Staatsexamensklausur Lehramt Gymnasium

PHYSIK

September 2001

Es ist eines der drei Themen
(**A** oder **B** oder **C**)
auszuwählen und in vier Stunden zu bearbeiten.

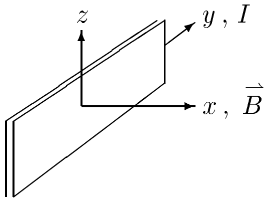
Da gleichgewichtig bewertet, sollte *jeder* der drei Teile I., II., III. des gewählten Themas bearbeitet werden.

Teil I ist der experimentelle Teil. Anschauliches Verständnis und Beziehungsreichtum eines Ausschnitts Natur, experimentelles Einfühlungsvermögen und Fantasie auch ggf. bei einer Liste von Fehlerquellen. Grundlagen der beteiligten Physik ?

Teil II ist wie Ausschnitt aus einer mündlicher Prüfung. K u r z e (und vorzugsweise formelmäßige) Antworten. Keine Frage auslassen (zur Not Frage wenigstens einordnen, Stichworte?)

Teil III ist wie ein Ausschnitt aus einer Klausur zum Theorie-Kurs.

Thema **A** : Stromdichten



I. Hall–Effekt

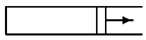
Im Schulversuch wird mittels Hall–Effekt die Elektronendichte ϱ einer Silberfolie bestimmt. Erklärungen zur Skizze / mehr Details zur Meßanordnung / Fehlerquellen / Auswertung bis hin zu ϱ .

Was passiert in der Folie unmittelbar nach Einschalten des Stromes ? Warum ist die Hall–Spannung in Halbleitern (wie z.B. InSb) um einige Zehnerpotenzen größer als in Metallen ? Änderung der Hall–Spannung bei Erwärmen des Metalls bzw. des Halbleiters ?

II. 1) Wie sieht Ohms Beziehung zwischen Strom I, Spannung U und Widerstand R aus ? Wie folgt sie aus $\vec{j} = \sigma \vec{E}$? Wie hängen also σ und R miteinander zusammen ?

2) Die Kontinuitätsgleichung (für z.B. Teilchendichte ϱ und Teilchenstromdichte $\vec{j}$ eines Gases) soll aufgeschrieben werden und im 1D Falle auf Schülerniveau erklärt werden. Welche Gestalt nimmt sie in Kugelkoordinaten an ?

3) Ein Kolben (zu $t = 0$ bei $x = a$) bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit v_0 nach rechts und dehnt dabei ein Gas (seine Dichte bleibe x–unabhängig). $\vec{j} = ?$



4) Linear im elektrischen Feld gilt $\tilde{\vec{j}}\,(\vec{k},\omega) = \tilde{\sigma}(\vec{k},\omega)\ \tilde{\vec{E}}\,(\vec{k},\omega)$ in Strenge (für Fourier–Transformierte also). Wie leitet man dies her ?

5) Die elektromagnetische Feldenergie–Stromdichte ist $\vec{S} = c^2\varepsilon_0 \vec{E} \times \vec{B}$. Wie leitet man dies her ?

6) In der Quantenmechanik ist $\vec{j} = \frac{\hbar}{2mi}(\psi^*\nabla\psi + c.c.)$ die Wahrscheinlichkeitsstromdichte eines Teilchens. Wie leitet man das her ?

7) „Eichinvarianz“ – was ist das ? Der $\vec{j}$–Ausdruck in 6) soll eichinvariant werden, zu welcher Modifikation (vorführen ?!) ist man gezwungen ?

8) Wie definiert man den quantenmechanischen Streuquerschnitt σ ? Welche Gestalt hat die auslaufende Wellenfunktion in großer Entfernung vom kugelsymmetrischen Zentrum ? Wie folgt hiermit, daß $\sigma = |\text{Streuamplitude}|^2$ ist ?

9) Das 1D Wellenpaket $\psi(x,0) = \alpha e^{-\beta|x|}$ zerfließt. Wie ist das zu rechnen ? $\psi(x,t) = ?$ darf noch Integrale enthalten.

10) Wie sieht die Kontinuitätsgleichung in relativistischer Formulierung aus ? Notieren Sie so viel wie möglich andere Vierervektoren. Welche elementaren Fermionen kennen Sie ? Wie sieht die Dirac–Gleichung aus ?

III. 1) Reflexion an Delta–Mulde

Reflexionskoeffizient R und Durchgangskoeffizient D sind einfache Quotienten aus j's. Zum Delta–Potential $V(x) = -\lambda\delta(x)$ sollen R und D bestimmt und beide als Funktion der Strahlenergie E skizziert werden. Ist auch $R + D = 1$ erfüllt ? Was passiert mit R und D in den Fällen $\lambda \to 0$ und $\lambda \to \infty$? (Ganz langsam: Skizze, Ansätze rechts/links, $E = ?$, zwei Anschlußbedn. aus Schrödinger-Gl., welches j hat ein $\psi = Ce^{ikx}$? D bilden, ...)

2) Für ein Streuproblem wird die Fourier–Transformierte $\tilde{V}(\vec{k}) = ?$ des Zentralpotentials $V(r) = \alpha\,\delta(r - R)$ benötigt. Setzt man nun $\vec{k} = 0$ einmal im Resultat und zum anderen im ursprünglichen Fourier–Integral, dann sollte die gleiche Zahl herauskommen. Ist es so ?

Thema **B** : Interferenzen

I. Interferometer

Erklären Sie anhand von Skizzen die Interferenz von Licht zweier (Doppelspalt) bzw. vieler (Einfachspalt) Teilstrahlen. Quantitative Zusammenhänge ?
Nachweismöglichkeiten des Interferenzbildes ? Physikalische Hintergründe ? (Falls Sie Huygens' Prinzip benutzten, woraus wäre es herzuleiten ?
Erklären Sie z.B. zwei der folgenden Geräte: Michelson–Interferometer, Gitter–Spektralapparat, Fabry–Perot–Interferometer, Stern–Gerlach–Apparatur. Erzählen Sie etwas zur Abstrahlung von e.m. Wellen von einer vertikalen Sendeantenne. Wovon ausgehend (und grob wie) erhält man das Strahlungsfeld per Rechnung ?

II. 1) Wie sehen die Felder $\vec{E}$, $\vec{B}$ einer ebenen e.m. Welle explizit aus ? Welche Größen darin sind frei wählbar ? Zeigen Sie (anhand einer Maxwell-Gl. Ihrer Wahl), daß $\vec{E}$ senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung stehen muß.

2) Superponieren Sie zwei laufende Schallwellen zu einer stehenden.

3) Wie sehen die Maxwell–Gleichungen in Fourier–transformierter Form aus ? Benutzen Sie diese zur Herleitung (a) der Kontinuitätsgleichung, (b) der Wellengleichung, (c) der Darstellbarkeit $\vec{E} = -\dot{\vec{A}} - \nabla\varphi$.

4) Die elektromagnetische Feldenergie–Stromdichte ist $\vec{S} = c^2\varepsilon_0 \vec{E} \times \vec{B}$. Wie kommt man hierauf ? Und welches $\vec{S}$ hat eine ebene e.m. Welle im Zeitmittel ?

5) Wie folgt der Dopplereffekt aus dem Umstand, daß $(|k|, \vec{k}\,)$ ein Vierervektor ist ? Notieren Sie so viel wie möglich andere Vierervektoren.

6) Zum H–Atom (Proton m_1, Elektron m_2) sollen Relativ– und Schwerpunkt–Problem separiert werden.

7) Ein Hamilton–Operator H hänge nicht von der Zeit ab. Ein Zustand $\psi(\vec{r}, t)$ verändert sich mit der Zeit. Aber (zeige !) seine Norm behält er bei.

8) Das 1D Wellenpaket $\psi(x, 0) = \alpha e^{-\beta|x|}$ zerfließt. Wie ist das zu rechnen ? $\psi(x, t) = ?$ darf noch Integrale enthalten.

9) Welche Aussage macht das Pauli–Prinzip allgemein ? Und welche im Falle nicht–wechselwirkender, identischer Fermionen ? Die Fermiverteilung steht bei Thema C : Idee der Herleitung ?

10) Wie sieht die Dirac–Gleichung aus ? Was kommt heraus, wenn man sie mit Wellen $\sim e^{i\vec{k}\vec{r}}$ bestückt ? Welche (der Dirac-Gl. genügenden) Teilchen kennen Sie ? (elementare oder auch zusammengesetzte).

III. 1) Ob auch stationäre Materiewellen interferieren ? Geben Sie den Vektoren $\vec{k}_1$, $\vec{k}_2$ konkrete Komponenten, so daß $e^{i\vec{k}_1\vec{r}}$ und $e^{i\vec{k}_2\vec{r}}$ von einem Doppelspalt (Ebene $x = 0$) ausgegangen sein könnten. Welche Rechnung enthüllt die Welligkeit von $|\psi|^2$ am Schirm bei $x = a$?

2) Dem Spinor $\vec{\chi}(0) = \alpha\begin{pmatrix} 2+2i \\ 1 \end{pmatrix}$ sei der Einheitsvektor $\vec{e} = \left(\frac{4}{9}, \frac{-4}{9}, \frac{7}{9}\right)$ zugeordnet. Wie läßt sich diese Behauptung nachprüfen ?
Normierung von $\vec{\chi}$ gibt $\alpha = ?$ Wie entwickelt sich $\vec{\chi}$ unter Magnetfeldeinfluß $H = \hbar\omega\,\sigma_3$ zeitlich weiter : $\vec{\chi}(t) = ?$ und mit welchen Wahrscheinlichkeiten P_+, P_- gibt σ_3–Messung (zu irgendeinem Zeitpunkt) $+1$ bzw. -1 ?

Thema **C** : Zustände

I. Spektralapparat

Die Spektrallinien des H–Atoms sollen mit einem Prismen–Spektralapparat vermessen werden. Ergänzen Sie den hier nur dürftig skizzierten Versuchsaufbau möglichst detailliert.

Welche experimentellen Schwierigkeiten und Fehlerquellen sind zu erwarten ? Wodurch wird das Auflösungsvermögen begrenzt ? Welche Korrekturen am „simplen H–Atom“ ($H = T - \frac{\text{const}}{r}$, const $=$?) kennen Sie ? Deren physikalische Ursachen ? Welche Ursachen hat die Linienbreite ?

II. 1) Wie folgt die stationäre Schrödinger–Gleichung aus der zeitabhängigen ? Warum müssen Meßgrößen–Operatoren hermitesch sein ? Inwiefern helfen H–Eigenfunktionen dabei, ein Anfangswertproblem zu lösen ?

2) Welche H–Eigenzustände hat ein 1D bewegliches Teilchen in einem Kasten (Breite a) mit ∞ hohen Wänden ? (ein wenig raten und gleich hinschreiben) Können Sie auch zum 1D harmonischen Oszillator einiges gleich hinschreiben ?

3) Quantenmechanisch zu beschreibende Teilchen laufen schräg gegen einen Halbraum mit negativ konstantem Potential. Was geschieht ? Was hat dies mit Separation zu tun ? Wie erhält man die Richtung des Strahls im Potentialbereich ?

4) Lösen Sie (stichwortartig, markante Formeln) das H–Atom–Problem (Kern festgehalten).

5) Ein H–Atom fliegt durch die Gegend (Proton m_1, Elektron m_2). Wie separieren sich Relativ– und Schwerpunkt–Problem ?

6) Wie sieht der Hamilton–Operator eines Teilchens aus, wenn auch ein Magnetfeld anliegt ? Wie gewinnt man daraus einen $\vec{L}\cdot\vec{B}$–Term ?

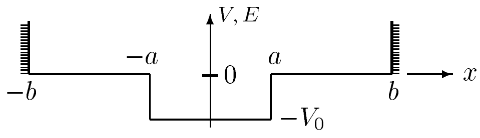
7) $\psi = \frac{1}{\sqrt{5}}\begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$: Mit welcher Wahrscheinlichkeit P_- erhält man bei Messung der y–Komponente des Spins welchen negativen Wert ?

8) Newton gilt (fast) auch quantenmechanisch, nämlich für Erwartungswerte. Wie geht man vor, um dies zu zeigen ?

9) Fermi–Verteilung $p_\lambda = \frac{1}{e^{\beta(\varepsilon_\lambda - \mu)} + 1}$. Bedeutung von p_λ und der rechts enthaltenen Größen ? Voraussetzungen für ihre Gültigkeit ? Idee der Herleitung ?

10) Welche Fermionen kennen Sie ? (elementare oder auch zusammengesetzte). Welche Aussage macht das Pauli–Prinzip ? Was ist das, eine Slater–Determinante ? Wie sieht die Dirac–Gleichung aus ?

III. 1) Die Wand–Position b des skizzierten 1D Kastens (a, $V_0 =: \hbar^2\kappa^2/(2m)$ gegeben, $2\kappa a < \pi$) soll so bestimmt werden, daß die Grundzustandsenergie des Systems (mit 1 Teilchen: m) bei Null liegt. $\varphi_0(x)$–Skizze / Dgl / Ansätze für φ_{innen} und φ_{rechts} / Anschlüsse / $b = \ldots$.



2) Im Kontakt mit einem Wärmebad (T) steht ein Kreisring (R), an welchen ein spinloses Teilchen gebunden ist: $H = -\frac{\hbar^2}{2\theta}\partial_\varphi^2$. Welche Eigenzustände hat H ? Und welches E–Spektrum ? Entartungsgrade ? Welche zwei Terme der kanonischen Zustandssumme Z sind bei $T \to 0$ die asymptotisch führenden ? Wie läßt sich Z bei $T \to \infty$ vereinfachen und welche Energie $E(T)$ hat dann das System ?