

Physics. — *Mittlere freie Weglänge, Anregungswahrscheinlichkeit und Anregungsfunktion in Natriumdampf.* (Mitteilung aus dem Physikalischen Institut der Universität Utrecht). Von L. S. ORNSTEIN und B. BAARS.

(Communicated at the meeting of November 28, 1931.)

Zusammenfassung: Durch Vergleichen der absolut geeichten grünen Hg-Linie und der gelben Na-Linien wurde die Anregungswahrscheinlichkeit bestimmt. Dazu bedurften wir des Wirkungsquerschnitts und der mittleren freien Weglänge, welche aus der Intensitätsabnahme folgten. Zum Schluss wurde auch die Anregungsfunktion bestimmt.

Bei diesen Experimenten wurde das Natrium durch Elektronen angeregt

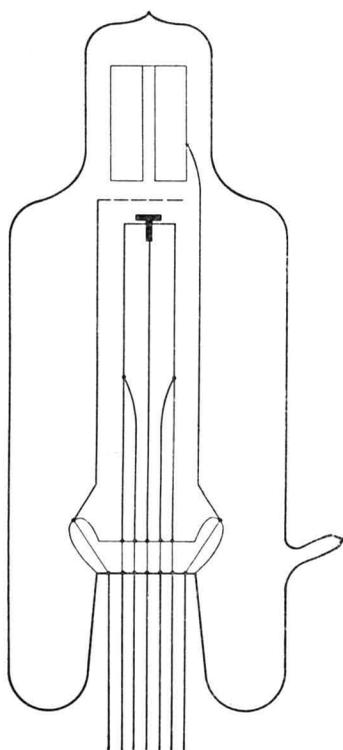


Fig. 1.

in einem Rohr mit Oxydkathode, wie sie in Fig. 1 gezeichnet ist. Die Kathode hatte die Form eines Pilzes und wurde durch einen Wolframdraht erhitzt; das Gitter war eine Spirale von Nickeldraht und die Anode ein Zylinder aus Nickel mit einem Spalt, dessen Höhe 2.0 c.m. und dessen Durchmesser 0.8 c.m. betrug. Der Abstand zwischen der Kathode und dem Gitter wurde klein gewählt, damit man möglichst viel Elektronen erhält, weil dann der Einfluss der Raumladung am geringsten ist. Notwendig für die Messungen ist, dass es zwischen dem Gitter und der Anode kein Feld giebt. Auch war es erwünscht, wenn möglich keine Selbstabsorption zu bekommen, und daher war der Spalt der Anode der Glasswand sehr nahe gestellt. Damit man die richtige Gitterspannung messen konnte, war ein Draht an der Kathode angebracht worden. Das Natrium wurde erhalten durch Erhitzen von Natriumaziden und dreimalige Destillation des erhaltenen Natriums. Um eine nicht zu kleine Dampfspannung des Natri-

ums zu haben, war eine ziemlich hohe Temperatur erforderlich; daher war das Rohr in einem Ofen angebracht, und es stellte sich heraus, dass dieser Ofen bifilär gewickelt sein musste, da sich sonst ein Einfluss des Ofenstromes geltend machte.

Die Intensität der Linien wurde mittels der im hiesigen Institut gebräuchlichen photographischen Methode gemessen, wobei der Spalt der Anode auf dem Spalt eines Spektrographen abgebildet wurde.

Die Intensitätsabnahme mit der Höhe über dem Gitter wurde bei einer Temperatur von 365° C. bestimmt (die Dampfspannung des Natriums ist dann 0.015 c.m. Hg.). Die Gitterspannung betrug 4 Volt und die Stromstärke zwischen Gitter und Anode 0.36 m.A. In Fig. 2 sind die Resultate

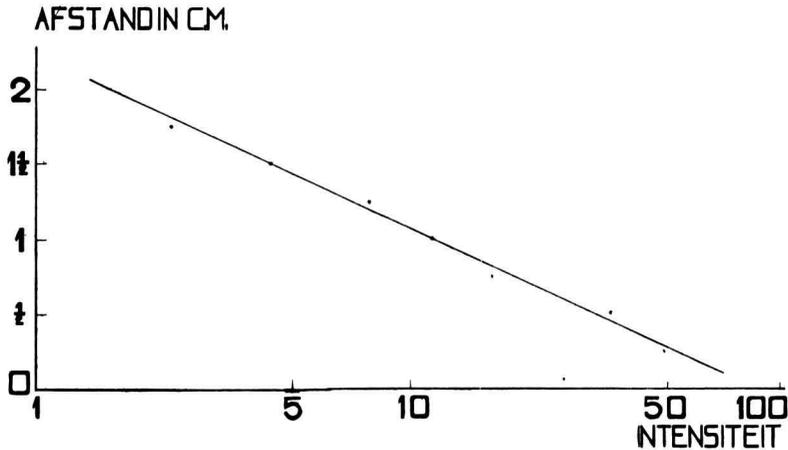


Fig. 2.

graphisch derart dargestellt dass die Intensität als Funktion der Höhe eingetragen ist.

Haben wir ein homogenes Elektronenbündel, dann wird dessen Intensität dadurch abgeschwächt, dass die Elektronen mit den Na -Atomen stossen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron in einer Entfernung dx stösst beträgt $\frac{dx}{\lambda}$ wenn λ die freie Weglänge der Elektronen ist. Die Anzahl

Elektronen welche stösst, ist durch $-\frac{dN}{N}$ gegeben wenn N die ganze Anzahl der Elektronen ist. Man findet also für die Abnahme :

$$N = N_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}.$$

Wenn man annimmt, dass bei dieser kleinen Stromstärke und diesem Druck die Intensität der Linien der Anzahl der Elektronen proportional ist, so ist :

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}.$$

Das Experiment ergibt eine gute Übereinstimmung mit dieser Formel, und es stellt sich also heraus, dass wirklich ein Elektron das gestossen hat,

weiter hin verloren ist, wie bei der Ableitung dieser Formel angenommen war. Aus Fig. 2 kann man jetzt die freie Weglänge λ berechnen.

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{x}{10 \log I} = \frac{\lambda}{\log e} = 1.16 \quad ; \quad \lambda = 1.16 \times 0.43 = 0.5 \text{ cm.}$$

Theoretisch ist λ bestimmt durch die Formel:

$$\lambda = \frac{1}{N \pi \sigma^2}$$

worin N = die Anzahl der Atome pro c.m.³

σ = der Radius des Atoms bedeutet.

N berechnet man aus der Anzahl Grammatome pro c.m.³ bei einer Temperatur von 365° C. $N = 2.2 \times 10^{15}$.

Weil λ jetzt bekannt ist, kann man σ also berechnen:

$$\sigma = 1.7 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Dadurch, dass die Intensität der nichtgetrennten *D*-Linien mit derjenigen der *Hg*-Linie $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ einer absolut geeichten Quecksilberlampe verglichen wurde, kann die Anregungswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

Die Intensität der *Hg*-Linie war 3.5×10^{-2} Watt/c.m.² berechnet auf eine Kugel von 2 c.m. Durchmesser, wenn die Länge des Rohres 4.83 c.m. war. Zum Messen dieser Grösse wurde die Linie durch Filter isoliert und dann mit einer absoluten Thermosäule gemessen. Die Absorption der Filter wurde durch einen zweiten Satz von Filtern, welcher mit dem ersten Satz identisch war, bestimmt¹⁾. Damit die Intensität ohne grosse Zeitvariation mit derjenigen der *Na*-Linien zu vergleichen war, wurde die *Hg*-Linie bis auf $\frac{1}{6.7 \times 10^4}$ abgeschwächt mittels geeichter geschwärzter photographischer Platten. Die Spaltbreite des Spektrographen während der Aufnahme der *Hg*-Linie war 0.0013 c.m. und während der Aufnahme der *Na*-Linien 0.0059 c.m. und der Abbildungsstab war $\frac{2}{3}$.

Die ausgestrahlte Energie der *Hg*-Linie ist, berechnet auf eine Kugel:

$$3.5 \times 10^{-2} \times 4\pi \text{ Watt./Sek.}$$

Auf die Platte kommt also:

$$3.5 \times 10^{-2} \times 4\pi \times \frac{0.0013 \times 2.5}{4.83} \times \frac{1}{6.7 \times 10^4} \text{ Watt./Sek.}$$

Nun war die Beleuchtungszeit der *Hg*-Linie 45 Min. und diejenige der *Na*-Linien 90 Min. und dazu gehörten dann die Intensitäten 26 bzw. 66.

¹⁾ L. S. ORNSTEIN und E. F. M. VAN DER HELD, Ann. der Phys. **85**, 953, 1928.

Das Verhältnis der Plattenempfindlichkeit war $\frac{3}{4}$. Die ausgestrahlte Energie der *D*-Linien ist also :

$$3.5 \times 10^{-2} \times 4\pi \times \frac{0.0013 \times 2.5}{4.83} \times \frac{1}{6.7 \times 10^4} \times \left(\frac{45}{90}\right)^{0.885} \times \frac{66}{26} \times \frac{3}{4} \times 10^7 = 4.5 \times 10^{-2} \text{ erg/Sek.}$$

In dieser Formel ist 0.885 der SCHWARZSCHILDSche Zeitexponent.

Die Anzahl der Quanten, die ausgesandt werden, ist also pro Sekunde :

$$\frac{4.5 \times 10^{-2}}{3.34 \times 10^{-12}} = 1.4 \times 10^{10}.$$

Die Intensität der *Hg*-Linie 26 bekommt man durch Abbildung der *Hg*-Lampe, welche eine Höhe von 1.3 c.m. hat ; die abgebildete Oberfläche ist : $0.0013 \times 2.5 \times 1.3$ c.m.³ Wenn wir diese Intensität mit derjenigen der *D*-Linien vergleichen sollen, dann hat man dabei diejenige Lichtmenge zu betrachten, welche durch die Oberfläche : $0.0059 \times 2.5 \times 1.3$ c.m.² tritt. Dieses Licht kommt aus dem Volumen :

$$0.0059 \times 2.5 \times 1.3 \times 0.8 = 1.5 \times 10^{-2} \text{ cm}^3.$$

(0.8 c.m. ist der Durchmesser der Anode).

Die Anzahl der *Na*-Atome N_1 in diesem Volumen ist

$$1.5 \times 10^{-2} \times 2.2 \times 10^{15} = 3.3 \times 10^{13}.$$

Nun war die Stromstärke zwischen dem Gitter und der Anode 0.36 m.A. = 3.6×10^{-5} C.G.S. Einheiten, also die Anzahl der Elektronen pro Sekunde :

$$\frac{3.6 \times 10^{-20}}{1.59 \times 10^{-5}} = 2.3 \times 10^{15}.$$

Wir denken uns, dass die Verteilung dieser Anzahl über die Anode regelmässig ist. Durch die Grundfläche des oben berechneten Volumens tritt dann eine Anzahl von Elektronen N_2 hindurch pro Sekunde :

$$2.3 \times 10^{15} \times \frac{0.059 \times 2.5 \times 0.8}{3.14 \times 0.42} = 5.3 \times 10^{13}.$$

Dann ist also die Anzahl der Stösse pro Sekunde :

$$N_1 N_2 \pi \sigma^2 = 3.3 \times 10^{13} \times 5.3 \times 10^{13} \times 3.14 \times 2.9 \times 10^{-16} = 1.6 \times 10^{12}.$$

Die Anzahl der Quanten betrug pro Sekunde : 1.4×10^{10} .

Man findet also, dass nur ungefähr 1 % der Stösse das Aussenden eines Lichtquanten einer der beiden *D*-Linien verursacht. Im besten Falle d.h. bei 15 Volt ist dann 5 % der Stösse effektiv, wie Fig. 3 zeigt.

Zum Schluss wurde ein Teil der Anregungsfunktion jeder der beiden *D*-Linien bestimmt ¹⁾; das Resultat ist in Fig. 3 angegeben. Man sieht,

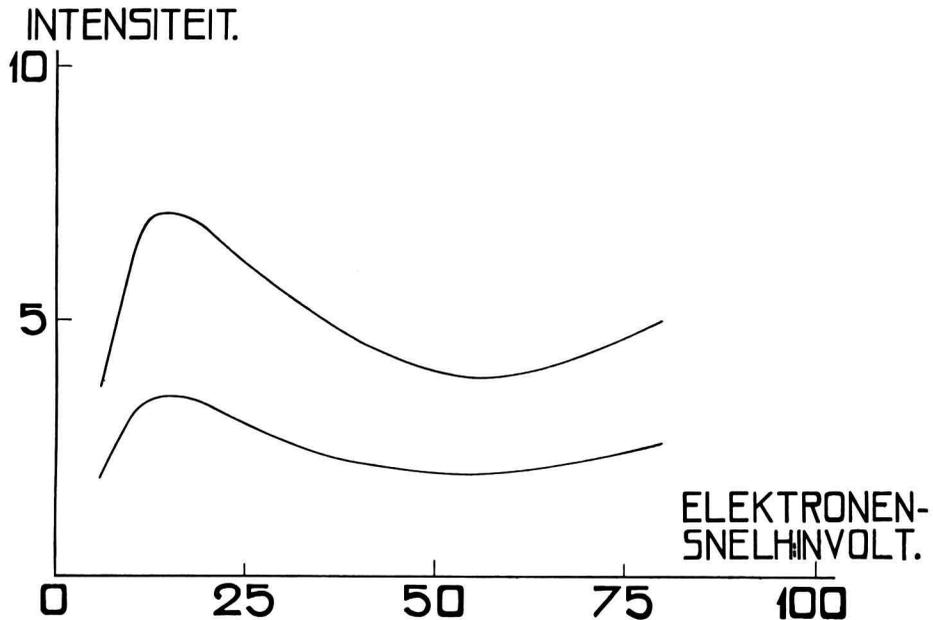


Fig. 3.

dass es ein Maximum gibt für ungefähr 15 Volt. Im Spannungsbereiche der untersucht wurde, ergaben die beiden Linien denselben Verlauf und ihr Intensitätsverhältnis war im ganzen Gebiete etwa 2 : 1. Dieses Resultat kann man auch folgendermassen formulieren. Das Verhältnis der Intensitäten bei Anregung verhält sich wie die Anzahl der Atome, welche durch Elektronenstoss ins p_1 bzw. p_2 -Niveau gebracht wird, d.h. also 2 : 1. Aber auch die Absorptionswahrscheinlichkeit für Strahlung von s nach p_1 und p_2 verhält sich wie 2 : 1. (ORNSTEIN und BURGER'sche Summenregel). Hier ist also gefunden, dass für die untersuchten Spannungen das Verhältnis der Anregungswahrscheinlichkeiten gleich demjenigen der Absorptionswahrscheinlichkeiten (B von EINSTEIN) ist.

¹⁾ Herrn Kand. Phil. G. VAN BEZEY möchten wir an dieser Stelle herzlich danken für seine Hilfe bei den Messungen.