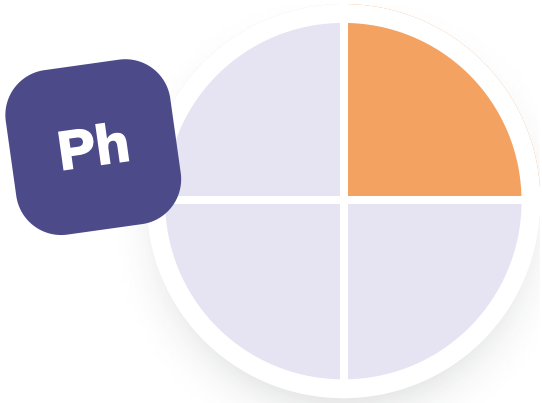
DYS+ Campus



Übungsheft · Physik · Klasse 13

Elektronen als Wellen

Erklärungen, 28 Aufgaben in drei Stufen und alle Lösungen, viele mit Begründung.

Name _____ **Datum** _____

Das lernst du

- Ich stelle die De-Broglie-Hypothese dar und berechne Wellenlängen.
- Ich erkläre Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre.
- Ich erkläre das Beugungsbild am Doppelspalt quantitativ.
- Ich vergleiche Energie, Impuls und Wellenlänge von Elektronen und Photonen.

So arbeitest du mit dem Heft

●○○ **Basis** zum Einstieg

●●○ **Standard** zum Üben

●●● **Plus** zum Weiterdenken

Du musst nicht alles machen. Fang bei Basis an. Die Lösungen stehen hinten im Heft.

Noch unsicher?

Scanne den Code. Dort wird das Thema Schritt für Schritt erklärt.

dysplus.de/lernen/gymnasium/klasse-13/physik/elektronen-als-wellen/die-de-broglie-hypothese

Kurz erklärt

Merksatz: $\lambda = h/p$. Elektron nach Beschleunigung: $\lambda \approx 1{,}226\ \text{nm}/\sqrt{(U \text{ in V})}$. Doppelspalt: $a_k \approx k \cdot \lambda \cdot L/g$.

Größe	Photon	Elektron
Impuls	$p = h/\lambda$	$p = m \cdot v$
Energie	$E = h \cdot c/\lambda$	$E = p^2/(2 \cdot m)$

λ eines Elektrons berechnen

1. Gegeben: $v = 1{,}0 \cdot 10^6$ m/s.
2. $p = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot 1{,}0 \cdot 10^6\ \text{m/s} = 9{,}11 \cdot 10^{-25}\ \text{kg·m/s}$.
3. $\lambda = h/p = 6{,}626 \cdot 10^{-34} : 9{,}11 \cdot 10^{-25} = 0{,}73$ nm.

Tipp: Rechne den Impuls zuerst aus. Dann teilst du h durch p.

Typischer Fehler: Gleiche Wellenlänge bedeutet gleichen Impuls, nicht gleiche Energie. Die Elektronenbeugungsröhre arbeitet mit Hochspannung, nur die Lehrkraft bedient sie.

●○○ Basis

Wissen sichern

1 Kreuze an.

a) Teilchen haben die Wellenlänge $\lambda =$ _____. ☐ **h/p** ☐ **h · p**

b) Mit größerem Impuls wird die Wellenlänge _____. ☐ **kleiner** ☐ **größer**

c) Auf dem Schirm der Beugungsröhre sieht man _____. ☐ **Ringe** ☐ **einen Punkt**

d) Höhere Beschleunigungsspannung macht den Ringradius _____. ☐ **kleiner** ☐ **größer**

e) Beim Doppelspalt mit Elektronen gilt $a_k \approx k \cdot \lambda \cdot$ _____. ☐ **g/L** ☐ **L/g**

f) Ein Elektron wird am Schirm als _____ registriert. ☐ **Streifen** ☐ **Punkt**

2 Setze ein: Wellenlänge, Impuls, Interferenz, Graphit.

a) Die De-Broglie-_____ ist h durch p.

b) Der _____ ist $p = m \cdot v$.

c) Das Überlagern von Wellen heißt _____.

d) Die Beugungsröhre nutzt eine dünne _____folie.

3 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) Elektronen zeigen Beugung und Interferenz. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

b) Bei höherer Spannung werden die Ringe größer. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

c) Ein einzelnes Elektron erzeugt ein ganzes Streifenmuster. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

d) Photonen haben keinen Impuls. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

●●○ Standard

Anwenden

4 Kreuze an.

a) $v = 2{,}0 \cdot 10^6$ m/s: λ = _____ nm. ☐ **3,6** ☐ **0,36**

b) U = 100 V: λ = _____ nm. ☐ **1,2** ☐ **0,12**

c) Vierfache Spannung: λ wird _____. ☐ **doppelt so groß** ☐ **halb so groß**

d) Elektron mit λ = 0,10 nm: $E_{kin} \approx$ _____ eV. ☐ **150** ☐ **12 400**

5 Rechnen.

a) Berechne λ für ein Elektron mit 1,0 kV.

b) Doppelspalt mit Elektronen: λ = 0,0388 nm, g = 1,0 µm, L = 1,0 m. Berechne a_1.

c) Bei 2,5 kV hat der erste Ring r = 2,0 cm. Wie groß ist er bei 10 kV?

d) Von 2000 Elektronen treffen 480 das mittlere Maximum. Wie viel Prozent?

e) Erkläre, warum Elektronenmikroskope Strukturen auflösen können, die Lichtmikroskope nicht sehen.

●●● Plus

Beurteilen und Denken (Leistungskurs)

6 Aufgaben für den Leistungskurs.

a) Berechne E_kin eines Elektrons mit λ = 0,10 nm und vergleiche mit der Energie eines Photons gleicher Wellenlänge.

b) Erkläre, wie die Ringe in der Elektronenbeugungsröhre die De-Broglie-Hypothese stützen.

c) Begründe, dass der Elektronen-Doppelspalt einen sehr kleinen Spaltabstand braucht.

d) Beschreibe, wie in einer Simulation das Muster Treffer für Treffer entsteht.

e) Bewerte: Zeigt der Versuch, dass ein Elektron sich teilt?

Kannst du das schon?

Kreuze an, wie sicher du dich fühlst. Hier gibt es kein Richtig oder Falsch.

Ich kann …	sicher	fast	noch nicht
Ich stelle die De-Broglie-Hypothese dar und berechne Wellenlängen.	☐	☐	☐
Ich erkläre Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre.	☐	☐	☐
Ich erkläre das Beugungsbild am Doppelspalt quantitativ.	☐	☐	☐
Ich vergleiche Energie, Impuls und Wellenlänge von Elektronen und Photonen.	☐	☐	☐

Tipp: Bei „noch nicht“ schau dir „Kurz erklärt“ vorne im Heft noch einmal an oder scanne den Code auf dem Deckblatt. Dann probierst du die Aufgaben noch einmal.

Lösungen

Erst selbst lösen, dann vergleichen. Bei vielen Aufgaben steht die Begründung dabei.

●○○ Basis: Wissen sichern

1 Kreuze an.

a) **h/p**

→ De-Broglie.

b) **kleiner**

→ λ ~ 1/p.

c) **Ringe**

→ Beugung an Graphit.

d) **kleiner**

→ λ sinkt.

e) **L/g**

→ Wie beim Licht.

f) **Punkt**

→ Einzelereignis.

2 Setze ein: Wellenlänge, Impuls, Interferenz, Graphit.

a) **Die De-Broglie-Wellenlänge ist h durch p.**

b) **Der Impuls ist p = m · v.**

c) **Das Überlagern von Wellen heißt Interferenz.**

d) **Die Beugungsröhre nutzt eine dünne Graphitfolie.**

3 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) **Stimmt.**

b) **Stimmt nicht. Richtig: Bei höherer Spannung werden die Ringe kleiner.**

c) **Stimmt nicht. Richtig: Ein einzelnes Elektron erzeugt einen Punkt. Erst viele Elektronen ergeben das Muster.**

d) **Stimmt nicht. Richtig: Photonen haben den Impuls p = h/λ.**

●●○ Standard: Anwenden

4 Kreuze an.

a) **0,36**

→ h/(m · v).

b) **0,12**

→ 1,226 : 10.

c) **halb so groß**

→ λ ~ 1/√U.

d) **150**

→ Photon: 12 400 eV.

5 Rechnen.

a) etwa 0,0388 nm

→ $\lambda = 1{,}226\ \text{nm} : \sqrt{1000}$.

→ $\sqrt{1000} = 31{,}6$.

b) etwa 38,8 µm

→ $a_1 = \lambda \cdot L/g$.

→ $3{,}88 \cdot 10^{-11} : 1{,}0 \cdot 10^{-6}$.

c) 1,0 cm

→ Vierfache Spannung.

→ Halber Radius.

d) 24 %

→ 480 : 2000.

e) Elektronen haben bei geringer Energie sehr kleine Wellenlängen. Kleine Wellenlängen erlauben feine Auflösung.

→ Vergleiche die Wellenlängen.

●●● Plus: Beurteilen und Denken (Leistungskurs)

6 Aufgaben für den Leistungskurs.

a) Elektron: 150 eV. Photon: 12,4 keV. Das Photon hat etwa 83-mal mehr Energie.

→ $p = h/\lambda$.

→ $E = p^2/(2 \cdot m)$.

→ $E = h \cdot c/\lambda$.

b) Der Radius sinkt wie $1/\sqrt{U}$. Das passt zu $\lambda = h/p$ mit $p = \sqrt{(2 \cdot m \cdot e \cdot U)}$.

→ Welche Beziehung gilt zwischen λ und U?

c) Die Wellenlänge liegt im Bereich 0,01 bis 0,1 nm. Nur bei kleinem g wird der Streifenabstand $a_k \approx k \cdot \lambda \cdot L/g$ groß genug, um ihn zu sehen.

→ Betrachte die Formel.

d) Einzelne Punkte erscheinen zufällig. Mit wachsender Zahl bilden sich Maxima und Minima.

→ Denke an die Trefferzahlen.

e) Nein. Jedes Elektron erzeugt genau einen Punkt. Das Muster entsteht aus der Verteilung vieler Elektronen.

→ Was sieht man pro Elektron?