

ÜBER DIE
STRAHLUNG DES QUECKSILBERS
IM MAGNETISCHEN FELDE.

VON

C. RUNGE UND F. PASCHEN.

AUS DEM ANHANG ZU DEN ABHANDLUNGEN DER KÖNIGL. PREUSS. AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN VOM JAHRE 1902.

MIT 6 TAFELN.

BERLIN 1902.

VERLAG DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

IN COMMISSION BEI GEORG REIMER.

N8
RUN

NB
RUN

American Institute of Physics



**The Niels Bohr Library & Archives
for History of Physics**

**GIFT OF
PAUL FORMAN**

ÜBER DIE
STRAHLUNG DES QUECKSILBERS
IM MAGNETISCHEN FELDE.

VON

C. RUNGE UND F. PASCHEN.

AUS DEM ANHANG ZU DEN ABHANDLUNGEN DER KÖNIGL. PREUSS. AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN VOM JAHRE 1902.

MIT 6 TAFELN.

BERLIN 1902.

VERLAG DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

IN COMMISSION BEI GEORG REIMER.

ÜBER DIE
STRAHLUNG DES QUECKSILBERS
IM MAGNETISCHEN FELDE

707

Vorgelegt in der Gesamtsitzung am 6. Februar 1902
[Sitzungsberichte St. VII S. 89].

Zum Druck eingereicht am gleichen Tage, ausgegeben am 9. April 1902.

AUS DEM ANHANG ZU DEN ABHANDLUNGEN DER KÖNIGL. PREUSS. AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN VOM JAHRE 1902

MIT 6 TAFELN

BERLIN 1902

VERLAG DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

IN COMMISSION BEI GEORG REIMER

In der vorliegenden Arbeit haben wir uns vorgesetzt, an den Linien des Quecksilberspectrums den Zusammenhang zu untersuchen, der zwischen der von Zeeman entdeckten Einwirkung des magnetischen Feldes auf die Lichtschwingungen und der Vertheilung der Linien in Serien¹ besteht. Dieser Zusammenhang ist schon von Th. Preston vor einiger Zeit ausgesprochen worden.² Allein es ist nicht bekannt geworden, in welchem Umfang und mit welcher Genauigkeit er ihn nachgewiesen hat. In seinen Veröffentlichungen spricht er nur von den Serien im Spectrum des Magnesium, Cadmium und Zink, und auch in diesen Spectren hat er nur den Typus der Zerlegung der zweiten Nebenserie angegeben. Die Untersuchung des Quecksilberspectrums von A. Michelson³ bezieht sich nur auf den sichtbaren Theil, wo keine Wiederholungen von Serienlinien vorkommen, und die Arbeit von Reese⁴, der auch einige Quecksilberlinien untersucht hat, streift kaum die hier behandelten Fragen. Nur Kent⁵ geht auf die Frage ein. Seine Resultate sind indessen nicht mit unseren Beobachtungen vereinbar.

Zur Erzeugung des Spectrums haben wir ein großes Rowland'sches Concavgitter von 6^m.5 Krümmungsradius in fester Aufstellung verwendet. Ein Eisengerüst aus starken U-Trägern (Fig. 1) ruht bei *A*, *B*, *C* auf drei Betonpfeilern. Der Halbkreis *AB* von 6^m.5 Durchmesser bildet einen etwa 30^{cm} breiten horizontalen Tisch, auf dem Spalt und Camera beliebig auf-

¹ Über die Serien vergleiche den Bericht von Rydberg, Rapp. prés. au Congrès internat. de Physique, Tome II, p. 200.

² Th. Preston, Nature Vol. 59, p. 248. 1899.

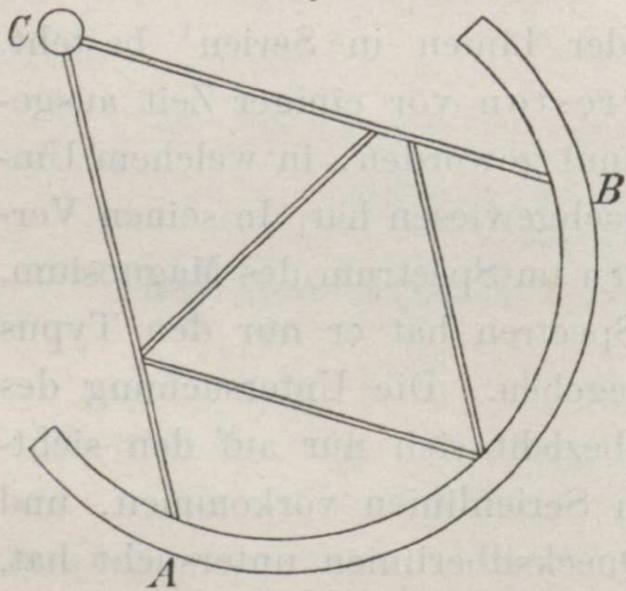
³ A. Michelson, Astroph. J. VII, S. 136. 1898.

⁴ H. M. Reese, Astroph. J. XII, S. 120—135. 1900.

⁵ N. A. Kent, Astroph. J. XIII, S. 289—319. 1901.

gestellt werden können. Das Gitter befindet sich bei *C*. Wir hatten den Spalt an dem Ende des Halbkreises bei *A* aufgestellt. Zwei hölzerne Cameras von je etwa 2^m Breite dienten zur Aufnahme des Spectrums. Setzte man sie neben einander, so konnte man eine 4^m lange ununterbrochene Reihenfolge von photographischen Platten setzen, so daß eine Aufnahme gleich das ganze Spectrum in mehreren Ordnungen lieferte. Bei der Justirung des Gitters fanden wir übrigens, daß das Spectrum durchaus nicht auf dem »Rowland'schen Kreise« lag, der durch den Spalt, das Gitter und den Krümmungsmittelpunkt läuft. Die Abweichungen betragen bis zu 5^{cm}. Sie erklären sich nach Cornu bekanntlich dadurch, daß die Furchenabstände von einer Seite des Gitters zur anderen wachsen.¹ Es ist

Fig. 1.



oftmals wünschenswerth, bei derselben Aufnahme eine Linie gleichzeitig in mehreren Ordnungen zu photographiren, um sich von der Realität schwacher Componenten zu überzeugen. Denn es können manchmal durch Mängel des Spaltes oder ungenaue Einstellung der Camera falsche Nebenlinien entstehen. Reelle Componenten müssen in den verschiedenen Ordnungen in verschiedenen ihren Wellenlängen entsprechenden Abständen erscheinen. Wenn sie das thun, so wird dadurch ihre Realität sehr wahrscheinlich gemacht. Die feste Aufstellung des Rowland'schen Gitters hat den weitem Vortheil, daß die Justirung sich nicht ändert, und daß man von Erschütterungen des Gebäudes sehr viel unabhängiger ist. Ferner war es für uns von Wichtigkeit, daß für die gleichzeitig photographirten Linien das magnetische Feld dasselbe ist. Die Feldstärke verschiedener Aufnahmen aber kann verglichen werden, sobald nur eine Linie beiden Aufnahmen gemein ist. Dafür konnte aber bei der großen Ausdehnung des gleichzeitig photographirten Gebietes leicht gesorgt werden. Wir haben davon besonders bei der Untersuchung anderer Elemente ausgiebigen Gebrauch gemacht. Die Resultate dieser Untersuchung beabsichtigen wir demnächst zu veröffentlichen.

¹ Vergl. H. Kayser, Handbuch der Spectralanalyse, Bd. I, S. 441.

Zur Erzeugung des magnetischen Feldes haben wir einen Dubois'schen Halbring-Magneten von Hartmann & Braun¹ verwendet, den die Berliner Akademie der Wissenschaften uns zur Verfügung zu stellen die Güte hatte.

Der wichtigste Punkt bei der Untersuchung ist wohl die Lichtquelle. Wir haben Geißler'sche Röhren mit Quecksilber-Elektroden benutzt in der Form, wie sie von F. Paschen² angegeben worden ist. Im Laufe der Untersuchung fanden wir es nöthig, noch einige Änderungen daran anzubringen. Das aufs Gitter fallende Licht darf nur von solchen Theilen der Lichtquelle herrühren, die sich in dem stärksten Theil des magnetischen Feldes befinden. Um diefs zu bewirken, wurde der Geißler'schen

Fig. 2.

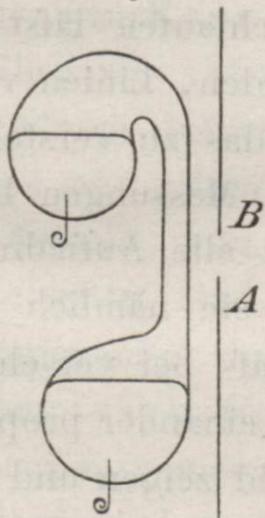
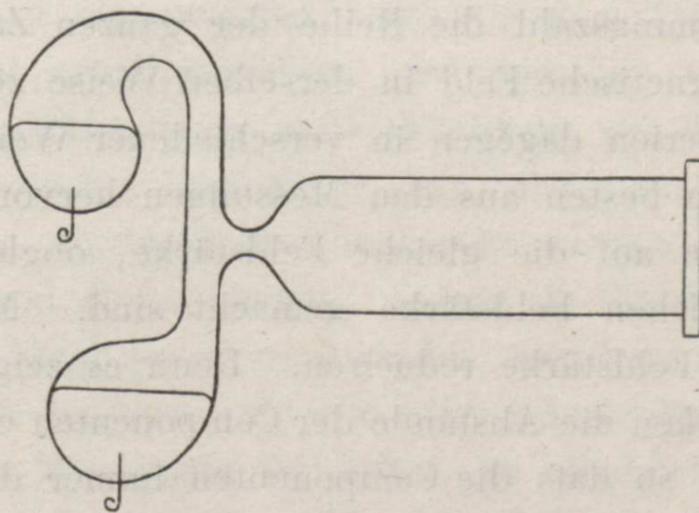


Fig. 3.



Röhre die folgende Form gegeben (Fig. 2). Die Capillare durchsetzte senkrecht den stärksten Theil des Feldes, und eine Blende AB ließ nur Licht aus diesem Theil auf den Spalt gelangen. Um den gleichen Vortheil auch für ultraviolette Strahlung zu haben, wurde an die Capillare in der Mitte ein Rohr angesetzt, das von einem Flußspathfenster verschlossen war (Fig. 3). Ein Quarzfenster darf man wegen der Rotationsdispersion des Quarzes nicht nehmen, wenn man auch die Polarisation der Componenten feststellen will. Man müßte denn schon zwei gleich dicke Stücke von rechts und links drehendem Quarz verwenden. Zur Untersuchung der Polarisation setzten wir einen Kalkspath vor das Fenster der Röhre. Wenn wir nun durch Quarzlinsen ein Bild der Capillaren auf dem Spalt entwarfen, so wurde es durch den Kalkspath in zwei Bilder zerlegt, die senkrecht auf einander polarisirt sind. Von diesen zwei Bildern konnten wir nun durch eine ge-

¹ H. Dubois, Ann. d. Phys., Bd. I, S. 199.

² F. Paschen, Phys. Zeitschrift I. Jahrg., S. 478. 1900.

ringe Änderung an den Fufsschrauben des Linsenstativs entweder das eine oder das andere Bild auf den Spalt bringen. Bei richtiger Stellung des Kalkspaths bestand das eine Bild aus Licht, dessen elektrische Schwingungen in der Lichtquelle parallel den Kraftlinien vor sich gehen, das andere Bild aus Licht, dessen elektrische Schwingungen in der Lichtquelle auf den Kraftlinien senkrecht stehen. Dafs die Ebene der Schwingungen nach dem Durchsetzen des Kalkspaths durch die Quarzlinse gedreht wird, thut nichts zur Sache.

Der Zusammenhang zwischen dem Zeeman-Effect und den Serien zeigt sich darin, dafs alle Linien einer Serie, d. h. alle Linien, deren Schwingungszahlen durch dieselbe Formel dargestellt werden, wenn man die Ordnungszahl die Reihe der ganzen Zahlen durchlaufen läfst, durch das magnetische Feld in derselben Weise zerlegt werden, Linien verschiedener Serien dagegen in verschiedener Weise. Wie das zu verstehen ist, geht am besten aus den Messungen hervor. Unsere Messungen beziehen sich alle auf die gleiche Feldstärke, obgleich nicht alle Aufnahmen bei der gleichen Feldstärke gemacht sind. Man kann sie nämlich auf die gleiche Feldstärke reduciren. Denn es zeigt sich, dafs bei verschiedenen Feldstärken die Abstände der Componenten einer Linie einander proportional bleiben, so dafs die Componenten immer dasselbe Bild zeigen und nur der Mafsstab, in dem das Bild gezeichnet ist, mit der Feldstärke wächst. Eine scheinbare Ausnahme erleidet diese Regel bei einigen schwächeren Componenten, die bei den kräftigsten Linien beobachtet werden. Es kann indessen kaum zweifelhaft sein, dafs diese Componenten nicht zu den Linien selbst gehören, sondern zu Satelliten, die ohne magnetisches Feld dicht neben ihnen liegen. Könnte man die Componenten des Satelliten allein beobachten, so würde sich vermuthlich ergeben, dafs auch ihre Abstände einander proportional bleiben, wenn die Feldstärke sich ändert, obgleich ihre Abstände von den Componenten der Hauptlinie nicht einander proportional bleiben. Um indessen diese Frage befriedigend zu erledigen, müfste man gröfsere Dispersion zur Verfügung haben als sie das Rowland'sche Gitter gewährt. Denn die Componenten der Hauptlinie verdecken die Componenten des Satelliten gar zu leicht, besonders bei schwächeren Feldstärken.

Unsere Beobachtungen zeigten ferner, dafs der mit wachsender Feldstärke wachsende Mafsstab der Zerlegung für alle Linien des Spectrums

immer im gleichen Verhältniß wächst, d. h. wenn bei einer Steigerung der Feldstärke der Maßstab der Zerlegung einer Linie im Verhältniß $a:b$ wächst, so wächst der Maßstab der Zerlegung jeder anderen Linie in demselben Verhältniß. Wir haben diese Thatsache bei den Quecksilberlinien für Feldstärken von etwa 12000 (c.g.s.) bis 25000 (c.g.s.) geprüft. Diese Beobachtungen widerstreiten den Angaben von N. A. Kent¹, der, ebenso wie H. M. Reese, von den drei Zinklinien 4680, 4722, 4811, welche dieselben Zerlegungen zeigen wie die Quecksilberlinien 4047, 4359, 5461, ein anderes Verhalten behauptet. Danach soll der Maßstab der Zerlegung von 5461, wenn die Feldstärke über 18000 (c.g.s.) hinauswächst, nicht so stark zunehmen wie der von 4047 und 4358. Indessen ist gegen die Angaben von Kent und Reese einzuwenden, daß sie den Typus der Quecksilberlinie 5461 gar nicht erhalten haben. Sie sprechen von ihm als von einem diffusen Triplet, während er in Wirklichkeit, wie die Taf. I zeigt und wie schon Michelson ihn beschrieben hat, aus neun Componenten besteht, von denen die mittleren drei senkrecht zu den äußeren sechs polarisirt sind. Kent und Reese haben, indem sie die mittleren drei Componenten durch einen Nicol zum Verschwinden brachten, den Abstand der beiden Gruppen der äußeren mit einander verschwimmenden Componenten gemessen. Ihren Messungen ist daher ein erheblich geringeres Gewicht beizulegen als den unsrigen. Ob der Maßstab der Zerlegung der Feldstärke proportional wächst oder in einer anderen Abhängigkeit von der Feldstärke steht, haben wir nicht untersucht, da wir keine Feldstärken gemessen haben. Die von uns angewendete Reduction aller Beobachtungen auf die gleiche Feldstärke setzt nicht die Proportionalität voraus, sondern gründet sich nur darauf, daß der Maßstab der Zerlegungen bei verschiedenen Linien in der gleichen Weise von der Feldstärke abhängt.

Im einzelnen gestaltete sich die Reduction in der folgenden Weise. Auf fünf der besten Aufnahmen wurden die Wellenlängenunterschiede der neun Componenten der kräftigen grünen Linie $A = 5460.97$ gemessen, die von allen Linien des Spectrums am weitesten durch das magnetische Feld zerlegt wird. Nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden nun 13 Unbekannte bestimmt, nämlich die 4 Factoren, mit denen die Messungen von vier der Aufnahmen zu multipliciren sind, um den Maßstab auf den der

¹ N. A. Kent, *Astroph. J.* XIII, S. 294.

fünftens zu reduciren, und die 9 Wellenlängencorrecturen, die an den Messungen der fünften Aufnahme anzubringen sind. Es gelingt sogleich, die Normalgleichungen so umzuformen, daß man es nur mit vier Gleichungen für die vier Factoren zu thun hat. Jede der 9 Wellenlängencorrecturen ergibt sich dann als lineare Function der vier Factoren. Mit den so gewonnenen vier Factoren wurden nun auch die anderen Linien der fünf Aufnahmen auf einander reducirt, und die unten aufgeführten Zerlegungen sind die Mittel aus den so gefundenen Zahlen. Die Feldstärken der fünf Aufnahmen sind nicht sehr stark von einander verschieden. Die Maßstäbe der Zerlegung weichen im äußersten Fall 23 Procent von einander ab.

Für viele Linien, namentlich schwächere, wurden aber auch noch zahlreiche andere Aufnahmen verwerthet. Um diese auch auf dieselbe Feldstärke zu reduciren, wurden die Mittel der Zerlegungen der Linien 5461, 4359, 4047, wie sie sich aus den fünf besten Aufnahmen ergeben hatten, als richtig angenommen und nun für jede neue Aufnahme der Reductionsfactor nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, ohne jedoch Correcturen der Wellenlängen der einzelnen Componenten als Unbekannte einzuführen. Man hat es dann bei jeder Linie außer mit dem gesuchten Reductionsfactor mit nur einer Unbekannten zu thun, der Parallelverschiebung der Componenten der neuen Aufnahme. Die Parallelverschiebung bestimmt sich, wie man nach der Methode der kleinsten Quadrate leicht zeigt, in der Weise, daß der Schwerpunkt der Componenten für die neue Aufnahme mit dem Schwerpunkt der gegebenen Componenten übereinstimmen muß.

Die Feldstärke, auf die alle Messungen reducirt sind, ist von uns nicht direct, sondern nur mit Hülfe der Messungen von Michelson, Reese, Marchand und Blythwood zu 24600 (c. g. s.) bestimmt worden. Wir geben die Rechnung weiter unten. In der folgenden Tabelle sind alle Messungen zusammengestellt. Die Wellenlängen der Linien, ohne die Einwirkung des magnetischen Feldes, sind die von Kayser und Runge gegebenen. Natürlich ist die relative Genauigkeit der Componenten erheblich größer als die absolute, die hier eine untergeordnete Bedeutung hat. Die Bezeichnungen »parallel« und »senkrecht« bedeuten, daß die elektrischen Schwingungen parallel oder senkrecht zu den Kraftlinien sind. Der angegebene mittlere Fehler bezieht sich nur auf die relative Genauigkeit. Die Intensitäten der Componenten sind geschätzt in einer Scala, in der die größte Intensität gleich 10, die kleinste gleich 1 oder < 1 gesetzt ist. Die mit $\Delta\lambda$ bezeichnete

Colonne enthält die Wellenlängenunterschiede der Componenten gegen die unveränderte Linie in Tausendsteln einer Angström'schen Einheit. Die mit $-\Delta\lambda/\lambda^2$ überschriebene Colonne gibt die Differenzen der Schwingungszahlen ($1/\lambda =$ Zahl der auf 1^{cm} kommenden Wellen, wo λ in Centimetern gemessen ist). Die Reihenfolge der Linien ist nach den Serien und nach wachsenden Schwingungszahlen angeordnet. Die Nebenserien sind eigentlich sechs. Aber je drei von ihnen, die in der Scala der Schwingungszahlen gezeichnet einander congruent sind, werden auch wohl zusammen als eine Nebenserie bezeichnet. Bei der zweiten Nebenserie bestehen alle drei aus einfachen Linien, bei der ersten Nebenserie dagegen ist jede Linie von Satelliten begleitet. Zuerst sind die drei Serien der zweiten Nebenserie, dann die drei Serien der ersten Nebenserie mit den Satelliten aufgeführt und endlich die Linien, die nicht zu den Serien gehören.

Ungestörte Wellenlänge	Wellenlängen im magnetischen Felde ¹		Mittlerer Fehler	Intensität	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Bemerkungen
	parallel	senkrecht					
Zweite Nebenserie I.							
5460.97		1.605	0.0024	3	+635	-2.13	Nach kleineren Wellenlängen nimmt man noch zwei, nach größeren noch eine senkrecht zu den Kraftlinien schwingende Componente wahr, die vermuthlich zu Satelliten der Hauptlinie gehören, da ihre Abstände von der Hauptlinie sich nicht proportional zu den anderen Abständen mit der Feldstärke ändern. Auch zwischen den aufgeführten bemerkt man noch schwache Linien.
		1.454		5	+484	-1.62	
		1.289		4 ²	+319	-1.07	
	1.127	3		+157	-0.53		
	0.970	4 ³		0	0		
	0.807	3		-163	+0.55		
		0.654		4 ²	-316	+1.06	
		0.483		5	-487	+1.63	
		0.324		3	-646	+2.17	
		1.929		0.0034	< 1	+229	
3341.70		1.876	0.0024	1	+176	-1.58	
		1.816	0.0024	2	+116	-1.04	
	1.762	0.0034	1	+ 62	-0.56		
	1.700		2	0	0		
	1.639		1	- 61	+0.55		

¹ Die ersten drei Ziffern der Wellenlängen sind fortgelassen.

² Manchmal waren die Componenten 0.654 und 1.289 stärker als die Componenten 0.483 und 1.454, manchmal diese stärker als jene.

³ Die Intensität der mittelsten Componente ist bei Röhren mit Ansatz schwächer als die der benachbarten. Die mittelste wird in den Rohransatz absorbiert. Wir haben uns hiervon auch außerhalb des magnetischen Feldes mit dem Echelonspectroskop überzeugt. Wenn man durch Erhitzen des Quecksilbers den Druck im Rohr steigert, so sieht man in den Röhren mit Ansatz die Umkehrung der Linien 5461 und 4359.

Ungestörte Wellenlänge	Wellenlängen im magnetischen Felde		Mittlerer Fehler	Intensität	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Bemerkungen
	parallel	senkrecht					
2925.51	5.510	1.584	0.0024	2	-116	+1.04	Die Componenten sind getrennt nur beobachtet, wenn die parallel den Kraftlinien schwingenden Componenten unterdrückt wurden.
		1.524	0.0024	1	-176	+1.58	
		1.462	0.0034	< 1	-238	+2.13	
		5.604	0.006	1	+ 94	-1.10	
		5.416	0.006	1	- 94	+1.10	

Zweite Nebenserie II.

4358.56	8.668	8.968	0.0011	5	+408	-2.15	Zwei schwächere senkrecht zu den Kraftlinien schwingende Componenten bei 4359.05 und 4358.07, deren Abstände von der Hauptlinie sich mit der Feldstärke nicht proportional zu den anderen Abständen ändern, gehören vermuthlich zu Satelliten der Hauptlinie. Auch schwächere parallel den Kraftlinien schwingende Componenten sind zu bemerken, die auch wohl den Satelliten angehören.
		8.867		4	+307	-1.62	
		8.458		4	+108	-0.57	
		8.249		4	-102	+0.54	
		8.150		4	-311	+1.64	
		8.150		5	-410	+2.16	
2893.67	3.713	3.849	0.0030	2	+179	-2.14	Die Componenten sind nur dann getrennt beobachtet, wenn die parallel schwingenden unterdrückt waren.
		3.808	0.0030	2	+138	-1.65	
		3.621	0.0023	1	+ 43	-0.51	
		3.534	0.0023	1	- 49	+0.58	
		3.496	0.0030	2	-136	+1.62	
		3.496	0.0030	2	-174	+2.08	
2576.31	6.31	6.419	0.01		+109	-1.64	
		6.200	0.01		-110	+1.66	

Zweite Nebenserie III.

4046.78	6.780	7.136	0.0022	6	+356	-2.17	Drei schwächere, senkrecht zu den Kraftlinien schwingende Componenten bei 7.223, 7.080, 6.365 gehören vermuthlich nicht zu der Hauptlinie sondern zu Satelliten, da ihre Abstände von der Hauptlinie sich nicht proportional den anderen Abständen mit der Feldstärke ändern. Auch schwächere, parallel zu den Kraftlinien schwingende Componenten sind zu bemerken, die auch wohl zu den Satelliten gehören.
		6.423		7	0	0	
		6.423		6	-357	+2.18	
2752.91	2.910	3.086	0.007	1	+176	-2.32	
		2.753	0.010	3	0	0	
		2.753	0.007	1	-157	+2.07	

Ungestörte Wellenlänge	Wellenlängen im magnetischen Felde		Mittlerer Fehler	Intensität	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Bemerkungen
	parallel	senkrecht					
Erste Nebenserie I.							
3663.46 Satellit		3.732	0.0019	1	+272	-2.06	Die durch Klammern zusammengefassten Linienpaare liefen in eine Linie zusammen, wenn beide Arten von Schwingungen zugelassen waren.
		3.672		3	+212	-1.61	
		3.610		2	+150	-1.14	
	3.582			5	+122	-0.92	
		3.542		2	+82	-0.62	
	3.528			2	+68	-0.51	
	3.398			2	-62	+0.47	
		3.370		3	-90	+0.68	
		3.332		5	-128	+0.97	
		3.318		3	-142	+1.08	
3663.05 Satellit		3.249	0.0024	4	-211	+1.60	Die beiden Componenten von größter Wellenlänge werden bei dieser Feldstärke von den Componenten der Linie 3663.46 verdeckt. Sie sind bei geringer Feldstärke beobachtet und dann auf die größere Feldstärke reducirt worden.
		3.187		1	-273	+2.07	
		3.428		2	+378	-2.81	
		3.274		1	+224	-1.67	
	3.198			2	+148	-1.10	
		3.128		< 1	+78	-0.58	
	3.050			4	0	0	
	2.977 ¹	0.009	< 1	-73	+0.54		
	2.903	0.0031	3	-147	+1.09		
	2.828	0.0024	1	-222	+1.65		
	2.679	0.0024	3	-371	+2.76		
3023.64 Satellit		3.769	0.01	2	+129	-1.41	Nicht deutlich getrennt.
		3.734		2	+94	-1.03	
		3.546		2	-94	+1.03	
		3.500		2	-140	+1.53	
3021.68 Hauptlinie		1.792	0.004	3	+112	-1.22	Nicht deutlich getrennt.
		1.705		3	+25	-0.27	
		1.655		2	-25	+0.27	
2803.69		1.569	0.004	3	-111	+1.21	Die Componenten sind nur dann getrennt beobachtet, wenn die parallel schwingenden unterdrückt wurden.
		3.776		1	+86	-1.10	
	3.69	3.604	0.014	1	-86	+1.10	
Erste Nebenserie II.							
3131.95 Satellit		2.102	0.0037	1	+152	-1.55	Die als gleichzeitig parallel und senkrecht zu den Kraftlinien schwingend aufgeführten Componenten scheinen nicht genau zu coincidiren. Die parallel schwingenden haben vermuthlich einen etwas größern, die senkrecht schwingenden einen etwas kleinern Abstand als den angegebenen.
		2.058		3	+108	-1.10	
	2.007	2.007		4	+57	-0.58	
	1.950			< 1	0	0	
	1.884	1.884		4	-66	+0.67	
		1.843		0.0030	3	-107	
	1.784	0.0053	1	-166	+1.69		

¹ Diese Componente ist sehr schwach, wesentlich schwächer als 3663.128 und daher nur mit geringer Genauigkeit bestimmt.

Ungestörte Wellenlänge	Wellenlängen im magnetischen Felde		Mittlerer Fehler	Intensität	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Bemerkungen
	parallel	senkrecht					
3131.66 Satellit	1.841?	1.841?	0.0026	< 1	+181	-1.85	Die mit ? bezeichneten Componenten sind nur ohne Kalkspath beobachtet worden. Ihr Polarisationszustand kann daher nicht angegeben werden.
		1.815	0.0015	3	+155	-1.58	
	1.764		0.0018	3	+104	-1.06	
		1.716	0.0015	3	+ 56	-0.57	
		1.604	0.0015	3	- 56	+0.57	
	1.555		0.0018	3	-105	+1.07	
		1.502	0.0015	3	-158	+1.59	
	1.452?	1.452?	0.0026	< 1	-208	+2.12	
3125.78 Hauptlinie	5.936?	5.936?	0.0010	1	+156	-1.60	
		5.897	0.0007	2	+117	-1.20	
		5.858	0.0007	3	+ 78	-0.80	
	5.819		0.0010	1	+ 39	-0.40	
	5.780?	5.780?	0.0010	1	0	0	
	5.744		0.0010	1	- 36	+0.37	
		5.705	0.0007	2	- 75	+0.77	
	5.664	0.0007	3	-116	+1.19		
	5.627	5.627	0.0014	1	-153	+1.57	
2655.29 Satellit		5.346	0.0043	1	+ 56	-0.79	Die Componenten sind nur getrennt beobachtet worden, wenn die parallel schwingenden Componenten unterdrückt wurden.
	5.29			1			
		4.234	0.0043	1	- 56	+0.79	
2653.86 Satellit		3.970	0.012	1	+110	-1.56	
		3.932	0.012	1	+ 72	-1.02	
		3.906	0.012	1	+ 46	-0.65	
		3.812	0.012	1	- 48	+0.68	
	3.788		0.012	1	- 72	+1.02	
		3.754	0.012	1	-106	+1.51	
2652.22 Hauptlinie		2.295	0.006	3	+ 75	-1.07	
	2.220		0.012	3	0	0	
		2.145	0.006	2	- 75	+1.07	

Erste Nebenserie III.

2967.64 Satellit		7.740	0.003	1	+100	-1.14	
	7.640		0.004	1	0	0	
		7.541	0.003	2	- 99	+1.12	
2967.37	7.423	7.423	0.004	4	+ 53	-0.60	Die mittlere Componente ist breit.
	7.370		0.004	3	0	0	
	7.318	7.318	0.004	3	- 52	+0.59	
2534.89	4.920	4.920	0.001	1	+ 30	-0.47	Die Componenten konnten getrennt nur dann beobachtet werden, wenn die parallel den Kraftlinien schwingenden Componenten unterdrückt waren.
	4.89						
	4.860	4.860	0.001	1	- 30	+0.47	

Linien des Quecksilberspectrums, die nicht zu den Serien gehören.

Ungestörte Wellenlänge	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Mittlerer Fehler	Intensität	Bemerkungen
5790.49	+369	-1.10	0.0067	1	Bei allen hier aufgeführten Linien außer der letzten schwingen die beiden äußeren Componenten senkrecht zu den Kraftlinien, die mittlere dagegen parallel den Kraftlinien.
	0	0	0.0082	3	
	-399	+1.19	0.0067	1	
5769.45	+414	-1.24	0.0017	2	Bei 5789.32 liegt noch eine schwache Linie, deren Zerlegung im magnetischen Felde aber nicht mit Sicherheit beobachtet werden können.
	0	0	0.0021	5	
	-415	+1.25	0.0017	2	
4916.41	+271	-1.12		1	
	0	0		2	
	-259	+1.07		1	
4347.65	+206	-1.09	0.0018	2	
	0	0	0.0020	4	
	-206	+1.09	0.0018	2	
4339.47	+246	-1.31	0.0048	1	
	0	0	0.0064	2	
	-252	+1.34	0.0048	1	
4108.2	+156	-0.92		1	Die Wellenlänge ist von Eder und Valenta bestimmt ² , welche die Linie unter den Bandenlinien des Quecksilbers führen.
	0	0		2	
	-180	+1.07		1	
4078.05	+268	-1.61	0.0034	3	
	0	0	0.0043	6	
	-274	+1.65	0.0034	3	
3984.08	—	—	—	—	Die Linie 3984.08 (Kayser und Runge) besteht im ungestörten Zustand aus 3 Componenten 4.196; 4.121; 4.054. Bei Einschaltung des Feldes erhielten wir nur einen verschwommenen Streifen.

¹ Die Linien dieser Liste, bei denen kein mittlerer Fehler angegeben ist, sind nur ein Mal beobachtet. Die Genauigkeit ist bei ihnen erheblich geringer.

² Eder und Valenta, Über die verschiedenen Systeme des Quecksilbers. Abhandlungen der Wiener Akademie, 1894.

Ungestörte Wellenlänge	$\Delta\lambda$	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	Mittlerer Fehler	Intensität	Bemerkungen
3906.6	+141	-0.92		2	Die Wellenlängen sind die von Eder und Valenta angegebenen.
	0	0		4	
	-144	+0.94		2	
3902.1	+165	-1.08		1	
	0	0		2	
	-159	+1.04		1	
2847.85	+94	-1.16		1	Die Componenten konnten wir getrennt nur beobachten, wenn die parallel den Kraftlinien schwingende Componente unterdrückt wurde.
	0	0			
	-94	+1.16		1	
2536.72	+115	-1.79	0.0028	10	Diese kräftige Linie spaltet sich in zwei Componenten, die beide senkrecht und parallel den Kraftlinien schwingen. Neben diesen beiden Componenten erscheint nach der Seite der größeren Wellenlängen je eine schwache Componente im Abstand 0.090. Man sollte vermuthen, daß diese zu einer Linie 2536.81 gehören. Aber wir haben im ungestörten Zustande neben 2536.72 keine Linie beobachtet.
	-115	+1.79	0.0028	10	

Soweit die Genauigkeit der Messungen reicht, zeigen die Linien derselben Serie, d. h. solcher Linien, die durch dieselbe empirische Formel von Kayser und Runge oder von Rydberg dargestellt werden, die gleiche Zerlegung durch das magnetische Feld in dem Sinne, daß in der Scala der Schwingungszahlen gezeichnet die Componenten aller Serienlinien die gleichen Abstände haben und daß entsprechende Componenten auch in derselben Weise polarisirt sind. Nur sind bei den schwächeren Linien in der Regel nicht alle Componenten beobachtet, und bei den kleineren Wellenlängen rücken die Componenten so dicht an einander, daß sie nicht mehr getrennt werden konnten. So sind z. B. bei den zu einer Serie gehörenden Linien 5461, 3342, 2926 9 Componenten der ersten (abgesehen von den schwachen Componenten, die wir Satelliten zuschreiben), 9 Componenten der zweiten und nur 3 Componenten der dritten beobachtet. Dennoch ist kaum daran zu zweifeln, daß die Zerlegung auch bei der dritten Linie die gleiche ist. Die beobachteten Componenten bestätigen es, während das Fehlen einiger Componenten sich durch ihre geringe Intensität erklärt. Die Genauigkeit, mit welcher sich dieselben Schwingungsdifferenzen wiederholen, entspricht durchaus der Genauigkeit der Messungen. So haben wir z. B. bei 5461 und 3342 für $-\Delta\lambda/\lambda^2$ die Werthe.

5461	3342	Differenz	Quadrate
-2.13	-2.05	-0.08	64
-1.62	-1.58	-0.04	16
-1.07	-1.04	-0.03	9
-0.53	-0.56	+0.03	9
0	0	0	—
+0.55	+0.55	0	—
+1.06	+1.04	+0.02	4
+1.63	+1.58	+0.05	25
+2.17	+2.13	+0.04	16
Summe			143

$$\sqrt{\frac{143}{8}} = 4.2$$

Der mittlere Fehler 0.042 für die Differenz der Werthe von $\Delta\lambda/\lambda^2$ stimmt hinreichend überein mit dem Werthe, den man für diese GröÙe aus den mittleren Fehlern der Wellenlängen der Componenten von 5461 und 3342 berechnen kann. Man berechnet bei 5461 für $\Delta\lambda/\lambda^2$ einen mittlern Fehler von 0.011, bei 3342 von 0.035 und 0.041. Daraus folgen für die Differenzen der Werthe von $\Delta\lambda/\lambda^2$ bei 5461 und 3342 die mittleren Fehler 0.037 und 0.042, je nachdem es sich um die genaueren oder weniger genauen Componenten von 3342 handelt.

Die dritte Serienlinie 2926 lieÙ nur 3 Componenten erkennen. Die beobachteten Werthe von $\Delta\lambda/\lambda^2$ sind aber auch hier in Übereinstimmung mit den zu erwartenden, wenn man annimmt, daÙ nur die stärksten Componenten erschienen sind.

Bei der ersten Nebenserie ist die Wiederholung der Typen schwieriger zu beobachten als bei der zweiten, weil die Linien zu kleineren Wellenlängen gehören und daher in der Scala der Wellenlängen die Componenten näher an einander liegen. Soweit die Genauigkeit der Messung reicht, zeigt sich jedoch auch hier die gleiche Zerlegung der Linien derselben Serie, sowohl der Hauptlinien wie der Satelliten. Kent behauptet, daÙ für Linien derselben Serie die Zerlegung nicht dieselbe sei, sondern daÙ $\Delta\lambda/\lambda^2$ z. B. von Hg 5461 zu Hg 3342 im Verhältniß von 3 zu 4 zunehme.¹ Da er indessen die einzelnen Componenten der untersuchten Linien nicht getrennt hat, so will der Widerspruch mit unseren Messungen wenig bedeuten.

¹ Kent, *Astroph. J.* XIII, S. 316. 1901.

Die nicht zu den Serien gehörenden Linien werden bis auf die starke Linie 2536.72 alle in je drei Componenten zerlegt. Die Differenzen der Schwingungszahlen der Componenten sind nahezu dieselben, zeigen aber doch Abweichungen, die erheblich über die Beobachtungsfehler hinausgehen. Es ist z. B. kein Zweifel möglich, daß die Componenten von 5769 gröfsere Schwingungsdifferenzen ergeben als die Componenten von 5790 und ebenso die von 4339 gröfsere als die von 4348.

Einen Überblick über die sämtlichen vorkommenden Schwingungsdifferenzen gewährt die folgende Tafel. Von den Serienlinien ist hier bei jeder Serie nur die stärkste aufgeführt; die anderen würden, wie oben bemerkt, bei vollständigen Beobachtungen dieselben Schwingungsdifferenzen ergeben. Ein s oder p neben der Zahl bedeutet, daß die elektrische Schwingung senkrecht zu den Kraftlinien oder parallel zu ihnen vor sich geht.

Tabelle der Schwingungsdifferenzen $-\Delta\lambda/\lambda^2$ der ungestörten Linie gegen die Componenten im magnetischen Felde (24600 c. g. s.).

λ																
5461		-2.13s	-1.62s		-1.07s		-0.53p	op	+0.55p		+1.06s		+1.63s	+2.17s		
4359		-2.15s	-1.62s				-0.57p		+0.54p				+1.64s	+2.16s		
<i>II</i> 4047		-2.17s						op						+2.18s		
<i>S</i> 3663.5		-2.06s	-1.61s		-1.14s	-0.92p	-0.62s	-0.51p	op	+0.47p	+0.68s	+0.97p	+1.08s	+1.60s	+2.07s	
<i>S</i> 3132.0			-1.55s		-1.10s		-0.58p	u. s	op	+0.67p	u. s		+1.09s	+1.69s		
<i>S</i> 2967.6					-1.14s				op				+1.12s			
<i>I₁</i> <i>S</i> 3663.0	-2.81s		-1.67s		-1.10p		-0.58s	op	+0.54s		+1.09p		+1.65s	+2.76s		
<i>I₂</i> <i>S</i> 3131.7		-1.85?	-1.58s		-1.06p		-0.57s		+0.57s		+1.07p		+1.59s	+2.12?		
<i>I₃</i> <i>S</i> 2967.4							-0.60p	u. s	op	+0.59p	u. s					
3655.0		-1.98s	-1.56s	-1.35p	-1.19s	-0.81p	-0.76s	-0.37p		+0.38p	+0.77s	+0.82p	+1.15s	+1.33p	+1.58s	+1.99s
<i>I₂</i> 3125.8			-1.60?		-1.20s		-0.80s	-0.40p	o?	+0.37p	+0.77s		+1.19s	+1.57?		
3650					-1.28s		-0.32p			+0.36p			+1.27s			
4078			-1.61s						op				+1.65s			
5769					-1.24s				op				+1.25s			
4339					-1.31s				op				+1.34s			
<i>No series</i> 5790					-1.10s				op				+1.19s			
4348					-1.09s				op				+1.09s			
4916					-1.12s				op				+1.07s			
4108					-0.92s				op				+1.07s			
3907					-0.92s				op				+0.94s			
3902					-1.08s				op				+1.04s			
2848					-1.16				op				+1.16s			
2537					-1.79								+1.79			
					p u. s								p u. s			

In der Tabelle sind zunächst die Serienlinien aufgeführt und zwar zuerst die Repräsentanten der drei Serien, die unter der Bezeichnung zweite Nebenserie zusammengefasst werden. Dann folgen die Repräsentanten der ersten Nebenserie und zwar in solcher Anordnung, dass die Satelliten und Hauptlinien, deren Schwingungszahlen dieselben Differenzen ergeben wie die drei Serien der zweiten Nebenserie, immer zusammengestellt sind. Die Anordnung entspricht genau den Rydberg'schen Gesetzen für die zusammengesetzten Triplets.¹ Zuletzt sind die nicht zu den Serien gehörenden Linien aufgeführt.

Die Tabelle zeigt deutlich einen Zusammenhang zwischen den Schwingungsdifferenzen der verschiedenen Linien. Bestimmte Differenzen wiederholen sich so oft und mit so grosser Genauigkeit, dass man es kaum dem Zufall wird zuschreiben wollen. In den drei zusammengehörigen Serien hat die Linie der grössten Wellenlänge die meisten Componenten, die der kleinsten Wellenlänge die wenigsten. Während aber bei der zweiten Nebenserie die bei kleinerer Wellenlänge wegfallenden Componenten aus der Mitte genommen sind, fallen bei der ersten Nebenserie die seitlichen weg. Von den 11 nicht zu den Serien gehörenden Linien zerlegen sich 7 in Componenten mit denselben Schwingungsdifferenzen. Dieselben Differenzen treten auch bei den meisten Serienlinien auf, nur dass hier noch weitere Componenten hinzukommen. Die in der zweiten Nebenserie auftretenden Schwingungsdifferenzen im Mittel: -2.15 ; -1.62 ; -1.07 ; -0.55 ; 0 ; $+0.54$; $+1.06$; $+1.64$; $+2.17$ sind sehr nahe aequidistant. Die beobachteten Werthe sind sehr wenig verschieden von den Vielfachen von ± 0.54 : ± 0.54 ; ± 1.08 ; ± 1.62 ; ± 2.16 . Eben diese Schwingungsdifferenzen sind auch unter den übrigen Linien am häufigsten vertreten. Insbesondere ist ± 1.08 die Weite der letzten sieben nicht zu den Serien gehörenden Triplets. Es zeigt sich damit ein Zusammenhang dieser Triplets mit den Serien, der vielleicht in letzter Linie auf die constante Ionenladung zurückzuführen ist.

Die Feldstärke, auf welche unsere Messungen sich beziehen, haben wir aus den Messungen von Michelson², Reese³ und Blythwood und Marchand⁴ bestimmt unter der Annahme, dass die Abstände der Componenten der Feldstärke proportional sind.

¹ Vergl. Runge und Paschen, Ann. d. Phys., Bd. 5, S. 725.

² A. Michelson, Astroph. J. VII, S. 136. 1898.

³ Reese, Astroph. J. XII, S. 120—135. 1900.

⁴ Blythwood und Marchand, Phil. Mag. 40, S. 397.

Es ergaben sich die Werthe:

nach Michelson	21367 c.g.s. aus 4 Hg-Linien,
nach Reese	26330 c.g.s. aus 3 Hg-Linien,
nach Reese	25020 c.g.s. aus 6 Cd-, Zn-, Mg-Linien ¹ ,
nach Blythwood und Marchand	25030 c.g.s. aus 4 Hg-Linien.

Da Michelson und Reese die Hg-Linien nicht vollständig zerlegt haben, so geben wir den ersten beiden Zahlen das Gewicht 1, den letzten beiden das Gewicht 2 und finden als Mittel:

Feldstärke: 24633 c.g.s. (mittlerer Fehler: 1000 c.g.s.).

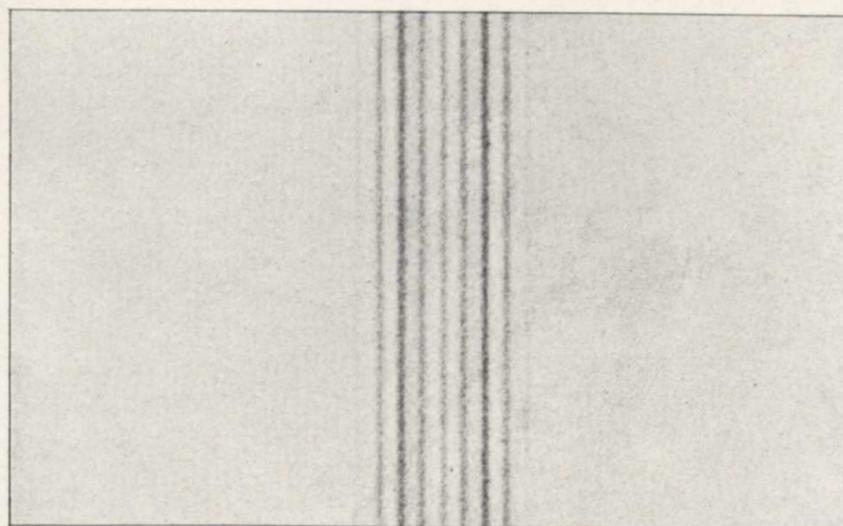
Eine genauere Bestimmung der Feldstärke wäre erwünscht, weil der mittlere Fehler der Feldstärke relativ wesentlich gröfser ist, als der der Schwingungsdifferenzen der Componenten.

Erklärung der Tafeln.

Die Tafeln stellen etwa 12 bis 13-fache Vergrößerungen unserer photographischen Aufnahmen dar, die Hr. Hans Hauswaldt die Güte hatte mit grofser Sorgfalt für uns herzustellen. Auch die Drucke sind von Hrn. Hauswaldt ausgeführt.

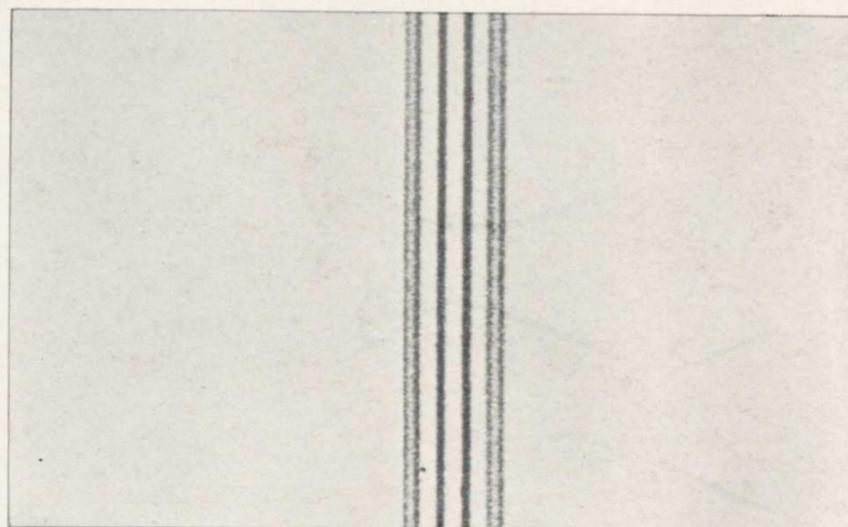
- Taf. I. Die drei Typen der zweiten Nebenserie des Quecksilbers.
- Taf. II. Die Quecksilberlinie 3650 der ersten Nebenserie mit ihren Satelliten. Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien.
- Taf. III. Dieselben Linien. Schwingungen parallel den Kraftlinien.
- Taf. IV. Dieselben Linien. Beide Arten von Schwingungen.
- Taf. V. Die Quecksilberlinie 3125.8 der ersten Nebenserie mit ihren Satelliten. Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien und beide Arten von Schwingungen vereinigt.
- Taf. VI. Die Quecksilberlinie 2967.4 der ersten Nebenserie. Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien und beide Arten von Schwingungen vereinigt. Der Satellit von 2967 ist auf der Reproduction nicht zu sehen. Die beiden gelben Quecksilberlinien 5790.5 und 5769.4.

¹ Die Cd-, Zn-, Mg-Linien wurden gleichzeitig mit Hg-Linien im magnetischen Felde aufgenommen, indem wir die Cd-, Zn-, Mg-Elektroden amalgamirten.



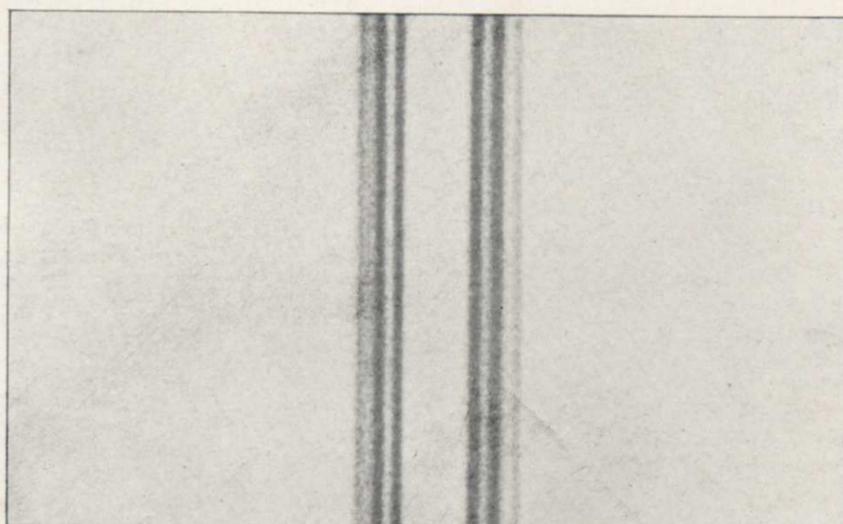
5461.0

1 A = 12.6 mm.



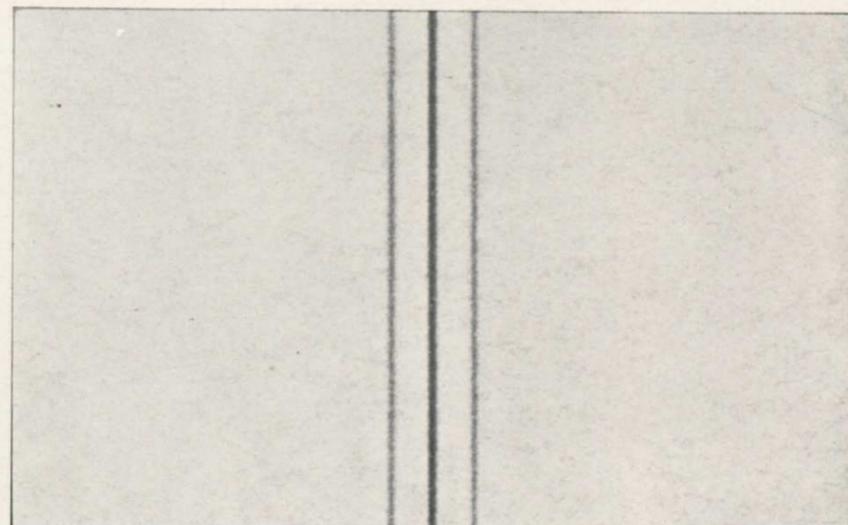
4358.6

1 A = 12.6 mm.



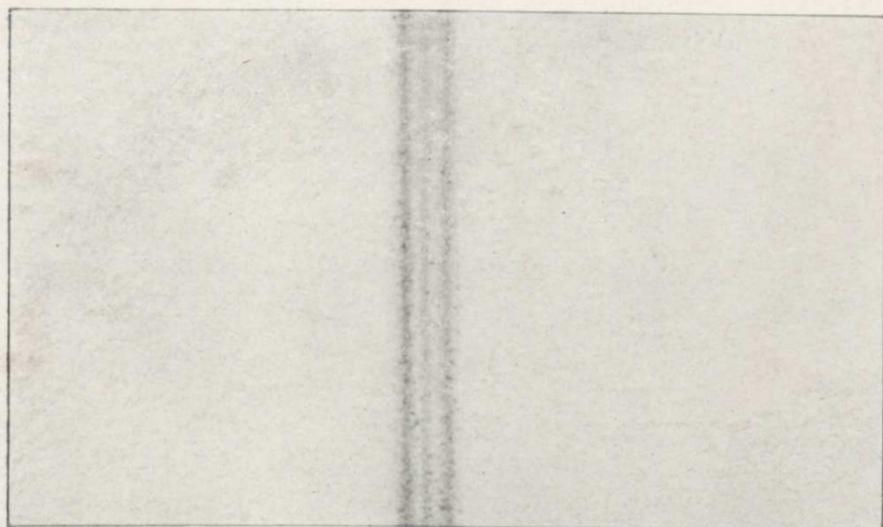
5461.0

Elektrische Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien.
1 A = 12.6 mm.



4046.8

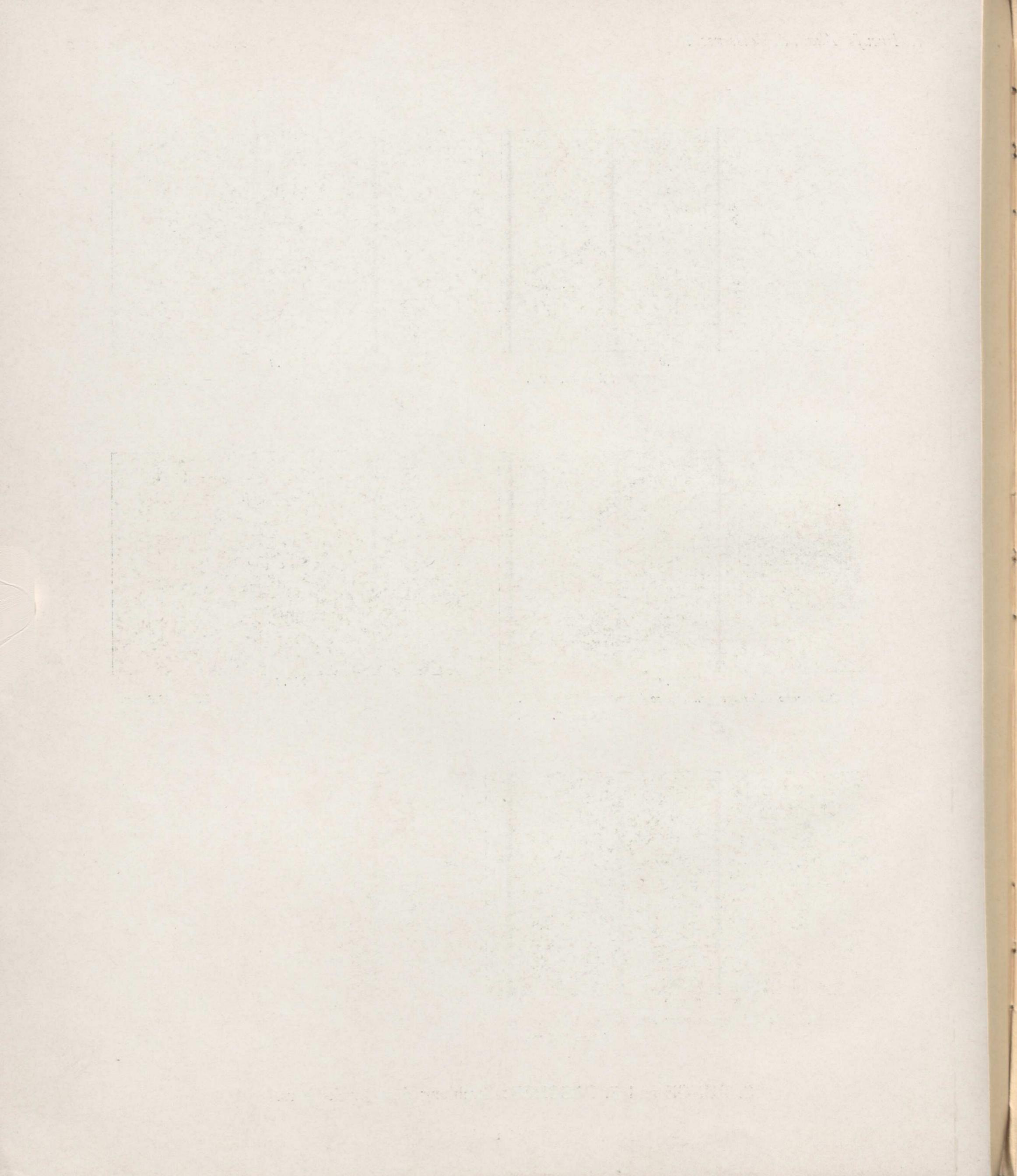
1 A = 12.6 mm.

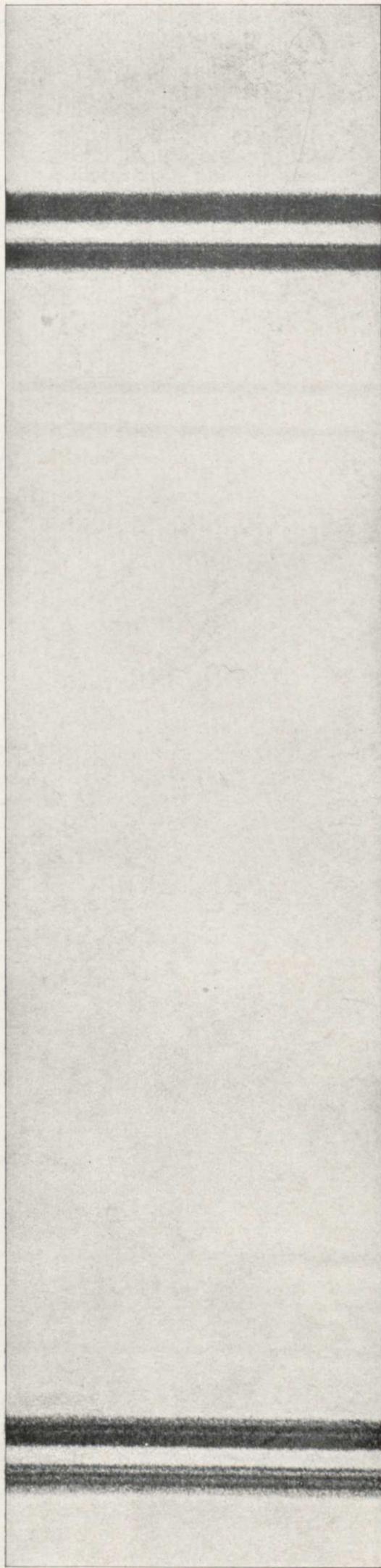


5461.0

Elektrische Schwingungen parallel den Kraftlinien.
1 A = 12.6 mm.

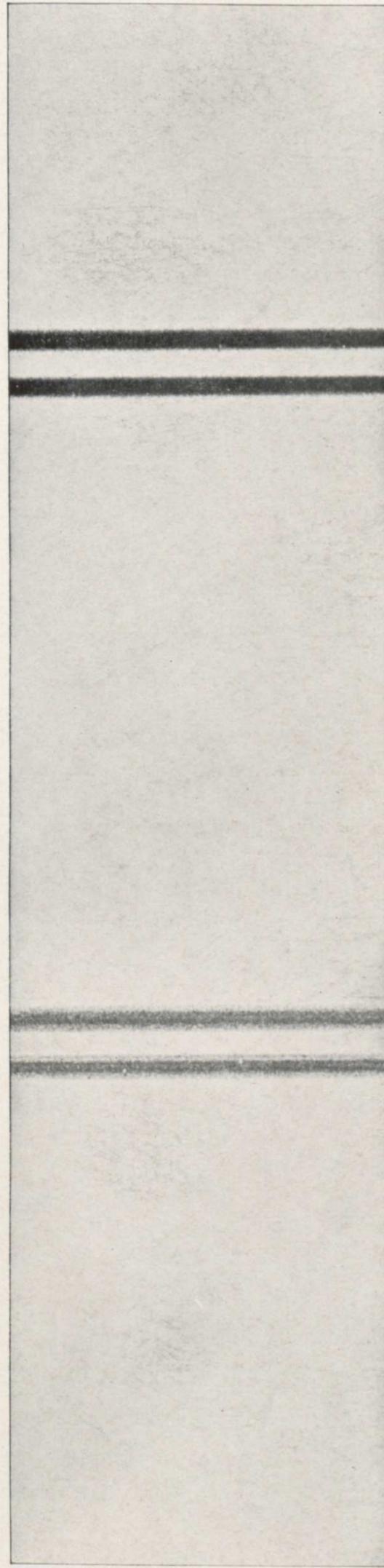
C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.





3663.5
3663.0

Elektrische Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien. $1 A = 18.9 \text{ mm.}$

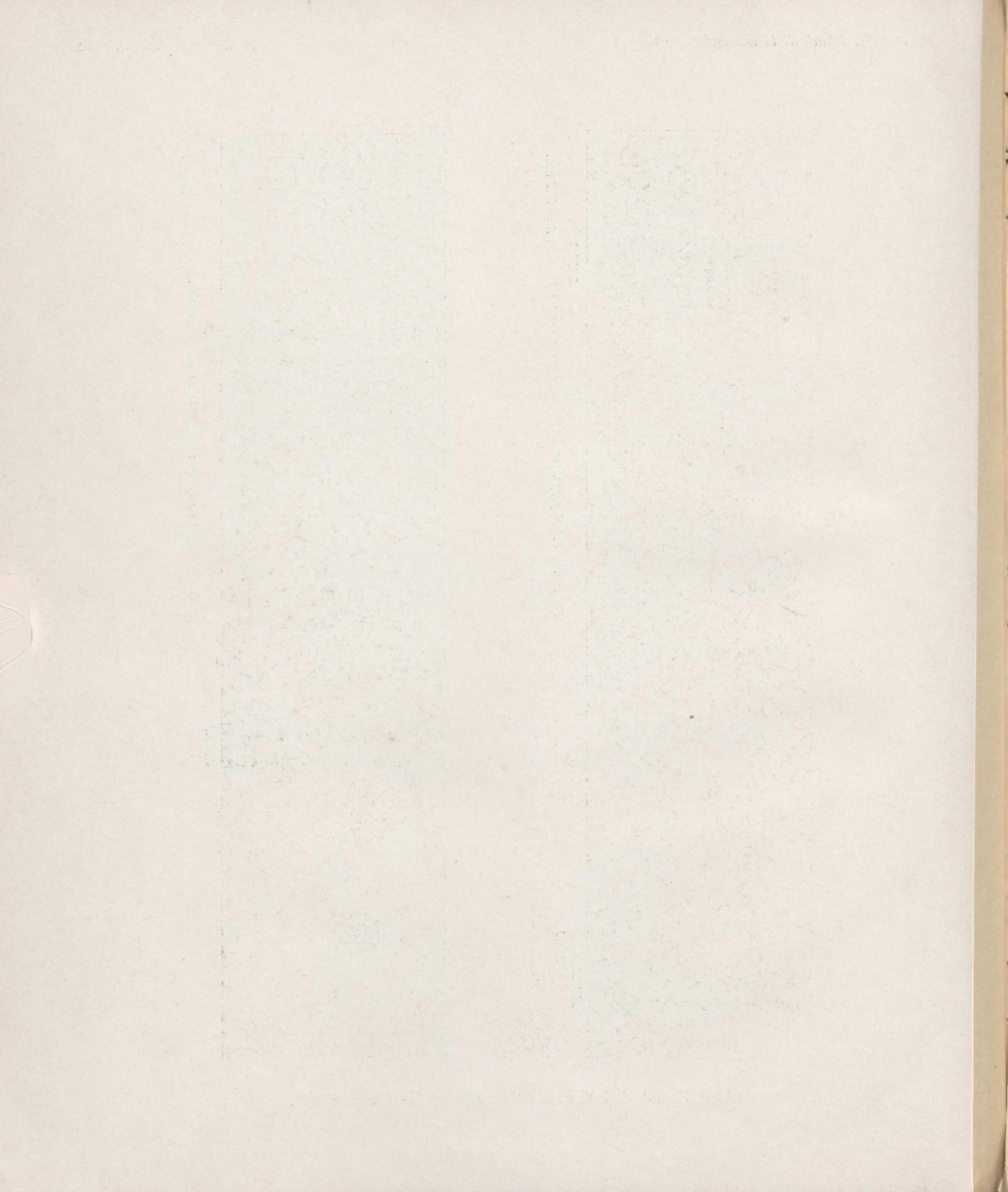


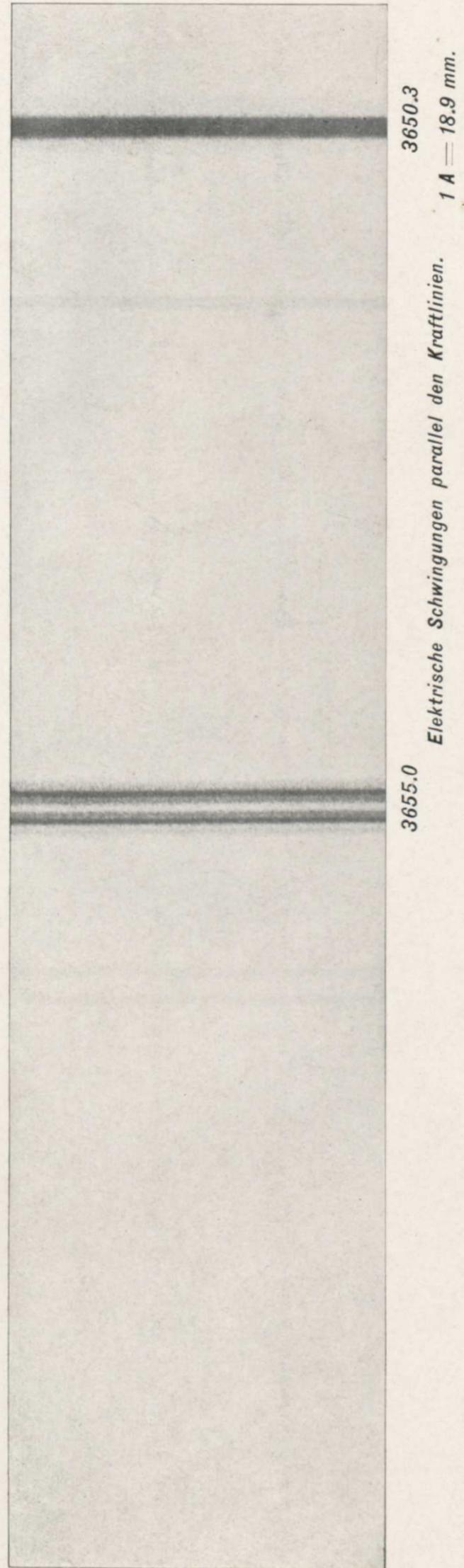
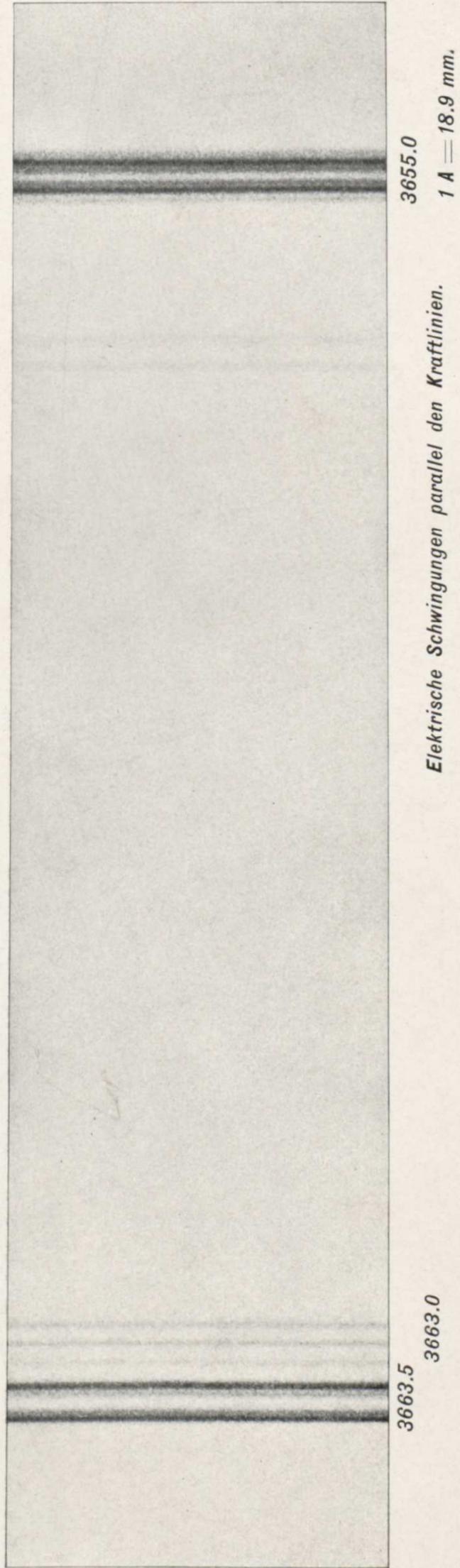
3655.0

3650.3

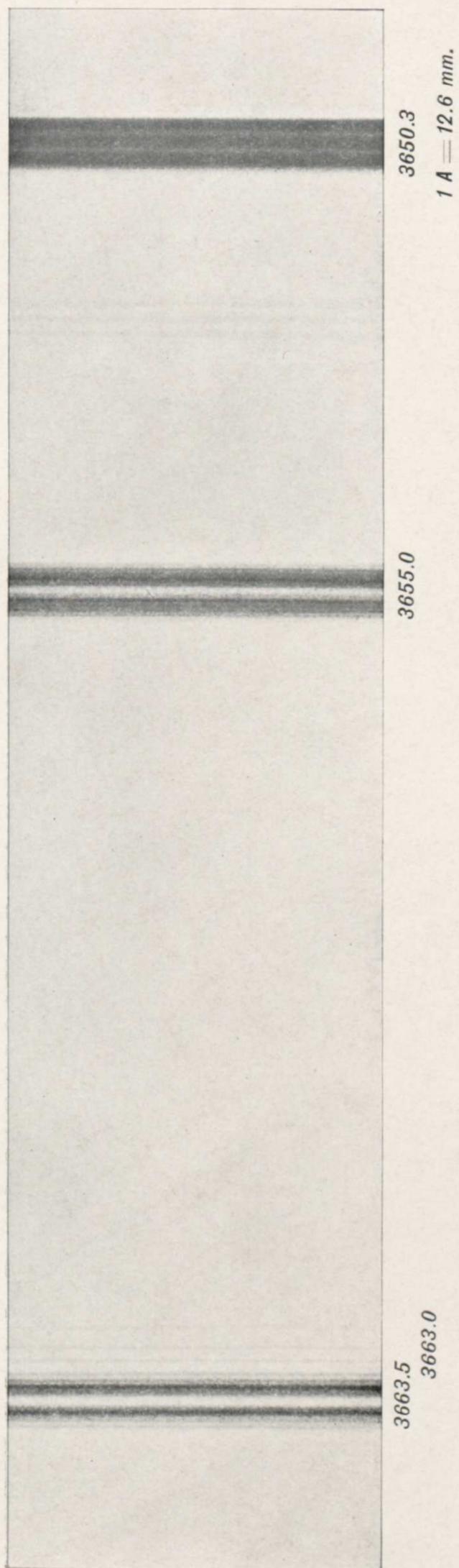
Elektrische Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien. $1 A = 18.9 \text{ mm.}$

C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.

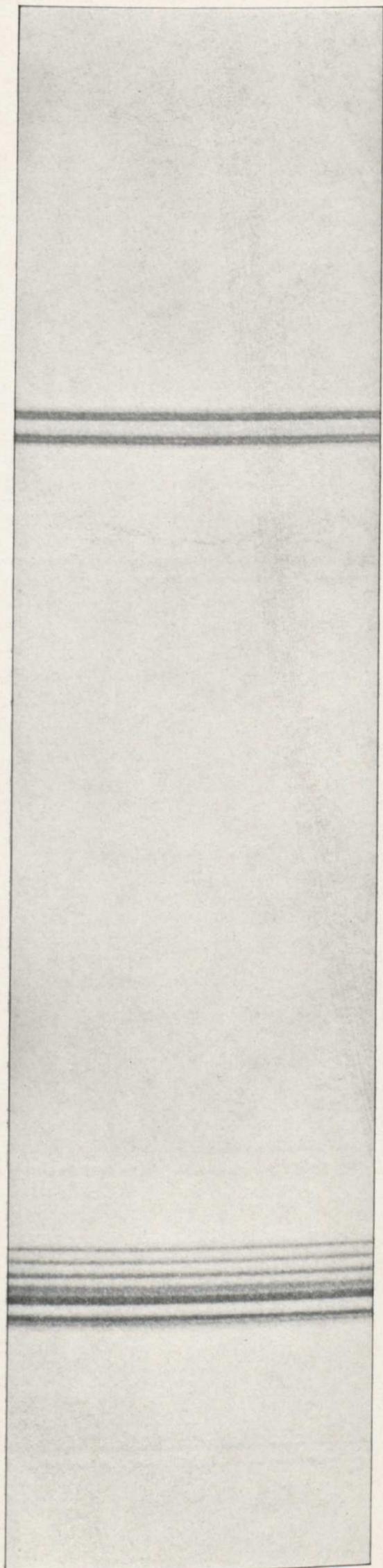




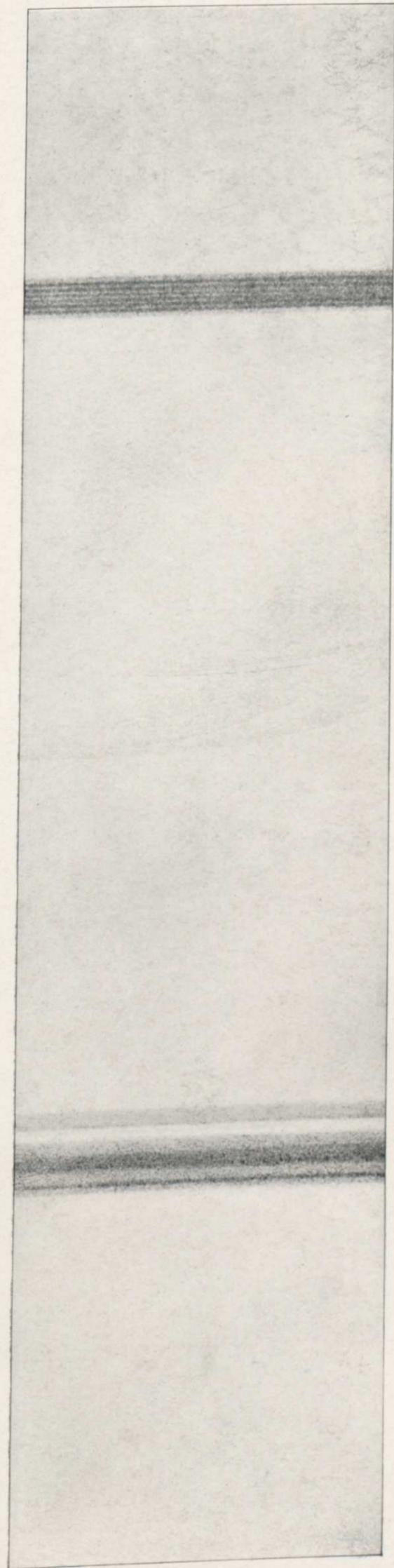
C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.



C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.

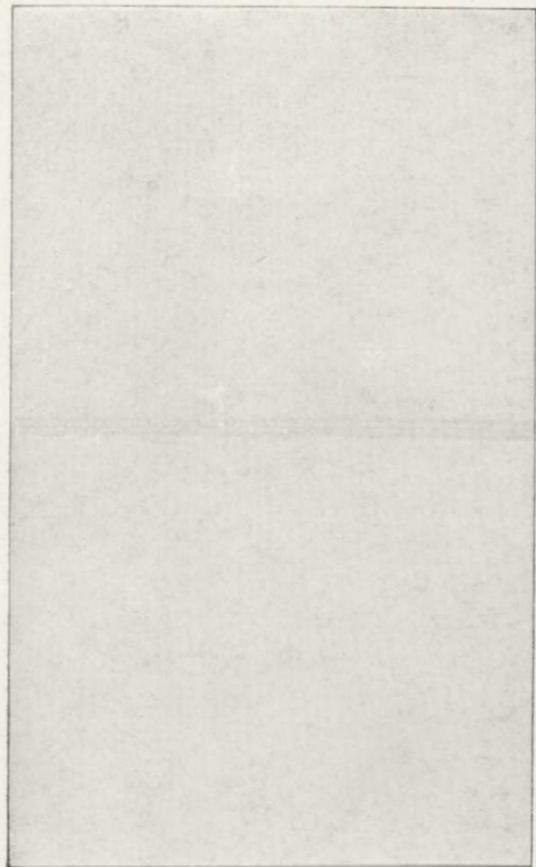


Elektrische Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien. $1 A = 18.8 \text{ mm.}$



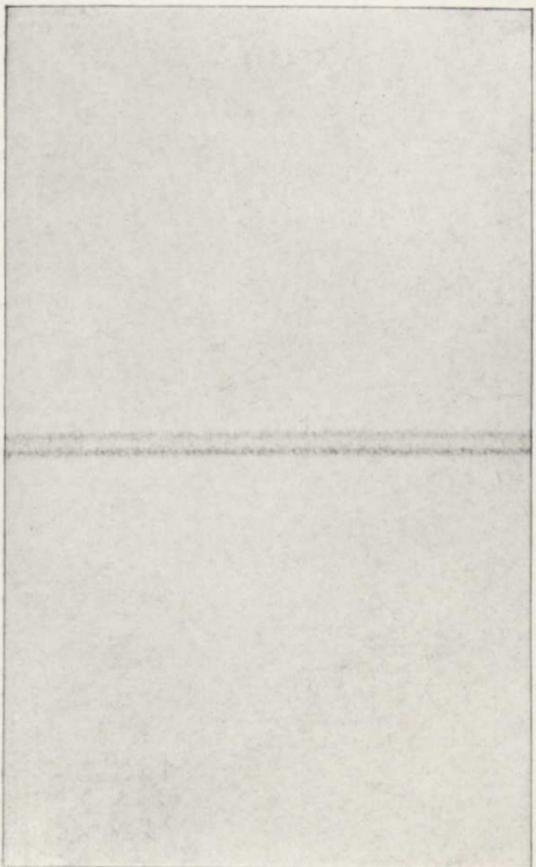
$1 A = 18.8 \text{ mm.}$

C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.



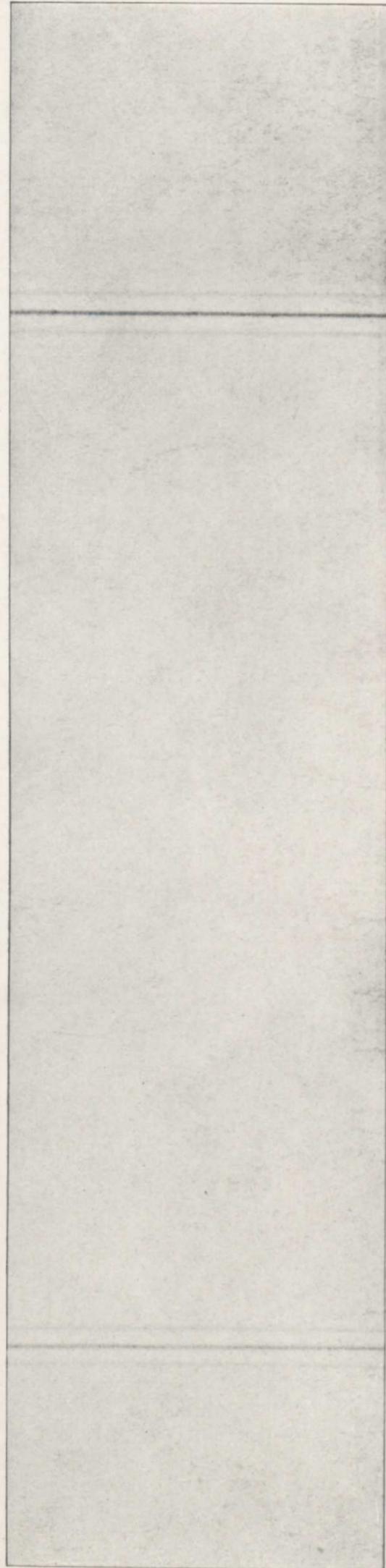
2967.4

1 A = 18.9 mm.



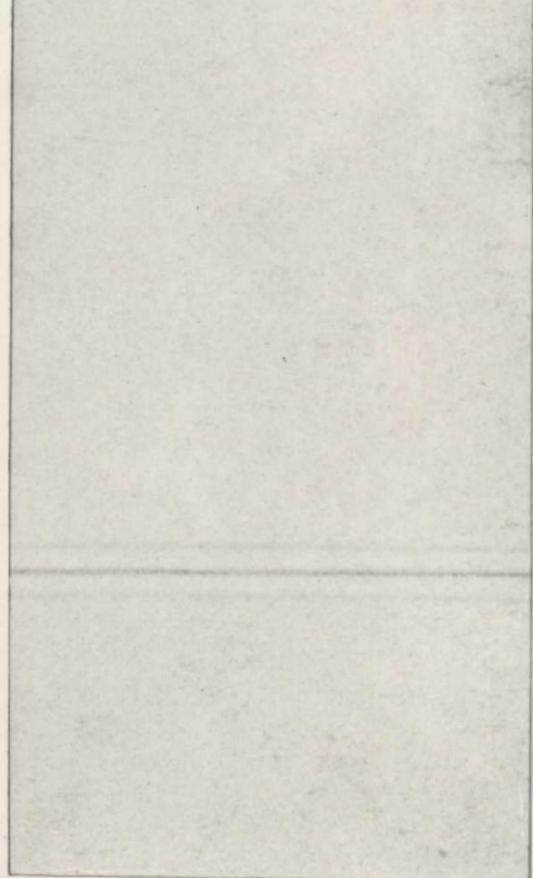
2967.4

Elektrische Schwingungen senkrecht zu den Kraftlinien.
1 A = 18.9 mm.



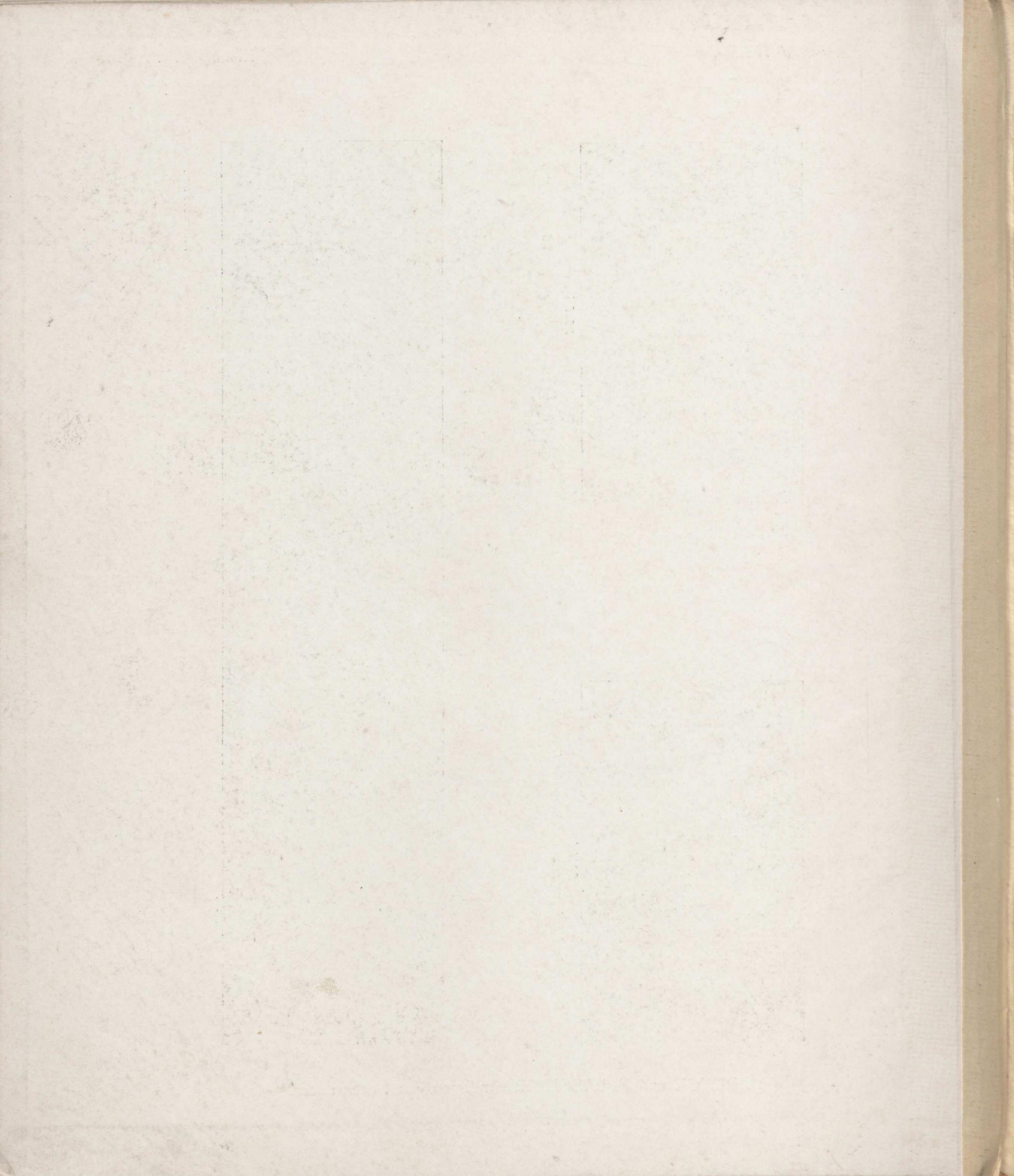
5769.4

1 A = 6.4 mm.



5790.5

C. RUNGE und F. PASCHEN: Strahlung des Quecksilbers.



36103

Berlin, gedruckt in der Reichsdruckerei.
