

Test für Kapitel 1

Test-Aufgabe 1.1

3 Punkte

Vergleichen Sie Quantenobjekte mit Wellen: Geben Sie stichwortartig drei Gesichtspunkte an.

Test-Aufgabe 1.2

3 Punkte

- a) Wie kann man die Welleneigenschaft des Lichts nachweisen? (1 Satz genügt.)
- b) Die Strahlung im Küchen-Mikrowellenofen unterscheidet sich nicht prinzipiell vom sichtbaren Licht. Allerdings ist die Frequenz "bloss" 2.45 GHz ($G = 10^9$). - Wie lang sind diese Mikrowellen? Welche Energie besitzen die Quanten, die Ihre Milch aufwärmen?

Test-Aufgabe 1.3

3 Punkte

Bei einem Doppelspaltversuch verhalten sich normale Teilchen anders als Licht. - Erläutern Sie mindesten zwei solcher Unterschiede in ganzen Sätzen.

Test-Aufgabe 1.4

3 Punkte

- a) Alle Photonen des roten Lichts eines Helium-Neon-Laser mit $\lambda = 633 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ haben dieselbe Energie. - Warum? Zur Begründung genügen Stichworte.
- b) Weshalb sind die Photonen aus einer Röntgenröhre mit $\lambda = 1.0 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ durchdringender als die Photonen aus dem He-Ne-Laser? - Eine stichwortartig begründete Vermutung genügt.

Test-Aufgabe 1.5

3 Punkte

Kann man Atome mit einem Lichtmikroskop sehen? - Begründen Sie bitte Ihre Antwort stichwortartig. Informationen über die Grösse von Atomen finden Sie in "Formeln und Tafeln", Seite 206.

Lösungen zum Test für Kapitel 1

Test-Aufgabe 1.1

3 Punkte

(K3) Beiden gemeinsam sind Welleneigenschaften. Quantenobjekte besitzen aber auch Teilcheneigenschaften: Die Energie tritt in Paketen auf. Diese Pakete tragen eine bestimmte Impulsportion mit sich. Bei gewöhnlichen Wellen sind alle Energie- und Impulswerte möglich.

Test-Aufgabe 1.2

3 Punkte

- a) (K1) Der typische Nachweis der Wellennatur erfolgt durch Interferenz.
b) (K3) $\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (2.45 \cdot 10^9 \text{ 1/s}) = 0.12 \text{ m} = 12 \text{ cm}.$
 $E = hf = (6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (2.45 \cdot 10^9 \text{ 1/s}) = 1.6 \cdot 10^{-24} \text{ J}.$

Test-Aufgabe 1.3

3 Punkte

(K4) Die Häufigkeitsverteilung der Lichtquanten weist im Gegensatz zur Häufigkeitsverteilung normaler Teilchen eine Interferenz auf.

Der Auftreffpunkt der Photonen hinter dem Doppelspalt ist nicht im Voraus berechenbar. Bei normalen Teilchen kann hingegen der Auftreffpunkt berechnet werden, wenn der Impuls vor dem Spalt bekannt ist.

Photonen fliegen stets mit Lichtgeschwindigkeit, normale Teilchen sind stets langsamer als c .

Test-Aufgabe 1.4

3 Punkte

- a) (K2) Alle Photonen mit einer bestimmten Wellenlänge haben die gleiche Energie $E = hc/\lambda$.
b) (K3) Je kürzer die Wellenlänge, umso grösser sind Energie und Impuls der Photonen. Die etwa tausendmal energiereicheren Photonen der Röntgenstrahlung können demnach etwa tausendmal mehr Atome zur Seite schieben oder ionisieren und tiefer in die Materie eindringen.

Test-Aufgabe 1.5

3 Punkte

(K2) Ob man eine bestimmte Struktur mit einem Mikroskop sehen kann, hängt vom Auflösungsvermögen und von der Strukturgrösse ab. Das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops ist etwa so gross wie die Wellenlänge von sichtbarem Licht, also etwa 500 nm. Grössere Atome weisen aber bloss einen Durchmesser von 0.5 nm auf: Sie bleiben deshalb sogar im besten Lichtmikroskop unsichtbar.

Test für Kapitel 2

Test-Aufgabe 2.1

3 Punkte

Angenommen, Elektronen wären ganz gewöhnliche Teilchen: Was erwarten Sie für ein Ergebnis (1) bei einem "Beugungsexperiment von Elektronen an einer Kante" oder (2) bei einem "Beugungsexperiment von Elektronen an polykristallinem Graphit"? - Beschreiben und begründen Sie Ihre Vermutungen stichwortartig und eventuell mit einer Skizze.

Test-Aufgabe 2.2

3 Punkte

Die Idee von de Broglie, jedem Teilchen eine Wellenlänge zuzuordnen, ist in einem gewissen Sinn die Umkehrung der Überlegungen von Planck und Einstein. - Erläutern Sie diese Feststellung in etwa drei vollständigen Sätzen.

Test-Aufgabe 2.3

3 Punkte

Welche de Broglie-Wellenlänge ist den Elektronen in der Computer-Bildschirm-Röhre zuzuordnen, wenn sie eine Beschleunigungsspannung von 12 kV durchlaufen haben? Kann die Wellencharakteristik dieser Elektronen zur Bildunschärfe beitragen? $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg, $q_e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

Test-Aufgabe 2.4

3 Punkte

Schon im Kapitel 1 wurde die Science-Fiction-Situation betrachtet, dass der Wert von h um den Faktor 10^{20} grösser wäre. - Gäbe es dann Beugung von Physiklehrern an Schulzimmertüren? Stichworte und eine Abschätzung genügen zur Begründung!

Test-Aufgabe 2.5

3 Punkte

Sie haben in Kapitel 1 das Lichtmikroskop, in Kapitel 2 das Elektronenmikroskop genauer kennengelernt. Wie wäre die Idee, ebenso ein Neutronen- oder gar ein Heliumatommikroskop zu bauen? - Beantworten Sie ausgehend von den in Kapitel 1 und 2 gegebenen Informationen für die vorgeschlagenen Mikroskope die folgenden Fragen:

1. Gibt es einen prinzipiellen Grund, warum das nicht möglich sein sollte?
2. Gibt es allenfalls "praktische" Gründe?

Lösungen zum Test für Kapitel 2

Test-Aufgabe 2.1

3 Punkte

(K2) (1) Beugung an einer Kante: Hier könnte man eine gleichmässige Intensitätsabnahme im Bereich der Schattengrenze erwarten oder einfach einen scharfen Schatten.
 (2) Beugung an polykristallinem Graphit: Die klassische Vorstellung geht davon aus, dass die Elektronen an den Kohlenstoffatomen elastisch gestossen werden. Deshalb entsteht ein durch die Streuung etwas aufgeweiteter Lichtfleck. Der Graphit macht sich möglicherweise als diffuser Schatten bemerkbar.

Test-Aufgabe 2.2

3 Punkte

(K2) Auf Planck aufbauend hat Einstein das Wellenbild des Lichts ergänzt durch die Vorstellung, dass unter bestimmten Umständen sich Licht auch wie ein Teilchenstrom verhält. Diesen Lichtteilchen, den Photonen, hat er Energie und den Impuls $p = h/\lambda$ zugeordnet. De Broglie hat diese Idee umgekehrt und postuliert, dass "gewöhnlichen" Teilchen eine Wellenlänge zugeordnet werden müsse. Formal ergibt sich die Wellenlänge aus dem Impuls p der Teilchen durch die gleiche Beziehung: $p_{\text{Photon}} = h/\lambda_{\text{Licht}} \Leftrightarrow \lambda_{\text{de Broglie}} = h/p_{\text{Teilchen}}$.
 Etwa salopp gesprochen hat Einstein das Wellenphänomen "Licht" durch einen Teilchenaspekt ergänzt, während de Broglie die Teilchen mit Wellenaspekten ausstattete.

Test-Aufgabe 2.3

3 Punkte

(K3) Elektrische Energie = kinetische Energie: $qU = 1/2mv^2 = p^2/2m \Rightarrow p = 5.9 \cdot 10^{-23} \text{ kgm/s}$.
 $\lambda_{\text{de Broglie}} = h/p_{\text{Teilchen}} \Rightarrow \lambda = 1.1 \cdot 10^{-11} \text{ m} \approx 10 \text{ pm} = 0.01 \text{ nm}$. - Nein!

Test-Aufgabe 2.4

3 Punkte

(K4) Nein! Erst wenn h um 10^{35} mal grösser wäre, würden makroskopische Objekte mit alltäglichen Geschwindigkeiten eine de Broglie-Wellenlänge von der Grössenordnung wie Schülzimmertüren aufweisen. Das zeigt folgende Abschätzung:

$$\lambda^* = h^*/p = 66 \text{ Js} / (66 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}) = 1 \text{ m}.$$

Test-Aufgabe 2.5

3 Punkte

(K5) (1) Es gibt keine prinzipiellen Gründe, die gegen ein Protonen- oder ein Neutronenmikroskop sprechen: Sowohl mit Protonen als auch mit Neutronen lassen sich Teilchenstrahlen erzeugen und auf ein Objekt schiessen. Die abgelenkten Teilchen können mit passenden Linsen abgelenkt werden. Sie vermögen so ein Bild des Objektes zu erzeugen.

(2) Allerdings gibt es praktische Probleme: Sowohl Neutronen- als auch Heliumstrahlen sind nur mit grossem Aufwand herzustellen. Meist ist die Intensität gering. Im Gegensatz zu Elektronen und Protonen kann man die Bewegung von Neutronen oder Heliumatomen nicht mit elektromagnetischen Linsen beeinflussen. Auch der Nachweis der Teilchen erfordert mehr Aufwand als beim Elektronenmikroskop.

(Hinweis: Heute ist es mit Zonenplatten möglich, ganze He-Atome zu fokussieren.)

Test für Kapitel 3

Test-Aufgabe 3.1

3 Punkte

Schätzen Sie ab, wie gross das Wirkungsquantum sein müsste, damit die Orts-Impuls-Unschärferelation der Polizei bei der Beurteilung eines Verkehrsunfalls Schwierigkeiten machte.

Test-Aufgabe 3.2

4 Punkte

Beim Doppelspaltversuch mit Elektronen treten Interferenzmuster auf. Versucht man, den Weg der Elektronen durch die Spalten mit Hilfe von Licht zu verfolgen, verschwindet jedoch das Interferenzmuster. Erläutern Sie diesen Sachverhalt in maximal 8 Sätzen.

Test-Aufgabe 3.3

5 Punkte

Bereiten Sie in Stichworten einen fünfminütigen Vortrag vor. Titel: "So funktioniert das Raster-Tunnel-Mikroskop". Nehmen Sie an, Sie würden ihn vor den Kolleginnen und Kollegen einer Parallelklasse halten, die noch nicht mit den faszinierenden Eigenschaften der Quantenobjekte vertraut sind.

Test-Aufgabe 3.4

3 Punkte

In grossen Atomkernen wie beispielsweise im Uran existieren "vorfabrizierte" Alphateilchen. Zwei Protonen und zwei Neutronen haften besonders stark aneinander, die Kräfte zu den übrigen Kernteilchen sind schwächer. Die zwischen allen Kernteilchen anziehende Kernkraft hindert die Alphateilchen daran, wegzufliessen. Sie bildet einen Potentialwall. In einer gewissen Entfernung vom Kern ist sie nicht mehr wirksam und die positiven Alphateilchen, die sich durch den Tunneleffekt genügend weit entfernen können, werden vom positiv geladenen Kern abgestossen. Sie bilden die Alphastrahlung, die beim Alphazerfall des Kerns frei wird. Verschiedene Kerne am Schluss des Periodensystems sind Alphastrahler mit extrem unterschiedlichen Halbwertszeiten. - Formulieren Sie stichwortartig eine Vermutung über die Beziehung zwischen Halbwertszeit und Energie der Alphateilchen.

Lösungen zum Test für Kapitel 3

Test-Aufgabe 3.1

3 Punkte

(K3) Bei einem Autounfall betragen die Massen etwa 10^3 kg und die Geschwindigkeiten etwa 20 m/s, die Impulse und damit die Impulsunschärfen etwa 10^4 mkg/s. Die Vermessung der Unfallspuren erfolgt höchstens mit einer Genauigkeit von 0.1 m. Die Unschärfe bei der Verkehrspolizei ist damit von der Grössenordnung 10^3 Js.

Die Verkehrspolizei müsste sich erst dann mit der Quantenphysik auseinandersetzen, wenn das Wirkungsquantum etwa 10^{36} mal grösser wäre...

Test-Aufgabe 3.2

4 Punkte

(K2) Mit Hilfe von Licht können wir zwar feststellen, dass Elektronen den einen Spalt durchqueren, eine weitere Gruppe von Elektronen den andern Spalt. Aber jedes Photon, das den Durchgang eines Elektrons meldet, hat dieses auf unkontrollierbare Weise gestossen. Das führt zu einer Zustandsänderung der Elektronen. Das Interferenzmuster verschwindet. Es gibt keine Möglichkeit dies zu verhindern, denn der einzige Ausweg mit Licht von geringerer Energie führt in die Sackgasse: Die Stösse werden zwar schwächer und das Interferenzmuster wird sichtbar. Die grosse Lichtwellenlänge erlaubt aber nicht mehr, die Spalten auseinanderzuhalten.

Test-Aufgabe 3.3

5 Punkte

(K2) Im Referat sollen in geeigneter Weise die folgenden Punkte angesprochen werden:

- In atomaren und noch kleineren Dimensionen gilt die klassische Physik nicht mehr.
- Ort und Impuls von Elektronen sind nicht gleichzeitig genau bestimmt.
- Elektronen können deshalb mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aus der Oberfläche eines Stoffs austreten, auch wenn ihre Energie nicht dazu ausreicht, die Bindung zu überwinden.
- Stellt man eine feine Spitze über eine Probe ins Vakuum, dann genügt eine geringe Spannung, um Elektronen übertreten zu lassen. Solche Elektronen bilden den sogenannten Tunnelstrom.
- Der Tunnelstrom hängt stark vom Abstand zwischen Probe und Spitze ab.
- Wie bei jedem Rastermikroskop, wird auch beim RTM die Probe zeilenweise abgetastet.
- Wesentlich ist, dass mit piezoelektrischen Elementen die Spitze in allen drei Dimensionen nur um Bruchteile einer Atomgrösse verschoben werden kann.
- Im während der zeilenweisen Abtastung sorgt eine komplexe Elektronik dafür, dass der Tunnelstrom immer konstant ist: Droht der Strom zuzunehmen, dann ist die Spitze zu nahe an der Probe und muss abgehoben werden; umgekehrt bei abnehmendem Tunnelstrom.
- Die Positionen der Spitze während des Abtastvorgangs werden elektronisch zu einem Bild verarbeitet.
- Das RTM vermag Atome und teilweise sogar Teile von Atomen sichtbar zu machen.

Test-Aufgabe 3.4

3 Punkte

(K5) Kurze Halbwertszeit \Leftrightarrow hohe Wahrscheinlichkeit für das erfolgreiche Durchdringen des Potentialwalls. Massgebend für die Wahrscheinlichkeit ist nur die Grösse des Walls. Die Alphateilchen verschiedener Kerne sind gleich schwer und besitzen im Innern etwa die gleiche Energie, weil alle Töpfe etwa gleich gross sind. Ein dünner Wall wird natürlich mit grosser Wahrscheinlichkeit durchtunnelt und entlässt die Teilchen mit hoher Energie. Alphastrahler mit kurzer Halbwertszeit liefern deshalb energiereiche Teilchen.

Kann man Atome sehen? - Schlussprüfung

Name: Klasse:

Aufgabe 1: Solarzellen

8 Punkte

Ein Erdsatellit mit einer Netto-Solarzellenfläche von 25 m^2 bewegt sich im Sonnenlicht. Es besitzt eine Strahlungsleistung von 1.3 kW pro m^2 . Zur Vereinfachung nehmen wir an, alles Licht sei von der einheitlichen Wellenlänge 600 nm . - Berechnen Sie:

- die Frequenz dieses Lichts, sowie Energie und Impuls eines solchen Photons;
- die Gesamtzahl Photonen, die pro Sekunde auf die Solarzellen trifft;
- die durchschnittliche Kraft auf die Solarzellen, wenn sie 20 % aller Photonen verschlucken und die restlichen reflektieren. Hinweis: auch hier gilt Newton 2: $F = ma = m\Delta v/\Delta t = \Delta p/\Delta t$.

Aufgabe 2: Quantenobjekte

4 Punkte

Erläutern Sie den Begriff "Quantenobjekt" in maximal 6 Sätzen. Formulieren sie zuerst allgemeine Aussagen. Illustrieren Sie diese anschliessend stichwortartig anhand eines konkreten Beispiels.

Aufgabe 3: Warum gibt es Atome?

8 Punkte

Nach der klassischen Physik müssten die Elektronen auf ihrer Bewegung um den Kern elektromagnetisch strahlen, Energie verlieren und in den Kern abstürzen. Die Quantenphysik erklärt auf verschiedene Arten, weshalb dies nicht der Fall ist:

- De Broglie hat ein Argument: Elektronen besitzen höchstens Lichtgeschwindigkeit. Sie brauchen zudem mindestens soviel Platz, wie die de Broglie-Wellenlänge angibt. - Wie gross ist ein Atom gemäss dieser Argumentationsweise mindestens?
- Auch die Unschärferelation verhindert das Unglück: Das abstürzende Elektron hätte eine abnehmende Ortsunschärfe, und die zwangsläufig wachsende Impulsunschärfe entspricht einer zunehmenden Geschwindigkeit. - Bestimmen Sie, bei welcher Ortsunschärfe die Lichtgeschwindigkeit erreicht würde? Vergleichen Sie diese Länge mit der Grösse typischer Atome.

Aufgabe 4: Tunnelmikroskop

8 Punkte

Erläutern Sie anhand einer Skizze den Aufbau eines Raster-Tunnel-Mikroskops. Geben Sie die Funktionweise der wichtigsten Einzelteile an.

Zusatzaufgabe: Unmögliche Unschärferelation im Alltag

6 Punkte

Die Wellennatur des Lichts kann man schon ohne Apparate registrieren, wenn man durch die Wimpern in die Sonne blinzelt und die Strahlen richtig interpretiert. Könnte es nicht doch sein, dass auch de Broglie Wellen und Unschärferelation sich im Alltag bemerkbar machen? - Untersuchen Sie durch feine Gardinen hindurchtanzende Staubteilchen auf diese Möglichkeit! Wie ist Ihr Befund hinsichtlich der Unschärferelation im Alltag?

Lösungen zur Schlussprüfung

Aufgabe 1: Solarzellen

8 Punkte

- a) $f = c/\lambda = (3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (6.0 \cdot 10^{-7} \text{ m}) = 5.0 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} = 500 \text{ THz}$.
 $E = hf = 5.0 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} \cdot 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
 $p = E/c = 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J} / 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 1.1 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}$.
- b) $E_{tot} = I A \Delta t = 1.5 \text{ J/m}^2 \cdot 25 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ Sekunde} = 38 \text{ J}$.
 $\Delta N = E_{tot} / E = 38 \text{ J} / 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1.1 \cdot 10^{20} \text{ Photonen pro Sekunde}$.
- c) $2.3 \cdot 10^{19}$ Photonen werden absorbiert; $9.2 \cdot 10^{19}$ Photonen werden reflektiert.
 Wird das Photon absorbiert, ist $\Delta p = -p$; wird es reflektiert, gilt $\Delta p = -2p$.
 $\Delta p_{abs} = -2.3 \cdot 10^{19} \cdot 1.1 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s} = 0.25 \cdot 10^{-7} \text{ kgm/s}$ in jeder Sekunde.
 $\Delta p_{refl} = -2 \cdot 9.2 \cdot 10^{19} \cdot 1.1 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s} = 2.0 \cdot 10^{-7} \text{ kgm/s}$ in jeder Sekunde.
 $\Delta p_{tot} = -2.3 \cdot 10^{-7} \text{ kgm/s}$ in jeder Sekunde. Also ist $F = -2.3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.

Aufgabe 2: Quantenobjekte

4 Punkte

(K2) Mit "Quantenobjekt" bezeichnet man atomare oder noch kleinere Objekte. Diese besitzen sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften. Die klassische Physik gilt für sie nicht. Ort und Impuls und auch andere Grössenpaare können bei Quantenobjekten nicht gleichzeitig scharf gemessen werden. Die Unschärferelation gibt an, in welchem Rahmen solche Grössen höchstens gleichzeitig gemessen werden können.

Elektronen, Protonen usw. sind Quantenobjekte. Infolge der Unschärferelation ist ihr Ort "verschmiert". Das Licht und die übrigen elektromagnetischen Strahlen sind Quantenobjekte: Sie tragen Energie und Impuls portionenweise mit sich.

Aufgabe 3: Warum gibt es Atome?

8 Punkte

- a) (K3) $p_{max} = m_e \cdot c = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2.7 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s}$.
 $\lambda_{deB} = h/p = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} / 2.7 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s} = 2.4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.
- b) (K3) $p_{max} = m_e \cdot c = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2.7 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s} \approx \Delta p$.
 $\Delta x \approx h/\Delta p = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} / 2.7 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s} = 2.4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

Auch die kleinsten Elektronenhüllen beim H-Atom oder Be^{++} -Ion sind noch zehnmal grösser.

Aufgabe 4: Tunnelmikroskop

8 Punkte

(K2) Siehe Abschnitt 3.5.

Aus der/den sauberen Skizze/n müssen klar hervorgehen: Zeilenweise Abtastung der Probe. Tunneleffekt von Elektronen zwischen der Probe und der Spitze. Höhensteuerung der Spitze durch eine Elektronik. Bildentstehung durch die Registrierung der Positionen der Spitze.

Wichtig sind die Darstellung des Tunneleffekts und der piezoelektrischen Verschiebung der Spitze, sowie eine Begründung für das atomare Auflösungsvermögen.

Zusatzaufgabe: Unmögliche Unschärferelation im Alltag

6 Punkte

(K4) Abschätzung: $\Delta x \approx h/\Delta p = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} / (2 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ m/s}) = 3 \cdot 10^{-22} \text{ m}$. Makroskopische Quanteneffekte sind im Alltag nicht anzutreffen! Supraleitfähigkeit und Ähnliches ist einstweilen nur im Labor realisierbar.

Test für Additum 1

Das Wichtige ist Ihr Experiment!

Sie sind in der Lage, Ihrer Lehrerin oder Ihrem Lehrer innerhalb von 5 Minuten zu erläutern, wie Sie auf den Wert von h gekommen sind:

- Grundidee hinter der Messung verschiedener LEDs
- Voraussetzungen über die Wellenlängen
- Eigenheiten beim Aufbau der elektrischen Schaltung
- einige Überlegungen zur Genauigkeit des ERgebnisses

Test für Additum 2

Test-Aufgabe A2.1

8 Punkte

- a) Erklären Sie das Experiment von C. Alley et al. stichwortartig Ihrer Philosophielehrerin: Wie ist es aufgebaut, welche Ergebnisse liefert es, und - last but not least: wieso wurde es durchgeführt.
- b) Erläutern Sie stichwortartig den Begriff "Nichtlokalität".
- c) Es gibt verschiedene Interpretationen der Quantentheorie: Kennzeichnen Sie zwei durch wenige Stichworte.
- d) Gibt es eigentlich auch Dinge in der Quantenphysik, über die nicht gestritten wird? - Eine stichwortartige Antwort mit Begründung genügt.

Test-Aufgabe A2.2

4 Punkte

Kommentieren Sie in höchstens fünf vollständigen Sätzen den folgenden Text. Nehmen sie dabei möglichst oft und präzise Bezug auf den Inhalt von Additum 2:

Ausschnitt aus "Die neue Physik" (Capra 82, Seite 90 f):

*Die offensichtlichen Ähnlichkeiten zwischen der Struktur der Materie und der Struktur des Geistes sollten uns nicht allzusehr überraschen, da das menschliche Bewusstsein beim Vorgang des Beobachtens eine ganz entscheidende Rolle spielt und in der Atomphysik in beträchtlichem Masse die Eigenschaften der beobachteten Erscheinungen bestimmt. In der Atomphysik kann man das beobachtete Phänomen nur als Korrelation zwischen verschiedenen Vorgängen der Beobachtung und Messung verstehen, wobei das Ende dieser Kette von Vorgängen stets im Bewusstsein des menschlichen Beobachters liegt. Das entscheidende Kennzeichen der Quantentheorie ist, dass der Beobachter nicht nur notwendig ist, um die Eigenschaften eines atomaren Geschehens zu beobachten, sondern sogar notwendig, um diese Eigenschaften hervorzurufen. (...) Das Elektron **besitzt** keine von meinem Bewusstsein unabhängigen Eigenschaften.*

Test-Aufgabe A2.3 (nur wenn Sie die Originaltexte gelesen haben)

6 Punkte

- a) Schildern Sie die berühmte "Schrödinger-Katze" prägnant, aber zugleich so, dass ein Französischlehrer, dessen Spezialgebiet der Existenzialismus ist, etwas verstehen kann, wenn er anfängt, sich für den philosophischen Aspekt der Physik zu interessieren.
- b) Kommentieren Sie die experimentelle Basis zu Anton Zeilingers Aussage:
"Schrödingers Katzen dürfen sich aber gegenüber einer möglichen Verwendung in einem Interferenzexperiment noch recht sicher fühlen."

Lösung zum Test für Additum 2

Test-Aufgabe A2.1

8 Punkte

a) (K2) Siehe Davies und Brown pp. 15 - 25. Konkretisierung eines Doppelspaltexperiments, bei dem man zugleich den Durchgang durch die Spalten beobachten möchte. Als Variante mit "verzögerter Wahlentscheidung" nach Wheeler möglich. Bemerkenswert: Konkretisierung einer lange Zeit nur als Gedankenexperiment möglich geglaubten Fragestellung.

b) (K2) Teilchen sind lokal: ihre Masse, Ladung usw. ist vollständig innerhalb eines kleinen Raumgebiets konzentriert. Das Verhalten von Quantenobjekten kann jedoch nicht vollständig erklärt werden durch Wechselwirkungen, die sich zwischen der Experimentieranordnung und dem kleinen Raumgebiet mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. "Nichtlokal" bedeutet, dass man sich die Quantenobjekte irgendwie weit ausgedehnt denken muss.

c) (K2) Siehe A2.2: Die Quantentheorie und ihre Wirklichkeiten

Kopenhagener Interpretation:

Beobachtungen mit klassischen Messgeräten an Quantenobjekten bewirken unkontrollierbare Störungen, Komplementarität.

Idealistische Interpretation:

Reduktion der Wellenfunktion erfolgt durch das Bewusstsein des Beobachters

d) (K2) Natürlich: Quantisierung der Strahlungsenergie, Wellenaspekt der Elementarteilchen, Unschärferelation, Schrödingergleichung (Additum 1) usw. sorgen dafür, dass die Quantentheorie FAPP ist.

Test-Aufgabe A2.2

4 Punkte

(K4) Elemente, die in diesem Kommentar auftauchen sollten:

Capra vertritt eine extrem idealistische Interpretation. Er geht davon aus, dass es "offensichtliche" Ähnlichkeiten zwischen der Struktur der Materie und derjenigen (singular!) des Geistes gebe. Capra stellt seine Position als die einzig mögliche und wissenschaftlich akzeptierte dar. Er macht keine näheren Angaben darüber, was das Bewusstsein naturwissenschaftlich bedeuten könnte.

Test-Aufgabe A2.3 (nur wenn Sie die Originaltexte gelesen haben) 6 Punkte

a) (K2) Schildern Sie die berühmte "Schrödinger-Katze" prägnant, aber zugleich so, dass ein Französischlehrer, dessen Spezialgebiet der Existenzialismus ist, etwas verstehen kann, wenn er anfängt, sich für den philosophischen Aspekt der Physik zu interessieren.

b) (K6) Siehe Originaltext von A. Zeilinger:

Interferenzexperimente sind nur möglich, wenn die Wellen eine feste Phasenbeziehung aufweisen. Die Experimentalphysiker können Licht, Elektronen, Neutronen und andere Elementarteilchen so präparieren, dass Interferenzen beobachtet werden. Das neueste sind Interferenzen von Atomen. Eine Katze ist derart komplex (10^{26} Teilchen), dass eine analoge Präparation so gut wie nie erreicht werden können.