäuse verbunden sind der Collimator *c* und das Camerarohr *d*, das an seinem freistehenden Ende die Camera *k* trägt. Im Gehäuse steht das Flussspathprisma *e* (70° br. Wkl., 40 mm Höhe und 32 mm Länge der brechenden Flächen), das sich um die, zu seiner brechenden Kante parallele Axe seines Stativs *f* und anderseits um die gleichgerichtete geometrische Axe des Gehäuses *a* drehen lässt. Diese Drehung wird vermittelt durch die exact in das Gehäuse eingepasste, starke Scheibe *g*. Das oben offene Gehäuse wird mit einem dicht aufgeschliffenen Deckel *h* verschlossen, in dessen Mitte die nach der Luftpumpe führende, in einen Schliff endende Glasröhre *i* mündet. Beim Gebrauch wird die Röhre, um schädliches Licht vom Prisma

fernzuhalten, mit Zinnfolie umwickelt. Der Collimator ist mit einem zwischen die Verschlussflächen eingelegten, mit Fett getränkten Papierring — die einzige Papierdichtung, die am ganzen Apparat vorkommt — luftdicht in das Gehäuse eingeschraubt, wohingegen das Camerarohr einerseits mit dem Gehäuse, anderseits mit der Camera *k* zusammengeschliffen und durch mehrere Schrauben verbunden ist. Alle Dichtungsflächen sind zum besseren Verschluss mit einer dünnen Schicht von Luftpumpenfett überzogen, von demselben Fett, womit auch die Schliffe und Hähne der zum Evacuiren benützten Quecksilberluftpumpe abgedichtet sind.

l ist die Verschlussplatte der Collimatoröffnung (Flusspath, 18 *mm* Durchmesser, 3 *mm* dick), *m* der Spalt, *n* die Collimatorlinse (Flusspath, 18 *mm* Durchmesser, 3 *mm* dick, 120 *mm* Focus der Wellenlänge 589 $\mu\mu$, planconvex), *o* das Trieb dazu, *p* die conische Axe, die die Triebbewegung bei hermetischem Verschluss durch die Collimatorwand hindurch vermittelt, *q* die Cameralinse, die der Collimatorlinse vollständig gleicht — sie kann nur nach dem Öffnen des Apparates verschoben werden — *r* die photographische Platte in der Stellung, die sie während der Belichtung einnimmt, *s* die Öffnung zum Einlegen der Cassette in die Camera, *t* und *u* sind Arreturstifte zur Fixirung der Camerastellung beim Einlegen der Cassette, *v* eine Handhabe in Kreuzform, zum Drehen des Kükens *w* der aus einem Hahn bestehenden Camera *k*. *x*, ein langer Zapfen, ist nur zur bequemeren Bearbeitung und correcten Einhaltung des Neigungswinkels der scheibenförmigen Verschlussfläche des Camerarohres, den diese mit der Linsenaxe bildet, angebracht.

Der Spaltschlitten *m* (Fig. 3) besteht aus einem mit feinem Gewinde und vorspringenden Kopf versehenen Cylinder, dessen breitere Stirnfläche in prismatischer Bahn dem aus freier Hand zu bewegenden Backenpaare parallele Führung sichert. Für gewöhnlich genügt Einstellung der Spaltweite nach Augenmass. Man verfährt hierbei am besten so, dass man die kleine Lichtöffnung, während man den mit einem kleinen Loche versehenen Backen bewegt, nach ihrem Aussehen im durchfallenden Lichte beurtheilt. Die Einstellung der Spaltweite auf verlangtes Mass erfordert jedoch stets die Zuhilfenahme des

Mikroskopes. Nach dem Einstellen wird der Schlitten in die Stirnfläche des Collimators, doch nur so weit eingeschraubt, dass sein vorspringender Kopf ringsum, auch von der später darüberzudeckenden Flussspathscheibe *l*, noch einen kleinen Abstand behält, damit er beim Einstellen des Spaltes nach der brechenden Kante des Prismas die nöthige Drehung zulässt, ohne sich vorzeitig auf den Collimator festzusetzen oder späterhin dem Auflegen der genannten Scheibe hinderlich zu sein. Die Stirnfläche des Collimators wird schwach mit Luftpumpenfett überzogen, die Scheibe *l* central daraufgelegt und drehend, unter mässigem Druck, aufgerieben.¹ Die Fettschicht ist nicht zu entbehren, wenn man sich nicht den Folgen mangelhaften Verschlusses aussetzen will.

Die conische Axe *p* (Fig. 8) ist in einem seitlich an den Collimator *c* angegossenen, cylinderförmigen Ansatz *A* gelagert. Ihr unteres Ende bildet das Trieb *o*, das in die direct in das dickwandige Rohr *B* gefräste Zahnstange eingreift, die der Linse des Collimators, die in diesem Rohre befestigt ist, eine axiale Verschiebung von 36 mm sichert. Die Axe trägt eine Theiltrommel, womit sich der Abstand der Linse vom Spalt

¹ Das Aufreiben der Flussspathscheibe *l* erfordert einige Vorsicht. Gar zu leicht wird dabei auch die der Spaltöffnung zunächstliegende Fläche mit Fett verunreinigt und ihre Lichtdurchlässigkeit vermindert. Auch empfiehlt es sich, die Platte nach dem ersten Evacuiren des Apparates nochmals, diesmal jedoch ohne Druck, aufzureiben, da anfänglich gern kleine Luftbläschen in der Fettschicht zurückbleiben, die sich späterhin zuweilen zu einem Canal vereinigen, durch den die Luft in den Apparat einströmt. Die Stirnfläche des Collimators, worauf die genannte Scheibe sitzt, kann kaum sorgfältig genug hergestellt werden. Sie sollte immer nach der Farbenplatte auf Planheit geprüft werden. Zeigt sie hiebei merkliche Unebenheiten, dann darf man dauernden Verschluss von ihr nicht erwarten. Je correcter die Verschlussflächen, desto dünner kann die Fettschicht sein, je dünner aber die Fettschicht, desto grösser die Verschlussicherheit. Soll die Scheibe wieder abgenommen werden, dann vergewissere man sich vorher, dass die überragende Stirnfläche frei von Staub ist. Andernfalls können beim seitlichen Verschieben der Scheibe — auf andere Weise lässt sie sich nicht abnehmen — in den Dichtungsflächen leicht Risse entstehen. Flussspath ist gegen mechanische Eindrücke nicht sehr widerstandsfähig. Den überstehenden Theil der Stirnfläche tiefer zu legen als die Verschlussfläche, wonach sich die Scheibe gefahrlos ablösen liesse, ist des Planschleifens halber nicht rathsam.

auch nach dem Evacuiren auf gewünschtes Mass bringen lässt. Von Zeit zu Zeit muss die Axe frisch geschmiert werden, da das Luftpumpenfett schon nach kürzerem Gebrauch seine Geschmeidigkeit einbüsst und alsdann den Gang der Axe erschwert. Dicht hinter der genannten Linse, auch im Grunde der Zahnstange ist das Rohr *B* mehrmals durchbohrt, damit die Gasfüllung des Apparates ungehindert circuliren könne. Das ist besonders für den Beginn des Evacuirens wichtig.

Die Axen der Linsen vom Collimator und von der Camera bilden, wenn die Strahlen der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ (Aluminiumlinie Nr. 32) die Camera conaxial durchsetzen, wobei sie, beiläufig bemerkt, auf die Mitte der Platte fallen, mit einander einen Winkel von 131° (Er ist in Fig. 2 mit β bezeichnet.) Bei dieser Stellung der Rohre ist nur die Aufnahme der der genannten Wellenlänge zunächstliegenden und verhältnissmässig wenig umfangreichen Region möglich. Das weiter abgelenkte Spectrum verlangt zu seiner Aufnahme eine Verminderung dieses Winkels. Ich habe diese dadurch erreicht, dass ich zwischen das Gehäuse *a* (Fig. 4) und den Collimator *c* der Reihe nach vier keilförmige Gewinderinge¹ C_1, C_2, C_3, C_4 einschaltete, wodurch der Winkel β , wie auch die strichpunktirten Linien der Fig. 4 zeigen, von 131° auf $127^\circ, 123^\circ, 119^\circ$ und 115° vermindert wurde. Eine noch grössere Annäherung der beiden Rohre, als sie dem Einschalten des vierten Keilringes folgte, und die die Aufnahme des über den Rand der Platte hinausfallenden Spectrums verlangte, verbot die starke, auch aus Fig. 4 ersichtliche Verstümmelung, die der Lichtkegel durch die dem Prisma zunächstliegende Innenwand der Ringe erlitt.

Das Prismastativ *f* (Fig. 5) gleicht den gewöhnlichen Stativen dieser Art. Es sitzt auf einer conischen Stahlaxe *D*,

¹ Auf die Herstellung dieser Ringe ist beim Entwerfen des Apparates Rücksicht genommen und zugleich die Drehbank, die zur Bearbeitung diente, mit einer Vorrichtung versehen worden, die dem Collimator die vorschriftsmässige Stellung zur brechenden Kante des Prismas sichert, sobald die Änderung des Axenwinkels vorgenommen wird. Ohne solche Vorrichtung ist die Herstellung dieser Ringe, die die Collimatoraxe um deren ursprünglichen Schnittpunkt mit der Cameraaxe und zugleich in der durch diese beiden Axen gelegten Ebene zu drehen haben, nicht ausführbar.

die excentrisch in die starke Scheibe g eingeschraubt ist. Das Prisma e ist mit drei kleinen Wachsplättchen auf den oberen Teller des Stativs aufgeklebt.¹

Die Justirung der Prismastellung, die mit dem Gauss- oder mit dem Abbe-Ocular zu erfolgen hat, kann im Apparat selbst nicht vorgenommen werden, weil hierin die drei Stellschrauben des Stativtellers nicht mehr zugänglich sind. Ich verwende hierzu einen andern Spectralapparat. Für die Normirung der brechenden Flächen ist die sorgfältig plan geschliffene ringförmige Basis der Scheibe g massgebend. E ist eine Handhabe, womit das Stativ auf den Boden des Gehäuses niedergelassen und auch beim Einstellen in das Minimum der Ablenkung gedreht wird, was immer nur um die Mitte von g , nie um die Axe D erfolgen darf. Die Handhabe E muss vor dem Aufsetzen des Deckels h (Fig. 1) herausgeschraubt werden, jedoch ohne dass dabei die Stellung des Prismas auch nur im geringsten gestört wird.²

Die Camera k (Fig. 6) ist der wichtigste Theil des ganzen Apparates, weil die Überführung der Platte in das Vacuum nicht unbeträchtliche Schwierigkeiten bietet.

Von jedesmaliger Evacuirung des Apparates nach dem Einlegen einer frischen Platte in das Apparatgehäuse, wobei die Schwierigkeit des Überführens der Platte in das Vacuum ausgeschlossen wäre, ist selbstverständlich abzusehen, wenn nicht die Hilfsoperationen zur Aufnahme übermässig viel Zeit in Anspruch nehmen und sich beim Wechsel der Platte ihrem ganzen Umfang nach wiederholen sollen. Am zweckmässigsten

¹ Diese Verbindung ist sehr solid. Ich habe sogar, weil das Prisma, wenn es einmal im Vacuum gewesen war, zu fest auf dem Teller haftete, späterhin die Wachsbelegung gemieden und dafür eine Schraubenverbindung angewandt.

² Das gelingt leicht, wenn man E unter kräftigem, in Richtung seiner Axe, mithin auch auf die Basis der Scheibe g ausgeübten Druck löst und dann behutsam herausschraubt. Die Reibungswiderstände zwischen E und g einerseits und zwischen g und dem Boden des Gehäuses a andererseits sind von so verschiedener Grösse, dass die Operation leichter gelingt, als es vielleicht der Beschreibung nach scheinen mag. Die Handhabe im Gehäuse zu lassen, habe ich nie gewagt, weil sie zu schädlichen Reflexionen der Strahlen hätte Anlass geben können.

wäre es, wenn sich die Platte ohne Störung des Druckes in das Vacuum befördern liesse. Das ist aber nicht möglich. Eine kleine Menge Luft nimmt die Platte stets mit sich, auch wenn der unvermeidliche todte Raum, der um sie ringsherum bleibt, noch so knapp bemessen ist. Je kleiner jedoch die mitgenommene Luftmenge ist, desto schneller geht ihre Beseitigung von statten.

Zuweilen ist eine kleine Menge Luft auch ohne allen schädlichen Einfluss auf die Aufnahme. Es kann vorkommen, dass sich das Spectrum der hinzugetretenen Luft gegenüber indifferent verhält, und dabei lassen sich, wie ich wiederholt erfahren habe, auch ohne erneute Evacuirung des Apparates, mehrere Platten hintereinander mit zufriedenstellendem Erfolg belichten.

Die Überführung der Platte in den evacuirten Apparat soll schnell, ohne besondere Anstrengung und vor Allem unter Wahrung des luftdichten Verschlusses der Camera vor sich gehen. Diesen Forderungen entspricht die in Fig. 6 abgebildete Camera. Sie hat die Einrichtung eines Hahnes. In das mit dem Camerarohr d durch vier Schrauben (Fig. 1) verbundene Hahngehäuse k , das bei s und s' schlitzförmig und diametral durchbrochen ist, ist das Küken w sorgfältig eingeschliffen. Die geometrische Axe des Kükens schneidet die Axen der beiden Linsen und bildet mit der Axe der Cameralinse einen Winkel von 24° (δ). Unmittelbar hinter dem Schlitz s hat das Küken, als exacte Fortsetzung dieses Schlitzes, eine Nuthe F von wenigen Millimetern Tiefe. Die Nuthe hat die Bestimmung, die Cassette G aufzunehmen, die beim Einlegen zuerst aus freier Hand unter den hakenförmigen Vorsprung H_1 geschoben, dann mit einem zugespitzten Holzstäbchen (Pfaffenhütchenholz, *Evonymus europaeus*), das in die neben K sichtbare Vertiefung eingreift, in Richtung des Pfeils bis auf den Grund der Nuthe F niedergedrückt und durch Verschiebung nach rechts, wobei der kleine Cassettenansatz K unter den hakenförmigen Vorsprung H_2 läuft, im Küken befestigt wird. Durch Drehung des Kükens um 180° — der Index, der hiebei zum Anhalt dient, ist beim Einlegen der Cassette nach unten gekehrt und darum in Fig. 6 nicht sichtbar — gelangt die Platte mit der Cassette nach r' , wo die Belichtung erfolgt. Mit der Linsenaxe bildet die Platte einen Winkel von 26° (γ). Dreht man das Küken rückwärts, bis sich t

und u berühren, dann springt die Cassette beim Verschieben nach links, indem sie sich um H_1 dreht und auf der horizontalen Fläche von s hingeleitet, aus dem Gehäuse heraus, wonach sie — Stellung der Cassette in Fig. 6 — ungehindert erfasst und aus dem Schlitz herausgezogen werden kann.

Die Cassette G (Fig. 6 und 7) hat keinen Schieber, sondern nur einen Deckel. Ihr Zweck ist überhaupt nicht, die Platte vor schädlichem Licht, sondern nur die Verschlussfläche vor Glassplittern zu schützen. Da sie ohne Schieber ist, muss das Einlegen in das Küken bei Dunkelkammerlicht geschehen, wenn man nicht, wie ich es thue, alles Licht dabei meiden will.¹

Die photographische Platte r (Fig. 6 und 7) ist 44 mm lang und 7 mm breit. Dieses Format genügt vollständig. Seine Länge könnte sogar, dem Umfange des scharf definirten Spectrums angemessen, noch kürzer sein. Die Plattenbreite ist von dem Durchmesser des Camerahahnes abhängig, den ich aus technischen Gründen nicht zu vergrössern vermochte.²

II. Der verbesserte Apparat.

Der beschriebene Apparat zeichnete den stärker abgelenkten Theil des neuen Spectralbezirktes weniger klar als das übrige Ultraviolett, wofür er ursprünglich construirt war. Die scharfgezeichnete Strecke jeder Aufnahme nahm ausserdem mit der Wellenlänge sichtlich ab und umfasste am Ende nur noch wenige nahe beieinanderstehende Linien. So kam es, dass das Spectrumbild an der Wirkungsgrenze des Apparates, in muthmasslichem Widerspruch mit seiner wahren Gestalt, beinahe nur noch einem Continuum gleich. Nicht zum kleinsten

¹ Die Platte kann zwar auch ohne Cassette in das Küken eingelegt werden, doch ist dann die Gefahr, dass Glassplitter von ihrem Rande abspringen und zwischen die mit einander correspondirenden Kanten der Hahnöffnungen s und F gelangen, wodurch den Verschlussflächen empfindliche Verletzungen drohen, so gross, dass ich zum Weglassen der Cassette nicht rathen kann.

Die in Fig. 8 aufgezeichneten Spectrallinien stellen den jenseits der Wellenlänge $198.8 \mu\mu$ liegenden Bezirk des Aluminiumspectrums dar. Das Spectrum ist eine Copie meiner ersten von Erfolg begleiteten Aufnahme dieses Spectralgebietes. Die fünf Linien rechts von der Plattenmitte bilden den Grenzbezirk des schon von Stokes entdeckten Ultravioletten, die übrigen Linien sind neu und zur Zeit nur mit meiner neuen Platte nachweisbar.

Theile trug allerdings zu dieser Unklarheit der dichte Stand und die kräftige Wirkung der in Betracht kommenden Linien bei. Doch auch andre Übelstände hatten sich bei fortgesetztem Gebrauch des Apparates herausgestellt und die Beobachtung der neuen Strahlen noch in anderer Beziehung erschwert. Die Änderung der Spaltweite war, schon da sie sich ohne Öffnen des Apparates (Abnahme der Flussspathscheibe) nicht ermöglichen liess, mit empfindlichem Zeitverlust verbunden; das Einstellen des Prismas in das Minimum der Ablenkung liess sich nur durch Probiren bewerkstelligen, wobei der Apparat wiederholt geöffnet und jedesmal von neuem evacuirt werden musste; die Verschiebung der Cameralinse konnte ebenfalls nur am geöffneten Apparat vorgenommen werden; die Aufnahme untereinanderstehender Spectra war, da sich weder die Platte, noch die wirksame Spaltstrecke dem Zweck entsprechend verschieben liess, gänzlich ausgeschlossen und hiedurch die Focussirung, sowie das Aufsuchen neuer Linien sehr erschwert; die Änderung des Winkels der beiden Rohraxen nahm noch mehr Zeit in Anspruch und forderte ausserdem besondere Aufmerksamkeit, wenn die eingeschalteten Keilringe (Fig. 4) nicht zugleich ihre gegenseitige Stellung ändern und den Collimator aus der vorschriftsmässigen Richtung bringen sollten.

Diese Übelstände haben bei Ausführung des zweiten Apparates, den die Fortsetzung meiner Untersuchung veranlasst hatte, eingehende Berücksichtigung gefunden.

Die Einrichtung dieses verbesserten Instrumentes zeigen die Tafeln III und IV Die Abbildungen sind getreue Copien der von mir zum Bau des Instrumentes benützten Zeichnungen.

Tafel III zeigt in Fig. 16 das Gehäuse im Horizontalschnitt, in Fig. 17 die Camera, ebenso durchschnitten, in Fig. 18 den vollständigen Apparat im Aufriss, in einer Stellung, wobei die Collimatoraxe eine Normale zur Aufrissebene bildet und Gehäuse und Camera halbseitig und senkrecht zur Collimatoraxe durchschnitten sind. Der Grundriss dazu befindet sich auf Tafel IV Alle Zeichnungen sind in halber natürlicher Grösse ausgeführt.

Ein starker ringförmiger, mit 3 Nivellirschrauben versehener Dreifuss *a* trägt in seiner Mitte das zur Aufnahme des Prismas

dienende Gehäuse, den Hauptkörper des ganzen Apparates. Das Gehäuse setzt sich zusammen aus dem dickwandigen Conus b , der mit dem Dreifuss a fest verbunden ist, dem Deckel c und den, den Conus dicht, aber drehbar umschliessenden Mantel d . Der Conus trägt den Collimator e , der durch den Mantel d hindurch geht, dieser das Camerarohr f , dessen Auszugsrohr in einzelnen Fällen bis in den Conus hineinragt. Damit sich der Mantel hierbei auf dem Conus drehen könne, was bei Änderung des Winkels, den die Linsenaxen von e und f (Fig. 19) mit einander einschliessen, nöthig ist, und damit ferner die Strahlen, wenn sie vom Prisma kommen, bei jeder Stellung der beiden Rohre die zu ihrem Eintritt in die Camera erforderliche Öffnung im Conus finden, ist der Mantel für den Collimator von d_1 bis d_2 , und umgekehrt der Conus für das Auszugsrohr der Camera von b_1 bis b_2 (Fig. 16) schlitzförmig durchbrochen. Der Winkel der genannten Axen lässt sich auf diese Weise ohne Störung des Vacuums und ohne Zeitaufenthalt von 142° bis 105° stetig ändern.¹

Der Conus b (Fig. 18) ist im Boden conaxial durchbohrt, damit das Prisma von aussen her gedreht werden könne. Diese Drehung vermittelt eine in diese Bohrung eingepasste konische Stahlaxe g , die im Innern des Conus, im Vacuum also, die starke Scheibe h mit dem daraufsitzen, drehbaren Prismastativ i und dem Flussspathprisma k (70° br. Wkl.) und unter dem Conus, also ausserhalb des Vacuums, die Alhydade l mit ihrer Klemmvorrichtung m trägt. Die Schraube n beugt dem Lockern der Axe g in ihrer Lage vor, das beim Öffnen des evacuirten Gehäuses, da der Axe in ihrer Längsrichtung eine kleine Beweglichkeit gestattet ist, leicht eintreten könnte. Die Alhydade ist mit einem Nonius versehen, der Ablesung bis zu 6 Minuten gestattet; ihre Beweglichkeit umfasst einen Winkel von 26° . Die Klemmvorrichtung der Alhydade wirkt beim Anziehen der

¹ Da der kleinste Axenwinkel des älteren Apparates $131^\circ - 16^\circ = 115^\circ$ umfasste, so sind die Rohre beim neuen Apparat einander um 10° näher gerückt. Noch grössere Beweglichkeit, die wohl erwünscht gewesen wäre, hätte sich nur auf Kosten der Verschlussicherheit des Gehäuses erreichen lassen. Massgebend für den Verschluss ist die zwischen d_2 und b_1 (Fig. 16) bei weitestem Abstand der Rohre verbleibende Dichtungsfläche.

Klemmschraube nur auf den untern Theil des sehr kräftigen Theillkreisringes. Auf diese Weise wird die Axe g beim Festklemmen der Alhydade vor jedem seitlichen Druck bewahrt, was zur Erhaltung der Einstellung des Prismas unbedingt nöthig ist.

Die Scheibe h wird mit dem senkrecht zu ihrer Basis aufgestellten Prisma ebenso in den Conus eingeführt wie in das Gehäuse des ersten Apparates. Der Deckel c verbindet den Conus mit der nach der Luftpumpe führenden Glasröhre o . Der an seiner unteren Fläche sitzende Gewinding p erfüllt einen dreifachen Zweck: er beugt dem zu plötzlichen Druckwechsel beim Evacuiren oder beim Öffnen des Apparates vor, hält alles schädliche Licht zurück, das durch die Wand der Glasröhre o in den Apparat gelangen könnte und bietet der Schraube, womit der Deckel von seinem Dichtungssitze beim Öffnen des Conus losgezogen wird, in seinem Innengewinde den nöthigen Widerhalt.¹

Am Mantel d (Fig. 19) sitzt, diametral zum Camerarohr, der Bleicylinder q , der den einseitigen Druck ausgleicht, den die Camera auf den Conus bei Weglassung des Gegengewichtes ausüben würde. Zur Einstellung des Winkels, den die Axen der beiden Linsen mit einander bilden, dient der Index r , der sich dicht über dem in ganze Grade getheilten Kreis des Dreifussringes bewegt. Drehbar auf feinem Gewinde des Conus b sitzt der mit 6 Griffen versehene Ring s . Er kommt nur dann zur Anwendung wenn der Mantel abgenommen werden soll.²

¹ Zum Losziehen des Deckels c wird die Glasröhre herausgenommen, über die Horizontalfläche des Mantels eine in der Mitte durchbohrte, vom Deckel etwas abstehende Messingplatte gelegt und eine mit Bundansatz und Kreuzgriff versehene Schraube durch das Loch der Platte hindurch in das Innengewinde von p gedreht. Sobald sich hiebei der Bund auf die Platte aufsetzt, springt der Deckel von seinem Sitz los.

² Das Abnehmen des Mantels geschieht wie folgt. Man dreht ihn, indem man die Camera mit der rechten und das Bleigewicht mit der linken Hand erfasst, in Richtung des Laufes der Uhrzeiger so weit, als es der Apparat zulässt, schraubt den Ring s , wobei er in entgegengesetzter Richtung zu drehen ist, fest, und dreht den Mantel wieder zurück. Hiebei läuft der Mantel, unter Leitung des mit ihm durch Reibung verbundenen Ringes in einer Schraubenbahn am Conus in die Höhe und zerreisst dabei die das Auseinandernehmen hindernde Fett-

t_1 und t_2 sind die Triebaxen der Auszugsrohre der beiden Linsen (120 mm Focalweite d. Wellenl. 589 $\mu\mu$). Die zugehörigen Zahnstangen sind auch hier wieder, wie bei dem ersten Apparat direct in die Auszugsrohre gefräst und zur bessern Gascirculation an mehreren Stellen durchbohrt. Jedes Rohr ist mit einer Millimetertheilung versehen, wonach die Stellung der Linsen, durch die mit durchsichtigen Scheiben verschlossenen Rohransätze u_1 und u_2 nach einem dicht über der Theilung angebrachten Index bequem abgelesen werden kann. Die Auszugsrohre lassen sich umkehren, so dass einmal das mit der Linse verschlossene Ende und dann das andere dem Prisma zugekehrt ist. Auf andere Weise lassen sich die Linsen nicht in dem Masse verschieben, wie es die Focussirung der neuen Strahlen neben der Focussirung der minderabgelenkten verlangt. Zum Umkehren der Auszugsröhre müssen Collimator und Camerarohr vom Gehäuse abgeschraubt werden.¹

Die Camera hat auch hier wieder die Form eines Hahnes, nur mit dem Unterschied, dass diesmal die Axe des Kückens nicht rechtwinklig, wie bei dem ersten Apparat, sondern parallel² zur brechenden Kante des Prismas gerichtet ist.

schicht. Der Mantel ruht alsdann nur noch auf dem Ringe und kann, nachdem man zuvor den Collimator herausgeschraubt hat, ohne Mühe vom Conus abgehoben werden. War der Apparat längere Zeit evacuirt und wurde die Stellung der Röhre öfters geändert, dann gelingt die Trennung des Mantels vom Conus nur bei grösserem Kraftaufwand. Dies auch der Grund, wesshalb sich zur Handhabe Camera und Gegengewicht besser als die Griffe des Ringes eignen.

Auf die Herstellung der Auszugsrohre ist grosse Sorgfalt verwendet worden, da andernfalls die Conaxialität der Linsen bei ihrer Verschiebung nicht gewahrt bleibt, ein Umstand, der weniger beim Prisma, als mehr beim Gitter Berücksichtigung verlangt, sobald dies zur Bestimmung der Wellenlängen angewandt werden soll.

Auf diese Weise wird es möglich, der photographischen Platte jede gewünschte Schiefstellung zur Linsenaxe zu geben, eine Forderung, die, wie bereits vorstehend erörtert wurde, durch die eigenthümliche Krümmung der Brennfläche des angewandten Flussspathkörpers entstand. Noch einen andern Vortheil bietet diese Anordnung: sie gewährt den zur Verschiebung der Platte erforderlichen Raum und damit die Möglichkeit der Aufnahme untereinanderstehender Spectra. Diesen beiden Vortheilen steht allerdings der Nachtheil gegenüber, dass der todte Raum, der die Platte im Kücken umgibt, und demnach auch die Luftmenge, die die Platte mit in das Vacuum nimmt, verhältnissmässig

Der Mantel a' des Camerarahnes ist mit dem Camerarohr f durch Schrauben verbunden. Das exact eingeschliffene Kücken b' trägt in einer geräumigen, einseitig offenen Aussparung (der in Fig. 17 und 18 der Taf. III nicht schraffierte Theil) einen, an der verticalen Fläche c' sehr solid befestigten Verticalschlitten d' , dessen Schieber e' (Fig. 19) durch die Mutter f' (Fig. 18) mit der grobgängigen Gewindespindel g' (1 mm Ganghöhe) in Verbindung steht und damit auf und ab bewegt werden kann. Mit dem Schieber e' ist ein länglicher Rahmen h' fest verbunden, der die sorgfältig eingepasste Cassette i' aufnimmt, wenn man sie durch die Öffnung k' in die Camera schiebt. Schieber und Platte haben sonach dieselbe Bewegung.

Die Stellung der Platte im Kücken ist so angeordnet, dass die der Plattenkante (kurzen) parallele Mittellinie der lichtempfindlichen Seite mit der geometrischen Axe des Kückens zusammenfällt. Hieraus erwächst der Focussirung, worüber später die Rede sein wird, der wesentliche Vorthail, dass alle auf die Plattenmitte fallenden Strahlen beim Drehen des Kückens ihren Ort beibehalten.

Auf der Gewindespindel g' sitzt eine Theiltrommel p' , woran die Verschiebung der Platte abgelesen wird. Zugleich gibt die Trommel Aufschluss über den jeweiligen verticalen Stand (verticaler Abstand der Plattenmitte von der Axe der Cameralinse) der Platte. Zu diesem Zwecke ist sie mit einer doppelwandigen Büchse p' durch Gewinde drehbar verbunden. Die Büchse kann sich, in Folge der ihr durch den Stift r' ertheilten Geradföhrung, nur in verticaler Richtung verschieben. Sie wird sich daher, und weil anderseits die Gewinde von Büchse und Spindel dieselbe Steigung und dieselbe Richtung haben, beim

gross ausfällt. Überlegt man aber, dass eine einzige solche Platte bis zu 100 Spectren ausreicht, wozu der erste Apparat ebensovieler Platten bedurfte, dann wird man zugeben müssen, dass der neuen Camera auch in dieser Hinsicht der Vorzug geböhrt. Es sei nicht unerwähnt, dass diese Camera viel jüngerem Datums ist als der übrige Apparat. Der zur mikrometrischen Bewegung der Platte erforderliche Mechanismus ist das Endergebniss vieler Überlegungen, und seiner Ausführung, weil deren Gelingen zweifelhaft erschien, bin ich erst dann näher getreten, als die Mängel der älteren Camera, die ich anfänglich zu dem in Rede stehenden, verbesserten Apparat verwendet hatte, unabweisbar dazu drängten.

Drehen der Trommel genau so wie die Platte bewegen. Die Aussenwand der Büchse q' (Fig. 18) ist schlitzförmig durchbrochen und die eine Seitenwand dieses Schlitzes mit einer Millimetertheilung versehen, woran die ganzen Millimeter abgelesen werden. Den Index dazu trägt die Trommel p' in Gestalt einer eingedrehten, ringsumlaufenden Linie. (In Fig. 18 auf Taf. III zeigt diese Linie auf den 6. Millimeterstrich.) Die Trommeltheilung dient zur Ablesung der Zehntelmillimeter, wozu die Büchse q' , dicht über dem genannten Schlitz, den Index trägt. Zum schnellen Verschieben der Platte hat der für gewöhnlich zum Einstellen benutzte, ränderirte Knopf s' einen Griff t'

Die unter dem Kücken angebrachte Schraube u' (Fig. 18) kommt nur beim Auseinandernehmen der Camera, wobei das Kücken mit der Schraube etwas zu lockern ist, zur Anwendung.

Die Cassette in Fig. 9 und 10 (Tafel II) in natürlicher Grösse abgebildet, besteht aus einem messingenen, nur mit Deckel und Feder versehenen Rahmen. Der Rahmen ist aus einem Stück hergestellt. Einen besonderen Verschluss hat der Deckel nicht, da er sich beim Zuklappen hinreichend fest in den Falz der Cassette einklemmt. Zum Öffnen des Deckels dient ein vertieft darin liegendes Knöpfchen. Die Cassette ist auswendig ganz glatt gehalten, um ihr Einschieben in die Camera zu erleichtern.

Die photographische Platte misst 37 und 12·5 *mm* und ihre Verschiebung in der Camera, die in Richtung der Schmalseite erfolgt, 9 *mm*. Fig. 11 zeigt den Schlüssel, womit die Cassette aus der Camera herausgezogen wird.¹

Dreht man das Kücken b' (Fig. 19), nachdem man die Cassette hineingeschoben hat, mit der Handhabe l' in Richtung des Pfeils, so verschliesst es zuerst die Öffnung k' und damit zugleich seinen Innenraum, der von da an mit der äussern Luft nicht mehr in Verbindung steht. Bei fortgesetzter Drehung gelangt

¹ Beim Gebrauch steckt man den Schlüssel in das aus Fig. 9 ersichtliche Schlüsselloch der Cassette, wo er beim Drehen um seine Axe bei einer gewissen Stellung plötzlich um die Höhe seines hakenförmigen Kopfes tiefer in das Loch eindringt und gleich darauf von einem das Schlüsselloch quer durchsetzenden Stiftchen gefasst und mit der Cassette fest verbunden wird.

das Kücken b' (Fig. 17) mit seiner seitlichen Öffnung an die Rohrmündung m' , gibt durch diese die mitgeführte Luft an das Vacuum ab und setzt seinen Hohlraum, worin sich die photographische Platte befindet — die Platte und die innere Mechanik des Kükens sind der Deutlichkeit halber in Fig. 17 weggelassen — mit dem des evacuirten Apparates in die zur photographischen Aufnahme erforderliche Verbindung. In dieser Stellung des Kükens steht die Platte der Mündung m' gegenüber, durch die der Strahlenfächer in die Camera eintritt. Die Platte kann hier beliebig gegen die Axe der Cameralinse geneigt und sonach auch mit jedem Punkte der Diakaustik zur Berührung gebracht werden. Der Neigungswinkel der Platte wird an dem in ganze Grade getheilten Kreis (Fig. 19) des Mantels a' abgelesen, wozu das Kücken den Index trägt. Will man die Cassette aus der Camera herausnehmen, so dreht man das Kücken zurück, bis sich der Arreturstift n' (Fig. 19) an das Excenter o' legt. In dieser Stellung, die durch geeignetes Drehen des Excenters o' adjustirt werden kann, lässt sich die Cassette mit dem Schlüssel ungehindert herausziehen. Das Herausziehen geschieht, ebenso wie das Hineinschieben, weil die Cassette keinen Schieber hat, bei Dunkelkammerlicht oder im Finstern.¹

Soll die Camera um den Conus b gedreht werden, so dient als Handhabe sie selbst und ausserdem das ihr gegenüberliegende Gegengewicht q .²

Der Spaltschlitten ist der werthvollste Theil des ganzen Apparates. Er bot nicht von Anfang an den Comfort, der ihm gegenwärtig eigen ist. Erst nach und nach hat er, den Erforder-

Der Plattenwechsel lässt sich auch bei Tageslicht ausführen. Hierzu wird die Cassette schon der Dunkelkammer in eine lichtdichte Scheide geschoben — in der Zeichnung ist sie weggelassen — die an den Mantel a befestigt, eine Fortsetzung des Schlitzes k bildet. Aus der Scheide schiebt man die Cassette mit dem Schlüssel (Fig. 11) direct in die Camera. Ich benutze diese Vorrichtung nicht, einmal weil ich seit langer Zeit alle Platten im Finsternen einlege, und dann, weil die feinere Vacuumprobe (nach dem Verhalten der Geissler-röhre) einen mindestens halbdunkeln Arbeitsraum verlangt.

Bei kühler Witterung erfordert das Drehen der Camera ziemlichen Kraftaufwand. Zuweilen habe ich den Apparat vorher erwärmen müssen. Ich habe hierzu den Mantel mehrmals mit angewärmten Tüchern umhüllt, da ich, um den Apparat nicht einseitiger Bestrahlung auszusetzen, im Arbeitszimmer nie heize

nissen der Aufnahmen entsprechend, die vollständigere Einrichtung erhalten, die Fig. 12, 18 und 19 zeigen. Seine hermetische Verbindung mit dem Collimator vermittelt dessen, mit einer dünnen Fettschicht überzogene plane Stirnfläche, worauf er mit der Rückenfläche seines Gehäuses fest haftet, sobald man ihn unter mässigem Druck einigemal rück- und vorwärts dreht. Seine mit dem Collimator conaxiale Führung übernimmt der Ring a'' (Fig. 19), der, mit Gewinde versehen, zugleich zum Trennen beider dient, wozu er gegen den benachbarten Ansatz des Collimators zu schrauben ist. Löst man die Schraube b'' (Fig. 19), dann lässt sich der Schlitten ringsum drehen. Das ist zweckmässig, da die Fettschicht, die den Schlitten mit dem Collimator verbindet, auf diese Weise sehr gleichmässig, wie es guter Verschluss verlangt, vertheilt wird. Es empfiehlt sich, das Drehen des Spaltes nach dem ersten Evacuiren des Apparates noch einigemal zu wiederholen. Die Spaltmechanik, mit Ausnahme der Trommeln, liegt in dem Gehäuse d'' (Fig. 19), das nach dem Lichtquell hin mit dem conaxial durchbohrten Deckel e'' luftdicht verschlossen ist. Die Öffnung des Deckels wird mit einer Scheibe aus Flussspath oder mit einer sehr dünnen Quarzscheibe g'' (0.5 mm) verschlossen. f'' ist ein locker aufgepasster Gewinding, der zum Lösen der Fettverbindung zwischen Deckel und Gehäuse dient. Von den kleinen Schiebern h'' wird später, bei Besprechung der Entladungsröhren für die Vacuumaufnahmen, die Rede sein.

Der Spaltschlitten (Fig. 12, Taf. II) hat zwei Spalte, einen für die Breite der Linien, den andern für deren Länge. Die beiden Spalte kreuzen sich unter einem Winkel von 90° . Den Breitenspalt bildet das Backenpaar i'' , den Längenspalt das Backenpaar k'' . Die Backenpaare laufen mit ihren Spaltseiten so dicht übereinander, dass sämtliche Spaltränder nahezu in derselben Ebene liegen.¹

¹ Der senkrechte Abstand der Spaltränder, in Richtung der Linsenaxe gemessen, beträgt ungefähr 0.01 mm , eine Differenz, die in der Aufnahme nicht mehr zum Ausdruck gelangt. Das Bild der Spaltöffnung, die Spectrumlinie, wird demnach ringsum, also auch an den Enden, die bei anderen Apparaten an Klarheit oft zu wünschen übrig lassen, gleichmässig scharf erscheinen, ein Vortheil, den man bei Aufnahme untereinanderstehender Spectra, die exacten Anschluss (Wellenlängenbestimmung) haben müssen, besonders schätzt.

Die Bewegung der Spaltbacken erfolgt durch drei Mikrometerschrauben. Der Breitenspalt hat eine Mikrometerschraube, der Längenspalt zwei. Die eine hiervon steht direct mit dem beweglichen Backen des Längenspaltes in Verbindung, mit ihr wird die Länge der Spaltöffnung eingestellt, mit der andern lässt sich dasselbe Backenpaar längs dem Breitenspalt hinbewegen, mithin der Ort der den Strahlen geöffneten Spaltstrecke nach Erforderniss verändern. Auf diese Weise kann man die Gesamtlänge des Spaltes in beliebig viele Strecken theilen, die bei der Belichtung ebensoviele, sich scharf aneinander-schliessende Spectra geben.

Der Breitenspalt hat Backen (i'') aus gehärtetem Stahl. Sie sind zwischen Schienen, auf einer, der lichten Weite des Schlittengehäuses entsprechenden, starken Scheibe, die die Grundplatte für die ganze Spaltmechanik des Vacuums bildet, exact geführt. Diese Scheibe ist durch Schrauben mit dem Boden des Gehäuses verbunden und gegen seitliche Verschiebung durch Pressonstifte gesichert. Die Ränder des Spaltes sind wirkliche Schneiden. Der bewegliche Backen ist durch die Mutter l'' mit der Mikrometerschraube m'' (0.2 mm Ganghöhe) verbunden, der todte Gang durch die Feder n'' beseitigt. Die Mikrometerschraube trägt die Theiltrommel o'' (1 Trommeltheil entspricht $1\frac{1}{4}$ Mikron), ihr Lager den drehbaren Ring p'' mit dem Index. Dieser Ring hat ausserdem auf der Planseite eine eingedrehte Nuthe, die durch den kleinen Einstecker q'' unterbrochen wird. In dieser Nuthe läuft ein aus dem Trommelrand vorstehender Stift. Verengt man den Spalt, so gelingt das, weil Stift und Einstecker bei einer gewissen Stellung der Schraube zusammenstossen, nur bis zu einer Weite von 0.007 mm . Die Schneiden können sich sonach, was der Zweck dieser Vorrichtung ist, niemals berühren. Öffnet man den Spalt, so begegnet man demselben Hinderniss bei 0.2 mm Weite. Sollen diese Grenzen der Spaltöffnung erweitert werden, was jedoch nur selten vorkommt, dann braucht man nur den Einstecker herauszunehmen. In diesem Falle muss man sich aber beim Öffnen des Spaltes die Umdrehungszahl der Trommel merken, da man andernfalls jeden Anhalt für die Spaltweite verliert.

Den Längenspalt bilden ebenfalls Backen aus gehärtetem Stahl. Der obere ist fest, der untere verschiebbar durch die Mikrometerschraube r'' (0.2 mm Ganghöhe). Diese passt mit ihrem cylindrischen, der Länge nach mit einer Nuthe versehenen Kopf exact in die Bohrung der Trommelaxe s'' , worin sie sich in axialer Richtung ungehindert bewegen kann, am Drehen jedoch durch ein in die Nuthe eingreifendes Gleitstück verhindert wird, das durch einen angedrehten Zapfen mit der Trommelaxe s'' in fester Verbindung steht. Dreht man die Theiltrommel t'' (1 Trommeltheil entspricht 0.01 mm), dann nimmt ihre Axe s'' die Schraube r'' mit, und diese, ihrem Gewinde folgend, verschiebt den beweglichen Spaltbalken, wozu sie sich mit ihrem, über das Mikrometergewinde vorstehenden Kopfe gegen die mit einem Auge u'' versehene, dadurch ringförmige Endfläche des Backens legt. Die Feder v'' drückt das Auge stets gegen den Schraubenkopf. Ohne die Feder würde der Backen am Rückwärtslauf der Schraube nicht theilnehmen, sich der Spalt nicht wieder öffnen.

Das Muttergewinde der Mikrometerschraube r'' , ebenso das der anderen Mikrometerschraube w'' (0.5 mm Ganghöhe) enthält der, in einer kastenförmigen Bahn, in Richtung der Axen seiner beiden Mikrometer geführte Schieber x'' , worin auch, in schwalbenschwanzförmiger Führung, die Spaltbacken (k'') sitzen. Beim Drehen der Trommel y'' (1 Trommeltheil entspricht 0.1 mm) führt der Schieber x'' den Längenspalt über den Weitspalt hinweg. Den todten Gang beseitigt die Feder z'' . Die Theiltrommeln t'' und y'' der beiden Mikrometer sind mit Ablesevorrichtungen versehen, die sich von der der Camera nur dadurch unterscheiden, dass die Trommel beide Theilungen, für grobe und für feine Einstellung, und dass dementsprechend die doppelwandigen Büchsen a''' und b''' beide Indices tragen. Die Millimeterstriche für die grobe Einstellung sind in die Peripherie der Trommel eingedrehte Kreislinien, die Striche zum Ablesen der Bruchtheile haben die übliche axiale Richtung. Den Index für die ganzen Millimeter bildet die scharfe Kante des abgeschrägten Randes der Büchse (a''' , b'''), den Index für die Bruchtheile ein auf demselben Rande angebrachter, in der Zeichnung mit einem Ringel versehene Strich.

Die Nullstellung des Längenmikrometers l'' entspricht der Spaltlänge Null, die Nullstellung des zugehörigen anderen Mikrometers j'' dem höchsten Stand des oberen Spaltrandes. Die Deutung der Ablesung am Längenmikrometer wird insofern erleichtert, als der vor der Indexkante der genannten Büchse liegende, also der sichtbare Theil des Massstabes, genau der Länge der Spaltöffnung entspricht, was auch aus Fig. 12 hervorgeht, wenn man die Stellung des betreffenden Mikrometers l'' mit der Länge des Spaltes k'' vergleicht.

Die Schraube c''' nimmt das Gewicht des ganzen Längenmikrometers auf. Sie sitzt in einem auf der Rückseite des Schlittengehäuses befestigten Arme, der zugleich die Geradföhrung der doppelwandigen Büchse a''' , die hierzu einen quadratischen Zapfen (bei s'' sichtbar) trägt, in Gestalt einer Nuthe enthält.

Das oberste der drei Mikrometer wird, nächst dem der Camera, am häufigsten gebraucht, die beiden andern nur selten. Da die Lampe, die den Arbeitsraum erhellt, der Wärmestrahlung halber nicht in nächster Nähe des Apparates aufgestellt werden darf, lässt sich immer nur ein Mikrometer zweckentsprechend beleuchten. Diesem Übelstand hilft der kleine Reflector d''' ab, womit sich auch das andere gehörig erhellen lässt. Die reflectirende Fläche bildet ein zwischen die beiden, in der Zeichnung sichtbaren Schienen eingeschobenes Blatt weissen Papieres. Der Reflector hat ein Universalgelenk, womit er in jede gewünschte Stellung zur Trommel gebracht werden kann.

Dies der Apparat, womit ich gegenwärtig im Vacuum photographe.

Vertauscht man das Flussspathprisma mit einem Plan-gitter — ich benützte bei einem Vorversuche ein ausgezeichnetes Rowlandgitter aus Spiegelmetall —, dann lässt sich auch hiermit das brechbarste Ultraviolett auf eine grosse Strecke jenseits der Wellenlänge $185.2 \mu\mu$ verfolgen. Die Aufnahme der mit dem Prisma erreichten allerbrechbarsten Strahlen ist mir jedoch mit dem Gitter bisher noch nicht möglich geworden.

Die Schwärzung der Innenflächen. Es bleibt nun noch ein Umstand zu erwähnen übrig, der bei einem Spectral-apparat zur Photographie im luftleeren Raume besondere

Beachtung verlangt. Das ist die Schwärzung der glänzenden Innenflächen des Apparates. Ein Lacküberzug, wie er bei optischen Instrumenten üblich ist, liess beim Evacuiren starke und lang anhaltende Ausdünstung befürchten. Der Gasrückstand im Apparat würde alsdann neben atmosphärischer Luft auch noch die flüchtigen Bestandtheile des Lacküberzugs enthalten und voraussichtlich den wirksamen Strahlen gegenüber sich nicht indifferent gezeigt haben. Auch würde die Füllung des Apparates mit reinen Gasen, die in Aussicht genommen war zur Unmöglichkeit geworden sein. Ich habe, da chemische Schwärzung der betreffenden Theile mehrfachem Bedenken begegnete, mir auf die Weise geholfen, dass ich die mit einem schellackarmen Russanstrich — der Russ war anhaltend in einem Tiegel geglüht worden — überzogenen Flächen nach dem Trocknen so lange erhitzte, bis sie keine Dämpfe mehr entwickelten. Die Gasabsonderung dieses Anstriches kann, wenn solche überhaupt auf die Dauer stattgefunden hat, nur geringfügig gewesen sein, denn ich habe bisher nicht finden können, dass sie auf die Aufnahme der betreffenden Spectra irgend welchen Einfluss ausgeübt hätte.

Der Fettüberzug der Verschlussflächen und der laufenden Innentheile. Die Verschlussflächen, gleichviel ob ruhende oder laufende, sind, wie bereits vorstehend bei einigen erwähnt wurde, mit demselben Fett überzogen, dessen die Hähne und Schiffe der benützten Geisslerluftpumpe bedürfen. Die feinere Mechanik des Spaltschlittens und der Camera verlangt aber ein dünnflüssiges Schmiermittel. Ich habe hierzu Chronometeröl bester Qualität (Koch, Hildesheim) verwandt und es in möglichst kleinster Menge aufgetragen.

Die Dicke der Fettschicht übt auf die Dauer des Verschlusses der laufenden Flächen merklichen Einfluss aus. Die conischen Axen der Triebe und Mikrometerschrauben werden allerdings hiervon, wie ich stets beobachtet habe, nicht berührt, wahrscheinlich weil ihr Verschlusskegel relativ von grosser Länge ist, umso empfindlicher aber die grossen Conen. — Laufende Metallflächen verhalten sich dem angewandten Fett gegenüber anders als laufende Glasflächen. Ein Glashahn,

auch wenn er noch so sauber eingeschliffen ist, behält immer eine körnige Schlifffläche, ein Metallhahn hingegen verliert bei fortgesetztem Einschleifen seine anfängliche Rauheit und nimmt eine glatte Fläche an. Die glatte Metallfläche scheint das Luftpumpenfett weniger gut festzuhalten als die entsprechende Glasfläche. Das Fett schiebt sich auf ihr, wie ich wiederholt beobachtet habe, nach einigem Gebrauch des Metallhahnes stellenweise zusammen und gibt zur Bildung fettentblösster Stellen der Verschlussfläche Anlass. Gestützt auf besondere Versuche, die ich mit fettüberzogenen, optisch planen Metallplatten angestellt habe, halte ich dieses Verhalten des Fettüberzuges für die alleinige Ursache des Undichtwerdens der grossen Conen, das sich, wenn sie anhaltend in Gebrauch gewesen waren, hin und wieder fühlbar machte. Das einzige sichere Gegenmittel hierfür, das ich bis jetzt gefunden habe, ist öftere Erneuerung des Fettüberzuges. Es hat sich nun nach vielen Versuchen herausgestellt, dass dem dünneren Fettüberzug auch bei laufenden Flächen der Vorzug gebührt, da er seltener der Erneuerung bedarf als eine dicke Fettschicht. Nur darf man das Fett nicht so dünn auftragen, dass sich die Verschlussflächen gegenseitig angreifen und die Entstehung ringsumlaufender Riffeln veranlassen.

Ist der Apparat längere Zeit in Gebrauch gewesen, dann setzen alle Conen ihrer Bewegung merklichen Widerstand entgegen. In diesem Falle ist es rathsam den Fettüberzug zu erneuern. Eine Ausnahme hiervon macht nur die Mikrometerschraube des Breitenspaltes, sie soll so selten als möglich herausgenommen werden aus folgendem Grunde: Wie gleichmässig und dünn man auch den Conus einfetten und unter wie kräftigem Druck man ihn auch in das Gehäuse einführen mag, so ist es doch nicht zu umgehen, dass er am evacuirten Apparat noch etwas tiefer in sein Lager hineinläuft, wodurch sich die Spaltbacken, im Widerspruch mit dem Mikrometer, in demselben Masse einander näherrücken, wie sich der Conus axial verschiebt. Diese Verschiebung kann bis zu mehreren Mikron betragen. Erst bei fortgesetztem, längeren Gebrauch wird die Fettschicht stabil und damit das Mikrometer zuverlässig. Dieser Vorgang wiederholt sich selbstverständlich nach

jedem Herausnehmen der Mikrometerschraube. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, den Fettüberzug dieser Mikrometerschraube so selten als möglich zu erneuern. Das Mikrometer des Längenspaltes wird von dieser Veränderung der Fettschicht nicht berührt, weil bei ihm Schraube r'' (Fig. 12) und conische Axe s'' in axialer Richtung unabhängig von einander arbeiten. Für die übrigen Conen ist dieses Verhalten der Fettschicht bedeutungslos.

Es liegt die Frage nahe, ob nicht ein anderes Schmiermaterial dem Zweck des Apparates besser entsprechen könne. Käme der Apparat allein in Betracht, dann würde sich wohl ohne allzugrosse Mühe ein solches beschaffen lassen. Aber die Gefahr, die mit Anwendung einer anderen Fettsubstanz für die Erhaltung der Lichtdurchlässigkeit, sowie auch für die Reinheit der Apparatfüllung verbunden ist, hat mich abgehalten, in dieser Richtung Versuche anzustellen.

Die Aufstellung des Apparates.

Der zeitweilig schwere Gang der grossen Conen einerseits und die Zerbrechlichkeit der nach der Luftpumpe führenden Röhre, auch die Stellung einiger zur Aufnahme erforderlichen Hilfsapparate andererseits, fordern für den Apparat einen so festen Stand, dass er selbst beim Drehen mit Hilfe beider Hände, unter Ausübung voller Armeskraft, gegen seitliche Verschiebung gesichert sei, ohne jedoch der zum Nivelliren nöthigen Beweglichkeit zu entbehren.

Ich habe dies in einfacher Weise dadurch erreicht, dass ich die kräftigen Füsse des Dreifussgestelles, worin die Nivellirschrauben sitzen, derart zwischen kräftigen, auf den Experimentirtisch festgeschraubten Holzlagern festgeklemmt habe, dass dem Apparat nur noch eine kleine verticale Bewegung erlaubt ist, wie solche seine wagerechte Aufstellung verlangt.

Die Hilfsapparate.

1. Die Entladungsröhre zur Photographie der brechbarsten Strahlen.

Ich behandle sie ausführlicher, weil sie in der Gestalt, die ich ihr gegeben habe, für die Erschliessung des neuen Bezirkes besondere Bedeutung erlangte.

Gasspectra verlangen für das Ultraviolett Röhren von besonderer Lichtdurchlässigkeit. Gläserne Röhren sind nur insoweit zulässig, als sie eine mit hinreichend ultraviolett durchlässigem Verschluss versehene Öffnung haben. Ohne solchen Verschluss erreicht man, selbst wenn die Röhre zwischen Lichtquell und Collimator sehr dünnwandig, vielleicht nur wenige Hundertel eines Millimeters dick ist, höchstens die Cadmiumlinie Nr. 18 ($257 \mu\mu$).

a) Röhre mit ultraviolettdurchlässigem Verschluss. Ich verwende zu diesen Aufnahmen Röhren für Längsdurchsicht, die an einem Ende, wie beistehende Fig. 1 zeigt, mit einem Kegel aus Quarz verschlossen sind. Der Kegel ist 30 mm lang, 8 und 11 mm dick, seine Kreisflächen sind

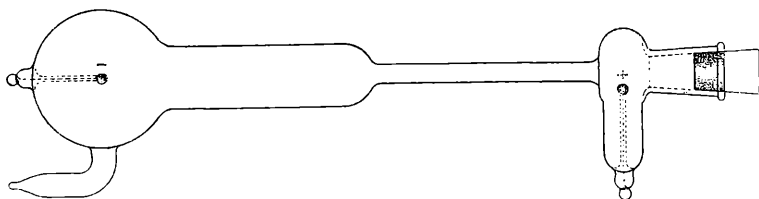


Fig. 1. ($1/2$ nat. Grösse.)

polirt und rechtwinklig zur optischen Axe geschnitten. Zu $2/3$ seiner Länge ist er in die Mündung der Röhre eingeschliffen. Ihn tiefer einzuschleifen ist nicht rathsam, da er sich sonst beim Einschleifen nicht sicher fassen lässt. Ein Drittel der eingeschliffenen Fläche, der in der Abbildung markirte Theil, wird dünn mit Luftpumpenfett überzogen und der Kegel unter ziemlichem Druck, drehend in die Mündung der Röhre gesteckt. Hatte die Fettschichte die richtige Dicke, so breitet sie sich hiebei nur wenig aus. Es sollte wenigstens die Hälfte des in der Röhre steckenden Kegels, die dem Vacuum zugekehrte Seite, nie mit Fett in Berührung kommen. Nur so ist man sicher, dass der Inhalt der gefüllten Röhre nicht durch Fett verunreinigt wird. Ist der Kegel sorgfältig eingeschliffen, dann lässt sich die Röhre beim Füllen ebenso wie jede gewöhnliche Entladungsröhre behandeln und nach erfolgter Füllung zu dauerndem Gebrauch auch von der Luftpumpe abschmelzen.

Mit ihr erhält man Gasspectra, die weit jenseits der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ enden. Leider macht sich die beschränkte Lichtdurchlässigkeit des 30 mm langen Quarzkegels empfindlich fühlbar: die Aufnahme gelingt nur bei verhältnissmässig langer Belichtung. Ein Verschlusskegel aus Flussspath würde hier jedenfalls bessere Dienste leisten. Ich habe mir leider keinen verschaffen können.

b) Röhre ohne ultraviolettdurchlässigen Verschluss. Eine Röhre der genannten Art hat den Nachtheil, dass zwischen Apparat und Röhre eine Luftschicht bleibt, worin die brechbarsten Strahlen einen Theil ihrer Energie einbüßen. Ich habe diesen Übelstand dadurch zu umgehen gesucht, dass ich die Röhre direct mit dem Deckel e'' (Fig. 19

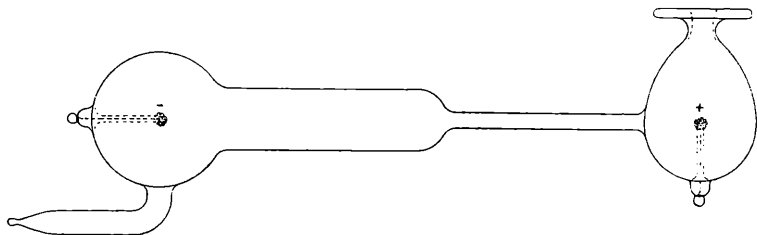


Fig. 2. ($1/2$ nat. Grösse.)

Taf. IV) des Spaltschlittens verband, so dass sie an Stelle der lichtdurchlässigen Scheibe g'' die Deckelöffnung verschloss. Auf diese Weise ist nicht nur die Luftschicht, sondern auch das andere Hinderniss, der 30 mm lange Verschlusskegel aus Quarz, gänzlich beseitigt. Füllt man den Apparat nebst der daransitzenden Röhre mit dem betreffenden Gase, dann lässt sich dessen Spectrum in ausgezeichnete Weise photographiren. Bedingung ist nur, dass sich das Gas dem Apparat, der Platte und den Strahlen gegenüber hinreichend indifferent verhält.

Diese Röhren enthalten einen flachen Rand und geben, je nach dessen Lage und Richtung zum Capillarrohr, das Spectrum des Elektrodenlichtes (beistehende Fig. 2) oder das Spectrum des Capillarlichtes (beistehende Fig. 3). Bei kräftigem Strom erhitzen sich diese Röhren sehr stark. Zuweilen schmilzt sogar die Kathode, und Tröpfchen des geschmolzenen Metalles werden in der Röhre umhergeschleudert. Um die Erhitzung der

Glaswand zu vermindern, ist die Röhre am Kathodenende zu einer geräumigen Kugel erweitert und die Elektrode in der Mitte der Kugel angebracht. Dem Fortschleudern des geschmolzenen Metalles ist in der Weise Einhalt gethan, dass die Glasfassung des Platindrahtes in drei kleine Spitzen ausgezogen und mit dem Aluminium der Elektrode zu einem kugelförmigen Klumpen verschmolzen ist. Metall und Glasspitzen umklammern sich auf diese Weise gegenseitig, und wenn die Elektrode beim Gebrauch der Röhre einmal schmilzt, hängt das Aluminium immer noch so fest, dass sich nur kleinere Tröpfchen davon ablösen können. Walzenförmige Elektroden sind bei so starkem Strom, wie ihn diese Röhren auszuhalten haben, von weit geringerer Dauer.

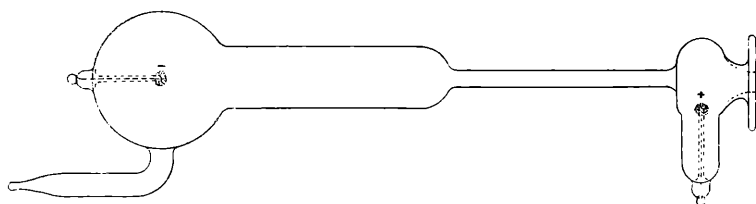


Fig. 3. ($1\frac{1}{2}$ nat. Grösse.)

Die genannte Glasfassung der Platindrähte meiner Röhren besteht aus goldhaltigem Glas (Rubinglas),¹ das die häufigen Temperaturveränderungen der Entladungen ohne Nachtheil verträgt. Die Dauer einer Entladungsröhre kann durch nichts so sehr als durch die Haltbarkeit der Fassung des Elektroden drahtes gewinnen.

Der erweiterte, cylindrische Theil der Röhre, der Kugel und Capillare mit einander verbindet, gewährt durch seine Schichtungen, die er bei der Entladung zeigt, einen ausgezeichneten Anhalt für die Beurtheilung des Druckes und der Reinheit der Röhrenfüllung. Sobald der Druck bis auf einige Millimeter Quecksilbersäule gesunken ist, bieten die Schichtungen des betreffenden Gases in diesem Theile der Röhre

¹ Diese Röhren liefert in ausgezeichneter Beschaffenheit Herr R. Götze in Leipzig, Liebigstrasse.

durch ihre Zahl, Form und Farbe ein feinfühliges Mittel, um Änderungen des Druckes und des Röhreninhaltes zu erkennen. Ganz unentbehrlich sind die Schichtungen, wenn der Druck im Apparat verändert worden ist und wieder genau auf seine ursprüngliche Höhe gebracht werden soll. Die Barometerprobe bietet hierzu nur einen ungefähren Anhalt. Die feinere Regulirung des Druckes kann allein nach dem Verhalten der Schichtungen der Entladungsröhre geschehen. Werden mehrere Röhren angewandt, dann sollten sie in Form und Grösse nach Möglichkeit einander gleichen. Sind sie verschieden, so hat jede Röhre für denselben Druck eine andere Anzahl Schichtungen, und das Verhalten der einen gewährt keinen Anhalt für das Verhalten der andern.

Je enger die Capillare einer Entladungsröhre, desto heller ihr Licht, umso energischer auch die Strahlen des neuen Lichtgebietes. Gleichwohl darf die Weite des Capillarrohres nicht gar zu fein sein. Es hat den Anschein, als finde der Strom in sehr feinen Capillaren nicht die zu seiner Leitung erforderliche Gasmenge vor. Andernfalls würde sich das Glas enger Capillaren nicht so oft in Dampf verwandeln, und an Stelle des Spectrums der Röhrenfüllung, das Spectrum des Glasdampfes erscheinen. Die enge Capillare hat aber noch einen andern Nachtheil: sie erschwert das Evacuiren und Füllen der Röhre. Sobald nämlich der Druck beim Füllen der Röhre bis auf wenige Millimeter Quecksilbersäule gesunken ist, zeigt die enge Capillare häufig nur auf der Einströmungsseite das Spectrum der Röhrenfüllung, während die andere Seite und der sich daranschliessende erweiterte Theil der Röhre, das Spectrum des vorhergehenden Röhreninhaltes, also beim ersten Gebrauch der Röhre, das der Luft geben. Man kommt in diesem Falle nur zum Ziele, wenn man die Röhre mit dem zur Füllung dienenden Gase mehrmals bis zum Druck von einigen Decimètern Quecksilbersäule wechselweise füllt und auspumpt. Meine zur Aufnahme des Spectrums im Vacuum benützten Röhren haben Capillaren von $\frac{1}{2}$ bis 1 *mm* lichter Weite und 50 bis 60 *mm* Länge.

Der Rand dieser Röhren ist plan geschliffen und schwach mit Fett überzogen. Er haftet an genanntem Deckel so fest, dass

man ein Ablösen nicht zu befürchten hat. Die Röhren, auch die für Längsdurchsicht, bedürfen keiner Stütze: sie hängen, nur mit dem Rande befestigt, frei in der Luft. Nur gegen seitliche Verschiebung müssen sie gesichert werden, da sie andernfalls an der verticalen Klebfläche hinuntergleiten, wodurch der Funken seine conaxiale Stellung zum Collimator verliert.

Verbindung der Röhre mit dem Collimator. Das Centrum des Lichtquells soll bei jeder Spectralaufnahme in der Axe des Collimators liegen. Dementsprechend ist auch im vorliegenden Falle die Röhre mit dem Collimator zu verbinden. Das geschieht bei Capillarenlicht wie folgt. Der Deckel e'' (Fig. 13, Taf. II) des Spaltschlittens wird losgenommen und seine Verschlussscheibe g'' (Taf. IV) mit der betreffenden Entladungsröhre vertauscht. Der schwach mit Fett überzogene Rand der Röhre haftet nach mehrmaligem Rück- und Vorwärtsdrehen fest am Deckel, lässt sich aber noch bequem darauf hin- und herschieben. Steckt man jetzt den Stahlbolzen e''' durch die Öffnung des Deckels, worin er exact geführt wird, so gewährt sein stiftförmiges Ende, das mit einigem Spielraum in das Capillarrohr passt, den zur Einstellung der Röhre erforderlichen Anhalt. Capillaren- und Collimatoraxe fallen zusammen, wenn das stiftförmige Ende des Bolzens ringsum von der Innenwand der Capillare gleichen Abstand hat. In dieser Stellung ist die Röhre seitlich zu befestigen. Das geschieht mit Hilfe der Schieber h'' , die bis an den Röhrenrand geschoben und hier festgeschraubt werden. Analog verfährt man beim Einstellen der Röhre für Elektrodenlicht (vorstehende Fig. 3). Nach erfolgtem Centriren der Röhre wird der Bolzen e''' mit einem innen geschwärzten Messingrohr vertauscht, und der Deckel mit der Röhre wieder mit dem Spaltschlitten verbunden. Ohne dieses Rohr würde die glänzende Deckelöffnung zu störender Reflexion Anlass geben.

Beim Gebrauch der Röhre soll das mit dem Rande versehene Ende nach Möglichkeit vor Erhitzung geschützt werden, damit der Verschluss nicht gelockert und der Rand nicht dem Zerspringen ausgesetzt werde. Darum wähle ich auch bei Röhren für Längsdurchsicht stets die vom Spalt entferntere Elektrode zur Kathode. Nur wenn ihre Temperatur einmal zu

hoch steigt, wechsele ich die Pole, doch auch dann nur auf kurze Zeit. Im Übrigen erfordert die Behandlung der Röhre nicht mehr Sorgfalt als die jeder anderen Entladungsröhre.

2. Der elektrische Apparat.

Eine Batterie von 6 Grovebechern erzeugte den Primärstrom, dessen Stärke sich im Durchschnitt auf 12 Ampères bei 9 Volt belief. Bei den späteren Versuchen befanden sich in der Strombahn ein Ampèremeter und ein Voltmeter, beide nach Kohlrausch. Die Entladungen lieferte ein Ruhmkorff'sches Inductorium für 25 *cm* lange Funken, zeitweilig wurde auch ein solches für nur 8 *cm* lange Funken benützt. Wo ein Condensator nöthig war, wurde eine Leydener Flasche von 40 *cm* Höhe und für Funkenstrecken ein Funkenstativ in die Strombahn eingeschaltet. Ein zweites Funkenstativ diente dem Funken, dessen Spectrum zur Aufnahme gelangen sollte.

3. Die Luftpumpe.

Ich habe mich einer Geissler'schen Quecksilberluftpumpe bedient. Sie stand durch zwei Glasröhren mit einem Kipp'schen Gasentwicklungsapparat und mit dem photographischen Spectralapparat in Verbindung. Alle Verbindungen waren durch Schliffe hergestellt. Der Kipp'sche Apparat hatte sein eigenes, durch zwei Hähne abgeschlossenes Trockengefäß, worin das Gas, ehe es in die Luftpumpe eingelassen wurde, stundenlang trocknete. Das Trocknen vor dem Einlassen ist wichtig, da feuchtes Gas in den vom Trockengefäß der Luftpumpe entfernter liegenden Theilen des evacuirten Raumes, im vorliegenden Falle in der Entladungsröhre, seinen Wasserdampf nur sehr langsam abgibt. Feuchtes Gas entwickelt aber bei Wellenlänge 281 $\mu\mu$ eine Anzahl dem Wasserdampf angehörende, energische Banden, gibt sonach nie ein reines Spectrum der nominellen Röhrenfüllung.

Da ich den Kipp'schen Apparat bei meinen Vacuumaufnahmen bisher nur zur Entwicklung von Wasserstoff benützt habe, so sei gleich hier erwähnt, dass dieser aus Zink und Schwefelsäure, beides chemisch rein, dargestellt wurde. Die Quecksilberfüllung der Luftpumpe war ebenfalls chemisch

reine Handelswaare. Getrocknet wurde mit Phosphorsäureanhydrit.

Luftpumpe und Spectralapparat standen neben einander, so dass sich die Röhre, während sie evacuirt wurde, gleichzeitig mit dem Spectroskop beobachten liess.

Der Arbeitsraum für die Aufnahmen.

Die Aufnahmen erfolgten in einem nach Nordwesten gelegenen Zimmer meines Laboratoriums, das durch seine Umgebung, auch weil es nie geheizt wird, gegen einseitige Wärmestrahlung hinreichend geschützt ist, und auch den zum Plattenwechseln nöthigen lichtdichten Verschluss des Fensters besitzt.

Die photographische Platte und ihre Entwicklung.

Zur Aufnahme diente nur die im ersten Theile dieses Berichtes besprochene, ultravioletttempfindliche Platte meiner Präparation, die einzige, die gegenwärtig für die neuen Strahlen Empfindlichkeit zeigt. Der Vollständigkeit halber will ich wiederholen, dass die Platten mit Soda und Pyrogallus entwickelt wurden, und dass hierzu durchschnittlich 2 Minuten erforderlich waren.

Die Entwicklungsdauer wurde nach dem Secundenschlage eines Metronoms abgemessen, was schon das nachstehend beschriebene »Entwicklungsverfahren nach Zeit« nothwendig machte.

Das mit Fixirnatron behandelte Negativ liess sich in Zeit von einer Minute gründlich auswaschen und trocknete so rasch, dass es schon 5 bis 6 Minuten nach Beginn des Entwickelns im trockenen Zustande unter dem Mikroskop geprüft werden konnte.

Das schnelle Trocknen ist ein Vorzug der neuen Platte, da es auf diese Weise möglich wird, die zwischen aufeinanderfolgende Aufnahmen fallende mikroskopische Prüfung ohne Zeitverlust an der trockenen Platte vorzunehmen, was ein weit sichreres Urtheil ermöglicht, als es beispielsweise die nasse und dann immer hochaufgequollene Bromsilbergelatineschicht gestattet. Bei Spectralaufnahmen, die besonders zarte

Zeichnung erfordern, insonderheit bei Auflösung dichtstehender Linien, befolge ich seit Kurzem ein etwas verändertes Entwicklungsverfahren. Ich richte mich dabei nicht mehr danach, was auf der Platte erscheint — das würde sich schon deshalb verbieten, weil die Linien, wegen ihrer ungewöhnlichen Feinheit beim Entwickeln nicht zu erkennen sind —, sondern lasse die Platte eine gewisse Zeit, die ich nach Erfahrung abmesse, im Entwicklerbade. Allerdings komme ich dabei nie mit einer einzelnen Aufnahme aus. Gewöhnlich genügt das erste Negativ, das ich auf diese Weise erhalte, noch nicht, da seine Linien meist zu breit und nahestehende Linien noch gar nicht oder nur unvollständig getrennt sind. In solchem Falle wiederhole ich die Aufnahme. Während ich aber dabei an der ursprünglichen Belichtungsdauer unverändert festhalte, kürze ich die Entwicklung um einige Sekunden ab. Auf diese Weise erlange ich, manchmal allerdings erst nach einer dritten oder vierten Aufnahme, Linienbilder von einer Feinheit, wie ich sie mit gewöhnlicher Entwicklung nie erhalte. Dieses Verfahren ist etwas zeitraubend, allein die Schönheit der resultirenden Negative lohnt den grösseren Aufwand an Zeit und Mühe in reichlichem Masse.

Man sieht hieraus, dass sich die auflösende Kraft eines photographischen Spectralapparates schon durch die Art der Entwicklung nicht unwesentlich steigern lässt.

Die photographische Aufnahme des neuen Spectralgebietes.

Das neue Gebiet wurde mit Hilfe der beiden Spectralapparate, wovon soeben ausführlich die Rede war, photographirt.

Die grössere Hälfte wurde mit dem ersten Apparat aufgenommen, doch rühren alle feiner detaillirten Aufnahmen hiervon, sowie die andere, stärker abgelenkte Hälfte, die ungefähr bei der Wellenlänge $100\mu\mu$ enden dürfte, von dem verbesserten Instrument her. Ich kann daher von einer Besprechung der älteren, übrigens auch minder vollständigen Ergebnisse absehen und ohne Weiteres zu meinen Arbeiten mit dem verbesserten Apparat (Taf. III und IV) übergehen.

Ich beginne mit den ersten photographischen Vorarbeiten des noch ungeprüften neuen Apparates, die der Aufnahme des genannten Gebietes vorherzugehen hatten.

Die Einstellung des Spectralapparates.

Die ersten Aufnahmen mit einem evacuirten Spectralapparat nehmen, weil im Anfang noch jeder Anhalt für die Einstellung der Rohre, Linsen und des Prismas fehlt, längere Zeit in Anspruch. Die Einstellung im neuen Ultraviolett gelingt der gänzlichen Unsichtbarkeit seiner Strahlen halber minder leicht als im übrigen Spectrum. Bei jedem anderen Spectralapparat ist eine Orientirung leichter als hier, denn das sichtbare Spectrum bietet auf matter Scheibe, das Ultraviolett (bis zur Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$) auf fluorescirender Scheibe, zur ersten ungefähren Einstellung einen schätzenswerthen Anhalt, wenn auch nicht ausser Acht gelassen werden darf, dass scharfe Focussirung schon hier auf die photographische Aufnahme angewiesen ist.

Jenseits der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ muss man auf diese Vortheile des subjectiven Spectrums verzichten. Die Strahlen erregen hier, wenn man sie mit Uranglas auffängt, nur noch auf kurzer Strecke Fluorescenz, und dabei so schwach, dass das Spectrum aus nicht mehr als einem zweifelhaften Lichtstreifen besteht.

Wollte man unter solchen Umständen die photographische Platte ohne Weiteres dem neuen Spectralgebiet exponiren, dann würde man sie nur nach Gutdünken einstellen können. Es würden aber viele Aufnahmen erforderlich sein, ehe man eine brauchbare erlangte.¹ Weit schneller gelangt man zum Ziele, wenn man das fluorescirende Ultraviolett zu Hilfe nimmt. Stellt man die Platte zuerst hierfür ein, dann gewinnt man sicheren

Wie mühevoll solches Beginnen ist, habe ich zu Anfang meiner Vacuumaufnahmen, wenn ich einen neuen Keilring (siehe Fig. 4, Taf. I) zwischen Collimator und Gehäuse eingeschaltet hatte, erfahren müssen, weil es hiernach nicht mehr möglich war, das Fluorescenzspectrum, den einzigen Anhalt zur ocularen Orientirung, wieder in das Sehfeld der Camera zu führen. Mehrmals habe ich dann stundenlang arbeiten müssen, ehe ich ein brauchbares Resultat erzielte.

Anhalt, um sie Schritt für Schritt weiter an der Diakaustik der neuen Strahlen herumzuführen und für die aufeinanderfolgenden Strecken focussiren zu können. Die Länge dieser Strecken richtet sich nach der Krümmung der Diakaustik; sie soll das mit einem Mal hinreichend scharf einstellbare Spectralgebiet nicht überschreiten.

In der Praxis gestaltet sich jedoch das Focussiren nicht so einfach wie es hiernach scheint. Es dürfte daher nicht überflüssig sein, wenn ich das Verfahren der Einstellung,¹ das für

Es mag an dieser Stelle auf einen Übelstand hingewiesen werden, der sich beim Focussiren der einzelnen Strecken geltend macht. Die Focalweite nimmt, ungeachtet der schwachen Dispersion des Flusspaths, mit der Wellenlänge beträchtlich ab, und das hat zur Folge, dass die Spectrallinien nach dem brechbarern Ende hin immer mehr zusammengedrängt werden, und dass ferner ihr gegenseitiger Abstand ganz von der Einstellung des Apparates abhängig ist. So kann dieselbe Liniengruppe, je nachdem sie auf der brechbarern oder auf der anderen Hälfte der Platte aufgenommen wird, kürzer oder länger ausfallen. Das ist auch dann der Fall, wenn sie mit der Nachbarstrecke nochmals zur Aufnahme gelangt, wie das zur besseren Orientirung mit den am Plattenrande liegenden Linien stets zu geschehen pflegt. Daher kommt es auch, dass die betreffenden Partien des Plattenrandes benachbarter Strecken nie übereinstimmen. Hierdurch wird die Orientirung neuerschlossener Gebiete, besonders wenn ihnen markante Linien fehlen, sehr erschwert.

Es fragt sich nun, ob sich hier nicht durch eine besondere Focussirung Abhilfe schaffen liesse. Nach meiner bisherigen Erfahrung, wenigstens so lange man nicht auf die Schärfe des Bildes verzichten will, schwerlich..

Es hat sich bei meinen Beobachtungen des brechbarsten Ultraviolett herausgestellt, dass dessen Aufnahme an Klarheit verliert, wenn Prisma und Cameralinse weit von einander abstehen. Eine Ausnahme hiervon machte auffallenderweise nur die Anfangsstrecke des neuen Gebietes, von der Wellenlänge $185.2\ \mu\mu$ an, wovon ich in allen Fällen klare Negative erlangte.

Erst nachdem ich die Cameralinse dem Prisma näher gebracht, und die Focussirung mit der Linse des Collimators allein bewirkt hatte, erlangte ich Spectra von gewünschter Schärfe. Die Schönheit der Aufnahme war sonach an dieses eigenthümliche Einstellungsverfahren gebunden. Leider liess sich damit die gewünschte Übereinstimmung benachbarter Spectralstrecken, die andernfalls nicht unerreichbar sein dürfte, nicht ermöglichen, und ich habe, weil ich mein Hauptaugenmerk auf die Klarheit der Aufnahme zu richten hatte, darum auch bei sämtlichen Aufnahmen darauf verzichten müssen.

Im allerbrechbarsten Ultraviolett habe ich leider diese Verfahren aufgeben müssen, da der für Linse und Spalt geforderte gegenseitige Abstand

alle Strecken dasselbe ist, für einen einzelnen Fall hier durchführe. Ich wähle dazu die Anfangsstrecke, die zur Hälfte dem schon von Stockes entdeckten Theile des Ultraviolett, dem Ende des noch kräftig fluorescirenden Spectrums, zur anderen Hälfte den neuen Strahlen angehört.

Die grobe Einstellung. Die Aufnahme des fluorescirenden Ultraviolett, womit die Focussirung des neuen Gebietes zu beginnen hat, geschieht am zweckmässigsten wie folgt.

Die Camera wird von ihrem Rohre abgeschraubt, der Spalt weit geöffnet, mit Lampenlicht beleuchtet, und Camerarohr und Prisma derart gedreht, dass nur noch das in das Minimum der Ablenkung eingestellte Blau des sichtbaren Spectrums im Sehfeld der Cameralinse erscheint. Ein Ocular ist hiebei entbehrlich. Es genügt, wenn man mit blossen Auge in Richtung der Linsenaxe in das Rohr sieht. Darauf wird das Licht mit einem nicht zu schwachen Aluminiumfunken vertauscht und dessen Spectrum mit einer Uranglasscheibe aufgefangen, die, unter einem Winkel von 25° bis 35° gegen die Linsenaxe geneigt, vor der Mündung des Camerarohres aufgestellt ist. Bei hinreichender Verdunklung des Beobachtungsraumes — stört der Funke, dann überdecke man ihn mit einem Tuche, das man auf den Collimator hängt — erkennt man, wenn man die Uranglasscheibe in Richtung der Linsenaxe hin- und herschiebt, am brechbarsten Ende des auf ihr erscheinenden maigrünen Streifens eine breite, helle Linie, die Doppellinie Nr. 32, Wellenlänge $186\cdot0\ \mu\mu$ und $185\cdot2\ \mu\mu$.¹ Durch Drehen des Camerarohres um die verticale Axe des Gehäuses bringt man die Linie,

unerlaubt kleine Dimensionen erreicht hätte. Ich habe darum die Einstellung in diesem Theile nur mit der Linse der Camera, die hierzu wieder vom Prisma entfernt werden musste, ermöglichen können. Und das mag auch der Grund sein, weshalb diese Aufnahmen, selbst dort, wo die Platte im Focus sich befunden hat, viel zu wünschen übrig lassen.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass diese Aberration meinem Flussspathkörper eigenthümlich ist. Ich will sie darum auch nur angeführt haben, um zu zeigen, dass selbst relativ sehr reiner Flussspath der Spectralphotographie im luftleeren Raume grosse Schwierigkeiten bereiten kann.

¹ Die Linie erscheint hier nur des weitgeöffneten Spaltes halber einfach, bei engem Spalt erkennt man auch auf der Uranglasscheibe beide Componenten.

wobei die Scheibe nachzurücken ist, in die Mitte des Sehfeldes — Schätzung genügt — und stellt sie, während man ihren Lauf durch eine gegen die Scheibe stark geneigte Lupe (noch besser durch ein Mikrometerocular von langer Brennweite) verfolgt, in das Minimum der Ablenkung ein, so gut es eben auf diese Weise möglich ist. Genügt zum Index hierzu der Rand des Sehfeldes der Lupe nicht, dann leistet ein Streifen dünnen, weissen Papiers, das man auf die leuchtende Seite der Uranglasscheibe klebt und am Orte der genannten Linie mit einem kräftigen Strich versieht, gute Dienste. Hat sich die Linie beim Einstellen merklich von der Mitte des Sehfeldes entfernt, dann ist die Stellung des Camerarohres entsprechend zu corrigiren, damit die Linie wieder in die Mitte des Sehfeldes gelange. Damit ist die grobe Einstellung beendet, die, wie sich schon aus dem Vorhergehenden ergibt, nur bei der Anfangsstrecke durchzuführen ist, während alle übrigen Strecken nur auf photographischem Wege eingestellt werden können.

Die feine Einstellung. Sie kann nur mit Hilfe der photographischen Platte geschehen. Sie setzt sich zusammen aus der Focussirung der Plattenmitte, der Focussirung der beiden Enden des Spectrums, der Einstellung auf das Minimum der Ablenkung und der Verbesserung der Bildschärfe.

1. Focussirung der Plattenmitte. Die Camera wird wieder an das Rohr geschraubt, die Cassette mit eingelegter Platte eingeschoben, das Küken auf 30° eingestellt, die Spaltöffnung auf 0.03 bis 0.05 mm verengt und auf 0.4 mm verkürzt, der Apparat bis auf ungefähr 0.5 mm Quecksilbersäule evacuirt, der Aluminiumfunken dicht vor die Verschlusscheibe des Collimators (höchstens 2 mm Abstand) gebracht und sein Spectrum bei verändertem Abstand der Collimatorlinse vom Spalt eine Anzahl-mal aufgenommen, wozu die Platte nach jeder Aufnahme mit dem Mikrometer der Camera um 0.5 mm zu verschieben ist. Für die erste Aufnahme sind die Linsen des Collimators und der Camera ganz nach dem Prisma hin zu verschieben, und für die folgenden ist die Collimatorlinse von Aufnahme zu Aufnahme dem Spalt um 2 mm näher zu rücken. Auf diese Weise lassen sich bis zu 17 Aufnahmen auf einer Platte ausführen. Prüft man die Mitte dieser Aufnahmen mit der

Lupe, so wird man finden, dass sie durchgängig unklar sind, dass aber eine alle übrigen an Deutlichkeit übertrifft. Den Linsenabstand dieser relativ schärfsten Aufnahme lässt man sich als mittlere Focalweite einer zweiten, ebensolchen Spectralreihe dienen, die sich von der ersten nur durch kleinere Verschiebungsintervalle der betreffenden Linse (0.5 bis 0.2 mm) unterscheidet. Dem klarsten Spectrum dieser Reihe entspricht die gesuchte Focalweite der Plattenmitte. An ihr hält man fest bei der folgenden Einstellung der beiden Enden des Spectrums.

2. Focussirung der beiden Enden des Spectrums. Von der scharf eingestellten Plattenmitte nach den Enden der Aufnahme hin nimmt die Bildschärfe im Allgemeinen merklich ab. Es gibt aber eine Stellung der Platte, wo beide Seiten der Aufnahme beinahe tadellose Definition aufweisen. Man ermittelt diese Stellung durch eine dritte Spectralreihe, wobei man die Neigung der Platte zur Linsenaxe durch entsprechende Drehung des Kükens von Aufnahme zu Aufnahme, mit 40° beginnend, um 1° oder 2° abnehmen lässt.¹ Die klarste Aufnahme, die man hiebei erhält, bietet wie bei der Einstellung der Collimatorlinse den nöthigen Anhalt zu einer vierten Reihe, die bei einem Drehungsintervall von 0.5° zu einer Aufnahme führt, die auf beiden Seiten gleichmässig klar, wenn auch hier nie ganz so scharf als in der Mitte ausfällt. Den Neigungswinkel dieser Aufnahme benützt man bei Einstellung auf das Minimum der Ablenkung, die nunmehr zu erfolgen hat.

3. Einstellung auf das Minimum der Ablenkung. Man wähle dazu eine der brechbarsten Linien, nicht die Mitte, noch weniger aber Linien des anderen Endes der aufzunehmenden Spectralstrecke. Ich habe gefunden, dass die Aufnahme sichtlich an Klarheit gewinnt, wenn man an dieser Regel festhält. Das Aufnahmeverfahren gleicht hier dem vorhergehenden vollständig, nur mit dem Unterschied, dass die Drehungsintervalle (Alhydade des Prismas) bei der letzten Spectralreihe, die zur Aufnahme gelangt, entsprechend ihrem

¹ Die Mitte der Platte bleibt, wie man das Küken auch drehen möge, stets im Focus, weil sie, wie bereits bei Besprechung der Einrichtung der Camera hervorgehoben wurde, mit der Axe des Kükens coincidirt.

Zweck kleiner zu wählen sind. Nur selten habe ich aber bis auf 6' heruntergehen müssen. So exacte Einstellung wie in der Spectrometrie verlangt weder der Zweck der Aufnahme, noch würde sie, in Anbetracht der Kleinheit des Apparates erreichbar sein.

Massgebend für den gesuchten Einstellungswinkel des Prismas ist das Spectrum, dessen brechbarste Linien am weitesten nach Roth verschoben sind.

Gewöhnlich entfernen sich hiebei alle Linien so beträchtlich von ihrem Orte, dass die Focussirung der Platte verloren geht und sich eine nochmalige Einstellung der Mitte und der Seiten des Spectrums in der soeben besprochenen Weise nöthig macht.

4. Verbesserung der Bildschärfe. Wie man aber auch einstellen möge, immer wird die Aufnahme in einem Theile etwas weniger klar ausfallen als in den übrigen. Befolgt man das soeben beschriebene Verfahren, so sind es die Enden der Aufnahme, die von dieser Minderschärfe betroffen werden. Ist auch der Schärfeunterschied zwischen Mitte und Seiten, sobald man die Aufnahmestrecke nicht übermässig lang wählt nicht allzu fühlbar, so kommen doch Fälle vor, wo seine Verminderung erwünscht ist. Man erzielt nun eine gleichmässiger vertheilte Schärfe, wenn man anstatt der Plattenmitte die Mitten der beiden Plattenhälften scharf einstellt, so dass die Aufnahme bei $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ ihrer Länge ihre beste Definition zeigt. Dabe verliert zwar die Plattenmitte etwas an Deutlichkeit, dafür treten aber die Enden des Spectrums entsprechend reiner gezeichnet hervor. Diese Einstellung verlangt, wenn sie Erfolg haben soll, eine sehr sorgfältige Behandlung der Platte beim Hervorrufen. Fällt das Negativ nicht ganz klar aus, dann lässt sich nicht ohne Mühe die Aufnahme gleichmässigster Schärfe aus der Spectralreihe, die hierzu aufzunehmen ist, herausfinden. Es gelingt viel leichter eine Platte für die Mitte als für die Mitte ihrer beiden Seiten zu focussiren.

Was für das ganze Spectrum gilt, gilt auch für die einzelne Linie. Die Diakaustik ist nicht nur in Richtung des Spectrumbandes, sondern auch in Richtung der Spectrumlinien gekrümmt. Eine Linie von grösserer Länge lässt sich demzufolge

ebenfalls nur auf kürzerer Strecke scharf abbilden. Bei ihr hilft man sich in einfachster Weise durch Verkürzung der Spaltlänge, wobei nur die rein gezeichnete Strecke, die Mitte, zur Wirkung gelangt. Darum auch die von Haus aus mässige Länge meines Spaltes.¹

Es kann vorkommen, dass der Rest von Unschärfe, der auch nach dieser Correctur der Einstellung noch übrig bleibt, stört, und dass seine Beseitigung der Aufnahme zum besonderen Vortheile gereicht. Hier hilft dann, als letztes Mittel der Verfeinerung der Bildschärfe, eine Verminderung der Apertur des Collimators. Der Umfang der Zerstreuungskreise, auch die sphärische Aberration fällt, wenn man die Collimatorlinse abblendet, der Verminderung der Blendenöffnung entsprechend kleiner aus, und die Aufnahme gewinnt durchweg, allerdings auf Kosten der Belichtungsdauer, sichtlich an Deutlichkeit. Die Anwendung dieses Hilfsmittels erfordert jedoch Vorsicht. Wenn nämlich die betreffende Spectralstrecke grosse Energieunterschiede aufweist, treten die wirksamsten Linien, sobald man die Belichtungsdauer den übrigen Linien anpasst, häufig von Beugungslinien begleitet auf, die der Deutung der Aufnahme verhängnissvoll werden können. Man sollte daher nicht ohne Noth zur Blende greifen. Andernfalls, oder wo diese Beugungsfransen nicht stören, kann man die Linsenöffnung ohne Bedenken auf $\frac{1}{20}$ der Focalweite vermindern.²

Meine früheren Beobachtungen hatten gezeigt, dass die Strahlen jenseits der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ von der Luft, selbst in sehr dünner Schicht, energisch absorbirt werden. Die kleinste

¹ Bei kurzer Focalweite sollte man längere Spaltöffnungen überhaupt vermeiden. Einfache Linsen, wie solche die Aufnahme des Ultraviolettens verlangt, geben bei langem Spalt zuweilen sonderbare Liniengebilde. So kann es, um nur ein Beispiel anzuführen, geschehen, dass anstatt der einfachen Linie scharf gezeichnete Doppellinien erscheinen, die in Folge ihrer, allen Linien des Brechungsspectrums eigenthümlichen Krümmung, sphärische Zweiecke bilden.

Versuche, die ich mit einem Prisma und Linsen aus Quarz anstellte, ergaben, dass das Linienbild eine noch weit stärkere Verminderung der Apertur ohne Nachtheil verträgt. Erst als ich $o : f$ auf 90 reducirte, begannen die Ränder der Linien ihre Schärfe zu verlieren. Abgesehen von der Verlängerung der Belichtungszeit hat aber starke Abblendung so viele Nachtheile im Gefolge, dass ich sie im Allgemeinen nicht empfehlen kann.

Luftschicht, die ich damals auf ihre Lichtdurchlässigkeit prüfen konnte, war einen Centimeter dick. Mit den vervollkommenen Hilfsmitteln, die mir jetzt zur Verfügung standen, vermochte ich Luftschichten bis zu 1 *mm* abwärts zwischen Lichtquell und Apparat einzuschalten. Es war dazu nur nöthig, dass der Funken der Verschlussseibe bis auf 1 *mm* genähert wurde. Liess ich diesen Abstand zunehmen, dann war auf diese Weise die Frage nach der Absorption der Lichtstrahlen in sehr dünnen Luftschichten, die aus den im ersten Theile dieses Berichtes erörterten Gründen für den Fortgang meiner Beobachtung von grosser Bedeutung war, durch eine Spectralreihe mit Leichtigkeit zu lösen.

Fig. 14 der Tafel II zeigt eine solche Reihe in vierfacher Vergrösserung des Originalen. Die Belichtungsdauer betrug für jede dieser Aufnahmen 30 Secunden, die Spaltweite 0·045 *mm*, die Dicke der Luftschicht, gemessen von der Dicke der 0·6 *mm* dicken Elektrode bis zur Verschlussseibe des Collimators, 20, 10, 5, 3, 1 *mm*. Die Elektroden bestanden aus Aluminium.

Aus diesen Aufnahmen ergibt sich nun, dass die Luft schon in Schichten von weit unter 1 *cm* Dicke die Strahlen jenseits der Wellenlänge 185·2 $\mu\mu$ hartnäckig zurückhält, und dass sie höchst wahrscheinlich auch jetzt noch das Haupthinderniss bildet, das der Erweiterung dieses Beobachtungsgebietes im Wege steht. Der Einwand, es könne der Abnahme der Wirksamkeit nach dem brechbarern Ende hin, wie sie auch das bei 1 *mm* dicker Schicht aufgenommene Spectrum aufweist, eine specifische Wirkung des angewandten Lichtquells zu Grunde liegen, wird hinfällig durch die Thatsache, dass eine Anzahl Metalle, deren Spectra ich unter ganz denselben Bedingungen photographirte, bei derselben Wellenlänge oder doch nahe dabei endeten, und dass es überhaupt auf keine Weise gelang, jenseits der brechbarsten Linie, die Fig. 14 der Taf. II aufweist — ihre Wellenlänge dürfte nach einer in der Nähe liegenden Wasserstofflinie, deren Wellenlänge ich bestimmt habe, annähernd 170 $\mu\mu$ betragen — Strahlen nachzuweisen, sobald sich zwischen Lichtquell und Apparat eine, und wenn auch nur einen Millimeter dicke Luftschicht befand. Eine noch weitere Verminderung des Luftwiderstandes, wie er

sich durch Näherbringen der Elektroden an den Collimator wohl erreichen liess, scheiterte an dem Dampf des Funkens, der sich auf der Verschlusscheibe des Collimators niederschlug, und dadurch ihre Lichtdurchlässigkeit verminderte. Bei sehr flüchtigen Metallen (Tl, Mg) bildete sich der Beschlag so schnell, dass die Aufnahme nur bei vergrössertem Funkenabstand möglich war. Bei allen Aufnahmen musste die Scheibe von Zeit zu Zeit geputzt werden, da sie schon nach kurzer Belichtung durch einen, wenn auch nur schwachen Beschlag bedenklich getrübt wurde. Dieser Beschlag ist eine der lästigsten Beigaben dieser Aufnahmen. Bei kleinem Funkenabstand haftet er so ungemein fest, dass er sich nur durch gründliches Nachpoliren der Scheibe beseitigen lässt.

Ich habe mich mit der Beobachtung dieser Strecke nur vorübergehend beschäftigt. Zu Elektroden dienten Al, Cd, Co, Cu, Mg, Pb, Pt, W. Alle gaben bis zu der genannten Grenze ein linienreiches Spectrum. Nähere Angaben darüber behalte ich mir für später vor. Um jedoch ein ungefähres Bild des Linienreichthums zu bieten, den die genannten Metalle in diesem Theile des Spectrums entwickeln, habe ich in Fig. 15 auf Taf. II den jenseits $193 \cdot 4 \mu\mu$ wirkenden Theil des Cadmiumspectrums in vierfacher Vergrösserung reproducirt. Das darüberstehende Aluminiumspectrum soll zur Orientirung dienen. Ob alle Linien dieser Aufnahme dem Cadmium angehören, muss ich dahingestellt lassen, umsomehr, als ich mir nur das chemisch reine Metall des Handels zu den Elektroden verschaffen konnte, das ja nie frei von fremden Bestandtheilen ist. Der Werth der Aufnahme würde jedoch durch die Anwesenheit einiger fremder Linien, die ich nicht für ausgeschlossen halte, nur unwesentlich berührt werden, da ich die Abbildung weniger des Cadmiums¹ als mehr des Strahlenreichthums halber gebe, den das neue Spectralgebiet entwickelt.

¹ Die Aufnahmen des Cadmiums führten noch zu einer anderen Thatsache, die, wenn sie auch mit der Erweiterung meines Beobachtungsgebietes nichts zu thun hat, doch deshalb Berücksichtigung verdient, weil sie treffender Weise zeigt, wie sehr der Charakter des Spectrums vom Verhalten der photographischen Platte abhängig werden kann. Während nämlich auf der Gelatineplatte zuerst die minderabgelenkten Linien Nr. 23 und 24 und hierauf

Wichtiger als die Untersuchung dieses Theils war die Ermittlung und Beseitigung des Aufnahmehindernisses, das der Erweiterung des Wirkungsbereiches meines Apparates im Wege stand. Nachdem alle Versuche, die Schichtendicke der Luft noch weiter zu vermindern, gescheitert waren, brachte ich

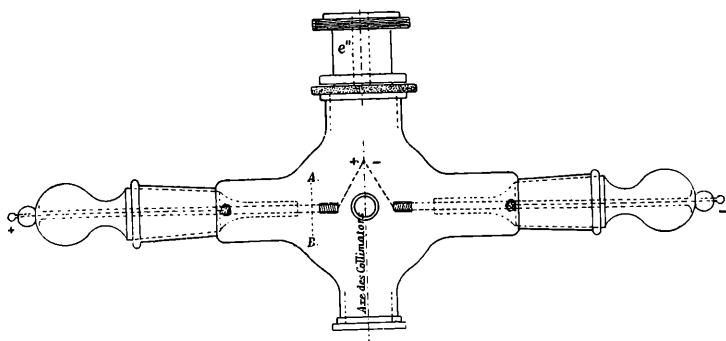


Fig. 4. ($\frac{1}{3}$ nat. Grösse).

den Funken anstatt in Luft, in Wasserdampf, Wasserstoff, Sauerstoff und Knallgas, alle in verdünntem Zustande. Ich hoffte, dass eines dieser Gase zu besserem Erfolg führen würde.

Nr. 25 und 26 erschienen, wirkte auf meiner Platte zuerst Nr. 26, und dann der Reihe nach Nr. 24, 23, 25. Bei beiden Aufnahmen befand sich ausnahmsweise zwischen Lichtquell und Platte eine $\frac{1}{3}$ m dicke Luftschicht. Zugleich sei hier noch einer anderen Aufnahme gedacht, die einerseits die Überlegenheit meiner neuen Platte gegenüber der Gelatineplatte documentirt und andererseits von neuem zeigt, wie plötzlich die Absorption der brechbarsten Strahlen durch die Luft zunimmt. Es handelt sich um eine Aufnahme des Aluminiumspectrums, die ich mit dem im ersten Theile meines Berichtes erwähnten Gitter (Concavgitter von Rowland, 1060 mm Radius, 14438 Linien auf 1 Zoll engl.) ausführte, und die ungeachtet einer 2 m dicken Luftschicht, die die Strahlen auf ihrem Wege zur Platte zu durchsetzen hatten, im Gegensatz zu den früheren, resultatlos verlaufenen Aufnahmen, die brechbarsten Linien des Aluminiums, Nr. 30, 31, 32 in ausgezeichneter Weise gab. Die Absorption durch die Luft machte sich, besonders bei den Componenten von Nr. 32, in fühlbarstem Masse geltend. Obschon sich beide Linien nur um $0.8 \mu\mu$ in ihrer Wellenlänge von einander unterscheiden, und obschon sie bei allen früheren mit dem Prismenapparat bei minder dicker Luftschicht ausgeführten Aufnahmen ganz gleichmässig gewirkt hatten, blieb jetzt die brechbarere von beiden so weit hinter der anderen zurück, dass sich ihre Intensitäten ungefähr wie 1 : 4 verhielten.

Das Entladungsgefäß hierzu ist in beistehender Fig. 4 abgebildet. Es besteht aus einer mit der Luftpumpe verbundenen Glaskugel, die mit zwei conaxialen Schliffen und zwei diametralen, mit planparallelen Quarzplatten verschlossenen Öffnungen versehen ist. Im Innern der Kugel trägt jeder Schliff einen dicken Aluminiumdraht, um den der betreffende, dünnere Elektrodendraht festgewickelt und seitlich, wie es die Figuren 4 und 5 zeigen, umgebogen ist. Das Gefäß wurde mit seiner grösseren Quarzplatte, nach Abnahme der Verschlussplatte g'' (Taf. IV), direct mit dem Collimator verbunden. Durch Drehen der Schliffe liessen sich die Elektroden, auch nach vollzogener Füllung beliebig von einander entfernen, und der Funken jederzeit conaxial zum Collimator einstellen. Zum Einstellen diente ein vor der kleineren Öffnung der Kugel aufgestelltes Ablese-



fernrohr. Ich habe leider auf diesem Wege, obschon die Versuchsanordnung vielfach abgeändert wurde, meinem Ziele nicht näher kommen können. Allenthalben resultirte ein nur lichtschwaches Gas-spectrum, das der Kugelfüllung, aber von dem Schnitt nach AB . Spectrum der Elektroden, dem der Versuch galt, erschienen höchstens vereinzelt Linien, und diese auch erst nach ungewöhnlich langer Belichtung.

Ich würde vielleicht bessere Resultate erzielt haben, wenn sich das angewandte Entladungsgefäß und seine Füllungen auch zu Entladungen bei höherem Druck geeignet hätten. Nach den Beobachtungen W. A. Miller's¹ und nach meinen eigenen Aufnahmen lassen sich die Funkenspectra vieler Metalle, auch wenn die Entladungen in unter Atmosphärendruck stehendem Wasserstoff erfolgen, recht gut photographiren, sobald man nur die Belichtungsdauer der verminderten Energie des Funkens anpasst.

Wenn ich gleichwohl diese Thatsache im vorliegenden Falle unbenutzt gelassen habe, so geschah es, weil ich den starken Beschlag fürchtete, der sich auch in Wasserstoffgas auf der Verschlussplatte im Innern des Entladungsgefäßes bildet. Zwar hätte sich diesem Übelstande durch hinreichende

¹ Phil. Transact. Vol. CLII, S. 884 (1862).

War die Apparatfüllung in so dicker Schicht nicht lichtdurchlässiger als der vorher angewandte 30 *mm* lange Quarzkegel, dann war mit der Umgestaltung der Röhre nichts gewonnen. Das zu wählende Gas musste sonach hinreichend lichtdurchlässig, ferner bei dem genannten Druck indifferent gegen die Innenwände des Apparates und vor Allem zu einem energischen, an Strahlen kleinster Wellenlänge möglichst reichen Lichtquell geeignet sein. Die Zahl der hier in Betracht kommenden Gase ist beschränkt. Über die Wahl der geeignetsten konnten nur Versuche entscheiden. Meine hierauf bezüglichen Beobachtungen erstrecken sich zur Zeit nur auf die atmosphärische Luft und den Wasserstoff. Das Licht der Wasserstoffröhre brachte mir so unerwartet günstige und reichhaltige Erfolge, dass ich vorläufig noch keine Veranlassung gehabt habe, mich nach andern Lichtquellen umzusehen.

Ich begann meine Aufnahmen mit dem Spectrum der Luft, doch ohne den gewünschten Erfolg: ich erreichte dabei kaum die Wirkungsgrenze der vorher photographirten Metallspectra. Eine Verminderung des Druckes in der Röhre von 3 auf 1 *mm*, wovon ich mir besseren Erfolg versprach, verkürzte zwar die Belichtungsdauer, führte aber ebenfalls nicht zu Strahlen kleinerer Wellenlänge, wonach ich suchte.

Ein besseres Resultat gab der Wasserstoff.

Der Charakter des Wasserstoffspectrums ist von der Temperatur und vom Druck abhängig. Ein aus Hunderten von Linien zusammengesetztes Spectrum entsteht, wenn man schwächere elektrische Entladungen durch eine mit sehr verdünntem Wasserstoff gefüllte Röhre sendet. Das andere, das sogenannte elementare, nur aus wenigen Linien bestehende Spectrum soll der höchsten Temperatur angehören und soll erhalten werden, wenn sehr energische Entladungen in Wasserstoff von höherem Druck vor sich gehen. Es soll dieses Spectrum mit den Wasserstofflinien der weissen Sterne übereinstimmen, die sich in ausgezeichneter Weise der Balmer'schen Formel unterordnen.

Die Art der Entladung bestimmt sonach das spectrale Verhalten des Wasserstoffes. Diese Thatsache durfte im vorliegenden Falle nicht ausser Acht gelassen werden. Temperatur und Brechbarkeit gehen allenthalben Hand in Hand. Von der energischeren

Entladung liess sich demnach bei meinen Aufnahmen der bessere Erfolg erwarten. Hiebei muss jedoch auf eine bisher unbekannte, oder wenigstens nicht öffentlich ausgesprochene Thatsache hingewiesen werden, die zugleich die Annahme eines elementaren Linienspectrums des Wasserstoffes stark erschüttert.¹

Wie man auch Druck und Temperatur wählen möge, nie wird mit künstlichem Lichtquell die Darstellung eines Wasserstoffspectrums gelingen, das seinem ganzen Umfange nach den Rhythmus des elementaren Spectrums zeigte, das der Balmer'schen Formel gehorchte. Im günstigsten Falle² weist der brechbarere Theil des Ultravioletten immer noch sehr wesentliche Abweichungen davon auf. Die rhythmischen Linien, die allein erscheinen sollten, sind blass, zum Theil kaum wahrnehmbar, und was ausserdem erscheint, darunter, neben einer Anzahl schwächerer Linien, die wirksamsten des ganzen Bezirkes, das gehört nicht dem elementaren Spectrum an, das sind ebenso regelmässige Begleiter des andern, des linienreichen Spectrums des Wasserstoffes. Energievertheilung und Zahl der Linien dieses Theiles sind in den Spectren des künstlichen und des natürlichen Wasserstofflichtes (weisse Sterne) grundverschieden. Doch mehr noch. Den höchsten Hitzegraden der Röhrentladung entspricht ein Spectrum, das sich von der Balmer'schen Formel noch weiter entfernt als das vorgenannte, und das im brechbarsten Ultraviolett und auf kurzer Strecke des angrenzenden sichtbaren Spectrums bei stark verminderter Energie continuirlich verläuft, eine Thatsache, die mit der zuerst von

¹ Ich entnehme diese Thatsache einer noch nicht veröffentlichten Untersuchung des Wasserstoffspectrums der elektrischen Entladungsröhre, womit ich mich seit längerer Zeit beschäftige.

Die Gegenwart anderer Gase begünstigt die Bildung des elementaren Spectrums des Wasserstoffes. Nicht vollständig gereinigte Röhren eignen sich besser dazu als solche mit reiner Füllung. Auch können dasselbe Capillarrohr und derselbe Funken gleichzeitig beide Wasserstoffspectra liefern. Zur Entladung ist nur das Inductorium zu empfehlen. Die Influenzmaschine ist zur Darstellung des rhythmischen Spectrums, insofern man nicht nur das sichtbare Spectrum berücksichtigen will, fast untauglich, wogegen sie das andere, das linienreiche Spectrum, in so ausgeglichener Intensität gibt, wie es mit dem Inductorium nie zu erlangen ist.

Plücker und Hittorf¹ und von Goldstein² bei gesteigerter Intensität der Funken beobachteten Verbreiterung der Wasserstofflinien H_α , H_β , H_γ , H_δ gut in Einklang steht. Der höheren Temperatur folgt sonach ein Rückgang der photographischen Wirksamkeit der Wasserstoffstrahlen, wovon, wie ich weiter hinzufügen will, die brechbarsten Strahlen des älteren Spectrumtheiles stets zuerst berührt werden. Ebenso beginnt die Wandlung des Linienspectrums in ein continuirliches im Ultraviolett. Sollte sich das neue Gebiet anders als das ältere verhalten? Ohne Weiteres liesse sich kein Grund dafür finden. Ich habe darum auch alle Aufnahmen mit dem gewöhnlichen Inductionsfunken ausgeführt. Nur einmal, bei Aufnahme der Gegend der Wellenlänge $162 \mu\mu$, wovon sogleich die Rede sein wird, habe ich zur Steigerung der Entladungstemperatur eine Leydner Flasche und eine möglichst lange Funkenstrecke in die Strombahn eingeschaltet. Auffallenderweise blieb das Spectrum von der Temperaturerhöhung unberührt, sämmtliche Linien erschienen nach wie vor fort, und nirgends machte sich an ihnen eine Verbreiterung, noch weniger ein Übergang in ein Continuum bemerkbar. Ein auffallendes Verhalten, das sich mit der Wirkungsweise der grösseren Wellenlängen des Wasserstoffes nicht in Einklang bringen lässt. Vielleicht war der Hitzegrad der angewandten Funken zur Wandlung des Spectrums nicht ausreichend. Das Verhalten erinnert auch an das des Stickstoffes, dessen brechbarste Strahlen, wie ich photographisch beobachten konnte, durch Flasche und Funkenstrecke, denen im sichtbaren Spectrum die Wandlung des Bandenspectrums in das Linienspectrum willig folgte, in keiner Weise berührt wurden.

Schon die erste Aufnahme, die ich diesmal mit Wasserstoff ausführte, war, sogar in doppelter Hinsicht, belangreich: einmal brachte sie mir die ersten der längst ersehnten Strahlen jenseits der mit den Metallelektroden erreichten Wirkungsgrenze und dann auch die überraschende Thatsache, dass die bisher gekannten Strahlen des Wasserstofflichtes nur einen Theil von

Phil. Trans., CLV, p. 21 (1865).

Ber. deutsch. chem. Ges., 7, 593.

dessen Gesamtenergie darstellten, und dass ein anderer Theil davon dem fernsten, bisher unbekannten Ultraviolett angehöre. Das Wirkungsband dieser ersten Aufnahme beginnt auf der minder abgelenkten Hälfte mit dem schon früher genannten Continuum, nimmt von da an nach der Plattenmitte an Intensität ab, verschwindet jenseits der Plattenmitte auf kurzer Strecke, erscheint alsdann als schwach wirkendes Continuum und geht gleich darauf, dicht am andern Plattenrande, ungefähr bei $170\text{ }\mu\mu$ in ein scharfgezeichnetes Linienspectrum über, das seiner mit der Ablenkung der Strahlen wachsenden Wirksamkeit nach auf das Bestehen eines über den Plattenrand hinausfallenden Strahlenbereiches von noch grösserer Helligkeit schliessen lässt. Die Aufnahme wurde zur Verificirung des Ergebnisses vielfach wiederholt, und stets mit demselben Erfolg. Nur bei verlängerter Belichtung stieg, wie zu erwarten war, die Intensität, ebenso die Zahl der Linien, auch dehnte sich das Continuum des Wirkungsbandes über die unwirksame Stelle aus, die dann auch vereinzelte, doch ausdruckslose Linien gab. Die unwirksame Strecke verschwand regelmässig bei längerer Belichtung: ihre Länge war sonach von der Dauer der Belichtung abhängig. Ob dieses photographische Minimum dem Wasserstoff eigenthümlich ist oder ob meine Versuchsanordnung dazu Anlass gegeben hatte, habe ich nicht feststellen können. Auch ist es nicht ausgeschlossen, dass die Absorbentien, denen die Strahlen auf ihrem Wege zum lichtempfindlichen Bestandtheil der Platte begegneten, an seiner Entstehung theilhaftig waren. Auffallend ist es, dass es demselben Gebiet angehört, das schon bei den Metallspectren, selbst nachdem die absorbirende Luftschicht bis auf einen Millimeter vermindert worden war, kaum noch photographisch wirkte. An derselben Stelle, wo die Metallspectra enden, nimmt das Linienspectrum des Wasserstoffes seinen Anfang.

Es folgte hierauf die Aufnahme der angrenzenden Strecke. Das Ergebniss entsprach ganz meinen Erwartungen. Die Platte zeigt ein ungemein linienreiches Band, woraus einige besonders markante Liniengruppen hervortreten. Darunter befinden sich, beiläufig bemerkt, die wirksamsten Strahlen, die ich jenseits der Wellenlänge $185\cdot2\text{ }\mu\mu$ vom Wasserstoff kenne. Von dem

Orte höchster Wirksamkeit, dessen Wellenlänge nach einer vorläufigen Messung $162\ \mu\mu$ beträgt, nimmt die Energie der Strahlen nach der brechbareren Seite stärker ab als nach der entgegengesetzten. Gleichwohl zeigen auch hier wieder die brechbarsten Linien durch ihre kräftige Wirkung, dass das Ende des Spectrums jenseits des Plattenrandes liegt. Zu demselben Resultate führte die Aufnahme der Nachbarstrecke, und in dieser Weise ging es von Aufnahme zu Aufnahme fort bis zu einer Stelle, die von der bisher gekannten Lichtgrenze im Ultravioletten (Wellenlänge $185\cdot2\ \mu\mu$) mehr als dreimal so weit wegliegt wie diese von der Fraunhoferlinie *F* (Wellenlänge $486\ \mu\mu$). Hier endete das Wirkungsband nicht wie in allen vorhergehenden Fällen, am Rande der Platte, sondern ein Stück davon entfernt. Es hatte sonach den Anschein, als versagten meine Beobachtungsmittel an dieser Stelle. Dafür sprach auch die durchweg schwache, ausserdem mit der Wellenlänge sehr gleichmässig abnehmende Wirkung der Strahlen, die überhaupt nur bei weitgeöffnetem Spalt und bei lang anhaltender Belichtung einen entwicklungsfähigen Eindruck hinterliess. Unter solchen Umständen war an eine, auch nur leidliche Definition der Linien nicht mehr zu denken. Mein Augenmerk war von jetzt an nur noch auf die Auffindung weiter abgelenkter Strahlen gerichtet, und dazu genügte schon ein breites, streifenförmiges Linienbild, wie es der weitgeöffnete Spalt gab. Ich war jetzt schon zufrieden, wenn ich jenseits der vorher erreichten Wirkungsgrenze im klaren Plattengrunde auch nur einen blassen Schatten anstatt des erwünschteren klaren Linienbildes auftauchen sah.

Auf diese Weise habe ich späterhin das Wirkungsband mit Hilfe einer Platte von ungewöhnlich grosser Empfindlichkeit bei sehr starken Entladungen und lang anhaltender Belichtung nochmals um eine kleine Strecke verlängern können. Das Spectrum dieser Aufnahme läuft bis an den Rand der Platte, und dabei sind seine brechbarsten Linien noch so ausgeprägt, dass ich, wenn es mir einmal möglich werden wird, die Platte auf das stärker abgelenkte Nachbargebiet hinüberzuführen, weitere günstige Erfolge erwarten darf.

Mit dieser Aufnahme hatte ich die Wirkungsgrenze meines Apparates erreicht. Zur Überführung der Platte auf das Nach-

bargebiet fehlte dem Camerarohr die zur Verminderung des Winkels der beiden Linsenaxen erforderliche Drehbarkeit. Ohne Gefährdung der Verschlussicherheit des Apparates hätte sich solche nicht erreichen lassen, ein Umstand, worauf ich schon bei Beschreibung des Apparates hingewiesen habe. Nun hätte sich zwar die Aufnahme durch Verkleinerung des brechenden Winkels des Flussspathprismas ermöglichen lassen, ich habe aber davon wegen der mit dem Abschleifen verbundenen Gefahr des Zerspringens dieses für mich so überaus kostbaren Prismas absehen zu müssen geglaubt. Auch kam hinzu, dass ich an den optischen Theilen des Apparates, die ja, von Anfang meiner Vacuumaufnahmen an, unverändert dieselben geblieben waren, nicht ohne Noth Änderungen vornehmen wollte, da nur auf diese Weise die Verificirung früherer Ergebnisse, die sich von Zeit zu Zeit nöthig machte, möglich war. Der Erschliessung des übrigen Ultraviolett vermag ich sonach erst nach Beschaffung eines neuen Flussspathprismas näher zu treten.

Bei der Seltenheit des weissen Flussspathes entsteht die Frage, ob nicht das Gitter dem Prisma vorzuziehen sei. Nach zahlreichen von mir mit einem planen Rowlandgitter aus Spiegelmetall angestellten Versuchen ist diese Frage entschieden zu verneinen. Das Gitter eignet sich höchstens zur Aufnahme der minder abgelenkten Hälfte der neuen Wasserstoffstrahlen.

Das neue Spectralgebiet des Wasserstoffes ist von beträchtlichem Umfang. Für seine Wellenlängen fehlt mir, mit Ausnahme des genannten Maximums, zur Zeit noch jeder sichere Anhalt. Ich glaube aber keinesfalls zu hoch zu greifen, wenn ich die kleinste Wellenlänge, die ich mit meinen Aufnahmen erreicht habe, zu $100\ \mu\mu$. annehme. Selbstverständlich kann ich diesen Werth nur mit allem Vorbehalt geben. Ich wage eine numerische Angabe überhaupt nur, um irrigen Vorstellungen von dem Umfange des neuen Gebietes vorzubeugen, wozu das vorgenannte Längenverhältniss der zu beiden Seiten der Wellenlänge $185 \cdot 2\ \mu\mu$. photographirten Spectralgebiete und vielleicht in noch höherem Masse das auf Taf. V reproducirte Spectrum selbst verleiten könnten.

Das neue Gebiet ist ungemein reich an Strahlen. Es setzt sich zusammen aus 15 ziemlich gleichmässig vertheilten Linien-

gruppen, die an 600 Linien enthalten können. Seine photographische Wirksamkeit nimmt von der Wellenlänge $162\ \mu\mu$ an nach beiden Seiten anfänglich rasch, dann aber sehr allmähig ab. Dementsprechend verhalten sich auch die Belichtungszeiten der einzelnen Aufnahmestrecken zu einander. Wenn zur Aufnahme der Gegend des photographischen Maximums schon wenige Minuten genühten, waren zur Aufnahme der brechbarsten Strahlen des ganzen Gebietes Stunden erforderlich. Bei sehr engem Spalt ($0\cdot004\ mm$) und minder empfindlicher Platte habe ich allerdings auch zur Aufnahme des Maximums ($162\ \mu\mu$) bis zu 45 Minuten belichten müssen; bei den soeben genannten brechbarsten Strahlen, die, wie vorher erwähnt wurde, ohnehin nur mit Platten von höchster Empfindlichkeit nachweisbar waren, betrug die Belichtungsdauer bei weit geöffnetem Spalt ($0\cdot075\ mm$) und starken Entladungen (Strom 17 Amp.) zwei volle Stunden.

Man sieht hieraus, dass die Belichtungszeiten nach dem brechbareren Ende bedeutend zunehmen. Ich muss aber darauf aufmerksam machen, dass hiervon nicht auf die effective photographische Energie der betreffenden Strahlen oder auf die Empfindlichkeit meiner Platte geschlossen werden darf. Denn es ist zu berücksichtigen, dass der Winkel, unter dem die Strahlen das Prisma treffen, schon von Anfang des neuen Gebietes an verhältnissmässig klein ist und mit der Wellenlänge beträchtlich abnimmt. Je kleiner dieser Winkel, desto grösser der Lichtverlust, den die Strahlen durch Spiegelung an den brechenden Flächen des Prismas und ferner dadurch erleiden, dass ein Theil von ihnen an den verticalen Kanten des Prismas ungenützt vorübergeht, weil dessen Breite von einer gewissen Einstellung des Prismas an nicht mehr ausreicht, um alles vom Collimator kommende Licht aufzunehmen. Der Lichtverlust infolge ungenügender Breite des Prismas macht sich zwar erst in der brechbareren Hälfte des neuen Gebietes geltend, nimmt aber von da an so rasch zu, dass er sich zuletzt auf ein Drittel aller vom Collimator kommenden Strahlen erstreckt.¹

¹ Durch diesen Umstand gestalten sich meine Aussichten auf Erfolg bei der mit einem Prisma von kleinerem brechenden Winkel geplanten Erweiterung des Wasserstoffgebietes erfreulicherweise wesentlich günstiger, als es nach den

Ich habe vorstehend das ganze Gebiet, das ich mit der Wasserstoffröhre photographirt habe, dem Wasserstoff allein zugeschrieben. Ohne Weiteres wäre ich hierzu nicht berechtigt gewesen, da das Wasserstoffgas muthmasslich nur auf kurze Zeit so rein blieb, wie es aus dem Entwicklungsgefäss hervorging. Zwar hatte ich auf Alles Rücksicht genommen, was einen reinen Röhreninhalt gewährleisten konnte: die Röhre war, während ein kräftiger Strom hindurchging, anhaltend mit der Lampe erhitzt, wiederholt mit Wasserstoff ausgewaschen und ihr Inhalt auch später, beim Gebrauch, öfters erneuert worden, allein bei alledem war eine Verunreinigung ihrer Füllung nicht ausgeschlossen. Eine Ausdünstung des Innenapparates, wozu der Inhalt der Poren seiner Wände, deren Anstrich und das Öl der Mikrometerschrauben Anlass geben konnten, war nicht unwahrscheinlich. In solchem Falle konnten an der Entladung der Röhre neben der nominellen Füllung auch die genannten Verunreinigungen, in der Hauptsache Kohleverbindungen, theilhaftig sein. Um mir hierüber Gewissheit zu verschaffen, stellte ich folgenden Versuch an. Ich füllte die Röhre mit Luft von weit unter 1 mm Quecksilbersäule, nahm damit die Strecke zwischen den Wellenlängen 180 $\mu\mu$ und 162 $\mu\mu$ auf, liess dann eine kleine Menge Wasserstoff hinzu und wiederholte die Aufnahme. Ergaben die Spectra einen Unterschied, so konnte dieser nur vom Wasserstoff herrühren. Und in der That war ein solcher vorhanden. Dem zugelassenen Wasserstoff folgte stets eine Anzahl Liniengruppen, die mir regelmässig auch der reine Wasserstoff gab. Diese Thatssache sehe ich als Beweis für die Echtheit der von mir dem Wasserstoff zugeschriebenen Linien an. Ich habe jedoch in dieser Weise nur die genannte Strecke auf ihre Zugehörigkeit zum Wasserstoffspectrum prüfen können. Für den übrigen Theil des neuen Gebietes war das Verfahren wegen der Lichtundurchlässigkeit der Luft nicht anwendbar. Obgleich nun die Menge der fremden, aus dem Innern des Apparates stammenden Gase im Vergleich zum Inhalt des Apparates nur sehr klein sein konnte,

so dass höchstens das Auftreten einiger fremder Strahlen im Spectrum des Wasserstoffes zu befürchten war, habe ich doch versucht, mir hierüber und für die stärker abgelenkten Strahlen noch auf anderem Wege Gewissheit zu verschaffen. Ich vertauschte zu diesem Zweck die Entladungsröhre mit einer andern von enger Capillare, die, nachdem ich sie mit Wasserstoff mehrmals ausgewaschen und bis zur Fluorescenz evacuirt hatte, ein intensives weisses Licht gab, sobald ich eine Leydner Flasche und eine Funkenstrecke in die Strombahn einschaltete. Das Leuchtmaterial hierzu lieferte die sich unter dem Einfluss der Entladung in Dampf verwandelnde Innenwand der Capillare, ausserdem der nach dem Evacuiren zurückgebliebene kleine Gasrückstand des ursprünglichen Röhreninhaltes, und, wenn im Innern des Apparates die vermuthete Ausdünstung stattfand, auch die hiebei frei werdenden Gase, von denen sich annehmen liess, dass sie sich an der Entladung und möglicherweise auch an der photographischen Aufnahme betheiligen würden. Denn wenn die Röhre auch wiederholt gereinigt worden war, konnte dieser Zustand, insofern die Ausdünstung unablässig erfolgte, was der niedrige Druck allerdings begünstigte, nur von kurzer Dauer sein. Unter solchen Umständen barg der Spectralapparat einen dauernden Gasquell, der der Röhre und gerade dem Theile der Capillare,¹ der seine Strahlen zum Spalt sandte, fortgesetzt frisches Leuchtmaterial zuführte. Diese Röhre hat nun ungeachtet des sehr intensiven Lichtes gar keine Wirkung geäussert. Ich ziehe hieraus den Schluss, dass die Verunreinigung meines Wasserstoffröhreninhaltes nur von untergeordneter Bedeutung sei.²

Sehr enge Capillaren erschweren die Mischung unter niedrigem Druck stehender Gase in ungewöhnlichem Masse.

² Es wird befremden, dass ich die Reinheit des Röhreninhaltes nur nach dem Photogramm und nicht auch nach dem Spectroskop beurtheilt habe. Das Spectroskop gibt nur Aufschluss über das sichtbare Spectrum, das für das unsichtbare nie massgebend ist. Ferner verdient die photographische Platte zum Nachweis kleiner Mengen von Verunreinigungen des Röhreninhaltes ausnahmslos den Vorzug. Ich habe immer gefunden, dass Verunreinigungen im Ultravioletten mehr Linien entwickeln, also hier sicherer nachweisbar sind als im sichtbaren Spectrum. Doch verdient die photographische Platte auch im sichtbaren Spectrum den Vorzug. Alle Strahlen, die wegen ungenügender

Zu allen diesen Aufnahmen wurde ausnahmslos Capillarenlicht benützt. Mit dem Licht der Elektroden, wie es die hierzu bestimmte Röhre (Textfig. 2) liefert, habe ich mich nur vorübergehend beschäftigt. Das Ergebniss dieser Versuche besteht nur aus wenigen Wasserstoffaufnahmen, die dem Gebiet der Wellenlängen $162\text{ }\mu\mu$ angehören. Danach entwickeln auch die Elektrodenstrahlen in diesem Theile eine über Erwarten kräftige Wirkung. Beispielsweise habe ich vom Kathodenlicht in einer Zeit von 10 Minuten bei einem Druck von 5 mm , einer Spaltweite von 0.015 mm und einer Stromstärke von 15 Ampères ein langes, zum Theil sogar überexponirtes Spectrum erhalten, während allerdings die Anode unter denselben Umständen ein minder umfangreiches, aber im wirksamsten Theile doch intensives Spectrum lieferte. Über die Einzelheiten dieser Aufnahmen behalte ich mir ausführliche Mittheilungen für später vor.

Schon zu Anfang dieses Berichtes habe ich etlicher Schwierigkeiten gedacht, denen die Verbesserung des Auflösungsvermögens des Spectralapparates begegnete. Nicht nur dass damals einzelne Bilder mangelhafte Definition besaßen, es liessen auch die übrigen Aufnahmen an Klarheit zu wünschen übrig. Erst nach geraumer Zeit hatte ich meinen Apparat so weit verbessert, dass er strengeren Anforderungen zu genügen schien. Dennoch hat sich späterhin, bei Auflösung dichtstehender Wasserstofflinien der anfänglich beobachtete Übelstand nochmals, wenn auch in etwas veränderter Gestalt bemerkbar gemacht. Diesmal berührte er aber nicht nur die photographische Aufnahme schlechthin, sondern auch den Charakter des Spectrums, und zeigte dadurch, wie vorsichtig man bei der Deutung der mit Flussspathprismen aufgenommenen Spectren zu Werke gehen müsse. Ich habe mich mit dieser Aberration längere Zeit beschäftigt, um für sie eine ursächliche Erklärung und ein Mittel zu ihrer Aufhebung zu finden. Die dabei erlangten

Helligkeit, auch der Contrastwirkung hellerer Nachbarlinien halber oder aus anderem Grunde dem Auge verloren gehen, ermittelt die photographische Platte in ausgezeichneter Weise, indem sie, dank ihrer gegenwärtig fast unbeschränkten Haltbarkeit, die photochemische Energie bei hinreichend langer Belichtung bis zu der Höhe aufzuspeichern gestattet, wobei das latente Bild Entwicklungsfähigkeit erlangt hat.

Thatsachen sind für die Photographie mit Flussspath so belangreich, dass sie hier folgen mögen.

Nehme ich den brechbarsten Theil des Aluminiumspectrums mit evacuirtem Apparat auf, dann sind alle Linien, auch die des neuen Gebietes, tadellos definirt. Drehe ich die Camera auf das Nachbargebiet hinüber und mache eine Aufnahme mit einer direct mit dem Collimator verbundenen Wasserstoffröhre, so erlange ich nie so scharf gezeichnete Linien als vorher beim Aluminium. Bei engerem Spalt bessert sich zwar das Bild etwas, doch nur theilweise. Unter dem Mikroskop gewahrt man, dass jede Linie, bis auf einen kurzen Theil, der klar hervortritt, verwaschen und schräg zu ihrer Richtung gespaltet ist. Dichtstehende Linien gleicher Intensität vereinigen sich dabei zu einer einzigen Linie von entsprechend grösserer Breite. Stelle ich nun den Spalt sehr eng — ich bin bis auf $0\cdot004\text{ mm}$ herunter gegangen — und passe die Entwicklungsdauer der Erhaltung der feinsten Details der Aufnahme an, so löst sich der verwaschene Theil jener Linie in zwei, zuweilen auch in drei einander sehr nahe stehende, nach ihren Enden hin allmählig verlaufende Componenten auf, die in ihrer Längsrichtung gegenseitig um so viel verschoben sind, dass die Linien des einen Systems an einer Stelle, deren Länge $0\cdot2\text{—}1\text{ mm}$ beträgt, von dieser Vervielfachung nicht betroffen werden. Hier sind alle Linien tadellos definirt. Der Kleinheit dieser rein gezeichneten Strecke entsprechend, bildet auch der brauchbare Theil der Aufnahme nur einen $0\cdot2\text{—}1\text{ mm}$ breiten Streifen. Ebenso verhält sich das weiter abgelenkte Gebiet bis zu den Linien, die, wie bemerkt, eine Vergrösserung des gegenseitigen Abstandes von Cameralinse und Prisma erforderten, wodurch die Definition so bedeutend litt, dass eine Auflösung nahestehender Linien gänzlich ausgeschlossen war. Ich habe mich lange bemüht, dieser Vervielfachung der Linien vorzubeugen, doch nie mit Erfolg. Ebensowenig habe ich über die Ursache dieser Erscheinung Aufklärung erlangen können. Aller Wahrscheinlichkeit nach liegen ihr Krystallfehler des Prismas, vielleicht auch solche der Linsen zu Grunde.

Es könnte hiernach scheinen, als seien die Spectrophotogramme des neuen Spectralgebietes, wie sie mein Apparat

zeichnet, strengeren Anforderungen nicht gewachsen, zumal die Dispersion seines Prismas ungewöhnlich schwach ist. Dem ist jedoch keineswegs so. Dank der Schärfe und Reinheit seiner Spaltkanten, die die Herstellung ungemein feiner Öffnungen ermöglichen, bin ich im Stande, linienreiche Gruppen klar aufzulösen. So bietet beispielsweise die Aufnahme des photographischen Maximums vom Wasserstoffspectrum auf einer Strecke von 11 mm an die 90 scharf gezeichnete Linien. So günstige Resultate habe ich vorerst in diesem Theile erhalten, doch hoffe ich das ganze Gebiet nach und nach in gleicher Klarheit photographiren zu können. Berücksichtigt man, dass Spectrallinien niemals gleichmässig vertheilt auftreten, sondern dass allenthalben strahlenleere Strecken mit mehr oder weniger dichten Liniengruppen abwechseln, dass sonach die auflösende Kraft des Apparates ungleich höher steht, als man nach einem Beispiele der vorgenannten Art zu schliessen geneigt ist, so wird man zugeben müssen, dass mein Vacuumapparat, ungeachtet seiner Kleinheit und der ihm anhaftenden Schwächen, zu exacten Arbeiten nicht ungeeignet ist.

Die genannten Streifen sind theilweise sehr zart gezeichnet. Einzelne geben sogar bei fünfzigfacher Vergrösserung noch ziemlich feine Linien. Solche Feinheit lässt sich nur bedingungsweise erreichen. Weist die Spectralstrecke grössere Energiecontraste auf, wobei die wirksameren Linien weit früher als die übrigen entwicklungsfähig werden, dann führt eine einmalige Aufnahme nie zum Ziele. Eine gleichzeitig scharf einstellbare Strecke mit einemale in vollendeter Schärfe zu photographiren, ist unmöglich, weil sich die energischeren Linien bei verlängerter Belichtung, wie solche die schwächeren Strahlen verlangen, nach beiden Seiten ausbreiten und dadurch ihre Umgebung überwuchern. Durch diese Verbreiterung büsst die Linie an Schärfe ein, und was noch bedenklicher ist, sie ändert zuweilen auch ihren Ort.¹ Es empfiehlt sich in solchem Falle, das Spectrum mehrmals und bei zunehmender Belichtungsdauer dicht unter-

Überexponirte Linienbilder sollten nie zur Ermittlung der Wellenlängen benützt werden. Ihre Mitte coincidirt nicht immer mit der Mitte des Bildes, das nach normaler Belichtung erscheint, und das für die Ausmessung der Linienabstände bei Wellenlängenbestimmungen allein massgebend sein kann.

einander zu photographiren. Eine derartige Aufnahme hat ein terrassenförmiges Aussehen. Sie liefert in ihren Abstufungen die Linien verschiedener Wirksamkeit klarer, gewährt auch einen besseren Einblick in die Energieverhältnisse des Lichtquells als die Aufnahme, die bei einmaliger Belichtung sämtliche Linien berücksichtigt.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass sich ein Spectrum in Worten nie klar wiedergeben lässt. Selbst die sorgfältigste Beschreibung kann nur eine beschränkte Vorstellung davon vermitteln. Weit besser thut dies eine Zeichnung, dem Zweck am besten entspricht immer, sobald, wie im vorliegenden Falle, das Original nicht zugänglich ist, eine photographische Reproduction der Aufnahme. Eine Zeichnung, möge sie dem subjectiven oder dem photographirten Spectrum entlehnt sein, zeigt stets mehr oder weniger grosse Abweichungen vom Original. Ihre Ähnlichkeit leidet unter der persönlichen Auffassung des Zeichners. Bei solcher Übertragung des Bildes gehen die feineren Einzelheiten des Originals verloren, nicht selten sogar dessen Charakter. Die photographische Reproduction ist zwar von diesen Nachtheilen nicht ganz frei, allein sie wahrt doch den Charakter des Spectrums. Der Verlust kleinerer Details, wie er sich auch bei ihr regelmässig fühlbar macht, ist von geringerer Bedeutung, zumal sich in dringenden Fällen das Verlorengegangene durch Partialzeichnungen leicht ersetzen lässt.

Von dieser Erwägung ausgehend, habe ich es vorgezogen, diesem Berichte das Gebiet der kleinsten Wellenlängen, anstatt in Zeichnung, in photographischer Reproduction beizugeben. Taf. V zeigt diese Spectra.

Zu einem Vergleich der Längen des neuen und des älteren Spectralbezirktes, wie ich beide mit meinem Apparat erhalte, ist das Spectrum des Cadmiums beigefügt, das in diesem Falle mit dem Cyanblau beginnt und an der bisher gekannten Grenze des Ultravioletten, dicht bei der Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$, abschliesst.

Meine Originalaufnahmen hierzu sind qualitativ sehr verschieden. Das erklärt sich daraus, dass sie unter sehr abweichenden Versuchsbedingungen entstanden sind. Sie waren von Haus aus nicht zur Reproduction bestimmt. Ich beabsichtigte ursprünglich eine Abbildung des neuen Spectral-

bezirktes erst dann zu veröffentlichen, wenn ich eine bis zu den gegenwärtig erreichten, brechbarsten Strahlen gleichmässig klare Aufnahme erlangt hätte, und nur die Erwägung, dass selbst eine minder vollständige Abbildung davon das Verständniss für den vorliegenden Bericht fördern könne, hat mich veranlasst, von meinem ursprünglichen Vorhaben abzusehen. Die zu der Tafel V benutzten Negative gehören verschiedenen Jahrgängen meiner Vacuumversuche an. Meine jüngeren Aufnahmen behandeln nur einen Theil des neuen Gebietes. Die Negative sind darum, wie leicht begreiflich ist, unter von einander sehr abweichenden Bedingungen aufgenommen worden. Beinahe jede Platte dazu war auf andere Weise präparirt, und ebenso war der Apparat nicht unverändert derselbe geblieben. Unter so misslichen Verhältnissen war die Herstellung einer besseren Abbildung diesmal nicht erreichbar. Nicht unerwähnt möge bleiben, dass weder Original noch Vergrösserung¹ dieser Spectra irgend welche Retouche erfahren haben, eine Thatsache, die sich, in Anbetracht der auf der Reproduction sichtbaren, von meinen Originalaufnahmen herrührenden Plattenfehlern, wohl von selbst ergibt.

Ich lasse nun eine kurze Erläuterung der Spectra der Tafel V nebst Angabe der Hauptdata der Aufnahmeanordnung folgen.

1. Cadmium. Dicke der Luftschicht zwischen Funken und Platte 0.3 *mm*, Druck 760 *mm*, Belichtung 9 Secunden.

¹ Die Vergrösserung hat Herr Prof. E. Zettnow ausgeführt, und zwar unter erschwerenden Umständen. Die Originalplatten, mit Ausnahme von 11 und 12 der Tafel V, sind zu einem Tableau zusammengestellt, das ich in einer doppelwandigen, fest zusammenge kitteten Glaskapsel aufbewahre. (Es ist dies dasselbe Tableau, das ich der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien am 10. November 1892 vorzulegen die Ehre hatte.) Die Vergrösserung musste demnach durch die Wände der Glaskapsel hindurch erfolgen. Dass sie unter so ungünstigen Verhältnissen alle Einzelheiten des Originals wiedergibt, ist das alleinige Verdienst des Herrn Zettnow. Ihm sei für diese abermalige Förderung meiner Arbeiten mein aufrichtiger Dank ausgesprochen. Über die Vergrösserungen selbst, wozu ein grosser mikrophotographischer Apparat von Carl Zeiss in Jena benutzt wurde, schreibt mir Herr Zettnow wörtlich: »Die fünffachen Vergrösserungen geschahen mit Hilfe eines Anastigmaten Zeiss bei Lampenlicht; zur Herstellung der 10fachen habe ich Apochromat Zeiss 70 *mm*, der 50fachen Zeiss 35 *mm* benutzt.«

Spaltweite $0\cdot020\text{ mm}$. Bromsilbergelatineplatte sensibilisirt für das brechbarste Ultraviolett. (Erster Versuch gewöhnliche Gelatineplatte für das Ultraviolett zu sensibilisiren. Daher die zahlreichen Plattenfehler dieser Aufnahme.) — Alles, was jenseits der Linie Nr. 26 liegt, war bisher unbekannt. Beachtenswerth ist die kräftige Wirkung der am weitesten abgelenkten Liniengruppe (4 Linien). Alle weiter abgelenkten Strahlen, die Fig. 15 (Taf. II) zeigt, hat die genannte Luftschicht verschluckt.

2. Aluminium. Druck im Apparat $0\cdot5\text{ mm}$. Belichtung 1 Minute und 3 Minuten (zwei Aufnahmen). Spaltweite $0\cdot038\text{ mm}$. Neue Platte. Dicke der Luftschicht zwischen Funken und Collimator 1 mm . — Die rechte Hälfte der Aufnahme, die brechbarere, ist vielmal intensiver als die andere. Das beweist, dass die neue Platte für das brechbarste Ultraviolett empfindlicher ist als für das minder abgelenkte. Sie verhält sich sonach umgekehrt wie die Gelatineplatte.

3. Wasserstoff. Röhre nach Textfigur Nr. 3, auch zu den folgenden Aufnahmen benutzt. Druck $2\cdot5\text{ mm}$. Belichtung 10 Minuten. Spaltweite $0\cdot013\text{ mm}$. Neue Platte. — Der linienreiche Theil gehört dem Wasserstoff an. Er bildet den Anfang des neuen Wasserstoffgebietes. Die intensivste Liniengruppe ist das photographische Maximum des neuen Gebietes (Wellenlänge $162\text{ }\mu\mu$). Der dicht vor den Wasserstofflinien angebrachte Punkt bezeichnet den Ort kleinster Wirksamkeit, dessen bei Besprechung des Wasserstoffspectrums, ebenso wie des genannten Maximums, gedacht wurde.

4. Wasserstoff. Druck $2\cdot5\text{ mm}$. Belichtung 60 Minuten. Strom ungewöhnlich schwach. (Stromstärke erst in späterer Zeit regelmässig gemessen.) — Das Wirkungsband ist um zwei neue, stärker abgelenkte Liniengruppen verlängert. Der gegenseitige Abstand der Linien ist infolge einer Umänderung des Apparates weit grösser als in der vorhergehenden Aufnahme.

5. Wasserstoff. Druck 2 mm . Belichtung 43 Minuten. Spaltweite $0\cdot010\text{ mm}$. Neue Platte. — Das Wirkungsband ist abermals um zwei Gruppen verlängert. Die zwei noch stärker abgelenkten Linien deuten auf eine dritte Gruppe hin.

6. Wasserstoff. Druck 2 mm . Belichtung 5 Minuten. Spaltweite $0\cdot050\text{ mm}$. Neue Platte. Die ebengenannte dritte

Gruppe ist hier besser ausgebildet. Noch brechbarere Strahlen sind ungenügender Belichtung halber nicht erschienen. Der gegenseitige Abstand der Linien ist im Vergleich zu der vorhergehenden Aufnahme bedeutend vergrößert. Bessere Definition bietet nur die Mitte, die Seiten sind schon sehr unklar.

7. Wasserstoff. Druck 2 *mm*. Belichtung 12 Minuten. Spaltweite 0·050 *mm*. Neue Platte. — Eine weitere Gruppe erschienen. Definition noch mangelhafter als vorher.

8. Wasserstoff. Druck 2 *mm*. Belichtung 1 Stunde bei kräftigem Strom (20 Amp.). Spaltweite 0·050 *mm*. Neue Platte. — Nur der focussirte Theil weist Linien auf. Die photographische Wirkung hat sichtlich abgenommen, so dass nur mit längerer Belichtung mehr zu erreichen ist.

9. Wasserstoff. Druck 1 *mm*. Belichtung 2 Stunden bei kräftigem Strom (17 Amp.). Spaltweite 0 075 *mm*. Neue Platte. — Hier sind zwar in Folge der längeren Belichtung brechbarere Linien hinzugetreten, doch verläuft das Spectrum schon nahe der Plattenmitte. Für Platten mittlerer Empfindlichkeit liegt hier die Wirkungsgrenze meines Apparates.

10. Wasserstoff. Druck 1·5 *mm*. Belichtung, Strom und Spaltweite wie bei 9. Neue Platte. — Diesmal sind in dem Theile, der vorher nicht gewirkt hatte, mehrere Linien erschienen. Da das Wirkungsband scharf am Plattenrand abbricht, lässt sich annehmen, dass jenseits der Platte noch photographisch wirksame Strahlen existiren. Die Platte enthält die brechbarsten Linien, die jemals beobachtet worden sind.

Die Aufnahme der jenseits des Plattenrandes befindlichen Strahlen ist erst nach Beschaffung des erwähnten Flussspathprismas möglich.

Die beiden folgenden Spectra sind Definitionsproben meines Apparates. Das Aluminiumspectrum ist mit der verbesserten Camera (Fig. 17, Taf. III, Kükenaxe parallel zum Spalt), das Wasserstoffspectrum mit der älteren Camera (Fig. 6, Taf. I) aufgenommen.

11. Aluminium. Druck im Apparat kleiner als 0·5 *mm*. Füllung atmosphärische Luft. Belichtung 20 Secunden. Stromstärke 7 Ampères. Spaltweite 0·025 *mm*. Neue Platte von grösserer Empfindlichkeit und gröberem Korn, daher das

Negativ sehr intensiv. Dicke der Luftschicht zwischen Funken und Collimator 1 *mm*. — Die lichtempfindliche Platte tangirte während der Belichtung die Brennfläche der Cameralinse. Das Spectrum erscheint darum auf verhältnissmässig langer Strecke gleichmässig scharf gezeichnet. Die wirksameren Linien sind im Original vollständig undurchsichtig, ihr Rand erscheint in Folge des gröberen Kornes rau, zackig. Die Vergrösserung ist zehnfach. Hundertfache Vergrösserung würde ein ebenso klares Bild, freilich auch entsprechend stärker gezackte Linienränder geben.

12. Wasserstoff. Druck 1·5 *mm*. Belichtung 40 Minuten. Stromstärke anfänglich 2·5 Ampères, 10 Minuten später bis zu Ende 1·75 Ampères. Spaltweite 0·004 *mm*. Neue Platte von mässiger Empfindlichkeit und feinem Korn, daher das Negativ wenig intensiv. Gehemmte Entwicklung: Entwicklungsdauer 100 Secunden. — Die Aufnahme stellt das photographische Maximum des neuen Wasserstoffgebietes in 50facher Vergrösserung dar. Die Linien sind ungewöhnlich zart, aber nicht so intensiv wie in dem vorhergehendem Aluminiumspectrum. Zwischen den benachbarten Silberpartikeln dieser Plattensorte geht viel Licht durch, ein Übelstand, den gewisse meiner Präparate mit der Bromsilbergelatine theilen. Im Original sind die Linien mit blossen Auge kaum zu erkennen. Die beiden markantesten Linien haben auf den zugekehrten Seiten lichtschwache Begleiter. Ob diese dem Wasserstoff eigenthümlich sind — ich nehme es an, weil sie auf verschiedenen Seiten der Hauptlinie liegen — oder ob sie von der erwähnten Aberration meines Flussspathkörpers herrühren, hat sich bis jetzt nicht feststellen lassen.

Lichtdurchlässigkeit des Wasserstoffs.

Meine Aufnahmen des Wasserstoffspectrums führten noch zu einer anderen Thatsache. Die Strahlen hatten im Apparat eine Wasserstoffschicht von einigen Decimetern Dicke zu durchsetzen, ehe sie die lichtempfindliche Platte erreichten. Da sie am Ende ihres Weges noch photographisch wirkten, liess sich annehmen, dass der Wasserstoff für die Strahlen kleinster Wellenlängen ziemlich durchlässig sei. In welchem Grade

darüber geben meine Aufnahmen vorläufig keinen bestimmten Aufschluss. In den meisten Fällen stand die absorbierende Gasschicht unter schwachem Druck, und schon aus diesem Grunde könnte sie wenig Strahlen absorbirt haben. Eine Lösung dieser Frage dürfte nur durch Aufnahmen bei höherem Druck, als er gewöhnlich in Entladungsröhren vorkommt, zu erzielen sein. Derartige Aufnahmen liegen mir zur Zeit nur in geringer Anzahl vor, und diese wenigen beschränken sich sämmtlich auf dieselbe Spectralstrecke (185 $\mu\mu$ bis 175 $\mu\mu$), auf Drucke bis zu 100 mm aufwärts und auf zwischen dicht vor dem Collimator, also in der Luft erfolgte Entladungen.¹

Wenn ich das Aluminiumspectrum mit dem bis auf weniger als 0.5 mm Druck entleerten Apparat aufnahm, dann so viel Wasserstoff zuströmen liess, dass die Barometerprobe der Luftpumpe bis auf 100 mm stieg, und die Aufnahme wiederholte, ergab sich kein wesentlicher Unterschied der beiden Spectra. Der Wasserstoff hatte sich demnach den betreffenden Strahlen gegenüber indifferent verhalten. Hiernach besteht kein Zweifel, dass Wasserstoff für diesen Bezirk lichtdurchlässig ist. Für die stärker abgelenkten Strahlen hat sich leider der gleiche Versuch aus den früher erörterten Gründen nicht ausführen lassen. Jedenfalls darf man annehmen, dass der Verlust an photographischer Energie mit der Dichte der Gasschicht, die die Strahlen zu durchsetzen haben, abnimmt. Ich habe dieser Thatsache insofern Rechnung getragen, als ich bei Aufnahme der kleinsten Wellenlängen den Druck nach Möglichkeit vermindert habe.

Gesamtmtergebniss.

Die Resultate meiner Untersuchungen des brechbarsten Ultraviolett elektrischer Entladungen lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

Wasserstofflicht war nicht verwendbar, weil der Druck in Röhre und Apparat bei meiner Versuchsanordnung stets derselbe ist. Die photographische Energie der Wasserstoffstrahlen nimmt aber bei Steigerung des Druckes schnell ab. Eine Änderung des photographischen Effectes bei hohem Druck hätte so nach ebenso gut vom Lichtquell wie von der Absorption durch die Wasserstoffschicht herrühren können.

1. a) Die Beobachtung des ultravioletten Spectrums mit Hilfe der Fluorescenz ist nur bis zur Wellenlänge $185 \cdot 2 \mu\mu$ möglich, da die stärker abgelenkten Strahlen ungenügend fluoresciren. Ihre Ergebnisse sind minder zuverlässig als die der photographischen Beobachtung, weshalb dieser allenthalben der Vorzug gebührt.

b) Die photographische Beobachtung des ultravioletten Spectrums führt bis zur Wellenlänge $100 \mu\mu$ (schätzungsweise). Der Umfang des Beobachtungsgebietes richtet sich nach der Masse der Absorption, der die Strahlen auf ihrem Wege zum lichtempfindlichen Bestandtheil der photographischen Platte begegnen. Der schwächeren Absorption folgt das längere Spectrum.

Die in Betracht kommenden Absorbentien sind die atmosphärische Luft, das Bindemittel des lichtempfindlichen Bestandtheiles der photographischen Platte (Gelatine, Collodium) und das Material des Prismas (Gitters) und der Linsen des photographischen Spectralapparates. Die beiden ersten lassen sich vollständig beseitigen, die Luft durch Evacuierung des photographischen Apparates, das Bindemittel durch Präparation besonderer Bromsilberplatten. Das relativ durchlässigste und für Prisma und Linse geeignetste Material ist weisser Flussspath.

Bei Ausschluss der Luft (Vacuum) führen Quarzprismen und Spiegelgitter unter Beibehaltung der Gelatineplatte bis zur Wellenlänge $182 \mu\mu$: beseitigt man die Gelatine (neue Platte), dann läuft das Spectrum weit über diese Wellenlänge hinaus. Die brechbarsten Strahlen sind allein mit Vacuum, reinem Silberhaloid und weissem Flussspath erreichbar.

c) Die brechbarste Linie meiner Aufnahmen gehört dem Wasserstoff an. Ich schätze ihre Wellenlänge auf $100 \mu\mu$. Dann folgen die Aufnahmen des Al, Cd, Co, Cu, Mg, Pb, Pt, Tl, W sie enden in der Gegend der Wellenlänge $170 \mu\mu$. Eine Anzahl anderer Aufnahmen ist von weit kleinerer Ablenkung, doch muthmasslich nur in Folge der stärkeren Absorption einer in den Strahlengang eingeschalteten dicken Luftschicht. In welchem Masse die vorgenannten Metallspectren unter dem Einfluss der in Betracht kommenden 1 mm dicken Luftschicht gestanden haben, dafür fehlt mir jeder Anhalt.

2. Die atmosphärische Luft absorbiert die Strahlen des brechbarsten Ultraviolett in weit höherer Masse als bisher angenommen wurde. Eine Luftschicht von 1 *mm* Dicke und 760 *mm* Druck scheint alles Licht jenseits der Wellenlänge 170 $\mu\mu$ zurückzuhalten.

3. Der Wasserstoff ist für den minderabgelenkten Theil des neuen Gebietes leicht durchlässig, wahrscheinlich auch für den anderen Theil.

4. Trockne Gelatine absorbiert die brechbarsten Strahlen energisch. Daher die verminderte Wirkung der Bromsilbergelatineplatte jenseits der Wellenlänge 227 $\mu\mu$.

5. Quarz ist zur Beobachtung der kleinsten Wellenlängen nicht geeignet. Ihm fehlt die nöthige Durchlässigkeit.

6. Funkenlicht gegenüber zeigen reines Silberbromid und Bromsilbergelatine verschiedene Empfindlichkeit: Silberbromid ist durchgängig für das brechbarere Ultraviolett am empfindlichsten, Bromsilbergelatine für das minderbrechbare.

Dies der gegenwärtige Stand meiner Untersuchung.

Meine nächste Aufgabe wird die Bestimmung der Wellenlängen der Hauptlinien des neuen Gebietes sein. Ihr soll dessen Gesamtaufnahme in besserer Definition als sie bisher erreichbar war folgen. Nebenher wird die auf eine Steigerung der Empfindlichkeit und auf Minderung der Oberflächenfehler abzielende Verbesserung meiner neuen Platte gehen.

Eine andere, von den vorgenannten Aufgaben kaum zu trennende Frage, die schon von Anfang meiner Untersuchung an immer wieder an mich herantrat, ist die nach der Lichtdurchlässigkeit der Luft; sie dürfte der Gegenstand einer besonderen Arbeit werden, insofern ich mich nicht, um von meiner Hauptarbeit (der weiteren Erschliessung der kleinsten Wellenlängen) nicht unnöthig abgezogen zu werden, auf die Schichtendicken beschränke, die bei dem gegenwärtigen Stand meiner Untersuchung allein noch interessiren, Luftschichten, deren Dicke unter 1 *mm* liegt. Vorbereitungen, die ich hierzu getroffen habe, berechtigen zu der Hoffnung, dass sich Luftschichten in Dicken bis zu einigen Mikron abwärts in ihrem

Verhalten den kleinsten Lichtquellen gegenüber, die ich gefunden habe, werden beobachten lassen. Dieser Versuch soll weniger über den Verlauf der Absorptionscurve der Luft, als darüber entscheiden, ob der geringe Umfang der Metallspectren, die zur Zeit bei der Wellenlänge $170\ \mu\mu$ enden, auf ein spezifisches Verhalten der Metalle oder auf die Absorption der $1\ mm$ dicken Luftschicht zurückzuführen sei.

Erst nach Erledigung dieser Aufgaben werde ich zu meiner ursprünglichen Arbeit, der Erweiterung des Ultraviolettens, zurückkehren können.

Da meine Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind, so wäre es gewagt, an die zur Zeit vorliegenden Resultate Betrachtungen knüpfen zu wollen. Dazu wird man erst dann schreiten dürfen, wenn die Mehrzahl aller Spectren bis in noch grössere Nähe ihres muthmasslichen Ausgangspunktes, der Wellenlänge Null, verfolgt sein wird. Die durch meine Untersuchung erreichte Erweiterung des Ultraviolettens ist nur von bescheidenem Umfang, wenn man von dem Wasserstoff absieht. Beim Wasserstoff liegen die Verhältnisse zwar günstiger, doch kann der Vervollkommnung unseres spectralen Wissens aus naheliegenden Gründen, mit der Erweiterung eines einzelnen Spectrums nur wenig gedient sein. Wenn die Spectralanalyse, wie es den Anschein gewinnt, dazu berufen sein sollte, uns Aufschluss über die molecularen Vorgänge zu bringen, wozu nach den Untersuchungen der Herren H. Kayser und C. Runge, die stärker abgelenkten Strahlen vornehmlich geeignet sind, dann dürfte die Entscheidung über diese bedeutende Frage in erster Linie von dem Gebiete der kleinsten Wellenlängen, wie ich mir den zwischen den Wellenlängen $185\ \mu\mu$ und $0\ \mu\mu$ liegenden Spectrumtheil zu bezeichnen erlaubt habe, zu erwarten sein.

Möchte dieser Bericht die erste Anregung hierzu geben.

Erklärung der Tafeln I bis V ¹

Tafel I.

Fig. 1 und 2, der erste Spectralapparat zur Photographie im luftleeren Raume. — Fig. 3, sein Spaltschlitten. — Fig. 4, die Keilringe zur Änderung des Winkels, den die beiden Linsenaxen des Collimators und der Camera einschliessen. — Fig. 5, das Prismastativ mit dem Prisma. — Fig. 6 und 7, die Camera mit der Cassette.

Tafel II.

Fig. 8, die conische Triebaxe des Collimators zur Verschiebung der Linse im luftleeren Raume.

Zum verbesserten Spectralapparat gehörig: Fig. 9 und 10, die Cassette. — Fig. 11, der Schlüssel dazu. — Fig. 12, der Spaltschlitten, nach Abnahme seines Verschlussdeckels. — Fig. 13, der Deckel dazu, mit daransitzender Entladungsröhre und dem Stahlbolzen zum Centriren der Röhre.

Fig. 14, das Spectrum des Aluminiums, wenn die lichtabsorbirende Luftschicht zwischen Funken und evacuirtem Apparat 20, 10, 5, 3 und 1 *mm* dick ist. — Fig. 15, das Spectrum des Cadmiums bei 1 *mm* dicker Luftschicht.

Tafel III.

Fig. 16, das Gehäuse, der Hauptkörper des verbesserten Spectralapparates (Horizontalquerschnitt). — Fig. 17, die Camera desselben Apparates, ebenso durchschnitten. — Fig. 18, der verbesserte Apparat selbst (Aufriss).

Tafel IV.

Fig. 19, der Grundriss dazu.

Tafel V.

Einige Spectra des neuen Spectralgebietes, voran, zum Vergleich der Längen des älteren und neuen Spectralgebietes, das Spectrum des Cadmiums.

1. Cadmium. Die Wellenlängen der Hauptlinien: (Nr. 5, 479·9), (Nr. 9, 361·17), (Nr. 11, 340·15), (Nr. 17, 274·77), (Nr. 18, 257·23), (Nr. 23, 231·35), (Nr. 24, 226·55), (Nr. 25, 219·45), (Nr. 26, 214·41). Alles was

¹ Ausführlich sind diese Tafeln vorstehend bei Beschreibung der beiden Apparate und der betreffenden Spectra besprochen.

jenseits Nr. 26 liegt, war bisher unbekannt. Die vier brechbarsten Linien liegen bei der Wellenlänge $185\cdot2\text{ }\mu\mu$. Die lichtempfindliche Platte zu dieser Aufnahme ist eine der ersten, die nach dem neuen Verfahren präpariert wurde. Daher der unreine Plattengrund. Gegenwärtig ist das Verfahren verbessert. Die jetzt noch auftretenden Fehler des Plattengrundes sind, wie die nachfolgenden Spectra beweisen, gegenstandslos.

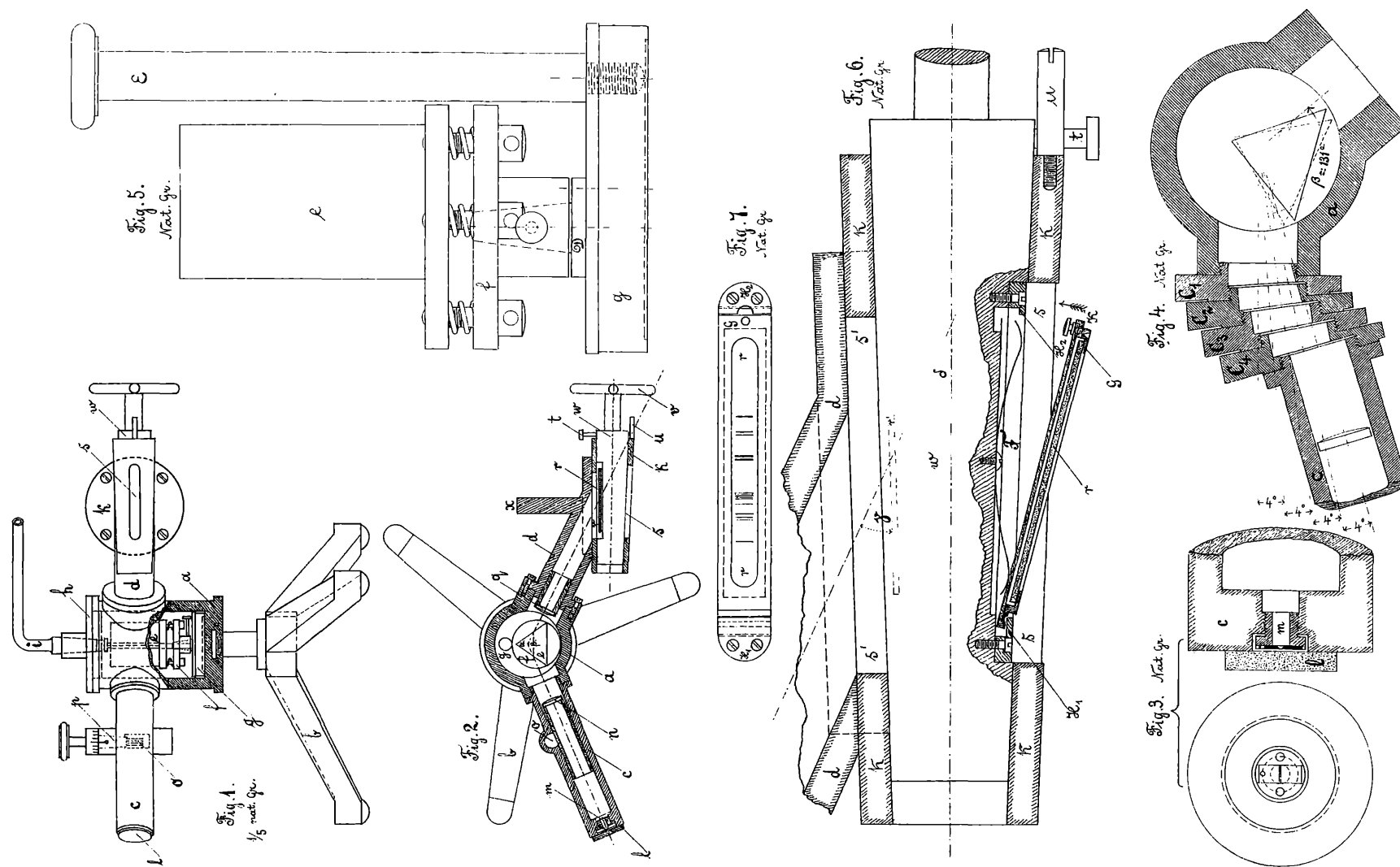
2. Aluminium. Die starkverwaschene Spectrumlinie rechts von der Spectrummitte bildet die von Stockes erreichte Lichtgrenze des Ultravioletten (Wellenlänge $186\cdot0$ und $185\cdot2\text{ }\mu\mu$). Was rechts von ihr liegt, sind neue Linien des Aluminiums.

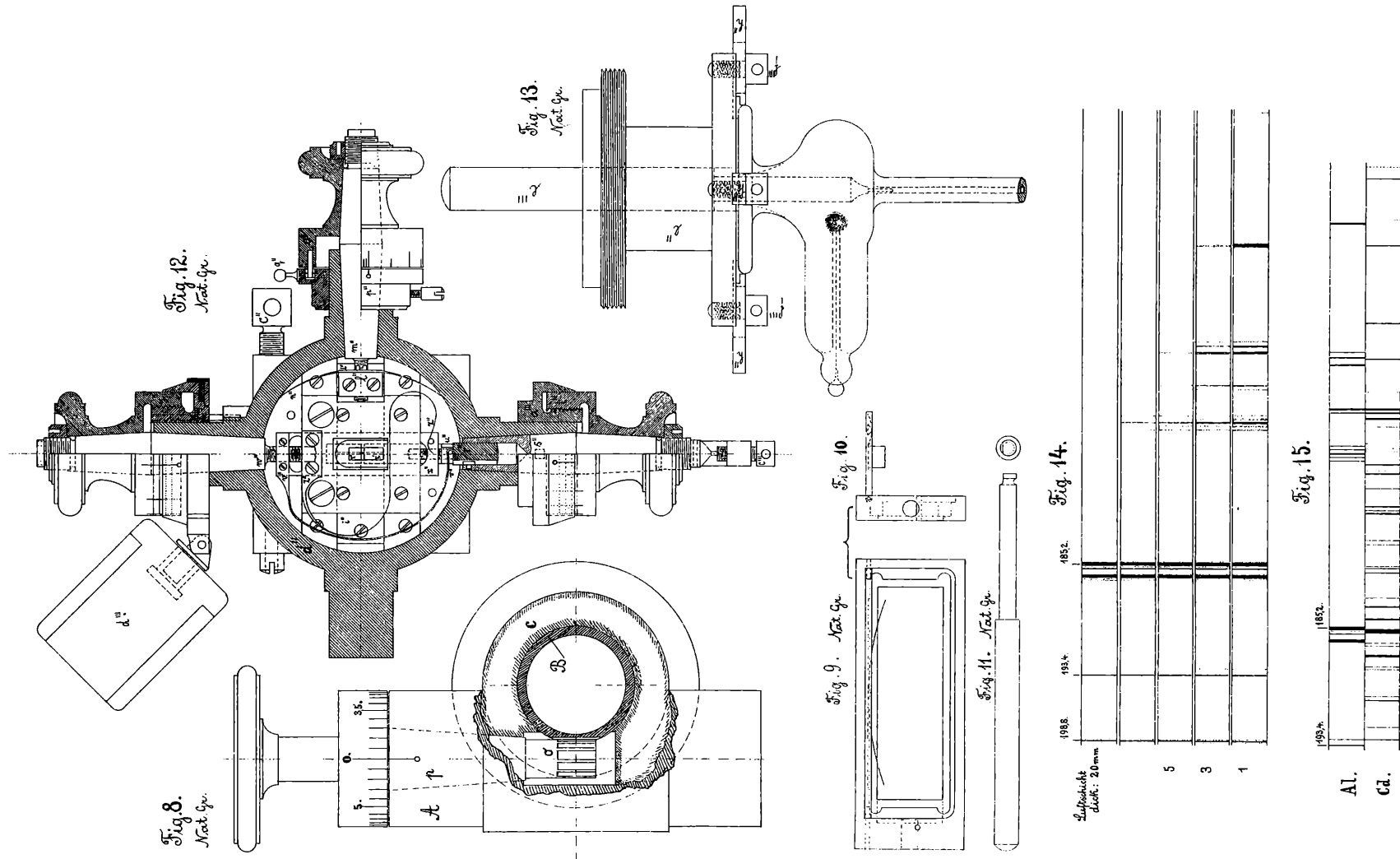
3. bis 9. Wasserstoff. Diese 7 Spectra stellen in ihrer Aufeinanderfolge das neue Wasserstoffgebiet zwischen den Wellenlängen $170\cdot0$ und $100\cdot0\text{ }\mu\mu$ dar.

10. Wasserstoff. Eine Wiederholung der Aufnahme 9 auf hochempfindlicher Platte. Dieses Spectrum enthält die brechbarsten Linien, die je beobachtet worden sind.

11. Aluminium. Eine zehnfache Vergrößerung der Originalaufnahme.

12. Wasserstoff. Eine fünfzigfache Vergrößerung des Originalen. Beide Aufnahmen sind als Definitionsproben anzusehen.





Autor delin.

Photolithographie von C. Angerer & Göschl in Wien.

Fig. 17.

$\frac{1}{2}$ nat. Gr.

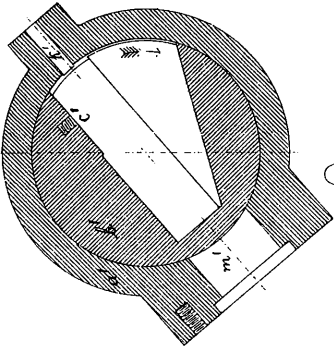


Fig. 16.

$\frac{1}{2}$ nat. Gr.

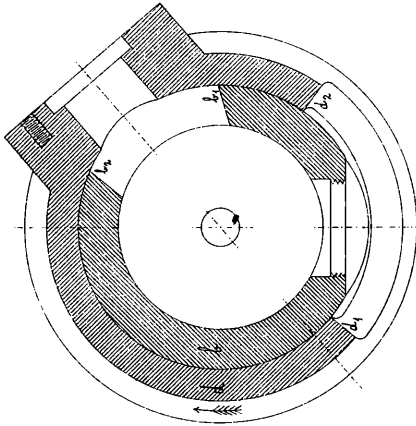
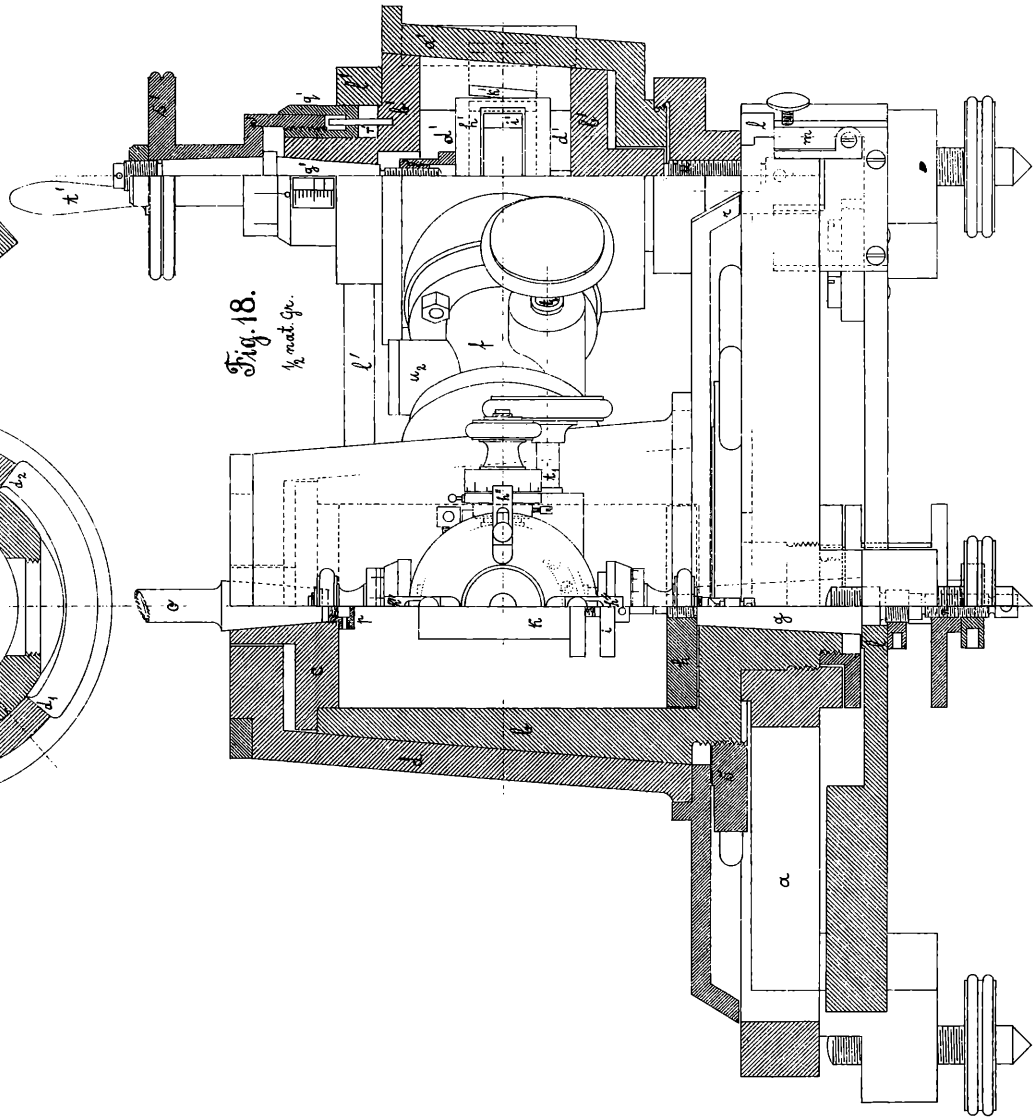
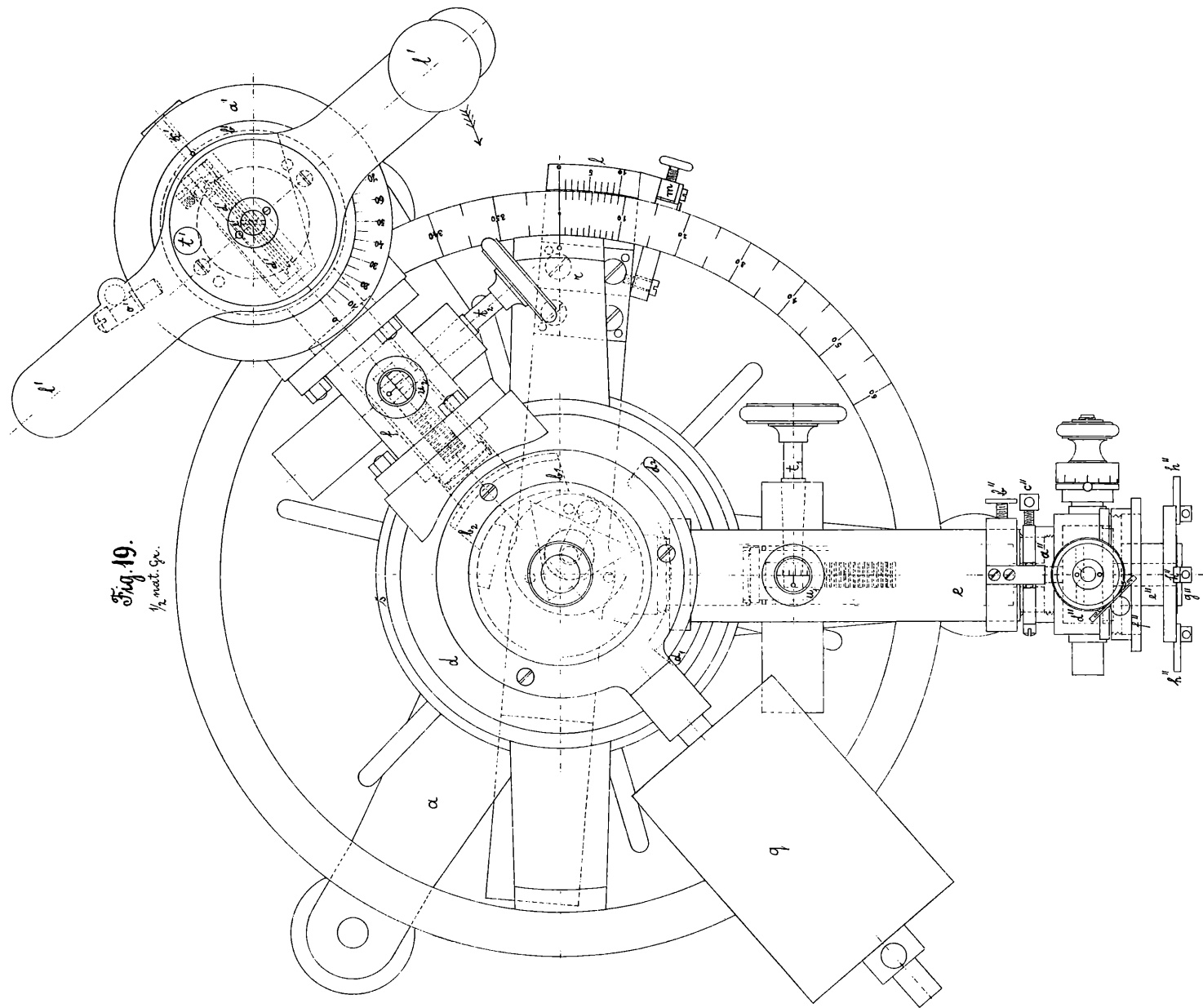


Fig. 18.

$\frac{1}{2}$ nat. Gr.

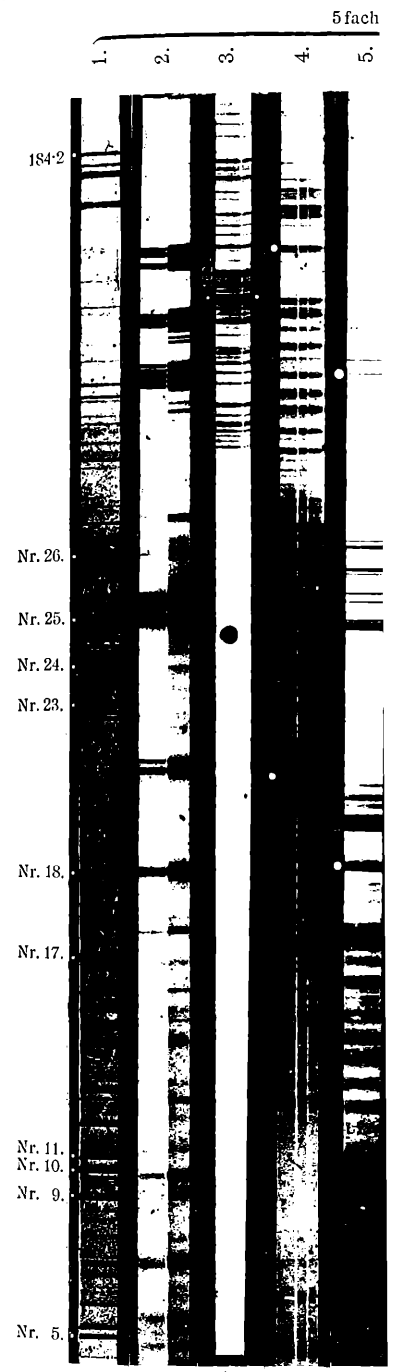




Autor delin.

Photolithographie von C. Angerer & Göschl in Wien.

V. Schumann: Photographie der



Cadmium. (Zum Vergleich.)

Aluminium.
(Vergl. Fig. 14.)
Taf. II.

Nach Photogrammen des Autors vergrößert von E. Zell

