

UNIVERSITÄT REGENSBURG

ANFÄNGERPRAKTIKUM B

# Versuch "hq": Bestimmung des Plankschen Wirkungsquantums

*Fabian Tanzer*

17. November 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Vorbereitungsaufgaben</b>	<b>3</b>
2.1	Kohärenz . . . . .	3
2.2	Interferenzbedingung . . . . .	4
2.3	Transmissionsgitter . . . . .	5
2.4	Dichtenverlauf an p-n-Übergang . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Quellen</b>	<b>5</b>

# 1 Allgemeines

Anfang des 20. Jahrhundert stellten John Rayleigh und James Jeans das sogenannte Rayleigh-Jeans-Gesetz auf, das die spektrale Energiedichte  $\rho$  eines Schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge  $\lambda$  beschreibt:

$$\rho(\lambda) = \frac{8\pi}{\lambda^4} k_B T$$

Dieses Gesetz kann man unter der Annahme von klassischer Physik deduktiv herleiten. Es ergibt sich der in der Abbildung ... blau gezeichnete Graph. Man sieht hier aber, dass  $\rho(\lambda)$  gegen unendlich strebt für kleine Werte. Dies wird als Ultraviolett-Katastrophe bezeichnet und stimmt nicht mit den experimentellen Befunden überein. Dies liegt daran, dass es mit der klassischen Physik keine Lösung des Problems gibt.

Daraufhin stellte Max Planck 1900 folgende Hypothese auf: Die Energie jedes einzelnen Oszillators ist quantisiert:

$$\epsilon = n\epsilon_0$$

Mit  $n = 0, 1, 2, \dots$ ,  $\epsilon_0 = \text{Energiequant} = h\nu$

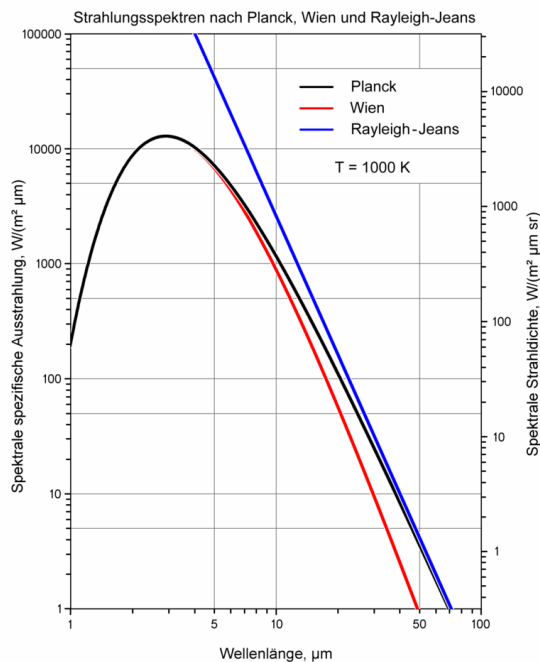
Das heißt also, dass Oszillatoren nicht mehr jeden beliebigen Energiewert annehmen können, sondern nur noch Vielfache vom sogenannten Planckschen Wirkungsquantum

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js (exakt)}$$

Dadurch schaffte er es dann das Planck Gesetz aufzustellen:

$$\rho(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Dies ist in Abbildung .... Als schwarzer Graph eingezeichnet und behebt die Ultraviolett-Katastrophe. Es stimmt also mit den experimentellen Befunden vollständig überein. Somit hat sich die Hypothese als richtig herausgestellt.



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Jeans-Gesetz>

Dies ist jedoch nur eins von vielen Beispielen, bei denen sich die Hypothese als nützlich erwiesen hat. Weiterhin konnte Albert Einstein damit den photoelektrischen Effekt erklären. Dabei werden durch UV-Licht Elektronen aus einer Kathode (Metalloberfläche) gelöst und anschließend durch eine Spannung beschleunigt. Er fand nämlich heraus, dass das Strahlungsfeld selbst gequantelt ist. Das wird auch häufig als Korpuskeltheorie bezeichnet. Zudem entwickelte er die sogenannte Einstein-Gleichung:

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$$

Diese beschreibt die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen aus der Kathode gelöst werden in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts. Wie man sieht, tritt auch hier wieder das Plancksche Wirkungsquantum auf. Die Austrittsarbeit  $W$  ist hierbei eine materialspezifische Konstante. Eine weitere Folge ist das 3. Bohrsche Postulat, welches besagt, dass nur diskrete Bahndrehimpulse möglich sind:

$$L = n \cdot \hbar$$

$\hbar$  ist hierbei das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \approx 1,054571817 \cdot 10^{-34} Js$$

## 2 Vorbereitungsaufgaben

### 2.1 Kohärenz

Was versteht man unter Kohärenz? Was ist der Unterschied zwischen zeitlicher und räumlicher Kohärenz?

Als **Kohärenz** bezeichnet man in der Physik die Eigenschaft von Wellen, dass sie sich die momentane Auslenkung an verschiedenen Orten zeitlich bis auf eine konstante Phasenverschiebung ändern.

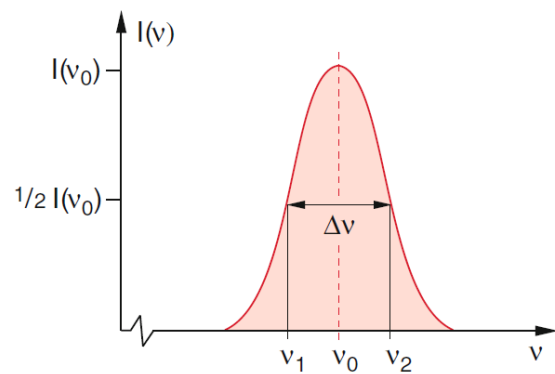
Ändert sich die Phasendifferenz  $\Delta\phi = \phi_j - \phi_k$  zweier Wellen  $\vec{E}_j$  und  $\vec{E}_k$  während der Beobachtungsdauer  $\Delta t$  um weniger als  $2\pi$ , so bezeichnet man die Wellen als **zeitlich kohärent**. Als **Kohärenzzeit** bezeichnet man die maximale Zeitspanne  $\Delta t_c$ , während der sich die Phasendifferenzen zwischen allen im Punkt P überlagerten Teilwellen um höchstens  $2\pi$  ändern.

Als **Kohärenzlänge**  $l_c$  bezeichnet man den maximalen Weglängenunterschied, den zwei Lichtstrahlen aus derselben Quelle haben dürfen, damit bei ihrer Interferenz noch ein stabiles Interferenzmuster entsteht. Sie ist direkt proportional zur Kohärenzzeit:

$$l_c = t_c \cdot c_{Medium}$$

Betrachtet man eine Lichtquelle mit der Zentralfrequenz  $\nu_0$  und der spektralen Breite  $\Delta\nu$ , so gilt für deren Kohärenzzeit:

$$\Delta t_c = \frac{1}{\Delta\nu}$$

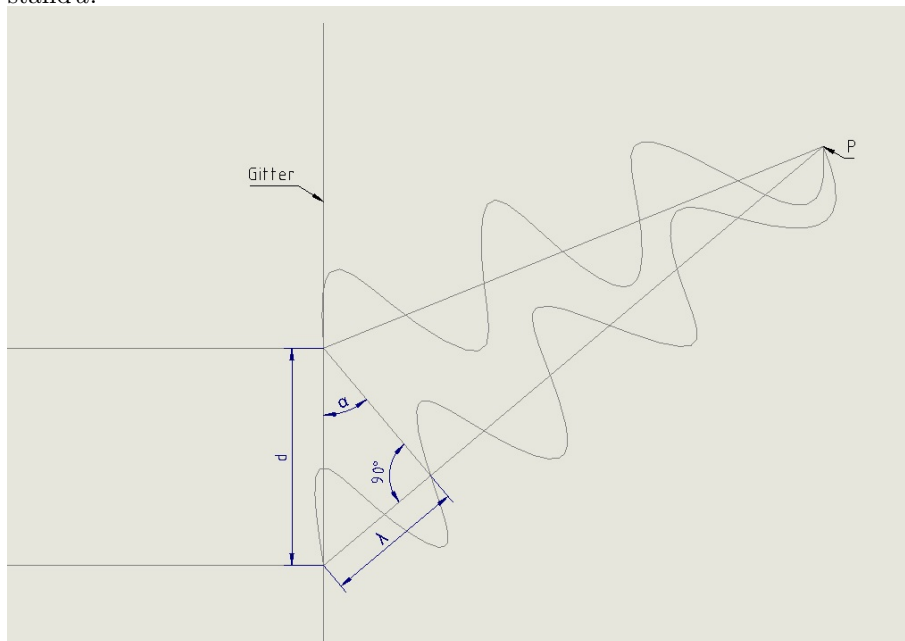


Quelle: Demtröder

## 2.2 Interferenzbedingung

Leiten Sie anhand einer Skizze die Interferenzbedingung am Gitter  $m\lambda = d\sin(\phi)$  her.

Wir betrachten dazu eine Lichtquelle mit der Wellenlänge  $\lambda$  und ein Gitter mit dem Gitterabstand  $d$ :



Quelle: Erstellt mit Solidworks

Destruktive Interferenz tritt auf, falls  $\Delta x = m\frac{\lambda}{2}$   
 Konstruktive Interferenz tritt auf, falls  $\Delta x = m\lambda$   
 mit  $m \in \mathbb{N}$

Aus dem Dreieck in der Skizze folgt:

$$\sin(\phi) = \frac{\Delta x}{d}$$

Also

$$\Delta x = d\sin(\phi) \stackrel{!}{=} m\lambda$$

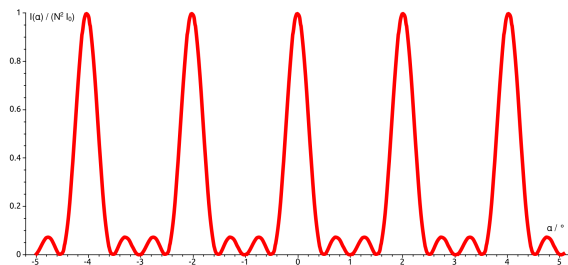
## 2.3 Transmissionsgitter

Wie schaut die Intensitätsverteilung eines Transmissionsgitters aus, das mit monochromatischem Licht beleuchtet wird?

Fällt Licht mit der Wellenlänge  $\lambda$  auf einen N-Fach Spalt, dessen Spalten den Abstand  $d$  haben, so kann (unter Vernachlässigung der Spaltbreite) folgende Intensitätsverteilung hergeleitet werden:

$$I(\phi) = I_0 \left( \frac{\sin \left( \frac{N\pi d \sin(\phi)}{\lambda} \right)}{\sin \left( \frac{\pi d \sin(\phi)}{\lambda} \right)} \right)^2$$

Mithilfe der Differentialrechnung kann gezeigt werden, dass zwischen den Hauptmaxima  $N-2$  Nebenmaxima und  $N-1$  Nebenminima liegen.



Quelle: Wikipedia - Optisches Gitter

## 2.4 Dichtenverlauf an p-n-Übergang

Abb. hq.8 im Skript zeigt die Konzentration der Ladungsträger an einem p-n-Übergang ohne angelegte äußere Spannung. Skizzieren Sie den Verlauf der Dichten, wenn eine äußere Spannung in Durchlassrichtung angelegt würde.

## 3 Quellen

Demtröder Wolfgang: Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik

Zinth: Optik. Lichtstrahlen-Wellen-Photonen

[www.Wikipedia.de](http://www.Wikipedia.de)