Aufgabe 1: Kurzaufgaben $\boxed{\textbf{10 P}}$

(a) $\boxed{1\text{ P}}$ Wann ist eine Kraft konservativ?

(b) $\boxed{1\text{ P}}$ Wie verlaufen die elektrischen Feldlinien relativ zu den Äquipotentialflächen?

(c) $\boxed{1\text{ P}}$ Sind die Ladungsdichte und die Stromdichte voneinander unabhängig?

(d) $\boxed{1\text{ P}}$ Nennen Sie zwei Postulate der speziellen Relativitätstheorie.

(e) $\boxed{2\text{ P}}$ In einem Inertialsystem I finden zwei Ereignisse am gleichen Ort im zeitlichen Abstand von 4 s statt. Berechnen Sie den räumlichen Abstand der beiden Ereignisse im Inertialsystem I', in dem die Ereignisse in einem zeitlichen Abstand von 5 s erfolgen.

(f) $\boxed{2\text{ P}}$ Wie kann man die Wellenfunktion $\psi(x)$ physikalisch interpretieren? Ist $\psi(x)$ in einem Experiment messbar?

(g) $\boxed{1\text{ P}}$ Wie werden Observablen in der Quantenmechanik beschrieben?

(h) $\boxed{1\text{ P}}$ Was besagt die Heisenbergsche Unschärferelation?

Aufgabe 2: Potentialstufe $\boxed{\textbf{15 P}}$

Betrachten Sie einen von links einlaufenden Teilchenstrom mit der Energie $E > 0$, der auf die Potentialstufe

$$V(x) = -V_0 \cdot \Theta(x) \qquad \text{mit} \quad V_0 > 0$$

trifft.

(a) $\boxed{1\text{ P}}$ Was passiert im klassischen Fall?

(b) $\boxed{14\text{ P}}$ Betrachten wir nun den Vorgang quantenmechanisch. Leiten Sie Formeln für die Reflexions- und Transmissionswahrscheinlichkeiten als Funktion von E und V_0 her. Welche Reflexionswahrscheinlichkeit ergibt sich, wenn $V_0 = 8 \cdot E$ gilt?

Aufgabe 3: Zerfall eines Radiumkernes $\boxed{\textbf{15 P}}$

Ein ruhender Radiumkern mit der Ruhemasse M sendet beim α-Zerfall ein α-Teilchen mit der Ruhemasse m_α und der Geschwindigkeit v_α aus. Leiten Sie aus der Viererimpulserhaltung Formeln für den Massendefekt, die Ruhemasse des verbleibenden Kerns und die Rückstoßgeschwindigkeit des verbleibenden Kerns her.

Aufgabe 4: Quadrupolmoment $\boxed{\textbf{10 P}}$

Vier Ladungen q befinden sich in einem kartesischen Koordinatensystem an den Punkten

$$\begin{pmatrix}-d\\d\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}d\\d\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}-d\\0\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}d\\-d\\0\end{pmatrix}$$

und vier Ladungen $-q$ an den Punkten

$$\begin{pmatrix}0\\d\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}d\\0\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}-d\\-d\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}0\\-d\\0\end{pmatrix}.$$

Berechnen Sie das Dipolmoment $\vec{p}$ und den Quadrupoltensor Q dieser Ladungsanordnung.

Aufgabe 5: Rechnen mit Vektoren im Hilbertraum $\boxed{\textbf{10 P}}$

Die Vektoren $|v_1\rangle$, $|v_2\rangle$ bilden ein vollständiges Orthonormalsystem in einem zweidimensionalen Hilbertraum. Darin sind ebenfalls die Vektoren

$$|\varphi\rangle = (3-i)|v_1\rangle + (1+2i)|v_2\rangle\,, \quad |\chi\rangle = (1+i)|v_1\rangle + (1-i)|v_2\rangle$$

gegeben.

(a) $\boxed{5\text{ P}}$ Berechnen Sie das Skalarprodukt $\langle\chi|\varphi\rangle$.

(b) $\boxed{5\text{ P}}$ Bestimmen Sie die Komponenten von $|\varphi\rangle$ und $|\chi\rangle$ bezüglich der orthonormierten Vektoren

$$|u_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|v_1\rangle + \frac{i}{\sqrt{2}}|v_2\rangle\,, \quad |u_2\rangle = \frac{-i}{\sqrt{2}}|v_1\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|v_2\rangle.$$

Aufgabe 6: Randwertproblem $\boxed{\textbf{10 P}}$

Betrachten Sie ein in z-Richtung unendlich ausgedehntes leitendes Rohr von rechteckigem Querschnitt. In der xy-Ebene liegt das Rohr bei $x = 0$, $x = a$, $y = 0$ und $y = b$. Das Potential bei $x = 0$, $y = 0$ und $y = b$ sei $\varphi = 0$. Bei $x = a$ habe das Rohr das Potential

$$\varphi(x = a, y) = \varphi_0 \sin\left(\frac{3\pi y}{b}\right).$$

Bestimmen Sie mithilfe eines Separationsansatzes das von z unabhängige Potential $\varphi(x, y)$ im ladungsfreien Inneren des Leiters.