Abschlussklausur	KIT Institut für Experimentelle Teilchenphysik
Moderne Physik Datum:10.08.2021	Prof. Dr. G. Quast Dr. Sebastian Wozniewski

Klausur zur Modernen Physik für die Studiengänge Geophysik und Meteorologie

Aufgabe 1: Kurzfragen

a) Ein 30 cm langer Maßstab bewegt sich mit einer Relativgeschwindigkeit von 200000 km/s an einem Beobachter vorbei. Welche Länge misst der Beobachter?

b) Welche kinetische Energie muss ein Elektron besitzen, damit dessen Wellenlänge dem Radius des Wasserstoffatoms ($32 \cdot 10^{-12}$ m) entspricht?

c) Ein Photon überträgt einen Teil seiner Energie auf ein Elektron. Unter welchem Streuwinkel ist die Änderung der Wellenlänge von einlaufendem zu auslaufendem Photon maximal?

d) Photonen können sich in der Nähe von Atomkernen in Elektron-Positron-Paare umwandeln. Ab welcher Photonwellenlänge ist dieser Prozess möglich, wennn die Kernmasse sehr viel größer ist als die Elektronmasse.

e) Ein quantenmechanisches Teilchen der Energie E läuft von links auf einen schmalen Potenzialwall der Höhe $V_0 > E$ zu. Skizzieren Sie den Realteil der Wellenfunktion vor, innerhalb und nach dem Potenzialwall. Das einlaufende Teilchen soll dabei vor dem Potenzialwall mit einer ebenen Welle beschrieben werden.

f) Skizzieren Sie für einen n-dotierten Halbleiter die Lage von Valenz- und Leitungsband. Fügen Sie der Skizze das durch die Dotierung entstandene weitere Energieniveau sowie die Fermienergie E_F hinzu.

g) Skizzieren Sie die Dispersionsrelation $\omega(k)$ für akustische und optische Phononen in einem Kristall mit Gitterabstand a.

h) Skizzieren Sie die relevanten Übergänge zwischen den Energieniveaus eines Drei-Niveau-Lasers beim Pumpen und bei der stimulierten Emission.

Aufgabe 2: Photoeffekt

Beim Photoeffekt wird die Energie eines Photons vollständig auf ein Elektron übertragen. Für das Metall Kalium liegt die Grenzwellenlänge des Lichts, unterhalb derer Elektronen aus der Oberfläche ausgelöst werden können, bei $\lambda_c = 564\,\text{nm}$.

a) Wie groß ist die Energie von Photonen, deren Wellenlänge der Grenzwellenlänge entspricht?

b) Mit welcher Geschwindigkeit v verlassen die Elektronen die Kaliumoberfläche, wenn diese mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 400\text{nm}$ bestrahlt wird?

c) Welche Stärke kann der Elektronenstrom maximal erreichen, wenn die Oberfläche in Teil a) mit einer Lichtleistung von $P = 1\text{mW}$ bestrahlt wird?
(Hinweis: Nehmen Sie an, dass jedes einfallende Photon ein Elektron auslöst.)

d) Zeigen Sie mit Hilfe von Energie- und Impulserhaltungssatz, dass der Photoeffekt nicht an freien Elektronen möglich ist. Warum ist er an gebundenen Elektronen möglich?

Aufgabe 3: Unschärferelation

a) Erklären Sie anhand der Eigenschaften von Wellenpaketen kurz das Zustandekommen der Unbestimmtheit von Ort und Impuls und den qualitativen Zusammenhang zwischen Orts- und Impulsunschärfe. Geben Sie die Heisenberg'sche Unschärferelation für den Impuls-Ortsraum und den Energie-Zeitraum an.

b) Zeigen Sie, dass Wellenpakete eine Lösung der zeitabhängigen Schrödingergleichung für freie Teilchen sind.

c) In welchem Zusammenhang stehen der Impuls eines Teilchens und dessen Impulsunschärfe, wenn die Ortsunschärfe eines Wellenpakets gleich dessen De-Broglie-Wellenlänge ist?

d) Wie groß ist die Streuung in der Energie der Photonen, die beim Zerfall eines angeregten Atomzustands der Lebensdauer 10^{-17} s emittiert werden?

Aufgabe 4: Moleküle

a) Erklären Sie, wie die kovalente Bindung und die Ionenbindung entstehen. Erläutern Sie, warum es kein He_2-Molekül gibt.

b) Gasförmiger Chlorwasserstoff absorbiert auf Grund der Molekülschwingungen Infrarotlicht der Wellenlänge $\lambda_{HCl} = 3,3\,\mu$m. Bestimmen Sie die "Rückstellkraft" im als näherungsweise harmonisch angenommenen bindenden Potenzial zwischen dem Wasserstoff- und dem Chloratom. Geben Sie explizit das genäherte Potenzial an.

c) Schätzen sie die (klassische) Schwingungsamplitude für den ersten angeregten Zustand des H-Cl-Moleküls ab (semiklassische Überlegung anstellen!).

d) Das harmonische Potential ist nur eine Näherung des tatsächlichen Potentials. Skizzieren Sie, wie das tatsächliche Potential in Abhängigkeit vom Abstand der beiden Ionen aussieht. Wie wirkt sich dies qualitativ auf die Lage der Energieniveaus im Verhältnis zum harmonischen Oszillator aus?

Aufgabe 5: Kernphysik

a) Aus welchen Teilchen bestehen α-, β- und γ-Strahlung? Geben Sie die allgemeine Reaktionsgleichung für den α-Zerfall eines Kerns ${}^{A}_{Z}X$ an.

b) Welche Prozesse in Kernen werden durch die Schwache Wechselwirkung verursacht ? Geben Sie die Reaktionsgleichung für den Neutron-Zerfall an. Erklären Sie die kurze Reichweite der schwachen Wechselwirkung.

c) Skizzieren Sie den ungefähren Verlauf der Bindungsenergie pro Nukleon von Kernen in Abhängigkeit von der Massenzahl. Wie erklärt dieses Diagramm die Gewinnung von Energie durch Fusion bzw. Spaltung ?

d) Erläutern Sie den Prozess der Kernfusion in der Sonne. Welche Energie wir dabei freigesetzt?

Erlaubte Hilfsmittel: Nur Taschenrechner

Aufgabe	1	2	3	4	5	
Punkte	8	8	8	8	8	**Punktzahl zum Bestehen: 40 %**

Konstanten und Formeln

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}$
Planck'sches Wirkungsquantum	$h = 6,6 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js} = 4,1 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{eVs}$
Elementarladung	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$
	$h \cdot c = 2\pi \cdot 197\,\mathrm{MeVfm}$
Masse von Wasserstoff	$m_H = 1,66 \cdot 10^{-27} kg,$
Masse von Chlor	$m_{Cl} = 58,9 \cdot 10^{-27} kg$
Masse des Elektrons	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg} = 511\ \mathrm{keV}/c^2$
Proton-Masse	$938.3\ \mathrm{MeV}/c^2$
Neutron-Masse	$939.6\ \mathrm{MeV}/c^2$
Masse des ^{4}He-Kerns	$3727.4\ \mathrm{MeV}/c^2$
Zeitabh. Schrödinger Gleichung	$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\psi(x,t) = i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t}$

$c = \lambda\nu$

$U = R \cdot I$