

Sicherheit durch „Selber Lösen“

Dieses Übungsblatt soll Ihnen zeigen, dass Sie Kompetenzen in der Quantenphysik haben, Ihnen also Sicherheit geben. Ihre Antwort wird natürlich **nicht** eingesammelt. Sie bekommen allerdings nach Ihrer Bearbeitung ein Blatt mit der Musterlösung. Außerdem wird die Lösung im Anschluss von uns besprochen.

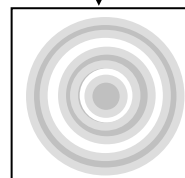
Sie können die Aufgaben in Einzel- oder gern auch in Partnerarbeit lösen. Wenn Sie Fragen haben, stehen wir zur Verfügung. (Wir geben auch Tipps! ☺)

Aufgabe 1

Wenn man Laserlicht durch ein Interferometer-Experiment (ohne Polarisatoren) schickt, bekommt man auf dem Schirm ein Muster von Beugungsringen.

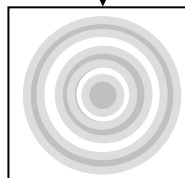
- a) Ein Physiker schickt ein einzelnes Photon durch ein Interferometer-Experiment (ohne Polarisatoren). Welche Vorhersage kann man für sein Schirmbild machen?

Zeichnen Sie hier ein typisches Schirmbild für 1 Photon.
(Angedeutet ist das klassische Schirmbild.)



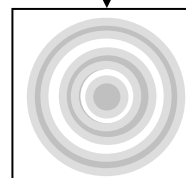
- b) Nun schickt er einen Pulk von ca. 50 Photonen durch seine Anordnung. Welche Vorhersage kann man nun für das Schirmbild machen?

Zeichnen Sie hier ein typisches Schirmbild für 50 Photonen.



- c) 50 Physiker/innen bauen an 50 verschiedenen Orten der Erde das identische Interferometer-Experiment (ohne Polarisatoren) auf. Jeder schickt nur **ein** Photon durch die Anordnung und kopiert sein Ergebnis auf eine Folie. Bei einem Treffen legen die 50 Physiker ihre Folien übereinander. Welche Vorhersage kann man für das entstehende Gesamtbild machen?

Zeichnen Sie hier ein typisches Schirmbild für die 50 Photonen von c)



Aufgabe 2:

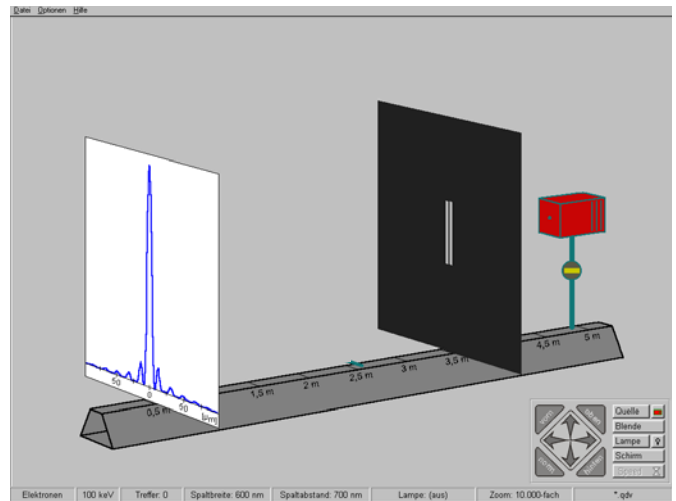
Person A und B machen je eine Aussage über das Doppelspaltexperiment mit Elektronen ohne Ortsmessungen an den Spalten.

Person A sagt: „Auch wenn man nicht weiß, durch welchen Spalt das Elektron geht: Das Elektron geht immer entweder durch den linken oder durch den rechten Spalt.“

Person B sagt: „Man kann dem Elektron keinen Spalt zuschreiben, durch den es gegangen ist.“

Beschreiben Sie, wie man experimentell entscheiden kann, wer recht hat.

Was ist das experimentelle Ergebnis? Wer hat also recht, A oder B? Begründung!



Aufgabe 3:

Ein Heliumatom wird auf eine extrem dünne Folie (einatomige Schicht, s. Abb) von regelmäßig angeordneten Atomen geschossen.

Es wird dort reflektiert und auf einem Schirm aufgefangen.

Es können zwei Ereignisse eintreten:

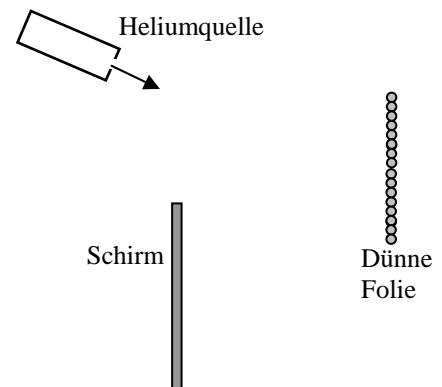
I: Das Heliumatom wird reflektiert und lässt die dünne Schicht unversehrt.

II: Das Heliumatom wird reflektiert, schlägt dabei aber ein Atom aus der dünnen Schicht.

Man beobachtet:

Im Fall I trägt das reflektierte Helium zu einem Interferenzmuster bei, im Fall II trägt es zu einer breiten Verteilung bei.

Erklären Sie dieses Ergebnis mit der Quantentheorie.

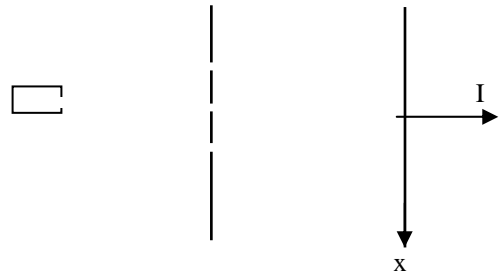


Aufgabe 4:

Wassermoleküle werden auf einen Dreifachspalt geschossen und dahinter auf einem Schirm aufgefangen.

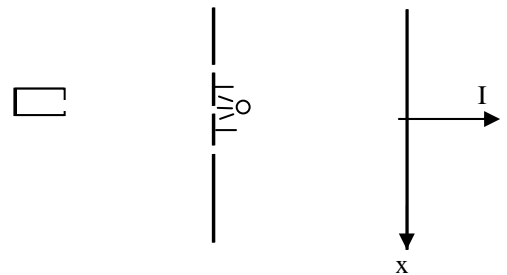
- a) Warum müssen die Wassermoleküle alle etwa die gleiche Geschwindigkeit haben, damit nach vielen Wiederholungen des Versuchs ein deutliches Interferenzmuster entsteht?

Zeichnen Sie das zugehörige $P(x)$ rechts ein.



Beschreiben Sie, wie man mit Hilfe von Pfeilen eine Vorhersage für das Auftreffen der Wassermoleküle auf dem Schirm machen kann. Zeichnen Sie auch ein Beispiel-Pfeildiagramm.

- b) Nun wird der mittlere Spalt beleuchtet, sodass man (lediglich) feststellen kann, ob ein Wassermolekül diesen Spalt passiert (s. schematische Abbildung links). Welches Ergebnis erwarten Sie nun auf dem Schirm?
Zeichnen Sie $P(x)$ ein.



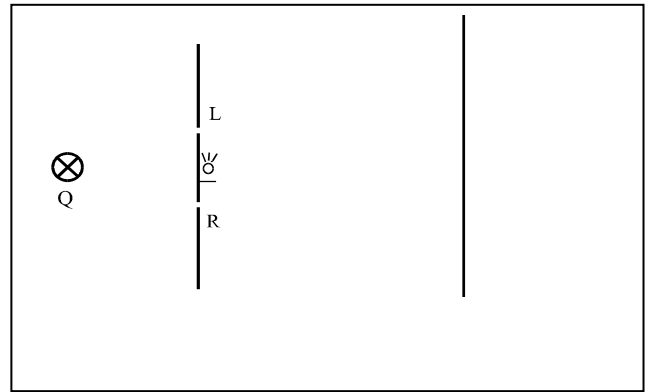
Beschreiben Sie, wie man dieses Ergebnis mit Hilfe des Pfeilformalismus bekommt.
Zeichnen Sie auch ein Beispiel-Pfeildiagramm.

Wie hängt der Ort des 1. Maximums vom Abstand d zweier benachbarter Spalte ab? Notieren Sie eine Formel!

Aufgabe 5.

Elektronen werden durch ein Doppelspaltexperiment geschickt. Mit einer Lichtquelle am linken Spalt stellt man zuverlässig fest, ob dort ein Elektron durchgeht.

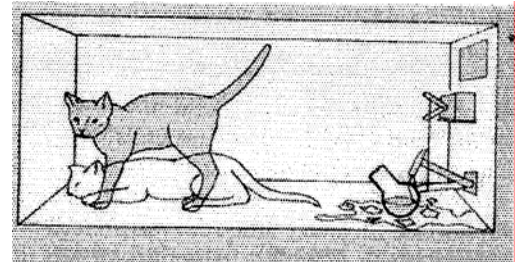
- a) Erwarten Sie am Schirm Doppelspalt-Interferenz?
Begründen Sie mit einem Grundprinzip der Quantenphysik!



- b) Person C behauptet: „Die Elektronen werden durch die Wechselwirkung mit dem Licht aus ihrer ursprünglichen Bahn gestoßen. Kein Wunder, dass sie nicht mehr zum Doppelspaltmuster beitragen.“
Wie kann man Person C widerlegen?

Aufgabe 6:

- a) Mit seinem „Katzenexperiment“ wollte Schrödinger eine für ihn unglaubliche Vorhersage der Quantenphysik aufzeigen. Erläutern Sie kurz seine **Argumentation**.
(Keine Versuchsbeschreibung verlangt!)



- b) Beschreiben Sie, wie man den anscheinenden Widerspruch mit Dekohärenz auflösen kann. Welches Grundprinzip der Quantenphysik benutzen Sie?

Aufgabe 7:

Zur Quantenverschlüsselung: Alice sendet Photonen an Bob.

a) Links hört niemand ab.

b) Rechts hört Eve ab.

| | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Alice | Gesendete Photonen: | | | | |
| | Gesendete Bits: | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Eve | hört ab | | | | |
| | <input checked="" type="radio"/> Nein | | | | |
| | <input type="radio"/> Ja | | | | |
| Bob | Polarisatorstellungen: | | | | |
| | Erhaltene Photonen: | | | | |
| | Erhaltene Bits: | - | 0 | - | 0 |

| | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|---|---|---|---|
| Alice | Gesendete Photonen: | | | | |
| | Gesendete Bits: | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Eve | Polarisatorstellungen: | | | | |
| | hört ab | | | | |
| | <input type="radio"/> Nein | | | | |
| | <input checked="" type="radio"/> Ja | | | | |
| | Erhaltene Photonen: | | | | |
| | Erhaltene Bits: | - | 1 | - | 1 |
| | Weitergesendet: | | | | |
| Bob | Polarisatorstellungen: | | | | |
| | Erhaltene Photonen: | | | | |

Zu a) (linkes Tableau):

In welchen der Übertragungen war die Bitübermittlung aufgrund der Basiswahl von Alice und Bob zuverlässig?

Zu b) (rechtes Tableau):

Bei welchen der vier Photonen können Alice und Bob durch Vergleich ihrer Photonen bemerken, dass Eve abhört?

Allgemein:

Es wurde eine Methode vorgestellt, mit der ein Zufallsschlüssel abhörer übermitteln wird.

Welche quantenphysikalischen Prinzipien ermöglichen dies?