

「半導体」レポート問題 2011 年前期 勝本

以下の問題から 1 問を選び，答えなさい．ただし，別々の問題から小問を 1 つずつ取って小問合計 3 問を解答しても良い．

1. 2 重障壁ダイオード

第 10 回のノート，図 8.4 に見るように，2 重障壁ダイオードにおいて，障壁厚さ L (あるいは無次元化した l) を大きくして透過確率が小さくなると，共鳴線幅は小さくなる，すなわち共鳴ピークが鋭くなる．

(a) 物理的理由を定性的に述べよ．

(b) やや粗っぽいモデルで共鳴線幅を見積もってみよう．

障壁へのしみ込みの減衰率を κ とすると，量子井戸内の電子が障壁にぶつかるたびに $\exp(-\kappa L)$ に比例して井戸の外部に波動関数が漏れ出す．井戸内の波動関数振幅が $\exp(-1)$ まで減少するために必要な衝突回数 n を見積もれ． n 回の衝突に必要な時間から，井戸内の電子の「寿命」を見積もり，これよりエネルギーの不確定幅を求めよ．可能なら，図 8.4 と結果を比べてみよ．

2. 界面電子

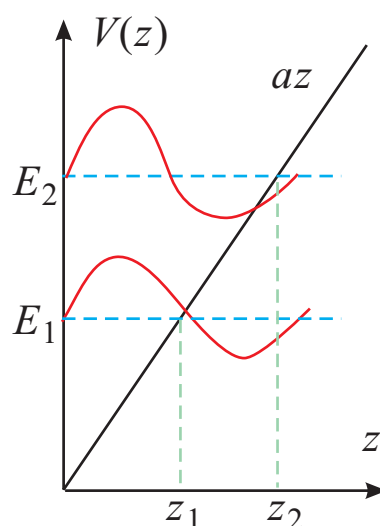
界面ポテンシャルを右下図の三角ポテンシャルで近似する．

(a) 最も粗い近似で，波動関数のポテンシャル中へのしみ出しを無視する．界面垂直方向運動エネルギーを E と置くと，有効な閉じ込めポテンシャル幅 E/a が決まるが，そこで，ポテンシャルをその幅の $V(0)$ を底とする井戸型ポテンシャルと近似してしまおう．

図のように下からエネルギー準位に $n = 1, 2, \dots$ と指数付けした時のエネルギー準位表式を求めよ． z 方向有効質量を m^* とする．

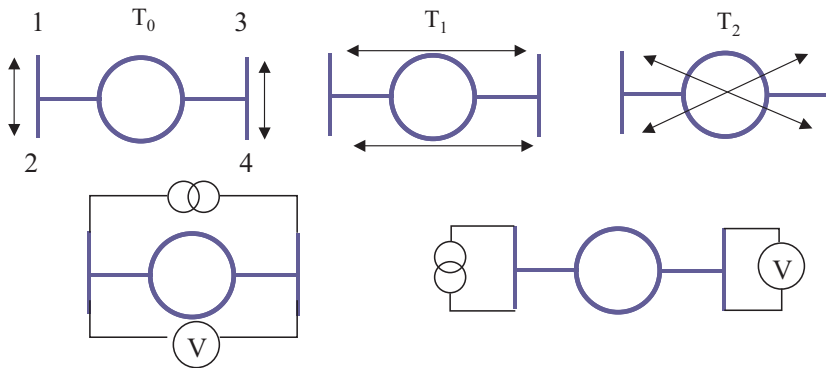
(b) 講義でやったように，固有関数は Airy 関数で表すことができる．その結果と上の結果を比べてみよ．

(c) しみ出しを Wenzel-Kramers-Brillouin(WKB) 近似で扱ってみよ．講義でやった Airy 関数を使った結果と比べてみよ．



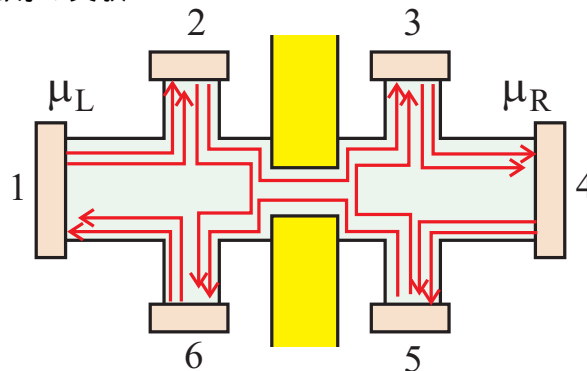
3. コヒーレント伝導

(a) Landauer-Büttiker 公式を用いて，透過率 T の量子細線に対する 4 端子コンダクタンスを与える表式（いわゆる 4 端子 Landauer 公式）を求めなさい．



(b) AB リングに対して，上の図のような近似を行ったとき，通常 4 端子抵抗 R_c と非局所 4 端子抵抗 R_{nl} はどのように表されるか．ただし， $T_0 \gg T_1, T_2$ という近似を使うこと．
 上の図の意味：左上：端子 1-2 と 3-4 間の透過率が T_0 ．中，右も同様に，1-3, 2-4 の透過率が T_1 ，1-4, 2-3 の透過率が T_2 であることを表す．下の左は通常の抵抗測定 R_c ，右は非局所抵抗測定 R_{nl} ．
 (ずれた円が 2 個重なっているのは定電流電源，円中に V の字があるのは電圧計の記号．)

4. 端状態を使った電気伝導の実験



2 次元電子系を上図のように 6 つの端子を持つ，「ホールバー」と呼ばれる形状に加工する．ただし，中央に量子ポイントコンタクト (QPC) を作る．

充填率 ν の整数量子ホール効果状態において， ν 個の端状態チャンネルのうち， χ 個が QPC を完全透過し，残りは完全に反射されたとする．端子 1-4 間に電流を流し，他の端子には内部抵抗無限大の理想的電圧計を接続して化学ポテンシャルを測定する．Landauer-Büttiker 公式を適用して次を求めよ．

(a) 2-3，あるいは 5-6 の電位差から求まる縦方向抵抗 R_L ．

(b) 2-6，あるいは 3-5 の電位差から求まるホール抵抗 R_H ．

5. これまでの練習問題から

4 問を選んで解答せよ．すでに解答を提出している人は，それでレポート問題の一部を代用する旨，連絡すること．すでに出していても改めて解き直して提出しても良い．