

Institut für Experimentalphysik der k. ung. Horthy Miklós Universität  
in Szeged.

Direktor: Prof. P. Fröhlich.

---

## Die Abklingung der Gelatine-Farbstoffphosphore.

von Stefan Benkő.

### I. Einleitung

Die Abklingung der Phosphoreszenzemission von manchen Phosphoren — besonders die der Kristallphosphore — wurde aus den verschiedensten Gesichtspunkten ausführlich untersucht (1). Ähnlicherweise ist auch die Abklingung der Fluoreszenzemission der Farbstofflösungen gründlich geprüft worden (2). Aber über die Phosphoreszenz der Gelatine-Farbstoffphosphore sind solche Untersuchungen kaum zu finden (3). *Pospielow* beobachtete die Abklingung von Eosin in Bezug auf die Feuchtigkeit. Seine Resultate sind im Wesentlichen nur qualitativ, weil er Gelatineplatten von unbestimmter Konzentration und Dicke benützte.

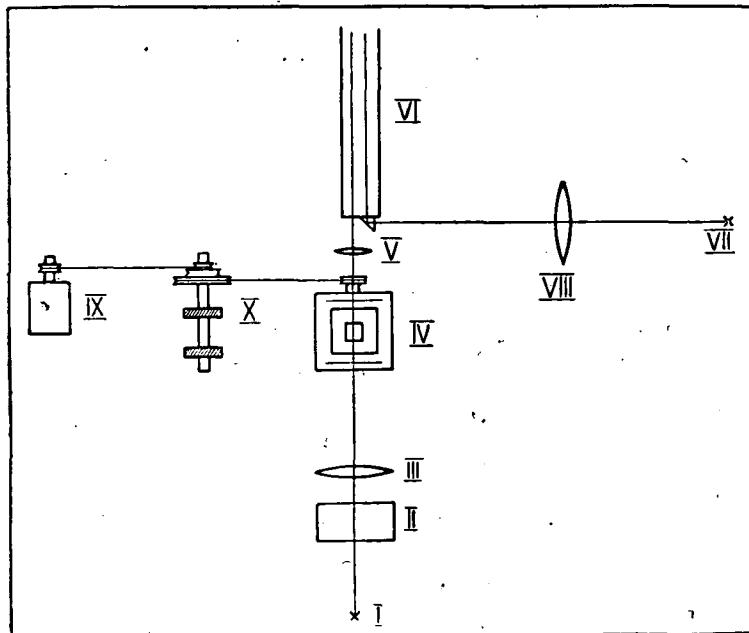
Vorliegende Untersuchungen beziehen sich auf den Gelatinephosphor von Eosin A Salzfrei. Ich bestimmte die Abklingung bei diesem Farbstoffe und auch ihre Abhängigkeit von der Konzentration, von der Wellenlänge und von der Temperatur. Es wurden bei den Messungen Farbstoffplatten von der Dicke 0.1 mm benützt. Ihre Herstellung ist in Arbeiten von *Fröhlich* ausführlich beschrieben (4).

### II. Messeinrichtung.

Das Grundprinzip meiner Messungen war folgendes: Der Phosphor wurde mit intensivem Licht erregt, und nach Schluss der Beleuchtung im Zeitintervall von 0.005 sec. bis 0.0468 sec. bei verschiedenen Zeitpunkten die Intensität der Phosphoreszenzemission gemessen.

Dementsprechend wurde die Messeinrichtung zusammengestellt (Siehe Figur 1).

Zur Beleuchtung als erregende Lichtquelle diente eine Projektionslampe (Tungsram Färikat) von 220 Volt, 5000 Watt (I.), deren Glühspirale mit einer Linse (III) von 25 cm Focus auf die Gelatineplatte abgebildet wird. Um die schädliche Wärme zu vermeiden wurde eine Wasserzirkulation (II) angebracht. Der Phosphor kam in ein Becquerelsches (5)



Figur 1. Versuchsanordnung.

I. Erregende Lichtquelle. — II. Wasserkühlung. — III. Linse. — IV. Phosphoroskop. — V. Linse. — VI. Photometer. — VII. Vergleichs-Lichtquelle. — VIII. Linse. — IX. Elektromotor. — X. Übertragungs-Scheibe.

Phosphoroskop (IV). An beiden Phosphoroskopscheiben waren vier Öffnungen in der Form eines Kreissektors von  $22.5^\circ$  angebracht, und die Scheiben waren gegeneinander um  $45^\circ$  verdreht. Zwischen den zwei Scheiben war eine heizbare und kühlbare Metallkassette (6). In diese kam die gefärbte feste Gelatineplatte. Der elektrische Heizkörper, beziehungsweise das entsprechende Kühlmaterial wurde in den doppelwandigen Teil der Metallkassette gebracht. Der Phosphor selbst kam in den inneren Teil der Kassette, und er war mit einem entspre-

chenden Metallrahmen versehen. Um den Weg des Lichtstrahles frei zu machen, war die Metallkassette von einer Röhre durchbohrt, die sich den Phosphoroskopöffnungen anschloss, und in der Kassette den Kühlraum, beziehungsweise den Heizraum vom Lichtstrahl separiert abschloss. Der innere Raum der Kassette, der den Phosphor enthielt, war mit einem Metalldeckel zugesperrt. Am Deckel war eine Öffnung, durch welche ein Thermometer unmittelbar in die Nähe des Phosphors gebracht wurde.

Die Intensität der Phosphoreszenzemission wurde mit einem König-Martens'schen Spektralphotometer (7) gemessen (VI).

Die leuchtende Fläche der Phosphorplatte bildete ich mit einer Linse (V.) von 4.5 cm Focus auf den einen Spalt des Spektralphotometers, auf den anderen Spalt wurde das Licht der Vergleichslichtquelle (VII.) mit einer Linse (VIII.) und mit dem geradwinkeligen Prisma des Photometers gebracht. Als Vergleichslichtquelle benützte ich eine Tungsram'sche Glühlampe mit einem „Edison-Kopf“ von 12 V, 36 W, in der Entfernung 1 Meter vom Photometer. Der Effekt der Glühlampe ist mit einem beständig eingeschaltetem Volt- und Ampermeter kontrolliert worden.

Zum Drehen der Phosphoroskopscheibe diente ein Elektromotor (IX.) von 0.5 KW. Es war sehr wichtig die Umlaufzahl des Phosphoroskops zu kennen, und deswegen war die Achse des Motors beständig mit einem Tachometer in Verbindung. Die Umlaufzahl konnte teilweise durch die Verschiebung der Motorbürsten reguliert werden. Bei grösserer Variation der Umlaufzahl musste zwischen den Motor und das Phosphoroskop eine Übertragungsscheibe (X.) mit vier Stufen angebracht werden.

Da man mit dem Spektralphotometer sehr kleine Lichtintensitäten zu vergleichen hatte, musste der störende Einfluss der sehr intensiven erregenden Lichtquelle beseitigt werden. Deswegen war die ganze Apparatur von der erregenden Lichtquelle mit einem dichten schwarzen Vorhange getrennt. Am Vorhang war nur eine Öffnung, die der Phosphoroskopöffnung entsprach, und beide waren knapp aneinander gebracht. Auch die Vergleichslichtquelle war mit einer schwarzen

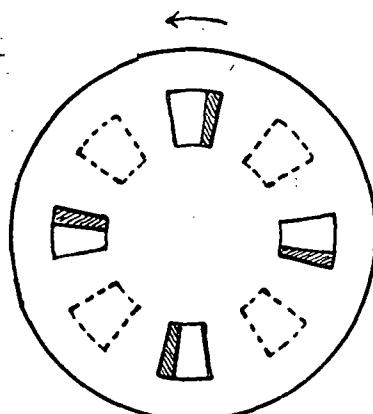
Kassette umhüllt, letztere erlaubte nur denjenigen Strahlen einen Austritt, die auf das Reflexionsprisma gelangen.

### III. Messergebnisse.

a) *Unersuchung der Vollerregung.* Wie schon oben erwähnt, war das Grundprinzip meiner Messungen, dass die Intensität des emittierten Lichtes nach Absperren des erregenden Lichtes in verschiedenen Zeitpunkten gemessen wurde. Die Einrichtung musste vor allem so eingestellt werden, dass zwischen den schon oben erwähnten Grenzen das Zeitintervall von der Einstellung der Erregung bis zum Moment der Beobachtung willkürlich variiert werden kann. Dies konnte durch verschiedenen schnellem Drehen des Phosphoroskops erreicht werden. Bei Änderung der Umlaufszeit ändert sich natürlich auch die Dauer der Erregung, also diejenige Zeit, unter welcher sich die an das erregende Licht gewendete Phosphoroskopscheibe um  $22.5^\circ$ , nämlich um eine Öffnungsbreite vorbei dreht. Ebenso ändert sich auch auf der anderen Seite des Phosphoroskops diejenige Zeittdauer, unter welcher das emittierte Licht zum Beobachter gelangt. Was dies letztere anbelangt, bereitete diese Zeitänderung keine Schwierigkeit, denn bei nicht gar zu kleiner Umlaufszahl ist das Talbot'sche Gesetz gültig. Die Emission nimmt auch während der Umlaufszeit eines Sectors ab, und so bedeutet die gemessene Intensität immer einen Mittelwert. Dies könnte bei verschieden schneller Rotation einen Fehler verursachen, doch blieb dieser bei den gebrauchten Umlaufszeiten immer unter der Grenze der Messgenauigkeit. Es musste aber besonders untersucht werden, wie die Emission von der Änderung der Erregungszeit beeinflusst wird.

Für diesen Zweck bereitete ich die erste Scheibe des Phosphoroskops an der Seite des erregenden Lichtes aus einer zweifachen Metallscheibe, so das die eine Scheibe gegen die andere an der Achse verdrehbar war. Beim Drehen dieser Scheibe wurde ein Teil der Öffnungen verdeckt. Die Verhältnisse sind in Figur 2. schematisch dargestellt. Die Sektoröffnungen mit gestrichelten Linien bedeuten die Öffnungen der anderen Scheibe an der Seite des Beobachters. Wenn also die

Phosphoroskopscheibe bei konstanter Umlaufszahl sich in der Richtung des Pfeiles bewegte, war das Zeitintervall von Schluss der Erregung bis zur Beobachtung grösser, als bei entgegengesetzter Drehung (und zwar um so viel grösser, wie viel Zeit für die den gestrichelten Teil entsprechende Bewegung notwendig ist). Man kann aber die Umlaufzahl auch so wählen, dass das Zeitintervall zwischen Schluss der Erregung und Beobachtung bei Drehung des Phosphoroskops in entge-



Figur 2,

gengesetzter Richtung dasselbe sei. In diesem Falle muss in der Richtung des Pfeiles eine grössere Umlaufszahl angewendet werden. Damit wird natürlich auch die Erregungszeit kleiner.

Man kann also durch Variieren der Drehrichtung Messungen unternehmen, bei denen der Zeitverlauf von Erregung bis zur Beobachtung gleich gross ist, die Erregungszeit selber aber verschieden war. Ist die Emission von der Erregungszeit abhängig, so müssen die so gemessenen Intensitäten verschieden sein.

Meine diesbezügliche Messungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Wie man aus der Tabelle sieht, stimmen die zu denselben  $\tau$  gehörenden  $\varphi$  Werte gut übereins, trotzdem die T Werte verschieden sind. Sollte die Emission von der Erregungsdauer beeinflusst werden, so müsste sich bei der angewendeten Differenz der T Werte eine bedeutende, gut bemerkbare

Tabelle 1.

$\tau$ sec.	T sec.	$\varphi$	$\tau$ sec.	T sec.	$\varphi$
0.0234	0.0104	6°70'	0.00937	0.0041	13°10'
	0.0085	6°80'		0.0034	13°30'
0.0117	0.0052	11°	0.00684	0.0030	15°—0
	0.0042	11°		0.0023	15°20'

$\tau$  ist das Zeitintervall zwischen Schluss der Erregung bis zum Moment, wo der Mittelpunkt der Sektoröffnung auf der Beobachtungsseite beim Phosphor vorbeigeht. — T bedeutet die Zeidauer der Erregung. —  $\varphi$  ist der am Analisator des Spektrometers abgelesene Winkel, dessen Tangens-Quadrat die relative Intensität angibt.

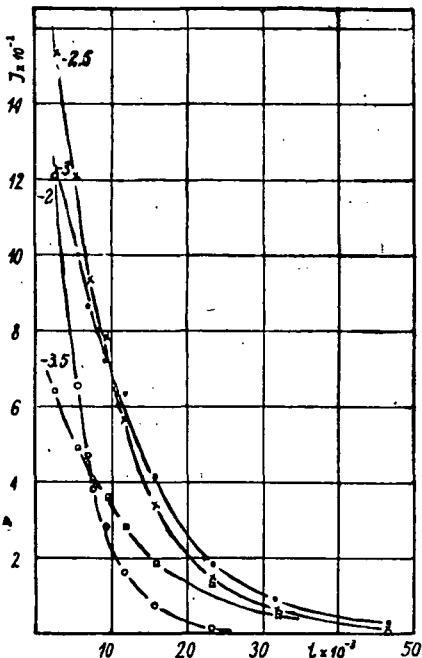
Differenz der Emission ergeben. Man könnte also bei längerer Dauer der Erregung eine grössere Emission (grössere  $\varphi$  Werte), erwarten. Solche Resultate sind aus meinen Messungen nicht zu erkennen. Die kleinen Differenzen, die sich in den  $\varphi$  Werten zeigen, sind ganz unwesentlich. Die Tabelle bezieht sich auf den Farbstoff Eosin A Salzfrei, auf die Konzentration --2.5. (Als Konzentration wird überall der Logarithmus der Konzentration angegeben. --2.5 bedeutet also  $10^{-2.5}$  gr Farbstoff per cm<sup>3</sup> Gelatine.) Die Messungen wurden bei der Lichtwellenlänge 558  $\mu\mu$  vollendet. Ganz ähnliche Resultate bekam ich bei anderen Konzentrationen und bei anderen Wellenlängen.

Dies bedeutet kurz, dass der Farbstoff bei den gegebenen Beleuchtungs-Verhältnissen *in der Zeit* vollerregt war, die Beleuchtungszeit war also auch bei der grössten angewendeten Umlaufszahl lang genug, dass die Emissionsintensität bei weiterer Vergrösserung dieser Zeit (also bei Abnahme der Umlaufszahl) nicht beeinflusst wird. Was aber die *Intensität* des erregenden Lichtes betrifft, war meine Lichtquelle trotz ihrer Grösse nicht imstande eine Vollerregung zu bewirken. Die Emission konnte nämlich durch veränderte Intensität der erregenden Lichtquelle in grossem Masse verändert werden. Es wurde aber die erregende Lichtquelle konstant gehalten, und so waren die Messungen von dem erwähnten Umstand nicht beeinflusst.

b) *Die Beziehung zwischen Abklingung und Konzentration.* Die nächste Aufgabe war zu bestimmen, wie die Abklingung von der Konzentration abhängt. Die Messungen wurden bei der Wellenlänge 558  $\mu\mu$  vollendet, wo sich bei den sämmtlich untersuchten Konzentrationen, von nur kleinen Abwei-

chungen abgesehen, das Emissionsmaximum der Kurzwelligen Bande dieses Farbstoffes befindet (8). Da die gebrauchte Spaltbreite ziemlich gross war (1 mm), bedeutet die angegebene Wellenlänge immer einen Mittelwert.

Die Messungen wurden stets bei zweimaligem vollständigen Umdrehen des Analisators am Spektralphotometer voll-



Figur 3.

Tabelle 2.

Konzentration	-2	-2.5	-3	-3.5
	186	106	84.6	82
	194	116	94	80
	212	123	85.8	81
$\alpha$	193	111	98.5	84.6
	109	99		84
	102	88		
		86		
$\alpha$ Mittelwert	196	111	90	82

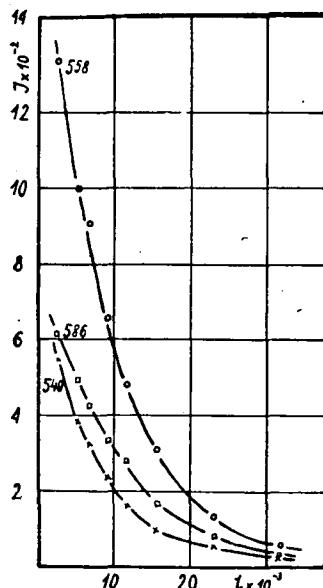
bracht, die Berechnung der Intensität geschah also aus dem Mittelwerte von acht abgelesenen Winkelwerten.

Es wurde vorausgesetzt, dass die Abklingungskurve von kleineren Korrekturen abgesehen durch das Exponentialgesetz  $I = I_0 e^{-\alpha t}$  gegeben werden kann. Ich setzte also voraus, dass das für die Kristallphosphoren festgestellte Gesetz auch hier gültig ist (9). Diese Voraussetzung zeigte sich für richtig, da sämtliche aus der obigen Formel berechneten  $\alpha$  Werte von kleineren Abweichungen abgesehen gut übereinstimmen.

Die Abklingungskonstante  $\alpha$  ergab sich  $\alpha = \frac{2.302 (\log I_2 - \log I_1)}{t_2 - t_1}$

(10). Bei der Bestimmung von  $\alpha$  wurde zuerst die Abklingungskurve mit Hilfe der Messdaten gezeichnet, und die zur Berechnung von  $\alpha$  notwendige Intensitätswerte wurden von der Kurve selbst abgelesen. Die Zeitdifferenz  $t_1 - t_2$  war immer  $5 \cdot 10^{-3}$  sec.

Bei solchen Spektralmessungen, wo die Emissionsintensität von der Konzentration und von der Wellenlänge im gros-



Figur 4.

Tabelle 3.

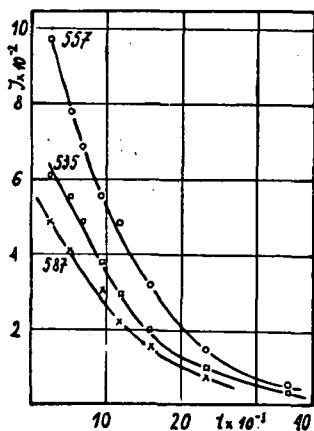
Wellenlänge	540	558	586
124	104	89	
192	114	97	
126	108	100	
117	115	95.4	
117	112	98.4	
106			
$\alpha$ Mittelwert	123	109	96—

sen Masse abhängig ist, dient zur Charakterisierung der Abklingung die Kenntniss der Abklingungskonstante am besten. Sie erlaubt die Vergleichung der Abklingungsgeschwindigkeit unabhängig von der Intensität. Die Abklingungskonstante ist das Mass der Abklingungsgeschwindigkeit.

Figur 3. zeigt die Abklingungskurven bei vier verschiedenen Konzentrationen. Mit Hilfe dieser Kurven bestimmte ich die  $\alpha$  Werte auf der schon erwähnten Weise. Die Resultate wurden in der Tabelle 2. zusammen gefasst. Wie aus der Figur und aus der Tabelle zu sehen ist, wird der Wert von  $\alpha$  mit zunehmender Konzentration grösser, die Abklingungsgeschwindigkeit nimmt also zu, unabhängig davon, ob die Kon-

zentrationsänderung eine Zunahme oder Abnahme der Emissionsintensität mit sich bringt. Es scheint im ersten Augenblick, als ob dies mit der klassischen Erregungstheorie im Widerspruch wäre. Denn wenn die Emissionsfähigen Zentren in grösserer Zahl vorhanden sind, so müsste auch die Abklingungszeit länger sein. Die Resultate beweisen aber, dass der störende Effekt der Nachbarmolekülen die Abklingung beschleunigt.

c) Die Abhängigkeit der Abklingung von der emittierten Wellenlänge. Es wurde auch die Abhängigkeit der Abklingung von der Wellenlänge untersucht. Ich bestimmte die  $\alpha$  Werte



Figur 5.

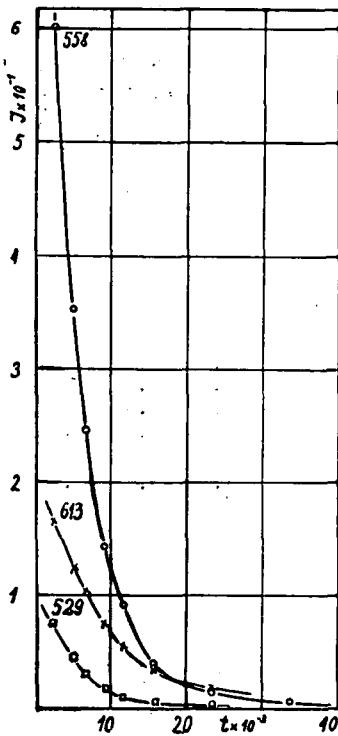
Tabelle 4.

Wellenlänge	535	557	587
$\alpha$	93·5	86·—	85
	100·—	96·4	83
	93·9	88·3	81
	119·—	98·4	95·9
$\alpha$ Mittelwert	101·—	92·—	86·—

für den Farbstoffphosphor von der Konzentration —2.5 mit Hilfe der Figur 4 und die Resultate wurden in Tabelle 3 zusammengefasst.

Ganz ähnlich sind die Ergebnisse in Figur 5. und Tabelle 4, die sich auf die Konzentration — 3 beziehen. Die Messungen sind in beiden Fällen bei drei verschiedenen Wellenlängen vollendet worden. Leider konnte wegen der schwachen Emission die Wellenlänge nur in einem verhältnismässig kleinen Intervall variiert werden. So ist auch die Variierung der  $\alpha$  Werte klein, aber doch genügend ausgeprägt, um daraus schliessen zu können, dass gegen längere Wellenlängen die  $\alpha$  Werte klein, aber doch genügend ausgeprägt, um daraus schliessen zu können, dass gegen längere Wellenlängen die  $\alpha$  Werte kleiner werden,

die Abklingungsgeschwindigkeit also abnimmt. Diese Resultate stimmen mit denen bei Kristallphosphoren gefundenen übereins, wo die Abklingung der ineinander greifenden Banden verschiedenartig verläuft. Der Grund davon ist, dass ein Teil des emittierten Lichtes eine sekundäre Phosphoreszenz verursachen kann. Ausserdem kann auch ein Auslöschungseffekt



Figur 6.

Tabelle 5.

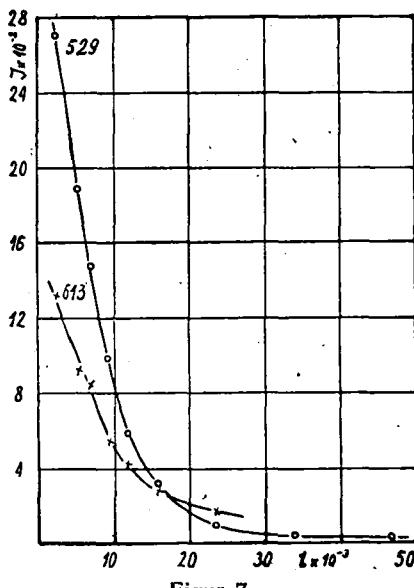
Wellenlänge	529	558	613
$\alpha$	212	193	110
223	186	114	
208	200	107	
	190	154	
$\alpha$ Mittelwert	214	192	111

der langen Wellen vorkommen. Diese auslöschende Wirkung erscheint allgemein in zwei parallelen Prozessen. Bei infraroter Bestrahlung übergeht ein Teil der in dem Phosphor aufgespeicherten Energie in Lichtenergie, der andere Teil übergeht in Wärme, wodurch sich die Emissionsfähigkeit vermindert (11). Die erregten lange Wellen beschleunigen also infolge der auslöschenden Wirkung die Abklingung der kurzen Wellen.

Um die vorstehenden Ergebnisse zu kontrollieren, wur-

den ähnlichen Messungen über dieselben Konzentrationen auch bei höherer Temperatur (100°C) vollendet. Figur 6 und Tabelle 5 beziehen sich auf die Konzentration —2.5, Figur 7 und Tabelle 6 auf die Konzentration —3.

Die Resultate stimmen mit den vorherigen ganz überein. Da die Emissionsintensität bei dieser Temperatur grösser ist, konnte sogar in einem grösseren Wellenlängenbereiche gemessen werden, und die Gesetzmässigkeit zwischen  $\alpha$  und  $\lambda$  zeigte sich im erhöhten Masse.



Figur 7.

Tabelle 6.

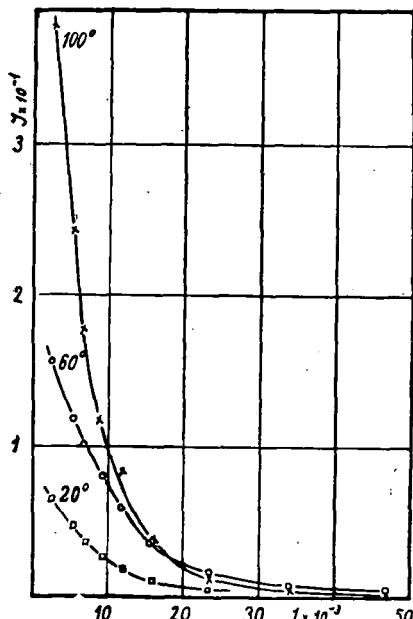
Wellenlänge	529	613
$\alpha$	155 154 159 147 157	115 113 100
$\alpha$ Mittelwert	154	109

Alle diese Untersuchungen zeigen also, dass die Geschwindigkeit der Abklingung bei diesem Farbstoff für alle untersuchten Konzentrationen und Temperaturen bei längeren Wellenlängen abnimmt.

d) *Die Abhängigkeit der Abklingung von der Temperatur.* Meine weiteren Untersuchungen beziehen sich auf die Abhängigkeit der Abklingung von der Temperatur. Die Messungen wurden hier alle in der Nähe des Emissionsmaximums, bei 558  $\mu\mu$  durchgeführt.

Ich muss noch bemerken, dass die Phosphoreszenzemission der Farbstoffplatten bei hoher Temperatur während der

Untersuchung in grossem Masse abnimmt, der Farbstoff verbleicht nämlich. Um diesen Fehler zu vermeiden, wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Eine Reihe in der Richtung von wachsendem  $t$ , und eine fortsetzungsweise in der Richtung von abnehmendem  $t$ . Es wurde der Mittelwert der einzelnen  $I$  Werte genommen, und so graphisch dargestellt. Dadurch wurde die Kurve auf eine Intensität reduziert, als wenn der



Figur 8.

Tabelle 7.

Temperatur	$20^\circ$	$60^\circ$	$100^\circ$
$\alpha$	82	104	163
	93	102	152
	94	104	155
	84.6	96	151
	90		165
$\alpha$ Mittelwert	88	101	157

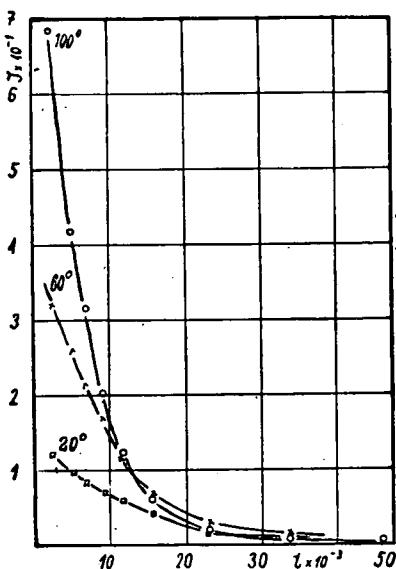
Phosphor einer Messreihe entsprechende Zeit (cca 40 sec) schon beleuchtet gewesen wäre.

Figur 8. zeigt die Abklingungskurve von der Konzentration — 3.5 bei den Temperaturen 20, 60, und  $100^\circ\text{C}$ . Hier erhöht sich, wie zu sehen, die Emission mit wachsender Temperatur in ausserordentlich grossem Masse. Die auf Grund dieser Figur berechneten  $\alpha$  Werte sind in Tabelle 7. zu finden. Wie die Tabelle zeigt, wächst auch die Geschwindigkeit der Abklingung mit wachsender Temperatur,  $\alpha$  wird nämlich immer grösser.

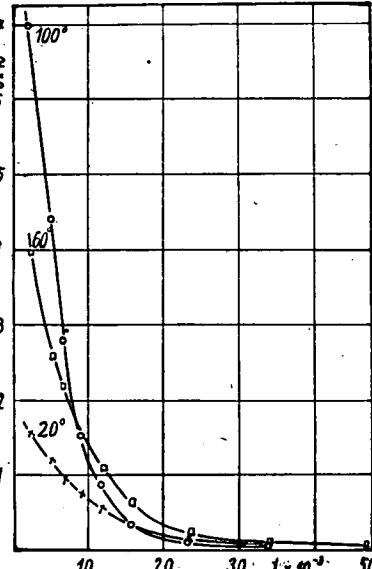
Figur 9. und 10., und die laut diesen zusammengestellte

Tabelle 8. geben ebenfalls den Zusammenhang zwischen der Abklingungskurve, beziehungsweise der Abklingungskonstante und der Temperatur bei den Konzentrationen —3 und —2.5. Die Resultate stimmen mit den vorherigen überein.

In Figur 11 sieht man die Abklingung für die Konzentration —2 bei den Temperaturen 20°C und 100°C. Bei dieser



Figur 9.



Figur 10.

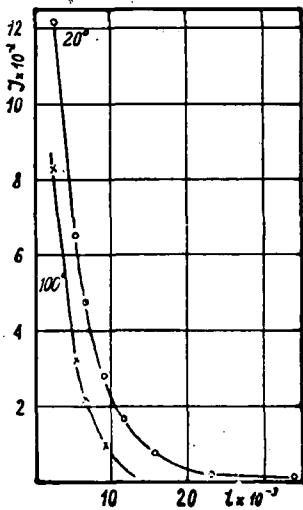
Tabelle 8.

Konzentration	—3			—2.5		
Temperatur	20°	60°	100°	20°	60°	100°
$\alpha$	84.6	103	176	106	138	205
	94	104	183	116	138	240
	85.8	113	163	123	138	197
	98.5	102	155	111	130	226
	99	100	166	109	129	
	88	110		102		
	86					
$\alpha$ Mittelwert	90	108	174	111	134	217

Konzentration ist das Temperaturoptimum von den bisherigen Fällen abweichend bei niedriger Temperatur. Hier wird die Intensität gegen grössere Temperaturen kleiner. Zur Erklärung dieser Erscheinung sind noch weitere Untersuchungen nötig.

Trotzdem ist aus der Tabelle zu sehen, dass auch bei dieser Konzentration die Abklingung bei höheren Temperaturen schneller vor sich geht,  $\alpha$  ist nämlich grösser.

Aus der eben beschriebenen Messreihe ergibt sich also ein merkwürdiges Resultat, dass nämlich die Geschwindigkeit der Abklingung, die Abklingungskonstante mit wachsender Temperatur grösser wird, ganz unabhängig davon, wie sich die Emissionsintensität ändert.



Figur 11.

Tabelle 9.

Temperatur	20°	100°
$\alpha$	186	404
	194	414
	212	
	193	
$\alpha$ Mittelwert	196	409

Diese Resultate zeigen zu den Kristallphosphoren eine gewisse Ähnlichkeit. Lenard unterscheidet auf Grund seiner Untersuchungen drei Zustände des Phosphors. Bei tiefen Temperaturen ist der Phosphor im unteren Momentan-Zustand. Hier kommt keine Phosphoreszenzemission vor, die eingeschaltete Energie wird im Phosphor nur aufgespeichert. Dann kommt der Phosphor in einem mittleren Temperaturintervall in den sogenannten Dauerzustand, wo der Phosphor emissionsfähig ist. Der Phosphor emittiert während der Erregung, und auch nachher. Bei hohen Temperaturen entsteht der sogenannte obere Momentan-Zustand. Hier ist keine Energiespeicherung mehr möglich, und dem entsprechend geht der Ausstrahlungsprozess so schnell vor sich, dass die Phosphoreszenz gänzlich fehlt. Die Abklingung ist also um so kürzer,

je höher die Temperatur ist. Die entsprechenden Temperaturintervallen sind je nach den einzelnen Phosphormaterialien verschieden, und sogar bei demselben Phosphor kann sich bei den verschiedenen Banden ein Unterschied ergeben. Vergleicht man meine Resultate mit denen über Kristallphosphore, so sieht man, dass meine Untersuchungen in dem den Kristallphosphoren entsprechenden mittleren Temperaturintervall geschahen. Der Verlauf der Abklingung ist ähnlich, wie bei den Kristallphosphoren. Setzt man den unteren und oberen Temperaturzustand auch bei den Farbstoffphosphoren voraus, so ist in diesen die Bestimmung der Abklingungskurve nicht möglich. Die Emission geht nämlich bei tiefen Temperaturen unendlich langsam vor sich (sie ist auch sehr schwach), und bei hohen Temperaturen klingt sie unendlich schnell ab. Hier ist nur mehr eine Fluoreszenzemission zu finden. Diese extreme Zustände waren aus technischen Gründen nicht zu untersuchen.

Vergleicht man die Resultate der Figuren 8, 9, 10, 11 untereinander, so sieht man, dass der Phosphor auch bei hohen konstanten Temperaturen die Eigenschaft besitzt, mit wachsender Konzentration einen grösseren  $\alpha$  Wert, also eine schnellere Abklingung zu haben.

#### IV. Zusammenfassung.

Die Abklingung der Farbstoffphosphore folgt einer Exponentialgleichung.

Mit zunehmender Konzentration nimmt auch die Geschwindigkeit der Abklinkung zu, unabhängig von der Änderung der Emissions-Intensität. Dasselbe ist auch bei einer hohen, aber konstanten Temperatur gültig.

Mit wachsender Wellenlänge nimmt die Geschwindigkeit der Abklinkung ab. Dies ist auch bei einer hohen, aber ständigen Temperatur gültig.

Bei einer hohen Tieperatur verläuft die Abklingung schneller, unabhängig von der Änderung der Konzentration und Intensität.

Die Resultate über die Abklingung der Phosphoreszenz-Emission der Farbstoffphosphore zeigen eine grosse Übereinstimmung mit den bei den Kristallphosphoren gewonnenen Ergebnissen.

Vorliegende Arbeit wurde im Institut für Experimentalphysik der K. Ung. Nikolaus Horthy Universität vollendet. Auch hier möchte ich Herrn Professor und Institutedirektor Dr. *Paul Fröhlich* für die wertvollen Ratschläge und Überlassung der Messeinrichtungen meinen innigsten Dank aussprechen. Auch Frl. Dr. *Helene Mischung*, Frl. Dr. *Gizella Bámos* und Herrn *Joseph Dombi* danke ich für manche freundliche Beihilfe bestens. Die Experimentelle Einrichtung danke ich der Rockefeller Stiftung.

Szeged, 1942. Mai.

### Schrifttum.

1. E. Becquerel: Ann. Chim. et Physic. 62. (1861.)
- P. Lenard u. W. Hauser: Heidelb. Ber. (1912) 12 Abh.
- P. Lenard: Über Lichtsummen bei Phosphoren. Heidelb. Winter (1912.)
- P. Lenard u. W. Hauser: Abklingen. Heidelb. Winter (1912.)
- W. Hauser: Dissertation Heidelberg, (1913.)
- P. Lenard: Ausleuchtung und Tilgung. Heidelb. Ber. 5 u. 7 Abh. (1917.)
- P. Pringsheim: Fluorescenz u. Phosphorescenz. I. Springer. Berlin (1928.)
- Handb. d. Exp. Physik. XXIII. 1., 2. Akad. Verlagsg. Leipzig.
- N. Riehl: Physik u. technische Anwendungen d. Lumineszenz. I. Springer. Berlin. (1941.)
2. Gaviola: Z. Physik. 35. (1926.) 748.
- A. Jablonski: Z. Physik. 103. (1936.) 526.
- F. Duschinsky: Z. Physik. 81. (1933.) 23.
- E. Gaviola: Ann. Physik. 81. (1926.) 681.
- R. Delorme u. Perin: J. Physic et Radium VI. 10. (1929.) 177.
3. A. Pospielow: Verh. Deutsch. Phys. Ges. 16. (1914.) 411.
4. Fröhlich P.: Math. Termtud. Értesítő. 47. (1930.) 80.
5. Handbuch d. Exp. Phys. XXIII. 1. Akad. Verlagsg. Leipzig (1928.) 107.
6. Mischung I.: Acta chem. mineral. et physic. univ. Segediensis 6. (1938.) 16.
7. F. F. Martens u. F. Grünbaum: Ann. Physik. 12. (1903.) 985.
8. Fröhlich P.: Acta chem. mineral. et physic. univ. Segediensis 4. (1934.) 1.
9. E. Wiedemann: Wiedemann Ann. 34. (1888.) 446.
- Handbuch d. Exp. Phys. XXIII. 1. Akad. Velagsg. Leipzig. (1928.)
10. E. Wiedemann: Wiedemann Ann. 34. (1888.) 446.
11. P. Pringsheim: Fluorescenz u. Phosphorescenz. I. Springer. Berlin (1928.)
- N. Riehl: Phys. u. Techn. Anw. d. Lumineszenz. I. Springer. Berlin (1941.) 77.