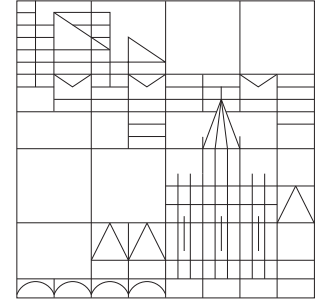




Theoretische Festkörperphysik
Wintersemester 2010/11 - Übungsblatt 12
 Ausgabe: 28.1.2011, Abgabe: 4.2.2011, Übung: 7.-9.2.2011

Aufgabe 36: Effektive Masse und g-Faktor

(5 Punkte)

In Zinkblende-Halbleitern gilt

$$\frac{m}{m^*} = 1 + \frac{2}{m} \left(\sum_{j_z = \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}} \frac{|\langle S \uparrow | p_x | \frac{3}{2} j_z \rangle|^2}{E_g} + \sum_{j_z = \pm \frac{1}{2}} \frac{|\langle S \uparrow | p_x | \frac{1}{2} j_z \rangle|^2}{E_g + \Delta} \right),$$

$$g^* - g = -\frac{4}{m} \text{Im} \left(\sum_{j_z = \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}} \frac{\langle S \uparrow | p_x | \frac{3}{2} j_z \rangle \langle \frac{3}{2} j_z | p_y | S \uparrow \rangle}{E_g} + \sum_{j_z = \pm \frac{1}{2}} \frac{\langle S \uparrow | p_x | \frac{1}{2} j_z \rangle \langle \frac{1}{2} j_z | p_y | S \uparrow \rangle}{E_g + \Delta} \right).$$

Verwende

$$\langle S \uparrow | p_x | X \uparrow \rangle = \langle S \uparrow | p_y | Y \uparrow \rangle = P, \langle S \uparrow | p_x | Y, Z \uparrow \rangle = \langle S \uparrow | p_y | X, Z \uparrow \rangle = 0, \langle S \uparrow | p_x | X, Y, Z \downarrow \rangle = 0$$

um $\frac{m}{m^*}$ und $g^* - g$ abzuleiten.

Hinweis: Um die Matrixelemente der $|jj_z\rangle$ Zustände mit dem Matrixelementen $|X\rangle, |Y\rangle, |Z\rangle$ und Spin $|\uparrow\rangle, |\downarrow\rangle$ zu verbinden, sind entsprechende Clebsch-Gordon-Koeffizienten nötig (siehe Vorlesung).

Aufgabe 37: Rashba Wechselwirkung

(5 Punkte)

Elektronen in einem Halbleiter seien durch ein uniformes elektrisches Feld $\mathbf{E}_b$ in z -Richtung auf den Halbraum $z > 0$ eingeschränkt. Das elektrostatische Potential ist also

$$V_b(z) = \begin{cases} -E_b z & (z \geq 0), \\ \infty & (z < 0) \end{cases}$$

Analog zur Vorlesung finden Sie den Hamiltonian für die langsam variierende Einhüllende in dem langsam variierenden Potential $V(x, y, z) = V_b(z) + V(x, y)$ mit einem beliebigen Potential $V(x, y)$ in der x - y -Ebene. In diesem Fall separiert die Einhüllendenfunktion ($\Psi_E(x, y, z) = \Psi(x, y)\phi_b(z)$). Finden Sie die Wellengleichungen für die Einhüllendenfunktion $\Psi(x, y)$ und $\phi_b(z)$. Diese müssen nicht gelöst werden. Die Rashba-Wechselwirkung ist der Term in der Wellengleichung für $\Psi(x, y)$ der die Komponenten des Spins in der x - y -Ebene an die Bahn-Freiheitsgrade koppelt.

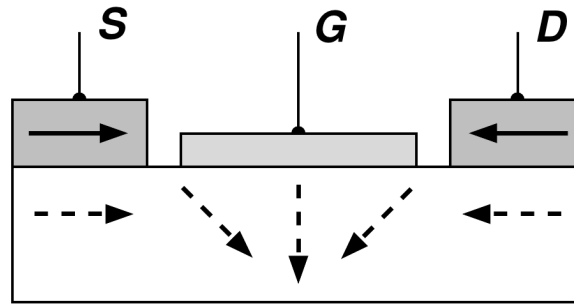


Abbildung 1: Datta-Das transistor

Aufgabe 38: Datta und Das Spin-Transistor

(3 Punkte)

Elektronen in niedrig-dimensionalen Strukturen lassen sich durch einschränkende Potentiale und langsam variierende Einhüllendenfunktionen beschreiben. Falls die Elektronen durch ein konstantes elektrisches Feld und einer Barriere in z -Richtung gebunden sind (Aufgabe 2) und zusätzlich ein harmonisches Potential

$$V(y) = \frac{m^* \omega^2}{2} y^2$$

vorhanden ist, lässt sich die Einhüllendenfunktion von tiefen Energiezuständen separieren durch

$$\Psi_E(x, y, z) = \psi_x(x) \psi_{0,LHO}(y) \phi_{0,c}(z),$$

wobei $\psi_{0,LHO}$ der Grundzustand des harmonischen Oszillators und $\phi_{0,c}(z)$ der Grundzustand der Bandelektronen im Potential $V_b(z)$ ist.

Finden Sie die Schrödingergleichung für die Einhüllendenfunktion $\psi_x(x)$. Diese Gleichung enthält die Rashba Wechselwirkung, die die x -Komponente des Impulses mit der y -Komponente des Spins koppelt. Aufgrund dieser Kopplung präzedieren die Spins bei Bewegung entlang der x -Achse. Wie hängt die Spin-Präzession vom elektrischen Feld in z -Richtung ab?

Datta und Das haben einen Transistor vorgeschlagen, der diesen Effekt nutzt. Er besteht aus spin-polarisierten Source (S) und Drain (D) Elektroden und einem Gate (G), dass das elektrische Feld im Leitungs kanal kontrolliert. Ohne elektrisches Feld fließt kein Strom, da die Spins der Elektronen in Source und Drain nicht passen. Erst wenn ein elektrisches Feld anliegt, können die Spins der Elektronen präzedieren und ein Strom fließen.