

2. Brechung, Reflexion und Interferenz elektrischer Strahlen; von G. Quincke.

(Hierzu Tafel V.)

§ 41. *Brechung rückläufiger elektrischer Strahlen II. Art.* In § 19—25 (Ann. **32.** p. 889—940, Taf. IV, Fig. 15, *c, d*, 1910) habe ich rückläufige elektrische Strahlen beschrieben, welche im Inneren einer vertikalen Zwischenplatte aus den an ihrer Hinterfläche reflektierten Strahlen entstehen, wenn ein halbkugelförmiger Radiator auf dem Harzkuchen neben der Zwischenplatte mit einem positiv oder negativ elektrischen Funken aus dem Knopf einer Leidener Flasche geladen wird. Diese rückläufigen elektrischen Strahlen II. Art werden von keilförmigen Prismen aus Bernstein und Quarz nach dem Keilrücken abgelenkt, ähnlich wie die sichtbaren direkten positiv elektrischen Strahlen des Radiators.

Auf einen Harzkuchen von $500 \times 400 \times 3$ mm in einem geerdeten Zinkteller wurde eine hohle Halbkugel *B* aus Platin von 30 oder 20 mm Durchmesser gestellt (Textfigur 12) neben eine vertikale Glimmerplatte *GH* von $75 \times 75 \times 0,17$ mm, mit einem positiv oder negativ elektrischen Funken einer Leidener Flasche von 21 000 bis 25 000 Volt Spannung geladen und isoliert abgehoben. Die rückläufigen elektrischen Strahlen II. Art *CB*₁, welche in der Glimmerplatte von den abklingenden elektrischen Schwingungen der Halbkugel erregt werden (§ 25), konvergieren hinter der Glimmerplatte nach dem symmetrischen virtuellen Spiegelbild *B*₁ der Halbkugel in der Glimmerplatte. Nach dem Bestäuben des Harzkuchens sieht man außer der positiven oder negativen Staubfigur vor der Glimmerplatte hinter der

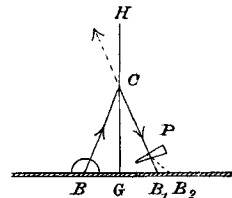


Fig. 12.

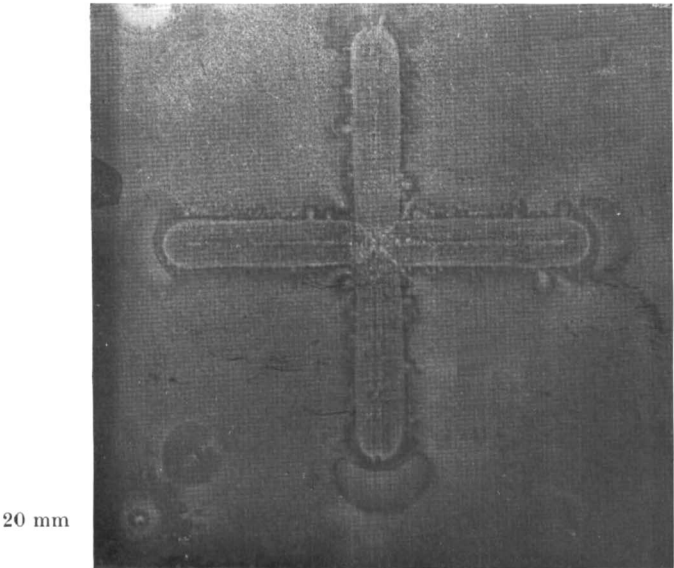


Fig. 17. $V = 0,22$

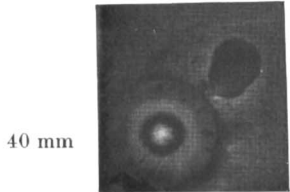


Fig. 18.

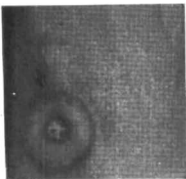


Fig. 19.

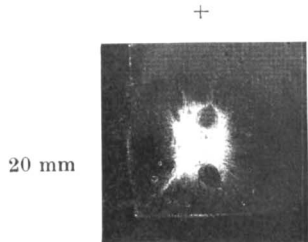


Fig. 20.

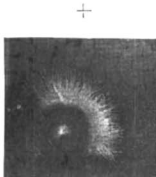


Fig. 21.

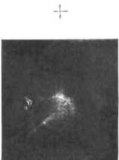


Fig. 22.

Glimmerplatte als Staubfigur der rückläufigen Strahlen einen kleinen gelben Kreis oder eine gelbe Kreisfläche von 4—6 mm Durchmesser, deren Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt B_1 des virtuellen Spiegelbildes der Halbkugel zusammenfällt. Der Abstand BB_1 schwankte bei den verschiedenen Versuchen zwischen 36 und 80 mm.

Wird in den Strahlenkegel der rückläufigen Strahlen, nahezu normal zu diesen und 30—50 mm über dem Harzkuchen, ein Keil aus Bernstein oder Quarz von 30 mm Länge, 15 mm Höhe und 3 mm Rückendicke eingeschoben, welcher den halben Strahlenkegel abblendet, so sieht man nach der Bestäubung des Harzkuchens zwei gleiche gelbe Kreise oder Kreisflächen, herrührend von den direkten und den durch das keilförmige Prisma gebrochenen rückläufigen Strahlen. Der zweite Kreis B_2 ist nach dem Rücken des Keils verschoben. Nennt man β_1 den Abstand der Kreismittelpunkte B_1 und B_2 , und β_0 die Strecke, um welche dem Auge die Striche einer Millimeterskala auf dem Harzkuchen verschoben erscheinen, wenn es in der Richtung der rückläufigen Strahlen die Skala direkt oder durch das Prisma betrachtet, so ist

$$(1) \quad u = \frac{\beta_1}{\beta_0} = \frac{A_1}{A_0}, \quad A_0 = (n - 1) P,$$

wo A_0 und A_1 die Ablenkung der Lichtstrahlen und der rückläufigen elektrischen Strahlen durch dasselbe Prisma vom brechenden Winkel P und dem Brechungsexponenten n bedeutet. Mit Hilfe der beiden Gleichungen (1) läßt sich A_0 und A_1 berechnen, wenn P , n und u gemessen sind. Je nach der Höhe des Prismas über der Harzfläche betrug β_0 bei diesen Versuchen 1—2 mm.

Eine Reihe Messungen mit einer größeren Glimmerplatte von $102 \times 125 \times 0,16$ mm gab mit dem Quarzprisma $Q\neq$, mit Flächen parallel der optischen Achse geschnitten, dieselben Werte von u , wie die gewöhnlich benutzte kleinere Glimmerplatte.

In Tab. XXXI sind die Resultate meiner Messungen zusammengestellt. In der 3. und 4. Spalte die wenig voneinander verschiedenen Mittelwerte von u für positive und negative Ladungsfunken; in der 5. Spalte das Mittel der 3. und 4. Spalte, mit dem dann die Ablenkung A_1 der rückläufigen elektrischen Strahlen berechnet wurde. A_1 ist kleiner als die der Tab. XXV, § 36 entnommene kleinste Ablenkung A der durch dasselbe

Prisma gebrochenen positiv elektrischen Strahlen mit kleinerer Reichweite, als die der rückläufigen Strahlen II. Art mit größerer Reichweite.

Tabelle XXXI.

Brechung rückläufiger elektrischer Strahlen.

Radiator: Platinhalbkugel von 30 oder 20 mm mit Ladungsfunken von $\pm 21\,000$ bis 25 000 Volt neben Glimmerplatte von $75 \times 75 \times 0,17$ mm.

Einfache Prismen von $30 \times 15 \times 3$ mm.

Prisma	P	rückl. Strahlen u			Ablenkung rückl. pos.el. Licht- Strahlen		
		+	-	Mittel	A ₁	A	A ₀
Bernstein . . Be	5° 20'	2,59	2,31	2,45	6,93°	10,4°	2,83°
Quarz \perp . . . Q \perp	5 24	2,22	2,25	2,23	6,58	10,9	2,93
Quarz \neq . . . Q \neq	5 24	2,13	1,94	2,03	5,93	11	2,93

Auffallend ist, daß sowohl bei positiven wie negativen Ladungsfunken die rückläufigen elektrischen Strahlen die Harzfläche nur gelb färbt und beide der Harzoberfläche eine positiv elektrische Ladung mitgeteilt haben.

Bei 2 von 25 Versuchen lagen auf der Harzoberfläche statt der beiden gelben Kreise zwei gelbe Sechsecke gleicher Form und Größe.

§ 42. Positive und negative Staubfiguren der von Hohlspiegeln reflektierten elektrischen Strahlen.

Ein Harzkuchen in einem geerdeten Zinkteller wurde im Krümmungsmittelpunkt C eines Hohlspiegels normal zur Achse des Hohlspiegels aufgestellt und eine hohle Halbkugel aus Metall neben C auf den Harzkuchen aufgesetzt (Textfigur 13). Die Halbkugel wurde mit einem positiven oder negativen Ladungsfunkengeladen, isoliert abgehoben und der Harzkuchen bestäubt. Die Staubfigur zeigte einzelne oder konzentrische gelbe, rote oder staubfreie Kreise oder Kreisflächen, deren Mittelpunkt B₁ das reale Spiegelbild des Mittelpunktes B der Halbkugel war. Die Entfernung BB₁ betrug gewöhnlich 50 mm.

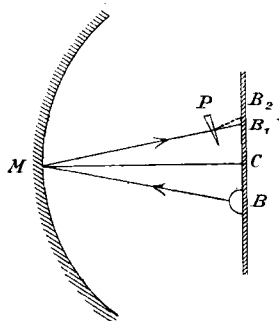


Fig. 13.

Als Harzkuchen diente Kolophoniumwachs von 3 und 0,6 mm Dicke oder eine Schicht Asphaltlack, der auf ebenen Zinkplatten eingetrocknet war, von 0,06 mm Dicke. Die Radiatoren waren Halbkugeln aus Platin oder vernickeltem Messing von 40, 30, 20 mm.

Vor Beginn der Versuche wurde eine elektrische Glühlampe mit geknicktem Kohlenfaden vor den Mittelpunkt *B* der Halbkugel gebracht und die Lage des realen Bildes *B*₁ auf der Harzoberfläche mit einem Tintenpunkt bezeichnet, um das Aufsuchen der Staubfigur der reflektierten elektrischen Strahlen zu erleichtern.

Tabelle XXXII.

Staubfiguren reflektierter elektrischer Strahlen.

Radiator I: Halbkugeln von 30 oder 20 mm mit 1 Ladungsfunken von ± 23000 Volt.

Auf	Halbkugel	Positive Staubfigur	Negative Staubfigur
Hohlspiegel I (227 × 380 mm)			
Harz 0,6 mm	30 mm	rote Kreisfläche (30)	rote Kreisfläche (30) mit staubfreier Kreisfläche (12)
„ 3 „	30 „	2 rote Kreise (20; 10)	
„ 3 „	20 „	2 gelbe „ (10; 7)	
„ 0,6 „	30 „	1 gelber Kreis (11)	
Hohlspiegel II (400 × 100 mm)			
Asphalt	20 mm	3 gelbe Kreise (15; 10; 5)	gelbe Kreisfläche (20)
0,06 mm	20 „	2 „ „ (10; 12)	„ „ (18)
0,06 „	20 „	rote Kreisfläche (16)	2 gelbe Kreise (8; 1)
0,06 „	20 „	1 gelber Kreis (3)	

Hohlspiegel I war ein Hohlspiegel für Wärmestrahlung aus dickem versilberten Messingblech von 380 mm Durchmesser, mit etwas unvollkommener Kugelfläche von 227 mm Radius.

Hohlspiegel II und III waren versilberte Glasspiegel von 100 mm Durchmesser und 400 resp. 1001 mm Radius und großer Vollkommenheit. Hohlspiegel II war in einem Metallgestell, Hohlspiegel III in einem Holzgestell befestigt. Beide konnten mit Stellschrauben fein verstellt werden. Den Hohlspiegel II hat mir Herr Geheimrat Dr. Hagen, Direktor in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg für diese Versuche geliehen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank ausspreche.

Tab. XXXII gibt einige positive und negative Staubfiguren für die von Hohlspiegel I und II auf Harzkuchen von 3 und 0,6 mm Dicke oder auf Asphalt-schichten von 0,06 mm Dicke reflektierten elektrischen Strahlen von Halbkugeln von 30 und 20 mm Durchmesser. Die eingeklammerten Zahlen sind der Durchmesser der Kreise und Kreisflächen in Millimetern, auch in den folgenden Tabb. XXXIII—XXXVI.

Um die Intensität der elektrischen Strahlen zu vermehren, vertauschte ich den Halbkugel-Radiator mit einer Messingröhre AB (Textfigur 14) von 1000×8 mm mit 2 polierten Endkugeln von 24 mm, welche nahezu parallel der Achse des Hohlspiegels in $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ ihrer Länge auf 2 langen horizontalen Glasstäben ruhte, 450 mm über der hölzernen Tischplatte.

Stand die Messingröhre ohne Hohlspiegel normal zum Harzkuchen von der Dicke D und die Endkugel B im Abstand a von der Harzoberfläche, so erhielt ich die in Tab. XXXIII aufgeführten Staubfiguren.

Tabelle XXXIII.

Staubfiguren direkter elektrischer Strahlen.

 Radiator II: Messingröhre (1000×8 mm) mit 2 Endkugeln (24 mm).

 a Reichweite. 1 Ladungsfunken von $\pm 26\,000$ — $28\,000$ Volt.

D mm	a mm	Positive Staubfigur	D mm	a mm	Negative Staubfigur
0,6	10	gelber Kreis (20) mit gelbem Staubstern	3	0	roter Kreis (24)
0,6	15	2 gelbe Kreise (27; 12)	3	25	staubfreie Kreisfläche (20)
0,6	20	2 „ „ (27; 8)	3	35	2 gelbe Kreise (15; 7)
0,6	50	2 „ „ (18; 10)	3	50	3 „ „ (28; 8; 3)

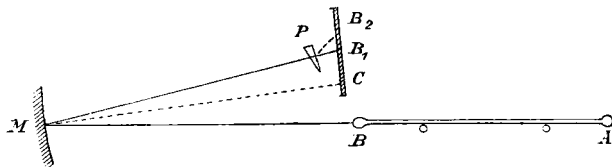


Fig. 14.

Tab. XXXIV gibt einige positive und negative Staubfiguren für die von den Hohlspiegeln I und III reflektierten elektrischen Strahlen des Radiators II (der Messingröhre) mit positiven

oder negativen Ladungsfunken. Der Mittelpunkt M des Hohlspiegels (Textfigur 14) lag in der Verlängerung der Messingröhre, die Endkugel B neben dem Krümmungsmittelpunkt C des Hohlspiegels in der Ebene des Harzkuchens. Vom Knopf der kleinen Leidener Flasche aus Flintglas mit ± 5 Volt Spannung sprang ein Funke zur Endkugel A über. Dann wurde der Harzkuchen aus Kolophoniumwachs von 0,6 mm oder aus Pech von 1,9 mm Dicke bestäubt.

Tabelle XXXIV.

Staubfiguren reflektierter elektrischer Strahlen.

Radiator II: Messingröhre (1000 \times 8 mm) mit 2 Endkugeln (24 mm).

Positive Staubfigur	Negative Staubfigur
Hohlspiegel I (227 \times 380 mm).	
1 Ladungsfunken von ± 24000 Volt. (Harz von 0,6 mm Dicke.)	
2 rote Kreise (40; 20)	2 rote Kreise (42; 6)
rote Kreisfläche (26) mit	roter Kreis (27)
2 roten Kreisen (4—3)	2 rote Kreise (26; 7)
gelbe Kreisfläche (23), gelber Kreis (3)	2 „ „ (22; 1)
	2 „ „ (11; 3)
Hohlspiegel III (1001 \times 100 mm).	
1 Ladungsfunken von ± 26000 —33000 Volt. (Harz von 0,6 mm Dicke.)	
2 rote Kreise (45; 15)	2 gelbe Kreise (69; 13)
2 „ „ (36; 12)	rote Kreisfläche (26) mit staubfreier Kreisfläche (13)
	2 gelbe Kreise (24; 3)
2 gelbe Kreise (11; 6)	2 „ „ (13; 3)
3 „ „ (22; 11; 5)	3 rote Kreise (22; 11; 5)
(Pech von 1,9 mm Dicke.)	
Kreisfläche (25), gelber Kreis (7)	
2 gelbe Kreise (15; 5)	
2 „ „ (11; 6)	

§ 43. Brechung reflektierter Strahlen.

Schaltet man in den Gang der von einem Hohlspiegel reflektierten elektrischen Strahlen eines Radiators 25—50 mm vor dem Harzkuchen ein keilförmiges Prisma P von 30 mm Länge, 15 mm Höhe und 3 mm größter Dicke ein (Textfigur 14), so werden die Strahlen nach dem dicken oder dünnen Ende des Prismas abgelenkt um $+$ oder $-A_1^0$ und das Spiegelbild des Radiators wird um $\pm \beta_1$ mm verschoben nach B_2 . Die

elektrischen Staubfiguren der gebrochenen Strahlen sind immer gleich oder ähnlich denen der ungebrochenen Strahlen, einfache oder konzentrische gelbe Kreise oder Kreisflächen, seltener Ellipsen oder Sechsecke, deren Mittelpunkt bei B_2 liegt.

Fängt man mit dem Prisma nur den halben Strahlenkegel der gegen B_1 konvergierenden Strahlen ab, so erscheinen nach dem Bestäuben der Harzoberfläche 2 gleiche oder ähnliche Staubfiguren nebeneinander mit den Mittelpunkten in B_1 und B_2 . Die zweite Staubfigur der gebrochenen Strahlen mit dem Mittelpunkte B_2 ist gegen die erste Staubfigur der ungebrochenen Strahlen mit dem Mittelpunkte B_1 um die Strecke B_1B_2 oder $\pm \beta_1$ verschoben.

Das Auffinden von B_1 in der elektrischen Staubfigur wird erleichtert, wenn man vor dem Versuch eine elektrische Glühlampe mit geknicktem Kohlenfaden in den Mittelpunkt B des Radiators hält und sein reales Spiegelbild durch einen Tintenfleck auf dem Harzkuchen bezeichnet.

Ist ein durchsichtiges Prisma in den halben reflektierten Strahlenkegel eingeschoben, so erscheint das Spiegelbild B_1 durch die gebrochenen Lichtstrahlen in B_0 um die Strecke $B_1B_0 = \beta_0$ nach dem dicken Ende des durchsichtigen Prismas verschoben. Nennt man n den Brechungsexponenten des Prismas vom brechenden Winkel P und die Ablenkung der Lichtstrahlen A_0 , so ist

$$(2) \quad A_1 = \frac{\beta_1}{\beta_0} A_0 = \frac{\beta_1}{\beta_0} (n - 1) P.$$

Diese Gleichungen erlauben A_1 auch für ein undurchsichtiges Prisma zu berechnen, wenn für ein durchsichtiges Prisma in gleicher Lage, wie das undurchsichtige, β_0 und A_0 bekannt sind.

Die Entfernung des Mittelpunkts B des Radiators von seinem Spiegelbild B_1 betrug gewöhnlich 50 mm. Die Verschiebung β_0 des Spiegelbildes B_1 durch das durchsichtige Prisma wechselte mit dem Abstand des Prismas vom Harzkuchen bei den Versuchen der Tab. XXXV zwischen 4 und 7 mm, bei denen der Tab. XXXVI zwischen 1,2 und 5 mm.

Die Zahlen der Tab. XXXV geben die Mittelwerte der Ablenkung A_1 elektrischer Strahlen von 2000 mm Reichweite für mehrere Versuche mit dem Radiator II und positive oder negative Ladungsfunken. Daneben steht die Ablenkung A

positiver elektrischer Strahlen von einer Reichweite < 50 mm durch dasselbe Prisma aus Tab. XXIV und XXV, § 36 und die Ablenkung A_0 der Lichtstrahlen.

Tabelle XXXV.

Brechung reflektierter elektrischer Strahlen durch Prismen ($30 \times 15 \times 3$ mm).

Hohlspiegel III (1001×100 mm).

Radiator II: Messingröhre (1000×8 mm) mit 2 Endkugeln (24 mm).

1 Ladungsfunken ± 26000 — 30000 Volt.

D Dicke des Harzkuchens. P Prismawinkel.

A_1 Ablenkung elektrischer Strahlen von 2000 mm Reichweite.

A „ pos. elektrischer Strahlen von 50 mm Reichweite.

A_0 „ von Lichtstrahlen.

D mm	Prisma	P	Ablenkung A_1			A	A_0
			Pos.	Neg.	Mittel		
0,6	Bernstein . . .	$5^\circ 20'$	5,74 °	8,06 °	6,90 °	10,3 °	2,83 °
0,6	„ . . .	5 20	5,72	6,45	6,08	10,3	2,83
3	Quarz \perp . . .	5 24	7,64	7,97	7,80	12,1	2,93
3	„ \mp . . .	5 24	7,05	7,67	7,36	11,5	2,93
3	Aluminium . .	3 50	-4,08	-4,08	-4,08	-11,4	
3	„ . .	3 50		+4,66	+4,66	fehlt	

Von den Prismen aus Bernstein und Quarz der Tab. XXXV wurden die vom Hohlspiegel III reflektierten Strahlen des Radiators II für positive und negative Ladungsfunken um nahezu gleiche Winkel nach dem dicken Ende des Prismas abgelenkt bei einer Reichweite von 2000 mm, während umgekehrt die Ablenkung der elektrischen Strahlen der negativen Staubfigur mit einer Reichweite kleiner als 50 mm negativ gefunden wurde (§ 37).

Bei dem Doppelprisma aus Aluminium (mit 10 Proz. Silicium) wurde nur die eine Hälfte in den Strahlenkegel des Hohlspiegels eingeschoben und sowohl für positive wie für negative Staubfiguren bald eine positive, bald eine negative kleine Ablenkung gefunden, während ich für positiv elektrische Strahlen von 50 mm Reichweite nur negative größere Ablenkungen beobachtet hatte (Tab. XXV, Nr. 26, § 36).

Die positiven und negativen Staubfiguren waren bei Bernstein gewöhnlich einfache gelbe Kreise von 10, 15, 18 mm oder 2 konzentrische gelbe Kreise von 4 und 10 oder 4 und 8 mm,

zuweilen eine einfache oder 2 konzentrische Ellipsen von ähnlichen Dimensionen (Textfigur 15, *b*, *e*). Nur zweimal, mit Ladungsfunken von -27000 Volt, war die negative Staubfigur ein roter Kreis von 12 resp. 18 mm.

Hinter dem Quarzkeil mit Flächen \perp zur optischen Achse waren die positiven Staubfiguren gelbe Kreise von 13 oder 8 mm. In der negativen Staubfigur umschloß ein Kreis von 12 oder 23 mm einen kleinen Kreis von 3 oder ein Sechseck von 6 mm Durchmesser. Für den Quarzkeil mit Flächen parallel der optischen Achse waren die positiven und negativen Staubfiguren ein Kreis oder eine Ellipse von 9—15 mm Durchmesser oder 2 konzentrische Kreise von 3 und 12 mm. Hinter dem Prisma aus Aluminium war die positive Staubfigur ein gelbes Sechseck von 5 mm mit Ablenkung nach der Keilschneide; die negative Staubfigur ein Kreis von 10 mm, der bald nach der Schneide, bald nach dem Rücken des Keils verschoben war.

Bei den Versuchen der Tab. XXXVI mit Ladungsfunken von ± 20000 — 30000 Volt lag die elektrische Staubfigur der ungebrochenen und gebrochenen Strahlen auf einer dünnen Asphaltackschicht von 0,06 mm über einer geerdeten Zinkplatte. Auf einer dunklen Asphaltschicht lassen sich die gelb und rot gefärbten Stellen besser unterscheiden, als auf hellem Kolophoniumwachs.

Um bei dem Radiator I (hohlen Halbkugeln von 20, 30, 40 mm) eine elektrische Durchbohrung der Asphaltschicht zu vermeiden, wurde bei Ladungsfunken hoher Spannung der Radiator auf einen Harzkuchen von 3 mm Dicke in einen geerdeten Zinkteller gestellt und neben diesen Zinkteller die Zinkplatte mit der Asphaltschicht gelegt.

Die in Tab. XXXVI aufgeführten Messungen sind die Mittelwerte mehrerer Versuchsreihen.

Für die elektrischen Strahlen mit 800 und 2000 mm Reichweite wachsen, wie bei denen mittlerer Reichweite die Ablenkungen durch Bernsteinprismen nicht mit dem Prismawinkel. Die durch Bernstein gebrochenen Strahlen geben Staubfiguren mit gelben Kreisen von 2, 4, 6, 7 mm Durchmesser.

Hinter den Zinkprismen lagen 3 gelbe Kreise von 2 oder 6 mm nebeneinander oder 3 Paar konzentrische gelbe Kreise

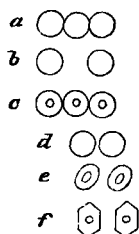


Fig. 15.

von 6 und 2 mm (Textfigur 15, *a*, *c*), die beiden äußeren gebildet von den gebrochenen Strahlen mit positiver und negativer Ablenkung A_1 zu beiden Seiten der Staubfigur der ungebrochenen Strahlen, welche zuweilen ganz fehlte (Textfigur 15, *b*). Die Zahlen einer Horizontalreihe derselben Spalte geben die zusammengehörigen positiven und negativen Ablenkungen A_1 . Diese sind bei den verschiedenen Versuchen verschieden groß und verhalten sich nahezu wie 3:5:9, ähnlich den Ablenkungen A (Tabb. XXIV, XXV, § 36) für Strahlen mittlerer Reichweite.

Tabelle XXXVI.

Brechung reflektierter elektrischer Strahlen durch Prismen ($30 \times 15 \times 3$ mm).
 R Radius des Hohlspiegels.

Radiator	R mm	Prisma	P	Ablenkung A_1		A	A_0
				Pos.	Neg. Staubfigur		
I	400	Bernstein . .	5° 20'	7,6°	7,1°		
II	400	„ . .	5 20	6	5,9		
II	1001	„ . .	5 20	6	6,8		
			Mittel	6,53	6,60	10,3°	2,83°
I	400	Bernstein . .	4° 20'	7,4°	5,8°	(10°)	2,30°
I	400	Zink . . .	4° 11'	9,1 — 9	8,4 — 8,8	+9 — 10	
II	400	„ . . .	4 11		— 9,0		
II	400	„ . . .	4 11	5 — 5	— 5,2		
II	400	„ . . .	4 11	2,9 — 2,9	3,2 — 3,2		
II	1001	„ . . .	4 11	— 5	— 4,8		

A_1 Ablenkung elektr. Strahlen von 800 und 2000 mm Reichweite.

A „ pos. elektr. Strahlen von 50 mm Reichweite.

A_0 „ gelber Lichtstrahlen.

Merkwürdigerweise fehlen hier in den Staubfiguren mit positiven und negativen Ladungsfunken für die elektrischen Strahlen mit 800 und 2000 mm Reichweite stets die rotgefärbten Stellen mit negativ elektrischer Ladung.

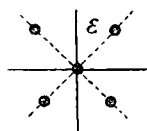


Fig. 16.

§ 44. Interferenz gekreuzter elektrischer Strahlen.

Zwei Winkelspiegel aus Weißblech (Textfigur 16) wurden auf einen Harzkuchen von $500 \times 400 \times 3$ mm in einem geerdeten Zinkteller gestellt, so daß die vertikalen Platten von 120 mm Breite, 130 mm Höhe und 0,4 mm Dicke ein rechtwinkliges Kreuz bildeten. Eine

kleine hohle Halbkugel aus Metall wurde über die Kreuzung der Platten gelegt, mit einem Funken der Leidener Flasche von ± 30000 Volt geladen, durch Berührung mit einem Holzstäbchen langsam entladen, die Winkelspiegel abgehoben und der Harzkuchen bestäubt.

In der positiven Staubfigur war die Berührungslinie des Winkelspiegels ein rotes Kreuz mit gelben Strahlen, in der negativen Staubfigur ein gelbes Kreuz mit feinen roten Strahlen normal zur Berührungslinie des Radiators. Auf den Halbierungslinien des rechten Winkels der Winkelspiegel lagen in E mm Entfernung vom Kreuzungspunkt in 4 Quadranten der positiven Staubfigur je ein roter Fleck mit feinen gelben Kreisen. In 2 Quadranten der negativen Staubfigur je 2 gelbrote oder rote Flecke. Es war

in der positiven Staubfigur	$E_+ =$	60	67	80	80 mm
in der negativen Staubfigur	$E_- =$			46; 87	50; 100 mm

Bei ähnlichen Versuchen wurden die Winkelspiegel nicht mit einem Holzstäbchen langsam entladen, sondern mit der Hand abgehoben. Dann lagen in den 4 Quadranten auf den Halbierungslinien des rechten Winkels E mm vom Kreuzungspunkte entfernt in der positiven Staubfigur rote Flecke mit aufgelagerten feinen gelben Kreisen, in der negativen Staubfigur gelbe einfache und konzentrische Kreise von 14 und 4,5 mm. Es war

in der positiven Staubfigur	$E_+ =$	60	60	60	60 mm
in der negativen Staubfigur	$E_- =$	60	60	55	48 mm.

Fig. 17, Taf. V zeigt die negative Staubfigur mit einem kurzen gelben Kreuz auf den Halbierungslinien des rechten Winkels. Das Berührungskreuz ist gelb mit gelben Tropfen besetzt und von feinen gelben Strahlen, normal zu dem Berührungskreuz, umgeben. Vor jedem Ende des Berührungskreuzes begrenzen ein roter und ein gelber Kreisbogen ein staubfreies Flächenstück.

Die Verschiedenheit von E in den 4 Quadranten derselben Staubfigur scheint in Ungleichartigkeiten oder verschiedener Dicke des Harzkuchens (welche zwischen 2 und 4,7 mm schwankt) zu liegen.

§ 45. *Interferenzfiguren der von Winkelspiegeln reflektierten Strahlen.*

Auf einen großen Harzkuchen von $500 \times 400 \times 2,25$ mm

in einem geerdeten Zinkteller stellte ich einen rechtwinkligen Winkelspiegel aus einer gebogenen Zinkplatte mit reflektierenden Flächen von 110 und 170 mm Länge und 120 mm Höhe und auf die Halbierungslinie des rechten Winkels, in 30 oder 40 mm Entfernung vom Kreuzungspunkt der Spiegelflächen eine hohle Halbkugel aus Platin von 20 mm Durchmesser. Die Halbkugel wurde in halber Höhe über der Halbierungslinie mit dem Funken einer Leidener Flasche von + 30000 Volt Spannung geladen und isoliert abgehoben. Nach Entfernen des Winkelspiegels und Bestäuben des Harzkuchens zeigte die positive Staubfigur (Fig. 21, Taf. V) in der Ecke des Winkelspiegels 2 staubfreie Räume zu beiden Seiten eines gelben Streifens auf der Halbierungslinie. Außen war der gelbe Berührungskreis mit einem Kranze radialer gelber Strahlen besetzt, vor deren Köpfen ein Ring von feinen roten Kreisen lag.

Die staubfreien Räume neben den beiden Spiegeln rühren, wie die staubfreien Räume vor metallischen Zwischenplatten (§ 24), von rückläufigen Strahlen I. Art her, welche die in das Metall eingedrungenen elektrischen Strahlen beim Abklingen der elektrischen Schwingungen des Radiators erzeugen (vergl. § 25).

Bei Wiederholung des Versuches lagen innerhalb und außerhalb des gelben Berührungskreises auf rotem Grunde 4 konzentrische gelbe Kreise von 2, 5, 15 und 24 mm Durchmesser und vor den Köpfen des äußeren gelben Strahlenkranzes breite rote Strahlen. Die roten Stellen fehlen in der Photographie Fig. 22, Taf. V.

Wurde der Versuch mit einem rechtwinkligen Winkelspiegel aus Weißblech (wie in § 44) wiederholt, so erhielt ich die positive Staubfigur Fig. 20, Taf. V mit staubfreien Räumen in der Ecke des Winkelspiegels zu beiden Seiten der gelben Halbierungslinie des rechten Winkels. Auf den gelben radialen Strahlen außerhalb des gelben Berührungskreises liegen 3 staubfreie Kreisflächen in gleichen Abständen voneinander mit aufgelagerten gelben Kreisen. Die dritte Kreisfläche links tritt weniger hervor, als die beiden anderen. Diese staubfreien Kreisflächen beweisen wieder negative elektrische Strahlen, welche später als die positiv elektrischen beim Abklingen der elektrischen Schwingungen vom Radiator ausgegangen sind.

Die Ecken des rechtwinkligen Zinktellers mit 10 mm hohem

Rande wirken auch wie ein Winkelspiegel. Wurden hohle Halbkugeln aus vernickeltem Messing von 40, 30, 20, 10 mm Durchmesser in die Ecken des Zinktellers gestellt, in halber Höhe über der Halbierungslinie des rechten Winkels mit einem Ladungsfunken von -27500 Volt geladen und isoliert abgehoben, so zeigte die negative Staubfigur einen roten Be-

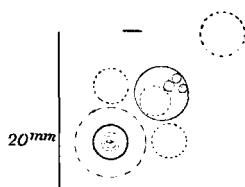


Fig. 17a.

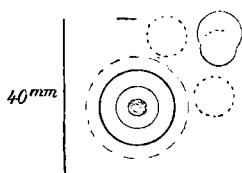


Fig. 18a.

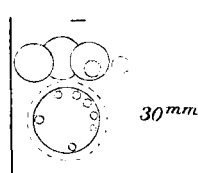


Fig. 19a.

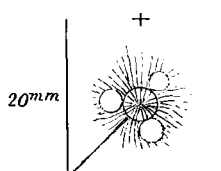


Fig. 20a.

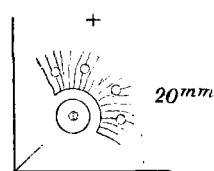


Fig. 21a.

rührungskreis. Auf der Halbierungslinie lagen bei den Halbkugeln von 40 und 20 mm staubfreie Kreisflächen (Fig. 18, 17, Taf. V), bei der Halbkugel von 30 mm 2 konzentrische gelbe Kreise (Fig. 19, Taf. V). Die Mittelpunkte der staubfreien Kreisflächen und gelben Kreise waren 2 resp. 3 mal so weit vom Kreuzungspunkt der Spiegelflächen entfernt, als die Mittelpunkte der Halbkugeln. Bei den Halbkugeln von 40 und 30 mm (Figg. 18, 19, Taf. V) sind außerdem

neben der Halbierungslinie des rechten Winkels noch andere staubfreie Kreisflächen und Kreise zu erkennen.¹⁾

Die verschobene Lage der zweiten kleineren auf der rechten Seite der größeren staubfreien Kreisfläche (Fig. 18, Taf. V) beweist, daß von zwei nebeneinander liegenden Stellen des Radiators zwei negativ elektrische Strahlenbündel ausgegangen sind. Das erste mit größerer Intensität und größerer Reichweite früher, als das zweite mit kleinerer Intensität und kleinerer Reichweite. Beim Abklingen der elektrischen Schwingungen verschieben sich also im Radiator die Stellen mit größter Spannung oder Amplitude, wie ich schon früher (§ 24, Ann. 32. p. 931) gefunden habe.

Alle diese staubfreien Kreisflächen fehlten in den Staubfiguren auf der Halbierungslinie des rechten Winkels, wenn der Ladungsfunken die Halbkugel an der höchsten Stelle statt seitlich auf halber Höhe getroffen hatte.

Außer den Winkelspiegeln aus Zink und Weißblech und den Ecken des großen Zinktellers mit 10 mm hohem vertikalen Rande über dem Harzkuchen von 0,6, 2 und 4 mm Dicke benutzte ich auch die Ecken eines rechtwinkligen Kastens aus Zinkblech von $350 \times 255 \times 32$ mm, dessen Boden mit einer 0,06—0,1 mm dicken Schicht von Asphaltlack bedeckt war. Als Radiatoren dienten, außer den hohlen Halbkugeln aus Platin und vernickeltem Messing von 40, 30, 20, 10 mm, vertikale Messingröhren von 10 mm Durchmesser und 1000 oder 250 mm Länge mit einer Messingkugel von 24 mm am oberen Ende oder ein vertikaler Stahldraht von $964 \times 2,75$ mm. Der Mittelpunkt des Berührungskreises lag auf der Halbierungslinie des rechten Winkels in E mm (30—65 mm) Entfernung vom Kreuzungspunkt der Spiegelflächen.

Mit allen Radiatoren zeigen sich in den positiven und negativen Staubfiguren auf der Halbierungslinie des rechten Winkels 1 bis 7 gelbe oder rote oder staubfreie Kreise oder Kreisflächen in nahezu gleichen Abständen a von einander. Die Mittelpunkte dieser Kreise und Kreisflächen lagen $a_n = n a$ Millimeter hinter dem Mittelpunkt des Berührungskreises des

1) Da diese und ähnliche Kreise und Kreisflächen in den Photographien Fig. 17—21, Taf. V wenig hervortreten, habe ich sie in die entsprechenden Textfiguren Fig. 17a bis 21a eingezeichnet. Neben den Winkelspiegeln steht der Durchmesser der Radiator-Halbkugeln in Millimetern.

Tabelle XXXVII.

Interferenz elektrischer Strahlen
mit Winkelspiegel von 90° aus Weißblech ($120 \times 130 \times 0,4$ mm).

Auf Harzkuchen (500 × 400 × 2 mm)								(400 × 3 mm)	
– 25 900 Volt		– 22 500 Volt			+ 26 800 Volt			– 27 700 Volt	
Radiator: Halbkugel (30 mm)		Radiator: Halbkugel (20 mm)			Radiator: Messingröhre (1000 × 10 mm)			Radiator: Messingröhre (250 × 10 mm)	
$E = 65$ mm		$E = 60$ mm			$E = 50$ mm			$E = 50$ mm	
a_n mm	a mm	a_n mm	a mm	Farbe	a_n mm	a mm	Farbe	a_n mm	a mm
67	67	45	45	gelb				36	36
137	68,5	88,5	44,2	rot	97	48,5	gelb	72	36
208	69,3	134,5	44,8	rot				106	35,3
275	68,8	175,5	43,9	rot	186	46,5	rot	146	36,5
		222	44,4	rot	233	46,6	rot	183	36,6
		258	43	gelb	276	46	rot	224	37,3
Mittel	68,5		44,21			46,9			36,12

Interferenz elektrischer Strahlen
mit Winkelspiegel von 90° aus Zinkblech ($255 \times 32 \times 0,45$ mm)
auf Asphaltlack ($350 \times 255 \times 0,06$ mm).

+ 6450 Volt			+ 6500 Volt		+ 28 700 Volt	
Radiator: Halbkugel (40 mm)			Radiator: Halbkugel (20 mm)		Radiator: Stahldraht (964 × 2,75 mm)	
$E = 50$ mm			$E = 50$ mm		$E = 50$ mm	
a_n mm	a mm	Farbe	a_n mm	a mm	a_n mm	a mm
71	71	staubfrei	17	17	64	64
123	61,5	gelb	29	14,5	117	58,5
185	61,7	gelb	43	14,3	170	57
233	58,2	gelb	71	14,2	218	54,5
286	57,2	?			265	53
Mittel	59,6			14,3		57,5

Radiators, wenn n eine ganze Zahl 1, 2, 3 usw. bedeutet. Tab. XXXVII gibt eine Reihe Messungen von a_n und die daraus folgenden Werte von a .

Die Kreise und Kreisflächen waren gelb, wenn in der vorstehenden Tabelle keine Farbe angegeben ist. Bei den Versuchen mit der 1000 mm langen Messingröhre hatten die roten

und gelben Kreisflächen 10 mm Durchmesser, wie der Berührungskreis des Radiators.

Bei anderen Versuchen fand ich für Halbkugeln vom Durchmesser $2R$, deren Mittelpunkt E mm vom Kreuzungspunkt der Spiegelflächen entfernt war, auf Asphaltschichten von 0,06 mm Dicke

$2R =$	40	30	20	10 mm
mit Ladungsfunken von	— 6000	bis	— 5000	Volt
$E =$	47	40	35	30 mm
$a =$	46	46	34	28 „
$=$	46	42	41	13 „
mit Ladungsfunken von	+ 5700	und	+ 3200	Volt
$E =$		45		37 mm
$a =$		45,5		30 „
mit Ladungsfunken von	+ 30000	bis	28000	Volt
$E =$		42	34	52 mm
$a =$		53	51	52 „

Ich möchte ausdrücklich bemerken, daß unter den \pm elektrischen Stellen der oberen Harzflächen \mp elektrische Stellen der unteren Harzfläche liegen, und man also von elektrischen Transversalwellen sprechen kann, welche in dem Harzkuchen unter der Halbierungslinie des rechten Winkels fortschreiten.

Ist der Winkel des Winkelspiegels nicht genau 90° , so liegen zwei Reihen Kreise und Kreisflächen zu beiden Seiten der Halbierungslinie des rechten Winkels. Die Abstände a der Kreismittelpunkte nehmen mit der Entfernung vom Berührungskreis ab, wechseln mit dem Durchmesser des Radiators und für verschiedene Versuche mit demselben Radiator.

Die Kreise und Kreisflächen waren auch sichtbar, wenn die dünnen Asphaltschichten bei großen Spannungen von einem elektrischen Funken durchbrochen wurden. In letzterem Falle sind die positiven und negativen Staubfiguren einfacher, ohne gelbe radiale Strahlen.

§ 46. Zusammenfassung.

1. Die positiv und negativ elektrischen Strahlen eines Radiators — einer mit einem positiv oder negativ elektrischen Funken geladenen hohlen Halbkugel oder der Endkugel einer langen Messingröhre — neben dem Mittelpunkt eines Hohlspiegels werden von dem Hohlspiegel wie Lichtstrahlen reflektiert.

2. Die von Hohlspiegeln mit 227, 400, 1000 mm Radius

konvergierend reflektierten elektrischen Strahlen geben in den elektrischen Staubfiguren auf einem normal zur Achse des Hohlspiegels stehenden Harzkuchen im Spiegelbild des Radiators gelbe, rote oder staubfreie Kreise und Kreisflächen, wie die konvergierenden rückläufigen Strahlen II. Art einer Zwischenplatte aus Hartgummi, Glimmer oder Metall (§ 21—24).

3. Konvergierende rückläufige elektrische Strahlen II. Art (§ 24) einer Glimmerplatte oder von Hohlspiegeln reflektierte elektrische Strahlen mit 400 und 1000 mm Reichweite werden von keilförmigen Prismen aus Bernstein oder Quarz mit Flächen \neq und \perp zur optischen Achse nach dem Keilrücken abgelenkt.

Die Ablenkung durch dasselbe Prisma ist für positiv und negativ elektrische Staubfiguren nahezu dieselbe, etwa doppelt so groß, als die Ablenkung der Lichtstrahlen, aber bedeutend kleiner, als die Ablenkung direkter positiv elektrischer Strahlen von kürzerer Reichweite.

4. Durch ein Prisma aus Zink von $4^{\circ} 11'$ wurden die von Hohlspiegeln reflektierten elektrischen Strahlen mit 400 und 1000 mm Reichweite gleichzeitig nach dem Rücken und der Schneide des Keils abgelenkt um gleiche Winkel, welche bei verschiedenen Versuchen $\pm 9, 5, 3^{\circ}$ betrugen. Bei einem Aluminiumprisma von $3^{\circ} 50'$ war die Ablenkung $+ 4,7^{\circ}$ und $- 4,1^{\circ}$ für eine Reichweite von 1000 mm.

5. Mit zunehmender Reichweite der reflektierten Strahlen treten die roten negativ elektrischen Staubfiguren weniger häufig auf, als die gelben positiv elektrischen Staubfiguren. Die negativ elektrischen Emanationen werden auf dem Wege durch die Luft stärker absorbiert, als die positiv elektrischen.

6. Mit positiven und negativen Ladungsfunken sind die elektrischen Staubfiguren der gebrochenen Strahlen gleich denen der ungebrochenen Strahlen, gelbe einfache oder konzentrische Kreise oder Kreisflächen, seltener gelbe einfache oder konzentrische Ellipsen und Sechsecke.

Bei einigen Versuchen mit Ladungsfunken von $- 28000$ Volt, dem Radiator II, dem Hohlspiegel III und einem Bernsteinprisma waren die Staubfiguren einfache rote Kreise.

7. Die positiven Staubfiguren einer hohlen Halbkugel in einem rechtwinkligen Winkelspiegel auf einem Harzkuchen zeigen in der Ecke des Winkelspiegels auf der Halbierungslinie

des rechten Winkels einen gelben Streifen zwischen zwei staubfreien Räumen neben den beiden Metallspiegeln. Diese staubfreien Räume rühren her von rückläufigen elektrischen Strahlen I. Art (§ 24), welche beim Eindringen der elektrischen Strahlen des Radiators in den Metallspiegel in umgekehrter Richtung erzeugt werden.

In dem äußeren Kranze gelber radialer Strahlen der Halbkugel liegen zuweilen staubfreie Kreisflächen mit aufgelagerten feinen gelben Kreisen oder vor den Köpfen der gelben Strahlen breite rote radiale Strahlen oder ein Kranz roter Kreise.

8. Die negativen Staubfiguren der Halbkugel in dem Winkelspiegel zeigen bei seitlichen Ladungsfunken auf der Halbierungslinie des rechten Winkels staubfreie Kreisflächen oder konzentrische gelbe Kreise.

9. Steht ein Radiator — eine hohle Halbkugel oder eine vertikale Messingröhre — auf einem Harzkuchen in der Mitte zwischen den beiden vertikalen Metallplatten eines rechtwinkligen Winkelspiegels, so liegen im offenen Teile des Winkelspiegels bei der positiven und negativen Staubfigur auf der Halbierungslinie des rechten Winkels 1 bis 7 gelbe oder rote oder staubfreie Kreise und Kreisflächen in nahezu gleichen Abständen von einander, welche mit der Entfernung vom Radiator ein wenig abnehmen.

10. Diese Kreise, Kreisflächen, Ellipsen und Sechsecke in den Staubfiguren der von Hohl- oder Winkelspiegeln reflektierten oder von Hohlspiegeln reflektierten und von keilförmigen Prismen gebrochenen Strahlen gleichen den Interferenzfiguren der durch Doppelprismen gebrochenen unsichtbaren positiv und negativ elektrischen Strahlen (Textfigur 11, § 39), welche in der Symmetrielinie der Doppelprismen zusammentreffen und die Harzoberfläche + oder — elektrisch machen.

Heidelberg, den 30. Januar 1913.

(Eingegangen 21. Oktober 1913.)
