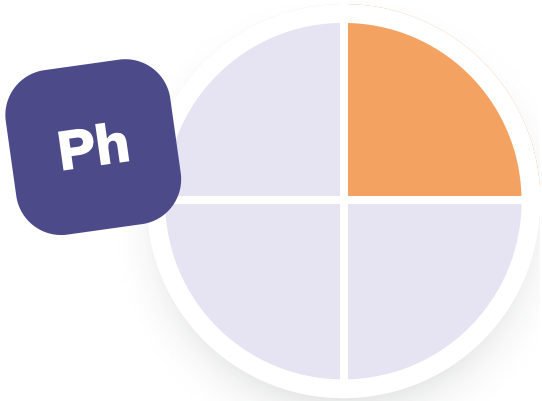
DYS+ Campus



Übungsheft · Physik · Klasse 13

Quantenobjekte deuten: Wahrscheinlichkeit und Wirklichkeit

Erklärungen, 25 Aufgaben in drei Stufen und alle Lösungen, viele mit Begründung.

Name _____ **Datum** _____

Das lernst du

- Ich beschreibe das Doppelspaltexperiment mit einzelnen Photonen.
- Ich rechne mit Nachweiswahrscheinlichkeiten und Streifenabständen.
- Ich erkläre Weginformation und Komplementarität.
- Ich stelle Deutungen der Quantenphysik nebeneinander.

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/quantenobjekte-deuten/einzelne-photonen-am-doppelspalt

Kurz erklärt

Aussage	Inhalt
Einzelnachweis	zufälliger Ort
viele Nachweise	festgelegtes Muster
Nachweiswahrscheinlichkeitsdichte	$\lvert\Psi\rvert^2$
Streifenabstand	$\Delta x = \lambda \cdot L / d$
Unbestimmtheit	$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$

Erwartete Nachweise

1. Gegeben: 1200 Nachweise, $\lvert\Psi\rvert^2$ im Verhältnis 4 : 1 : 0 : 1.
2. Summe: 6.
3. Ort A: $1200 \cdot \frac{4}{6} = 800$.

Merksatz: Wege unterscheidbar: kein Muster. Wege ununterscheidbar: Muster. Das Gesamtbild ändert sich durch späte Wahl nicht.

Typischer Fehler: Die Unbestimmtheitsrelation ist keine Aussage über schlechte Messgeräte, sondern eine Eigenschaft der Quantenobjekte.

Tipp: Rechne bei Wahrscheinlichkeiten immer mit dem Quadrat der Amplitude.

●○○ Basis

Muster und Wahrscheinlichkeit

1 Ergänze.

a) Ein einzelnes Photon gibt seine Energie an _____ Stelle ab.

b) Der Ort des nächsten Nachweises ist _____.

c) Viele Nachweise ergeben ein _____.

d) Verdoppelt sich die Amplitude, wird die Wahrscheinlichkeit _____-mal so groß.

2 Entscheide.

a) Sind die Wege ununterscheidbar, entsteht _____ Interferenzmuster. ☐ **kein** ☐ **ein**

b) Mit Weginformation entsteht _____ Muster. ☐ **ein** ☐ **kein**

c) $|\Psi|^2$ ist ein Maß für die _____. ☐ **Nachweiswahrscheinlichkeit** ☐ **Geschwindigkeit**

3 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) Jedes Photon verteilt seine Energie auf mehrere Punkte.

☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

b) Die Verteilung vieler Nachweise ist festgelegt.

☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

c) Der Streifenabstand wächst mit der Wellenlänge.

☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

●●○ Standard

Rechnen und Deuten

4 Rechne.

a) Rate: $P = 6{,}0 \cdot 10^{-12}$ W, $E = 3{,}0 \cdot 10^{-19}$ J: n = _____ $\cdot 10^{7}$ pro s

b) Aus $2{,}0 \cdot 10^{7}$ pro s folgt ein Abstand von _____ m ($c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s)

c) $\lambda = 600$ nm, d = 0,30 mm, L = 1,5 m: Δx = _____ mm

d) 1200 Nachweise im Verhältnis 4 : 1 : 0 : 1: bei Ort B _____ Nachweise

5 De-Broglie.

a) Impuls $m \cdot v = 1{,}0$ kg·m/s: λ = _____ $\cdot 10^{-34}$ m (auf eine Nachkommastelle gerundet, $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s)

6 Erkläre.

a) Warum entsteht das Muster auch bei einzelnen Photonen?

b) Warum zeigt ein Ball keine Interferenz?

c) Was bedeutet determinierte Zufallsverteilung?

7 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) Ein Quantenobjekt ist im Alltagssinn eine Welle. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

---

b) Lokale verborgene Größen sind experimentell ausgeschlossen. ☐ **stimmt** ☐ **stimmt nicht**

●●● Plus

Vor allem für den Leistungskurs

8 Koinzidenzen und Unschärfe.

a) $R_1 = 1{,}0 \cdot 10^5$ pro s, $R_2 = 2{,}0 \cdot 10^5$ pro s, $\tau = 2{,}0$ ns: $R =$ _____ pro s

b) $\Delta x = 1{,}0 \cdot 10^{-10}$ m: $\Delta p \geq$ _____ $\cdot 10^{-25}$ kg·m/s (auf eine Nachkommastelle gerundet)

c) Halbes Δx bedeutet _____ -faches Δp.

9 Deuten.

a) Warum ändert die späte Wahl im Delayed-Choice-Experiment das Gesamtbild nicht?

b) Nenne zwei Deutungen der Quantenphysik.

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 beschreibe das Doppelspaltexperiment mit einzelnen Photonen.	☐	☐	☐
Ich rechne mit Nachweiswahrscheinlichkeiten und Streifenabständen.	☐	☐	☐
Ich erkläre Weginformation und Komplementarität.	☐	☐	☐
Ich stelle Deutungen der Quantenphysik nebeneinander.	☐	☐	☐

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: Muster und Wahrscheinlichkeit

1 Ergänze.

a) Ein einzelnes Photon gibt seine Energie an einer Stelle ab.

b) Der Ort des nächsten Nachweises ist zufällig.

c) Viele Nachweise ergeben ein Interferenzmuster.

d) Verdoppelt sich die Amplitude, wird die Wahrscheinlichkeit 4-mal so groß.

2 Entscheide.

a) ein

→ Nur dann überlagern sich die Teilwellen.

b) kein

→ Die Wege sind unterscheidbar.

c) Nachweiswahrscheinlichkeit

→ So lautet die Wahrscheinlichkeitsinterpretation.

3 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) Stimmt nicht. Richtig: Jedes Photon gibt seine Energie an einer Stelle ab.

b) Stimmt.

c) Stimmt.

●●○ Standard: Rechnen und Deuten

4 Rechne.

a) Rate: $P = 6{,}0 \cdot 10^{-12}$ W, $E = 3{,}0 \cdot 10^{-19}$ J: $n = 2 \cdot 10^{7}$ pro s

b) Aus $2{,}0 \cdot 10^{7}$ pro s folgt ein Abstand von 15 m ($c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s)

c) $\lambda = 600$ nm, $d = 0{,}30$ mm, $L = 1{,}5$ m: $\Delta x = 3$ mm

d) 1200 Nachweise im Verhältnis 4 : 1 : 0 : 1: bei Ort B 200 Nachweise

5 De-Broglie.

a) **Impuls $m \cdot v = 1{,}0$ kg·m/s: $\lambda = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ m (auf eine Nachkommastelle gerundet, $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s)**

6 Erkläre.

a) **Jedes Photon hat dieselbe Verteilung der Nachweiswahrscheinlichkeit. Viele Nachweise zeigen sie.**

→ Denke an zufällige Einzelereignisse und feste Verteilung.

b) **Seine De-Broglie-Wellenlänge ist unmessbar klein.**

→ $\lambda = h / (m \cdot v)$.

c) **Der einzelne Ort ist zufällig, die Verteilung ist festgelegt.**

→ Unterscheide Einzelereignis und Verteilung.

7 Stimmt der Satz? Schreibe falsche Sätze richtig auf.

a) **Stimmt nicht. Richtig: Ein Quantenobjekt ist weder eine Welle noch ein Teilchen im Alltagssinn.**

b) **Stimmt.**

●●● Plus: Vor allem für den Leistungskurs

8 Koinzidenzen und Unschärfe.

a) **$R_1 = 1{,}0 \cdot 10^5$ pro s, $R_2 = 2{,}0 \cdot 10^5$ pro s, $\tau = 2{,}0$ ns: $R = 40$ pro s**

b) **$\Delta x = 1{,}0 \cdot 10^{-10}$ m: $\Delta p \geq 5{,}3 \cdot 10^{-25}$ kg·m/s (auf eine Nachkommastelle gerundet)**

c) **Halbes Δx bedeutet 2-faches Δp.**

9 Deuten.

a) **Das Muster zeigt sich erst in sortierten Teilmengen. Das Gesamtbild bleibt gleich.**

→ Denke an die Koinzidenzmethode.

b) **zum Beispiel Kopenhagener Deutung und Viele-Welten-Deutung**

→ Die Vorhersagen sind gleich.