

Die Teilchenstrahlung

©Markus Baur

October 19, 2010

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- bisher bekannt: Das Licht ist eine Teilchenwelle, deren Bestandteil Photonen sind.

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- bisher bekannt: Das Licht ist eine Teilchenwelle, deren Bestandteil Photonen sind.
- Da die Photonen Teilchen sind, müssen sie einen Impuls besitzen.

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- bisher bekannt: Das Licht ist eine Teilchenwelle, deren Bestandteil Photonen sind.
- Da die Photonen Teilchen sind, müssen sie einen Impuls besitzen.
- Für die kinetische Energie eines Photons gilt: $E = mc^2$ und $E = hf$

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- bisher bekannt: Das Licht ist eine Teilchenwelle, deren Bestandteil Photonen sind.
- Da die Photonen Teilchen sind, müssen sie einen Impuls besitzen.
- Für die kinetische Energie eines Photons gilt: $E = mc^2$ und $E = hf$
- Daraus folgt für die Masse des Photons: $m = \frac{hf}{c^2}$

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- bisher bekannt: Das Licht ist eine Teilchenwelle, deren Bestandteil Photonen sind.
- Da die Photonen Teilchen sind, müssen sie einen Impuls besitzen.
- Für die kinetische Energie eines Photons gilt: $E = mc^2$ und $E = hf$
- Daraus folgt für die Masse des Photons: $m = \frac{hf}{c^2}$
- Daraus ergibt sich für den Impuls eines Photons:
$$p = mc \Rightarrow p = \frac{h \cdot \frac{c}{\lambda}}{c^2} = \frac{h}{\lambda}$$

- Mit Hilfe der Energiebeziehung eines Photons mit $\lambda = 525 \text{ nm}$ kann man seine Masse durch Rechnung bestimmen:

$$m_{\text{Photon}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{(3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot 525 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$m_{\text{Photon}} = 4,20 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

- Mit Hilfe der Energiebeziehung eines Photons mit $\lambda = 525 \text{ nm}$ kann man seine Masse durch Rechnung bestimmen:

$$m_{\text{Photon}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{(3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot 525 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$m_{\text{Photon}} = 4,20 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

- Elektronen besitzen mit $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ebenfalls eine sehr kleine Masse.

- Mit Hilfe der Energiebeziehung eines Photons mit $\lambda = 525 \text{ nm}$ kann man seine Masse durch Rechnung bestimmen:

$$m_{\text{Photon}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{(3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot 525 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$m_{\text{Photon}} = 4,20 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

- Elektronen besitzen mit $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ebenfalls eine sehr kleine Masse.
- Daher stellt sich die Frage: Kann man bei Elektronen ebenfalls Welleneigenschaften nachweisen?

- In einer Hochvakuumröhre wird durch eine Heizwendel und eine Lochanode ein Elektronenstrahl erzeugt.

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

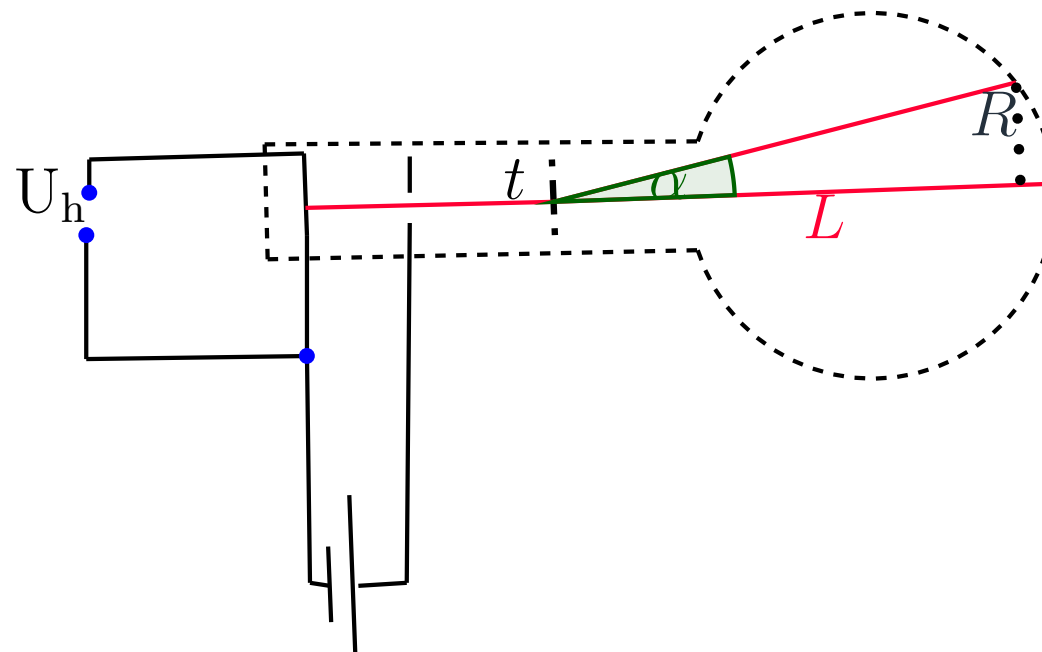
Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- In einer Hochvakuumröhre wird durch eine Heizwendel und eine Lochanode ein Elektronenstrahl erzeugt.
- Dieser Elektronenstrahl wird durch eine sehr dünne Goldfolie geleitet, die dadurch die Funktion eines optischen Gitters besitzt.

Der Versuchsaufbau hat dabei folgendes Aussehen:



- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau**
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis**
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

Es ergibt sich folgendes Bild auf dem Leuchtschirm der Röhre:



- Die Ringe sind ein Zeichen einer Interferenz, die durch die Beugung des Elektronenstrahls an der Goldfolie entsteht.

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Die Ringe sind ein Zeichen einer Interferenz, die durch die Beugung des Elektronenstrahls an der Goldfolie entsteht.
- Unter geeigneten Versuchsbedingungen verhält sich ein Teilchen wie eine Welle.

- Die Ringe sind ein Zeichen einer Interferenz, die durch die Beugung des Elektronenstrahls an der Goldfolie entsteht.
- Unter geeigneten Versuchsbedingungen verhält sich ein Teilchen wie eine Welle.
- Für ein Teilchen gilt für den Impuls die folgende Beziehung:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Von dem französischen Physiker de Broglie wurde die folgende Hypothese aufgestellt:

- Jedes bewegte materielle Teilchen verhält sich unter geeigneten Versuchsbedingungen analog zu einer Welle, deren Wellenlänge über die Impulsbeziehung ausgedrückt wird:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Von dem französischen Physiker de Broglie wurde die folgende Hypothese aufgestellt:

- Jedes bewegte materielle Teilchen verhält sich unter geeigneten Versuchsbedingungen analog zu einer Welle, deren Wellenlänge über die Impulsbeziehung ausgedrückt wird:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

- h ist das Plancksche Wirkungsquantum mit
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

- Bei der quantitativen Auswertung des Versuchs ist es unser Ziel, die Wellenlänge des Elektrons zu bestimmen.

Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

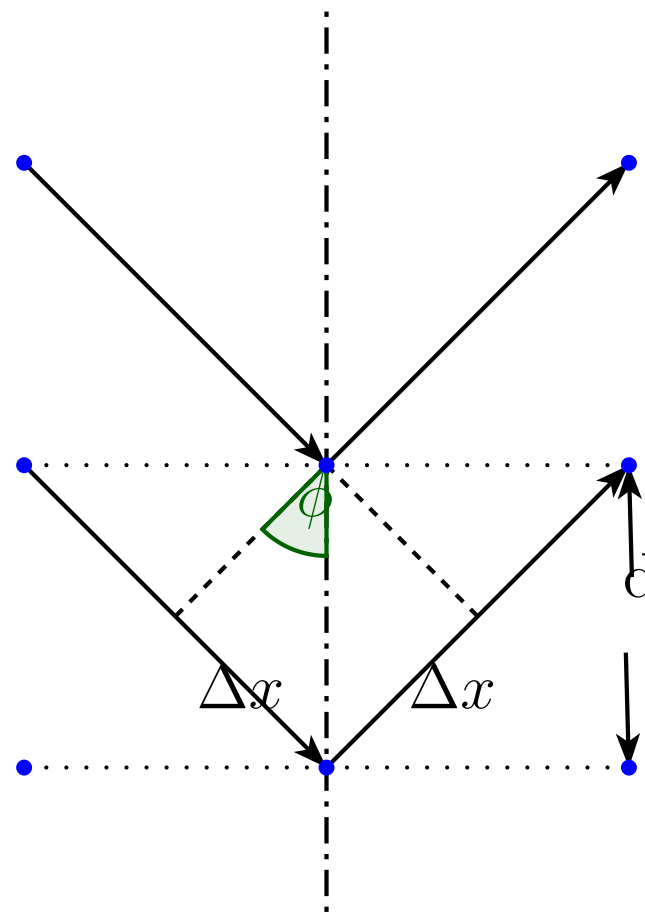
- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ**
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Bei der quantitativen Auswertung des Versuchs ist es unser Ziel, die Wellenlänge des Elektrons zu bestimmen.
- Die Wellenlänge des Elektrons lässt sich durch die angelegte Spannung und der de- Broglie-Hypothese berechnen.

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Bei der quantitativen Auswertung des Versuchs ist es unser Ziel, die Wellenlänge des Elektrons zu bestimmen.
- Die Wellenlänge des Elektrons lässt sich durch die angelegte Spannung und der de- Broglie-Hypothese berechnen.
- Der Vergleich der beiden Ergebnisse kann dann den Ansatz von de- Broglie eventuell bestätigen

Durchgang des Elektronenstrahl durch die Goldfolie (optisches Gitter)



- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg**
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2**
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Aus der schematischen Darstellung entnimmt man, dass der optische Gangunterschied zwischen dem oberen und unteren Strahl der Darstellung gilt: $\Delta s = 2\Delta x$

- Aus der schematischen Darstellung entnimmt man, dass der optische Gangunterschied zwischen dem oberen und unteren Strahl der Darstellung gilt: $\Delta s = 2\Delta x$
- Weiter kann man die folgende Beziehung folgern:

$$\sin \varphi = \frac{\delta x}{d} \Rightarrow \Delta x = d \sin \varphi$$

- Aus der schematischen Darstellung entnimmt man, dass der optische Gangunterschied zwischen dem oberen und unteren Strahl der Darstellung gilt: $\Delta s = 2\Delta x$

- Weiter kann man die folgende Beziehung folgern:

$$\sin \varphi = \frac{\delta x}{d} \Rightarrow \Delta x = d \sin \varphi$$

- Wenn der Gangunterschied zu einem Interferenzmaximum führt, dann gilt

$$2d \sin \varphi = k\lambda$$

- Aus der schematischen Darstellung entnimmt man, dass der optische Gangunterschied zwischen dem oberen und unteren Strahl der Darstellung gilt: $\Delta s = 2\Delta x$

- Weiter kann man die folgende Beziehung folgern:

$$\sin \varphi = \frac{\delta x}{d} \Rightarrow \Delta x = d \sin \varphi$$

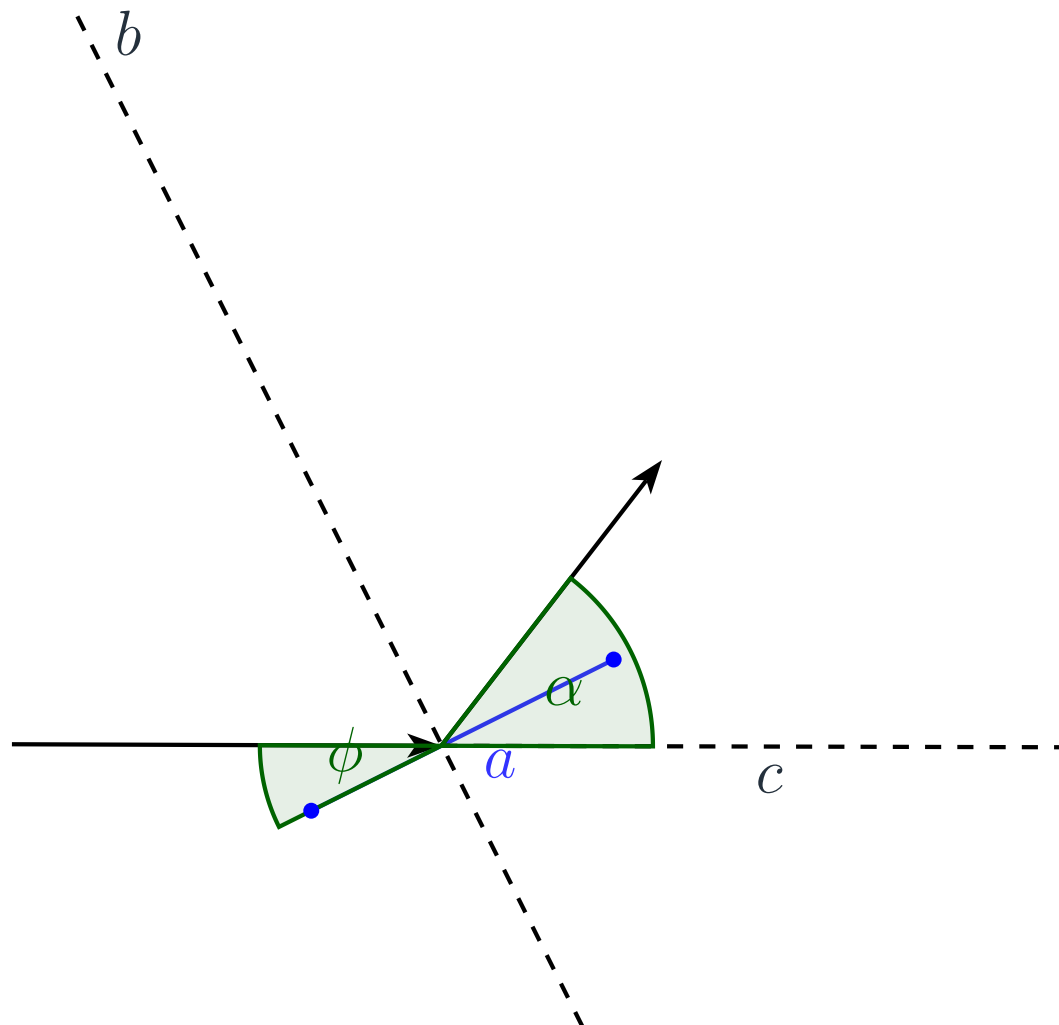
- Wenn der Gangunterschied zu einem Interferenzmaximum führt, dann gilt

$$2d \sin \varphi = k\lambda$$

- Die Einfallswinkel, unter denen ein Interferenzmaximum beobachtet werden kann, werden als Glanzwinkel bezeichnet.

Austrittswinkel

Den Durchgang des Elektronenstahls durch ein Kristall kann man sich wie folgt vorstellen:



Photonenimpuls

Photon und Elektron

Experiment

Aufbau

Ergebnis

Deutung

de Broglie

Quantitativ

Bragg

Bragg 2

Austrittswinkel

Radius

Konsequenz

Aus der vorhergehenden Darstellung entnimmt man $\alpha = 2\varphi$

$$\blacksquare \tan(2\varphi) = \frac{R}{L}$$

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius**
- Konsequenz

Aus der vorhergehenden Darstellung entnimmt man $\alpha = 2\varphi$

- $\tan(2\varphi) = \frac{R}{L}$

- Näherungsformel: $\tan 2\varphi = 2 \sin \varphi$ ergibt sich:

Aus der vorhergehenden Darstellung entnimmt man $\alpha = 2\varphi$

- $\tan(2\varphi) = \frac{R}{L}$

- Näherungsformel: $\tan 2\varphi = 2 \sin \varphi$ ergibt sich:

- $\frac{R}{L} = 2 \sin \varphi$

Aus der vorhergehenden Darstellung entnimmt man $\alpha = 2\varphi$

- $\tan(2\varphi) = \frac{R}{L}$
- Näherungsformel: $\tan 2\varphi = 2 \sin \varphi$ ergibt sich:
- $\frac{R}{L} = 2 \sin \varphi$
- Aus der Braggbedingung: $2 \sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$

Aus der vorhergehenden Darstellung entnimmt man $\alpha = 2\varphi$

- $\tan(2\varphi) = \frac{R}{L}$
- Näherungsformel: $\tan 2\varphi = 2 \sin \varphi$ ergibt sich:
- $\frac{R}{L} = 2 \sin \varphi$
- Aus der Braggbedingung: $2 \sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$
- Gleichsetzen ergibt: $\frac{R}{L} = \frac{k\lambda}{d}$

- Photonenimpuls
- Photon und Elektron
- Experiment
- Aufbau
- Ergebnis
- Deutung
- de Broglie
- Quantitativ
- Bragg
- Bragg 2
- Austrittswinkel
- Radius
- Konsequenz

- Die Wellenlänge kann aus dem Ringradius, dem Abstand der Folie zum Leuchtschirm und dem Kristallabstand bestimmt werden über:

- Die Wellenlänge kann aus dem Ringradius, dem Abstand der Folie zum Leuchtschirm und dem Kristallabstand bestimmt werden über:



$$\lambda = d \cdot \frac{R}{L}$$