

Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung

Nr. 211

Zur Theorie der Verfärbung des Steinsalzes durch  
Becquerelstrahlen, II

Von

Karl Przibram

(Mit 2 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Dezember 1927)

In der ersten Mitteilung unter diesem Titel<sup>1</sup> war gezeigt worden, daß sich die von M. Belar<sup>2</sup> festgestellte Abhängigkeit der Sattverfärbung des Steinsalzes durch  $\beta$ - $\gamma$ -Strahlen von der Strahlungsintensität für die stärkeren Intensitäten angenähert durch drei verschiedene halbempirische Formeln darstellen läßt:

1. 
$$n_{\infty} = c_1 (1 + \gamma J),$$

2. 
$$n_{\infty} = \frac{1}{c_2 (1 - \gamma J)},$$

3. 
$$n_{\infty} = c_3 e^{\gamma J}$$

Bei kleineren Intensitäten ist noch die Berücksichtigung der Dunkelreaktion erforderlich, und es wird:

1. 
$$n_{\infty} = \frac{\alpha J}{\beta J + \delta} (1 + \gamma J),$$

2. 
$$n_{\infty} = \frac{\alpha J}{(\beta J + \delta)(1 - \gamma J)},$$

3. 
$$\frac{\alpha J}{\beta J + \delta} e^{\gamma J}$$

Hiezu trat noch ein relativ kleiner Summand, der den Sattwert sehr rasch sich verwandelnder Zentren (Anfangsanstieg) angibt.

In der ersten Mitteilung war das Hauptaugenmerk auf Formel 3 gerichtet, die eine interessante Deutung auf Grund der Betrachtungen von Blau und Altenburger über Doppeltreffer-Wahrscheinlichkeiten zuläßt, zu der man sich aber wohl nur dann entschließen wird, wenn sich kein anderer Ausweg zeigt. Auf einen

<sup>1</sup> K. Przibram, Wr. Ber. (IIa), 135, 197, 1926.

<sup>2</sup> M. Belar, ebenda, 187.

solchen ist schon an der genannten Stelle auf eine Anregung von F. Urbach hin verwiesen worden (Ansatz III): Verwandlung einer Farbzentrenart in eine zweite, die nicht durch die Strahlung, wohl aber durch Dunkelreaktion entfärbt wird, ein Ansatz, der auf Formel 1 führt.

Zunächst sei durch Fig. 1 gezeigt, daß auch diese Formel die Beobachtungen gut darstellen läßt. Die benützten Werte der Konstanten sind hiebei:

$$\alpha = 1.4, \quad \beta = 0.1, \quad \gamma = 1, \quad \delta = 0.0024.$$

Nun besteht aber die Möglichkeit, daß von Anfang an Farbzentren verschiedener Lebensdauer in einem sich verfärbenden Kristall vorhanden sind, und es muß untersucht werden, ob die

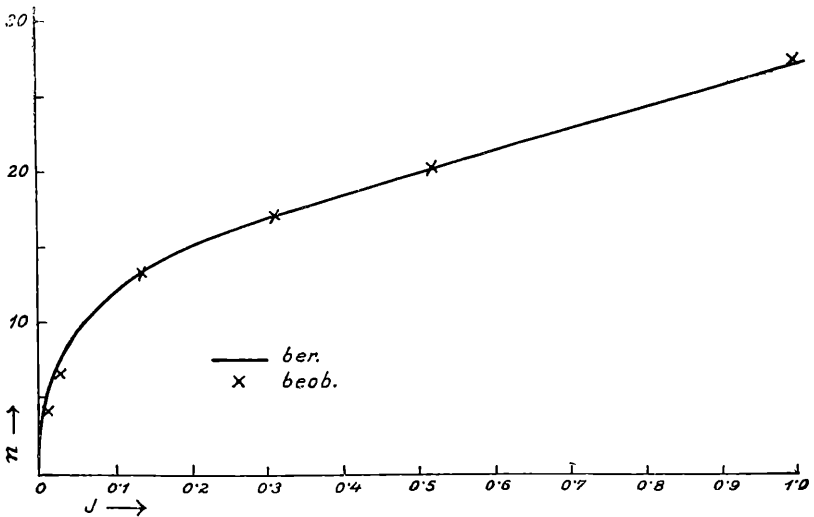


Fig. 1.

beobachtete Abhängigkeit der Sattverfärbung von der Intensität durch dieses gleichzeitige Vorhandensein verschiedener Zentren, statt durch die Umwandlung einer Art in die andere wiedergegeben werden kann.

Ansatz V Zwei unabhängige Zentrenarten geben den Gesamtsattwert

$$n_{\infty} = \frac{\alpha_1 J}{\beta_1 J + \delta_1} + \frac{\alpha_2 J}{\beta_2 J + \delta_2},$$

wobei der Index 2 die langsamer veränderlichen Zentren bezeichnen soll:

$$\beta_1 > \beta_2, \quad \delta_1 > \delta_2$$

und wahrscheinlich auch

$$\alpha_1 > \alpha_2.$$

Schreibt man dies in der Form:

$$n_{\infty} = \frac{\alpha_1 J}{\beta_1 J + \delta_1} \left( 1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \frac{\beta_1 J + \delta_1}{\beta_2 J + \delta_2} \right),$$

und nimmt man an, daß  $\delta_2 \gg \beta_2 J$  ist, so wird

$$n_{\infty} = \frac{\alpha_1 J}{\beta_1 J + \delta_1} \left( 1 + \frac{\alpha_2 \delta_1}{\alpha_1 \delta_2} + \frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1 \delta_2} J \right),$$

und dies geht in Formel 1 über, wenn noch die zweite Annahme gemacht wird, daß  $\frac{\alpha_2 \delta_1}{\alpha_1 \delta_2} \ll 1$  ist. Dann soll  $\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1 \delta_2} = \gamma$  sein.

Nach dem oben Gesagten wäre  $\gamma$  für Steinsalz gleich 1, also auch  $\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1 \delta_2}$  gleich 1. Dies ist mit der Bedingung  $\frac{\alpha_2 \delta_1}{\alpha_1 \delta_2} \ll 1$  verträglich, da aus den Beobachtungen  $\beta_1 \gg \delta_1$  folgt, und zwar  $\beta_1$  zirka 0·1,  $\delta_1$  zirka 0·002.

Die Abhängigkeit der Sattverfärbung von der Intensität läßt sich somit durch die Annahme der gleichzeitigen Anwesenheit zweier verschiedener Zentrenarten hinreichend darstellen; es muß nur angenommen werden, daß die langsameren Zentren wesentlich rascher durch die Dunkelreaktion als durch die Strahlung entfärbt werden.

Die gute Darstellbarkeit der Anstiegskurven (vom ersten steilen, einer dritten, sehr raschlebigen Zentrenart zuzuschreibenden Anfangsanstieg abgesehen) durch ein einziges Glied mit Konstanten von der Größenordnung, wie sie der Fig. 1 zugrunde gelegt wurden, läßt darauf schließen, daß die mit dem Index 1 bezeichneten Zentren weitaus überwiegen, so daß diese Anstiegskurven auch nach Ansatz V hinreichend dargestellt werden könnten; von den langlebigen Zentren 2 wäre nur vielleicht ein langsamer Anstieg noch über den beobachteten Sattwert zu erwarten, der mit den Beobachtungen nicht in Widerspruch stünde.

Es sei noch bemerkt, das Fräulein Zekert<sup>1</sup> bei ihren Beobachtungen über den Rückgang der Verfärbung bei höheren Temperaturen zur Annahme von mindestens drei Zentrenarten geführt wurde, die etwa den Zentren des Anfangsanstieges und der hier mit 1 und 2 bezeichneten entsprechen könnten. Der prozentuelle Gehalt an Zentren der verschiedenen Arten wird von Bestrahlungsdauer und Intensität und von der Temperatur abhängen; die Zekert'schen Messungen müssen daher andere Verhältnisse zeigen als die Belar'schen, bei Zimmertemperatur vorgenommenen: so zeigt Fig. 9 in der Arbeit von Fräulein Zekert ein starkes Überwiegen der stabilsten Zentren.

<sup>1</sup> B. Zekert, Wr. Ber. (IIa), 136, 337, 1927.

In der Arbeit von Fräulein Zekert ist auch gezeigt worden, daß im Falle des Kunzits der schon von Fräulein Belar gefundene zweistufige Verfärbungsanstieg gedeutet werden kann durch die Annahme, ein Teil der Zentren, und zwar die raschlebigeren, werde durch die Strahlung nicht nur entfärbt, sondern auch zerstört. Eine derartige Erscheinung ist von den  $\alpha$ -Strahlen bekannt (Bleichung der pleochroitischen Höfe, Zerstörung der Lumineszenzzentren nach Rutherford), bei  $\beta$ - $\gamma$ -Bestrahlung ist wiederholt (Urbach,<sup>1</sup> Jahoda,<sup>2</sup> Gröger<sup>3</sup>) eine leichte Abnahme der Verfärbung bei längerer Bestrahlung beobachtet worden, die aber nicht sicher die Fehlergrenzen überschritt. Bei Steinsalz ist eine Zerstörung der blauen Farbe durch  $\beta$ - $\gamma$ -Strahlung nachgewiesen.<sup>4</sup>

Sieht man auf Grund dieser Erfahrungen die Anstiegskurven für Steinsalz nach Belar an, so drängt sich die Vermutung auf, das merkliche »Durchhängen« der Beobachtungspunkte bei etwa hundert Tagen Bestrahlungsdauer wäre vielleicht durch einen ähnlichen Verlauf der Verfärbung bedingt wie bei Kunzit, daß also auch bei Steinsalz eine teilweise Zerstörung der Zentren stattfindet. Bestärkt wird diese Vermutung durch unveröffentlichte photoelektrische Absorptionsmessungen des Verfassers an Steinsalz unter ähnlichen Bedingungen wie bei Belar, die auch gerade nach hundert Tagen eine auffallende Wendung zeigen und daß sich etwas ganz ähnliches bei Zekert (Fig. 8) findet, nur daß hier bei höherer Temperatur (80°) die Durchbiegung schon nach etwa fünf Tagen angedeutet ist. Dies könnte immerhin im Hinblick auf die geringe Genauigkeit der Messungen noch alles Zufall sein. Die nachgewiesenen Fälle von Zentrenzerstörung lassen es aber doch angezeigt erscheinen, die Theorie der Verfärbung bei Anwesenheit zerstörbarer und — der Allgemeinheit halber sei dieser Fall gleich mitbehandelt — wieder regenerierbarer Zentren zu entwickeln.

Ansatz VI. Es sei  $n$  die Zahl der gefärbten Zentren,  
 $p$  die Zahl der färbbaren Zentren,  
 $q$  die Zahl der nicht färbbaren (zerstörten)  
 Zentren, wobei  $n+p+q = N$ , die Gesamtzahl aller in Betracht kommenden Teilchen, eine Konstante sein soll.

Bei gegenseitiger Umwandelbarkeit der Zentren hat man die drei Gleichungen:

$$\frac{dn}{dt} = Ap - Bn, \quad \frac{dp}{dt} = Dq - Ap, \quad \frac{dq}{dt} = Bn - Dq.$$

<sup>1</sup> F. Urbach, Wr. Ber. (IIa), 135, 149, 1926.

<sup>2</sup> E. Jahoda, ebenda, 135, 675, 1926.

L. Gröger, 135, 705. 1926.

<sup>4</sup> K. Przibram und M. Belar, ebenda, 132, 261, 1923.

Hierbei sind  $A$  (Färbungskoeffizient),  $B$  (Entfärbungskoeffizient gleich Zerstörungskoeffizient<sup>1</sup>) und  $D$  (Regenerierungskoeffizient) Funktionen der Bestrahlungsintensität.

Aus diesen drei<sup>2</sup> Gleichungen gewinnt man eine Differentialgleichung von der Form einer gedämpften erzwungenen Schwingung:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} + (D+A+B) \frac{dn}{dt} + (AB+AD+BD) = ADN,$$

und als Lösung

$$n = C_0 + \frac{AN}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}),$$

wo

$$C_0 = \frac{ADN}{AB+AD+BD}$$

$$\lambda_1 = -\frac{1}{2} [(D+A+B) - \sqrt{(D+A+B)^2 - 4(AB+AD+BD)}],$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2} [(D+A+B) + \sqrt{(D+A+B)^2 - 4(AB+AD+BD)}]$$

Dies bedeutet in dem hier wohl allein in Betracht kommenden aperiodischen Fall<sup>2</sup> eine Kurve von dem in Fig. 2 gegebenen Verlauf.

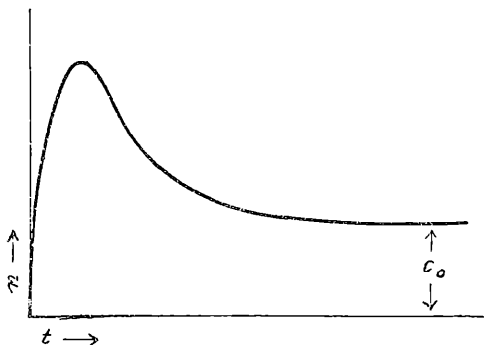


Fig. 2.

Ohne Regenerierung, d. h. mit  $D$  gleich  $0$  und daher  $C_0$  gleich  $0$ , sinkt die Kurve auf  $0$  herab; in dieser Form wurde eine derartige Gleichung von Fräulein Zekert für den Fall des Kunzits benützt, ohne daß sich hier vorläufig entscheiden läßt, ob  $C_0$  nicht doch größer als  $0$  anzunehmen wäre.

<sup>1</sup> Diese Gleichsetzung ist natürlich nicht notwendig; es könnten Zentren entfärbt werden, ohne zerstört zu werden.

Vielleicht ist der gedämpft-periodische Fall zur Deutung der sich periodisch wiederholenden Solarisation der photographischen Platte verwendbar, wobei allerdings durch eine Modifikation der Annahmen (etwa Zeitabhängigkeit der Koeffizienten) der offenbar mit der Dosis wachsenden »Schwingungsdauer« Rechnung zu tragen wäre.

Der hier gewonnene Ausdruck läßt sich ohne weiteres auch auf die Radiolumineszenzhelligkeit etwa des Fluorits anwenden, die ja schon früher vom Verfasser und E. Kara-Michailova<sup>1</sup> durch einen Ausdruck dieser Form dargestellt worden ist, nur mußte damals angenommen werden, daß ein Teil der Zentren nicht zerstört wird, um die von  $O$  verschiedene konstante Endhelligkeit zu erklären. Die Annahme einer Regenerierung der Leuchtzentren, wie sie schon von Walsh<sup>2</sup> zur Ergänzung der Rutherford'schen Theorie bei Helligkeitsabnahme der  $\alpha$ -Strahlenlumineszenz (Zentrenzerstörung) herangezogen worden ist, ersetzt die Annahme unzerstörbarer Zentren.

Unsere Formel steht naturgemäß in naher Beziehung zu der von Walsh für eine Leuchtfarbe aufgestellten, nur daß erstere nicht die Veränderlichkeit des der Leuchtfarbe zugesetzten Radioelementes enthält, letztere wiederum nicht den anfänglichen Helligkeitsanstieg bei konstanter Strahlungsintensität.

### Zusammenfassung.

Es wird gezeigt, daß die beobachtete Abhängigkeit der Sattverfärbung des Steinsalzes von der Bestrahlungsintensität wohl ungezwungener als in der ersten Mitteilung auch durch die Annahme zweier verschieden stabiler gleichzeitig vorhandener Zentrenarten wiedergegeben werden kann, von denen die stabilere mehr durch die Dunkelreaktion als durch die Bestrahlung entfärbt wird. Es wird die Theorie zerstörbarer und regenerierbarer Farbzentren entwickelt, die auch auf die Lumineszenz angewendet werden kann.

---

<sup>1</sup> K. Prziбрам und E. Kara-Michailova, Wr. Ber. (IIa), 132, 289, 1923.

<sup>2</sup> J. W. T. Walsh, Proc. Roy. Soc. (A.), 93, 550, 1917.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1927

Band/Volume: [136\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Przibram Karl

Artikel/Article: [Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 211. Zur Theorie der Verfärbung des Steinsalzes durch Becquerelstrahlen, II. 679-684](#)